

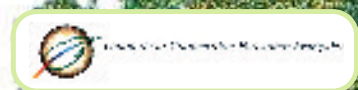
## La récolte raisonnée des rémanents en forêt

*Dans la perspective d'une diversification des sources d'énergie, les résidus d'exploitation (branches et feuillages) couramment appelés rémanents constituent une ressource intéressante jusqu'alors peu valorisée.*

*Toutefois, la récolte répétée de ces produits n'est pas neutre et peut représenter une exportation d'éléments minéraux non négligeable.*

*Elle peut entraîner, sur certains types de sols, une baisse de la fertilité à long terme, à prohiber dans le cadre d'une sylviculture durable sans apport externe. A partir de quels taux de récolte et sur quels types de sols ? Ce guide tente d'y répondre, en faisant la synthèse des recherches de l'INRA sur les cycles biogéochimiques et en s'appuyant sur l'évaluation de chantiers de récolte suivis par l'UCFF et l'AFOCEL.*

*L'utilisateur pourra, à partir de quelques critères simples de terrain, déterminer la sensibilité du sol à la récolte des rémanents. Pour chaque cas, il disposera d'un avis sur le risque que représente la récolte des rémanents, et sur les mesures techniques à mettre en œuvre pour préserver la fertilité du sol.*



Bioressources

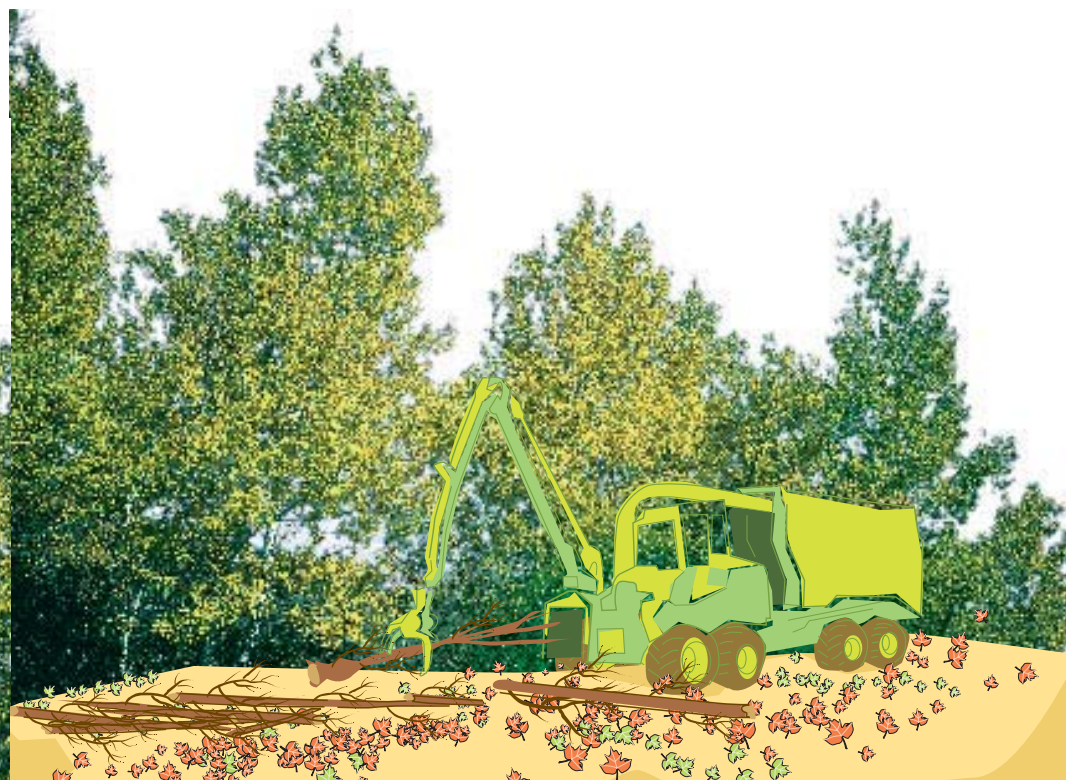
ADEME



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie  
2, square La Fayette - BP 90406 - 49004 Angers cedex 01  
Tél. : 02 41 20 41 20 - Fax : 02 41 87 23 50  
[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

5664 04/06 3000 ex. © Atmosphère 02 41 64 83 38

## La récolte raisonnée des rémanents en forêt

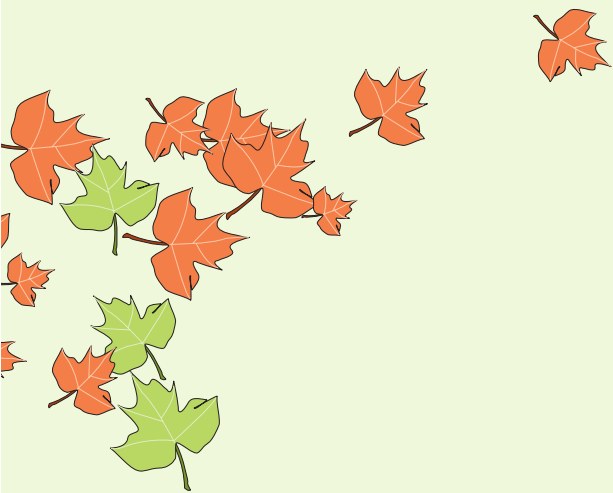


Connaître et agir

ADEME



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie



La réalisation du guide a été pilotée par **Emmanuel CACOT**, AFOCEL, avec la contribution de :

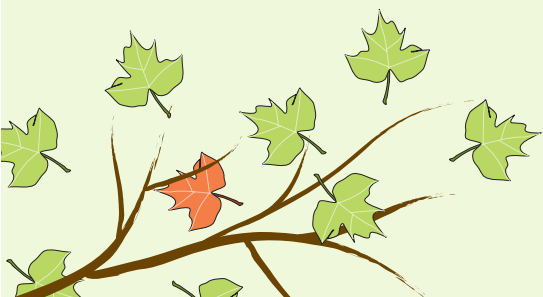
**Nicolas EISNER**, AFOCEL

**François CHARNET**, IDF (Institut pour le Développement Forestier)

**Pascal LEON**, UCFF (Union de la Coopération Forestière Française)

**Caroline RANTIEN**, ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie)

**Jacques RANGER**, INRA (Institut National de la Recherche Agronomique)



## Sommaire

Récolte des rémanents  
et fertilité des sols forestiers p. 2

Mode d'emploi du guide, précautions d'usage p. 3

Définir le niveau de richesse des sols p. 4

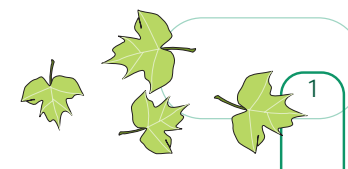
Itinéraires sylvicoles intégrant  
la récolte des rémanents p. 8

Questions-réponses p. 18

Lexique p. 24

Pour en savoir plus p. 27

Annexes p. 28



# Récolte des rémanents et fertilité des sols forestiers

Au vu de l'augmentation du prix des énergies fossiles et de leur disparition inéluctable, le recours à d'autres ressources énergétiques, comme la biomasse forestière, ne fera qu'augmenter dans les prochaines années. **Les rémanents forestiers (branches et feuillages) restant sur coupe après abattage et façonnage représentent une ressource énergétique potentielle importante.** Les modes d'exploitation contemporains n'ont en effet jamais laissé autant de bois par terre en forêt, du fait de la mécanisation des opérations et de l'évolution de la demande en bois des industries. Ces rémanents sont de surcroît une ressource renouvelable et locale, dont l'utilisation à des fins énergétiques est neutre pour l'effet de serre.

