

Sciences Eaux & Territoires

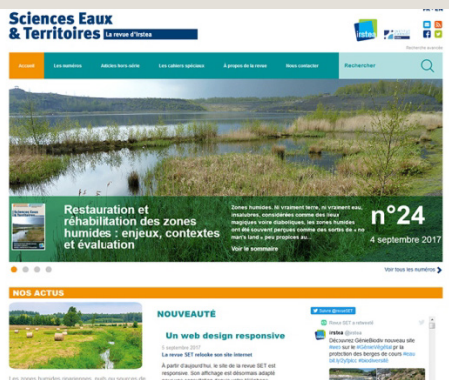
La revue d'Irstea

Article hors-série numéro 50

Évolution des stocks de carbone en fonction des trajectoires de gestion en zone humide

Océane Bartholomée
Sandra Lavorel
Dorothée Labarraque
Stéphanie Gaucherand

© Christian Schwier (AdobeStock)

www.set-revue.fr


Sciences Eaux & Territoires, la revue d'Irstea

Article hors-série numéro 50 – 2018

Directeur de la publication : Marc Michel

Directrice éditoriale : Emmanuelle Jannès-Ober

Comité éditorial : Denis Cassard, Nicolas de Menthère, Véronique Gouy, Céline Granjou, Alain Hénaut, Ghislain Huyghe, Cédric Laize, Alette Maillard, Isabelle Méhault, Thierry Mougey et Michel Vallance.

Rédactrice en chef : Sabine Arbeille

Secrétariat de rédaction et mise en page : Valérie Pagneux

Infographie : Françoise Peyriguer

Conception de la maquette : CBat

Contact édition et administration : Irstea-DRISE-IE

1 rue Pierre-Gilles de Gennes – CS 10030

92761 Antony Cedex

Tél. : 01 40 96 61 21 – Fax : 01 40 96 61 64

E-mail : set-revue@irstea.fr

Numéro paritaire : 0511 B 07860 – Dépôt légal : à parution – N°ISSN : 2109-3016

Photo de couverture : © Christian Schwier (AdobeStock)



Évolution des stocks de carbone en fonction des trajectoires de gestion en zone humide

Les zones humides, et en particulier leur sol, sont de véritables puits de carbone, contribuant ainsi activement à la régulation du climat. Dans quelles mesures des actions de gestion peuvent augmenter la séquestration du carbone par les zones humides ? Et dans quelles proportions ? Dans cette étude, les scientifiques ont démontré la pertinence d'un modèle d'états-transitions, qui combiné à une méthode rapide et simple d'estimation des stocks de carbone dans les différents compartiments des écosystèmes, a permis de suivre la dynamique des stocks de carbone en fonction des pratiques de gestion des zones humides. Cette approche pourrait être appliquée dans le cadre de la séquence « Éviter, Réduire, Compenser » lors de projets d'aménagement du territoire.

Contexte

Services écosystémiques, plans de gestion et méthodes d'estimation

Les services écosystémiques (SE) désignent les biens et les services fournis aux sociétés par les écosystèmes de manière durable. Ils se regroupent en trois grandes catégories : les services d'approvisionnement en matières premières et ressources alimentaires, les services de régulation et les services culturels (EFESE, 2017). Les SE sont des processus dynamiques dans le temps et dans l'espace, et sont en tant que tels des cibles pour la gestion des écosystèmes.

