



**HAL**  
open science

## Croissance racinaire du chêne en sol soumis à un engorgement temporaire en eau

Philippe Balandier, Thierry Ameglio

► **To cite this version:**

Philippe Balandier, Thierry Ameglio. Croissance racinaire du chêne en sol soumis à un engorgement temporaire en eau. Rendez-vous Techniques de l'ONF, 2022, 73, pp.37-42. hal-03684713

**HAL Id: hal-03684713**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03684713v1>**

Submitted on 14 Mar 2023

**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.

# Croissance racinaire du chêne en sol soumis à un engorgement temporaire en eau

Ici, on cherche à comprendre et caractériser la manière dont la dynamique de la nappe temporaire affecte la distribution et la croissance des racines des chênes au fil du temps. La méthode? Suivre pendant un an la colonisation par les racines des parois latérales de plusieurs fosses de 2 m de profondeur judicieusement disposées dans les chênaies étudiées. Méthode lourde (faute de mieux!) mais instructive.

## Résumé

En sol à nappe d'eau perchée temporaire, le système racinaire du chêne est régulièrement soumis à un engorgement prolongé, suivi par des épisodes de sécheresse édaphique pouvant être marqués. En conditions anaérobies sous l'eau, la croissance des racines est inhibée et leur état se détériore rapidement. Au retrait de la nappe d'eau, seules les racines qui étaient hors de l'eau peuvent avoir une reprise de croissance rapide et recoloniser le sol en profondeur. L'état de santé de l'arbre dépend directement de cette potentialité, en interaction avec la précocité du retour de la sécheresse estivale, de la dimension effective du réservoir en eau, mais aussi de la profondeur de prospection des racines et de leur capacité à absorber l'eau aux grandes profondeurs.

Dans de nombreuses régions de France métropolitaine, les chênes sessile et pédonculé croissent dans des sols soumis à des engorgements temporaires en eau. Ils résultent, soit de la présence d'une nappe d'eau perchée au-dessus du socle argileux et alimentée par les pluies, soit de la remontée d'une nappe d'eau alluviale à plus large échelle spatiale. Ces nappes d'eau plus ou moins proches de la surface du sol peuvent persister de quelques jours à quelques mois. Elles soumettent tout ou partie du système racinaire du chêne à des conditions anaérobies (restriction en oxygène) qui perturbent leur fonctionnement. L'étape ultime, si la nappe persiste, est le pourrissement des racines soumises à l'engorgement. Dans les cas les plus extrêmes, la santé de l'arbre peut être affectée (perturbation du fonctionnement hydrique et carboné) et des dépérissements ont déjà été observés, pouvant aller jusqu'à la mort d'un individu. Le chêne pédonculé est réputé plus résistant à ces conditions d'engorgement que le chêne sessile (Lebourgeois et al., ce numéro).

Cependant la nappe d'eau temporaire peut aussi avoir des effets positifs. Elle peut participer rapidement à la recharge en eau des horizons du sol et être un réservoir d'eau mobilisable par les racines échappant à l'engorgement. En fait tout dépend de la rapidité du retrait de la nappe d'eau et de la météorologie de l'année considérée et en particulier de la précocité de la sécheresse.

Nous avons voulu en savoir davantage sur la manière dont la nappe d'eau temporaire, d'origine alluviale dans le cas présenté ici, affecte la distribution et la croissance des racines du chêne, dans l'espace et le temps. Pour cela nous avons suivi pendant une année la colonisation par les racines des parois latérales de plusieurs fosses de 2 m de profondeur dans trois chênaies de l'Allier.

## Les trois sites d'étude

Les trois chênaies retenues, dénommées P1, P2 et P3, se situent dans la plaine de l'Allier, respectivement en forêts de Chézy (à 7,5 km de la rive droite de l'Allier), Saint Augustin (5,5 km de la rive gauche) et Paray-Le-Frésil (21 km de la rive droite). Le climat y est de type tempéré, avec une pluviométrie annuelle de 790 mm, une température hivernale moyenne de 3,7°C et estivale de 18,9°C. Le sol de ces chênaies est caractérisé par un horizon argileux se situant de 20 à 50 cm en profondeur et surmonté par un horizon sablo-limoneux ou limono-sableux. Le sol est acide (pH de 4,7 à 5,2) et peu fertile avec en particulier une faible disponibilité en phosphore. Les traces d'oxydo-réduction montrent que la nappe d'eau est sans doute parfois affleurante en P1, 10 cm sous la surface en P2 et 30 cm en P3. La végétation de sous-bois est en majorité composée de molinie bleue (*Molinia caerulea*) et de quelques ronces (*Rubus section fruticosus*).

