



**HAL**  
open science

## Les sols forestiers à nappe temporaire: fonctionnement, particularités et enjeux actuels

Caroline Petitjean, Marco Bastianelli, Joseph Levillain, Nathalie Bréda, Philippe Durand, Noé Dumas, François F. Lebourgeois, Catherine C. Collet

### ► To cite this version:

Caroline Petitjean, Marco Bastianelli, Joseph Levillain, Nathalie Bréda, Philippe Durand, et al.. Les sols forestiers à nappe temporaire: fonctionnement, particularités et enjeux actuels. Rendez-vous Techniques de l'ONF, 2022, Dossier sols forestiers à engorgement temporaire, 73, pp.8-15. hal-04201602

**HAL Id: hal-04201602**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04201602v1>**

Submitted on 10 Jul 2024

**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.

# Les sols forestiers à nappe temporaire : fonctionnement, particularités et enjeux actuels

**Pour fixer les idées, cet article propose quelques rappels et détaille les particularités des sols forestiers à nappe perchée temporaire : conditions de formation d'une nappe perchée, formation des traces d'hydromorphie, sensibilité au tassement et principales contraintes pour les essences forestières. Il aborde enfin les principaux enjeux auxquels la recherche devra répondre pour l'avenir.**

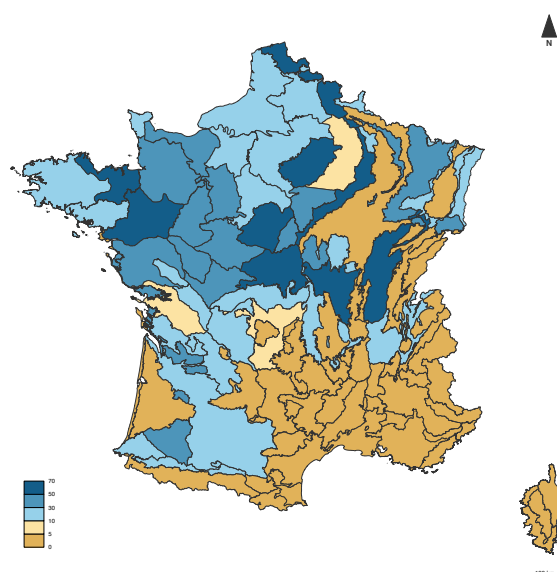
Les estimations du réseau de placettes forestières de l'institut national de l'information géographique et forestière (IGN) indiquent que les sols forestiers présentant des traces liées à un engorgement (temporaire ou permanent) à moins de 65 cm de profondeur occupent une surface de 2,4 millions d'hectares en France métropolitaine (Fig. 1). Ces sols à engorgement contribuent de façon conséquente à la filière bois avec un volume de bois de 420 millions de m<sup>3</sup> (17,4 %) et une production de 14,7 millions de m<sup>3</sup>.an<sup>-1</sup> (17,8 %) (données IGN, hors peupleraie).

Parmi ces sols, les sols à nappe temporaire se distinguent par la formation d'une nappe d'eau au-dessus d'un horizon très peu perméable (appelé « plancher ») lorsque les entrées d'eau dans le sol sont supérieures aux sorties; la nappe circule dans les horizons supérieurs plus perméables puis disparaît temporairement lorsque les sorties excèdent les entrées. Ces sols se caractérisent par une double contrainte pour les essences forestières : une hypoxie (insuffisance en oxygène) en période hivernale et printanière puis un déficit hydrique estival. Ces deux contraintes entraînent des perturbations au niveau de la croissance, de la survie et de la distribution des racines dans les horizons de battement de nappe (à cause de l'engorgement) mais aussi dans les horizons situés sous le plancher (à cause de sa compacité). Ces deux altérations du régime hydrique des arbres s'accompagnent le plus souvent d'une dégradation du statut nutritionnel des arbres, l'absorption hydrominérale étant largement perturbée.

La mise en valeur forestière des sols à engorgement temporaire est difficile, cependant les gestionnaires forestiers disposent de deux leviers : le choix des essences et l'adaptation de la gestion. Durant la période 1970-2000, diverses techniques ont été développées et mises en œuvre pour atténuer les contraintes. Pour réduire la contrainte « hypoxie », des méthodes d'assainissement mécaniques (fossés, billons) ou biologiques (plantation d'aulne glutineux)

ont été expérimentées, afin de tester leur efficacité à diminuer la durée et l'intensité de l'engorgement (Lévy et Lefèvre, 2001). Pour réduire la contrainte « déficit hydrique estival », c'est la limitation de la compétition entre les plants forestiers et les herbacées (molinie et carex notamment) qui a été testée par l'utilisation d'herbicides et/ou l'installation de paillages naturels ou plastiques (Lévy et Lefèvre, 2001).

Aujourd'hui, la gestion forestière des sols à nappe temporaire doit s'envisager dans un tout autre contexte : évolution de la législation, prise en considération grandissante de la multifonctionnalité des forêts et bouleversements liés aux changements climatiques.



↑ **Figure 1.** Pourcentage de surface forestière où les sols présentent des traces d'hydromorphie de surface (entre 0 et 60 cm de profondeur) par sylvoécocorégion

© IGN, données de l'inventaire forestier national 2006-2018

La législation française a évolué en faveur de la protection des milieux humides. Ainsi, la loi sur l'eau de 1992 (révisée en 2006) soumet les travaux forestiers d'assainissement mécanique au régime de déclaration (voire d'autorisation) préalable au titre des Installations, Ouvrages, Travaux et Activités (IOTA) en rapport avec l'eau, ce qui a un certain effet de dissuasion. Par ailleurs, les grands acteurs forestiers mettent en place des démarches volontaires pour réduire, voire proscrire, l'utilisation de produits phytosanitaires dans les forêts qu'ils gèrent ; par exemple, l'ONF n'utilise plus de produits phytosanitaires depuis octobre 2019.

