



# Guide agroforestier

Du choix des essences à la plantation

---



accompagnement & formation  
technique

“Cultiver l’eau verte pour restaurer l’eau bleue, en répartissant l’humidité dans le paysage, grâce aux arbres”



**Hydronomie**



# SOMMAIRE

**L'arbre au service de l'eau** - Page 4

**Agroforesterie** - Pages 5 & 6

**Ensemble de facteurs déterminant le choix des espèces** - Pages 7 & 8

Phytosociologie / pH / Hydroprospection - Page 7

Profondeur de sol / Micro porosité & hydromorphisme / Climat - Page 8

**Associations mycorhiziennes** - Pages 9 à 18

Définition - Pages 9 à 11

Arbres & arbustes qui forment des associations endomycorhiziennes - Pages 12 à 14

Arbres & arbustes qui forment des associations ectomycorhiziennes - Pages 15 & 16

Arbres & arbustes qui forment des associations ectomycorhiziennes & arbusculaires - Pages 17 & 18

**Les motifs de trame d'hyperfluidité** - Pages 19 à 23

Les trames d'hyperfluidité - Page 19

Pompe hydraulique & condensation - Page 20

Motif centripède - Pages 21 & 22

Motif centrifuge - Page 23

**Calculer le taux d'encombrement** - Pages 24 à 28

**Formation de la haie** - Pages 29 à 31

Régénération Naturelle Assistée - Pages 29 & 30

Haie type 3 étages - Page 31

**Gestion de la ressource** - Pages 32 & 33

Différentes formes de trognes - Page 32

Etape d'une formation de trogne en têtard - Page 33

**Plantation** - Pages 34 à 36

Préparation du sol - Page 34

Préparation des racines - Page 35

Plantation - Page 36

**Ressources** - Page 37

# L'arbre au service de l'eau

## Facilitations fréquemment rencontrées dans les associations agroforestières en zone tempérée

MÉCANISMES			
RESSOURCE : EAU	Cycles de croissance décalés, permettant d'utiliser la ressource en eau sur des périodes plus grandes	1	TYPES DE FACILITATION
	Approfondissement des systèmes racinaires sous l'effet de la compétition	2	
	Amélioration de l'infiltration par couverture du sol	1	
	Amélioration de l'efficacité de transpiration par effet "brise-vent"	1	
	Réduction de l'ETP par humidification de l'air par les arbres	3	
	Réduction du drainage par une utilisation plus complète dans le temps et l'espace de l'eau du sol	1	
	Captage des précipitations occultes par les arbres (condensation du brouillard)	1	
	Blocage des vents desséchants par les arbres	1	

Types de facilitation :

- 1 - Directe par augmentation de la ressource
- 2 - Indirecte par plasticité architecturale
- 3 - Indirecte par plasticité physiologique
- 4 - Autres

# Agroforesterie

## Ingrédient n°1 : des arbres

La création d'une parcelle agroforestière peut être issue de l'éclaircissement d'une surface boisée pour y introduire un outil de production ou implanter l'arbre (à faible densité) sur une surface ouverte.

## Ingrédient n°2 : des cultures ou / et de l'élevage

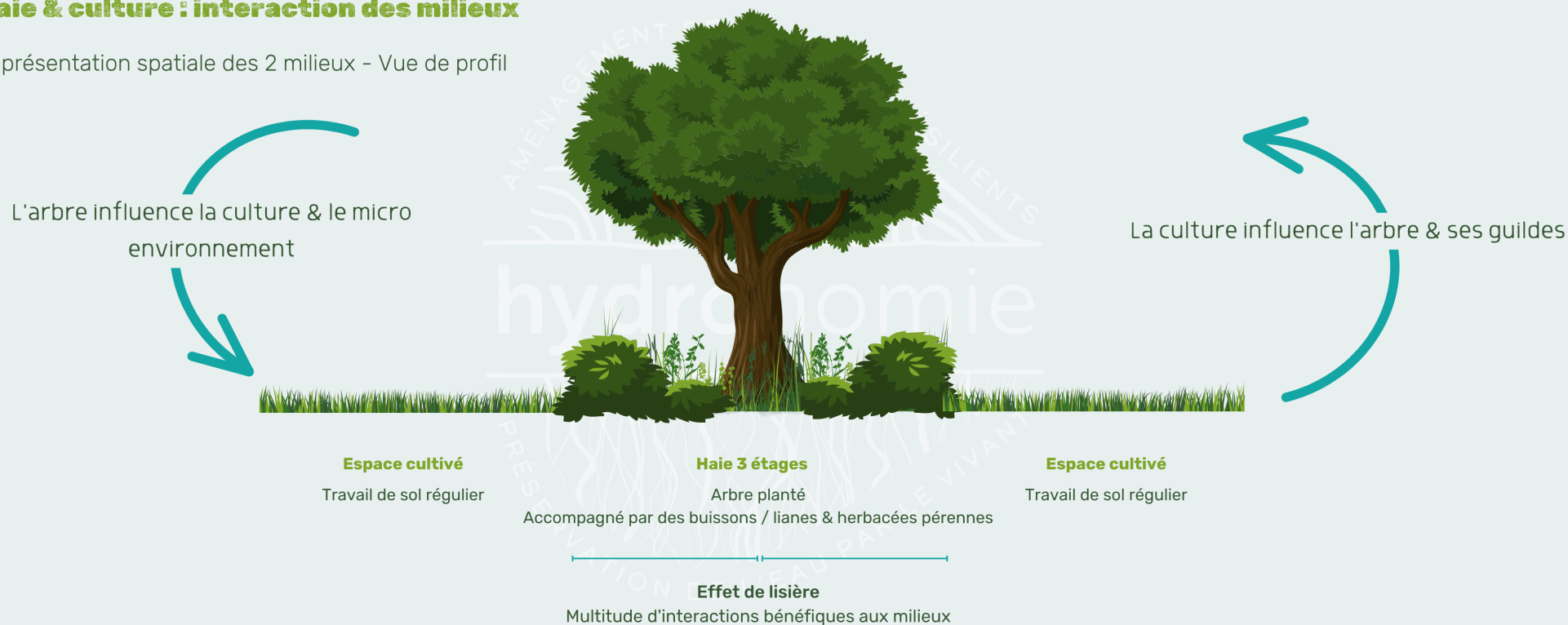
L'art de gérer l'agroforesterie est de jouer avec les interactions entre arbres et plantes cultivées pour augmenter la résilience de l'agrosystème.




# Agroforesterie

## Haie & culture : interaction des milieux

Représentation spatiale des 2 milieux - Vue de profil





# Ensemble de facteurs déterminant le choix des essences & espèces

## PHYTOSOCIOLOGIE


Les communautés végétales naturelles sont des associations qui résultent d'un équilibre dynamique entre les espèces, dans un environnement qui fluctue. Cet équilibre dépend de leurs relations trophiques (partage de ressources) et de leurs stratégies reproductrices.

## pH

La roche mère induit le pH du sol et les éléments qui sont biodisponibles à partir du sol d'implantation. Chaque espèce a ses prédispositions et tolère, apprécie ou refuse la présence ou la carence de certains éléments.

## HYDROPROSPECTION

La roche mère induit également la vitesse d'écoulement de l'eau infiltrée dans le sol. Par exemple, une roche fracturée comme un gneiss sera facile à prospecter par les racines, mais implique également un écoulement vertical de l'eau très rapide.



# Ensemble de facteurs déterminant le choix des essences & espèces

## PROFONDEUR DU SOL

La profondeur de sol va déterminer les possibilités de prospection et d'ancrage des arbres.

Plus le sol est profond, plus il est propice à accueillir des espèces de grandes tailles, au port racinaire profond et très développé.

## MICRO POROSITÉ & HYDROMORPHISME

Les propriétés physiques du sol déterminent les capacités de porosité. La dégradation potentielle des sols consiste en une diminution de la macroporosité. Celle-ci peut aller jusqu'au développement d'horizons hydromorphes.

## LE CLIMAT

Les conditions climatiques (étude des statistiques de variables atmosphériques sur 30 ans), les précipitations et la saisonnalité ainsi que les périodes de grands froids sont primordiales pour établir l'échelle de rusticité de votre territoire.