**Cependant, les branches et feuillages ont par nature une teneur en éléments minéraux très élevée,** nettement plus que le tronc seul habituellement exploité. La récolte des rémanents, ramassés séparément du tronc ou par arbre entier, s'accompagne donc d'une forte exportation minérale. Il convient alors d'être vigilant aux risques d'appauvrissement des sols forestiers du fait de cette récolte.

Une première étude bibliographique a permis de mieux déterminer les conséquences du prélèvement des rémanents sur l'écosystème forestier. Si les exportations sont trop importantes par rapport aux réserves du sol, un nouvel équilibre s'établira au détriment de la croissance du peuplement. **Il faut donc raisonner la récolte des rémanents en fonction de la richesse des sols.** Partant de ce constat, une seconde étude, basée sur l'analyse de chantiers bois énergie réalisés en France, a défini **des techniques sylvicoles simples intégrant la récolte des rémanents et s'inscrivant dans le cadre d'une gestion durable de la forêt. Ces techniques vous sont présentées dans ce guide.**

# Mode d'emploi du guide, précautions d'usage

## Comment utiliser ce guide ?

Quelle démarche adopter si vous envisagez la récolte des rémanents sur une parcelle ?

- 1 **Déterminez la richesse de votre sol et donc sa capacité à supporter une récolte des rémanents.** >Cf. page 4
- 2 **Référez-vous ensuite pour chaque catégorie de sol aux fiches décrivant les itinéraires sylvicoles garantissant un maintien de la fertilité.** >Cf. pages 8 à 17

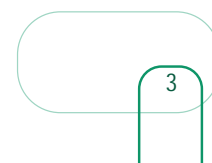
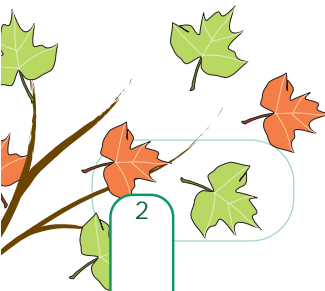
En complément, quelques points sont abordés par la suite pour répondre à vos questions pratiques et vous apporter plus d'informations.

Attention, ce guide n'a nullement la prétention d'être un précis de sylviculture. **Les conseils sylvicoles donnés ici le sont uniquement sous l'angle du maintien de la fertilité chimique des sols,** afin de garantir une croissance pérenne des peuplements. Les choix sont à faire par le propriétaire ou le gestionnaire en fonction notamment de ces éléments.

Dans certains cas, une fertilisation est conseillée pour compenser les exportations minérales après récolte des rémanents. Les quantités à rapporter sont précisées pour chaque itinéraire sylvicole le nécessitant, en fonction des exportations minérales constatées sur les chantiers étudiés. Mais les modes opératoires et les précautions d'usage liés à l'épandage d'engrais ne sont pas décrits ici.

>Cf. Pour en savoir plus, page 27

Ce guide peut être enfin utilisé lors de la rédaction de plans simples de gestion ou d'aménagements pour définir les parcelles sur lesquelles les rémanents seront facilement mobilisables, sans mesure compensatoire, et les parcelles sur lesquelles il faudra prévoir une fertilisation complémentaire.



# Définir le niveau de richesse des sols

Pour cette analyse un matériel de base est nécessaire :

une tarière pédologique, un pHmètre colorimétrique, un petit couteau et une pipette d'acide (HCl dilué).

Afin de déterminer si votre sol peut supporter une récolte des rémanents sans s'appauvrir, il convient de :

## 1 Déterminer le type d'humus

En utilisant la clé de détermination de l'Annexe 1, rattacher l'humus observé sur le terrain à l'un des grands types morphologiques figurant en abscisse sur le diagramme ci-contre : Dysmoder (et Mor), Moder, Mull-modér, etc.

Se reporter en abscisse à l'humus déterminé.

> NB : Si l'humus n'est pas observable ou si le diagnostic morphologique est incertain, déterminer le niveau trophique d'après le pH de l'horizon A estimé avec un pHmètre colorimétrique. Dans certains cas, tester la présence de calcaire actif (effervescence de la terre fine au contact d'une solution d'acide chlorhydrique diluée au 1/10<sup>ème</sup>) peut être utile.

## 2 Déterminer la texture dominante à 20 cm de profondeur

Sableux

Limoneux

Argileux

Se reporter en ordonnée à la texture déterminée.

> Cf. Annexe 2, page 30

## 3 Croiser, dans le tableau ci-contre, les deux résultats obtenus afin de déterminer la sensibilité de votre sol

## 4 Confirmer le résultat final avec le tableau 2, page suivante

En comparant les observations du terrain aux caractéristiques de la catégorie obtenue. En cas de doute persistant, voir la grille de détermination des niveaux trophiques.

> Cf. Annexe 3, page 32

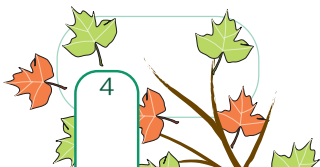
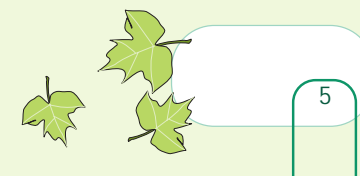


Tableau 1 Diagramme de sensibilité des sols en fonction de la texture et du niveau trophique

<b>S</b> Pôle sableux teneur en argile < 10 %	S1		S2					
	<b>L</b> Pôle limoneux 10 % < teneur en argile < 25 %	L1	L2	L3				
					<b>A</b> Pôle argileux teneur en argile > 25 %	A1	A2	K
Calcaire actif	Pas d'effervescence de la terre fine à HCl dilué							
pH horizon A	< 4	[4-4,5]	[4,5-5[	[5-5,5[	[5,5-6[	[6-6,5[	[6,5-7[	> 7
Humus	Mor Dysmoder	Moder	Mullmoder Dysmull	Mull oligo.	Mull méso.	Mull eutro.	Mull calcique	Mull carbonaté

