

Animation ARBRE, qui es-tu ?



Création graphique : Philippe Leblond - 2014

> CAHIER PEDAGOGIQUE

Exposition ARBRE, de la petite graine à la vieille branche
Du 2 avril au 1 septembre 2024

Ce cahier pédagogique sur l'arbre ne se veut pas exhaustif, mais correspond aux thématiques abordées lors de l'animation « ARBRE, qui es-tu ? » proposée dans le cadre de l'exposition « L'ARBRE, de la petite graine à la vieille branche ». Ainsi, la reproduction sexuée des arbres, et plus généralement des végétaux, n'est pas abordée dans ce document.

L'ARBRE, de la petite graine à la vieille branche : Exposition de l'Espace des inventions de Lausanne (Suisse), adaptée et scénographiée par l'Espace des sciences.



ARBRE, qui es-tu ?

En forêt, en montagne, à la campagne, les arbres sont partout, tant qu'il y a de la terre, de l'eau et de la lumière. Il faut juste que la température moyenne durant la saison de croissance soit d'au moins 7°C, ce qui n'est pas le cas au-dessus d'une certaine altitude et les grands végétaux ne peuvent donc pas s'y implanter. Cette limite de survie des arbres dépend beaucoup du contexte climatique local et ne se trouve donc pas partout au même niveau. Par exemple, dans les Alpes, on trouve des arbres jusque 2 300m d'altitude dans certaines zones favorables (au sud du massif) alors que la limite se situe plutôt autour de 1 800m au nord du massif.

1) Définir l'arbre :

- Vocabulaire de l'arbre

Il y a une grande diversité entre espèces d'arbres différentes, et même entre individus d'une même espèce. Mais quelle que soit sa forme, sa couleur, sa taille, un arbre aura toujours la même structure et, chaque partie de l'arbre, la même fonction.



Le **tronc** donne sa structure verticale à l'arbre. Il supporte mécaniquement le houppier et permet notamment la circulation de l'eau et des éléments minéraux des racines vers les feuilles.

Le **système racinaire** remplit deux fonctions essentielles : il assure l'enracinement et la stabilité de l'arbre et permet l'absorption de l'eau et des éléments minéraux du sol.

Le **houppier** regroupe l'ensemble des branches et ramifications hautes de l'arbre, notamment les feuilles où se réalise la photosynthèse.

On retrouve ces 3 grandes parties (feuilles, tige, racines) de façon générale dans le monde végétal, en dehors des mousses et des fougères.

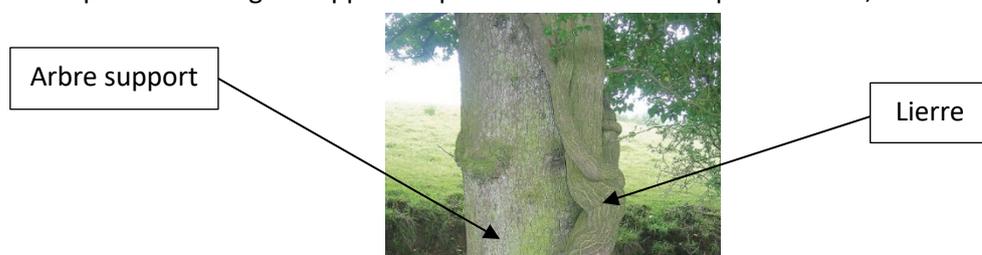
- Comment définir un arbre ?

Voici la définition de Catherine Lenne, docteur en physiologie végétale :

- c'est un végétal qui s'élève vers le ciel à plusieurs mètres de hauteur (*à la différence des arbustes ou buissons qui s'étendent en largeur*),
- de façon verticale grâce à son tronc fait de bois, ce qui en fait une plante ligneuse (*à la différence des palmiers et bananiers par exemple qui ont un « tronc » s'élevant vers le ciel mais non composé de bois*),
- le tronc portant des branches ramifiées à son sommet, elles-mêmes couvertes de feuilles (*à la différence des arbustes ou buissons qui ont des ramifications dès la base*),
- le tout formant une plante pérenne vivant plus d'une année et dont les organes (tige, tronc, branche, racine) persistent au-delà de l'hiver.

Ainsi, il ne suffit pas d'avoir du bois pour être un arbre !

Exemple du lierre La tige grimpante du lierre grossit au fil du temps, en fabriquant chaque année des anneaux de bois qui l'épaississent comme un arbre. Elle grossit parfois tellement qu'elle peut finir par développer un véritable tronc portant un large houppier. Et pourtant le lierre n'est pas un arbre, c'est une liane.



L'info en plus : Le lierre n'est pas un parasite pour l'arbre. Un parasite, c'est un organisme animal ou végétal qui se nourrit strictement aux dépens d'un organisme hôte d'une espèce différente, de façon permanente ou pendant une phase de son cycle vital. Contrairement au gui qui est une plante parasite (le gui réalise sa propre photosynthèse mais il se sert de la sève (liquide nutritif) de l'arbre qu'il parasite pour y arriver), le lierre, lui, ne se sert de l'arbre que comme d'un support. On le voit donc pousser aussi bien sur les arbres que sur les murs de nos maisons et les poteaux. En couvrant le tronc de son feuillage persistant, le lierre crée une protection contre les coups de chaleur et les rayons du soleil. C'est par ailleurs une ressource alimentaire formidable pour les insectes et les oiseaux. En effet, le lierre a une floraison très tardive, il produit donc du pollen, du nectar, puis des fruits charnus à une saison où toutes ces ressources se font rares.

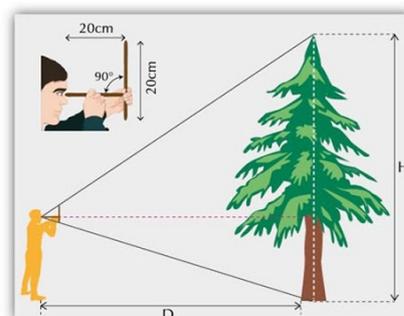
- Grand comment ?

L'IGN - Institut national de l'information géographique et forestière (responsable de l'Inventaire Nationale des Forêts – France) définit un arbre comme ayant une hauteur supérieure ou égale à 5 m ou susceptible d'atteindre cette dimension à maturité.

Comment mesurer un arbre ?

Prenez 2 baguettes de bois de même longueur, de 20 cm de long environ, que vous maintenez perpendiculairement devant votre œil de façon à former un angle droit (« croix du bûcheron »).

Éloignez-vous de l'arbre de façon à faire coïncider la base du bâton vertical avec la base de l'arbre et l'extrémité de ce même bâton avec le sommet de l'arbre. La distance qui vous sépare de l'arbre (D) correspond à sa hauteur (H), évaluable en faisant des grands pas (environ 1m).



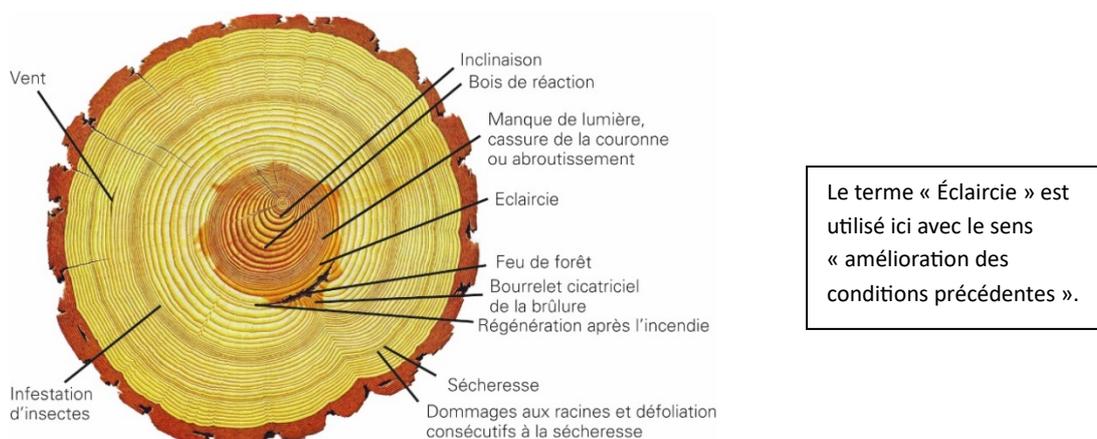
Le plus haut arbre de France est un pin Douglas situé à Renaison (Loire). Il mesure 66,48m de haut et a 130 ans.

- Vieux comment ?

La longévité des arbres est très variable selon les espèces. Le bouleau ne dépasse pas les 50 à 60 ans, le châtaignier 150 à 200 ans, tandis que le chêne et l'if peuvent dépasser les 2000 ans. Attention, les records ne sont pas forcément révélateurs des moyennes de longévité de chaque espèce. De manière générale, les arbres à croissance rapide ont une longévité moindre que les arbres à croissance lente.

