



GUIDE PRATIQUE POUR L'OPTIMISATION DE LA RECONSTITUTION FORESTIÈRE POST-TEMPÊTE

A photograph of a lush green forest with tall trees and a dense canopy. A white rectangular box with a black border is centered in the image, containing the title text. The background shows a mix of sunlight and shadows filtering through the leaves.

**GUIDE PRATIQUE POUR L'OPTIMISATION
DE LA RECONSTITUTION FORESTIÈRE POST-TEMPÊTE**



Copyright – tous droits réservés

Laurent, L., Lacombe, E., 2021. *Guide pratique pour l'optimisation de la reconstitution forestière post-tempête*. 104 pages.

RECONSTITUTION DES PEUPEMENTS FORESTIERS SINISTRÉS	8
Contexte et enjeux.....	8
Importance d'un diagnostic précoce	9
Quelle différence entre un peuplement dévasté et un peuplement mité ?.....	10
RECONSTITUTION DES PEUPEMENTS DÉVASTÉS	12
Localisation des sites de l'OPD	12
Zone d'utilisation du guide	13
Acquisition des données.....	14
Caractérisation du degré d'acquisition de la régénération ligneuse post-tempête	17
Synthèse des principaux résultats	22
Le guide : mode d'emploi	27
Clé de détermination	28
Comment réaliser un diagnostic ?.....	30
La fiche : mode d'emploi	32
Fiches « type de régénération ».....	34
RECONSTITUTION DES PEUPEMENTS MITÉS	54
Localisation des sites de l'OPM.....	54
Zone d'utilisation du guide	55
Acquisition des données.....	56
Caractérisation du degré d'acquisition de la régénération ligneuse post-tempête	58
Synthèse des principaux résultats	62
Le guide : mode d'emploi	65
Clé de détermination	66
Comment réaliser un diagnostic ?.....	68
La fiche : mode d'emploi	70
Fiches « type de régénération ».....	72
FICHES TECHNIQUES	83
La fiche technique : mode d'emploi	83
Fiches techniques	84
LIMITES D'UTILISATION ET PERSPECTIVES.....	96
FICHES THÉMATIQUES	98
Fiche thématique 1 : liste complète des essences relevées lors de l'inventaire	98
Fiche thématique 2 : prise en compte du changement climatique	99
RÉFÉRENCES	100
CLÉS DE DÉTERMINATION	102

Nota : Vous pouvez suivre les renvois en cliquant sur le numéro de page (souligné) dans l'ensemble du document.

05/01/2021

Il y a 21 ans, les forestiers Lorrains, Alsaciens et dans une moindre mesure Champardennais (cf. un quart des dégâts en surface et un tiers en volume en Alsace Lorraine) ont débuté l'année marquée par les effets massifs des tempêtes Lothar et Martin sur les forêts qu'ils géraient, pour certains depuis plusieurs décennies. Passés les premiers jours de sécurisation des voies, il a fallu vendre, stocker, nettoyer, diagnostiquer avant de penser à régénérer, majoritairement naturellement. De ce sinistre de grande ampleur et de la présence d'un écosystème en recherche forestière de qualité, installé à Nancy, est né le programme d'observatoire des peuplements dévastés (OPD) et des peuplements mités (OPM), une première pour suivre les dynamiques de reconstitution naturelles sans intervention dans les forêts touchées par la tempête. Quels enseignements tirer de cette catastrophe économique dans le futur ? Comment enrichir les connaissances écologiques des sylviculteurs pour apprendre des dynamiques spontanées, dans un cadre méthodologique bien défini et suivi sur un temps long, compatible avec le rythme de la croissance forestière ?

L'État, par le biais des crédits dédiés aux études forestières – dont ceux récents du fond stratégique de la forêt et du bois, en particulier dans le cadre de l'appel à projets national de 2017 en faveur de l'innovation et l'investissement pour l'amont forestier, qui a retenu le projet « optimisation des travaux post-tempête » débouchant sur le présent guide – a toujours soutenu cette démarche de recherche appliquée, associant plusieurs partenaires forestiers : ONF, CNPF... sous pilotage d'AgroParisTech. Ce soutien a notamment permis de financer des travaux de thèse de plusieurs étudiants. Par ailleurs, le récent programme régional de la forêt et du bois du Grand Est, document stratégique pour le Grand Est approuvé en 2019, a mis en avant les actions de développement de la connaissance dans la prévention des risques forestiers : tempête, dépérissement mais aussi dans la gestion des peuplements, les effets du mélange.

À l'heure où les forêts du Grand Est souffrent de dépérissements exceptionnels, liés à des sécheresses successives, voire des mortalités d'ampleur inédite pour les pessières attaquées par les scolytes, à l'heure où les changements climatiques interpellent les gestionnaires, il est plus que jamais important de développer notre connaissance du comportement des essences dans les peuplements ouverts avant leur maturité. Le guide issu de ces travaux sur la dynamique des peuplements dégradés ou mités post tempêtes de 1999 a vocation d'y contribuer, riche de 20 années de suivi avec 3 campagnes de mesures forestières, en orientant les choix des décideurs, en particulier dans les alternatives entre régénération naturelle et artificielle. Les nombreux participants lors du webinaire de restitution le 26 octobre 2020, ont montré l'intérêt porté par les gestionnaires et sylviculteurs.

Le plan de relance gouvernemental, annoncé en septembre 2020 et comportant un important volet d'aide pour l'adaptation des forêts au changement climatique, renforce le besoin de disposer d'outils d'aide à la décision pour concilier le besoin de reconstituer des forêts productives mais aussi résilientes et porteuses d'un accroissement de la biodiversité potentielle. Aussi important que soit le défi à relever par les propriétaires forestiers et gestionnaires, en particulier dans la reconstitution des peuplements sinistrés par les scolytes, je reste confiante dans leur capacité à faire des choix éclairés, accompagnés des outils développés, tenant compte des stations forestières et sans oublier le « bon sens « forestier » (certains diraient en « bon père de famille »), consistant à favoriser la diversification par le mélange d'essences, de provenances et par des structures de peuplements plus résilientes, au regard des conditions climatiques futures.

Isabelle WURTZ

Cheffe du Service forêt et bois à la DRAAF Grand Est

OBJECTIFS DU GUIDE

Les conséquences d'une tempête sur un peuplement forestier adulte peuvent être variées et dépendent à la fois des caractéristiques de la tempête, de la structure et de la composition du peuplement, des conditions édaphiques et de la sylviculture pratiquée.

L'effet direct des vents forts sur les arbres adultes va s'accompagner d'un effet indirect sur le recrutement et le développement de la régénération ligneuse. En effet, les changements environnementaux causés par la formation de trouées vont être des déterminants forts de la coexistence des espèces et vont moduler l'ensemble des interactions structurant la régénération forestière.

La trajectoire de reconstitution des peuplements sinistrés est difficile à prévoir et conditionne le choix des itinéraires sylvicoles.

Certains propriétaires forestiers n'investissent pas dans la reconstitution de leur forêt sinistrée jugeant *a priori* les frais et les risques trop importants. De manière à éclairer plus objectivement la décision du propriétaire forestier, ce document a pour objectifs :

- **d'aider à caractériser l'acquisition de la régénération des peuplements sinistrés à partir d'un diagnostic précoce ;**
- **de proposer des conseils de gestion concernant les travaux sylvicoles qu'il paraît nécessaire d'engager pour obtenir un renouvellement de qualité en fonction des stations et des peuplements antécédents.**

Données utilisées :

La construction de ce guide est basée sur les données issues de l'Observatoire des Peuplements Dévastés et Mités :

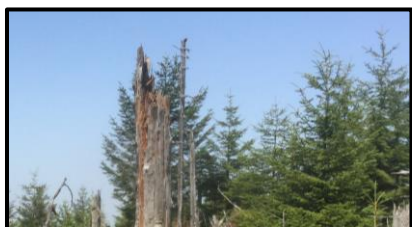
- mis en place quelques années après le passage des ouragans Lothar et Martin de décembre 1999 ;
- caractérisant la libre évolution de la régénération ligneuse post-tempête en l'absence de travaux sylvicoles ;
- allant d'une taille de trouée de 85 m² à plusieurs centaines d'hectares ;
- installé à l'échelle du territoire français, mais avec une forte concentration de dispositifs dans la région Grand-Est (très affectée par la tempête de 1999).



RECONSTITUTION DES PEUPELEMENTS FORESTIERS SINISTRÉS

CONTEXTE ET ENJEUX

EFFET DES TEMPÊTES SUR LES PEUPELEMENTS FORESTIERS



Après le passage d'une tempête, de nombreux arbres sont déracinés, d'autres restent ancrés dans le sol mais sont écimés ou cassés. Ces dégâts conduisent les propriétaires à engager le renouvellement de leurs peuplements sinistrés.



En décembre 1999, les ouragans Lothar et Martin ont touché **968 000 hectares** sur plus de **10 %** de leur couvert, et ont causé **97 millions de mètres cubes de chablis** (IFN 2003).

ENJEUX DE LA RECONSTITUTION DES FORÊTS SINISTRÉES

Par le passé, la régénération d'un peuplement touché par une tempête passait souvent par la plantation. Cependant, la grande surface touchée par la tempête de 1999 et l'intensité des dégâts occasionnés ont amené les gestionnaires forestiers à s'intéresser plus fortement à des alternatives à la plantation, basées sur la régénération naturelle éventuellement assistée (plantations de complément).

Il a aussi été montré que dans certaines situations la régénération naturelle pouvait suffire à assurer le renouvellement forestier post-tempête. Cependant, il reste encore :

(i) à identifier (et quantifier) les conditions ne permettant pas une régénération satisfaisante en termes de densité, de diversité d'essences et de qualité des tiges qui s'individualisent ;

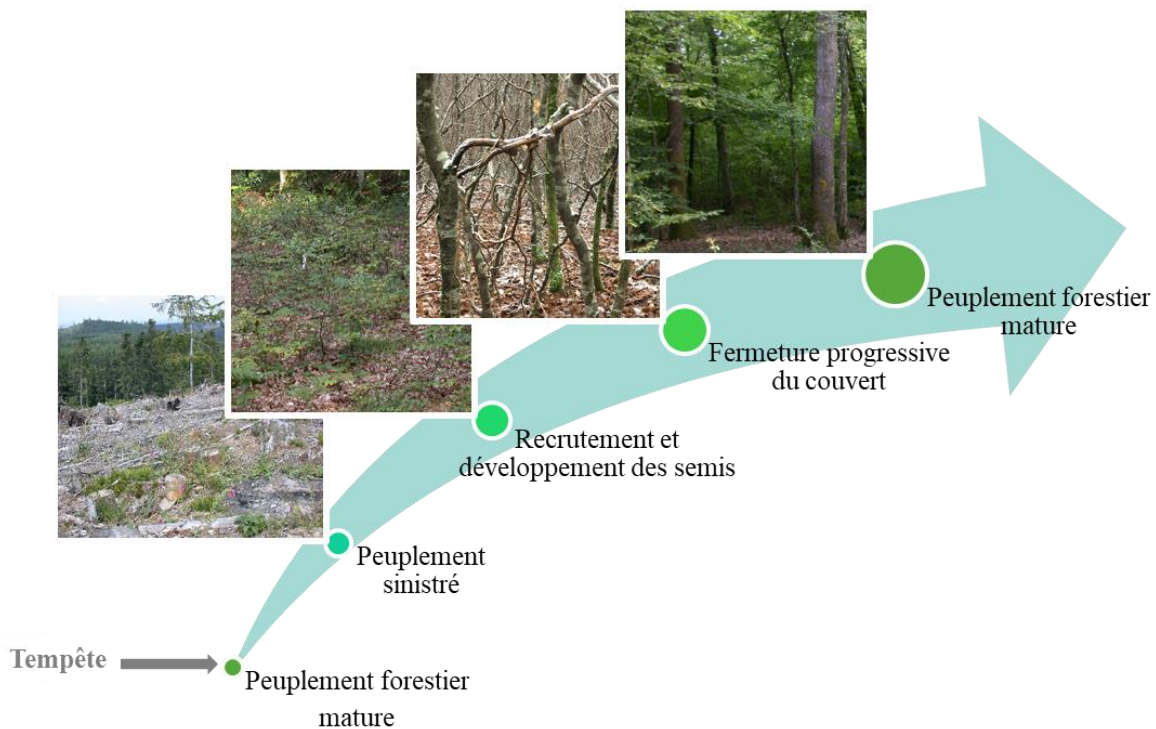
(ii) à utiliser des itinéraires sylvicoles tenant compte de la dynamique de la régénération naturelle en fonction des conditions locales, notamment par l'identification des travaux sylvicoles nécessaires et suffisants.

ENSEIGNEMENTS À TIRER DES RÉGÉNÉRATIONS EN LIBRE ÉVOLUTION

Le suivi de la forêt sinistrée laissée en libre évolution permet d'acquérir une meilleure connaissance de la dynamique de régénération naturelle post-tempête (place des essences pionnières, compétition herbacée, diversité et dominance des essences, successions forestières...).

Le besoin d'approfondir les connaissances sur ce sujet a guidé la constitution de l'observatoire des Peuplements Dévastés et Mités et a abouti à la proposition d'itinéraires sylvicoles de reconstitution post-tempête (éventuellement applicables à d'autres crises aux conséquences similaires). Ces itinéraires sont donc basés sur le principe que les travaux sylvicoles (dégagements, nettoiemnts, plantations...) viennent corriger si nécessaire les évolutions naturelles.

Tous les sites suivis par l'observatoire sont en libre évolution. Cependant, l'exploitation des bois a eu lieu dans la majorité des sites (dans 87 % des trouées de plus de 2 ha).



IMPORTANCE D'UN DIAGNOSTIC PRÉCOCE

Pouvoir caractériser le potentiel futur d'un peuplement sinistré à partir d'un diagnostic précoce et simple est important pour adapter les itinéraires sylvicoles au contexte post-tempête. En effet, plus le diagnostic est tardif et plus il sera difficile de mobiliser les aides financières alors que les coûts des travaux peuvent devenir plus importants.

Ainsi, dans le cadre de ce guide, nous nous sommes basés sur un diagnostic de la régénération effectué trois ou six ans après le passage des ouragans Lothar et Martin pour **comprendre les successions forestières post-tempête** et **expliquer les différences d'acquisition de la régénération lorsqu'elle atteint l'âge de 20 ans**.

QUELLE DIFFÉRENCE ENTRE UN PEUPEMENT DÉVASTÉ ET UN PEUPEMENT MITÉ ?

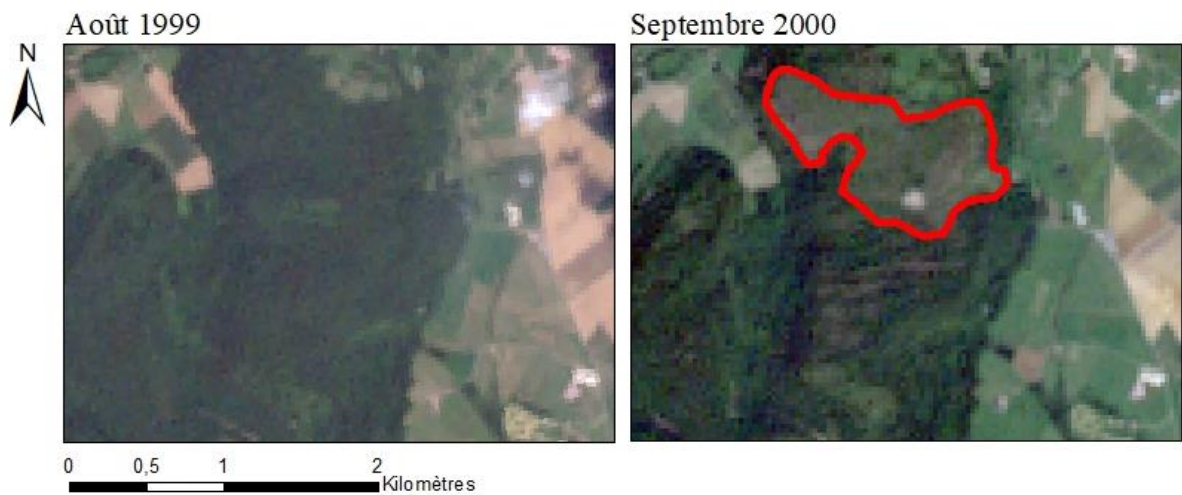
La structure, la composition et l'état sanitaire du peuplement (hauteur des arbres, espèces...), les conditions édaphiques (profondeur de sol...), la sylviculture pratiquée et les caractéristiques de la tempête conditionnent l'intensité des dégâts sur les peuplements forestiers. De ce fait, la taille des trouées post-tempête va être très variable : de quelques centaines de mètres carrés à plusieurs hectares d'un seul tenant. Cette variabilité entraîne à son tour des sylvigénèses différentes, conduisant dans ce guide à distinguer deux cas de figure :

- un peuplement est considéré comme étant **dévasté** lorsqu'il est **fortement touché par une tempête** (≥ 90 % du volume de bois sur pied) **sur une grande surface** (≥ 2 ha) ;
- un peuplement est considéré comme **mité** lorsqu'entre **10 % et 50 % de la surface** de celui-ci est affectée (trouées d'une surface comprise entre 85 m² et 0.9 ha au sein de l'observatoire).

Les peuplements mités et dévastés ne présentent donc pas les mêmes enjeux de reconstitution et sont séparés dans la suite de ce guide :

Votre peuplement est dévasté..... **page 12**

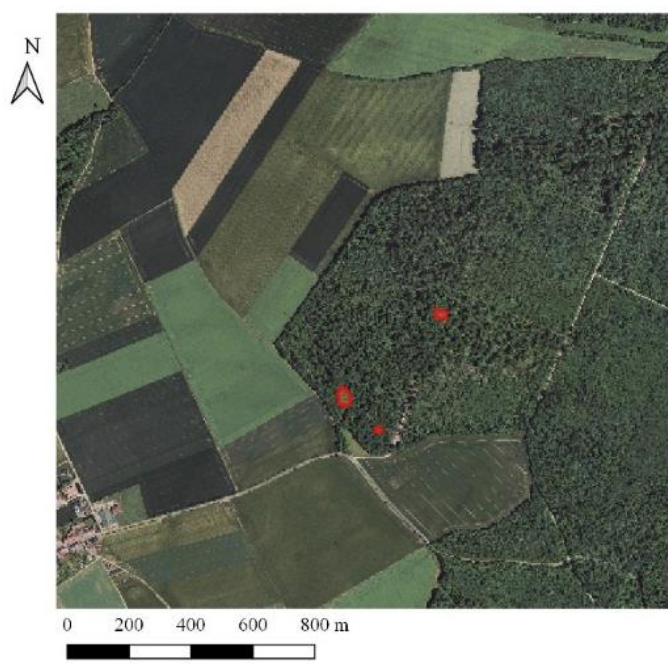
Votre peuplement est mité..... **page 54**



*Délimitation d'une trouée de l'observatoire des **peuplements dévastés** après passage des ouragans Lothar et Martin en 1999 (orthophotographies IGN).*

Observatoire des Peuplements Dévastés et Mités
OPD + OPM

OPD : Observatoire des Peuplements Dévastés
OPM : Observatoire des Peuplements Mités

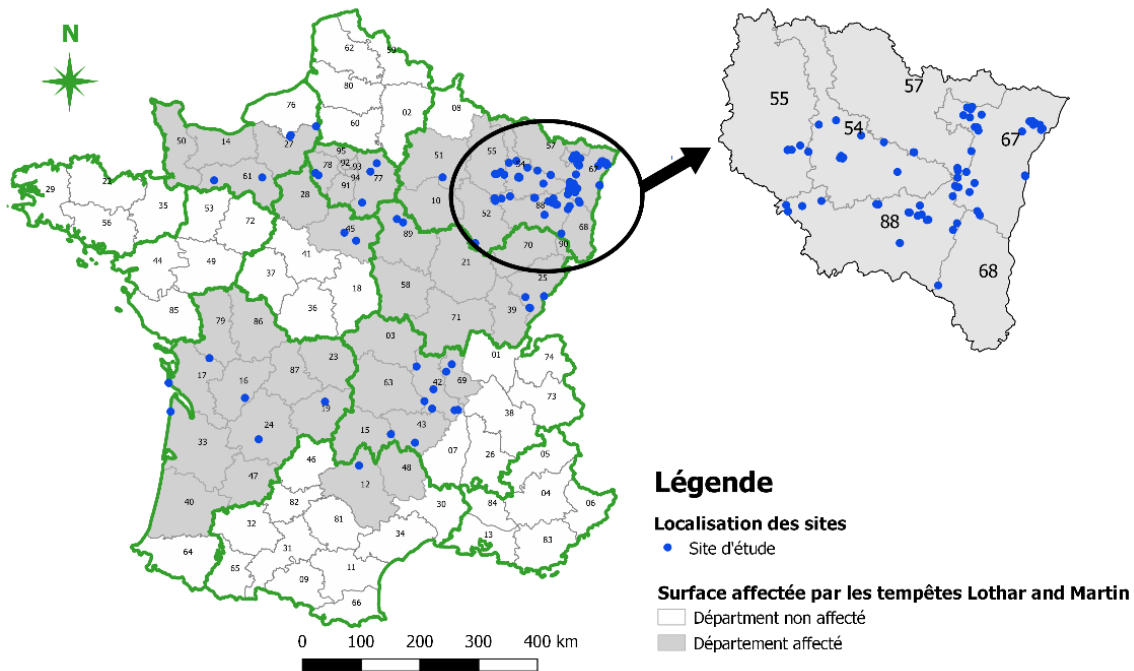


*Délimitation de trois trouées de l'observatoire **des peuplements mités** après passage des ouragans Lothar et Martin en 1999 (orthophotographie IGN).*



LOCALISATION DES SITES DE L'OPD

Des forêts dévastées sont suivies à l'échelle de la zone du territoire français parcourue par la tempête en 1999 avec toutefois une forte concentration de dispositifs dans la région Grand-Est, région très affectée par cette tempête.



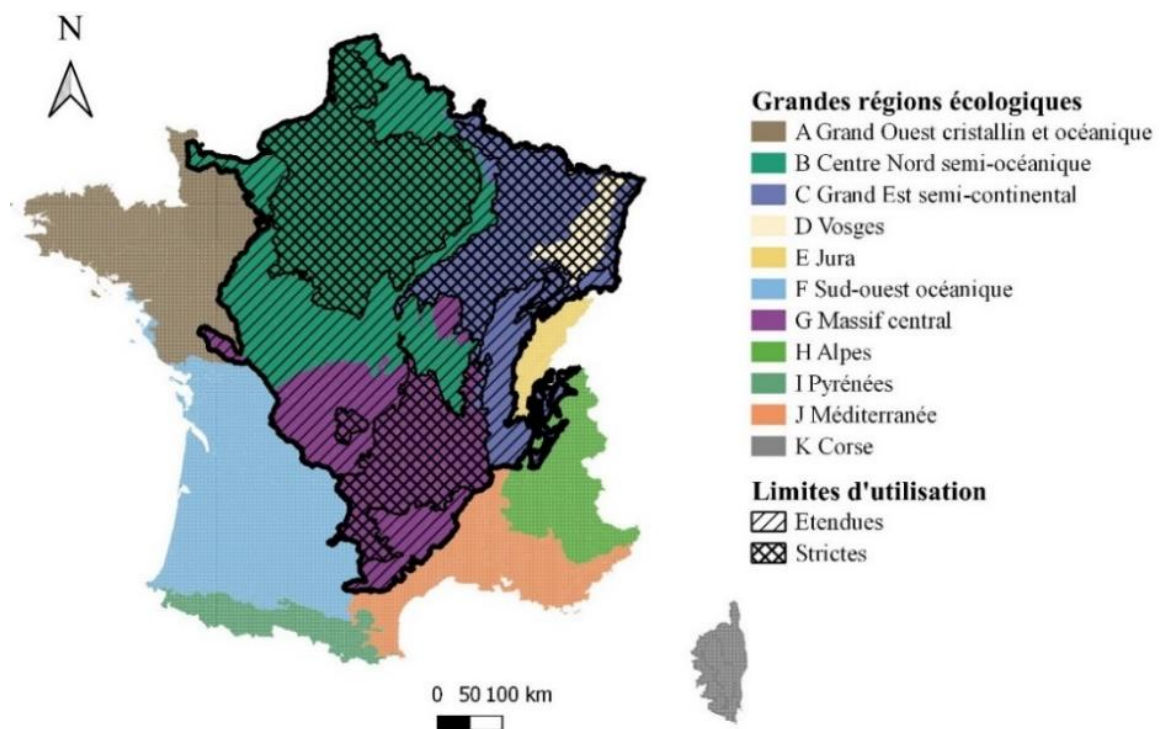
Carte de localisation des sites de l'observatoire des peuplements dévastés (114 sites). Carte réalisée à partir des données de l'institut national de l'information géographique et forestière (IGN).

ZONE D'UTILISATION DU GUIDE

Le choix des limites d'utilisation de ce guide s'inscrit dans la démarche des sylvoécorégions (SER) et des Grandes Régions Écologiques (GRECO) définie par l'institut national de l'information géographique et forestière (IGN).

Ainsi, le territoire échantillonné permet la définition d'une **zone d'utilisation étendue** (GRECO avec plus de dix dispositifs de l'observatoire des peuplements dévastés) et d'une **zone d'utilisation stricte** (SER avec au moins un dispositif dans les GRECO sélectionnées).

La zone d'utilisation étendue du guide s'étend sur quatre GRECO : B-Centre Nord semi-océanique, C-Grand Est semi-continentale, D-Vosges et G-Massif central.



Limites de la zone d'utilisation du guide – Carte réalisée à partir des données de l'institut national de l'information géographique et forestière (IGN).

Les GRECO H, I, J et K n'ont pas été échantillonnées (pas ou peu concernées par les deux ouragans).

Les quelques sites des GRECO A, E et F n'ont pas été retenus dans la suite de l'analyse car leurs effectifs par GRECO étaient très faibles.

Ainsi, 102 sites sont à la base des analyses présentées par la suite (sur les 114 que comporte l'OPD).

ACQUISITION DES DONNÉES

PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE

Plusieurs gradients écologiques sont couverts par l'observatoire des peuplements dévastés :

- un **gradient de fertilité des sols** (pH) ;
- un **gradient altitudinal** ;
- plusieurs **types de peuplements antécédents**.

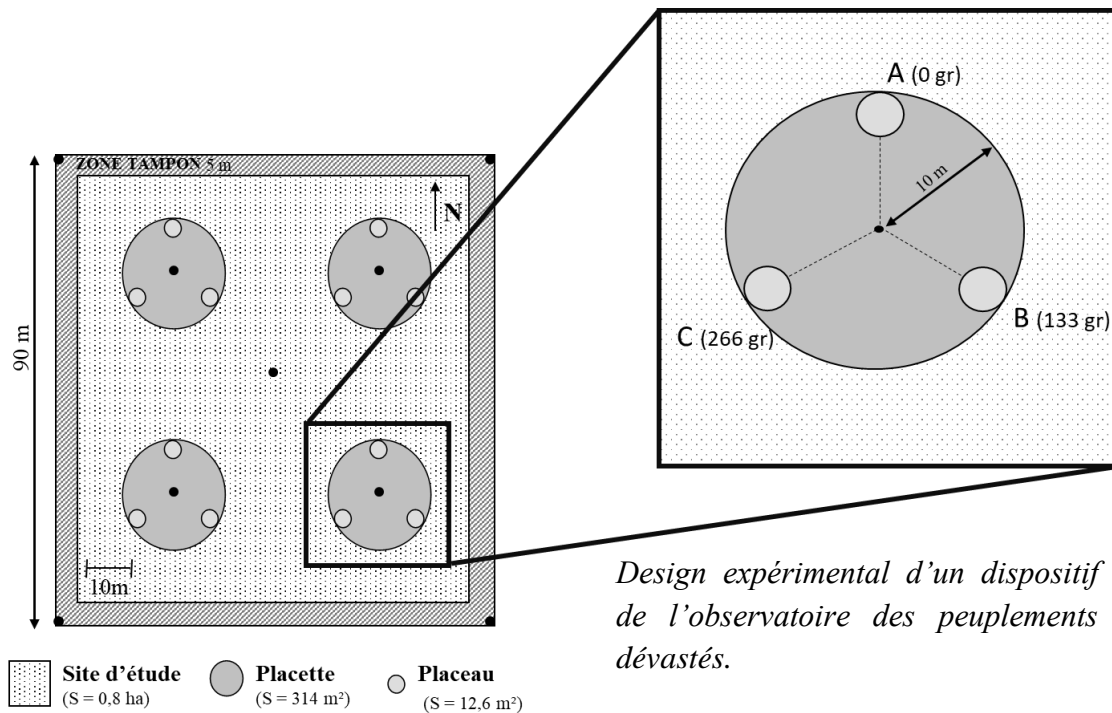
Niveau Trophique	Etage	Essence principale du peuplement antécédent										Total
		Résineuse					Feuille					
		Aa	Pa	Pn	Ps	Pm	Mel R	Fs	Fs-Qs	Qs	Mel F	
pH < 4.2 acide	Altitude ≥ 500 m montagne	5	7				3					15
	Altitude < 500 m plaine	4	1		12		2	6				25
4.2 ≤ pH < 5.5 peu acide	Altitude ≥ 500 m montagne	3	2		1	3	1				1	11
	Altitude < 500 m plaine	1	1		4		1	8	1	5	6	27
pH ≥ 5.5 eutrophe à calcaire	Altitude ≥ 500 m montagne											0
	Altitude < 500 m plaine		3	3	1			14			3	24
Total		13	14	3	18	3	7	28	1	5	10	102

Plan d'échantillonnage de l'observatoire des peuplements dévastés. Peuplement antécédent : Abies alba (Aa), Picea abies (Pa), Pinus nigra (Pn), Pinus sylvestris (Ps), Pseudotsuga menziesii (Pm), Résineux en mélange (MelR), Fagus sylvatica (Fs), Quercus spp. (Qs - Quercus petraea et Quercus robur), Feuillus en mélange (MelF).