- Sensibilité forte
- Sensibilité moyenne
- Sensibilité faible



## Tableau 2 Caractéristiques de chaque type de sol

Famille Station	Familles de texture (à 20 cm de prof.) ou présence de carbonates (a)	Types de roches	Types de sols	Groupes écologiques (b)	Autres critères	Remarques
S1	S	Roches siliceuses pauvres : quartzites, grès siliceux, granites et gneiss clairs, alluvions.	Sols podzolisés.	Hyperacidiphiles, acidiphiles strictes.	Horizon grisâtre fréquent sous humus.	Haut de versant ou butte en général.
S2	SL (SLA)	Colluvions issues des matériaux ci-dessus, ou sur roches plus riches en fer, et/ou avec horizon argileux à moins d'1 m.	Sols bruns acides ou lessivés complexes, sols bruns modaux.	Acidiphiles banales large amplitude, acidiclinales.	Horizon brun-jaune ou brun clair sous l'humus.	Fréquent sur versant et notamment en bas de versant.
L1	L, LS	Limon des plateaux, alluvions, colluvions, altérites de roches argilo-calcaires.	Sols lessivés dégradés, et/ou planosoliques.	Hyperacidiphiles, acidiphiles strictes.	Couleur jaune pâle ou grisâtre vers 30 cm de profondeur.	Podzolisation superficielle fréquente sur sol non perturbé.
L2			Sols bruns lessivés, sols bruns.			
L3	LA, LAS, LSA	Colluvions issues des matériaux ci-dessus, ou sur roches plus riches en fer, et/ou avec horizon argileux à moins d'1 m.	Sols bruns acides ou lessivés complexes, sols bruns modaux.	Acidiphiles banales large amplitude, acidiclinales.	Couleur jaune ou brun jaune vers 30 cm de profondeur.	Plantes acidiclinales plus abondantes, quelques neutroclinales.
A1	Non carbonaté en profondeur (pas d'effervescence à HCl dilué).	Kaolinite fréquemment dominante.	Sols bruns acides.	Acidiphiles banales et à large amplitude.		L'effervescence se juge sur la terre fine, pas sur les fragments de roche.
A2	Carbonaté en profondeur (effervescence à HCl dilué).	Argiles de décarbonatation, marnes.	Sols bruns eutrophes à calciques.	Neutrophiles calcicoles, (acidiclinales).	Noté en roche calcaire sur carte géologique.	
K	Carbonaté en surface ou à faible profondeur.	Tous types de substrats calcaires.	Sols calci-magnésiques (ou calcimorphes).	Calcicoles et calcaricoles.		Roche mère observable à faible profondeur.

> (a) Cf. Annexe 2 pour déterminer la texture du sol

> (b) Cf. Annexes 3 et 4 pour les caractéristiques des groupes écologiques

# Itinéraires sylvicoles intégrant la récolte des rémanents

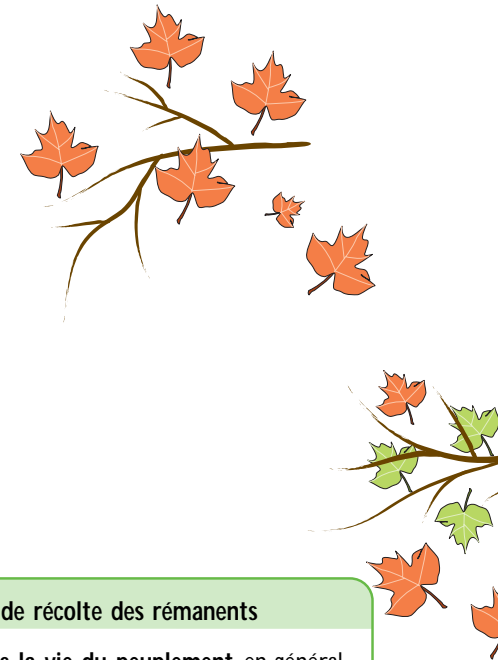
## Fiche 1 Sur sol peu sensible, à risque faible


Ces sols offrent une bonne richesse minérale et peuvent supporter une sylviculture relativement intensive.

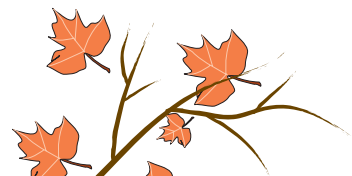
La récolte des rémanents peut s'envisager sans problème en suivant les conseils ci-dessous. D'autres risques potentiels (orniérage, tassement des sols, érosion) doivent être pris en compte avant le risque d'appauvrissement des sols.

### Conseils généraux

Laisser sécher les rémanents sur coupe 4 à 6 mois avant leur récolte.  
Une fertilisation compensatoire n'est pas nécessaire.



Types de peuplement		Pratiques sylvicoles recommandées en cas de récolte des rémanents
Résineux		<p>Récolter les rémanents deux fois au maximum dans la vie du peuplement, en général lors du dépressage (éclaircie pré-commerciale) et à la coupe finale. Éviter la récolte des rémanents lors des autres éclaircies.</p> <p>Le risque d'appauvrissement des sols est faible. C'est davantage le volume de rémanents disponible qui déterminera la faisabilité technico-économique de l'opération.</p> <p>En montagne, où de tels peuplements sont fréquents, le risque d'érosion est plus fort que le risque lié à l'appauvrissement du sol.</p>
Feuillus	Taillis et taillis sous futaie	<p>Laisser au moins 15-20 ans entre deux récoltes des arbres + rémanents.</p> <p>Pas de restriction particulière vis-à-vis de la récolte des rémanents.</p> <p>Pas de restriction particulière vis-à-vis de la récolte des rémanents.</p> <p>La gestion intensive des taillis à courte rotation s'apparente à celle pratiquée en agriculture et doit s'accompagner d'une fertilisation compensatoire.</p>
	Futaie	
	Peupleraie (hors taillis à courte rotation)	



# Itinéraires sylvicoles intégrant la récolte des rémanents

## Fiche 2 Sur sol moyennement sensible, à risque moyen

Ces sols sont faiblement fertiles. Il convient de faire attention lors de la récolte des rémanents. Les conseils ci-dessous permettront de réduire les risques d'appauvrissement.



Au sein de cette classe, il existe un gradient de fertilité : la richesse chimique des sols va en diminuant du pôle argileux vers le pôle sableux (Cf. tableau 1). Il faudra donc être d'autant plus vigilant à la conservation de la richesse sur les sols sableux (risque d'acidification sur ces sols, de destructuration sur les sols limoneux).

## Conseils généraux

Laisser sécher les rémanents sur coupe 4 à 6 mois avant leur récolte.

Pratiquer une seule récolte des rémanents dans la vie du peuplement.

Au-delà d'une récolte des rémanents par révolution, fertiliser (avec une quantité égale aux exportations).

Types de peuplement		Pratiques sylvicoles recommandées en cas de récolte des rémanents
Résineux	<p>Peuplement d'Epicéa commun</p> 	<p>Contrairement aux autres peuplements, <b>il est possible de récolter les rémanents deux fois au maximum dans la vie du peuplement</b>, en général lors de l'éclaircie pré-commerciale et à la coupe finale. Il faut éviter la récolte des rémanents lors des autres éclaircies. Pour toutes récoltes supplémentaires de rémanents, pratiquer à chaque fois une fertilisation par hectare de 50 kg de N, 20 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 80 kg de K<sub>2</sub>O, 90 kg de CaO et 5 kg de MgO.</p>
	<p>Tout autre peuplement de résineux</p> 	<p><b>Récolter les rémanents une fois dans la vie du peuplement.</b> Pour des futaies irrégulières ou jardinées, se baser sur l'âge maximum d'exploitabilité, récolter une fois les rémanents pendant ce laps de temps. Pour toutes récoltes supplémentaires de rémanents, pratiquer à chaque fois une fertilisation par hectare de :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Douglas : 70 kg de N, 60 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 80 kg de K<sub>2</sub>O, 130 kg de CaO et 20 kg de MgO ;</li><li>- autres résineux : 50 kg de N, 20 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 80 kg de K<sub>2</sub>O, 90 kg de CaO et 5 kg de MgO.</li></ul>

> N : azote - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : acide phosphorique, K<sub>2</sub>O : oxyde de potassium, CaO : oxyde de calcium, MgO : oxyde de magnésium

# Itinéraires sylvicoles intégrant la récolte des rémanents

Fiche 2  
suite

Sur sol moyennement sensible, à risque moyen

## Types de peuplement

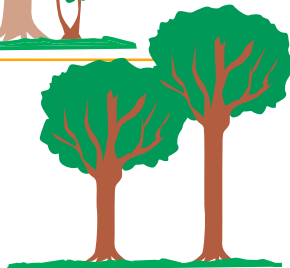
Taillis



Taillis sous futaie



Futaie



Feuillus

## Pratiques sylvicoles recommandées en cas de récolte des rémanents

**Si le régime du taillis est maintenu**, laisser au moins 30 ans entre deux récoltes entières des arbres (troncs + branches).

