



**HAL**  
open science

## Réchauffement. Les arbres en première ligne

Hervé H. Cochard, Marc Goxlan

► **To cite this version:**

Hervé H. Cochard, Marc Goxlan. Réchauffement. Les arbres en première ligne. Science, 2013, 798, pp.48-51. hal-01268597

**HAL Id: hal-01268597**

**<https://hal.science/hal-01268597>**

Submitted on 29 May 2020

**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.

Certaines espèces sont plus sensibles à la sécheresse, comme ici durant l'été 2012, dans une forêt près de Trieste (Italie), où hêtres, chênes pubescents, et charmes-houblons voyaient leurs feuilles grillées par le manque d'eau tandis que pins, faux merisiers et pistachiers térébinthes résistaient.

# Réchauffement

## Les arbres en première ligne

Avec la hausse des températures, les arbres sont victimes d'épisodes de sécheresse répétés. Au point de finir par en mourir, selon un mécanisme complexe que les chercheurs tentent de comprendre.

Par Marc Gozlan

LES MODÈLES DES CLIMATOLOGUES prédisent une plus grande fréquence et intensité des sécheresses dans l'avenir. Les températures globales pourraient s'élever de 1,5 à 2,5 °C à l'horizon 2050, selon le rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec). Principale victime de ce changement : les arbres qui, quand ils rencontrent de nombreux épisodes de sécheresse au cours de leur vie, finissent par en mourir. Au point que, aux États-Unis par exemple, pas moins de 80 équipes scien-

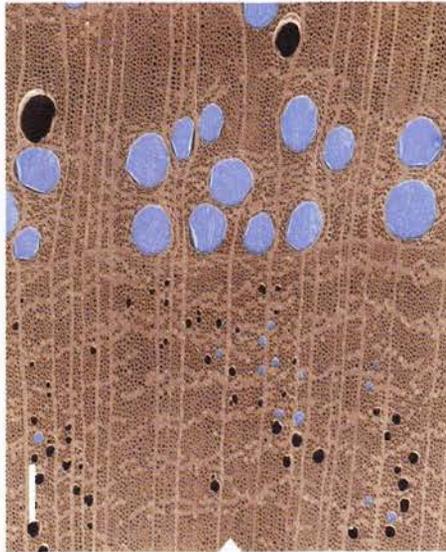
tifiques s'intéressent de près au phénomène depuis la sécheresse extrême de 2012. Mais comment définir la mort chez un organisme qui n'a pas de cerveau et reste le plus souvent debout quand il n'est plus vivant ? Cette question, apparemment simple, concerne le processus sans doute le moins bien compris de la dynamique des forêts. William Anderegg, de l'université de Stanford (Californie, États-Unis), a récemment tenté d'en esquisser une définition dans *Trends in Plant Science*. Selon ce spécialiste, « la mort d'un

arbre est l'arrêt permanent du fonctionnement de l'organisme considéré comme un tout, et non de toutes les cellules des feuilles, racines et organes. Cela signifie la défaillance d'interactions complexes. C'est le résultat de dommages irréversibles dans le transport de la sève et dans la coordination entre de multiples sous-systèmes organiques ». Ainsi, comme chez l'homme, des cellules, voire des tissus, pourraient vivre plusieurs jours après que l'organisme a été déclaré « mort ». Le temps à l'échelle cellulaire, tissulaire ou de l'organisme peut donc différer. La



DR HERVÉ COCHARD, INRA

Une bulle d'air s'est formée dans un vaisseau d'une feuille de noyer, empêchant la sève de circuler.



DR YUZOU SANO, HOKKAIDO UNIVERSITY

Dans ce tronc de chêne, des vaisseaux remplis d'air (en noir) n'assurent plus le transport de l'eau (bleu).

mort de l'arbre résulterait ainsi de l'accumulation de la défaillance de plusieurs systèmes à de multiples échelles de temps.

Comme le souligne Hervé Cochard, directeur de recherche à l'Inra (Institut national de la recherche agronomique) de Clermont-Ferrand, les espèces situées dans les zones arides ne sont pas les seules concernées : « Les arbres feuillus des zones tempérées fonctionnent eux aussi avec une marge de sécurité hydrique faible, quel que soit leur écosystème. » L'une des principaux facteurs impliqués dans la mortalité des arbres provoquée par des sécheresses sévères est le dysfonctionnement hydraulique qui peut conduire à l'embolie, c'est-à-dire l'obstruction des vaisseaux par des bulles d'air, pour laquelle existe un seuil critique. « Le taux d'embolie peut être

70%

des forêts mondiales seraient menacées par le manque d'eau. Ces arbres fonctionnent à la limite du point de rupture de leur système hydraulique. (Chouat et al. *Nature*. 2012 Nov 29;491:752-5).

