

Variabilité du stockage de carbone bleu dans les herbiers de zostères de la côte pacifique du Canada



Évaluation de la variabilité entre les portions subtidales et intertidales de trois herbiers du sud de la baie Clayoquot, en Colombie-Britannique, et à l'intérieur de ces herbiers

Cette étude a été menée par

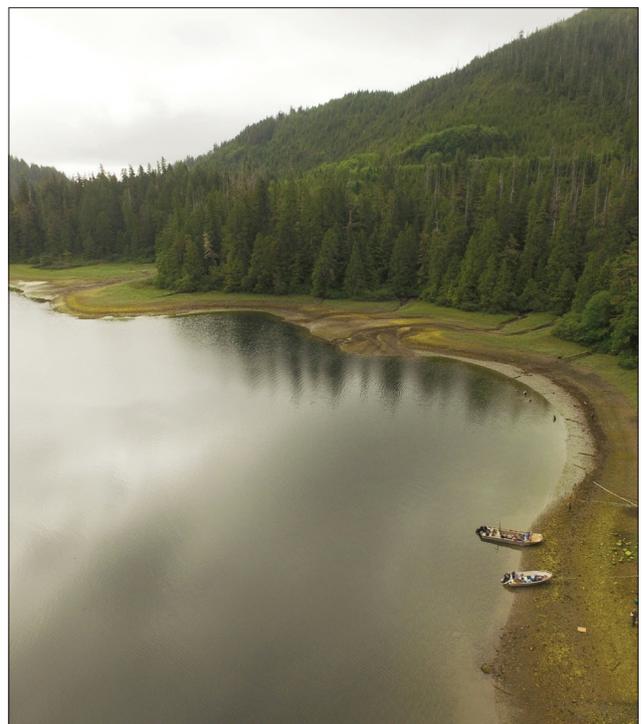
A. McGowan, V. Postlethwaite et K. E. Kohfeld (Université Simon Fraser),
J. Yakimishyn (Parcs Canada) et **C. Robinson** (Université de Victoria)

Avec le soutien de la **Commission de coopération**

environnementale (CCE) dans le cadre de son projet de 2015-2016 intitulé *Prochaines étapes des recherches scientifiques aux fins de l'élaboration de politiques sur le carbone bleu de l'Amérique du Nord.*

Les zostères marines le long de la portion septentrionale de la côte pacifique de l'Amérique du Nord

Les écosystèmes marins côtiers sont reconnus comme des systèmes très productifs, mais leur potentiel de stockage et de séquestration du carbone organique, appelé carbone bleu, a largement été négligé sur la côte pacifique de l'Amérique du Nord (Nellemann et coll., 2009; McLeod et coll., 2011). On estime que les écosystèmes côtiers végétalisés, comme les mangroves, les marais salés, les herbiers de ruppies et les forêts de varech stockent le carbone jusqu'à douze fois plus rapidement que les forêts terrestres (Fourqurean et coll., 2012). Selon des estimations récentes, la ruppie maritime, qui est parmi les végétaux les plus productifs de la planète, est un puits de carbone très efficace, stockant une quantité de carbone disproportionnée par rapport à sa taille relativement petite (Duarte, 2002; Pendleton et coll., 2012; Duarte et coll., 2013). Ces habitats de carbone bleu occupent environ 0,2 % de la superficie des océans de la planète, mais on estime qu'ils séquestrent plus de 15 % du carbone marin (Duarte et coll., 2010). Des évaluations récentes indiquent que de 300 000 à 600 000 km² de la superficie totale de la Terre sont recouverts d'habitats de ruppie maritime, qui pourraient stocker jusqu'à 19,9 Pg C (pétagrammes de carbone) (Fourqurean et coll., 2012).



Kennedy Cove, Colombie-Britannique.

Le long de la côte pacifique du Canada et des États-Unis, la zostère marine (*Zostera marina*) est un genre commun de ruppie maritime présent dans les zones peu profondes des estuaires tempérés (Raposa et Bradley, 2009; Lavery et coll., 2013). En plus de son rôle dans la fonction écosystémique, le dépôt de sédiments et la stabilisation du substrat, *Z. marina* agit comme un important puits de carbone (Raposa et Bradley, 2009). Le carbone est stocké dans les sédiments et s'accumule essentiellement par la production *in situ* et la précipitation provenant de la colonne d'eau (Greiner et coll., 2013).