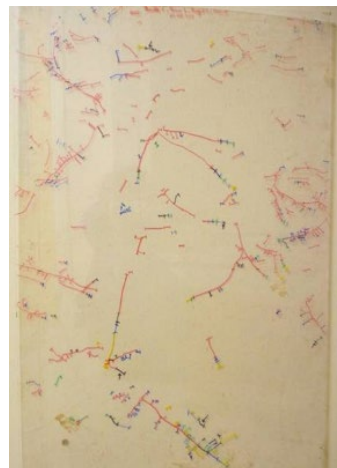
Les trois peuplements considérés sont adultes. P1 est principalement constitué de chêne pédonculé (*Quercus robur*) âgé en moyenne de 110 ans, une hauteur dominante de 24 m et un diamètre de tronc de 49 cm. P2 contient du chêne sessile (*Quercus petraea*) en mélange avec le chêne pédonculé, le peuplement est âgé de 128 ans, avec une hauteur dominante de 26 m et un diamètre de 55 cm. P3 contient également les deux espèces mais les arbres sont plus jeunes, 83 ans, avec une hauteur dominante de 22 m et un diamètre de 30 cm.

### Le rhizotron, une vue sur le monde souterrain

Pour accéder aux racines, au printemps 2011, nous avons fait creuser à la pelle mécanique, trois fosses sur chacun des sites, soit 9 fosses au total. Elles mesurent 2 m de profondeur, 80 cm de large et 2 m de long (Fig. 1). Pour des raisons de sécurité, les deux côtés les plus longs des fosses ont été étayés par des planches en bois mais permettant de laisser l'eau circuler. Une vitre a été installée verticalement de chaque côté de la fosse sur les faces les plus petites (Fig. 1) et jusqu'à 2m de profondeur. Un couvercle ferme le tout pour éviter les perturbations par la lumière extérieure et de trop grandes variations de température.

À l'ouverture de la fosse, nous avons relevé la densité initiale de racines présentes (Fig. 2). À partir de juillet 2011, toutes les semaines ou deux semaines (en fonction de la vitesse de croissance des racines), le nombre et la longueur de toutes les racines visibles sur la vitre ont été relevés sur un calque à l'aide de feutres indélébiles pour une analyse ultérieure au laboratoire (Fig. 1). Quand la présence d'eau dans la fosse empêchait les observations (notamment durant la période de présence de la nappe), nous avons transvasé toute l'eau de la fosse dans une cuve à l'aide d'une motopompe, puis en sens inverse une fois les observations terminées. Les observations ont eu lieu jusqu'en août 2012 pour obtenir un cycle annuel complet. Cependant, nous ne les avons pas poursuivies au-delà car de précédents travaux montrent que les racines sur la vitre du rhizotron suivent le trajet privilégié de celles de l'année précédente, ce qui est un facteur de confusion des données.

Chaque fosse est équipée de capteurs de mesure de la teneur en eau du sol et de la température à différentes profondeurs et jusqu'à 2m. Un piézomètre a été installé sur chaque site pour mesurer la hauteur de la nappe d'eau en permanence; il est situé à quelques mètres de distance des trois fosses pour éviter de fausser la mesure.



← **Figure 1.** Le rhizotron, vitre insérée verticalement sur l'une des faces de la fosse et jusqu'à 2 m de profondeur.

En haut à gauche, installation ; ci-dessus, quelques mois plus tard, les racines en croissance colonisent la vitre ; ci-contre, chaque semaine un calque et des feutres indélébiles permettent d'enregistrer la croissance des racines.



↑ **Figure 2.** Relevé de la densité initiale de racines aux différentes profondeurs des fosses à l'aide d'une grille maillée (mars 2011).

