



© CNPF, Sylvain Gaudin

GESTION FORESTIÈRE

Le sol forestier : élément clé pour le choix des essences et la gestion durable



ÉDITO

Forestiers, nous parcourons fréquemment nos forêts pour les observer et y travailler. Notre regard porte le plus souvent sur les troncs ou sur les branches pour identifier l'essence, la valeur d'avenir ou la vigueur.

Mais que se cache-t-il sous nos pieds ? Le sol est-il de bonne qualité, calcaire ou acide, engorgé en eau ou sain, tassé par l'exploitation ou bien aéré par les vers de terre ?

Autant de questions fondamentales car le sol est l'élément primordial de notre patrimoine forestier. De ses caractéristiques et de la façon dont le forestier le respecte vont découler toute la productivité (choix des essences, vitesse de croissance, adaptation aux changements climatiques, fonctionnement d'un écosystème à part entière...).

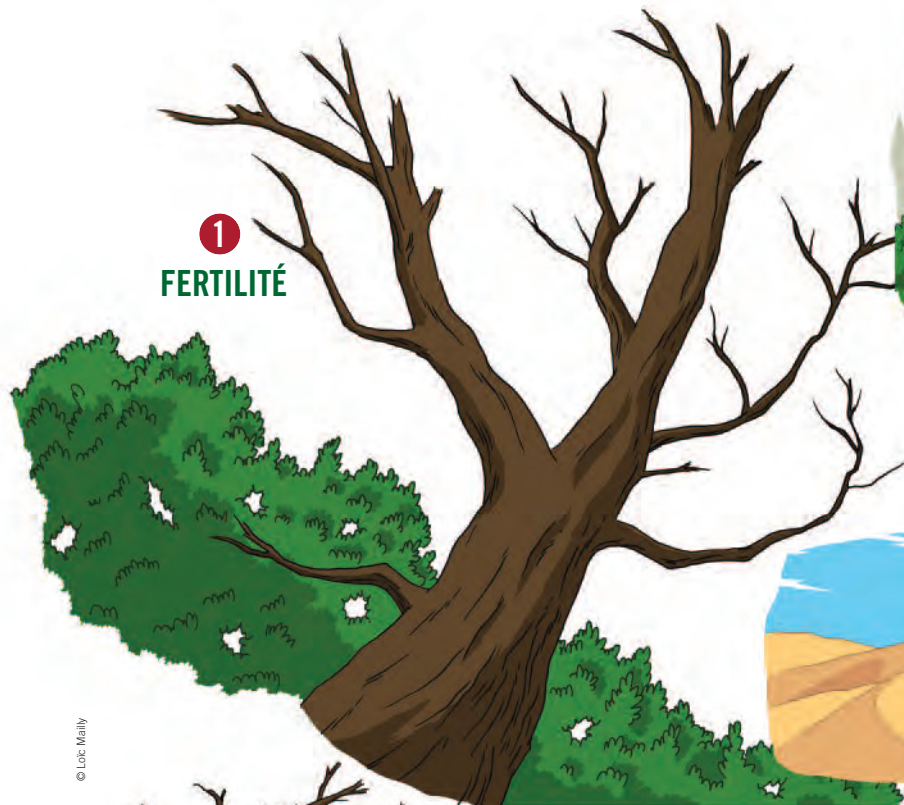
Cette brochure a l'objectif de vous présenter les éléments du sol et les points de vigilance pour le choix des essences et la gestion durable des forêts.

Antoine d'Amécourt
Président du CNPF

POURQUOI S'INTÉRESSER AU SOL

La pédologie est une science qui se consacre à l'étude des couches superficielles du sol (jusqu'à 2 mètres de profondeur). Elle reflète l'altération des roches mères sous-jacentes étudiées elles-mêmes par la géologie.

1
FERTILITÉ



3
PORTANCE
AUX ENGS
FORESTIERS



4
CHANGEMENTS
CLIMATIQUES



2
STABILITÉ
DES PEUPELEMENTS



5
CHOIX
DES ESSENCES

TOUTES CES CONTRAINTES
CONDITIONNENT CHAQUE DÉCISION QUE LE
SYLVICULTEUR DOIT PRENDRE EN FONCTION
DE LA QUALITÉ DE SES SOLS

QU'EST-CE QU'UN SOL FORESTIER ?

Le sol est la partie la plus superficielle des terrains géologiques, généralement meuble et d'une profondeur allant de quelques centimètres à plus d'un mètre. C'est un produit de l'altération du sous-sol, formé en quelques siècles ou quelques milliers d'années sous l'influence du climat et de la végétation, et sous le contrôle du relief.

La science qui a le sol pour objet est la **pédologie**, discipline naturaliste née à la fin du 19^e siècle. Elle étudie les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols, leur mode de formation, puis synthétise leur variété par des classifications avant de décrire leur répartition géographique à diverses échelles.

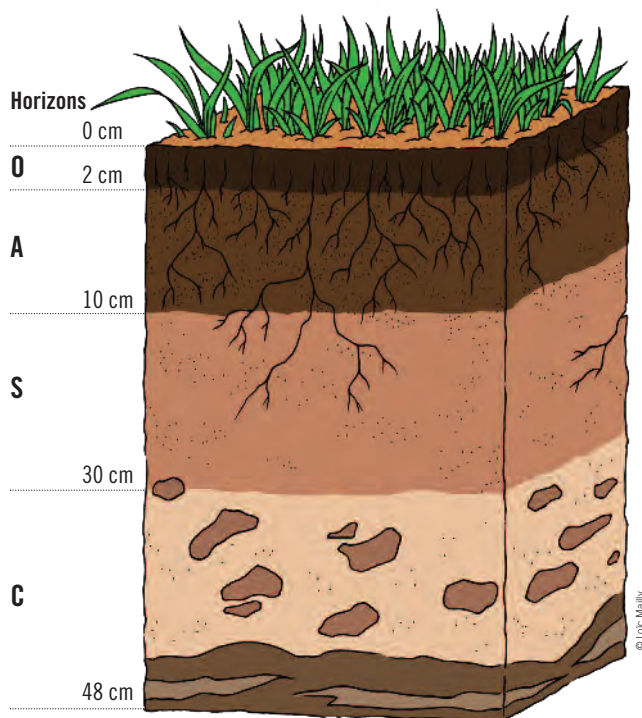
Sur le terrain, le sol apparaît comme la superposition de couches à peu près parallèles à la surface, d'une épaisseur de quelques centimètres à quelques décimètres, qui se singularisent par leur aspect, leur couleur, leur consistance au toucher : ce sont les **horizons**.

Leur notation conventionnelle avec le système O-A-S-C est un héritage des débuts de la pédologie, sous l'influence de Charles Darwin.

La plupart des sols incluent les quatre grands types d'horizons :

- des couches organiques en surface (horizons O), constituées d'une matière organique en décomposition provenant de la chute annuelle des feuilles ou aiguilles, des brindilles : ce sont les **litières** au sens large.
- une couche sombre colorée par une matière organique décomposée, plus fine, provenant de l'incorporation progressive des résidus des litières : horizon A dit organominéral. Les litières et l'horizon A constituent l'**humus**.
- un ou des horizons minéraux se différenciant par leur couleur, provenant de l'altération des minéraux qui libère du fer sous forme oxydée (couleur rouille) ou réduite (couleur bleu-vert) selon le degré d'engorgement. Ce sont les horizons de type S, qui dans les sols plus évolués s'appauvrissent en certains éléments (fer, argiles) à leur sommet,
- la **roche mère** qui a donné naissance aux horizons supérieurs par un ensemble de transformations physiques et chimiques. On la désigne par la lettre C.

Profil de sol



Cette couverture pédologique évolue lentement et les sols résultent le plus souvent d'une lente évolution sur plusieurs millénaires, voire plusieurs dizaines de millénaires. En climat tempéré, il faut environ 1 000 ans pour former un horizon A, plusieurs milliers d'années pour un horizon S et quelques heures à un désherbage pour rendre improductif un sol. **Le sol est par conséquent une ressource non renouvelable à l'échelle de temps d'une vie humaine.**

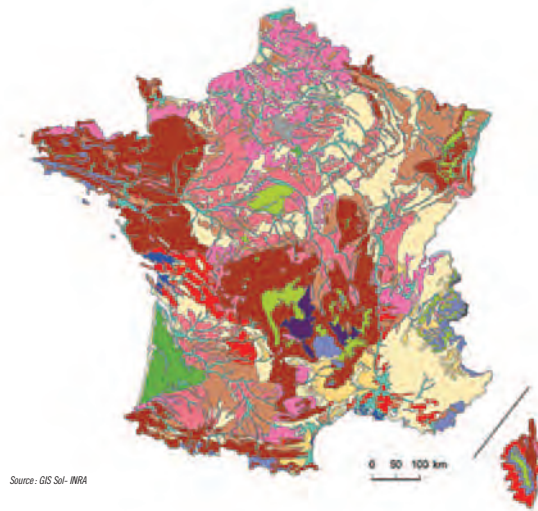


COMMENT SE FORME UN SOL ?

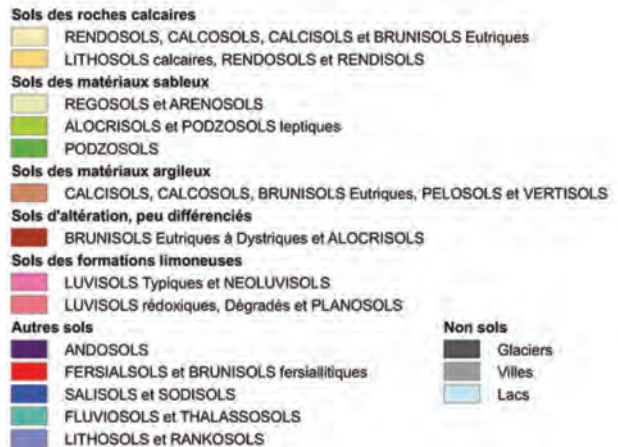
La carte des sols de France représente essentiellement la forte influence de la nature du matériau géologique dans lequel se sont formés et évoluent actuellement les sols.

La répartition des types de sols est fortement marquée par la grande diversité des roches que l'on rencontre en France : les roches quartzitiques sableuses des Landes et de Sologne, les granites et granulites de Bretagne et des Vosges, les schistes des Alpes, de Bretagne et du Massif central, les calcaires durs du Bassin parisien et du Midi, les craies de Champagne, les marnes à l'Est et en Limagne, les basaltes du Massif central, les limons éoliens des Bassins aquitain et parisien et d'Alsace, les alluvions fluviales et fluvio-marines de Camargue et des marais de l'Ouest. Sur un tiers du territoire, les formations superficielles limoneuses se sont déposées sur des épaisseurs d'un demi à plusieurs mètres. Ces limons datent de l'ère Quaternaire (entre -50 000 et -10 000 ans) et marquent les sols de Beauce, d'Île-de-France et de Picardie. Également présents en Bretagne, en Brie ou dans la vallée de la Garonne, ils ont des compositions variées du fait de leur origine éolienne, fluviale ou colluvionnaire.

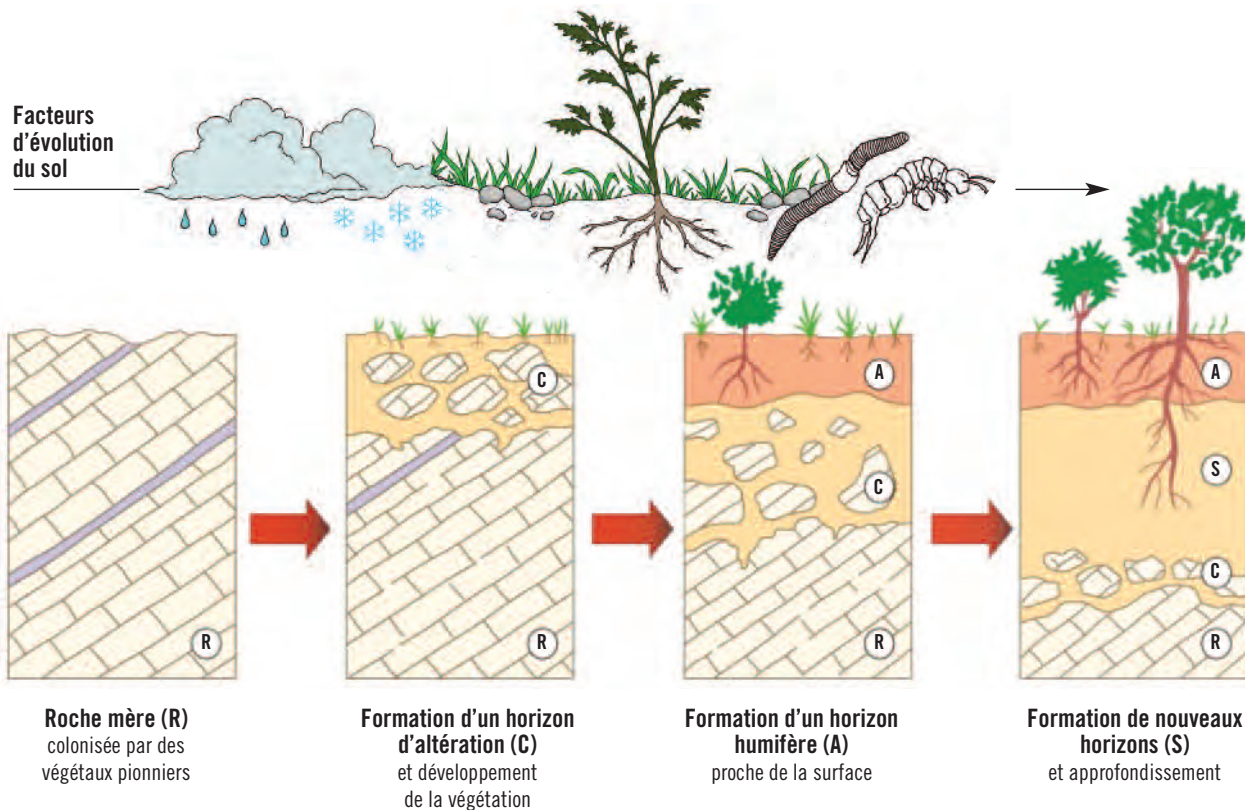
La succession des horizons observés définit le profil pédologique et marque l'évolution d'un sol. L'ensemble des processus complexes, biologiques, physiques ou chimiques, qui créent un sol à partir d'une roche s'appelle **pédogénèse**. Celle-ci dépend évidemment du type de roche, mais aussi du climat, de la végétation, des animaux du sol et enfin du relief (qui par l'érosion contrôle l'épaisseur du sol), qui sont autant de facteurs de la pédogénèse.



Source : GIS Sol - INRA



Facteurs d'évolution du sol



Source : MM Bouvattier - Aurik - Chatriot

OBSERVER ET COMPRENDRE LES SOLS

LE CLIMAT

page 11

Les valeurs des températures et des précipitations et surtout leur variation et répartition tout au long de l'année, conditionnent notamment la disponibilité en eau pour les arbres et la portance des sols pour l'exploitation.