Malheureusement, les herbiers de ruppie sont également un des écosystèmes côtiers les plus menacés par l'activité anthropique et le développement (Orth et coll., 2006; Waycott et coll., 2009). Chaque année, environ 0,4 à 2,6 % des herbiers sont détruits dans le monde, rejetant potentiellement annuellement de 0,15 à 1,02 Pg de dioxyde de carbone dans l'atmosphère (Pendleton et coll., 2012). Une perte plus importante de ces écosystèmes réduit leur capacité à séquestrer et à stocker le carbone. Dans certaines régions de la planète, la destruction de ces habitats peut entraîner des émissions de carbone accumulées depuis aussi longtemps que 8 000 ans (Campbell, 2010; CCE, 2016). Le manque de connaissances sur le rôle de puits de carbone joué par la zostère marine constitue un frein à la planification de la conservation du carbone bleu et à l'élaboration d'une politique détaillée sur la gestion du carbone côtier sur la côte pacifique de l'Amérique du Nord (Sutton-Grier et Moore, 2016). Vu le manque de données géospatiales sur la couverture spatiale de la ruppie maritime et les grandes généralisations des stocks de carbone bleu, la côte pacifique de l'Amérique du Nord a récemment été désignée comme zone hautement prioritaire pour la cartographie de la ruppie maritime et la recherche sur la séquestration du carbone (CCE, 2016).

Résumé de l'étude

Cette étude fournit une estimation du stockage et de la variabilité de l'accumulation du carbone dans les herbiers de zostères le long d'un gradient d'eau douce de 25 km dans la baie Clayoquot, en Colombie-Britannique. Plus précisément, elle donne une évaluation quantitative de la variabilité spatiale de la biomasse aérienne et souterraine de zostère marine, du stockage de carbone et des taux d'accumulation de carbone dans les zones intertidales et subtidales de trois herbiers dans le sud de la baie Clayoquot (figure 1). Cette étude cherche à répondre à plusieurs questions :

- Quelles sont l'étendue géospatiale et la superficie des portions intertidales et subtidales des herbiers de zostères?*
- Quel est le degré de variabilité de la densité et de la biomasse des pousses de zostère marine dans les herbiers et d'un herbier à l'autre?*
- Quelle est la variabilité de la capacité de stockage et de séquestration du carbone dans les sédiments et entre les sédiments des herbiers de zostères par rapport à des sites intertidaux non végétalisés?*
- Globalement, comment ces conditions différentes influencent-elles les estimations du stockage et de l'accumulation de carbone dans la zostère marine?*

Les trois herbiers étudiés se trouvent dans la baie de Tofino, dans le sud de la baie Clayoquot, sur la côte sud-ouest de l'île de Vancouver, en Colombie-Britannique. Un de ces herbiers, Grice Bay, se trouve dans le secteur de la plage Long de la réserve de parc national du Canada Pacific Rim, et les trois herbiers sont dans la réserve de biosphère de l'UNESCO Clayoquot Sound. Les trois herbiers sont répartis dans la baie de Tofino le long d'un gradient de température de l'eau et de salinité de la surface, en raison de l'apport d'eau douce du cours inférieur de la rivière Kennedy (Robinson et Yakimishyn, 2008).

L'étendue spatiale des régions intertidales et subtidales de chaque herbier a été estimée selon les méthodes suivantes : a) collecte des coordonnées de géolocalisation sur le terrain à marée basse pour délimiter les marais intertidaux et subtidaux (figure 2); b) visionnement d'une vidéo sous-marine prise par une caméra HD pour caractériser la densité des zostères et la portion subtidale de chaque herbier, c) utilisation d'images aériennes pour transposer les

Figure 1. Emplacement des trois herbiers échantillonnés dans la baie Clayoquot, Colombie-Britannique, Canada

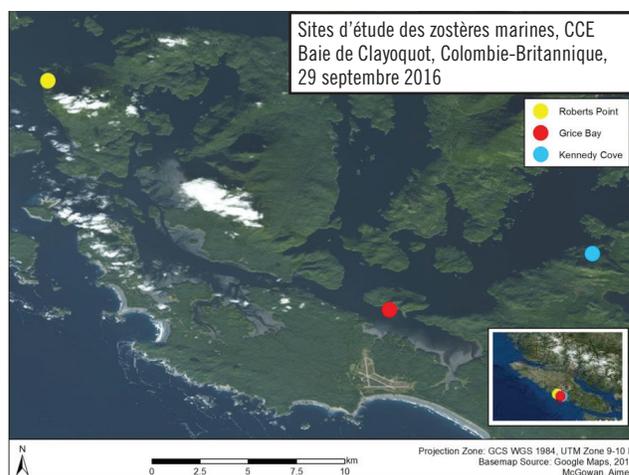


Figure 2. Collecte des coordonnées de géolocalisation le long de la limite littorale de Grice Bay



Photo avec l'aimable autorisation de Jennifer Yakimishyn

mesures prises sur le terrain en cartes régionales à grande échelle de chaque herbier.