Le plus vieil arbre de France est un olivier situé à Roquebrune-Cap-Martin (Alpes-Maritimes). Il aurait environ 2 000 ans (c'est-à-dire à l'époque des Gaulois et de l'Empire Romain).

Les arbres grandissent par cycle saisonnier : lors du printemps, ils produisent beaucoup de bois et la croissance ralentit en été pour s'interrompre totalement pendant l'automne et l'hiver. Cette alternance crée des cernes dans le tronc qui se visualisent lorsque l'arbre est coupé. On peut ainsi non seulement dater l'âge de l'arbre, mais aussi voir les conditions écologiques et climatiques d'une année particulière (tempête, sécheresse, incendie,...). Cette technique d'étude des cernes de croissance est appelée dendrochronologie.



Heureusement, il n'est pas forcément nécessaire de procéder à la coupe de l'arbre pour procéder au comptage des cernes : on arrive à prélever des échantillons sous forme de carottes dans le tronc. Le trou est ensuite rebouché avec du mastic pour éviter les infections (bactéries ou champignons).

Tous les arbres produisent des cernes et peuvent donc être soumis à datation. Mais quand la croissance est lente, les cernes sont tellement serrés qu'on ne peut les compter qu'à l'aide d'outils numériques. De même, dans les régions du monde où l'hiver est moins marqué, l'arbre peut grandir au même rythme toute l'année et les différences de coloration des cernes sont donc peu ou pas visibles. Là aussi, des outils numériques sont nécessaires pour estimer l'âge de l'arbre étudié. **Mais il est parfois impossible d'utiliser la dendrochronologie sur les très vieux arbres lorsque le tronc est dédoublé, déformé ou creux, ce qui arrive souvent !**

Une méthode moins invasive, mais beaucoup moins précise, permet d'estimer la datation par le biais de la circonférence de l'arbre. Mesurez la circonférence de l'arbre à une hauteur d'environ 1,40 m du sol et divisez par Pi (3,1416) pour obtenir le diamètre. Enfin multipliez le diamètre du tronc par le facteur multiplicateur correspondant à votre type d'arbre et vous aurez un âge approximatif de l'arbre.

Facteur multiplicateur : 1,5 pour l'érable argenté, l'orme, le peuplier ; 2 pour le bouleau, pin blanc, pin rouge, pin d'Autriche, frêne, l'érable rouge, le chêne et le mélèze ; par 2,5 pour le sapin baumier, le hêtre et le frêne ; 3 pour les arbres à croissance très lente comme le chêne rouge et le noyer.

Cette estimation reste imprécise car elle ne prend pas en compte les aléas climatiques, la luminosité selon l'emplacement de l'individu, les ressources en eau, les événements traumatisants tels que des incendies, ... tout ce qui peut ralentir ou accélérer la croissance d'un arbre.

- Feuillus et résineux

Il existe deux grandes catégories d'arbres : les feuillus (faisant partie des Angiospermes - Plante dont les graines sont protégées par un fruit clos) et les résineux (faisant partie des Gymnospermes - Plante dont les graines sont portées sur des écailles plus ou moins ouvertes et non dans un fruit clos).

Les **feuillus** possèdent de larges feuilles qu'ils perdent généralement en automne : ce sont des arbres dits à feuilles caduques. Les **résineux** regroupent les arbres comme le pin ou le sapin qui portent des cônes (comme les pommes de pin), leurs feuilles sont en forme d'aiguilles ou d'écailles qui ne tombent généralement pas en automne. Les résineux sont dits à feuillage persistant.



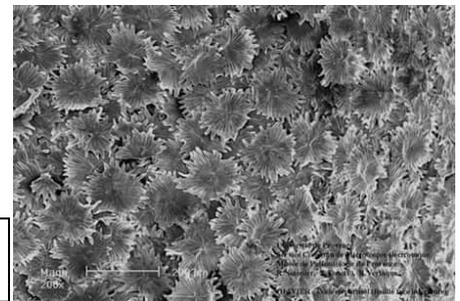
Pourquoi la plupart des feuillus perdent-ils leurs feuilles ? Quand arrive l'automne, l'arbre se met au ralenti à cause du manque de lumière (la photosynthèse est moins efficace) et du froid (lorsque les sols sont gelés l'eau est peu accessible, mais l'évapotranspiration par les feuilles continue : il y a donc un fort risque de déshydratation). En perdant ses feuilles, l'arbre garde ainsi son énergie et sa sève dans son tronc pour affronter l'hiver.

Chez les résineux, les aiguilles des pins ou les écailles des cyprès contiennent peu d'eau et sont plus petites, moins découpées, plus épaisses et recouvertes d'un vernis protecteur. Les aiguilles des résineux restent ainsi en place, vivant plusieurs années sur les branches (jusqu'à 40 ans) avant de tomber et d'être remplacées (mais pas toutes en même temps et sans lien avec la saisonnalité, un peu comme nos cheveux !). Ces aiguilles mortes forment au pied des conifères un tapis souvent épais car elles se décomposent difficilement et s'accumulent.



Mais il existe aussi des résineux qui perdent leurs aiguilles en hiver...Le mélèze pousse en montagne, jusqu'à 2000 mètres d'altitude voire plus, là où la plupart des autres arbres ne peuvent survivre à cause du froid. Dans ces conditions, le mélèze perd ses aiguilles en automne/hiver.

Et il existe aussi des feuillus qui gardent leur feuillage pendant l'hiver, notamment dans la végétation méditerranéenne : olivier et chêne vert par exemple. Ces derniers possèdent une couche de poils qui tapisse la face inférieure des feuilles. Ces poils retiennent de l'air formant un isolant contre le froid et le dessèchement.



POILS EN PARASOL D'UNE FEUILLE D'OLIVIER (FEUILLE FACE INFÉRIEURE).
© UNIVERSITÉ DE PROVENCE

2/3 de la forêt française est composée de feuillus. Mais en montagne, il y a surtout des résineux car le climat est sec et froid, climat ne convenant pas aux feuillus ! De plus, dans les régions montagneuses, le redoux printanier arrive plus tard, voire trop tard pour que les feuillus produisent de nouvelles feuilles, puis fleurs, puis fruits, ...

- Comment reconnaître un arbre ?

Feuillus, résineux, à tronc large ou étroit, à l'écorce cannelée, crevassée ou lisse, portant des graines dans des cônes ou dans des fruits sous forme de gland, drupe, baie ou bogue hérissée,... la diversité des arbres à travers le monde est incroyable. Il existe ainsi plus de 60 000 espèces d'arbres.

En France métropolitaine, les forêts comptent environ 190 espèces d'arbres. Les 7 «essences¹» principales sont : chêne, hêtre, châtaignier, pin maritime, pin sylvestre, épicéa et sapin. Il y a 67% de feuillus sur la totalité du territoire. Les chênes pédonculés et sessiles composent à eux deux plus de 30% de la forêt française métropolitaine.

Source : <https://www.onf.fr/>

Une des façons d'identifier un arbre, c'est d'observer sa silhouette, son écorce, ses feuilles et ses graines.

Exemple de clé de détermination simple de feuilles à télécharger : [Clés de forêt - ONF](#)



- Arbres remarquables

En France, l'association A.R.B.R.E.S., acronyme d'« Arbres Remarquables : Bilan, Recherche, Études et Sauvegarde », est une association loi de 1901 fondée en 1994, avec pour objectif de protéger, sauvegarder et favoriser les recherches d'arbres remarquables en France. Elle se consacre à leur recensement, leur étude et leur sauvegarde. Depuis 2000, l'association a pour mission d'attribuer le label Arbre remarquable de France aux particuliers et collectivités œuvrant pour la sauvegarde d'arbres exceptionnels. L'association est à l'initiative d'une Déclaration des Droits de l'Arbre, proclamée en 2019 lors d'un colloque sur la protection des arbres à l'Assemblée Nationale.