LA TEXTURE

page 13

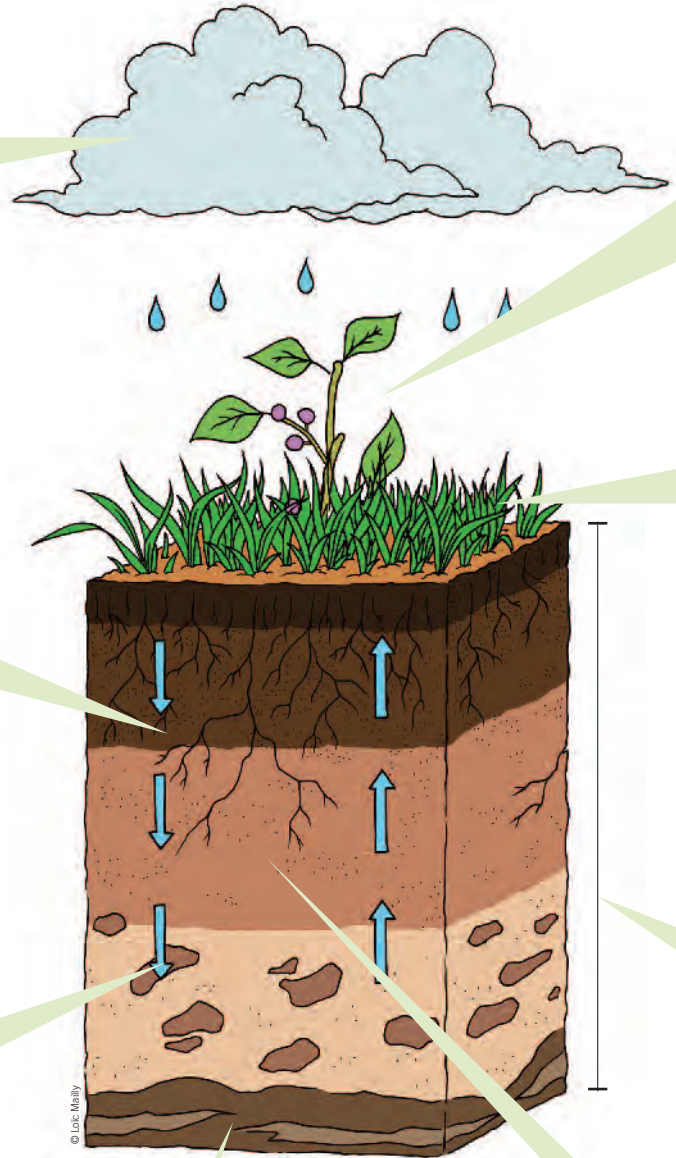
Elle est définie par le % d'argile, de sable et de limon. Elle influence la richesse chimique, la rétention en eau et la fragilité au tassement.



L'EAU

pages 14-15

L'eau du sol provient le plus souvent des précipitations. L'excédent hivernal alimente les nappes. Elle est ensuite utilisée par les végétaux et évaporée.



LA GÉOLOGIE

page 10

La nature de la roche mère influence grandement la formation et les caractéristiques des sols.



LA VÉGÉTATION

pages 18-23



Les végétaux (arbres, arbustes et herbacées) sont très utiles au forestier. Ils peuvent indiquer certaines caractéristiques du sol (présence d'eau, acidité, présence de calcaire actif...).

Leur décomposition va produire l'humus.

LA FAUNE ET LES CHAMPIGNONS

pages 8-9



Les êtres vivants participent à la fragmentation et la décomposition de la matière organique. Ces organismes remplissent des fonctions écologiques essentielles telles que le décompactage, le recyclage ou la dégradation des polluants.

LA PROFONDEUR

page 12



Elle influence la prospection des racines, la réserve en eau et la possibilité pour les arbres de s'ancrer pour résister aux vents.

LE NIVEAU TROPHIQUE

pages 16-17



Il traduit la fertilité en éléments minéraux contenus dans l'eau du sol ou dans le complexe argilo-humique. Les indicateurs sont la forme d'humus, le pH et la présence ou non de calcaire.



© CNRFF - Pierre Gamin

LA BOÎTE À OUTILS DU PÉDOLOGUE COMPREND

- Une tarière (modèle dit "combiné" convenant à la majorité des sols),
- Une pelle-bêche ou une pioche pour réaliser une minifosse et creuser les sols difficiles (compacts, pierreux, très argileux, etc.),
- Un couteau solide pour rafraîchir les parois du sol et trancher les humus,
- Une trousse test colorimétrique pour noter le pH (acidité du sol),
- En région calcaire, un flacon d'acide chlorhydrique dilué à 10 %, pour détecter la présence de calcaire fin, dit "calcaire actif".



© CNRFF - Sylvain Pilon

LE SOL, UN MILIEU VIVANT ET FRAGILE

LE PETIT PEUPLE DU SOL

La faune participe à la fragmentation et à l'enfouissement de la matière organique, secondée par les micro-organismes qui la décomposent. Ces organismes remplissent également des fonctions environnementales essentielles. La résistance à l'érosion, le décompactage du sol, la production végétale et l'activité microbienne, par exemple, s'en trouvent améliorés. Certains micro-organismes décomposent la matière organique, recyclent le carbone, l'azote, le phosphore ou le potassium, tandis que d'autres dégradent les polluants.



Collembole

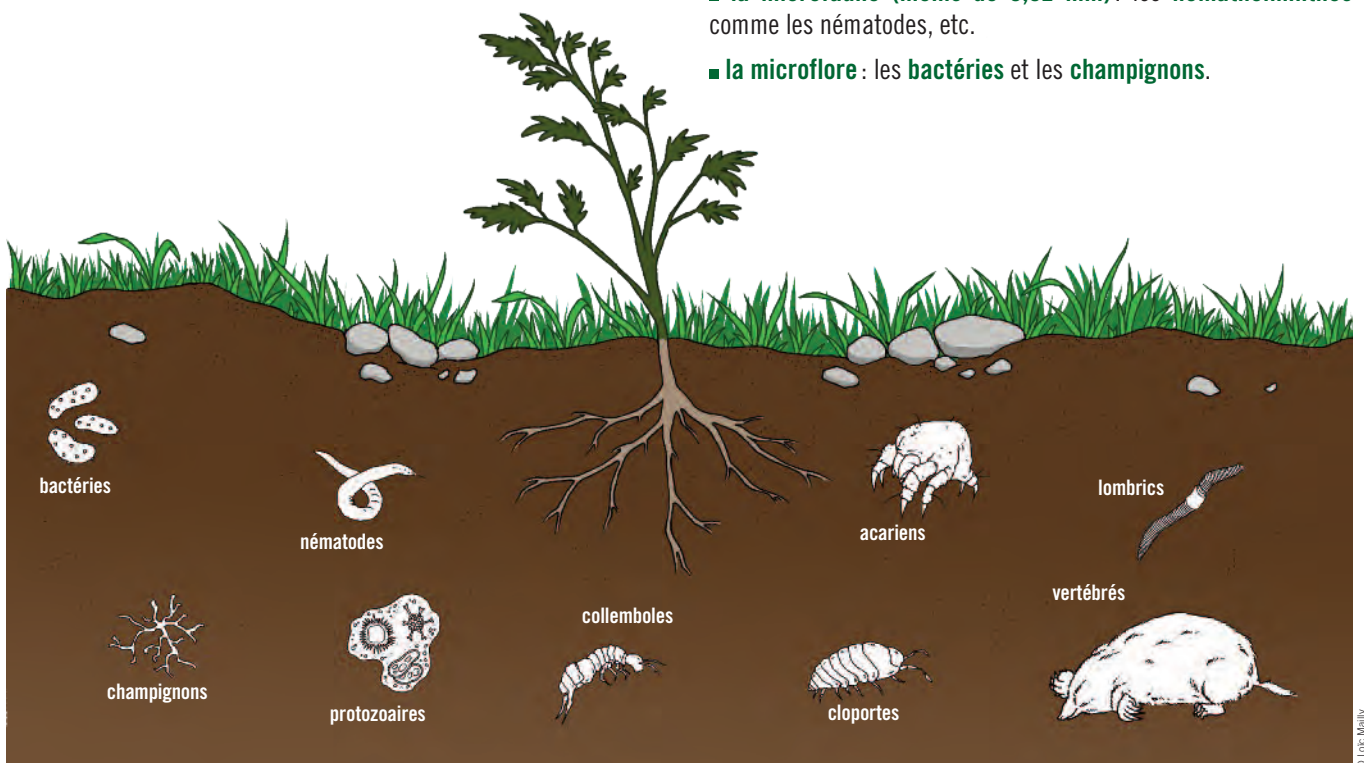
Le nombre d'espèces et leur abondance varient en fonction du milieu, des caractéristiques du sol et de son usage. Un hectare de sol forestier compte plus d'organismes vivants que d'êtres humains sur Terre ! La biomasse animale moyenne du sol est estimée à 2,5 tonnes par hectare. Les bactéries peuvent représenter jusqu'à un milliard d'individus par gramme de sol ou plus de 10 000 espèces par poignée de terre. On estime que moins de 1 % des bactéries et des virus ont été décrites et seulement 4 % des champignons (macroscopiques et microscopiques) ont été identifiés.



Cloporte

La faune du sol se subdivise en trois groupes différenciés selon leur taille :

- **la macrofaune (4 à 80 mm)** : les **annélides** comme les vers de terre ; les **insectes** tels les fourmis, les termites, et certaines de leurs **larves** comme les larves de mouches, de cousins, de hannetons ; les **arachnides** comme les araignées, les **mollusques** tels les escargots ou les limaces ; les **myriapodes** comme les mille-pattes ou les scolopendres ; les **crustacés isopodes** auxquels appartiennent les cloportes par exemple.
- **la mésofaune (0,2 à 4 mm)** : les **arachnides** tels que les acariens (oribates, gamases), les **insectes aptérygotes** comme les collemboles (insectes les plus nombreux du sol) et les diploures.
- **la microfaune (moins de 0,02 mm)** : les **némathelminthes** comme les nématodes, etc.
- **la microflore** : les **bactéries** et les **champignons**.



La faune du sol



© CNPF - Sylvain Gaudin

LE VER DE TERRE, UN EXTRAORDINAIRE INGÉNIEUR DU SOL

Les vers de terre ou lombrics sont des acteurs essentiels des sols. Leur rôle est multiple : physique comme “laboureur” en réorganisant l’agencement, en dégradant et brassant les composants du sol (eau, air, matières minérales et organiques), mais aussi chimique en produisant des équivalents d’hormones de croissance pour les végétaux, des substances protectrices contre les parasites et un mucus nutritif pour la flore microbienne du sol. De précieux alliés pour les arbres et les forestiers, à tel point que certains les gratifient d’ingénieurs de l’écosystème !

Les sols pauvres en matière organique compteront par exemple bien moins de 100 vers de terre/m², tandis que les sols riches en matière organique peuvent atteindre jusqu’à 1 000 individus/m².

LES SYMBIOSES

La biodiversité du sol est au cœur de la relation sol-plante. Bien que parfois néfaste (organismes parasites, prédateurs...); elle est très souvent bénéfique. Elle augmente la zone de prospection des racines, aide à la nutrition et protège contre les pathogènes.

Les recherches dans le domaine de l’écologie soulignent également une relation positive entre la productivité des écosystèmes forestiers et l’augmentation de la biodiversité du sol. C’est le cas des **symbioses** , ces associations spécifiques de deux organismes qui appartiennent à des espèces différentes (bactéries, champignons ou fourmis etc., avec certaines plantes). Dans le cas d’une alliance “plante - organisme du sol”, il s’agit d’un équilibre qui peut permettre une meilleure croissance de la plante grâce à l’organisme avec lequel elle a contracté une symbiose, avec en retour une alimentation spécifique du partenaire par la plante.



© CNPF - Louis Ammandier

Plants mycorhisés afin de faciliter leur reprise en forêt.

QUESTION

QUE PEUT FAIRE LE FORESTIER ?

Pour les favoriser, outre de ne pas tasser le sol, on peut privilégier les essences dont la litière est appréciée. C’est le cas des bouleaux, des feuillus précieux, mais aussi des châtaigniers sur sols pauvres, ou du douglas. D’une manière générale les essences introduites hors de leur aire naturelle sont moins favorables aux organismes du sol, car ceux-ci n’auraient pas encore eu le temps de s’y adapter.

DEUX EXEMPLES

- les champignons mycorhiziens du sol ;
- le Rhizobium, une bactérie étonnante, qui permet à certaines plantes de fixer l’azote de l’air et du sol.

Les premiers vivent en association avec les racines de 80 % des espèces végétales terrestres. Ils puisent le carbone dans les végétaux et en retour leur rendent de nombreux services : amélioration de la nutrition et de la protection sanitaire des plantes. Ils permettent notamment une meilleure reprise à la plantation. Les secondes, qui s’installent sur les racines ou la tige des plantes légumineuses (comme le robinier ou l’aulne), les alimentent en composés azotés, tandis que ces dernières leur fournissent un lieu - des nodules - pour se multiplier. *Source: GIS - Sol*

À RETENIR

On réduit souvent le sol à une fonction de support de la vie végétale et animale. Outre qu’il retient l’eau, stocke les substances nutritives et constitue l’habitat d’organismes vivants et joue un rôle de puits de carbone, le sol présente un fonctionnement analogue à celui d’un organisme vivant. Il respire (consomme de l’oxygène), régule sa température, digère la matière organique, fait circuler l’eau et stocke les réserves (humus, argile). Le sol est le capital santé des arbres. Fragile, il doit être protégé.

L'ENVIRONNEMENT DU SOL : CLIMAT, GÉOLOGIE, RELIEF

LE CLIMAT, COMPOSANT ASSOCIÉ AU SOL

Les caractéristiques du climat peuvent être des contraintes pour la vitalité de l'arbre et sa croissance, quand elles s'écartent trop des valeurs optimales de chaque essence.

Les données les plus importantes sont les températures et les précipitations.

Les températures (T) commandent l'intensité de nombreuses réactions chimiques et de nombreux phénomènes biologiques. Trop basses ou trop élevées par rapport aux tolérances de l'essence, elles peuvent devenir fatales. C'est pourquoi les forestiers accordent une attention particulière aux gels (hivernaux ou printaniers) et aux canicules comme celles d'août 2003. Les statistiques des nombres de jours/mois (notamment consécutifs) d'épisodes de très forte chaleur (T quotidienne maximale > 30 °C) ou de canicule (> 35 °C) sont donc à considérer en priorité.



Douglas ayant grillé suite à un coup de chaud

Les précipitations (P) exercent une influence sur l'état de la végétation, qui s'exprime par l'intermédiaire du bilan hydrique, où elles sont comparées aux températures. Mais comme variable de comparaison, il faut préférer un indice bioclimatique comme l'Évapotranspiration Potentielle : ETP. L'ETP traduit en mm d'eau le pouvoir évaporant de l'atmosphère, commandé par le rayonnement solaire, le dessèchement de l'atmosphère et la vitesse du vent.

Le module P-ETP détermine en hiver les flux de drainage profond (recharge des nappes quand il est positif), et en été l'épuisement des réserves en eau du sol quand il est négatif. Pour faire ce bilan, il est nécessaire de connaître une variable essentielle du sol, sa réserve utile ou RU (voir page 14).

Rôle régulateur du sol dans l'alimentation en eau des arbres.

Par sa capacité – indiquée par le concept de réserve utile maximale – à stocker une partie de l'excédent d'eau hivernal, et mettre à disposition une partie de cette eau (l'eau "utile") en été, le sol retarde et atténue le déficit hydrique estival et ses effets négatifs : limitation de la croissance, dépérissement, parfois mortalité.

