



HAL
open science

Quel est l'impact des plantations de Douglas sur les sols forestiers ?

Arnaud Legout, Arnaud Reichard, Gilles Nourrisson, Jérôme Demaison, Alexia Paul, Bernd Zeller, Gregory van Der Heijden, Charline Henry, Pascal Bonnaud, Jacques Ranger

► To cite this version:

Arnaud Legout, Arnaud Reichard, Gilles Nourrisson, Jérôme Demaison, Alexia Paul, et al.. Quel est l'impact des plantations de Douglas sur les sols forestiers ?. Rendez-vous Techniques de l'ONF, 2025, 81, pp.46-49. <hal-05166840>

HAL Id: hal-05166840

<https://hal.science/hal-05166840v1>

Submitted on 17 Jul 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License

Quel est l'impact des plantations de Douglas sur les sols forestiers ?

L'équipe INRAE de l'Unité de recherche Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers s'intéresse à l'impact de Douglas sur la production de nitrates dans les sols français depuis les années 90. Les chercheurs partagent ici leurs principaux résultats.

Originaire de l'ouest de l'Amérique du Nord et introduit en France au milieu du 19^e siècle, le Douglas couvre aujourd'hui 420 000 ha de la forêt française. Sa productivité moyenne de 15 m³/ha/an et les propriétés de son bois en font l'une des principales essences utilisées en sylviculture de production dans le Limousin, en Auvergne, sur les monts du Beaujolais et dans le massif du Morvan. Pour assurer une gestion durable des peuplements, il est toutefois indispensable de bien connaître les effets du Douglas sur le sol et sur l'environnement en général.

L'unité de recherche Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers (BEF) à INRAE s'intéresse aux Douglas depuis le début des années 90. Alors que les coupes rases provoquent généralement une augmentation de nitrates dans le sol, l'équipe a mis en évidence une forte diminution de la concentration de nitrates circulant dans la solution du sol après une coupe rase de Douglas dans le Beaujolais. Cette observation pose la question d'un possible contrôle de la nitrification par le Douglas. De là à en déduire que les peuplements de Douglas stimulaient la production de nitrates dans le sol, il n'y a qu'un pas... qui n'a pas été franchi ! Mais l'hypothèse a été posée et les investigations se sont poursuivies depuis lors.

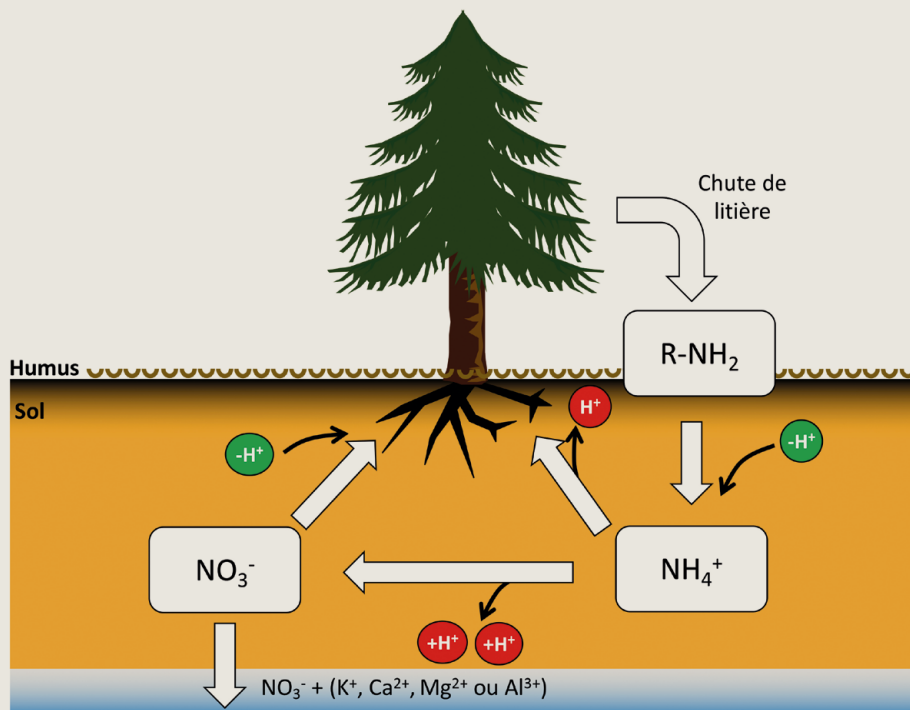
Des travaux complémentaires menés par l'équipe de recherche BEF dans les années 90 sur 3 douglasaies dans le Beaujolais (Vauxrenard) ont montré que les sols sous les plantations de Douglas présentaient une très forte minéralisation de l'azote organique du sol et une production de nitrate importante. Le passé agricole du site pouvait cependant expliquer une partie de ce comportement. Des travaux menés sur le site atelier de Breuil Chenue (Morvan) depuis le début des années 2000 conduisent néanmoins aux mêmes conclusions, alors que le passé du site est cette fois forestier : une production de nitrate importante dépassant la capacité d'immobilisation du sol (prélèvement par la végétation ou assimilation microbienne) est mesurée sous Douglas en comparaison d'autres essences.