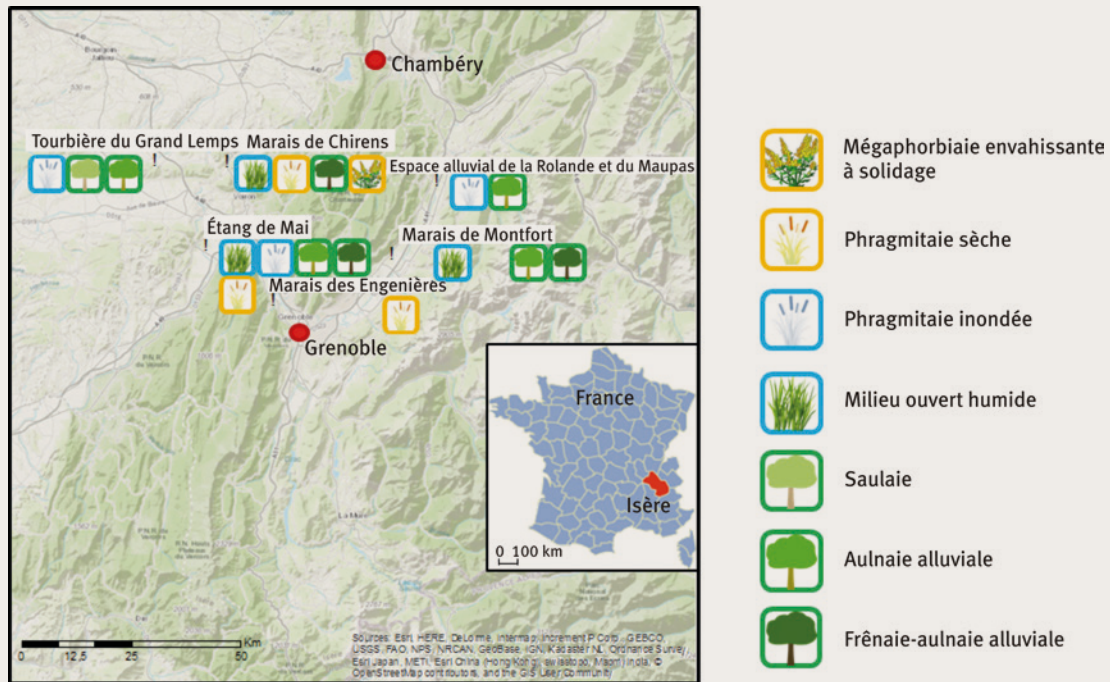
Dans le contexte actuel du changement climatique, en grande partie résultant des émissions anthropiques de gaz à effets de serre (GIEC, 2014), la régulation du climat global par le stockage de carbone est un SE au cœur des préoccupations. Ce SE est assuré par la végétation qui, par la photosynthèse, fixe une partie des gaz à effet de serre (CO₂) présents dans l'atmosphère, participant ainsi à la limitation du réchauffement climatique, avec un rôle majeur des écosystèmes forestiers (Bonan, 2008). Le sol joue également un rôle essentiel dans la régulation du climat global. Le stock de carbone du sol provient essentiellement de la végétation – par la production de litière aérienne et souterraine, mais aussi des exsudats des racines et des symbioses avec les mycorhizes et les bactéries fixatrices d'azote. La durée du stockage du carbone organique dans le sol dépend de nombreux facteurs biotiques, dont les activités des micro-organismes du sol, et abiotiques. Elle peut aller de quelques jours à

plusieurs siècles (Dignac *et al.*, 2017). La régulation du climat global est un SE à considérer en priorité à l'échelle globale, mais qui doit se baser sur des décisions de gestion prises à l'échelle locale.

En effet, les SE ont été conceptualisés comme une interface entre les scientifiques, les politiques, et les décideurs. Ils devraient alors être considérés pour les démarches de gestion environnementale et de planification territoriale, notamment par le biais de leur intégration dans les études d'impact (Diehl *et al.*, 2016). La prise en compte des SE dans les plans de gestion et les études d'impact devrait se généraliser dans l'Union européenne et en France avec la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages promulguée en août 2016.

Cette prise en compte suppose des mesures de terrain fiables et comparables, qui nécessitent des méthodes simples, rapides et standardisées pour une estimation efficace des SE sur le terrain permettant des comparaisons entre sites et/ou entre études. Dans ce cadre, une collaboration s'est établie entre le Laboratoire d'écologie alpine (LECA, CNRS, Grenoble) et le bureau d'études EGIS afin de développer des méthodes d'estimation rapide de SE de régulation, dont la régulation du climat global estimé *via* le stock de carbone d'un écosystème (Bartholomé *et al.*, 2018). Cette méthode a été utilisée pour estimer le stock de carbone de milieux humides le long de trajectoires d'évolution dépendant de la gestion afin de répondre à la question suivante : la gestion conservatoire affecte-t-elle les stocks de carbone des zones humides étudiées ?

1 Localisation en Isère des espaces naturels sensibles et des écosystèmes échantillonnés.



Les zones humides et leurs caractéristiques

Les zones humides (ZH) sont réputées pour la multiplicité des fonctions qu’elles remplissent, telles que d’être des lieux privilégiés de reproduction pour de nombreux oiseaux et amphibiens. Milieux d’interface entre écosystèmes aquatiques et terrestres, les ZH sont des écosystèmes essentiels pour la fourniture de différents SE tels que la régulation du régime hydrique, la purification de l’eau et la régulation du climat global (Barnaud et Fustec, 2007; EFSE, 2018; Gayet *et al.*, 2016).

Ces écosystèmes sensibles ont souvent été détruits, notamment par drainage ou comblement. Ainsi la surface des milieux humides en France a été divisée par deux entre 1960 et 1990 (EFSE, 2018) et leur état de conservation est globalement moins bon que pour d’autres écosystèmes terrestres. La réglementation française impose que toute destruction de zone humide par des aménagements soit compensée par la mise en œuvre de mesures telles que la restauration de milieux humides dégradés afin de maintenir un niveau similaire de fonctions des zones humides au sein du bassin versant concerné. Au niveau national, les mesures de conservation mises en œuvre aboutissent notamment à la création de nombreuses réserves telles que le réseau d’espaces naturels sensibles (ENS) faisant l’objet de plans de gestion.

