

- Ramvalho, F.M.G., Pimenta, E.M., Goulart, C.P., De Almeida, M.N.F., Vidaurre, G.B., Hein, P.R.G., 2019. Effect of stand density on longitudinal variation of wood and bark growth in fast-growing *Eucalyptus* plantations. *iForest - Biogeosciences and Forestry* 12, 527–532. <https://doi.org/10.3832/ifor3082-012>
- Resquin, F., Navarro-Cerrillo, R.M., Carrasco-Letelier, L., Rachid-Casnati, C., 2020. Influence of age and planting density on the energy content of *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* and *Eucalyptus grandis* planted in Uruguay. *New Forests* 51, 631–655. <https://doi.org/10.1007/s11056-019-09749-2>
- Sales Luis, J.F., Fonseca, T.F., 2004. The allometric model in the stand density management of *Pinus pinaster* Ait. in Portugal. *Annals of Forest Science* 61, 807–814.
- Salminen, H., Varmola, M., 1993. Influence of initial spacing and planting design on the development of young Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands. *Silva Fenn.* 27.
- Schönau, A.P.G., Coetzee, J., 1989. Initial Spacing, Stand Density and Thinning in Eucalypt Plantations. *Forest Ecology and Management* 29, 245–266.
- Sequeira, W., Gholz, H., 1991. Canopy structure, light penetration and tree growth in a slash pine (*Pinus elliottii*) silvo-pastoral system at different stand configurations in Florida. *The Forestry Chronicle* 67, 263–267.
- Sharma, M., Burkhart, H.E., Amateis, R.L., 2002. Spacing rectangularity effect on the growth of loblolly pine plantations. *Canadian Journal of Forest Research* 32, 1451–1459. <https://doi.org/10.1139/x02-079>
- Stape, J.L., Silva, C.R., Binkley, D., 2022. Spacing and geometric layout effects on the productivity of clonal *Eucalyptus* plantations. *Trees, Forests and People* 8. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100235>
- Vila, B., Nicault, A., Vennetier, M., 2001. Influence de la densité des peuplements sur la croissance en hauteur et radiale de *Pinus silvestris* L. en région méditerranéenne française. *Forêt méditerranéenne* 1, 64–74.
- von Euler, F., Baradat, P., Lemoine, B., 1992. Effects of plantation density and spacing on competitive interactions among half-sib families of maritime pine. *Canadian Journal of Forest research* 22, 482–489.
- West, P.W., Ratkowsky, D.A., Smith, R.G.B., 2020. Factors controlling individual branch development during early growth of an experimental plantation of *Eucalyptus pilularis* in sub-tropical Australia. *Trees* 35, 395–405. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-02040-4>
- West, P.W., Smith, R.G.B., 2020. Effects of tree spacing on branch-size development during early growth of an experimental plantation of *Eucalyptus pilularis* in subtropical Australia. *Australian Forestry* 83, 39–45. <https://doi.org/10.1080/00049158.2020.1715016>
- West, P.W., Smith, R.G.B., 2019. Inter-tree competitive processes during early growth of an experimental plantation of *Eucalyptus pilularis* in sub-tropical Australia. *Forest Ecology and Management* 451, 117450. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117450>
- Xue, L., Pan, L., Zhang, R., Xu, P., 2011. Density effects on the growth of self-thinning *Eucalyptus urophylla* stands. *Trees* 25, 1021–1031. <https://doi.org/10.1007/s00468-011-0576-4>
- Zhao, D., Kane, M., Borders, B.E., 2012. Crown Ratio and Relative Spacing Relationships for Loblolly Pine Plantations. *Open Journal of Forestry* Vol.02, 110–115. <https://doi.org/10.4236/ojf.2012.23014>

Volet 2 | Thème 4. Amélioration des itinéraires de renouvellement en contexte de changement climatique

Question 2. Comment installer et conduire les plantations mélangées ?

Sommaire

2.1 Enjeux et problématique.....	713
2.2 Méthode	714
2.3 Définitions.....	714
2.4 Réponses à la question posée.....	714
2.4.1 En choisissant soigneusement le type de mélange selon l'objectif poursuivi	714
2.4.2 En raisonnant le choix des essences à associer	715
2.4.2.1 Nombre et identité des espèces associées	715
2.4.2.2 Compatibilité et complémentarité entre essences	716
2.4.3 En modulant l'installation des espèces dans l'espace et dans le temps.....	716
2.4.4 En prenant en compte les spécificités liées à la conduite des éclaircies	717
2.5 Perspectives de recherche.....	718
2.6 Références bibliographiques	719

Rédacteur

Quentin **Ponette**, Earth & Life Institute, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgique

2.1 Enjeux et problématique

Si la plantation d'une espèce unique représente encore souvent le modèle dominant pour le reboisement, la constitution de peuplements mélangés est de plus en plus préconisée par les pouvoirs publics, et répond davantage aux attentes sociétales vis-à-vis de la forêt (voir l'introduction du « Volet 2 : Analyse des modes de renouvellement en contexte de changement climatique »). Se pose alors la question du choix d'un itinéraire de renouvellement qui peut s'appuyer sur la régénération artificielle — le plus souvent par plantation, sur la régénération naturelle — préexistante ou attendue, ou sur une combinaison de ces alternatives. **Lorsque le diagnostic amène à privilégier l'utilisation prépondérante ou exclusive de la régénération artificielle, il est nécessaire de sélectionner l'espèce ou la combinaison d'espèces à installer, et les itinéraires technico-économiques à mettre en œuvre.** La constitution de peuplements mélangés présente de nombreux intérêts potentiels par rapport aux monocultures correspondantes, en particulier dans un contexte marqué par le changement climatique, l'incertitude et les attentes variées vis-à-vis de la forêt : capacité à fournir une plus large palette de services écosystémiques à des niveaux moyens ; productivité relative fréquemment supérieure par rapport aux monocultures correspondantes ; stabilité, résilience et flexibilité souvent accrues (Messier *et al.*, 2022). **Ces effets bénéfiques du mélange ont été attribués à trois grands groupes de processus** (Forrester *et* Bauhus, 2016), parfois difficiles à séparer les uns des autres, que sont **la facilitation** (effet bénéfique exercé par une espèce sur une autre), **la réduction de la compétition** (liée à l'utilisation de ressources différentes et/ou à la séparation spatiale ou temporelle de leur utilisation) **et l'effet de sélection** (lié à la probabilité accrue de rencontrer une espèce plus « performante » avec l'augmentation du nombre d'espèces en mélange). Ainsi par exemple, en associant des espèces ayant des distributions racinaires contrastées (séparation spatiale de niche), la compétition pour les ressources du sol peut être réduite dans le mélange par rapport à celle qui s'exercerait dans les peuplements purs correspondants. **Les peuplements mélangés ne sont toutefois pas la panacée ; de très nombreuses études montrent en effet que l'impact de la biodiversité ligneuse sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers**, notamment sur la réponse des arbres et des

peuplements à la sécheresse, **dépend largement du contexte** : milieu physique, espèces associées, modalités du mélange (Grossiord, 2020). Dans ce cadre, la présente contribution vise à proposer une démarche structurée pour optimiser l’installation et la conduite de tels peuplements dans un contexte de reboisement après coupe rase.

2.2 Méthode

En l’absence de synthèses, revues de littérature et méta-analyses *propres* à cette question au moment de la rédaction, cette contribution s’appuie préférentiellement sur des ouvrages de référence et des synthèses bibliographiques portant sur le fonctionnement des peuplements mélangés (listés dans la bibliographie).

2.3 Définitions

Les plantations mélangées considérées dans ce document ne couvrent qu’une petite partie de la grande diversité des forêts mélangées existantes (Bauhus, Forrester and Pretzsch, 2017), en matière de **composition spécifique** (richesse, identité des espèces en présence, diversité/redondance fonctionnelles), de **structure** (grosseurs, hauteurs, âges, etc.) et de **structure spatiale** (agencement latéral des arbres de caractéristiques contrastées).

En particulier :

- la diversité spécifique reste le plus souvent limitée par rapport à des forêts semi-naturelles ou naturelles situées dans un contexte stationnel comparable ;
- les arbres de telles plantations ont généralement tous le même âge ou environ. Une certaine hétérogénéité d’âges peut néanmoins exister lorsque la plantation est effectuée dans un peuplement résiduel et/ou dans une régénération naturelle préexistante, ou encore en cas d’installation échelonnée dans le temps ;
- la structure, au départ très homogène, peut se complexifier au cours du temps selon la vitesse de croissance en grosseur et en hauteur relative des espèces en présence ;
- l’hétérogénéité latérale dépend étroitement des espèces installées et de l’organisation spatiale de la plantation (pieds d’arbre, lignes, bandes, cellules, bouquets, parquets).

Ces caractéristiques initiales peuvent évoluer au cours du temps sous l’effet de la dynamique des peuplements, des perturbations et des interventions pratiquées – en particulier selon les méthodes de régénération mises en œuvre (Bravo-Oviedo *et al.*, 2014).

Lorsque plusieurs essences coexistent dans un même peuplement, on peut préciser la fonction que chacune exerce préférentiellement. Classiquement, on distingue ainsi entre les essences-objectif qui contribuent à la production de bois d’œuvre, et les essences d’accompagnement dites également *compagnes* ou *auxiliaires*. Ces dernières peuvent (i) jouer un rôle cultural par le gainage ou l’abri qu’elles procurent aux essences-objectif, (ii) modifier les ressources disponibles, par exemple en accélérant le cycle des éléments minéraux ou en fixant l’azote atmosphérique, (iii) ou affecter d’autres fonctions ou composantes de l’écosystème.

2.4 Réponses à la question posée

2.4.1 En choisissant soigneusement le type de mélange selon l’objectif poursuivi

La plantation d’un mélange d’espèces peut répondre à différents objectifs, impliquant des types de mélanges contrastés.

Dans un premier cas, le mélange vise à faciliter l'installation d'une essence-objectif, en lui associant de manière temporaire une espèce – rarement plus – destinée à lever une contrainte limitant sa survie ou sa croissance, ou à améliorer des conditions de milieu susceptibles d'impacter négativement sa forme. Il peut s'agir d'une essence qui améliore les conditions du sol, par exemple en fixant l'azote atmosphérique comme l'aune. Dans d'autres cas, l'essence auxiliaire est une essence pionnière qui reconstitue rapidement une ambiance forestière par sa vitesse de croissance juvénile élevée et son feuillage léger ; dans certains contextes, le bouleau permet ainsi de limiter le risque de dégâts de gel pour l'épicéa. Quand elles ne sont pas présentes naturellement, ces essences auxiliaires sont généralement installées à faible densité à l'échelle de la parcelle à reboiser. Il est possible de les valoriser à des fins de biomasse lors des premières éclaircies en veillant à les positionner de manière optimale, par exemple au niveau des futurs cloisonnements d'exploitation.

Dans un deuxième cas, l'essence auxiliaire joue un rôle culturel pour une ou plusieurs essences objectifs, en favorisant la formation d'une bille de pied de qualité et en assurant le maintien de cette qualité tout au long du cycle de production. L'essence auxiliaire est le plus souvent une essence tolérante à l'ombrage, dont la croissance / compétitivité peut être contrôlée en jouant notamment sur le recépage. Un exemple classique de ce type de mélange est l'association du charme avec les chênes pédonculés ou sessiles. Tout en permettant l'éducation des essences objectifs, l'essence compagne peut aussi être valorisée pour le bois-énergie.

Une troisième approche consiste à installer un mélange d'essences objectifs. Dans ce cas, les essences introduites jouent toutes un rôle de production et bénéficient, le cas échéant, de l'accompagnement d'un recrû préexistant. On peut toutefois distinguer les essences principales, dont la durée du cycle sylvicole est comparable, et les essences associées qui peuvent être récoltées en même temps que les essences principales ou anticipativement. Quoi qu'il en soit, ces espèces devront pouvoir coexister sur la totalité de leur cycle sylvicole. Les consignes développées dans la suite, concernent l'installation et la conduite dans les jeunes stades de ce type de peuplements.

2.4.2 En raisonnant le choix des essences à associer

2.4.2.1 Nombre et identité des espèces associées

Lorsque l'on considère l'impact du mélange sur la productivité, on observe que l'effet bénéfique moyen de la richesse (nombre d'espèces associées) augmente d'abord fortement pour se stabiliser aux niveaux de richesses supérieurs (Forrester et Bauhus, 2016). Compte-tenu de la complexité liée à l'installation d'un mélange par plantation et à sa conduite ultérieure, **il semble donc pertinent de tableur sur l'association d'un nombre limité d'essences, par exemple de l'ordre de deux ou trois**, pour des peuplements à vocation de production de bois.

Les résultats de la littérature montrent également qu'à niveau de richesse fixé, **l'effet du mélange, tant en magnitude** (effet plus ou moins marqué dans le mélange par rapport aux monocultures correspondantes) **qu'en signe** (impact positif, neutre, négatif), **dépend étroitement de l'identité des espèces associées** (Grossiord, 2020). Par ailleurs, pour un même ensemble d'espèces associées, l'impact du mélange peut différer selon les conditions du milieu. Le choix des espèces, et la manière de les associer dans l'espace et dans le temps, doit donc s'appuyer sur une connaissance approfondie de l'écologie de chaque espèce et des conditions du milieu, en considérant la compatibilité et la complémentarité entre espèces.

2.4.2.2 Compatibilité et complémentarité entre essences

De façon à assurer la survie et la pérennité du mélange et pour réduire l'intensité et la fréquence des interventions de gestion (rentabilité), **il faut raisonner le choix des espèces et de leurs modalités d'agencement dans l'espace et dans le temps en considérant leur compatibilité et leur complémentarité** (Bauhus *et al.*, 2017). Il s'agit à la fois d'éviter l'élimination de certaines espèces sous l'effet de la compétition ou d'autres interactions négatives, et de bénéficier au maximum des effets positifs en matière (i) de croissance, (ii) de promotion de la qualité du bois, (iii) de réduction des risques biotiques et abiotiques, et (iv) de levée des contraintes du milieu. Une telle analyse permettra de limiter les coûts et/ou d'augmenter les bénéfices.

L'objectif est de garantir, dès la phase d'installation, les conditions optimales pour chacune des espèces d'intérêt. Si de nombreux résultats de la littérature montrent que les interactions entre espèces peuvent modifier le comportement d'une espèce en mélange par rapport à son comportement en monoculture, **les données disponibles restent trop limitées pour permettre de prédire de manière fiable le comportement des espèces en mélange** dans une situation donnée compte-tenu de la très grande diversité de contextes possibles – conditions du milieu, combinaison d'essences, densité du peuplement, stades de développement, etc. **L'évaluation de la compatibilité doit donc s'appuyer principalement sur l'autécologie des essences candidates, sur les associations végétales des contextes ciblés et sur les caractéristiques des stations à reboiser.**

En première approche, la compétitivité relative des différentes espèces candidates peut être évaluée en s'appuyant (i) sur les courbes de croissance en hauteur dominante issues de peuplements équiennes monospécifiques situés dans des conditions de milieu comparables, et (ii) sur la tolérance à l'ombrage des espèces concernées. Pour des essences de tolérance à l'ombrage contrastée, la différence de hauteur selon l'âge à site fixé permet également de jauger l'impact des essences tolérantes sur la récession du houppier des essences intolérantes. Outre la tolérance à l'ombrage, les propriétés physiques des houppiers constituent un autre facteur important à considérer compte-tenu de leur impact potentiel sur la qualité du bois à travers le processus d'abrasion.

Un autre critère à considérer pour identifier les essences à combiner et la manière de les associer dans l'espace et dans le temps sur la parcelle à reboiser est **d'anticiper la magnitude de la complémentarité**, c'est-à-dire des effets bénéfiques résultant du mélange par rapport aux monocultures correspondantes, sur la survie, la croissance et la stabilité des arbres, de même que sur la qualité du bois produit. Pour que le mélange conduise effectivement à de tels effets, il convient d'identifier préalablement les contraintes du site (disponibilité en eau et/ou éléments minéraux ; régime hydrique du sol/nappe temporaire ou permanente ; microclimat ; etc.) et les perturbations biotiques et abiotiques potentielles, compte-tenu des espèces visées et du site à reboiser. Une telle analyse permet de cibler un sous-ensemble d'espèces adaptées à la station, ayant en outre des traits complémentaires et suffisamment contrastés pour induire un **effet net positif** à l'échelle du mélange ou pour les essences d'intérêt. Dans ce contexte, le grain du mélange (voir « 2.4.3 En modulant l'installation des espèces dans l'espace et dans le temps ») devra aussi être adapté à la portée spatiale des processus responsables de la complémentarité, compte-tenu de la dimension des arbres/du stade de développement du peuplement.

2.4.3 En modulant l'installation des espèces dans l'espace et dans le temps

Il est ainsi possible de proposer des modalités optimales d'agencement spatial – le grain du mélange – lors de l'installation permettant de minimiser la compétition et de maximiser les interactions

positives entre espèces, limitant de ce fait la complexité et la récurrence des interventions de gestion. Pour réduire la compétition, il est également envisageable d'introduire les essences à différents moments, en donnant de l'avance aux essences plus intolérantes et/ou caractérisées par une compétitivité plus faible.

En particulier, lorsque l'on souhaite associer des essences de compétitivité contrastée, il convient de planter les espèces moins compétitives par plages de surface au moins équivalente à la surface occupée par un arbre en fin de cycle sylvicole. Une telle surface peut être estimée sur la base du diamètre d'exploitabilité et d'un rapport diamètre de houppier / diamètre à hauteur de poitrine cohérent. En peuplement mélangé, la valeur de ce rapport dépend non seulement de l'essence et de la densité locale comme dans les peuplements monospécifiques, mais il peut également être affecté par la compétition interspécifique selon la plasticité architecturale du houppier des essences associées, ce qui induit une complexité supplémentaire. Il est toutefois possible que la réduction de la compétition exercée sur les arbres-objectif sous l'effet de la gestion conduise à limiter la différence attendue de plasticité des houppiers en peuplements mélangés par rapport à des peuplements monospécifiques.

Par ailleurs, dans le cas où les différentes essences du mélange ont des cycles de durées comparables et où les éclaircies sont conduites par la méthode des arbres objectifs (voir « 2.4.4 En prenant en compte les spécificités liées à la conduite des éclaircies »), il est possible d'estimer le nombre minimum d'arbres de chaque espèce à désigner, et de faciliter ainsi la réalisation des éclaircies ultérieures. Dans cette situation en effet, la proportion souhaitée pour chaque espèce en fin de cycle peut être définie en termes de surface couverte ; l'effectif à désigner est alors estimé à partir du diamètre d'exploitabilité et de la surface au sol correspondante selon le principe exposé précédemment.

2.4.4 En prenant en compte les spécificités liées à la conduite des éclaircies

Si les éclaircies réalisées dans les peuplements mélangés partagent des objectifs communs avec celles conduites en peuplements purs, elles présentent également une série de spécificités (Bauhus *et al.*, 2017).

Elles veilleront en particulier à **réduire la compétition interspécifique et à augmenter les effets de complémentarité, en agissant sur la densité locale, ainsi que sur la structuration horizontale et verticale des espèces constitutives.**

En ce qui concerne la densité, on s'attend à ce que les densités élevées renforcent la dominance des espèces les plus compétitives et qu'en dessous d'un certain seuil de densité, les effets de complémentarité soient ténus. C'est donc dans la gamme de densités intermédiaires que la modulation de la compétition à travers l'éclaircie pourra affecter le plus le niveau de complémentarité, dans un sens ou dans un autre – selon les processus et/ou les ressources associés à cette complémentarité. Par ailleurs, la densité totale peut s'avérer supérieure en mélange par rapport à celle attendue sur base des peuplements purs correspondants ; dans ces conditions, la gestion de la densité doit prendre en compte cette différence de référence.

Dans le cas de mélanges intimes, l'éclaircie modifie non seulement la densité mais également la composition spécifique aux environs des arbres objectifs avec pour conséquence des impacts variables en matière (i) de levée de concurrence selon les différences de physiologie, (ii) de dimension, (iii) de vitalité et (iv) de position verticale dans la canopée.

En peuplement mélangé, l'éclaircie peut aussi moduler la complémentarité et la compétition entre espèces en agissant sur la structure spatiale, c'est-à-dire sur l'agencement horizontal et vertical des

différentes espèces au sein du peuplement. Dans le cas de mélanges issus de plantations, l'éclaircie peut ainsi rectifier un patron d'installation initiale suboptimal.

Une autre spécificité des éclaircies en peuplements mélangés concerne le calendrier des interventions, à adapter au rythme de croissance propre à chaque essence. Il s'agit dans ce contexte de réaliser le meilleur compromis pour réduire les coûts, sans entacher les recettes futures par l'augmentation de la durée du cycle sylvicole, la diminution de la qualité du bois produit et/ou la réduction de la vitalité/stabilité des arbres. Le cas échéant, les éclaircies pourront être associées à des élagages si les effets bénéfiques de la croissance en collectif s'avèrent insuffisants.

À défaut de disposer de prescriptions d'éclaircies spécifiques aux peuplements mélangés, il est recommandé de s'appuyer sur la méthode des arbres objectifs en raison de la souplesse qu'elle procure (Bauhus *et al.*, 2017). Dans le cas où la durée du cycle sylvicole est comparable d'une espèce à l'autre, la proportion souhaitée de chaque espèce dans le peuplement peut être définie en fonction de la surface couverte en fin de cycle, et le nombre minimum d'individus à réserver peut être estimé sur la base de la place occupée au diamètre d'exploitabilité. De la même manière, les distances minimales à respecter entre arbres objectifs d'espèces différentes peuvent être définies sur la base des diamètres d'exploitabilité et des rapports diamètre houppier/diamètre à hauteur de poitrine correspondants. Lorsque la récolte des arbres intervient à des moments différents d'une espèce à l'autre, en traitement régulier, il est *a priori* possible de réserver un nombre plus élevé d'arbres des espèces plus longévives que celui estimé sur la base d'une exploitation simultanée des différentes espèces, puisqu'elles pourront bénéficier de la surface libérée par la récolte anticipée de certaines espèces ; alternativement, il est aussi possible d'évoluer vers un traitement irrégulier, en renouvelant les essences exploitées les premières.

2.5 Perspectives de recherche

Dans un contexte marqué par la diversité, la magnitude et la vitesse des changements affectant les forêts, le recours accru au mélange d'espèces, que ce soit à l'échelle des peuplements ou du paysage, constitue une des voies pour accroître la stabilité et la résilience des peuplements, et permettre davantage de flexibilité et de diversité dans la fourniture des services écosystémiques.

L'augmentation de la surface des peuplements mélangés passe notamment par l'installation de nouveaux modèles de plantations, associant plusieurs espèces. Alors que les itinéraires techniques pour les monocultures sont éprouvés de longue date, les praticiens se trouvent encore peu outillés pour installer durablement et gérer des plantations mélangées (Coll *et al.*, 2018).

L'approche décrite dans cette contribution permet d'établir un cadre de réflexion utile. Dans le même temps, elle met en avant la nécessité d'acquérir des données supplémentaires au regard de l'extrême diversité de contextes de gestion, et du caractère éminemment dynamique des interactions entre essences et des conditions du milieu.

Au vu de ces éléments, il semble important d'établir une stratégie raisonnée pour l'élaboration et la mise en place des peuplements mélangés. En effet, si l'ampleur des crises récentes a démontré la nécessité d'avoir une forêt plus diversifiée, il est essentiel de s'assurer que les modèles alternatifs sont fonctionnels et pleinement opérationnels.

Dans une première étape, les mélanges déjà testés, documentés et validés sur le terrain pour des conditions de milieu données, pourraient être mis en place plus largement dans ces mêmes contextes. De nouveaux mélanges, associant des essences avec des caractéristiques fonctionnelles proches de celles de mélanges existants, pourraient également être proposés.

Parallèlement, l'approche explicitée ici pourrait servir à identifier de nouvelles combinaisons, en visant notamment une plus grande diversité et redondance fonctionnelles et des objectifs plus diversifiés. L'utilisation conjointe de modèles de croissance individu-centrés et incorporant les principaux processus biophysiques (Jonard *et al.*, 2020) permettrait d'explorer de manière quantitative et systématique une large palette de scénarios (sylvicultures, perturbations, sites, climats). Les combinaisons les plus prometteuses à l'issue d'une telle phase exploratoire pourraient alors être testées sur le terrain.

2.6 Références bibliographiques

- Bauhus, J. *et al.* (2017) 'Silvicultural Options for Mixed-Species Stands', in H. Pretzsch, D.I. Forrester, and J. Bauhus (eds) *Mixed-Species Forests*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 433–501. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-662-54553-9_9.
- Bauhus, J., Forrester, D.I. and Pretzsch, H. (2017) 'Mixed-Species Forests: The Development of a Forest Management Paradigm', in H. Pretzsch, D.I. Forrester, and J. Bauhus (eds) *Mixed-Species Forests*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 1–25. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-662-54553-9_1.
- Bravo-Oviedo, A. *et al.* (2014) 'European Mixed Forests: definition and research perspectives', *Forest Systems*, 23(3), p. 518. Available at: <https://doi.org/10.5424/fs/2014233-06256>.
- Coll, L. *et al.* (2018) 'Knowledge gaps about mixed forests: What do European forest managers want to know and what answers can science provide?', *Forest Ecology and Management*, 407, pp. 106–115. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.10.055>.
- Forrester, D.I. and Bauhus, J. (2016) 'A Review of Processes Behind Diversity—Productivity Relationships in Forests', *Current Forestry Reports*, 2(1), pp. 45–61. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40725-016-0031-2>.
- Grossiord, C. (2020) 'Having the right neighbors: how tree species diversity modulates drought impacts on forests', *New Phytologist*, 228(1), pp. 42–49. Available at: <https://doi.org/10.1111/nph.15667>.
- Jonard, M. *et al.* (2020) 'HETEROFOR 1.0: a spatially explicit model for exploring the response of structurally complex forests to uncertain future conditions – Part 1: Carbon fluxes and tree dimensional growth', *Geoscientific Model Development*, 13(3), pp. 905–935. Available at: <https://doi.org/10.5194/gmd-13-905-2020>.
- Messier, C. *et al.* (2022) 'For the sake of resilience and multifunctionality, let's diversify planted forests!', *Conservation Letters*, 15(1). Available at: <https://doi.org/10.1111/conl.12829>.

Volet 2 | Thème 4. Amélioration des itinéraires de renouvellement en contexte de changement climatique

Question 3.1. Quels itinéraires techniques utiliser pour reconstituer les peuplements endommagés par les tempêtes ?

Sommaire

3.1.1 Contexte et problématique	720
3.1.2 Matériel et Méthode.....	721
3.1.2.1 Cadrage de la contribution	721
3.1.2.2 Démarche suivie	721
3.1.2.3 Différence entre reconstitution post-tempête et reconstitution « classique ».....	721
3.1.3 Réponses à la question posée.....	722
3.1.3.1 Dynamique spontanée de la régénération après tempête.....	722
3.1.3.1.1 Une succession forestière complexe.....	722
3.1.3.1.2 La végétation accompagnatrice (herbacée et arbustive) : un facteur de blocage potentiel.....	723
3.1.3.1.3 La rupture de l'équilibre forêt-gibier : un facteur de blocage potentiel	723
3.1.3.1.3.1 Les effets de l'encombrement de la parcelle sur la régénération	723
3.1.3.2 Les stratégies de reconstitution.....	724
3.1.3.2.1 Avant de reconstituer : nettoyer	724
3.1.3.2.1.1 Exploitation	724
3.1.3.2.1.2 La gestion des rémanents : quelles pratiques.....	724
3.1.3.2.2 Trois grandes stratégies de reconstitution : la régénération naturelle, l'enrichissement ou la plantation en plein	724
3.1.3.2.2.1 Intérêt et importance du diagnostic pour s'orienter vers une stratégie	724
3.1.3.2.2.2 Un choix à faire parmi divers scénarios de reconstitution.....	725
3.1.3.2.3 Avantages et inconvénients des trois grandes stratégies de reconstitution.....	725
3.1.3.2.3.1 La régénération naturelle.....	727
3.1.3.2.3.2 La plantation en plein.....	728
3.1.3.2.3.3 L'enrichissement	728
3.1.3.2.4 Recommandations.....	728
3.1.3.2.4.1 La gestion des arbres survivants	728
3.1.3.2.4.2 L'équilibre forêt-gibier	729
3.1.3.2.4.3 Le contrôle de la végétation concurrente	729
3.1.4 Perspectives	729
3.1.4.1 Adaptation des stratégies aux critères de choix des propriétaires	729
3.1.4.2 Poursuivre l'association entre gestion et recherche	729
3.1.4.3 L'installation d'un mélange d'essences : un enjeu majeur de la reconstitution post-crise dans un contexte de changements climatiques	730
3.1.5 Références bibliographiques	730

Rédacteurs

Lisa **Laurent**, Université de Lorraine, AgroParisTech, INRAE, UMR Silva, Nancy (54), France
 Eric **Lacombe**, Université de Lorraine, AgroParisTech, INRAE, UMR Silva, Nancy (54), France
 Philippe **Riou-Nivert**, CNPF-IDF, Paris (75), France

3.1.1 Contexte et problématique

Les tempêtes sont considérées comme l'une des perturbations naturelles ayant les plus forts effets sur la dynamique forestière (Dale *et al.*, 2001). Le régime de ces perturbations (fréquence, intensité, période et durée) est aujourd'hui incertain car il est influencé par le changement climatique.

L'intensification potentielle des tempêtes dans le futur accentue l'importance que ces aléas climatiques pourraient avoir dans la gestion des écosystèmes forestiers.

Après le passage d'une tempête majeure, une dynamique naturelle de régénération des peuplements forestiers dévastés s'initie. Les attentes économiques peuvent pousser le gestionnaire forestier à vouloir orienter, accélérer voire transformer la succession naturelle post-tempête pour installer plus rapidement une forêt productive. **L'objectif de cette contribution est de synthétiser les connaissances scientifiques et techniques qui peuvent aider à définir des itinéraires sylvicoles optimisant ce retour à une forêt de production dans le cadre d'une démarche de gestion durable.**

3.1.2 Matériel et Méthode

3.1.2.1 Cadrage de la contribution

Les dynamiques de l'écosystème forestier après tempête et donc les moyens à mobiliser pour que la forêt remplisse ces objectifs varient selon la sévérité des dégâts et la surface sinistrée. **Nous nous intéressons ici spécifiquement aux peuplements dits « dévastés », qui nécessitent la reconstitution du capital productif à la suite d'une forte diminution du volume de bois sur pied sur une grande surface.** En effet, ces situations présentent de fortes similitudes avec les coupes rases contrairement aux peuplements mités (petites trouées de quelques dizaines d'ares).