En outre, les politiques publiques et la société s'intéressent de plus en plus aux multiples services écosystémiques rendus par les forêts : services d'approvisionnement, services de régulation et services culturels. À cet égard, les forêts sur sols à nappe temporaire présentent une variété de services écosystémiques originaux et d'importance cruciale, du fait notamment des habitats particuliers qu'elles offrent (zones humides) et du rôle tampon qu'exercent leurs sols : capacité à retenir momentanément de l'eau puis à la restituer progressivement. L'importance des services écosystémiques milite pour une meilleure préservation de ces milieux, afin de les pérenniser et de les optimiser.

Enfin, la gestion des peuplements sur sols à nappe temporaire devra s'adapter aux évolutions climatiques. En effet, les projections indiquent une réduction globale des précipitations dans de nombreuses régions d'Europe pendant l'été et une augmentation probable d'événements de précipitations extrêmes, y compris pendant la période de végétation (IPCC, 2007), accentuant la double contrainte de ces sols sur le développement des essences forestières.

Dans ce contexte, cet article propose d'abord quelques rappels sur les sols, puis s'intéresse aux particularités des sols à nappe temporaire : les conditions de formation d'une nappe, la formation des traces d'hydromorphie, la sensibilité de ces sols au tassement et leurs principales contraintes pour les essences forestières. Enfin, l'article présente certains enjeux actuels auxquels devront répondre les futures recherches concernant ces types de sols en milieu forestier.

## Le sol : des constituants solides et une porosité où peuvent circuler l'eau et l'air

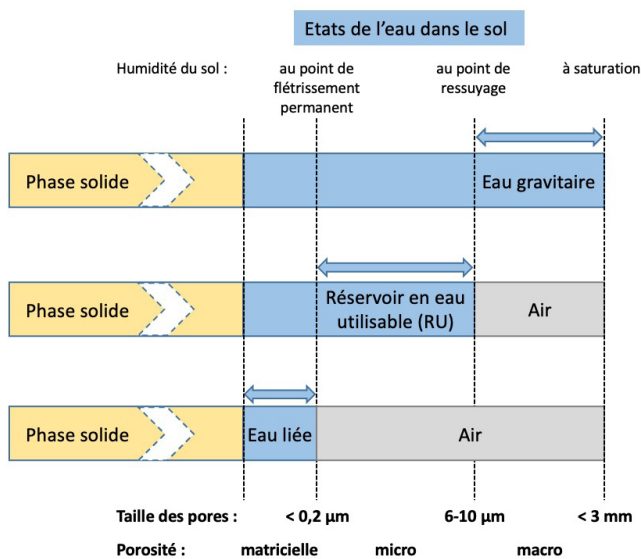
Le sol est constitué de trois phases : solide, gazeuse et liquide.

La phase solide comprend des constituants organiques et des constituants minéraux de granulométrie variée : les argiles (constituants de moins de 2  $\mu\text{m}$ ), les limons (de 2 à 50  $\mu\text{m}$ ), les sables (de 50  $\mu\text{m}$  à 2 mm) et les éléments grossiers (plus de 2 mm). La détermination du pourcentage d'argiles, limons et sables d'un échantillon de sol permet de définir sa texture (par exemple : texture limoneuse, argilo-sableuse...). Le sol est aussi caractérisé par sa structure, c'est-à-dire l'agencement dans l'espace de ses constituants solides (par exemple : structure grumeleuse avec des agrégats arrondis).

Les phases liquide et gazeuse circulent dans la porosité du sol, c'est-à-dire le volume « vide », non occupé par la phase solide. En fonction de la taille des pores, on distingue la macroporosité (pores de taille comprise entre 6-10  $\mu\text{m}$  et 3 mm), la microporosité (entre 0,2 et 6-10  $\mu\text{m}$ ) et la porosité matricielle (moins de 0,2  $\mu\text{m}$ ) (Baize, 2016) (Fig. 2).

Lorsque le sol est saturé en eau, celle-ci circule rapidement dans la macroporosité, entraînée par la gravité, jusqu'à atteindre un seuil d'humidité appelé point de ressuyage (Fig. 2). Cette eau gravitaire n'est pas retenue dans le sol et n'est donc pas disponible pour la végétation ; elle n'est présente dans le sol qu'après une pluie ou en cas de formation d'une nappe. Quand la macroporosité n'est pas occupée par de l'eau, elle est l'élément clé de la diffusion des gaz dans le sol.

**1 micromètre ( $\mu\text{m}$ ) =**  
 $10^{-3}$  millimètre (mm) =  
 $10^{-6}$  mètre



↑ **Figure 2.** Dans le sol, plusieurs porosités et différents états de l'eau peuvent coexister.

Dans la microporosité, l'eau contenant des substances dissoutes est retenue par le sol et son extraction est possible par les racines des végétaux; c'est le réservoir en eau utilisable (RU). Ce RU se situe entre le point de ressuyage et le point de flétrissement permanent, seuil au-delà duquel la plante n'est plus capable d'extraire l'eau du sol (Fig. 2).

Enfin, dans la porosité matricielle, l'eau est trop fortement retenue par les particules solides du sol : c'est l'eau liée, elle n'est pas disponible pour la végétation (Fig. 2).

## Conditions de formation d'une nappe temporaire dans un sol

Les sols à nappe temporaire ont la particularité de présenter un horizon plancher, situé généralement à moins de 60 cm de profondeur. Ce plancher présente une plus faible perméabilité que les horizons de surface, qui peut s'expliquer par des caractéristiques texturales et/ou structurales particulières.