DESIGN EXPÉRIMENTAL ET SUIVIS

Design expérimental

Une **unité expérimentale** de suivi d'un peuplement dévasté est constituée de **quatre placettes** circulaires de 10 m de rayon. Dans chaque placette, **trois placeaux** circulaires de 2 m de rayon sont disposés à 8 m du centre de la placette.



Des suivis sont effectués à chacune des échelles de mesure (site d'étude / placette / placeau). Il s'agit de données permettant de :

- (i) caractériser les **conditions environnementales** ;
- (ii) suivre **la dynamique de colonisation de la communauté végétale**, et plus particulièrement la **dynamique de la régénération ligneuse**.

Caractérisation des conditions environnementales

Les conditions environnementales ont été caractérisées grâce à une description pédologique par horizon (fosse pédologique), une analyse chimique de la composition du sol, une description de l'hydromorphie et des caractéristiques écologiques locales (pente, altitude, exposition...). La détermination du type de peuplement antécédent, l'inventaire des arbres résiduels et la caractérisation du type d'exploitation complètent cette description.

Suivis temporels des dynamiques de colonisation

L'ensemble du cortège floristique a été suivi lors de **trois campagnes de mesure (en 2002, 2005 et 2018)**, en particulier la régénération ligneuse. Les données acquises sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Variable écologique suivie	Mesure correspondante
Composition floristique....	Relevé exhaustif des espèces - Abondance dominance.
Couverture de la végétation par strate	Projection verticale (%) sur le sol de l'ensemble des organes aériens par strate de hauteur (trois strates : 0-0,5 m ; 0,5-2 m ; ≥ 2 m).
Densité et composition de la régénération ligneuse.....	<p>2002-2005 : densité par essence (toutes essences arborées), traces d'abroustissement, hauteur (cinq classes : 1-50 cm ; 50-100 cm ; 100-150 cm ; 150-200 cm ; ≥ 200 cm).</p> <p>2018 : densité par essence (toutes essences arborées), traces d'abroustissement, diamètre à hauteur de poitrine (DHP) si la hauteur de la tige ≥ 1.3 m. Évaluation de la qualité sylvicole des tiges ayant un DHP ≥ 5 cm (courbure basale, rectitude, fourchaison, état sanitaire...).</p> <p>Remarque : Les rejets, lorsqu'ils sont identifiables, n'ont pas été comptabilisés dans les semis ligneux.</p>
Encombrement.....	Couverture par les rémanents (%) et hauteur maximale des rémanents (cm).

Le protocole de suivi complet utilisé lors de la campagne de mesures 2018-2019 est disponible sur la page web du projet : <https://www6.nancy.inrae.fr/silva/Equipes-de-recherche/ForeSTree/Projets-Recherche/Post-tempete-2017-2020>

Cette page web permet de présenter le projet (contexte, objectifs, démarche...) et de diffuser l'ensemble des documents produits.



CARACTÉRISATION DU DEGRÉ D'ACQUISITION DE LA RÉGÉNÉRATION LIGNEUSE POST-TEMPÊTE

Afin d'apprécier le degré d'acquisition de la régénération naturelle 20 ans après passage de la tempête, une démarche en deux étapes a été suivie :

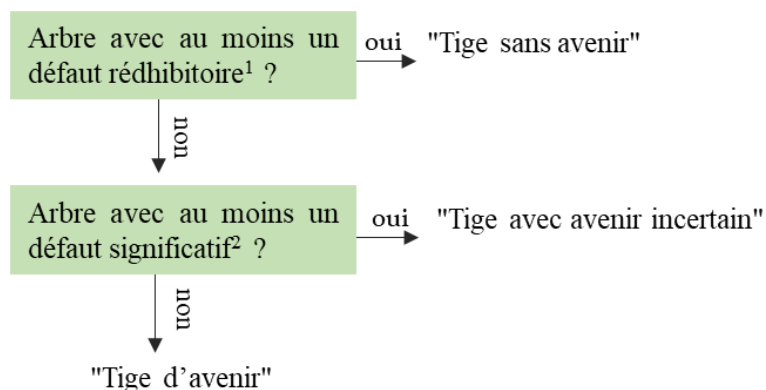
- (i) caractérisation des tiges d'avenir et d'accompagnement au sein de la régénération ;
- (ii) création de grilles d'évaluation des degrés d'acquisition par catégorie de composition de la régénération.

1- CARACTÉRISATION DES TIGES D'AVENIR ET D'ACCOMPAGNEMENT AU SEIN DE LA RÉGÉNÉRATION

Tiges d'avenir

Une tige d'avenir est caractérisée par sa **vigueur**, sa **qualité** et son **essence** :

- **vigueur** : seules les tiges de plus de 5 cm de diamètre à hauteur de poitrine (DHP – 1m30 de hauteur) sont considérées pour leur caractère dominant (elles représentent 36 % du nombre total de tiges à l'échelle de l'observatoire des peuplements dévastés) ;
- **qualité externe** : les jeunes tiges ne doivent pas comporter de fourche, de courbure basale marquée, de défauts sanitaires... La caractérisation de la qualité technologique externe des tiges dominantes de la régénération post-tempête (tiges de DHP \geq 5 cm en 2018-2019) a été évaluée grâce à l'arbre décisionnel suivant :



¹ **Les principaux défauts rédhibitoires** : fourche de type 1 (diamètre et hauteur des deux brins équivalents à 10% près) à moins de 6 mètres de haut (toutes essences). Présence de chancre ou de chalarose. Courbure basale supérieure à 40 cm. Cassure de l'axe principal.

² **Les principaux défauts significatifs** : fourche de type 1 à plus de 6 mètres de haut (hêtre - *Fagus sylvatica* uniquement). Fourche de type 2 (brin dominé dépassant 1/2 de la hauteur et les 2/3 du diamètre du brin dominant) à moins de 6 mètres de hauteur. Absence de fourche mais plus de trois grosses branches sur les deux premiers tiers de la tige. Courbure basale comprise entre 20 et 40 cm. Présence de frottis ou d'écorçage.

- **essence** : les tiges vigoureuses et de qualité ne sont ensuite retenues que si **l'essence est d'intérêt pour la production de bois d'œuvre** : l'essence doit être reconnue économiquement intéressante par la filière et doit avoir une production correcte pour une station donnée dans l'état des connaissances actuelles.

Les saules (*Salix spp*), le frêne commun (*Fraxinus excelsior*), le tremble (*Populus tremula*) et le sorbier des oiseleurs (*Sorbus aucuparia*) ne sont pas considérées comme des essences d'intérêt en raison de leur faible rôle de production ou de la forte incertitude sur leur survie.

Les essences considérées comme étant en station ont été définies grâce aux catalogues de station en vigueur (résultats variables en fonction de leur date de conception/révision). La liste des essences a été restreinte au vue des connaissances actuelles. Ainsi, l'épicéa (*Picea abies*) est considéré comme hors station en dessous de 400 m d'altitude à cause de sa forte mortalité observée actuellement dans les stations de plaines.

A l'inverse, certaines essences souvent absentes des catalogues de station mais ayant un intérêt sylvicole ont été rajoutées : le bouleau (*Betula pendula* et *Betula pubescens*), le charme (*Carpinus betulus*), le tilleul (*Tilia cordata* et *Tilia platyphyllos*)...

En complément, les essences dites de production ont été classées en trois listes, selon les hypothèses pouvant être retenues par le propriétaire. En effet, certaines essences sont habituellement appréciées de façons diverses, comme le bouleau, le charme et le tilleul dont l'usage en bois d'œuvre est souvent discuté.

Trois listes d'essences d'intérêt pour prendre en compte les attentes des propriétaires et gestionnaires forestiers :

Liste L1 : Essences arborées selon Brosse (2000) avec un fort rôle de production et qui sont en station actuellement ; *Salix sp, Fraxinus excelsior, Populus tremula et Sorbus aucuparia* exclues.

Liste L2 : Les mêmes essences que la **Liste L1**, *Betula spp.* (*Betula pendula* et *Betula pubescens*) exclues.

Liste L3 : Les mêmes essences que la **Liste L2**, *Carpinus betulus* et *Tilia spp.* (*Tilia cordata* et *Tilia platyphyllos*) exclues.

Tiges d'accompagnement

Les tiges qui peuvent avoir un rôle positif pour la confirmation des tiges d'avenir sont qualifiées de « tiges d'accompagnement ». Ainsi, toutes les tiges de plus de 3 cm de DHP sont considérées dans l'accompagnement sauf les tiges de saule pour leur effet compétitif souvent négatif et celles de frêne en raison de la forte incertitude sur leur survie.

2- CRÉATION DE GRILLES D'ÉVALUATION DES DEGRÉS D'ACQUISITION PAR CATÉGORIE DE COMPOSITION DE LA RÉGÉNÉRATION

Principe général

L'appréciation du degré d'acquisition de la régénération post-tempête a été permise grâce à la création de grilles d'évaluation. Ces grilles combinent des exigences sur les densités de tiges d'avenir et d'accompagnement. Ainsi, la régénération 20 ans après tempête est considérée comme :

(a) **problématique** au-dessous d'un seuil bas de densité de tiges d'avenir (double de la densité finale de récolte d'un peuplement régulier) ;

(b) **acquise au moins partiellement** au-dessus d'un seuil haut de densité de tiges d'avenir (densité après la première éclaircie) ;

(c) **l'une ou l'autre situation** entre les deux seuils précédents, l'appréciation étant alors dépendante à la fois de la densité de tiges d'avenir et de la densité de tiges d'accompagnement.

Les valeurs seuils utilisées dépendent de la composition de la régénération et ont été fixées grâce aux guides sylvicoles.

Création d'une grille type

Densité des tiges d'avenir (nb/ha) - d_{5q}	Densité d'accompagnement - d_{t5}	Acquisition de la régénération
$d_{5q} \geq \text{Seuil3}$	-	Acquise au moins partiellement
$\text{Seuil2} \leq d_{5q} < \text{Seuil3}$	$d_{t5} \geq \text{Seuil}_{acc}$	Acquise au moins partiellement
	$d_{t5} < \text{Seuil}_{acc}$	Problématique
$\text{Seuil1} \leq d_{5q} < \text{Seuil2}$	$d_{t5} \geq \text{Seuil}_{acc2}$	Acquise au moins partiellement
	$d_{t5} < \text{Seuil}_{acc2}$	Problématique
$d_{5q} < \text{Seuil1}$	-	Problématique

Grille type de fixation des seuils. La valeur des seuils est fixée grâce aux guides sylvicoles selon les justificatifs explicités dans le tableau suivant et dépend de l'essence principale de la régénération (essence la plus représentée) (cf. paragraphe suivant).

Densités seuils	Justifications
Seuil1	Double du nombre de tiges/ha final de récolte d'un peuplement régulier (arrondie par excès).
Seuil2	Nombre de tiges/ha après la troisième éclaircie.
Seuil3	Nombre de tiges/ha après la première éclaircie ou nombre de tiges/ha en plantations « classiques ».
Seuil_{acc}	Nombre de tiges/ha après la première éclaircie ou nombre de tiges/ha en plantations « classiques ».
Seuil_{acc2}	Seuil_{acc} ou nombre de tiges/ha pour lequel un peuplement est jugé « clair » avant la première éclaircie pour le « type Épicéa ».

Justification sylvicole de la valeur des seuils de densité utilisés.

Affectation des seuils en fonction de la composition de la régénération post-tempête

Les valeurs seuils utilisées ont été fixées grâce aux **guides sylvicoles** et dépendent de l'**essence principale de la régénération** (essence la plus représentée). Les seuils utilisés dans ce guide pour caractériser l'acquisition de la régénération après passage d'une tempête de forte ampleur diffèrent de ceux utilisés pour caractériser l'acquisition hors de ce contexte de crise sylvicole. En effet, les seuils utilisés pour séparer les régénérations « acquises » des régénérations « problématiques » dans ce guide sont plus bas que les seuils hors situation de crise. Ce choix a été fait dans un souci d'économie de moyens dans un contexte où de grandes surfaces sont à reconstituer.

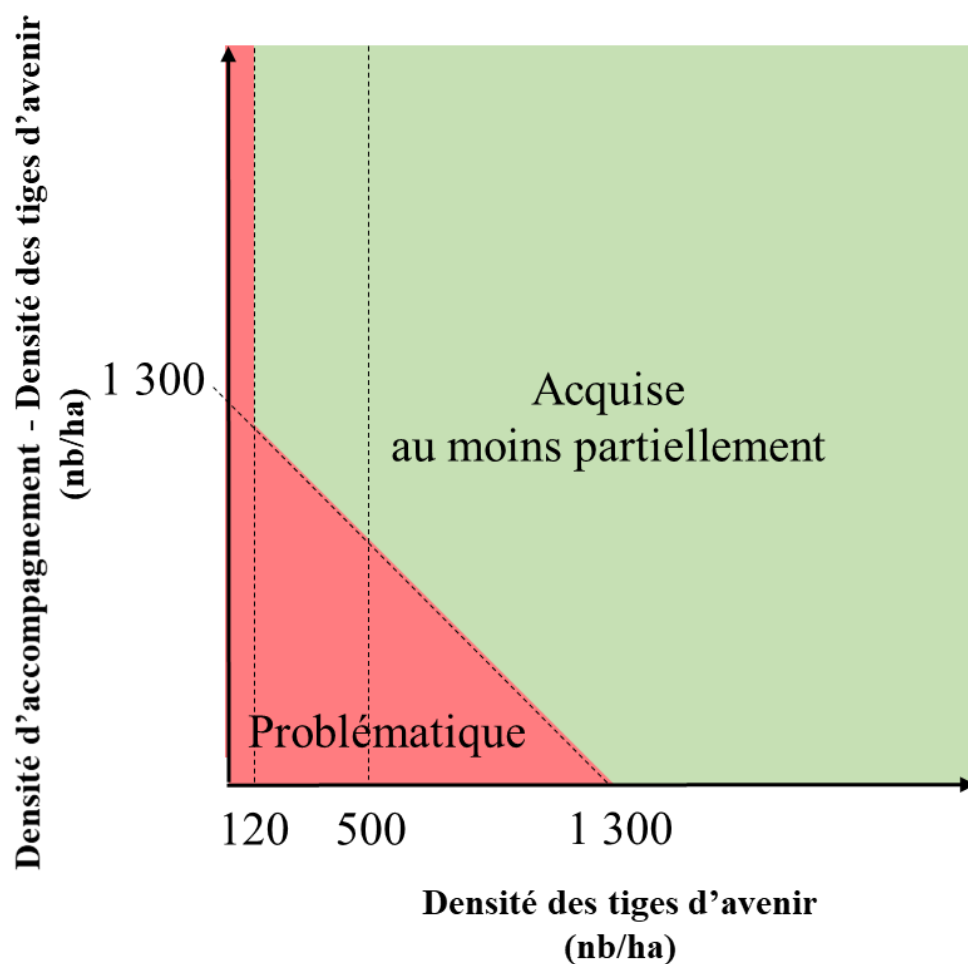
Appellation type	Essence principale
« Douglas »	Douglas
« Épicéa »	Épicéa / Sapin / Mélange résineux /Mélange feuillus-résineux
« Pin sylvestre »	Pin sylvestre / Pin noir
« Bouleau »	Bouleau
« Chêne »	Érable / Aulne glutineux / Charme / Châtaigner / Chêne / Merisier / Tilleul / Mélange feuillus
« Hêtre »	Hêtre

Appellation type de la composition de la régénération en fonction de l'essence principale de la régénération dominante au bout de 20 ans (essence la plus représentée).

Appellation type	Densité des tiges d'avenir (nb/ha)			Densité d'accompagnement (nb/ha)	
	Seuil1	Seuil2	Seuil3	Seuil _{acc}	Seuil _{acc2}
« Douglas »	250	600	1100	1100	1100
« Épicéa »	380	700	1100	1100	1300
« Pin sylvestre »	380	700	1300	1300	1300
« Bouleau »	280	450	650	650	650
« Chêne »	120	500	1300	1300	1300
« Hêtre »	120	400	1500	1500	1500

Seuils utilisés pour caractériser l'acquisition de la régénération 20 ans après passage de la tempête (nombre de tiges par hectare) en fonction de l'appellation type de la régénération.

Exemple de grille pour le type : « Chêne »

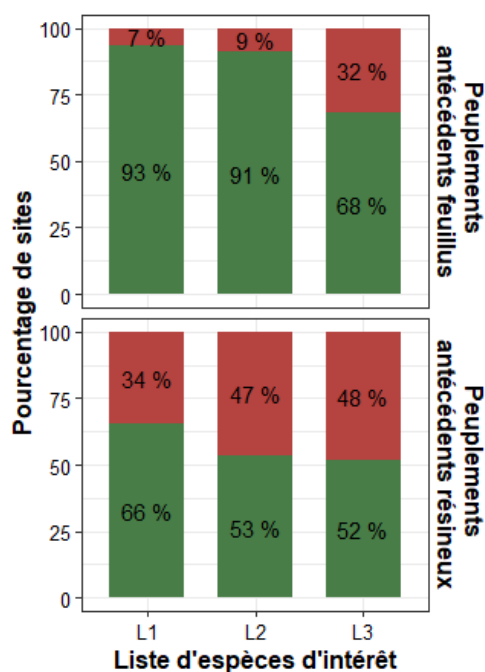


Densité des tiges d'avenir (nb/ha)	Densité d'accompagnement (nb/ha)	Acquisition de la régénération
$d \geq 1300$	-	Acquise au moins partiellement
$120 \leq d < 1300$	$d \geq 1300$	Acquise au moins partiellement
	$d < 1300$	Problématique
$d < 120$	-	Problématique

SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX RÉSULTATS

Acquisition de la régénération des peuplements dévastés – état des lieux 20 ans après passage de la tempête

- Plus des **3/4 des sites de l'observatoire ont une régénération considérée comme acquise** suite à l'utilisation des grilles présentées ci-avant.



Acquisition de la régénération

■ Problématique
■ Acquise au moins partiellement

Acquisition de la régénération ligneuse post-tempête en fonction de la liste d'essences considérée et du peuplement antécédent. Listes construites à partir de la liste des arbres selon Brosse (2000). Essences non considérées :

L1 : *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Salix* spp., *Sorbus aucuparia* et essences non adaptées à la station,

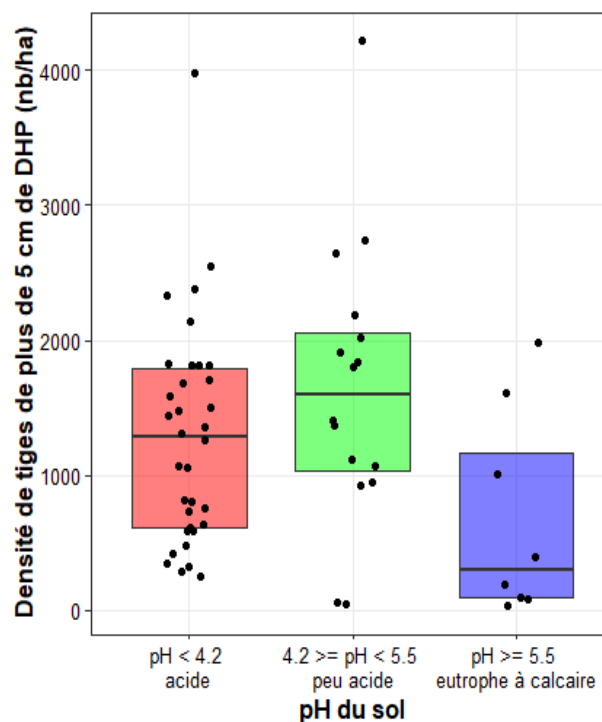
L2 : les mêmes qu'en L1 et *Betula* spp. exclues,

L3 : les mêmes qu'en L2 et *Carpinus betulus* et *Tilia* spp. exclues.

Densité de la régénération en fonction du pH du sol

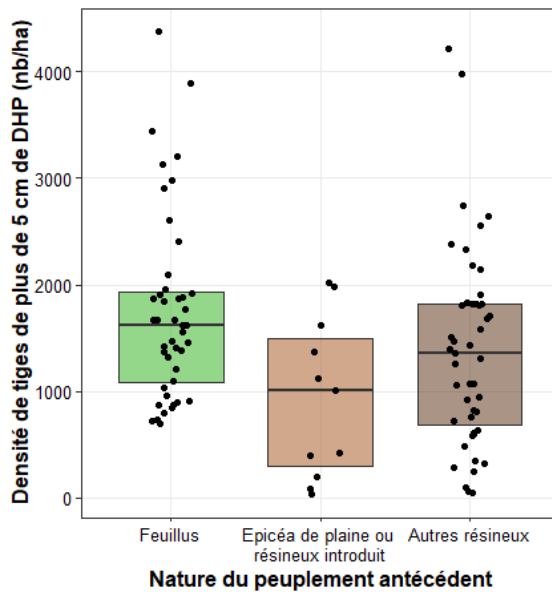
- La densité des tiges de plus de 5 cm de DHP 20 ans après tempête est maximale lorsque le pH est intermédiaire (pH peu acide compris entre 4.2 et 5.5).

- En complément, les sites avec un sol eutrophe à calcaire (pH ≥ 5.5) sont plus susceptibles de suivre une dynamique lente (avoir peu de tiges de plus de 5 cm de DHP) que ceux à pH acide ou peu acide. Les sites à pH élevés présentant une dynamique lente sont souvent des sols calcaires avec présence d'éléments grossiers calcaires ou présence de carbonate dans la terre fine.



Densité des tiges de plus de 5 cm de DHP de la liste L1 20 ans après tempête en fonction du pH du sol.

Densité de la régénération en fonction du peuplement antécédent

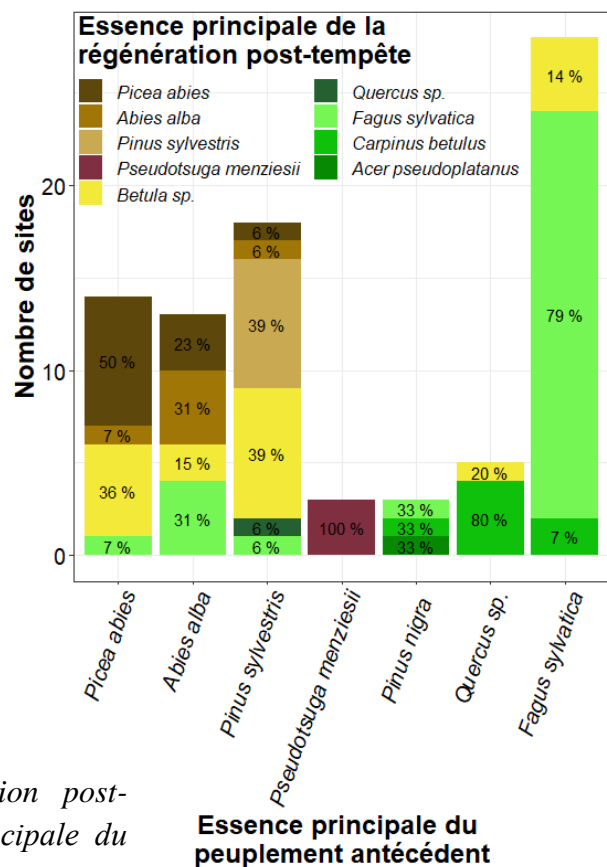


La régénération des anciens peuplements résineux est moins dense que celle des anciens peuplements feuillus. De plus, il y a un retard de colonisation des sites ayant un peuplement antécédent résineux, tant en ce qui concerne les essences ligneuses que les espèces herbacées.

Densité des tiges de plus de 5 cm de DHP de la liste L1 20 ans après tempête en fonction du type de peuplement antécédent. *Épicéa de plaine* : altitude < 400 m et les résineux introduits : *Pseudotsuga menziesii* et *Pinus nigra*.

Composition de la régénération - état des lieux 20 ans après passage de la tempête
 - 35 % des sites de l'observatoire ont une régénération de la strate de plus de 5 cm de DHP mono-spécifique 20 ans après le passage de la tempête (une essence représente au moins 80 % de la régénération – Liste L1).

- L'essence principale (essence la plus représentée en nombre de tiges) de la régénération ligneuse de plus de 5 cm de DHP 20 ans après tempête n'est pas systématiquement la même que celle du peuplement antécédent. Les peuplements antécédents de hêtre sont nombreux à avoir cette même essence comme essence principale de la régénération (79 % des sites si l'on considère la liste L1). À l'opposé, les anciennes sapinières et les anciennes chênaies ont majoritairement une autre essence que le sapin pectiné (*Abies alba*) ou le chêne (*Quercus petraea* et *Quercus robur*) respectivement comme essence principale de la régénération.



Essence principale de la régénération post-tempête en fonction de l'essence principale du peuplement antécédent (liste L1). Les sites avec un peuplement antécédent mélangé ne sont pas représentés.

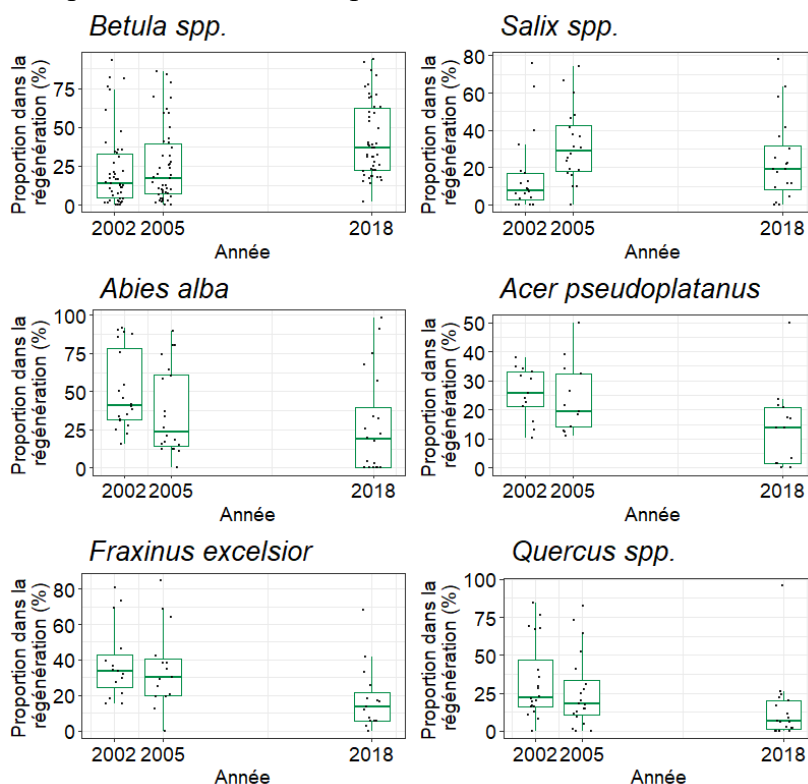
Composition de la régénération – dynamique temporelle

- La composition de la régénération de plus de 5 cm de DHP 20 ans après tempête est susceptible de différer fortement de celle de la régénération lors des stades précoces de la régénération post-tempête :

(i) La proportion de bouleaux et saules dans la régénération de plus de 5 cm de DHP 20 ans après tempête est plus forte que la proportion de ces essences dans la régénération trois ans après passage de la tempête. Il s'agit de deux essences pionnières à croissance rapide. En revanche, si certains sites de l'observatoire ont permis le développement des essences pionnières, l'expression d'un stade forestier pionnier n'est pas non plus systématique au sein de l'observatoire des peuplements dévastés.