Or la transformation d'ammonium en nitrate (les deux formes d'azote minéral assimilables par l'arbre) et la balance production-consommation joue un rôle fondamental pour la fertilité des sols. En effet, lorsque l'azote organique (issu notamment de la litière) est transformé en ammonium puis en nitrate, et que ce nitrate n'est pas prélevé par l'arbre (ou immobilisé par les microorganismes), on assiste à une acidification des sols (voir encadré). Les cations nutritifs Ca²⁺ (calcium), Mg²⁺ (magnésium) et K⁺ (potassium) sont progressivement remplacés par des protons H⁺ et les nitrates très mobiles (car très solubles dans l'eau et peu retenus sur la phase solide du sol) emmènent avec eux ces cations nutritifs, entraînant une perte de fertilité pour le sol (voir encadré). La production de nitrate n'est pas en soi dommageable, mais si le nitrate produit n'est pas consommé, alors le sol s'acidifie.

Les chercheurs du BEF ont donc souhaité approfondir leurs recherches sur le comportement du Douglas vis-à-vis du cycle de l'azote. Pour valider l'hypothèse d'une production excédentaire (production > consommation) de nitrate dans les sols des plantations de Douglas, il fallait élargir la gamme de situations testées, en étudiant finement plusieurs peuplements de Douglas dans des situations stationnelles et géographiques variées.

En 2011, l'unité BEF a donc mis en place en collaboration avec l'ONF et des propriétaires privés le réseau Douglas Biogéochimie^a, composé de 11 placettes instrumentées (pour plus de détail, voir RDV techniques n°53 - automne 2016^b) couvrant une large diversité pédoclimatique sous des peuplements de Douglas âgés de 40 à 60 ans, afin d'étudier la production et le devenir du nitrate sous les Douglas et les possibles conséquences pour les sols et les eaux de surface. Ce dispositif a permis de montrer que sous les peuplements du réseau Douglas, 90 à 95 % de l'azote organique minéralisé est transformée en nitrates NO₃⁻. De plus, cette production de nitrates NO₃⁻ était pour bon nombre de sites (sept sur les onze étudiés) élevée et

Le cycle de l'azote et l'acidification des sols



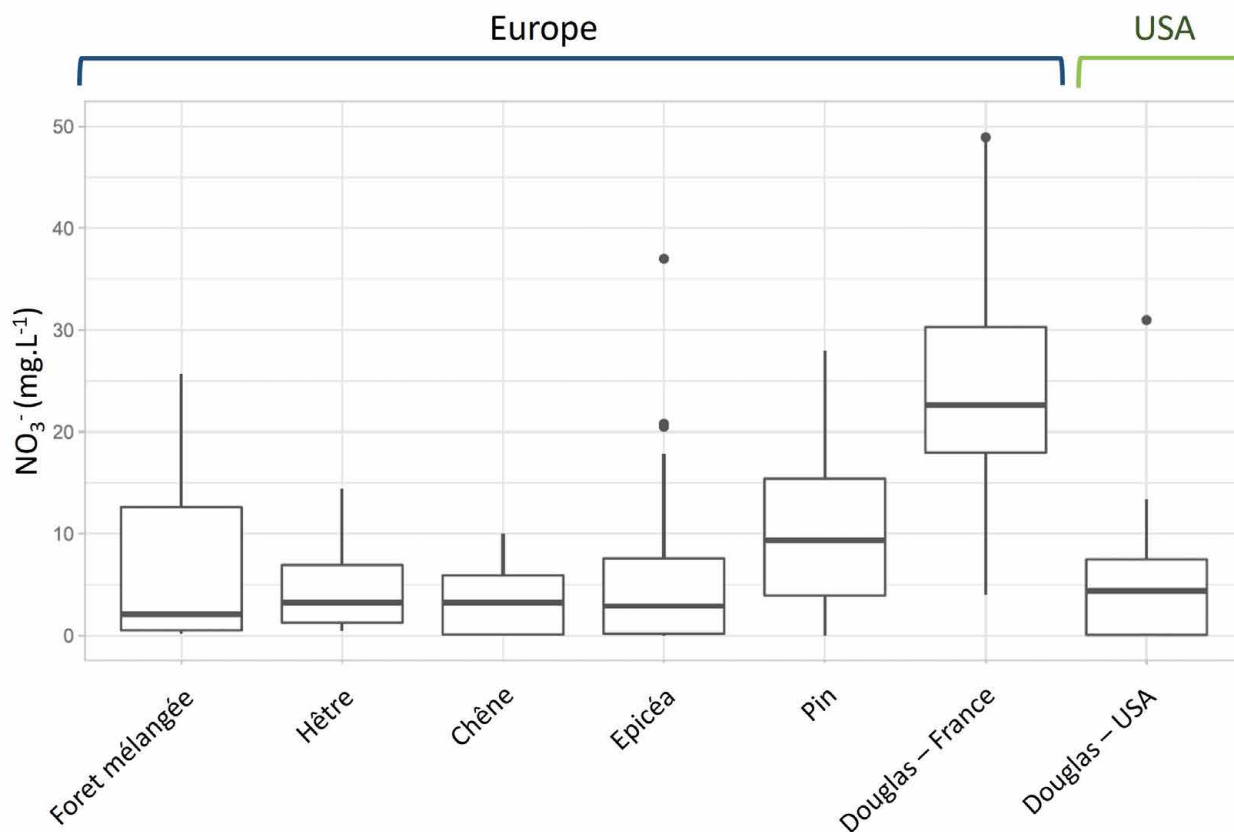
↑ **Figure 1.** Bilan de proton simplifié pour le sol, associé à la minéralisation de l'azote organique