3.1.2.2 Démarche suivie

La principale difficulté rencontrée pour conduire cette synthèse est le **peu d'expérimentations scientifiques** comparant des itinéraires de reconstitution post-tempête. Même s'il existe plusieurs expérimentations de reconstitution sur lesquelles se basent les pratiques actuelles, les connaissances et pratiques actuelles s'appuient souvent sur des **savoirs empiriques** détenus par des gestionnaires forestiers et synthétisés dans des guides. Ce constat a conduit à présenter cette synthèse en deux parties :

- 1) une première partie synthétise les **connaissances scientifiques** qui, à défaut de constituer directement une aide à la décision de gestion, permettent l'identification des déterminants des dynamiques naturelles sur lesquelles s'appuyer pour proposer des stratégies de reconstitution.
- 2) une seconde partie, plus « pratique », présente les **stratégies de reconstitution** possibles et propose des **pistes pour aider les sylviculteurs dans leurs choix de gestion**. Cette partie s'appuie largement sur des savoirs empiriques détenus par les sylviculteurs (« dires d'experts », observatoires, cas d'étude).

3.1.2.3 Différence entre reconstitution post-tempête et reconstitution « classique »

La gestion des situations post-tempête nécessite des stratégies de reconstitution adaptées aux spécificités de ce type d'aléas climatiques. En effet, elles diffèrent des situations de renouvellement courantes :

- la tempête entraîne une modification forte de l'écosystème, notamment de la disponibilité en ressources et du microclimat via l'ouverture de la canopée (voir « 3.1.3.1 Dynamique spontanée de la régénération après tempête » pour plus de précisions). Le changement est considérable et surtout largement incontrôlé, ce qui influence fortement l'intérêt des différentes stratégies de reconstitution, en particulier les possibilités de recours à la régénération naturelle. En effet, à l'inverse d'une situation de renouvellement courante (programmée), il n'est pas possible

d'anticiper et de s'adapter aux conditions locales (*e.g.* abondance de la fructification), de s'appuyer sur un choix des semenciers en amont (quasiment absents) ou de doser l'arrivée de lumière au sol ;

- la présence d'arbres cassés et enchevêtrés, le nombre important de galettes racinaires renversées et la forte quantité de biomasse au sol (Laroussinie *et al.*, 2001), complexifient les actions de reconstitution (*e.g.* exploitation, nettoyage, plantation, etc.) et modifient les dynamiques habituellement à l'œuvre dans l'écosystème forestier ;
- les itinéraires sylvicoles proposés doivent s'inscrire dans une volonté d'économie de moyens. En effet, la situation économique du propriétaire forestier après tempête est souvent difficile car les bénéfices de la vente des bois sont réduits et les opérations sylvicoles n'ont pas pu être prévues en amont (Laroussinie *et al.*, 2001) ;
- lorsque la tempête entraîne une crise forestière, l'importance des surfaces à reboiser simultanément est à l'origine d'une concurrence importante pour le matériel (plants, graines, machines, etc.) et pour les opérateurs techniques. Elle est également susceptible de réduire l'investissement financier qui peut être consacré à la reconstitution de chaque parcelle. Dans ce cadre, les politiques publiques mises en œuvre ont une importance cruciale dans les choix de reconstitution.

3.1.3 Réponses à la question posée

3.1.3.1 Dynamique spontanée de la régénération après tempête

3.1.3.1.1 Une succession forestière complexe

L'ouverture brutale de la canopée rend disponibles en grandes quantités des ressources qui étaient limitées auparavant (lumière, eau et nutriments) (Ritter *et al.*, 2005), et altère fortement l'environnement microclimatique (températures extrêmes et exposition au soleil notamment) (Abd Latif *et* Blackburn, 2010 ; Ritter *et al.*, 2005) (voir aussi Volet 1, Thème 4, « Question 1. Quelle est l'incidence des coupes rases et d'autres types de coupes sur le microclimat forestier ? »). La fermeture progressive de la canopée devrait entraîner la succession théorique de reconstitution naturelle suivante : les essences pionnières s'installent en premier (héliophiles), suivies des post-pionnières (de semi ombre), puis des dryades constitutives du stade forestier final (tolérantes à l'ombre) (Rameau, 1999). Cependant, divers travaux scientifiques mettent en évidence de fortes variations par rapport au schéma théorique de la succession, induites par (i) l'intensité de la perturbation (Connell *et* Slatyer, 1977), (ii) la taille de la zone affectée (Connell *et* Slatyer, 1977 ; Kenk, 2002), (iii) la présence d'une régénération préexistante (Collet *et al.*, 2008 ; Quinones-Nadler *et al.*, 2005 ; Wohlgemuth *et al.*, 2002), (iv) la composition du peuplement antérieur et des peuplements avoisinants (Kenk, 2002), ou encore (v) la composition et la quantité d'arbres survivants (Gauberville, 2009). Ainsi, alors que certaines régénérations sont dominées par des essences pionnières (de lumière : saules, peupliers, bouleaux), d'autres sont dominées par des essences post-pionnières (*e.g.* chêne sessile, chêne pédonculé et pins) ou même des essences de fin de succession (*e.g.* hêtre) (Cowden *et al.*, 2014 ; Laurent *et al.*, 2021a, 2021c) et ce, parfois dès l'ouverture de la canopée (Collet *et al.*, 2008 ; Kramer *et al.*, 2014). À une échelle spatiale plus fine, on observe une forte hétérogénéité de conditions environnementales (microtopographie, disponibilité en ressources, microclimat) au sein d'une même trouée (Prévost *et* Raymond, 2012) qui permet à des essences ayant des stratégies différentes de coexister le long de ces gradients (Dietz *et al.*, 2022 ; Van Couwenberghe *et al.*, 2010).

Les conditions spécifiques créées par les trouées post-tempête pourraient également permettre l'accélération de l'adaptation de la communauté végétale aux changements climatiques en entraînant

leur thermophilisation (Dietz *et al.*, 2020). Cependant, dans le cas d'une régénération peu diversifiée ou d'arbres d'intérêt sensibles aux changements climatiques, ce phénomène d'accélération de la thermophilisation dans les trouées forestières pourrait être un désavantage pour le renouvellement forestier (densité, résilience, diversité, rentabilité).

3.1.3.1.2 La végétation accompagnatrice (herbacée et arbustive) : un facteur de blocage potentiel

Certaines espèces héliophiles, opportunistes, à croissance rapide et compétitrices pour les ressources répondent rapidement à l'ouverture de la canopée et, dans certains cas, empêchent l'installation, la survie ou la croissance des essences d'intérêt sylvicole (*e.g.* ronce, genêt, fougère aigle, molinie, etc.) (Koop *et* Hilgen, 1987 ; Wohlgemuth *et al.*, 2002). En effet, la végétation accompagnatrice peut modifier les trajectoires des communautés végétales et notamment bloquer ou ralentir la succession forestière en créant des conditions micro-environnementales défavorables à la germination des graines, à l'installation et au développement des semis de nombreuses essences forestières (*e.g.* faible disponibilité en lumière, compétition pour l'espace et pour l'eau, etc.) (Royo *et* Carson, 2006). Par ailleurs, les effets allélopathiques de certaines espèces de la végétation accompagnatrice peuvent être à l'origine d'un blocage chimique de la régénération forestière (Fernandez *et al.*, 2021). Le développement de plantes exotiques envahissantes peut également se faire au détriment de la régénération ligneuse.

3.1.3.1.3 La rupture de l'équilibre forêt-gibier : un facteur de blocage potentiel

Le déséquilibre sylvo-cynégétique est un problème majeur dans les régénérations, qu'elles soient naturelles ou artificielles. Par exemple, il a été démontré que le niveau des populations de cervidés est un des facteurs essentiels de la réussite de la reconstitution forestière après tempête (Denis, 2000) (voir aussi Volet 2, Thème 3, « Question 2. Comment prévenir et limiter les impacts des grands ongulés afin de permettre le renouvellement des peuplements forestiers ? »).

3.1.3.1.3.1 Les effets de l'encombrement de la parcelle sur la régénération

Il existe peu de littérature scientifique qui s'intéresse à caractériser l'effet de la gestion des rémanents (en andains, gestion extensive, etc.) sur les performances de la régénération. Quelques effets de leur enlèvement sont cependant documentés (Achat *et al.*, 2015) :

- l'enlèvement des rémanents a un effet sur les propriétés du sol. En effet, l'exportation de nutriments augmente significativement lorsque les rémanents sont récoltés : plus il y a de compartiments exportés (branches, feuillage, souches), plus la perte de fertilité est forte (Landmann *et* Nivet, 2014) ;
- un effet protecteur des rémanents vis-à-vis de l'abrouissement est parfois avancé. Cependant, si certains travaux démontrent l'existence d'un effet favorable (de Chantal *et* Granström, 2007 ; Whyte *et* Lusk, 2019), d'autres soulignent l'absence d'effet positif et montrent même que l'effet défavorable de la présence de rémanents sur la diversité et la régénération est plus important que l'effet défavorable de la présence du gibier (Vosges) (Pellerin *et al.*, 2010) ;
- les rémanents sont susceptibles de fournir des niches de régénération favorables à l'installation de certaines essences, notamment en limitant le développement d'une végétation accompagnatrice herbacée compétitive (Harmon *et* Franklin, 1989) ;
- les souches peuvent avoir un rôle important pour la régénération de certaines essences (*e.g.* épicéa commun), spécifiquement lorsqu'elles sont fortement décomposées (Motta *et al.*, 2006). Cependant, d'autres auteurs ont montré qu'après tempête il y a très peu de nouvelles

régénérations sur les souches et formulent l’hypothèse que ce phénomène est lié à la faible dégradation des souches qui rend négligeable cet effet dans les situations post-tempête (Vodde *et al.*, 2015).

3.1.3.2 Les stratégies de reconstitution

3.1.3.2.1 Avant de reconstituer : nettoyer

3.1.3.2.1.1 Exploitation

Dans la littérature technique, il est souvent signalé que l’exploitation doit être pratiquée, au moins partiellement, dans toutes les situations où elle est possible, et même lorsque les produits ont perdu leur valeur commerciale à la suite de la tempête. En effet, les parcelles non-exploitées restent longtemps impénétrables ce qui complexifie les actions sylvicoles (Becquey *et al.*, 2002). En cas de crise forestière, les bois les plus susceptibles de perdre de leur valeur sont à exploiter de manière prioritaire (*e.g.* dégradation rapide, fort diamètre, etc.) (Collin *et al.*, 2006). Dans les situations post-tempête comme lors de toute exploitation forestière, une attention particulière doit être portée à l’organisation des chantiers et à la protection des sols (privilégier les engins légers, concentrer les passages sur les cloisonnements, préserver la régénération et les arbres survivants, éviter d’exploiter lorsque les sols sont humides, etc.) (Vallauri et Chauvin, 1997). Cependant, les conditions spécifiques au contexte post-tempête (forte présence de rémanents, arbres enchevêtrés, etc.) rendent difficile de respecter les bonnes pratiques pour des raisons de rentabilité, de dangerosité et de disponibilité en main d’œuvre qualifiée et en matériel adapté (Collin *et al.*, 2006).

3.1.3.2.1.2 La gestion des rémanents : quelles pratiques

Une des principales spécificités de la reconstitution post-tempête est l’abondance de rémanents. Une quantité de rémanents importante est associée à une augmentation des risques sanitaires (*e.g.* attaque de scolytes, prolifération de rongeur, etc.) (Nageleisen, 2009) et d’incendies. Un encombrement fort est également responsable de difficultés pour l’organisation et la réalisation des travaux sylvicoles. Ainsi, s’il est généralement conseillé (i) d’éviter la récolte des rémanents et (ii) d’éviter de concentrer les rémanents pour faciliter leur dégradation et limiter la délocalisation potentielle de la matière organique, les spécificités du contexte post-tempête nécessitent le recours à une gestion adaptée. Dans les situations où ces risques sont forts, il est possible d’aller vers une exploitation et une évacuation plus importante de ces rémanents.

3.1.3.2.2 Trois grandes stratégies de reconstitution : la régénération naturelle, l’enrichissement ou la plantation en plein

3.1.3.2.2.1 Intérêt et importance du diagnostic pour s’orienter vers une stratégie

Il est important de pouvoir discriminer les situations où la régénération naturelle présente des potentialités suffisantes pour installer un peuplement satisfaisant (composition, densité, qualité) et les situations où des travaux de plantation (en plein ou en enrichissement) sont nécessaires. Il est intéressant de faire un diagnostic stationnel pour s’interroger sur (i) les essences à favoriser/introduire dans le contexte des changements globaux et en fonction des problématiques sanitaires, (ii) des éléments favorables à la biodiversité qu’il est possible de conserver ou améliorer.

Plusieurs auteurs ont proposé un diagnostic simple et rapide de la situation après tempête pour pouvoir orienter les choix sylvicoles (Kenk, 2002 ; Lacombe et Van Couwenberghe, 2010). Le premier conseil est souvent d’**observer les dynamiques qui s’expriment pendant quelques années avant de faire des choix d’orientation de gestion**. Cependant, plus le diagnostic est effectué tardivement et plus

il sera compliqué de mobiliser des aides financières alors même que les interventions nécessaires peuvent devenir plus importantes et plus coûteuses (e.g. suppression de la végétation accompagnatrice dense).

Les **délais de diagnostic** cités dans la littérature sont **variables** : certains suggèrent d’attendre jusqu’à cinq ans sur les stations « bonnes ou faciles » et 10 ans sur les stations « médiocres ou difficiles ou en altitude » (Mortier *et* Rey, 2002), d’autres d’attendre un à trois ans (Boulet-Gercourt *et* Lebleu, 2000). Une étude menée récemment sur les situations héritées des tempêtes de 1999 (Laurent *et al.*, 2021b, 2021d) montre qu’un diagnostic réalisé trois ans après tempête permet d’identifier les situations où la régénération naturelle est suffisante pour installer un peuplement satisfaisant et les situations où des travaux de plantation sont nécessaires, hors cas spécifiques (e.g. développement tardif de bouleaux notamment).

Lorsque la tempête entraîne une crise forestière, le grand nombre de parcelles sinistrées simultanément oblige à prioriser les interventions à réaliser et conforte l’intérêt d’un diagnostic précoce.

3.1.3.2.2 Un choix à faire parmi divers scénarios de reconstitution

Le choix de la méthode de reconstitution dépend de la potentialité de la station, du potentiel d’adaptation au changement climatique des essences présentes, de l’état de la parcelle forestière sinistrée, mais aussi de divers facteurs « extérieurs » à l’écosystème tels que les conditions techniques, administratives et réglementaires ou encore les objectifs du propriétaire (Becquey, 2001).

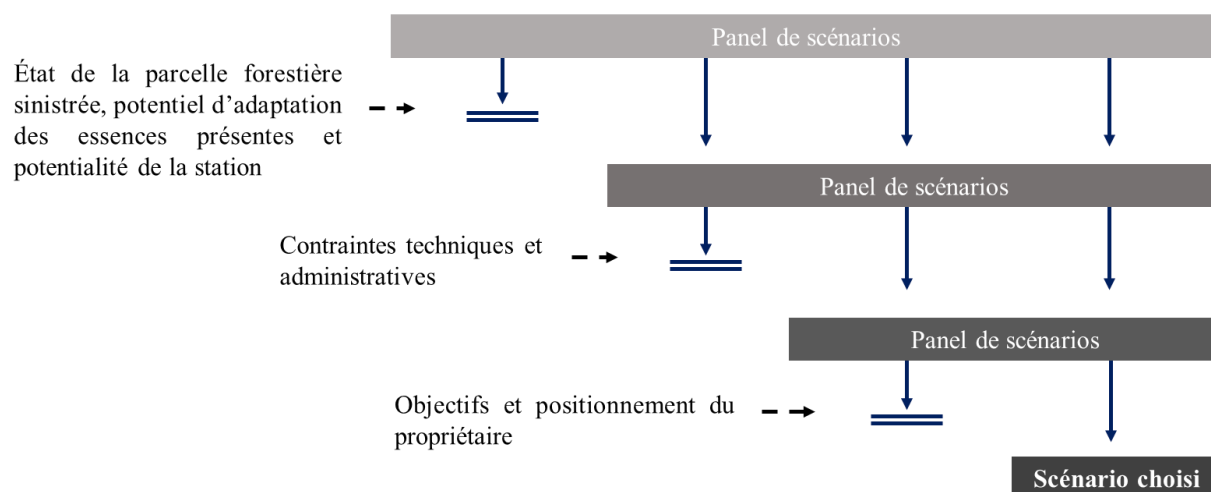


Figure 4.3.1-1 : Les principaux filtres qui structurent le choix d’un scénario de reconstitution

3.1.3.2.3 Avantages et inconvénients des trois grandes stratégies de reconstitution

Tableau 4.3.1-1 : Avantages et inconvénients des différentes stratégies de reconstitution. Adaptée de Drouineau *et al.* (2000), en particulier par l’ajout d’autres avantages/inconvénients (supposés) liés aux changements climatiques.

	Avantages	Inconvénients	Points de vigilance
Régénération naturelle	- Peu de travaux de préparation⁴²⁸. - Moindre sensibilité aux ongulés¹.	- Acquisition de la régénération naturelle incertaine⁴²⁹. - Conduite du peuplement parfois considérées comme	- Nécessité de travaux ultérieurs à ne pas négliger pour obtenir un peuplement de qualité.

⁴²⁸ Avantages/inconvénients remis en cause à la suite des tempêtes

⁴²⁹ Avantages/inconvénients amplifiés à la suite des tempêtes

	- Maintien des premiers stades de la dynamique naturelle. - Pression de sélection naturelle forte. - Souvent un moindre coût. - Généralement plus de choix lors des martelages. - Individus pouvant bénéficier de l'effet d'accompagnement en fonction de la densité et de la composition de la régénération naturelle (gainage, amélioration de la forme, etc.) - Diversité potentielle forte (résilience et résistance aux changements globaux et pathogènes).	plus complexe par les gestionnaires. - Consanguinité possible (si peu de semenciers) - Composition contrainte par les essences présentes dans la régénération naturelle (e.g. essences en place pas toujours adaptées au changement climatique).	- Réflexion sur l'intérêt sylvicole des essences qui se régénèrent naturellement (e.g. bouleau).
Enrichissement (plantation en compléments de la régénération naturelle)	- Maintien d'une partie de la dynamique naturelle². - Réduction des investissements en plantation en s'adaptant à la quantité et qualité de la régénération naturelle. - Complémentation pas des essences de fort intérêt lorsque la régénération naturelle (i) est insuffisante, (ii) comprend des essences d'intérêt mineur pour le sylviculteur (e.g. essences dont la sylviculture est peu connue, peu rémunératrice et trop tributaire de filières fragiles), (iii) est peu diversifiée et (iv) est trop pauvre en essences adaptées aux changements globaux (faible assurance face aux risques tempêtes, sanitaires, sécheresse, etc.) - Plantation différée permettant de commander les plants en amont et d'en définir la qualité (e.g. à travers un contrat de culture)².	- Coût individuel des plants (dont la protection contre le gibier). - Difficulté d'installation des plants (impossibilité de mécaniser une partie de la plantation). - Difficulté dans la suite de la vie du peuplement. - Certains travaux sylvicoles vont nécessiter une attention particulière dans le cas où l'on cherche à conserver l'ensemble du potentiel végétal.	- Choix des essences à réfléchir en fonction de la station et dans le contexte du changement climatique.
Plantation en plein	- Accès et compositions fixés dès le départ : facilité de pilotage des opérations.	- Coût d'installation (investissement de départ fort)².	- Choix des essences à réfléchir en fonction de la station et dans le

	- Rapidité de reconstitution. - Valorisation du progrès génétique. - Possibilité d'augmentation de l'assurance face aux risques (tempêtes, sanitaires, sécheresse, etc.)	- Ampleur des travaux de préparation (mécanisation)². - Sensibilité aux ongulés². - Faible richesse spécifique possible. - Disparition des successions végétales naturelles. - Échec potentiel avec les sécheresses et effets thermiques estivaux (notamment pour les plantation en plein sans abri).	contexte du changement climatique.
--	--	---	------------------------------------

3.1.3.2.3.1 La régénération naturelle

Diverses études ont montré l'intérêt économique de l'utilisation de la régénération naturelle après une tempête comme alternative à la plantation (Kenk, 2002). La dynamique de la régénération naturelle est cependant complexe et conditionnée par de nombreux facteurs qui sont explicités dans le « 3.1.3.1 Dynamique spontanée de la régénération après tempête ».

Les reconstitutions post-crise forestière doivent s'inscrire dans un souci d'économie de moyens (voir « 3.1.2.3 Différence entre reconstitution post-tempête et reconstitution « classique » ») : une exigence moindre sur la quantité de la régénération naturelle est attendue dans ce contexte. Cette volonté d'économie de moyens conforte l'importance du diagnostic de la situation initiale. En effet, une première impression d'insuffisance de la régénération naturelle ne doit pas amener le gestionnaire à choisir la plantation sans être confortée par un diagnostic qui sera facilité par l'existence de cloisonnements sylvicoles. Ainsi, la reconstitution post-crise nécessite souvent de travailler avec des densités de « tiges objectif » plus faibles que celles de la gestion courante.

Si l'installation des semis est souvent satisfaisante, la réussite de la régénération naturelle est conditionnée par un certain nombre de travaux ultérieurs qui seront nécessaires dans la grande majorité des peuplements dévastés et pourraient, dans certains cas, être plus onéreux que dans une plantation (Drouineau *et al.*, 2000). En effet, il faudra souvent envisager le recours à des travaux sylvicoles (Laurent *et* Lacombe, 2021) visant à :

- favoriser les essences présentant l'intérêt sylvicole le plus fort ;
- conserver et doser la diversité des essences pour limiter la disparition progressive de certaines essences d'intérêt (*e.g.* chênes, feuillus précieux, essences tolérantes à la sécheresse). Ce dosage est important pour améliorer la résistance et la résilience des peuplements futurs face aux changements globaux ;
- obtenir et conserver des tiges de qualité satisfaisante ;
- gérer des tiges issues de rejets ou qui se développent à partir des brins et troncs cassés, courbés ou couchés par les vents forts mais encore vivants. Les opérations de nettoyage sont alors particulièrement importantes dans ce contexte et doivent être programmées quelques années après le passage de la tempête.

Ces travaux peuvent être de nature variée : ouverture de cloisonnements, dégagements et nettoiemnts (*i.e.* dosage des essences), éclaircie (détourages notamment), etc. La désignation de tiges d'intérêt permettra de faciliter la continuité dans le travail à la faveur des meilleures tiges.

3.1.3.2.3.2 La plantation en plein

Lorsque le recours à la régénération naturelle n'est pas possible ou pas souhaitable (essences non adaptées à la station, au changement climatique, peuplement en place de qualité médiocre) le recours à la plantation en plein peut être envisagé. Pour cela, il faut introduire des plants à densité généralement comprise entre 800 et 2 500 plants par hectare. Comme pour toute plantation classique, un choix de plants de qualité rigoureux (essence(s), origine, taille, mode d'élevage) (Legay *et al.*, 2006), un schéma de plantation réfléchi, une installation soignée, un regarni si besoin, des entretiens réguliers pendant les premières années sont indispensables pour obtenir de bons résultats (Becquey, 2008). Dans le contexte du changement climatique, une attention particulière doit être donnée au choix de l'essence : les essences plantées devront pouvoir fournir l'ossature d'un peuplement durable à l'échelle d'un cycle de production.

3.1.3.2.3.3 L'enrichissement

La plantation d'enrichissement est intéressante lorsque la régénération naturelle est (i) insuffisante à elle seule mais permet d'assurer un accompagnement suffisant, (ii) composée d'essences d'intérêt mineur pour le sylviculteur (*e.g.* essences dont la sylviculture est peu connue, peu rémunératrice et trop tributaire de filières fragiles, etc.) Cette plantation en enrichissement peut aussi permettre d'augmenter la diversité des essences et de favoriser une meilleure réponse au changement climatique du peuplement futur (Becquey *et al.*, 2002).

Les dynamiques naturelles de reconstitution post-crise sont souvent favorables aux essences héliophiles et aux essences qui rejettent facilement tel que le charme et le tilleul (voir « 3.1.3.1 Dynamique spontanée de la régénération après tempête »). La place importante de ces essences dans la reconstitution des peuplements dévastés pousse le sylviculteur à s'interroger sur la place qu'il souhaite leur donner dans un contexte où les autres essences d'intérêt sont peu représentées (Laurent *et al.*, 2021b, 2021d).

Les **intérêts de la régénération naturelle existante dans les peuplements enrichis** sont nombreux : (i) fournir des produits de qualité avec des essences de fort intérêt sylvicole, (ii) représenter une essence de production intermédiaire (*e.g.* bouleau) (Mortier *et Rey*, 2002), (iii) participer à la reconstitution d'une ambiance forestière, (iv) fournir une nourriture alternative pour le gibier, (v) maîtriser la végétation compétitrice, (vi) favoriser l'éducation des tiges à fort intérêt économique, (vii) favoriser le fonctionnement des forêts (*e.g.* améliorer la qualité du sol en favorisant les cycles des éléments minéraux, participer à la restauration des dégâts à la suite de l'exploitation, etc.), (viii) dans le cas des essences pionnières, constituer une étape vers l'acquisition progressive du renouvellement des essences post-pionnières (ou de semi-ombre comme le chêne pédonculé ou les tilleuls) puis des dryades (ou essences d'ombre comme le hêtre ou le sapin).

3.1.3.2.4 Recommandations

3.1.3.2.4.1 La gestion des arbres survivants

La gestion des arbres survivants doit être réfléchie en fonction de leur vulnérabilité à court et moyen terme (sensibilité au vent des arbres isolés notamment), de l'objectif sylvicole (*e.g.* changement d'essence objectif par plantation), de l'intérêt pour la biodiversité (voir Volet 1, « Thème 5. Effets du système coupes rases-renouvellement sur la biodiversité ») et la fructification. Ainsi, il est intéressant de **conserver les arbres survivants et restés sur pied au moins temporairement** (i) en tant que semenciers lorsqu'ils sont susceptibles de produire des graines de qualité, (ii) en tant que perchoirs pour les oiseaux transporteurs de graines, ou (iii) simplement, pour permettre un ombrage et éviter

des phénomènes d'insolation des semis/plants (Biro *et al.*, 2009). Les arbres isolés susceptibles de mourir rapidement (pathogènes, vent, insolation, etc.) peuvent également être conservés pour favoriser la biodiversité, notamment celle liée au bois mort. À moyen terme, les arbres survivants, s'ils sont assez nombreux, peuvent être responsables d'un fort effet de compétition sur la régénération post-tempête (mortalité et déformations des jeunes tiges d'avenir) : La suppression de ces individus est donc à envisager, en particulier pour les arbres de mauvaise qualité sylvicole. Cependant, ces arbres isolés peuvent également servir de relais de production ou d'arbres d'intérêt écologique. Ainsi, les arbres qui seront intéressants à conserver doivent être identifiés pour être intégrés dans un éventuel schéma de plantation.

3.1.3.2.4.2 L'équilibre forêt-gibier

Dans les situations où l'équilibre forêt-gibier est rompu, il est nécessaire de travailler à réduire les populations d'ongulés sauvages de façon à les ramener à des niveaux compatibles avec la réussite des reboisements (Becquey, 2001). En situation de déséquilibre, le recours à des protections adaptées est souvent nécessaire pour assurer la croissance et la survie des semis, qu'il s'agisse de semis naturels ou de plants (voir aussi Volet 2, Thème 3, « Question 2. Comment prévenir et limiter les impacts des grands ongulés afin de permettre le renouvellement des peuplements forestiers ? »).

3.1.3.2.4.3 Le contrôle de la végétation concurrente

La compétition par la végétation accompagnatrice herbacée, arbustive ou ligneuse avec les essences de production et arbres « objectifs » est l'un des principaux facteurs de blocage de la régénération forestière (Frochot *et al.*, 1986). L'observation de tapis denses de certaines essences connues pour leur caractère fortement compétiteur vis-à-vis de la régénération peut faire craindre un blocage au moins temporaire (*e.g.* ronce, fougère aigle, molinie, genêt) (Gaudio *et al.*, 2008 ; Koop et Hilgen, 1987 ; Wohlgemuth *et al.*, 2002). Dans ces situations, le recours à des techniques de travail du sol, de paillage, de contrôle manuel ou mécanique rapides est souvent proposé pour maîtriser ces espèces et favoriser le développement de la régénération ligneuse (Balandier *et al.*, 2005 ; Dodet *et al.*, 2011). Le choix de la technique devra notamment se faire en fonction (i) de la nature de la végétation concurrente (graminées, joncs, fougère, ligneux, etc.), (ii) de l'abondance des espèces présentes, (iii) du coût de sa mise en œuvre (*e.g.* rendement, périodicité des interventions, etc.), (iv) des effets secondaires éventuels (*e.g.* tassement des sols, favorisation d'autres espèces compétitrices) (Dodet *et al.*, 2011).

3.1.4 Perspectives

3.1.4.1 Adaptation des stratégies aux critères de choix des propriétaires

Pour aider le propriétaire à se positionner dans le panel de stratégies de reconstitution possibles, il est intéressant d'évaluer l'adéquation entre les principaux critères de choix des propriétaires et les différentes stratégies proposées : réussite technique, coût, résilience, niveau d'adaptation au changement climatique, degré d'intervention, niveau de mélange, reconnaissance de l'intérêt économique de certaines essences, surface de la propriété, etc. La réalisation d'analyses multicritères ou la mise en place de systèmes experts pourrait apporter une réponse à ce besoin d'aide à la décision.

3.1.4.2 Poursuivre l'association entre gestion et recherche

Depuis quelques dizaines d'années, la recherche scientifique a fortement développé les thématiques orientées vers l'*écologie* (dynamiques, biodiversité) en les replaçant assez peu dans le contexte de la *sylviculture*, des pratiques de gestion, et des choix de propriétaires sous-tendus par de multiples attentes et contraintes. Ainsi, il y a un besoin de (ré)émergence d'approches plus intégratives de la

gestion si l'on veut faire progresser l'**aide à la décision, notamment multicritères**. Il est notamment important de perfectionner les outils de conseils à destination des propriétaires/gestionnaires en intégrant la complexité des situations afin de faciliter la prise de décision. La mise en place de nouvelles expérimentations à visée de conseil sylvicole est à réfléchir dans ce sens, de même que le suivi de certaines réalisations des propriétaires et gestionnaires sur le long terme au sein d'observatoires.