### Un horizon plancher peu perméable

Concernant l'aspect textural, l'imperméabilité du plancher correspond à des teneurs élevées en argile, matériau de faible **conductivité hydraulique**, qui rendent l'infiltration de l'eau très lente et le drainage naturel insuffisant. Ces fortes proportions d'argile peuvent apparaître dans le **solum** de manière brutale ou progressive. La transition est brutale si le sol se développe sur deux matériaux différents (comme un placage limoneux sur un matériau argileux), mais elle est progressive lorsqu'elle résulte d'un phénomène de lessivage et d'accumulation des argiles.

Concernant l'aspect structural, l'imperméabilité peut s'expliquer par un changement brutal de structure, notamment lié à des tassements d'origine naturelle (action des glaciers) ou anthropique (passage d'engins, gestion sylvicole) qui diminuent drastiquement la macroporosité et limitent la capacité de drainage naturel.

Enfin, les aspects structuraux et texturaux peuvent s'additionner, par exemple dans le cas d'un horizon cumulant une forte proportion d'argile et une structure massive, c'est-à-dire sans agrégat.

### Des arrivées d'eau qui dépassent les capacités de stockage et de drainage naturel du sol

Dans le solum, quand les entrées d'eau (précipitations, fonte de neige) sont supérieures aux sorties (infiltration, percolation, évapotranspiration), l'excès d'eau occupe la macroporosité du sol au-dessus du plancher (engorgement) et forme une nappe temporaire dans l'horizon de fluctuation. Sous nos climats, la proximité de cette nappe par rapport à la surface du sol fluctue selon les saisons et les conditions météorologiques : elle apparaît régulièrement en période hivernale ou printanière et de manière plus fugace en saison de végétation après des pluies intenses. De manière générale, la nappe disparaît au printemps lorsque les sorties d'eau excèdent les entrées, en raison notamment de l'augmentation de la transpiration de la végétation et de l'évaporation par le sol.

## Réactions d'oxydo-réduction liées à l'engorgement temporaire : l'origine des traces d'hydromorphie

Lors de l'installation de la nappe, l'air de la macroporosité du sol est progressivement remplacé par l'eau. L'oxygène dissout dans l'eau provenant des pluies est rapidement consommé par les activités biologiques aérobies du sol, telle que la respiration (microorganismes **aérobies**, racines...). La baisse progressive, en quelques heures à quelques jours, de la teneur en oxygène dans le sol conduit à une période d'hypoxie puis d'anoxie (insuffisance puis absence d'oxygène).

### Alternance d'oxydation et de réduction des éléments chimiques du sol

Les racines (voir Bréda et Gérard, ce numéro) et certains microorganismes vont alors modifier leurs voies métaboliques, tandis que d'autres microorganismes vont se développer, pour utiliser les **oxydants** disponibles à défaut d'oxygène : par exemple les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), les oxydes de manganèse III et IV ( $\text{Mn}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{4+}$ ) puis les oxydes de fer III ( $\text{Fe}^{3+}$ ), qui vont être successivement **réduits**.

Ainsi, lors des périodes d'engorgement du sol, après les nitrates et le manganèse, le fer est réduit et solubilisé dans la nappe sous forme de cations  $\text{Fe}^{2+}$ ; il devient donc mobile et peut être déplacé dans le solum sous l'influence de la circulation de la nappe (lixiviation), ce qui conduit à un appauvrissement localisé en fer du sol. Lorsque l'eau de la nappe disparaît, elle est progressivement remplacée par de l'air, plus riche en oxygène. Alors le fer

**Conductivité hydraulique** : aptitude d'un milieu poreux à permettre le déplacement de l'eau sous l'effet de la gravité ou d'un gradient de pression. Unité : mètre par seconde.

**Solum** : tranche verticale d'un sol observable dans une fosse pédologique ou une tranchée.

**Aérobic** : qui a besoin d'oxygène pour fonctionner.

**Oxydant** : composé ou ion qui reçoit un ou plusieurs électrons d'une autre espèce chimique lors d'une réaction d'oxydo-réduction. L'oxydant subit une réduction, il est « réduit ».

**Réducteur** : composé ou ion qui donne un ou plusieurs électrons à une autre espèce chimique lors d'une réaction d'oxydo-réduction. Le réducteur subit une oxydation, il est « oxydé ».

se ré-oxyde (cations  $Fe^{3+}$ ), redevient insoluble et s'accumule localement dans le sol (Fig. 3 et 4). Les mêmes dynamiques sont observées pour le manganèse : la forme réduite en cation  $Mn^{2+}$  (présence de la nappe) se ré-oxyde quand la nappe disparaît en  $Mn^{3+}$  ou  $Mn^{4+}$ .

## La formation de traces d'hydromorphie et d'horizons rédoxiques

La particularité des processus d'oxydo-réduction du fer et du manganèse est qu'ils laissent des traces visibles dans le sol, appelées traces d'hydromorphie, qui sont une conséquence de l'engorgement des sols. Ces traces d'hydromorphie peuvent prendre la forme de taches ou de concrétions (petits nodules) de différentes couleurs (ocre, noire...) mais aussi de **décolorations** spécifiques (Fig. 3 et 4). Les traces grises (ou plus claires que la matrice) sont dues aux processus de réduction puis de lixiviation du fer; tandis que celles de couleur rouille s'expliquent par une accumulation locale de fer ré-oxydé (Fig. 3 et 4). En cas de fortes exportations latérales de fer, les couleurs grise (décoloration) ou blanche (déferrification complète) sont alors dominantes voire exclusives (Baize et Jabiol, 2011).

