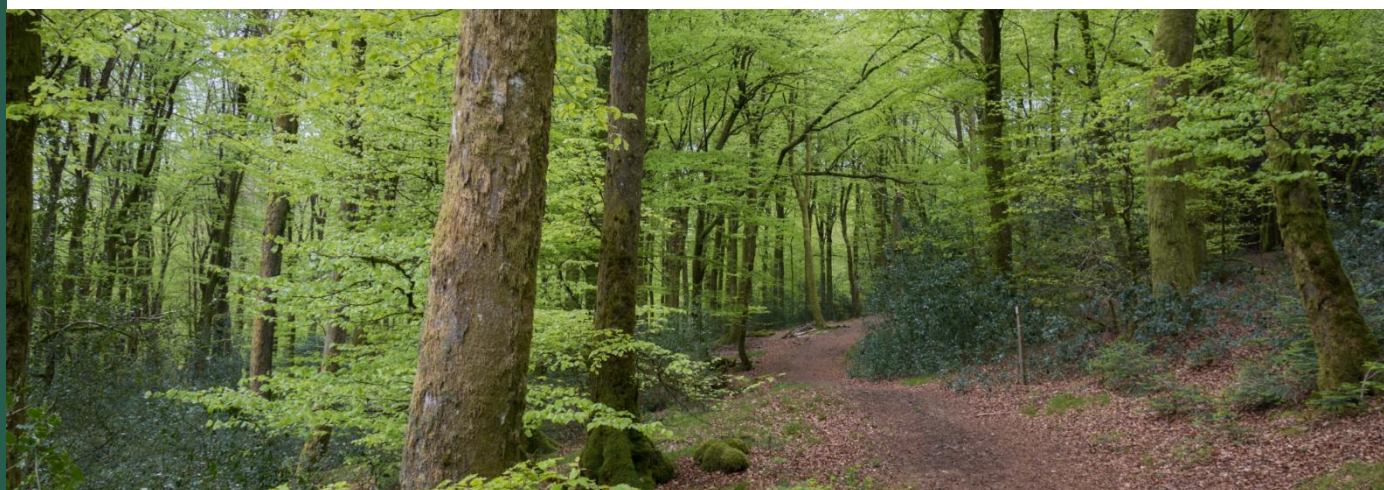




*Révision du référentiel de gestion forestière FSC®
France métropolitaine*

SYNTHÈSE TECHNIQUE ET SCIENTIFIQUE



Juillet 2021

Avertissement

FSC France n'est pas une organisation scientifique, cette synthèse n'est donc pas à considérer comme une publication scientifique mais bien une synthèse des réponses apportées à nos questions par un échantillon d'experts techniques et scientifiques.

Ces experts et scientifiques ont été sélectionnés avec une diversité de profils, représentant différents points de vue sur la gestion forestière. Ce panel reste un échantillon, pouvant être considéré comme imparfait, mais permet de faire état des controverses scientifiques et d'identifier le niveau de convergence et de divergence sur les différents sujets au sein du panel.

Cette synthèse ne prétend pas atteindre l'exhaustivité des références bibliographiques et des points de vue, mais permet de rassembler des éléments sur les connaissances disponibles concernant ces sujets, et de faire un premier état des lieux de la transcription de ces connaissances en recommandations pratiques pour les gestionnaires forestiers.

Les chiffres et affirmations citées sont extraites des entretiens réalisés avec les personnes interrogées et ne représentent pas la position de FSC France sur les différents sujets.

Les experts interrogés s'expriment en leur nom propre et pas au nom de la structure à laquelle ils sont rattachés.

Plan du document

1. Introduction.....	1
1. Le processus de révision	1
2. La synthèse technique et scientifique.....	2
2. Risques liés aux changements climatiques	3
1. Adaptation des forêts et capacité de production de bois.....	3
2. S’orienter vers des peuplements mélangés : une mise en œuvre à réfléchir	4
3. Quelles essences choisir pour les forêts de demain ?	4
3.1. Accompagner la régénération naturelle	4
3.2. Améliorer le potentiel génétique des essences en place	5
3.3. Introduire de nouvelles essences	6
<i>Risque génétique.....</i>	<i>6</i>
<i>Potentiel économique</i>	<i>6</i>
<i>Risque sanitaire.....</i>	<i>6</i>
<i>Potentiels et risques biologiques.....</i>	<i>6</i>
4. Quels itinéraires sylvicoles préconiser ?	8
<i>Diversifier pour réduire les risques.....</i>	<i>8</i>
<i>La pratique des éclaircies : un atout pour améliorer la disponibilité en eau ?.....</i>	<i>8</i>
5. Références.....	9
3. Impacts des pratiques sylvicoles « intensives »	10
1. L’importance de la préservation des sols forestiers	10
1.1. Diagnostiquer le sol pour prévoir au mieux ses itinéraires sylvicoles	10
1.2. Préserver la fertilité des sols.....	10
<i>Encadrer la récolte des rémanents</i>	<i>10</i>
<i>Les peuplements pauvres sur sols sensibles.....</i>	<i>11</i>
1.3. Préserver la structure des sols.....	11
<i>L’ouverture des cloisonnements : une étape indispensable avant toute exploitation</i>	<i>11</i>
<i>Raisonner les travaux du sol</i>	<i>11</i>
2. Coupes rases	13
3. Références.....	13
4. Bilan des recommandations pratiques et du niveau de convergence des avis	14

1. Introduction

1. Le processus de révision

Cette synthèse s'inscrit dans le processus de révision du référentiel de gestion forestière FSC.

Après trois ans de mise en œuvre de l'actuel référentiel, le Conseil d'Administration de FSC France a décidé de lancer une révision partielle du référentiel pour les forêts métropolitaines avec comme objectifs de :

- 1) Refléter les évolutions, tant climatiques et sociétales, qui redéfinissent la sylviculture d'aujourd'hui et de demain ;
- 2) Améliorer le ratio coût-bénéfice de FSC et faciliter l'accès des gestionnaires et propriétaires pour stimuler le développement de surfaces et la mise sur le marché de bois certifiés FSC en France ;
- 3) Prendre en compte les évolutions du cadre FSC international.