Sites d’étude et trajectoires de gestion

Le choix a été fait de travailler en collaboration avec le réseau d’espaces naturels sensibles (ENS) isérois, géré par le Conservatoire d’espaces naturels de l’Isère (CEN 38) et le conseil départemental de l’Isère (CD 38). Nous avons retenu 24 parcelles localisées dans cinq ENS (figure 1) et représentatives de différents états le long de trajectoires d’évolution dépendantes d’actions

de gestion. Nous avons identifié des actions de gestion permettant les transitions d’un écosystème à l’autre. Ceci a permis de construire un modèle d’états-et-transitions qui a été simplifié en vue des analyses (figures 2A et 2B, encadré 1). Les modèles « d’états-et-transitions » ont déjà été utilisés pour des études sur les zones humides parce qu’ils rendent compte de manière simple, robuste et intuitive des effets des changements environnementaux ou de la gestion sur les paramètres biotiques et abiotiques (Bino *et al.*, 2015; Colloff *et al.*, 2016). Ce sont des outils fréquemment utilisés dans le cadre d’études dites synchrones, qui se basent sur la comparaison instantanée d’écosystèmes différant selon un paramètre d’intérêt (par ex. la gestion, l’altitude...) pour en déduire leurs dynamiques en réponse à ce facteur de changement.

1 DÉFINITION DU MODÈLE D’ÉTATS ET TRANSITIONS

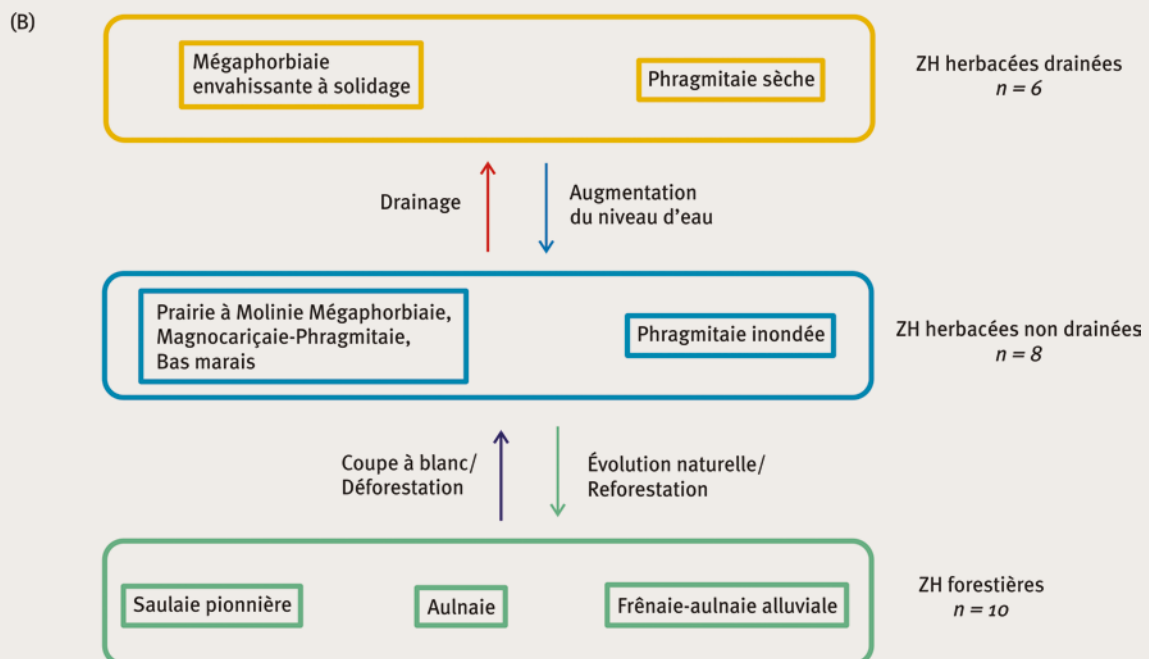
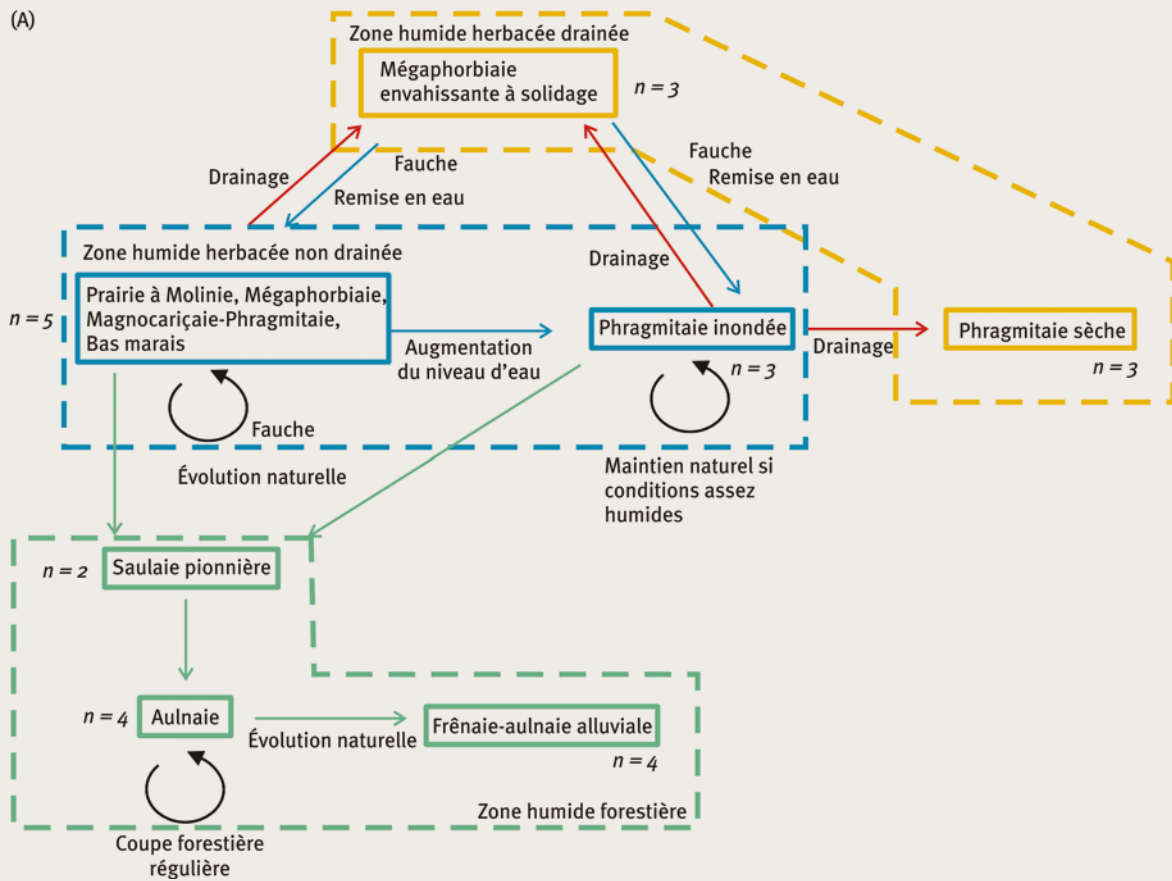
Source : EFSE, 2017.

