

## Vers un cadre méthodologique commun pour l'échantillonnage, l'extraction et l'analyse isotopique de l'eau dans la zone critique afin d'étudier l'utilisation de l'eau par la végétation

L'analyse de la composition isotopique stable de l'hydrogène et de l'oxygène dans des échantillons d'eau provenant de sols et de plantes peut aider à identifier les sources d'absorption d'eau par la végétation. Cette approche exige que la nature hétérogène des matrices végétales et pédologiques soit soigneusement prise en compte lors de la conception de l'expérience, de la collecte des échantillons, de l'extraction de l'eau et des analyses. La comparabilité et les lacunes des différentes méthodes d'extraction de l'eau et d'analyse de la composition isotopique ont été discutées dans la littérature spécialisée. Cependant, malgré des comparaisons perspicaces des méthodes d'extraction et des méthodologies d'étalonnage des laboratoires du monde entier, la communauté manque toujours d'une feuille de route pour guider la collecte des échantillons, l'extraction et les analyses isotopiques, et de nombreuses questions pratiques pour les utilisateurs potentiels restent en suspens : par exemple, quel(s) réservoir(s) d'eau (sol ou plante) l'eau extraite représente-t-elle ? Ces questions constituent un obstacle à la mise en œuvre de l'approche par les nouveaux venus. Nous résumons ici les discussions menées dans le cadre de l'action COST WATSON ("WATER isotopeS in the critical zONE : from groundwater recharge to plant transpiration"-CA19120). Nous fournissons des lignes directrices pour (1) l'échantillonnage du sol et du matériel végétal pour l'analyse isotopique, (2) les méthodes d'extraction de l'eau en laboratoire ou in situ, et (3) les mesures de la composition isotopique. Nous soulignons l'importance de considérer la chaîne de processus dans son ensemble, de la conception expérimentale à l'analyse isotopique, afin de minimiser les estimations biaisées de la contribution relative des différentes sources d'eau à l'absorption d'eau par les plantes. Nous concluons en reconnaissant certaines des limites de cette méthodologie et en donnant des conseils sur la collecte de paramètres environnementaux clés avant la collecte d'échantillons pour les analyses isotopiques.

## Utilisation d'isotopes stables pour la gestion des ressources en eau dans les écosystèmes forestiers et agricoles

Les tendances climatiques actuelles et futures devraient modifier sensiblement les flux et les réserves d'eau dans le cycle hydrologique. En outre, la demande en eau continue de croître en raison de l'augmentation de l'utilisation humaine et de l'accroissement de la population. La gestion durable des ressources en eau nécessite une compréhension approfondie du stockage et de l'écoulement de l'eau dans les écosystèmes naturels, agricoles et urbains. Les mesures des isotopes stables de l'eau (hydrogène et oxygène) dans le cycle de l'eau (atmosphère, sols, plantes, eaux de surface et eaux souterraines) peuvent fournir des informations sur les voies de transport, l'origine, la dynamique, l'âge et les réservoirs de stockage de l'eau qu'il est difficile d'obtenir avec d'autres techniques. Cependant, le potentiel de ces techniques pour des questions pratiques n'a pas encore été pleinement exploité. Nous décrivons ici les avantages et les limites des applications potentielles des méthodes des isotopes stables utiles aux gestionnaires de l'eau, aux agriculteurs et à d'autres parties prenantes. Nous décrivons également plusieurs études de cas démontrant comment les isotopes stables de l'eau peuvent soutenir la prise de décision en matière de gestion de l'eau. Enfin, nous proposons un flux de travail qui guide les utilisateurs à travers une séquence de décisions nécessaires pour appliquer les méthodes des isotopes stables à des exemples de problèmes de gestion de l'eau. Nous appelons à un dialogue permanent et à un renforcement des liens entre les acteurs de la gestion de l'eau et les praticiens des isotopes stables de l'eau afin d'identifier les problèmes les plus urgents et de développer des lignes directrices sur les meilleures pratiques pour l'application de ces techniques.

