

1. Nous avons vu, dans la première partie, les objectifs et le contexte de la formation théorique, ainsi que la préparation de la répartition spatiale des sondages de sol à réaliser sur le terrain. Dans la seconde partie, nous avons vu comment réaliser et décrire des sondages de sol sur le terrain. La troisième partie, que nous allons aborder maintenant, explique pourquoi et comment réaliser un diagnostic de sensibilité des sols à l'export des menus bois. Par menu bois, il est entendu branches dont le diamètre est inférieur à 7 cm.
2. Bienvenue dans la troisième partie de cette formation théorique. Elle comprend 3 sous-parties. La première sous-partie décrira le fonctionnement biogéochimique de l'écosystème forestier. La deuxième expliquera pourquoi il est important de réaliser un diagnostic de sensibilité à l'export des menus bois et comment le réaliser. Enfin la dernière sous-partie présentera la façon d'interpréter les résultats de ce diagnostic.
3. Cette première sous-partie explique le fonctionnement biogéochimique des écosystèmes forestiers et notamment comment la forêt s'est adaptée à des sols souvent pauvres en éléments nutritifs.
4. L'arbre élabore ses sucres à partir du CO₂ atmosphérique via la photosynthèse mais a également besoin d'éléments minéraux majoritairement puisés dans le sol. Les apports d'éléments nutritifs ont principalement lieu via les dépôts atmosphériques et l'altération du matériau parental. Les pertes d'éléments nutritifs sont surtout liées au drainage et aux exports de biomasse. Les éléments minéraux sont stockés de manière réversible dans le sol grâce aux charges électriques négatives des matières organiques et des argiles notamment. Un cycle interne des éléments permet un stockage temporaire supplémentaire au sein de l'écosystème forestier.
5. Les éléments minéraux sont stockés dans le sol, sous forme d'ions, grâce aux interactions avec les charges électriques négatives des matières organiques et des argiles notamment, comme illustré sur la figure de droite qui représente ce que l'on appelle communément le complexe argilo-humique ou complexe organo-minéral, une composante essentielle de la fertilité chimique des sols. Les principaux éléments nutritifs sont l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium. Concernant **l'azote**, seuls quelques végétaux vivant en symbiose au niveau racinaire avec des bactéries fixatrices de l'azote de l'air, tels que les fabacées, ou avec des champignons actinomycètes ayant le même pouvoir, tels que les aulnes, sont capables de tirer parti de l'azote atmosphérique. Pour les autres végétaux, les matières organiques représentent une source plus ou moins importante d'azote, en fonction de sa composition et de la vitesse de minéralisation. L'azote est indispensable à la synthèse des acides aminés, c'est le constituant principal des protéines. Il est absorbé surtout sous forme nitrique (NO₃), et secondairement sous

forme ammoniacale (NH₄). Concernant le **phosphore**, il provient essentiellement des matières organiques. C'est un constituant des protéines phosphorées. Il favorise le métabolisme des sucres. C'est un transporteur d'énergie (notamment dans la photosynthèse). Le phosphore est absorbé aux particules de sol, c'est-à-dire lié aux particules de sol par des interactions électriques, sous forme de phosphate (PO₄). Le **potassium** provient presque entièrement du matériau parental. Il régule la croissance de la plante (abondant dans les tissus jeunes). Il est nécessaire à la photosynthèse et à la fabrication des protéines. Il limite la transpiration. Son excès ou sa carence favorisent le parasitisme. Le **Calcium** provient du matériau parental et des matières organiques. C'est un constituant très important pour les plantes, et notamment des membranes cellulaires. Le **Magnésium** : provient du matériau parental, notamment de la dolomie (carbonate double de calcium et de magnésium), et des matières organiques. C'est un constituant de la chlorophylle, il participe à la synthèse des protéines, favorise la fécondation et la formation des fruits et des graines ainsi que la migration du phosphore vers ces organes, il augmente la turgescence des tissus, il élève la teneur en vitamines A et C.