« Un modèle d’états et de transitions offre une représentation conceptuelle et opérationnelle des changements d’état des écosystèmes. Il décrit :

- les différents états d’un écosystème (par ex. états de conservation ou états le long de trajectoires de restauration) ;
- les processus ou actions, et éventuellement leurs pas de temps, permettant soit de rester dans un état donné, soit de passer à un état alternatif ;
- les transitions qui peuvent être réversibles ou non soit par dynamique naturelle, soit selon une intervention de gestion.

Les modèles d’états-et-transitions peuvent être utilisés pour caractériser la dynamique des écosystèmes et des services écosystémiques, ainsi que leur état. Ils sont particulièrement adaptés pour qualifier le degré de réversibilité des évolutions de l’état des écosystèmes et identifier les points d’intervention possibles. »

- 2 Modèles d'états-et-transitions des zones humides étudiées :
 (A) modèle complet ;
 (B) modèle simplifié pour les comparaisons entre les différents types de zones humides.
 n est le nombre de parcelles par état.



Le modèle comporte des écosystèmes herbacés humides dont le maintien est assuré par de la fauche ou du pâturage. Ces ZH herbacées en eau ont été regroupées avec les phragmitaies inondées afin de former le groupe « ZH herbacées en eau » ou « ZH non drainées », c'est-à-dire avec un niveau de la nappe d'eau assez élevé (figures 2A et 2B). Si ces ZH herbacées en eau sont modérément drainées, une plante invasive telle que le solidage (*Solidago canadensis*) peut alors dominer l'écosystème et former une mégaphorbiaie envahissante, ou la phragmitaie inondée peut se transformer en phragmitaie sèche. Ces deux écosystèmes drainés ont été regroupés dans l'état « ZH herbacées drainées ». Une augmentation du niveau d'eau pourrait en théorie permettre un retour à l'état « ZH herbacées en eau ». Le drainage considéré est d'une intensité modérée et donc insuffisant pour aboutir à un écosystème herbacé mésophile. Une évolution sans intervention humaine des ZH herbacées en eau mène à la fermeture du milieu avec la formation de boisements humides, qui vont varier au cours du temps. Ces écosystèmes forestiers ont été inclus dans l'état « ZH forestières ». Nous n'avons pas étudié les actions de gestion permettant la persistance d'un écosystème dans son état initial, telles que la fauche pour maintenir un espace herbacé ouvert, étant donné qu'elles n'apportent *a priori* pas de changement dans les stocks de carbone de l'écosystème étudié.

Estimation des stocks de carbone contenus dans les différents écosystèmes

L'estimation des stocks de carbone a été faite grâce à une méthode d'estimation rapide développée par le LECA et EGIS. Elle repose sur des indicateurs simples à mesurer sur le terrain pour chacun des quatre compartiments d'un écosystème stockant du carbone. En milieu forestiers, il s'agit de la biomasse aérienne, de la biomasse souterraine, de la matière organique morte (bois mort au sol et litière) et du carbone organique du sol (sur les 45 premiers centimètres). Pour les milieux herbacés et les phragmitaies, il s'agit des biomasse aérienne et souterraine ainsi que du carbone organique du sol. Les méthodes détaillées pour les différents compartiments, excepté la biomasse des phragmitaies, sont présentées dans l'article de Bartholomé *et al.* (2018).