Source : <https://www.arbres.org/carte-de-france-interactive.htm>

Il existe aussi des cartes spécifiques à Rennes et à la Bretagne :

<https://arbresremarquablesbretagne.gogocarto.fr/annuaire#/carte/@48.1167,-1.6611,16z?cat=all>

<https://metropole.rennes.fr/une-carte-interactive-vous-invite-decouvrir-38000-arbres-dans-rennes>

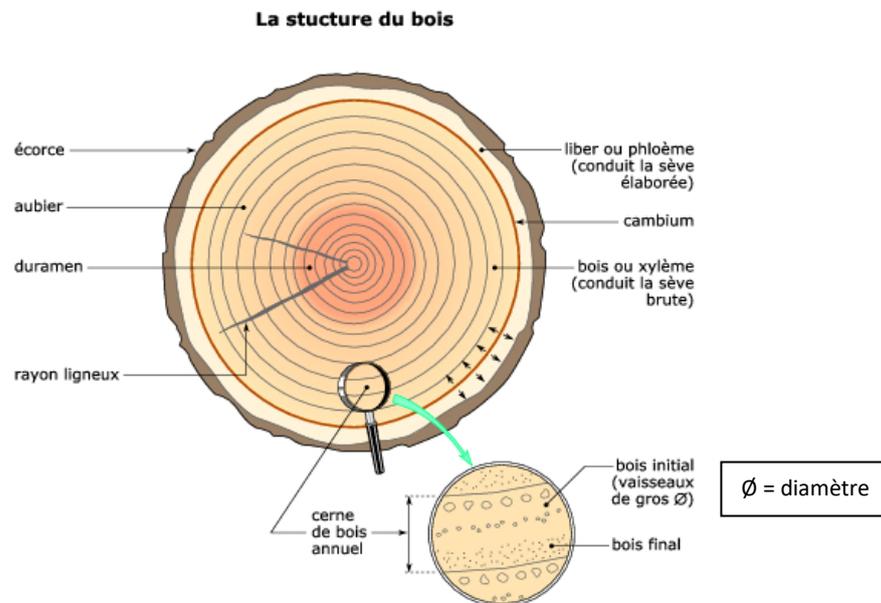
¹ Terme forestier correspondant à des « familles » d'arbres

2) Comprendre l'arbre :

Qu'est-ce qu'une plante ligneuse ? Une plante ligneuse est une plante qui fabrique en grande quantité des lignines, molécules organiques donnant à la plante sa solidité, et dont le bois est le principal matériau de structure. À la différence d'une plante herbacée, une plante ligneuse ne fane pas quand elle meurt, mais ses parois durcissent (bois mort). Cependant, l'opposition courante entre plante ligneuse et plante herbacée peut être trompeuse, car, toutes les plantes herbacées contiennent aussi des lignines, mais en proportions très inférieures à celles des plantes ligneuses.

- Le bois

Le bois est un tissu végétal formant la plus grande partie du tronc et des branches. Le bois assure le rôle de conduction de la sève depuis les racines jusqu'aux feuilles et le rôle de soutien mécanique de l'arbre ou de l'arbuste. Il sert aussi parfois de tissu de réserve. La coupe transversale fait apparaître des anneaux concentriques, les cerne de croissance, et des rayons ligneux (petits canaux assurant les échanges entre les cerne du duramen et le liber).



On distingue une partie centrale sombre, appelée le duramen, une partie périphérique plus claire, l'aubier, et enfin l'écorce.

Le **duramen** est le bois mort qui permet le soutien de l'arbre tandis que **l'aubier** est le bois vivant de l'arbre qui assure la conduction de la sève brute des racines vers les feuilles grâce à de nombreux vaisseaux.

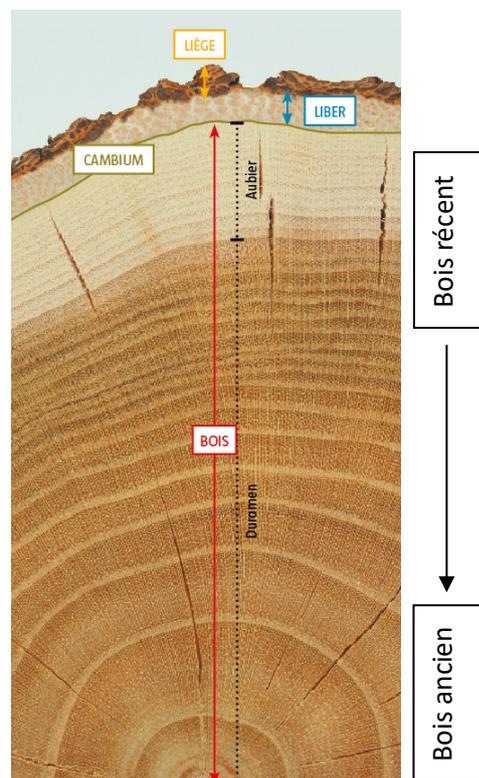
La croissance du bois s'effectue au niveau d'une couche de cellules appelée le **cambium**, située entre l'aubier et le liber. En se divisant, les cellules du cambium engendrent le bois vers l'intérieur et le liber vers l'extérieur. Le bois le plus ancien est donc au centre de l'arbre.

Le cambium est le secret de longévité des arbres ! Sous notre climat, le cambium produit chaque année une nouvelle couche de bois qui correspond à un cerne.

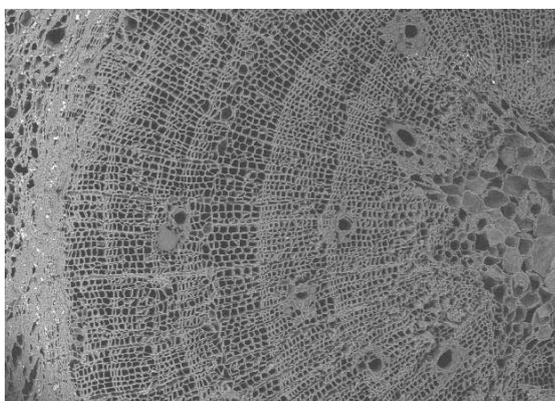
La production débute au printemps avec le bois initial, clair, qui comporte des vaisseaux de gros diamètre, et s'achève en automne avec le bois final, plus sombre à cause de vaisseaux plus étroits, aux parois épaisses et riches en fibres.

Dans les régions tempérées, la formation du bois est saisonnière et il est possible de distinguer les cernes grâce à la coloration changeante entre le bois plus clair créé au printemps et le bois plus sombre d'automne. Sous nos climats, les arbres ne croissent pas en hiver (même ceux qui gardent leurs feuilles comme les résineux). Les cernes sont d'autant plus marqués que la saisonnalité du climat est importante, et sont moins marqués ou quasi-absents en zone équatoriale.

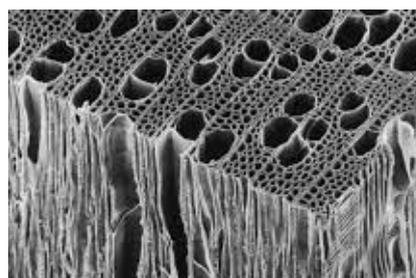
Le **liber**, entre le cambium et l'écorce, assure le transport de la sève élaborée depuis les feuilles vers toutes les parties de l'arbre.



Le bois est en réalité plein de « trous » : les vaisseaux de l'aubier, ou xylème, conduisent la sève brute des racines vers les feuilles, ceux du liber, ou phloème, assurent le transit de la sève élaborée vers toutes les parties de la plante. Xylème et phloème ne sont pas des termes spécifiques à l'arbre : ce sont des vaisseaux qui font partie du système vasculaire de toutes les plantes supérieures ; ils sont conçus pour déplacer l'eau, les minéraux et les glucides d'une partie de la plante à une autre.



Observation d'une coupe de Pin blanc
Source : <https://www.aucoeurdelarbre.ca/>



L'écorce, c'est la couche de protection de l'arbre. Ce manteau, épais de quelques millimètres à plusieurs centimètres selon les espèces, est vital. L'écorce a pour rôle de protéger la sève qui circule juste derrière et le bois tendre, qui est la partie vivante de l'arbre. C'est pourquoi une simple entaille dans l'écorce peut endommager l'arbre.

L'écorce, c'est comme une empreinte digitale : chaque essence d'arbre a la sienne. C'est aussi une indication de l'âge de l'arbre : si l'écorce est fine et bien lisse, l'arbre est tout jeune. En revanche, si elle est épaisse et craquelée, il s'agit d'un "ancien".

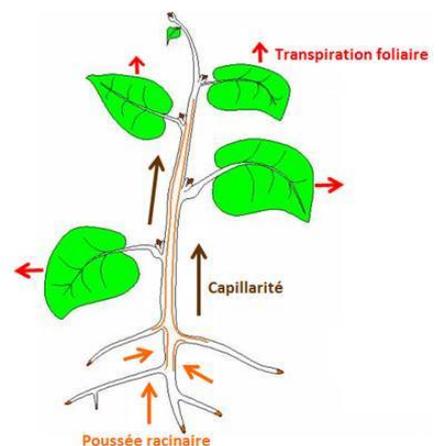
- La sève

Chez tous les végétaux, la sève est le milieu liquide qui circule grâce à des cellules spécialisées appelées « vaisseaux », entre les différents organes des plantes permettant de transporter les éléments nutritifs nécessaires à leur croissance et de redistribuer les substances organiques élaborées par la photosynthèse.