# Associations mycorhiziennes

En échange des exsudats de la plante (composés d'hydrates de carbone principalement), le champignon mycorhizien recherche de l'eau et des nutriments qui les ramène à la plante. La plante devient dépendante des champignons qui ne peuvent vivre sans les exsudats végétaux.

Plus de 95% des plantes terrestres créent des associations mycorhiziennes. Relations qui ont commencé il y a quelques 450 millions d'années. La surface efficace des racines peut être multipliée par 700 à 1000.

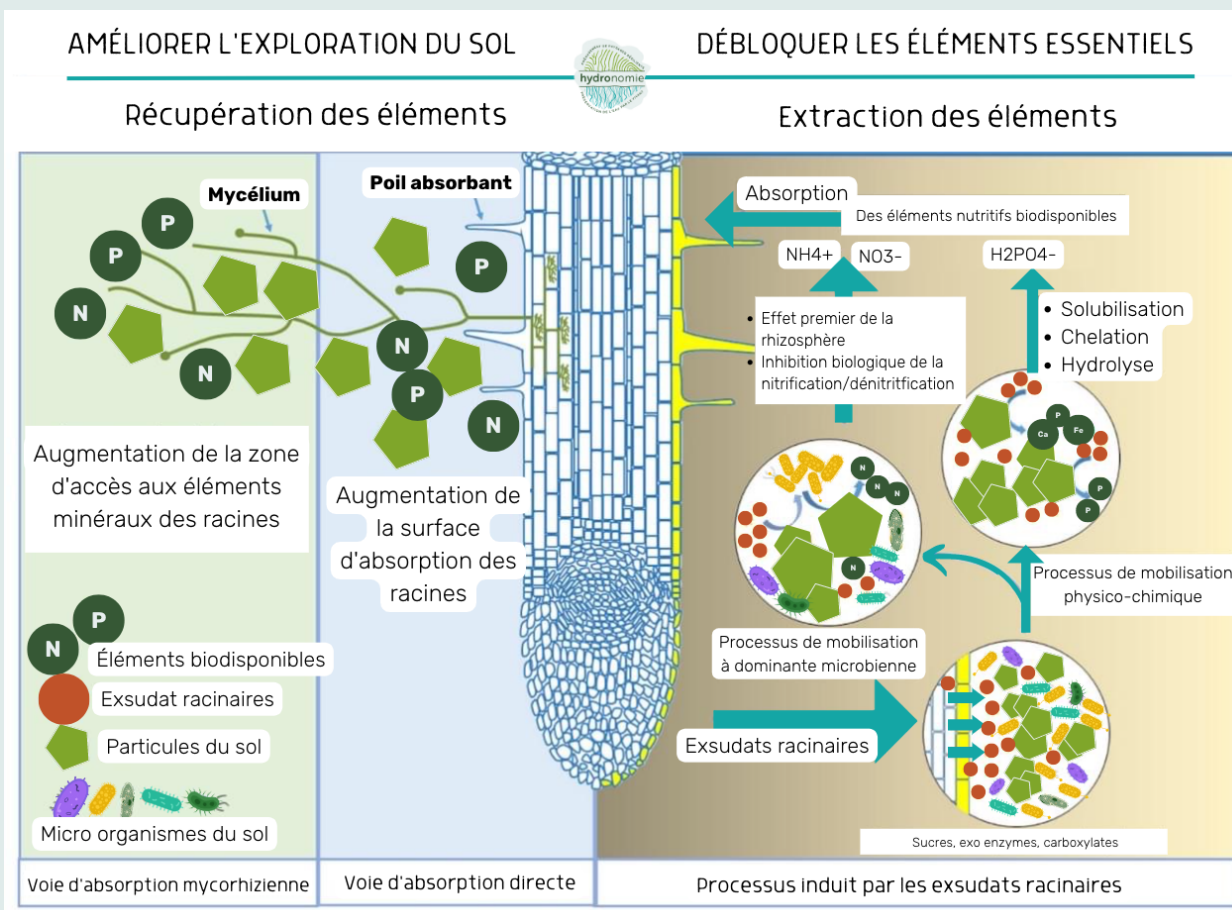
Il existe 2 principales sortes de champignons mycorhiziens :

- Les champignons ectomycorhiziens qui enveloppent la surface racinaire des conifères, arbres à bois durs en autre.
- Les champignons endomycorhiziens qui pénètrent dans les racines et se développent tout en s'étendant simultanément vers l'extérieur de la racine, dans le sol. Associations privilégiées de la plupart des légumes, des plantes annuelles, des arbustes et vivaces, des arbres à bois tendre.

Hydronomie® accompagne depuis presque 10 ans des outils de production agricole à l'augmentation de la résilience hydrique. Que se soit par la formation-action ou l'accompagnement technique, l'objectif est le même : cultiver l'eau verte pour restaurer l'eau bleue.

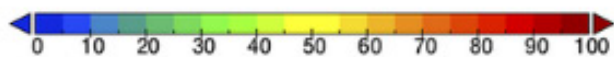
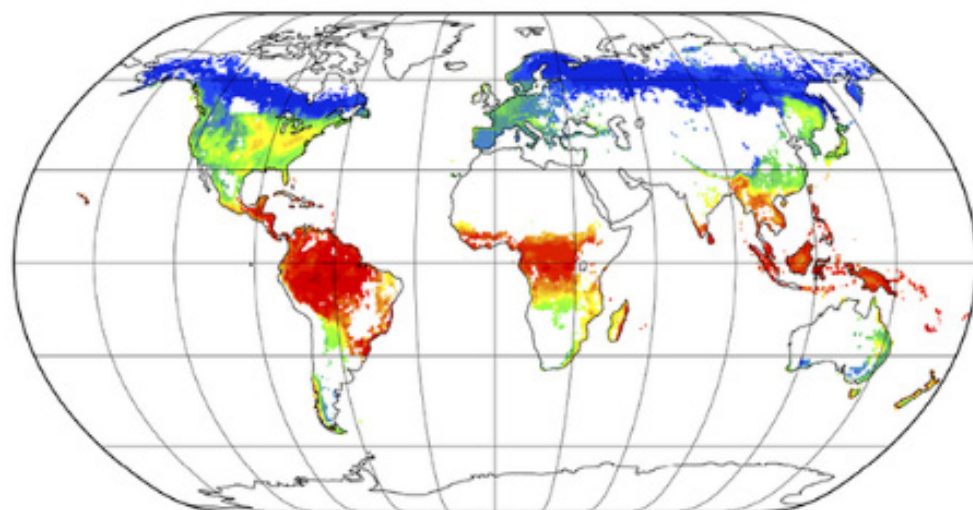
Les avantages de l'association des champignons mycorhiziens aux plantes cultivées sont nombreux et primordiaux :

- Amélioration de l'absorption des nutriments
- Résistance aux agents pathogènes
- Voie de communication
- Production d'hormones
- Restauration des sols
- Résistance à la sécheresse et tolérance aux températures
- Contrôle des adventices

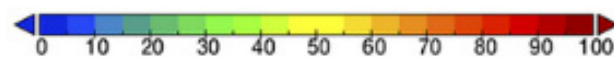
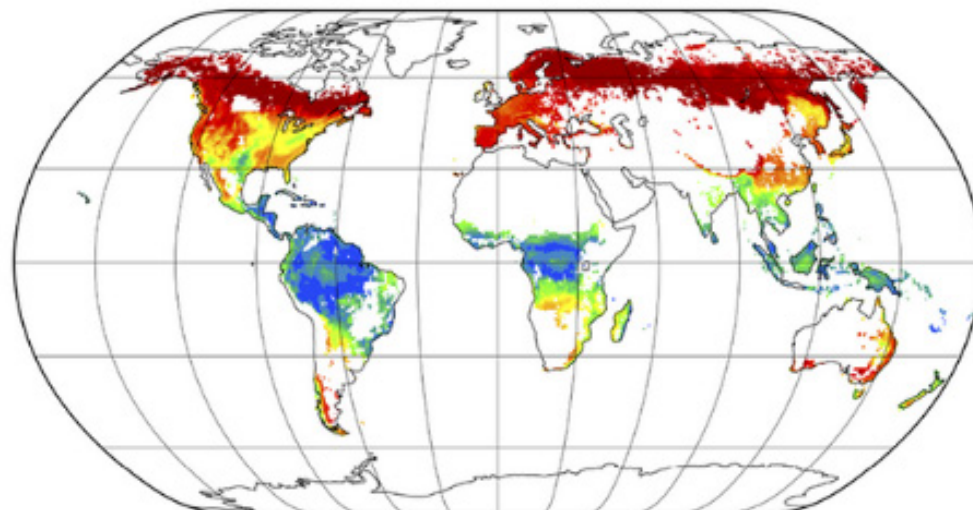