Résultats : les stocks de carbone dans les zones humides étudiées

Dans les ZH forestières, le stock de carbone (C), tous compartiments confondus, était deux fois supérieur au stock de C des ZH herbacées. Dans les premières, le stock de carbone était essentiellement réparti entre la fraction organique du sol (54% du stock total) et la biomasse aérienne (36%). La biomasse souterraine (9%), le bois mort (0,4%) et la litière (0,6%) ne représentaient qu'une part totale mineure (10% au total). Naturellement, l'importance du sol était encore plus marquée pour les ZH herbacées (prairies humides et roselières). Ainsi le sol des ZH herbacées non drainées contenait 87% de leur stock de carbone, la biomasse aérienne 4% et la biomasse souterraine 9%. Dans le cas des ZH herbacées drainées, 92% du stock total était contenu dans la fraction organique du sol alors que la biomasse aérienne ne contenait que 2% du stock total et la biomasse souterraine 5%.

La quantité de carbone stockée dans les trois compartiments des ZH herbacées n'était pas influencée significativement par le drainage ou la remise en eau (figure 3A). Le stock de carbone du sol n'était pas différent pour les trois types d'écosystèmes étudiés, c'est-à-dire que les changements de régime hydrique et les actions de gestion sur la biomasse aérienne (libre évolution/reforestation ou coupe à blanc/déforestation) ne paraissent pas affecter ce compartiment de stockage.

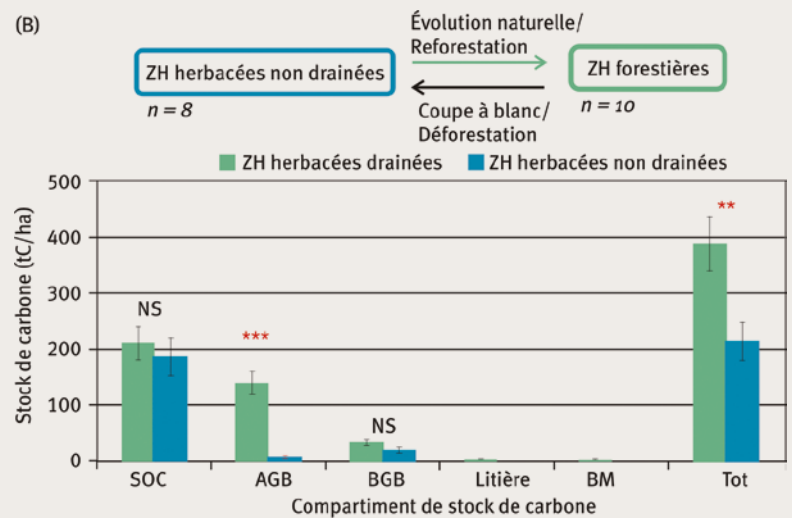
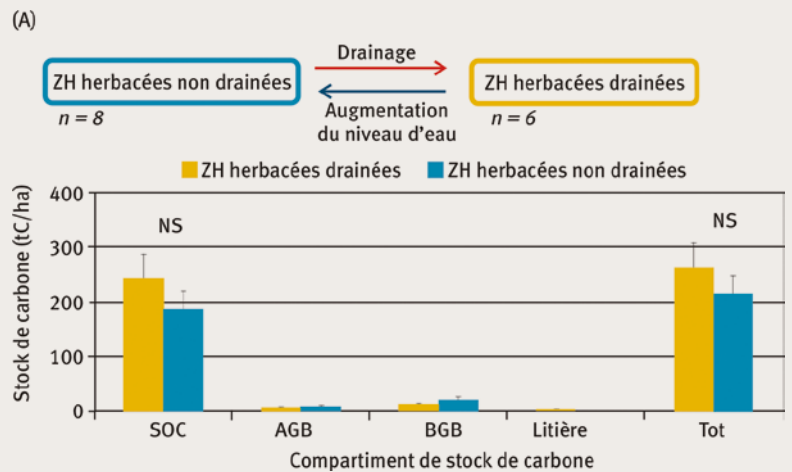
Par contre, la transition des ZH herbacées non drainées vers les ZH forestières favorisait le stockage de carbone dans la biomasse aérienne vivante (figure 3B). En outre, la présence des deux compartiments liés à la matière organique morte dans les ZH forestières (litière et bois

3 Comparaison des stocks de C par compartiment :

(A) ZH herbacées non drainées et drainées ;

(B) ZH herbacées non drainées et forestières.

Les résultats des comparaisons des stocks de C par compartiment sont indiqués au-dessus des barres correspondantes : les différences non significatives sont indiquées par « NS », les différences significatives par des étoiles rouges.



SOC : carbone organique du sol
 AGB : biomasse aérienne
 BGB : biomasse souterraine
 Lit : litière
 BM : bois mort
 Tot : stock de carbone total

► mort au sol), et donc absentes des ZH herbacées, pourrait participer à un stock de carbone total plus élevé dans les ZH forestières. La combinaison de ces deux facteurs explique que le stock de carbone était pratiquement le double dans les ZH forestières par rapport aux ZH herbacées étudiées (figure 5B), ce qui est cohérent avec les résultats de la littérature scientifique (GIECC, 2003, 2006).