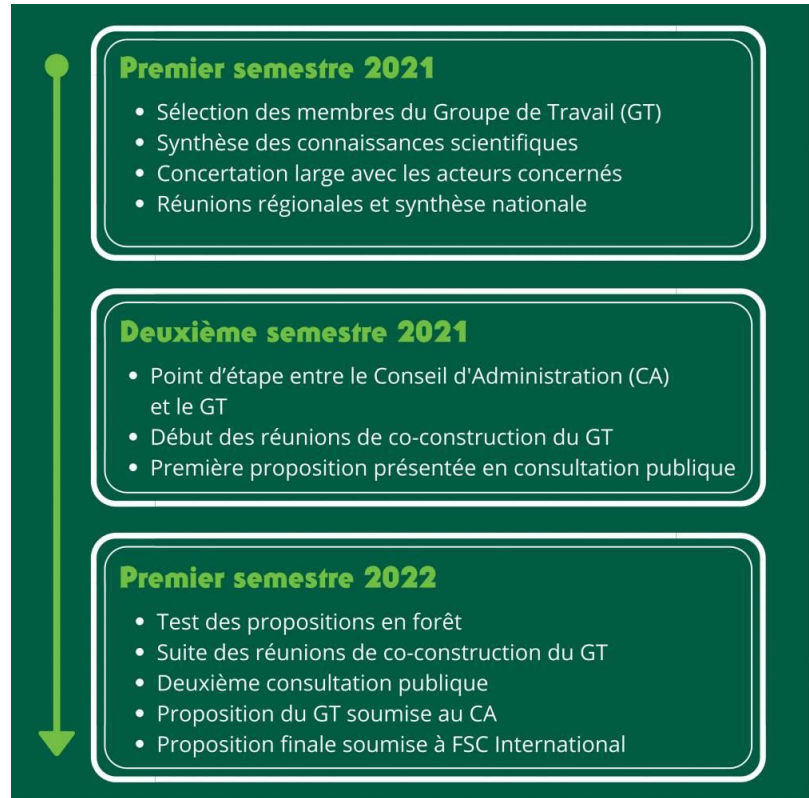
C'est pour atteindre ces objectifs, que

FSC France a initié ce travail de synthèse. Dans le même temps, l'association a engagé des activités de concertation avec les parties prenantes de la forêt et de la filière autour des thématiques suivantes :

- **Adaptation des sylvicultures** : Comment mieux prendre en compte les impacts des changements climatiques sur les peuplements et sur la conservation de la biodiversité dans le cadre des règles FSC en France ?
- **Amélioration des indicateurs encadrant les pratiques de gestion « intensives »** (coupes rases, limitation de l'usage des pesticides, protection des sols, extraction des rémanents) : Ces sujets sont de plus en plus sensibles dans la société, et certains sont également des enjeux croissants pour les forestiers. Il est pertinent de renforcer et/ou clarifier leur prise en compte.
- **Accessibilité à la certification FSC** : Quelles adaptations du référentiel et quels mécanismes de mise en œuvre peuvent être proposés pour améliorer le ratio coûts-bénéfices de la certification FSC et faciliter l'accès des propriétaires de petites forêts à la certification ?

Les conclusions de ces échanges serviront de base à un [Groupe de Travail dédié \(GT\)](#) pour co-construire une proposition d'indicateurs qui viendront remplacer ou modifier une partie des indicateurs existants du référentiel.

Cette proposition d'indicateurs sera discutée avec les parties prenantes lors de deux consultations publiques, et testée en forêt par des gestionnaires certifiés et des auditeurs. Le Conseil d'administration évaluera ensuite sa conformité avec les objectifs de la révision avant que FSC International n'intervienne pour une évaluation finale afin de vérifier sa cohérence avec le cadre international de FSC (les Principes et Critères).



Chronologie du processus de révision

2. La synthèse technique et scientifique

L'objectif de cette synthèse est de rassembler différents points de vue d'experts scientifiques et techniques sur deux des sujets mentionnés ci-dessus :

- Comment mieux prendre en compte les impacts des changements climatiques sur les peuplements et sur la conservation de la biodiversité dans le cadre des règles FSC en France ?
- Comment améliorer les indicateurs encadrant les pratiques de gestion « intensives » ?

Elle ne vise pas l'exhaustivité ni des références bibliographiques, ni des points de vue, mais permet de rassembler de premiers éléments sur les connaissances disponibles concernant ces sujets, et d'avoir un premier état des lieux des convergences/divergences sur la transcription de ces connaissances en recommandations pratiques pour les gestionnaires forestiers.

Une liste d'experts a été élaborée en fonction de leur domaine de spécialité, essayant d'avoir un équilibre des points de vue évalués d'après leurs publications. 23 experts et scientifiques ont été contactés, 20 ont accepté de répondre à nos questions (cf. tableau 1).

Tableau 1. Liste des experts ayant répondu à notre demande d'entretien

Prénom	Nom	Structure
Laurent	Augusto	INRAE
Michel	Bartoli	retraité
Emmanuel	Cacot	ex FCBA/Unisylva
Christine	Deleuze	ONF
Gaëtan	Du Bus de Warnaffe	Arbre et bois conseil
Meriem	Fournier	INRAE
Thierry	Gauquelin	IMBE
Marion	Gosselin	INRAE
Hervé	Jactel	INRAE
Guy	Landmann	GIP Ecofor
Noémie	Pousse	ONF
Jacques	Ranger	INRAE
Christophe	Bouget	INRAE
Bernard	Boutte	DSF
Jean-François	Dhôte	INRAE
Alexis	Ducousso	INRAE
Bruno	Fady	INRAE
Brigitte	Musch	ONF/INRAE
Yoan	Paillet	INRAE
Georges	Pottecher	Forestys

Les entretiens, d'une heure, se sont déroulés entre février et mars 2021 par téléphone. Les échanges s'appuyaient sur un document envoyé au préalable, présentant les exigences FSC et les questions à discuter en fonction du ou des sujets concernés. Seule une personne a répondu par écrit.

Sur la base des comptes-rendus individuels d'entretien rédigés à la suite de ces entretiens, et de la réponse reçue par mail, cette synthèse a été construite en tenant compte de l'ensemble des avis exprimés. Le plan reprend les idées principales qui sont ressorties.

À la fin de chaque partie, un tableau résume les principales recommandations qui ont été formulés, ainsi que le niveau de convergence/divergence de l'ensemble des experts interrogés pour chacune de ces recommandations. Cette synthèse a enfin fait l'objet d'une relecture par chacun des experts contactés, qui ont pu modifier/corriger/compléter certains points pour aboutir à cette version finale.

2. Risques liés aux changements climatiques

1. Adaptation des forêts et capacité de production de bois

Ces 40 dernières années en France, les zones climatiques (définies par les températures et précipitations moyennes) de plaine migrent vers le nord en moyenne de 5 à 10 km par an. Les distances de migration des essences sont variables et sont à considérer avec précaution, mais elles sont en moyenne de 500 m à 1-2 km par an. Les essences actuelles ne seront donc plus en station d'ici 40 à 50 ans, ou parfois encore plus rapidement. Ce constat, valable à l'échelle nationale, est à nuancer. La résilience d'une essence, isolée de son écosystème peut être très différente si elle est considérée comme un des éléments constitutifs de l'écosystème forestier : la résilience de l'ensemble des espèces et interactions qui le constitue est supérieure aux résiliences individuelles des essences et espèces qui le compose. De plus, l'échelle nationale n'est pas toujours représentative de ce qui se passe à des échelles locales. Les modifications climatiques peuvent être moindres. Le potentiel génétique des essences en place peut être suffisant pour leur permettre de s'adapter aux changements climatiques, et les essences thermophiles auront également plus de place pour s'exprimer. Enfin, ces chiffres ne sont valables qu'en plaine : en montagne la vélocité du changement climatique est plus lente, les changements d'habitats s'effectuant sur une plus courte distance horizontale.