## Calculs des densités et des accroissements racinaires

La localisation des fosses a été déterminée de façon à ce que chaque rhizotron (petite face vitrée de la fosse) soit disposé à proximité d'un tronc de chêne, à une distance d'environ 1m, ce qui permet, avec une même fosse, de suivre la croissance racinaire de deux arbres. Pour autant, cela n'a pas toujours été possible et la distance du rhizotron au tronc varie. Or, on sait que la densité racinaire décroît de façon exponentielle avec la

distance au tronc. Par ailleurs, les arbres cibles n'avaient pas la même dimension ce qui peut aussi jouer sur la densité racinaire. C'est pourquoi nous avons normalisé la densité de racines ( $n$ , nombre par  $m^2$  de vitre) à partir de la surface terrière de l'arbre le plus proche ( $G$ ,  $cm^2$ ) et de la distance de l'arbre au rhizotron ( $D$ ;  $cm$ ). Ainsi nous utilisons un indice de densité racinaire (IGD) défini selon l'expression :

$$IGD = \frac{n}{(G * e^{(0,4-0,005xD)})}$$

Enfin, la densité initiale de racines sur les rhizotrons peut n'être pas homogène au départ des enregistrements. Nous avons évité les racines charpentières des arbres; toutefois la présence d'une grosse racine proche du rhizotron peut considérablement augmenter la densité

racinaire et vice versa. C'est pourquoi nous avons calculé et utilisé l'accroissement relatif en longueur des racines qui tient compte de la densité initiale de racines pour chaque pas de temps :

$$\text{Accroissement relatif en longueur} = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \times \frac{1}{(t_2 - t_1)}$$

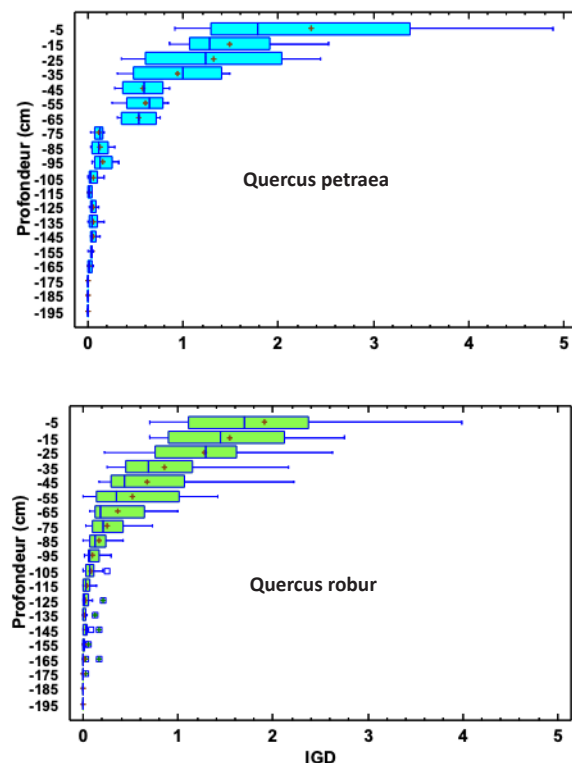
Avec  $L_1$ , la longueur racinaire au temps  $t_1$  et  $L_2$ , la longueur racinaire au temps  $t_2$ .

## Densité initiale de racines à l'ouverture des fosses

À l'ouverture des fosses au printemps 2011, les plus fortes densités racinaires (cf. encadré) sont observées en surface, puis décroissent très rapidement dès les 40 premiers cm de sol, avec une densité qui devient très faible en dessous de 80 cm (Fig. 3). Quelques racines éparées sont néanmoins observées jusqu'à 2m de profondeur. Nous n'avons pas mis en évidence d'effet significatif sur cette distribution de l'espèce de chêne considérée, mais avec trop peu d'arbres pour *Q. petraea* (3 individus) pour conclure définitivement à des enracinements semblables à *Q. robur* (12 individus). Les profils sont toutefois très proches pour les deux espèces. Seul le peuplement considéré a un effet avec des densités en surface plus faibles sur P1, site où la nappe d'eau est aussi la plus proche de la surface.