L'importance des relations mycorhiziennes repose sur leur fonctionnement « symbiotique » : le champignon colonise le système racinaire de la plante hôte et, de ce fait, augmente les capacités d'absorption des racines en eau et en nutriments. Tandis que la plante fournit aux champignons environ 20% du carbone, sous forme d'hydrates de carbone, qu'elle obtient par photosynthèse. Cette relation symbiotique a comme résultat de faire prospérer les deux organismes. Cette relation a environ 425 millions d'années d'existence, ce qui a permis le développement de la vie végétale sur les terres. Les champignons mycorhiziens vivent avec les racines de 98% des plantes qui vivent sur Terre.

Un écologiste et mathématicien de l'Université de Stellenbosch, le professeur Cang Hui<sup>1</sup>, a fait partie d'une équipe internationale de plus de 200 scientifiques qui ont généré une carte mondiale en 2019, impliquant plus de 31 millions d'arbres et 28 000 espèces d'arbres, qui révèle la relation symbiotique entre les arbres et les champignons à l'échelle mondiale ainsi que leur aire de répartition. Grâce à ce travail remarquable, il est possible de constater, sur le planisphère de gauche, que la biomasse des arbres à associations endomycorhiziennes sont réparties dans les régions sub-désertiques à tropicales. Les arbres sont capables de supporter de forts contrastes hydriques et d'importantes chaleurs grâce à leurs relations endomycorhiziennes (ou champignons arbusculaires). En installant au sein d'un agrosystème des arbres rustiques, dans l'idéal issus de semis, correspondant au phytotype du territoire et dont les associations mycorhiziennes sont des endomycorhizes, connectés aux zones humides et aux zones asséchantes, une trame d'hyperfluidité forte se mettra en place. L'eau capillaire pourra circuler, dans un système à maillage complexe, interdépendant de chaque élément et où la résilience hydrique est renforcée, à l'image des écosystèmes naturels.



Pourcentage de biomasse d'arbres associés aux champignons mycorhiziens arbusculaires



Pourcentage de biomasse d'arbres associés aux champignons ectomycorhiziens

# Arbres & arbustes qui forment des mycorhizes arbusculaires ou endomycorhizes

## Arbres fruitiers

ESSENCES	FAMILLE	ÉCHELLE RUSTICITÉ	BESOINS EN FROID	SYSTÈME RACINAIRE
<b>Abricot</b>	Rosacée	6	400 à 600 heures	Très dépendant du porte-greffe. La quasi-totalité du système racinaire de l'abricotier se trouve dans les premiers 0,75 m de profondeur du sol, 91 % dans les premiers 0,50 m . Porte-greffe franc est plus pivotant.
<b>Airelle</b>	Ericacée	3	> 1000 heures	Superficiel
<b>Cerise</b>	Rosacée	7	900 à 1200 heures	Système racinaire pivotant et étalé. Les principales racines latérales sont très fortes, souvent même élargies en palettes. Les racines verticales sont modérément développées: elles n'atteignent que 60 cm de profondeur chez des sujets de 50 à 70 ans installés sur des argiles loessiques profondes et descendent au maximum jusqu'à 3m de profondeur dans des sables profonds.
<b>Fraise</b>	Rosacée	6	700 à 1200 heures	Traçant
<b>Framboise</b>	Rosacée	6		Superficiel. Les 25 premiers cm de sol contiennent 70% du système racinaire, les 25 suivants en contiennent 20% et plus rarement, elles peuvent descendre jusqu'à 1,75 m.
<b>Griotte</b>	Rosacée	5		Système racinaire pivotant et étalé. Les principales racines latérales sont très fortes, souvent même élargies en palettes. Les racines verticales sont modérément développées : elles n'atteignent que 60 cm de profondeur chez des sujets de 50 à 70 ans installés sur des argiles loessiques profondes et descendent au maximum jusqu'à 3m de profondeur dans des sables profonds.
<b>Groseille</b>	Grossulariacée	6		Les groseilliers ont un système racinaire très superficiel ; c'est pourquoi ils craignent l'eau stagnante et préfèrent les terrains frais et drainants.
<b>Mûre</b>	Rosacée	6		Relativement superficiel et de type fasciculé ; il émet chaque année de nouvelles tiges ou drageons

# Arbres & arbustes qui forment des mycorhizes arbusculaires ou endomycorhizes

ESSENCES	FAMILLE	ÉCHELLE RUSTICITÉ	BESOINS EN FROID	SYSTÈME RACINAIRE
Myrtille	Grossularia- cée	6	700 à 1500 heures	Très fin et peu profond rendant la culture vulnérable au stress hydrique
Pêche	Rosacée	7	350 à 900 heures	Majoritairement superficiel et traçant. Sensible à la concurrence.
Pomme	Rosacée	6	400 à 1000 heures	Système racinaire très souple. Très dépendant du porte-greffe. Porte-greffe franc est plus pivotant que porte-greffe M
Poire	Rosacée	6	800 à 1000 heures	Racine profonde. Système racinaire très dépendant du porte-greffe. Porte-greffe franc est plus pivotant que porte-greffe M
Raisin	Vitacée	9		Le système racinaire de la vigne reste en général dans les deux premiers mètres de sol. La plus grosse concentration racinaire se situant entre 50 cm et 1 m. En situation exceptionnelle, les racines peuvent aller à 8-10 m

# Arbres & arbustes qui forment des mycorhizes arbusculaires ou endomycorhizes

## Arbres champêtres

ESSENCES	FAMILLE	ÉCHELLE RUSTICITÉ	SYSTÈME RACINAIRE
<b>Ajonc commun</b> <i>Ulex europaeus</i>	Fabacée	6	Très profond
<b>Buis commun</b> <i>Buxus sempervirens</i>	Buxacée	7	Système pivotant, très ramifié, s'étalant largement et pénétrant profondément le sol
<b>Fusain Europe</b> <i>Euonymus europaeus</i>	Celastracée	4	Réseau intensif de fines racines de profondeur moyenne, très dense dans la couche supérieure du sol
<b>If commun</b> <i>Taxus baccata</i>	Taxacée	7	Développement à partir d'un puissant pivot primaire, qui se ramifie et se transforme en système fasciculé
<b>Marronnier d'Inde</b> <i>Aesculus hippocastanum</i>	Hippocastanacée	7	Système pivotant pénétrant profondément le sol et d'étalant aussi largement, forte proportion de chevelu mais aussi racines latérales plus fortes, situées dans la couche supérieure du sol.
<b>Nerprun purgatif</b> <i>Rhamnus cathartica</i>	Rhamnacée	6	Racines principales profondes, largement étalées et émettant des drageons
<b>Orme de montagne</b> <i>Ulmus glabra</i>	Ulmacée	5	Les racines de l'orme pénètrent profondément dans la terre ; elles forment souvent une fourche au lieu d'un pivot
<b>Prunellier</b> <i>Prunus spinosa</i>	Rosacée	5	Système racinaire superficiel très puissant ; il drageonne et marcotte spontanément en frôlant le sol
<b>Sureau noir</b> <i>Sambuca nigra</i>	Adoxacée	7	Superficiel
<b>Troène commun</b> <i>Ligustrum vulgare</i>	Oléacée	7	Étalées, réseau dense de fines racines qui colonisent si intensivement le sol que quasiment aucune autre plante ne peut pousser au voisinage

