



© Frederic Rees

## Simuler en 3D la dynamique de rhizodéposition du carbone dans le sol

La rhizodéposition, c'est-à-dire la libération de matières organiques par les racines au cours de leur vie, joue un rôle clé dans la séquestration de carbone dans le sol et l'adaptation des plantes à leur environnement. Cependant, la dynamique spatiale et temporelle de la rhizodéposition reste mal comprise. Pour mieux la caractériser et identifier les principaux facteurs qui l'influencent, nous avons développé un modèle capable de simuler la croissance racinaire en 3D, la respiration et la rhizodéposition, en tenant compte de la circulation et de l'utilisation du carbone dans les racines, de leur architecture et de leur anatomie (*RhizoDep*). Nos simulations sur du blé de printemps révèlent que le carbone rhizodéposé provient essentiellement de l'exsudation racinaire, alors que la sécrétion de mucilage et la libération des cellules de la coiffe des racines n'y contribuent que marginalement. La distribution du flux d'exsudation le long des racines est conditionnée par le déchargement préférentiel de sucres pour soutenir l'élongation racinaire et l'émergence de racines, mais est aussi modulée par l'étanchéité des barrières qui régulent les flux d'eau entre l'intérieur et l'extérieur des racines. Nos résultats montrent également que, pour un flux de carbone alloué aux racines donné, le nombre de poils absorbants ou de racines latérales influence peu la rhizodéposition, alors que la densité de tissu racinaire a un impact très significatif. *RhizoDep* offre ainsi une nouvelle opportunité d'explorer la dynamique des échanges à l'interface plante-sol et d'identifier les traits et les conditions environnementales qui favorisent la rhizodéposition.

### CONTEXTE ET ENJEUX

La rhizodéposition, c'est-à-dire le transfert de matières organiques des racines vers le sol au cours de leur vie, favoriserait la séquestration du carbone dans les sols et l'adaptation des plantes à leur environnement. Cependant, l'évolution de la quantité et de la qualité des rhizodépôts en fonction du stade de croissance d'une espèce donnée ou de la profondeur dans le sol reste très mal comprise.

### RÉSULTATS

Pour mieux hiérarchiser les facteurs influençant l'évolution spatiale et temporelle des flux de rhizodéposition, nous avons développé un nouveau modèle, *RhizoDep*, qui simule la croissance des racines en 3D, leur respiration et leur rhizodéposition en fonction d'un bilan en carbone réalisé en tout point du système racinaire.

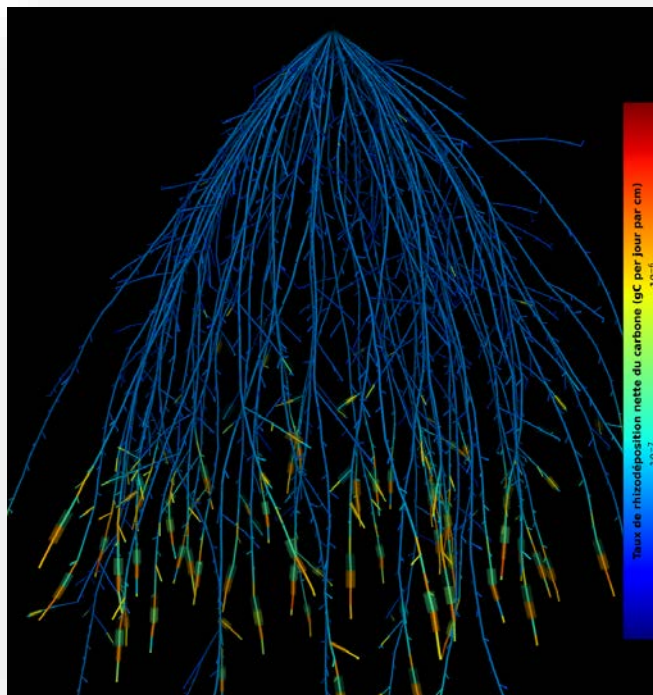


Poils racinaires observés le long de racines de blé en rhizotron © Frédéric Rees

Ce modèle intègre ainsi la circulation et l'échange de différentes formes de carbone, en interaction avec l'évolution de l'architecture et de l'anatomie des racines.