LA GÉOLOGIE, UNE DONNÉE ESSENTIELLE POUR PRÉVOIR ET COMPRENDRE LES CARACTÈRES DU SOL

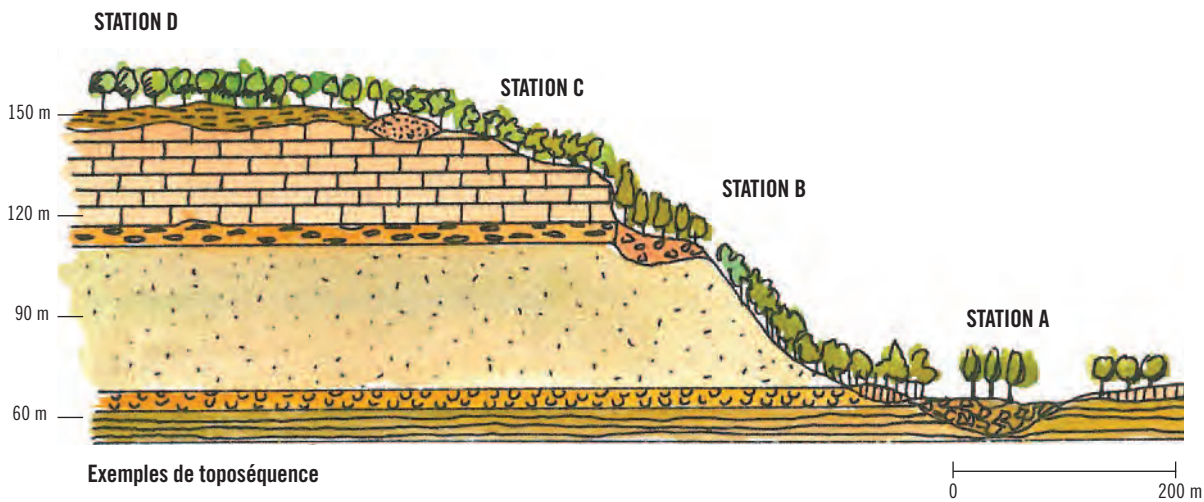
Un sol provient de l'évolution d'une roche mère. Sous un climat homogène, le type de roche donne naissance à un type de sol spécifique. Pour connaître la nature des terrains, on peut consulter la carte géologique et notamment sa notice, où sont décrits les terrains affleurants. Ces documents sont aussi consultables sur Internet, sur le site du BRGM, rubrique "Info Terre" ou sur geoportail.gouv.fr.



Granite du Morvan

LES GRANDS TYPES DE ROCHE ET LES SOLS ASSOCIÉS

- **Les granites et gneiss** sont le domaine des sols sableux, superficiels, pauvres et acides, à productivité souvent faible,
- **Les schistes** donnent naissance à des sols argileux en profondeur, limoneux en surface, parfois à excès d'eau,
- **La craie** détermine des sols avec des risques de chlorose, perméables et à faible réserve en eau
- **Les calcaires** supportent des sols voisins de ceux des craies, mais plus contraignants pour l'enracinement, car la roche y est plus dure,
- **Les marnes et argiles** se signalent par leurs sols lourds,
- **Les grès et sables** engendrent des sols sableux et perméables, acides dans l'ensemble, avec des nuances selon leur origine et leur nature minéralogique,
- **Les limons** sont fertiles (diversement selon le degré d'évolution du sol) mais sensibles au tassement.



LE RELIEF ET SON INFLUENCE MULTIPLE

RELIEF ET CLIMAT

Le relief modifie les effets du climat local à la surface du sol. Il en résulte un topoclimat, qui s'exprime sur quelques centaines de mètres. Ainsi, l'orientation d'un versant et sa pente déterminent son ensoleillement et son bilan thermique, à l'origine de différences de végétation. Ce sont les situations bien connues d'adret (versant "chaud" exposé au sud), ou d'ubac (versant "froid" exposé au nord), avec des contrastes d'autant plus nets que la pente est prononcée, la vallée est encaissée ou que l'orientation de la crête est Est-Ouest. L'altitude joue également un rôle important. Un des exemples les plus marquants est le mont Aigoual (Lozère-Gard) qui accueille des milieux subalpins à son sommet et des milieux méditerranéens à sa base.

INFLUENCE DE LA TOPOGRAPHIE SUR LES CONDITIONS CLIMATIQUES : LES TOPOCLIMATS

Influence sur la température

- Les versants sud sont plus ensoleillés et donc plus chauds que les versants nord,
- L'accumulation d'air froid dans les fonds de vallée rend les gelées plus fréquentes, plus précoces et tardives.

Influence sur l'eau

- Selon l'exposition, l'évapotranspiration varie : en effet, elle est plus importante sur les versants exposés au sud et au sud-est,
- Un fond de vallon bénéficie d'une humidité atmosphérique plus élevée.

Influence sur le vent

- Le relief et son orientation peuvent être un facteur de protection contre les vents ou d'accélération (couloir à vent), ce qui a une influence sur l'évapotranspiration

INFLUENCE DE LA TOPOGRAPHIE SUR LES CONDITIONS PÉDOLOGIQUES

Transfert de matériaux

- Sur les rebords de plateau, hauts de versant et buttes, les matériaux sont érodés et entraînés vers le bas de versant. Les sols y sont généralement moins épais,
- Dans les bas de versant, fonds de vallon et replats, un apport et une accumulation de matériaux s'effectue (colluvionnement). Les sols sont généralement épais et frais,
- Dans les grandes vallées, les cours d'eau apportent des alluvions. Les sols y sont généralement riches, profonds et humides.

Transfert d'eau

- Sur les rebords de plateau, hauts de versant et buttes, on constate un départ d'eau par ruissellement dans les versants. Les sols y sont généralement plus secs.
- Dans les bas de versant, fonds de vallon et replats, on constate un apport d'eau. Les sols sont généralement frais à humides. Des engorgements temporaires ou permanents liés à la présence d'une nappe d'eau peuvent être observés.



© CNPF - Alexandre Jourdan

LA PROFONDEUR DU SOL

On entend par profondeur du sol, la profondeur facilement prospectable par les racines. La profondeur se mesure à partir de la surface et détermine le volume utilisable par les racines. Celles-ci ont besoin d'oxygène pour respirer, d'eau et d'éléments minéraux pour s'alimenter et d'une structure de sol suffisamment pénétrable.

La présence d'une nappe permanente rendant les conditions asphyxiantes pour les racines, ou d'un horizon chimiquement incompatible avec l'essence en place (exemple : calcaire pour le châtaignier), représente des obstacles chimiques au développement des racines. La présence d'une forte charge en cailloux ou une dalle constituent des obstacles mécaniques.

REPÈRES

L'expérience (après sondage à la tarière ou mieux au moyen d'une fosse pédologique) permet d'établir la classification suivante, qui peut toutefois présenter des exceptions :

- Profondeur inférieure à 20 cm : sol superficiel sans potentialités forestières réelles.
- Profondeur de 20 à 40 cm : sol peu profond discriminant un grand nombre d'essences forestières.
- Profondeur de 40 à 80 cm : sol moyennement profond ne permettant d'envisager une production de qualité qu'à l'aide d'essences à enracinement puissant et/ou tolérantes à ces conditions limitantes.
- Profondeur supérieure à 80 cm : sol profond correspondant à de bonnes potentialités forestières.



Sol superficiel calcaire

ATTENTION

On sait aujourd'hui que pour beaucoup d'essences la majeure partie des racines aux fonctions d'absorption se situe dans les 40 premiers centimètres de profondeur. Ceci dit, sur des sols pauvres en surface, les essences sont parfois capables de développer des stratégies d'exploration racinaire vers de très grandes profondeurs en quête d'eau et d'éléments minéraux.



L'aulne glutineux a la capacité de développer ses racines malgré la présence d'une nappe d'eau. De plus, il fixe les berges.

INFLUENCE SUR LES ARBRES

Effet direct : la profondeur de prospection des racines favorise l'ancrage de l'arbre et, par conséquent, sa stabilité. Celle-ci sera d'autant plus efficace que le sol est profond.

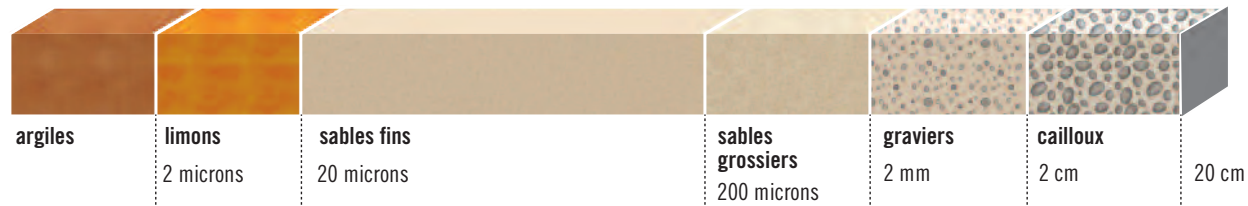
Effet indirect : le sol constitue un réservoir d'eau, d'éléments minéraux et d'air. Ainsi, plus le sol sera profond, plus la quantité disponible de ces trois principaux éléments sera importante.

INFO +

Toutes les essences ne sont pas égales face à leur capacité de prospection racinaire. Il existe en effet plusieurs types de systèmes racinaires plus ou moins puissants et susceptibles de coloniser les couches profondes du sol. Par exemple les chênes sont particulièrement aptes à traverser des couches argileuses.

LA TEXTURE DU SOL

Règles de dimensions des éléments de texture



Ces particules, constituant le sol, sont le plus souvent en mélange. Les sols sont néanmoins définis selon la texture dominante :

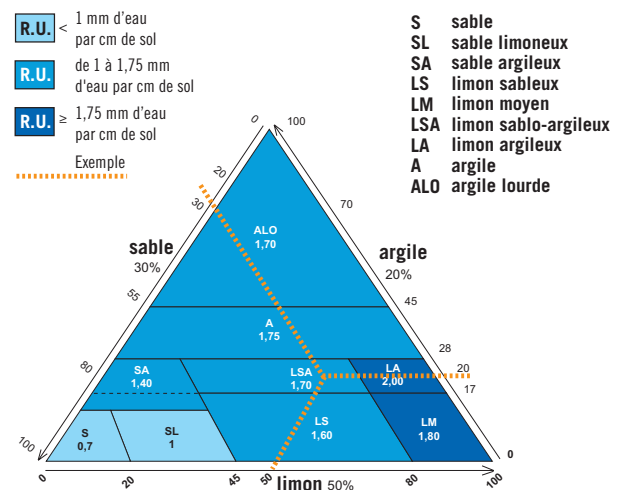
■ **Les textures sableuses** sont des matériaux meubles, aérés et fil-trants. Elles présentent une faible capacité de rétention en eau. Lorsqu'elles sont constituées de silice, elles sont pauvres en éléments minéraux. Les sables grattent les doigts et crissent à l'oreille. S'ils tachent les doigts, cela signifie qu'ils contiennent une fraction d'argiles ou de limons en proportion décelable mais minoritaire, ils ont dans ce cas un toucher plus souple, laissent un voile poudreux sur les doigts (à l'état sec), et ne "collent" pas à l'état frais ou humide.

■ **Les textures limoneuses** sont le plus souvent riches en éléments minéraux et possèdent un pouvoir de rétention en eau important. Toutefois, ces matériaux sont sensibles au tassement. Les limons humides s'étalent sur les doigts en laissant apparaître, après une pression, de petites écailles. Leur toucher présente un aspect doux et soyeux. À l'état sec, ils tachent et dessèchent les doigts. À partir d'un certain taux d'argile (aux alentours de 20 %), la texture devient limono-argileuse, se distinguant à l'état frais ou humide de la précédente par une certaine adhésivité (collant faiblement aux doigts entre le pouce et l'index).

■ **Les textures argileuses**, par l'association des particules d'argile et de matière organique, favorisent la formation du complexe absorbant du sol, véritable fixateur d'éléments minéraux et d'eau. Leur pouvoir de rétention en eau est élevé. Toutefois, en trop grande proportion dans le sol, elles le rendent asphyxiant et compact. La texture argileuse se reconnaît par son aspect fin, son toucher lisse, sa plasticité (déformable à la pression) et son adhésivité (colle fortement aux doigts) à l'état frais ou humide, sa ténacité (résistance à la pression) à l'état sec.

Un **triangle des textures** permet de situer ces catégories par rapport aux proportions chiffrées (telles que peut les définir l'analyse granulométrique) des trois fractions fondamentales. Un des plus utilisés en France, du moins chez les forestiers, est le **triangle de Jamagne**.

Coefficient de texture



EXEMPLE

Limons 50 %
 Sables 30 %
 Argiles 20 %

→ Sol dit limono-sablo-argileux



Test au toucher



Test du boudin pour évaluer la teneur en argile

L'EAU DANS LE SOL

Le sol comporte une assez grande quantité d'espaces vides, appelée "porosité".

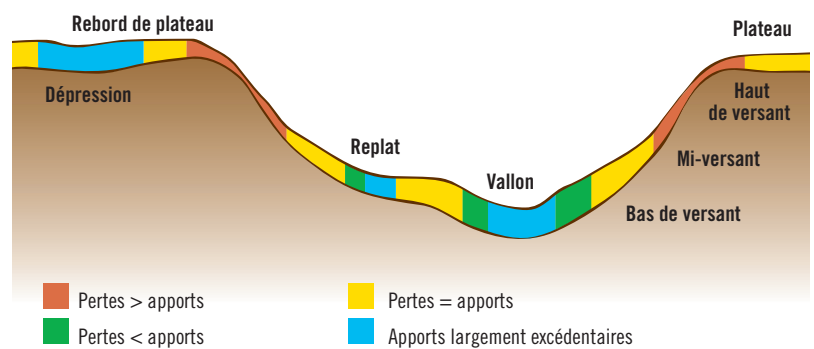
La microporosité (vides de petite taille) est habituellement occupée par de l'eau (gouttelettes retenues par capillarité).

La macroporosité (vides de grande taille) est habituellement occupée par de l'air.



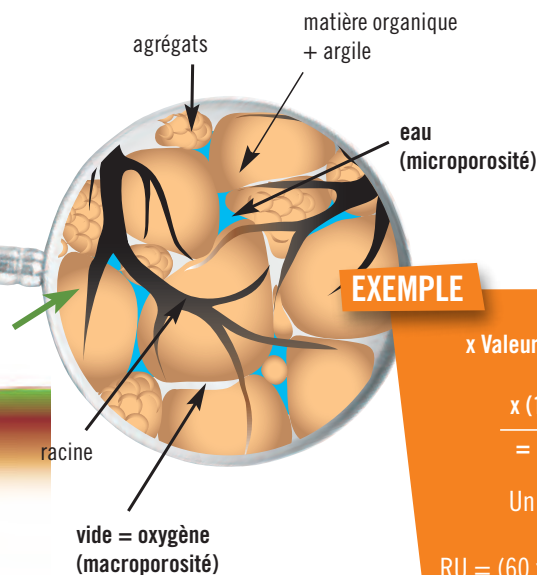
D'une manière générale, la quantité d'eau disponible pour les arbres provient des précipitations. De ce volume de départ, il faut soustraire des pertes liées à l'évaporation, le ruissellement, l'infiltration profonde, et la transpiration des végétaux. La quantité d'eau restante occupe la microporosité et constitue la **réserve en eau du sol**. Cette capacité stockée dans le sol dépend de :

- sa texture,
- sa profondeur,
- sa charge en cailloux.



La topographie influence les apports ou départs d'eau

La réserve utile maximale (RUM) est la quantité d'eau utilisable par les plantes contenue dans l'épaisseur de sol explorable par les racines. Elle s'exprime en millimètres et se calcule simplement à l'aide des coefficients de réserve par classes de texture (disponible sur <https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/fr/fiche/reserve-en-eau-du-sol>) ou dans la bibliographie du service de cartographie des sols de l'Aisne ou par Baize et Jabiol), de la charge en cailloux et de la profondeur du sol, par tranche de sol (horizons différents).