Nous avons déterminé la densité et la biomasse des pousses vivantes de zostère à marée basse dans chaque herbier; trois transects de 50 m composés chacun de quadrats de 0,25 m², ont été échantillonnés pour connaître les propriétés aériennes et souterraines des zostères; 24 quadrats étaient représentatifs de la zone intertidale et 12 étaient représentatifs de la zone subtidale peu profonde. Dans chaque herbier, six carottes de sédiments ont également été prélevées jusqu'au refus en utilisant la méthode d'enfoncement (figure 3); une autre carotte, la carotte de référence, a été prélevée dans un site non végétalisé situé à proximité.

Des carottes ont été prélevées à intervalles de 1 cm, puis analysées en laboratoire pour en déterminer la densité apparente. On a également procédé à une analyse détaillée de la taille des grains de sédiments d'une carotte de chaque herbier. Pour estimer les quantités de carbone, on a utilisé la perte au feu comme mesure de substitution du pourcentage de carbone organique, en l'associant aux estimations de carbone organique dérivées de l'analyse élémentaire du carbone total et de l'analyse coulométrique du carbone inorganique. Des sous-échantillons de neuf carottes, dont les trois carottes de référence, ont été envoyés en laboratoire pour une analyse du ²¹⁰Pb, afin de connaître les dates radiométriques permettant de déterminer les taux d'accrétion sédimentaire et d'accumulation de carbone.

Robert Point, le plus marin des herbiers de zostères et le plus éloigné du cours inférieur de la rivière Kennedy, avait une superficie totale d'environ 31 900 m² (3,19 ha) (figure 4). Nous avons estimé que sa portion intertidale couvrait 22 400 m² (2,24 ha, 70 %) et sa portion subtidale, 9 470 m² (0,95 ha, 30 %). La superficie de l'herbier de zostères Grice Bay, situé à mi-chemin entre le littoral et le cours inférieur de la rivière Kennedy, était estimée à 262 000 m² (26,20 ha); la portion intertidale de l'herbier couvrait une superficie estimée à 186 000 m² (18,60 ha,

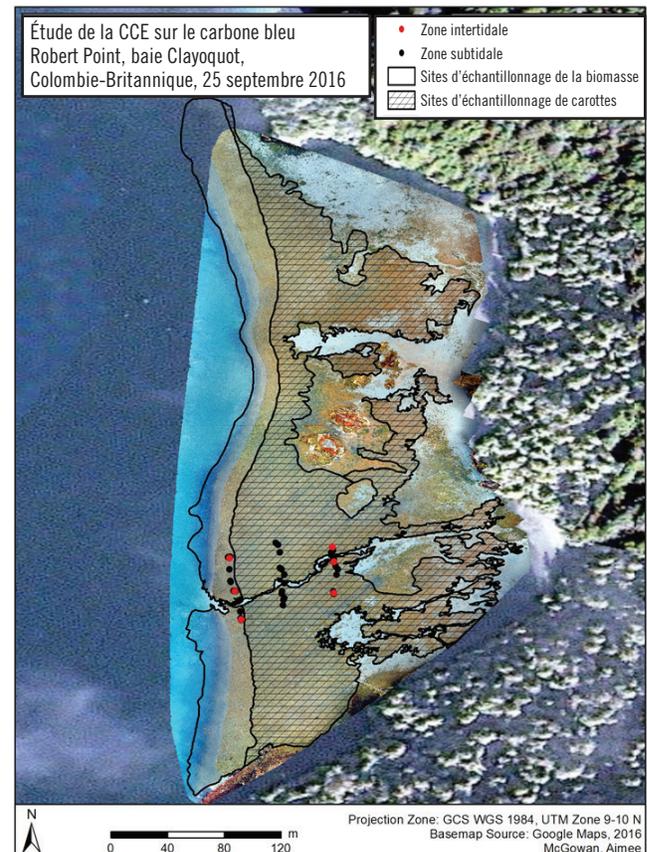
Figure 3. Collecte de carottes de sédiments dans l'herbier intertidal Robert Point



Photo avec l'aimable autorisation de Cliff Robinson

71 %) et la portion subtidale, de 75 171 m² (7,51 ha, 29 %). L'herbier le plus proche du cours inférieur de la rivière Kennedy, Kennedy Cove, avait une superficie totale de 5 340 m² (0,53 ha); la portion intertidale couvrait environ 1 025 m² (0,10 ha, 19 %) et la portion subtidale, 4 318 m² (0,43 ha, 81 %).