L'acidification des sols est un processus naturel, indispensable à la formation des sols et qui permet de rendre des nutriments disponibles pour les plantes. Cependant, son accélération conduit à un épuisement accéléré des éléments du sol et à la libération d'éléments indésirables pour les écosystèmes. Toute réaction susceptible de libérer des protons H⁺ vers le sol peut provoquer son acidification. L'une de ces réactions est directement liée au cycle de l'azote comme nous l'illustrons ci-dessous.

Sous l'action des microorganismes du sol, l'azote organique issu notamment de la litière se transforme en ammonium (NH₄⁺) et cette réaction consomme un proton du sol. L'ammonium a alors deux devenir possibles : il peut être consommé par l'arbre qui, pour conserver son électroneutralité (autant de charges plus que de charges moins), va relâcher un proton dans le sol. Avec un proton consommé et un proton relâché, le bilan de proton pour le sol est nul et il n'y a pas d'acidification du sol. L'autre possibilité est la transformation de l'ammonium en nitrate (NO₃⁻). Cette réaction libère deux protons H⁺ dans le sol. Ce nitrate a alors également deux devenir possibles : il peut être prélevé par l'arbre, qui doit relâcher un OH⁻ (capable de neutraliser un proton H⁺) dans le milieu pour conserver son électroneutralité, ou alors

il peut être drainé dans les profondeurs du sol. Dans le premier cas, le bilan de protons pour le sol est nul (deux protons produits pour deux protons consommés), mais dans le deuxième cas, le bilan de protons pour le sol est de + 1 et le sol s'acidifie !

Il se trouve, de plus, que le nitrate est très mobile dans les sols tempérés : s'il n'est pas prélevé, il est évacué dans les eaux de drainage, nécessairement accompagné d'un cation pour respecter l'électroneutralité. Les protons étant fixés très rapidement sur la capacité d'échange cationique (CEC : quantité totale de cations qu'un sol peut absorber ou échanger dans des conditions de pH bien définies), alors, toujours en vertu de l'électroneutralité, mais du solide cette fois, un cation est désorbé de la CEC : ce sera le cation le plus facile à désorber dans un contexte donné, d'abord les cations nutritifs (calcium, magnésium, potassium) puis l'aluminium. La perte de nitrate et de cations nutritifs correspond à une perte de fertilité chimique pour le sol, à une acidification du sol (perte de cations capables de neutraliser les protons) et à un stress potentiel pour les eaux de surface, si par exemple du nitrate et de l'aluminium apparaissent dans les ruisseaux (les salmonidés disparaissent quand la concentration en Al³⁺ devient supérieure à 0,1 mg.l⁻¹).



↑ **Figure 2.** Concentrations mesurées en nitrate dans les solutions de sol sous plusieurs essences forestières en Europe et dans des peuplements de Douglas de la côte pacifique aux USA. En Europe, les concentrations en NO_3^- sous Douglas sont supérieures à celles mesurées sous d'autres essences, mais également à celles mesurées sous Douglas aux USA.

supérieure à la consommation dans le profil de sol. Il en résulte une concentration en nitrates élevée dans les eaux de sol, que ce soit à 15 ou à 60 cm de profondeur, avec une perte de nitrate importante en bas du profil de sol. Sur trois sites, la concentration moyenne dépasse même la norme européenne de potabilité de l'eau : 50 mg.l⁻¹. Attention néanmoins aux interprétations trop hâtives, il s'agit ici de concentrations dans des eaux de sol, et qui pourraient être atténuées par dilution ou dénitrification lors de leur transit vers les eaux souterraines ou les cours d'eau.

