

La sécheresse : quels risques pour les forêts ?

Fiche **QUESTIONS SUR...** n° 02.05.Q03

2024, révisée mai 2026

Yves BIROT & Nathalie BREDA, membres de l'Académie d'Agriculture de France

Mots clés : changement climatique, évapotranspiration, stress, dépérissement

Les forêts ont de tous temps été exposées aux aléas climatiques tels que la sécheresse, mais l'augmentation observée sous nos latitudes de la fréquence et de l'intensité de cet aléa liée au changement climatique, et les perspectives d'aggravation, soulèvent beaucoup d'interrogations.

Comment caractérise-t-on la sécheresse ? Comment les arbres y répondent-ils et avec quelles conséquences ? Quels sont ou seront les effets forestiers des sécheresses ?

Comment caractériser la sécheresse ?

On peut définir la sécheresse de quatre manières :

- sécheresse météorologique liée à un déficit de pluie, qui en été se combine à une température élevée et un faible taux d'humidité de l'air ;
- sécheresse hydrologique, qui affecte les écoulements de surface et les ressources en eau ;
- sécheresse socio-économique, impactant les équipements (barrages, refroidissement des centrales) ;
- la sécheresse agricole, liée à une faible disponibilité de l'eau du sol pour les plantes.

Pour une forêt, la sécheresse est donc essentiellement un déficit plus ou moins marqué de la disponibilité en eau pour les arbres, lié à une réserve en eau du sol devenue insuffisante pour pouvoir être extraite dans de bonnes conditions par les racines. Or un minimum d'eau dans le sol est nécessaire à la survie des plantes, car il permet d'extraire l'eau du sol, de maintenir un flux d'eau depuis les racines jusqu'aux feuilles assurant une turgescence cellulaire suffisante pour la croissance, le turn-over des nutriments et l'ouverture des

stomates permettant les échanges gazeux (cf. fiche 02.02.Q04, et site [BILJOU](http://BILJOU.com)© dédié à la sécheresse en forêt). La sécheresse a une dimension temporelle (le déficit intervient à un moment de la saison et s'étend sur une durée plus ou moins longue, cf. Fig.1), et spatiale, (le déficit est variable au sein d'une même forêt, selon la profondeur du sol et ses propriétés). Sous nos latitudes, ce déficit en eau du sol est évidemment plus fréquent et plus intense en été (sécheresse estivale), saison caractérisée par des précipitations faibles, une faible humidité atmosphérique et des températures élevées qui accroissent la demande évaporative, tous ces facteurs se combinant pour induire des stress. Cependant, on observe aussi des sécheresses printanières qui affectent les arbres au moment de la reprise de végétation, ou hivernales, dont les impacts sur le fonctionnement des forêts ne sont visibles qu'au cours de la saison suivante.

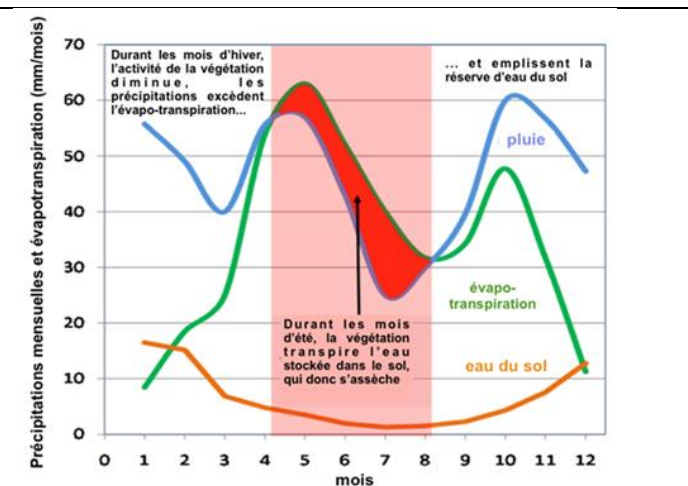


Fig. 1. : évolution annuelle de l'eau dans le sol, de l'évapotranspiration et de la pluviométrie dans une forêt de *Quercus ilex* (chêne vert) à Prades (Catalogne). L'estimation de la quantité d'eau du sol de cette forêt va de 96 à 0,2 mm selon la profondeur du sol et la saison dans l'année. On observe que la sécheresse s'installe à partir du mois d'avril pour une durée de 4 mois (source : Sabaté et Gracia, 2011)

Comment la sécheresse agit elle sur les forêts ?