3.1.4.3 L'installation d'un mélange d'essences : un enjeu majeur de la reconstitution post-crise dans un contexte de changements climatiques

Plusieurs intérêts des mélanges (démontrés ou potentiels) par rapport aux peuplements purs sont régulièrement avancés dans la littérature, notamment leur meilleure résistance et résilience aux perturbations (*e.g.* tempêtes, attaques de pathogènes) et aux stress (*e.g.* sécheresses, surabondance de gibier). Cependant, ces effets sont loin d'être systématiques et dépendent des caractéristiques des perturbations et stress (durée, fréquence, intensité, spécialisation, etc.), de la structure et de la composition du peuplement (essences, proportions, etc.) et du contexte local (station ; état de l'équilibre faune-flore, etc.)

En complément, le mélange semble avoir un intérêt pour la biodiversité. La relation entre la composition du peuplement et la biodiversité varie fortement selon la composante de la diversité analysée et les taxons considérés (Gosselin et Bouget, 2003). L'architecture complexe des peuplements mélangés peut être à l'origine de la diversité d'espaces vitaux et de niches écologiques qui vont à leur tour être favorables à une grande diversité d'organismes.

Le mélange d'essences « objectif » permet également plus de souplesse pour répondre aux fluctuations temporaires des marchés du bois (Junod, 2011). Ainsi, pour s'inscrire dans le cadre des changements climatiques, les itinéraires sylvicoles de reconstitution post-tempête gagneront à s'intéresser à favoriser l'obtention d'un renouvellement mélangé, qu'il s'agisse d'un mélange de plusieurs essences « objectif » ou d'un mélange contenant des essences accompagnatrices (voir « Question 2. Comment installer et conduire les plantations mélangées ? »).

3.1.5 Références bibliographiques

- Abd Latif, Z., Blackburn, G.A., 2010. The effects of gap size on some microclimate variables during late summer and autumn in a temperate broadleaved deciduous forest. *International Journal of Biometeorology* 54, 119–129.
- Achat, D.L., Deleuze, C., Landmann, G., Pousse, N., Ranger, J., Augusto, L., 2015. Quantifying consequences of removing harvesting residues on forest soils and tree growth – A meta-analysis. *Forest Ecology and Management* 348, 124–141. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.03.042>
- Balandier, P., Collet, C., Miller, J.H., Reynolds, P.E., Zedaker, S.M., 2005. Designing forest vegetation management strategies based on the mechanisms and dynamics of crop tree competition by neighbouring vegetation. *Forestry* 79, 3–27.
- Becquey, J., 2008. Pour alléger le suivi des plantations: le mélange avec des essences secondaires. *Revue Forestière Française* 60, 289–303.
- Becquey, J., 2001. Diagnostic avant reconstitution, par où commencer. *Forêt entreprise* 38–43.
- Becquey, J., Formery, T., Paillassa, É., 2002. Enseignement, recommandations et anticipation en forêt privée. *Revue forestière française* 54, 204–213.
- Biro, Y., Landmann, G., Bonhême, I., 2009. *La forêt face aux tempêtes*. Éditions Quae.

- Boulet-Gercourt, B., Lebleu, G., 2000. Les plantations d'enrichissement: leur utilisation après chablis. *Forêt-entreprise* 135, 53–59.
- Collet, C., Piboule, A., Leroy, O., Frochot, H., 2008. Advance *Fagus sylvatica* and *Acer pseudoplatanus* seedlings dominate tree regeneration in a mixed broadleaved former coppice-with-standards forest. *Forestry* 81, 135–150.
- Collin, J.-F., Jourez, B., Hebert, J., 2006. La problématique chablis, s'y préparer et gérer la crise!(2ème partie). *Forêt. Nature* 13–26.
- Connell, J.H., Slatyer, R.O., 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist* 111, 1119–1144.
- Cowden, M.M., Hart, J.L., Schweitzer, C.J., Dey, D.C., 2014. Effects of intermediate-scale wind disturbance on composition, structure, and succession in *Quercus* stands: Implications for natural disturbance-based silviculture. *Forest Ecology and Management* 330, 240–251.
- Dale, V.H., Joyce, L.A., McNulty, S., Neilson, R.P., Ayres, M.P., Flannigan, M.D., Hanson, P.J., Irland, L.C., Lugo, A.E., Peterson, C.J., 2001. Climate change and forest disturbances: climate change can affect forests by altering the frequency, intensity, duration, and timing of fire, drought, introduced species, insect and pathogen outbreaks, hurricanes, windstorms, ice storms, or landslides. *BioScience* 51, 723–734.
- de Chantal, M., Granström, A., 2007. Aggregations of dead wood after wildfire act as browsing refugia for seedlings of *Populus tremula* and *Salix caprea*. *Forest Ecology and Management* 250, 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.035>
- Denis, M., 2000. Cervidés et reconstruction de la forêt après tempêtes. *Les Dossiers de l'environnement de l'INRA* 130–134.
- Dietz, L., Collet, C., Dupouey, J.-L., Lacombe, E., Laurent, L., Gégout, J.-C., 2020. Windstorm-induced canopy openings accelerate temperate forest adaptation to global warming. *Global Ecology and Biogeography* 29, 2067–2077.
- Dietz, L., Gégout, J.-C., Dupouey, J.-L., Lacombe, E., Laurent, L., Collet, C., 2022. Beech and hornbeam dominate oak 20 years after the creation of storm-induced gaps. *Forest Ecology and Management* 503, 119758.
- Dodet, M., Collet, C., Ningre, F., Wehrle, L., Balandier, P., 2011. La gestion de la végétation accompagnatrice dans les systèmes dédiés à la production de bois énergie. *Revue forestière française* 53, 235–242.
- Drouineau, S., Laroussinie, O., Birot, Y., Terrasson, D., Formery, T., Amat, B.R., 2000. Expertise Collective Sur Les Tempêtes, La Sensibilité Des Forêts, Et Sur Leur Reconstitution. *Courrier de l'environnement de l'INRA* 20, 336.
- Fernandez, M., Malagoli, P., Gallet, C., Fernandez, C., Vernay, A., Améglio, T., Balandier, P., 2021. Investigating the role of root exudates in the interaction between oak seedlings and purple moor grass in temperate forest. *Forest Ecology and Management* 491, 119175. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119175>
- Frochot, H., Picard, J.-F., Dreyfus, P., 1986. La végétation herbacée, obstacle aux plantations. *Revue Forestière Française* 38, 271–279.
- Gauberville, C., 2009. Successions forestières spontanées après tempête: les cas de l'Auvergne (1982) et de la Bretagne (1987), in: *La Forêt Face Aux Tempêtes*. Quae éditions, p. 347.
- Gaudio, N., Balandier, P., Marquier, A., 2008. Light-dependent development of two competitive species (*Rubus idaeus*, *Cytisus scoparius*) colonizing gaps in temperate forest. *Annals of forest science* 65, 1–5.

- Gosselin, F., Bouget, C., 2003. L'évolution des pratiques d'exploitation forestières pourrait bénéficier" à la biodiversité": réflexions scientifiques autour du guide de reconstitution de l'ONF, suite à la tempête. *Ingénieries eau-agriculture-territoires* 61–73.
- Harmon, M.E., Franklin, J.F., 1989. Tree seedlings on logs in Picea-Tsuga forests of Oregon and Washington. *Ecology* 70, 48–59.
- Junod, P., 2011. Forêt finement mélangée, une réalité à promouvoir | Finely mixed forest, an asset to be encouraged. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 162, 51–58.
- Kenk, G., 2002. Rôle de la végétation dans la reconstitution de la forêt après tempête: l'exemple Allemand (Bade-Wurtemberg). *Revue Forestière Française* 547–558.
- Koop, H., Hilgen, P., 1987. Forest dynamics and regeneration mosaic shifts in unexploited beech (*Fagus sylvatica*) stands at Fontainebleau (France). *Forest Ecology and Management* 20, 135–150.
- Kramer, K., Brang, P., Bachofen, H., Bugmann, H., Wohlgemuth, T., 2014. Site factors are more important than salvage logging for tree regeneration after wind disturbance in Central European forests. *Forest Ecology and Management* 331, 116–128. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.08.002>
- Lacombe, E., Van Couwenberghe, R., 2010. Observatoire des dynamiques naturelles de végétation après tempête : premiers constats et conséquences sylvicoles. *Rendez-vous techniques de l'ONF* 8–16.
- Landmann, G., Nivet, C., 2014. Projet Resobio. Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité.
- Laroussinie, O., Birot, Y., Blanchard, G., 2001. Après les tempêtes dévastatrices de 1999, comment reconstituer les forêts. *Cahier du Conseil Général du GREF* 15.
- Laurent, L., Lacombe, E., 2021. Guide pratique pour l'optimisation de la reconstitution forestière post-tempête.
- Laurent, L., Lacombe, E., Collet, C., Dietz, L., Dupouey, J.L., Gégout, J.C., Boulanger, V., Gonin, P., 2021a. Les observatoires des peuplements dévastés et mités après tempête, 1re partie. *Forêt Entreprise* 13–49.
- Laurent, L., Lacombe, E., Collet, C., Dietz, L., Dupouey, J.L., Gégout, J.C., Boulanger, V., Gonin, P., 2021b. Les observatoires des peuplements dévastés et mités après tempête, 2e partie. *Forêt Entreprise* 53–60.
- Laurent, L., Lacombe, E., Collet, C., Dietz, L., Dupouey, J.L., Gégout, J.C., Gonin, P., Boulanger, V., 2021c. Observatoire des peuplements dévastés et mités après tempête (1999) – 1 Analyse des dynamiques naturelles forestières après deux décennies. *Rendez-vous techniques de l'ONF* 13–49.
- Laurent, L., Lacombe, E., Collet, C., Dietz, L., Dupouey, J.L., Gégout, J.C., Gonin, P., Boulanger, V., 2021d. Observatoire des peuplements dévastés et mités après tempête (1999) – 2 Éléments de diagnostic pour optimiser la reconstitution des peuplements sinistrés. *Rendez-vous techniques de l'ONF* 11–16.
- Legay, M., Ginisty, C., Bréda, N., 2006. Que peut faire le gestionnaire forestier face au risque de sécheresse? *Rendez-vous Techniques de l'ONF* 35–40.
- Mortier, F., Rey, B., 2002. L'office national des forêts guide la reconstitution des forêts publiques. *Revue Forestière Française* 54, 190–203.
- Motta, R., Berretti, R., Lingua, E., Piussi, P., 2006. Coarse woody debris, forest structure and regeneration in the Valbona forest reserve, Paneveggio, Italian Alps. *Forest Ecology and Management* 235, 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.08.007>

- Nageleisen, L.-M., 2009. L'estimation des dégâts liés aux scolytes après les tempêtes de 1999, in: *La Forêt Face Aux Tempêtes*. pp. 69–76.
- Pellerin, M., Saïd, S., Richard, E., Hamann, J.-L., Dubois-Coli, C., Hum, P., 2010. Impact of deer on temperate forest vegetation and woody debris as protection of forest regeneration against browsing. *Forest Ecology and Management* 260, 429–437. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.04.031>
- Prévost, M., Raymond, P., 2012. Effect of gap size, aspect and slope on available light and soil temperature after patch-selection cutting in yellow birch–conifer stands, Quebec, Canada. *Forest Ecology and Management* 274, 210–221.
- Quinones-Nadler, C., Lacombe, E., Gegout, J.-C., 2005. La régénération naturelle dans les peuplements dévastés par la tempête de 1999 dans le quart Nord-Est de la France. *Revue Forestière Française* 289–310.
- Rameau, J.-C., 1999. Accrus, successions végétales et modèles de dynamique linéaire forestière. *Ingénieries EAT* 33–48.
- Ritter, E., Dalsgaard, L., Einhorn, K.S., 2005. Light, temperature and soil moisture regimes following gap formation in a semi-natural beech-dominated forest in Denmark. *Forest Ecology and Management* 206, 15–33.
- Royo, A.A., Carson, W.P., 2006. On the formation of dense understory layers in forests worldwide: consequences and implications for forest dynamics, biodiversity, and succession. *Canadian Journal of Forest Research* 36, 1345–1362.
- Vallauri, D., Chauvin, C., 1997. L'écologie de la restauration appliquée à la forêt. *Revue forestière française* 49, 195–203.
- Van Couwenberghe, R., Collet, C., Lacombe, E., Pierrat, J.-C., Gégout, J.-C., 2010. Gap partitioning among temperate tree species across a regional soil gradient in windstorm-disturbed forests. *Forest Ecology and Management* 260, 146–154.
- Vodde, F., Jögist, K., Engelhart, J., Frelich, L.E., Moser, W.K., Sims, A., Metslaid, M., 2015. Impact of wind-induced microsites and disturbance severity on tree regeneration patterns: Results from the first post-storm decade. *Forest Ecology and Management* 348, 174–185.
- Whyte, H.D., Lusk, C.H., 2019. Woody debris in treefall gaps shelters palatable plant species from deer browsing, in an old-growth temperate forest. *Forest Ecology and Management* 448, 198–207.
- Wohlgemuth, T., Kull, P., Wüthrich, H., 2002. Disturbance of microsites and early tree regeneration after windthrow in Swiss mountain forests due to the winter storm Vivian 1990 32.

Volet 2 | Thème 4. Amélioration des itinéraires de renouvellement en contexte de changement climatique

Question 3.2. Quels itinéraires techniques peut-on utiliser pour reconstituer les peuplements après un incendie ?

Sommaire

3.2.1 Contexte et problématique	734
3.2.2 Démarche et moyens mobilisés	735
3.2.3 Réponses à la question posée	735
3.2.3.1 Objectifs de la reconstitution des peuplements	736
3.2.3.2 L'évaluation des capacités de reconstitution spontanée	736
3.2.3.3 Les itinéraires techniques de reconstitution	738
3.2.3.4 Abattage de bois brûlés	738
3.2.3.5 Accompagnement de la reconstitution naturelle	739
3.2.3.6 Restauration par plantation	741
3.2.3.7 Protection de la régénération	742
3.2.4 Perspectives	742
3.2.5 Références bibliographiques	743

Rédacteurs

Marion **Toutchkov**, Office national des forêts, Défense des forêts contre les incendies, Avignon (84), France

Amélie **Castro**, CNPF Nouvelle-Aquitaine, Bordeaux (33), France

Eric **Rigolot**, INRAE, ECODIV, URFM, Avignon (84), France

Contributeurs

Benoît **Reymond**, Office national des forêts, Défense des forêts contre les incendies, Avignon (84), France

Christophe **Chantepy**, Office national des forêts, Défense des forêts contre les incendies, Avignon (84), France

Jean-Louis **Pestour**, Office national des forêts, Défense des forêts contre les incendies, Avignon (84), France

Chloé **Monta**, ASL Suberaie Varoise, Le Luc (83), France

3.2.1 Contexte et problématique

En France, le risque d'incendie concerne historiquement et en premier lieu la zone méditerranéenne, du fait notamment d'une météorologie propice. Le massif landais est également concerné, ainsi que la Réunion en outre-mer. En moyenne depuis 20 ans, en excluant les années exceptionnelles 2003 et 2022, la surface incendiée en période estivale est de l'ordre de 10 000 ha/an. Ces surfaces demeurent modestes en comparaison des moyennes d'autres pays d'Europe méridionale (50 000 à plus de 100 000 ha/an pour le Portugal, l'Espagne et l'Italie). Le bilan français reste *a fortiori* très éloigné d'autres régions du monde comme les États-Unis d'Amérique, le Canada ou la Russie, où brûlent chaque année plusieurs millions d'hectares. Pour autant, leurs impacts sont bien réels, sur les personnes et les biens, mais également sur l'environnement. Avec le changement climatique, la donne a changé, et il faut compter avec une augmentation du risque, à la fois dans les zones déjà concernées et dans le reste de la métropole (Dupuy *et al.*, 2020) : à l'échéance 2050, près de la moitié des forêts et des landes, maquis, garrigue sera concernée (Chatry *et al.*, 2010). L'année 2022 est remarquable au titre de la surface incendiée à l'échelle nationale, avec un total de plus de 70 000 ha, dont plusieurs feux « hors normes » (Linley *et al.*, 2022). Elle constituera certainement une rupture dans la façon

d'envisager à la fois la lutte, la prévention et, d'une façon qui est discutée ici, la reconstitution des peuplements incendiés.

Comment traiter les forêts brûlées et comment les renouveler, en prenant en considération les contraintes particulières liées au passage des flammes ? Les contextes de la zone méditerranéenne, de la zone landaise et du reste du territoire métropolitain sont contrastés et les différences historiques et socio-techniques doivent être prises en compte.

3.2.2 Démarche et moyens mobilisés

Cette contribution est fondée (i) d'une part sur un travail de capitalisation d'expérience sur la gestion post-incendie menée depuis quelques années par l'ONF dans la zone méditerranéenne, grâce au soutien du ministère en charge des risques naturels (MTECT) et de la Région Sud – Provence-Alpes-Côte d'Azur et, (ii) d'autre part, sur l'évaluation de données récentes mais également historiques (suite aux grands incendies de 1949) disponibles dans les Landes de Gascogne.

Dans la **zone méditerranéenne**, la reconstitution des peuplements après incendie occupe une place centrale au sein d'un ensemble de thématiques post-incendie, qui comprend les mesures d'urgence (protection contre les risques induits tels que les chutes d'arbres, les chutes de pierres, les crues torrentielles, etc.), l'exploitation des bois brûlés et les opérations de réhabilitation. Le retour d'expérience issu de l'analyse des études, travaux et événements post-incendie est étayé par des sources bibliographiques scientifiques, acquises et analysées avec l'appui de l'Unité de Recherche des Forêts Méditerranéennes (UFRM, INRAE Avignon). Pour aller plus loin, les connaissances et expériences des pays du sud de l'Europe sont détaillées dans Moreira *et al.* (2012).

Dans la **zone landaise**, la constitution des peuplements après incendie est pratiquée régulièrement et comprend l'exploitation des bois brûlés, l'aménagement du massif forestier et de ses infrastructures et les opérations de reconstitution et gestion des peuplements reconstitués. Le retour d'expérience est complété par des sources bibliographiques et techniques, notamment les travaux récents et anciens de l'UMR BIOGECO et l'Unité Expérimentale ISPA (et antérieurement, de la station de recherche de Pierroton) d'INRAE et les travaux du Groupement d'Intérêt Scientifique Groupe Pin Maritime du Futur. Ce dernier n'a pas mené de travaux spécifiques sur la reconstitution post incendie mais a réalisé des Cahiers de la Reconstitution post tempête dans le contexte des Landes de Gascogne.

Les données spécifiques concernant les autres régions françaises sont historiquement plus disparates, et les retours d'expériences de l'année 2022 qui a impacté significativement de nombreux départements hors zones sud-est et sud-ouest, sont encore en cours et n'ont pu être intégrés ici.

3.2.3 Réponses à la question posée

Après une réflexion préalable sur les objectifs poursuivis par la reconstitution des peuplements après un incendie, on s'interrogera sur l'évaluation des capacités de reconstitution spontanée, avant de présenter les itinéraires techniques possibles (abattage des bois brûlés, accompagnement de la reconstitution naturelle, restauration par plantation, protection de la régénération).

Bien que les recommandations générales issues de l'analyse soient applicables sur tout le territoire français, plusieurs considérations techniques portent spécifiquement sur les peuplements des zones méditerranéennes, historiquement les plus concernées par le risque incendie et les mieux documentées.

3.2.3.1 Objectifs de la reconstitution des peuplements

En l'absence d'intervention, le devenir des terrains incendiés dépend de multiples facteurs : conditions stationnelles, peuplements précédents, taille et fréquence des incendies subis au cours des décennies passées, sévérité du feu, conditions climatiques avant et après feu, etc. (Moreira et Vallejo, 2009). Selon les cas, le milieu se reboisera plus ou moins rapidement et, dans certains cas, restera ouvert à long terme.

Un retour à l'état boisé est le plus souvent recherché en raison des diverses fonctions assurées par la forêt :

- les **fonctions de protection** concernent la régulation du cycle de l'eau, la protection des sols, la protection contre les crues torrentielles, les chutes de blocs et les avalanches, la fixation dunaire, voire la lutte contre la désertification dans certaines zones (Mayor *et al.*, 2007) ;
- les **fonctions paysagères** : après l'incendie, les paysages sont bouleversés, d'autant plus si des zones forestières ont été détruites. La reconstitution de paysages forestiers, avec toute la symbolique qu'ils portent, représente alors un enjeu important aux yeux du public et des élus ;
- la **préservation de la biodiversité** : des habitats forestiers rares ou plus riches que certains milieux ouverts dégradés peuvent être recherchés. En France, en dehors de quelques secteurs dégradés par des incendies trop fréquents relativement à la résilience des écosystèmes concernés, les milieux ouverts résultant du passage des flammes contribuent généralement à créer des mosaïques de milieux favorables à une certaine biodiversité (Prodon, 2022) ;
- la **production forestière** : le matériau bois est une ressource majeure qui alimente différentes filières : construction, ameublement, pâte à papier, emballage, bois énergie, etc. ;
- la **séquestration du carbone** : les forêts représentent un puits de carbone important dans le bois et dans le sol.

Pour la reconstitution des peuplements, les objectifs potentiels cités ci-dessus sont donc à analyser, cartographier et hiérarchiser en fonction des circonstances et des spécificités du terrain. Pour chaque objectif, divers critères sont à prendre en compte. Ainsi, pour prendre l'exemple de la protection contre les chutes de blocs, certaines caractéristiques de densité, de diamètre ou de capacité de régénération sous couvert devront pouvoir être atteintes, en fonction de la taille des blocs et la topographie (Radtko *et al.*, 2014).

En contexte post-feu, la préoccupation de Défense des Forêts Contre l'Incendie (DFCI) est généralement prégnante : dans les secteurs où les incendies sont récurrents, elle peut même conduire à abandonner la vocation forestière de certains terrains stratégiques pour la lutte au profit d'occupations du sol moins combustibles comme des vergers.

Il faut noter cependant qu'après un incendie, surtout s'il est important, la pression sociétale pour replanter est généralement forte, motivée par la volonté de la population et/ou des élus de réaliser « une bonne action écologique » pour panser les plaies des flammes. Cette option doit être évaluée avec soin, car elle n'est pas forcément la meilleure, et l'espoir de ne plus revivre ce traumatisme dans le futur en plantant des espèces « non inflammables » est assez illusoire (voir 3.2.3.6 Restauration par plantation).

3.2.3.2 L'évaluation des capacités de reconstitution spontanée

Une fois les objectifs fixés, on évalue si les dynamiques naturelles suffisent à y répondre, ou si elles le peuvent en moyennant un accompagnement du gestionnaire.

Les dynamiques spontanées dépendent avant tout des **types de peuplements** qui ont été incendiés. En effet, les espèces sont plus ou moins adaptées au feu. En zone méditerranéenne, certaines sont

résistantes, c'est-à-dire que les arbres disposent d'éléments protecteurs tels qu'une écorce épaisse, alors que d'autres sont résilientes, c'est-à-dire que les peuplements sont capables de se renouveler après l'incendie par régénération naturelle (sexuée ou asexuée). Un peuplement presque similaire à celui qui a brûlé est alors susceptible de se reconstituer à moyen terme. Ces stratégies ne s'excluent pas l'une l'autre : citons le pin maritime dont la résistance mais aussi les capacités de régénération post-incendie sont bonnes (Rigolot, 2004 ; Fernandes *et Rigolot*, 2007). Toutefois, ces facteurs adaptatifs ne sont pas toujours efficaces. Par exemple, la protection assurée par l'écorce diminue lorsque la puissance du feu augmente. Autre exemple : les arbres qui se régénèrent par semis peuvent être trop jeunes pour avoir produit des graines avant l'incendie (Ne'eman *et al.*, 2004). Sans intervention humaine, la forêt peut alors laisser place, selon les situations, à des formations de type maquis ou garrigues plus ou moins nues, voire, en cas de feux puissants et répétés, à des milieux ouverts de plus en plus désertiques (Rodrigo *et al.*, 2004). La recherche a en effet démontré que l'augmentation de la fréquence des incendies modifie la structure et la composition des communautés végétales, sélectionnant des communautés très compétitives et adaptées à des conditions de ressource de plus en plus faibles (liées à la dégradation du sol). C'est le cas par exemple du ciste de Montpellier en milieu acide, de l'ajonc ou du chêne kermès en milieu calcaire, qui retardent l'évolution vers des formations forestières.

La détermination des capacités de reconstitution des peuplements implique donc une analyse experte des **caractéristiques des peuplements en place**, ainsi que de l'ensemble des facteurs susceptibles d'influencer leur reconstitution.

Comme cela vient d'être évoqué, l'un des facteurs principaux est la **sévérité de l'incendie**, et ses impacts sur la survie des arbres par dégâts au cambium, aux bourgeons et aux graines (Stevens-Rumann *et Morgan*, 2019). Son évaluation doit être menée sur le terrain, elle peut être aidée par le traitement préalable d'images satellite.

La **taille et la forme des zones incendiées** permettent d'appréhender les possibilités de dissémination depuis les peuplements épargnés (Stevens-Rumann *et Morgan*, 2019).

Les **incendies passés** sont pris en compte pour connaître le temps écoulé depuis le feu précédent et évaluer si certains seuils de fréquence ont été dépassés. En zone méditerranéenne, le seuil de 25 ans est un ordre de grandeur pertinent (Vennetier *et al.*, 2008). Il est également intéressant d'observer, par exemple sur les photographies aériennes, comment les peuplements avaient alors réagi (Stevens-Rumann *et Morgan*, 2019).

La **gestion sylvicole passée** peut aussi être déterminante, ne serait-ce que pour connaître l'âge des peuplements qui joue sur leur résistance ou leur résilience, ou encore pour connaître d'éventuelles faiblesses préexistantes telles que les dépérissements, les attaques de ravageurs ou les dégâts d'ongulés.

Enfin, les **caractéristiques stationnelles** méritent d'être prises en compte, au moins par une approche simplifiée (cartographie des compartiments bioclimatiques, de l'exposition et des conditions topographiques plus ou moins favorables à l'écoulement de l'eau et aux dépôts ou dépôts de matériaux), surtout lorsque la probabilité de reconstitution est faible (Lopez Ortiz *et al.*, 2019). Les peuplements préexistants peuvent donner des indications sur la qualité stationnelle – l'information est à prendre avant leur exploitation. Si les actions de réhabilitation prévoient des plantations, une analyse stationnelle fine devient indispensable. En tout état de cause, il est rarement raisonnable d'espérer boiser des espaces qui ne l'étaient pas avant feu, car si tel était le cas, c'est souvent que les conditions stationnelles ne le permettraient pas.

Quelles que soient les études préalables réalisées, certains facteurs comme les conditions météorologiques jouant un rôle *a posteriori*, il demeure crucial d'**observer sur le terrain les premières tendances de reprise de la végétation**. Selon le niveau de fiabilité souhaité, cette campagne de terrain pourra être encadrée par un protocole plus ou moins détaillé. En matière de reconstitution post-incendie, il ne faut pas se précipiter (Moreira *et Vallejo*, 2009) ; l'observation de la dynamique naturelle doit être faite sur au moins une ou deux saisons de végétation. Cependant, surtout dans les régions où elle est susceptible de concurrencer la régénération, la dynamique de la végétation herbacée et arbustive nécessite une vigilance particulière.

3.2.3.3 Les itinéraires techniques de reconstitution

Le plan de reconstitution doit être en cohérence avec les documents cadres de gestion forestière. Les peuplements objectifs doivent être adaptés aux conditions stationnelles actuelles et prévisibles. Ils doivent répondre aux grands principes de multifonctionnalité des forêts françaises : production de bois dès que possible, fonctions sociales et environnementales, protection contre les risques naturels si besoin.

Le niveau d'intervention peut varier, selon une intensité croissante, d'un simple suivi de la reconstitution naturelle, à des actions d'accompagnement des dynamiques naturelles, jusqu'à la restauration par reboisement. L'intensité du feu, sa récurrence, le potentiel de semenciers, les conditions stationnelles et la concurrence de la végétation spontanée mais aussi les objectifs des propriétaires, des contraintes liées à la prise en compte du changement climatique ou la pression d'abrutissement sont autant de facteurs qui vont conditionner les choix techniques.

3.2.3.4 Abattage de bois brûlés

Il arrive fréquemment que les arbres condamnés soient abattus, pour diverses raisons telles que le « gommage paysager » (qui consiste à faire disparaître les chandelles), la construction de fascines pour retenir les sédiments (Myronidis *et Arabatzis*, 2009), la mise en sécurité des secteurs ouverts au public ou la valorisation du bois. Les avantages peuvent être également sylvicoles, avec un accès ultérieur facilité aux parcelles (non gêné par les chablis ou par les arbres calcinés restés en place avec un bois parfois durci), la limitation de la gêne ou des dégâts aux semis et rejets, et dans certains cas, la limitation des risques sanitaires. Pour les feuillus, le recépage (coupe des arbres brûlés) favorise la reprise de peuplements plus sains et vigoureux, par l'allocation des ressources des racines restées vivantes à des rejets de souche plutôt qu'à des rejets de cime formés sur des arbres très affaiblis par le feu, voire condamnés à moyen terme.

Si de telles opérations sont jugées opportunes, elles doivent toutefois être préparées et exécutées avec soin (McIver *et McNeil*, 2006) en raison de leurs impacts potentiels, notamment sur le sol ou sur la régénération, selon les modalités des travaux (Martínez-Sánchez *et al.*, 1995 ; Pausas *et al.*, 2004 ; Vennetier, 2001). Il convient en particulier de considérer que laisser au moins une partie des arbres morts en place présente des avantages, à la fois par les graines qu'ils peuvent continuer de disperser et les graines apportées par les oiseaux qui s'y perchent (Cavallero *et al.*, 2013), mais aussi en matière de biodiversité ; espèces inféodées ; corridors ; etc. (Hutto, 2006).

Quant aux arbres survivants dont la probabilité de mortalité différée est jugée faible (Rigolot, 2004 ; Pimont *et al.*, 2011), ils sont en général laissés en place. C'est le cas en particulier des peuplements résistants, comme certaines forêts de chêne liège – celles dont le liège était suffisamment épais, en lien avec l'âge des arbres et la date de la dernière levée (Roula *et al.*, 2020).

3.2.3.5 Accompagnement de la reconstitution naturelle

Le renouvellement des peuplements incendiés par régénération naturelle sexuée (semis) ou asexuée (rejets) est susceptible d'assurer au moins en partie les objectifs de reconstitution et, dans de nombreuses situations, notamment en zone méditerranéenne, la régénération naturelle aura de meilleurs résultats que les plantations (Lopez Ortiz *et al.*, 2019 ; Moreira *et Vallejo*, 2009). Diverses interventions d'accompagnement peuvent être réalisées pour la favoriser. La régénération naturelle est tout d'abord à prendre en compte dans les choix relatifs au traitement des arbres brûlés (voir 3.2.3.4 Abattage de bois brûlés). Les paragraphes suivants complètent les itinéraires sylvicoles classiques par quelques indications par essences en lien avec le contexte particulier post-incendie.