Sous les peuplements de Douglas étudiés qui présentent des productions excédentaires de nitrate, nous sommes donc dans le cas de figure présenté plus haut et qui entraîne une acidification des sols et une perte des cations. Le réseau de placettes expérimentales a également permis d'établir que sur les sols les plus acides et pauvres chimiquement, ce sont des ions aluminium Al^{3+} qui accompagnent le nitrate dans son transfert, alors que sur sols plus riches, ce sont les cations Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+ qui sont entraînés, en fonction de leur disponibilité dans le profil de sol. Ces pertes de calcium, magnésium et potassium sont parfois élevées et elles pourraient conduire à l'épuisement rapide des réservoirs

disponibles dans les sols si elles ne sont pas compensées par les apports atmosphériques, l'altération des minéraux présents dans les sols ou encore par des apports anthropiques (amendement par exemple). Des recherches se poursuivent pour évaluer la balance entre les entrées et les sorties de l'écosystème.

Une revue bibliographique montre aussi qu'en Europe, les concentrations en nitrates NO_3^- dans les solutions de sol sous Douglas sont généralement supérieures à celles mesurées sous d'autres essences (figure 2). Plus étonnant : ces concentrations sont également plus élevées que sous les peuplements de Douglas dans son aire d'origine.

Cette production excédentaire de nitrates sous les peuplements de Douglas en France pourrait s'expliquer par une absence d'inhibition, voire une stimulation de la nitrification (réaction qui transforme le NH_4^+ en NO_3^-), causée par un microbiote différent de celui présent dans l'aire d'origine du Douglas (ce microbiote n'aurait pas été importé avec son hôte). Une autre hypothèse complémentaire est que la disponibilité en azote est beaucoup plus faible dans son aire d'origine qu'en France. L'équipe de recherche envisage d'établir des partenariats avec des chercheurs américains

pour vérifier ces hypothèses, mais la priorité aujourd'hui est de donner des recommandations de gestion pour limiter la dégradation des sols forestiers dans l'hexagone. Et cela passe par une identification des facteurs qui favorisent la production de nitrate sous Douglas.

Même s'ils étaient minoritaires, certains sites du réseau Douglas ne présentaient pas de concentrations élevées en nitrates dans les sols et les eaux de drainage : cela signifie que des facteurs pédologiques ou climatiques pourraient moduler la production de nitrate dans les peuplements de Douglas. Compte tenu du grand nombre de variables à prendre en compte, les 11 placettes du réseau expérimental utilisées jusqu'ici n'étaient pas suffisantes pour identifier ces facteurs et une campagne spécifique a donc été organisée en 2021 sur 89 placettes supplémentaires réparties dans l'aire de production du Douglas. L'exploitation des données est en cours et l'équipe BEF étudie les relations entre la production de nitrates dans les sols et les nombreux paramètres pédologiques et climatiques collectés. Les premiers résultats montrent que la production de nitrates sous Douglas pourrait être modulée par la texture du sol, les quantités de carbone et d'azote présents dans le sol, l'altitude ou encore la pluviométrie annuelle. L'exploration des données continue pour asseoir des recommandations de gestion visant à protéger les sols sous Douglas, en trouvant les combinaisons gagnantes permettant de limiter l'acidification des sols et la perte de fertilité chimique.

Remerciements :

Laurent BISSONNIER (Gestionnaire Forestier Professionnel),
Jocelyn GAILLARD (CNPF), Marion BOLAC (CNPF) et
Adrien JACQUES (ONF)

Arnaud Legout

INRAE - Unité de recherche Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers

Arnaud Reichard

INRAE - Unité de recherche Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers

Gilles Nourrisson

INRAE - Unité de recherche Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers

Jérôme Demaison

INRAE - Unité de recherche Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers

Alexia Paul

INRAE - Unité de recherche Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers

Bernd Zeller

INRAE - Unité de recherche Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers

Gregory Van Der Heijden

INRAE - Unité de recherche Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers

Charline Henry

ONF – Département Recherche, Développement et Innovation

Pascal Bonnaud

INRAE - Unité de recherche Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers

Jacques Ranger

INRAE - Unité de recherche Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers

BIBLIOGRAPHIE ET LIENS

• 1 : Zeller B, Legout A et al. (2016) Le réseau Douglas, un dispositif dédié à la compréhension de l'effet de cette essence sur le cycle de l'azote. Les RenDez-Vous techniques de l'ONF, 53, 24-35.

• a : <https://in-sylva-france.hub.inrae.fr/services/in-situ/reseau-douglas-bgc>