En dépit de ces considérations, la rapidité de la modification du climat face à des processus adaptatifs plus longs risque d'engendrer une perte de production importante, ou tout au moins un remplacement des essences en place par des essences potentiellement économiquement moins intéressantes pour leur production de bois. La filière bois sera affectée, tout comme la biodiversité, ainsi que les services rendus par les écosystèmes forestiers.

La hausse des températures et la diminution des précipitations entraînent des effets indirects qui pourraient avoir localement des effets plus dramatiques :

- L'augmentation du risque incendie, qui ne se limite plus à la région méditerranéenne, et notamment l'augmentation du risque de méga-feux comme constaté dans d'autres pays (Portugal, Australie),
- L'augmentation des risques liés aux ravageurs et pathogènes. Ils se sont adaptés beaucoup plus vite que les arbres et des dépérissements massifs peuvent déjà être observés un peu partout dans le monde (cf. Europe, Colombie Britannique).

Les gestionnaires et propriétaires forestiers doivent-ils donc agir pour anticiper ces changements, ou laisser faire la nature ? La réponse la plus pragmatique est économique : le gestionnaire forestier devrait intervenir quand la perte économique n'est plus acceptable pour le propriétaire, ou que les dégâts aux peuplements sont tels qu'ils mettent en péril la filière bois. Des dépérissements trop importants auraient pour conséquence d'augmenter nos importations, et donc la pression sur d'autres forêts, ce qui est fortement susceptible d'augmenter la déforestation importée.

Les connaissances sont partielles, le recul très faible, mais il existe néanmoins des résultats d'expérimentations scientifiques, d'observations de terrain sur lesquels on peut s'appuyer pour formuler quelques constats et recommandations.

2. S'orienter vers des peuplements mélangés : une mise en œuvre à réfléchir

Augmenter la richesse en essences d'un peuplement forestier, si les essences sont bien en station, semble être favorable tant d'un point de vue économique qu'environnemental. Les associations d'essences rendent souvent les peuplements plus résistants, plus productifs, plus stables. La gestion du mélange d'essences pose néanmoins des questions de mise en œuvre indéniables.

Tout d'abord, l'échelle à laquelle la richesse en essences est favorisée est à bien réfléchir d'un point de vue technique et économique. L'échelle de la parcelle offre un maximum d'efficacité sur le risque sanitaire. 20 à 60 % de dégâts en moins liés aux pathogènes ont été observés dans les peuplements mélangés, notamment grâce à l'augmentation de la quantité/diversité des bactéries et champignons du sol toxiques pour les pourridiés racinaires, ainsi que celles des prédateurs et parasites des ravageurs et pathogènes.

Ensuite, gérer des essences en mélange augmente la concurrence, les vitesses de croissance juvénile, et il faut être vigilant pour ne pas éliminer les essences que l'on a définies comme objectifs de production. Mélanger les essences permet d'avoir une complémentarité des exigences/niches. L'échelle paysage n'est donc pas à négliger non plus.

Pour limiter ces questions de concurrence ou d'élimination d'une essence, il est possible :

- De définir une seule essence (par exemple résineuse) comme objectif de production, l'autre (les autres, par exemple feuillus) ne servant qu'à l'accompagner/la protéger, favoriser la biodiversité,
- De définir deux (ou plus) essences comme objectifs de production, en utilisant des essences feuillues pionnières qui auront une croissance rapide et un intérêt économique.

Le mélange peut se gérer de plusieurs façons et à plusieurs moments de l'itinéraire sylvicole, lors de la plantation, par regarnis dans une régénération naturelle incomplète ou en favorisant les essences secondaires lors des dégagements/dépressages. L'ONF expérimente par exemple les méthodes suivantes :

- par points d'appui dans différentes parcelles à l'échelle d'un massif (visé à enrichir à faible densité et/ou travaux extensifs)
- en plantation par placeaux dans une régénération naturelle (visé à introduire dans 15 à 30 placeaux par hectare des essences résistantes aux futures conditions)
- en plantation en plein (visé au moment du renouvellement à changer l'essence déperissante en mettant en place un mélange d'essences)

Les résultats observés sont similaires vis-à-vis du risque sanitaire, mais ils sont très variables au niveau de la production. Parfois le mélange est très bénéfique pour toutes les essences, parfois seulement à l'une ou une partie d'entre elles en fonction de l'écologie des essences et de la fertilité de la station.

Reste à savoir quelles essences sont à utiliser dans ces peuplements mélangés.

3. Quelles essences choisir pour les forêts de demain ?

3.1. Accompagner la régénération naturelle

Les capacités d'adaptation des essences actuelles sont mal connues et sans doute négligées. Il y a une grande variabilité génétique au sein d'une même espèce. À l'échelle de chaque station, il est possible de conserver les semenciers poussant dans les conditions les plus difficiles (ex. haut de doline) ; de sélectionner les individus qui poussent le moins vite, plus aptes à résister à un manque d'eau, à des températures plus élevées sur le long terme, tout en fournissant un bois de qualité est une première option.

Ces processus de sélection naturelle peuvent néanmoins ne pas être assez rapides au vu des évolutions climatiques en cours pour permettre de maintenir des peuplements productifs, notamment en plaine. Un diagnostic réalisé selon le protocole DEPERIS du DSF et/ou la méthode ARCHI du CNPF (voir encadré) permet d'évaluer le dépérissement du peuplement ainsi que son potentiel de résilience. L'intervention du gestionnaire est guidée par le choix du propriétaire. Celui-ci évalue les pertes économiques constatées ou possibles et fait un choix personnel quant à la prise de risque qu'il est prêt à prendre.

Méthode ARCHI et protocole DEPERIS

La méthode ARCHI a été développée suite à la thèse de Christophe Drénou, aux travaux de Francis Hallé et du CIRAD de Montpellier, sur l'architecture des arbres. Elle a été mise au point en évaluant la capacité de reprise d'arbres dépérissants dans le passé. Elle se base sur le relevé des gourmands (qualifiés de suppléants) selon une clé de détermination assez complexe à mettre en œuvre. Elle a pour objectif de faire un pronostic sur l'état futur d'un arbre qui peut être actuellement dépérissant.