6. La nutrition minérale des peuplements forestiers dépend des apports d'éléments nutritifs via les dépôts atmosphériques et l'altération du matériau parental, les flèches bleues sur le schéma illustrent ces sources d'éléments nutritifs avec des plages de flux mesurés pour 3 des éléments nutritifs majeurs sous des hêtraies françaises. Les éléments sont ensuite stockés de manière plus ou moins temporaire dans le sol et la végétation. En noir sur le schéma sont les stocks mesurés dans le sol correspondant aux éléments sous une forme assimilable pour les plantes. Les départs d'éléments nutritifs sont plus ou moins évitables, ils sont illustrés en rouge sur le schéma. Les pertes par drainage peuvent être élevées, notamment sur les sols bien pourvus, mais ne sont pas contrôlables. Par contre, il est possible de raisonner les récoltes de biomasse qui représentent également une perte d'éléments nutritifs pour l'écosystème. On voit sur ce schéma que les apports et les départs d'éléments nutritifs, hors exportation de biomasse, sont faibles. Cet état est lié à un long historique qui a fortement contribué à l'appauvrissement des sols forestiers. La sélection des terres les plus fertiles pour les cultures a laissé des sols contraignants aux forestiers et de nombreuses pratiques anciennes ont eu tendance à appauvrir les sols forestiers comme le soutrage, c'est-à-dire la récolte de la couche superficielle du sol et de la végétation qui la couvre occasionnant un transfert de fertilité souvent au profit des sols agricoles ou leur surexploitation jusqu'au 19^{ième} siècle. L'écosystème forestier n'est, de plus, quasiment jamais fertilisé ou amendé. Pourtant les quantités de biomasse végétale produites sont importantes et s'expliquent par le cycle d'origine biologique des éléments nutritifs. Ce cycle correspond à la flèche verte sur le schéma qui va de la racine aux tissus actifs puis, via les chutes de feuillage, retourne au sol où les organismes vivants vont décomposer les matières organiques et rendre à nouveau disponible les éléments prélevés par l'arbre. Par exemple 90% du K prélevé par l'arbre retourne au sol via ce cycle d'origine biologique.
7. Voici quelques chiffres illustrant l'importance du recyclage biologique des éléments nutritifs en écosystèmes forestiers. Ces chiffres sont issus de mesures réalisées sur

plusieurs années sur le site expérimental forestier de Breuil dans le Morvan à 650 m d'altitude sur sol modérément acide issu de granite. Quand on compare les quantités de magnésium ou de calcium immobilisées annuellement dans la biomasse, 1 à 2 kg/ha pour le Mg et 5 à 6 kg/ha pour le Ca, à celles contenues dans le sol, respectivement 33 et 61 kg/ha pour le Mg et le Ca, on s'aperçoit rapidement que le système ne serait pas durable si les éléments nutritifs provenaient uniquement du sol et qu'ils étaient tous exportés lors des récoltes de biomasse par arbres entiers. Les retours annuels au sol via les chutes de litière constituent une quantité importante d'éléments nutritifs et, pour un peuplement adulte, sont mêmes supérieurs aux prélèvements annuels.

8. Comme rappel sur la détermination des formes d'humus, nous vous proposons maintenant de regarder la vidéo 11.
9. Les sols les plus riches en éléments nutritifs, ont des formes d'humus de type mull. L'intense activité biologique conduit à une minéralisation rapide de la matière organique, et les éléments sont rapidement restitués au sol. Le stock d'éléments nutritifs dans les horizons O y est donc limité par rapport à celui du sol. Les sols les plus pauvres en éléments nutritifs, ont des formes d'humus de type moder ou mor. La faible activité biologique conduit à une minéralisation lente de la matière organique qui s'accumule dans les litières. Le stock d'éléments nutritifs dans les horizons O est donc supérieur à celui du sol. Le stock global d'éléments nutritifs est plus faible que pour les formes d'humus de type mull et est plus sensible aux aléas et perturbations car restreint aux couches de surface.
10. Les tissus actifs des arbres sont les plus concentrés en éléments nutritifs. A gauche nous voyons l'exemple de la concentration en phosphore dans les différents compartiments végétaux du pin maritime, on trouve 2,3 fois plus de phosphore dans les aiguilles que dans les branches et 7,6 fois plus dans les aiguilles que dans le bois. Ce gradient de concentration est identique pour tous les éléments nutritifs et quelle que soit l'essence, seules les valeurs absolues changent. Dans le même ordre d'idée, les bois de diamètre inférieur à 7cm sont beaucoup plus riches en éléments nutritifs que les bois de diamètre supérieur à 7 cm. A droite, nous voyons l'exemple du magnésium pour le chêne sessile où on a 2,9 fois plus de magnésium dans les bois de diamètre inférieur à 7cm que dans les bois de diamètre supérieur à 7cm. On a le même gradient pour tous les éléments nutritifs et toutes les essences même si les valeurs absolues changent.