En cas de révolution inférieure à 30 ans, fertiliser avec les quantités suivantes par hectare : 70 kg de N, 10 kg de  $P_2O_5$ , 40 kg de  $K_2O$ , 270 kg de CaO et 50 kg de MgO (ces deux derniers pourront être remplacés par 500 kg de calcaire magnésien).

**Si, après coupe et récolte des rémanents, le taillis est enrichi ou enrésiné :**

- en cas d'enrichissement en feuillu, prévoir une fertilisation au pied des jeunes plants à raison de 100 g/plant d'engrais complet (NPK) (dans l'idéal, ce sont exactement 5 g de N, 30 g de  $P_2O_5$ , 20 g de  $K_2O$ , 50 g de CaO et 5 g de MgO qu'il faut apporter) ;
- en cas d'enrésinement, prévoir une fertilisation à la plantation (35 kg de  $P_2O_5$  et 25 kg de  $K_2O$  par hectare) et un amendement avec 1,5-2 tonnes de calcaire magnésien (soit 700-800 kg de Ca et 100 kg de Mg par hectare).

**En cas de maintien du régime de taillis sous futaie**, laisser au moins 30 ans entre deux récoltes entières des arbres du taillis (troncs + branches), sinon fertiliser comme pour le taillis.

**En cas de conversion en futaie**, pratiquer une seule récolte des rémanents dans la vie du peuplement.

Pour toutes récoltes supplémentaires de rémanents, pratiquer à chaque fois une fertilisation par hectare de 40 kg de N, 10 kg de  $P_2O_5$ , 20 kg de  $K_2O$ , 50 kg de CaO et 10 kg de MgO.

**Récolter les rémanents une fois dans la vie du peuplement.**

Pour des futaies irrégulières ou jardinées, se baser sur l'âge maximum d'exploitabilité, récolter une fois les rémanents pendant ce laps de temps.

Pour toutes récoltes supplémentaires de rémanents, pratiquer à chaque fois une fertilisation par hectare de 40 kg de N, 10 kg de  $P_2O_5$ , 20 kg de  $K_2O$ , 50 kg de CaO et 10 kg de MgO.



# Itinéraires sylvicoles intégrant la récolte des rémanents

## Fiche 3

Sur sol très sensible, à risque fort

Ces sols sont très pauvres. Toute récolte de rémanents devra donc s'accompagner d'une fertilisation compensatoire au risque sinon de voir la production du peuplement forestier baisser.

Là-aussi, il existe un gradient de richesse chimique dans cette catégorie, avec une richesse diminuant du pôle argileux vers le pôle sableux. Il faudra donc être d'autant plus vigilant à la conservation de la richesse sur les sols sableux.

### Types de peuplement

Quel que soit le type de peuplement résineux

Résineux



## Conseils généraux

Laisser sécher les rémanents sur coupe 4 à 6 mois avant leur récolte.

Fertiliser systématiquement après récolte des rémanents avec une quantité égale à une fois et demie les quantités minérales exportées.

### Pratiques sylvicoles recommandées en cas de récolte des rémanents

Fertiliser après récolte des rémanents avec les quantités suivantes par hectare :

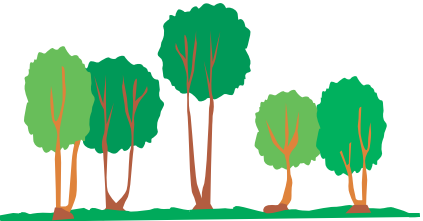

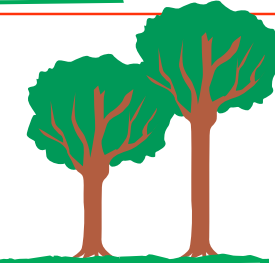
- Douglas : 120 kg de N, 90 kg de  $P_2O_5$ , 130 kg de  $K_2O$ , 200 kg de CaO et 30 kg de  $MgO^{(a)}$  ;
- Epicéa commun : 70 kg de N, 20 kg de  $P_2O_5$ , 120 kg de  $K_2O$ , 120 kg de CaO et 10 kg de  $MgO^{(a)}$  ;
- autres résineux : 70 kg de N, 20 kg de  $P_2O_5$ , 120 kg de  $K_2O$ , 120 kg de CaO et 10 kg de  $MgO^{(a)}$ .

> (a) Les apports en calcium et magnésium peuvent se faire sous la forme d'un amendement. Etant donnée la très faible richesse minérale de ces sols, un amendement de fond au cours de la vie du peuplement peut être envisagé (1,5 à 2 tonnes de calcaire magnésien par hectare, soient 700-800 kg de Ca et 100 kg de Mg).

# Itinéraires sylvicoles intégrant la récolte des rémanents

Fiche 3  
suite

Sur sol très sensible, à risque fort

	Types de peuplement	Pratiques sylvicoles recommandées en cas de récolte des rémanents
Feuillus	<b>Taillis</b> 	<b>En cas de maintien du régime du taillis</b> , quelle que soit la longueur de la révolution, fertiliser avec les quantités suivantes par hectare : 110 kg de N, 10 kg de $P_2O_5$ , 60 kg de $K_2O$ , 410 kg de CaO et 80 kg de MgO <sup>(a)</sup> . <b>Si après coupe et récolte des rémanents, le taillis est enrichi ou enrésiné :</b> - en cas d'enrichissement en feuillu, prévoir une fertilisation au pied des jeunes plants à raison de 100 g/plant d'engrais complet (NPK) (dans l'idéal, ce sont exactement 5 g de N, 40 g de $P_2O_5$ , 30 g de $K_2O$ , 70g de CaO et 10 g de MgO qu'il faut apporter) ; - en cas d'enrésinement, prévoir une fertilisation à la plantation (50 kg de $P_2O_5$ et 35 kg de $K_2O$ par hectare) et un amendement avec 1,5-2 tonnes de calcaire magnésien par hectare <sup>(a)</sup> .
	<b>Taillis sous futaie</b> 	<b>En cas de maintien du régime de taillis sous futaie</b> , quelle que soit la longueur de la révolution, fertiliser avec les quantités suivantes par hectare : 110 kg de N, 10 kg de $P_2O_5$ , 60 kg de $K_2O$ , 410 kg de CaO et 80 kg de MgO <sup>(a)</sup> . <b>En cas de conversion en futaie</b> , fertiliser après récolte des rémanents avec les quantités suivantes par hectare : 70 kg de N, 10 kg de $P_2O_5$ , 30 kg de $K_2O$ , 80 kg de CaO et 10 kg de MgO <sup>(a)</sup> .
	<b>Futaie</b> 	<b>Fertiliser après récolte des rémanents</b> avec les quantités suivantes par hectare : 70 kg de N, 10 kg de $P_2O_5$ , 30 kg de $K_2O$ , 80 kg de CaO et 10 kg de MgO <sup>(a)</sup> .  > (a) Les apports en calcium et magnésium peuvent se faire sous la forme d'un amendement. Etant donnée la très faible richesse minérale de ces sols, un amendement de fond au cours de la vie du peuplement peut être envisagé (1,5 à 2 tonnes de calcaire magnésien par hectare, soient 700-800 kg de Ca et 100 kg de Mg).