# Arbres & arbustes qui forment des ectomycorhizes

## Arbres champêtres

ESSENCES	FAMILLE	ÉCHELLE RUSTICITÉ	SYSTÈME RACINAIRE
<b>Alisier torminal</b> <i>Sorbus torminalis</i>	Rosacée	7	La croissance racinaire est extraordinairement forte, surtout au début : les racines d'un plant de deux ou trois ans mesurent déjà 40 à 60 cm
<b>Bouleau nain</b> <i>Betula nana</i>	Bétulacée	4	Peu profond
<b>Bouleau pubescent</b> <i>Betula pubescens</i>	Bétulacée	4	Les racines se développent à un jeune âge et possèdent une grande capacité d'adaptation aux changements de leur environnement. L'espèce présente une très grande densité de racines fines
<b>Bouleau verruqueux</b> <i>Betula pendula</i>	Bétulacée	4	Système pivotant dont les racines principales latérales s'étalent à plat (souvent en palette) et où le chevelu très abondant colonise la zone supérieure du sol
<b>Cerisier</b> <i>Prunus cerasus</i>	Rosacée	7	Système racinaire pivotant et étalé. Les principales racines latérales sont très fortes, souvent même élargies en palettes. Les racines verticales sont modérément développées suivant les types de sol.
<b>Charme commun</b> <i>Carpinus betulus</i>	Bétulacée	5	Système pivotant régulier pénétrant jusqu'à 1,4 m de profondeur et s'étalant de manière rayonnante
<b>Châtaignier</b> <i>Castanea sativa</i>	Fagacée	7	Racine pivotante profonde
<b>Epicéa commun</b> <i>Picea abies</i>	Pinacée	5	Ses racines sont « traçantes » : elles se développent à l'horizontale
<b>Épinette de Sitka</b> <i>Picea sitchensis</i>	Pinacée	4	Racines plates et forme, selon le sol, des racines à ramifications amples
<b>Hêtre commun</b> <i>Fagus sylvatica</i>	Fagacée	5	Système racinaire puissant, traçant, à la base un système « en cœur » puissant, avec de nombreuses racines multidirectionnelles. En l'absence de contraintes peut s'installer profondément
<b>Mélèze</b> <i>Larix spp.</i>	Pinacée	3	Système cœur-racine. Forte énergie racinaire. Pénètre profondément dans les sols squelettiques (gravier et pierre), conduisant à de nombreuses distorsions de racine, pouvant atteindre 2 mètres.

# Arbres & arbustes qui forment des ectomycorhizes

## Arbres champêtres

ESSENCES	FAMILLE	ÉCHELLE RUSTICITÉ	SYSTÈME RACINAIRE
<b>Noisetier</b> <i>Corylus avallana</i>	Bétulacée	6	Système horizontal largement étalé comportant une forte proportion de chevelu et quelques racines verticales
<b>Pin maritime</b> <i>Pinus pinaster</i>	Pinacée	7	Ces racines traçantes s'allongent de l'ordre d'un mètre par an et des ramifications verticales apparaissent formant des pivots secondaires
<b>Pin noir</b> <i>Pinus nigra</i>	Pinacée	6	Étendu, racines fines, racine principale
<b>Pin sylvestre</b> <i>Pinus sylvestris</i>	Pinacée	5	Système étalé dans les sols argileux, proches de la nappe phréatique et marécageux, mais développe généralement aussi une racine en pivot.
<b>Sapin</b> <i>Albies spp.</i>	Pinacée	9 à 6	Latéral et superficiel : la majorité des racines se situe dans les 30 premiers centimètres du sol.
<b>Douglas</b> <i>Pseudotsuga menziesii</i>	Pinacée	5	Dépendant de la texture du sol de 60 à 100cm
<b>Tilleul commun</b> <i>Tilia x vulgaris</i>	Malvacée	6	Très profond
<b>Tilleul à grandes feuilles</b> <i>Tilia platophyllos</i>	Malvacée	6	Très profond. Le pivot originel se transforme avec l'âge en un enracinement fasciculé, d'aspect souvent irrégulier

# Arbres & arbustes qui forment des associations ectomycorhiziennes & arbusculaires

ESSENCES	FAMILLE	ÉCHELLE RUSTICITÉ	SYSTÈME RACINAIRE
<b>Alisier blanc</b> <i>Sorbus aria</i>	Rosacée	5	Système racinaire profond
<b>Aubépine monogyne</b> <i>Crataegus monogyna</i>	Rosacée	6	Système racinaire profond et largement étendu
<b>Aubépine à 2 styles</b> <i>Crataegus laevigata</i>	Rosacée	6	Système racinaire profond et largement étendu
<b>Aulne blanc</b> <i>Alnus incana</i>	Bétulacée	5	Son système racinaire étendu contribue à la fixation de l'azote dans le sol, ce qui améliore la fertilité du milieu environnant
<b>Aulne glutineux</b> <i>Alnus glutinosa</i>	Bétulacée	5	Pionnier. Son système racinaire étendu contribue à la fixation de l'azote dans le sol, ce qui améliore la fertilité du milieu environnant
<b>Bourdaine</b> <i>Frangula alnus</i>	Rhamnacée	6	Profondes, peu ramifiées et émettant des drageons; supportent les inondations
<b>Cerisier à grappe</b> <i>Prunus padus</i>	Rosacée	6	Superficiel et largement étalé
<b>Érable champêtre</b> <i>Acer campestre</i>	Sapindacées	6	Racine pivotante mais système racinaire s'étalant dans les sols de bonne qualité, forte proportion de radicelles et de chevelu
<b>Érable plane</b> <i>Acer platanoides</i>	Sapindacées	6	Système racinaire horizontal où la majorité des racines s'étale dans la couche supérieure du sol, radicelles et chevelu extrêmement abondants
<b>Érable sycomore</b> <i>Acer pseudoplatanus</i>	Sapindacées	6	Vertical à pivot mais comportant une très forte proportion de racines horizontales
<b>Frêne élevé</b> <i>Fraxinus excelsior</i>	Fraxinacée	5	Racine pivotante pendant les 10 premières années puis système racinaire vertical à très puissantes racines spatulées, étalées en surface et dépassant largement le diamètre de la couronne, dont la face inférieure donne naissance à des racines secondaires pénétrant jusqu'à 1,5 m de profondeur.

# Arbres & arbustes qui forment des associations ectomycorhiziennes & arbusculaires

ESSENCES	FAMILLE	ÉCHELLE RUSTICITÉ	SYSTÈME RACINAIRE
<b>Genévrier</b> <i>Juniperus communis</i>	Cupressacée	6	Fibreux peu profond
<b>Grand orme</b> <i>Ulmus procera</i>	Ulmacée	6	Racine pivotante profonde
<b>Houx</b> <i>Cllex aquifolium</i>	Aquifoliacée	6	Charnues, épaisses racines principales profondes, chevelu largement étalé dans la couche supérieure du sol
<b>Merisier</b> <i>Aprunus avium</i>	Rosacée	6	Système racinaire puissant, avec des racines profondes et traçantes
<b>Noyer commun</b> <i>Juglans regia</i>	Juglandacée	6	Le noyer s'enfonce profondément en terre. Ses racines latérales sont moins volumineuses et disposées obliquement
<b>Peuplier</b> <i>Populus spp.</i>	Salicacée	4	Est de tout type, s'adaptant à son environnement
<b>Poirier sauvage</b> <i>Pyrus communis subps. pyraster</i>	Rosacée	6	Pivotant et très puissant
<b>Pommier sauvage</b> <i>Malus sylvestris</i>	Rosacée	6	Pivotant et très puissant
<b>Robinier faux accacia</b> <i>Robinia pseudoacacia</i>	Fabacée	5	Superficiel et étendu
<b>Saule</b> <i>Salix spp.</i>	Salicacée	6	Racines superficielles et denses, consolident les berges. Respire l'oxygène de l'eau
<b>Sorbier des oiseleurs</b> <i>Sorbus aucuparia</i>	Rosacée	6	Type vertical, descendant jusqu'à 2 m de profondeur; racines latérales étalées à plat
<b>Sureau de montagne</b> <i>Sambucus racemosa</i>	Adoxacée	5	Étalé et très étendu

# Les trames d'hyperfluidité



## L'eau verte à travers le paysage

Un peuplement agroforestier d'arbres espacés ne peut pas être assimilé à un bocage classique, qui correspond à des haies-vives, généralement plus denses, continues et plus espacées.