(ii) A l'inverse, la proportion de certaines essences (sapin, érable sycomore - *Acer pseudoplatanus*, frêne et chênes) dans la régénération de plus de 5 cm de DHP 20 ans après tempête est plus faible que la proportion de ces essences dans la régénération trois ans après passage de la tempête. Plusieurs phénomènes peuvent expliquer cette dynamique temporelle :

- la compétition avec d'autres essences comme le hêtre et le charme ;
- la mortalité due à un problème sanitaire dans le cas du frêne ;
- l'abrutissement différencié des essences par les ongulés sauvages qui entraîne des substitutions d'espèces au cours du temps.



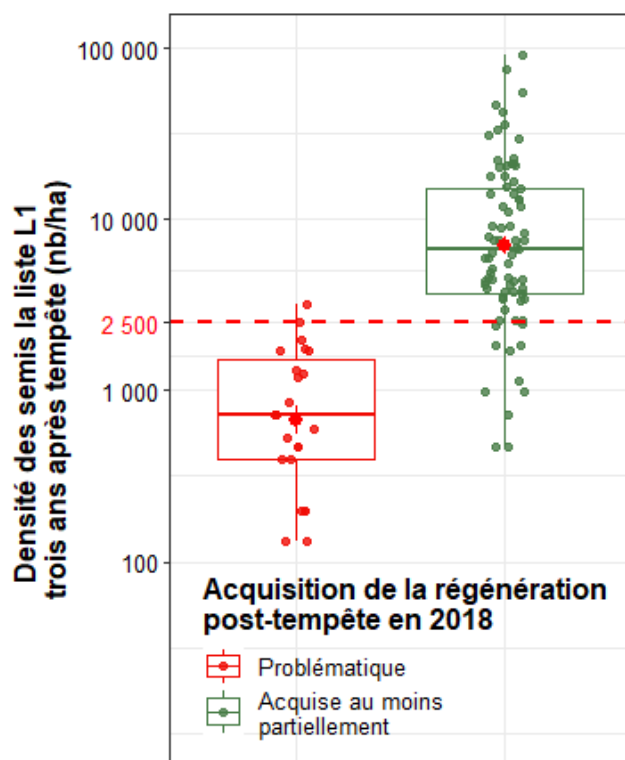
Évolution de la proportion de six essences dans la régénération des grandes trouées. Tous les semis sont concernés en 2002 et 2005, mais uniquement les tiges de DHP ≥ 5 cm en 2018. Sites conservés pour chaque graphique : sites pour lesquels l'essence représente au moins 15 % de la régénération post-tempête lors d'au moins une campagne de mesures.

- La caractérisation et le suivi de la composition de la régénération est donc nécessaire pour les propriétaires et gestionnaires forestiers qui ne souhaitent pas obtenir des régénérations dominées par le hêtre, le charme et le bouleau ou qui sont intéressés par la conservation d'essences comme le chêne, les feuillus précieux et les essences plus adaptées aux sécheresses estivales.

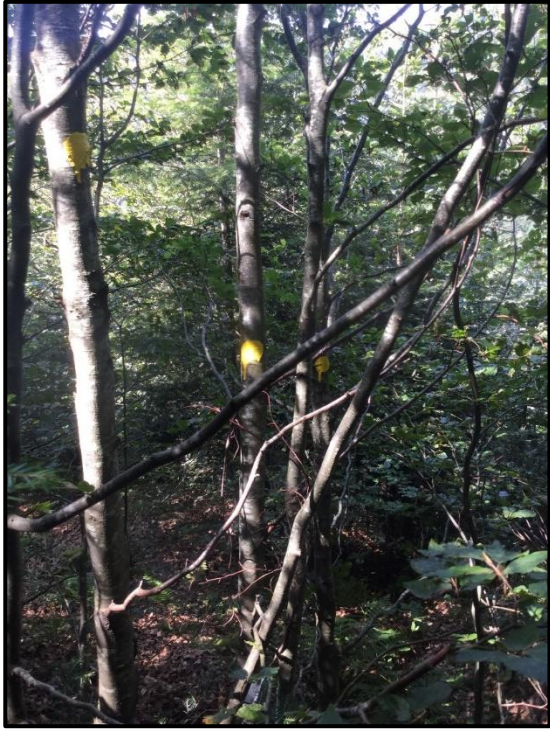
Diagnostic précoce

Un comptage précoce de la densité des semis d'essences d'intérêt au moins trois saisons de végétation après tempête semble permettre d'identifier les sites qui auront une régénération problématique. Un seuil d'environ 2 500 semis/ha paraît discriminant pour la liste d'essences d'intérêt L1 comme le montre le graphique ci-dessous (ce seuil reste le même si on considère les listes L2 ou L3).

Ainsi, cette discrimination réalisée à partir des comptages de 2002 sur les sites de l'OPD permet de différencier correctement les sites à acquisition problématique en 2018 (91 % des sites avec une régénération problématiques en 2018 ont une densité de moins de 2 500 semis/ha en 2002 pour la liste L1) des sites à acquisition correcte (86 % des sites avec une régénération acquise au moins partiellement ont une densité de plus de 2 500 semis/ha en 2002 pour la liste L1).



Acquisition de la régénération en fonction de la densité de semis trois ans après tempête (liste L1). Échelle des ordonnées logarithmique.



LE GUIDE : MODE D'EMPLOI

À partir des résultats présentés dans le chapitre précédent, nous proposons un guide permettant **(i)** de caractériser l'acquisition de la régénération des peuplements dévastés à partir d'un diagnostic précoce et **(ii)** de fournir des conseils de gestion pour obtenir un renouvellement de qualité.

1^{ÈRE} ÉTAPE

Déterminer le type de régénération post-tempête grâce à la clé d'identification de la page 28.

La clé se base sur la densité et la composition de la régénération d'essences d'intérêt lors d'un diagnostic précoce (3 - 4 ans) après passage d'une tempête puis sur le type de peuplement antécédent.

→ 92 % des sites de l'observatoire sont bien classés par cette clé de détermination (séparation des sites ayant une régénération « problématique » des sites ayant une régénération « acquise au moins partiellement »). Les 8 % restant sont équitablement répartis dans les prévisions par excès et par défaut.

2^E ÉTAPE

Consulter la fiche de la « régénération type » correspondante.

Les caractéristiques de la régénération de chaque type et les conseils de gestion associés sont décrits dans une fiche synthétique conçue selon un même modèle présenté à la page 32. La rubrique « conseils de gestion » renvoie à des « fiches techniques » spécifiques qui sont présentées en page 83.

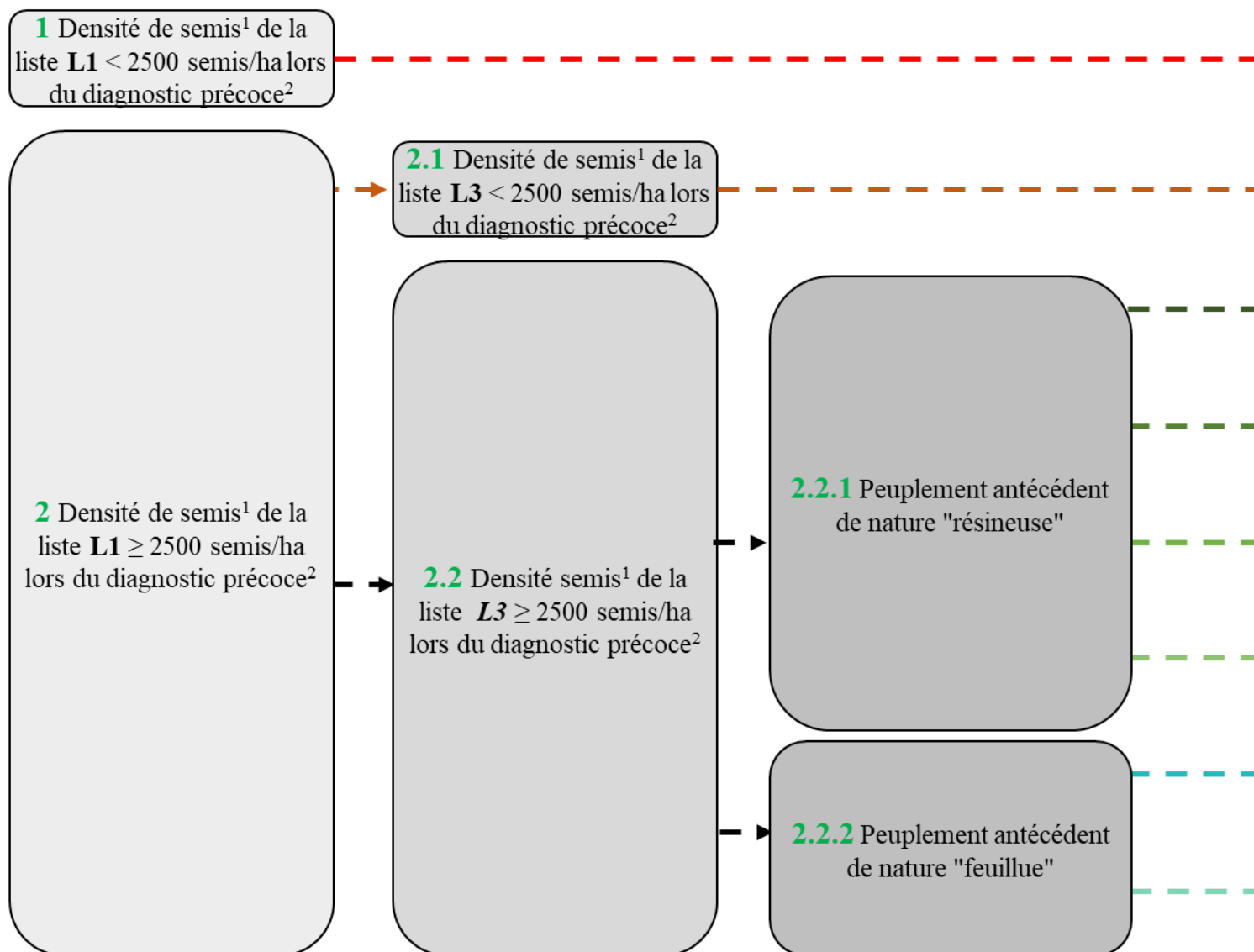
→ Ne pas hésiter à consulter plusieurs fiches « régénération type » en cas d'hésitation pour confirmer le diagnostic.

En effet, les situations intermédiaires sont inévitables, la clé aboutissant à fournir une vision simplifiée de la réalité.

Les limites d'utilisation du guide sont exposées page 96.



CLÉ DE DÉTERMINATION



¹ Densité des semis d'essences d'intérêt. Densité évaluée visuellement comme très satisfaisante ou quantifiée plus précisément si nécessaire. En effet, dans le cas de faibles densités à évaluer, la faible hauteur des semis couplée à une répartition spatiale souvent très hétérogène rendent l'estimation visuelle délicate. Il est alors conseillé de procéder à des comptages par échantillonnage (cf. « *Comment réaliser un diagnostic ?* » page 30).

Listes d'essences d'intérêt L1 et L3 :

L1 : Essences non considérées : *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Salix spp.*, *Sorbus aucuparia* et les espèces non adaptées à la station.

L3 : les mêmes que L1 et *Betula spp.*, *Carpinus Betulus*, et *Tilia spp.* sont exclus également.

		P1	page 34
		P2	page 37
	2.2.1.1 Essence principale du peuplement antécédent <i>Pseudotsuga menziesii</i>	R1	page 40
	2.2.1.2 Essence principale du peuplement antécédent <i>Pinus nigra</i>	R2	page 41
	2.2.1.3 Essence principale du peuplement antécédent <i>Pinus sylvestris</i>	R3	page 42
	2.2.1.4 Essence principale du peuplement antécédent <i>Abies alba</i> et/ou <i>Picea abies</i>	R4	page 45
	2.2.2.1 Essence principale du peuplement antécédent <i>Fagus sylvatica</i>	F1	page 48
	2.2.2.2 Autres essences principales feuillues et mélanges feuillus	F2	page 51

² Ce seuil reflète l'échantillonnage qui a été effectué dans le cadre de cet observatoire et il faut le considérer comme un ordre de grandeur du fait de la forte variabilité spatiale des semis (cf. « *Limites d'utilisation et perspectives* » page 96).

COMMENT RÉALISER UN DIAGNOSTIC ?

En cas de faible densité de semis d'intérêt estimée visuellement lors de la visite de terrain, il est conseillé de quantifier la densité de semis moyenne à l'échelle du site pour pouvoir utiliser la clé de détermination.

Méthode d'échantillonnage – inventaire par placeaux

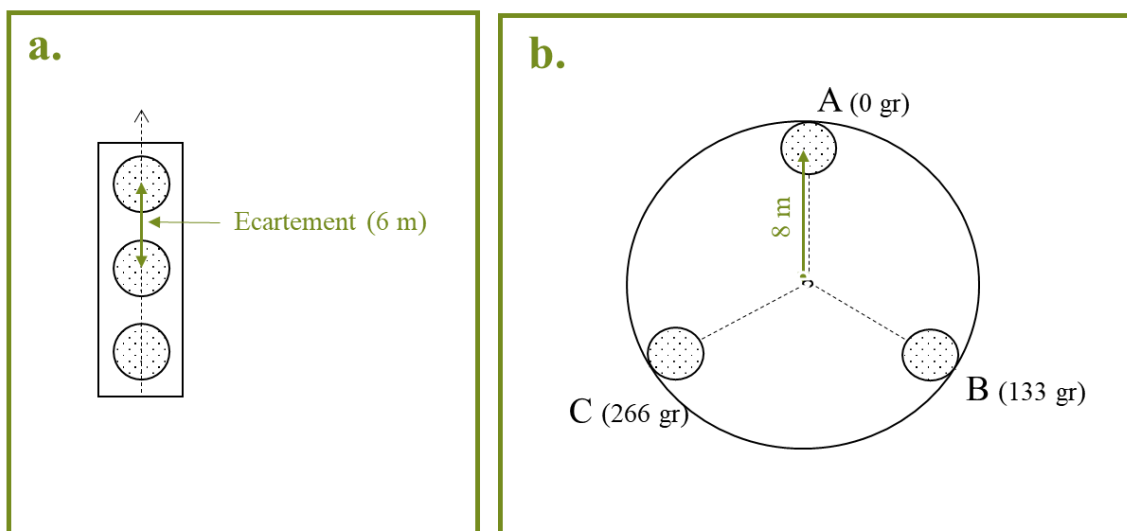
Plusieurs stratégies d'échantillonnage sont possibles, mais nous proposons un **inventaire par placeaux**.



Pour chaque placeau (2 m de rayon) : compter le nombre de semis. Il est conseillé de plafonner à 12 semis par placeau et par essence (correspondant à 10 000 semis/ha). Il est recommandé de dénombrer les semis par essence de manière à pouvoir utiliser les listes proposées dans ce guide (listes **L1**, **L2** et **L3**) et pour avoir une idée de leur diversité.

Calculer la moyenne des densités obtenues par placeau pour obtenir la densité **moyenne à l'échelle du site**. En effet, compte tenu de la variabilité spatiale constatée dans les sites de l'OPD et de la surface restreinte des placeaux, chaque valeur ne peut être utilisée en tant que telle.

Les placeaux peuvent être organisés dans l'espace selon plusieurs protocoles en fonction des contraintes.



Légende :  Placeau (2 m de rayon)

Deux exemples d'organisation des placeaux.

Exemples d'organisation des placeaux (cf. figure page 30) :

a. Transect de plusieurs placeaux de 2 m de rayon. Les placeaux peuvent être installés le long de cloisonnements (voire d'un linéaire s'il n'y a pas de cloisonnement). Ces dispositions ont le mérite de réduire le cheminement à pratiquer à l'intérieur des peuplements qui peuvent être assez encombrés trois ou quatre ans après la tempête (rémanents, broussailles...). Dans le cas de cloisonnements déjà installés, par exemple lors de l'exploitation post tempête, bien observer une distance minimale de 1 m des zones comptées par rapport au cloisonnement.

b. Placette de trois placeaux de 2 m de rayon.

Intensité d'échantillonnage – nombre de placeaux

L'intensité d'échantillonnage dépend :

- de la **variabilité de la densité** au sein de la zone à reconstituer,
- de la **précision voulue**,
- et du **niveau de confiance** voulu.

L'intensité de l'échantillonnage souhaitée est à confronter aux moyens humains et financiers du propriétaire.

Au vu du fort coefficient de variation des densités de semis observé sur l'ensemble des sites de l'observatoire, il est nécessaire de réaliser un grand nombre de placeaux pour évaluer précisément la densité des semis post-tempête (de 80 à 140 placeaux pour une erreur sur la densité totale de 10 à 15 %, soit de 30 à 50 dispositifs de trois placeaux avec les exemples ci-dessus). Les dispositifs sont localisés selon la méthodologie d'échantillonnage choisie (aléatoire, stratifié, systématique...) et doivent couvrir l'ensemble du peuplement forestier à reconstituer. Ainsi, il est conseillé de répartir au mieux spatialement les dispositifs et d'en augmenter le nombre avec la surface à diagnostiquer.

Le peuplement à reconstituer peut déjà être, trois à quatre ans après la tempête et en fonction du peuplement antécédent, difficile à parcourir : il est alors conseillé d'ouvrir des cloisonnements sylvicoles et de réaliser les comptages en s'appuyant sur ces cloisonnements (exemple **a.** de la figure **page 30**) ; ces cloisonnements sont un investissement qui servira également lors des premiers travaux de dégagement des semis, de plantations...

LA FICHE : MODE D'EMPLOI

Chaque fiche descriptive du type de régénération est construite sur le même modèle. Les huit fiches sont présentées à partir de la [page 34](#).

Les fiches ont été créées par rapport aux sites prédits correctement par la clé.

Régénération problématique

P1

TYPE DE RÉGÉNÉRATION P1

1

2

3

4

5

6

7

Régénérations problématiques ou forêts régénérées majoritairement en bouleaux

Fréquence : 30% des sites (2)

Description générale de la régénération 20 ans après tempête :

L'évolution observée sur les sites de l'observatoire restant dans cette catégorie conduit à distinguer deux types de situations :

P1-a. Les régénérations qui restent problématiques au bout de 20 ans : 75% des sites ayant une densité < 2 500 semis/ha trois ans après la tempête sont dans ce cas.

P1-b. Les régénérations acquies avec *Betula spp.* comme essence principale au bout de 20 ans : 25% des sites ayant une densité < 2 500 semis/ha trois ans après la tempête sont dans ce cas.

Malgré cette faible densité observée lors du diagnostic précoce, ces sites développent des semis de *Betula spp.* qui devient l'essence principale. Parfois, une forte présence de charmes l'accompagne.

Caractéristiques

La densité de semis trois ans après le passage de la tempête est faible (< 2 500 semis/ha), que l'on prenne ou non en considération les bouleaux, charmes et tilleuls.

P1-a. La densité des tiges de plus de 3 cm de DCP 20 ans après passage de la tempête est souvent inférieure à 1 000 tiges/ha. En effet, il y a peu d'installation de semis pendant les quelques années au-delà des trois ans après la tempête.

P1-b. L'installation de bouleaux s'est poursuivie pendant quelques années au-delà des trois ans après la tempête, sans concurrence forte des autres essences, toutes en faibles densités. La croissance en hauteur des bouleaux dans ces conditions a été forte. Toutefois, le développement des houpes et la croissance diamétrale au bout de 20 ans sans intervention sont faibles.

Densité

Densité de tiges d'un diamètre de plus de 3 cm à 20 ans après tempête en fonction de la densité des semis de la liste L3 trois ans après tempête. Une corrélation positive est observée sur les sites qui présentent une régénération acquies avec *Betula spp.* comme essence principale (P1-b). Les autres sites ayant une régénération problématique (P1-a) ont une densité < 1000.

Composition

P1-a. Les essences principales de la régénération post-tempête de plus de 5 cm de DCP à 20 ans sont très diversifiées.

P1-b. Les sites ont le bouleau comme essence principale de la régénération 20 ans après tempête.

Composition de la régénération dominante

3 ans après tempête 20 ans après tempête

Proportion des types de composition de la régénération au sein de l'observatoire (liste L3). Trois ans après tempête : sous les semis et 20 ans après tempête : tiges de plus de 5 cm de DCP.

35

Caractéristiques

Les caractéristiques écologiques et biologiques fréquentes de ces régénérations au sein de l'observatoire :

La présence d'une végétation accompagnatrice compétitrice dense (exemple : frangée naine) pourrait expliquer partiellement (1) ce blocage dans certains sites et (2) la mauvaise implantation des essences d'intérêt autres que les bouleaux.

P1-a.

- 90% des sites de ce groupe ont un peuplement antécédent résineux. Il est à souligner que la moitié des sites de résineux implantés au pinéa (boisements PFN de pins noirs et épicéas par exemple) sont dans cette catégorie.
- La présence supposée d'une forte pression des cervidés dans certains sites peut également expliquer tout ou partie de cette faible présence des essences ligneuses d'intérêt si ces derniers sont appauvris.

P1-b.

- 50% des sites de ce groupe ont un peuplement antécédent résineux.

Espace à 300 m

Options

Contexte de gestion :

Un suivi de la dynamique à moyen terme permettra de confirmer le diagnostic et de séparer les sites P1-a des sites P1-b.

P1-a.

- Il est important de raisonner le niveau d'investissement en fonction des possibilités de mise en valeur des bois (potentiel de la station, accessibilité de la forêt), de l'état de l'équilibre faune-flore et plus largement des enjeux pour le propriétaire.
- La reconstruction vers une forêt de production de bois de qualité passera le plus souvent par le recours à la plantation pour la majorité des sites de ce groupe, selon diverses modalités présentées en fiche T1 page 34.

P1-b.

- Si le propriétaire considère le bouleau comme une essence d'intérêt il faut recourir à des travaux (nettoyage-dépressage) pour produire du bouleau en croissance quasiment libre (présentation en fiche T1 page 34). Cette phase de production de bouleau permet en parallèle l'installation progressive de semis sous couvert et peut à terme permettre d'aller vers une forêt mixte.
- Si le propriétaire ne considère pas le bouleau comme une essence d'intérêt, le recours à la plantation est à envisager. Il est alors conseillé de planter en aménagement pour (1) profiter de l'amélioration de la forme des semis par le bouleau, (2) permettre la protection contre l'insolation des plants par les bouleaux lors des premières années d'installation, (3) économiser sur le nombre de plants à installer (présentation en fiche T1 page 34).
- Enfin, il est toujours possible de recourir à une plantation en plein (fiche T1 page 34), même si ce choix n'est pas forcément le plus économique.

36

32

1 **Nom et identifiant du type de régénération**

Régénération naturelle potentielle 20 ans après passage de la tempête.

2 **Fréquence**

Fréquence observée de ce type de régénération au sein de l'observatoire. C'est une notion relative, dépendante de l'échantillonnage.

3 **Description générale de la régénération**

Description rapide de l'acquisition de la régénération obtenue 20 ans après passage de la tempête, éventuellement associée à une distinction de cas. Les rubriques ci-dessous sont alors développées pour chaque cas.

4 **Dynamique de la régénération - Densité**

Description des dynamiques de la densité observées au sein de ces régénérations.

5 **Dynamique de la régénération - Composition**

Description des dynamiques de la composition observées au sein de ces régénérations. Les pourcentages sont arrondis et le total peut être différent de 100. Essence majoritaire : essence qui représente plus de 80 % de la régénération ou essence qui représente plus de 50 % de la régénération si aucune autre essence ne représente plus de 15 %.

6 **Caractéristiques écologiques et biologiques fréquentes**

Description des caractéristiques écologiques (édaphiques, biologiques, géographiques...) souvent trouvées associées à ce type de régénération au sein de l'observatoire des peuplements dévastés.

7 **Conseils de gestion**

Les recommandations concernent la gestion et les points de vigilances à avoir sur ces régénérations post-tempête. Les conseils de gestion renvoient dans certains cas à des fiches techniques détaillées disponibles à partir de la **page 83**. L'objectif dans ce guide n'est pas de répéter les conseils pouvant être présentés habituellement en matière de reboisement ou de sylviculture, mais de développer uniquement des points rendus spécifiques par les caractéristiques des régénérations post-tempête.

Régénérations problématiques ou forêts régénérées majoritairement en bouleaux

Fréquence : 30 % des sites (28)

Description générale de la régénération 20 ans après tempête

- L'évolution observée sur les sites de l'observatoire rentrant dans cette catégorie conduit à distinguer deux types de situations :

P1-a. Les régénérations qui restent problématiques au bout de 20 ans : 75 % des sites ayant une densité < 2 500 semis/ha trois ans après la tempête sont dans ce cas.

P1-b. Les régénérations acquises avec *Betula spp.* comme essence principale au bout de 20 ans : 25 % des sites ayant une densité < 2 500 semis/ha trois ans après la tempête sont dans ce cas.

Malgré cette faible densité observée lors du diagnostic précoce, ces sites développent des semis de *Betula spp.* qui devient l'essence principale. Parfois, une forte présence de charme l'accompagne.

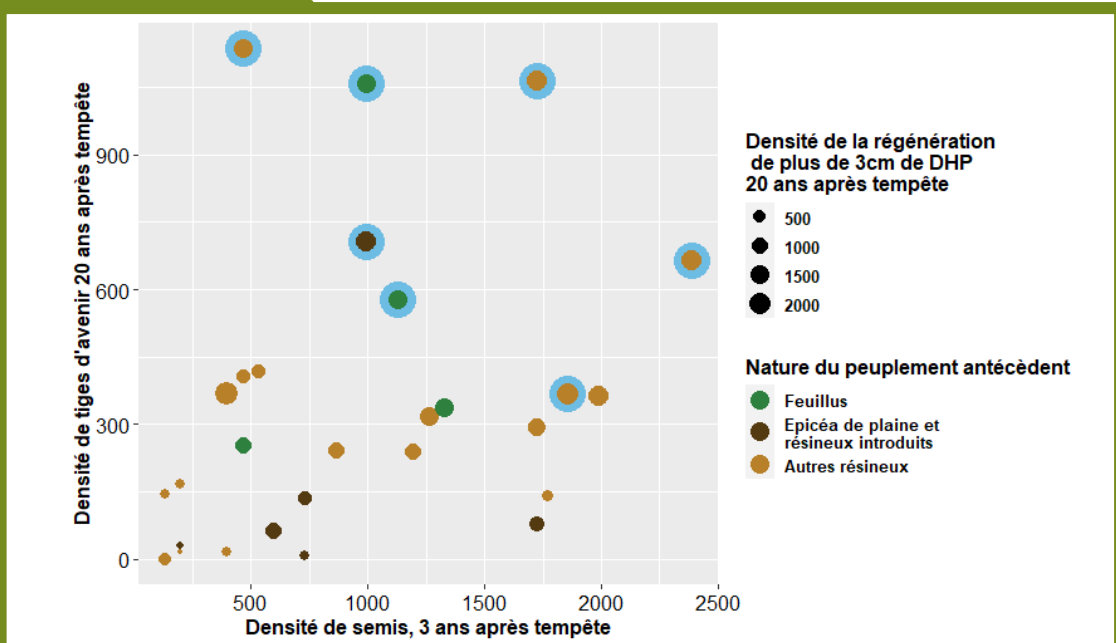
Densité

La densité de semis trois ans après le passage de la tempête est faible (< 2 500 semis/ha), que l'on prenne ou non en considération les bouleaux, charmes et tilleuls.

P1-a. La densité des tiges de plus de 3 cm de DHP 20 ans après passage de la tempête est souvent inférieure à 1 000 tiges/ha. En effet, il y a peu d'installation de semis pendant les quelques années au-delà des trois ans après la tempête.

P1-b. L'installation du bouleau s'est poursuivie pendant quelques années au-delà des trois ans après la tempête, sans concurrence forte des autres essences, toutes en faibles densités. La croissance en hauteur des bouleaux dans ces conditions a été forte. Toutefois, le développement des houppiers et la croissance diamétrale au bout de 20 ans sans intervention sont faibles.

Densité



Densité de tiges d'avenir de la liste LI 20 ans après tempête en fonction de la densité des semis de la liste LI trois ans après tempête. ● Une auréole bleue entoure les sept sites qui présentent une régénération acquise avec *Betula spp.* comme essence principale (PI-b), les autres sites ayant une régénération problématique (PI-a). Densité : nb/ha.