Elle est en cela complémentaire au protocole DEPERIS qui évalue lui l'état sanitaire d'un arbre à un instant T en fonction de l'état du houppier : on considère comme dépérissant un arbre qui présente un déficit foliaire (dû à un manque d'aiguilles/ feuilles, un manque de ramifications et/ou à la mortalité de branches) au moins égal à 50%. On pourrait ainsi utiliser la méthode ARCHI après une évaluation DEPERIS pour savoir quels arbres résilients il serait utile de conserver.

Cette méthode a été construite à partir d'observations passées, et **on ne peut donc actuellement préjuger que la croissance constatée des résilients se maintiendra dans le futur**. Des notations sont en cours sur le réseau de placettes de suivi de la santé des forêts géré par le DSF pour permettre de valider la méthode.

3.2. Améliorer le potentiel génétique des essences en place

Le choix d'introduire des provenances différentes d'une essence en place n'est pas souvent fait. Or si la diversité intraspécifique d'une essence est grande, celle de sa régénération le sera d'autant plus et les capacités d'adaptation du peuplement aux changements climatiques seront maximisées. L'amélioration du potentiel génétique des essences en place passe par :

- Des semis de graines sélectionnées pour leur capacités de résistance à la sécheresse. Il y a actuellement un manque de disponibilité de graines.
- Constituer des mélanges de plants issus de régions de provenance variées et de mélanges de peuplements classés d'une même région de provenances (voir les fiches MFR du MAA) pour une essence donnée.
- Conserver un minimum 50 à 60 semenciers par hectare, quel que soit le traitement sylvicole choisi, pour favoriser la diversité génétique locale. Si cette densité est trop importante, raisonner en pourcentage de la densité finale objective (10-20 %).

Si en dépit de ces mesures, les dépérissements restent trop conséquents, il devient nécessaire de changer d'essence objectif en favorisant la régénération naturelle ou en introduisant de nouvelles essences dans le peuplement pour maintenir un peuplement productif.

3.3. Introduire de nouvelles essences

Ce choix n'est pas neutre par rapport à la biodiversité de l'écosystème forestier. Outre le diagnostic sur le dépérissement du peuplement (cf. 3.1), faire un diagnostic des enjeux environnementaux avant toute introduction de nouvelle essence est un préalable majeur. Le choix de l'essence à introduire est à réfléchir sur la base de critères économiques, pratiques, sociaux et environnementaux. Des outils existent pour connaître la comptabilité climatique des essences (Climesse) ou évaluer le potentiel d'adaptation de l'essence à la station, à la fois avec climat actuel et le climat futur attendu (Bioclimsol). Les autres critères sont passés en revue ci-après.

Risque génétique

L'introduction de nouveaux géotypes pourrait conduire à des hybridations affectant le patrimoine génétique des essences en place. Elle est ainsi à proscrire impérativement au sein des Unités de conservation de la CRGF ou des boisements porte-graines et à proximité (entre 500 m et 1 km). Il convient aussi d'exclure ces introductions des espaces réglementairement protégés (assortis d'une zone tampon), qui ont pour objectifs de préserver des ressources génétiques particulières.

Potentiel économique

L'introduction de nouvelles essences est un choix principalement économique. L'essence introduite a donc nécessairement un intérêt en termes de production de bois. Les débouchés et marchés ne sont pas un critère décisif puisque la chaîne de transformation peut s'adapter à de nouvelles essences. En revanche, le volume potentiel à l'hectare et les qualités mécaniques des nouvelles essences devraient être au moins équivalent aux essences actuellement en place.

Risque sanitaire

Certaines introductions d'essences ont donné lieu à des catastrophes sanitaires comme la chalarose faisant suite à l'introduction du frêne de Mandchourie. Le risque sanitaire est donc un paramètre clé à prendre en compte dans le choix des essences plantées. Le frêne, l'épicéa, le chêne rouge ou le châtaignier sont par exemple à utiliser avec précaution relativement aux risques chalarose, scolyte ou encre.

Potentiels et risques biologiques

Le fait d'introduire une nouvelle espèce va forcément influencer sur tous les taxons associés directement aux arbres, qu'ils utilisent comme support (épiphytes comme les lichens et bryophytes par exemple, mais aussi insectes phytophages), ainsi que la litière, et donc les organismes du sol. Certaines de ces espèces, endémiques (et encore mal connues), pourraient disparaître. Ces modifications perturbent les chaînes trophiques, et ont ainsi un impact sur tout l'écosystème, parfois irrémédiable. Toutefois, il faut avoir en tête une comparaison des risques. Le risque d'introduire une nouvelle espèce est-il plus ou moins grave que les autres ?

Certaines essences sont plus favorables à la biodiversité forestière que d'autres. Ces potentialités peuvent s'évaluer selon une note écologique, définie par Branquart *et al.* en 2005 en Belgique. On manque toutefois de données plus larges et actualisées pour mettre cette note en pratique. La biodiversité est susceptible de mieux s'adapter à des essences indigènes à l'échelle nationale, ou introduites il y a plusieurs siècles sur le territoire français (châtaignier, cèdre, robinier voire douglas par exemple) parce qu'elle a co-évolué avec.

La proximité de l'essence introduite vis-à-vis de l'essence en place est un facteur d'atténuation des risques pour la biodiversité. Cette proximité peut être géographique : moins la distance entre l'aire de répartition actuelle de l'essence introduite et la station où elle va être plantée est grande, plus les risques environnementaux (dont le risque sanitaire) seront réduits. Le risque d'invasion par des espèces exotiques introduites est à surveiller tout particulièrement. Pour argumenter ses choix, le gestionnaire pourrait également s'appuyer sur la surface nationale déjà couverte par l'essence qu'il souhaite introduire dans sa forêt. Si elle est importante on peut supposer que l'on a déjà un bon retour d'expérience. L'adaptation des forêts françaises peut donc se faire en accélérant la migration naturelle des essences (migration assistée),

dont la diversité est importante en France. Il est moins impactant d'introduire des essences déjà présentes sur notre territoire, ou a minima notre continent, comme les sapins méditerranéens, que des espèces plus lointaines comme le pin de Weymouth.

La proximité peut aussi être génétique : plus l'essence introduite sera génétiquement proche de l'essence (ou des essences) en place, plus les risques environnementaux seront réduits. Il est ainsi moins impactant pour la biodiversité d'introduire une essence du même genre (par exemple pin maritime à la place du pin sylvestre, chêne pubescent à la place du chêne sessile ou pédonculé).

L'introduction d'une essence en forêt ne présentera pas le même risque selon la qualité de l'habitat dans lequel elle s'inscrit, et la manière selon laquelle elle est plantée. Le diagnostic environnemental s'intéresse à la forêt concernée et à la matrice avoisinant la plantation prévue. Il faut ainsi tenir compte de :

- La connectivité des habitats permettant la dispersion des espèces, notamment les populations d'espèces pollinisatrices et qui dispersent les graines, ce qui permettra d'assurer les flux de semences,
- La présence ou la proximité d'habitats ou d'espèces à haute valeur de conservation (tels que définis dans le référentiel FSC, y compris la conservation génétique).
- La présence de forêts anciennes de grande surface (> 1000 ha), qui présentent souvent des caractéristiques rares et remarquables d'un point de vue environnemental (et sociétal).