## Une nappe d'eau présente cinq mois par an

Sur les trois sites, la dynamique de la nappe d'eau est assez semblable. Fin 2011, elle a commencé à s'installer à la mi-décembre pour atteindre son maximum à la mi-janvier 2012 (Fig. 4). Elle a persisté jusqu'à la mi-juin avant de commencer à décroître. Les maximums atteints en 2011-2012 sont différents entre les trois peuplements : environ 40 cm de profondeur pour P1, 50 cm pour P2 et 60 cm de profondeur pour P3. Cependant les mesures réalisées fin 2012, nappe d'eau proche de la surface en P2 (Fig. 4), laissent penser que ces hauteurs de nappe d'eau des hivers et printemps 2012 n'étaient pas particulièrement remarquables. Au 16 septembre, la nappe d'eau est passée en dessous de



→ Figure 3. Indice de densité racinaire (IGD, sans unité; tous sites confondus) de *Q. robur* (n=12) et *Q. petraea* (n=3) en fonction de la profondeur dans le sol

Le graphique est présenté en boîte à moustache : minimum, premier quartile, médiane, troisième quartile, maximum. L'indice de densité racinaire correspond au nombre de racines par unité de surface échantillonnée et pondéré par la distance et la surface terrière de l'arbre le plus proche (voir encadré).



2 m de profondeur, profondeur maximale des piézomètres, sauf pour le site P2 où la nappe d'eau a persisté tout l'automne à 160 cm de profondeur.

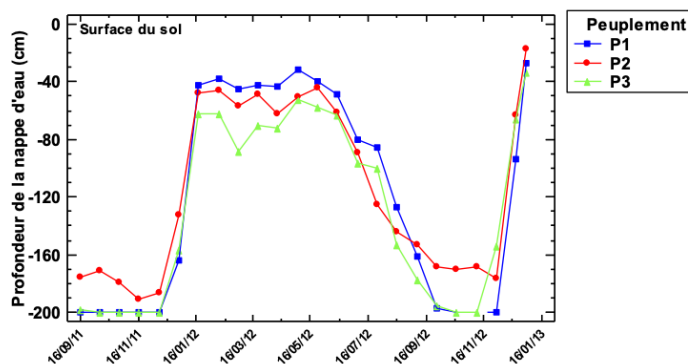
Il faut souligner la concordance des relevés de densité racinaire (Fig. 3) réalisés au printemps 2012 avec ces enregistrements de la hauteur de la nappe d'eau (Fig. 4) : les densités maximales de racines sont observées au-dessus de la nappe d'eau, soit 40 cm sur P1.