La réponse de l'arbre à ce stress, va être de contrôler ses pertes en eau grâce à différents mécanismes. La réponse la plus rapide est la fermeture des stomates (cf. fiche 02.02.Q04 Eau & forêt : quels liens entre les deux ?) qui réduit la conductance stomatique pour l'eau, mais en même temps réduit la fixation du carbone par la photosynthèse (cf. Fig.2). Un mécanisme physiologique de tolérance à la dessiccation, appelé ajustement osmotique, permet à la plante de maintenir ses cellules turgescentes. À court terme, la plante limite et retarde la déshydratation continue des tissus qui la menaçait. La réduction de la photosynthèse liée à la fermeture des stomates réduit l'accumulation de réserves carbonées de la plante, qui s'épuisent et deviennent insuffisamment disponibles pour subvenir aux fonctions d'entretien (respiration), de résistance au froid et de défenses de la plante. En parallèle, à une moindre accumulation de réserves carbonées, le manque d'eau peut limiter la fonction de transport du phloème (liber) et la translocation du carbone sur une longue distance à l'intérieur des arbres. Lorsque d'autres aléas surviennent pendant des phases de régulations stomatiques intenses, comme une canicule ou un rayonnement excessif, la température foliaire peut devenir excessive, en absence de refroidissement assuré par la transpiration, les pigments et les photosystèmes du chloroplaste sont altérés et les feuilles changent de couleur précocement¹.

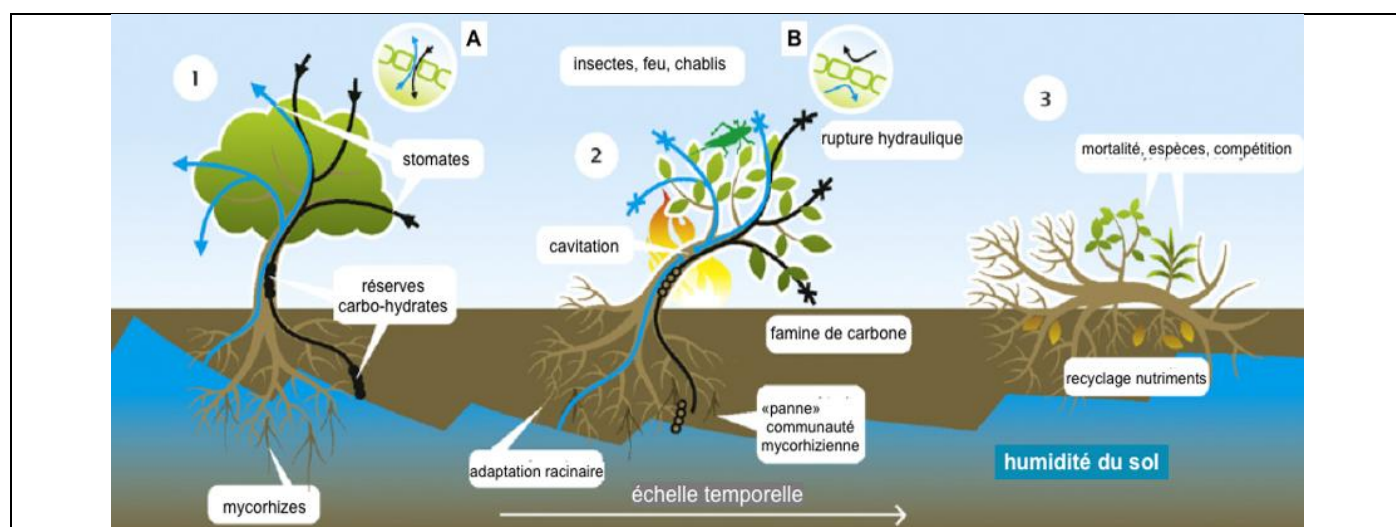


Fig. 2 : illustration schématique de l'interaction entre la sécheresse et le cycle du carbone avant, pendant et après une période d'intense stress hydrique, et des échelles de temps impliquées dans la réponse. Dans la situation (1) l'humidité du sol est suffisante et les flux d'eau et de carbone sont corrélés à la conductance stomatique (A : stomates ouverts). Dans la situation (2) une intense sécheresse survient, entraînant la fermeture des stomates (B), la cavitation et/ou la privation de carbone, suivie par une vulnérabilité accrue à d'autres perturbations comme les insectes, le feu et le vent. Dans la situation (3) de la mortalité sélective et de la repousse (permise par la recharge en eau du sol) se produisent, en cohérence avec la stratégie des espèces. D'après van der Molen et al. (2011).