Actions de gestion et stocks de carbone

L'importance du stock de carbone du sol

La comparaison des différents types de ZH souligne l'importance du carbone organique du sol qui représente plus de 50 % du stock de carbone pour les trois types de ZH étudiées, et ce seulement en considérant les 45 premiers centimètres du sol. Il s'agit d'un rôle connu, notamment dans les zones humides dont l'épaisseur des sols peut atteindre plusieurs mètres, et qui constitue ainsi un pôle majeur du stockage de carbone à l'échelle globale (Mitra *et al.*, 2005). Les stocks de carbone du sol des trois états comparés n'étaient pas différents, ce qui pourrait indiquer une absence d'effet des actions de gestion dont ils sont issus. En effet, contrairement à ce que l'on aurait pu attendre, les ZH herbacées drainées n'avaient pas un stock de carbone du sol inférieur à celles ne l'étant pas. Dans les ZH, la matière organique du sol est stockée dans des conditions anoxiques. Or, le drainage des ZH entraîne un passage du sol en conditions aérobie, les micro-organismes du sol décomposent alors la matière organique plus rapidement et donc le CO₂ est relâché sous forme de respiration (par exemple : voir Davidson, 1995). Ainsi, le drainage de tourbières est à l'origine d'une minéralisation du carbone organique du sol (Maltby et Immirzi, 1993). Également, le drainage considéré était d'intensité modérée. Il est possible qu'un drainage plus sévère, menant à une végétation non hydrophile, permette de détecter des différences dans les stocks de carbone organique du sol. La sensibilité de la méthode d'estimation des stocks de carbone n'était sans doute pas suffisante pour détecter des différences de stocks entre ces états peu différents. De plus, le temps de résidence du carbone organique dans le sol peut être de quelques jours dans sa fraction la plus labile jusqu'à plusieurs siècles dans sa fraction la plus stable. Les actions de gestion visent à augmenter la proportion de carbone organique stable du sol. Cette stabilité dépend de nombreux facteurs biotiques et abiotiques (Dignac *et al.*, 2017). Une méthode prenant en compte ces différentes fractions du sol qui peuvent être séparées selon différentes techniques (Saenger *et al.*, 2015) permettrait sans doute de détecter des différences de répartition de stocks entre les différents états des ZH. Enfin, intégrer une étude de la profondeur totale du sol organique, pouvant atteindre plusieurs mètres d'épaisseur, permettrait une estimation plus juste du stock du carbone organique du sol et, par conséquent, faciliterait sans doute la détection de différences entre les écosystèmes. Par ailleurs, les mesures ponctuelles ne permettent pas d'intégrer la dynamique temporelle du stockage du carbone, c'est-à-dire des flux de carbone entrant et sortant des différents états étudiés. Afin de détecter d'éventuels effets du drainage et des autres actions de gestion sur les stocks

de carbone d'un écosystème humide, il serait nécessaire de suivre les dynamiques du carbone après la mise en œuvre d'une action de gestion sur un même site, c'est-à-dire passer d'une étude synchronique à une étude diachronique. Une approche diachronique permettrait également de prendre en compte le fait que, la gestion étant souvent dépendante des types de sols, les parcelles drainées et les parcelles en eau puissent avoir des sols avec des propriétés différentes, par exemple la profondeur ou la texture.

Agir sur le compartiment du sol est assez complexe. En effet, le service de régulation du climat global repose à la fois sur des propriétés du sol sur lesquelles il est difficile d'agir, telles que sa texture et sa structure et sur des propriétés gérables telles que la teneur en matière organique ou en carbone ou la porosité du sol (Dominati *et al.*, 2014). Ceci permet des projets telle que l'initiative « 4 pour 1 000 » dont l'objectif serait d'augmenter le stockage de carbone de 4‰ (i.e. 0,4 %) dans les sols agricoles afin de limiter le changement climatique (Minasny *et al.*, 2017). Dans le cadre de cette démarche, il est question d'augmenter les entrées de carbone via des changements de pratiques agricoles. Cependant, constater les effets de telles mesures nécessite également un suivi à long terme avec des estimations régulières des stocks de carbone.

Actions de gestion et biomasse aérienne

Le changement de stock de carbone le plus marqué était l'augmentation observée du stock de la biomasse aérienne entre une ZH herbacée et une ZH forestière. En effet, la biomasse aérienne est un compartiment où des actions de gestion peuvent être plus aisées. Dans la perspective de favoriser la régulation du climat global dans les ZH étudiées, les deux mesures à considérer seraient de limiter la déforestation et l'ouverture du milieu. Cela pourrait susciter de l'intérêt pour certains écosystèmes, telles que les saussaies qui sont généralement fauchées afin de laisser des milieux ouverts, mais qui semblent stocker significativement plus de carbone que les milieux herbacés. Ces décisions mèneraient surtout à la fermeture de milieux, entrant en conflit avec les avantages que présentent les espaces humides ouverts pour leur biodiversité caractéristique, leur valeur patrimoniale et le rôle des milieux ouverts dans l'esthétique d'un paysage. Ceci souligne l'importance de ne pas focaliser la gestion sur un SE donné, mais plutôt d'en considérer plusieurs en parallèle – ce qu'on appelle un bouquet de SE, avant de prendre des décisions de gestion favorisant un SE au détriment de plusieurs autres (EFESE, 2017 ; Lavorel *et al.*, 2017).