# Questions / réponses

## Pourquoi faire sécher les rémanents ?

Les rémanents, comme nous l'avons déjà précisé, ont une teneur en éléments nutritifs très élevée (azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium). Mais entre une branche et le feuillage (aiguilles ou feuilles), il existe également de très fortes différences.

Ainsi le feuillage ne représente que 3 à 12 % de la biomasse aérienne sèche de l'ensemble d'un peuplement forestier, mais contient de 10 à 50 % des éléments minéraux. Plus le peuplement est jeune, plus ce pourcentage est élevé.



Les rémanents sont broyés après un séchage sur la parcelle.

En faisant sécher les rémanents, le feuillage tombe au sol. Cela limite donc très fortement les exportations minérales. Cette technique (ou la récolte des rémanents de feuillus en hiver) doit donc être préconisée sur tous les sols, quelle que soit leur richesse.

De surcroît, le séchage des rémanents offre deux avantages supplémentaires :

- > il réduit la proportion de « fines » dans les plaquettes qui ne conviennent pas à toutes les chaudières et qui ont un taux de cendre très élevé ;
- > il augmente le pouvoir calorifique inférieur (PCI) des rémanents.

## Comment faire sécher les rémanents ?

Le séchage des rémanents n'a d'intérêt pour limiter les exportations minérales que si les rémanents (ou les arbres entiers) sont laissés sur le parterre de la coupe avant broyage :

- > au moins 4 mois pour les résineux ;
- > au moins 6 mois pour les feuillus (sauf si les rémanents sont récoltés en hiver).

Ainsi les feuilles et aiguilles vont-elles se détacher et tomber sur le sol de la parcelle.

## Pourquoi ne pas récolter plus d'une fois les rémanents dans la vie du peuplement ?

Dans de nombreuses situations, il est en effet préconisé de ne pas récolter plus d'une fois les rémanents au cours de la révolution sylvicole.

De façon tout à fait logique, en limitant à une seule récolte les rémanents, on réduit les exportations minérales et donc les risques d'appauvrissement des sols.

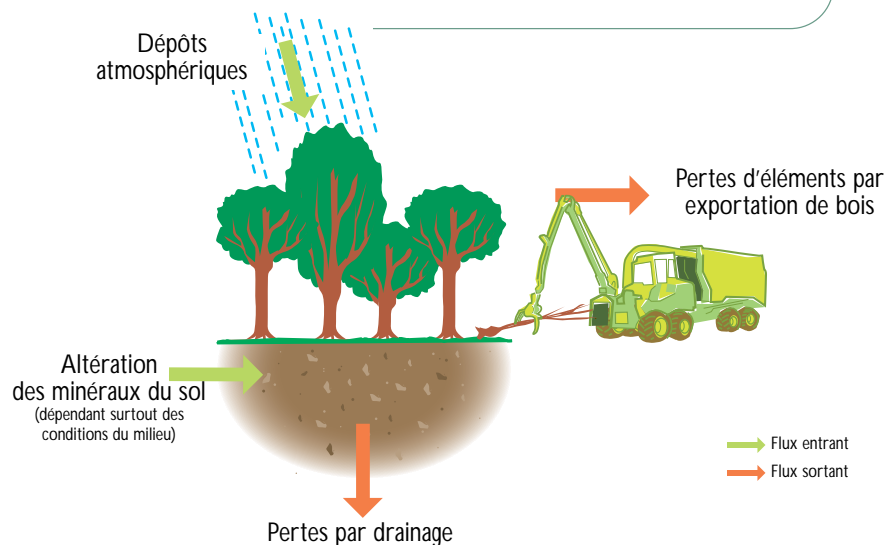
## Quel est l'intérêt de fertiliser ?

Pour comprendre ce conseil, il faut regarder de plus près le bilan minéral ou bilan de fertilité.

- > voir page suivante



## Les flux de fertilité dans les écosystèmes forestiers



$$\begin{aligned} & \text{[apports atmosphériques + altération]} \\ - & \text{[récotte de biomasse + drainage]} \\ = & \text{Bilan minéral} \end{aligned}$$

Ce bilan est établi sur la durée d'un cycle sylvicole. Il doit être nul pour chaque élément minéral dans le cas d'une stabilité du système. Si ce bilan est déséquilibré (exportations > apports), c'est la croissance du peuplement et donc la production qui en pâtiront.

Sur sol moyennement ou très sensible, la récolte des rémanents peut provoquer un tel déséquilibre, du fait de leur forte concentration en éléments minéraux. Il faudra donc apporter une fertilisation, quantifiée pour chaque élément, pour rééquilibrer le bilan minéral et éviter les conséquences négatives sur la croissance du peuplement.

## Comment fertiliser ?

Les engrais utilisables en forêt et disponibles sur le marché sont très nombreux et leur mode d'emploi parfois très variable. Il serait difficile dans ce présent document de décrire toutes les techniques liées à l'usage de fertilisants. Nous préférons renvoyer le lecteur sur l'ouvrage de M. BONNEAU.

> 1995, Cf. Pour en savoir plus, page 27

Les techniques de fertilisation sont très variables.



Les quantités minérales détaillées dans les itinéraires sylvicoles sont données sous forme d'oxydes que l'on retrouve, dans la majorité des cas, dans la formulation des engrais.

Le recyclage des cendres des chaudières semble également une voie à prospecter pour rapporter en forêt les éléments exportés (à l'exception de l'azote), à l'instar de ce qui se fait en Finlande. Malheureusement, la législation reste floue sur ce point et ne semble pas permettre actuellement une telle valorisation des cendres. Des expérimentations menées par l'AFOCEL sont en cours.

## Eclaircie avec récolte des rémanents contre risque d'appauvrissement des sols : que choisir ?

La réalisation d'une éclaircie, dans la mesure où elle apporte une réelle amélioration sylvicole au peuplement, reste préférable à une absence d'intervention pour deux raisons :

- l'absence d'éclaircies réduit beaucoup plus considérablement la productivité forestière qu'une éventuelle perte de matières fertilisantes ;
- l'apport de lumière créé par l'éclaircie va dynamiser la minéralisation de l'humus entraînant une libération des éléments nutritifs et favoriser la biodiversité du sous-bois.

Pour autant, il faudra rester vigilant et respecter l'ensemble des conseils donnés précédemment afin de minimiser les risques d'appauvrissement des sols.

## La récolte des rémanents a-t-elle d'autres conséquences que le risque d'appauvrissement des sols ?

Les études en France sont peu nombreuses sur ce point et il nous faut, pour répondre à la question, faire appel à la bibliographie étrangère en étant prudent sur son extrapolation. > CACOT et al., 2003 ; Cf. Pour en savoir plus, page 27

### Quelles sont les conséquences observées ?

- 1 Les rémanents jouent le rôle d'isolant thermique. Les enlever provoque une augmentation des écarts de température au niveau du sol préjudiciable à la régénération naturelle. Cependant, les méthodes de régénération naturelle utilisées en France font que la récolte des rémanents a peu d'influence sur la mortalité de la régénération. Dans certains cas, les rémanents ont un effet protecteur contre la dent du gibier.