42%

des arbres à fleurs fonctionnent en deçà des marges de sécurité hydraulique. (Chouat et al. *Nature*. 2012 Nov 29;491:752-5).

estimé par la diminution du flux de la sève. A pression de sève constante, plus il y a d'air dans les vaisseaux de l'arbre, plus ce flux diminue. Quand le flux est nul, le taux d'embolie est théoriquement de 100% », explique Hervé Cochard. Ce seuil diffère selon les espèces. Morgane Urli, chercheuse à l'unité Inra de Bordeaux dirigée par Sylvain Delzon et Annabel Porté, a montré, pour la première fois, dans une étude publiée en mai dans *Tree Physiology* que « contrairement aux conifères qui meurent lorsque le taux d'embolie est de 50 %, la mortalité des angiospermes [plantes à fleurs] survient à un seuil d'embolie minimum de 88 % ».

La plupart des végétaux mettent en place des stratégies d'adaptation pour augmenter leur chance de survie en cas de stress hydrique. Certaines espèces ▶

## Les mots de l'arbre

**XYLÈME** Tissu (bois) formé de conduits assurant le transport de la sève brute et formant la masse principale du tronc.

**PHLOÈME** Tissu (écorce) transportant la sève élaborée.

**TRANSPIRATION** Du point de vue physique, la transpiration est une évaporation. Elle permet d'aspirer la sève brute jusqu'aux feuilles à travers les vaisseaux du xylème. Elle permet aussi de réguler la température des feuilles.

**STRESS HYDRIQUE** Effet négatif d'une sécheresse sur la physiologie des plantes. Il affecte d'abord la croissance puis la photosynthèse et finalement le fonctionnement hydraulique du xylème.

**VAISSEAUX** Ils acheminent la sève brute des racines aux feuilles des arbres feuillus. Ces conduits sont normalement pleins d'eau, mais ils peuvent se remplir d'air.

**CAVITATION** Mécanisme physique par lequel des bulles d'air (gaz) apparaissent dans la sève brute (liquide). Il se produit lorsque la tension dans la sève est trop importante du fait d'une sécheresse.

**EMBOLIE** La cavitation provoque l'embolie, c'est-à-dire la présence d'air dans les vaisseaux de l'arbre. L'embolie perturbe, voire empêche, le transport de la sève.

**PONCTUATIONS** Pores de la paroi des cellules assurant le passage de la sève entre deux vaisseaux. Après cavitation d'un vaisseau, les ponctuations font barrière à la propagation de l'air vers un autre vaisseau.

**STOMATES** Petites ouvertures présentes à la surface des feuilles par lesquelles s'échappe la vapeur d'eau. Ces pores de quelques centièmes de millimètre servent de porte d'entrée au gaz carbonique de l'air, nécessaire à la photosynthèse.



DR

« Les conifères meurent lorsque le taux d'embolie est de 50 %, la mortalité des plantes à fleurs survient à un seuil de 88 % »

Morgane Urli, chercheuse à l'unité Inra de Bordeaux

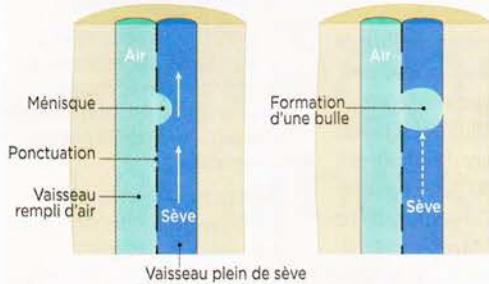
## L'arbre meurt de soif

### C'est l'embolie gazeuse

La sève liquide, qui circule sous tension dans les conduits du tronc et des branches, peut soudain évoluer vers une phase gazeuse. Ce phénomène dit de cavitation se produit lorsque la tension qui règne dans cet appareil circulatoire excède une valeur seuil, caractéristique pour chaque espèce d'arbre. Une bulle d'air se forme alors dans

la colonne de liquide. Cette embolie gazeuse stoppe brusquement l'ascension de la sève dans le vaisseau. Si cette embolisation se produit dans un grand nombre de vaisseaux, l'approvisionnement en eau des tissus de l'arbre diminue fortement et leur dessiccation commence. La limite de survie de l'arbre est alors atteinte.

### L'air l'emporte sur la sève



Il existe une différence de pression entre l'intérieur du vaisseau rempli d'air et la tension du conduit adjacent plein de sève. Lorsque l'interface air-eau (ménisque) cède du fait de l'augmentation de la tension hydrostatique du liquide, de l'air passe d'un vaisseau dans l'autre à travers une punctation. D'où la formation de bulles.

PHOTOS: DIMITRY KULAYEV/AGE FOTOSTOCK - DR - INFOGRAPHIE: SYLVIE DAUDAL



### SÈVE ÉLABORÉE

Elle transporte les sucres issus de la photosynthèse.

### SÈVE BRUTE

Elle circule sous tension et alimente l'arbre en eau et sels minéraux.