Pour reprendre le cas du **chêne liège**, outre le choix de recéper ou non, d'autres opérations sont à envisager lorsqu'une remise en production de liège est souhaitée. La production peut ainsi être confortée par sélection et détournage (broyage de la végétation concurrente) des rejets quelques années après le recépage, puis par des tailles de formation. Lorsque des arbres adultes survivants ont été conservés, une taille sanitaire (des branches affaiblies par le feu) est utile ; surtout, le liège brûlé doit être extrait. Cette opération doit avoir lieu au minimum 6 ans après l'incendie, faute de quoi le courant de sève descendante n'est pas suffisant pour un décollement aisé (Lombardini, 2004). À noter qu'un travail du sol a pu être préconisé en peuplement peu dense pour stimuler la production de drageons en complément des rejets de souche. Cette option est à considérer avec prudence, car elle ne doit pas conduire à nuire à un sol déjà fragilisé ou à des espèces sensibles telles que la tortue d'Hermann dans le Var.

Pour le **chêne vert** et le **chêne pubescent**, il est possible d'effectuer une sélection des meilleurs brins si, lors du recépage, des rejets sont déjà présents. En effet, même si l'évolution en taillis convient au propriétaire, ces brins seront mieux conformés et évolueront plus vite vers des stades un peu moins combustibles. Si une évolution vers la futaie sur souche est souhaitée, la sélection de brins est impérative, avec détournage en cas de besoin.

En cas de **mélange de chêne et de pin**, on choisit désormais de maintenir cette diversité, dans le but d'augmenter la résilience au changement climatique. Même s'il est vrai que le sous-bois d'une yeuseraie pure et dense est peu développé, cela ne contribue pas toujours à éviter qu'elle brûle en cas d'incendie estival, mais plutôt à réduire le risque de départ de feu en son sein. À proximité immédiate de sites où les enjeux humains sont importants, il pourra donc être envisagé de favoriser les chênes verts – si tant est que les conditions stationnelles permettent leur survie. En ce qui concerne le chêne-liège, la pousse des brins peut être aidée face à la concurrence des semis de pin maritime par la pose de manchons de protection, ce qui les protège en outre de l'abroustissement des ongulés.

Sauf année aux conditions météorologiques extrêmes, les **essences feuillues plus septentrionales, ou de milieux plus frais**, sont actuellement moins concernées par les incendies. Il semble que la plupart d'entre elles rejettent bien après feu, au point parfois de constituer le peuplement principal lorsqu'elles étaient en mélange avec des essences résineuses. La capacité à rejeter se réduit toutefois avec l'âge ; elle est souvent meilleure pour les taillis que pour les futaies. La recomposition spontanée des peuplements après incendie tend parfois à favoriser des essences de l'ancien sous-étage (alisiers, merisiers, érables, etc.) ou des structures en taillis incompatibles avec une vocation de bois d'œuvre. Le cas échéant, des choix de gestion seront à réaliser pour accélérer la transition vers les peuplements objectifs (travaux voire plantations).

Parmi les résineux, le **pin d'Alep** est à distinguer des autres, car il dispose de cônes sérotineux⁴³⁰ (Ne'eman *et al.*, 2004) : la résine qui les recouvre les protège des flammes, puis par fonte permet leur ouverture et la libération de leurs graines. En conséquence, dès lors que le peuplement préexistant était suffisamment mûr pour avoir produit ces cônes, une régénération par semis est envisageable après l'incendie. L'abondance de cette dernière dépend de multiples facteurs (Nathan *et Ne'eman*, 2004 ; Vennetier, 2020) tels que la densité des semenciers, la prédation des graines puis des pousses, la concurrence herbacée, les conditions climatiques dans les mois qui suivent le feu, etc. Seul un suivi dans le temps permet de déterminer s'il faudra envisager des supplémentations par plantation ou au contraire un dépressage pour favoriser la croissance de pins d'avenir dans les meilleures stations (Moya *et al.*, 2009).

Le **pin maritime** dispose également de cônes sérotineux, mais en moins grande quantité que le pin d'Alep, sauf dans certaines populations (Vega *et al.*, 2010). La présence d'une banque de graines dans le houppier, protégée dans une certaine mesure par des cônes de grande dimension, permet une régénération potentiellement abondante après les incendies ayant roussi les houppiers sans combustion totale (Fernandes *et Rigolot*, 2007). À noter toutefois qu'actuellement, la majorité des peuplements français de pin maritime se situe sur les plateaux des Landes de Gascogne, où la régénération est généralement réalisée par plantation. Après incendie, la régénération naturelle peut y donner de bons résultats sur les terrains secs ou correctement assainis, à condition que des semenciers soient présents en densité suffisante. Mais le développement de la végétation herbacée et arbustive, qui peut être rapide après un feu de faible à moyenne intensité, peut constituer un obstacle à la réussite de la régénération. En particulier, dans les landes mésohygrophiles, la molinie peut reconstituer en quelques mois des tapis très denses qui contraignent la germination des graines, d'autant plus si le niveau de la nappe phréatique remonte au printemps du fait de la disparition du couvert végétal. La qualité et la densité des semis peut être fortement réduite. En dehors de ces plateaux landais, la régénération naturelle demeure majoritaire, y compris après incendie. Dans les dunes du littoral atlantique, elle est souvent accompagnée d'un semis de complément. Il y a une préoccupation croissante quant à l'évolution de la quantité de graines produites en lien avec le parasitage de ces dernières et le changement climatique.

Pour les **autres résineux français**, la régénération naturelle après incendie est généralement bien plus compliquée à obtenir (Toutchkov, 2021). Elle se fera souvent de manière plus ou moins dispersée, de proche en proche par dissémination des graines à partir des semenciers épargnés par le feu (en périphérie, ou au sein de la zone parcourue si le feu n'est pas monté en cime). Dans certains cas, notamment sur sols acides à maquis dense, un dessouchage de ce dernier a pu être envisagé pour limiter sa concurrence avec les semis attendus. Ce type de travaux est toutefois rarement réalisé compte tenu de son coût.

Pour **tous les résineux**, les travaux sylvicoles classiques sont à prévoir en cas d'enjeu de production de bois. À noter que dans les Maures, les pins maritimes autochtones, bien que se régénérant fort bien après incendie, restent sensibles à la cochenille (*Matsucoccus feytaudi*), ce qui obère tout espoir d'obtenir des peuplements matures, et donc l'intérêt d'y mener des travaux sylvicoles.

Pour **l'ensemble des peuplements** et particulièrement pour ceux qui étaient déjà menacés par certains ravageurs avant l'incendie, **un suivi sanitaire** est à prévoir afin d'intervenir si nécessaire. Les scolytes, en particulier, s'attaquent aux arbres vivants mais affaiblis, qui peuvent être nombreux aux abords, voire au sein, des zones incendiées. Deux espèces sont également susceptibles de s'attaquer aux

⁴³⁰ les cônes sont saturés en résine et restent sur l'arbre parent, sans s'ouvrir, pour une année ou plus, après la maturité des graines à l'intérieur. Cela s'accompagne d'une dormance prolongée des graines, qui n'est levée que par les hautes températures accompagnant le passage du feu, ou par les conditions physico-chimiques spécifiques de l'après feu.

peuplements sains aux abords du feu : l'hylésine destructeur (*Tomicus destruens*), notamment sur pin d'Alep, et le sténographe (*Ips sexdentatus*), notamment sur pin maritime (Vega *et al.*, 2010) et pin pignon. Les facteurs de risque sont alors, outre la quantité d'arbres affaiblis, mais non détruits par le feu (Moreira *et Vallejo*, 2009), la présence à proximité du brûlé de chablis de l'hiver précédent (ayant déjà attiré des scolytes) ou de jeunes peuplements (plus sensibles aux scolytes). Les arbres touchés sont à évacuer aussi rapidement que possible afin d'endiguer l'infestation.

3.2.3.6 Restauration par plantation

Des plantations, en enrichissement ou en plein, peuvent s'avérer techniquement pertinentes (Stevens-Rumann *et Morgan*, 2019) dès lors que la régénération naturelle ne suffit pas à répondre aux objectifs donnés à la zone, tels que la production de bois sur les stations qui le permettent, la protection contre les risques naturels, le maintien des paysages, le maintien de la biodiversité, ou encore l'adaptation au changement climatique par introduction d'essences potentiellement plus résistantes à la sécheresse (Davis *et al.*, 2019). En zone aride ou semi-aride, la présence d'un peuplement, même de faible productivité, peut être appréciable d'un point de vue paysager et environnemental (régulation des cycles de l'eau et du carbone, amélioration du sol, etc.)

Un projet de restauration par plantation doit être d'autant plus soigneusement réfléchi qu'il suppose des investissements importants et que la réussite n'est parfois pas assurée, surtout en zone méditerranéenne.

Une condition *sine qua non* demeure l'adaptation des essences choisies aux stations concernées. Il faut tenir compte du fait que les conditions stationnelles sont souvent aggravées par l'incendie, ce qui augmente le risque d'échec.

Pour la majorité des espèces feuillues, même méditerranéennes, les jeunes pousses supportent mal le très fort ensoleillement sur un terrain nu après incendie, qui brûle les feuilles et provoque leur dessèchement par transpiration excessive (contrairement aux rejets naturels de souches qui bénéficient, eux, d'un système racinaire profond). Même pour les résineux, et même après une période d'adaptation suite à l'élevage en pépinière, l'exposition brutale des plants aux conditions extrêmes des surfaces incendiées peut s'avérer difficile. À noter qu'outre le **fort ensoleillement**, la concurrence parfois vive d'espèces pyrophiles ou encore la dégradation des sols, les incendies ont également un impact important sur les réseaux souterrains de champignons (les mycéliums). Or, ces derniers sont vitaux pour les arbres par les symbioses qu'ils forment avec eux (les mycorhizes), même si les espèces pionnières y sont moins sensibles.

Une difficulté majeure dans le choix des essences à installer après incendie est de concilier la résistance au feu et la résistance à la sécheresse. C'est particulièrement le cas en zone méditerranéenne. La plupart des essences considérées comme peu combustibles nécessitent des milieux relativement riches et frais, très rares en zone méditerranéenne ou rares en zone landaise, *a fortiori* dans un périmètre découvert par l'incendie. Parmi les essences offrant les meilleurs compromis, se trouvent (i) le pin pignon (Fernandes *et al.*, 2008) – mais il pose problème à terme car il se régénère très mal naturellement, (ii) le chêne liège – mais il est calcifuge, et les plantules résistent mal à un ensoleillement direct, ainsi que (iii) le pin maritime et (iv) le pin d'Alep, relativement résistants à des feux de faible intensité et à la sécheresse.

Au-delà du choix des essences, il convient pour chaque projet de plantation de se référer scrupuleusement aux recommandations techniques concernant la transplantation et l'installation des plants de façon générale (voir Volet 2, Thème 2, « Question 4. Comment limiter le stress de transplantation pour assurer l'installation des plants en contexte de changement climatique ? »).

En zone méditerranéenne, une attention particulière est à porter à l'alimentation en eau des plants, ce qui peut justifier des dépenses supplémentaires. À ce propos, un autre point de vigilance porte sur les opérations échelonnées dans le temps, tels que les arrosages ou les travaux d'entretien plus classiques (dégagements par exemple). En effet, en contexte post-incendie, l'effort principal est consenti immédiatement après l'évènement, sous le coup de l'impact émotionnel, puis l'on observe souvent une préjudiciable absence d'entretien dans les années qui suivent (Toutchkov, 2021).

Dans les Landes de Gascogne, la reconstitution des peuplements de pin maritime par plantation après incendie est un itinéraire largement répandu, qui donne de bons résultats. La plantation permet une reconstitution rapide du peuplement, dans de bonnes conditions de croissance, en bénéficiant de plants de bonne qualité génétique (variétés améliorées). Les densités pratiquées (en moyenne 1200 tiges/ha), et le maintien d'interlignes assez larges (4 m) facilite l'entretien du sous-bois. Après les grands incendies de 1949, les techniques de semis à la volée, semis « au crot »⁴³¹, semis sur labour et plantation avaient été largement utilisées dans les zones où la régénération naturelle avait échoué du fait de la forte intensité du feu ou d'un blocage par l'engorgement printanier ou par la végétation herbacée et arbustive (Papy, 1950). En dehors du pin maritime, lorsque le feu n'a pas été trop intense, on observe des rejets de souche sur chêne pédonculé, saules, chênes lièges et chêne tauzin. La conservation de ces essences, en accompagnement du pin maritime est essentielle pour maintenir ou renforcer la diversité à l'échelle du massif forestier (Canteloup et Castro, 2012). Les plantations de feuillus, en plein ou en enrichissement, ont fait l'objet de nombreux essais, mais se heurtent à des difficultés techniques, les taux de survie et les croissances s'avérant souvent décevants.

3.2.3.7 Protection de la régénération

Comme en dehors du contexte post-incendie, la protection de la régénération (naturelle ou artificielle) peut nécessiter des mesures spécifiques, par exemple contre le piétinement en zones très fréquentées ou encore contre les dégâts des grands ongulés. En ce qui concerne la protection contre la dent du bétail, notons qu'après incendie, le pâturage est interdit dans les forêts privées, pendant 10 ans renouvelables (art. L. 131-4 du code forestier⁴³²).

Enfin, une protection contre l'incendie ou contre les risques naturels (chutes de blocs, avalanches, etc.) peut être jugée utile, surtout pour les plantations compte-tenu des sommes investies. De fait, la phase de reconstitution d'un peuplement après incendie est une période de grande vulnérabilité à un nouveau feu, en particulier du fait de la structure des stades jeunes, où la biomasse combustible est souvent continue horizontalement (entre les houppiers) et verticalement (branches basses et végétation adventice).

3.2.4 Perspectives

Malgré des avancées significatives depuis les années 1980 dans les domaines évoqués ci-dessus, il subsiste des lacunes de connaissances qui engendrent des besoins de recherche dans un certain nombre de domaines.

C'est le cas notamment de l'influence des différents facteurs d'évolution de la végétation sans ou avec intervention humaine, dont l'appréhension mériterait un effort de recherche particulier, d'autant plus en contexte de changement climatique. En effet, les conditions d'un blocage des successions

⁴³¹ Semis réalisé dans des trous creusés à la bêche. Cette technique fut utilisée dans les milieux très embroussaillés (Papy, 1950).

⁴³² Consultable ici : https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000025245873

écologiques risquent d’être de plus en plus souvent réunies. *A minima*, un observatoire de la résilience des forêts après incendie, avec cartographie associée des facteurs, pourrait être mis en place.

Les évolutions des milieux naturels, mais aussi du risque d’incendie associé, pourraient faire l’objet de recherche fondées sur des outils de modélisation à l’échelle du paysage.

La question du recours à la plantation est également de plus en plus posée en lien avec l’anticipation du changement climatique. Bien que les conditions générales de réussite d’une plantation soient globalement bien connues, les conditions spécifiques liées au contexte post-incendie mériteraient une attention particulière. Cela pourrait passer par un état de l’art poussé des pratiques passées, locales et étrangères, complété, selon les résultats, par des travaux de recherche.

De même, l’exploitation des bois brûlés, qui a lieu dans un milieu fragilisé par les flammes, mérite des préconisations spécifiques fondées sur des connaissances académiques ou des retours d’expérience opérationnelle à mettre en place. En effet, ce type de coupe sera de plus en plus fréquent en contexte de changement climatique, en lien avec des incendies de plus en plus fréquents affectant des forêts au potentiel de valorisation important.

3.2.5 Références bibliographiques

- Canteloup, D., Castro, A., 2012. Situation sanitaire et diversification. Les cahiers de la reconstitution. GIS GPMF 12.
- Cavallero, L., Raffaele, E., Aizen, M.A., 2013. Birds as mediators of passive restoration during early post-fire recovery. *Biological Conservation* 158, 342–350. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.10.004>
- Chatry, C., Le Quentrec, M., Laurens, D., Le Gallou, J.-Y., Lafitte, J.-J., Creuchet, B., 2010. Rapport de la mission interministérielle 'Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts.
- Davis, K.T., Dobrowski, S.Z., Higuera, P.E., Holden, Z.A., Veblen, T.T., Rother, M.T., Parks, S.A., Sala, A., Maneta, M.P., 2019. Wildfires and climate change push low-elevation forests across a critical climate threshold for tree regeneration. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 116, 6193–6198. <https://doi.org/10.1073/pnas.1815107116>
- Dupuy, J., Fargeon, H., Martin-StPaul, N., Pimont, F., Ruffault, J., Guijarro, M., Hernando, C., Madrigal, J., Fernandes, P., 2020. Climate change impact on future wildfire danger and activity in southern Europe: a review. *Annals of Forest Science* 77, 35. <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00933-5>
- Fernandes, P., Rigolot, E., 2007. The fire ecology and management of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait. *Forest Ecology and Management* 241, 1–13.
- Fernandes, P., Vega, J., Jiménez, E., Rigolot, E., 2008. Fire resistance of European pines. *For. Ecol. Manag* 256, 246–245. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2008.04.032>
- Hutto, R.L., 2006. The effects of post-fire salvage logging on cavity-nesting birds. *The Condor* 108, 817–831.
- Linley, G.D., Jolly, C.J., Doherty, T.S., Geary, W.L., Armenteras, D., Belcher, C.M., Bliege Bird, R., Duane, A., Fletcher, M., Giorgis, M.A., Haslem, A., Jones, G.M., Kelly, L.T., Lee, C.K.F., Nolan, R.H., Parr, C.L., Pausas, J.G., Price, J.N., Regos, A., Ritchie, E.G., Ruffault, J., Williamson, G.J., Wu, Q., Nimmo, D.G., Poulter, B., 2022. What do you mean, ‘megafire’? *Global Ecol Biogeogr* 31, 1906–1922. <https://doi.org/10.1111/geb.13499>
- Lombardini, F., 2004. Rénover et gérer les forêts provençales de Chêne-liège.
- Lopez Ortiz, M.J., Lucash M., S., Hibbs D., Shatford, J., Thompson, J.R., Marcey, T., 2019. Post-fire management affects species composition but not Douglas-fir regeneration in the Klamath

- Mountains. Forest Ecology and Management 432, 1030–1040. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.030>
- Martínez-Sánchez, J.J., Marín, A., Herranz, J.M., Ferrandis, P., De las Heras, J., 1995. Effects of high temperatures on germination of *Pinus halepensis* Mill. and *P. pinaster* Aiton subsp. *pinaster* seeds in southeast Spain. *Vegetatio* 116, 69–72. <https://doi.org/10.1007/BF00045279>
- Mayor, A.G., Bautista, S., Llvet, J., Bellot, J., 2007. Post-fire hydrological and erosional responses of a mediterranean landscape : seven years of catchment-scale dynamics. *Catena* 71, 68–75.
- McIver, J.D., McNeil, R., 2006. Soil Disturbance and Hill-Slope Sediment Transport After Logging of a Severely Burned Site in Northeastern Oregon. *Western Journal of Applied Forestry* 21, 123–133. <https://doi.org/10.1093/wjaf/21.3.123>
- Moreira, F., Arianoutsou, M., Corona, P., De las Heras, J. (Eds.), 2012. Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests, Managing Forest Ecosystems. Springer Netherlands, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-2208-8>
- Moreira, F., Vallejo, R., 2009. What to Do After Fire? Post-Fire Restoration. *EFI* 53–58.
- Moya, D., De las Heras, J., López-Serrano, F.R., Condes, S., Alberdi, I., 2009. Structural patterns and biodiversity in burned and managed Aleppo pine stands. *Plant Ecol* 200, 217–228. <https://doi.org/10.1007/s11258-008-9446-6>
- Myronidis, D., Arabatzis, G., 2009. Evaluation of Greek Post-Fire Erosion Mitigation Policy through Spatial Analysis. *Polish Journal of environmental Studies* 18, 865–872.
- Nathan, R., Ne’eman, G., 2004. Spatiotemporal dynamics of recruitment in Aleppo pine (*Pinus halepensis* Miller). *Plant Ecology* 171, 123–137. <https://doi.org/10.1023/B:VEGE.0000029379.32705.0f>
- Ne’eman, G., Goubitz, S., Nathan, R., 2004. Reproductive traits of *Pinus halepensis* in the light of fire – a critical review. *Plant Ecology* 171, 69–79. <https://doi.org/10.1023/B:VEGE.0000029380.04821.99>
- Papy, L., 1950. Le problème de la restauration des Landes de Gascogne. *caoum* 3, 231–279. <https://doi.org/10.3406/caoum.1950.1688>
- Pausas, J.G., Ribeiro, E., Vallejo, R., 2004. Post-fire regeneration variability of *Pinus halepensis* in the eastern Iberian Peninsula. *Forest Ecology and Management* 203, 251–259. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.061>
- Pimont, F., Prodon, R., E, R., 2011. Comparison of postfire mortality in endemic Corsican black pine (*Pinus nigra* ssp. *laricio*) and its direct competitor (*Pinus pinaster*). *Annals of Forest Science* 68, 425–432. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0031-0>
- Prodon, R., 2022. Successional Pathways of Avifauna in a Shifting Mosaic Landscape: Interplay between Land Abandonment and Wildfires. *Fire* 5, 183. <https://doi.org/10.3390/fire5060183>
- Radtke, A., Toe, D., Berger, F., Zerbe, S., Bourrier, F., 2014. Managing coppice forests for rockfall protection : lessons from modeling. *Annals of Forest Sciences* 71, 485–494. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0339-z>
- Rigolot, E., 2004. Predicting postfire mortality of *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus pinea* L. *Plant Ecology* (formerly *Vegetatio*) 171, 139–151. <https://doi.org/10.1023/B:VEGE.0000029382.59284.71>
- Rodrigo, A., Retana, J., Pico, X., 2004. Direct regeneration is not the only response of Mediterranean forests to large fires. *Ecology* 85, 716–729. <https://doi.org/10.1890/02-0492>
- Roula, S.E., Bouhraoua, R.T., Catry, F.X., 2020. Factors affecting post-fire regeneration after coppicing of cork oak (*Quercus suber*) trees in northeastern Algeria. *Canadian Journal of Forest Research* 50, 371–379.

- Stevens-Rumann, C.S., Morgan, P., 2019. Tree regeneration following wildfires in the western US : a review. *fire ecol* 15, 15. <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0032-1>
- Toutchkov, M., 2021. Retour d'expérience sur les travaux post-incendie en région Sud -PACA.
- Vega, JA., Fernández, C., Pérez-Gorostiaga, P., Fonturbel, T., 2010. Response of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) recruitment to fire severity and post-fire management in a coastal burned area in Galicia (NW Spain). *Plant Ecol* 206, 297–308. <https://doi.org/10.1007/s11258-009-9643-y>
- Vennetier, M., 2020. Quelques aspects méconnus de la régénération du pin d'Alep après incendie. *Forêt Méditerranéenne* 41, 101–120.
- Vennetier, M., 2001. Dynamique spatiale de la régénération des forêts après incendie en Provence calcaire. Cas particulier du pin d'Alep. Cemagref Aix-en-Provence.
- Vennetier, M., Cecillon, L., Guénon, R., Schaffhauser, A., Vergnoux, A., Boichard J.-L., Bottéro J.-Y., J.-J, B., Carrara, M., Cassagne, N., Chandioux, O., Clays-Josserand, A., Commeaux, C., Curt, T., Czarnes, S., Danieli, D., Degrange, V., Rocco, D., Domeizel, M., Doumenq, P., Doussan, C., Estève, R., Faivre, N., Favier, G., Gaudu J.-C., Gros, R., Guiliano, M., Guillaumaud, N., Hoepffner, M., Juvy, B., Le Roux, X., Lebarriller, S., Malleret, L., Martin, W., Mas, C., Masion, A., Massiani, C., Mermin, E., Mille, G., Morge, D., Pignot, V., Poly, F., Renard, D., Ripert, C., Ruy, S., Tardif, P., Tatoni, T., Théraulaz, F., Vassalo, L., Asia, L., 2008. Etude de l'impact d'incendies de forêt répétés sur la biodiversité et sur les sols. Recherche d'indicateurs. Rapport final. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1450.3923>

Volet 2 | Thème 4. Amélioration des pratiques de renouvellement en contexte de changement climatique

Question 4. Quelle est la diversité des initiatives de renouvellement forestier testées dans les territoires ? Peuvent-elles venir appuyer une réflexion sur la diversification des pratiques de renouvellement ?

Sommaire

4.1 Contexte et problématique	746
4.2 Matériel et méthodes	747
4.2.1 Tâche A – Recensement d’initiatives atypiques de renouvellement	747
4.2.2 Tâche B – Caractérisation d’une sélection d’initiatives.....	748
4.2.2.1 B.1 – Sélection d’un sous-ensemble d’initiatives.....	749
4.2.2.2 B.2 – Complément d’enquête sur les initiatives de la sélection	750
4.2.3 Tâche C – Identification des critères de description	750
4.3 Résultats	752
4.3.1 Recensement d’initiatives atypiques de renouvellement	752
4.3.2 Description d’une sélection d’initiatives	755
4.4 Difficultés et limites de l’enquête	760
4.5 Conclusions et perspectives	761
4.5.1 Besoins de recherche	762
4.6 Remerciements	763
4.7 Annexes	763

Rédacteurs

Céline **Perrier**, CNPF-IDF, Lyon (69), France

Philippe **Riou-Nivert**, CNPF-IDF, Paris (75), France

Morgane **Delay**, CNPF-IDF, Paris (75), France

Jacques **Becquey**, CNPF-IDF, Lyon (69), France

4.1 Contexte et problématique

Les évolutions en cours modifient les conditions de croissance et de renouvellement des forêts. Le forestier doit **s’adapter** à ce nouveau contexte et **trouver des modes de gestion alternatifs** qui tendent à **favoriser dès le jeune âge la résistance et la résilience** des forêts. Cette adaptation des pratiques doit viser à **limiter, quand cela est possible, les changements trop brutaux, pouvant amener un stress supplémentaire** pour les peuplements. De tels changements existent néanmoins, provoqués par des aléas divers, climatiques ou biotiques, sur lesquels le sylviculteur a peu de prise. Ils peuvent aussi être consécutifs à des opérations de gestion nécessaires comme le renouvellement complet de peuplements. Il est alors indispensable de **raisonner** avec soin ce stade crucial et de **l’accompagner** à chacune des étapes de sa mise en œuvre.

Ce nouveau contexte implique d’avoir recours à des **modes de renouvellement « autres »**, parfois à inventer, qui constituent des alternatives à des pratiques bien connues. **Des intermédiaires sont ainsi à trouver** entre la régénération naturelle et la plantation, l’ouverture et le maintien du couvert, la conservation ou l’élimination du recru, etc. **Le choix de ces intermédiaires est guidé par les objectifs de gestion** (rentabilité, recherche de diversité, etc.) **et par les spécificités locales** (contraintes à l’installation, adéquation essence-station, protection des sols, etc.) On peut ainsi être amené à installer

ou favoriser une autre essence (ou provenance) plus résistante aux contraintes climatiques, diversifier les pratiques à l'échelle d'un massif pour augmenter la résilience globale, ajuster les techniques de renouvellement à une contrainte locale (réglementaire, paysagère, etc.), amener un mélange d'essences ou de provenances pour augmenter la résilience du peuplement adulte, etc.

Ces modes de renouvellement « autres » nécessiteraient cependant un **savoir-faire ou des guides techniques sur lesquels s'appuyer**. Il serait utile de préciser dans quel contexte privilégier telle ou telle pratique et enfin, il serait nécessaire de connaître l'investissement financier et matériel requis. Des initiatives existent sur le territoire et peuvent alimenter cette réflexion grâce à un **retour d'expériences sur les itinéraires mis en place**, les motivations des responsables de ces initiatives et les résultats obtenus.

Coordonné par le RMT AFORCE⁴³³, et mené dans le cadre de l'expertise CRREF, l'enquête décrite ici vise à apporter un **premier éclairage sur la diversité existante des types de renouvellement**. Elle s'appuie sur la caractérisation d'un échantillon d'initiatives qui, pour approcher au mieux cette diversité, est orienté préférentiellement sur des alternatives à la plantation monospécifique en plein régulière et dense après coupe rase et/ou sur des initiatives qui présentent un intérêt (connu ou supposé) pour faire face aux contraintes et impacts du changement climatique. L'enquête inclut l'**identification d'une sélection de cas, au sein de cet échantillon, qui mériteraient à terme une analyse plus approfondie pour déterminer leur potentiel à inspirer des installations futures**. Cette enquête concerne l'ensemble du territoire métropolitain.

4.2 Matériel et méthodes

L'enquête s'est déroulée de juin 2021 à septembre 2022. Elle s'est articulée en plusieurs tâches :

- **Tâche A** - Recensement d'initiatives par enquête (phase 1 de l'enquête)
 - *143 initiatives disponibles à l'issue de la tâche*
- **Tâche B** - Caractérisation d'une sélection d'initiatives (phase 2 de l'enquête)
 - *60 initiatives disponibles à l'issue de la tâche*
- **Tâche C** - Identification des critères de description

4.2.1 Tâche A – Recensement d'initiatives atypiques de renouvellement

Cette tâche consiste en un **recensement par enquête d'initiatives atypiques de renouvellement** mises en œuvre sur le territoire métropolitain. Les initiatives sont jugées atypiques si elles se démarquent du mode de renouvellement connu qu'est la plantation monospécifique en plein régulière et dense après coupe rase et/ou si elles présentent un intérêt (connu ou supposé) pour faire face aux contraintes et impacts du changement climatique. À ce stade, le questionnaire est conçu de manière à pouvoir être renseigné dans un temps restreint, tout en permettant de dresser un premier portrait des initiatives (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). L'idée est d'effectuer un balayage large pour mettre en lumière toute la diversité de ces initiatives sans nécessiter une forte mobilisation en temps de la part des répondants.

Pour cadrer la recherche des initiatives atypiques pouvant être proposées au recensement, des consignes ont été rédigées (voir Tableau 4.4-1).