Figure 4. Carte de l'herbier de zostères Robert Point sous forme de polygone hachuré (zone intertidale) et régulier (zone subtidale)



Remarque : Les points noirs indiquent les quadrats de collecte de biomasse (3 transects transversaux) et les points rouges indiquent les six sites de collecte de carottes de sédiments.

Les données recueillies sur la densité et la biomasse des pousses de zostère ont servi à produire des estimations de la biomasse aérienne et souterraine des zostères. Les estimations de la biomasse aérienne dans les zones intertidales et subtidales des herbiers Robert Point, Grice Bay et Kennedy Cove sont cohérentes avec les valeurs trouvées dans la littérature, qui varient de 5 à 96 g de poids sec (PS) m⁻².

Dans la zone intertidale, on a estimé que les zostères des herbiers Robert Point et Grice Bay avaient une biomasse similaire (20 ± 6 g PS m⁻²), deux fois plus importante que la biomasse souterraine moyenne dans l'herbier Kennedy Cove. Les niveaux de biomasse souterraine dans la portion subtidale étaient également plus élevés à Robert Point (26 ± 20 g PS m⁻²); ces estimations étaient 1,5 fois plus élevées que celles de Grice Bay (15 ± 8 g PS m⁻²) et 5 fois plus élevées que celles de Kennedy Cove (5 ± 4 g PS m⁻²). Or, globalement, les estimations de la biomasse souterraine dans les zones intertidales et subtidales de chaque herbier de la baie Clayoquot étaient largement inférieures aux valeurs trouvées dans la littérature, qui varient généralement de 49 à 244 g PS m⁻².

Le ratio biomasse aérienne/biomasse souterraine (BA:BS) calculé pour les portions intertidales et subtidales des herbiers était en moyenne de 3,1 (entre 1,7 et 4,3), soit un ordre de grandeur supérieur aux ratios rapportés dans la littérature. Nous postulons que l'estimation de faible biomasse souterraine des zostères dans la baie Clayoquot est probablement due aux conditions environnementales, comme la luminosité réduite, et à l'état relativement mauvais des sédiments souterrains.

L'analyse en laboratoire des carottes de sédiments a révélé un pourcentage de carbone sédimentaire (C_{org}) de <1,30 % dans tous les herbiers, pourcentage qui était moyennement variable. Plus précisément, le pourcentage de C_{org} était de <1 % dans l'herbier Robert Point, avec une valeur moyenne de 0,22 ± 0,13 % C_{org}. Aucune différence significative n'a été observée entre les portions subtidale et intertidale de l'herbier Robert Point (*p*=0,055). De plus, la carotte de référence non végétalisée renfermait un pourcentage considérablement inférieur de C_{org} par rapport à l'herbier Robert Point (*p*<0,001).

Le pourcentage de C_{org} mesuré pour l'herbier Grice Bay était de <1 %, avec une valeur moyenne de 0,30 ± 0,12 % C_{org}. Les valeurs de C_{org} dans la portion intertidale (0,24 ± 0,04 % C_{org}) étaient considérablement inférieures à celles de la portion subtidale (*p*<0,001). En outre, la carotte de référence non végétalisée présentait

des valeurs de C_{org} nettement inférieures à celles de l'herbier Grice Bay (*p*<0,001).

Des trois herbiers, c'est Kennedy Cove qui présente le pourcentage le plus élevé de C_{org}, avec une valeur moyenne de 0,47 ± 0,26 % C_{org}. Aucune différence notable n'a été relevée dans le pourcentage de C_{org} entre les portions intertidale et subtidale de l'herbier Kennedy Cove (*p*=0,532). La carotte de référence non végétalisée présentait un pourcentage de C_{org} nettement inférieur à ceux des portions intertidale (*p*=0,002) et subtidale (*p*<0,001) de l'herbier Kennedy Cove.

L'analyse du ²¹⁰Pb utilisée pour calculer les taux d'accumulation de carbone (séquestration) a montré une diminution annuelle des taux de séquestration, qui baissent de façon notable à une profondeur de ~10–20 cm sous la surface de tous les herbiers. Dans l'herbier Robert Point, les taux d'accrétion sédimentaire variaient de 10,36 à 36,74 g m⁻² an⁻¹ et les taux d'accumulation de carbone variaient de 0,03 à 0,16 g C_{org} m⁻² an⁻¹. Dans l'herbier Grice Bay, les taux d'accrétion sédimentaire variaient de 25,53 à 49,08 g m⁻² an⁻¹ et les taux d'accumulation de carbone variaient de 0,06 à 0,15 g C_{org} m⁻² an⁻¹, avec un taux moyen de 0,12 ± 0,02 g C_{org} m⁻² an⁻¹. Dans l'herbier Kennedy Cove, les taux d'accrétion sédimentaire variaient de 8,41 à 40,74 g m⁻² an⁻¹ et les taux d'accumulation de carbone variaient de 0,03 à 0,47 g C m⁻² an⁻¹.