En prenant le cas d'une culture de blé de printemps, la croissance racinaire et les flux de carbone respiré et rhizodéposé simulés par ce nouveau modèle apparaissent très proches de résultats expérimentaux obtenus au champ. *RhizoDep* montre que la rhizodéposition du carbone est très majoritairement dominée par l'exsudation racinaire, tandis que la sécrétion de mucilage et la libération des cellules de la coiffe aux extrémités racinaires représentent moins de 2% du carbone rhizodéposé. Ceci suggère qu'à l'échelle d'une plante entière, la quantité de carbone total rhizodéposé peut s'approcher à partir du carbone soluble exsudé en solution, plus facilement mesurable.

Les simulations révèlent l'existence de deux « hotspots » d'exsudation le long d'une racine donnée, l'un correspondant à la zone d'élongation racinaire et l'autre à la zone d'émergence d'une racine latérale. Ces deux zones se caractérisent par un déchargement élevé de sucres depuis le phloème racinaire pour soutenir la croissance racinaire, mais aussi par une perméabilité accrue des barrières qui limitent habituellement les échanges d'eau et de solutés avec le sol. Notre approche permet aussi de hiérarchiser les traits ayant le plus d'influence sur la rhizodéposition. Ainsi, pour un même flux de carbone alloué par les parties aériennes aux racines, la densité de poils absorbants ou de racines latérales n'influence que très peu la quantité totale rhizodéposée, alors qu'une augmentation de la densité de tissu racinaire moyenne conduit à une diminution marquée de la rhizodéposition, reflétant un compromis entre production de biomasse racinaire et rhizodéposition.



Distribution du flux d'exsudation de sucres le long des racines d'une plante de blé de printemps âgée d'environ trois mois, simulée par le modèle *RhizoDep*. Les conditions de croissance correspondent à un essai au champ mené précédemment aux Pays-Bas (Swinnen et al., 1994), qui a servi à valider le modèle en terme de biomasse racinaire produite, de respiration racinaire et de rhizodéposition.

© Frédéric Rees, INRAE

## PERSPECTIVES

Le modèle *RhizoDep* permet de mieux comprendre la dynamique de rhizodéposition, mais également de tester *in silico* l'influence de différents traits et conditions environnementales sur le bilan en carbone de la plante et ses conséquences sur le sol. Nous travaillons actuellement sur l'intégration de *RhizoDep* au sein d'un modèle de plante entière simulant les dynamiques couplées du carbone, de l'azote et de l'eau, qui permettra en particulier d'explorer les variations de la croissance racinaire et de la rhizodéposition en réponse à des stress hydriques ou nutritifs.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- > Frédéric Rees, Tristan Gérard, Marion Gauthier, Romain Barillot, Céline Richard-Molard, Alexandra Jullien, Claire Chenu, Christophe Pradal, Bruno Andrieu. 2025. Deciphering spatiotemporal patterns of rhizodeposition with a functional-structural root model: *RhizoDep*. *Plant and Soil*, 516, 777-795. <https://doi.org/10.1007/s11104-025-07766-z>

## VALORISATION

Ces travaux ont fait l'objet en 2025 de la publication en libre accès i) d'un article scientifique au sein de la revue *Plant and Soil* et ii) du code source du modèle sur GitHub (<https://github.com/openalea/rhizodep>).



Contact : Frédéric Rees

Unité : UMR ECOSYS

Département : AgroEcoSystem

Centre INRAE : Ile-de-France - Versailles-Saclay

Mots clés : Exsudation racinaire, Mucilage, Cellules de la coiffe racinaire, Poils racinaires, FSPM, Architecture racinaire, ArchiSimple, OpenAlea