La **sève brute**, solution de sels minéraux captée au niveau des racines par des poils absorbants, circule principalement dans le xylème, grâce à des vaisseaux permettant la montée de la sève vers les feuilles afin de leur fournir les nutriments nécessaires à la photosynthèse.

La sève, en tant que liquide permettant le transport des éléments nutritifs, peut être comparée au sang. Dans le cas du sang, la circulation est assurée grâce au cœur. Mais pour la sève, il n'y a pas de pompe cardiaque ! Trois phénomènes permettent à la sève de monter dans les arbres : la poussée (ou pression) racinaire, la capillarité et l'évaporation.

- La poussée racinaire résulte du phénomène d'osmose. Ce dernier pousse l'eau à se déplacer du milieu le moins concentré en sels vers le milieu le plus concentré en sels à travers une membrane semi-perméable. Les racines étant très concentrées en sels minéraux, elles attirent l'eau du sol environnant, créant une pression interne qui pousse la sève vers le haut de l'arbre.
- À cela s'ajoute la capillarité, c'est-à-dire la propension des liquides à progresser spontanément dans les milieux poreux (les tissus) ainsi que dans les tubes de moins de 1 millimètre de diamètre, comme c'est le cas des vaisseaux conduisant la sève (et comme le café dans un morceau de sucre !).
- L'évaporation (transpiration) se produit au niveau des feuilles des arbres. Sous l'effet de la chaleur du soleil, une partie de l'eau contenue dans la sève se transforme en vapeur, ce qui crée une légère dépression dans les vaisseaux de l'écorce. Cette dépression agit comme une pompe et aspire la sève vers le haut, comme lorsque l'on boit avec une paille.



Par opposition à la sève brute, la **sève élaborée** est formée dans les feuilles et contient de l'eau et les sucres synthétisés par les parties aériennes de la plante lors de la photosynthèse. Elle est aussi nommée sève descendante. Comment est-elle distribuée dans les différentes parties de la plante ? Elle descend dans les vaisseaux du phloème principalement grâce à la gravité !

Sève, résine, latex ?

Attention, il existe plusieurs exsudats végétaux (substance qui s'écoule à l'extérieur de la plante) qui sont parfois confondus avec la sève. La sève permet la nutrition des constituants de la plante et ne s'écoule naturellement qu'à l'intérieur de la plante.

Les **résines** (essentiellement chez les conifères, même si tous n'en produisent pas) sont excrétées hors des cellules végétales dans des canaux résinifères ou à l'extérieur de la plante. Elles se différencient des **latex** (produit par différentes familles de végétaux – figuier et hévéa par exemple) par leur composition chimique et leur lieu de production (latex produit dans les canaux laticifères). Les deux suintent lors de traumatismes (sécheresse, affections fongiques ou bactériennes, attaques d'insectes, blessures mécaniques telles que des incisions), formant en séchant une barrière protectrice contenant notamment des éléments antimicrobiens qui luttent contre la pénétration des pathogènes et sont répulsives pour les herbivores.

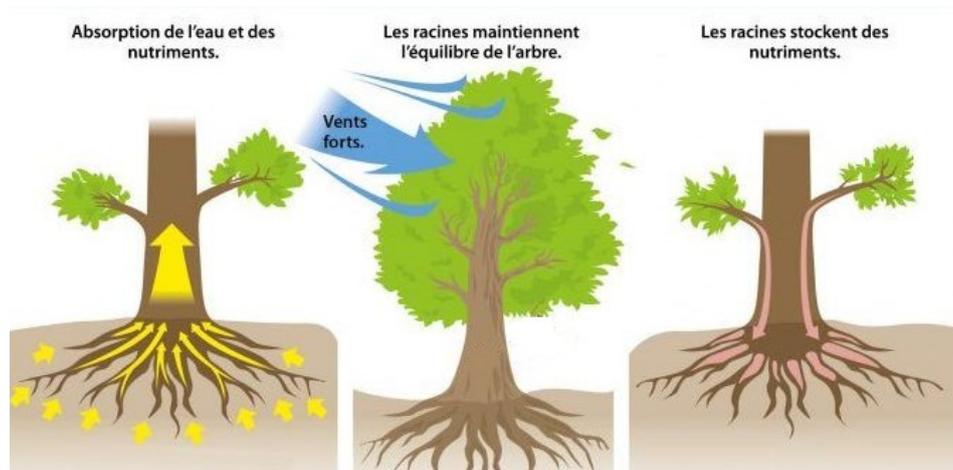
Les résines peuvent fossiliser et donner des matières comme l'ambre.

- Les racines

La masse racinaire d'un arbre dépend de l'espèce concernée, de son âge, de son stade de développement, du terrain, des conditions environnementales (vent, température, ...). Certains scientifiques avancent que le volume de l'appareil racinaire est au moins égal au volume du houppier de l'arbre. Les racines peuvent s'étendre de façon horizontale ou verticale ou les deux.

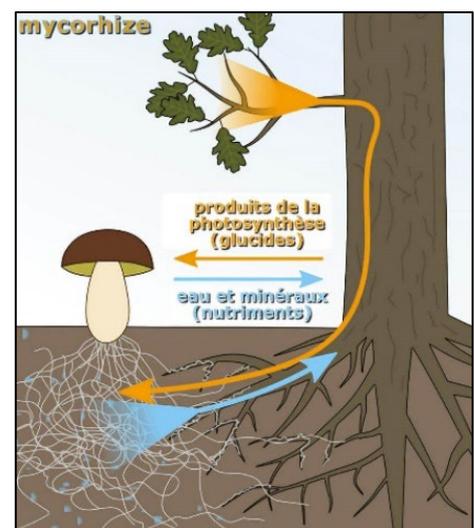
Selon l'espèce et le milieu de vie, différentes stratégies racinaires existent : enracinement traçant (les racines s'enfoncent horizontalement) ; enracinement pivotant (les racines s'enfoncent verticalement) ; enracinement mixte.

Rôle des racines :



Les racines, outre le rôle de soutien, permettent l'absorption de l'eau. Seule une zone bien spécifique située sur les jeunes racines est capable d'absorber de l'eau ; c'est la zone pilifère. Ces poils sont des excroissances de cellules épidermiques, dont la fonction est d'augmenter la surface de contact avec le sol, afin de maximiser l'entrée d'eau et de minéraux. Les racines plus anciennes, ligneuses, assurent la conduction de l'eau et des minéraux.

Afin d'améliorer leur nutrition minérale (eau et éléments minéraux), plus de 80% des plantes terrestres forment des symbioses avec des champignons mycorhiziens. Une symbiose est une association de deux ou plusieurs organismes vivants profitables à chacun d'entre eux. La symbiose mycorhizienne entre une plante et un champignon est une symbiose mutualiste à bénéfices réciproques. La plante apporte au champignon les produits issus de la photosynthèse (sucres) et reçoit en retour de l'eau et des éléments minéraux comme le phosphore, l'azote, le soufre ou le silicium. La symbiose mycorhizienne est considérée comme une composante majeure dans les relations que la plante entretient avec son milieu. Certains scientifiques, dont Marc-André Selosse, biologiste spécialiste en botanique et mycologie, avancent même qu'il n'y aurait pas d'arbre sans champignons !