EXEMPLE

Profondeur utile du sol (en cm)
 x Valeur de la réserve en eau par classe
 de texture (en mm/cm)
 x (100 - a % de charge en cailloux)
 = Réserve Utile Maximale (en mm)

Un sol argilo-limoneux sur 60 cm
 avec 10 % de cailloux :
 $RU = (60 \times 1.8) \times (100 - 10 \%) = 98 \text{ mm}$

REPÈRES

- Inférieure à 80 mm, la RUM est considérée comme très limitante pour la majorité des essences.
- Entre 80 et 150 mm la RUM est moyenne et ne permet d'envisager les essences ne tolérant pas la sécheresse que si elle est compensée par une pluviométrie abondante ou une situation topographique favorable (fond de vallon, dépression de plateau).
- Supérieure à 150 mm, la RUM est favorable pour la plupart des essences forestières

INFLUENCE SUR LES ARBRES

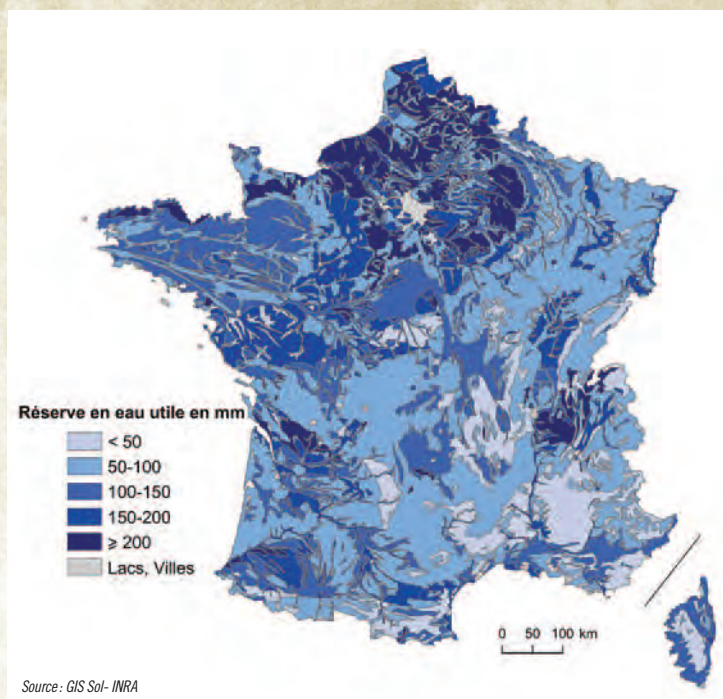
Dans la plupart des cas la réserve en eau du sol assure l'alimentation de l'arbre en l'absence de précipitations. Cependant, à l'occasion d'évènements climatiques intenses (précipitations importantes ou déficitaires), l'eau en excès dans le sol peut provisoirement devenir préjudiciable pour les arbres.

LE RISQUE DE SÉCHERESSE

Il est très important sur des sols superficiels, de texture à faible réserve en eau (sables), ou comportant une forte charge en cailloux. Ces risques seront amplifiés en situation topographique de "départ" (versants), et d'autant plus en exposition défavorable (exposition sud).



Pseudogley = engorgement temporaire



LE RISQUE D'ENGORGEMENT

Il provoque une asphyxie des racines et réduit la profondeur d'enracinement des arbres. Plus l'engorgement est proche de la surface et prolongé, plus la contrainte est importante.

Un excès d'eau chasse l'air de la macroporosité et se traduit par des réactions chimiques impliquant les ions ferreux contenus dans la solution du sol. Ces réactions se manifestent visuellement par des changements de couleur caractéristiques, permettant de qualifier un sol d'hydromorphe.

Si l'engorgement du sol ne se produit qu'une partie de l'année (nappe d'eau dont le niveau varie entre l'hiver et l'été), on parle "d'hydromorphie temporaire". Cela se traduit par l'alternance de veines bleues-grisâtres (zones où l'oxygène est absent) parsemées de taches "rouille" (où l'oxygène est présent). Ces horizons sont appelés "pseudogleys".

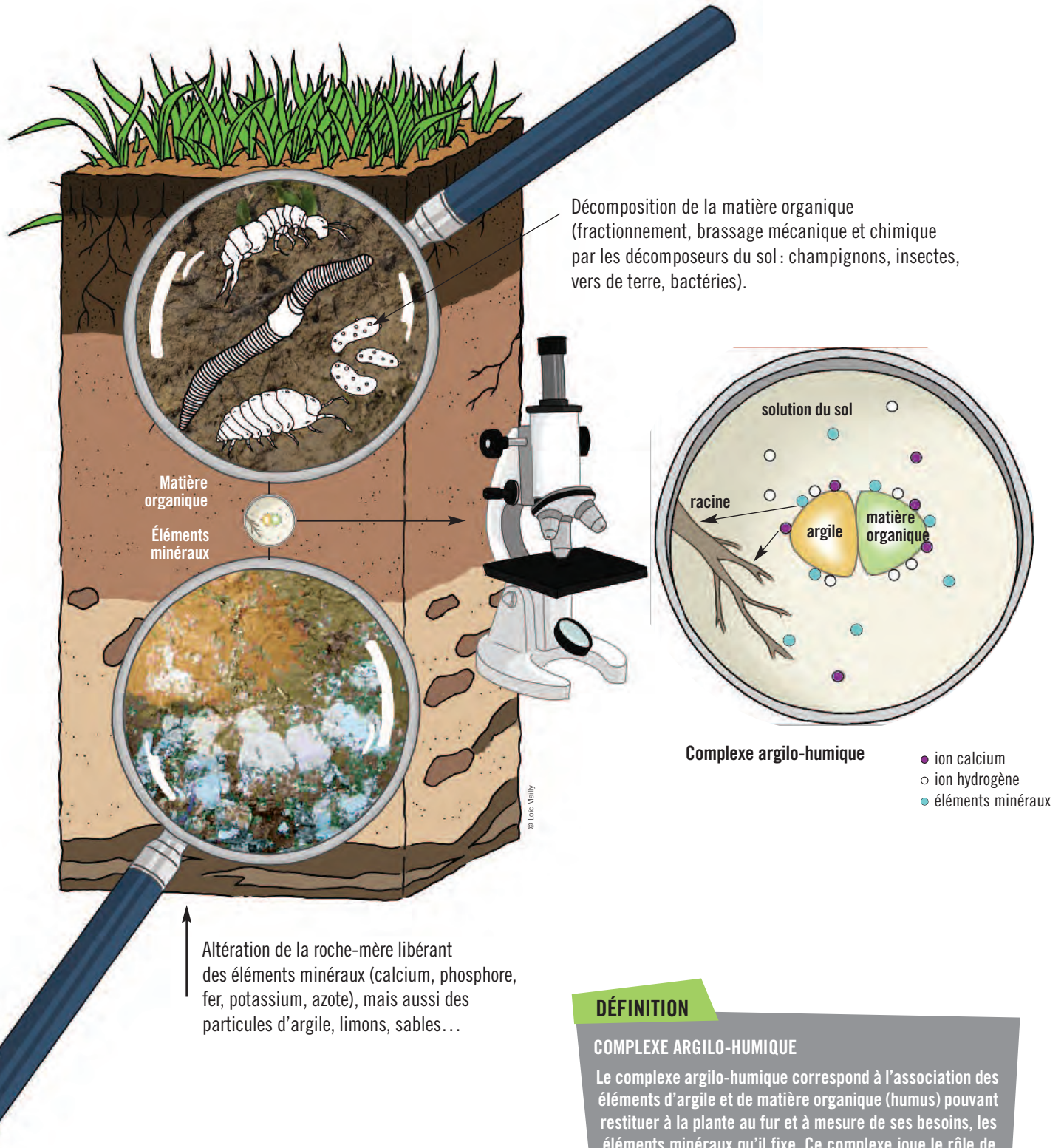
Si le sol est engorgé toute l'année, on parle "d'hydromorphie permanente". Ces horizons, appelés "gleys" prennent alors une coloration bleue-grisâtre uniforme, sans taches de rouille.



Gley
= engorgement permanent

LE NIVEAU TROPHIQUE

Pour son développement l'arbre a besoin d'éléments minéraux qui lui sont fournis par le sol. L'arbre les trouve dans l'eau du sol ou fixés sur le complexe argilo-humique.



DÉFINITION

COMPLEXE ARGILO-HUMIQUE

Le complexe argilo-humique correspond à l'association des éléments d'argile et de matière organique (humus) pouvant restituer à la plante au fur et à mesure de ses besoins, les éléments minéraux qu'il fixe. Ce complexe joue le rôle de réserve en éléments minéraux.

Un sol dit “riche” contient une quantité importante et équilibrée d’éléments minéraux, un minimum d’argile (complexe argilo-humique plus efficace), ainsi que des conditions de vie favorables au développement des micro-organismes (pH > 5,5). Ces sols participent à une croissance plus importante des arbres et un meilleur état sanitaire.

TROIS INDICATEURS DU NIVEAU TROPHIQUE

LE pH

Le pH a une influence sur la capacité du complexe absorbant à retenir les éléments minéraux. Dans des valeurs extrêmes de pH, le réservoir d’éléments minéraux, alors saturé en ions H⁺ et Al⁺⁺⁺ (pH acides) ou Ca⁺⁺ (pH basiques), peut induire des carences ayant des répercussions plus ou moins graves en fonction des essences.

En forêt, le pH se situe entre 3,5 (sol particulièrement acide) et 8,5 (sol particulièrement basique).

Le pH peut s’évaluer avec la végétation présente. On parle de pH bioindiqué (voir pages suivantes).

À défaut il est possible d’utiliser un pHmètre colorimétrique qui donne une indication sur le pH (acide, neutre ou calcaire).

LE CALCAIRE

Le calcaire est dit “actif” s’il est capable de libérer rapidement des ions calcium en excès. Présent en grande quantité, il est susceptible de bloquer l’assimilation d’autres éléments minéraux indispensables aux arbres. Chez certaines essences dites “calcifuges”, il induit une carence en fer responsable de la chlorose (décoloration du feuillage), de dessèchements de rameaux, voire de mortalité...

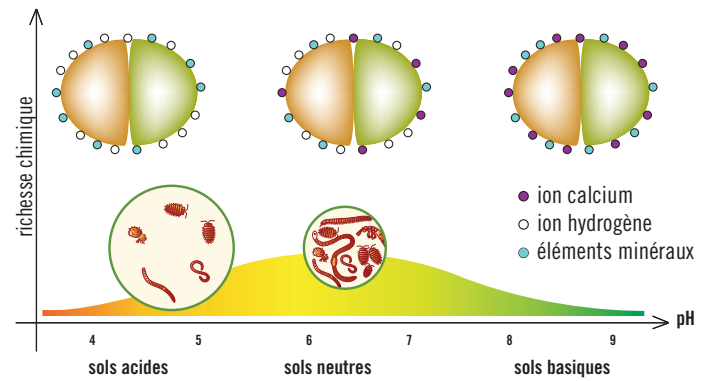
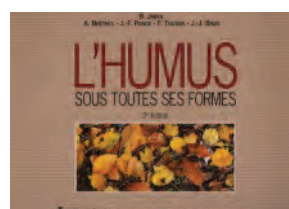
Enfin, pour mettre en évidence la présence de calcaire dans la terre fine (hors cailloux), on aura recours à de l’acide chlorhydrique dilué à 20 % qui réagira positivement sous la forme d’effervescence.

L’HUMUS

L’humus forestier est composé d’une ou plusieurs couches résultant de l’accumulation et de la décomposition de la matière organique (feuilles, brindilles, aiguilles...) sous l’action de la faune du sol (vers de terre, arthropodes détritivores), des bactéries et des champignons présents dans le sol. Plus le sol est acide, plus ces organismes sont rares et donc plus la matière organique se décompose lentement et s’accumule sous différentes couches.

L’examen de l’humus renseigne sur l’acidité du sol et sa teneur en minéraux.

L’ouvrage de référence est
 “L’humus sous toutes ses formes”
 B Jabiol et al,
 édition par AgroParisTech



Complexe argilo-humique



Le pHmètre colorimétrique



Réaction à l’acide chlorhydrique sur de la terre fine (hors cailloux) contenant du calcaire



Découpe d’un extrait d’humus

LES VÉGÉTAUX INDICATEURS DES CONDITIONS DE MILIEU

REPÈRES

Les végétaux sont de très bons indicateurs des conditions de milieu.

Les **Flores Forestières Françaises** éditées par l'Institut pour le Développement Forestier du CNPF présentent toutes les espèces ligneuses et herbacées forestières accompagnées chacune de leur **écogramme**.

Ceux-ci situent les espèces herbacées et ligneuses selon les 2 facteurs principaux de la distribution de la végétation que sont les variations hydriques (alimentation en eau) et trophiques (alimentation minérale), hormis le climat.

Connaissant les plantes présentes sur une station, on peut alors déduire ses caractéristiques moyennes.



OBTENIR LA DONNÉE

Pour effectuer un relevé de flore, il faut parcourir une surface homogène moyenne de 400 m² soit (20 x 20 m).

Il faut éviter les bords de chemins, de routes, les clairières et les pistes de débardage qui perturbent les conditions de milieu.

Chaque plante est regroupée dans un groupe écologique de plantes ayant les mêmes caractéristiques sur la zone de travail.

Le relevé et surtout le nombre d'espèces par groupe écologique sont ensuite pris en compte dans la clé de détermination des stations forestières du guide utilisé pour la forêt.

- Gradient hydrique	très sec						
	sec	Stations acides à très acides Présence d'espèces comme : callune, myrtille, fougère aigle, canche flexueuse, laïche à pilule, polytric élégant			Stations riches en bases Présence d'espèces comme : mercuriale pérenne, lauréole, campanule gantelée, érable champêtre, clématite vigne blanche, cornouiller mâle, fusain d'Europe, troène, brachypode des bois...		
	mésophile						
	frais						
	assez humide						
	humide	Stations très humides (sol engorgé toute l'année) Présence d'espèces comme : aulne glutineux, populage des marais, laïche des marais, épilobe hirsute, gaillet des marais, iris faux acore, lycope d'Europe, lysiaque commune...					
+ engorgé							
		très acide	acide	assez acide	peu acide	neutre	calcaire
		- Gradient de fertilité minérale				+	

Ecogramme de la Flore Forestière Française avec la position simplifiée de quelques espèces indicatrices

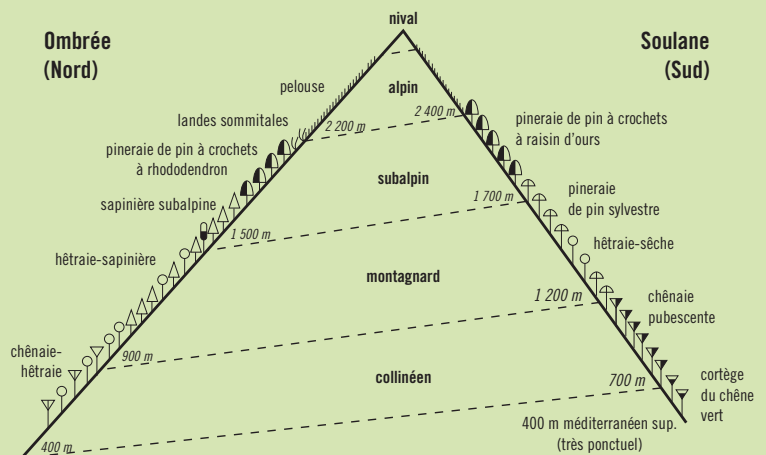


© CNPF Sylvain Gaudin

INFO +

Selon les variations du climat, la végétation forestière se structure en étage chacun étant caractérisé par un cortège d'essences particulier. Les étages de végétation sont bien visibles en Méditerranée et en zone de montagne.