Introduire une essence de manière éparse, avec de grandes distances entre les plantations, permet de faciliter la colonisation des peuplements par la biodiversité. Il faut ainsi tenir compte de la capacité de dispersion des espèces patrimoniales à l'échelle de son territoire dans les projets de plantation.

L'hybridation : risque ou chance ?

Certaines nouvelles essences introduites sont susceptibles de s'hybrider avec certaines essences en place. Le processus d'hybridation, entre essences autochtones, permet de maintenir les processus d'évolution, moteur d'adaptation. La recolonisation post-glaciaire du chêne s'est par exemple faite grâce à des hybridations entre chêne sessile et pédonculé, qui ont permis de développer de nombreuses adaptations. On commence tout juste à comprendre ces phénomènes, bien étudiés chez les chênes. On constate qu'il y a déjà eu par le passé des hybridations, bien au-delà des frontières des aires de répartition actuelles des espèces (par exemple il existe en Lorraine des hybrides de chêne sessile et de chêne tauzin). Il est essentiel de préserver les ressources génétiques originales (par exemple le sapin blanc des Pyrénées), par exemple dans des vergers à graines conservatoires, sur des stations où elles seront bien adaptées, ou dans les habitats où elles sont protégées, mais pas nécessairement sur toutes les stations où elles sont présentes actuellement.

4. Quels itinéraires sylvicoles préconiser ?

Le choix de l'itinéraire sylvicole, en ce temps de changements climatiques, semble au moins aussi important que le choix de l'essence à conduire, mais on dispose de peu de recul pour avoir des recommandations précises et avérées. Les solutions intermédiaires semblent ainsi les plus raisonnables (ex. enrichissement).

Diversifier pour réduire les risques

Ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier semble être la meilleure option en ces temps incertains. Tout ce qui augmente la complexité d'un écosystème forestier est utile, car cela permet d'utiliser au mieux les ressources disponibles. On a déjà décrit les effets du mélange d'essences, mais la diversité de structures, d'itinéraires sylvicoles présentent des bénéfices tant environnementaux qu'économiques.

À l'échelle du peuplement, la futaie irrégulière mélangée a un effet positif et bien documenté sur la biodiversité, également sur la productivité et la résistance des peuplements (moins de publications), elle permet que le pollen diffuse plus vite sur les 4-5 arbres autour (si leur phénologie est identique) mais il y a moins de brassage génétique car les arbres sont en petits bouquets. À l'inverse la futaie régulière a un effet positif sur la biodiversité à l'échelle du paysage notamment si les cycles sylvicoles sont longs, et permettrait un gain de productivité en termes de graines (thèse P. Aspe). Si ces cycles longs sont très favorables d'un point de vue environnemental, ils peuvent être discutés d'un point de vue économique et d'adaptation génétique. Dans un objectif de production industrielle, réduire la durée des cycles sylvicoles permet de réduire le risque de perdre son capital du fait de facteurs externes (tempêtes, pathogènes, incendies, etc.). Cependant, réduire la durée des cycles sylvicoles de manière systématique présente des risques élevés d'homogénéisation des paysages, de perte de biodiversité, de fertilité et de résilience des écosystèmes.

La pratique des éclaircies : un atout pour améliorer la disponibilité en eau ?

La gestion de la densité des tiges, via la pratique des éclaircies permettrait :

- D'augmenter la vigueur individuelle des arbres et donc la résistance collective (mais les résultats ne sont pas identiques sur toutes les essences),
- De générer du bois mort favorable à la biodiversité et à la fertilité des sols (en laissant les rémanents sur place),
- De réduire la densité des tiges et ainsi la transpiration.

Un programme de recherche sur le chêne vert donne des résultats intéressants en ce sens, et démontre également des effets positifs sur le développement de la régénération. Ces résultats sont nuancés par les travaux de Nathalie Korboulevsky (INRAE), qui coordonne le dispositif [OPTMix](#). Si diminuer la densité des arbres réduit leur consommation en eau, on augmente cependant la quantité de lumière au sol, ce qui favorise la végétation du sous-bois et donc sa consommation en eau...

Enfin, un enjeu clé pour préserver les forêts des changements climatiques est de limiter les impacts sur les sols. Ceci fait l'objet de la 2^{ème} partie de cette synthèse.

5. Références

Experts interrogés sur le sujet

Michel Bartoli (retraité ONF), Christophe Bouget (INRAE), Emmanuel Cacot (ex FCBA/Unisylva), Jean-François Dhôte (INRAE), Gaëtan Du Bus De Warnaffe (Arbre et bois conseil), Alexis Ducouso (INRAE), Bruno Fady (INRAE), Meriem Fournier (AgroParisTech), Thierry Gauquelin (IMBE), Hervé Jactel (INRAE), Brigitte Musch (ONF), Yoan Paillet (INRAE), Georges Pottecher (Forestys).

Références bibliographiques

Aspe P., 2009, Dynamique de la régénération naturelle chez le pin sylvestre, *Pinus sylvestris* L. : impacts de la structure des peuplements et des flux de gènes à différentes échelles spatiales sur la diversité génétique, mémoire de thèse, 172 p.

Bouget C., Gosselin M., 2020, Laroche F., 2020. Changement climatique : la biodiversité forestière à la croisée des enjeux de conservation et d'atténuation, Sciences Eaux & Territoires n° 33 – 2020, pp 84-88.

Dumas, Y., 2016. Introduced tree species in forest and the implications for biodiversity. In: Krumm, F., Vitkova, L. (Eds.), Introduced tree species in European forests: challenges and opportunities. European Forest Institute, pp. 286-293.

Fanal A., Mahy G., Fayolle A., Monty A., 2021. Arboreta reveal the invasive potential of several conifer species in the temperate forests of western Europe. *NeoBiota* 64: 23–42.

Gosselin, F., Gosselin, M., 2021. Mode de traitement des forêts, coupes de régénération et biodiversité : pas si intuitif qu'il n'y paraît ! L'Écho - revue trimestrielle de l'association Humanité et Biodiversité 122, 84-91.

Riond C., Bazin A., Lemaire J., 2021. Les outils d'aide au diagnostic développés par l'ONF (IKS) et le CNPF (BIOCLIMSOL). Cartes d'identité et pistes d'amélioration respectives, document issu du projet METIS, 2 p.

Toigo M., Vallet P., Perot T., Bontemps J-D., Piedallu C., Courbaud B., 2014. Overyielding in mixed forests decreases with site productivity, *Journal of Ecology*, Volume 103, Issue 2, pages 502-512.