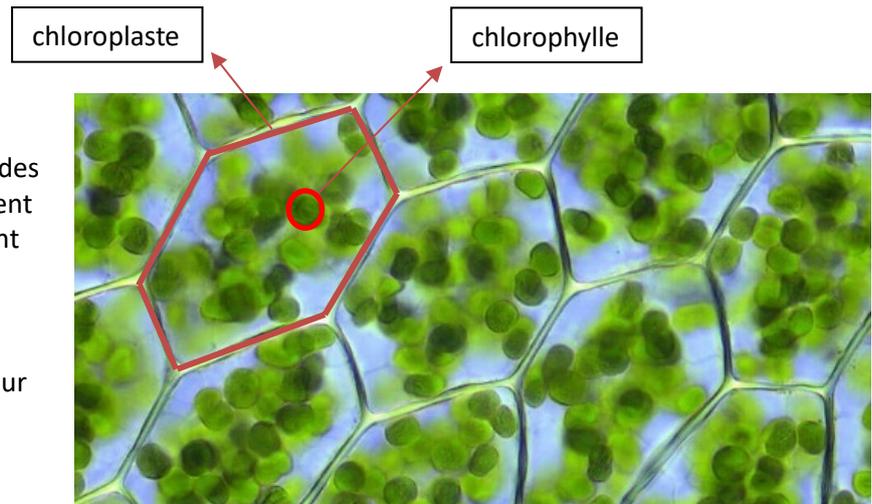


- Photosynthèse et respiration

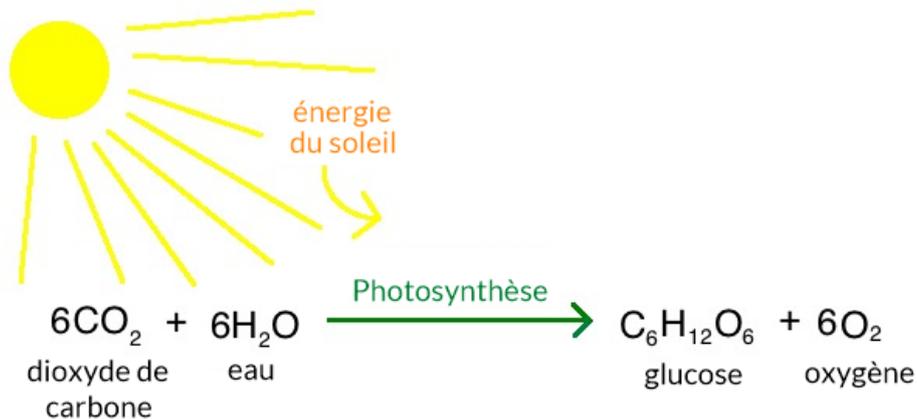
La photosynthèse est un processus naturel qui permet à tous les végétaux, y compris les arbres, de transformer l'eau, le carbone de l'air (CO₂) et les sels minéraux en composés organiques indispensables à sa vie.

Les végétaux sont les seuls êtres vivants, avec certaines bactéries, à fabriquer leur propre matière organique. Ils sont dits autotrophes, au contraire des organismes hétérotrophes (animaux et champignons par exemple) qui se nourrissent de matière organique préexistante. Les organismes autotrophes constituent généralement le premier maillon d'une chaîne alimentaire, et sont à l'origine de quasiment toute la matière organique dans un écosystème.

Chez les plantes et les algues, la photosynthèse s'effectue au niveau des parties vertes, et tout particulièrement des feuilles : leurs cellules renferment en effet de petites « usines » à photosynthèse, les chloroplastes, contenant eux-mêmes de la chlorophylle, un pigment de couleur verte qui permet la captation de l'énergie lumineuse.



De façon simplifiée, le fonctionnement de la photosynthèse est le suivant :



- chaque feuille est percée de multiples petits trous appelés stomates, qui permettent l'absorption du gaz carbonique par l'arbre
- grâce à l'énergie lumineuse captée par la chlorophylle, le CO₂ est transformé en glucides au niveau des chloroplastes : **gaz carbonique + eau provenant des racines = glucose + oxygène**

Que devient le glucose produit par la photosynthèse ?

Une partie du glucose ($C_6H_{12}O_6$) est transformé en amidon (glucide composé de multiples unités de glucose liées entre elles). Cet amidon, conservé en grains dans le chloroplaste, constitue la forme de stockage temporaire des glucides lorsqu'ils sont produits en excès. Le reste du glucose est transformé en saccharose ($C_{12}H_{22}O_{11}$).

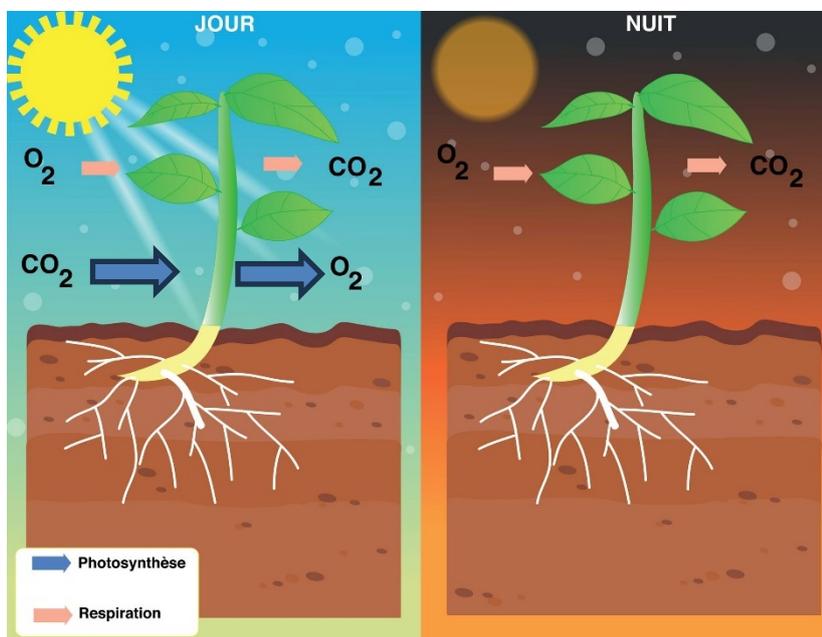
Le saccharose est la principale forme de transport des glucides dans la sève élaborée, permettant ainsi l'alimentation en matière organique des autres cellules de la plante. La nuit, en l'absence de photosynthèse, l'amidon stocké dans le chloroplaste est transformé en saccharose circulant dans la sève élaborée : cela permet l'approvisionnement énergétique en continu de la plante.

Mais les produits de la photosynthèse sont aussi transformés en molécules assurant différentes fonctions biologiques : cellulose et lignine par exemple.

Les produits de la photosynthèse vont aussi être stockés sous plusieurs formes (glucides, lipides ou protéines) au sein d'organes spécialisés dans la mise en réserve (comme les racines par exemple), ainsi que dans les graines et les fruits. Ce stockage permet aux plantes de résister aux conditions défavorables et d'assurer leur reproduction.

D'autres molécules produites à partir du glucose participent aux interactions avec d'autres espèces, notamment animales. Par exemple, les tanins, substances aromatiques présentes dans différents tissus végétaux, assurent une protection contre les parasites (bactéries ou champignons) ou contre les prédateurs herbivores. Ils interagissent en effet avec la salive des herbivores, provoquant un effet astringent désagréable.

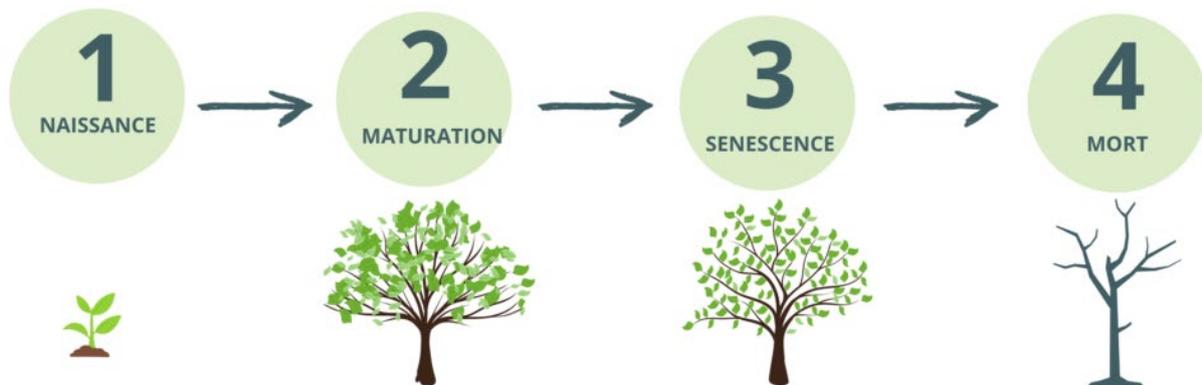
En parallèle de la photosynthèse, l'arbre respire nuit et jour en absorbant de l'oxygène (O_2) et en rejetant du gaz carbonique (CO_2). On entend parfois que les plantes respirent (et donc absorbent l'oxygène) durant la nuit et assurent la photosynthèse (et donc rejettent de l'oxygène) le jour. En réalité, **la respiration a lieu jour et nuit** (la photosynthèse, elle, n'a lieu qu'en présence de lumière), mais en journée, les échanges gazeux dus à la photosynthèse masquent ceux dus à la respiration, qui sont nettement moins importants en termes de volume.



Tant qu'un arbre vit et croît, il prélève plus de dioxyde de carbone par la photosynthèse qu'il n'en rend par la respiration. L'arbre pousse et emmagasine le carbone (C) tiré du dioxyde de carbone (CO_2) sous la forme de sucre et d'autres molécules organiques dans le bois. Mais si l'arbre meurt, le bois se décompose lentement et les molécules organiques se transforment à nouveau en CO_2 , qui est rendu à l'atmosphère. C'est pourquoi on dit que l'arbre stocke le carbone (mais seulement tant qu'il est vivant !).