Ils dépendent surtout de l'altitude (liée au gradient de température) mais aussi de paramètres influençant localement le climat : exposition, pente, vents dominants.



Les étages de végétation dans les Pyrénées Orientales



▲ **Myrtille**
(FFF, p.691)
Vaccinium myrtillus



▲ **Callune** (FFF, p.399)
Calluna vulgaris
Feuilles en forme de petites écailles, opposées-décussées (et non verticillées).



▶ **Fougère aigle**
(FFF, p.221)
Pteridium aquilinum
Grande fougère à fronde triangulaire.

■ Plantes des milieux très acides



▲ **Canche flexueuse**
(FFF, p.1053)
Deschampsia flexuosa
Souche gazonnante formant des touffes. Feuilles à bords lisses.



▶ **Muguet**
(FFF, p.1023)
Convallaria maialis

■ Plantes des milieux acides



▶ **Millet diffus** (FFF, p.1341)
Milium effusum
Tige dressée, sans poils. Feuilles planes, larges de 5-15 mm et retombantes. Inflorescence lâche.



▶ **Sorbier des oiseleurs**
(FFF, p.655)
Sorbus aucuparia



▶ **Maianthème à deux feuilles**
(FFF, p.1321)
Maianthemum bifolium

■ Plantes des milieux peu acides



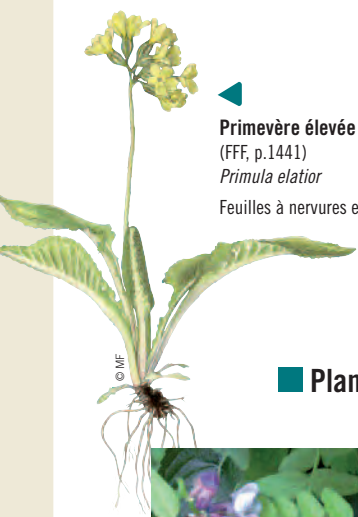
▶ **Jacinthe des bois**
(FFF, p.1205)
Hyacinthoides non-scripta

▶ **Ortie royale**
(FFF, p.1131)
Galeopsis tetrahit
Tige carrée renflée sous les nœuds, poilue.

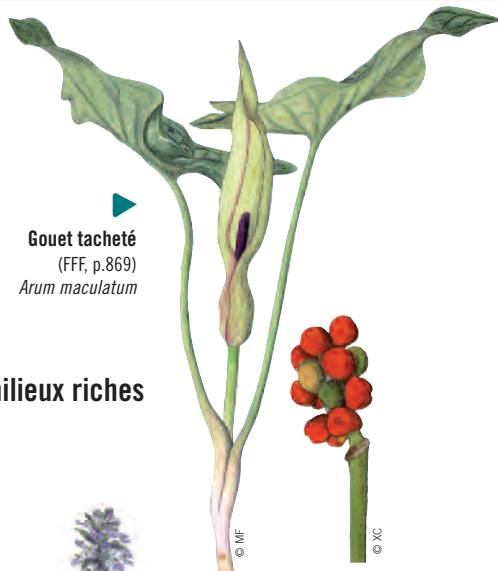


▶ **Millepertuis élégant**
(FFF, p.1219)
Hypericum pulchrum
Tige ronde, sans poils. Feuilles à glandes translucides en dessous qui s'observent par transparence (pas de glandes noires).





▶ **Primevère élevée**
(FFF, p.1441)
Primula elatior
Feuilles à nervures en carré.



▶ **Gouet tacheté**
(FFF, p.869)
Arum maculatum

▶ **Viorne obier**
(FFF, p.697)
Viburnum opulus



■ **Plantes des milieux riches**



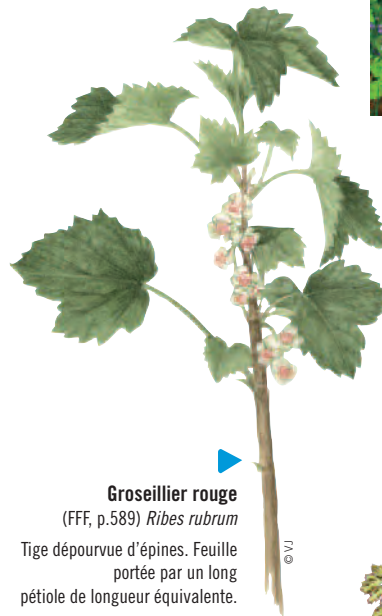
▶ **Vesce des haies** (FFF, p.1627)
Vicia sepium

▶ **Ortie dioïque**
(FFF, p.1601)
Urtica dioica



▶ **Bugle rampante**
(FFF, p.831)
Ajuga reptans

Tige carrée, poilue alternativement sur deux faces opposées.



▶ **Groseillier rouge**
(FFF, p.589) *Ribes rubrum*
Tige dépourvue d'épines. Feuille portée par un long pétiole de longueur équivalente.

▶ **Groseillier à maquereau**
(FFF, p.591)
Ribes uva-crispa
Epines par trois.

■ **Plantes des milieux riches et frais**



▶ **Géranium herbe à Robert**
(FFF, p.1161)
Geranium robertianum
Plante velue, dégageant une odeur fétide au froissement.

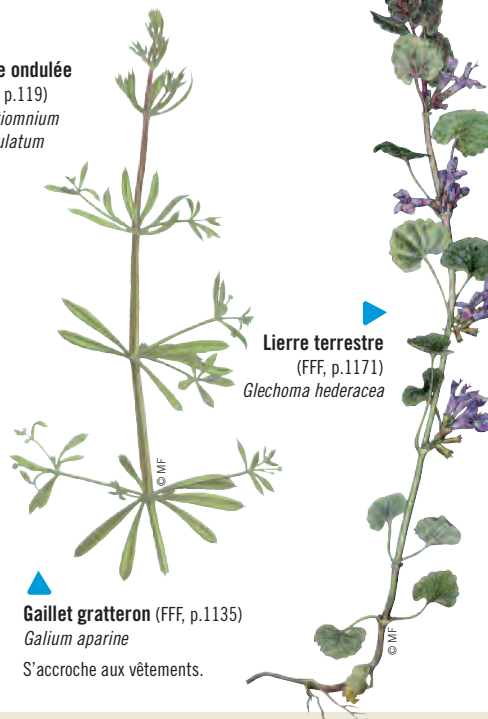
▶ **Mnie ondulée**
(FFF, p.119)
Plagiomnium undulatum



▶ **Ficaire fausse renoncule**
(FFF, p.1479)
Ranunculus ficaria



▶ **Lierre terrestre**
(FFF, p.1171)
Glechoma hederacea



▶ **Renoncule tête d'or**
(FFF, p.1477)
Ranunculus auricomus

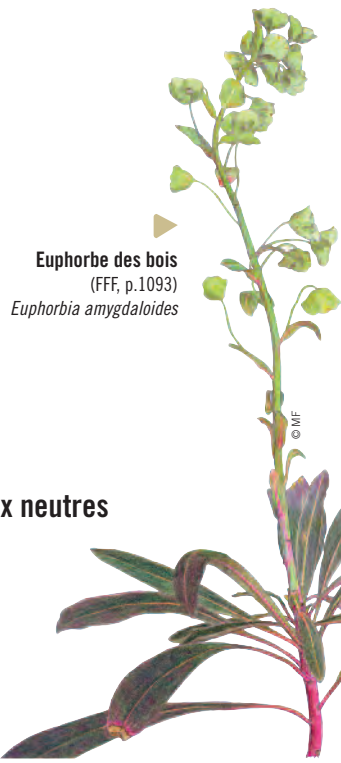


▶ **Cardamine des prés** (FFF, p.933)
Cardamine pratensis
Tige creuse, feuilles composées.

▶ **Gaillet gratteron** (FFF, p.1135)
Galium aparine
S'accroche aux vêtements.



▲ Sceau de Salomon multiflore
(FFF, p.1415)
Polygonatum multiflorum



▲ Euphorbe des bois
(FFF, p.1093)
Euphorbia amygdaloides

▲ Violette des bois
(FFF, p.1647)
Viola reichenbachiana
Feuilles en cœur,
plus longues que larges.



▲ Aspérule odorante
(FFF, p.1141)
Galium odoratum



■ Plantes des milieux neutres



▲ Brachypode des bois
(FFF, p.883)
Brachypodium sylvaticum

Plante poilue sur les nœuds, les feuilles
et les gaines. Tige assez grêle.



▲ Viorne lantane (FFF, p.695)
Viburnum lantana



▲ Troène (FFF, p.491)
Ligustrum vulgare
Jeunes rameaux gris-vert,
avec des ponctuations
verruqueuses.
Feuilles luisantes, sans dent.



▲ Mercuriale pérenne (FFF, p.1339)
Mercurialis perennis

■ Plantes des milieux calcaires



▲ Cornouiller sanguin
(FFF, p.417)
Cornus sanguinea



▲ Fusain d'Europe (FFF, p.451)
Euonymus europaeus
Tige verte dressée, à 4 angles.

▲ Clématite vigne blanche
(FFF, p.409)
Clematis vitalba
Liane à feuilles opposées,
divisées en 3 à 9 folioles.
Fruit plumeux.



▲ Prunellier (FFF, p.547)
Prunus spinosa
Rameaux très épineux souvent
terminés par une épine.



Molinie bleue
(FFF, p.1345)
Molinia caerulea



© CRPF Nord Picardie



Alexandre Gaerrier - CRPF Pôitou-Charentes © CNPF

Osmonde royale
(FFF, p.207)
Osmunda regalis



Bourdaine
(FFF, p.455)
Frangula alnus



Sylvain Gaudin - CRPF CA © CNPF

Polytric commun ▲
(FFF, p.1571) *Polytrichum commune*



Sylvain Gaudin - CRPF CA © CNPF

Bruyère à quatre angles ▲
(FFF, p.447) *Erica tetralix*



Iris faux acore
(FFF, p.1233)
Iris pseudacorus

■ **Plantes des milieux acides et humides**
■ **Plantes des milieux humides à marécageux**



Sylvain Gaudin - CRPF CA © CNPF

▲ **Pédiculaire des bois**
(FFF, p.1379)
Pedicularis sylvatica



© CRPF Nord Picardie

▲ **Sphaignes**
(FFF, p.143)
Sphagnum sp

▶ **Ronce bleuâtre** (FFF, p.609)
Rubus caesius
Tige glauque et pruinuse portant des aiguillons peu solides. Foliolles latérales souvent dissymétriques.



© CRPF Nord Picardie



© CRPF Nord Picardie

▶ **Alliaire** (FFF, p.833) *Alliaria petiolata*

▶ **Consoude officinale**
(FFF, p.1571)
Symphytum officinale
Plante couverte de poils raides. Feuilles épaisses et très longues (20 à 80 cm).



© M.F.

▶ **Cirse maraîcher**
(FFF, p.1013)
Cirsium oleraceum



© M.F.

▶ **Laîche des rives**
(FFF, p.979)
Carex riparia

Laîche de grande taille à tige robuste et blanchâtre à la base, à feuilles assez larges.



© CRPF Champagne Ardenne

▶ **Reine-des-prés** (FFF, p. 1119)
Filipendula ulmaria



▲ Sceau de Salomon à feuilles verticillées
Polygonatum verticillatum



© Louis Amandier - CNPF



© Louis-Michel Duhén - CNPF



© Didier Joud - CNPF

■ Plantes indicatrices de l'étage montagnard

En France, cet étage est présent dans les Pyrénées, les Alpes, le Massif central, les Vosges et le Jura. C'est l'étage du Hêtre, du Sapin pectiné et de l'Épicéa commun (surtout présent dans les Alpes du nord et le Jura).



© Michel Barbill

▲ Prénanthe
Prenanthes purpurea



© Christophe Vidal - CNPF

▲ Framboisier
Rubus idaeus



© Louis Amandier - CNPF

▲ Sureau à grappes
Sambucus racemosa



© Mireille Mous - CNPF

▲ Arbousier, *Arbutus unedo*



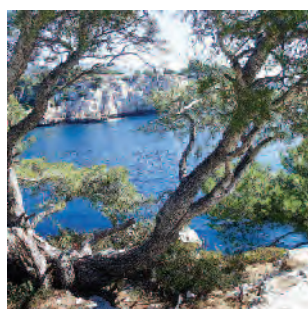
© Sylvain Gaudin - CNPF

▲ Smilax rude, *Smilax aspera*

■ Plantes indicatrices des étages méditerranéens. L'étage mésoméditerranéen

C'est l'étage du chêne vert, du chêne-liège et des pins méditerranéens (Pin d'Alep, Pin maritime, Pin pignon). On le retrouve sur le pourtour méditerranéen jusqu'à 400-600 m, selon l'exposition.

Asperge sauvage, Filarias, Viorne-tin, Bruyère arborescente, Lavande à feuilles larges, Lavande stéchade, Rosier toujours vert, Euphorbe characias, Clématite flammule, Romarin, Chèvrefeuille des Baléares, Immortelle stoechas...



© Louis-Michel Duhén - CNPF

▲ Pin d'Alep



© Louis Amandier - CNPF

▲ Pistachier lentisque
Pistacia lentiscus



© Olivier Martineau - CNPF

▲ Amélanchier
Amelanchier ovalis



© Mireille Mous - CNPF

▲ Buis *Buxus sempervirens*

■ Plantes indicatrices des étages méditerranéens. L'étage supraméditerranéen

C'est l'étage du chêne pubescent, souvent accompagné du Pin sylvestre. Il marque la transition avec les étages collinéens et montagnards. Sa flore caractéristique est présente aussi localement dans des stations sèches, plus au nord de la France.

Coronille arbrisseau, Érable à feuilles d'Obier, Alisier blanc, Cerisier de Sainte-Lucie



© Mireille Mous - CNPF

▲ Érable de Montpellier
Acer monspessulanum

LA STATION FORESTIÈRE

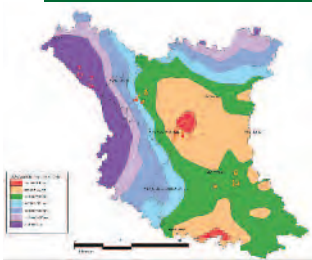
QU'EST-CE QU'UNE STATION FORESTIÈRE ?

Une station forestière est une étendue de terrain de superficie variable, homogène dans ses conditions écologiques de croissance. La caractérisation des stations forestières s'effectue par :

Le climat

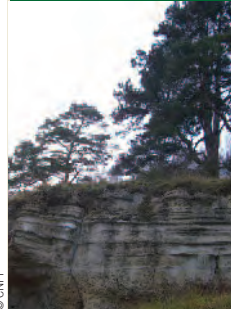
Il joue un rôle important dans l'approvisionnement en eau (précipitations), la période de végétation, ainsi que la croissance des arbres. Il peut aussi représenter un obstacle au bon développement, voire à la survie des essences forestières (gelées, canicules, vents violents...).

Alors que certains secteurs de France enregistrent des cumulés annuels de précipitations de plus de 1 200 mm/an, d'autres ne dépassent pas les 450 mm/an.



Le sol

C'est le support mais aussi le réservoir alimentaire et hydrique des arbres. La profondeur prospectable, la charge en cailloux, la présence d'eau en excès, ou encore la texture (proportion d'argile, limon, sable), ont un impact sur le bon développement, la survie et la fonctionnalité des racines, donc la capacité des arbres à s'alimenter et à s'ancrer efficacement.



La topographie

Le relief joue un rôle dans la circulation de l'eau et le topoclimat. Les sols frais à humides se rencontrent souvent en fond de vallon, tandis que sur les hauts de versant le manque peut se faire ressentir (notamment dans les expositions sud très ensoleillées).