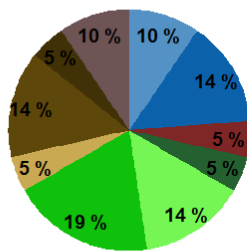
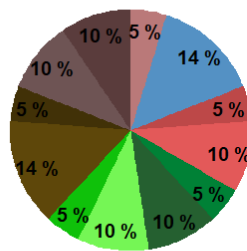
Composition

P1-a. Les essences principales de la régénération post-tempête de plus de 5 cm de DHP à 20 ans sont très diversifiées.

P1-b. Les sites ont le bouleau comme essence principale de la régénération 20 ans après tempête.

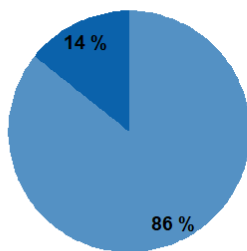
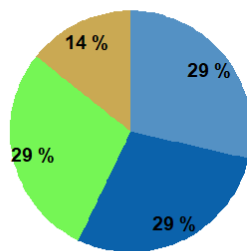
3 ans après tempête

20 ans après tempête



P1-a

P1-b



Composition de la régénération dominante

- *Abies alba* majoritaire
- *Abies alba* en mélange
- *Picea abies* majoritaire
- *Picea abies* en mélange
- *Fagus sylvatica* majoritaire
- *Fagus sylvatica* en mélange
- *Quercus spp.* majoritaire
- *Quercus spp.* en mélange
- *Prunus avium* en mélange
- *Acer platanoides* en mélange
- *Acer pseudoplatanus* en mélange
- *Betula spp.* majoritaire
- *Betula spp.* en mélange
- *Acer campestre* en mélange

Proportion des types de composition de la régénération au sein de l'observatoire (liste LI). Trois ans après tempête : tous les semis et 20 ans après tempête : tiges de plus de 5 cm de DHP.



Caractéristiques écologiques et biologiques fréquentes de ces régénérations au sein de l'observatoire :

La présence d'une végétation accompagnatrice compétitrice dense (exemple : fougère aigle) ou un fort déséquilibre sylvo-cynégétique pourraient expliquer partiellement (1) ce blocage dans certains sites et (2) la mauvaise implantation des essences d'intérêt autres que les bouleaux.

P1-a.

- 90 % des sites de ce groupe ont un peuplement antécédent résineux. Il est à souligner que la moitié des sites de résineux implantés en plaine (boisements FFN de pins noirs et épicéas par exemple) sont dans cette catégorie.

- La présence d'une forte pression des cervidés dans certains sites peut expliquer tout ou partie de cette faible présence des essences ligneuses d'intérêt appétentes. Cela peut aussi causer un appauvrissement de la diversité spécifique et entraîner un changement d'essence principale.

P1-b.

- 70 % des sites de ce groupe ont un peuplement antécédent résineux.

- Altitude inférieure à 300 m.

Conseils de gestion :

Un suivi de la dynamique à moyen terme permettra de confirmer le diagnostic et de séparer les sites P1-a des sites P1-b.

P1-a.

- La reconstitution vers une forêt de production de bois de qualité passera le plus souvent par le recours à la plantation pour la majorité des sites de ce groupe, selon diverses modalités présentées en fiche T1 page 84.

- Il est important de raisonner le niveau d'investissement en fonction des possibilités de mise en valeur des bois (potentiel de la station, accessibilité de la forêt), des enjeux pour le propriétaire et de l'état de l'équilibre faune-flore. Dans le cas d'un fort déséquilibre faune-flore, le propriétaire doit étudier la faisabilité économique et écologique de l'installation de protections. Leur coût élevé, la forte sensibilité ultérieure des tiges à l'écorçage ainsi que l'incertitude concernant l'avenir des plants en contexte climatique incertain, rendent ces investissements difficiles à rentabiliser.

P1-b.

- Si le propriétaire considère le bouleau comme une essence d'intérêt il faut recourir à des travaux (nettoiement-dépressage) pour produire du bouleau en croissance quasiment libre (présentation en fiche T2 page 87). Cette phase de production de bouleau permet en général l'installation progressive de semis sous couvert et peut à terme permettre d'aller vers une forêt mélangée.

- Si le propriétaire ne considère pas le bouleau comme une essence d'intérêt, le recours à la plantation est à envisager. Il est alors conseillé de planter en enrichissement pour (1) profiter de l'amélioration de la forme des semis par le bouleau, (2) permettre la protection contre l'insolation des plants par les bouleaux lors des premières années d'installation, (3) économiser sur le nombre de plants à installer (présentation en fiche T1 page 84).

- Enfin, il est toujours possible de recourir à une plantation en plein (fiche T1 page 84), même si ce choix n'est pas forcément le plus économique.

TYPE DE RÉGÉNÉRATION P2

Régénérations post-tempête acquises uniquement si l'on considère bouleau charme et tilleul comme des essences d'intérêt

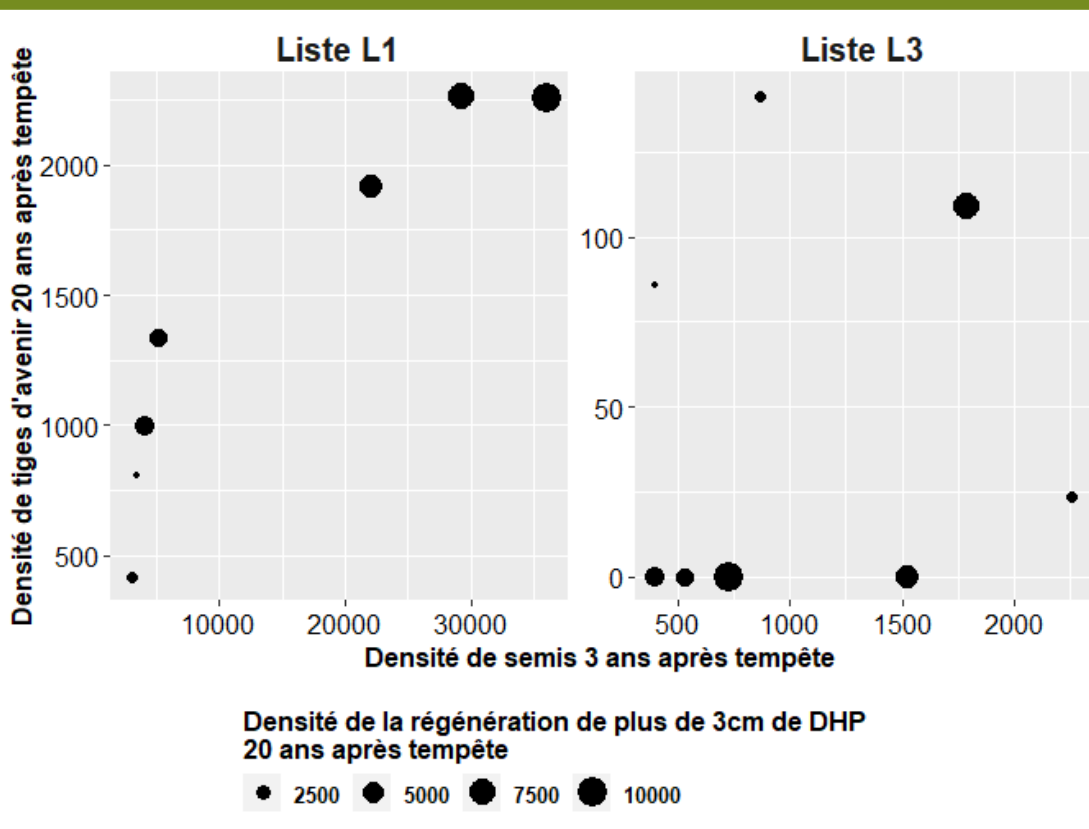
Fréquence : 8.5 % des sites (8)

Description générale de la régénération 20 ans après tempête

- La régénération de ces sites est acquise 20 ans plus tard si l'on considère les bouleaux, le charme et les tilleuls comme des essences d'intérêt.
- Elle est par contre très problématique dès lors que le bouleau ou le charme ne sont pas considérés comme des essences d'intérêt sylvicole par le propriétaire.

Densité

- La densité de la régénération trois ans après tempête est supérieure à 2 500 semis/ha, mais est faible si l'on considère la liste d'essences d'intérêt L3 excluant bouleaux, charmes et tilleuls.
- Le développement des houppiers et la croissance diamétrale au bout de 20 ans des bouleaux sans intervention sont faibles.

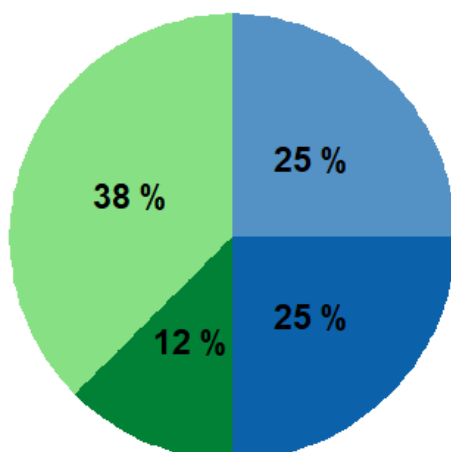


Pour les listes L1 et L3 : densité de tiges d'avenir 20 ans après tempête en fonction de la densité des semis trois ans après tempête. Les échelles des abscisses et des ordonnées sont différentes. Densité : nb/ha.

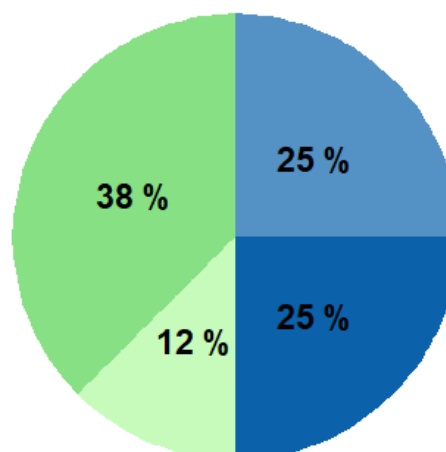
Composition

Les essences principales de la régénération post-tempête de plus de 5 cm de DHP 20 ans après tempête sont principalement les bouleaux ou le charme.






3 ans après tempête



20 ans après tempête



Composition de la régénération dominante

 <i>Carpinus betulus</i> majoritaire	 <i>Betula</i> spp. majoritaire
 <i>Carpinus betulus</i> en mélange	 <i>Betula</i> spp. en mélange
 <i>Quercus</i> spp. en mélange	

Proportion des types de composition de la régénération au sein de l'observatoire (liste LI). Trois ans après tempête : tous les semis et 20 ans après tempête : tiges de plus de 5 cm de DHP.

Caractéristiques

Caractéristiques écologiques et biologiques fréquentes de ces régénérations au sein de l'observatoire :

- Ce type de régénération est souvent associé à la présence de traces d'hydromorphie dans les 50 premiers centimètres du sol au sein de l'observatoire (6 sites sur les 8).
- Altitude inférieure à 350 m.
- Il s'agit souvent de sites avec un peuplement antécédent feuillu (7 sites sur les 8) qui ne sont régénérés que si l'on considère le charme comme une essence d'intérêt.

Conseils de gestion :

- Si le propriétaire considère le bouleau ou le charme comme des essences d'intérêt, il faut recourir à des travaux de nettoyage-dépressage, particulièrement dans le cas du bouleau (fiche **T2 page 87**).
- Dans le cas contraire, si l'essence majoritaire est le bouleau, la plantation en enrichissement est conseillée. Il faut mettre en balance le fait qu'un peuplement de bouleau ou de charme peut être acquis sans frais d'installation, alors que l'implantation d'autres essences sera coûteuse (surtout lorsque le charme est présent lors du diagnostic) (fiche **T2 page 87**).
- Enfin, il est toujours possible de recourir à une plantation en plein (fiche **T1 page 84**), même si ce choix n'est pas forcément le plus économique.
- Dans tous les cas, il est important de raisonner le niveau d'investissement en fonction des possibilités de mise en valeur des bois (potentiel de la station, accessibilité de la forêt), de l'état de l'équilibre faune-flore et plus largement des enjeux pour le propriétaire.

TYPE DE RÉGÉNÉRATION R1

Peuplement antécédent de douglas

Fréquence : 2 % des sites (2)

Description générale de la régénération 20 ans après tempête

- Toutes les régénérations comportant du douglas comme essence principale trois ans après tempête au sein de l'observatoire sont acquises 20 ans plus tard.

Nota : La faiblesse de l'effectif de ces sites au sein de l'OPD doit conduire le lecteur à relativiser les indications fournies dans cette fiche.

Densité

La densité de la régénération trois ans après tempête est supérieure à 2 500 semis/ha (voire 2 300 semis/ha dans un troisième site).

Composition

Le douglas reste l'essence principale de ces régénérations au bout de 20 ans et très peu d'autres essences d'intérêt sylvicole sont présentes dans le peuplement.

Caractéristiques

Caractéristiques écologiques et biologiques fréquentes de ces régénérations au sein de l'observatoire :

Toutes les régénérations majoritaires en douglas de l'observatoire ont été acquises avec des peuplements antécédents également en douglas.

Gestion

Conseils de gestion :

- L'adéquation entre la station forestière et le choix du douglas comme essence d'intérêt est à évaluer par le propriétaire forestier.
- Si le choix du douglas est retenu, se reporter aux guides sylvicoles existants.

TYPE DE RÉGÉNÉRATION R2

Peuplement antécédent de pin noir

Fréquence : 2 % des sites (2)

Description générale de la régénération 20 ans après tempête

- La régénération de ces sites est acquise 20 années plus tard quelle que soit la liste d'essences considérées comme d'intérêt.

Nota : La faiblesse de l'effectif de ces sites au sein de l'OPD doit conduire le lecteur à relativiser les indications fournies dans cette fiche.

Densité

La densité de la régénération trois ans après tempête est supérieure à 2 500 semis/ha.

Composition

- Absence de pins dans la régénération 20 ans après tempête.
- La régénération est très majoritairement feuillue.
- On trouve une grande diversité d'essences dans la régénération trois ans après tempête qui est susceptible de se retrouver en partie dans les tiges de plus de 5 cm de DHP 20 ans après passage de la tempête (*Acer pseudoplatanus*, *Carpinus betulus*, *Fagus sylvatica*, *Prunus avium*, *Quercus spp*, *Sorbus aria*, *Sorbus torminalis*, *Ulmus sp.*, *Tilia spp.*).
- La qualité des tiges est fort variable au bout de 20 ans sans intervention et certaines tiges mal conformées mais vigoureuses ont concurrencé des tiges qui auraient pu être d'avenir.

Caractéristiques

Caractéristiques écologiques et biologiques fréquentes de ces régénérations au sein de l'observatoire :

100 % des peuplements antécédents étaient des plantations de pin noir.

Gestion

Conseils de gestion :

- Il est recommandé de travailler au profit des tiges appartenant à des essences de fort intérêt sylvicole si ces essences sont présentes dans la régénération, voire de favoriser le mélange d'essences (fiche **T3 page 89**).
- La gestion de ce type de régénération peut être fortement aidée par l'installation de cloisonnements sylvicoles, pour mieux apprécier les potentialités des tiges présentes.

TYPE DE RÉGÉNÉRATION R3

Peuplement antécédent de pin sylvestre

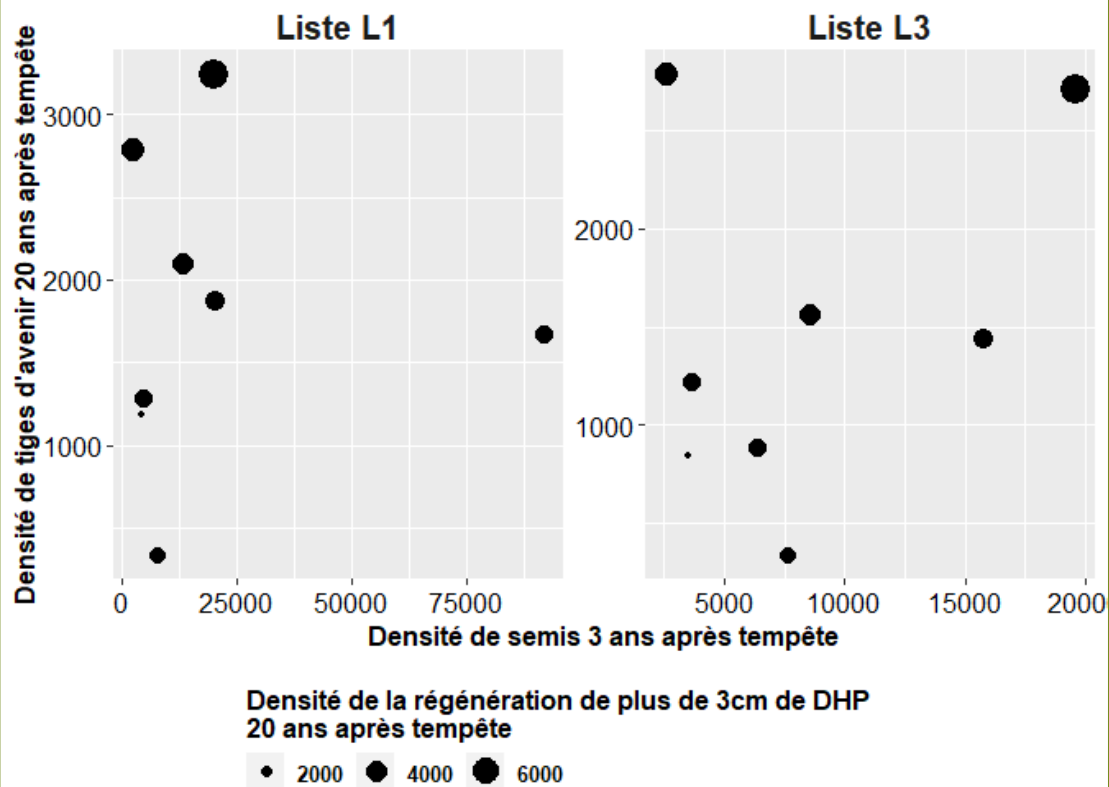
Fréquence : 8.5 % des sites (8)

Description générale de la régénération 20 ans après tempête

La régénération de ces sites est acquise 20 années plus tard quelle que soit la liste d'essences considérées comme d'intérêt.

Densité

La densité de semis trois ans après le passage de la tempête est forte ($\geq 2\,500$ semis/ha) quelle que soit la liste d'essences considérée (L1-L2-L3).



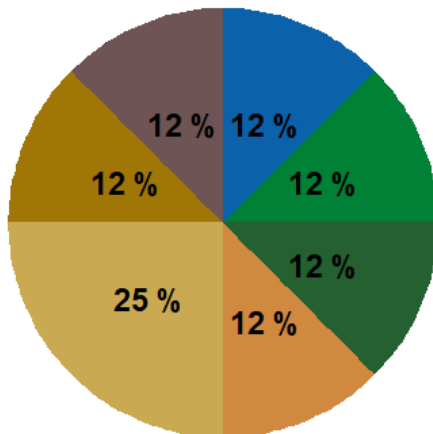
Pour les listes L1 et L3 : densité de tiges d'avenir 20 ans après tempête en fonction de la densité des semis trois ans après tempête. Les échelles des abscisses et des ordonnées sont différentes. Densité : nb/ha.

Composition

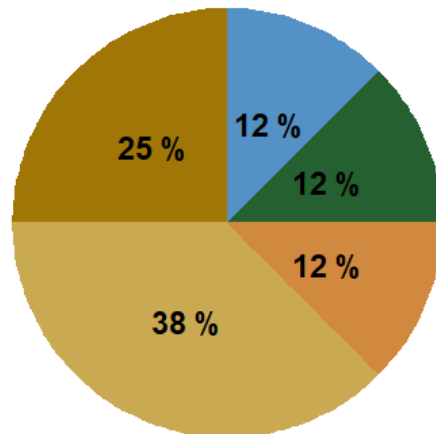
- Présence possible de bouleaux et chênes lors du diagnostic précoce qui sont susceptibles de rester en partie dans les tiges de plus de 5 cm de DHP 20 ans après passage de la tempête.

- Dans les régénérations mélangées, le pin sylvestre est toujours accompagné de bouleaux, et parfois de chênes. Ceci est à mettre en relation avec des peuplements antécédents également mélangés avec ces deux espèces (les arbres relictuels en témoignent). Un des sites est d'ailleurs complètement régénéré en chêne.








3 ans après tempête



20 ans après tempête



Composition de la régénération dominante

 <i>Pinus sylvestris</i> majoritaire	 <i>Quercus</i> spp. en mélange
 <i>Pinus sylvestris</i> en mélange	 <i>Betula</i> spp. majoritaire
 <i>Pinus sylvestris</i> et <i>Pinus nigra</i> subsp. <i>laricio</i>	 <i>Betula</i> spp. en mélange
 <i>Quercus</i> spp. majoritaire	

*Proportion des types de composition de la régénération au sein de l'observatoire (liste LI).
Trois ans après tempête : tous les semis et 20 ans après tempête : tiges de plus de 5 cm de DHP.*

Caractéristiques

Caractéristiques écologiques et biologiques fréquentes de ces régénérations au sein de l'observatoire :

- Régénérations installées sur des sols de pH situé aux environ de 4.2.
- Ces sites sont majoritairement situés hors du quart nord-est. Les pineraies du quart nord-est sont quant à elles souvent classées en **P1** ou **P2**.

Gestion

Conseils de gestion :

- Les pins sylvestres souffrent de la concurrence en l'absence d'intervention, notamment dans le cas de fortes densités. Des travaux de nettoyage et dépressage peuvent alors être nécessaires vers 5 à 7 mètres de hauteur. Se reporter aux guides sylvicoles déjà existants.
- Les régénérations obtenues étant souvent mélangées, il est possible de travailler au profit des tiges de chêne pour favoriser le mélange, par des dégagements puis des nettoyements (fiche **T4 page 91**).
- Le bouleau, souvent présent, améliore la qualité des autres essences, ce qui nécessite de doser le mélange et les degrés de compétition pour obtenir le bon effet améliorateur (fiche **T4 page 91**).

(le peuplement régénéré en chêne ne relève pas de ces conseils)

TYPE DE RÉGÉNÉRATION **R4**

Peuplement antécédent d'épicéa commun et/ou de sapin pectiné

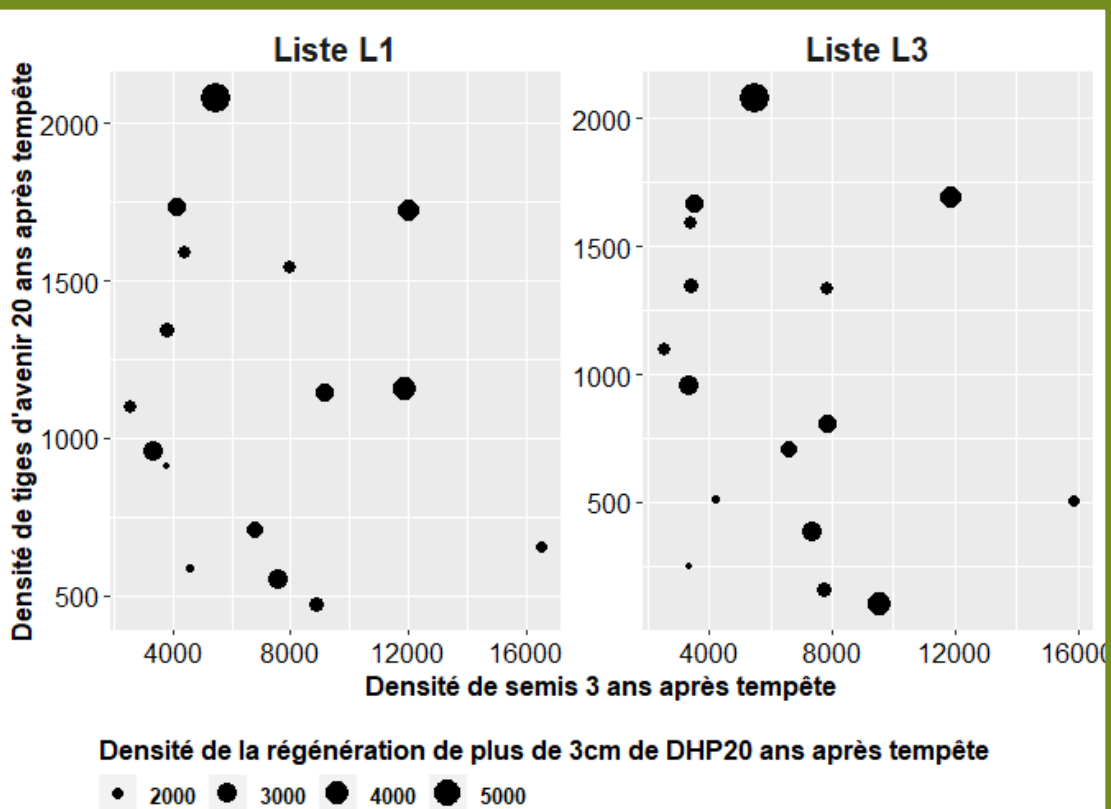
Fréquence : 17 % des sites (16)

Description générale de la régénération 20 ans après tempête

Toutes les régénérations sont acquises 20 ans après tempête si le bouleau est considéré comme une essence d'intérêt. Deux sites sont considérés comme régénérés uniquement si l'on considère le bouleau comme une essence d'intérêt.

Densité

La densité de semis trois ans après le passage de la tempête est forte ($\geq 2\,500$ semis/ha) quelle que soit la liste d'essences considérée (L1-L2-L3).

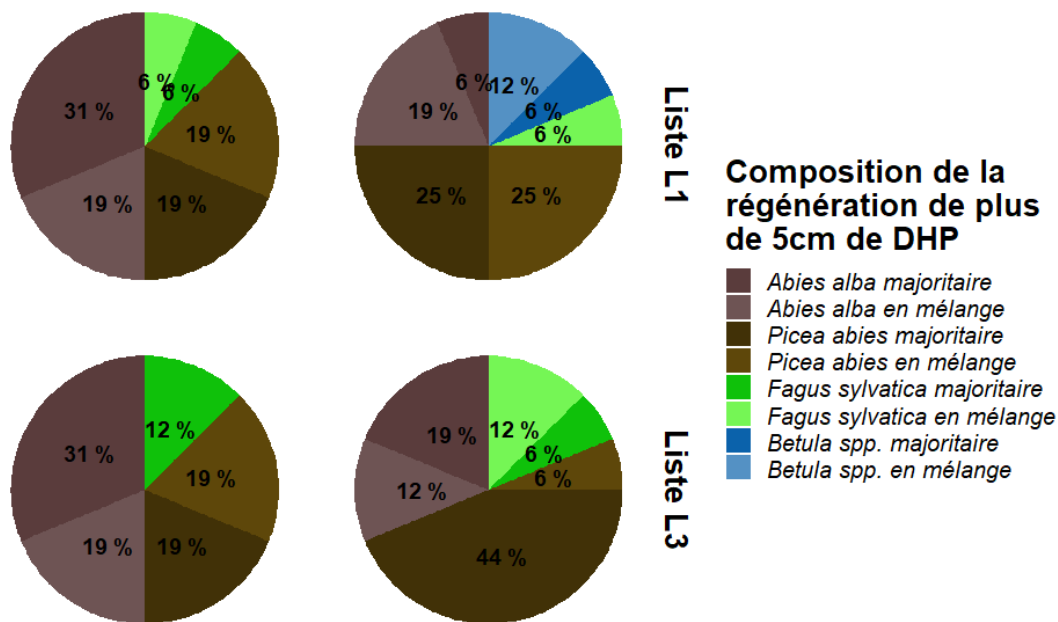


Pour les listes L1 et L3 : densité de tiges d'avenir 20 ans après tempête en fonction de la densité des semis trois ans après tempête. Les échelles des abscisses et des ordonnées sont différentes. Densité : nb/ha.

Composition

- Présence possible d'épicéa, de sapin, de hêtre et de bouleaux.
- La place du sapin régresse au fil du temps dans les régénérations.
- Le bouleau, qui fait son apparition dans plusieurs sites conserve ensuite sa place 20 ans plus tard.

3 ans après tempête 20 ans après tempête



Pour les listes L1 et L3 : proportion des types de composition de la régénération au sein de l'observatoire. Trois ans après tempête : tous les semis et 20 ans après tempête : tiges de plus de 5 cm de DHP.

Caractéristiques

Caractéristiques écologiques et biologiques fréquentes de ces régénérations au sein de l'observatoire :

- Les pessières se sont toutes régénérées en épicéa.
- Les sapinières ont eu une évolution plus variable :
 - 1/3 sont restées avec des régénérations majoritairement en sapin,
 - 1/3 est beaucoup plus mélangé en bouleau et hêtre,
 - 1/3 est régénéré en épicéa.
- Lorsque la pression des cervidés est trop forte, il y a souvent un appauvrissement de la diversité spécifique et notamment un basculement d'une sapinière vers une pessière.