Les traces d'hydromorphie liées à un engorgement temporaire peuvent persister même s'il n'y a plus la présence d'une nappe récente (par exemple après un drainage artificiel). Il s'agit alors de traces d'hydromorphie « fossiles », témoignant d'un passé engorgé du sol. Cela signifie que l'observation de ces traces ne permet pas de diagnostiquer un régime de nappe actuel. La seule preuve que le régime de nappe est fonctionnel nécessite la mesure du niveau de la nappe avec précaution (à la tarière ou sur fosse) en période hivernale.

Dans la classification française des sols (Référentiel Pédologique; Afes, 2008), un horizon est qualifié de rédoxique si les traces d'hydromorphie, toujours fonctionnelles, couvrent plus de 5 % de la surface de l'horizon sur au moins 50 cm d'épaisseur. Si cet horizon rédoxique apparaît à moins de 50 cm de la surface et si le processus pédogénétique d'oxydo-réduction est considéré comme prépondérant, alors le sol pourra être qualifié de Redoxisol (Afes, 2008).

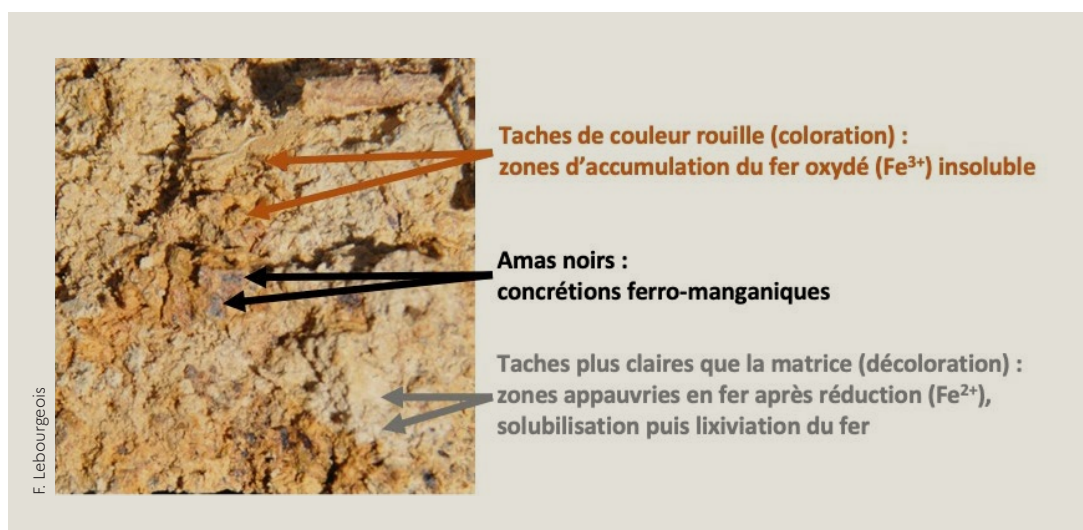
## Des sols particulièrement sensibles aux tassements avec des conséquences sur le peuplement

Du fait de leur saturation en eau une grande partie de l'année, les sols à nappe temporaire sont sensibles aux tassements. Une texture limoneuse dans les couches supérieures et une absence d'éléments grossiers (ou faible teneur) rendent les sols particulièrement vulnérables aux tassements liés aux passages d'engins. Ces tassements diminuent la macroporosité par dégradation de la structure dans la couche supérieure du sol. Ils se traduisent par une moindre perméabilité (gaz et eau) du sol et réduisent, voire empêchent, le drainage vertical de l'eau. Ainsi, la conductivité hydraulique à saturation (aptitude d'un sol saturé en eau à se laisser traverser par l'eau) sur les 30 premiers centimètres de sol est divisée par trois sur les cloisonnements par rapport aux zones non circulées (Martin, 2019). Dans les cloisonnements, cela se traduit par la naissance d'un plancher structural (structure massive ou lamellaire) « artificiel » qui perturbe le fonctionnement hydrique du sol et peut donner naissance à une nappe d'origine anthropique proche de la surface du

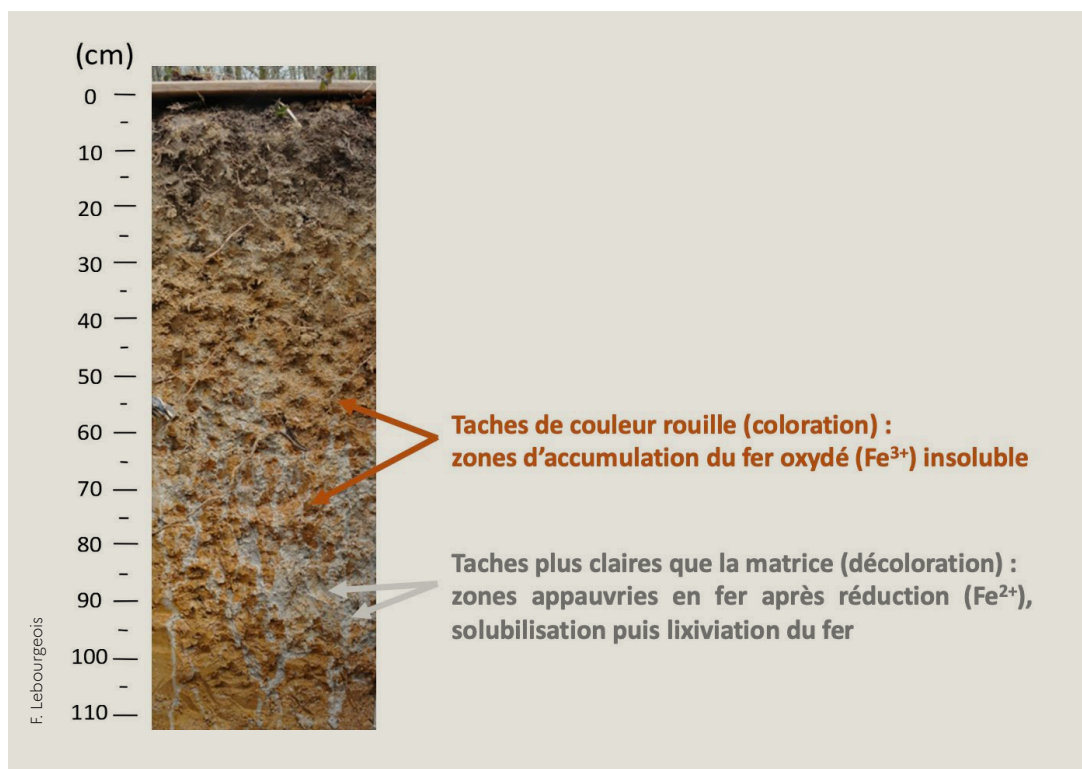
### La coloration des sols :