Tableau 4.4-1 : Consignes pour la recherche d'initiatives atypiques à proposer au recensement

Type d'initiative	Tous types : expérimentation avec une ou plusieurs modalités (essence, sylviculture, densité de plantation, etc.), avec prise de mesures ou signalement d'un peuplement en gestion, sans prise de mesures.
-------------------	--

⁴³³ <https://www.reseau-aforce.fr/>

Objectif	Il peut s'agir d'initiatives mises en place avec l'objectif de trouver des alternatives face au changement climatique, ou bien des initiatives mises en place pour d'autres objectifs (économiques, etc.), mais pouvant être source d'inspiration.
Échec/Réussite	Sans restriction : les analyses et réflexions à en tirer sont tout autant importantes dans un cas comme dans l'autre.
Âge	Pas de limite d'âge, mais les peuplements jeunes (entre 0 et 20 ans notamment) sont à privilégier. Des peuplements d'une vingtaine d'années ayant passé l'épreuve du temps sont intéressants au même titre que des peuplements récemment installés. Les installations prévues mais non encore réalisées sont acceptées.
Surface	Initiatives installées sur plus de 10 ares privilégiées.
Structure	Régulière ou irrégulière.
Composition	Peuplement pur ou mélangé.
Schéma de renouvellement	Tous types (excepté la plantation en plein monospécifique régulière et dense après coupe rase, qui n'est pas en soi un mode de renouvellement rejeté mais qui est écarté pour l'enquête).
Mode de renouvellement	Plantation, semis artificiel ou régénération naturelle.
Densité	Tous types.
Type de propriété	Public ou privé.

Ces consignes ont été jointes à l'invitation par e-mail lancée pour participer à l'enquête. Elle a été transmise *via* les canaux de diffusion du réseau AFORCE aux cibles principales de l'enquête⁴³⁴ : ONF, CNPF, CETEF, Chambres d'Agriculture, Coopératives forestières et Experts Forestiers de France.

Le questionnaire comportant 25 questions, disponible en ligne, reprend dans sa conception le plan adopté pour ces consignes (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) :

- **Informations générales** : responsable de suivi, situation, type de propriété ;
- **Objectif poursuivi et à l'origine de l'initiative** (de gestion ou d'expérimentation selon le cas) ;
- **Caractéristiques descriptives** : antécédent culturel, mode de renouvellement et année, schéma d'installation, composition, structure, densité, surface, appréciation de l'état sanitaire actuel ;
- **Appréciation globale** : réussite ou échec de l'initiative ;
- **Justification de la proposition.**

Viennent compléter ces informations, des indications sur les éventuelles mesures et fréquences de suivi, afin d'avoir une première idée des données potentiellement consultables par la suite. Chaque répondant pouvait compléter le questionnaire pour une ou pour plusieurs initiatives. Il bénéficiait d'une certaine liberté pour opérer sa propre sélection d'initiatives selon différents critères : éventail de propositions variées (âge, types de mélange, etc.), ou ensemble d'installations répondant à un même schéma ou contexte mais permettant de nuancer leur résultat.

Par sa conception même (modalité d'interrogation et de collecte des réponses), ce recensement n'a pas vocation à constituer un échantillon représentatif des renouvellements entrepris sur le territoire national. Il est analysé à l'issue de cette tâche pour mettre en évidence la diversité globale des initiatives inventoriées.

4.2.2 Tâche B – Caractérisation d'une sélection d'initiatives

Cette tâche vise à **sélectionner et caractériser plus finement un sous-ensemble d'initiatives**. Elle s'est déroulée comme suit :

⁴³⁴ Ont été visés les représentants officiels dans le réseau des organismes cités, ainsi que les responsables des réseaux d'expérimentation de ces organismes, avec charge de diffuser en interne aux personnes concernées.

- sélection d'un sous-ensemble d'initiatives parmi celles recensées dans la phase 1 de l'enquête ;
- complément d'enquête sur les initiatives de la sélection (phase 2 de l'enquête).

L'objectif de cette sélection est de concentrer les efforts sur les initiatives les plus atypiques et pour lesquelles il semblerait possible, après une analyse approfondie à mener, de tirer quelques enseignements à terme, qu'il s'agisse d'échecs ou de réussites (voir Tableau 4.4-2).

4.2.2.1 B.1 – Sélection d'un sous-ensemble d'initiatives

Une grille de notation a été établie avec six familles de critères : choix d'espèce(s), diversité d'espèces, originalité du schéma d'installation et de la densité, potentiel d'analyse et rareté (voir Tableau 4.4-2).

Tableau 4.4-2 : Critères de sélection des initiatives recensées dans la phase 1 de l'enquête (* sur la base des critères suivants : objectif, espèces, schéma d'installation, densité)

Choix d'espèce(s)	1.1	Au moins une des essence(s) ou provenance(s) installée(s) est supposée(s) intéressante(s) vis-à-vis du changement climatique, pour la région.
	1.2	Au moins une des essences ou provenance installée est atypique pour la région.
Diversité d'espèces	2.1	Recherche d'une diversification d'espèces ou de provenances.
	2.2	Caractère atypique du mélange pour la région.
Originalité du schéma d'installation	3.1	Recherche d'un schéma permettant d'éviter la plantation en plein sans utilisation du recrû après coupe rase.
	3.2	Recherche d'un schéma permettant d'enrichir un peuplement dépérissant en évitant la coupe rase totale ou partielle du peuplement.
Originalité de la densité	4	Originalité de la densité (valeur totale à l'hectare ou éventuelle hétérogénéité dans le cas des points d'appui par exemple) pour la ou les essence(s) plantées par rapport aux références usuelles.
Potentiel d'analyse	5.1	Ancienneté du dispositif (Très jeune si < 5 ans ; Jeune si 5-10 ans ; Vieux si > 10 ans).
	5.2	Existence et disponibilité de mesures, qualité de l'information.
	5.3	Niveau de satisfaction du responsable de l'initiative.
Rareté	6.1	Rareté du dispositif* par rapport aux autres dispositifs recensés sur la France.
	6.2	Rareté du dispositif* par rapport aux autres dispositifs recensés sur la région.

Le caractère atypique des initiatives est défini en s'appuyant sur la note attribuée aux quatre premières familles de critères (notation entre 0 et 1 par critère, puis calcul d'une moyenne par famille). Ce travail s'appuie sur plusieurs sources : ClimEssences⁴³⁵, les conseils d'utilisation des ressources génétiques forestières⁴³⁶, l'Inventaire forestier national, la liste des essences atypiques établie par l'ONF, les SRGS et les PRFB. Les initiatives ayant obtenu la meilleure note totale (somme des quatre moyennes $\geq 2,5$) sont ensuite classées en fonction de leur potentiel d'analyse et de leur rareté. Celles ayant un faible potentiel d'analyse sont écartées. Celles ayant un faible niveau de rareté sont mises en comparaison des dispositifs analogues afin de n'en conserver qu'une partie. L'idée est d'éviter leur surreprésentation dans le sous-ensemble. Cette dernière étape de classement est également guidée par la répartition des autres initiatives sur le territoire : si des initiatives comparables existent dans plusieurs régions (mêmes objectifs, espèces, schéma d'installation et/ou densités atypiques), seule l'une d'entre elles sera conservée et ce sera préférentiellement celle qui se situe dans la région où il y a le moins d'initiatives au total. Il est ainsi visé la constitution d'un sous-ensemble qui soit à la fois le plus représentatif possible de la diversité des types d'initiatives et, dans une moindre mesure, des contextes géographiques, et qui puisse constituer une base de travail pour des études ultérieures.

⁴³⁵ <https://climessences.fr/>

⁴³⁶ <https://agriculture.gouv.fr/graines-et-plants-forestiers-conseils-dutilisation-des-ressources-genetiques-forestieres>

4.2.2.2 B.2 – Complément d’enquête sur les initiatives de la sélection

Un complément d’enquête est mené pour les initiatives sélectionnées, afin d’**affiner leur caractérisation**. Il vient enrichir les informations récoltées lors du recensement global qui priorisait des données faciles d’accès pour encourager un inventaire le plus large possible. Ce complément d’enquête est majoritairement réalisé dans le cadre d’**entretiens téléphoniques** et précisé pour certaines initiatives, par un **échange sur le terrain**. Les initiatives visitées sur le terrain sont uniquement celles de plus de 5 ans (renouvellement considéré comme acquis) et dont les plants ou semis sont vivants. Il est en effet considéré, quand ces critères ne sont pas remplis, qu’un déplacement sur place ne permettrait pas de récolter d’informations supplémentaires pertinentes.

Pour ces entretiens, le questionnaire utilisé reprend celui du recensement mais il est considérablement enrichi (voir Annexe 4.4-2), notamment avec de nouvelles questions visant à faciliter une analyse des motivations ayant conduit à l’installation de l’initiative d’une part, et pouvant aider à apprécier son intérêt d’autre part (voir Tableau 4.4-3).

Le questionnaire est fourni à l’avance pour faciliter la fluidité de l’échange lors de l’entretien.

Tableau 4.4-3 : Organisation du questionnaire de la phase 2 de l’enquête

Informations générales	Type de propriété, document de gestion, situation géographique, surface, nature et fréquence de suivi, format des données recueillies, etc.
Caractéristiques stationnelles	Sylvoécocorégion, altitude, topographie, pente, fertilité de la station, environnement de la parcelle, indicateurs de biodiversité, etc.
Motivations avant installation	Objectifs, événement déclencheur, motivations, etc.
Antécédent culturel	Historique, état avant installation, composition du peuplement d’origine, ouverture du couvert, etc.
État initial de l’initiative	Mode de renouvellement, année, essences introduites, densités, schéma d’installation, travaux à l’installation, protections contre le gibier, difficultés rencontrées, etc.
Inventaire actuel des essences	Nature et statut social des essences, proportion, estimation de l’accroissement moyen, etc.
État sanitaire actuel	Appréciation de l’état sanitaire, facteurs de risque, mesures de lutte, dégâts observés et causes identifiées, gestion de la végétation concurrente, etc.
Appréciation après installation	Motivations à soumettre la proposition, degré de satisfaction et justification, taux de reprise, difficultés pour l’entretien, identification des causes d’échecs selon le cas et opérations correctives envisagées, etc.
Informations économiques	Soutien obtenu à l’installation, impact économique dans le cas d’un renouvellement après aléa, identification du poste de dépense le plus élevé, recommandations pour réduire les coûts, etc.
Enseignements pour inspirer d’autres démarches	Intérêt à reproduire l’initiative et conseils pour cela, recommandations en cas d’échec, existence d’initiatives comparables, etc.

L’analyse de ce sous-ensemble du recensement consiste à décrire les initiatives sélectionnées pour mettre en évidence leur diversité globale, leurs similitudes et originalité, et les motivations ayant conduit à leur installation.

4.2.3 Tâche C – Identification des critères de description

Cette tâche, menée en parallèle des tâches A et B, consiste à identifier les critères de description à privilégier pour la présentation des résultats de l’enquête, phase 1 (recensement) et phase 2 (sélection) (voir Tableau 4.4-4).

Tableau 4.4-4 : Critères de description choisis pour la présentation des résultats de l'enquête (phase 1 et 2) et liens avec le questionnaire (voir Annexe 4.4-2)

Critères de description	1	2	Question	Critères de description	1	2	Question
Nombre d'initiatives (par organisme/région)	x	x	1.2, 4	Dégâts observés sur l'initiative		x	6.5
Raisons ayant conduit à soumettre l'initiative	x	x	8.1	Végétation concurrente		x	6.6-7
Déclencheur de l'installation de l'initiative		x	4.2	Difficultés installation et entretien		x	5.10 ; 8.3
Objectif poursuivi et à l'origine de l'initiative	x	x	4.1	Taux de reprise observé		x	6.8
Surface de l'initiative		x	1.6	Degré de satisfaction	x	x	8.2, 4-5, 10
Âge de l'initiative	x	x	5.1	État sanitaire actuel	x	x	6.1, 2
Composition des peuplements	x	x	5.3 ; 7	Analyse des échecs		x	8.6-9
Nature des essences objectif		x	3.2 ; 7	Intérêt à reproduire		x	10.3
Caractéristiques du renouvellement		x	3.1-7 ; 5.6	Inspiration pour ce type d'initiative		x	10.7
Schéma d'installation	x	x	5.3	Opération la plus coûteuse		x	9.3

Pour traiter l'intégralité des informations recueillies en lien avec le renouvellement et le schéma d'installation, et mieux préciser leur description, il a été réalisé :

- une **exploration des termes** forestiers utilisés pour décrire le renouvellement. Elle s'est appuyée sur la littérature et les définitions du Vocabulaire Forestier (voir Annexe 4.4-3 : Références bibliographiques utilisées pour la tâche C). Elle a abouti à la production d'une **grille de description des initiatives avec installation de plants (ou de semis)**, permettant de préciser ce vocabulaire clé, indispensable à la compréhension (voir Annexe 4.4-4) ;
- une **analyse de l'inventaire actuel des essences présentes** (Q7) pour définir la composition des peuplements installés ;
- l'identification des **cinq types de renouvellement** représentés dans la sélection (s'appuyant sur les informations recensées) : boisement en plein, reboisement en plein, reboisement par points d'appui, enrichissement, régénération naturelle ;
- un classement **des initiatives au sein de ces cinq types** a été réalisé pour mieux caractériser la diversité des initiatives présentes dans chacun d'eux. Elle repose sur une description de différents contextes (antécédent, peuplement, recru et essences en place) ayant conduit, au sein de la sélection, à ces types de renouvellement (voir Annexe 4.4-5 et Tableau 4.4-5).

Tableau 4.4-5 : Description des principaux contextes représentés dans la sélection et des types de renouvellement auxquels ils ont conduit

Contextes						Type de renouvellement
	État du terrain d'origine	Peuplement	Recru ou régénération	Essences objectif potentielles parmi ce qui est en place et adaptées à la station et au climat futur	Potentiel de constitution d'un peuplement complet (avec essences adaptées) en s'appuyant sur ce qui est en place	
a	Boisé		Absent	Absence	Impossible	Reboisement en plein immédiat ou différé

b	c	d	e	f	g	h	Agricole ou assimilé	Détruit ou coupé en totalité	Présent ou à venir	Absence	Impossible	Reboisement complet ⁴³⁷ (ou éventuel enrichissement)
										Présence	Possible	Régénération naturelle ou enrichissement
										Présence	Impossible	Régénération naturelle et/ou enrichissement, ou reboisement complet
b	c	d	e	f	g	h	Agricole ou assimilé	En place, totalement ou partiellement (maintenu)	Eventuellement présent	Absence	Impossible	Reboisement complet (ou éventuel enrichissement)
										Présence	Possible	Régénération naturelle ou enrichissement
											Impossible	Régénération naturelle et/ou enrichissement, ou reboisement complet
b	c	d	e	f	g	h	Agricole ou assimilé	Inexistant	Inexistant	Inexistant	Impossible	Boisement en plein

4.3 Résultats

4.3.1 Recensement d'initiatives atypiques de renouvellement

Parmi toutes les personnes interrogées ou ayant été informées de l'enquête, 43 personnes se sont mobilisées pour participer au recensement des initiatives atypiques de renouvellement. **Au total, 143 initiatives exploitables ont été recensées** (voir Figure 4.4-1).

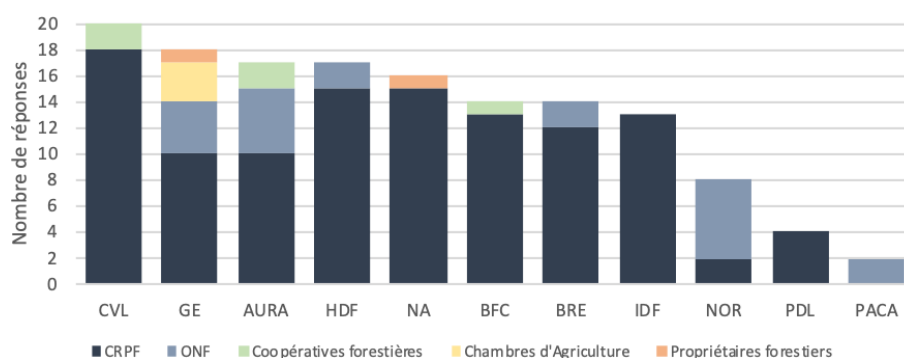


Figure 4.4-1 : Répartition par organisme et par région des initiatives atypiques de renouvellement (CVL : Centre-Val de Loire ; GE : Grand Est ; AURA : Auvergne-Rhône-Alpes ; HDF : Hauts-de-France ; NA : Nouvelle-Aquitaine ; BFC : Bourgogne-Franche-Comté ; BRE : Bretagne ; IDF : Île-de-France ; NOR : Normandie ; PDL : Pays de la Loire ; PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur).

Les régions sont très diversement représentées. L'Occitanie et la Corse n'ont pas participé à l'enquête, en grande partie par manque de temps. Leur absence de réponse ne signifie en aucun cas qu'il n'existe pas d'initiatives atypiques dans ces régions. Le CNPF s'est très fortement mobilisé avec 78 % des réponses, suivi par l'ONF avec 15 %, les Coopératives forestières 3 %, les Chambres d'Agriculture 2 %

⁴³⁷ Le reboisement complet comprend les reboisements en plein et par points d'appui.

et les Propriétaires forestiers 1 %. Ce déséquilibre est en majeure partie dû à la méthode de prise de contact employée pour l'enquête (voir « 4.4 Difficultés et limites de l'enquête »).

Il était possible d'envoyer plusieurs initiatives pour un même répondant. Le nombre moyen d'initiatives envoyées par répondant est de 3 (variable entre 1 et 15).

L'analyse des réponses témoigne d'une bonne compréhension des consignes visant à guider le choix des initiatives à proposer. Seules quelques réponses trop incomplètes ont dû être écartées. Il était demandé aux répondants d'indiquer les **raisons pour lesquelles ils soumettaient chacune des initiatives** (voir Tableau 4.4-6). Les deux raisons principales sont : le mélange d'essences atypique et le schéma d'installation novateur. La représentation par organisme (dans les proportions de représentation de ces organismes) et par région est globalement assez équilibrée.

Tableau 4.4-6 : Raisons pour lesquelles les répondants ont soumis leur(s) initiative(s). Le tableau indique pour chaque raison le pourcentage de répondants ayant sélectionné la raison, par rapport au nombre total de répondants (plusieurs réponses possibles)

Mélange d'essences atypique	57 %
Schéma d'installation novateur	54 %
Situation en lien fort avec le changement climatique	38 %
Initiative réussie à valeur d'exemple	8 %
Levée d'une situation de blocage	6 %
Échec instructif	5 %
Autre(s) (dont les « sans réponse »)	10 %

Les répondants disposaient de consignes pour sélectionner les types d'initiatives à soumettre à l'enquête. Ils étaient libres de choisir celles qu'ils souhaitaient soumettre. Beaucoup ont pris le parti de proposer une diversité d'initiatives pour leur région. **L'observation des résultats sous l'angle des objectifs reflète cette diversité d'initiatives** (voir Figure 4.4-2). L'objectif « Introduction d'un mélange d'essences » est très largement le plus cité, suivi du « Test de nouveaux schémas d'installation » (plantation par points d'appui, installation par plateaux, densité atypique, grands espacements, etc.). Aucune tendance ne se détache par organisme ou par région en raison de cette méthode d'enquête : il n'était pas recherché la mise en évidence de centres d'intérêt spécifiques selon ces filtres.

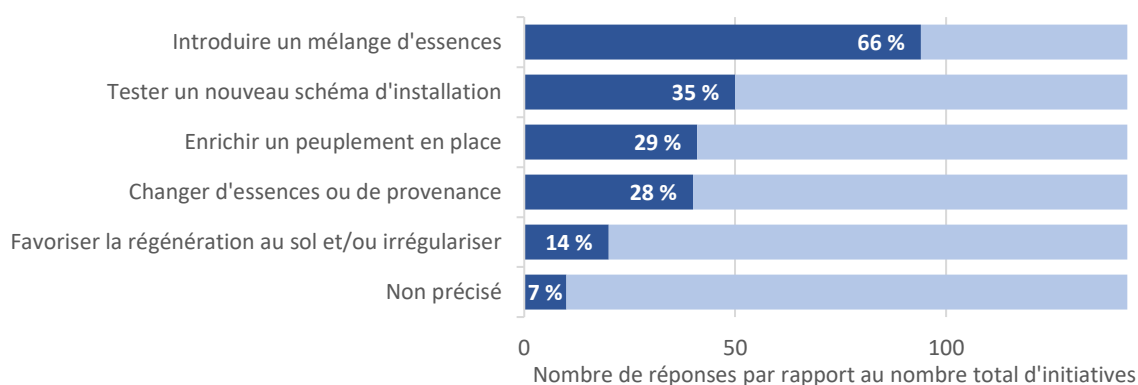


Figure 4.4-2 : Objectifs ayant guidé la mise en place des initiatives (plusieurs réponses possibles)

L'**âge des initiatives** décrites (calculé en fonction de la première année de végétation suivant la date d'installation et jusqu'en 2021) est assez diversifié pour presque toutes les régions (voir Figure 4.4-3). Les initiatives de moins de 5 ans sont majoritaires pour les régions du Centre-Val-de-Loire, Grand-Est, Normandie et Provence-Alpes-Côte d'Azur et au niveau national. À l'inverse, les initiatives proposées de moins de 5 ans sont très minoritaires, pour les régions Île-de-France et Hauts-de-France. Dans cette classe d'âge, 3 % des initiatives recensées sont programmées mais non encore installées à la date de l'enquête.

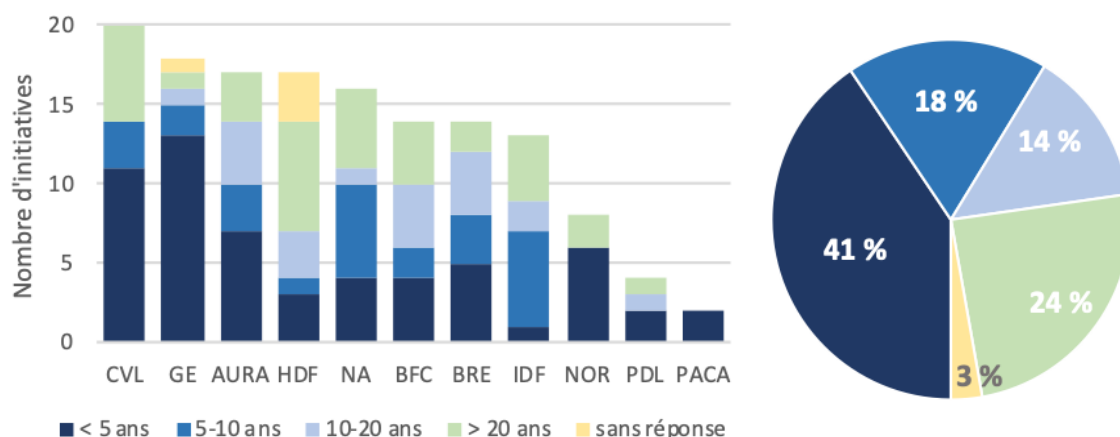


Figure 4.4-3 : Représentation des classes d'âge de l'ensemble des initiatives au moment de l'enquête, par région (histogramme à gauche) et à l'échelle du territoire national (camembert à droite)

En termes de **composition des peuplements** (voir Figure 4.4-4), les peuplements feuillus (purs ou en mélange) sont majoritairement représentés (58 % des initiatives proposées). Par ailleurs, 68 % des initiatives présentent plus d'une essence objectif : 27 % ont deux essences objectifs et 41 % ont trois essences objectif et plus (peuplements mixtes et feuillus surtout). Les 32 % restants sont des peuplements avec une seule essence objectif.

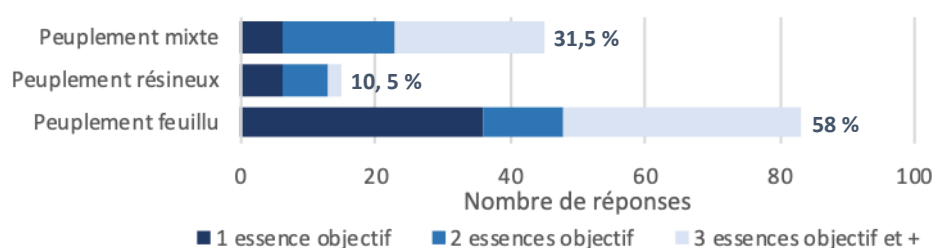


Figure 4.4-4 : Caractéristiques de la composition des peuplements recensés

À ce stade de l'étude, il était demandé aux répondants de définir très sommairement le **schéma d'installation** de chaque initiative proposée en indiquant notamment s'il s'agit : (i) d'un peuplement pur ou mélangé (et si mélangé, le motif de ce mélange) et (ii) si l'installation est en plein ou par zones délimitées (bouquets, placeaux, etc.).

(i) Au total, 80 % des propositions ont été classées comme « **mélange** »⁴³⁸. Il y a cependant parmi elles une grande diversité de cas : mélanges d'une ou plusieurs essences objectif avec une ou plusieurs essences d'accompagnement, mélange installé et mélange attendu après acquisition de la régénération naturelle, etc. À ce stade l'information récoltée, parce qu'elle ne tient pas compte du statut social des espèces et de leur taux de représentation, informe peu sur le schéma, mais donne une indication sur la diversité en place ou attendue. La proportion entre peuplements classés dans la catégorie « une essence » et ceux de type « mélange » est sensiblement équivalente pour toutes les initiatives situées dans les classes d'âge autres que « > 20 ans » (25 % et 75 %). Dans la classe d'âge « > 20 ans », les « mélanges » sont davantage représentés (95 %). Ce bilan reflète avant tout les choix faits par les répondants, parmi les initiatives qu'il leur était possible de soumettre.

Le **motif des mélanges** a été renseigné pour 57 % des initiatives proposées. Un classement **avec le vocabulaire utilisé par les répondants** permet de mettre en évidence une forte diversité de motifs :

⁴³⁸ Deux réponses possibles : « mélange » ou « une essence ».

lignes mélangées (37 %), parquets ou bouquets purs (12 %), mélanges complexes⁴³⁹ (12 %), lignes pures (11 %), placeaux, nids ou blocs purs (8 %), bandes pures (8 %), lignes alternées pures ou mélangées (8 %), îlots ou plots mélangés (5 %).

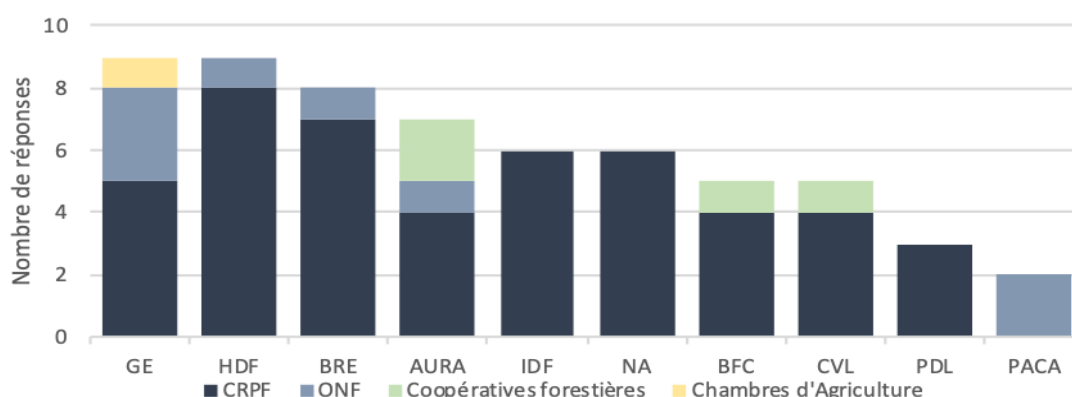
(ii) Parmi ceux qui ont répondu, 50 % des initiatives ont été classées « **en plein** », 37 % en « **zones délimitées** », et 8 % dans les deux. Dans ce dernier cas, il s'agit majoritairement de parcelles plantées en plein (la densité et la disposition des plants permettent d'obtenir un peuplement final complet), mais installées selon des motifs particuliers (par exemple, bouquets et lignes). Ce champ de l'enquête avait pour objectif d'aider à caractériser le niveau de complexité du schéma d'installation des initiatives. À noter que les initiatives « zones délimitées » ont à 53 % moins de 5 ans, cela peut constituer un indice de l'existence d'un plus grand choix d'initiatives de ce type dans des installations récentes. Il faut cependant modérer cette analyse car les répondants avaient un choix très libre concernant les initiatives à proposer. Les initiatives récentes étant plus facilement mobilisables, il est possible qu'elles aient été privilégiées pour ce choix.

Enfin, plus de la moitié des initiatives (59 %) sont considérées par les répondants comme donnant des résultats **satisfaisants à très satisfaisants**. Une minorité (21 %) est considérée comme peu satisfaisante à décevante. Ces dernières, proposées par les Coopératives forestières, les CRPF et l'ONF, se répartissent entre toutes les régions hormis Grand Est, Provence-Alpes-Côte d'Azur et Pays-de-la-Loire. L'enquête ayant pour objectif de mettre en évidence tant des réussites que des échecs, il est intéressant que cette deuxième catégorie ait aussi pu être recensée. Enfin, les 20 % restants regroupent ceux qui ont choisi de ne pas exprimer de degré de satisfaction.

4.3.2 Description d'une sélection d'initiatives

À partir de la grille d'évaluation détaillée précédemment (voir « 4.2.2.1 B.1 – Sélection d'un sous-ensemble d'initiatives »), une pré-sélection de 99 initiatives a été faite parmi le recensement de la **Tâche A**. Sur cette pré-sélection, **60 enquêtes ont finalement pu être réalisées**, dont 35 qui ont fait l'objet d'un échange sur le terrain. Les 39 restantes n'ont pas pu être enquêtées en raison, majoritairement, de contraintes de disponibilité.

Les régions restent très diversement représentées dans cette sélection (voir Figure 4.4-5 et Annexe 4.4-6). Seules les initiatives de Normandie sont absentes après sélection, par rapport aux régions ayant participé au recensement. Le CNPF est très fortement représenté avec 78 % des initiatives dans la sélection, suivi par l'ONF avec 13 %, les Coopératives forestières 7 % et les Chambres d'Agriculture 2 %.



⁴³⁹ Exemple de mélanges qualifiés comme « complexes » dans le cadre de l'étude : lignes mélangées avec insertion de bouquets mélangés ou lignes pures avec placeaux mélangés, etc.

Figure 4.4-5 : Répartition par organisme et par région des initiatives issues de la sélection (CVL : Centre-Val de Loire ; GE : Grand Est ; AURA : Auvergne-Rhône-Alpes ; HDF : Hauts-de-France ; NA : Nouvelle-Aquitaine ; BFC : Bourgogne-Franche-Comté ; BRE : Bretagne ; IDF : Île-de-France ; NOR : Normandie ; PDL : Pays de la Loire ; PACA : Provence-Alpes-Côte d’Azur).