Conseils de gestion :

- La sylviculture à appliquer aux peuplements de sapin ou d'épicéa issus des régénérations post tempête est décrite dans les guides déjà existants.
- Dans les cas d'un mélange d'essences (sapin, hêtre, bouleau), ce mélange est à préserver en assurant une place suffisante aux feuillus lors des coupes. Le mélange peut être accentué par des opérations de dégagement dans les 5 à 7 ans après la tempête.
- Dans le cas où le mélange des essences est compromis par le déséquilibre faune-flore, le propriétaire doit étudier la faisabilité économique et écologique de l'installation de protections (enclos, protections individuelles). Le coût élevé des protections, l'incertitude concernant l'avenir des plants en contexte climatique incertain, ainsi que la forte sensibilité des tiges à l'écorçage et au frottis lorsque les protections sont retirées, rendent ces situations difficiles à régénérer.

TYPE DE RÉGÉNÉRATION F1

Peuplement antécédent à hêtre

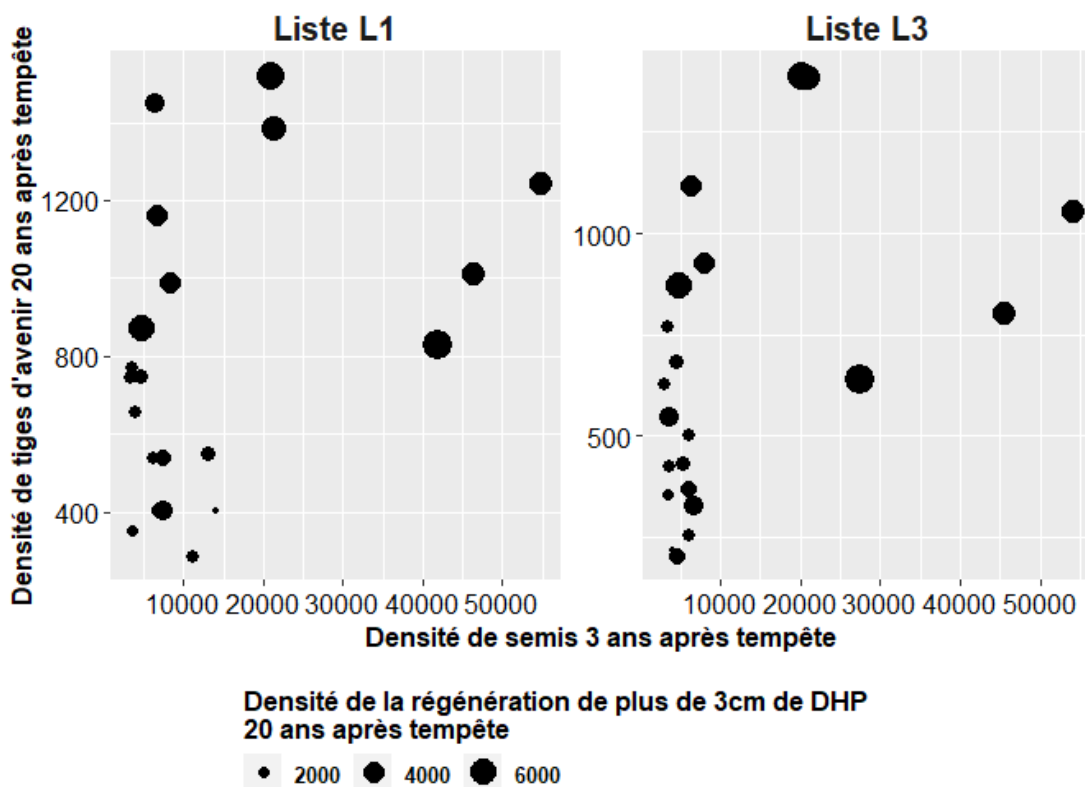
Fréquence : 22 % des sites (21)

Description générale de la régénération 20 ans après tempête

20 ans après passage de la tempête, la régénération est acquise quelle que soit la liste d'essences d'intérêt considérée.

Densité

La densité de semis trois ans après le passage de la tempête est forte ($\geq 2\,500$ semis/ha) quelle que soit la liste d'essences considérée (L1-L2-L3).

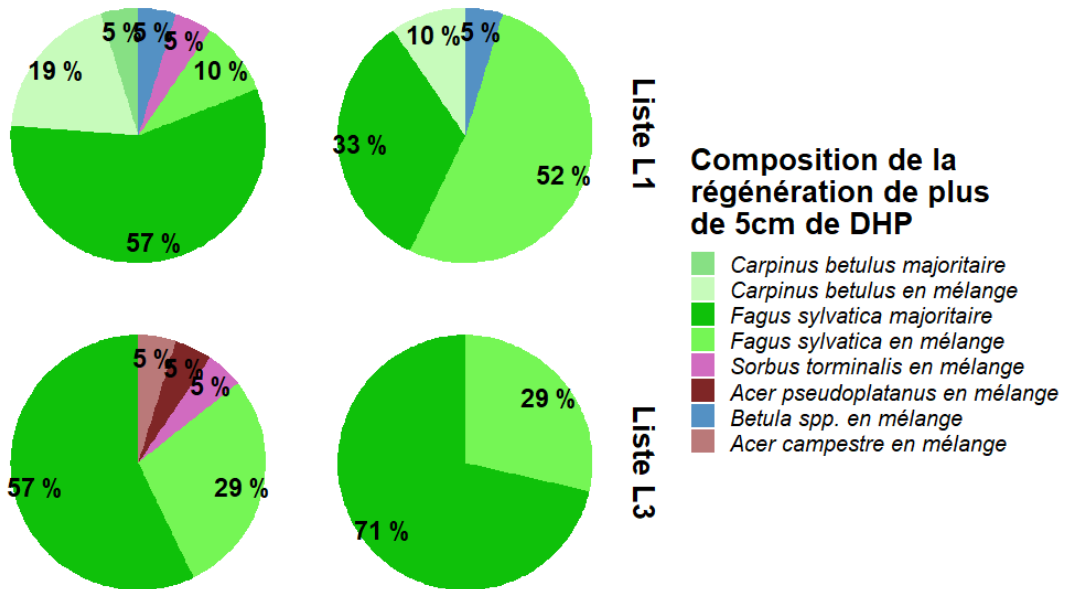


Pour les listes L1 et L3 : densité de tiges d'avenir 20 ans après tempête en fonction de la densité des semis trois ans après tempête. Les échelles des abscisses et des ordonnées sont différentes. Densité : nb/ha.

Composition

- L'essence principale de la régénération de plus de 5 cm de DHP 20 ans après passage de la tempête est en grande majorité le hêtre (90 % des sites).
- De nombreuses essences sont présentes en faibles proportions dans la régénération (ex. *Prunus avium*, *Quercus spp.*, *Sorbus torminalis*, *Acer campestre*, *Acer pseudoplatanus*, *Sorbus aria*) et certaines voient leur proportion dans la régénération diminuer 20 ans après passage de la tempête.
- Le frêne, présent en grande quantités dans certaines régénérations trois ans après passage des tempêtes, ne représente plus qu'une faible proportion de la régénération de plus de 5 cm de DHP 20 ans après passage de la tempête (il ne figure pas dans les représentations). C'est très vraisemblablement un effet fort de la chalarose.

3 ans après tempête 20 ans après tempête



Pour les listes **L1** et **L3** : proportion des types de composition de la régénération au sein de l'observatoire. Trois ans après tempête : tous les semis et 20 ans après tempête : tiges de plus de 5 cm de DHP.

Caractéristiques

Caractéristiques écologiques et biologiques fréquentes de ces régénérations au sein de l'observatoire :

La moitié des sites a une dynamique de régénération lente. Ces sites sont associés à un pH élevé et peuvent correspondre à des situations sur sols superficiels sur calcaire.

Gestion

Conseils de gestion :

- La régénération est acquise mais avec une dominance forte du hêtre qui est une essence extrêmement concurrente pour les autres essences feuillues. Or, pour accroître la résilience d'un peuplement, il est conseillé de favoriser le mélange des essences. Pour cela, des travaux de cloisonnement sylvicole, de dégagement et de nettoyage avec dosage des essences sont à engager. Ces travaux font l'objet de guides déjà existants auxquels le lecteur pourra se reporter.
- Les essences en mélange sont pour la plupart des feuillus qui ont besoin d'espace vital assez important et qui sont disséminés (8 % de feuillus précieux dans le hêtre). Les travaux devront donc s'attacher à pratiquer des détourages vigoureux de la cime des feuillus précieux tout en maintenant un gainage.
- L'efficacité de ces travaux reposera sur un diagnostic préalable des compétitions entre essences 5 à 8 ans après la tempête, et sur un repérage facilité des semis à favoriser par l'ouverture de cloisonnements sylvicoles tous les 8 à 10 mètres. Au besoin, les détourages pourront être réalisés par points d'appui assis par rapport aux cloisonnements pour réduire les coûts.

TYPE DE RÉGÉNÉRATION F2

Peuplement feuillus mélangés

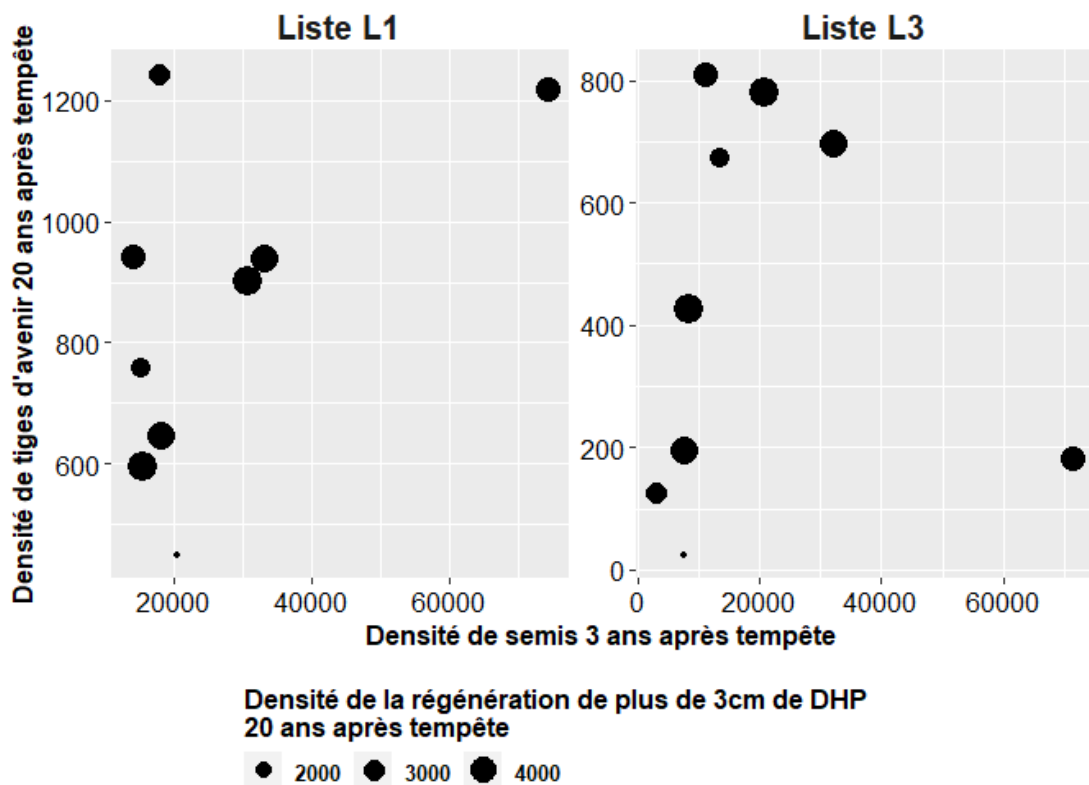
Fréquence : 10 % des sites (9)

Dynamique générale de la régénération 20 ans après tempête

Toutes les régénérations sont acquises 20 ans après tempête si le charme est considéré comme une essence d'intérêt. Deux sites ne sont considérés comme régénérés que si l'on considère le charme comme une essence d'intérêt.

Densité

La densité de semis trois ans après le passage de la tempête est forte ($\geq 2\,500$ semis/ha) quelle que soit la liste d'essences considérée (L1-L2-L3).

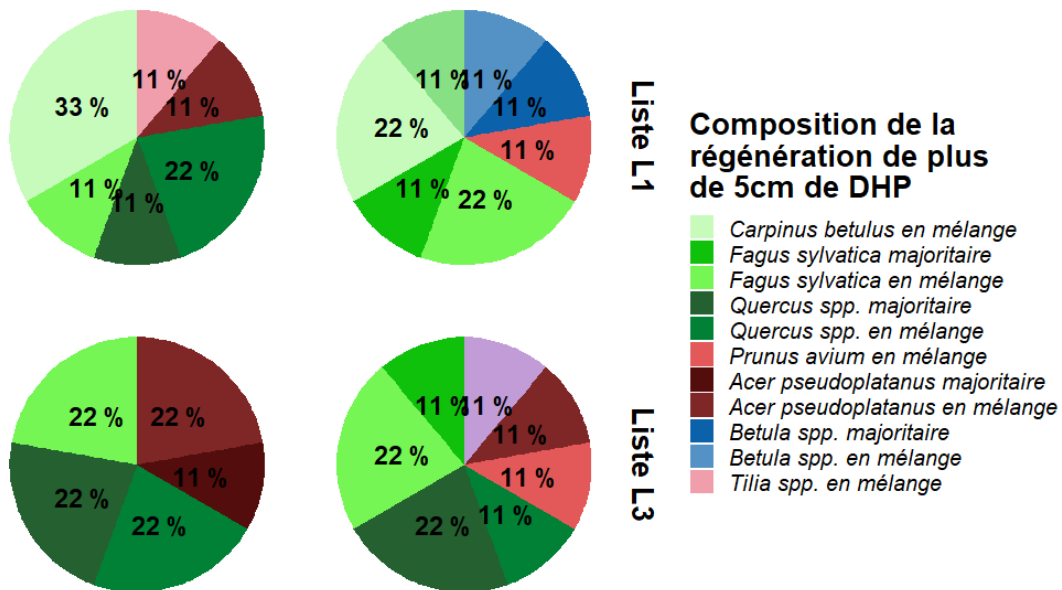


Pour les listes L1 et L3 : densité de tiges d'avenir 20 ans après tempête en fonction de la densité des semis trois ans après tempête. Les échelles des abscisses et des ordonnées sont différentes. Densité : nb/ha.

Composition

- Les régénérations de ce groupe sont les plus mélangées au sein de l'observatoire.
- Le hêtre et le charme sont deux essences fréquentes et compétitrices, toujours présentes dès l'installation et jusqu'au peuplement acquis 20 ans plus tard.
- *A contrario*, les chênes, même présents en quantité trois ans après la tempête, disparaissent quasiment de la régénération en 20 ans.
- Les érables, en particulier le sycomore, sont également bien présents dès l'installation et jusqu'au peuplement acquis 20 ans plus tard, et ce malgré une concurrence du hêtre assez marquée.

3 ans après tempête 20 ans après tempête



Pour les listes L1 et L3 : proportion des types de composition de la régénération au sein de l'observatoire. Trois ans après tempête : tous les semis et 20 ans après tempête : tiges de plus de 5 cm de DHP.

Caractéristiques

Caractéristiques écologiques et biologiques fréquentes de ces régénérations au sein de l'observatoire :

- Sols riches chimiquement à $\text{pH} > 5$ et altitude faible (< 400 m).
- Peuplements antécédents mélangés, les chênes étant présents sans dominance.

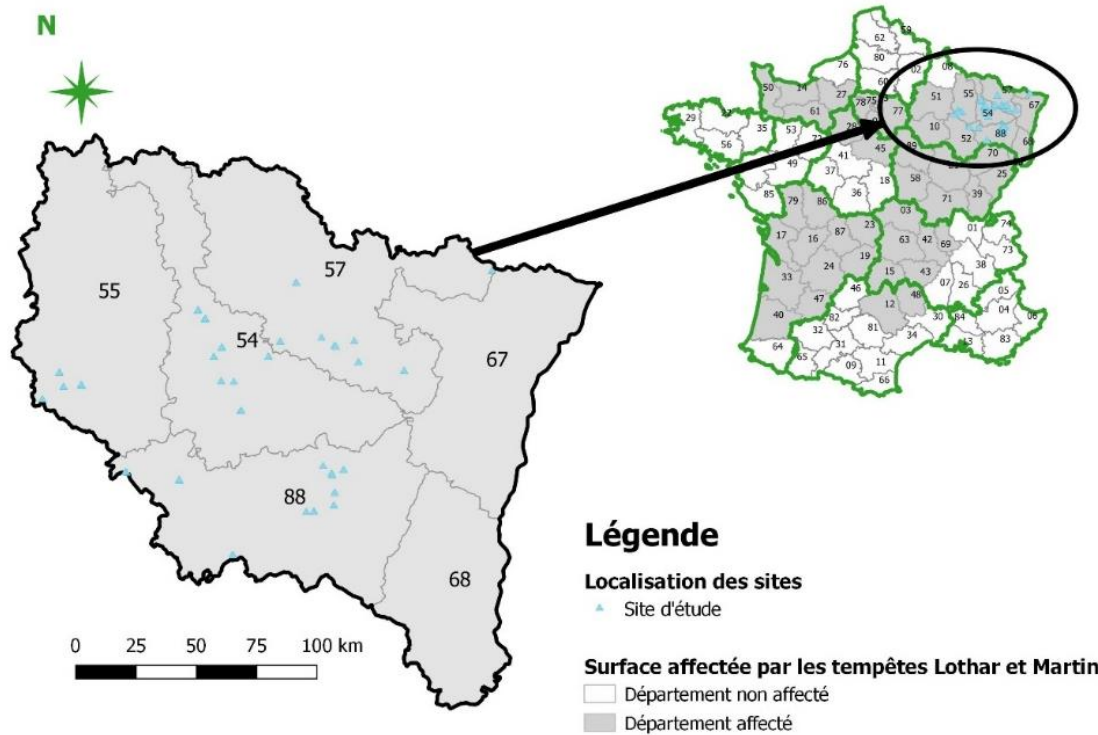
Gestion

Conseils de gestion :

- La conservation de la diversité des essences est très conseillée, surtout dans un contexte de changement climatique.
- Dans ce cadre, il est souhaitable d'intervenir au profit des essences autres que le hêtre et le charme, environ 7 à 8 ans après la tempête, en nettoyage et dosage d'essences, après mise en place de cloisonnements sylvicoles. Certains des peuplements antécédents étant des ex-TSF, d'anciens brins de taillis courbés et rejetant doivent alors être éliminés car ils sont très concurrents des tiges d'avenir.
- Cette opération peut être prolongée par un détourage lorsque le peuplement atteint 7 à 8 mètres de hauteur (tiges qualifiées pouvant être repérées assez facilement) destiné à créer un espace vital suffisant autour des feuillus précieux et à leur permettre d'installer leur houppier. Cette opération peut être au besoin réalisée en points d'appui pour réduire les coûts.
- La régénération de chêne qui s'installe de façon abondante ou disséminée doit être dégagée plusieurs fois de la concurrence des hêtres et charmes pour être viable, dès les premières années.
- La priorité à donner à ces investissements par un propriétaire doit être mise en relation avec l'état de l'équilibre faune-flore, toutes ces essences à favoriser étant appétentes.

LOCALISATION DES SITES DE L’OPM

Des forêts mitées sont suivies à l’échelle de la région Lorraine, région très affectée par les ouragans de 1999.



Carte de localisation des sites de l’observatoire des peuplements mités. Carte réalisée à partir des données de l’institut national de l’information géographique et forestière (IGN).

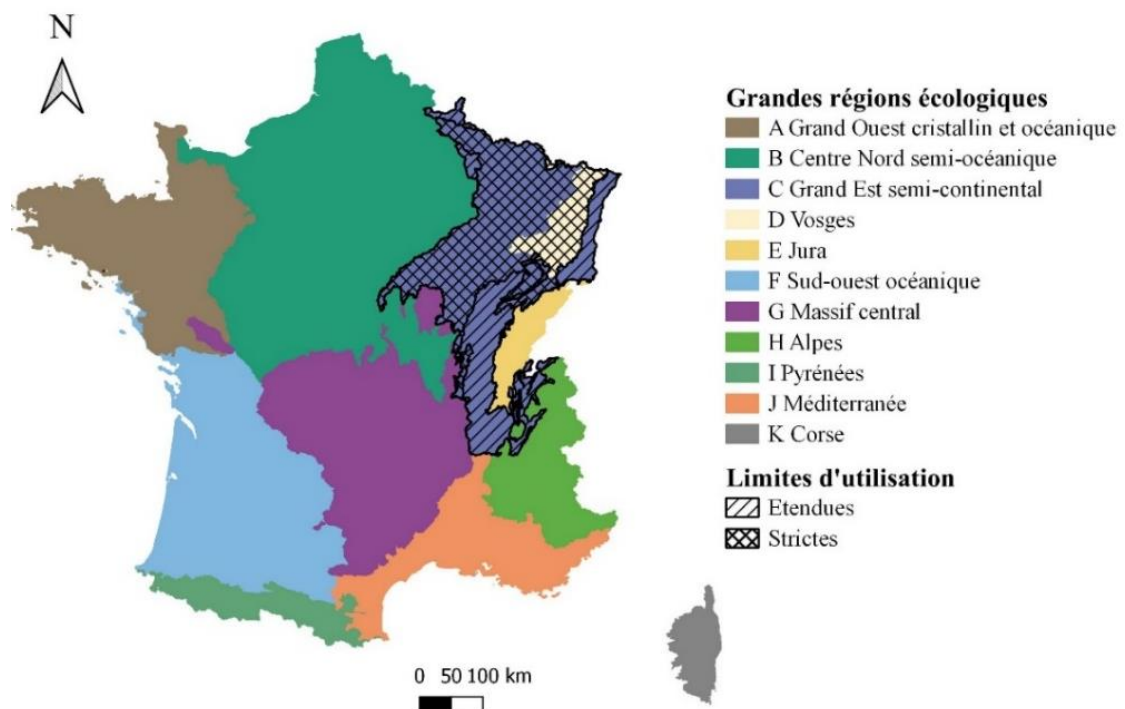
71 trouées analysées dans la région Lorraine

ZONE D'UTILISATION DU GUIDE

Le choix des limites d'utilisation de ce guide s'inscrit dans la démarche des sylvoécotérritoires (SER) et des Grandes Régions Écologiques (GRECO) définie par l'institut national de l'information géographique et forestière (IGN).

Ainsi, le territoire échantillonné permet la définition d'une **zone d'utilisation étendue** (GRECO avec plus de dix dispositifs de l'OPM) et d'une **zone d'utilisation stricte** (SER avec au moins un dispositif de l'OPM dans les GRECO sélectionnées).

La zone d'utilisation étendue du guide est représentée sur la carte ci-dessous par le secteur s'étendant sur les deux GRECO : C-Grand Est semi-continentale et D- Vosges.



Limites de la zone d'utilisation du guide – Carte réalisée à partir des données de l'institut national de l'information géographique et forestière (IGN).

ACQUISITION DES DONNÉES

PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE

Plusieurs gradients écologiques sont couverts par l'observatoire des peuplements mités :

- un **gradient de fertilité des sols** (pH),
- plusieurs **types de peuplements environnants**.

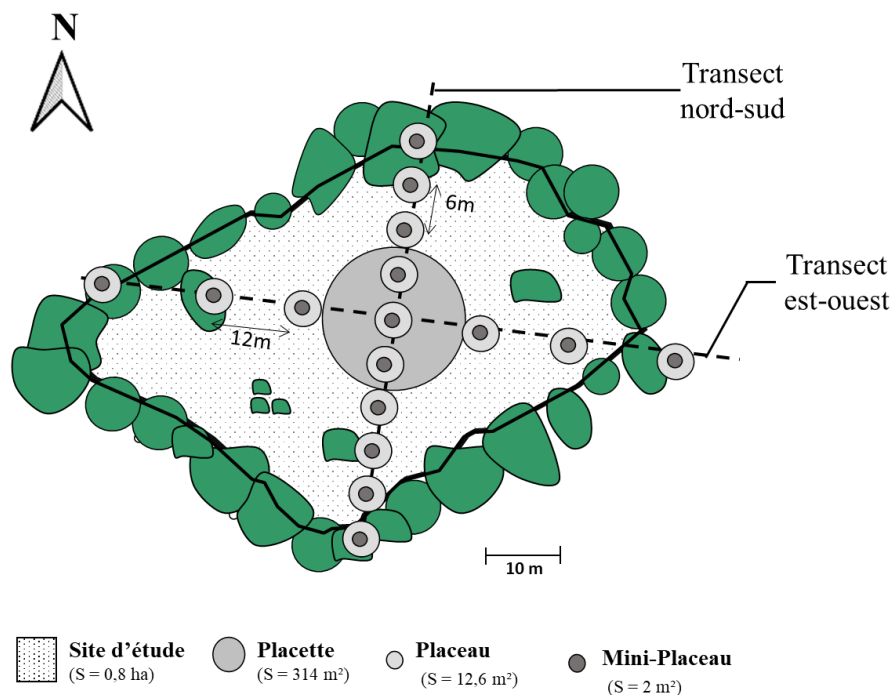
Niveau Trophique	Essence principale du peuplement environnant			Total
	Pa	Qs	MelF	
pH < 4.2 acide	1	3	4	8
4.2 ≤ pH < 5.5 peu acide	4	17	11	32
pH ≥ 5.5 eutrophe à calcaire	6	6	19	31
Total	11	26	34	71

Plan d'échantillonnage de l'observatoire des peuplements mités. (C-Grand Est semi-continentale et D-Vosges). Peuplement environnant : *Picea abies* (Pa), *Quercus* spp. (Qs), Feuillus en mélange (MelF).

DESIGN EXPÉRIMENTAL ET SUIVIS

Design expérimental

Une **unité expérimentale** de suivi d'un peuplement mité est constituée d'une **placette** circulaire de 10 m de rayon située au barycentre de la trouée. Dans chaque trouée, **plusieurs placeaux** de 2 m de rayon sont disposés le long de deux transects (un transect nord-sud et un transect est-ouest). Un **mini-placeau** de 0.8 m de rayon est imbriqué au centre de chaque placeau.



Design expérimental d'un dispositif de l'observatoire des peuplements mités.

Des suivis sont effectués à chacune des échelles de mesure (site d'étude / placette / plateau / mini-plateau). Il s'agit de données permettant de :

- (i) caractériser les **conditions environnementales** ;
- (ii) suivre **la dynamique de colonisation de la communauté végétale** et plus particulièrement la **dynamique de la régénération ligneuse**.

Caractérisation des conditions environnementales

Les conditions environnementales ont été caractérisées grâce à une description pédologique par horizon (fosse pédologique), une analyse chimique de la composition du sol, une description de l'hydromorphie et des caractéristiques écologiques locales (pente, altitude, exposition...). La détermination du type de peuplement environnant, le suivi des arbres en bordure des trouées et des arbres résiduels complètent cette description.

Suivis temporels des dynamiques

L'ensemble du cortège floristique a été suivi lors de **trois campagnes de mesure (en 2005, 2009 et 2018)**. Les données acquises sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Variable écologique suivie	Mesure correspondante
Composition floristique....	Relevé exhaustif des espèces - Abondance dominance
Couverture de la végétation par strate	Projection verticale (%) sur le sol de l'ensemble des organes aériens par strate de hauteur (trois strates : 0-0,5 m ; 0,5-2 m ; supérieur à 2 m).
Densité et composition de la régénération ligneuse.....	2005-2009 : densité par essence (toutes essences arborées), traces d'abrouissement, hauteur (cinq classes : 1-50 cm ; 50-100 cm ; 100-150 cm ; 150-200 cm ; \geq 200 cm). 2018 : densité par essence (toutes essences arborées), traces d'abrouissement, diamètre à hauteur de poitrine (DHP) si la hauteur de l'arbre \geq 1.3 m. Évaluation de la qualité sylvicole des tiges ayant un DHP \geq 5 cm (courbure basale, rectitude, fourchaison, état sanitaire...).
Encombrement.....	Couverture par les rémanents (%) et hauteur maximale des rémanents (cm).

Le protocole de suivi complet utilisé lors de la campagne de mesures 2018-2019 est disponible sur la page web du projet : <https://www6.nancy.inrae.fr/silva/Equipes-de-recherche/ForeSTree/Projets-Recherche/Post-tempete-2017-2020>

Cette page web permet de présenter le projet (contexte, objectifs, démarche...) et de diffuser l'ensemble des documents produits.