Les oxydes de fer sont de couleurs rouge, brune, jaune ou orange, selon les minéraux de fer présents. Les oxydes de manganèse sont de couleur noire.

Les oxydes de fer et de manganèse recouvrent les surfaces des particules de sable, de limon et d'argile et « colorent » ainsi les horizons de sols. Sans les oxydes de fer et de manganèse, ces particules sont grises.



← **Figure 3.** Les traces d'hydromorphie sont la conséquence de l'engorgement du sol. Ces traces sont dues à la réduction puis ré-oxydation du fer et du manganèse, et à la migration du fer, beaucoup plus mobile sous forme réduite ( $Fe^{2+}$ ).



← **Figure 4.** Les horizons rédoxiques sont caractéristiques des sols à nappe temporaire ; ils présentent des taches de couleurs très hétérogènes.

sol, néfaste pour les racines (voir Bréda et Gérard, ce numéro). Sur le long terme, la restauration naturelle de la macroporosité des cloisonnements après tassement est extrêmement lente (plusieurs dizaines d'années) et dépend du niveau de fertilité et de la texture du sol. Cette restauration peut être de différentes natures : phénomène de retrait-gonflement des argiles, action du gel, activité biologique (racines et faune du sol).

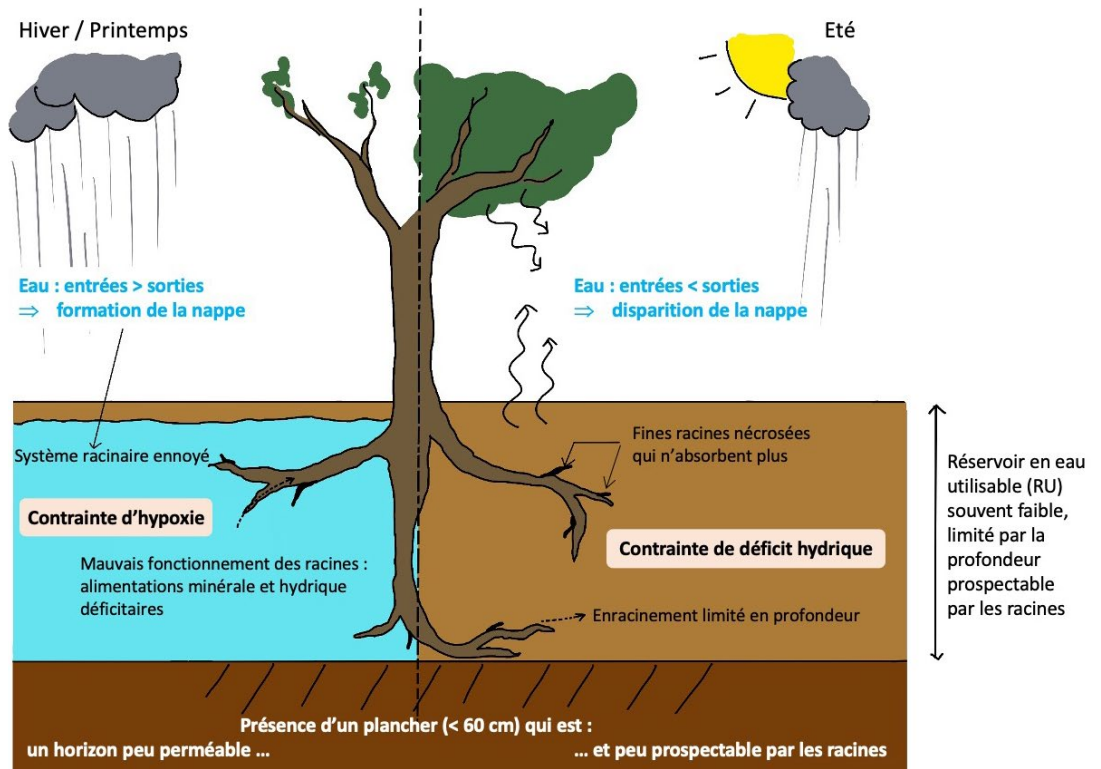
Par ailleurs, les résultats d'une étude réalisée dans le sud-ouest de l'Allemagne sur un ensemble de 36 peuplements de chênes pédonculés et sessiles montrent que, dans les sols compactés, la densité de racines fines diminue de manière significative avec la baisse de la perméabilité aux gaz du sol ; une aération insuffisante du sol est un facteur important du déclin des chênes étudiés (Gaertig *et al.* 2002).

### Principales contraintes des sols à nappe temporaire pour les essences forestières

Les sols à nappe temporaire engendrent deux contraintes successives pour les essences forestières. Durant la période hivernale et printanière, les arbres sont confrontés à une contrainte d'hypoxie due à la nappe qui sature la macroporosité du sol. Cette contrainte a pour conséquence immédiate des effets négatifs sur la croissance racinaire, l'absorption (Lévy, 1981a) et l'alimentation minérale des arbres, notamment la nutrition azotée (Lévy, 1981b) (Fig. 5, page suivante).