L’enquête menée sur cette sélection s’est intéressée aux **déclencheurs** ayant conduit à renouveler le peuplement. Dans 34 % des cas, le renouvellement intervient parce que le peuplement est arrivé à maturité. Les autres déclencheurs cités⁴⁴⁰ évoquent une remise en question de l’avenir du peuplement en place (plusieurs réponses possibles) : dépérissement progressif du peuplement (16 %), peuplement pauvre, de qualité médiocre, sans avenir (12 %), peuplement affecté après un aléa brusque (12 %), échec de renouvellement par régénération naturelle (8 %).

Les deux premières **motivations** les plus citées qui ont conduit au choix d’un renouvellement atypique sont (à égalité à 29 %) :

- 1) installer des essences ou des provenances mieux adaptées à la station et au climat futur ;
- 2) installer un mélange d’essences objectif.

Sont ensuite citées en proportions moindres :

- 3) tester l’association d’essences (accompagnement ou objectif) disséminées seules ou par groupes sur la parcelle pour instaurer de la diversité dans le peuplement (14 %) ;
- 4) éviter une ouverture complète du peuplement (10 %) ;
- 5) tester une densité atypique pour l’essence considérée (7 %).

Les **objectifs** visés autour de la mise en place de ces initiatives sont assez divers (voir Figure 4.4-6). Ils portent pour 51 % sur la recherche d’un apport de diversité, une problématique fortement représentée dans cet échantillon.

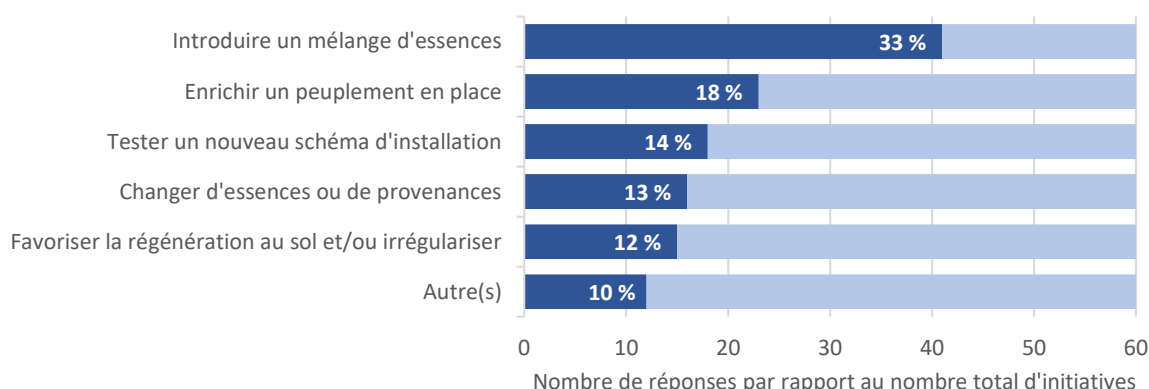


Figure 4.4-6 : Objectifs ayant guidé la mise en place des initiatives (plusieurs réponses possibles)

La **surface des initiatives** se situe en moyenne autour de 3,6 ha. Près de la moitié (47 %) présente une surface comprise entre 10 a et 2 ha. Leur **moyenne d’âge** est de 12 ans. Sur l’ensemble, 33 % ont moins de 5 ans et 18 % ont entre 5 et 10 ans. Les 49 % restant ont plus de 10 ans.

Dans cette sélection, en termes de **composition des peuplements** (voir Figure 4.4-7), les peuplements renouvelés en feuillus restent majoritairement représentés (62 % des initiatives proposées) et le nombre de peuplements mixtes est plus important. La tendance d’évolution va vers la recherche d’une moindre installation de résineux purs. Par ailleurs, les nouveaux peuplements installés sont à 80 % composés de plus d’une essence objectif. Les peuplements antécédents étaient quant à eux composés majoritairement d’une seule essence objectif.

⁴⁴⁰ Plusieurs réponses étaient possibles à cette question (5 n’ont pas répondu et 12 ne sont pas concernés car ce sont des boisements).

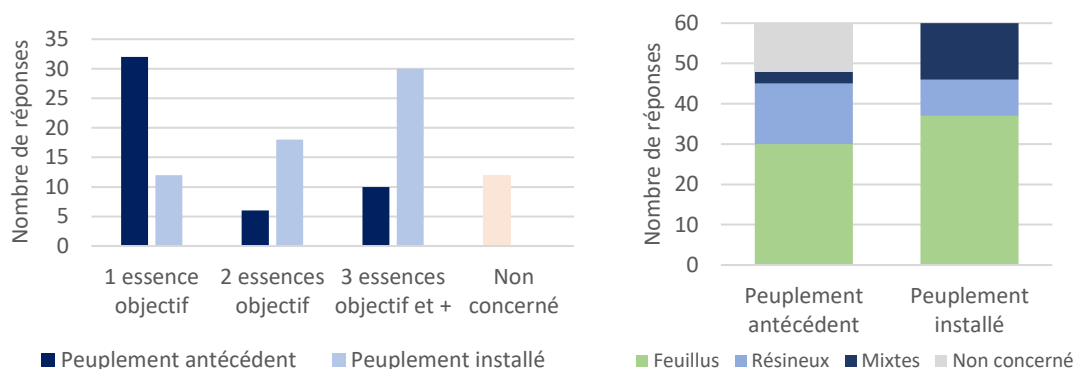


Figure 4.4-7 : Comparaison entre les peuplements antécédents et les installations : nombre d'essences objectif installées à gauche et composition à droite (les boisements de terres agricoles sont non concernés par le statut d'origine du peuplement).

La nature des essences objectif mises en place dans les initiatives de la sélection est très diversifiée (Annexe 4.4-7). Un total de 26 espèces feuillues et 15 espèces résineuses sont citées. Le renouvellement mis en œuvre tend globalement vers une augmentation de la diversité en espèces par rapport à la composition du peuplement d'origine.

Cinq **types de renouvellement** (voir « 4.2.2 Tâche B – Caractérisation d'une sélection d'initiatives ») sont représentés dans la sélection : le boisement en plein, le reboisement en plein, le reboisement par points d'appui, l'enrichissement, la régénération naturelle. Le reboisement en plein est celui qui est le plus représenté dans la sélection (41 % des initiatives). Les contextes⁴⁴¹ de renouvellement les plus courants dans la sélection sont d, h et g (voir Figure 4.4-8).

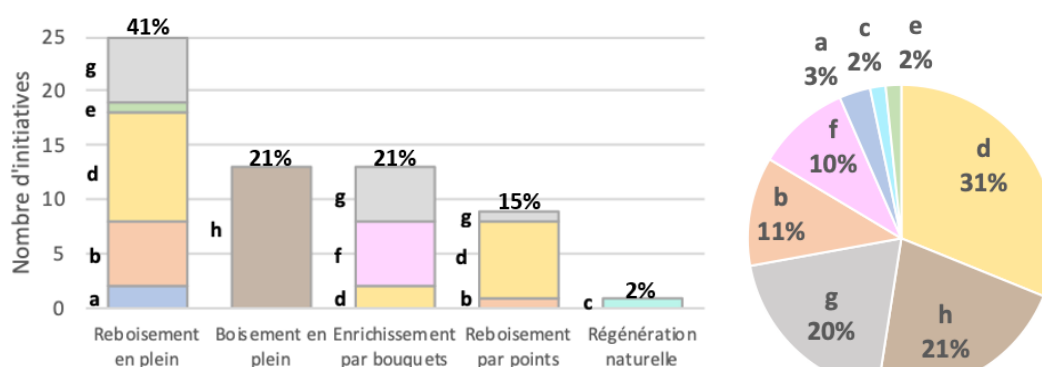


Figure 4.4-8 : Représentation des différents contextes de renouvellement (de a à g, voir Tableau 4.4-5) dans la sélection (camembert à droite) et répartition en fonction des types de renouvellement (à gauche).

Pour chaque type de renouvellement, différents **schémas d'installation** ont été mis en place. La sélection permet de représenter une large diversité de ces schémas allant d'installations simples en lignes à des installations plus complexes associant des lignes et des bandes, bouquets et/ou placeaux (voir Figure 4.4-9). Ces motifs de type bandes ou bouquets sont naturellement très présents dans les démarches d'enrichissement, mais se retrouvent également dans les démarches de reboisement en plein, en raison notamment de l'intention de mettre en place des mélanges (voir Figure 4.4-10).

⁴⁴¹ Situations ayant conduit, au sein de la sélection, à l'un ou l'autre des types de renouvellement (voir « 4.2.3 Tâche C – Identification des critères de description » et Annexe 4.4-4)

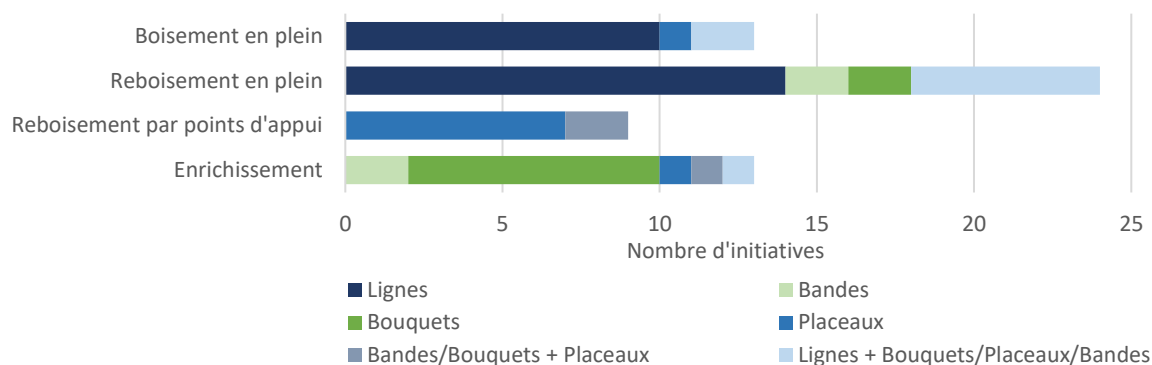


Figure 4.4-9 : Motifs des schémas d'installation mis en place en fonction du type de renouvellement.

Parmi les mélanges installés, 13 % sont des « mélanges complexes »⁴⁴². Ils concernent les boisements et reboisements en plein, ainsi que les enrichissements.

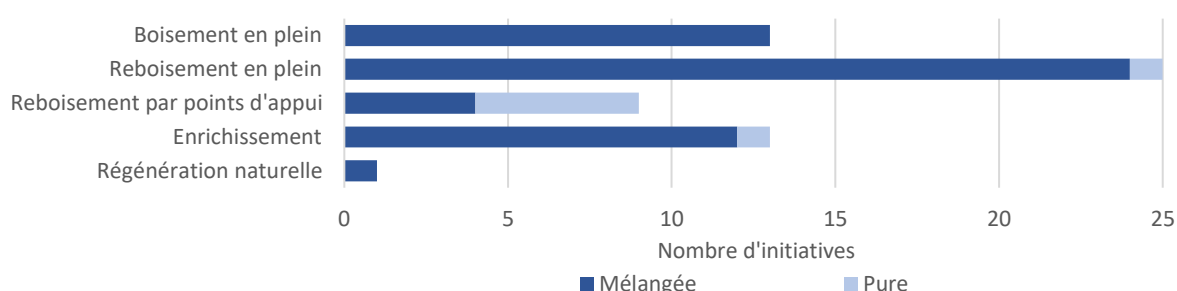
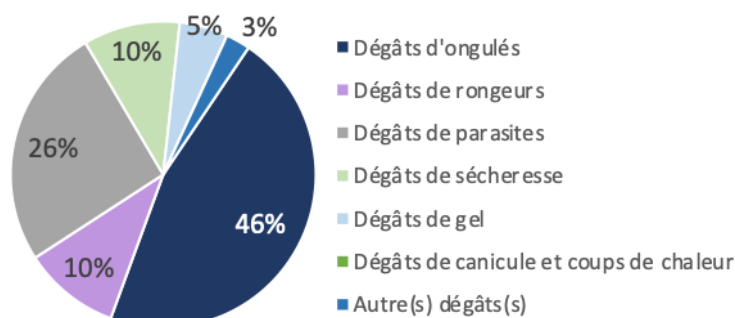


Figure 4.4-10 : Composition des peuplements mis en place en fonction du type de renouvellement.

Parmi les répondants, 22 % ont rencontré des **difficultés pour l'installation de leur initiative**. Celles les plus citées sont les suivantes : conditions climatiques, difficultés à trouver un opérateur disponible (main d'œuvre et matériel) et ayant la maîtrise nécessaire, non-respect du schéma d'installation, contraintes liées au terrain, difficultés à s'approvisionner en plants.

Au total, 87 % des répondants signalent l'existence supposée au départ de **facteurs de risque**. Parmi eux, 75 % évoquent en premier le risque associé à la présence de gibier (et plus rarement, de rongeurs). Les autres risques tels que l'engorgement temporaire (11 %), sécheresse (9 %), le gel (3 %), etc. sont cités dans des proportions moindres. Des **dégâts** sont déjà visibles sur 53 % des initiatives (voir Figure 4.4-11). Il s'agit de dégâts d'ongulés et rongeurs, en grande majorité, et de parasites.

La **végétation concurrente** est considérée par 70 % des répondants comme influant (ou pouvant influencer) sur le développement des plants ou semis. Tous ont mis en place les mesures nécessaires d'entretien pour y faire face.



⁴⁴² Exemple de mélanges qualifiés comme « complexes » dans le cadre de l'étude : lignes mélangées avec insertion de bouquets mélangés ou lignes pures avec placeaux mélangés, etc.

Figure 4.4-11 : Nature des dégâts réellement constatés sur les initiatives et signalés par les répondants (plusieurs réponses possibles)

Interrogés sur l'**état sanitaire** actuel de l'initiative, les répondants ont à 86 % indiqué un « bon » (58 %) à « très bon » (28 %) état sanitaire. Parmi ceux qui ont indiqué un « bon » état, il y a des cas où l'état sanitaire est mauvais pour une des espèces du mélange et bon pour les autres. Parmi les affections citées il y a : la chalarose pour le frêne ; l'encre pour le chêne rouge et le châtaignier ; le chancre sur le poirier et le châtaignier ; le puceron sur les merisiers ; l'oïdium sur les chênes ; la maladie des bandes rouges et la rouille courbeuse pour les pins et la sécheresse ayant affecté des pins sylvestres.

Quand ils sont interrogés sur leur **degré de satisfaction** actuel, par rapport à l'objectif qu'ils s'étaient initialement fixé, les responsables de site sont majoritairement satisfaits (22 % très satisfaits et 60 % satisfaits). Les critères de satisfaction évoqués sont les suivants : réussite de l'installation, bonne reprise et croissance (homogène sur la parcelle et par essence), peu de mortalité, coûts maîtrisés, bonne maîtrise de la végétation concurrente, nombre suffisant de tiges d'avenir, bonne conformation ou qualité des tiges, bon investissement et suivi du propriétaire, "mélange réussi" ou diversité intéressante, peuplement "tiré d'affaire", ambiance forestière acquise, esthétique, valeur démonstrative, validation de la question de départ, présence de régénération naturelle dans le sous-étage, chantier de qualité.

A contrario, les responsables peu satisfaits et déçus (13 %) évoquent les raisons suivantes : présence de mortalité, écarts de croissance, mauvais taux de reprise, dominance de certaines essences ou concurrence, dégâts de gibier, explosion de la végétation concurrente ou envahissement, impact du climat, fermeture de trouée, arbres mal conformés, retards d'entretien ou difficulté à les pratiquer en raison de la complexité du schéma, bouquets ou placeaux étouffés par la végétation en périphérie.

Les réponses avec degré de satisfaction « très satisfaisant » les plus nombreuses concernent les contextes **a** et **b** (voir Figure 4.4-8 et Figure 4.4-12). Parmi les répondants « peu satisfaits » et « déçus », la moitié le sont pour des initiatives d'enrichissement (le reste étant du boisement et reboisement en plein). La moitié de ces derniers a signalé des dégâts d'ongulés dont un associé à des dégâts de sécheresse. Pour l'autre moitié, des dégâts liés à la sécheresse et à l'engorgement sont signalés. Seulement 1/4 des répondants « peu satisfaits » et « déçus » exprime avoir rencontré des difficultés à l'installation.

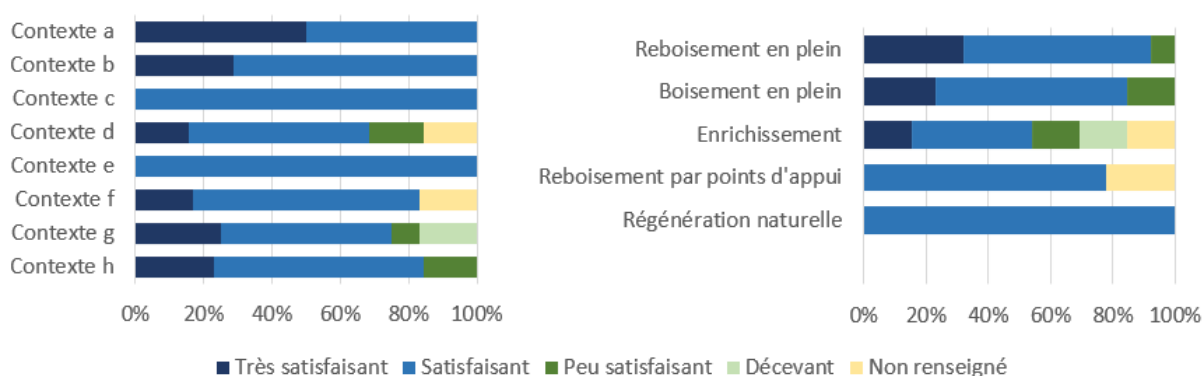


Figure 4.4-12 : Répartition des réponses à la question portant sur le degré de satisfaction en fonction des contextes de renouvellement (à gauche) et du type de renouvellement (à droite).

Pour aider à caractériser la réussite, les répondants ont été interrogés sur le **taux de reprise** observé sur les initiatives (voir Figure 4.4-13). Au bilan, 60 % des répondants considère avoir un « très bon taux de reprise » après installation, compris entre 80 % et 100 %.

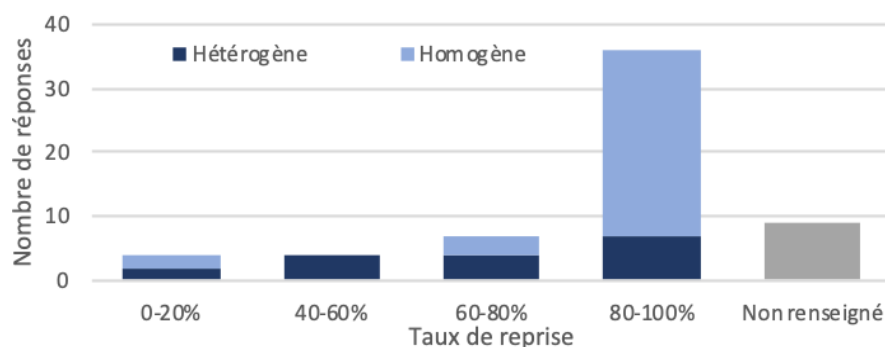


Figure 4.4-13 : Appréciation par les répondants du taux de reprise et de son homogénéité sur la parcelle.

À la question « *Considérez-vous que l'initiative soit un **échec** compte tenu de l'objectif initial ?* » (Q8.6), posée aux personnes ayant indiqué un degré de satisfaction « mauvais », cinq personnes ont répondu. Il a été précisé qu'il était difficile de s'engager à répondre à cette question. C'est en effet complexe sans une analyse plus poussée de la croissance et un recul de quelques années. Et même avec le recul des années, les responsables de sites sont parfois confrontés à des difficultés pour retrouver les informations relatives à l'installation et aux données de suivi, quand elles ont été récoltées. Les recommandations des répondants ayant connu ces échecs sont les suivantes : adapter la taille des trouées (trois réponses), conserver un abri latéral (une réponse), bien connaître l'autécologie des essences implantées (une réponse), être plus vigilant sur les entretiens, le suivi (une réponse), revoir l'espacement entre les plants (une réponse).

Parmi les répondants ayant signalé un degré de satisfaction positif, 75 % considèrent qu'il y a un **intérêt à reproduire** ce qu'ils ont mis en place et 67 % ont déjà installé d'autres initiatives comparables. Parmi elles, 27 sont considérées comme ayant réussi au regard des objectifs initialement fixés, six ont échoué, et 11 sont trop récentes pour émettre un avis. L'intérêt à reproduire s'accompagne de recommandations autour de la maîtrise technique de l'installation : schéma et suivi dans le temps.

À la question « *Qu'est-ce qui a **inspiré le choix de ce type d'initiative** ?* » (Q10.7 - plusieurs réponses possibles), près de la moitié des répondants (48 %) a indiqué « la connaissance théorique du schéma d'installation (littérature, visite de site, etc.) et la volonté de le mettre en œuvre ». Les autres raisons évoquées (parmi celles proposées) sont par ordre décroissant d'importance : existence d'un réseau de placettes comparables (30 %), directives incitant à installer ce type de dispositifs (22 %, concerne principalement le choix des essences en mélange) et volonté de reproduire en le corrigeant un dispositif similaire ayant connu un échec (5 %).

Enfin, à la question « *Quel est pour vous **l'opération qui a nécessité le plus de dépenses** ? (sur la période couvrant la mise en place et les 10 premières années de vie du peuplement)* » (Q9.3 – plusieurs réponses possibles), 44 % des répondants ont indiqué la plantation, 38 % les travaux de préparation, 28 % les entretiens et le suivi de l'installation et 15 % la pose de protection contre le gibier.

4.4 Difficultés et limites de l'enquête

Malgré un nombre de réponses globalement satisfaisant, les résultats de l'enquête présentent un déséquilibre de représentation des organismes et des régions dans les réponses. Cela limite le potentiel de représentativité et s'explique essentiellement par la méthode de diffusion de l'enquête : délais contraints de réponse conditionnant les capacités de mobilisation et envoi limité à un ou deux représentants par organisme avec charge de transmettre.

L'interprétation des résultats de l'enquête est, pour certaines questions, rendue difficile en raison des choix de rédaction du questionnaire :

- **caractérisation du mode de renouvellement** (Q5.6), **du schéma d'installation et du mélange** (Q5.3) et notamment ses caractéristiques temporelles (distinction entre ce qui est installé et attendu) et spatiales (mise en évidence des échelles de complexité). Sur ces questions, une meilleure définition du vocabulaire employé aurait certainement amélioré la qualité des réponses mais le sujet est de toute façon compliqué.
- **appréciation de la réussite/échec de l'initiative par rapport à l'objectif initial** (Q8.6) et du **niveau de satisfaction** (Q8.2) vis-à-vis de cet objectif. Sur ces questions, il aurait été nécessaire de faire une distinction en fonction de chaque objectif (la plupart des initiatives ayant plusieurs objectifs).

Il n'est pas possible de poser un premier éclairage sur la réussite opérationnelle des initiatives (pouvant être un critère pour motiver une analyse ultérieure plus approfondie d'une initiative) en s'appuyant sur ces deux seules questions :

- chaque personne interrogée a placé son propre curseur d'appréciation de la réussite ou de la satisfaction en fonction de critères propres à l'initiative (survie, taux de reprise, qualité, croissance, etc.), sans pouvoir le préciser distinctement dans l'enquête (du fait de sa conception) ;
- pour certaines initiatives, il peut y avoir satisfaction sur une même parcelle pour certaines essences, mais pas pour d'autres ;
- l'appréciation au moment de l'enquête ne garantit pas une réussite à plus long terme (pour les initiatives les plus jeunes) ; une telle appréciation demande du recul.

Toutes ces remarques devront être prises en compte à l'avenir pour des enquêtes similaires.

4.5 Conclusions et perspectives

Rechercher une diversification des modes de renouvellement est aujourd'hui un défi nécessaire à relever pour faire face au changement climatique. Le plan France Relance 2030 autorise par exemple les mélanges, les enrichissements et les schémas atypiques. Mais s'engager sur cette voie encore nouvelle demande beaucoup de doigté et une bonne connaissance de l'autécologie des essences comme de leur réaction en association avec du recrû naturel. Nous assistons ainsi sans doute aux débuts d'une mutation sur les conseils et les méthodes d'installation des peuplements. Elle devrait se développer dans les années à venir.

L'enquête s'est intéressée à ces voies d'innovation en matière de renouvellement qui se mettent en place en région. Il est satisfaisant de constater que malgré les limites de mise en œuvre de l'enquête, il a été possible de recenser un nombre **d'initiatives suffisant pour apporter une première illustration de la diversité des pratiques, malgré un panorama qui reste partiel**. Cette diversité existe et une enquête plus systématique permettrait certainement d'en dresser un état des lieux plus complet ; elle se heurterait cependant toujours au manque de disponibilité des opérateurs, contrainte difficilement compressible.

La mobilisation des répondants témoigne aussi d'une **préoccupation forte pour la recherche d'alternatives** aux pratiques connues et pour le partage d'expériences.

Le travail réalisé pour établir le questionnaire d'enquête a permis de mettre en évidence les **difficultés à décrire précisément les modalités d'installation**. La réalisation d'un schéma précis restait la meilleure voie de restitution. Une définition très fine du vocabulaire employé pour qualifier ces schémas est aussi incontournable.

Dans l'ensemble, les initiatives recensées sont assez jeunes (41 % ont moins de 5 ans). Au total, 66 % ont pour ambition première « l'introduction d'un mélange d'essences ». Le choix des répondants pour

ce type de propositions reflète un **intérêt actuel pour cette alternative (mélange)**, qui fait partie de celles recommandées dans le contexte du changement climatique. Plus globalement, les résultats de l'enquête confirment que les forestiers n'ont pas attendu la tendance actuelle visant à encourager la diversification des pratiques pour faire face au défi du changement climatique, et **ont déjà installé des références depuis parfois plusieurs dizaines d'années**.

Les mélanges mis en place sont pour certains assez complexes avec pour conséquence une **concurrence entre essences difficile à gérer** – qui constitue parfois une cause d'échec du mélange et/ou de l'installation – et des **difficultés de mise en place et de suivi des entretiens** (1/3 des répondants signalent ces difficultés). Il y aurait sans doute, pour ce dernier point, un intérêt à développer des itinéraires permettant de retrouver facilement et à faible coût les plants pour les entretenir (placeaux le long de cloisonnements sylvicoles, plantation d'enrichissement le long d'allées, etc.) Fort de ce constat, on peut conclure que les déclarations d'intention ne suffisent pas et se heurtent sur le terrain à des **difficultés pratiques non négligeables au niveau du diagnostic, de l'implantation et du suivi**.

Au-delà des difficultés de mise en place et de suivi, le coût des installations atypiques est aussi à prendre en considération. La partie de l'enquête portant sur l'évaluation économique des initiatives (voir Annexe 4.4-2) **ne permet pas une analyse fine des coûts associés aux différentes initiatives**. Les initiatives présentées sont très disparates et difficiles à comparer sur ce plan (essences, stations, schémas, etc.) Une analyse plus fine permettrait d'identifier les itinéraires trop complexes pour être économiquement soutenables à grande échelle (coûts d'installation et/ou d'entretiens).

Les **situations d'échec** (identifiées comme telles par le répondant) sont représentées dans le recensement et dans l'échantillon. Un recensement plus ciblé sur ces échecs pourrait inspirer davantage de consignes pour éviter de (re)commettre certaines erreurs : plantation sous abri avec trouées trop petites ou abri trop sombre, pertes de plants du fait d'entretiens non suivis, matériels des entrepreneurs de travaux forestiers locaux non adaptés à l'ambition, etc.

Le questionnaire mis en place pour ce projet a été conçu pour constituer une **référence de travail pour de futurs recensements plus représentatifs**. Il peut être encore amélioré tel qu'évoqué précédemment (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Une partie des initiatives de la sélection pourrait faire l'objet d'une **analyse plus poussée (recueil de données dendrométriques et économiques) pour en tirer des enseignements techniques pour la gestion**. Enfin, cette première approche va permettre la **constitution d'un catalogue d'initiatives** avec analyse approfondie de l'intérêt des démarches et pointage de certains schémas d'installation qu'il serait intéressant d'explorer davantage sur le terrain.

4.5.1 Besoins de recherche

Les besoins de recherche pour guider la mise en place dans le cadre de la gestion d'initiatives atypiques de renouvellement sont nombreux et portent principalement sur les points suivants :

- quelles essences/provenances associer selon la station et l'objectif de production ?
- quels schémas d'installation faciles à mettre en place peut-on privilégier pour minimiser les risques liés aux dégâts de gibier et aux évolutions climatiques ?
- comment réduire les coûts d'installation ?
- comment réduire les coûts du suivi de schémas atypiques pour ne pas risquer de perdre l'investissement initial (cloisonnements, etc.) ?

Une analyse approfondie de toutes les initiatives déjà mises en place dans le cadre de démarches expérimentales notamment pourrait venir alimenter les réponses à ces questionnements.

Enfin, ce travail confirme l'intérêt d'une coordination des initiatives de renouvellement atypiques pour faciliter le partage des expériences, la construction de protocoles communs, l'organisation et la mise en place d'initiatives comparables, et la mutualisation des métadonnées descriptives et des efforts d'analyse des résultats. Cela implique la mise en place dans un premier temps d'une concertation collective des parties prenantes, à mener à l'échelle nationale.

4.6 Remerciements

Nous remercions l'ensemble des personnes ayant participé à l'enquête à ses différentes phases, les personnes mobilisées plus spécifiquement pour les entretiens et visites de terrain dans les dix régions concernées, les correspondants changement climatique et expérimentation du CNPF et les référents changement climatique de l'ONF. Nous adressons également nos remerciements au groupe de travail interne au CNPF-IDF – composé de Julie Thomas, Sabine Girard, Wulfran Mirlyaz, Eric Paillassa, Grégory Sajdak, Christophe Vidal, Michel Chartier et Pierre Gonin – qui a été mobilisé pour contribuer à la réflexion, au démarrage de ce projet.

4.7 Annexes

Annexe 4.4-1 : Questionnaire pour le recensement d'initiatives atypiques de renouvellement (phase 1 de l'enquête)

1. Nom du responsable du suivi de l'initiative ou de son signalement.

2. Adresse e-mail.

3. Organisme d'appartenance.

4. Quelles sont la (ou les) raison(s) pour lesquelles vous souhaitez soumettre cette initiative ?

☐ Schéma d'installation novateur

☐ Mélange d'essence original

☐ Situation en lien fort avec le changement climatique

☐ Levée d'une situation de blocage

☐ Initiative réussie à valeur d'exemple

☐ Échec instructif

☐ Autre (préciser)

5. Quel est votre degré de satisfaction actuel par rapport à l'objectif que vous vous étiez initialement fixé ?

☐ Très satisfaisant

☐ Satisfaisant

☐ Peu satisfaisant

☐ Décevant

6. Justifiez en quelques mots.

7. Indiquez la commune sur laquelle se situe l'initiative.

8. Type de propriété (Privée / Publique).

9. Historique.

☐ Renouvellement de peuplement après coupe finale (futaie régulière)

☐ Renouvellement suite à une coupe sanitaire (sécheresse, parasites...)