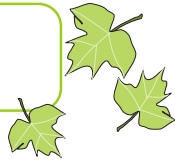
- 2 La circulation des engins sur une couche de branches est une technique pour limiter l'orniérage et le tassement du sol. Mais une fois les rémanents écrasés par les roues des engins, il devient impossible de les récolter. Selon les terrains et les conditions, il faudra privilégier la protection des sols à la récolte des rémanents.
- 3 La récolte des rémanents diminue le taux de mycorhization des racines et modifie le cortège floristique. Ces phénomènes ne s'observent toutefois que dans des essais après récolte systématique de tous les rémanents, conditions assez éloignées de la réalité de terrain.
- 4 Le retour au sol des résidus de récolte bonifie le statut organique du sol et accroît la productivité. Ramasser les rémanents a de fait un effet dépressif sur la croissance en hauteur des arbres, sur les sols les plus pauvres et en l'absence de fertilisation compensatoire. Cet effet se fera d'autant plus sentir que le peuplement est jeune, lorsque ses besoins en éléments nutritifs sont les plus forts.
- 5 La modification du microclimat, consécutive à l'enlèvement des rémanents, et la soustraction de matière organique provoquent un appauvrissement de la faune du sol.
- 6 La récolte des rémanents a enfin un effet positif sur la prévention du risque incendie.

De l'ensemble de ces constats, il apparaît deux préconisations principales pour éviter ces impacts potentiels :

- **ne pas récolter toute la biomasse aérienne** en laissant une part des rémanents au sol, et ce, à chaque récolte (de fait, techniquement, il est difficile de récupérer plus de 70 % des rémanents) ;
- **ramasser les rémanents une fois, voire deux**, au maximum dans la vie du peuplement.

Ces conseils rejoignent ceux déjà largement détaillés pour maintenir la fertilité chimique des sols.

# Lexique



**Amendement** : apport d'éléments dont le rôle est d'améliorer les propriétés physico-chimiques du sol (calcium par exemple) et dont l'effet sur les plantes est donc indirect.

**Biomasse** : masse totale des êtres vivants subsistant en équilibre sur une surface donnée de sol. La biomasse forestière inclut l'ensemble de la végétation (herbacée, arbustive, arborée). On distingue la biomasse souterraine (racines et souches) et aérienne (troncs, branches, brindilles et feuillages).

**Éléments minéraux** : éléments nutritifs présents dans le sol et dans la végétation, classés en éléments majeurs ou macro-éléments (N, P, K, Ca, Mg, S) et oligo-éléments ou micro-éléments (Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo).

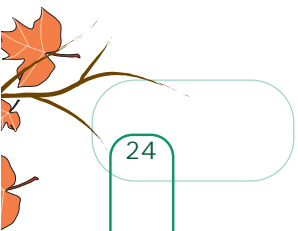
**Fertilisation** : apport d'éléments nécessaires à la vie des végétaux et qui, passés à l'état assimilable, seront prélevés par les racines. Cet apport est réalisé pour compenser une carence du sol et accroître la production du peuplement.

**Fertilité d'un sol** : ensemble des paramètres physiques, chimiques et biologiques déterminant l'aptitude d'un sol à soutenir une production. La fertilité d'un sol n'est pas une donnée statique, mais résulte d'une somme de mécanismes dans lesquels la plante intervient largement. La fertilité chimique est liée aux éléments nutritifs contenus dans le sol. On distingue la fertilité actuelle ou instantanée (quantité d'éléments réellement disponibles dans le sol) et la fertilité à moyen et long termes (liée à l'altération des réserves primaires du sol).

**Granulométrie** : composition pondérale d'un sol selon différentes classes de tailles de particules, constituant une échelle.

**Horizon** : couche élémentaire d'un sol, d'épaisseur variable (quelques centimètres à quelques décimètres), plus ou moins parallèle à la surface du sol.

> N : Azote - P : phosphore - CA : calcium - Mg : Magnésium - S : soufre  
Fe : Fer - Mn : Manganèse - Cu : cuivre - Zn : zinc - B : bore - Mo : molybdène

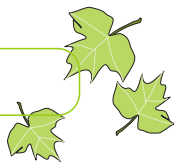


## Description des horizons d'un sol\*

	OL	Horizons organiques* (nombre variable)	"Humus"
	OF		
	OH		
	A	Horizon d'incorporation de la matière organique	<b>Horizons de diagnostic</b>
	Bw, E, B	Horizons (minéraux le plus souvent) d'altération en place (Bw), éluviaux (E) ou illuviaux B	
	BC	Horizons de transition	
	C	Horizons minéraux de profondeur	
	R		Roche-mère peu altérée, dure siliceuse (1) ou calcaire (2)

\* **Horizon OL** : litière de feuilles ou aiguilles ;  
**Horizon OF** : couche de fragmentation des feuilles par la faune ;  
**Horizon OH** : couche d'humification (transformation des fragments par la microfaune, les champignons, les bactéries).





**Horizon de diagnostic** : horizon de mi-profondeur (de type E ou B) situés sous les horizons superficiels du sol, caractérisant le type d'évolution ou pédogénèse à l'origine de la formation du sol.

**Humus** : ensemble des horizons de surface d'un sol, organiques O et organo-minéraux A, marquant l'incorporation au sol minéral des retombées organiques (feuilles et racines). Dans un sens chimique, désigne la fraction organique fine et colloïdale d'un sol, correspondant à une grande variété de molécules (préférer alors le terme de " substances humiques ").

**Niveau trophique** : concept empirique définissant un niveau de richesse en éléments minéraux, qui peut – à défaut d'analyses de laboratoire – être estimé par l'acidité de l'horizon A ou la morphologie de l'humus, voire la flore indicatrice.

**pH** : variable chimique définissant l'acidité, pouvant être mesuré avec plusieurs procédés. Dans la plupart des horizons, le pH prend des valeurs comprises entre 3 et 9.

**Rémanents** : résidus d'exploitation forestière, constitués des branches et feuillages, en général non récoltés et restant sur le parterre de la coupe.

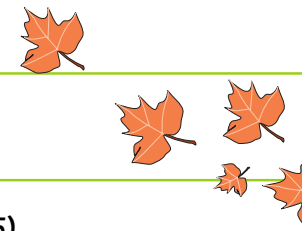
**Révolution** : cycle de vie d'un peuplement forestier, compris entre la plantation ou la régénération naturelle et son âge maximum d'exploitation, incluant les travaux d'entretien du jeune peuplement puis les différentes éclaircies.

**Roche-mère** : désigne la roche qui a donné naissance par altération et pédogénèse au sol sus-jacent. Correspond à l'horizon R (roche-mère peu altérée) et l'horizon C (roche en cours d'altération). Synonyme : matériau parental.

**Terre fine** : fraction (essentiellement minérale) du sol, constituée de particules inférieures à 2 mm (excluant donc la charge grossière).

**Texture** : composition granulométrique simplifiée d'un sol, pouvant être appréciée par des critères de terrain, visuels et/ou tactiles.