Puis, durant la période estivale, les arbres doivent faire face à une contrainte de déficit hydrique, qui n'est pas spécifique de ces sols mais s'y trouve exacerbée. En effet, d'une part, l'hypoxie augmente la mortalité des racines fines et impose leur renouvellement accéléré et, d'autre part, les propriétés physiques de l'horizon plancher limitent l'enracinement en profondeur (Lévy et Lefèvre, 2001). En particulier, lorsque le plancher de la nappe constitue une discontinuité physique importante, il limite fortement la colonisation par les racines fines de certaines essences (Lebourgeois et Jabiol, 2002). Ainsi le RU est restreint par la faible profondeur de prospection racinaire, ce qui a pour effet de renforcer le déficit hydrique estival (il est plus fréquent et plus intense) (Fig. 5).

De plus, la végétation spontanée typique de ces sols (molinie, joncs, carex...) forme souvent des tapis monospécifiques (Fig. 6) car les conditions d'engorgement et d'acidité sont défavorables à un grand nombre d'espèces végétales. Cette végétation spontanée s'avère souvent très compétitive vis-à-vis des jeunes arbres, en particulier pour l'eau en période estivale. De surcroît, certaines espèces comme la molinie sont connues pour leurs propriétés allélopathiques, c'est-à-dire la production de substances biochimiques qui influencent le développement d'autres espèces.



→ Figure 5. Les arbres se développant sur les sols à nappe temporaire subissent deux contraintes successives : hypoxie puis déficit hydrique. (Les auteurs remercient Solenn Chauvel pour la réalisation de cette figure).

## Enjeux actuels et projets de recherche & développement

### Adapter l'exploitation des peuplements forestiers sur sols à nappe temporaire

La praticabilité des parcelles dépend notamment de l'humidité du sol et de la texture de la couche supérieure. Pour les sols à engorgement temporaire, le guide PROSOL (2009) préconise une exploitation par voie terrestre seulement si le sol est assez sec (période estivale) ou si le sol est gelé pendant une période suffisamment longue dans l'année. Sinon, l'exploitation devra s'effectuer par câble aérien ou à l'aide de petite mécanisation (plus légère).

La préservation des propriétés physiques du sol, notamment le maintien d'une macroporosité suffisamment importante pour permettre le drainage vertical de l'eau, passe également par la mise en place de cloisonnements d'exploitation sur lesquels se limite la circulation des engins. Cela permet de réduire la surface forestière impactée par le tassement. Il est à noter cependant que les cloisonnements peuvent générer des modifications de la circulation latérale de l'eau, pour l'instant encore mal connues.

En outre, les projections climatiques indiquent une diminution du nombre de jours de gel et une augmentation des précipitations hivernales, ce qui réduirait les périodes où les conditions de praticabilité des cloisonnements seront réunies et rendra l'exploitation forestière plus difficile encore sur ces types de sols.

### Assurer le renouvellement forestier sur les sols à nappe temporaire

La conduite des peuplements sur sols à nappe temporaire requiert une attention particulière, notamment lors de la phase de régénération naturelle ou lors de la plantation.

Le retrait du couvert forestier provoque un double effet sur le bilan hydrique : arrêt de la pompe par arrêt de la transpiration des arbres et augmentation des entrées d'eau par arrêt de l'interception des précipitations par la canopée. Cette phase est donc délicate puisqu'elle s'accompagne inéluctablement d'une remontée de la nappe pendant des périodes plus longues. Des études menées sur sols à nappe temporaire ont mis en évidence que des coupes fréquentes du taillis, tous les 25 à 30 ans en traitement de taillis-sous-futaie (Aussenac et Becker, 1968 ; Becker, 1972), et les coupes à blanc (Lévy, 1990) engendrent, outre une remontée de la nappe, une dégradation difficilement réversible des propriétés physiques du sol (détérioration de la structure, tassement). De plus, certaines espèces herbacées (carex, molinie...) profitent de la mise en lumière pour se développer massivement, constituant un obstacle à la régénération des essences ligneuses et contribuant à une baisse de la productivité de la station (Becker, 1972 ; Lévy, 1990) (Fig. 6).

En futaie régulière, la régénération naturelle est bien souvent privilégiée mais les opérations sylvicoles doivent être minutieusement programmées afin d'éviter le développement d'une strate herbacée qui empêcherait la germination des essences objectifs. Le gestionnaire devra donc tout mettre en œuvre pour permettre la croissance des jeunes semis tout en contrôlant l'éclairement arrivant au sol de manière à limiter le développement de la végétation adventice. Il faut alors attendre une bonne fructification



F. Lebourgeois, oct. 2021

↑ **Figure 6.** Taillis sous futaie vieilli en conversion sur sol à nappe temporaire, forêt communale de Chamagne. Surface terrière : 20-25 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>; hauteur des réserves : 20-23 m; âge des arbres : 150-200 ans. Le sol est couvert par un tapis continu de *Carex brizoides* (Crin végétal).

suivie de germination effective pour réaliser (rapidement) une coupe apportant de la lumière au sol de sorte que les semis puissent se développer, tout en conservant suffisamment d'arbres adultes pour limiter la remontée de nappe. Dans le même ordre d'idée, le sylviculteur peut s'orienter vers un traitement irrégulier pour tenter de mieux maîtriser la lumière au sol et toute remontée de nappe préjudiciable au renouvellement des peuplements.