## Données isotopiques de l'eau du sol et du xylème des tiges provenant de deux campagnes d'échantillonnage paneuropéennes

Les rapports isotopiques stables de l'hydrogène ( $\delta^2\text{H}$ ) et de l'oxygène ( $\delta^{18}\text{O}$ ) sont essentiels pour étudier la dynamique écohydrologique des forêts. Cependant, la plupart des études se limitent à des sites uniques, ce qui entraîne un manque de données isotopiques à grande échelle pour comprendre l'absorption d'eau par les arbres. Nous présentons ici un premier ensemble systématique de données isotopiques sur l'eau du sol et du xylème des tiges, recueillies au cours de deux campagnes d'échantillonnage paneuropéennes sur 40 sites de forêts de hêtres (*Fagus sylvatica*), d'épicéas (*Picea abies*) ou de forêts mixtes de hêtres et d'épicéas au printemps et à l'été 2023 (Lehmann et al., 2024). L'ensemble de données est complété par des métadonnées supplémentaires spécifiques au site, au sol et à l'arbre. Les échantillons et les métadonnées ont été collectés par différents chercheurs à travers l'Europe selon un protocole standardisé. Des échantillons de sol ont été prélevés à cinq profondeurs (de 0 à 90 cm) et des échantillons de xylème de tige ont été prélevés sur trois hêtres et/ou épicéas par site. Tous les échantillons ont été envoyés à un seul laboratoire, où tous les travaux d'analyse ont été effectués. L'eau a été extraite par distillation cryogénique sous vide et analysée à l'aide d'un spectromètre laser isotopique. En outre, un sous-ensemble d'échantillons a été analysé à l'aide d'un spectromètre de masse à rapport isotopique. Les contrôles de qualité des données ont révélé une efficacité d'extraction totale moyenne élevée, une quantité d'eau absolue moyenne ( $> 1$  ml), ainsi qu'une exactitude et une précision analytiques élevées. La signature isotopique de l'eau du sol et du xylème des tiges varie en fonction de l'origine géographique et passe du printemps à l'été sur tous les sites. Alors que les valeurs  $\delta^2\text{H}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  étaient fortement corrélées, les données relatives à l'eau du sol étaient plus proches de la ligne des eaux météoriques mondiales (GMWL) que l'eau du xylème des tiges. Plus précisément, les valeurs  $\delta^2\text{H}$  du xylème de la tige étaient plus enrichies que celles de l'eau du sol, ce qui a entraîné un écart systématique par rapport à la GMWL. L'enrichissement isotopique de l'eau du xylème de la tige était plus important pour les épicéas que pour les hêtres dans les forêts mixtes. Cet ensemble de données est particulièrement utile pour les études à grande échelle sur l'utilisation de l'eau par les plantes, les tests de modèles écohydrologiques et la cartographie isotopique à travers l'Europe.

## Progrès récents dans la modélisation des flux d'eau dans la zone critique à l'aide de traceurs

La zone critique est la couche de la surface terrestre où l'air, l'eau, les plantes, le sol et les roches interagissent. Il est essentiel de comprendre comment l'eau se déplace dans cette zone pour gérer les ressources en eau et maintenir des écosystèmes sains, d'autant plus que les conditions risquent de changer à l'avenir. Les chercheurs étudient le mouvement de l'eau dans la zone critique en utilisant des modèles de mélange assistés par des traceurs. Ces modèles utilisent des modèles combinés à des marqueurs naturels, appelés "traceurs", pour suivre la trajectoire de l'eau lorsqu'elle se déplace des précipitations dans le sol et jusqu'aux aquifères profonds. Cette revue met en lumière les progrès récents de ces modèles assistés par traceurs et la manière dont ils améliorent notre compréhension de l'écoulement de l'eau dans la zone critique.