Lorsqu'on a associé les estimations de la biomasse de zostère vivante aux estimations aériennes de chaque herbier, c'est l'herbier Grice Bay qui affichait la biomasse la plus élevée, suivi respectivement de Robert Point et Kennedy Cove. La biomasse aérienne totale de l'herbier Grice Bay était de 15,80 ± 10,27 Mt PS m⁻² et la biomasse souterraine totale était de 6,06 ± 3,77 Mt PS m⁻². Dans l'herbier Robert Point, la biomasse aérienne totale était de 2,06 ± 1,04 Mt PS m⁻² et la biomasse souterraine totale était de 0,69 ± 0,50 Mt PS m⁻². L'herbier Kennedy Cove présentait les biomasses aérienne et souterraine totales les plus faibles, soit 0,06 ± 0,03 Mt PS m⁻² et 0,03 ± 0,02 Mt PS m⁻², respectivement.

Nous avons converti les estimations de biomasse aérienne (BA) et souterraine (BS) en C_{org} en utilisant un facteur de conversion standard de 36 %. C'est dans l'herbier Grice Bay que les niveaux estimés de stockage de C_{org} dans la biomasse aérienne intertidale étaient le plus élevés, avec une valeur moyenne de 23 ± 17 g C_{org} m⁻². L'herbier Kennedy Cove avait les plus faibles stocks de C_{org} dans la biomasse aérienne intertidale, avec une valeur moyenne de 5 ± 3 g C_{org} m⁻². Par contre, dans les herbiers subtidaux, Robert Point avait les plus grands stocks de

Figure 5. Stocks de carbone dans les herbiers intertidaux Robert Point, Grice Bay et Kennedy Cove ($\text{g C}_{\text{org}} \text{m}^{-2}$)

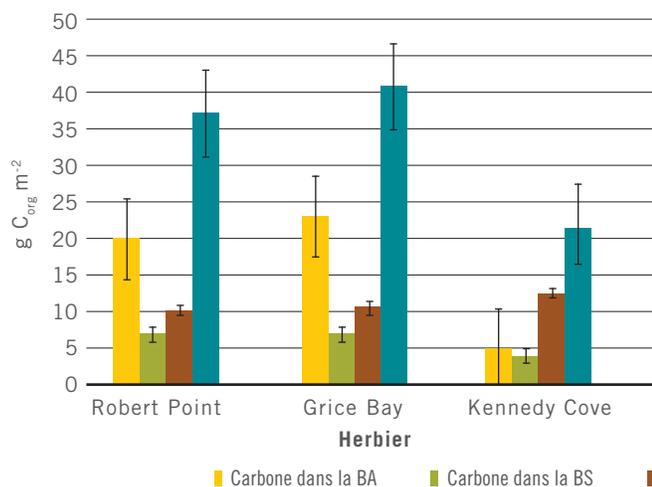
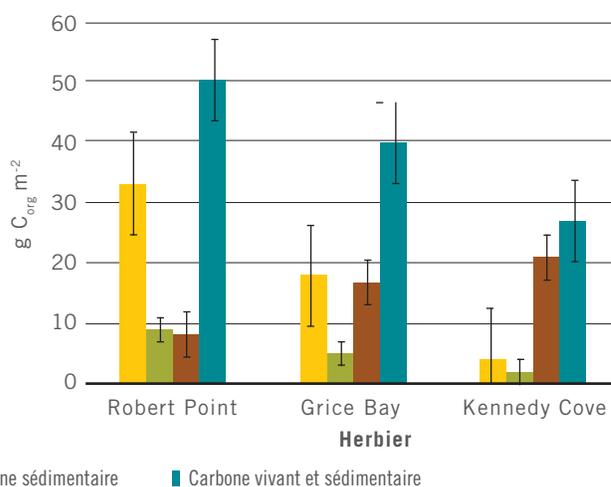