Pour les cas où la régénération artificielle s'impose (échec de la régénération naturelle, substitution d'essence, problème sanitaire...), il est nécessaire de développer des méthodes de conduite du renouvellement adaptées à ces sols. Par exemple, le pôle RENFOR de l'UMR Silva conduit, avec ses partenaires (ONF et OFB-Office français de la Biodiversité), des travaux de recherche et développement concernant la plantation sur sols à nappe temporaire, dans le cadre notamment des réseaux d'expérimentation PILOTE et ALTER. Une préparation mécanisée du site est souvent nécessaire pour installer correctement les plants dans ces types de sols, avec trois objectifs : réduire la compétition herbacée, décompacter le sol et rehausser les plants par rapport au niveau de la nappe en hiver. Cependant la préparation mécanisée elle-même peut avoir des impacts négatifs sur ces sols sensibles aux tassements, notamment si elle est pratiquée en conditions trop humides. L'enjeu est donc de faire la préparation minimale pour permettre l'installation des plants, tout en réduisant les impacts sur le sol.

#### ■ Mieux comprendre la dynamique des contraintes des sols à nappe temporaire et leurs effets sur les essences forestières

Pour les prochaines décennies, un des enjeux pour aider les gestionnaires forestiers dans le choix des essences et l'adaptation des itinéraires techniques est de mieux comprendre la dynamique spatio-temporelle des contraintes liées aux sols à nappe temporaire ainsi que leurs effets sur le fonctionnement hydrique, carboné et nutritionnel des arbres (Bréda et Gérard, ce numéro).

Dans ce contexte, l'UMR Silva a amorcé en 2020 un projet de recherche dont les objectifs visent à décrire conjointement les dynamiques du niveau de la nappe et des flux et stocks d'eau dans le sol en fonction des conditions climatiques et des propriétés hydrodynamiques des sols. Plus précisément, les objectifs à court terme consistent à évaluer la durée et l'intensité des contraintes (excès d'eau et déficit hydrique) sur la croissance radiale et la phénologie des arbres, à partir des variations climatiques (précipitations arrivant au sol, évapotranspiration potentielle) et des prélèvements par les arbres (transpiration, absorption racinaire). À cette fin, des instruments de mesure ont été installés en 2021 sur le dispositif expérimental « Charmes 1 » (Lebourgeois et al., ce numéro) pour mesurer et suivre certaines propriétés du sol (teneur en eau, température, hauteur de la nappe), la croissance radiale et racinaire, et la pluviométrie incidente et au sol. À moyen terme, le projet vise à définir des seuils (date, durée) de hauteur de nappe qui impactent le fonctionnement des arbres dans une chronologie qu'il conviendra d'établir (croissance secondaire du bois et des racines, phénologie foliaire, transpiration, absorption racinaire...).

#### ■ Modéliser la dynamique de la nappe sur ces types de sols

Les recherches à mener visent aussi à améliorer les outils de modélisation du régime hydrique de ces sols. Des outils existent déjà mais se focalisent sur la contrainte sécheresse, qui est largement la plus limitante, comme par exemple le modèle de bilan hydrique forestier BILJOU© (Granier et al., 1999). Un des principaux enjeux des futurs projets de recherche réside donc dans la simulation des phénomènes d'engorgement temporaire dans les modèles de bilan hydrique forestiers et dans la définition d'indicateurs pertinents d'impact sur les arbres. À long terme, après des observations sur plusieurs années météorologiquement contrastées, le projet de l'UMR Silva ambitionne de conceptualiser un module « nappe d'eau temporaire » dans ces modèles de bilan hydrique.

#### ■ Étudier les services écosystémiques fournis par les sols forestiers à nappe temporaire

Par la présence de la nappe une partie de l'année, les sols forestiers à nappe temporaire fournissent des services écosystémiques de régulation en lien avec l'eau. Sur l'aspect qualitatif, le pouvoir épurateur des zones humides est reconnu et le milieu forestier est souvent privilégié comme occupation du sol sur les périmètres de protection rapprochée de captage d'approvisionnement en eau potable. Sur l'aspect quantitatif, les zones humides assurent un rôle tampon de l'eau lors d'excès de précipitation puis elle la restitue plus lentement au milieu lors de période sèche. Dans le contexte de changement climatique, il semble important de pouvoir préciser la contribution des sols forestiers à nappe temporaire à soutenir les débits des cours d'eau en période d'étiage (basses eaux lors des sécheresses estivales). Cependant, la répartition de l'eau restituée au milieu va dépendre de nombreux paramètres : i) données météorologiques, ii) transpiration par la végétation et évaporation par le sol, iii) drainages superficiel (res-



titution dans les cours d'eau) et profond (recharge des nappes phréatiques). Les deux premiers points sont relativement bien abordés aujourd'hui dans les modèles de bilan hydrique à l'échelle de la parcelle (par exemple : BILJOU©); néanmoins, la gestion du drainage n'est pas bien prise en compte dans ces modèles. Les modèles de bilan hydrologique (par exemple : SWAT) sont plus intégratifs à l'échelle du bassin versant et vont mieux gérer les notions de drainages superficiel et profond, cependant ils présentent souvent des modules de végétations et de sols moins fiables que les modèles de bilan hydrique. À l'avenir, des travaux sur le couplage de ces deux types de modèles (bilan hydrique et bilan hydrologique) seront indispensables afin d'améliorer les estimations du volume d'eau que les sols à nappe temporaire peuvent stocker, à l'échelle de la parcelle et également du bassin versant, ainsi que la répartition de cette eau lors de sa restitution au milieu (végétation, sol, cours d'eau).