3) Cycle de vie d'un arbre

- Vie et mort d'un arbre



Germination : La vie de l'arbre commence avec une graine, qui renferme des réserves de glucides nécessaires au fonctionnement de la jeune plante avant que les premières feuilles n'apparaissent. Lorsqu'elle trouve les conditions idéales – chaleur, humidité et lumière – la graine germe. Une racine se développe et s'enfonce dans le sol pour absorber les nutriments et l'eau nécessaires à sa croissance. En même temps, une tige émerge de la terre.



Croissance de la jeune pousse : La jeune pousse, également appelée plantule, émerge de la graine. Les premières feuilles apparaissent, captant la lumière du soleil pour réaliser la photosynthèse. Au fur et à mesure que l'arbre grandit, il développe des racines plus profondes et un tronc plus fort pour soutenir sa croissance future.

Développement de l'arbre immature : À mesure que l'arbre grandit, les branches se multiplient et les feuilles se développent. L'arbre est maintenant capable de produire des fleurs, permettant la reproduction. Selon le mode de pollinisation, le pollen va passer d'une fleur à l'autre grâce aux animaux pollinisateurs, au vent, à l'eau, ... Les fleurs fécondées se transforment ensuite en fruits (chez les feuillus – Angiospermes) ou en cônes (chez les conifères – Gymnospermes), renfermant les graines qui assureront la survie de l'espèce.

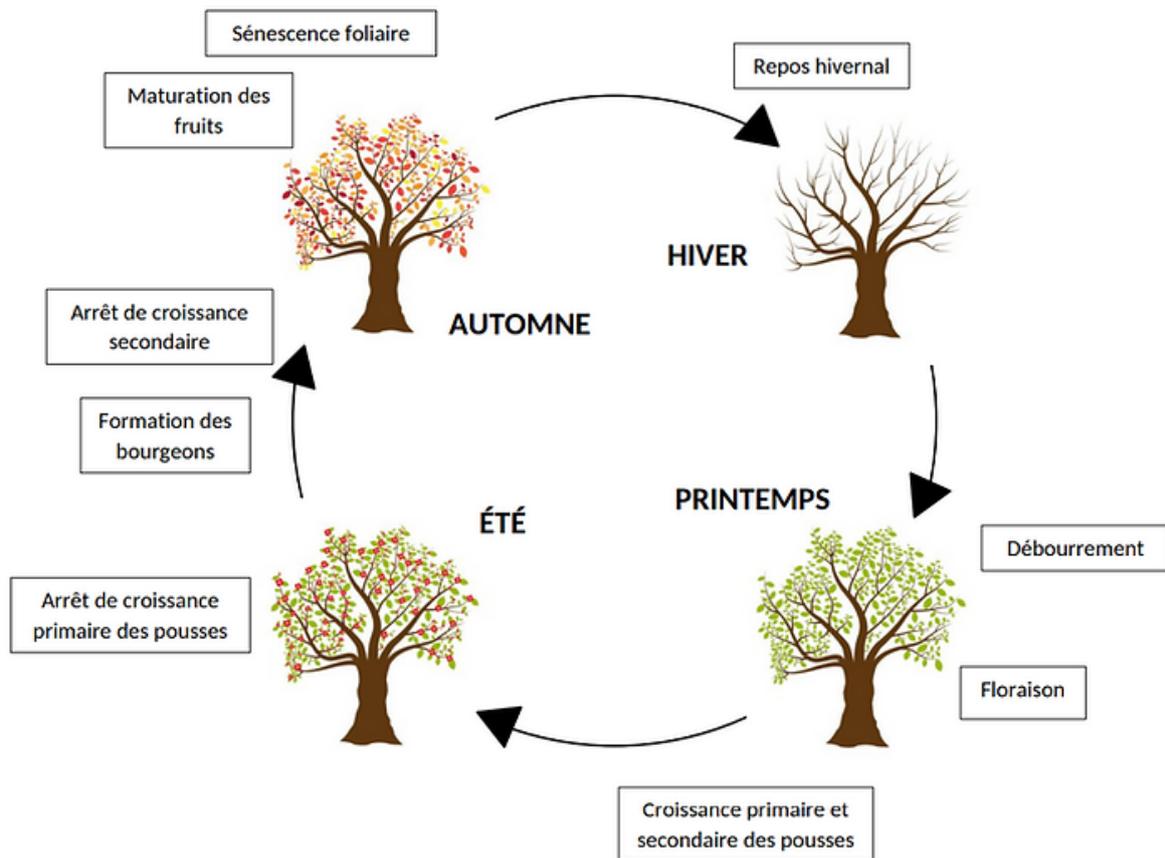
Maturité : Au fil des années, l'arbre atteint sa pleine maturité. Son tronc devient robuste, le duramen se forme, rigidifiant encore plus le tronc. Les branches se déploient dans toutes les directions, créant une couronne dense et étendue.



Déclin et mort : Comme tous les êtres vivants, les arbres finissent par atteindre la fin de leur vie. Des signes de déclin apparaissent : les feuilles jaunissent, les branches se fragilisent et la croissance ralentit. Finalement, l'arbre meurt, mais même dans sa mort, il continue à jouer un rôle vital dans l'écosystème. Son bois se décompose lentement, fournissant des nutriments essentiels au sol et offrant un habitat pour de nombreux organismes.

- Les 4 saisons de l'arbre

Chaque espèce a une saisonnalité différente, chaque individu a aussi ses caractéristiques selon son milieu de vie (composition du sol, ensoleillement, exposition au vent, arbres environnants, ...). Nous ferons ici des généralités sur l'impact des saisons.



Le **printemps** permet la reprise des activités physiologiques et métaboliques des arbres après la période de dormance hivernale. À ce moment de l'année, la majorité des feuillus retrouvent leurs activités. Pour amorcer sa croissance et son réveil, l'arbre puise dans ses réserves en transformant l'amidon stocké en sucre.

Ce réveil, et le début de la croissance, est d'abord invisible car souterrain. Les racines reprennent leur activité, elles s'allongent et captent l'eau et les ions nécessaires à la croissance de l'arbre. La sève se remet à circuler au sein de l'arbre, entraînant les bourgeons en sommeil à débourrer, c'est-à-dire à s'ouvrir. En s'ouvrant, de nouvelles branches feuillées apparaissent : c'est la feuillaison.

Bourgeons



Débourrement

L'arbre reprend aussi sa croissance en épaisseur au niveau des branches, du tronc et des racines par l'intermédiaire du cambium. Cette reprise de l'activité du cambium est responsable des cernes annuels que l'on peut observer dans le bois. Le cambium forme au printemps un bois clair constitué de gros vaisseaux pour permettre le transfert de sèves, importants en cette saison (comme vu page 16).

Vient ensuite la floraison. En l'espace de quelques semaines, au fur et à mesure que le temps s'adoucit, on peut voir apparaître les premières fleurs. Ces fleurs, par l'action des pollinisateurs (abeilles, papillons, chauve-souris, oiseaux...) ou du vent, vont être fécondées et vont se transformer en fruits : c'est la fructification. La fructification peut également se poursuivre durant l'été.

Fleurs de cerisier



Cerises

L'été, la croissance en longueur des arbres se ralentit, pour finir par s'arrêter. Cependant, se mettent en place des nouveaux bourgeons, qui seront utilisés au printemps suivant. Si la croissance en longueur s'arrête, ce n'est pas le cas de la croissance en épaisseur. En effet, elle est initiée au printemps et se poursuit en été. Les vaisseaux alors formés seront plus petits car les transferts de sèves sont moins importants. Le cambium va donc produire un bois sombre beaucoup plus dense et rigide.

L'été est aussi le moment clef où une partie du sucre produit par photosynthèse va être stockée dans les fruits. Les fruits mûrissent : on parle de maturation. Une autre partie du sucre est stockée sous forme de grains d'amidons dans le bois, qui serviront pour le printemps suivant, quand les feuilles ne seront pas encore présentes.

À **l'automne**, les feuilles, devenues « inutiles » avec le faible ensoleillement et les faibles températures qui ralentissent l'activité des enzymes nécessaires à la photosynthèse, vont peu à peu perdre leur eau. Avant de tomber, les feuilles jaunissent. La chlorophylle (verte) jusqu'alors renouvelée régulièrement, cesse de l'être et laisse apparaître d'autres pigments (jaunes et orange) jusqu'alors cachés car moins représentés que la chlorophylle. Puis, les feuilles commencent à tomber. Le tapis de feuilles mortes au pied des arbres protège les racines du froid et va petit à petit se décomposer pour enrichir le sol.



Comme vu précédemment, tous les arbres ne perdent pas leurs feuilles et ne créent donc pas de bourgeons saisonniers. C'est le cas de la plupart des conifères mais aussi de quelques feuillus. Les arbres à feuilles persistantes sont malgré tout en dormance l'hiver, comme ceux à feuilles caduques, car les conditions climatiques (faible ensoleillement, chutes de neige) ne sont pas propices à la photosynthèse.