Conclusion

Nous avons constaté que la principale action de gestion susceptible de fortement modifier à court terme les stocks de carbone dans les ZH étudiées était la libre évolution de milieux herbacés vers des milieux forestiers. Cette fermeture du milieu conduit en effet à une augmentation du carbone stocké dans la biomasse aérienne. L'utilisation de modèles d'états-et-transitions en combinaison avec des mesures de terrain semble une solution pertinente pour comprendre l'évolution d'un écosystème de long de trajectoires de gestion. La connaissance des



❶ À travers leur capacité à stocker le carbone, les zones humides – marais, tourbières, lacs... – et en particulier leur sol, contribuent activement à la régulation du climat.

© Richard (AdobeStock)

différents états et de la nature des transitions permet en effet de mesurer et suivre les changements du niveau de fourniture d'un ou plusieurs services écosystémiques. La comparaison du niveau de SE mesuré(s) sur des parcelles existantes permet de projeter ce que seraient les conséquences de décisions de gestion ou, plus largement, de changements d'utilisation des sols sur les écosystèmes étudiés. Cette approche pourrait trouver son utilité pour développer des plans de gestion ou d'aménagement du territoire, par exemple en cherchant à optimiser un bouquet de SE sélectionnés pour répondre à des normes environnementales et/ou à une forte demande locale pour ces SE. Cette approche trouverait également sa place dans le cadre de la restauration ou de la compensation dans l'application de la séquence ERC (« Éviter, Réduire, Compenser ») lors de la réalisation de projets d'aménagement. ■

Les auteurs

Océane BARTHOLOMÉE et Sandra LAVOREL

Laboratoire d'écologie alpine, LECA,
UMR UGA-USMB-CNRS 5553,
Université Grenoble Alpes,
CS 40700, 38058 Grenoble Cedex 9, France.
✉ oceane.bartholomee@univ-grenoble-alpes.fr
✉ sandra.lavorel@univ-grenoble-alpes.fr

Dorothée LABARRAQUE

EGIS, HELIOPOLE,
33-43 Avenue Georges Pompidou, BP 13115,
31131 Balma Cedex, France.
✉ dorothee.labarraque@egis.fr

Stéphanie GAUCHERAND

Université Grenoble Alpes, Irstea,
UR LESSEM, Centre de Grenoble,
2 rue de la Papeterie-BP 76,
F-38402 St-Martin-d'Hères, France.
✉ stephanie.gaucherand@irstea.fr

EN SAVOIR PLUS...

📖 BARTHOLOMÉE, O., GRIGULIS, K., COLACE, M.P., ARNOLDI, C., LAVOREL, S., Methodological uncertainties in estimating carbon storage in temperate forests and grassland, *Ecological Indicators*, n° 95, p. 331-342, disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.07.054>

📖 DIGNAC, M.-F., DERRIEN, D., BARRE, P., BAROT, S., CECILLON, L., CHENU, C., CHEVALLIER, T., FRESCHET, G.T., GARNIER, P., GUENET, B., HEDDE, M., KLUMPP, K., LASHERMES, G., MARON, P.-A., NUNAN, N., ROUMET, C., BASILE-DOELSCH, I., 2017, Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review, *Agronomy for sustainable development*, n° 37, 14, disponible sur : <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-017-0421-2#Notes> (consulté le 10/07/2018).

📖 GAYET, G., BAPTIST, F., BARAILLE, L., CAESSTEKER, P., CLEMENT, J.-C., GAILLARD J., GAUCHERAND, S., ISSELIN-NONDEDEU, F., POINSOT C., QUÉTIER, F., TOUROULT, J., BARNAUD, G., 2016, *Méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides – version 1.0. Fondements théoriques, scientifiques et techniques*, Onema, MNHN, 310 p., Rapport SPN 2016 – 91, disponible sur : <http://www.onema.fr/node/3981> (consulté le 10/07/2018).

📖 PUYDARRIEUX, P., BEYOU, W., BEAUFARON, G., BRULEY, E., DARSSES, O., DEVAUX, J., DEGEORGES P., J., FLORINA, C., KERVINIO, Y., SAPIJANSKAS, 2017, *L'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFESE) – Cadre Conceptuel*, Théma, FRB, 88 p., disponible sur : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/levaluation-francaise-des-ecosystemes-et-des-services-ecosystemiques> (consulté le 10/07/2018).