CARACTÉRISATION DU DEGRÉ D'ACQUISITION DE LA RÉGÉNÉRATION LIGNEUSE POST-TEMPÊTE

Afin d'apprécier le degré d'acquisition de la régénération naturelle 20 ans après passage de la tempête, une démarche en deux étapes a été suivie :

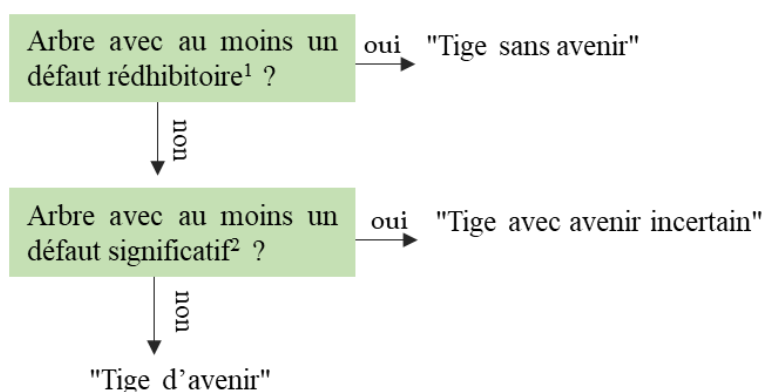
- (i) sélection des tiges d'avenir et d'accompagnement au sein de la régénération ;
- (ii) création de grilles d'évaluation des degrés d'acquisition par catégorie de composition de la régénération.

1-CARACTÉRISATION DES TIGES D'AVENIR ET D'ACCOMPAGNEMENT AU SEIN DE LA RÉGÉNÉRATION.

Tiges d'avenir

Une tige d'avenir est caractérisée par sa **vigueur**, sa **qualité** et son **essence** :

- **vigueur** : seules les tiges de plus de 5 cm de diamètre à hauteur de poitrine (DHP – 1m30 de hauteur) sont considérées pour leur caractère dominant (elles représentent 7 % du nombre total de tiges à l'échelle de l'observatoire des peuplements mités) ;
- **qualité externe** : les jeunes tiges ne doivent pas comporter de fourche, de courbure basale marquée, de défauts sanitaires... La caractérisation de la qualité technologique externe des tiges dominantes de la régénération post-tempête (tiges de DHP \geq 5 cm en 2018-2019) a été évaluée grâce à l'arbre décisionnel suivant :



¹ **Les principaux défauts rédhibitoires** : fourche de type 1 (diamètre et hauteur des deux brins équivalents à 10% près) à moins de 6 mètres de haut (toutes essences). Présence de chancre ou de chararose. Courbure basale supérieure à 40 cm. Cassure de l'axe principal.

² **Les principaux défauts significatifs** : fourche de type 1 à plus de 6 mètres de haut (hêtre - *Fagus sylvatica* uniquement). Fourche de type 2 (brin dominé dépassant 1/2 de la hauteur et les 2/3 du diamètre du brin dominant) à moins de 6 mètres de hauteur. Absence de fourche mais plus de trois grosses branches sur les deux premiers tiers de la tige. Courbure basale comprise entre 20 et 40 cm. Présence de frottis ou d'écorçage.

- **essence** : les tiges vigoureuses et de qualité ne sont ensuite retenues que si **l'essence est d'intérêt pour la production de bois d'œuvre** : l'essence doit être reconnue économiquement intéressante par la filière et doit avoir une production correcte pour une station donnée dans l'état des connaissances actuelles.

Les saules (*Salix spp*), le frêne commun (*Fraxinus excelsior*), le tremble (*Populus tremula*) et le sorbier des oiseleurs (*Sorbus aucuparia*) ne sont pas considérées comme des essences d'intérêt en raison de leur faible rôle de production ou de la forte incertitude sur leur survie.

Les essences considérées comme étant en station ont été définies grâce aux catalogues de station en vigueur (résultats variables en fonction de leur date de conception/révision). La liste des essences a été restreinte au vue des connaissances actuelles. Ainsi, l'épicéa (*Picea abies*) est considéré comme hors station en dessous de 400 m d'altitude à cause de sa forte mortalité observée actuellement dans les stations de plaines.

A l'inverse, certaines essences souvent absentes des catalogues de station mais ayant un intérêt sylvicole ont été rajoutées : le bouleau (*Betula pendula* et *Betula pubescens*), le charme (*Carpinus betulus*), le tilleul (*Tilia cordata* et *Tilia platyphyllos*)...

En complément, les essences dites de production ont été classées en trois listes, selon les hypothèses pouvant être retenues par le propriétaire. En effet, certaines essences sont habituellement appréciées de façons diverses, comme le bouleau, le charme et le tilleul dont l'usage en bois d'œuvre est souvent discuté.

Trois listes d'essences d'intérêt pour prendre en compte les attentes des propriétaires et gestionnaires forestiers :

-
- Liste L1** : Essences arborées selon Brosse (2000) avec un fort rôle de production et qui sont en station actuellement ; *Salix sp*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula* et *Sorbus aucuparia* exclues.
- Liste L2** : Les mêmes essences que la **Liste L1**, *Betula spp.* (*Betula pendula* et *Betula pubescens*) exclues.
- Liste L3** : Les mêmes essences que la **Liste L2**, *Carpinus betulus* et *Tilia spp.* (*Tilia cordata* et *Tilia platyphyllos*) exclues.
-

Tiges d'accompagnement

Les tiges qui peuvent avoir un rôle positif pour la confirmation des tiges d'avenir sont qualifiées de « tiges d'accompagnement ». Ainsi, toutes les tiges de plus de 3 cm de DHP sont considérées dans l'accompagnement sauf les tiges de saule pour leur effet compétitif souvent négatif et celles de frêne en raison de la forte incertitude sur leur survie.

2- CRÉATION DE GRILLES D'ÉVALUATION DES DEGRÉS D'ACQUISITION PAR CATÉGORIE DE COMPOSITION DE LA RÉGÉNÉRATION

Estimation de la surface à régénérer

Une zone tampon de 4 m à partir de la bordure (délimitée par les pieds des arbres en bordure de la trouée) est soustraite à la **surface totale** de la trouée pour calculer la **surface à régénérer** et tenir compte du surplomb des houppiers des arbres de bordure.

La prise en compte des trouées ayant une surface à régénérer de moins de 200 m² est intéressante pour comprendre les dynamiques de la régénération ligneuse à l'œuvre dans les peuplements mités. Cependant, elles sont par la suite exclues de l'analyse : en effet, 20 ans après passage de la tempête elles ne sont plus réellement identifiables sur le terrain et ne peuvent plus être considérées comme des trouées à régénérer par les gestionnaires. Ainsi, seules les trouées de plus de 200 m² sont utilisées dans ce travail pour comprendre l'acquisition de la régénération des peuplements mités : **seulement 56 trouées** sont concernées par la suite du guide.

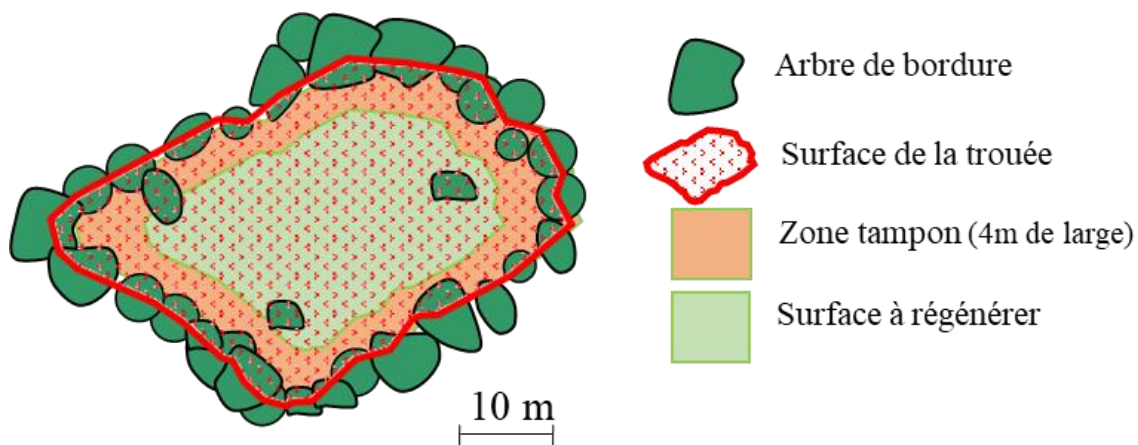


Schéma de la surface de la trouée à régénérer (ici, cette surface est de 670 m² et peut donc être retenue comme étant à renouveler).

Calcul de la densité de gros bois nécessaire pour combler la trouée

La densité de gros bois nécessaire pour combler la trouée à terme dépend de la surface moyenne couverte par un houppier mature. En utilisant les coefficients reliant la surface terrière d'un arbre à celle de l'extension de son houppier par essence, les moyennes suivantes peuvent être retenues :

	Surface moyenne d'un houppier mûre SH_{mo} (m ²)
Résineux	70
Feuillus	150

La densité de gros bois à avoir à terme pour combler la trouée est calculée grâce à la formule suivante : $dgb = \frac{10\,000}{SH_{mo}}$

Les données nécessaires à ce calcul ont été extraites des analyses produites par le suivi de peuplements irréguliers de référence de l'Association Futaie Irrégulière (AFI) que les auteurs remercient.

Démarche générale de construction des grilles

Pour obtenir à terme suffisamment d'arbres mûres pour combler la trouée, la densité minimale de tiges d'avenir 20 ans après passage de la tempête est fixée à trois fois la densité de gros bois que l'on souhaite obtenir à terme.

Ainsi, pour qu'une régénération post-tempête soit considérée comme « **acquise** », il faut 430 tiges d'avenir ramené à l'hectare « plein » pour les régénérations résineuses et 200 pour les régénérations feuillues. Dans le cas contraire, la régénération sera qualifiée de **problématique**.

Prise en compte des dynamiques lentes

Un site est considéré comme ayant une régénération « **acquise** » lorsque la densité de l'accompagnement (arbres de plus de 3 cm de DHP) est supérieure à 1 000 tiges/ha.

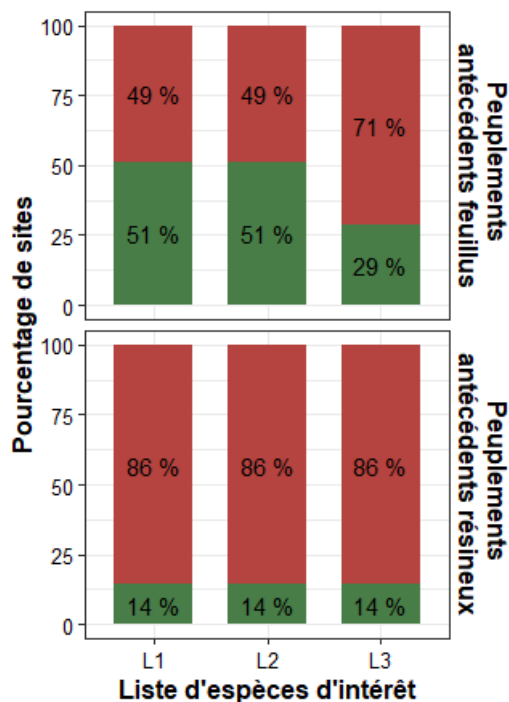


SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX RÉSULTATS

Acquisition de la régénération des peuplements mités – état des lieux 20 ans après passage de la tempête

- Rappel : seules les trouées de plus de 200 m² sont utilisées dans ce travail pour comprendre l'acquisition de la régénération des peuplements mités (soit **56 trouées**).

- Plus de **la moitié des sites de l'observatoire ont une régénération considérée comme acquise** en terme de densité de tiges d'avenir, avec une forte disparité entre peuplements feuillus ou résineux.



Acquisition de la régénération ligneuse post-tempête en fonction de la liste d'essences considérée et du peuplement antécédent. Listes construites à partir de la liste des arbres selon Brosse (2000).

Essences non considérées :

L1 : Fraxinus excelsior, Populus tremula, Salix spp., Sorbus aucuparia et essences non adaptées à la station,

L2 : les mêmes qu'en L1 et Betula spp. exclues,

L3 : les mêmes qu'en L2 et Carpinus betulus et Tilia spp. exclues.

Caractéristiques des régénérations des peuplements mités – état des lieux 20 ans après passage de la tempête

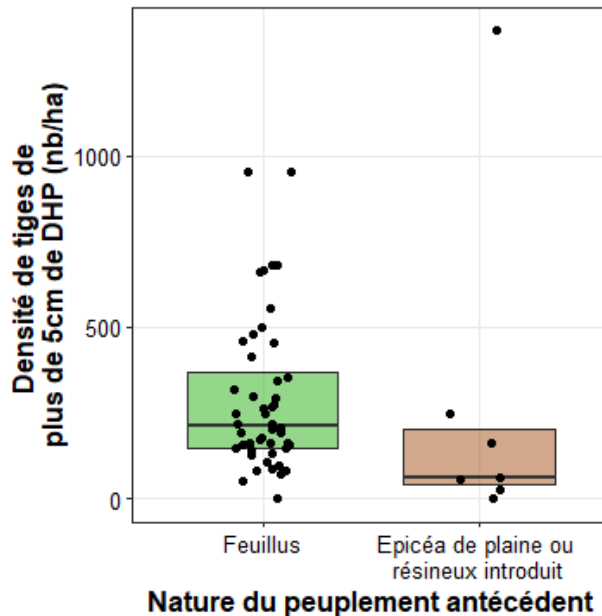
- Il y a **très peu d'essences pionnières** 20 ans après tempête contrairement à ce qui a été observé dans les peuplements dévastés.

- La croissance des semis est plus lente que pour l'observatoire des peuplements dévastés. En effet, la densité de tiges de plus de 5 cm de DHP est trois fois plus faible dans les trouées des peuplements mités que dans les peuplements dévastés.

- **La composition de la régénération ligneuse post-tempête ne reflète pas systématiquement la composition du peuplement environnant.** En particulier, les anciennes chênaies n'ont pas le chêne comme essence principale de la régénération 20 ans après tempête mais plutôt le hêtre ou le charme.

Peuplements résineux

- Les densités de régénération des **peuplements résineux**, (résultant tous d'introduction en situation de plaine) sont **très faibles** 20 ans après tempête. De plus, le couvert de la strate (0-0.5 m) est plus fort sous les anciens résineux.
- Plus de 80 % des sites avec un peuplement antécédent résineux n'ont pas connu d'installation de semis, ou dans des quantités très faibles. De plus, le plus souvent, ce sont des tiges d'essences feuillues qui sont présentes 20 ans après tempête.



Densité de tiges de plus de 5 cm de DHP de la liste L1 20 ans après tempête en fonction du type de peuplement environnant. Épicéa de plaine (altitude < 400 m) et les résineux introduits (*Pseudotsuga menziesii* et *Pinus nigra*).

Peuplements feuillus

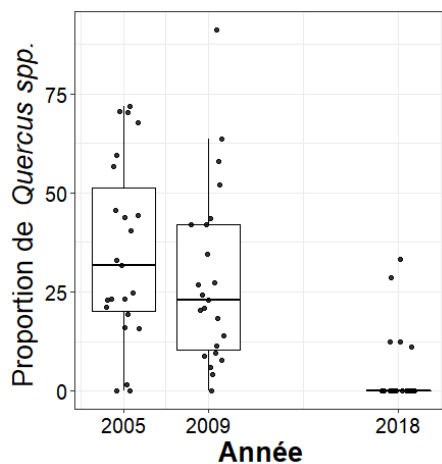
- **Pour ce qui concerne les peuplements feuillus, 41 % des sites de l'observatoire ont une régénération de plus de 5 cm de DHP monospécifique** 20 ans après le passage de la tempête (une essence représente au moins 80 % de la régénération – Liste L1). 20 ans après passage de la tempête, la régénération en hêtre représente 50 % des sites et celle en charme 45 %.
- 95 % des sites à peuplements antécédents feuillus sont régénérés à plus de 5 000 semis/ha six ans après tempête ; cette arrivée de semis se poursuit d'ailleurs 10 ans après la tempête.
- La régénération feuillue six ans après passage de la tempête est très souvent à base de hêtre et/ou de charme.

Dynamique de régénération des peuplements mités

- 75 % des trouées comportent des chênes et/ou des feuillus précieux six ans après tempête ; les chênes en particulier sont très présents dans toutes ces régénérations. La composition de la régénération de plus de 5 cm de DHP 20 ans après tempête est susceptible de différer fortement de celle de la régénération lors des stades précoces de la régénération post-tempête :

(i) La proportion de *Fagus sylvatica*, *Betula spp.* et *Salix spp.* dans la régénération de plus de 5 cm de DHP 20 ans après tempête est plus forte que la proportion de ces essences dans la régénération six ans après passage de la tempête. Il s'agit d'essences pionnières à croissance rapide et/ou d'essences dites d'ombre.

(ii) A l'inverse, la proportion de *Quercus spp.* dans la régénération de plus de 5 cm de DHP 20 ans après tempête est beaucoup plus faible que la proportion de cette essence dans la régénération six ans après passage de la tempête, voire aboutit à une quasi disparition. La compétition avec d'autres essences très concurrentes peut expliquer en partie cette dynamique, de même que la forte appétence des chênes pour les ongulés.

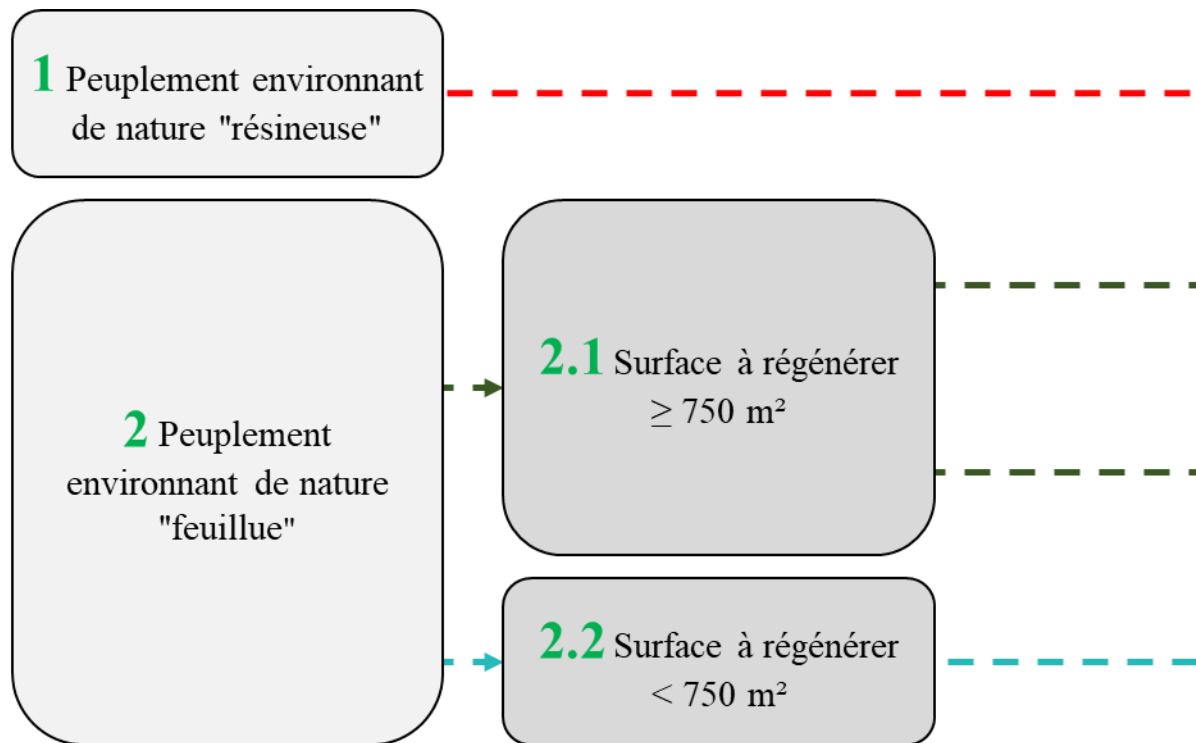


Dynamique temporelle de la proportion de chêne dans la régénération post-tempête. Tous les semis de plus d'un an et de plus de 10 cm de hauteur sont concernés en 2005 et 2009, mais uniquement les tiges de DHP ≥ 5 cm en 2018. Sites conservés pour chaque graphique : sites pour lesquels l'essence représente au moins 15 % de la régénération post-tempête lors d'au moins une campagne de mesures.

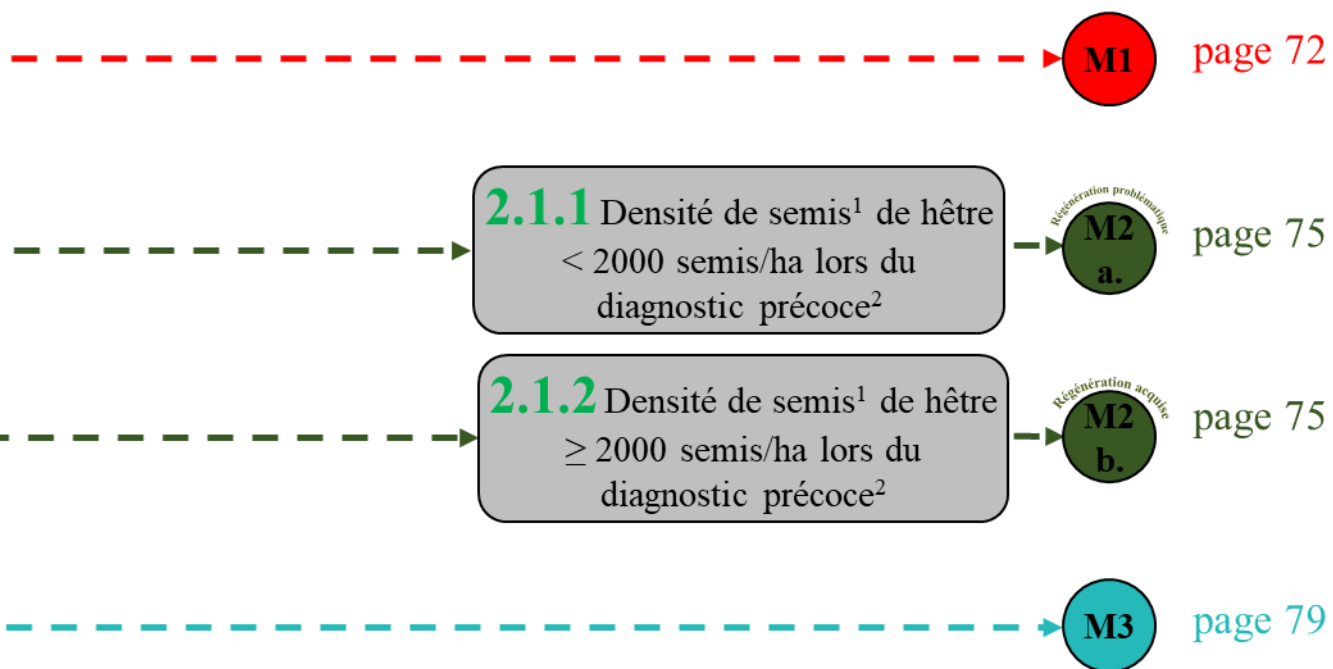
- La caractérisation et le suivi de la composition de la régénération est nécessaire pour les gestionnaires forestiers qui ne souhaitent pas obtenir des régénérations dominées par le charme ou le tilleul ou qui sont intéressés par la conservation d'essences de fort intérêt (chêne, feuillus précieux et essences plus adaptées aux sécheresses estivales).

- Le recours à des travaux sylvicoles (dosage du mélange, amélioration de la qualité, gestion de la compétition, gestion des arbres préexistants) sera indispensable dans la dizaine d'années suivant le passage d'une tempête dans de nombreuses régénérations de peuplements mités. Le recours à des plantations d'enrichissement peut aussi être envisagé dans les cinq ans suivant la tempête si le propriétaire souhaite par exemple renforcer le mélange naturel par des essences plus résistantes aux sécheresses estivales.

CLÉ DE DÉTERMINATION



¹ Densité des semis d'essences d'intérêt de plus d'un an et de plus de 10 cm de hauteur. Densité évaluée visuellement comme très satisfaisante ou quantifiée plus précisément si nécessaire. En effet, dans le cas de faibles densités à évaluer, la faible hauteur des semis couplée à une répartition spatiale souvent très hétérogène rendent l'estimation visuelle délicate. Il est alors conseillé de procéder à des comptages par échantillonnage (cf. « *Comment réaliser un diagnostic ?* » **page 68**).



² Ce seuil reflète l'échantillonnage qui a été effectué dans le cadre de cet observatoire et il faut le considérer comme un ordre de grandeur du fait de la forte variabilité spatiale de la densité des semis (cf. "*Limites d'utilisation et perspectives*" page 96).

COMMENT RÉALISER UN DIAGNOSTIC ?

En cas de faible densité de semis d'intérêt estimée visuellement lors de la visite de terrain, il est conseillé de quantifier la densité de semis moyenne à l'échelle de la trouée pour pouvoir utiliser la clé de détermination.

Il convient de préciser à ce stade que ce qui est recherché est un ordre de grandeur pour confirmer une très faible densité de semis, qui est difficile à détecter visuellement, surtout lorsque les semis sont de petite taille et lorsque des rémanents peuvent compliquer leur visualisation.

A priori, si la densité de semis d'intérêt ou de hêtre paraît déjà suffisante lors de la première inspection visuelle de la trouée, il est conseillé de ne pas procéder au comptage et de considérer que la densité de semis est supérieure à 2 000 semis/ha.

Dans le cas contraire, il est conseillé de procéder à des comptages par placeaux, en soulignant bien que très souvent la taille de la trouée ne permettra pas de réaliser suffisamment de placeaux pour aboutir à une moyenne précise. Cependant, cela permettra de conforter ou non le fait d'être loin du seuil des 2 000 semis /ha qui lui-même est donné comme un ordre de grandeur.

Méthode d'échantillonnage – inventaire par placeaux

Plusieurs stratégies d'échantillonnage sont possibles, mais nous proposons un **inventaire par placeaux**.



Pour chaque placeau (2 m de rayon) : compter le nombre de semis de plus d'un an et de plus de 10 cm de hauteur. Le comptage peut être plafonné à 12 semis par placeau et par essence (correspondant à 10 000 semis/ha). Il est recommandé de dénombrer les semis par essence de manière à pouvoir utiliser les listes proposées dans ce guide (listes **L1**, **L2** et **L3**) et pour avoir une idée de leur diversité.

Calculer la moyenne des densités obtenues par placeau pour obtenir la **densité moyenne à l'échelle de la trouée**. En effet, compte tenu de la variabilité spatiale constatée dans les sites de l'OPM et de la surface restreinte des placeaux, chaque valeur ne peut être utilisée en tant que telle.

Organisation et nombre de placeaux

Les placeaux ne doivent pas se situer trop près de la lisière formée par les pieds des arbres de bordure de la trouée. Une distance minimale de l'ordre de 4 mètres entre cette lisière et la bordure des placeaux doit être observée.

Les placeaux doivent être répartis du mieux possible à l'intérieur de la trouée, et peuvent avoir une distance minimale entre leurs bordures de 4 mètres.

Leur nombre est bien sûr dépendant de la taille de la trouée. 20 placeaux, compte tenu de la précision nécessaire et du temps à passer raisonnablement dans une grande trouée (jusqu'à 0.5 ha mais la plupart sont de 0.1 à 0.2 ha au sein de l'observatoire) paraît être un maximum. Dans les trouées de petites tailles, l'application des distances par rapport à la lisière et entre placeaux va conditionner leur nombre, qui sera inférieur à ce maximum.

LA FICHE : MODE D'EMPLOI

Chaque fiche descriptive du type de régénération est construite sur le même modèle. Les trois fiches sont présentées à partir de la [page 72](#).

Les fiches ont été créées par rapport aux sites prédits correctement par la clé.

Régénération problématique
MI

TYPE DE RÉGÉNÉRATION MI

1 **Régénérations problématiques des peuplements mixtes résineux (épicéas de plaine et pin sylvestre) Fréquence : 18 % des sites (9)**

2 **Description générale de la régénération 20 ans après tempête : la régénération est problématique, quelles que soient les essences d'intérêt retenues.**

3 **Densité**
La densité de semis six ans après le passage de la tempête est variable mais la densité de tiges d'avenir 20 ans après passage de la tempête est toujours très faible de soit la liste d'essences considérées (liste L1, L2 et L3).
Les sites à peuplements résineux environnant n'ont pas connus d'installation de semis, ou dans des quantités très faibles.