Figure 6. Stocks de carbone dans les herbiers subtidaux Robert Point, Grice Bay et Kennedy Cove ($\text{g C}_{\text{org}} \text{m}^{-2}$)



carbone dans la BA ($33 \pm 18 \text{ g C}_{\text{org}} \text{m}^{-2}$), et Kennedy Cove, les valeurs les plus faibles ($4 \pm 1 \text{ g C}_{\text{org}} \text{m}^{-2}$). La moyenne la plus élevée de stocks de carbone dans la BS de la zone intertidale a été observée dans les herbiers Robert Point ($7 \pm 5 \text{ g C}_{\text{org}} \text{m}^{-2}$) et Grice Bay ($7 \pm 6 \text{ g C}_{\text{org}} \text{m}^{-2}$). Une fois de plus, c'est dans l'herbier Kennedy Cove que les stocks les plus faibles dans la BS ont été relevés ($4 \pm 3 \text{ g C}_{\text{org}} \text{m}^{-2}$). Dans les herbiers subtidaux, c'est l'herbier Robert Point qui présentait les plus grands stocks de C_{org} dans la BS ($9 \pm 7 \text{ g C}_{\text{org}} \text{m}^{-2}$), et, encore une fois, les valeurs les plus faibles ont été observées dans l'herbier Kennedy Cove ($2 \pm 1 \text{ g C}_{\text{org}} \text{m}^{-2}$).

Bassin de carbone organique total

Le carbone organique total correspond à la somme du carbone vivant dans les zostères, stocké dans les biomasses aériennes et souterraines, et du carbone stocké dans les sédiments. Dans cette étude, le carbone sédimentaire intertidal et les stocks de carbone souterrain étaient similaires d'un herbier à l'autre. Nous avons estimé que l'herbier Kennedy Cove renfermait les plus grands stocks de carbone sédimentaire au mètre carré, mais lorsqu'on reporte les valeurs à l'échelle de la superficie totale des herbiers, c'est celui de Grice Bay qui a la plus forte quantité de sédiments en raison de sa grande superficie (26,10 ha, comparativement à 3,19 ha pour Robert Point

et 0,53 ha pour Kennedy Cove). Globalement, le total de la biomasse de carbone sédimentaire et de carbone vivant était le plus élevé dans l'herbier Grice Bay, suivi de près par Robert Point; on trouvait environ la moitié moins de carbone dans l'herbier Kennedy Cove. Ces résultats sont présentés dans la figure 5. Pour ce qui est de la biomasse aérienne, en raison de sa superficie, la portion intertidale de l'herbier Grice Bay avait une capacité de stockage de carbone de 10 à 20 fois supérieure à celle des herbiers Kennedy Cove et Robert Point.

Dans la portion subtidale des herbiers étudiés, la quantité de C_{org} sédimentaire diminuait d'environ la moitié lorsque la salinité augmentait de 23 ppm et que la température de l'eau diminuait de $5 \text{ }^\circ\text{C}$ du côté de la mer. Par ailleurs, la quantité de C_{org} vivant dans les biomasses aériennes et souterraines était environ 8 et 2 fois plus grande, respectivement, dans la portion subtidale de l'herbier Robert Point, par rapport à l'herbier Kennedy Cove, dont l'eau était plus chaude et plus douce. Même si les stocks de C_{org} sédimentaire étaient le plus élevés par mètre carré dans l'herbier Kennedy Cove, les estimations aériennes indiquent que Grice Bay renfermait de 6 à 10 fois plus de carbone dans sa portion subtidale (voir la figure 6). Globalement, les résultats de notre étude montrent clairement un rapport inverse entre la quantité de carbone dans les zostères vivantes et les stocks de carbone sédimentaire le long des gradients de salinité et de température observés dans la baie Clayoquot.

Principales constatations

Les principales constatations de l'étude sont les suivantes :

- La densité des pousses était la plus grande dans les portions intertidales inférieures des herbiers de la baie Clayoquot.
- La variabilité de la densité des pousses était environ deux fois plus élevée dans la partie intertidale supérieure de chaque herbier que dans les parties subtidales peu profondes et les portions intertidales inférieures.
- La biomasse dans les racines souterraines de zostères ne différait pas de manière appréciable dans les parties intertidales et subtidales de chaque herbier étudié, mais les estimations étaient de 2,5 à 10 fois inférieures aux valeurs trouvées dans la littérature pour d'autres herbiers. Le rapport entre la biomasse aérienne et la biomasse souterraine des zostères, qui était en moyenne de 3:1 pour les portions intertidales et subtidales des trois herbiers, est d'environ un ordre de grandeur supérieur à ce qui est rapporté pour d'autres régions d'herbiers.
- Les taux d'accumulation (séquestration) de carbone mesurés dans le cadre de cette étude étaient en moyenne d'environ 0,1-0,3 g C m⁻²a⁻¹ et étaient très faibles comparativement aux valeurs trouvées dans la littérature.
- Le pourcentage estimatif de C_{org} stocké dans les sédiments des trois herbiers ne dépassait pas 1,30 %, ce qui est considérablement inférieur aux estimations pour d'autres herbiers et d'autres régions.
- Les quantités de C_{org} sédimentaire dans les portions intertidales et subtidales présentaient une variabilité limitée entre les herbiers de la baie Clayoquot, et entre 50 et 70 % du contenu sédimentaire sous chaque herbier de zostères était composé de sable fin à moyen, ce qui ne favorise pas l'adsorption de carbone.
- Les stocks de carbone sédimentaire dans les portions intertidales et les niveaux de carbone vivant dans les secteurs souterrains étaient similaires dans les trois herbiers étudiés; la quantité de carbone aérien des zones intertidales augmentait de 2 à 3 fois avec la plus grande salinité et la diminution de la température de l'eau.
- Dans la portion subtidale des trois herbiers étudiés, du côté de la mer, les quantités de C_{org} sédimentaire diminuaient d'environ la moitié avec une augmentation de 23 ppm de la salinité et une diminution de la température de 5 °C; le carbone souterrain était relativement stable, tandis que le carbone subtidal aérien était presque 7 fois moins abondant avec l'augmentation de la température et la diminution de la salinité.
- Globalement, selon les estimations, parmi les trois herbiers étudiés, Grice Bay avait les stocks les plus importants de C_{org} vivant et sédimentaire; ces stocks étaient environ 10 fois plus grands que ceux de Robert Point et environ 77 fois plus grands que ceux de Kennedy Cove. L'herbier Grice Bay est 8 fois plus grand que Robert Point et 49 fois plus grand que Kennedy Cove.
- Les profils du plomb 210 indiquent que le brassage des sédiments sous chaque herbier se produisait jusqu'à une profondeur d'environ 10 à 15 cm.