Lorsque la limitation en eau est prolongée, les mécanismes de régulation ne sont plus suffisants et des dysfonctionnements irréversibles interviennent comme la chute prématurée des feuilles (Fig.2). D'autres mécanismes d'acclimatation interviennent à long terme (plusieurs années), tel l'ajustement de caractères morphologiques (taille ou épaisseur des feuilles) ou anatomiques (caractéristiques du xylème, densité stomatique) de la plante. Lorsque le stress hydrique devient encore plus prononcé, la tension dans la sève brute du xylème (vaisseaux conducteurs) augmente et peut atteindre le seuil de cavitation. Soumise à cette tension, l'eau est en effet physiquement métastable et peut passer à une phase gazeuse plus stable par cavitation. L'entrée d'air dans les vaisseaux du xylème crée une embolie qui interrompt l'alimentation en eau des feuilles et peut conduire à la mort des branches (voir de l'arbre entier) par dessiccation (Fig.3).



Fig. 3 : Une bulle d'air emprisonnée dans un vaisseau du xylème d'une nervure de feuille d'arbre (source : Brendel et Cochard, 2011)

Il existe une forte variabilité entre espèces, et à l'intérieur des espèces, dans leurs capacités à éviter ou tolérer la sécheresse, à travers les différents mécanismes mentionnés ci-dessus ou encore la profondeur de leur

¹ d'après Sabaté et Gracia, 2011

enracinement. D'autres mécanismes comme les associations mycorhiziennes sont aussi affectées par la sécheresse et se traduisent souvent par des changements d'espèces de champignons associés, plus tolérants au manque d'eau, mais capables d'assurer les mêmes fonctions enzymatiques, (Fig. 2). Sans surprise, les espèces ligneuses méditerranéennes se distinguent nettement des autres espèces de zone tempérée pour leur adaptation à la sécheresse.

La sécheresse : quels impacts sur les forêts ?

L'impact visuel à court terme de la sécheresse sur les arbres n'est facile à observer que les années où les deux aléas, déficit hydrique températures élevées coïncident, les feuilles soumises à régulation stomatique s'échauffent et brûlent. Une autre conséquence directe mais non visible est l'arrêt de la croissance radiale, qui intervient dès que le déficit hydrique s'installe. Les années suivantes, on peut observer la mort par dessiccation de certains organes (pousses annuelles, branches) ou parties de l'arbre, de l'arbre tout entier, ou de tout ou partie du peuplement qui peut apparaître. Ces dégâts peuvent concerner des arbres jeunes (en particulier plantations) mais aussi des arbres adultes.

Depuis les années 2000, les inventaires forestiers en Europe constatent un accroissement des taux de mortalité, dont la cause semble liée aux phénomènes de sécheresse. Des études plus détaillées² ont montré que même sur des sols assez profonds, les niveaux de stress hydrique subis par les peuplements étaient importants. Une sécheresse même modérée mais prolongée induit une régulation stomatique, qui affecte les échanges gazeux (transpiration et photosynthèse) des arbres. Ainsi le rôle de puits de carbone joué par les forêts est fortement réduit en cas de stress hydrique intense et prolongé. L'évaluation de ces impacts est complexe, car les réponses des arbres de la forêt à la sécheresse varient dans le temps, dans l'espace et entre les essences.

Les dépérissements importants apparaissent en cas de sécheresse répétée là où les espèces ne sont pas capables de faire face à ces événements extrêmes. Il peut s'agir soit de peuplements en limite de leur aire naturelle (par exemple épicéa, sapin pectiné ou pin sylvestre), soit de peuplement en plein cœur de leur aire (par exemple hêtre en Grand Est ou Bourgogne Franche Comté) soit de peuplements issus de plantations d'espèces qu'elles soient introduites ou locales.

Au-delà de ses effets directs sur les arbres, la sécheresse induit d'autres effets indirects, avec l'augmentation du risque d'incendie, et l'augmentation de la vulnérabilité des arbres aux insectes ravageurs secondaires ou de pathogènes. La dynamique de population des scolytes par exemple est favorisée par les fortes chaleurs, augmentant le nombre de générations d'insectes par an et provoquant une explosion de densité d'insectes. C'est le cas particulièrement des forêts d'épicéa et de pin sylvestre en Europe central et dans l'Est de la France, massivement atteintes par cette combinaison sécheresse & scolytes. Il s'agit de forêts plantées hors de l'aire naturelle de ces espèces dans des zones jugées à l'époque (fin XIX^e et début XX^e s.) écologiquement aptes à les accueillir, alors que le changement climatique n'était pas prévisible. On assiste, sans pouvoir les juguler, à des dégâts considérables : des centaines de milliers d'hectares touchés, des millions de mètres cube de bois à récolter en urgence, mettant à nu les sols, entraînant en montagne une accélération de l'érosion. Ainsi, la sécheresse peut entraîner de sérieuses perturbations sur l'ensemble des services écosystémiques fournis par les forêts.

Sécheresses et forêts : à quoi faut-il s'attendre demain ?