Dans une situation d'espace semi ouvert, les arbres transpirent davantage qu'en ambiance forestière, car ils sont très éclairés. Cette transpiration est permise par une meilleure ressource en eau disponible, notamment par l'approfondissement des systèmes racinaires des arbres.

Lorsque le vent est faible, l'humidité absolue de l'air augmente dans les parcelles arborées. La culture ou la couverture herbacée, partiellement ombragées, et dans un air plus humide, transpirent moins et se dessèchent plus lentement. Dans les bocages avec des haies denses, quand le vent est faible, on observe une accentuation des amplitudes thermiques de l'air de 2 à 4°C au centre des parcelles, car le brassage de l'air est freiné par le maillage des haies.

L'air immobilisé se refroidit plus la nuit au contact du sol et s'échauffe plus le jour. Cet effet sera moins important dans des parcelles agroforestières où les arbres sont répartis de manière régulière.

# Les trames d'hyperfluidité

## Pompe hydraulique & condensation

La rencontre entre topographie, climat & biologie

### **CONDENSATION**

Phénomène physique de changement d'état de la matière d'un état gazeux à un état condensé. Le passage de l'état gazeux à l'état liquide est aussi appelé liquéfaction.

### **POCHE DE CONDENSATION**

Un taux d'humidité de l'air élevé et une zone froide provoquent la condensation.

Les zones froides sont à rechercher dans vos agrosystèmes et seront optimisés par l'implantation de végétation spécifiques (dites à feuilles froides).

# Les trames d'hyperfluidité



## Motif centripède

En présence d'une canopée très homogène, l'air circule au-dessus de manière régulière et parallèle, en évacuant l'humidité.

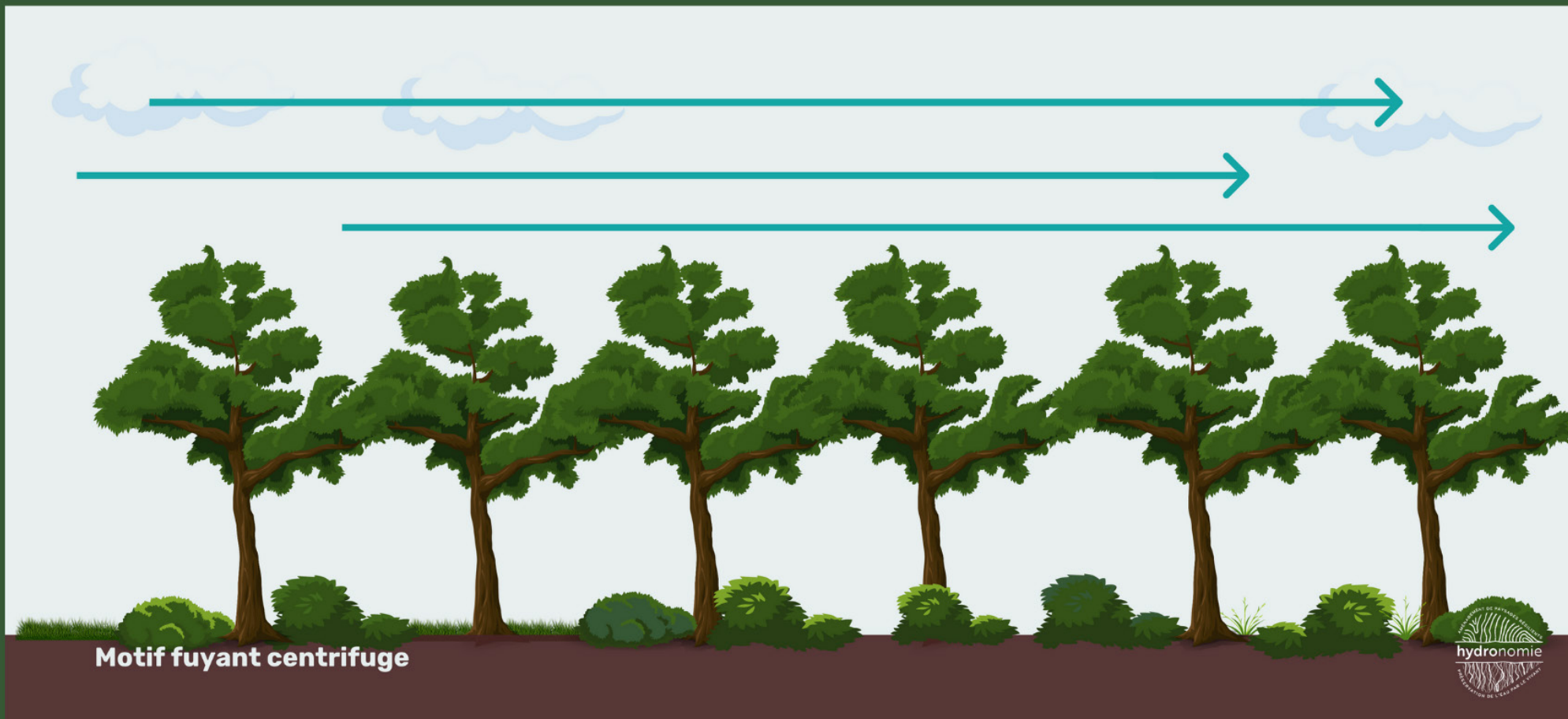
Lorsque le paysage végétal est irrégulier, l'hétérogénéité crée de petites dépressions ; de l'air un petit peu plus chaud arrive à un endroit un peu plus froid, et chaque petite zone de dépression va agir comme un condensateur d'eau.

L'eau de condensation descend dans les racines dilue la sève élaborée et les plantes qui condensent vont exsuder de l'eau par leurs racines. Les champignons vont agir sur la régulation de la tension osmotique au niveau racinaire (R1), le champignon extrait l'eau et la met en circulation dans le sol.

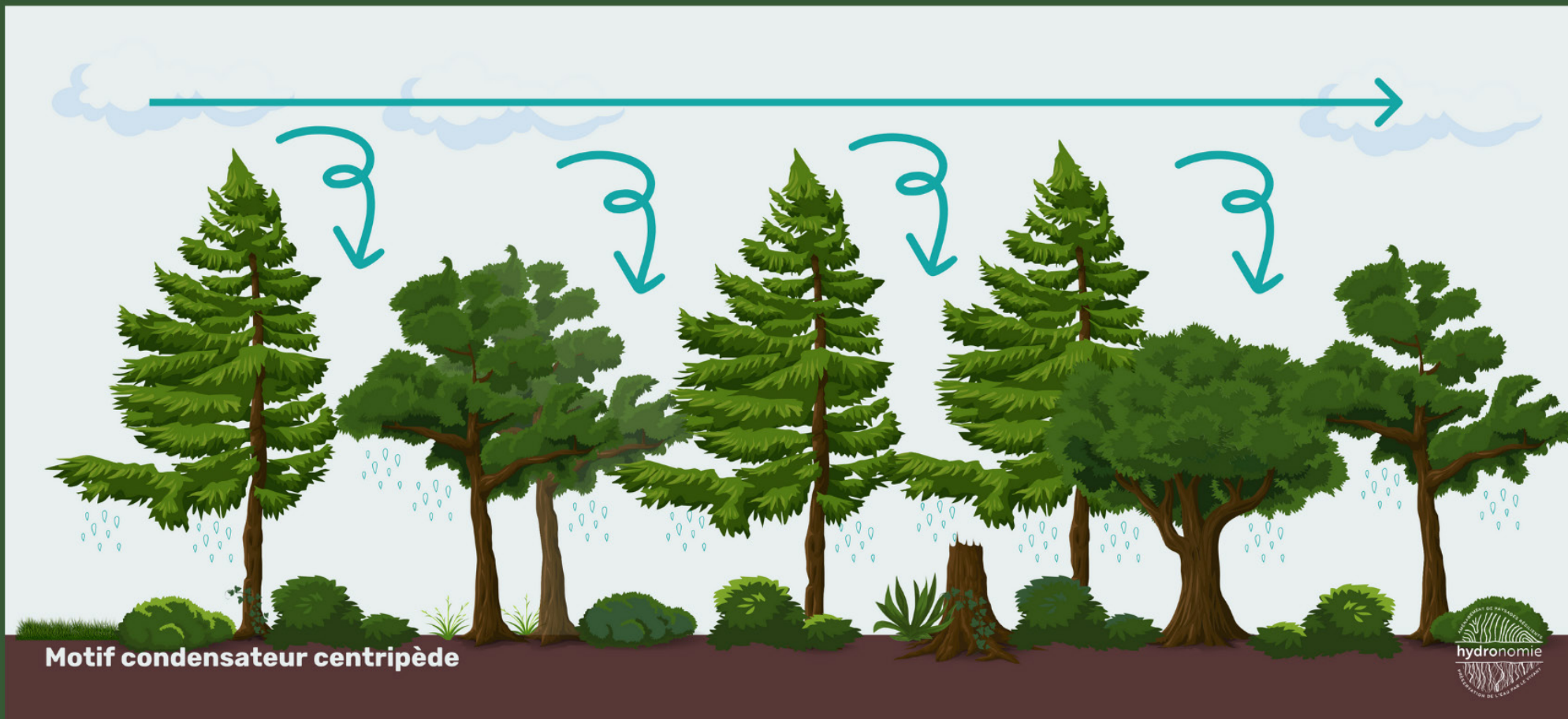
Si les zones de dépression sont multipliées et avec des systèmes végétaux de hauteurs hétérogènes, 50 % de l'eau évaporée peut être remobilisée sur place. Avec ce processus de recyclage, une pluie de 100 mm avec un bon point de condensation, c'est environ 50 mm (de ces 100 mm) qui sont recondensés, et s'ajoutent donc au 100 mm.