Herbiers marins, Tofino, Colombie-Britannique.

Conclusion

Bien que les valeurs de C_{org} dans les herbiers de zostères de la baie Clayoquot semblent faibles, les stocks de carbone étaient considérablement plus élevés dans ces herbiers que dans les sites de référence non végétalisés. Cela indique que les zostères contribuent toujours au stockage du carbone dans la baie Clayoquot, mais à des taux inférieurs à ceux d'herbiers plus tropicaux. De plus, les auteurs de cette étude ont constaté que, bien que la majorité des études citées dans la littérature ne fasse pas de distinction entre les portions intertidales et subtidales des herbiers de zostères (en raison d'une faible amplitude de marée), cette étude révèle d'importantes différences entre les propriétés de stockage du carbone des zones intertidales et subtidales. Les vastes vasières de la baie de Tofino abritent de grandes étendues de zostères intertidales de densité relativement grande (p. ex., Grice Bay) qui contribuent de façon substantiellement plus importante au stockage de carbone par rapport aux portions subtidales des herbiers et aux herbiers périphériques généralement plus petits de la baie de Tofino (p. ex., Kennedy Cove; et ailleurs sur la côte de la Colombie-Britannique). Les régions subtidales de la majorité des herbiers de zostères de la baie de Tofino sont probablement plus petites en raison de l'apport limité de lumière et de nutriments, ou de l'absence de sédiments sous-marins pouvant adsorber le carbone. Cette étude montre également que, bien que la capacité de stockage du carbone sédimentaire ne change pas de façon notable entre les portions intertidales et subtidales des herbiers, cela ne semble pas lié à des changements dans la salinité ou la température à la surface. Par conséquent, on pourrait s'attendre à ce que les plus grandes étendues intertidales de zostères situées vers l'extrémité plus saline et plus fraîche du spectre environnemental soient les plus grands contributeurs du stockage aérien dans la baie de Tofino, et elles devraient clairement faire l'objet de mesures de conservation.

Remerciements

Nous remercions M. Pellatt (Parcs Canada) qui a facilité l'accès aux sites et les travaux sur le terrain (carottage), et qui a fourni l'infrastructure de laboratoire pour l'analyse des sédiments. S. Chastain et C. Barlow (Université Simon Fraser) ont fourni une aide et des conseils utiles sur le terrain. Les travaux sur le terrain n'auraient pu être réalisés sans l'aide de D. Harrison (Raincoast Education Society), qui a servi de guide et d'auxiliaire sur le terrain. Nous remercions également M. Soon (Université de la Colombie-Britannique), qui a participé à l'analyse élémentaire, et H. Jensen, qui a facilité le travail en laboratoire. Enfin, nous remercions la CCE qui a financé cette importante étude, et K. Richardson pour ses importants conseils.