4 **Densité de semis 6 ans après tempête**

5 **Composition**
Les sites n'ont pas d'installation de semis.
Les essences principales de la régénération de plus de 5 cm de DHP 20 ans après tempête sont diverses. Le plus souvent, ce sont des essences feuillues qui sont déjà présentes six ans après tempête.

6 ans après tempête

20 ans après tempête

6 **Composition de la régénération dominante**

- Abies alba en mélange
- Pinus sylvestris majoritaire
- Pinus avium majoritaire
- Betula spp. en mélange
- Carpinus betulus en mélange
- Quercus spp. majoritaire
- Pas de régénération

Proportion des types de composition de la régénération au sein de l'observatoire (liste L1). Six ans après tempête : semis de plus d'un an et 20 ans après tempête : tiges de plus de 5cm de DHP.

7 **Caractéristiques**
Caractéristiques écologiques et biologiques fréquentes de ces régénérations au sein de l'observatoire :
- Le peuplement environnant est une plantation d'épicéas de plaine (sept sites) ou un mélange avec du pin sylvestre (deux sites).

7 **Gestion**

Objet de gestion :
L'objectif principal concerne l'avenir du peuplement résineux environnant : quel est son état sanitaire ? Quel est son avenir par rapport à l'évolution climatique ? S'agissant de peuplements de basse altitude (altitude < 400 m pour les anciennes plantations d'épicéas), la reconstruction doit être raisonnée à l'échelle du peuplement dans son ensemble.
- Investir à l'échelle de la trouée semble peu pertinent ; si toutefois un investissement à cette échelle était envisagé, le recours à une plantation en bouquet d'essences résistantes à la sécheresse estivale serait possible. Cet investissement doit également être mesuré par rapport aux efforts de protection contre les cervidés à mettre en place le cas échéant.

73

74

TYPE DE RÉGÉNÉRATION M1

Régénérations problématiques des peuplements mités résineux (épicéas de plaine et pin sylvestre)

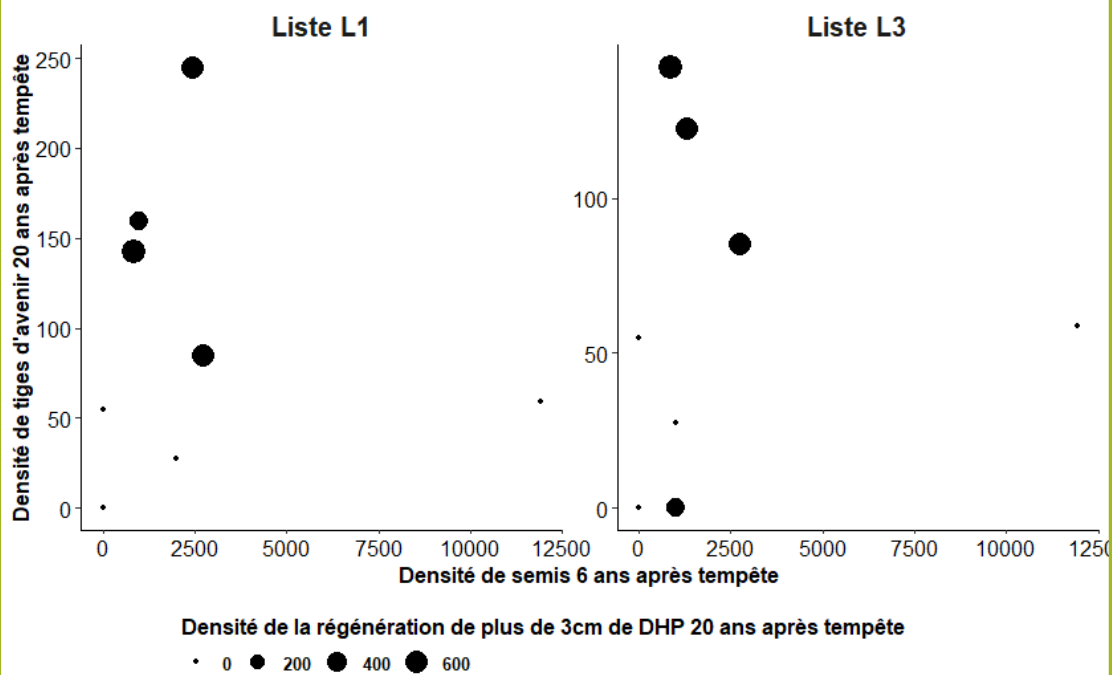
Fréquence : 18 % des sites (9)

Description générale de la régénération 20 ans après tempête

La régénération est problématique, quelles que soient les essences d'intérêt retenues.

Densité

- La densité de semis six ans après le passage de la tempête est variable mais la densité de tiges d'avenir 20 ans après passage de la tempête est toujours très faible quelle que soit la liste d'essences considérées (liste L1, L2 et L3).
- 86% des sites à peuplements résineux environnant n'ont pas connu d'installation de semis, ou dans des quantités très faibles.

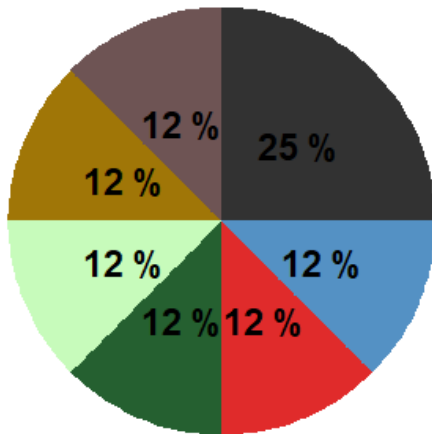


Pour les listes L1 et L3 : densité de tiges d'avenir 20 ans après tempête en fonction de la densité des semis six ans après tempête. Les échelles des abscisses et des ordonnées sont différentes. Densité : nb/ha.

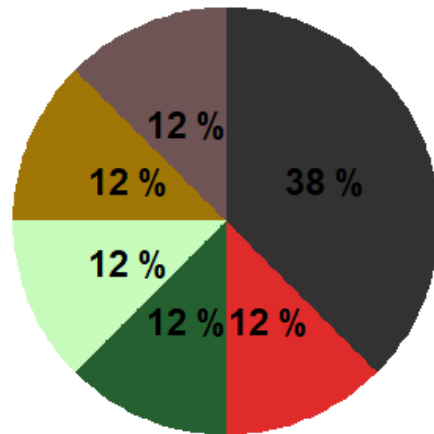
Composition

- Plusieurs sites n'ont pas d'installation de semis.
- Les essences principales de la régénération de plus de 5 cm de DHP 20 ans après tempête sont diverses. Le plus souvent, ce sont des essences feuillues qui sont déjà présentes six ans après tempête.

6 ans après tempête



20 ans après tempête



Composition de la régénération dominante

- | | |
|---|---|
|  <i>Abies alba</i> en mélange |  <i>Prunus avium</i> majoritaire |
|  <i>Pinus sylvestris</i> majoritaire |  <i>Betula</i> spp. en mélange |
|  <i>Carpinus betulus</i> en mélange |  Pas de régénération |
|  <i>Quercus</i> spp. majoritaire | |

*Proportion des types de composition de la régénération au sein de l'observatoire (liste LI).
Six ans après tempête : semis de plus d'un an et 20 ans après tempête : tiges de plus de 5 cm de DHP.*

Caractéristiques

Caractéristiques écologiques et biologiques fréquentes de ces régénérations au sein de l'observatoire :

- Le peuplement environnant est une plantation d'épicéa de plaine (sept sites) ou un mélange avec du pin sylvestre (deux sites).

Conseils de gestion :

- L'enjeu principal concerne l'avenir du peuplement résineux environnant : quel est son état sanitaire ? Quel est son avenir par rapport à l'évolution climatique ? S'agissant de peuplements de basse altitude (altitude < 400 m pour les anciennes plantations d'épicéas), la reconstitution doit être raisonnée à l'échelle du peuplement dans son ensemble.
- Investir à l'échelle de la trouée semble peu pertinent ; si toutefois un investissement à cette échelle était envisagé, le recours à une plantation en bouquet d'essences résistantes à la sécheresse estivale serait possible. Cet investissement doit également être mesuré par rapport aux efforts de protection contre les cervidés à mettre en place le cas échéant.



Régénération des trouées de grande surface

Fréquence : 42 % des sites (21)

Description générale de la régénération 20 ans après tempête

- L'évolution observée sur les sites de l'observatoire rentrants dans cette catégorie conduit à distinguer deux types de situations :

M2-a. Les régénérations problématiques - 30 % des sites sont dans ce cas.

M2-b. Les régénérations acquises avec hêtre présent en grande quantité lors du diagnostic précoce- 70 % des sites sont dans ce cas.

- Les sites de **M2-a.** ont une régénération problématique 20 ans après le passage de la tempête si l'on ne considère pas les bouleaux, le charme et les tilleuls comme des essences d'intérêt. Par contre si ces essences sont considérées comme des essences d'intérêt et que le tilleul est présent dans la régénération lors du diagnostic précoce, la régénération est considérée comme acquise (trois sites).

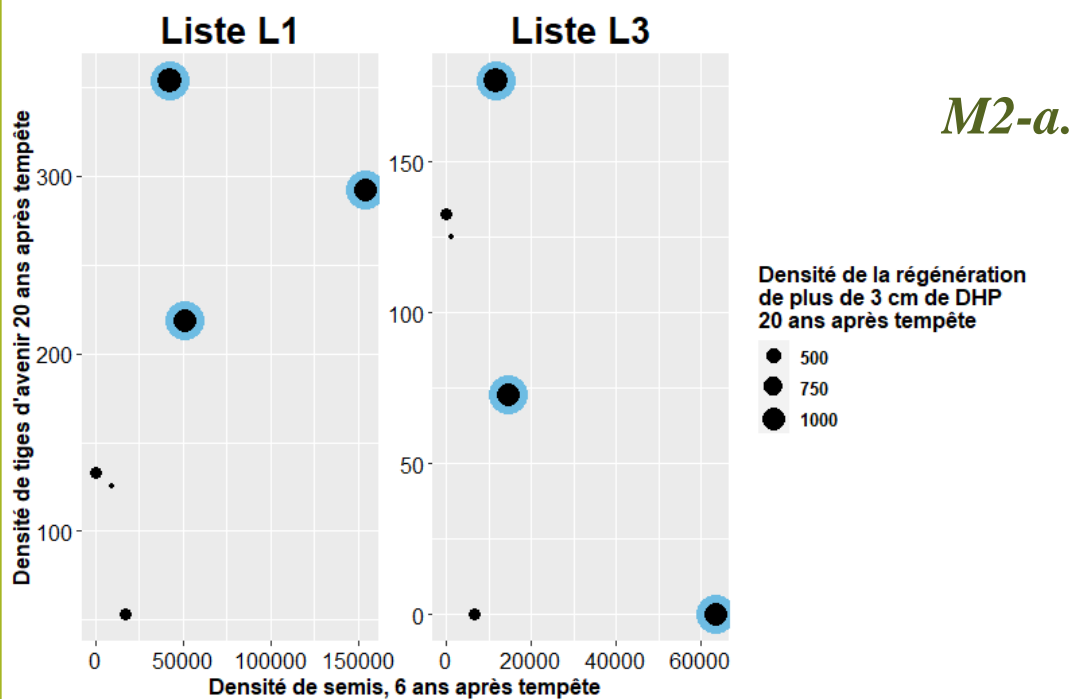
- Les sites de **M2-b.** présentent une bonne acquisition de la régénération 20 ans après le passage de la tempête quelle que soit la liste d'essences d'intérêt considérée.

Densité

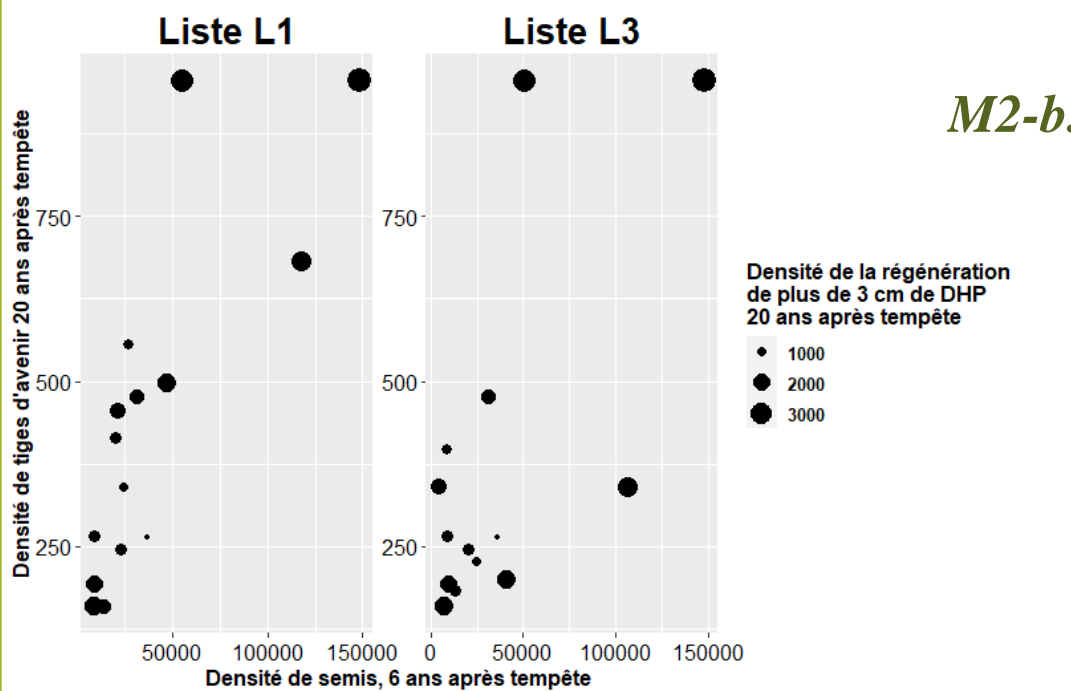
- La densité de semis trois ans après le passage de la tempête est variable. La question de l'installation des semis n'est généralement pas problématique.

- La densité de tiges d'avenir de plus de 5 cm de DHP 20 ans après passage de la tempête est forte si l'on considère les bouleaux, charmes et tilleuls comme des essences d'intérêt.

Densité



M2-a.



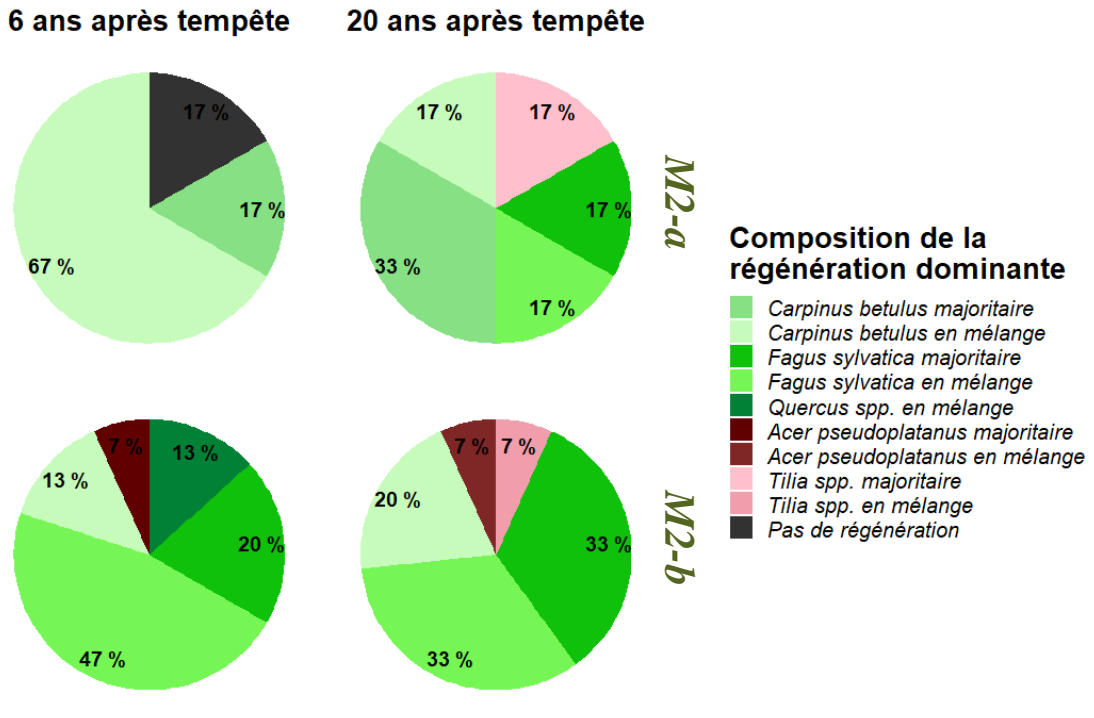
M2-b.

Densité de tiges d'avenir de la liste L1 et L3 20 ans après tempête en fonction de la densité des semis de la liste L1 et L3 six ans après tempête. M2-a : sites qui avaient moins de 2 000 semis de hêtre lors du diagnostic. ● Une auréole bleue entoure les trois sites qui présentent une régénération acquise avec du tilleul présent dans la régénération 6 ans après passage de la tempête. M2b : sites qui avaient plus de 2 000 semis de hêtre lors du diagnostic
Densité : nb/ha.

Composition

M2-a et M2-b - L'essence principale de la régénération post-tempête est majoritairement le charme, le hêtre ou le tilleul lors du diagnostic précoce et/ou 20 ans après tempête.

Il y a une forte perte des chênes et des feuillus précieux entre 2009 et 2018 en libre évolution.



Pour les listes L1 et L3 : proportion des types de composition de la régénération au sein de l'observatoire. Six ans après tempête : semis de plus d'un an et 20 ans après tempête : tiges de plus de 5 cm de DHP.

Caractéristiques

Caractéristiques écologiques et biologiques fréquentes de ces régénérations au sein de l'observatoire :

- Le peuplement environnant est une chênaie ou un mélange feuillu.
- pH entre 4 et 7.7 et altitude inférieure à 450 m.

Conseils de gestion :

- Il est important de raisonner le niveau d'investissement en fonction des possibilités de mise en valeur des bois (potentiel de la station, accessibilité de la forêt), de l'avenir du peuplement environnant, de l'état de l'équilibre faune-flore et plus largement des enjeux pour le propriétaire.
- La question de l'installation des semis n'est généralement pas problématique ; mais les phénomènes de compétition et une lumière trop réduite, souvent dans un contexte de déséquilibre faune-flore, aboutissent 20 ans après la tempête sans intervention à un appauvrissement de la diversité spécifique et même à des densités totales trop faibles pour l'établissement d'un peuplement d'avenir.
- Des interventions sont donc conseillées : voir la fiche **T5 page 93**.
- Un enrichissement avec des essences plus résistantes aux sécheresses estivales peut être une opportunité dans ce contexte.

Régénération des trouées de petite surface

Fréquence : 40 % des sites (20)

Description générale de la régénération 20 ans après tempête

L'évolution observée sur les sites de l'observatoire rentrant dans cette catégorie conduit à distinguer deux types de situations :

M3-a. Les régénérations qui restent problématiques quelle que soit la liste d'essences considérée- 67 % des sites sont dans ce cas.

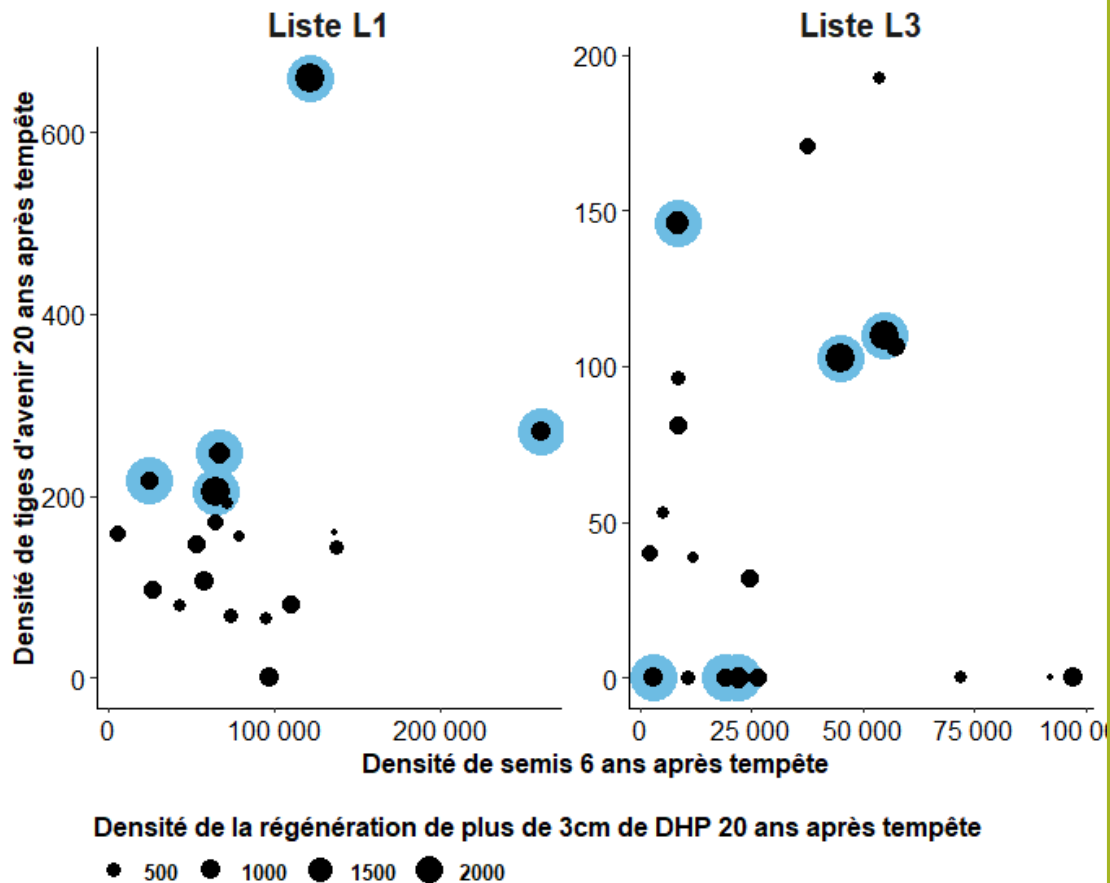
M3-b. Les régénérations acquises lorsque les bouleaux, le charme et les tilleuls sont considérées comme des essences d'intérêt- 33 % des sites sont dans ce cas.

- La distinction entre ces deux types de sites est difficile à faire à partir d'un diagnostic précoce.

Nota : Six petites trouées classées M3 de l'observatoire ont une régénération acquise avec la liste L3. Ils ne sont pas présentés ici mais le lecteur est appelé à considérer le groupe M3a comme assez hétérogène, pouvant conduire à des développements de tiges de charme correctes.

Densité

La densité de semis trois ans après le passage de la tempête est variable ($0 < \text{densité} < 140\ 000$ semis/ha). La densité de tiges d'avenir de plus de 5 cm de DHP 20 ans après passage de la tempête est faible.

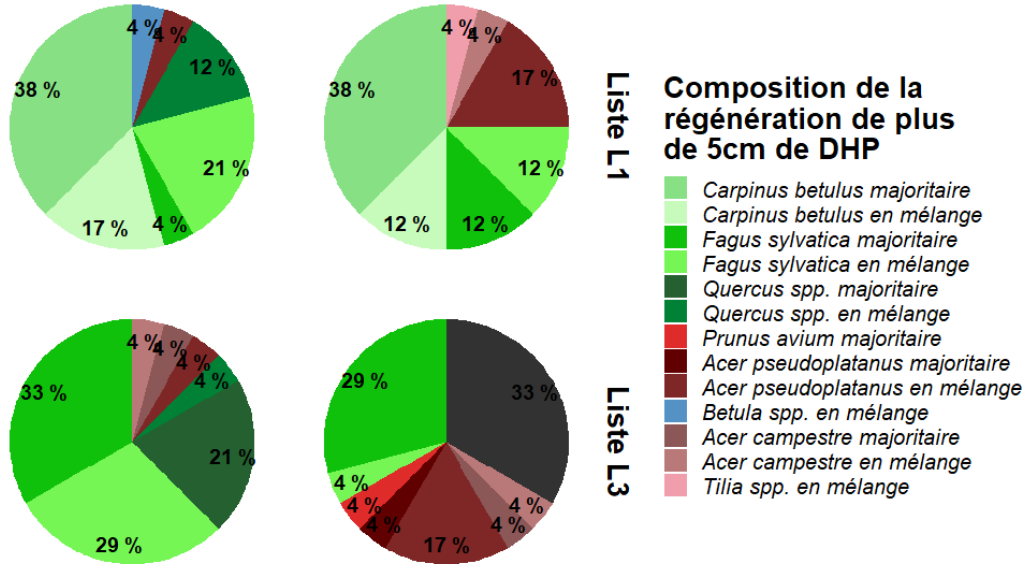


Densité de tiges d'avenir de la liste **L1** et **L3** 20 ans après tempête en fonction de la densité des semis de la liste **L1** et **L3** six ans après tempête. ● Une auréole bleue entoure les six sites **M3-b** qui présentent une régénération acquise si l'on considère les bouleaux, le charme et les tilleuls comme des essences d'intérêt. Densité : nb/ha.

Composition

- Les essences principales de la régénération post-tempête sont majoritairement le charme et le hêtre.
- Il y a une forte perte des chênes et des feuillus précieux entre 2009 et 2018 en libre évolution.

3 ans après tempête 20 ans après tempête



Pour les listes **L1** et **L3** : proportion des types de composition de la régénération au sein de l'observatoire. Six ans après tempête : semis de plus d'un an et 20 ans après tempête : tiges de plus de 5 cm de DHP.

Caractéristiques

Caractéristiques écologiques et biologiques fréquentes de ces régénérations au sein de l'observatoire :

- Le peuplement antécédent était une chênaie ou un mélange feuillu.
- pH entre 4 et 7.7 et altitude inférieure à 450 m.

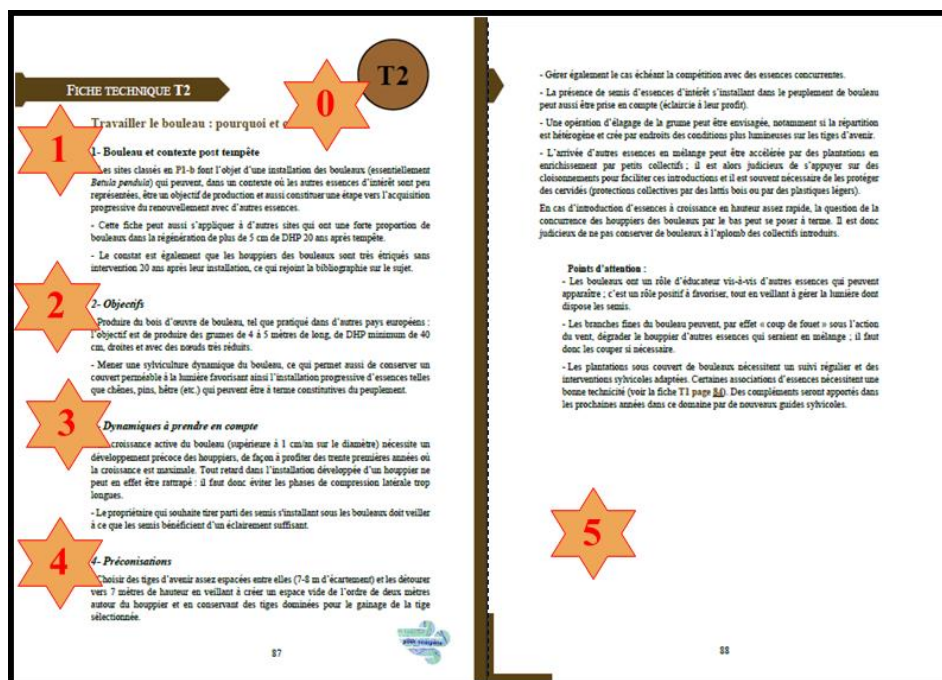
Gestion

Conseils de gestion :

- Il est important de raisonner le niveau d'investissement en fonction des possibilités de mise en valeur des bois (potentiel de la station, accessibilité de la forêt), de l'avenir du peuplement environnant, de l'état de l'équilibre faune-flore et plus largement des enjeux pour le propriétaire. Il est à mettre en regard de la faible surface de ces trouées.
- La question de l'installation des semis n'est généralement pas problématique. Cependant, les phénomènes de compétition et surtout une lumière trop réduite, souvent dans un contexte de déséquilibre faune-flore, aboutissent 20 ans après la tempête sans intervention à (1) un appauvrissement de la diversité spécifique et (2) des densités totales trop faibles pour l'établissement d'un peuplement d'avenir.
- Des interventions sont donc conseillées, en particulier pour agir sur le peuplement environnant : voir la fiche **T5 page 93**.