Vinceti B., Manica M., Lauridsen N., Johannes Verker P., Lindner M., Fady B., 2020. Managing forest genetic resources as a strategy to adapt forests to climate change: perceptions of European forest owners and managers, *European Journal of Forest Research*, 13 p.

Autres

Présentation des outils ClimEssences et Bioclimesol - Webinaire "Forêts et changement climatique" organisé par la DRAAF AURA le 6/04/2021 : <https://www.youtube.com/watch?v=kgxGMHNYvB4>

3. Impacts des pratiques sylvicoles « intensives »

1. L'importance de la préservation des sols forestiers

Les sols forestiers sont historiquement des sols plutôt pauvres, les sols les plus riches ayant été occupés pour les activités agricoles. 23% des sols français ont une sensibilité forte à une récolte accrue de biomasse (cf. résultats du programme INSENSE).

La fertilité du sol dépend de sa composition chimique (dont la teneur en matière organique), de sa structure (liée notamment à sa texture), et de l'activité biologique existante en son sein.

Leur structure est capitale car elle joue sur la profondeur d'enracinement et donc la résistance à la sécheresse des essences.

1.1. Diagnostiquer le sol pour prévoir au mieux ses itinéraires sylvicoles

Le choix d'un itinéraire sylvicole est à réfléchir par rapport à la sensibilité ou aux potentialités de son sol. Il semble y avoir à ce sujet un manque de connaissances des gestionnaires forestiers pour faire un diagnostic fiable du sol (ou tout au moins de temps à y consacrer). Certains guides de stations permettent de diagnostiquer le sol via des indicateurs indirects. Il existe les cartes du programme INSENSE pour une approche régionale, et l'application For-Eval pour guider le diagnostic de terrain, particulièrement crucial sur les sols sensibles. Plus les itinéraires choisis risquent d'impacter le sol (mise à nu, travaux du sol, passage d'engins lourds, récolte des rémanents), plus le diagnostic doit être précis. Il peut être utile de vérifier avant le début des travaux ou de l'exploitation que les opérations sont possibles (état du sol, etc.).

1.2. Préserver la fertilité des sols

Encadrer la récolte des rémanents

C'est un point clé pour préserver la fertilité des sols. Plus la section des branches est faible, plus forte est la teneur en nutriments, et plus encore dans le feuillage. La litière ne fait que restituer au sol les éléments minéraux que l'arbre y a puisé, c'est donc un élément clé, indispensable à préserver en forêt. En se transformant en humus, elle améliore notablement la fertilité des sols (complexe argilo-humique, structure, rétention en eau, etc.). En récoltant 20 % de biomasse de menus bois en plus, on éliminerait 50 à 60 % des nutriments.

Les recommandations concernant la récolte des rémanents sont particulièrement précises et argumentées dans les guides Practic'sols et ADEME 2020 (cf. références). Les gestionnaires forestiers devraient en tenir compte, tout en étant conscients que ces recommandations peuvent évoluer assez vite. Les résultats du projet Tamobiom, prévus pour début 2022, pourront affiner ces recommandations.

La sensibilité des sols et les objectifs futurs de production sont deux paramètres clés à considérer. La récolte de bois énergie seule ne devrait pas justifier la récolte des rémanents. La récolte des rémanents ne devrait être envisagée que si elle participe à un véritable projet sylvicole de revalorisation du peuplement et d'amélioration de sa dynamique.

Sur les 23% de sols décrits dans le projet INSENSE comme sensibles, toute récolte de rémanents est à proscrire. Pour les sols peu sensibles (verts et partie de la classe orange), un export une fois dans un cycle de futaie est possible si l'engagement sur un cycle long est pérenne. La récolte des rémanents est à raisonner afin de ne pas (re)tomber dans une impasse sylvicole. Au cours d'un cycle sylvicole, il faut raisonner le volume global de rémanents récoltables. La récolte des rémanents pourrait s'envisager en fonction de la sensibilité des sols et de l'évaluation du volume de la minéralomasse totale faite à une date donnée pour une surface donnée. Il semble en revanche peu pratique de fixer un trait de découpe fixe (par exemple à 4 cm), qui pose des questions de mise en œuvre et de vérification.

Les peuplements pauvres sur sols sensibles

Un taillis dépérissant ou un sous-étage envahissant témoignent souvent de modes de gestion passés qui ont drastiquement appauvri le sol. La dégradation du sol (chimique et/ou physique) est alors la cause du dépérissement.

Il faudra parfois laisser évoluer le sol 10 ou 20 ans sans gestion pour restaurer les boucles physico-chimiques. Le protocole Regesol permet d'évaluer les besoins de restauration (voir partie suivante pour les questions liées à la structure des sols). Un amendement calco-magnésien pour les sols les plus acides, peut améliorer tant la capacité de production en bois de l'écosystème que la qualité des eaux de surface et la biodiversité. Si le pH d'un sol est inférieur à 4,5, un amendement permettrait une meilleure disponibilité des éléments minéraux, en particulier du calcium échangeable et du magnésium.

Lorsque le sol le permet, Il pourrait être possible de réaliser de petites trouées d'enrichissement dans les taillis, au fur et à mesure des moyens économiques dont dispose le propriétaire, afin de les amener progressivement vers un autre mode de gestion, moins dommageables pour les sols que les cycles courts de la gestion en taillis.

1.3. Préserver la structure des sols

L'ouverture des cloisonnements : une étape indispensable avant toute exploitation

Les cloisonnements sont un très bon moyen de limiter le tassement, à condition qu'ils soient respectés lors de l'exploitation, et du débardage. Le sacrifice d'exploitation ressenti par certains propriétaires (ou gestionnaires) est bien inférieur aux dommages causés au sol en l'absence de cloisonnements.

Laisser les rémanents sur les cloisonnements permet une protection physique contre les tassements, et leur décomposition alimente le peuplement environnant par la percolation des éléments minéraux. La protection des cloisonnements est clé en futaie irrégulière ou jardinée où les passages sont plus fréquents. Il est important qu'ils fractionnent le moins possible le peuplement. Les racines des arbres les traversent, et en dépit de leur vocation de voie de vidange, ils participent au bon fonctionnement du sol de l'écosystème forestier et à sa capacité hydrique, cruciale en contexte de réchauffement climatique. Il est à noter que les cloisonnements ont néanmoins un impact sur les espèces ombrophiles : les effets de lisière accrus réduisent la surface soumise à une ambiance forestière.

Les cloisonnements ne sont pas toujours suffisants pour préserver la structure des sols sensibles. La petite mécanisation (câbles, bûcheronnage manuel, débardage à cheval, « cheval de fer », etc.) mériteraient d'être plus utilisés : le problème est le coût, qui n'intègre pas les bénéfices de ces techniques sur l'entretien des chemins, la régénération, le stock de carbone du sol, et la préservation du sol en soi.