Qu'il soit feuillu ou conifère, l'arbre doit s'accommoder du froid et des gelées à venir en évitant à tout prix que l'eau qu'il contient ne gèle. Pour cela, il faut réduire la quantité d'eau présente, augmenter la concentration en sucres afin de diminuer la température du point de gelée et produire des protéines empêchant les cristaux de glace de grossir.

L'hiver est indispensable pour le bon fonctionnement végétatif des arbres sous nos latitudes. En effet, l'arbre doit être exposé au froid (entre 7°C et 0°C) suffisamment longtemps pour enclencher les mécanismes permettant la levée de la dormance une fois que la température dépasse les 7°C. Après la levée de dormance, les sucres stockés dans l'eau présente dans l'arbre sont réassimilés dans le bois sous forme d'amidon jusqu'au débourrement. Si les températures hivernales ne sont pas assez froides sur une longue période, le signal de levée de dormance est décalé et se produit trop tôt, exposant les jeunes feuilles aux gelées. En cas d'hiver exceptionnellement chaud, certaines espèces d'arbres pourraient au contraire ne plus « débourrer » (ouvrir leurs bourgeons) par manque de froid.



C'est ainsi que les saisons façonnent les arbres. Par conséquent, le réchauffement climatique et l'impact de l'Homme viennent grandement perturber ce mécanisme.

⇒ Sécheresse et canicule :

Un léger manque de pluie n'affecte pas les arbres. L'éponge que constitue le sol va leur permettre de bénéficier de l'eau emmagasinée lorsque la pluie a été plus abondante. Tant que la terre n'est pas trop asséchée, les arbres peuvent donc se développer. En revanche, lorsque le manque de précipitations se prolonge et que le réservoir en eau du sol n'est plus rempli qu'à 40 % et moins, les arbres souffrent du manque d'eau, on peut alors parler de stress hydrique. C'est ce qu'on constate quand les sécheresses se succèdent ou sont plus intenses. Les feuilles des arbres flétrissent, roussissent puis tombent...en plein été ! Si les sécheresses se répètent ou se prolongent, l'arbre se retrouve "sous-alimenté en carbone" car il ne peut plus faire de photosynthèse et doit puiser dans ses réserves. Affaibli, il est moins apte à se défendre contre les insectes et les maladies.

⇒ Pollution lumineuse

Les arbres ont des rythmes biologiques qui sont influencés par les cycles naturels du jour et de la nuit. Ils utilisent ces cycles pour réguler des processus importants tels que la photosynthèse, la respiration et la croissance. La lumière artificielle durant la nuit peut perturber ces rythmes naturels. Un exemple spécifique concerne le débourrement, le processus par lequel les bourgeons des arbres éclatent et se transforment en nouvelles feuilles et branches au printemps. La présence de lumière artificielle la nuit peut entraîner un débourrement précoce. Cela peut sembler bénéfique à première vue, mais si cela se produit trop tôt, les nouvelles feuilles peuvent être endommagées par les gelées de fin de saison. De plus, cela peut décaler le calendrier de l'arbre pour le reste de l'année, affectant sa santé et sa croissance.

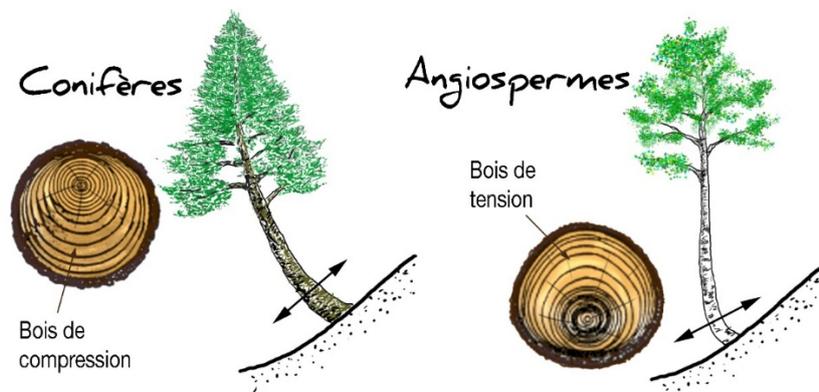
De même, à l'automne, les arbres situés à proximité directe des lampadaires perdent souvent leurs feuilles plus tard que ceux situés dans des zones plus sombres. Ils fleurissent aussi plus tôt au printemps, ce qui les rend plus vulnérables aux gelées tardives.

4) Les « super pouvoirs » de l'arbre

- Percevoir son environnement et s'y adapter

Un arbre paraît immobile, figé, « insensible » à ce qui se passe autour de lui, alors qu'en réalité il perçoit son environnement et s'y adapte en permanence, justement parce qu'il est fixé dans le sol et ne peut pas changer de lieu de vie en cas de conditions défavorables. C'est le cas de tous les végétaux, mais les contraintes biomécaniques fortes auxquelles l'arbre est soumis sont plus fortes du fait de sa taille.

Tout d'abord, élever une colonne massive sur plusieurs mètres est un défi physique, notamment en l'absence de renforcement latéral ou d'échafaudage lors de la construction. Ceci implique de corriger en permanence son orientation et sa croissance : c'est le **gravitropisme** (façon dont les plantes se développent et s'orientent en relation avec la gravité). Le bois dit de réaction, produit en périphérie de l'arbre par le cambium, est une sorte de « muscle » qui va permettre à l'arbre de corriger son orientation, de se redresser, de se renforcer. La technique sera différente selon l'espèce concernée :



L'arbre doit également se dimensionner en ajustant son diamètre par rapport à sa hauteur et à son poids. Pour ce faire, l'arbre doit percevoir sa position et ses dimensions dans l'espace : ce sont des capacités de **proprioception** (perception de la position de son corps sans avoir recours à la vision).

L'arbre doit maintenir une posture verticale pour deux raisons : tenir debout et aller chercher la lumière. Ainsi, des capteurs de gravité indiquent à l'arbre où sont le haut et le bas. On suppose que le siège de cette perception se situe dans des cellules spécialisées renfermant de petits grains d'amidon, les statolithes. Leur densité fait qu'ils se déposent dans la partie basse des cellules et exercent une pression sur la membrane cellulaire, qui envoie alors un signal vers les différents tissus de l'arbre.

Au cours de leur développement, les plantes sont en permanence soumises à des conditions de croissance fluctuantes : eau, lumière, température, vent... Pour y faire face et survivre de façon pérenne dans cet environnement, l'arbre module son fonctionnement physiologique : on parle de processus d'acclimatation. Cette acclimatation conduit à une modification du développement des différents organes (racines, tiges, branches, houppier) ainsi que de la formation du bois. L'ensemble des réponses spécifiques à ces sollicitations mécaniques est dénommé **thigmomorphogénèse**.

Il a été montré en conditions naturelles que les plantes sont capables de distinguer les vents faibles des coups de vent inhabituels qui indiquent l'exposition au risque de tempête, et ce grâce à une « mémorisation » et à un processus d'habituation qui font l'objet de nombreuses études scientifiques actuelles.

La lumière oriente aussi la croissance des arbres : c'est le **phototropisme**. Mieux connus que les capteurs de la gravité, les capteurs percevant la lumière sont les phytochromes, des molécules complexes sensibles à la couleur rouge, capables de distinguer le rouge clair du rouge sombre. Cette propriété importante permet à

l'arbre de détecter la proximité des arbres voisins et d'éviter de pousser dans leur direction. D'autres récepteurs, sensibles à la lumière bleue, sont impliqués dans la croissance préférentielle vers la lumière.

Les arbres possèdent aussi des capteurs de **pression**, très sensibles, qui réagissent au balancement du tronc et des branches. Rendant les troncs plus trapus, ils permettent des modifications morphologiques progressives pour mieux résister aux vents violents.

Encore mal connus, des **capteurs sensibles aux atteintes des tissus** par les agresseurs biotiques (champignons, insectes, herbivores) ou par les accidents (le vent, le gel, le feu) réagissent aux blessures en lançant des mécanismes de cicatrisation. Dans le cas de l'herbivorie, certaines espèces d'arbres vont produire des tanins, molécules spécifiques rendant les feuilles peu appétentes ou indigestes, voir toxiques. Ces molécules serviraient aussi aux plantes à communiquer entre elles (pour se prévenir d'un danger ?).