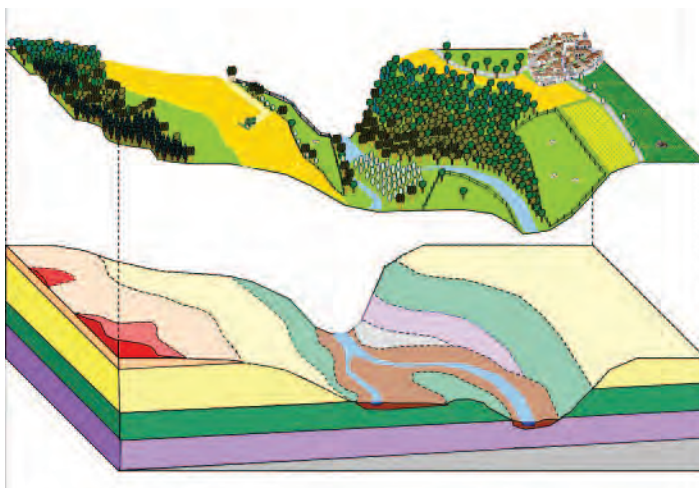
La végétation spontanée

Appelée aussi "flore indicatrice", elle est également considérée comme partie intégrante des stations forestières. Plus qu'un facteur écologique, la végétation spontanée est surtout un élément permettant d'illustrer les conditions stationnelles.



La flore indicatrice contribue à apporter de bonnes indications sur la fertilité et l'humidité du milieu. Son inventaire permet de confirmer, voire préciser, les informations obtenues par l'examen du sol.

**La topographie, le climat et le sol sont des facteurs écologiques intimement liés qui composent la station.
Dès qu'un de ces trois éléments varie, une nouvelle station se différencie.
Dès que réapparaissent des conditions écologiques similaires, des stations semblables sont remarquées.**



Les paysages de nos régions témoignent visuellement de cette variabilité des conditions environnementales. Après une lecture rapide de l'activité humaine et de ses usages des territoires, certaines zones apparaissent exploitées et d'autres occupées par des milieux variés, ce qui rappelle l'influence ancienne du milieu sur le développement des activités humaines.

À l'échelle de la forêt, il est fréquent d'observer une succession de différents types de stations ou une répétition de stations similaires. Ces groupes de stations forestières, proches par leurs caractéristiques, dénommés "unités stationnelles", sont définies dans des documents de préconisation appelés "guides de stations forestières".

POURQUOI IDENTIFIER LES STATIONS FORESTIÈRES ?

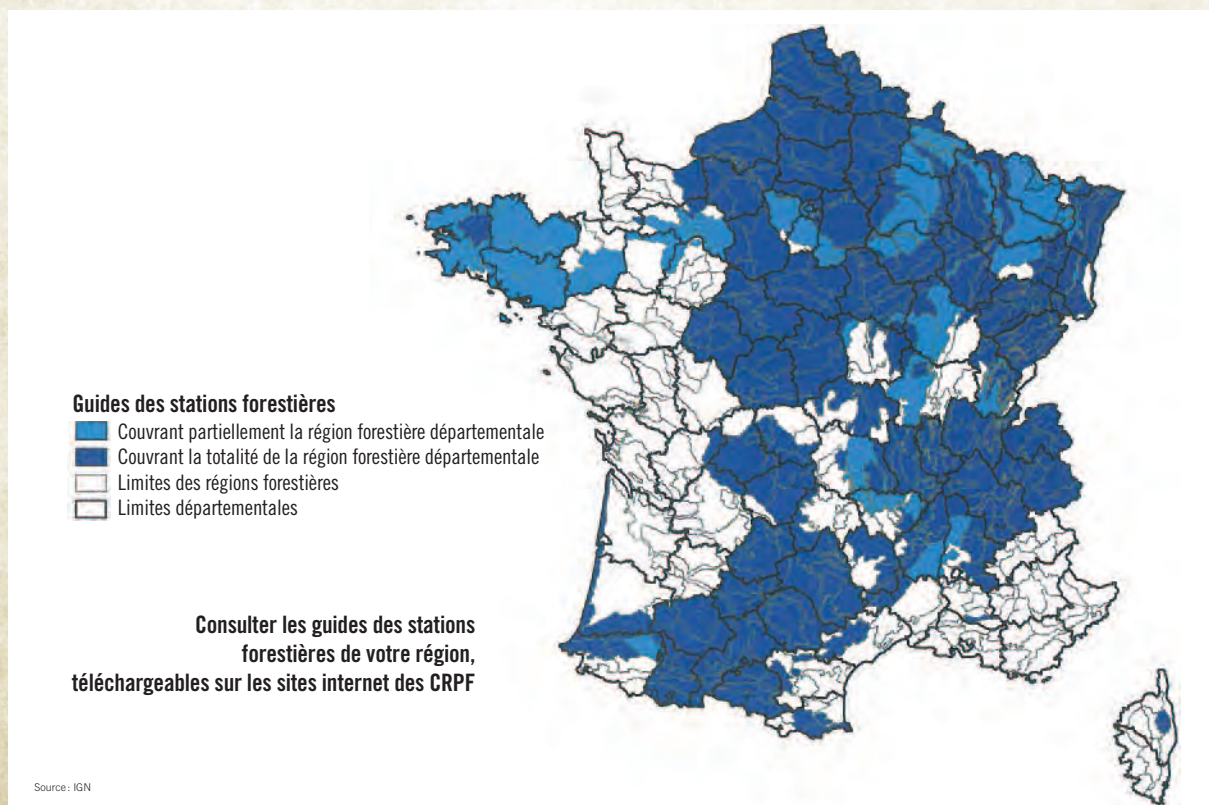
Comme tous les végétaux, chaque essence forestière possède ses propres exigences en matière d'alimentation en eau, en lumière et en éléments nutritifs. Le climat, la topographie et le sol sont les paramètres qui répondent principalement à ces exigences.

L'identification des stations forestières aide à opérer un choix judicieux d'essences à favoriser, ou à éviter, lors du marquage d'une coupe (essence à privilégier...), ou lors d'un projet de renouvellement (essences à implanter, semis à dégager dans le cadre d'une régénération naturelle...).

D'autre part, elle permet d'évaluer les potentialités de production fréquemment différentes sur une même propriété, et donc de hiérarchiser les interventions (investissements prioritaires sur les stations les plus productives...).



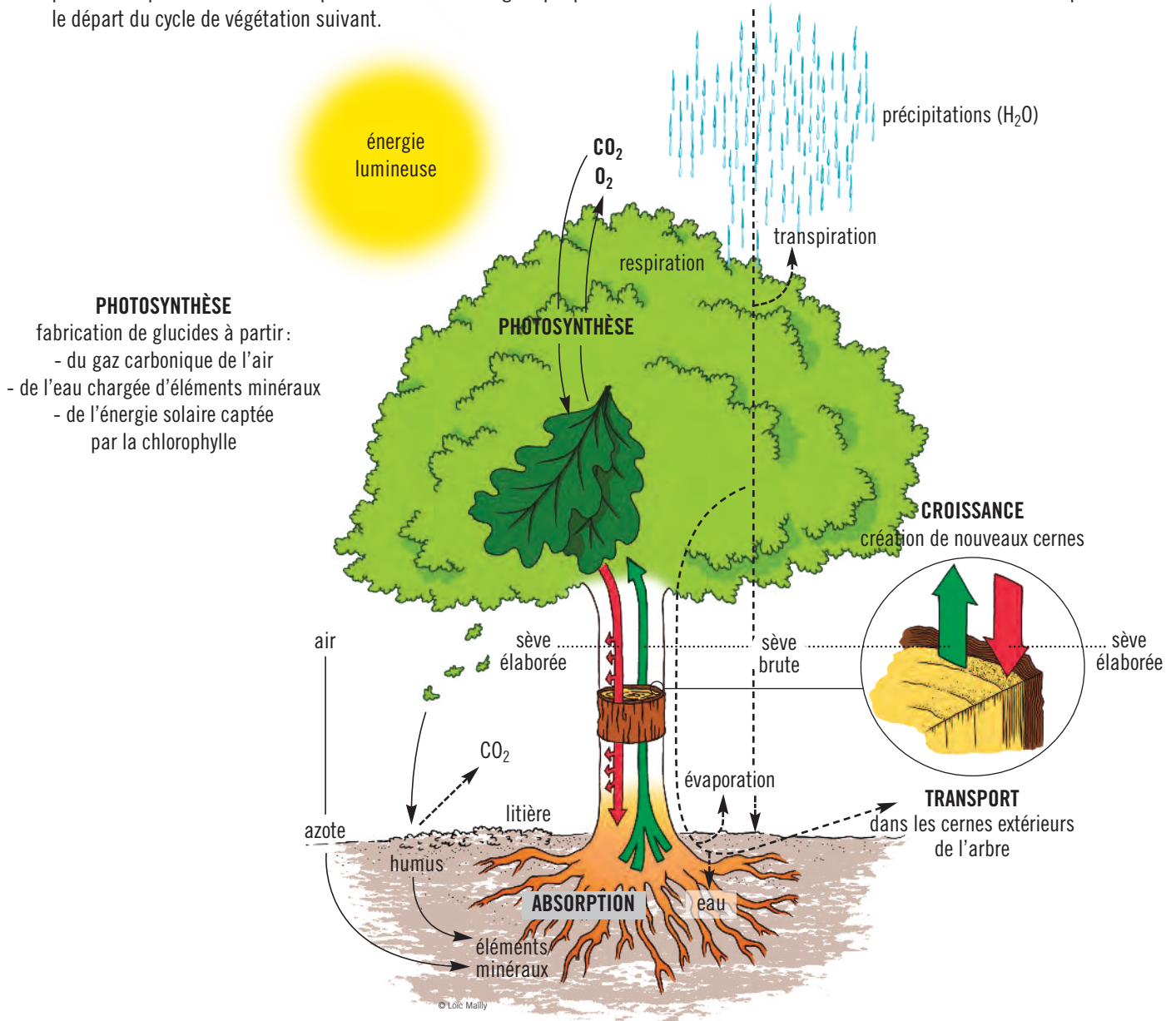
AVANTAGES	DESCRIPTIF
SYLVICOLES	<ul style="list-style-type: none"> ■ Choix d'essences adaptées (meilleure croissance, bois de qualité) ■ Sélection de semenciers propices à une éventuelle régénération naturelle
ÉCONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX	<ul style="list-style-type: none"> ■ Investissements mieux ciblés (engagement financier restreint ou nul sur les stations reconnues inadaptées à la production de bois d'œuvre ou souvent de fort intérêt environnemental). ■ Respect des sols sensibles au tassement (contribution à la sauvegarde des potentialités de production de la station et de la biodiversité du sol) ■ Diminution des coûts (moins d'échecs de plantations, de regarnis...) ■ Prix de vente optimisé pour des grumes de meilleure qualité ■ Diversité d'essences plus importante favorisant le maintien de milieux naturels riches et sécurisant surtout la production vis-à-vis des aléas.
CLIMATIQUES ET SANITAIRES	<ul style="list-style-type: none"> ■ Meilleure capacité à résister aux aléas (tempêtes, sécheresses...) ■ Plus grande vigueur des arbres face aux attaques parasitaires et aux déséquilibres biologiques ■ Diminution du risque de dépérissement à long terme



LE CHOIX DES ESSENCES

LA CROISSANCE D'UN ARBRE : INTERFACE ENTRE LES MILIEUX SOLIDES, LIQUIDES ET GAZEUX

Comme tous les végétaux, les arbres assurent leur développement grâce à la photosynthèse. Cette activité consiste à transformer, grâce à l'énergie solaire, des éléments minéraux issus du sol (phosphates, nitrates, etc...), et du gaz carbonique issu de l'air, en matière organique. Ces éléments sont véhiculés dans l'arbre par l'eau (sève brute et sève élaborée) puisée par l'absorption racinaire et mise en mouvement par la transpiration foliaire. Une partie de la matière organique produite est stockée à l'automne dans le tronc et les racines pour assurer le départ du cycle de végétation suivant.



Ainsi la croissance d'un arbre dépend directement de son milieu :

- le climat pour l'énergie solaire (éclairage et température), l'eau et le vent qui modifie les échanges gazeux,
- le sol qui assure l'ancrage de l'arbre et sa nutrition en éléments minéraux et en eau,
- La topographie, facteur d'amplification des deux facteurs précédents.

Le sylviculteur ne peut pas modifier ces facteurs du milieu, il doit donc planter et sélectionner des essences adaptées au milieu rencontré. D'autres facteurs agissent également sur la croissance des arbres, ce sont les facteurs biotiques : les animaux qui consomment les végétaux et les végétaux qui se concurrencent entre eux. Par la sylviculture, le forestier peut modifier ces facteurs (dépressage, éclaircie).

LA CROISSANCE D'UN ARBRE : NOTION DE « FACTEUR LIMITANT »

La croissance d'un arbre dépend donc de plusieurs facteurs et principalement des facteurs climatiques et pédologiques (sol). Ces facteurs agissent ensemble; tous sont nécessaires et la variation d'un seul de ces facteurs peut avoir des conséquences sur la croissance de l'arbre.

DÉFINITION

FACTEUR LIMITANT

Facteur écologique qui par sa présence ou sa valeur réduit l'action d'autres facteurs, entravant ainsi la croissance et/ou le développement d'un organisme.

Source : Vocabulaire de typologie forestière – IDF

INFLUENCE SUR LES ARBRES

Un facteur limitant peut donc être :

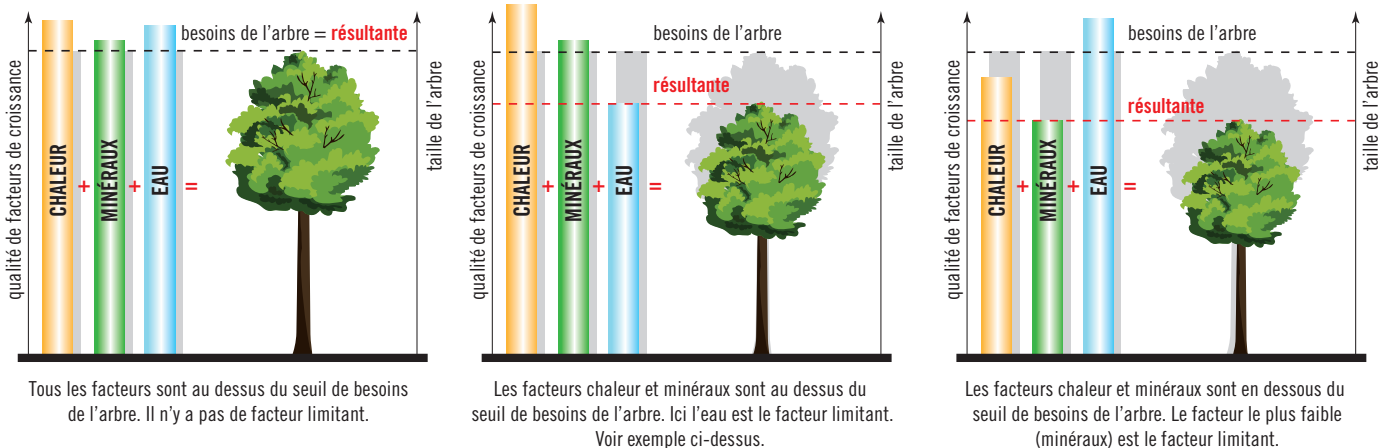
- Un élément essentiel de la croissance de l'arbre présent en trop faible quantité ou en trop grande quantité.
Exemple 1 : trop faible quantité d'eau dans le sol pour le chêne pédonculé sur coteaux calcaires.
Exemple 2 : trop grande quantité d'eau (sol engorgé en permanence) pour le châtaignier.
Exemple 3 : une exposition fréquente aux gelées tardives ou aux grands froids pour le noyer commun.
- Un élément toxique : sa présence empêche la croissance, voire la survie de l'arbre.
Exemple 4 : présence de calcaire actif dans les horizons supérieurs du sol pour le douglas.