Les projections montrent que le changement climatique devrait accentuer la sécheresse météorologique sur les forêts françaises en termes d'intensité et de durée et altérer leurs habitats (cf. fiches 02.06.Q01 et 02.06.Q02). Ceci en raison de l'augmentation des besoins en eau des forêts en lien avec l'augmentation de la température et de l'évapotranspiration potentielle, même sans modification majeure de précipitations. Allant plus loin, une étude novatrice conduite en France métropolitaine (projet CLIMSEC), fondée sur des simulations utilisant d'anciennes projections climatiques du GIEC en fonction de différents scénarios (voir fiche 02.06.Q01) et des modèles régionalisés de *Météo France*, montre que la sécheresse du sol (sécheresse agricole) devrait s'aggraver au cours du XXI^e siècle (Fig.4) laissant craindre des stress importants pour les forêts, avec toutefois des différences régionales d'intensité.

Au milieu du siècle (2050), on observe, en toute saison en moyenne, une aggravation de la sécheresse du sol (malgré une évolution peu sensible du régime pluviométrique), notamment dans le Nord et en montagne,

² INRA, 2015

là où les sols sont aujourd'hui en moyenne plus humides. À la fin du siècle (2080), il est très probable qu'une grande partie du territoire connaîtra de très longues sécheresses du sol, quasiment sans retour à la situation normale (en référence au climat actuel). L'étude souligne aussi l'évolution plus rapide et plus forte des sécheresses du sol par rapport aux sécheresses météorologiques, en raison de l'augmentation de l'évaporation (liée à la température). La prise en compte des seules précipitations comme variable explicative pour décrire l'évolution des sécheresses, n'est pas pertinente (*d'après CLIMSEC et MétéoFrance*). Le site [BILJOU](#)© explicite des indicateurs dédiés à la sécheresse en forêt pour différents sols, forêts et maille en France métropolitaine.

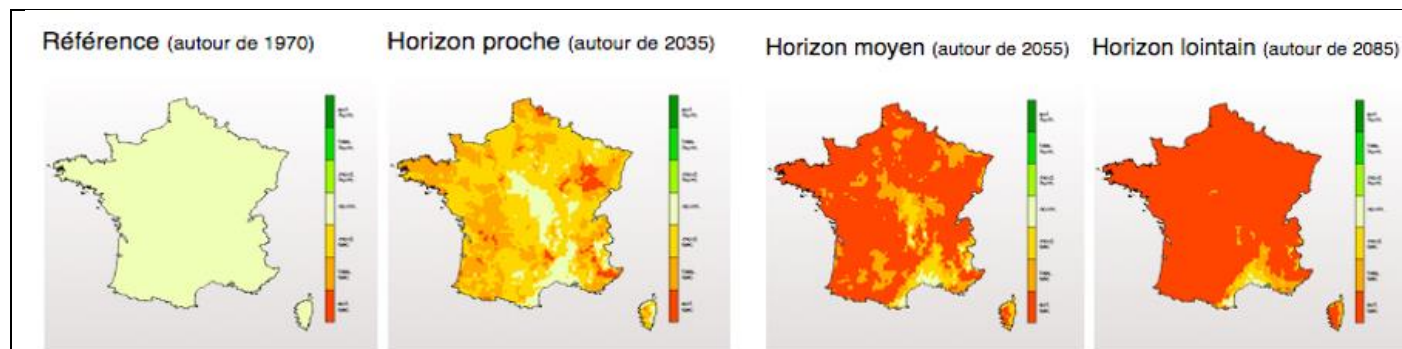


Fig.4 : simulation de l'évolution de l'indicateur sécheresse d'humidité des sols caractérisant la disponibilité de l'eau du sol pour la végétation pour le scénario intermédiaire du GIEC A1B, pour 3 horizons temporels autour de 2035, 2055, et 2085) © DRIAS

• Ce qu'il faut retenir :

Le stress hydrique affectant les arbres résulte d'une forte demande évaporative et d'une faible disponibilité de l'eau dans le sol enraciné.

Des mécanismes de régulation physiologiques et d'ajustements anatomiques, variables selon les espèces, permettent aux arbres de répondre au stress mais au détriment de la croissance et de la fixation du carbone.

Un stress hydrique intense et prolongé peut entraîner des dysfonctionnements hydrauliques (embolies) ou carbonés pouvant conduire au dépérissement, voire à la mort de l'arbre.

Le changement climatique agit fortement sur la disponibilité en eau du sol et l'aggravation de cette tendance va impacter les écosystèmes forestiers.

Pour en savoir plus

- Fiche 02.06.Q01 Le changement climatique est-il avéré ?
- Fiche 02.06.Q02 Le changement climatique : quels impacts sur les forêts ?
- Fiche 02.06.Q07 Le bois et ses dérivés peuvent-ils se substituer à d'autres matériaux et sources d'énergies au bénéfice du climat ?