## La croissance racinaire suit le retrait de la nappe d'eau

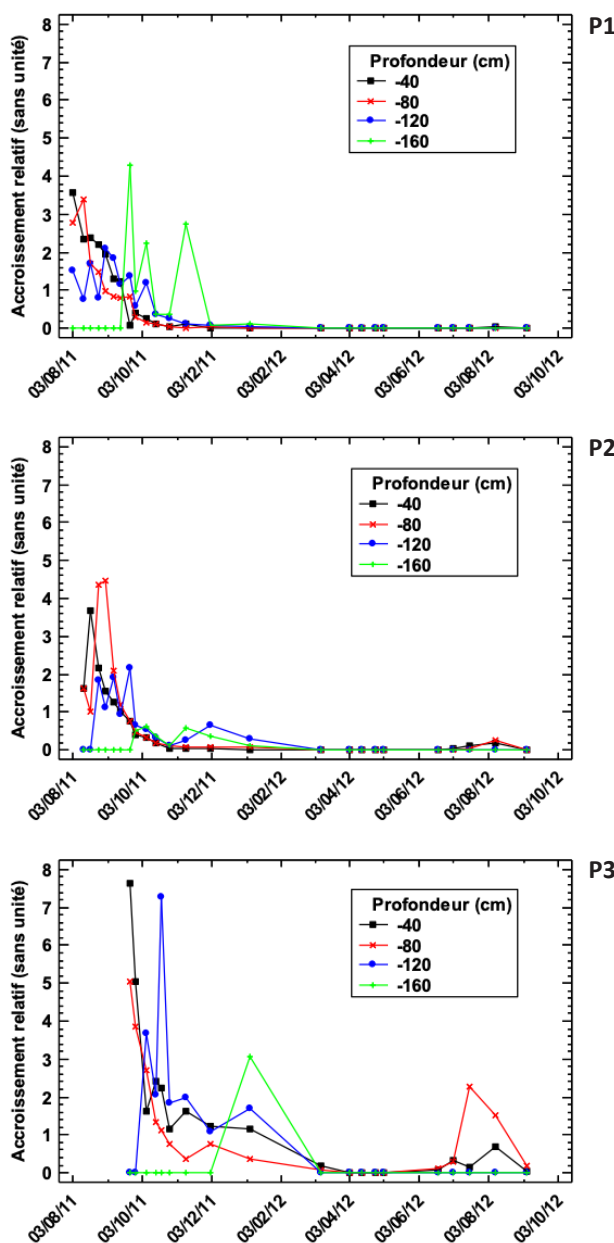
Quelle que soit la date d'observation considérée, printemps, été, automne ou hiver, nous n'avons pas observé de croissance racinaire en dessous de la surface de la nappe d'eau (Fig. 4 et 5). Ce résultat confirme la littérature, la croissance racinaire est totalement inhibée par les conditions anaérobies créées par la nappe d'eau. À l'opposé, dès que la nappe commence à se retirer, fin juin – début juillet, les premières croissances racinaires sont observées pour les horizons de surface, puis les pics de croissances sont observés pour des horizons de plus en plus profonds tout au long de l'automne, voire au début de l'hiver avant que la nappe d'eau ne remonte (Fig. 4 et 5). Quelle que soit la date considérée, les accroissements relatifs en longueur ont toujours été plus importants pour le peuplement P3. Cette observation peut être mise en relation avec, soit une nappe d'eau plus profonde sur ce site (Fig. 4) et donc un système racinaire moins affecté à la reprise de croissance, soit la relative jeunesse du peuplement (80 ans) et une différence de vigueur de la croissance par rapport aux deux autres peuplements plus âgés.

En interaction avec la présence de la nappe d'eau, la phénologie de la croissance racinaire est très décalée par rapport au compartiment aérien. Pour les trois peuplements, les arbres ont débourré à la mi-avril puis ont eu des croissances radiales et longitudinales du tronc et des branches rapides jusqu'au début de l'été, alors qu'aucune croissance racinaire n'était enregistrée. Il est probable que les seules racines en surface et au-dessus de la nappe d'eau, qui sont aussi les plus nombreuses, aient suffi à alimenter les arbres en eau. Cela rejoint les observations de Breyse *et al.* (2019) qui n'ont pas constaté sur ces sites de problèmes marqués de croissance printanière de l'aubier de ces arbres. La croissance racinaire commence beaucoup plus tard, dans le courant de l'été, mais se poursuit à l'automne et au début de l'hiver, tant que la teneur en eau du sol le permet (donc à des profondeurs de plus en plus importantes) et que les températures du sol le permettent également (Fig. 6). La croissance racinaire, indépendamment de la nappe d'eau, semble stopper pour des températures du sol inférieures à environ 6-8°C, en accord avec les observations rapportées par Riedacker (1976) sur les Chênes.

→ **Figure 5.** Évolution de l'accroissement relatif en longueur des racines (sans unité) en fonction de la profondeur considérée (0–40, 40–80, 80–120, 120–160 cm) dans les fosses des trois peuplements. Le taux d'accroissement relatif en longueur des racines correspond à l'accroissement en longueur des racines par unité de temps pondéré par la densité initiale des racines, la distance et la surface terrière de l'arbre le plus proche (voir encadré).



↑ **Figure 4.** Évolution temporelle de la profondeur (cm) de la nappe d'eau temporaire dans les fosses des trois peuplements.

