

ForestFlow - Impacts du régime des précipitations (actuel et futur) sur les flux de carbone dissous et gazeux en forêts matures

WP1 Caractérisation hydrologique

Le projet a réalisé une caractérisation hydrologique détaillée dans deux sites ICOS belges : Brasschaat (peuplement de pin sylvestre) et Vielsalm (mélange de hêtres, de sapins et de Douglas). Les caractéristiques physiques pertinentes pour la modélisation de l'impact hydrologique ont été évaluées à deux échelles spatiales : les zones locales où un échantillonnage détaillé a été effectué sur chaque site ICOS, et l'échelle du bassin versant à une résolution plus grossière. L'analyse sur site ICOS a permis de coupler directement l'analyse de la phénologie et de la biogéochimie aux flux hydrologiques. Ces caractéristiques biophysiques ont ensuite été combinées avec des analyses avancées de séries chronologiques hydrologiques, afin d'évaluer les caractéristiques hydrologiques des bassins versants et des sites d'échantillonnage spécifiques.

WP2 and WP3: Biogéochimie et phénologie des arbres comme médiateur des flux d'eau du sol

Afin de quantifier l'exportation de Carbone Organique Dissous (COD) de la station ICOS de Brasschaat, nous avons comme premier objectif d'adapter le design structurel de l'échantillonneur iFLUX® pour lui permettre de mesurer les flux verticaux plutôt que horizontaux dans un environnement non saturé. Malheureusement, l'adaptation de l'échantillonneur iFLUX® n'a pas réussi, et pour cette raison, l'objectif méthodologique de cette étude a été révisé, passant de l'adaptation de l'échantillonneur iFLUX® à la création et à la conception d'un lysimètre à tension zéro (ZTL). L'échantillonneur conçu a reçu le nom de Zero Tension Lysimeter (ZTL3D) et a été créé par Selective Laser Sintering (SLS) en utilisant du Nylon 12. En raison de la sécheresse excessive de 2018-2019 et des problèmes initiaux liés à la conception de l'échantillonneur, nous avons opté pour une approche expérimentale, plutôt que pour une approche observationnelle comme le prévoyait la proposition. Des expériences d'irrigation extensive sur le terrain par simulation de pluie ont été réalisées. Les résultats montrent un rôle non négligeable du COD dans les bilans carbone du site. Les flux de COD plus élevés dans les couches plus profondes du sol ont également une importance écologique. En transférant le COD vers des couches plus profondes où la décomposition est plus lente, le piégeage à long terme du carbone dans les sous-sols pourrait augmenter, mais le contraire peut également se produire : l'apport accru de COD stimule l'activité des décomposeurs, ce qui entraîne une décomposition accrue de MOS (du sous-sol et donc des pertes nettes de MOS (matière organique du sol)).

Les résultats confirment l'importance du COD en tant que flux non négligeable de carbone circulant des écosystèmes terrestres vers les rivières et les océans. Les augmentations des apports de COD dues à des événements pluvieux extrêmes entraîneront des augmentations des flux latéraux qui affecteront la biogéochimie et l'écologie. L'impact écologique de l'augmentation des flux de COD due à l'aggravation des précipitations extrêmes n'a - à notre connaissance - jamais été évalué auparavant.

WP4: Modélisation hydrologique

Pour la modélisation hydrologique des deux zones d'étude, une nouvelle approche de modélisation hydrologique a été mise en œuvre et appliquée, afin d'investiguer l'impact hydrologique. Un modèle de captage spatialement distribué a été développé. Une attention particulière a été accordée à la modélisation des conditions changeantes dans le temps, y