## Pour en savoir plus



**Association Française pour l'Etude des Sols (1995)**.  
Référentiel pédologique. INRA, 332 p.

**BAIZE D., JABIOL B. (1995)**. Guide pour la description des sols.  
INRA, 375 p.

**BONNEAU M. (1995)**. Fertilisation des forêts dans les pays tempérés.  
Théorie, bases du diagnostic, conseils pratiques, réalisations expérimentales.  
ENGREF (éd.), 367 p.

**BONNEAU M., RANGER J. (1999)**. Evolution de la fertilité chimique des sols forestiers - Recommandations pour une gestion durable. La Forêt Privée, n°247, pp 51-65.

**CACOT E., CHARNET F., RANGER J., VIEBAN S., EISNER N. (2003)**.  
Etude de l'impact du prélèvement des rémanents en forêt - Rapport final.  
AFOCEL, 72 p + annexes.

**CACOT E., CHARNET F., RANGER J., VIEBAN S. (2004)**.  
Impact du prélèvement des rémanents en forêt. Fiche Informations-Forêt n°686,  
AFOCEL, 6 p.

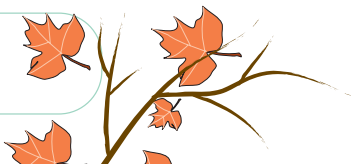
**JABIOL B., BRETHERS A., PONGE J.-F., TOUTAIN F., BRUN J.-J. (1995)**.  
L'humus sous toutes ses formes. ENGREF (éd.), 63 p.

**LAURIER J.-P., POUET J.-C., BALLAIRE P. (1999)**. Bois énergie :  
le déchetage en forêt. ADEME, Collection "Connaître pour agir", 99 p.

**RAMEAU J.-C., MANSION D., DUME G. (1989)**. Flore forestière française – Tome 1 : Plaines et collines. IDF, 1785 p.

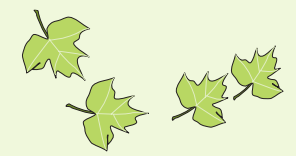
### Pour en savoir davantage

Contactez **Emmanuel CACOT, AFOCEL Centre Ouest**  
Domaine des Vaseix, 87430 VERNEUIL sur VIENNE  
Tél. 05 55 48 48 10 - Fax : 05 55 48 48 19  
Courriel : centreouest@afocel.fr

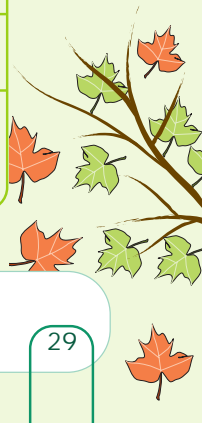


# Annexe 1

## Clé de détermination des humus



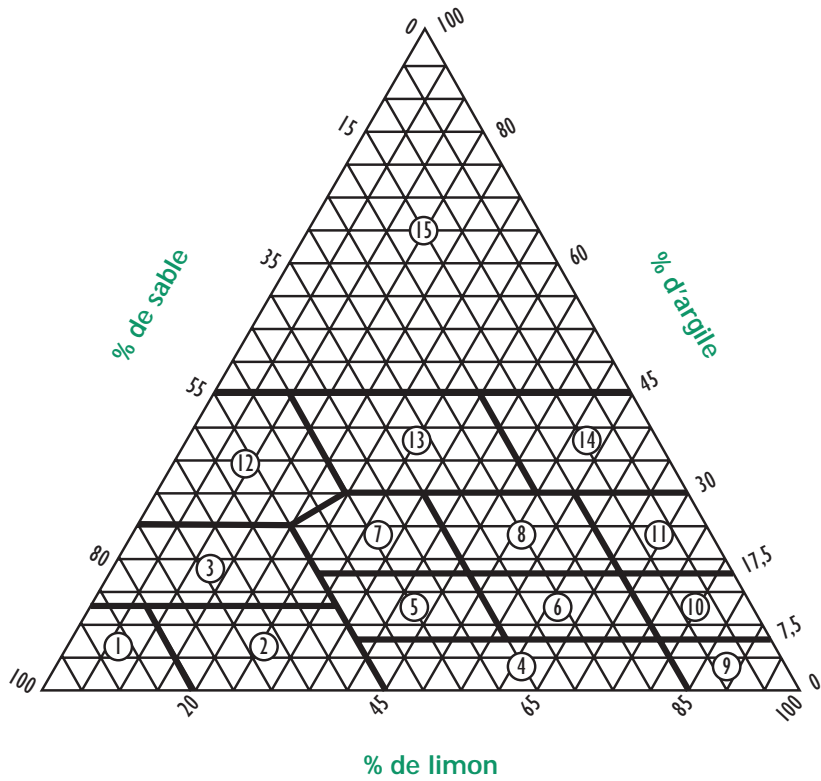
Critères de diagnostic morphologique			Type d'humus
Présence d'une couche de fragmentation OF continue (ensemble des couches organiques faisant plusieurs cm d'épaisseur)  pH en A $\leq$ 4,5  <b>groupe des MODER et des MOR</b>	Couche OM fibreuse sous OF ; transition brutale avec A ; humus très épais		<b>MOR</b>
	Couche OH noirâtre de matière organique fine, continue ; transition graduelle avec A (souvent peu épais)	Couche OH > 1 cm	<b>DYSMODER</b>
		Couche OH < 1 cm	<b>MODER</b>
	Couche OH discontinue, voire absente		<b>MULL-MODER</b>
Absence de couche de fragmentation OF continue (litière peu épaisse, discontinue ou absente)  Horizon A structuré, à pH > 4,5  <b>groupe des MULL</b>	Litière OL continue, évoluée - brunie à la base	(Souvent, quelques plages de OF sur A)	<b>MULL OLIGOTROPHE</b>
	Litière généralement discontinue ou absente, constituée exclusivement de feuilles de l'année Horizon A ne faisant pas effervescence à HCl dilué ; pH < 7	Litière à recouvrement $\approx$ 50 % ; 5 < pH en A < 6	<b>MULL MESOTROPHE</b>
		Litière quasi absente ; pH dans l'horizon A $\leq$ 6	<b>MULL EUTROPHE</b>
		pH en A $\geq$ 6,5	<b>MULL CALCIQUE</b>
Litière variable ; horizon A faisant effervescence à HCl dilué ; pH $\geq$ 7	(A foncé riche en carbone, souvent épais)	<b>MULL CARBONATE</b>	





# Annexe 2

## Triangle simplifié des textures



Equivalence du tableau 1 avec les 15 familles de textures

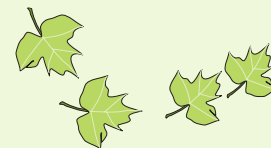
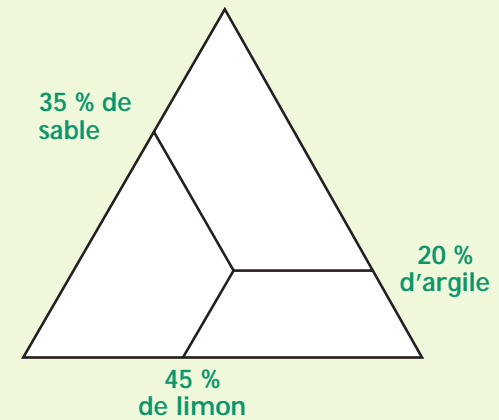
- Pôle **Sableux** : 1 à 3
- Pôle **Limoneux** : 4 à 11
- Pôle **Argileux** : 12 à 15

## Principe de l'abaque granulométrique triangulaire

A tout point situé à l'intérieur du triangle correspond une proportion définie des 3 éléments : **sables**, **limons**, **argiles**, dont la somme, constante, est égale à 100.