Raisonner les travaux du sol

Un travail du sol bien fait est une bonne alternative aux herbicides. Il peut aider à restaurer un sol tassé. Mais il faut être extrêmement précautionneux des conditions dans lesquelles les travaux du sol sont faits sinon les conséquences sont pires que les résultats attendus. On risque ainsi de compacter ou lisser un sol au lieu de l'aérer si les conditions sont trop sèches ou trop humides. Trop peu d'entrepreneurs disposent de ces compétences, il y a donc peu de disponibilités, ce qui implique des travaux faits au mauvais moment. Les dégâts au sol affaiblissent les arbres et renforcent ainsi l'impact des pathogènes comme par exemple l'encre du châtaignier.

Tableau 1. Impacts sur les sols forestiers de différents travaux forestiers (liste non exhaustive)

Technique	Matériel	Utilisation	Impact sur le sol (et profondeur impactée en cm)
Batonnage	Batonneur mécanisé	Éliminer la végétation concurrente	Très faible
Broyage	Broyeur (différents types)	Éliminer la végétation concurrente, broyer les rémanents, limiter le risque incendie	Faible à limité selon le poids du broyeur (max 5 cm, tassement du sol limité si sol sec, conservation de la matière organique en forêt)
Émiettage	Charrue à disque, cover-crop	Éliminer la végétation concurrente, favoriser l'enracinement	Faible (10-20 cm)
Potet travaillé	Dent becker avec godet, Pelle	Installer les plants et faciliter l'enracinement	Très faible pour la dent Becker (décompactage sur 50-60 cm sans retournement des horizons) Faible pour la pelle (retournement des horizons mais sur une surface limitée)
Arasage et dévitalisation des souches	Dent becker avec croque-souche	Limiter la concurrence des rejets de souche, faciliter les autres travaux	Faible (tassement du sol limité si sol sec, conservation de la matière organique en forêt)
Décompactage	Dent becker avec ailettes	Décompacter l'horizon supérieur pour faciliter l'enracinement	Faible (décompactage sur 30-50 cm, parfois retournement des horizons mais sur une surface limitée)
Sous-solage	Sous-soleuse	Casser les horizons cimentés pour faciliter l'enracinement	Fort (décompactage sur 70 cm à 1m, tassements de sols importants, retournement des horizons) à très fort (sols limoneux et argileux, pente, sols trop secs ou trop humides -risque de lissage)
Andainage	Pelle	Faciliter les autres travaux	Fort (perte de fertilité par suppression de l'humus et perturbation des horizons supérieurs) à très fort (pour les sols en pente, les éléments minéraux sont lessivés en bas de pente)
Labour	Charrue forestière	Alléger les sols à texture fine pour faciliter l'enracinement (en plein ou par bandes) Éliminer la végétation concurrente	Très fort (mélange et déstructuration des horizons sur 20-40 cm, perte de fertilité - déstockage carbone/matière organique du sol)
Labour	Rouleau à lames (rouleau landais)	Alléger les sols à texture fine pour faciliter l'enracinement (en plein ou par bandes) Éliminer la végétation concurrente	Moyen (profondeur impactée 10 cm, tous les 15-20 cm)
Dessouchage	Pelle	Éliminer des souches pour faciliter les autres travaux	Très fort (déstockage du carbone du sol, mélange et déstructuration des horizons, perte de matière organique)

2. Coupes rases

D'un point de vue environnemental, les impacts d'une coupe rase varient fortement selon les taxons. En général, ce sont plus les méthodes liées aux coupes rases (mécanisation, perturbations du sol, dérangement des espèces) que le prélèvement de l'ensemble des arbres qui posent problème. Les milieux ouverts générés par les coupes rases peuvent être favorables à certaines espèces, mais souvent des espèces héliophiles assez communes : ce type de milieux ouverts n'est donc pas plus utile à la biodiversité que des trouées de chablis. Ce qui est crucial est la diversité des paysages, la mosaïque de milieux à l'échelle d'un massif, et donc la manière dont ces coupes rases sont faites (superficie, répartition). Aucun seuil chiffré n'a été indiqué lors des entretiens et une limite semble difficile à établir, tant elle est fonction du contexte et des espèces présentes. Tenir compte de la capacité de dispersion des espèces est important, en lien avec l'exigence relative aux arbres-habitats qui favorise la continuité écologique des microhabitats.

Les impacts des coupes rases sur le sol dépendent des engins et techniques utilisés (voir partie précédente), de ce qui va être fait après la coupe, de la présence/absence des rémanents sur la coupe, de la topographie. Ne pas dissocier la coupe rase du reste de l'itinéraire sylvicole est un point clé. Si le sol ne reste à nu qu'un an, il n'y aura pas de minéralisation du carbone du sol. La mise à nu du sol reste cependant un souci :

- C'est un facteur d'érosion, même sans pente,
- Elle favorise l'envahissement par la végétation adventice qui est ensuite très difficile à réguler,
- Il n'y aura pas d'apport de nouvelle litière pendant quelques années ce qui appauvrit le sol en matière organique (perte de carbone et de fertilité),
- Elle impacte négativement la biodiversité des sols.

D'un point de vue sociétal, la définition FSC faisant la distinction avec les coupes définitives est techniquement juste même si elle est difficile à comprendre pour le grand public. Un recensement des cas et une clé de recommandations pour avoir des exigences adaptées aux différentes situations seraient utiles.

3. Références

Experts interrogés sur le sujet

Laurent Augusto (INRAE), Michel Bartoli (retraité ONF), Emmanuel Cacot (ex FCBA/Unisylva), Christine Deleuze (ONF), Gaëtan Du Bus De Warnaffe (Arbre et bois conseil), Meriem Fournier (AgroParisTech), Thierry Gauquelin (IMBE), Marion Gosselin (INRAE), Hervé Jactel (INRAE), Guy Landmann (GIP Ecofor), Noémie Pousse (ONF), Jacques Ranger (INRAE).

Références bibliographiques

Pousse N., Augusto L., Akroume E., Deleuze C., Pilard-Landreau B., Noé A., Pischedda D., Richter C., 2020. Gestion durable des sols forestiers. Nouvelles connaissances et boîte à outils. ONF Rendez-vous techniques n° 67-68 2020, pp 3-14.

Ranger J., Legout A., Bonnaud P., Arrouays D., Nourrisson G., Gelhaye D., Pousse N., 2020. Interactions entre les effets du tassement par les engins d'exploitation et la fertilité chimique des sols forestiers, Rev. For. Fr. LXXIII - 3-2020, pp 191-213.