compris les états de surface et de sol extrêmement humides et secs. Le modèle hydrologique a été étendu avec un modèle de carbone basé sur deux sous-modules principaux : un pour la modélisation du carbone organique du sol (COS) et un pour l'estimation du carbone organique dissous (COD). Nous avons considéré les processus de production et de décomposition du COS et du COD, ainsi que le lessivage du COD. Le couplage avec le module d'humidité du sol basé sur Aquacrop a été effectué, en tenant compte de la distribution verticale de l'humidité du sol et du drainage. Cette approche a permis une certaine flexibilité, à la fois dans la résolution spatiale et dans la structure du modèle (en termes de processus). Le carbone organique du sol a été simulé sur la base du schéma RothC, et le COD a été simulé sur la base de la conceptualisation JULES-DOCM et ORCHIDEE-SOM. Les processus de production et de décomposition du COS et du COD, ainsi que la lixiviation du COD, ont été considérés par couche définie par l'utilisateur. La dynamique du carbone a été simulée jusqu'à 2 m de profondeur, en considérant les données globalement disponibles par profondeur telles que la texture du sol et la distribution des racines. Le modèle ne comprend pas de modèle de végétation dynamique, mais tient compte de la distribution saisonnière et verticale des résidus végétaux sur la base des valeurs de la littérature. Les résultats préliminaires ont montré que les modèles spatiaux de COS, dont le COD est dérivé, sont en accord avec les modèles de COS observés pour les cartes régionales et globales, telles que SoilGrids. En outre, les résultats pour Brasschaat ont montré que l'ampleur et la distribution saisonnière de la respiration hétérotrophe, de l'évapotranspiration réelle et, dans une certaine mesure, de l'humidité du sol sont conformes aux observations sur le terrain.

WP5: Analyse des scénarios climatiques

Les régimes et extrêmes de précipitations sont sujets à des changements à l'échelle régionale belge dans le contexte du changement climatique mondial. Les changements de fréquence, durée et intensité des extrêmes, comme les sécheresses et les événements pluvieux extrêmes, sont un sujet d'intérêt particulier. En vue de comprendre ces changements de régimes et d'élaborer des mesures de mitigation, il est particulièrement pertinent d'étudier les interactions entre les changements à larges échelles et les aspects régionaux au sein de modèles couplés "systèmes terre régionaux", dans lesquels les effets de feed-back peuvent être estimés. Au préalable de la mise en place de ces modèles climatiques couplés, il est primordial d'évaluer l'incertitude des modèles à coupler et d'estimer la validité des scénarios futurs. Cette étape est essentielle: la qualité du modèle climatique se propage dans celle des modèles d'impacts utilisés en aval. Pour le climat, deux modèles utilisés à l'IRM sont évalués: le modèle ALARO-0 et le schéma de surface SURFEX v8, une version améliorée du schéma utilisé à l'IRM, qui tient compte du cycle du carbone et du développement de la végétation. En ce qui concerne ALARO-0, les variables utilisées par les modèles de surface et hydrologiques (rayonnement solaire global, vitesse du vent, température de l'air et précipitation) se comparent très bien aux observations au sol, avec une plus grande incertitude sur les cumuls annuels. Une bonne consistance est aussi obtenue entre les simulations à partir de forçages différents à large échelle sur les 40 dernières années. Ceci implique qu'une correction systématique de biais ne semble pas nécessaire pour leur utilisation dans les modèles de surface/hydrologiques ou en utilisant les scénarios futurs générés par ces modèles. Pour SURFEX v8, des composantes issues des simulations locales sur les sites d'intérêt ont été comparées à des produits satellitaires. Les composantes du cycle de l'eau sont bien simulées aux sites et peuvent être utilisées directement. Des composantes du cycle du carbone, comme des paramètres structuraux de végétation (indice foliaire) et le GPP, présentent eux une différence de phase temporelle, qui indique que des adaptations de modèles et/ou des corrections pourraient être nécessaires avant que ces variables soient utilisées par des modèles d'impacts ou en modèles couplés. L'affectation du sol est une autre information d'entrée à laquelle sont sensibles les modèles climatiques et les schémas de surface. Les

changements d'affectation peuvent avoir un effet accru sur la modélisation à haute résolution des cycles de l'eau et du carbone à l'échelle régionale. Ainsi, comme des cartes plus précises et évoluant dans le temps (passé et futur) peuvent être nécessaires, une liste des cartes couvrant la Belgique et utiles pour les simulations du climat régional a été dressée, et une équivalence a été élaborée afin de les rendre compatibles avec SURFEX pour des simulations ultérieures.