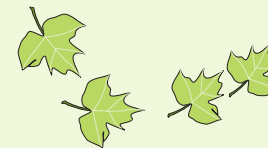
On peut figurer sur le triangle des domaines granulométriques correspondant à certaines proportions types : ce sont les classes de texture.

### Exemple de lecture



# Annexe 3

## Grille de détermination des niveaux trophiques



Dénomination	HYPER-ACIDE	ACIDE	MOYENNEMENT ACIDE	FAIBLEMENT ACIDE	MESOTROPHE	EUTROPHE	CALCIQUE	CALCAIRE
Symbole	AA	A	MA	(A)	MN	N	C	CC
Types d'humus <sup>(a)</sup>	Dysmoder Mor	Moder	Mull-moder Dysmull	Mull oligotrophe	Mull mésotrophe	Mull eutrophe	Mull calcique	Mull carbonaté
Critère de l'humus diagnostic	Couche OH > 2 cm ou couche OM	Couche OH (0-2 cm)	Couche OF complète	Couche OL complète	Couche OL incomplète	Couche OL disparue A structuré épais	Pas d'effervescence à HCl dans horizon A	Effervescence HCl dans horizon A
pH de l'horizon A	< 4	] 4 -4,5 ]	] 4,5 -5 [	] 5 -5,5 [	] 5,5 -6 [	] 6 - 6,5 [	] 6,5 -7 [	> 7
Horizon(s) de diagnostic <sup>(b)</sup>	Bh et/ou Bs et parfois E	Bw, Bt ou Bs	Bw ou Bt		Bw		Bw et/ou B3Ca	A, R
Groupes écologiques <sup>(c)</sup>								
Acidiphiles des dysmoder et mor								
Acidiphiles du moder								
Acidiphiles large amplitude								
Acidiclinales mull oligo et méso								
Neutronitroclines + large amplitude								
Neuroclines Large amplitude								
Neutrocalcicoles et calciclinales								
Calcaricoles et calcicoles								



Couleurs obtenues lors de la détermination du pH avec un pHmètre colorimétrique, dans l'horizon A

- > (a) Cf. Annexe 1 pour déterminer le type d'humus
- > (b) Horizons de diagnostic : vers 30/40 cm, nomenclature FAO
- > (c) Groupes écologiques : Flore Forestière Française, tome 1

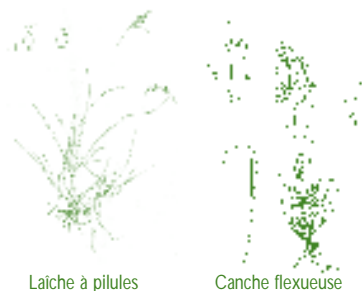
### Groupe Hyperacidiphiles du dysmoder – mor

Callune (*Calluna vulgaris*)  
Myrtille (*Vaccinium myrtillus*)  
Leucobryum glauque (*Leucobryum glaucum*)  
Hypne de Schreber (*Pleurozium schreberi*)



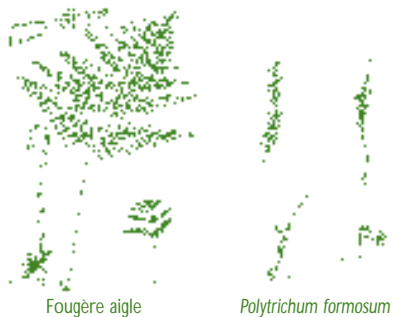
### Groupe Acidiphiles du moder

Ajonc nain (*Ulex minor*)  
Laïche à pilules (*Carex pilulifera*)  
Canche flexueuse (*Deschampsia flexuosa*)  
Melampyre des prés (*Melampyrum pratense*)  
Dicrane en balai (*Dicranum scoparium*)



### Groupe Acidiphiles large amplitude

Houx (*Ilex aquifolium*)  
Ajonc d'Europe (*Ulex europaeus*)  
Néflier (*Mespilus germanica*)  
Fougère aigle (*Pteridium aquilinum*)  
Polytric élégant (*Polytrichum formosum*)



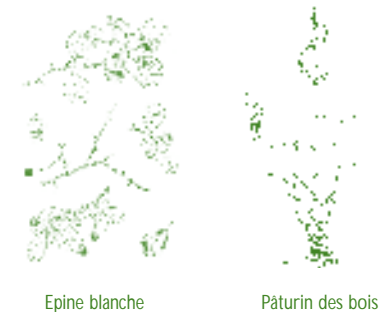
### Groupe Acidiclines du mull oligotrophe

Ronce commune (*Rubus gpe fruticosus*)  
Luzule poilue (*Luzula pilosa*)  
Luzule de Forster (*Luzula forsteri*)  
Oxalis petite-oseille (*Oxalis acetosella*)  
Moehringie à trois nervures (*Moehringia trinervia*)  
Atrichie ondulée (*Atrichum undulatum*)



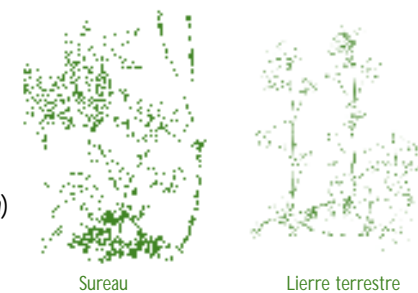
### Groupe Neutroclines

Merisier (*Prunus avium*)  
Epine blanche (*Crataegus laevigata*)  
Rosier des champs (*Rosa arvensis*)  
Pâturin des bois (*Poa nemoralis*)  
Sceau de Salomon multiflore (*Polygonatum multiflorum*)



### Groupe Neutronitroclines et neutronitrophiles

Sureau (*Sambucus nigra*)  
Ortie dioïque (*Urtica dioica*)  
Epière des bois (*Stachys sylvatica*)  
Lierre terrestre (*Glechoma hederacea*)  
Gouet tacheté (*Arum maculatum*)



### Groupe Neurocalciques et calciclins

Erable champêtre (*Acer campestre*)  
Troène commun (*Ligustrum vulgare*)  
Fusain d'Europe (*Euonymus europaeus*)  
Cornouiller sanguin (*Cornus sanguinea*)  
Brachypode des bois (*Brachypodium  
sylvaticum*)



Erable champêtre



Troène commun

### Groupe Calcaricoles et calcicoles

Rosier des champs (*Rosa canina*)  
Camerisier à balais (*Lonicera xylosteum*)  
Viorne lantane (*Viburnum lantana*)  
Mercuriale pérenne (*Mercurialis perennis*)  
Hellebore fétide (*Helleborus foetidus*)  
Grémil bleu-pourpe (*Buglossoides  
purpocerulea*)



Viorne lantane



Mercuriale pérenne

### Remarques

- Cette liste est très largement inspirée des groupes écologiques de la Flore Forestière Française > tome 1, Cf. Pour en savoir plus, page 27 avec quelques adaptations mineures.
- Les espèces à aire réduite, ou liées à des milieux extrêmes (très secs ou très humides) ont été écartées.



Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droits ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (Art L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (Art L 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relative à la reproduction par reprographie.

© ADEME Editions, avril 2006.  
ISBN 978 - 2 - 86817 - 834 - 6  
Crédit photo : AFOCEL, UCFF