Autres

Webinaire Pratic'sols organisé par Abibois le 18/03/2021 : https://www.youtube.com/watch?v=mbE4ec2g_Mg

4. Bilan des recommandations pratiques et du niveau de convergence des avis

Sujet	Constat/Recommandations	Évaluation du niveau de convergence			
		Avis très divergents	Tendance forte	Convergence générale	Nb avis
Choix des essences	La migration naturelle des essences n'est pas aussi rapide que les changements des aires climatiques.			100%	16
	La substitution d'essence est un choix économique, à mettre en regard des risques que le propriétaire est prêt à prendre.			100%	8
	Travailler au profit des tiges les plus résistantes parmi la régénération naturelle avant d'envisager l'introduction de nouvelles essences ou génotypes.		73%		15
	Lors des plantations, parmi les essences en station, maximiser d'abord la diversité intraspécifique des essences en place, (introduction d'autres génotypes, mélanger les peuplements classés et les régions de provenance des MFR) avant d'introduire d'autres essences.		71%		14
	En cas de régénération artificielle, préférer les semis aux plants lorsque les graines sont disponibles.	57%			7
	Introduire/conservé suffisamment de semenciers pour limiter la dérive génétique et maximiser les capacités d'adaptation du peuplement (50-60 semenciers/ha).		89%		9
	Définir une méthodologie pour suivre la qualité des semis/plants (et notamment leur diversité génétique).			100%	9
	Ne pas introduire d'essences exotiques pouvant s'hybrider avec les essences indigènes à moins de 1 km des unités de conservation de la CRGF, et dans les aires protégées, en fonction des objectifs de conservation définis. L'hybridation n'est pas un problème ailleurs.		86%		14
	S'assurer de maintenir les populations d'espèces pollinisatrices et qui dispersent les graines, surtout en cas d'introduction de nouvelles essences.		80%		5
Critères de sélection des essences à introduire	Date d'introduction sur le territoire français (européen) : la plus ancienne		60%		5
	Distance génétique avec les essences indigènes en place : la plus proche		78%		9
	Distance géographique depuis l'aire de répartition naturelle de l'essence introduite : la plus proche		73%		11
	Risques liés à l'essence introduite (sanitaire, envahissement) : le plus faible			100%	16
	Potentiel de production de l'essence introduite (volume/ha potentiel, qualités mécaniques) : le plus important			100%	10
	Note écologique de l'essence introduite : la plus élevée			100%	1



Choix de l'itinéraire sylvicole	Augmenter la richesse en essences à l'échelle de la propriété.		100%	14
	Augmenter la richesse en essences à l'échelle de la parcelle (pied à pieds, bandes, bouquets).	90%		10
	Dans le mélange d'essences, conserver, lorsque la station s'y prête, feuillus et résineux (feuillus en accompagnement ou comme essence-objectif : pionnière à croissance rapide).		100%	4
	La durée du cycle sylvicole est un choix économique, à mettre en regard des risques que le propriétaire est prêt à prendre.	57%		7
	Pratiquer des éclaircies pour réguler la densité des peuplements (et ainsi la disponibilité des ressources en eau).		100%	7
	Augmenter la complexité de l'écosystème forestier (structure, diversité, etc., pas nécessairement via un passage en futaie irrégulière).		100%	10
	Ne pas interdire les coupes rases quelle que soit la situation.	86%		14
	Faire un diagnostic du dépérissement du peuplement (Archi + Deperis) avant toute introduction d'essence.	71%		7
Sol	Faire un diagnostic du sol avant tout travaux (notamment ceux impliquant de récolter les rémanents).		93%	15
	A minima respecter les recommandations des guides Practic'sols/ADEME.		93%	15
	Ouvrir des cloisonnements d'exploitation (quel que soit le traitement sylvicole et particulièrement dans les traitements irréguliers).		100%	13
	Laisser des rémanents sur les cloisonnements pour les protéger des tassements de sol.		100%	14
	Il est possible de récolter une partie des rémanents si cela est réfléchi à l'échelle du chantier (cloisonnement ou première éclaircie ou relevé de couvert une fois dans le cycle sylvicole) selon les recommandations des guides ADEME et Practic'sols.	85%		13
	Ne pas récolter les rémanents si cette récolte ne s'inscrit pas dans un projet sylvicole améliorant la situation du peuplement, pensé sur le long terme.		100%	8
	Conserver impérativement le feuillage en forêt.		100%	14
	Ne pas récolter les rémanents sur sols sensibles à leur récolte (cartes Insensé + diagnostic sol).		100%	15
	Autoriser les amendements raisonnés sur les sols dont le pH est < 4,5.	67%		3
	Autoriser les travaux du sol qui mélange les horizons ci cela permet de maximiser la reprise des plants (sous-solage en ligne ou localisé, labour en bandes).	40%		5



	<p> limiter les travaux du sol à l'horizon supérieur par broyage (des rémanents et/ou de la végétation présente) et décompactage (sans retourner les horizons) en intervenant que lorsque les sols sont secs et avec l'engin le plus léger possible.</p>	90%	10
	<p> Planter via des potets travaillés (pas de retournement des horizons, perturbations très ponctuelles) quand les sols ne sont ni trop humides ni trop secs (en connectant les potets pour évacuer l'eau).</p>	100%	10
	<p> Ne pas labourer en plein, limiter le travail par bandes.</p>	100%	8
	<p> Ne pas dessoucher (araser les souches, ou les passer au croque-souches si nécessaire pour des raisons sanitaires ou liées aux travaux).</p>	100%	7
	<p> Sur des sols sensibles à la récolte des rémanents, éviter la gestion en taillis (balivage ou libre évolution en fonction de la situation).</p>	67%	6
	<p> Évaluer la minéralomasse totale par chantier, pour définir le volume de rémanents récoltable.</p>	100%	6
	<p> Ne pas faire d'andains de taille importante, et jamais dans le sens de la pente.</p>	75%	8
	<p> Il serait intéressant de plus développer l'usage des câbles pour limiter les impacts au sol.</p>	100%	9
Autres préconisations environnementales	<p> Veiller à ce qu'il y ait un apport régulier de bois mort de toutes dimensions (ne pas appauvrir de vastes zones de tous les menus bois).</p>	100%	8
	<p> Consulter les données de biodiversité déjà disponibles et évaluer l'intérêt du site pour la biodiversité à l'échelle d'un peuplement homogène (notamment sur les chantiers concernés par une récolte de rémanents).</p>	78%	9
	<p> Préserver les habitats rares à l'échelle de la parcelle ou du massif.</p>	100%	11
Autres préconisations	<p> Préserver des éléments supports de la biodiversité (grosses cépées, arbres-habitats, milieux naturels associés) à l'échelle de la parcelle ou de la forêt.</p>	100%	11
	<p> Consigner ce qui est fait (documentation des essences plantées, modalités choisies, etc.) afin de pouvoir adapter au mieux la gestion future.</p>	100%	9
	<p> Augmenter les suivis sur les évolutions des essences (télédétection, sciences participatives).</p>	86%	7
	<p> Promouvoir la gestion adaptative en continu (document de gestion plus courts -10 ans- et/ou plus flexibles).</p>	71%	7