BIBLIOGRAPHIE COMPLÈTE

- BARNAUD, G., FUSTEC, É., 2007, *Conserver les milieux humides: pourquoi ? comment ?*, Éditions Quae, Éducagri, 230 p.
- BARTHOLOMÉE, O., GRIGULIS, K., COLACE, M.P., ARNOLDI, C., LAVOREL, S., Methodological uncertainties in estimating carbon storage in temperate forests and grassland, *Ecological Indicators*, n°95, p. 331-342, disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.07.054>
- BINO, G., SISSON, S.A., KINGSFORD, R.T., THOMAS, R.F., BOWEN, S., 2015, Developing state and transition models of floodplain vegetation dynamics as a tool for conservation decision-making: a case study of the Macquarie Marshes Ramsar wetland, *J. Appl. Ecol.*, n° 52, p. 654-664, disponible sur : <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12410>
- COLLOFF, M.J., LAVOREL, S., WISE, R.M., DUNLOP, M., OVERTON, I.C., WILLIAMS, K.J., 2016, Adaptation services of floodplains and wetlands under transformational climate change, *Ecol. Appl.*, n° 26, p. 1003-1017, disponible sur : <https://doi.org/10.1890/15-0848>
- DAVIDSON, E.A., 1995, Spatial covariation of soil organic carbon, clay content, and drainage class at a regional scale, *Landsc. Ecol.*, n° 10, p. 349-362, disponible sur : <https://doi.org/10.1007/BF00130212>
- DEVAUX, J., HELIER, A., 2018, *Les milieux humides et aquatiques continentaux*, EFSE, Théma, FRB, 246 p.
- DIEHL, K., BURKHARD, B., JACOB, K., 2016, Should the ecosystem services concept be used in European Commission impact assessment?, *Ecol. Indic.*, n° 61, p. 6-17, disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.07.013>
- DIGNAC, M.-F., DERRIEN, D., BARRE, P., BAROT, S., CECILLON, L., CHENU, C., CHEVALLIER, T., FRESCHET, G.T., GARNIER, P., GUENET, B., HEDDE, M., KLUMPP, K., LASHERMES, G., MARON, P.-A., NUNAN, N., ROUMET, C., BASILE-DOELSCH, I., 2017, Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review, *Agronomy for sustainable development*, n° 37, 14, disponible sur : <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-017-0421-2#Notes> (consulté le 10/07/2018).
- DOMINATI, E., MACKAY, A., GREEN, S., PATTERSON, M., 2014, A soil change-based methodology for the quantification and valuation of ecosystem services from agro-ecosystems: a case study of pastoral agriculture in New Zealand, *Ecological Economics*, n° 100, p. 119-129.
- GAYET, G., BAPTIST, F., BARAILLE, L., CAESTECKER, P., CLEMENT, J.-C., GAILLARD J., GAUCHERAND, S., ISSELIN-NONDEDEU, F., POINSOT C., QUÉTIÉ, F., TOUROULT, J., BARNAUD, G., 2016, *Méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides – version 1.0. Fondements théoriques, scientifiques et techniques*, Onema, MNHN, 310 p., Rapport SPN 2016 – 91, disponible sur : <http://www.onema.fr/node/3981> (consulté le 10/07/2018).
- GIEC, 2003, *Recommandations en matière de bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie*, Publié : IGES, Japon.
- GIEC, 2006, *Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, préparé par le Programme pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre*, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (eds), Publié : IGES, Japon.
- GIEC, 2014, *Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer], GIEC, Genève, Suisse, 161 p.
- LAVOREL, S., BIERRY, E., CROUZAT, E., 2016, Gestion intégrée des territoires par une approche par les réseaux de services, *Sciences, Eaux & Territoires*, Hors série n° 21, disponible sur : http://www.set-revue.fr/sites/default/files/articles/pdf/set-revue-gestion-territoires-reseaux-services_0.pdf
- MALTBY, E., IMMIRZI, P., 1993, Carbon dynamics in peatlands and other wetland soils regional and global perspectives, *Chemosphere*, n° 27, p. 999-1023. disponible sur : [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(93\)90065-D](https://doi.org/10.1016/0045-6535(93)90065-D)
- MITRA, S., WASSMANN, R., VLEK, P.L.G., 2005, An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock, *Curr. Sci.*, n° 88, p. 25-35.
- NELSON, D.W., SOMMERS, L.E., 1996, Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter, *Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods SSSA Book Series n° 5*, p. 961-1010, disponible sur : <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34>
- PUYDARRIEUX, P., BEYOU, W., BEAUFARON, G., BRULEY, E., DARSEZ, O., DEVAUX, J., DEGEORGES P., J., FLORINA, C., KERVINIO, Y., SAPIJANSKAS, 2017, *L'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFSE) – Cadre Conceptuel*, Théma, FRB, 88 p., disponible sur : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/evaluation-francaise-des-ecosystemes-et-des-services-ecosystemiques> (consulté le 10/07/2018).
- SAENGER, A., CÉCILLON, L., POULENARD, J., BUREAU, F., DE DANIELI, S., GONZALEZ, J.-M., BRUN, J.-J., 2015, Surveying the carbon pools of mountain soils: A comparison of physical fractionation and Rock-Eval pyrolysis, *Geoderma*, n° 241-242, p. 279-288.