Un facteur peut être limitant pour une essence et ne pas l'être pour une autre. La présence de calcaire actif dans le sol est un facteur limitant pour le chêne rouge mais pas pour l'érable sycomore. La sécheresse estivale est un facteur limitant pour le frêne mais pas pour le pin sylvestre.



© CNPF Gilles Poubin

Facteur limitant : faible disponibilité en eau



AUTÉCOLOGIE DES PRINCIPALES ESSENCES FORESTIÈRES

LES ESSENCES FORESTIÈRES EN FRANCE

En France, il est possible de recenser une quarantaine d'essences forestières naturellement présentes. À celles-ci s'ajoutent plus d'une vingtaine d'essences introduites couramment à l'occasion des boisements et reboisements.

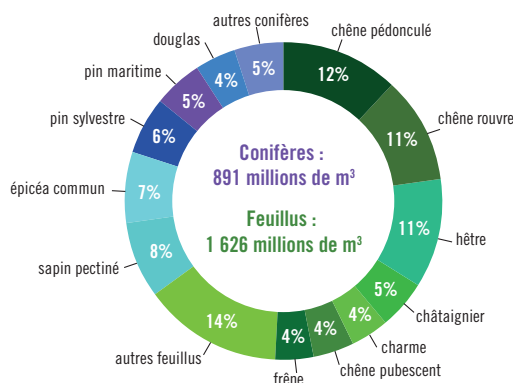
Chaque essence présente des exigences particulières vis-à-vis des conditions de milieu où elle prospère. Ces comportements, appelés "autécologie", s'articulent autour des composantes de la station forestière :

- exigence envers la lumière
- exigence envers le sol (richesse chimique, profondeur, eau...)
- exigence climatique (précipitations, températures, exposition...)

Pour chaque essence, il est possible de visualiser une partie de ses exigences grâce à un **écogramme** (source Flore Forestière Française). Ce tableau illustre l'amplitude écologique de l'essence selon un gradient d'humidité du sol (approvisionnement en eau) et un gradient d'acidité du sol (pH = approvisionnement en éléments nutritifs). Deux secteurs d'amplitude variable peuvent y être distingués :

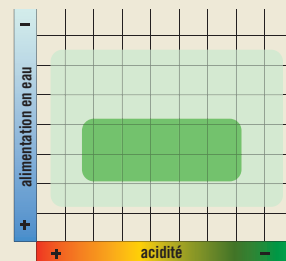
L'amplitude écologique ■ : conditions dans lesquelles l'essence est en capacité de vivre ou survivre, mais où sa croissance ne permet pas d'envisager une productivité très élevée et où le risque de problèmes sanitaires est plus élevé.

L'optimum de production ■ : conditions dans lesquelles l'essence est en situation optimale pour produire du bois d'œuvre de qualité.



Répartition du volume de bois vivant sur pied par essence Source: IGN

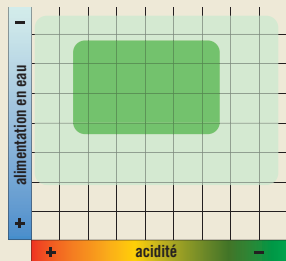
LE CHÊNE PÉDONCULÉ (*Quercus robur*)



Essence de pleine lumière, de tempérament pionnier, occupant des sols très variés (pH de 4 à > 7), craignant les sécheresses estivales et les grands froids.

Optimum : stations neutres à basiques (pH de 5 à 7) sur sols profonds limono-argileux bien alimentés en eau (réserve utile supérieure à 150 mm), typiques des vallons.

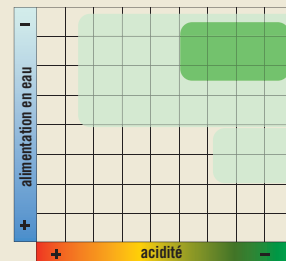
LE CHÊNE SESSILE (*Quercus petraea*)



Essence de demi-ombre, très plastique envers le sol ; matériaux variés et pH de 3,5 à 7 ; tolérante à la sécheresse et à l'hydromorphie mais particulièrement gélive sur sols très acides (pH < 4).

Optimum : sols filtrants à dominante sablo-limoneuse, épais, légèrement acides (pH de 4,5 à 5,5). Réserve utile supérieure à 100 mm

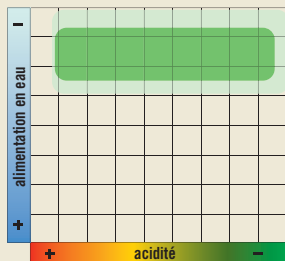
LE CHÊNE PUBESCENT (*Quercus pubescens*)



Essence de lumière appréciant la chaleur mais résistante au froid : disséminée sur calcaire dans la moitié nord de la France et présente partout dans la moitié sud. Essence pionnière sur sols carbonatés à calciques, tolérant les sols très caillouteux

Optimum : sol neutre à calcaire même très caillouteux. Exposition chaude. Une essence méditerranéenne qui remonte avec le réchauffement climatique. Le meilleur des chênes truffiers.

LE CHÊNE VERT (*Quercus ilex*)



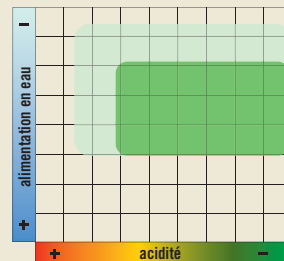
Essence appréciant la chaleur et la lumière. On la retrouve partout en région méditerranéenne et disséminée dans le sud-ouest à la faveur de versants très secs ainsi que dans les dunes du littoral atlantique.

Essence assez indifférente au substrat (calcaire ou siliceux) mais supportant bien les sols rocheux très caillouteux.

Optimum : station à bilan hydrique déficitaire

© CNPF Olivier Martineau

LE HÊTRE (*Fagus sylvatica*)



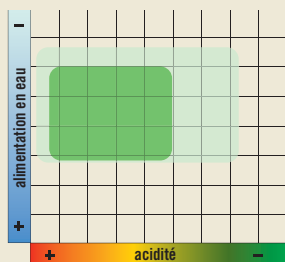
Essence d'ombre dans le jeune âge, très plastique envers le sol : matériaux variés et pH entre 4 et 7,5, supportant des sols peu profonds mais ne tolérant pas l'hydromorphie avant 50 cm.

Nécessite une pluviométrie minimum de 800 mm et affectionne particulièrement les zones de brouillard. Attention aux trous à gelées.

Optimum : sols limoneux à pH neutre à basique (5,5 à 7,5) en expositions N, NW et NE. Réserve utile de 100 à 120 mm

© CNPF Mireille Mouas

LE CHÂTAIGNIER (*Castanea sativa*)



Essence pionnière cultivée en France depuis plus de 2000 ans. Matériaux légers variés. Croissance juvénile rapide.

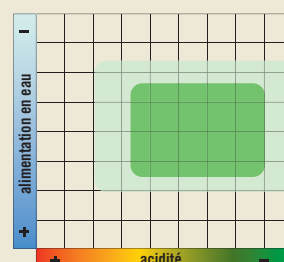
Besoin de lumière et d'espace. Pas de sol engorgé au printemps.

Attention à la roulure (variation du rythme de croissance). Ne supporte pas le calcaire actif.

Optimum : sol profond léger pH 5 à 6 sans hydromorphie avant 80 cm. Matériaux variés sans être trop lourds. Essence de croissance libre pour être de qualité.

© CNPF Jean Christophe Ferris

L'ÉRABLE SYCOMORE (*Acer pseudoplatanus*)



Des cinq espèces, Érable à feuilles d'obier, de Montpellier, champêtre, plane et sycamore, ce dernier est le plus répandu.

Il se caractérise par une régénération naturelle abondante voire envahissante.

Essence de demi-ombre occupant des sols frais à pH de 4,5 à 8, supporte mal les sols lourds ou engorgés avant 50 cm de profondeur. Nécessite un climat frais et humide et supporte mal la sécheresse (Exposition S et SE nettement défavorable).

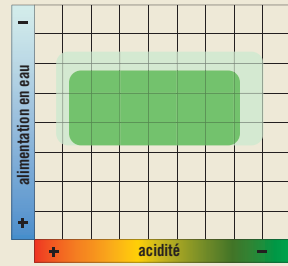
Optimum : sol d'une profondeur minimale de 50 à 75 cm, de texture limono sableuse à limono-argileuse, pH de 4,5 à 7,5, en exposition fraîche NW. Réserve utile supérieure à 120 mm.

© CNPF

LE DOUGLAS (*Pseudotsuga menziesii*)



© CNPF Christophe Drenou



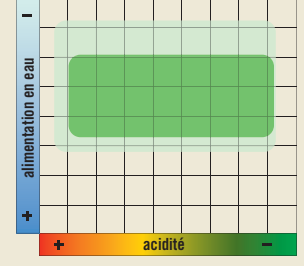
Essence d'ombre originaire de la zone côtière Pacifique d'Amérique du Nord (mais présente en Europe avant la dernière glaciation), introduite au XIX^e siècle. Elle occupe des sols variés à pH de 4 à 6,5 mais craint les sols lourds ou compacts, hydromorphes ou trop superficiels (< 50 cm) et le calcaire actif (pH > 7). Elle nécessite une pluviosité minimum de 800 mm, est sensible au vent et aux chablis, aux gelées tardives, à la neige mais résiste au givre.

Optimum : sol profond, filtrant mais frais sans hydromorphie avant 60 cm, de texture limono-argilo-sableuse à sablo-argileuse avec un pH de 5 à 6,5. Réserve utile de 150 mm minimum. Une exposition SW semble la plus favorable.

LE SAPIN PECTINÉ (*Abies alba*)



© CNPF Mireille Mousas



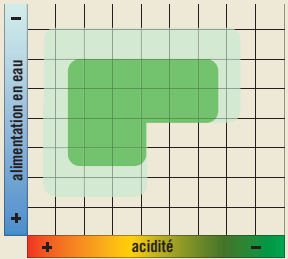
Essence de l'étage montagnard, présente aussi localement en Normandie. À besoin d'une humidité atmosphérique élevée et constante. Tolère l'ombre dans les 10 premières années. Résistante au froid mais sensible aux gelées tardives. Indifférente à la richesse chimique du sol. Résistante au vent.

Optimum : sol profond non compact ni hydromorphe. Humidité atmosphérique constante. pH de 4,5 à 6, 5. Station confinée (topographie).

L'EPICEA COMMUN (*Picea abies*)



© CNPF Patrick Castano



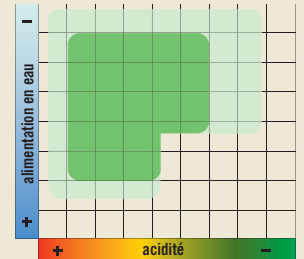
Essence montagnarde introduite dans l'étage collinéen. Croissance initiale forte, supporte l'ombrage en son jeune âge mais exigeante ensuite en lumière. Enracinement superficiel, sensible aux coups de vent. Supporte la sécheresse de l'air si le sol a une bonne réserve en eau.

Optimum : exigeante en lumière sur tous matériaux ne contenant pas de calcaire actif. pH de 4,5 à 6. Sol avec une bonne réserve en eau (>120 mm).

LE PIN MARITIME (*Pinus pinaster*)



© CNPF Alexandre Guernier

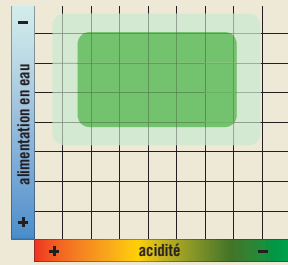


Essence de pleine lumière à croissance initiale rapide et qui produit deux pousses par an. Espèce naturelle du littoral aquitain et méditerranéen, sensible aux gelées mais supportant la sécheresse estivale, les sols acides et pauvres.

Intolérante au calcaire actif.

Optimum : dans des sols profonds, acides voire hydromorphes avec une forte humidité atmosphérique. Il existe de nombreuses provenances et races géographiques qui élargissent ses capacités naturelles d'adaptation.

LE PIN LARICIO DE CORSE (*Pinus nigra laricio corsicana*)



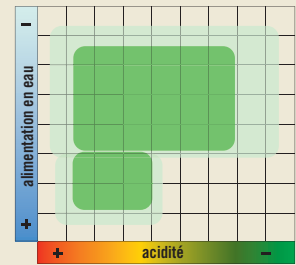
Essence de lumière, supporte un léger ombrage au stade juvénile. Elle occupe des sols variés mais craint le calcaire,

la compacité et une hydromorphie marquée. Elle nécessite une pluviométrie supérieure à 650 mm. Résistante à la sécheresse, au vent et aux gelées précoces ou tardives mais ne supporte pas les très grands froids (-25°) dans son jeune âge. Dans les sols nettement calcaires, lui préférer le Pin laricio de Calabre d'origine certifiée tolérant un peu mieux le calcaire et l'hydromorphie

Optimum : terrains frais sans hydromorphie et acidité trop marquée, de texture à dominante sableuse sans compactage en profondeur. Réserve utile de l'ordre de 50 mm minimum.

© CNPF Jacques Dugemine

LE PIN SYLVESTRE (*Pinus sylvestris*)

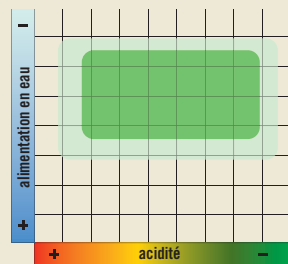


Espèces de croissance moyenne et longévive. Arbre de pleine lumière, frugal mais chlorosant (jaunissement des feuilles dû à l'excès de calcaire). Monocyclique, tolère les sols légèrement hydromorphes ou compacts. Insensible au froid, aux gelées de printemps. Sensible aux neiges lourdes.

Optimum : sur sols profonds acides à neutres. Résistant à la sécheresse mais nécessitant une pleine lumière. De nombreuses races amplifient ses capacités d'adaptation.

© CNPF Mireille Mouas

LE MÉLÈZE D'EUROPE (*Larix decidua*)



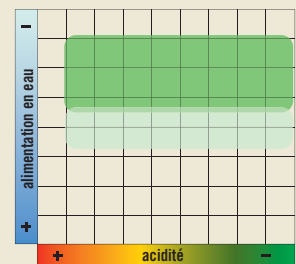
Essence montagnarde de pleine lumière dans une atmosphère sèche. Très résistante au froid et au vent. Très sensible aux gelées

tardives. Craint l'excès d'eau dans le sol. Croissance continue et régulière.

Optimum : dans tous matériaux filtrants et bien alimentés en eau pH de 5 à 6,5. Sol de plus de 40 cm de profondeur avec réserve > 100 mm. Une montagnarde à croissance continue et régulière

© CNPF Louis Michel Durien

LE PIN D'ALEP (*Pinus halepensis*)



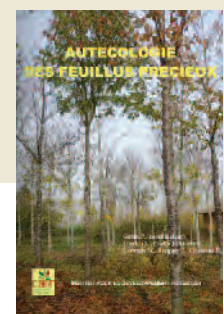
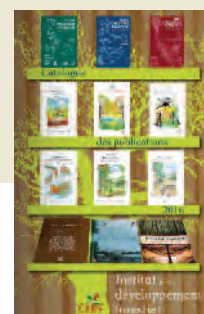
Essence pionnière, inféodée au pourtour méditerranéen jusqu'à 900 m d'altitude. Selon l'étage de végétation, les peuplements

de Pin d'Alep évoluent naturellement vers des chênaies vertes ou des chênaies pubescentes. Essence thermophile, très résistante à la sécheresse et assez indifférente au substrat.