☐ Renouvellement suite à des dégâts de tempête ou de vents forts

☐ Boisement de friches, de landes ou d'accrus

☐ Irrégularisation du peuplement

☐ Autre (préciser)

10. Objectifs.

☐ Introduire un mélange d'essences

☐ Changer d'essence ou de provenance

☐ Tester un nouveau schéma d'installation

☐ Enrichir un peuplement en place

☐ Favoriser la régénération au sol et/ou irrégulariser

☐ Autre (préciser)

11. Première année de végétation suivant l'installation de l'initiative.

12. Surface de la parcelle (ou portion de parcelle) sur laquelle se situe l'initiative.

13. Essence(s) présente(s) dans le peuplement d'origine (distinction essences objectif / d'accompagnement).

14. Essence(s) introduite(s) ou renouvelée(s) (distinction essences objectif / d'accompagnement).

15. Schéma d'installation

i/ ☐ Une seule essence

☐ Mélange (préciser : pied à pied, en lignes, etc.)

ii/ ☐ En plein

☐ Zones délimitées (préciser : bandes, placeaux, bouquets, etc.)

iii / ☐ Sur terrain nu

☐ Sous couvert (préciser : enrichissement de régénération naturelle, plantation dans le recru, etc.)

☐ Autre (préciser)

16. Dans le cas d'une plantation en plein, précisez la densité de plantation (en tiges/ha)

17. Dans le cas de zones délimitées (de type plantations par placeaux par ex.), précisez la densité globale du peuplement, et celle de chaque zone.

18. État sanitaire actuel de l'initiative.

☐ Très bon

☐ Bon

☐ Mauvais

☐ Ne sait pas

19. Si l'état sanitaire est mauvais et que vous en connaissez la cause, précisez.

20. Est-ce qu'il y a un suivi de l'initiative et si oui, précisez à quelle fréquence ?

☐ Oui

☐ Non

Fréquence de suivi :

21. Est-ce qu'il existe des mesures enregistrées et si oui, sur quel support sont-elles enregistrées ?

☐ Oui

☐ Non

Support (Excel, Ilex,

n° Essai (si

etc.) :

référencement Ilex) :

22. Souhaitez-vous porter d'autres éléments à notre connaissance à ce stade du recensement ?

23. Avez-vous connaissance, dans votre région, d'initiative(s) innovantes visant la modification du mélange d'un peuplement en place via la sylviculture ?

☐ Oui

☐ Non

24. Seriez-vous d'accord pour nous présenter l'initiative décrite dans ce questionnaire sur le terrain à l'occasion d'une tournée ?

☐ Oui

☐ Non

25. Commentaires libres.

Annexe 4.4-2 : Questionnaire pour la sélection d'initiatives atypiques de renouvellement (phase 2 de l'enquête)

CODE d'identification de l'initiative :

DATE D'ENTRETIEN et/ou de visite :

1 – Informations générales

1.1*. Type d'initiative ou d'expérimentation⁴⁴³ :

☐ Signalement

☐ Référence mesurée

☐ Dispositif expérimental

1.2*. Nom du référent, organisme, e-mail

1.3*. Type de propriété

☐ Publique

☐ Privée

1.4*. Commune, Département

1.5*. Surface de la parcelle

1.6*. Surface de l'initiative

1.7*. Est-ce qu'il y a un suivi de l'initiative et si oui, à quelle fréquence ?

☐ Oui

☐ Non

Fréquence de suivi :

1.8*. Est-ce qu'il existe des mesures enregistrées et si oui, sur quel support ?

☐ Oui

☐ Non

Support : (Excel, Ilex, etc.)

n° Essai (si référencement Ilex) :

1.9. Document de gestion

☐ Oui

☐ Non

Préciser

1.10. Nom du propriétaire et nom du gestionnaire et organisme

1.11. Nom de la forêt

1.12. Numéro de parcelle et coordonnées GPS

2 – La station forestière

2.1. Sylvoécocorégion

2.2. Altitude

2.3. Topographie

☐ Plateau

☐ Vallon

☐ Plaine alluviale

☐ Haut de versant

☐ Milieu de versant

⁴⁴³ Les questions posées pour le recensement sont indiquées par un astérisque.

- ☐ Bas de versant ☐ Crête ☐ Dépression ☐ Replat

2.4. Pente (exposition et %)

2.5. Fertilité de la station

- ☐ Bonne ☐ Moyenne ☐ Mauvaise

2.6. Environnement de la parcelle

- ☐ Entourée de forêt sur tous les côtés ☐ Entourée partiellement de forêts
☐ Isolée (entourée de champs ou d'habitations)

2.7. Description des parcelles avoisinantes (plusieurs réponses possibles - Joindre un plan si disponible)

- ☐ Parcelle de feuillus ☐ Parcelle de résineux
☐ Bord de route ☐ Parcelle mixte feuillus résineux
☐ Parcelle récemment plantée ou régénérée ☐ Parcelle dépérissante
☐ Parcelle nue ☐ Autre (préciser)

2.8. Indicateurs de biodiversité au sein de la parcelle

- ☐ Bois mort au sol (GB ou TGB) ☐ Bois mort sur pied (GB ou TGB)
☐ Arbres porteurs de dendromicrohabitats ☐ Bois vivants laissés comme semenciers
☐ Autres (préciser)

3 – Antécédent culturel

3.1*. Historique de l'initiative

- ☐ Renouvellement de peuplement après coupe finale (futaie régulière)
☐ Renouvellement suite à une coupe sanitaire (sécheresse, parasites...)
☐ Renouvellement suite à des dégâts de tempête ou vents forts
☐ Boisement de friches, landes ou accrus
☐ Irrégularisation du peuplement
☐ Autre (préciser)

3.2*. Quelles étaient les essences présentes dans le peuplement d'origine (objectif/accompagnement) ?

3.3. Quelles étaient la structure et le régime du peuplement avant installation ?

- ☐ Futaie régulière ☐ Futaie irrégulière ☐ Taillis sous futaie ☐ Taillis

3.4. Comment était l'état de la parcelle avant installation ?

- ☐ Parcelle nue (friche...) ☐ Régénération en cours d'acquisition ☐ Régénération acquise
☐ Peuplement adulte sain ☐ Peuplement dépérissant

3.5. Description du couvert

- ☐ Ouvert ☐ Fermé ☐ Entrouvert

3.6. Présence d'un sous-étage

- ☐ Oui ☐ Non

3.7. Le peuplement précédent a-t-il été exploité ou laissé sur place ?

- ☐ Exploité ☐ Laissé sur place

4 – Motivations avant installation

4.1*. Objectif de l'initiative

- ☐ Introduire un mélange d'essences ☐ Changer d'essence ou de provenance
☐ Tester un nouveau schéma de plantation ☐ Enrichir un peuplement en place
☐ Favoriser la régénération au sol et/ou irrégulariser ☐ Autre (préciser)

4.2. Quel a été le déclencheur pour la mise en place de cette initiative ?

- ☐ Peuplement arrivé à maturité ☐ Peuplement affecté après un aléa brusque
☐ Dépérissement progressif du peuplement ☐ Échec de renouvellement par plantation
☐ Échec de renouvellement par régénération naturelle ☐ Autre (préciser)

4.3. Quelles sont les principales motivations qui ont conduit à l'installation de ce modèle d'initiative ? (jusqu'à 3 raisons les plus importantes, classer par ordre de priorité)

- ☐ Éviter une ouverture complète du peuplement
☐ Installer une ou des essence(s) mieux adaptée à la station et au climat futur
☐ Mettre en place un mélange d'essences objectif
☐ Limiter l'impact pour les sols

- ☐ Tester l'association d'essences d'accompagnement disséminées individuellement ou par petits groupements sur la parcelle pour instaurer de la diversité dans le peuplement
- ☐ Tester une densité atypique pour la ou les essences considérées
- ☐ Installer ponctuellement des lignes ou bandes d'autres essences que l'essence principale, pour créer des barrières naturelles de protection contre les attaques de parasites
- ☐ Autre (préciser)

4.4. Quels paramètres complémentaires avez-vous dû prendre en compte pour l'installation de cette initiative ?

- | | | |
|--|------------------------------|------------------------------|
| Demandes spécifiques du propriétaire | ☐ Oui | ☐ Non |
| Contraintes techniques | ☐ Oui | ☐ Non |
| Difficultés de commande des graines ou des plants | ☐ Oui | ☐ Non |
| Difficulté à trouver du matériel adéquat (minipelles...) | ☐ Oui | ☐ Non |
| Contraintes réglementaires | ☐ Oui | ☐ Non |
| Contraintes paysagères | ☐ Oui | ☐ Non |
| Enjeux spécifiques de préservation de la biodiversité | ☐ Oui | ☐ Non |
| Exigences du grand public (promeneurs, communes, etc.) ou d'associations | ☐ Oui | ☐ Non |
| Autres (préciser) | | |

4.5. Quels outils ou démarches d'aide à la décision ont été utilisés pour établir le diagnostic préalable à l'installation de cette initiative ?

- ☐ ClimEssences ☐ Bioclimsol ☐ Guide ou catalogue de station
- ☐ Diagnostic sanitaire ARCHI ☐ Diagnostic sanitaire DEPERIS ☐ Autre (préciser)

4.6. Si l'initiative est installée sur une propriété privée, préciser si elle a été mise en place

- ☐ En réponse à une demande du propriétaire ☐ Sur recommandation du gestionnaire
- ☐ Sur recommandation du conseiller forestier ☐ Autre (préciser)

5 – État initial de l'initiative

5.1*. Préciser la première année de végétation suivant l'installation de l'initiative

5.2*. Quelles sont les essence(s) introduite(s) ou renouvelée(s) (objectif/accompagnement) ?

5.3*. Description du schéma d'installation

- i. ☐ Une seule essence ☐ Mélange (préciser : pied à pied, en lignes, etc.)
- ii. ☐ En plein ☐ Zones délimitées (préciser : bandes, placeaux, bouquets, etc.)
- iii. ☐ Sur terrain nu ☐ Sous couvert (préciser : enrichissement de régénération, plantation dans le recru, etc.)
- ☐ Autre (préciser)

5.4*. Dans le cas d'une plantation en plein, précisez la densité de plantation

5.5*. Dans le cas de zones délimitées, précisez la densité globale du peuplement et celle de chaque zone

5.6. Mode de renouvellement

- ☐ Plantation ☐ Régénération naturelle ☐ Semis artificiel

5.7. Type de plants (dans le cas d'une plantation)

- ☐ Plants en racines nues ☐ Plants en godets ☐ Autre (préciser)

5.8. Mise en place de cloisonnements

- ☐ Oui ☐ Non Largeur : Espacement : tous les mètres

5.9. Description des travaux

	Type	Technique	Date
a. Travaux réalisés pour l'installation			
b. Travaux réalisés à l'exploitation			
c. Gestion des souches et des rémanents d'exploitation (désouchage, broyage des souches, mise en andain des rémanents, dépôts sur les cloisonnements, etc.)			
d. Préparation mécanisée du site (décompactage, décapage, sous solage, potets individuels, bandes travaillées, etc.)			
e. Protections contre le gibier (manchons, enclos, etc.)			

f. Autre (préciser)			
---------------------	--	--	--

5.10. Avez-vous rencontré des difficultés pour l'installation de l'initiative ?

☐ Oui ☐ Non Si oui, lesquelles ?

6 – État sanitaire actuel**6.1*. État sanitaire actuel de l'initiative**

☐ Très bon ☐ Bon ☐ Mauvais ☐ Ne sait pas

6.2*. Si l'état sanitaire est mauvais et que vous en connaissez la cause, préciser**6.3. Y a-t-il des facteurs de risques qui menacent l'initiative ?**

☐ Oui ☐ Non Préciser :

6.4. Des mesures ont-elles été mises en place pour lutter contre les risques évalués ?

☐ Oui ☐ Non Préciser :

6.5. Si des dégâts ont été observés, préciser lesquels :

☐ Sécheresse ☐ Canicule/coups de chaud (brûlures) ☐ Gel

☐ Dégâts d'ongulés ☐ Dégâts de rongeurs

☐ Dégâts causés par des parasites (ravageurs et/ou pathogènes). Préciser si connus : hylobe...

☐ Autre (préciser)

6.6. Y a-t-il une végétation concurrente influant (ou pouvant influencer) sur le développement des plants ou des semis ?

☐ Oui ☐ Non Préciser :

6.7. Préciser les mesures spécifiques mises en place pour lutter contre cette végétation concurrente**6.8. Quel est le taux de reprise depuis la mise en place jusqu'à présent ?**

a. ☐ Homogène ☐ Hétérogène

b. ☐ 0-20 % ☐ 20-40 % ☐ 40-60 % ☐ 60-80 % ☐ 80-100 %

7 – Inventaire actuel des essences présentes

Préciser pour chacune :

- Essence objectif ou accompagnatrice
- Issu de régénération naturelle, plantation ou semis artificiel
- Dominance (dominant, co-dominant, dominé)
- Proportion (nombre d'arbres) % sur un total de 100 %
- Estimation de l'accroissement moyen depuis l'installation (cm/an)

8 – Bilan de l'installation**8.1*. Quelles sont la ou les raisons pour lesquelles vous souhaitez soumettre cette initiative ?**

- ☐ Schéma d'installation novateur ☐ Mélange d'essence original
- ☐ Situation en lien fort avec le changement climatique ☐ Levée d'une situation de blocage
- ☐ Initiative réussie à valeur d'exemple ☐ Échec instructif
- ☐ Autre (préciser)

8.2*. Quel est votre degré de satisfaction actuel par rapport à l'objectif que vous vous étiez initialement fixé ?

☐ Très satisfaisant ☐ Satisfaisant ☐ Peu satisfaisant ☐ Décevant ->

Justifiez

8.3. Avez-vous rencontré des difficultés dans la réalisation de l'entretien de l'initiative ?

☐ Oui ☐ Non Si oui, préciser :

Vous avez indiqué que votre degré de satisfaction était "Très satisfaisant" ou "Satisfaisant"...

8.4. Sur quel aspect êtes-vous le plus satisfait, et pourquoi ?**8.5. Sur quel aspect êtes-vous le moins satisfait, et pourquoi ?**

Vous avez indiqué que votre degré de satisfaction était "Peu satisfaisant" ou "Décevant"...

8.6. Considérez-vous que l'initiative est un échec compte tenu de l'objectif initial ?

☐ Oui ☐ Non ☐ Il est trop tôt pour le dire

8.7. Si OUI, quel est selon vous la principale cause de cet échec ?**8.8. Si OUI, cette cause avait-elle été identifiée au préalable ?**

8.9. Si cette cause avait été identifiée au préalable comme un facteur d'échec possible, préciser les actions mises en œuvre pour la contourner et qui ont finalement échoué.

8.10. Si NON ou si trop tôt pour le dire, précisez pourquoi vous jugez l'initiative peu satisfaisante ou décevante à ce stade.

8.11. Envisagez-vous de mettre en place des opérations correctives ?

☐ Oui ☐ Non Si oui, lesquelles ?

9 – Évaluation économique

9.1. L'installation a-t-elle bénéficié de subventions ou d'aides financières (plan de relance, aides régionales, financement européen, autres financements) ?

☐ Oui ☐ Non Si oui, préciser

9.2. Dans le cas d'un renouvellement après aléas ayant affecté le produit de la vente, ce manque à gagner a-t-il impacté les choix économiques de l'installation présente ?

☐ Oui ☐ Non Si oui, préciser en quoi

9.3. Quel est pour vous l'opération qui a nécessité le plus de dépenses ? (sur la période couvrant la mise en place et les 10 premières années de vie du peuplement)

9.4. Que recommanderiez-vous pour réduire les coûts liés à ce type d'installation ? (temps de main d'œuvre, nombre d'entretiens, etc.)

10 – Enseignements pour inspirer d'autres démarches

10.1. Avez-vous connaissance dans votre région d'initiative(s) innovantes visant la modification du mélange d'un peuplement en place via la sylviculture ?

☐ Oui ☐ Non Préciser

10.2. Si l'initiative a été un échec, avec le recul, quelles seraient vos recommandations pour éviter de reproduire cet échec ?

10.3. Si l'initiative a été une réussite ("Très satisfaisant" ou "Satisfaisant"), pensez-vous qu'il y a un intérêt à la reproduire ?

☐ Oui ☐ Non

10.4. Si oui, quelles seraient vos recommandations et les conditions pour qu'elle soit reproductible ? (station, climat, budget, travaux)

10.5. Avez-vous installé d'autres initiatives comparables ?

☐ Oui ☐ Non

10.6. Si oui, considérez-vous qu'elles ont :

☐ Réussi ☐ Echoué ☐ Il est trop tôt pour le dire Préciser :

10.7. Qu'est-ce qui a inspiré le choix de ce type d'initiative ?

- ☐ L'existence d'un réseau de placettes comparables
- ☐ La volonté de reproduire en le corrigeant un dispositif similaire ayant connu un échec
- ☐ La connaissance théorique du schéma d'installation et la volonté de le mettre en œuvre
- ☐ Des directives incitant à installer ce type de dispositifs
- ☐ Autre (préciser)

Annexe 4.4-3 : Références bibliographiques utilisées pour la tâche C

Barrette, M., Leblanc, M., Thiffault, N., Paquette, A., Lavoie, L., Bélanger, L., Bujold, F., Côté, L., Lamoureux, J., Schneider, R., Tremblay, J.-P., Côté, S., Boucher, Y., Deshaies, M.-È., 2014. Enjeux et solutions pour la sylviculture intensive de plantations dans un contexte d'aménagement écosystémique. *The Forestry Chronicle* 90, 732–747. <https://doi.org/10.5558/tfc2014-146>

Barthod, C., Pignard, G., Guérin, F., Bouillon-Penrois, E., 1999. Coupes fortes et coupes rases dans les forêts françaises. *Revue Forestière Française* 51, 469–486.

Bastien, Y., Gauberville, C. (Eds.), 2011. Vocabulaire forestier. Ecologie, gestion et conservation des espaces boisés. Institut pour le Développement Forestier, Paris.

Bonfils, P., Brang, P., Dietiker, F., Fürst, E., Horisberger, D., Junod, P., Meier, S., Monnin, M., Pittet, P., Schneider, P., Walther, H., 2010. La régénération artificielle des chênes sessile et pédonculé. Fiche technique. 2e édition.

- Demolis, C., François, D., Delannoy, L., 1997. Que sont devenues les plantations de feuillus par points d'appui ? Bulletin technique de l'Office National des Forêts 27–37.
- Havet, N., de Bonnault, A., Bouchez, P., 2021. Les plantations en points d'appui : un thème d'étude cher au CETEF de la Somme. Forêt Entreprise 4–9.
- Hettescheimer, B., Böhmer, O., Witz, M., Rieger, H., 2008. Qualification Dimensionnement : la sylviculture pour l'authentique, le beau et le noble 15.
- Ledun, F., 2019. Reconstitution des mélanges pin-taillis ou en sommes-nous 30 ans après ?
- Messant, D., de Wouters, P., Asael, S., Vitu, C., Ningre, F., Krischel, M., Freymann, E., 2012. Des travaux économes pour du bois d'œuvre de haute qualité – du semis ou de la plantation jusqu'aux premières éclaircies. Projets REGIOWOOD et COFORKO. Manuel technique.
- Moyses, F., 2019. Retour d'expériences et actualisation de la pratique des plantations par collectifs. La forêt privée 34–46.
- Moyses, F., 2013. Réflexions sur l'automation biologique appliquée aux jeunes peuplements. La forêt privée 51–56.
- Négrinat, C., Asael, S., 2014. Technique : Comme on fait son nid... On se pousse. Art Floreal 6–7.
- Riou-Nivert, P., 1985. Proposition d'une méthode de plantation par bouquets. Forêt Entreprise 20–26.
- Schütz, J.-Ph., Oldeman, R.A.A., 1996. Gestion durable par automation biologique des forêts. Rev. For. Fr. 48, 65–74. <https://doi.org/10.4267/2042/26805>
- Wilhelm, G.J., 2008. Aspects financiers et perspectives économiques de la méthode "qualification-dimensionnement." Forêt Wallonne 25–33.
- Wilhelm, G.J., Rieger, H., 2017. Stratégie qd - une gestion de la forêt basée sur la qualité et les cycles naturels. Une gestion de la forêt basée sur la qualité et les cycles naturels. Institut pour le Développement Forestier.

Annexe 4.4-4 : Grille de description des initiatives avec installation de plants (ou de semis)

Description des modalités d'installation

Unité de gestion	(UG =) Parcelle ou Parquet : $S > 0,5 \text{ ha}^{444}$ (îlots = parquet (en général, plus accessoirement bouquet) dont la nature du peuplement planté est différente de celle de ce qui l'entoure)					
Type de renouvellement	(Re)boisement complet (la densité et la disposition des plants permettront d'obtenir un peuplement final complet)		Enrichissement (la densité et la disposition des plants ne permettront pas de constituer un peuplement final complet ; des tiges du peuplement interstitiel fournissent donc le complément)			
Structure (étagement)	Il est possible d'installer les différents types de plantations sous couvert (ou sous abri), c'est-à-dire sous un peuplement forestier maintenu en place. <i>Cela nécessite cependant que celui-ci soit suffisamment entrouvert au moment de la plantation et que des interventions soient ensuite prévues pour maintenir ou augmenter cette ouverture sur l'ensemble du peuplement (lumière diffuse).</i>			On considérera que la plantation est installée « sous couvert » si des arbres surplombent les plants (sinon, « à découvert », même s'il peut y avoir un abri latéral). La plantation peut également être faite en une ou plusieurs fois (par exemple après chaque coupe jardinatoire en traitement irrégulier). Le résultat pourra donc conduire à l'obtention d'un ou plusieurs « étages de plantation ».		
Organisation spatiale de la plantation	En plein	Par points d'appui	Par bouquets	En bandes	En lignes espacées	En allées
	Répartition généralement homogène des plants sur la totalité de l'UG, placés à des espacements $<$ à l'envergure ¹⁰ des arbres objectifs.	Répartition géométrique systématique des emplacements de plantation (placeaux, petits bouquets) ; espacements $\leq$ à l'envergure ¹⁰ des arbres objectifs.	$S \leq 0,5 \text{ ha}$ (ou par plant ⁴⁴⁵) Répartition généralement non systématique ; un ou plusieurs arbres objectifs par bouquet. L'ensemble des arbres objectifs plantés ne constituera pas un peuplement complet ⁴⁴⁶ .	Alternance de bandes plantées et non plantées (ou non plantées simultanément). Peuplement complet sur les bandes plantées.	Espacements entre lignes $>$ à l'envergure ⁴⁴⁷ des arbres objectifs. L'ensemble des arbres objectifs plantés ne constituera pas un peuplement complet ⁴⁴⁸ .	Seules les bordures de voies (chemins, pistes, etc.) accessibles à des matériels d'exploitation sont plantées ; une ou plusieurs lignes de part et d'autre de la voie.
Caractéristiques complémentaires à préciser	Absence ou présence de lignes et, dans ce dernier cas (général), espacement de celles-ci (et éventuelles variations : présence d'andains, etc.) et espacement sur la ligne.	Espacements et caractéristiques des points d'appui (dimensions des placeaux ⁴⁴⁸ , des « nids », nombre de plants, etc.) et description des espaces interstitiels.	Surface et forme (circulaire, rectangulaire, séquences, etc.) Pour simplifier, la plantation par plants épars (ou isolés) est incluse ici ; elle pourrait être dissociée.	Disposition et largeurs des bandes. Largeur des interbandes (si bandes parallèles).	Espacements entre lignes (et éventuelles variations) et sur la ligne.	Eventuelles caractéristiques ou particularités des allées (largeur, etc.)

⁴⁴⁴ Définition stricte appliquée ici ; surface souvent plus élevée dans les aménagements ONF à cause de la taille des parcelles.

⁴⁴⁵ Possible de différencier une organisation de la plantation **par plants isolés**. Ici inclus dans plantation par (très petits !) bouquets.

⁴⁴⁶ On admet généralement qu'au moment de leur maturité économique, l'envergure (= le diamètre du houppier) des feuillus est voisine de 13 à 14 m (50-60 arbres/ha en futaie régulière) et que celle des résineux est de 8 à 9 m (120 - 150/ha).

⁴⁴⁷ Pour obtenir à terme un peuplement complet, il est nécessaire de recruter des arbres objectifs dans le peuplement interstitiel.

⁴⁴⁸ Pour l'étude on choisit de limiter la surface des placeaux : $S < 25 \text{ m}^2$. Les « nids » sont des petits placeaux (quelques m^2) où est installée une forte densité de semis ou de plants.

Dispositions des plants (tous types de plantations)

Critères – caractéristiques à relever	À quoi se référer
Espacements (si lignes, espacement entre lignes et espacements sur les lignes) ; Disposition (carré, quinconce, ...) ou sinon espacements moyens	Pas de problème pour la plantation en plein complète. Pour les placeaux (points d'appui), bouquets, bandes, lignes espacées, allées, se caler sur le schéma local d'installation (ou « unitaire »).
Densité* locale (ou « motif unitaire »)	Pour une plantation en plein complète : hors obstacles ou zones non plantées (andains...). Pour les autres, à prendre sur le schéma local d'installation (ou « unitaire ») = le placeau (pour les points d'appui), le bouquet, la bande, les lignes espacées, les allées, pour les enrichissements.
Densité* globale (sur la parcelle ou sur le parquet planté)	Densité ramenée à la surface de l'UG (= parcelle ou parquet planté) = nombre de plants / surface totale de l'UG (comprenant donc l'éventuel peuplement interstitiel, les andains...)

* TT faible (< 100/ha), Très faibles (< 100-300/ha), Faibles (300-800/ha), Moyennes (800-1200/ha), Fortes (1200-1600/ha), Très fortes (1600-2500/ha), TT forte (> 2500/ha)

Composition de la plantation (tous types de plantations)

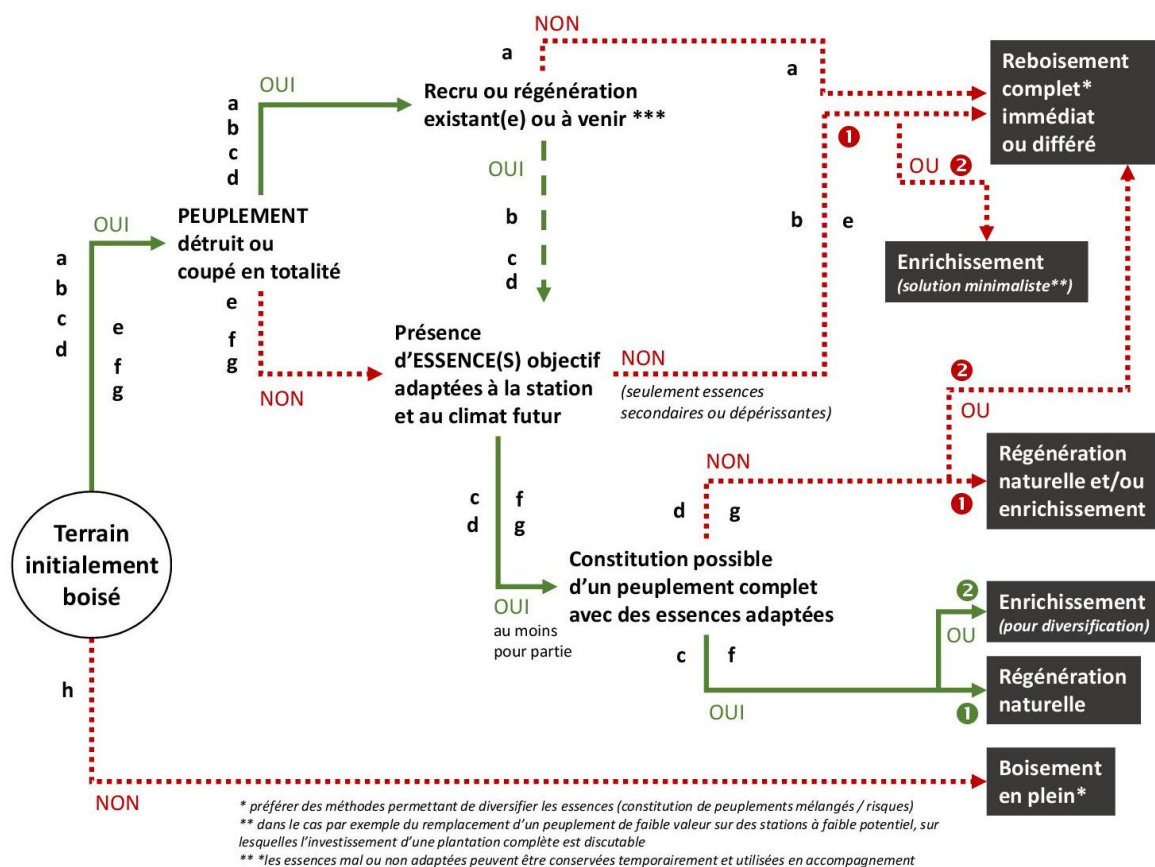
Critères – caractéristiques à relever	À quoi se référer
Composition du « motif unitaire »	Plantation <u>pure ou mélangée</u> à l'échelle de la plantation en plein ou localement pour les placeaux (points d'appui), bouquets, bandes, lignes espacées, ou allées Si mélange, modalités d'installation **
Composition « globale » de la plantation	Plantation <u>pure ou mélangée</u> à l'échelle de l'ensemble de la plantation (= uniquement plants installés) Si mélange, modalités d'installation **
Composition « globale » de l'unité de gestion (actuelle ou à terme)	Peuplement <u>pur ou mélangé</u> à l'échelle de l'ensemble du peuplement (incluant le recru ou le pré-existant) Si mélange, modalités d'installation **

** mélange pied à pied (systématique ou aléatoire), par lignes, par séquences (tronçons de lignes), par bandes, par allées, par bouquets, par placeaux... (cf. comme pour l'organisation de la plantation, mais ici pour l'agencement du mélange). Un mélange est dit « complexe » lorsque plusieurs des modalités précédentes sont imbriquées ou plusieurs niveaux de mélange [exemple alternance de bandes de 2 essences dominantes différentes (1er niveau) dans lesquelles des bouquets ou des séquences d'autres essences sont mélangées (2e niveau) ...]