Conclusion générale

L'importance relative de l'exportation de carbone organique dissout et gazeux en forêts sous différents régimes de précipitations reste largement inexplorée, en partie à cause des contraintes techniques pour mesurer avec précision les flux d'exportation dissous, et en partie parce que les infrastructures de recherche actuelles focalisent leurs recherches sur les bilans de gaz à effet de serre. Forestflow visait à :

- Quantifier l'exportation de carbone organique dissout des forêts de feuillus et de conifères, et par là même rapprocher les bilans de carbone des écosystèmes dans deux sites ICOS belges.
- Quantifier la saisonnalité de l'exportation de carbone dissout par rapport à l'exportation de carbone gazeux des forêts : la phénologie des arbres et le régime des pluies sont supposés être les principaux facteurs de contrôle.
- Déterminer si les changements dans l'exportation du carbone gazeux par rapport au carbone dissout se produisent pendant les événements pluvieux et une sécheresse persistante.
- Modéliser les modifications futures du bilan du carbone forestier, en mettant en œuvre les résultats dans des modèles couplés de climat, d'hydrologie et de biogéochimie des écosystèmes forestiers.

ForestFlow n'a pas été en mesure de relever tous les défis décrits ci-dessus. L'échantillonneur IFlux s'est avéré ne pas être capable, à ce jour, de fonctionner comme prévu dans des conditions de sol non saturé. Le temps nécessaire pour redévelopper l'échantillonneur n'étant pas disponible, il a été décidé de développer de nouveaux lysimètres imprimés en 3D. Les avancées méthodologiques ont permis d'évaluer pour la première fois les flux de COD lors de précipitations extrêmes. Ces avancées se sont également avérées précieuses pour d'autres chercheurs, et un article méthodologique a été publié. Les résultats montrent clairement que les estimations actuelles de l'exportation de COD à partir des sols forestiers, basées sur des conditions météorologiques " normales ", ne peuvent pas être maintenues dans les régimes climatiques futurs. Lors d'un seul événement pluvieux extrême, l'exportation journalière de COD est plus élevée que les estimations de l'exportation mensuelle de COD du sous-sol basées sur des études antérieures. Malgré les défis majeurs auxquels nous avons été confrontés (sécheresses extrêmes, COVID-19 et nécessité inattendue de développer un nouvel échantillonneur), les résultats de ForestFlow indiquent clairement que les modifications des flux de COD pourraient être cruciaux pour le bilan carbone des forêts, en faisant potentiellement passer le stockage dans le sol d'un puits net à une source nette de carbone.

En raison de la complexité de l'obtention des données sur les flux de COD sur le terrain, le couplage complet avec la modélisation hydrologique, tant à l'échelle locale qu'à celle du bassin, n'a pas encore été pleinement développé. Néanmoins, un modèle hydrologique fonctionnel pour les deux sites ICOS a été développé, et un modèle couplé de flux de COD est maintenant disponible. De même, pour la modélisation régionale, essentielle au couplage avec les scénarios de précipitations du GIEC, les principales adaptations nécessaires ont été apportées au modèle climatique ALARO-0 et au modèle de surface terrestre SURFEX v8. Les composantes du cycle de l'eau ont été bien simulées sur les sites et ont pu être utilisées directement, tandis que les composantes du cycle du carbone, comme les paramètres

structurels des feuilles (indice de surface foliaire) et la production primaire brute, ont tendance à être décalées dans le temps et peuvent nécessiter des adaptations et/ou des corrections du modèle avant d'être utilisées dans les modèles régionaux du système terrestre.

Keywords

Forêts ; exportation de carbone dissous ; climat futur ; événements pluvieux extrêmes ; lysimètre de sol.