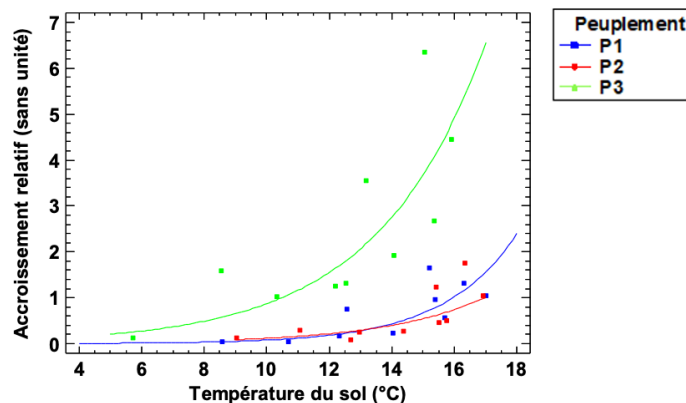


## La nappe d'eau, opportunité ou menace ?

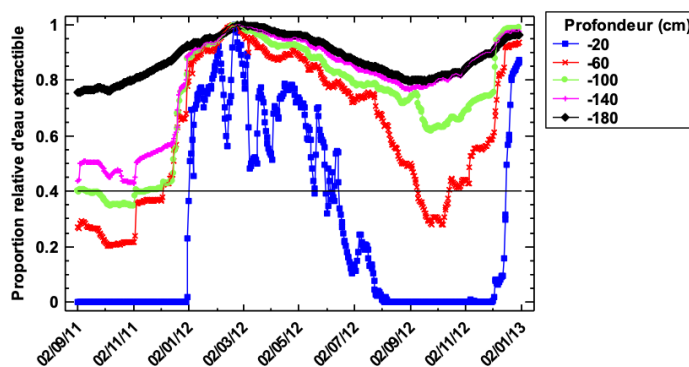
Nos observations confirment que la présence d'une nappe d'eau proche de la surface du sol perturbe la croissance des racines des deux espèces de chêne. Nous n'avons pas observé de pics de croissance en mai ou en juin comme rapporté par exemple par Riedacker (1976) en sol sain. Au contraire, le premier pic de croissance racinaire n'a pas lieu avant la mi-juillet, au moment où la nappe d'eau commence son retrait. Nous n'avons jamais observé de croissance racinaire sous la surface de la nappe d'eau, sans toutefois pouvoir dire si les racines observées dans l'eau étaient vivantes ou mortes. Certains signes comme un brunissement prononcé laissent penser que dans la nappe d'eau beaucoup de racines avaient perdu de leur vitalité sans toutefois pouvoir le confirmer. Néanmoins, c'est bien dans les horizons supérieurs de sol épargnés par la nappe d'eau que commence la croissance racinaire. Puis, au fur et à mesure du retrait de la nappe d'eau, des racines apparaissent et croissent dans des horizons de plus en plus profonds jusqu'à environ 160 cm de profondeur.

La croissance racinaire ne précède pas le retrait de la nappe d'eau mais le suit. Ceci est d'autant plus important que les horizons de surface du sol peuvent être alors soumis à une sécheresse plus ou moins marquée en fonction des années. Sur 2011 – 2012, les premiers horizons de sol ont montré un déficit en eau parfois marqué mais avec un teneur en eau du sol non contraignante en dessous d'environ 80 cm (Fig. 7). Cela souligne l'importance de la dynamique de recolonisation du sol en profondeur par les racines à partir des premiers horizons de surface libérés de la contrainte de la nappe d'eau. Ce résultat rejoint les observations de Lévy *et al.* (1999) où les chênaies les moins problématiques sont celles avec la nappe d'eau la plus affleurante à la surface du sol, comme si la réserve en eau disponible du sol était plus essentielle que l'importance du turnover racinaire dans les conditions de fortes anaérobies.