Optimum : station à bilan hydrique déficitaire

© CNPF Olivier Martineau

Pour aller plus loin :
www.foretpriveefrancaise.com



IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

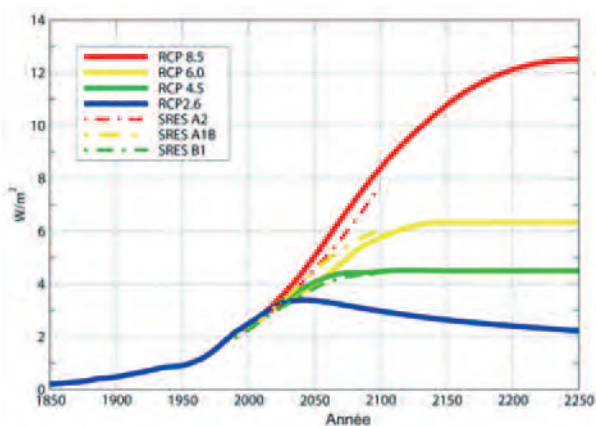
LE CLIMAT ÉVOLUE DURANT LA VIE DES ARBRES

Les émissions de gaz à effet de serre induisent un **réchauffement climatique** planétaire reconnu à l'heure actuelle par l'ensemble de la communauté scientifique.

L'intensité et la fréquence des événements météorologiques (tempêtes, verglas, chutes de neige lourde), climatiques (augmentations des températures estivales, déplacement des précipitations de l'été vers l'hiver), **biotiques** (attaques d'insectes ou maladies cryptogamiques) **augmenteront à l'avenir**. Ces événements ne seraient cependant pas homogènes sur le territoire.

Les premières conséquences de ces changements sont les **sécheresses**, qui verront probablement leur fréquence et leur intensité accrues dans les décennies à venir, mais également les phénomènes d'hydromorphie des sols devraient être accentués par une prolongation des engorgements en période hivernale. **Les tempêtes et les inondations devraient également être plus fréquentes.**

Évolution du bilan radiatif de la terre ou "forçage radiatif" en W/m^2 sur la période 1850-2250 selon les différents scénarii



Après 2006, les traits continus correspondant aux nouveaux scénarii dit RCP (Representative Concentration Pathways) et les traits pointillés aux scénarii des rapports 2001 et 2007 du GIEC

Les courbes de couleur après l'année 2013 sont des projections élaborées à partir de différents scénarii permettant de simuler l'impact des activités humaines, notamment sur l'évolution de la température planétaire.

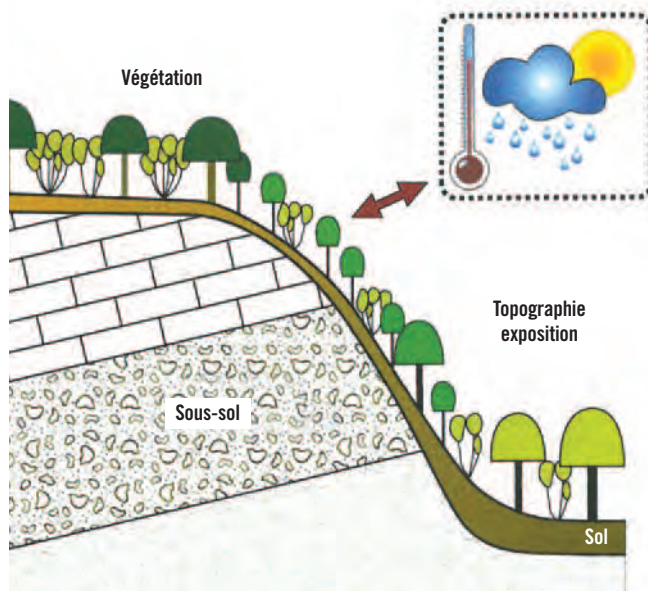
Le scénario RCP8.5 est le plus pessimiste et le RCP2.6 le plus optimiste en cas de politique volontariste.



Chênes pédonculés dépérissants

Ces modifications du climat à moyen terme devraient se produire à une échelle de temps comparable à celle de la production forestière. Pour y faire face, il devient crucial de choisir les essences dans leur optimum stationnel mais également d'adapter ses choix aux évolutions du climat, de rester vigilant sur certaines essences et d'adopter certains principes de précaution dans la gestion des peuplements. Ces principes de bon sens permettront de tenir compte

Paramètres locaux et climatiques déterminant les stations



Source : CNPF Champagne Ardennes

Il n'est plus possible de considérer le climat comme constant. Les stations forestières vont donc évoluer au gré des évolutions climatiques et obliger les sylviculteurs à modifier leur gestion et leur choix d'essences tant lors des éclaircies que des renouvellements.

PRÉSERVER LES SOLS LORS DES RÉCOLTES DE BOIS

LE SOL, UN CAPITAL PRODUCTIF ET ÉCOLOGIQUE TRÈS SENSIBLE

POURQUOI LE SOL EST-IL SI SENSIBLE AUX TASSEMENTS ?

Le sol est un milieu vivant dont l'équilibre dépend beaucoup de la présence d'air. Sans cet air, la vie biologique (vers de terre, racines...) est limitée et la vitalité des arbres est réduite voire bloquée.

L'absorption minérale par les racines est maximale au-delà de 15 % d'air dans le sol. En deçà de 12 %, les nouvelles racines sont bloquées et à moins de 5 % plus aucune racine ne pousse. À moins de 1 %, les racines meurent.

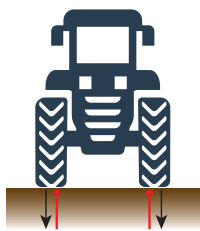
QUELS SONT LES FACTEURS DE RISQUE ?

■ **La texture** : elle joue sur la portance des sols c'est-à-dire sur leur capacité à supporter sans déformation la pression au sol engendrée par le passage des engins d'exploitation. La présence de cailloux améliore sensiblement la portance d'un sol. Au-delà de 50 % de pierrosité le sol devient portant même en cas de forte humidité.

Pouvoir porteur

Marais	Limon	Argile molle	Sable tassé	Argile sèche	Roche
0.1-0.4 kg/cm ²	0.2-0.6	0.5-1.5	3-8	4-12	

■ **L'humidité** : la présence d'eau rend le sol très sensible au tassement. La forte diminution dans de nombreuses régions des périodes sèches estivales et de gel hivernal complique les exploitations.

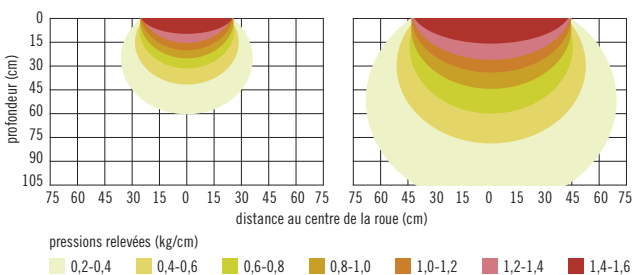


Sol sec ou gelé = sol portant
Les forces du sol se compensent



Sol humide = tassement
Les forces du sol sont insuffisantes

■ **La taille des engins** : la pression au sol d'un engin est importante car elle détermine la profondeur du tassement. La surface de contact, c'est-à-dire la largeur de pneu, est également importante.



Engin léger à pneus étroits

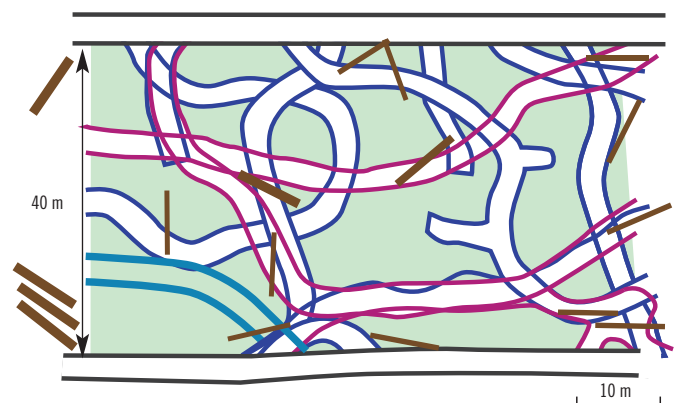
Pression au sol équivalente mais dégâts plus profonds pour l'engin lourd

Engin lourd à pneus larges



■ **La surface impactée** : si les engins peuvent circuler sur l'ensemble de la parcelle, il y a un très fort risque de voir les sols presque entièrement tassés au fil des différentes exploitations.

Zones circulées lors de l'exploitation d'une éclaircie



- Zone non parcourue
- Cloisonnement
- Passage du porteur
- Ancienne piste de débarquement (exploitation de 1988)
- Passage du skidder
- Emplacement des grumes

Carte établie après une éclaircie réalisée par un porteur et un débusqueur dans une futaie régulière de chêne. La surface totale cheminée par les deux engins, en dehors des cloisonnements existants, représente près de la moitié de la parcelle (d'après Cacot, 2001).



Des chenilles larges pour un très faible impact.



© CNPF Gilles Poulin
© CNPF

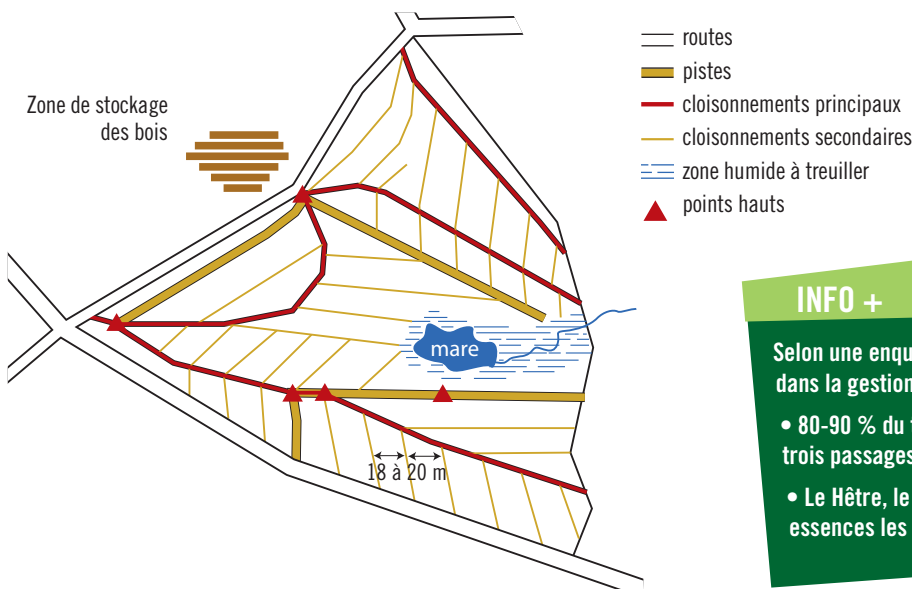
Le junc apparaît suite au tassement qui est ici concentré sur le cloisonnement.

Étaler les résanents dans le cloisonnement permet d'améliorer la portance et de limiter les dégâts aux sols

COMMENT PRÉSERVER LES SOLS LORS DES EXPLOITATIONS ?

Une solution : créer et entretenir un réseau de desserte forestière composé selon la forêt de routes empierrées, de places de dépôt, de chemins enherbés et de cloisonnements d'exploitation et sylvicoles.

Tracé des cloisonnements tenant compte des contraintes identifiées



INFO +

Selon une enquête du FCBA (organisme public spécialisé dans la gestion des chantiers d'exploitation) :

- 80-90 % du tassement est obtenu en seulement un à trois passages
- Le Hêtre, le Châtaigner et le Douglas sont les essences les plus sensibles

AVEC L'EXPLOITANT FORESTIER

- Proposer un réseau de cloisonnements qui lui permettent de travailler plus vite en respectant les sols
- Imposer des clauses particulières au contrat de vente, par exemple :
 - Réaliser un abattage directionnel vers les cloisonnements afin de pénétrer au minimum dans la parcelle et de rouler sur les résanents
 - Ne pas travailler sur des sols gorgés d'eau
 - Utiliser dans certaines zones des engins à chenilles ou des tracks





2015

Année internationale
des sols

CENTRE NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ FORESTIÈRE (CNPF) AVEC SES DÉCLINAISONS RÉGIONALES

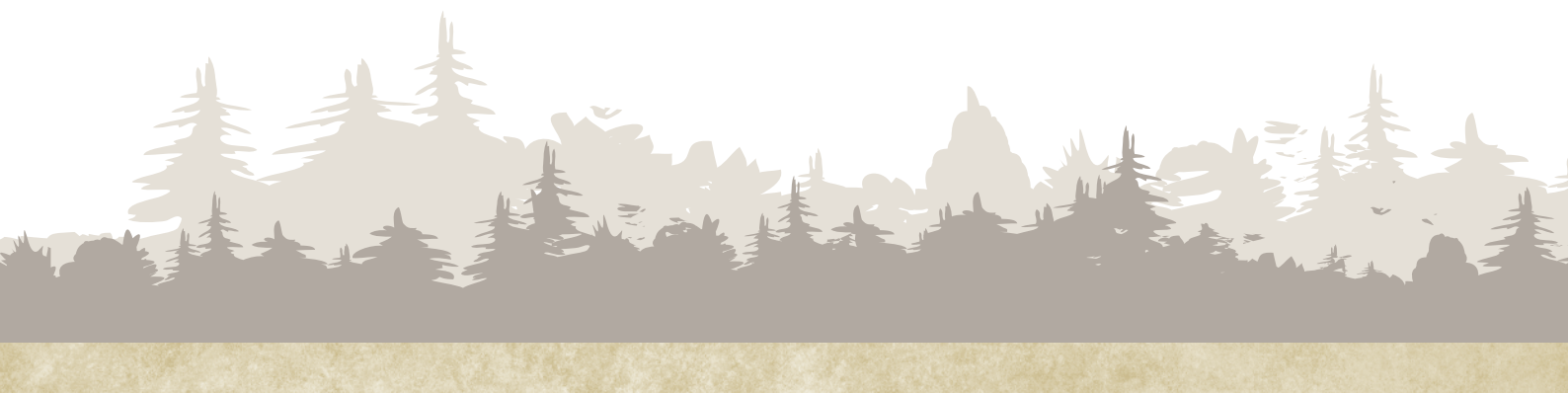
<http://www.cnpf.fr/>

INSTITUT GÉOGRAPHIQUE NATIONAL QUI RECENSE LES DIFFÉRENTS CATALOGUES ET GUIDES DISPONIBLES

<http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/spip.php?rubrique20>

GÉOPORTAIL QUI PERMET D'ACCÉDER AUX INFORMATIONS SUR LA GÉOLOGIE

<http://www.geoportail.gouv.fr/donnees>



CENTRE NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ FORESTIÈRE

47, rue de Chaillot • 75000 PARIS

Avec la contribution de: Sylvain PILLON, François CHARNET, Benjamin CANO, Jean-François SINET.

Avec l'aimable relecture de:

Pierre BEAUDESSON - CNPF

Sylvain GAUDIN - CNPF

Thomas BRUSTEN - CNPF

Pierre GONIN - CNPF

Jean-François PONGE - Muséum National d'Histoire Naturelle

Jean Pierre CABARET - Ministère de l'Environnement

Arnaud LALANNE - Ministère de l'Environnement