Suivant certaines conditions climatiques et étage de végétation, cela peut aller jusqu'à 200 mm d'une eau qui ne passera pas par le pluviomètre, puisque la condensation se fait au niveau des feuilles, qui les réabsorbe immédiatement par leur pilosité et leurs stomates. Dans un système très optimisé alors il y a beaucoup d'eau, peut être trop et c'est peut être ça qui fait couler les sources !

# Les trames d'hyperfluidité



# Les trames d'hyperfluidité



# Calculer le taux d'encombrement



## Les densités des espèces associées

H = Hauteur  
Hé = Hauteur Élaguée  
L = largeur des allées  
I = inter-arbre

Indice d'ouverture des allées cultivées :  $IE1 = H / L$

Indice de densité des arbres :  $IE2 = H^2 / (L \times I)$

Indice de longueur cumulée des houppiers :  $IE3 = (H - Hé) \times d / 500$

*L'encombrement courant de la parcelle évolue avec la croissance des arbres*

# Calculer le taux d'encombrement

## Rayonnement saisonnier disponible sous un peuplement agroforestier d'arbres à feuilles caduques plantés à faible densité



ÉCLAIREMENT MOYEN AU SOL SUR L'ALLÉE

H m	L m	Hé % de H	Hiver (octobre à mars)	Été (avril à septembre)
5	10	25	98	94
		50	98	96
	20	25	98	96
		50	98	98
	30	25	100	100
		50	100	100
	40	25	100	100
		50	100	100

Inter-arbres 10 m

Valeurs arrondies à 2% près

# Calculer le taux d'encombrement

## Rayonnement saisonnier disponible sous un peuplement agroforestier d'arbres à feuilles caduques plantés à faible densité



### ÉCLAIREMENT MOYEN AU SOL SUR L'ALLÉE

Inter-arbres 10 m  
Valeurs arrondies à 2% près

H m	L m	Hé % de H	ÉCLAIREMENT MOYEN AU SOL SUR L'ALLÉE	
			Hiver (octobre à mars)	Été (avril à septembre)
10	10	25	89	74
		50	92	80
	20	25	94	86
		50	96	90
	30	25	98	94
		50	100	98
	40	25	100	98
		50	100	100

Seuil limite

# Calculer le taux d'encombrement

## Rayonnement saisonnier disponible sous un peuplement agroforestier d'arbres à feuilles caduques plantés à faible densité



### ÉCLAIREMENT MOYEN AU SOL SUR L'ALLÉE

Inter-arbres 10 m

Valeurs arrondies à 2% près

H m	L m	Hé % de H	Hiver (octobre à mars)	Été (avril à septembre)
15	10	25	74	42
		50	80	54
	20	25	82	64
		50	86	74
	30	25	86	76
		50	90	80
	40	25	92	82
		50	94	86



Seuil limite

# Calculer le taux d'encombrement

## Rayonnement saisonnier disponible sous un peuplement agroforestier d'arbres à feuilles caduques plantés à faible densité



ÉCLAIREMENT MOYEN AU SOL SUR L'ALLÉE

Inter-arbres 10 m

Valeurs arrondies à 2% près

H m	L m	Hé % de H	ÉCLAIREMENT MOYEN AU SOL SUR L'ALLÉE	
			Hiver (octobre à mars)	Été (avril à septembre)
20	10	25	54	10
		50	64	22
	20	25	70	36
		50	74	46
	30	25	78	52
		50	82	60
	40	25	84	68
		50	88	74

Seuil limite



# Formation de la haie

## Régénération Naturelle Assistée

Sur les sols nus ou présentant un faible couvert végétal, certaines plantes se développent spontanément : ce sont les espèces pionnières, comme la ronce, le prunellier ou encore le genêt. Adaptées à des contextes perturbés, aux sols appauvris ou compactés, elles sont les premières à coloniser ces espaces nus et ouverts à la lumière. Leur rôle : permettre une amélioration progressive du milieu, préalable indispensable à l'implantation ultérieure d'arbres et d'arbustes.

Cette étape transitoire est nécessaire à la bonne implantation de la future haie ou de la zone boisée. Les espèces pionnières décompactent le sol, l'enrichissent, et protègent les jeunes plants de la dent des cervidés. Puis en quelques années, les arbres et arbustes prennent le dessus, c'est ce que l'on appelle le « processus de recrutement ».

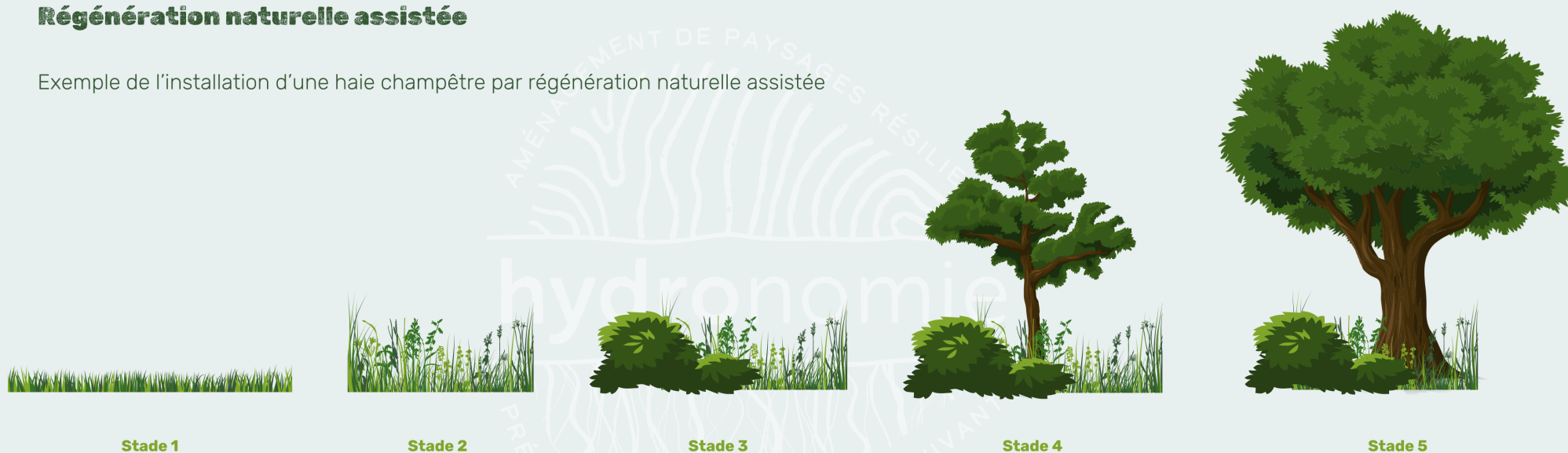
En adaptant les méthodes « classiques » de fauche/broyage à ras souvent pratiquées pour l'entretien de ces surfaces peu propices aux cultures, la RNA permet aux espèces pionnières de croître et de se développer, tout en laissant faire la nature. Sa mise en place se fait par un arrêt des interventions, et si nécessaire par l'installation de « mises en défend » et de dispositifs d'accompagnement, comme l'entreposage de branchages par exemple.