Toutefois, notre étude semble montrer une complexité un peu plus marquée que les conclusions de Lévy *et al.* (1999), avec un équilibre précaire et subtil entre la dynamique de la nappe d'eau et celle de la croissance aérienne et racinaire de l'arbre. Ainsi, d'un côté, les racines ne croissent pas dans la nappe d'eau temporaire qui les asphyxie, d'un autre côté, elles ont besoin d'eau non stagnante pour croître. Dans les deux années de notre étude, la contrainte météorologique d'un manque de précipitations n'a pas été suffisamment sévère pour empêcher la recolonisation racinaire en profondeur du sol, avec des réserves en eau encore abondantes et assurant l'approvisionnement des arbres. Mais qu'en serait-il d'une sécheresse plus précoce ou plus intense ? Quel impact peut avoir un démarrage de la végétation aérienne plus précoce ? Qu'advient-il si les racines ne parviennent pas à rejoindre les horizons les plus profonds et donc les plus humides car traversant des horizons de sol déjà trop secs ? Certains dépérissements du chêne sur ces dernières années ne sont-ils pas dus à de tels épisodes ?



↑ Figure 6. Accroissement relatif en longueur des racines (sans unité) en fonction de la température mesurée dans le sol pour les trois peuplements.



↑ Figure 7. Évolution de la teneur en eau extractible en proportion de la réserve utile pour différentes profondeurs de sol. Exemple du site P1.

On estime généralement que des valeurs en dessous de 0,4 (40% de la réserve utile en eau, e.g. Bertin *et al.*, 2016) correspondent au début de la sécheresse, et des valeurs encore plus faibles traduisent une sécheresse marquée. C'est le cas ici pour le premier horizon de sol (20 cm) et dans une moindre mesure, le second (60 cm). La teneur en eau du sol n'a jamais été contraignante durant les deux années de l'étude pour des horizons plus profonds.



L'étude de ces dynamiques temporelles et spatiales entre le retrait de la nappe d'eau, le dessèchement précoce des horizons de sol, la croissance de la partie aérienne et la croissance des racines semble nécessaire pour caractériser plus finement les contraintes. Pour cela, à défaut d'outils non invasifs et aussi simples d'utilisation que les micro-dendromètres pour la partie aérienne, les rhizotrons, malgré leurs lourdeurs de mise en place, de suivi et l'artificialisation qu'ils provoquent en perturbant le sol et le système racinaire, restent des outils de connaissance précieux.

**Philippe Balandier, Thierry Améglio**

UMR547 PIAF (INRAE, Université Clermont-Auvergne), Clermont-Ferrand

### REMERCIEMENTS PARTICULIERS

Le programme intitulé « Évaluation de la vulnérabilité des chênaies aux contraintes hydriques dans un contexte de changement climatique, conséquences sur la gestion des peuplements » à l'initiative de Jean-Paul Nebout (ingénieur au CRPF), financé par la DRAAF et les programmes Européen Leader sur le territoire du GAL (Groupe d'Action Locale) Sologne et Bocage Bourbonnais, fut initié en 2010 par l'UMR-PIAF (INRA) en partenariat avec l'Irstea et le CRPF Auvergne. Nos remerciements à l'ensemble des partenaires, propriétaires et gestionnaires. Merci aussi à tous ceux lors de cette étude qui ont manié la pioche, étayé, vidé l'eau des fosses pour assurer les observations, puis à nouveau rempli, les deux pieds dans la boue et par tous les temps! Aline Faure, André Marquier, Christophe Serre, Fanette Chevallier, Patrice Chaleil, Pierre Conchon et Marc Vandame.



UMR PIAF

↑ Site d'étude P1

### RÉFÉRENCES

- Bertin S., Balandier P., Becquey J., Bonal D., Breda N., Perrier C., Riou-Nivert P., Sevrin E., 2016. In : Le bilan hydrique des peuplements forestiers : Etat des connaissances scientifiques et techniques. Implications pour la gestion. Bertin S., Perrier C. (Coord.), RMT Aforce, 190 p.
- Breysse B., Améglio T., Balandier P., 2019. Trop ou trop peu, le dépérissement du chêne est une histoire d'eau ! Forêt Entreprise n° 246, pp. 53-57
- Levy G., Lefevre Y., Becker M., Frochot H., Picard J.-F., Wagner P., 1999. Les excès d'eau : Influence sur la croissance des chênes. Revue forestière française vol. 51(2), pp. 151-161
- Riedacker A., 1976. Rythmes de croissance et de régénération des racines des végétaux ligneux. Annales des Sciences Forestières vol.33(3), pp. 109 – 138