Modalités de réalisation

- Matériel végétal : essences, provenances, types de plants
- Méthodes d'installation : préparation du terrain, mode de plantation, protection contre le gibier, etc.
- Suivi : modalités et périodicité des entretiens et des éventuelles interventions en taille / élagage

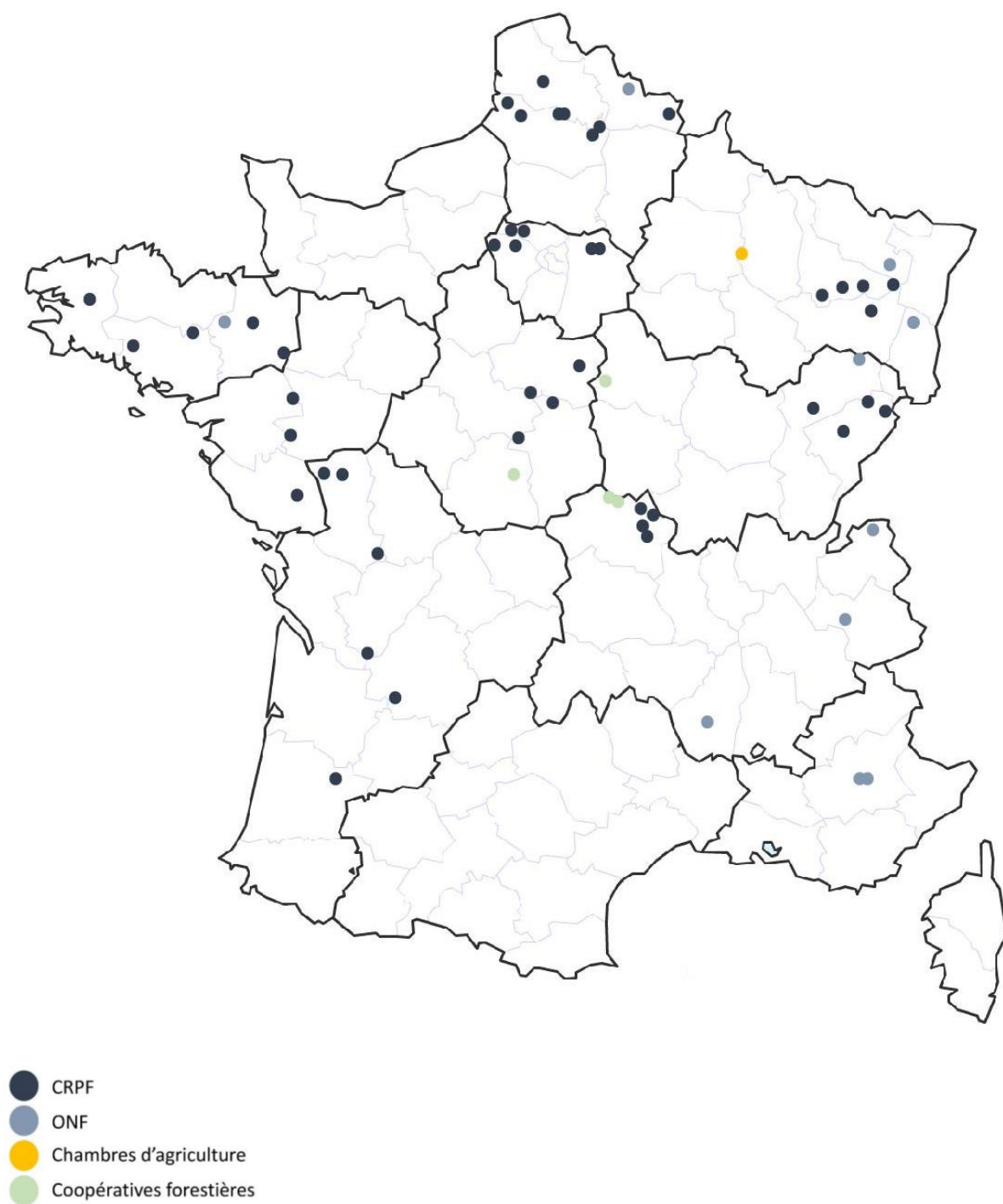
Annexe 4.4-5 : Principaux contextes représentés dans la sélection et types de renouvellement auxquels ils ont conduit



Remarques :

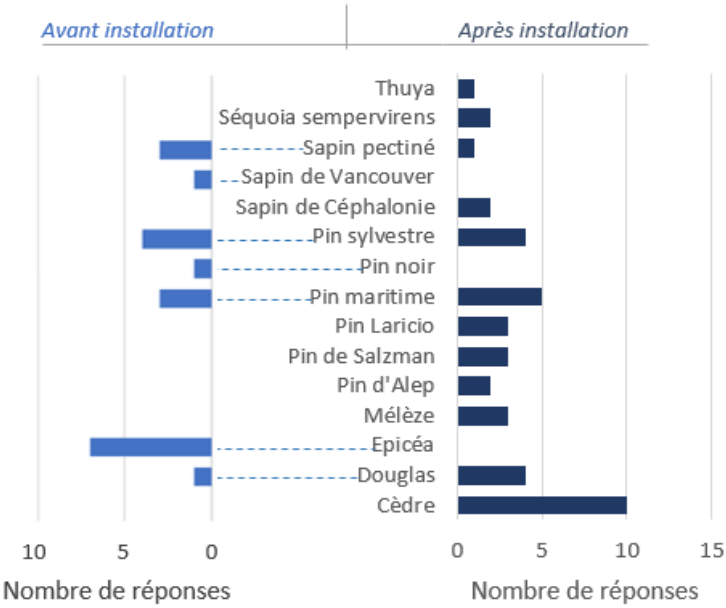
- sur le schéma, ❶ et ❷ sont des options possibles de type de renouvellement pour un même contexte ;
- le type de renouvellement défini dans le tableau descriptif de l'Annexe 4.4-4 = « (Re)boisement complet et Enrichissement » concerne des sites avec installation de plants ; la régénération naturelle seule, sans enrichissement, n'y figure donc pas, mais reste un type de renouvellement possible qui est décliné ici.

Annexe 4.4-6 : Répartition des initiatives de la sélection sur le territoire

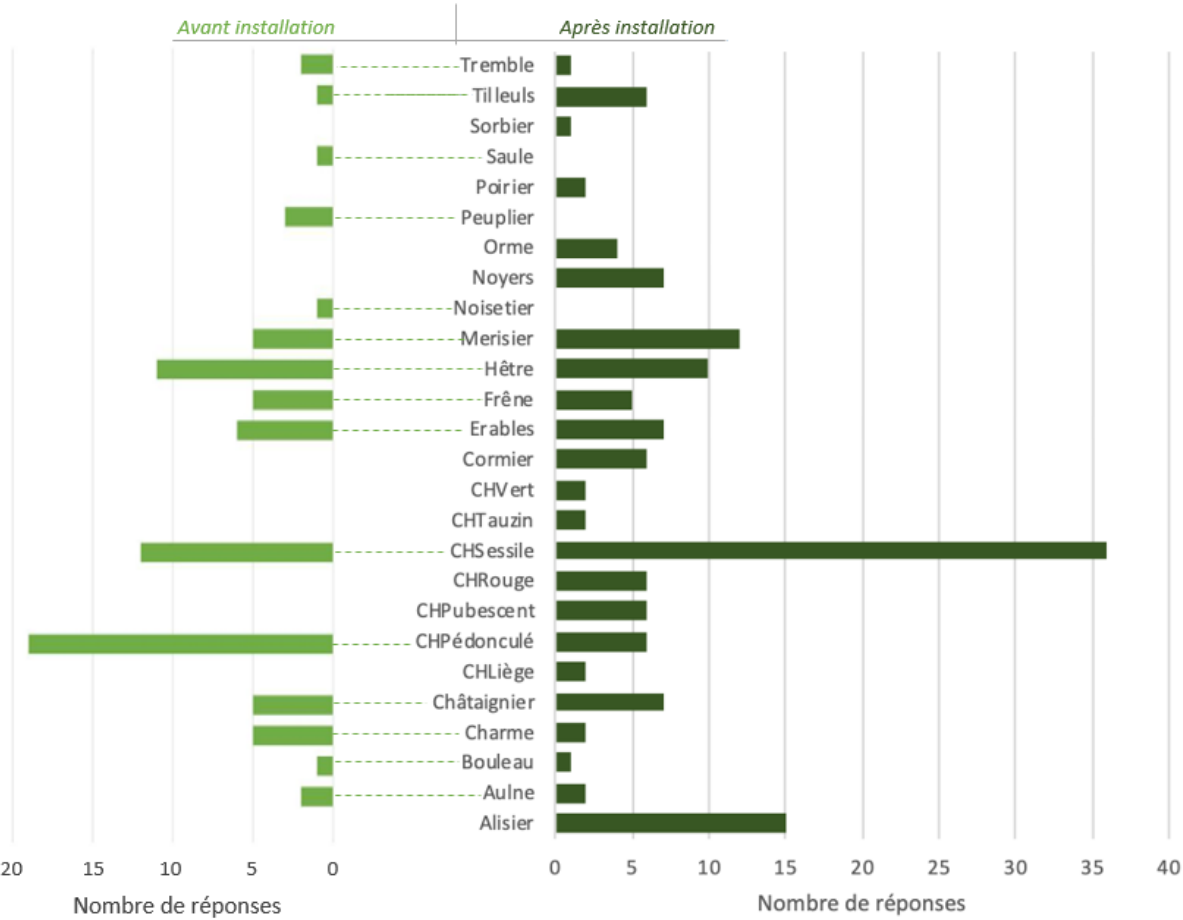


Annexe 4.4-7 : Nature des essences objectif mises en place dans les initiatives de la sélection (phase 2 de l'enquête)

RÉSINEUX



FEUILLUS



Volet 2 | Thème 4. Amélioration des itinéraires de renouvellement en contexte de changement climatique

Question 5. Quelles sont les évolutions récentes et pressenties en Europe dans le domaine du renouvellement des peuplements forestiers en contexte de changement climatique ?

Sommaire

5.1 Contexte et problématique	775
5.2 Matériel et méthode	775
5.3 Réponses au questionnaire	777
5.3.1 État des lieux des changements importants sur la période récente (< 5 ans, < 10 ans, < 20 ans) dans la façon dont la coupe à blanc est pratiquée : nécessité d’une autorisation, taille maximale de la coupe à blanc, et autres question juridiques ou techniques	777
5.3.2 État des lieux des moyens nouveaux/renforcés, explorés et mis en œuvre pour surmonter les difficultés ou contraintes, comme par exemple, des moyens alternatifs à la plantation traditionnelle (petites unités, utilisation des rejets ou de la régénération, utilisation de la végétation existante, etc.)	778
5.3.3 État des lieux des problèmes spécifiques liés à l’échec des plantations après les coupes rases	779
5.3.4 État des lieux des systèmes de suivi nationaux dédiés au succès/échec des plantations	779
5.3.5 Perspectives concernant le recours à la régénération naturelle, dans un avenir proche	780
5.4 Besoins de recherche	781
5.5 Références bibliographiques	781

Rédacteur

Christophe **Orazio**, IEFC, Institut Européen de la Forêt Cultivée, Cestas (33), France

5.1 Contexte et problématique

Les changements globaux et, singulièrement, les changements climatiques, affectent l’ensemble des forêts européennes et forcent les acteurs à questionner leurs pratiques sur le renouvellement forestier de manière d’autant plus aiguë qu’ils sont confrontés à des événements catastrophiques de types attaques de scolytes, dépérissements ou incendies de plus en plus fréquents et intenses. Il est donc nécessaire d’explorer les pratiques les plus pertinentes dans un contexte incertain.

Les coupes rases sont une méthode d’exploitation largement utilisée et dominante dans les pays scandinaves qui hébergent la majorité des surfaces forestières, mais aussi sur les îles britanniques où la sylviculture repose essentiellement sur des espèces exotiques nouvellement plantées. Ce mode de régénération se rencontre aussi en Europe centrale, particulièrement dans les pessières et dans de nombreuses forêts plantées (par exemple, pineraie, peupleraie) et des taillis d’Europe du Sud, notamment d’eucalyptus.

Cette contribution présente le résultat d’une consultation d’experts européens sur les évolutions récentes et pressenties des modes de régénération dans les pays voisins de la France, avec une attention particulière au cas des coupes rases.

5.2 Matériel et méthode

L’enquête s’est appuyée sur l’Institut européen de la forêt cultivée (IEFC) qui a contacté par mél plus de 130 **professionnels** (chercheurs, universitaires, gestionnaires et responsables d’administration ou de services forestiers) de son réseau, répartis dans toute l’Europe (21 pays concernés). Compte tenu des moyens et des délais imputés à cette enquête, il n’a pas été possible de faire un échantillonnage

stratifié complet et d’y associer la société civile de chaque pays. Un questionnaire en ligne et en anglais a été proposé à tous les correspondants. Il a été élaboré dans le cadre de l’expertise CRREF, avec les pilotes du Volet 2.

Pour favoriser les retours, le questionnaire – dont on donne ici la traduction en français – a été réduit à cinq lots de questions :

1. Jouez-vous ou votre institution joue-t-elle un **rôle spécifique en relation avec les politiques et les pratiques de coupe à blanc et/ou de régénération** ?
2. Y a-t-il eu récemment (< 5 ans, < 10 ans, < 20 ans) des **changements importants dans la façon dont la coupe à blanc est pratiquée** dans votre pays : nécessité d'une autorisation, taille maximale de la coupe à blanc, autres questions juridiques ou techniques ?
3. Rencontrez-vous dans votre pays des **problèmes spécifiques liés à l'échec des plantations** après les coupes rases ? En particulier, existe-t-il un **système de suivi national dédié au succès/échec des plantations** ? Si oui, pouvez-vous indiquer la date de mise en place du système et commenter brièvement ses performances ?
4. Votre pays a-t-il exploré et mis en œuvre des **moyens nouveaux/renforcés pour surmonter les difficultés ou les contraintes de régénération** ? Par exemple, des moyens alternatifs à la plantation traditionnelle ont-ils été discutés et mis en œuvre (petites unités, utilisation des rejets ou de la régénération, de la végétation existante, etc.)
5. Pensez-vous que la **régénération naturelle sera plus répandue** dans votre pays dans un avenir proche ?

Le taux de réponse a été de 20 %. Les retours proviennent de **10 pays : Norvège, Suède, Pays-Bas, Allemagne, République tchèque, Suisse, Royaume-Uni, Irlande, Espagne, Portugal** (voir Figure 4.5-1). La seule réponse des pays d’Europe de l’Est concerne la République tchèque. Plus qu’une description couvrant l’ensemble de l’Europe, c’est donc plutôt un **gradient nord-sud, de la Scandinavie au Portugal**, qui a été renseigné. Les pays avec le plus de répondants sont le Portugal (6), l’Irlande et l’Allemagne (4) suivis de la Suède (3) et de l’Espagne (2), les autres pays n’ayant qu’un répondant. La moitié des personnes qui ont répondu est composée de chercheurs, le reste est essentiellement composé de gestionnaires (privés ou publics) et d’une pépinière, d’une administration et d’un organisme de protection contre les incendies.

Les données ont été récupérées et centralisées dans un tableur permettant d’appréhender aisément l’hétérogénéité des réponses selon les pays et les répondants. S’agissant d’une enquête qualitative, ces réponses ont fait l’objet d’un traitement individuel. Chaque correspondant étant identifié, il est possible de le recontacter, le cas échéant, pour récolter ultérieurement de plus amples informations *via* l’IEFC.



Figure 4.5-1 : Pays ayant répondu à l'enquête entre décembre 2021 et mars 2022

5.3 Réponses au questionnaire

5.3.1 État des lieux des changements importants sur la période récente (< 5 ans, < 10 ans, < 20 ans) dans la façon dont la coupe à blanc est pratiquée : nécessité d'une autorisation, taille maximale de la coupe à blanc, et autres question juridiques ou techniques

Remarque liminaire : certaines informations fournies par les répondants, notamment d'ordre législatif, mériteraient une vérification rigoureuse qu'il n'a pas été possible de conduire dans tous les cas. On retiendra surtout ici la valeur de témoignage sur l'évolution récente ou non de la législation, et de ses interférences avec la pratique de la coupe rase.

Pays scandinaves et Royaume-Uni : dans ces pays qui pratiquent largement les coupes rases (en Suède la certification demande d'affecter 5 % des forêts à la protection, gérées en couvert continu), il n'y a pas eu de changement dans le contexte législatif par rapport à cette pratique. L'enquête révèle des changements techniques mineurs, alors que la taille des coupes rases tend à diminuer, et que la plantation après coupe rase prend une place de plus en plus prépondérante aux dépens de la régénération naturelle.

Irlande : on observe une situation compliquée ; alors que depuis 10 ans, les bonnes pratiques de gestion étaient calées sur une limite de surface de coupe fixée à 25 ha d'un seul tenant, deux évolutions ont changé la donne : (i) la mise en place de nouveaux critères environnementaux d'ordre réglementaire pour obtenir des permis d'exploitation valables 10 ans a généré de nombreux retards

d'exploitation et (ii) un changement législatif instauré en 2018 permet à des tierces parties de contester ces permis devant un tribunal administratif.

Pays-Bas : pour faire face aux nouveaux dépérissements (notamment dus à la chalarose), ce pays a relevé le seuil limitant la taille des coupes rases de 0,2 à 0,5 ha.

République tchèque : ce pays a mis en place une limitation de taille des coupes rases en 1995 réduisant ces dernières à 1 ha, sauf en plaine où elles sont limitées à 2 ha. Certaines règles ont évolué depuis 2018 en lien avec les dégâts considérables occasionnés par les scolytes. Ainsi, l'obligation de régénération acquise après coupe est passée de 2 à 5 ans, et l'obligation d'évacuation des bois morts scolytés a été étendue à 5 ans à cause de l'insuffisance des capacités d'exploitation face aux dégâts subis.

Suisse : dans ce pays de montagne où l'érosion est un problème majeur, la loi n'a pas changé depuis 1876. Les coupes rases restent interdites et la taille des éclaircies autorisées est définie au niveau cantonal, mais est toujours inférieure à 1 ha.

Allemagne : la situation est variable selon les *Länder*. Pour certains, comme la Bavière, il n'existe pas de limite, alors que pour les autres, la limite varie entre 0,3 et 2 ha depuis la loi de 1985. Les opérations de sauvetage de l'épicéa ont généré de grandes surfaces de coupes rases s'affranchissant des seuils régionaux.

Espagne : les règles dans le domaine des coupes rases sont fixées au niveau régional. Certaines régions n'imposent aucune restriction ; dans ces cas, il peut arriver que certaines municipalités fixent des limites et même imposent des taxes, comme c'est le cas en Asturies.

Portugal : le seul changement récent est l'obligation de déclaration des coupes rases avant intervention. Une fois déclarées, ces coupes rases peuvent communément aller jusqu'à 30 ha sans poser de problèmes.

En résumé, il semble qu'il y ait eu récemment davantage d'ajustements liés aux problèmes sanitaires que de changements législatifs motivés par la problématique des coupes rases en tant que telle.

5.3.2 État des lieux des moyens nouveaux/renforcés, explorés et mis en œuvre pour surmonter les difficultés ou contraintes, comme par exemple, des moyens alternatifs à la plantation traditionnelle (petites unités, utilisation des rejets ou de la régénération, utilisation de la végétation existante, etc.)

Pays scandinaves : les coupes rases avec plantation de matériel amélioré et conservation des recrues de bouleaux pour la biomasse représentent la majorité des cas (IEFC, 2022). La plupart des répondants affirment que le sujet fait l'objet de discussions : davantage de mélanges, de régénération naturelle, de peuplements irréguliers, de changement d'espèces pour anticiper le changement climatique, etc. Mais il n'y aurait à ce jour pas ou seulement peu de modifications effectives des pratiques.

Pays-Bas : les coupes rases sont une mesure marginale utilisée dans des contextes particuliers et avec une limite de taille déjà très basse.

Irlande : à ce jour, le pays encourage la diversification des peuplements via l'obligation légale de planter au moins 10% de feuillus lors de chaque (re)boisement.

Allemagne : ce pays représente un cas intéressant ; en effet, les coupes rases représentent seulement 20 % des régénérations de futaies, le reste des forêts gérées se voit appliqué la diversité des options

de gestion (coupes progressives, futaie jardinée, sylviculture proche de la nature). Dans ce pays, le questionnement actuel est en sens inverse : compte tenu de la vitesse du changement climatique, la priorité donnée à la régénération naturelle est-elle encore pertinente ? La principale innovation signalée est la plantation par petits plateaux de moins de 7 m de côté.

En résumé, les informations récoltées sont peu nombreuses et relativement pauvres s’agissant des alternatives à la plantation traditionnelle, ce qui contraste avec le foisonnement d’initiatives dans ce domaine en France. Il est vraisemblable que cela soit plus dû à un manque d’information des répondants qu’à un défaut d’initiatives dans ce domaine, mais on ne peut le vérifier.

5.3.3 État des lieux des problèmes spécifiques liés à l’échec des plantations après les coupes rases

Norvège : le taux de reprise moyen des plantations d’épicéa est de 80 %, ce qui est considéré comme satisfaisant. Les principales causes de mortalité des jeunes plants citées sont l’hylobe, la concurrence du sous-bois et les grands ongulés. Pour le pin sylvestre, la régénération naturelle reste le mode de renouvellement dominant.

Royaume Uni : les principaux problèmes rencontrés par le passé après coupes rases étaient dus à une combinaison de facteurs défavorables : plants de mauvaise qualité ; mauvaise gestion des plants ; hylobe ; grands ongulés. Ces problèmes existent toujours mais sont considérés comme étant sous contrôle. La situation est semblable en **Irlande**, où il est fait mention de l’utilisation systématique de pesticide contre l’hylobe.

Allemagne : un des problèmes listés est celui de la disponibilité en plants de qualité dans un contexte où la régénération naturelle domine. De plus, ce pays s’engage dans des processus de reboisements massifs suite aux catastrophes rencontrées (scolyte et tempêtes), exposant les plants aux conditions climatiques extrêmes (sécheresse en particulier) et aux grands ongulés qui peuvent affecter fortement les taux de reprise.

Espagne : dans les Asturies, il n’y a pas de problèmes particuliers de régénération sur la côte, les seuls problèmes signalés sont dans les zones montagneuses où les sols dégradés sont fréquents.

Portugal : il n’est pas fait mention de problèmes spécifiques pour l’eucalyptus, quelle que soit la taille des coupes rases lors des plantations ou après les recepages qui s’ensuivent. Pour le chêne liège, il est fait mention de problèmes, en particulier avec les *phytophthora sp*, mais pas au point de remettre en question la production de liège.

En résumé, les causes d’échec des plantations après coupes rases semblent assez classiques (hylobe, grands ongulés), avec une seule mention aux problèmes liés à la surface des reboisements faisant suite aux problèmes sanitaires de grande envergure.

5.3.4 État des lieux des systèmes de suivi nationaux dédiés au succès/échec des plantations

Suède : il existe un double système de monitoring. L’inventaire forestier estime la régénération sur ses points d’inventaires mais avec une maille très lâche. À cela s’ajoute un contrôle d’état appelé *foryngelseskontroll*, basé sur les déclarations de coupes finales dont un échantillon est inventorié pour évaluer le succès des régénérations.

Pays-Bas : la situation est similaire à celle de la Suède ; les contrôles servent aussi à vérifier qu’il ne s’agisse pas de déforestation illégale.

Royaume-Uni et Irlande : il n’y a pas de contrôle systématique sauf en procédure interne de certains services forestiers d’État.

Allemagne : il n’y a pas de suivi opérationnel pour vérifier le succès des reboisements et des régénérations alors que les *Länder* se voient fixés par les lois fédérales des objectifs de taux de reprises. Le seul suivi se fait à travers la révision décennale des plans de gestion.

République tchèque : le contrôle se fait aussi à partir des plans de gestion.

Suisse : comme indiqué plus haut, les coupes rases sont interdites. Seules les « coupes rases » liées à des événements catastrophiques de type tempête font l’objet d’un suivi.

Espagne (Asturies) : il n’y a pas de suivi institutionnel du succès des régénérations, mais le centre technologique CETEMAS a mis en place un réseau de parcelles instrumentées sur les principales plantations (eucalyptus, pin) pour évaluer l’impact du changement climatique.

Portugal : le contrôle est en principe de la responsabilité de l’administration forestière, mais, concrètement, les suivis sont essentiellement réalisés par les grandes compagnies papetières.

En résumé, le système de suivi mis en œuvre en France sur les plantations de l’année par le DSF (Volet 2, Thème 2, « Question 3. Quelle a été l’évolution des taux de succès des plantations de l’année au cours des quinze dernières années ? ») ne semble pas avoir d’équivalents dans d’autres pays. Le système suédois, seul outil standardisé mentionné, ne se limite pas, à la différence du suivi français, aux plantations de l’année.

5.3.5 Perspectives concernant le recours à la régénération naturelle, dans un avenir proche

Dans toute l’Europe, le questionnement sur de méthodes alternatives de renouvellement des forêts, par opposition aux systèmes basés sur la coupe rase, s’accélère manifestement. Cependant, aucun des pays enquêtés ne semble avoir prévu de se passer massivement de la sylviculture de plantation avec coupe rase à la régénération naturelle. Inversement, la régénération naturelle est actuellement de plus en plus questionnée face à la vitesse supposée des changements climatiques observés et aux limites de la vitesse d’adaptation spontanée des forêts.

Europe du Nord : la régénération naturelle est considérée comme étant une excellente méthode pour l’épicéa, à condition que les conditions stationnelles soient adaptées à cette méthode (implicitement, seule une petite partie du territoire forestier est adaptée à cette méthode pour l’épicéa) et elle reste minoritaire (de 35 % en 1990 à 10-14 % en 2020) en particulier parce que les sylviculteurs veulent bénéficier des programmes d’amélioration pour la croissance et la résistance au changement climatique (IEFC, 2022). Pour le pin sylvestre, actuellement majoritairement régénéré naturellement, les répondants anticipent un recours plus important aux plantations dans les zones de sylviculture active afin de bénéficier des méthodes de migration assistée (comme dans le cas de l’épicéa) et de l’amélioration génétique.

Royaume-Uni : les répondants précisent que les espoirs de gains économiques sur les coûts de reboisement sont souvent contrariés par l’incertitude de la régénération obtenue et la pression des grands ongulés, ce qui en limite l’intérêt. Pourtant, tout comme en **Irlande** sur certains milieux, les gestionnaires s’y intéressent de plus en plus. La sylviculture à couvert continu dans ce pays ne représente que 5 % de la superficie forestière.

Allemagne : alors que l’inventaire forestier estime la régénération naturelle à 85 % des régénérations, les répondants anticipent une baisse de ce taux avec les changements de provenances et d’espèces

induits par le changement climatique. La **Suisse** dominée par la régénération naturelle anticipe une évolution semblable.

République tchèque : ce pays semble être à contre-courant avec un recours accru à la régénération naturelle. Cependant, il pourrait s'agir d'un choix contraint, pragmatique, face aux surfaces considérables à régénérer suite aux récentes attaques massives de scolytes, et la crainte d'un manque de plants, de main d'œuvre pour la plantation, etc. Le pays recommande une évolution vers la régénération naturelle⁴⁴⁹. La régénération artificielle qui représentait encore récemment 80 % de reboisement est en baisse. Pour la société ayant répondu à l'enquête, elle ne représente plus que 60 % des reboisements.

Sud de l'Europe : les répondants font référence à l'extension de la régénération naturelle induite davantage par l'abandon des terres (surtout après incendie) et moins par une association à une gestion forestière active. Au **Portugal**, toute la forêt est le résultat de l'action de l'homme et quand la gestion est active, le besoin de fibre et de bois de qualité oriente la régénération vers la plantation, alors qu'en **Espagne**, il est fait référence à la compatibilité des coupes rases de petite taille avec la plantation aussi bien qu'avec la régénération naturelle.

En résumé, les régions où la régénération naturelle est en progression semblent correspondre principalement à des situations de fortes perturbations, plus qu'à des choix. Ailleurs, la régénération artificielle voit sa place augmenter avec les gains génétiques escomptés et la nécessité d'améliorer l'adaptation des forêts au changement climatique. Les ressorts et l'ampleur future de ces évolutions mériteraient des analyses plus approfondies. Elles dépendent en outre du public concerné : le grand public et les ONG auraient certainement une vision différente sur une telle question.

5.4 Besoins de recherche

Alors que la pratique de la coupe rase est décriée par la société civile dans de nombreux pays (Sotirov *et al.*, 2022 ; Deuffic *et Banos*, 2020), on ne semble pas observer, jusque-là, de recul important de la pratique des coupes rases dans les pays où l'économie forestière est importante. Cependant, la façon dont la tension entre le milieu professionnel et la société évoluera à l'avenir reste incertaine et justifierait des analyses approfondies. Il pourrait d'ailleurs exister des mouvements opposés, vers plus de sylviculture à couvert continu dans certaines conditions, et vers plus de plantations et de coupes rases dans d'autres (là où l'adaptation au changement climatique passera par des essences nouvelles).

L'objectif poursuivi avec ce travail, à savoir mieux comprendre les évolutions récentes et pressenties en Europe dans le domaine du renouvellement des peuplements forestiers en contexte de changement climatique, n'est que partiellement atteint par ce travail exploratoire. Le nombre de réponses recueilli reste faible et leur qualité souvent insuffisante notamment pour les questions portant sur des points techniques précis. Il serait manifestement intéressant qu'un travail associant un plus grand nombre d'experts nationaux soit conduit sur le sujet, par exemple dans le cadre d'une action COST⁴⁵⁰, ou utilisant tout autre outil de collaboration européen pour couvrir à la fois les aspects scientifiques et techniques mais également sociaux et législatifs.

5.5 Références bibliographiques

Deuffic, P., Banos, V., 2020. Permanences et renouveaux des conflits dans les forêts françaises : une contribution interprétative. *Cahiers de Géographie du Québec* 65, 229–243.

⁴⁴⁹ Voir ici : <http://www.frameadapt.cz/>

⁴⁵⁰ Voir ici : <https://www.cost.eu/cost-actions/what-are-cost-actions/>

IEFC, 2022. Deliverable D4.9. Guidelines for deployment and silvicultural management of improved FRM accounting for climate projections, risks of natural disturbances, and end-user requirements and acceptance. B4EST : Adaptive BREEDING for productive, sustainable and resilient FORESTs under climate change.

Sotirov, M., Meier-Landsberg, E., Wippel, B., Deparnay-Grunenberg, A., Sirotti, I., Ott, S., 2022. Regulating clearcutting in European forests. Policy options and socio-economic analysis., The Greens/EFA Group in the European Parliament. ed. Brussels.

ISBN : 978-2-914770-18-7

Éditeur : GIP ECOFOR
42 rue Scheffer, 75116 Paris, FRANCE
www.gip-ecofor.org