Les **feuilles** sont aussi le siège de perceptions multiples. Ainsi, un ensemble de capteurs y est localisé, et plus précisément dans les cellules qui bordent les stomates. Ces minuscules pores, qui font communiquer la feuille avec le milieu extérieur, jouent un rôle stratégique, car leur degré d'ouverture permet de réguler les entrées et les sorties gazeuses : la vapeur d'eau, le CO₂ et l'oxygène, ainsi que certains polluants comme l'ozone. Cette régulation repose sur la perception de nombreux paramètres : l'humidité et la température de l'air, la quantité de lumière reçue, la teneur en ozone ou en CO₂ dans l'air... Les stomates s'ouvrent lorsque la lumière augmente ou sous l'effet d'une forte humidité de l'air, et se ferment à l'obscurité.

Ce qui se passe dans le sol reste assez mystérieux, excepté le **gravitropisme** des jeunes racines qui leur permet de suivre une trajectoire verticale, ou leur capacité à détecter la présence d'un obstacle et à le contourner. Certains pensent que les mycorhizes (association des racines avec des champignons) sont impliqués dans la perception de l'environnement souterrain.

Des expériences menées sur des plantes en conditions contrôlées ont montré que l'exposition à des ondes sonores de basse fréquence (200 hertz) pendant deux semaines induisait un phonotropisme (capacité à s'orienter selon les ondes sonores) positif dans les racines, se développant vers la source sonore. La raison de ce **phonotropisme** n'est pas encore élucidée.

- Résilience de l'arbre

Malgré ces capacités d'adaptation aux contraintes extérieures, un arbre peut se retrouver abimé par une tempête ou une colonisation de champignons...des processus de cicatrisation se mettent alors en place. L'architecture de l'arbre se recrée ensuite, notamment grâce à des rejets. Un rejet est une nouvelle pousse feuillée apparaissant sur une plante ligneuse à la suite d'une cassure naturelle ou d'une coupe d'origine humaine. Suite à la cassure, l'arbre présente un déséquilibre entre sa masse racinaire et sa masse aérienne qu'il compense en émettant les rejets nécessaires au retour à l'équilibre. Il va par exemple émettre une tige à côté de la blessure.

Il existe des rejets de houppier, des rejets de tronc, des rejets de souches et même des rejets de racines. Différents noms existent : gourmands, drageons, suppléants...selon l'endroit du rejet et le professionnel qui en parle ! Certains scientifiques parlent de réitération traumatique.



Ce tilleul, très incliné, a développé un suppléant au niveau d'une blessure. Ce suppléant inscrit isolément le long de son tronc rétablit également une verticalité à cet arbre. Sans oublier que tout nouveau suppléant ajoute un supplément de photosynthèse et de réserves nutritionnelles à l'arbre.



Ce charme a produit un rejet à la base du tronc suite à l'attaque par un champignon lignivore. Ce type de champignon induit une altération dans le bois de cœur et les racines.

Si on coupe un arbre, des rejets peuvent repartir directement de la souche comme sur cette photo. Par contre, s'il n'y a plus de racines alors aucune réitération n'est possible !



5) Importance et utilisation des arbres

L'arbre joue un rôle crucial dans son environnement, qu'il s'agisse d'une forêt, d'une haie ou même d'un arbre isolé dans la ville... On distingue plusieurs fonctions essentielles de l'arbre, communes à tous les végétaux, mais encore plus importantes chez l'arbre de par sa taille :

- **L'arbre et l'air** : les arbres absorbent du gaz carbonique et rejettent de l'oxygène grâce à la photosynthèse, que tous les autres êtres vivants utilisent pour respirer. De plus, les arbres absorbent et piègent dans leurs feuilles certains polluants atmosphériques.
- **L'arbre et l'eau** : les racines puisent l'eau dans le sol et contribuent à la filtration de l'eau. De plus, les arbres évitent le ruissellement de surface en favorisant l'infiltration de l'eau dans le sol (la croissance des racines décompacte le sol) et contribuent ainsi à prévenir les inondations. Leurs racines ancrent le sol et évitent les glissements de terrain.

Les racines des arbres rééquilibrent le cycle de l'eau. Pour que le cycle de l'eau conserve son équilibre, l'eau qui arrive par la pluie ne doit pas rester en surface, elle doit être absorbée par les sols : c'est le chemin qui la mène aux nappes phréatiques, nos réserves d'eau douce. Et pour que l'eau puisse les alimenter, le sol doit être poreux. S'il ne l'est pas, elle ruisselle et s'écoule en surface : elle est donc « perdue ». C'est là que les arbres jouent un rôle majeur dans le cycle de l'eau : ils maintiennent le sol et le rendent perméable grâce aux racines. L'eau peut alors s'acheminer jusqu'aux réserves souterraines.

- **L'arbre et les autres espèces** : des racines aux feuilles, de l'écorce aux bourgeons, chaque arbre est un abri et une source de nourriture pour d'innombrables hôtes. Les insectes vivent sous l'écorce, les oiseaux nichent dans les branches, les rongeurs creusent leur terrier entre les racines, le lichen et le

lière utilisent le tronc comme support, ... Même mort, un arbre continue à abriter et nourrir de nombreux êtres vivants.

- **L'arbre et le réchauffement climatique** : les arbres jouent un rôle de régulation thermique, grâce notamment à l'évaporation. Dans les zones densément arborées, on observe jusqu'à 6 ° C de moins que dans des espaces sans arbres.
- **L'arbre et les catastrophes naturelles** : les forêts jouent un rôle de rempart naturel contre diverses manifestations naturelles. Les arbres diminuent l'impact du vent, ralentissent les coulées de boue et les avalanches...

Utilisations par l'être humain :

Depuis la Préhistoire, l'Homme utilise les arbres : bois de chauffage ou de construction, ombre, fruits, ...

Aujourd'hui, la plupart des forêts de France sont gérées durablement. Cela signifie qu'on ne coupe plus les arbres sans réflexion, mais que l'on tient compte du renouvellement naturel du peuplement, des espèces endémiques ou invasives, de la vitesse de croissance de chaque essence, etc.

Exemples de l'utilisation humaine du bois d'arbre :

- les branches sont utilisées comme combustible, ainsi que pour la fabrication de produits dérivés, comme la pâte à papier ou le carton
- les troncs sont employés par différentes industries : ébénisterie, menuiserie, fabrication de charpentes, de tonneaux ou d'emballages divers
- les chutes issues de la coupe servent de combustible (par exemple pour les poêles à pellets) ou entrent dans la composition de l'aggloméré, du carton et du papier
- la sciure est également utilisée comme combustible ou pour la fabrication de panneaux en aggloméré

Exemple d'utilisation humaine des autres parties de l'arbre :

- Fruits et graines : sources de nourriture (pommes, poires, châtaignes, cerises, noix,...)
- Feuilles et fleurs : tisane (tilleul par exemple)

Attention certaines feuilles d'arbre sont utilisées en phytothérapie. Mais il faut être prudent car certaines espèces sont toxiques, il ne faut donc pas boire en tisane n'importe quelle feuille d'arbre !

- Sève transformée : sirop d'érable
- Résine : colle, vernis, essence de térébenthine
- Autres exsudats végétaux : caoutchouc naturel (fabriqué à partir du latex de l'hévéa)
- Ecorce : liège utilisé en décoration, isolation et pour fabriquer des bouchons (chêne liège), chloroquine – médicament contre le paludisme (extrait de l'écorce de cinchona), aspirine (extrait de l'écorce de saule – mais maintenant synthétisé en laboratoire), cannelle (écorce interne de cannelier)

Certaines études tendent à démontrer que le contact avec la nature a des effets positifs sur notre esprit et notre corps. Le simple fait de regarder quelques minutes par jour les arbres se solderait par une baisse du stress, de la tension artérielle et une amélioration de notre bien-être général !

Pour en savoir plus : <https://www.cairn.info/revue-sante-publique-2019-HS1-page-219.html>

De quelles preuves scientifiques disposons-nous concernant les effets des forêts et des arbres sur la santé et le bien-être humains ? de Kjell Nilsson, Peter Bentsen, Patrik Grahn, Lærke Mygind



L'Espace des sciences de Rennes vous transporte dans les sciences à travers nos expositions, ateliers, visites, conférences et événements. Créé en 1984, l'Espace des sciences est un terrain d'expériences et d'innovations dans le domaine de la diffusion de la culture scientifique. Depuis, l'Espace des sciences a poursuivi son développement. Ses équipes se sont diversifiées et professionnalisées, sa programmation a séduit un public de plus en plus large.

En 2006, il a rejoint l'établissement des Champs Libres.

Accueillant plus de 200 000 visiteurs par an, c'est l'un des centres de sciences les plus visités en région.

**Le contenu de ce document est protégé par le droit d'auteur.
Toute utilisation non strictement personnelle ne peut être faite
sans l'accord de l'Espace des sciences.**

**Les copies ou reproductions sont strictement réservées à l'usage
privé du copiste et non destinées à une utilisation collective.**

**Les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et
d'illustration sont autorisées avec référence à la source du document.**