## Conclusion

La mise en valeur forestière des sols à nappe temporaire a toujours été délicate avec, notamment, des vulnérabilités multiples au dépérissement, des difficultés et des échecs dans la phase clé de renouvellement et des potentialités sylvicoles limitées. Les évolutions climatiques en cours renouvelent l'intérêt d'affiner la compréhension du fonctionnement hydrodynamique complexe de ces sols, de la dynamique spatio-temporelle des contraintes qu'ils engendrent et de leurs effets sur les essences forestières. En parallèle, préserver et améliorer les fonctions hydrologiques, biogéochimiques et écologiques des sols à nappe temporaire, ainsi que les services écosystémiques qu'ils fournissent, sont aussi des enjeux d'importance grandissante. Ainsi, la gestion de ces sols en milieu forestier implique une coopération multi-acteurs et des compromis entre les enjeux de protection, de production et de durabilité.

**Caroline Petitjean, Marco Bastianelli, Joseph Levillain, Nathalie Bréda, Philippe Durand, Noé Dumas, François Lebourgeois, Catherine Collet**

UMR Silva (Université de Lorraine, AgroParisTech, INRAE), Nancy

## RÉFÉRENCES

### À consulter sur le web

- Données de l'inventaire forestier : [inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/France\\_part2.pdf](http://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/France_part2.pdf)  
[inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/France\\_part4-2.pdf](http://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/France_part4-2.pdf)
- Zéro phyto en forêt publique – Communiqué de presse : [www.onf.fr/outils/presse/eb1d8b00-d79f-4d37-a947-4c15a4cd4d2a/++versions++/1/++paras++/3/++ass++/1/++i18n++data:fr?\\_=1571387772.973006&download=1](http://www.onf.fr/outils/presse/eb1d8b00-d79f-4d37-a947-4c15a4cd4d2a/++versions++/1/++paras++/3/++ass++/1/++i18n++data:fr?_=1571387772.973006&download=1)
- Webinaire AFES (45) de C. Ducommun (2019) - Vers une harmonisation de la caractérisation de l'hydromorphie des sols : [vimeo.com/379954004](https://vimeo.com/379954004)
- Guide PROSOL : [www.onf.fr/produits-services/+18b::prosol-guide-pour-une-exploitation-forestiere-respectueuse-des-sols-et-de-la-foret.html](http://www.onf.fr/produits-services/+18b::prosol-guide-pour-une-exploitation-forestiere-respectueuse-des-sols-et-de-la-foret.html)
- Pôle RENFOR : [www6.inrae.fr/renfor/Le-pole-RENFOR](http://www6.inrae.fr/renfor/Le-pole-RENFOR)
- Unité Mixte de Recherche Silva (Université de Lorraine, AgroParisTech, Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement) : [www6.nancy.inrae.fr/silva/](http://www6.nancy.inrae.fr/silva/)
- Modèle de bilan hydrique forestier BILJOU© : [appgeodb.nancy.inrae.fr/biljou/](http://appgeodb.nancy.inrae.fr/biljou/)
- Modèle de bilan hydrologique : [swat.tamu.edu](http://swat.tamu.edu)

### Références bibliographiques

- Afes - Association française pour l'étude du sol, 2009. Référentiel pédologique 2008. Editions Quae, coll. Savoir-faire. 405 p.
- Aussenac G., Becker M., 1968. Écologie d'un massif sur sols hydromorphes : la forêt de Charmes (Vosges). Contribution à la mise au point d'une méthode d'étude dynamique du milieu forestier. *Ann. Sci. For.*, vol. 25(4) pp. 291–332. doi.org/10.1051/forest/19680404
- Baize D., 2016. Petit lexique de pédologie - Nouvelle édition augmentée. Editions Quae
- Baize D., Jabiol B., 2011. Guide pour la description des sols. Editions Quae
- Becker M., 1972. Etude des liaisons station-production, dans une forêt sur sols hydromorphes (forêt communale de Charmes - Vosges). *Rev. For. Fr.* XXIV(4) pp. 269–287. doi.org/10.4267/2042/20620
- Gaertig T., Schack-Kirchner H., Hildebrand E.E., Wilpert K. v., 2002. The impact of soil aeration on oak decline in southwestern Germany. *For. Ecol. Manag.*, vol. 159(1-2) pp. 15–25. doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00706-X
- Granier A., Bréda N., Biron P., Villette, S., 1999. A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. *Ecol. Model.*, vol. 116(1-2), pp. 269–283. doi.org/10.1016/S0304-3800(98)00205-1
- IPCC 2007. Climate Change 2007: the physical science basis. In: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller. Cambridge University Press, Cambridge, 940 p.
- Lebourgeois F., Jabiol B., 2002. Enracinements comparés du Chêne sessile, du Chêne pédonculé et du Hêtre. Réflexions sur l'autécologie des essences. *Rev. For. Fr.* LIV(1) pp. 17–42. doi.org/10.4267/2042/4898
- Lévy G., 1990. Incidences possibles d'une coupe à blanc sur la remontée des nappes et la stabilité structurale des sols à hydromorphie temporaire. *Rev. For. Fr.* XLII(5) pp. 517–522. doi.org/10.4267/2042/26101
- Lévy G., 1981a. Comportement de jeunes plants d'Épicéa commun en sol à engorgement temporaire de surface : influence de divers facteurs du milieu. *Ann. Sci. For.*, vol. 3 pp. 3–30
- Lévy G., 1981b. La nutrition azotée de l'Épicéa en sol engorgé : étude expérimentale. *Ann. Sci. For.*, vol. 38 pp. 163–178
- Lévy G., Lefèvre Y., 2001. La forêt et sa culture sur sol à nappe temporaire. Editions Engref. 223 p.
- Martin M., 2019. Développement d'un modèle de transfert hydrique des sols forestiers partiellement tassés dans un contexte de données parcimonieuses. Thèse de doctorat. Université d'Avignon.