La régénération naturelle assistée est un préalable indispensable à l'implantation ultérieure d'une formation ligneuse d'essences locales, avec une génétique adaptée, les recrues (arbres d'avenir) étant directement sélectionnées parmi les accrus.

# Formation de la haie

## Régénération naturelle assistée

Exemple de l'installation d'une haie champêtre par régénération naturelle assistée



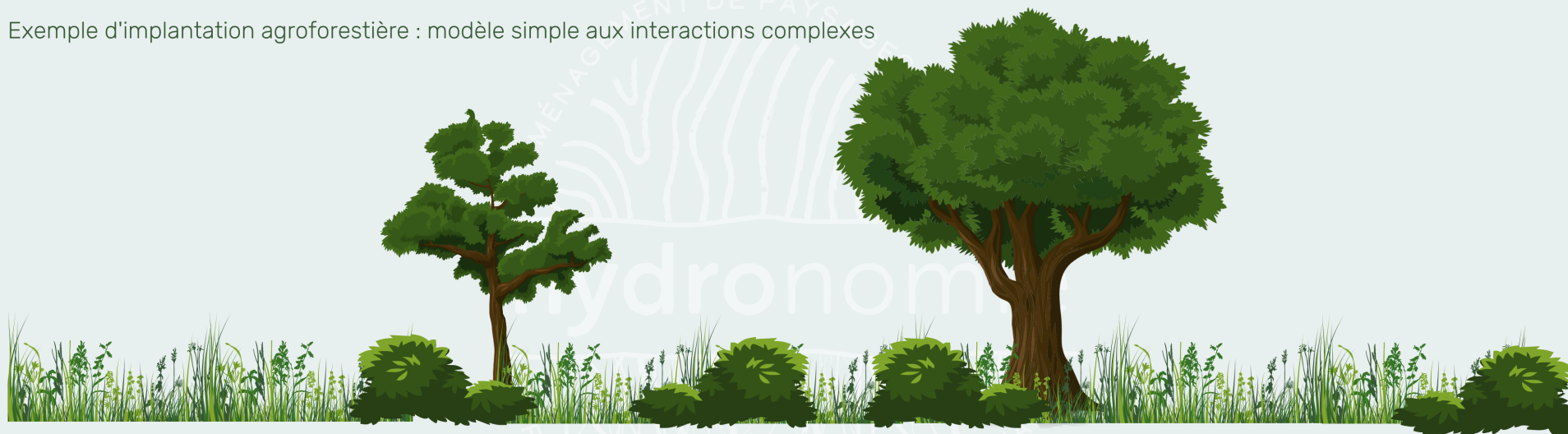
Stades 1 à 3: espèces pionnières prédominantes, d'abord au niveau des herbacées puis des buissons jusqu'aux espèces ligneuses telles que les saules, les genêts, les bouleaux...

Stades 4 à 5: développement de la haie champêtre avec l'émergence d'espèces de ligneux de niveau canopée telles que les frênes, les chênes, les alisiers, etc...

# Formation de la haie

## Haie type 3 étages : la simplicité complexe

Exemple d'implantation agroforestière : modèle simple aux interactions complexes



**Enherbement naturelle**  
Herbacées bi-annuelles & pérennes

**Arbre croissance rapide**  
Guilde herbacées & lianes / ligneux

**Arbre émergent à croissance longue**  
Guilde herbacées & lianes / ligneux

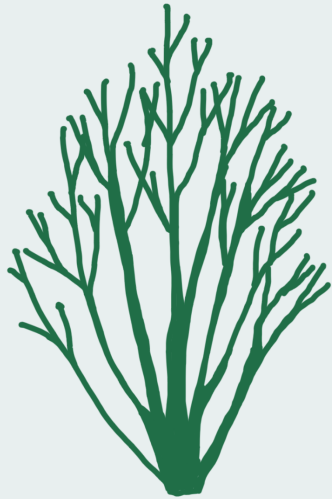
**Buisson - Arbrisseau**  
Végétaux buissonnants & lianes  
Premiers ligneux (ex. genêt)