### L'EAU CIRCULE DES RACINES AUX FEUILLES

Le transport de l'eau se fait à travers l'arbre, des racines aux feuilles. La faible humidité de l'air par rapport à celle de la feuille provoque une sortie de vapeur d'eau par les stomates. Cette transpiration est le moteur de l'ascension dans l'arbre de la sève brute.

### PHOTOSYNTHÈSE

La chlorophylle des feuilles capte l'énergie lumineuse et l'utilise pour former des sucres à partir de l'eau et du gaz carbonique de l'air. La sève élaborée distribue ensuite les sucres dans toutes les parties vivantes de l'arbre.

## L'arbre meurt de faim

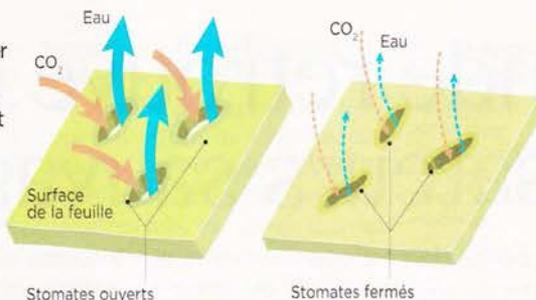
### C'est l'épuisement des ressources carbonées

La fermeture des stomates permet à l'arbre de réduire ses pertes en eau et de limiter le risque de dysfonctionnement de son système hydraulique, et donc d'embolie. Mais le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) ne peut alors plus pénétrer dans les feuilles et servir à la photosynthèse,

à l'origine de la production de sucres indispensables au métabolisme de la plante. Résultat : les ressources carbonées s'épuisent. Si la sécheresse dure, l'arbre va devoir puiser dans ses réserves pour survivre, au moment même où il devrait les accroître pour passer l'hiver.

#### CO<sub>2</sub> et eau sont tributaires des stomates

Les feuilles possèdent des pores qui peuvent se fermer pour diminuer l'évaporation. Si la sécheresse se poursuit, les stomates se ferment complètement. Leur fermeture prolongée peut conduire, à long terme, à des dysfonctionnements carbonés. Les cycles de l'eau et du carbone sont couplés.



### Les attaques d'insectes sont favorisées

L'épuisement des ressources carbonées provoque une altération du métabolisme cellulaire de l'arbre, se traduisant par une perturbation du fonctionnement des feuilles — qui se flétrissent en raison du manque d'eau —, du tronc — qui se contracte au maximum — et des racines, qui cessent de s'allonger. Par ailleurs, l'arbre devient incapable de produire des composés carbonés secondaires indispensables à sa défense. Il perd sa

capacité à lutter contre les attaques d'insectes porteurs de microbes. De plus, il est possible qu'il commence à émettre des gaz, signalant ainsi, bien involontairement, sa plus grande vulnérabilité à certains insectes xylophages. Des scolytes (coléoptères) pourraient alors leur inoculer des maladies. Ravageurs et pathogènes agissent ainsi souvent en interaction avec la sécheresse comme agents de mortalité des arbres.

► d'angiospermes présentent des capacités d'ajustement morphologiques, comme la perte des feuilles, pour éviter une chute trop importante de leur teneur en eau du fait de la transpiration. Mais cette stratégie a un coût à long terme comme le souligne Morgane Urli : « *Faire et refaire des feuilles fatigue l'arbre. L'impact de sécheresses chroniques, impliquant plusieurs cycles successifs de stress hydrique et de périodes de réirrigation, le fait souffrir.* »

#### Certains arbres gardent la mémoire de la sécheresse

De fait, note Nathalie Bréda, directrice de recherche à l'Inra de Nancy, « *la masse foliaire peut mettre plusieurs années à se reconstituer. La croissance lors des saisons suivantes s'en trouve affectée. Cela se voit très bien lorsque l'on mesure la largeur des cernes dans le tronc* », ces anneaux de bois que les arbres élaborent chaque année. « *Certains arbres gardent plusieurs années la mémoire d'une sécheresse* », précise la chercheuse. C'est le cas des chênes à feuillage caduc et des conifères. La « *crise de croissance* » peut se prolonger dix ans, voire être définitive.

Mais certaines espèces parviennent à résorber l'embolie estivale. « *Tous les arbres, à l'exception des palmiers et des bambous, ont la capacité de former de nouveaux vaisseaux qui remplacent ceux obstrués par de l'air qui ne conduit plus la sève* », déclare Hervé Cochard. Plus fort encore, la capacité de « *résilience* » dont font preuve certains peupliers, espèces pourtant peu résistantes à l'embolie. Ils peuvent produire des « *rejets* », autrement dit fabriquer des branches à partir de la base d'un tronc qui a dépéri. Il a ainsi été montré que des semis de *Populus tremuloides* peuvent présenter une mortalité foliaire totale pour une perte du flux hydrique de 90 % et être capables d'un « *rejet* » une dizaine de jours après irrigation. Si les arbres peuvent mourir, certains sont décidément des durs à cuire. ■