Références

- CAMPBELL, C.R. (2010). *Blue Carbon-British Columbia: The case for the conservation and enhancement of estuarine processes and sediments in B.C.*, Colombie-Britannique, Canada; Sierra Club. Disponible en ligne (en anglais) : <<http://sierraclub.bc.ca/wp-content/uploads/2015/08/Blue-Carbon-British-Columbia-Report.pdf>>.
- CCE (2016). *Le carbone bleu en Amérique du Nord : Évaluation de la répartition et des puits de carbone des herbiers marins, marais salés et mangroves*, Montréal, Canada; Commission de coopération environnementale, 54 p. Disponible en ligne (en anglais) : <www.ccc.org/islandora/es/item/11664-north-america-s-blue-carbon-assessing-seagrass-salt-marsh-and-mangrove>.
- DUARTE, C.M. (2002). « The future of seagrass meadows », *Environmental Conservation*, vol. 29, n° 2, p. 192-206.
- DUARTE, C.M., N. MARBÀ, E.GACIA, J. W. FOURQUREAN, J. BEGINS, C. BARRON et E.T. APOSTOLAKI (2010). « Seagrass community metabolism: assessing the carbon sink capacity of seagrass meadows », *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 24.
- DUARTE, C.M., H. KENNEDY, N. MARBÀ et I. HENDRIKS (2013). « Assessing the capacity of seagrass meadows for carbon burial: current limitations and future strategies », *Ocean and Coastal Management*, vol. 83, p. 32–38.
- FOURQUREAN, J.W., C.M. DUARTE, H. KENNEDY, N. MARBÀ, M. HOLMER, M.A. MATEO et O. SERRANO (2012). « Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock », *Nature Geoscience*, vol. 5, p. 505– 509.
- GREINER, J.T., K.J. MCGLATHERY, J. GUNNELL et B.A. MCKEE (2013). « Seagrass restoration enhances blue carbon sequestration in coastal waters », *PLoS ONE*, vol. 8, n° 8.
- LAVERY, P.S, M.A. MATEO, O. SERRANO et M. ROZAIMI (2013). « Variability in the carbon storage of seagrass habitats and its implications for global estimates of blue carbon ecosystem service », *PLoS ONE*, vol. 8, n° 9.
- MCLEOD, E., G.L. CHMURA, S. BOUILLON, R. SALM, M. BJORK, C.M. DUARTE et B.R. SILLIMAN (2011). « A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂ », *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 10, p. 552–560.
- NELLEMANN, C., E. CORCORAN, C.M. DUARTE, L. VALDES, C. DE YOUNG, L. FONSECA et G. GRIMSDITCH (2009). *Blue Carbon: The Role of Healthy Oceans in Binding Carbon*. Norvège : BirkelandTrykkeri AS. Disponible en ligne : <www.grida.no/files/publications/blue-carbon/BlueCarbon_screen.pdf>.
- ORTH, R.J., T.J.B. CARRUTHERS, W.C. DENNISON, C.M. DUARTE, J.W. FOURQUREAN, K.L. HECK Jr., A. RANDALL-HUGHES, G.A. KENDRICK, W. JUDSON-KENWORTHY, S. OLYARNIK, F.T. SHORT, M. WAYCOTT et S.L. WILLIAMS (2006). « A global crisis for seagrass ecosystems », *BioScience*, vol. 56, n° 12, p. 987-996.
- PENDLETON, L., D.C. DONATO, B.C. MURRAY, S. CROOKS, W.A. JENKINS, S. SIFLEET et A. BALDERA (2012). « Estimating global “blue carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems », *PLoS ONE*, vol. 7, n° 9.
- RAPOSA, K. et M. BRADLEY (2009). *Methods and protocols for eelgrass mapping in Rhode Island: recommendations from the Rhode Island eelgrass mapping task force*. Rhode Island, États-Unis; Narragansett Bay Research Reserve. Disponible en ligne : <www.nbnerr.org/Content/Series/TechSeries_2009_5_EelgrassMapping_report.pdf>.
- ROBINSON, C. et J. YAKIMISHYN (2008). « Monitoring for the ecological integrity of eelgrass beds (*Zostera marina*) in Canada’s coastal national parks of British Columbia », éd. 2007, Parcs Canada, *WNSC Resource Conservation Technical Report*. 115 pp.
- SUTTON-GRIER, A. et A. MOORE (2016). « Leveraging carbon services of coastal ecosystems for habitat protection and restoration », *Coastal Management*, vol. 44, n° 3. Disponible en ligne : <<http://dx.doi.org/10.1080/08920753.2016.1160206>>.
- WAYCOTT, M., C.M. DUARTE, T.J.B. CARRUTHERS, R.J. ORTH, W.C. DENNISON, S. OLYARNIK, A. CALLADINE, J.W. FOURQUREAN, K.L. HECK Jr., A.R. HUGHES, G.A. KENDRICK, W.J. KENWORTHY, F.T. SHORT et S.L. WILLIAMS (2009). « Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems », *Proceedings of the National Academy of Sciences in the United States of America*, vol. 106, n° 30, p. 12377-12381.