**INTER ARBRE**

avec bande enherbée & 2nd étage

# Gestion de la ressource

## Différentes formes de trognes



**Une cépée**

Noisetier  
Châtaignier



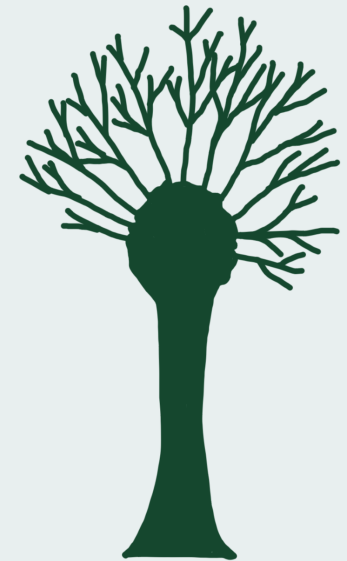
**Arbre d'émondé**

Peuplier  
Chêne  
Frêne



**Arbre de haut jet**

Aulne  
Arbres fruitiers

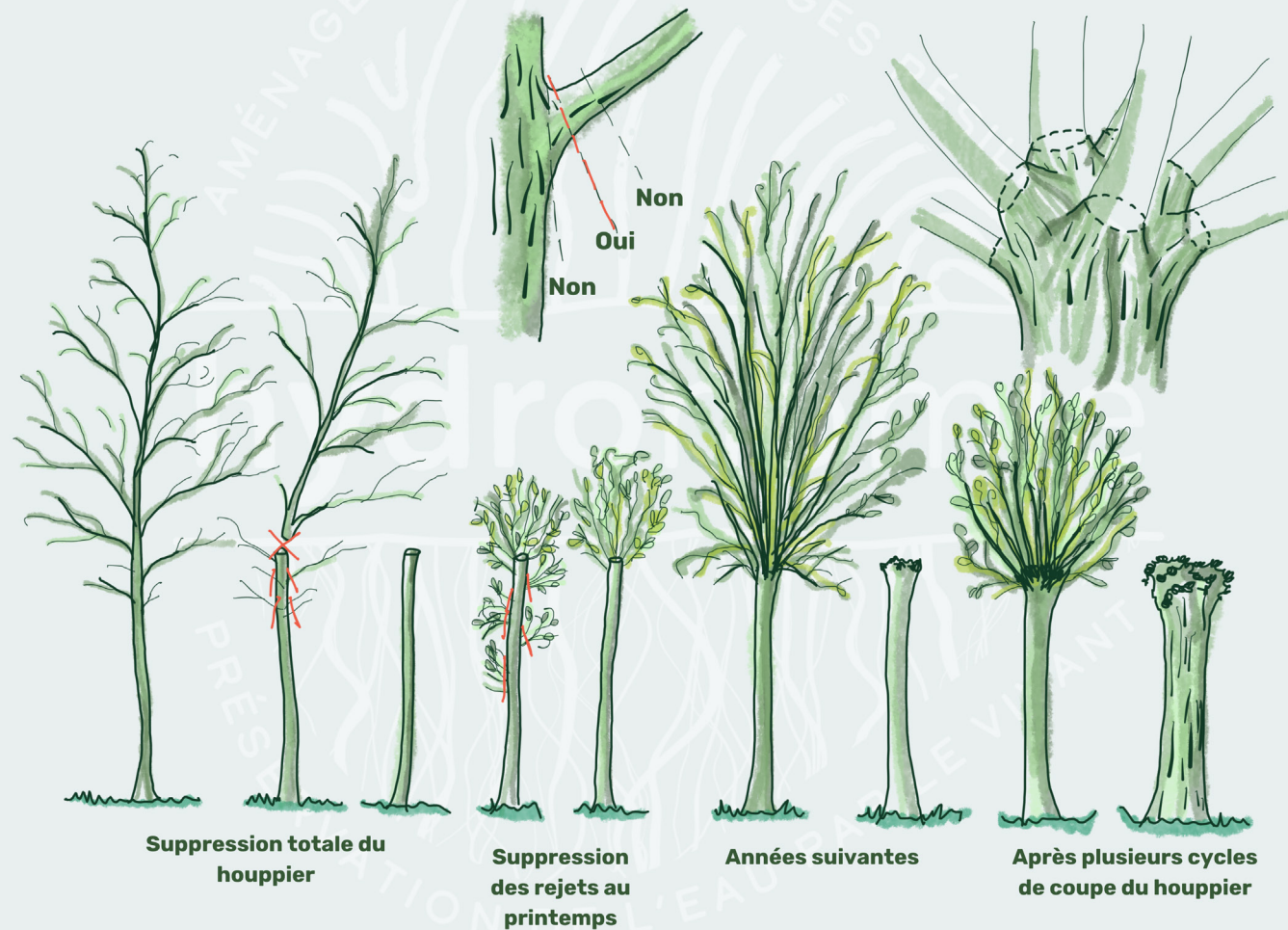


**Arbre têtard**

Frêne  
Saule  
Tilleul

# Gestion de la ressource

## Étapes de formation d'une trogne têtard



# Plantation

## Préparation du sol

Pour assurer une pleine reprise de l'arbre lui permettant d'exprimer tout son potentiel, la préparation du sol est fondamentale. Cette préparation peut se commencer plusieurs mois en amont de la plantation, respectant ainsi les cycles de vie et la saisonnalité.

1. **Décompactation du sol** : grelinette, sous-soleuse, chisel superficiel
2. **Amendement en matière organique** si le seuil dans le sol est inférieur à 3% : broyat, fumier composté, BRF, foin (en fonction des ressources présentes sur place ainsi que du besoin de matière organique C/N)
3. **Inoculer la zone de plantation** avec une préparation : lactosérum, LiFoFer, TCO
4. **Faire les trous au moment de la plantation** en s'assurant de ne garder aucune zone lissée et imperméable sur toutes les faces du trou.

### La fécondité du sol s'exprime par :

- Augmentation du carbone stocké ;
- Augmentation de la réserve utile ;
- Augmentation du nombre de vers de terre de terre et d'une façon générale de la biodiversité du sol jusqu'à 2,5t/ha, (soit un échantillonnage d'un volume de 2 steaks haché par m<sup>2</sup>) ;
- Amélioration de la structure et de la porosité ;
- Une climatisation du sol ;
- Arrêt de l'érosion.

# Plantation

## Préparation des racines

Les racines seront coupées jusqu'à ne faire qu'une grosse longueur de pouce, avec un sécateur aiguisé à la lame propre. Préparer les racines en les coupant nette, en oblique.

Afin de minimiser le risque de gel racinaire et fortifier l'arbre, préparer un pralin qui enduira les racines et les tiendra loin des bulles d'air gélives. Un inoculum fait à partir des prélèvements du site naturel, pourra être ajouté au pralin.

Le pralin a bien d'autres propriétés : il contient une hormone de croissance naturelle l'auxine, qui permet aux racines tout juste mutilées, de pouvoir se remettre doucement de ce traumatisme de transplantation.

### RECETTE PRALIN

Mélanger dans une lessiveuse à grande ouverture :

1/4 de terre du terrain, tamisé afin de retirer les cailloux qui pourraient abîmer les racines et créer des ouvertures aux maladies et parasites.

1/4 d'argile «pure»

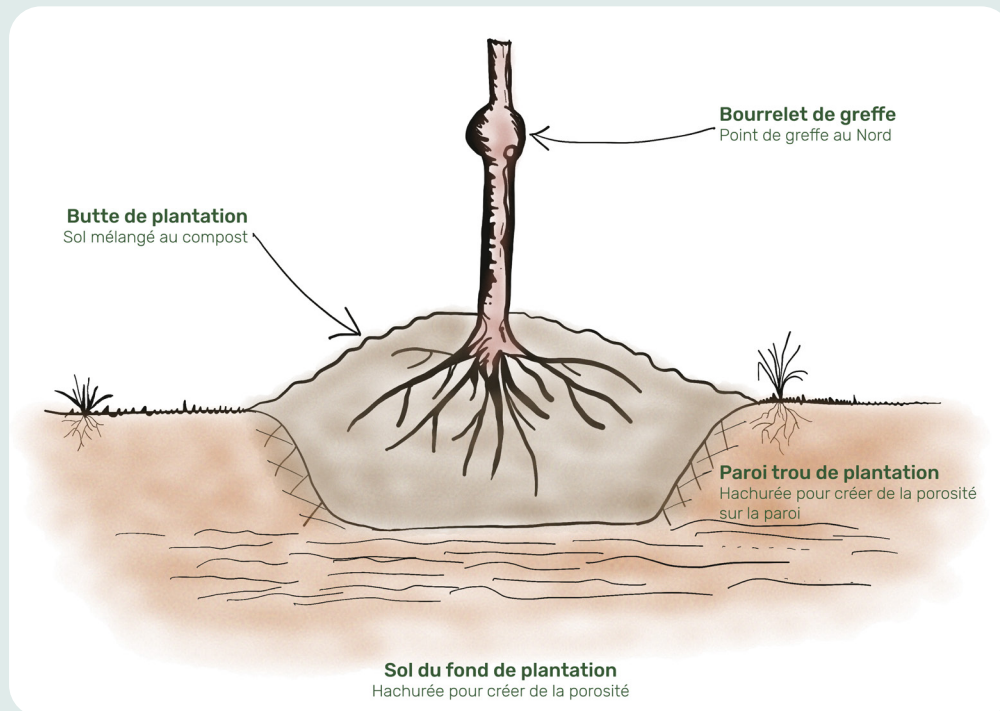
1/4 de bouse de vache fraîche ou du crottin de cheval accompagné de graines de céréales germées

1/4 d'eau.

La consistance idéale est celle d'une pâte à pancake.

Possibilité d'introduire une préparation d'inoculum liquide dans l'eau.

# Plantation



- Le choix du porte-greffe dépend de la nature du sol, aussi préférez des portes-greffes rustiques et adaptés.

- Préférer la plantation d'hiver, en racines nues. Les arbres doivent posséder tous leurs bourgeons terminaux et apicaux. Ainsi le système racinaire se développera et au printemps, lors du débourrement, les racines seront fin prêtes à prospecter ce nouveau sol et biotope.

- La couverture des racines des jeunes arbres devra être maintenue pendant 3 ans minimum et ce dès la plantation par du broyat, puis du mulch produit sur place si possible à partir des engrais verts suggérés, fauchés et placés à l'andaineuse par exemple.

- À la plantation, le point de greffe sera placé au Nord, le collet bien serré et le pourtour des racines fermement tassé, l'arbre ne doit pas bouger si vous essayez de l'arracher. Faire en sorte que le porte-greffe soit bien vertical, car c'est lui qui fera le port de l'arbre, il est plus facile aux greffons / parties aériennes de se redresser que le pied lui même.

# Ressources

## Centre de recherches

- Mycoagra
- CTIFL
- Agri Réseau
- Bruns Pflanzen
- Centre d'étude de la forêt (CEF-Laval)
- Institut de recherche en biologie végétale
- SOPHY

## Livres - Publications

- *Agroforesterie, des arbres et des cultures* de Chistian Dupraz et Fabien Liagre
- *Les mycorhizes, l'essor de la nouvelle révolution verte* de Jean-André Fortin, Yves Piché et Christian Plenchette
- *Fertiles champignons, le guide de la culture organique avec les mycorhizes* de Jeff Lowenfels

# Guide agroforestier

Document réalisé par Marlène VISSAC

Pour :

- la formation mixte digitale Hydronomie®
- la rubrique ressource du site internet Hydronomie®



**Pour toute demande d'informations complémentaires, merci d'écrire :**

Phacelia école paysanne  
1330 Chemin de la Planquette 12440 TAYRAC  
formation@phacelia.fr  
*Organisme de formation enregistré sous le n° 76120116612*

[hydronomie.fr](https://hydronomie.fr)