LA FICHE TECHNIQUE : MODE D'EMPLOI

Chaque fiche descriptive du type de travaux sylvicoles est construite sur le même patron. Cinq fiches sont présentées à partir de la **page 84**.



0 Nom et identifiant de la fiche technique

Dénomination de la pratique sylvicole pouvant être conseillée.

1 Dans le contexte post tempête

Sites concernés par ces pratiques dans le cadre spécifique du renouvellement des peuplements sinistrés par la tempête.

2 Objectifs

Description des objectifs potentiels conduisant à recourir à ce type de pratiques sylvicoles.

3 Dynamiques à prendre en compte

Description des principales dynamiques de la régénération ligneuse à considérer lors de la mise en œuvre de ces pratiques.

4 Préconisations

Principaux conseils sylvicoles et points auxquels il faut apporter une attention particulière.

5 Références

Documents qui font référence concernant ce type de pratiques.

Reconstituer en cas de régénérations problématiques

1- Contexte post tempête et résilience

Cette fiche concerne :

- les sites classés en **P1-a** qui présentent une régénération naturelle non satisfaisante, avec des densités toutes essences confondues très faibles ;
- les sites classés en **P1-b**, qui présentent une arrivée échelonnée de bouleau en quantité suffisante. Le bouleau est toutefois considéré par le propriétaire comme une essence d'accompagnement et ne suffisant pas à assurer un peuplement d'avenir ;
- les sites classés en **P2** où là aussi les bouleaux, charmes ou tilleuls qui se sont installés en densité suffisante ne sont toutefois considérés par le propriétaire que comme des essences d'accompagnement.

Actions :

La reconstitution par plantation, en plein ou par enrichissement, est alors une solution pour assurer l'avenir du peuplement. Elle doit aussi :

- favoriser la résistance et la résilience des peuplements reconstitués, notamment en termes de mélanges d'essences par rapport aux sécheresses estivales redoutées dans le contexte de changement climatique ;
- assurer une certaine biodiversité et diminuer les risques biotiques ou ceux liés aux variations du marché du bois, là aussi en diversifiant les essences ;
- être parcimonieux vis-à-vis des investissements dans des contextes post tempête qui requièrent souvent des moyens financiers importants.
- tenir compte de l'état de l'équilibre faune-flore en évaluant la faisabilité économique et écologique de l'installation de protections (enclos, protections individuelles).

2- Objectifs

- Compléter les régénérations naturelles partielles lorsqu'il y a présence d'essences d'intérêt mais en trop faible densité pour assurer la formation d'arbres de qualité, ou pour renforcer la résistance future aux sécheresses estivales.
- Planter en enrichissement dans les recrûs naturels qui comportent des essences d'accompagnement ou des semis d'essences non adaptées à la station et/ou à son évolution future.
- Planter en plein lorsque les recrûs naturels ne permettent pas d'adopter les solutions d'enrichissement ou de complémentation.

Dans tous les cas :

- Privilégier et accentuer au besoin la diversité des essences, en accordant une attention particulière à celles fournissant une certaine assurance vis-à-vis du changement climatique (essences locales résistantes à la sécheresse estivale, provenances adaptées, essences allochtones résistantes).
- Installer ou compléter en privilégiant des implantations par bouquets, bandes, etc., d'assez faibles dimensions pour limiter les risques ultérieurs de dépérissement massif.

3- Dynamiques à prendre en compte

- Pour les sites classés en **P1-b** et en **P2**, il est fortement souligné que la végétation ligneuse en place constitue une aide efficace pour éduquer les plants qui seraient introduits, plutôt qu'un obstacle concurrentiel à éliminer.
- Il faut en tenir compte dès les travaux préparatoires à la plantation, comme par exemple en recourant à des travaux du sol localisés plutôt qu'un travail en plein.
- Une part significative de ces situations est observée derrière des peuplements antécédents résineux sur sols acides donc assez pauvres chimiquement. Les rémanents issus de l'exploitation des chablis doivent donc être laissés le plus possible sur le terrain, de façon éparpillée. Cette pratique est facilitée par un travail localisé du sol (un travail en plein pouvant demander la constitution d'andains dans lesquels les rémanents vont être concentrés).
- Cette situation est souvent observée derrière des peuplements antécédents résineux d'altitude qui sont en situation de fort déséquilibre sylvo-cynégétique.

4- Préconisations

- Se reporter aux manuels et guides de reboisement, ainsi qu'aux prescriptions nationales ou locales pour les choix d'essences et les techniques d'installation.
- En particulier, les associations d'essences en bouquets doivent s'appuyer sur les principes de synécologie de ces essences en fonction de la station forestière.

Points d'attention :

- Les plantations nécessitent un suivi régulier et des interventions sylvicoles adaptées.
- Certaines associations d'essences nécessitent une bonne technicité. Des compléments seront apportés dans les prochaines années dans ce domaine par de nouveaux guides sylvicoles.
- Recourir à des plantations, notamment avec des essences plus résistantes aux stress hydriques, impose le plus souvent de pouvoir installer des plants appétents pour les cervidés. Il est conseillé de régler avant tout un éventuel déséquilibre faune-flore. Dans le cas contraire, des protections devront être mises en place, augmentant fortement les coûts de plantation.
- Dans de rares cas, une couverture dense de végétation concurrente peut s'installer, pouvant bloquer la régénération (fougère aigle...). Le recours à une plantation rapide est alors conseillé.
- Les travaux envisagés doivent bien sûr respecter les réglementations en vigueur (loi sur l'eau, respect des zones humides, directives Natura 2000, charte de Parc national...).
- Le niveau d'investissement, comprenant les frais d'installation mais aussi d'entretien et de suivi, doit être raisonné en fonction des moyens disponibles : dans les situations **P1-b** et **P2**, tirer parti de la végétation ligneuse d'intérêt ou d'accompagnement peut permettre la réduction des coûts.

Références

- DRAAF, 2014. *Guide technique « réussir la plantation forestière ». Contrôle et réception des travaux de reboisement*. 3^{ème} édition, 80 p.



Travailler le bouleau : pourquoi et comment ?

1- Bouleau et contexte post tempête

- Les sites classés en **P1-b** font l'objet d'une installation des bouleaux (essentiellement *Betula pendula*) qui peuvent, dans un contexte où les autres essences d'intérêt sont peu représentées, être un objectif de production et aussi constituer une étape vers l'acquisition progressive du renouvellement avec d'autres essences.
- Cette fiche peut aussi s'appliquer à d'autres sites qui ont une forte proportion de bouleaux dans la régénération de plus de 5 cm de DHP 20 ans après tempête.
- Le constat est également que les houppiers des bouleaux sont très étriqués sans intervention 20 ans après leur installation, ce qui rejoint la bibliographie sur le sujet.

2- Objectifs

- Produire du bois d'œuvre de bouleau, tel que pratiqué dans d'autres pays européens : l'objectif est de produire des grumes de 4 à 5 mètres de long, de DHP minimum de 40 cm, droites et avec des nœuds très réduits.
- Mener une sylviculture dynamique du bouleau, ce qui permet aussi de conserver un couvert perméable à la lumière favorisant ainsi l'installation progressive d'essences telles que chênes, pins, hêtre (etc.) qui peuvent être à terme constitutives du peuplement.

3- Dynamiques à prendre en compte

- La croissance active du bouleau (supérieure à 1 cm/an sur le diamètre) nécessite un développement précoce des houppiers, de façon à profiter des trente premières années où la croissance est maximale. Tout retard dans l'installation développée d'un houppier ne peut en effet être rattrapé : il faut donc éviter les phases de compression latérale trop longues.
- Le propriétaire qui souhaite tirer parti des semis s'installant sous les bouleaux doit veiller à ce que les semis bénéficient d'un éclaircissement suffisant.

4- Préconisations

- Choisir des tiges d'avenir assez espacées entre elles (7-8 m d'écartement) et les détourner vers 7 mètres de hauteur en veillant à créer un espace vide de l'ordre de deux mètres autour du houppier et en conservant des tiges dominées pour le gainage de la tige sélectionnée.

- Gérer également le cas échéant la compétition avec des essences concurrentes.
- La présence de semis d'essences d'intérêt s'installant dans le peuplement de bouleau peut aussi être prise en compte (éclaircie à leur profit).
- Une opération d'élagage de la grume peut être envisagée, notamment si la répartition est hétérogène et crée par endroits des conditions plus lumineuses sur les tiges d'avenir.
- L'arrivée d'autres essences en mélange peut être accélérée par des plantations en enrichissement par petits collectifs ; il est alors judicieux de s'appuyer sur des cloisonnements pour faciliter ces introductions et il est souvent nécessaire de les protéger des cervidés (protections collectives par des lattis bois ou par des plastiques légers).

En cas d'introduction d'essences à croissance en hauteur assez rapide, la question de la concurrence des houppiers des bouleaux par le bas peut se poser à terme. Il est donc judicieux de ne pas conserver de bouleaux à l'aplomb des collectifs introduits.

Points d'attention :

- Les bouleaux ont un rôle d'éducateur vis-à-vis d'autres essences qui peuvent apparaître ; c'est un rôle positif à favoriser, tout en veillant à gérer la lumière dont dispose les semis.
- Les branches fines du bouleau peuvent, par effet « coup de fouet » sous l'action du vent, dégrader le houppier d'autres essences qui seraient en mélange ; il faut donc les couper si nécessaire.
- Les plantations sous couvert de bouleaux nécessitent un suivi régulier et des interventions sylvicoles adaptées. Certaines associations d'essences nécessitent une bonne technicité (voir la fiche **T1 page 84**). Des compléments seront apportés dans les prochaines années dans ce domaine par de nouveaux guides sylvicoles.

Travaux dans les peuplements feuillus après pin noir

1- Renouveau feuillu spontané post tempête

- Les sites classés en **R2** font l'objet d'une installation de feuillus diversifiés, en lien avec les stations riches chimiquement où ont été implantés les pins noirs en plaine. Une partie de ces feuillus sont également issus de rejets (tilleuls, charmes, érables...) et peuvent être très présents à côté de semis de francs pieds ou supposés être de francs pieds.
- Ces régénérations naturelles renferment des essences précieuses qui nécessitent d'être mises en valeur.

2- Objectifs

- Produire du bois d'œuvre de feuillus précieux (érables, alisiers...), de chêne et de feuillus divers (charme, bouleau, tilleul).
- Mener une sylviculture dynamique pour toutes ces essences d'intérêt qui offrent aussi, pour certaines d'entre elles, une résistance vis-à-vis des sécheresses estivales pouvant être provoquées par le changement climatique.
- Mettre en valeur ces peuplements spontanés évite aussi de recourir à nouveau à une plantation qui, sur ces stations, sera coûteuse et risquée.

3- Dynamiques à prendre en compte

- La plupart des essences d'intérêt s'installant dans ces régénérations feuillues sont rapidement très concurrencées au niveau de leurs houppiers, entraînant des pertes de croissance et des mortalités, ou a minima des déformations importantes des tiges (courbures, fourches...) rendant les grumes impropres à un usage par la filière bois.
- C'est bien lors de la phase de croissance initiale et de qualification que la situation se dégrade, la phase d'installation étant acquise. En effet, laisser les tiges d'intérêt en libre évolution pendant 20 ans amène à en perdre beaucoup et ainsi à se situer à la limite inférieure nécessaire pour constituer un peuplement d'avenir, alors que le stock initial de semis 5 ans après la tempête était très important.

4- Préconisations

- Installer des cloisonnements sylvicoles (10 mètres maximum d'entre-axe) de façon à faciliter les travaux sylvicoles. Cette ouverture de cloisonnements peut être réalisée assez rapidement après la tempête (3 ans environ) pour faciliter le diagnostic à poser sur le site en termes de densité et pour évaluer la diversité du mélange d'essences.
- Intervenir en nettoyage lorsque la régénération a 6 à 7 mètres de hauteur pour éliminer assez systématiquement les « loups » qui peuvent prendre beaucoup de place dans le peuplement car issus de rejets ou de tiges très courbées. Les « loups » d'essences particulièrement compétitrices (saules, tilleuls, charme, hêtre) doivent être particulièrement ciblés par cette opération.
- Accompagner ce nettoyage par le détournement des houppiers des tiges d'intérêt, en particulier pour celles à croissance en hauteur plus lente (chêne, alisier torminal...).
- Veiller toutefois à conserver les tiges dominées qui ne gênent pas les tiges d'intérêt détournées, de façon à faciliter l'élagage naturel de ces-dernières jusqu'à 5 mètres de haut. Pour les tiges d'avenir à croissance en hauteur soutenue, n'éliminer que de très forts concurrents.

Points d'attention :

- Les bouleaux, s'ils sont présents, ont un rôle d'éducateur vis-à-vis des essences d'intérêt ; c'est un rôle positif à favoriser.
- Une opération ultérieure d'élagage de certaines tiges peut être envisagée. Elle sera d'autant plus facile à réaliser que les branches à couper seront fines (diamètre inférieur à 3 cm environ).
- Intervenir par la suite en éclaircie dès que possible, souvent vers 12-13 mètres de hauteur ; l'annélation des tiges concurrentes à ce stade peut aussi être envisagée.

Rattrapage :

- N'intervenir que 20 années après la tempête est déconseillé. Toutefois, dans ce cas, il peut être procédé à un détournement des tiges d'avenir restantes après leur désignation. Cette désignation, au moins temporaire, est importante pour détecter et visualiser les tiges d'intérêt qui sont souvent difficiles à quantifier au sein d'un peuplement de qualité médiocre, conduisant à sous-estimer le potentiel d'avenir.

autres essences. Laisser des bouleaux permet d'améliorer la forme des autres tiges qui verront leurs branches latérales ne pas trop se développer et s'horizontaliser.

- Intervenir en nettoyage lorsque la régénération a 7 mètres de hauteur pour éliminer les « loups » (pins sylvestres notamment qui ont cherché la lumière et qui présentent des tiges sinueuses).

- Accompagner ce nettoyage par un détournage des cimes des tiges de meilleure qualité, en particulier au profit des chênes s'ils sont jugés d'intérêt sur la station.

- Veiller à conserver les tiges dominées qui ne gênent pas les tiges d'intérêt détournées, de façon à faciliter leur élagage naturel.

Points d'attention :

- Les bouleaux ont un rôle d'éducateur vis-à-vis des essences d'intérêt ; c'est un rôle positif à favoriser. Il faut toutefois veiller à couper les bouleaux dont les branches, sous l'effet du vent, pourrait par « effet coup de fouet » dégrader les houppiers trop proches des autres essences d'intérêt.

- Ultérieurement, le détournage des tiges d'intérêt pourra être poursuivi, par exemple par annélation des tiges concurrentes.

- Il est possible d'envisager une production intermédiaire de bouleaux de qualité (se référer à la fiche **T2 page 87** pour leurs caractéristiques) par exemple lorsqu'ils forment des bouquets sans autre essence d'intérêt ou de façon plus lâche en mélange dans le peuplement.

- Le pin sylvestre connaît depuis quelques années des dépérissements et il convient d'être prudent dans son choix comme essence d'intérêt dans les stations où les sécheresses estivales pourraient se manifester. Au besoin, des plantations en enrichissement d'essences plus résistantes peuvent être envisagées dans les stades jeunes des régénérations en profitant des zones non suffisamment régénérées.

Peuplements mités : conseils de gestion génériques

1- Contexte post tempête et résilience

- Les conseils de gestion pour un propriétaire souhaitant investir dans les peuplements mités post tempête sont génériques à toutes les situations avec un peuplement environnant feuillu. Des modulations sont cependant précisées selon la taille, grande (M3) ou petite (M2), de la trouée.
- La démarche s'attache à obtenir un renouvellement correct à l'échelle de la trouée, mais ne préjuge pas des décisions à prendre par le propriétaire à une échelle plus vaste (parcelle, forêt...).

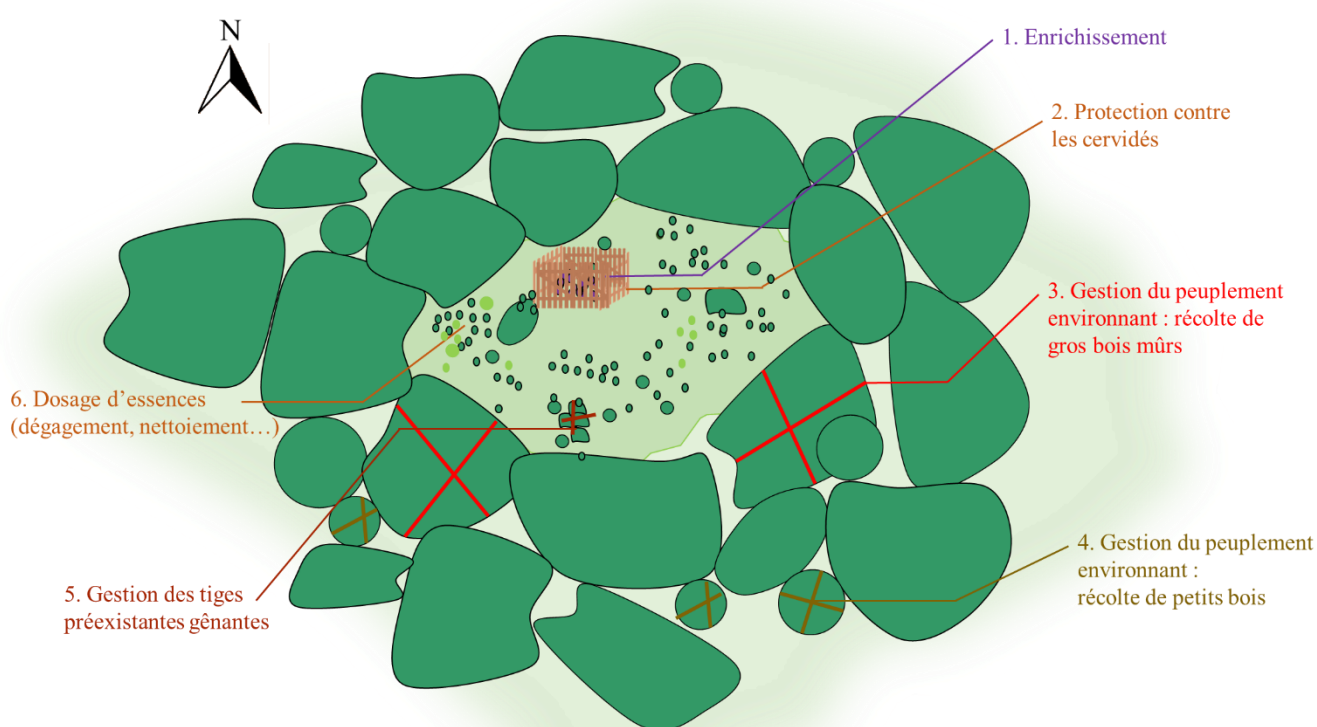


Schéma illustrant les enjeux de la reconstitution des peuplements mités.

2- Objectifs

- Produire du bois d'œuvre de qualité : pour cela, l'objectif est d'obtenir au sein d'une trouée trois perches d'avenir (essence d'intérêt, qualité de la grume sur 5 mètres de hauteur) par « équivalent gros bois ou très gros bois » produit à terme.
- Dans la mesure du possible, la diversité des essences doit être encouragée, et des enrichissements sont aussi proposés pour prendre en compte le changement climatique et installer des essences plus résistantes aux sécheresses estivales.

3- Dynamiques à prendre en compte

- L'installation des semis n'est généralement pas problématique, y compris avec des essences comme les chênes, les érables, les merisiers, les alisiers. Leur présence est avérée six ans et jusqu'à neuf ans après le passage de la tempête.
- Un enrichissement par petits collectifs (groupes de 7 à 12 plants) avec des essences plus résistantes aux sécheresses estivales ou plus en accord avec les objectifs du propriétaire peut être une opportunité dans ce contexte. Cet enrichissement peut avoir lieu 4 à 6 ans après la tempête pour profiter des essences installées et les compléter.
- En absence d'un équilibre faune flore, il est conseillé de protéger contre les cervidés par des lattis bois ou par des dispositifs légers collectifs en plastique les zones de régénération naturelle souhaitée ou les plants mis en place. L'installation de protections individuelles (gainés) peut aussi être envisagée mais demande un entretien régulier.
- Des travaux de dégagement et ultérieurement de nettoyage doivent être prévus pour réduire la compétition exercée sur les tiges de fort intérêt sylvicole. L'absence de travaux est préjudiciable à la croissance de tiges de qualité et est indispensable pour doser les essences, et notamment conserver des essences qui sont victimes de la compétition interspécifique que le hêtre, le charme ou le tilleul peuvent engendrer vis-à-vis des autres essences d'intérêt (chênes, érables, fruitiers, ...). En effet, la puissance de cette compétition a largement été mise en évidence, en particulier dans le cas de l'observatoire post tempête.
- Les travaux de dégagement peuvent être pratiqués par cassage, ce qui a l'avantage, entre autres, de conserver une protection basse des semis ou plants d'avenir.

4- Préconisations

Gestion des tiges pré-existantes

- La plupart des sites ont une assez forte densité d'arbres préexistants (cépées et/ ou franc pied). Or, la qualité de ces arbres est très généralement mauvaise alors qu'ils sont responsables d'un fort effet de compétition sur la régénération post-tempête : modifications de formes, mortalité. Lors du premier dégagement ou d'une plantation, il faut donc intervenir pour les exploiter ou les anneler, afin d'augmenter les conditions de lumière au sein des trouées. Ne pas procéder à ces coupes pourrait avoir un effet très

négatif sur la croissance des semis de chênes et de feuillus précieux. Ceci est d'autant plus important que les trouées sont de petite taille (M2).

Gestion du peuplement environnant

- Dans la plupart des trouées et particulièrement dans celle de type M2, la quantité de lumière devient trop faible sans intervention pour assurer une croissance correcte des semis au-delà de leur installation, et pour maintenir des conditions suffisamment favorables pour les semis ou plants d'essences plus héliophiles.

- Dans la mesure du possible, la récolte d'arbres mûrs, particulièrement ceux situés au Sud de la trouée doit être envisagée.

- Et il faut y associer la récolte d'arbres dominés, souvent issus de taillis (charme, tilleuls, hêtre), situés autour de la trouée jusqu'à une voire deux hauteurs de peuplement et particulièrement au sud. Le but est de rendre le peuplement plus perméable à la lumière oblique, du sud-est au sud-ouest.

Remarques

- Des études continuent à être menées, dans le cadre des observatoires post-tempête ou dans d'autres contextes, pour faire progresser les connaissances sur les dynamiques en œuvre.

NOMBRE DE SITES/PLACEAUX RESTREINT ET RÉPARTITION SPATIALE DE LA RÉGÉNÉRATION

- Le faible nombre de sites de l'observatoire dans certains des « grands types de régénération » est l'une des principales limites à la construction de ce guide.
- Le faible nombre de placeaux échantillonné au sein de chaque site aboutit à une assez faible précision des valeurs moyennes à cette échelle. La densité de semis observée au sein des sites de l'observatoire présente en effet une forte variabilité spatiale : les seuils avancés dans ce guide doivent donc être considérés comme des ordres de grandeur. Cela renforce également, pour les diagnostics à effectuer dans des peuplements a priori concernés par de faibles effectifs de semis, l'intérêt de procéder à des comptages sur un nombre suffisant de placettes.
- La clé de détermination ne s'appuie pas sur la distribution géographique des semis lors du diagnostic précoce mais la régénération ne peut être considérée comme satisfaisante que si les semis d'essences d'intérêt sont bien répartis sur l'ensemble de la surface à reconstituer.

EXIGENCES DE RECONSTITUTION ET PRÉCISION DU GUIDE

- Ce guide est une première proposition de grille de décision et résulte des choix exposés plus en détail dans ce document. Il reflète les constats effectués sur les sites qui font partie de l'observatoire des peuplements dévastés et mités, et n'est certainement pas exhaustif quant à l'ensemble des situations pouvant être rencontrées après une tempête.
- Sa construction repose sur une analyse des dynamiques observées associée à une classification débouchant sur la production d'une clé destinée à faciliter l'utilisation du guide dans une démarche opérationnelle. Toutefois, cela a conduit les auteurs à certaines simplifications que l'analyse statistique des déterminants de l'acquisition de la régénération post-tempête qui va se poursuivre pourra amener à nuancer ou compléter.
- C'est pourquoi il est recommandé qu'un suivi soit effectué après plusieurs années d'utilisation de ce guide pour en juger la pertinence à la lumière des retours d'expérience.

AMÉLIORATION DE LA GRILLE

La grille permettant la caractérisation de l'acquisition de la régénération à 20 ans pourrait être améliorée en affinant le choix des valeurs seuils et en intégrant d'autres déterminants de l'acquisition qui ne sont pas pris en compte dans ce travail comme par exemple la répartition spatiale de la régénération.

BÉNÉFICES APPORTÉS PAR LES TRAVAUX

L'estimation des bénéfices apportés par la réalisation de travaux par rapport à la libre évolution de la régénération naturelle mérite encore d'être précisée, étant essentiellement basée sur la bibliographie et sur les pratiques sylvicoles utilisées par les partenaires du projet.

IMPORTANCE DE LA FORTE VARIABILITÉ DES CONDITIONS LOCALES

La phase de régénération se découpe en quatre grandes étapes : la fructification – la dispersion et le stockage des graines – la germination des graines – l’installation et le développement des semis. Ces étapes sont sous l’influence de nombreux facteurs qui n’ont été que partiellement abordés dans le cadre de ce travail et qui peuvent contribuer à la grande variabilité des dynamiques observées. Le succès de chaque étape dépend de nombreux facteurs écologiques qui varient dans le temps et l’espace et qui agissent parfois en interaction :

- (i) Certaines caractéristiques du peuplement comme l’état sanitaire ou encore la densité de semenciers par essence peuvent expliquer une part de la variabilité des réponses au sein de l’observatoire.
- (ii) Les conditions abiotiques (gel, disponibilité en eau, en lumière et en éléments nutritifs...).
- (iii) Les caractéristiques pédologiques (texture du sol, porosité, pénétration des racines...) et la microtopographie.
- (iv) Les perturbations physiques et mécaniques (piétinement, exploitation, tassement).
- (v) Les interactions interspécifiques et intra-spécifiques (compétition avec la végétation accompagnatrice, compétition entre semis ligneux, consommation...).

De nombreuses données ont été récoltées dans le cadre du projet (pH, arbres relictuels, hydromorphie...) et vont faire l’objet de travaux futurs visant à mieux caractériser la dynamique de la régénération naturelle.

ÉCHELLE DE RÉFLEXION

La réflexion présentée dans ce document est issue d’une analyse à l’échelle de la trouée, voire du peuplement. Cette réflexion à échelle réduite doit être replacée dans des contextes écologiques plus larges, que ce soit à l’échelle de la propriété, du massif ou du paysage. Quelle que soit l’échelle considérée, apporter des réponses diversifiées pourrait permettre le maintien de la biodiversité et mieux répondre à l’avenir aux aléas naturels (tempêtes futures, sécheresses marquées et répétées, invasion de ravageurs).

GÉNÉRALISATION À D’AUTRES PERTURBATIONS

- Les ouragans Lothar et Martin de 1999 ont des caractéristiques qui leur sont propres (tempêtes d’hivers, vitesse et direction du vent, durée, intensité...) et les forêts touchées également (structure, composition, état sanitaire). Ces spécificités empêchent une généralisation complète et rapide des résultats et des conseils présentés ici à d’autres tempêtes et à d’autres perturbations de grande ampleur tels que les dépérissements massifs (sécheresse, scolytes...).

- Cependant, ces situations semblent présenter de nombreuses similitudes en termes de point de départ de la succession forestière, d’enjeux et de mécanismes impliqués. Ainsi, ce guide permet de mieux appréhender la reconstitution d’autres peuplements sinistrés même si les résultats sont à relativiser selon la cause du sinistre.



FICHE THÉMATIQUE 1 : LISTE COMPLÈTE DES ESSENCES ARBORÉES RELEVÉES LORS DE L'INVENTAIRE

<i>Abies alba</i> (sapin commun)	<i>Pyrus cordata</i> (poirier à feuilles cordées)
<i>Acer campestre</i> (érable champêtre)	<i>Pyrus pyraster</i> (poirier sauvage)
<i>Acer monspessulanum</i> (érable de Montpellier)	<i>Quercus cerris</i> (chêne chevelu)
<i>Acer platanoides</i> (érable plane)	<i>Quercus ilex</i> (chêne vert)
<i>Acer pseudoplatanus</i> (érable sycomore)	<i>Quercus petraea</i> (chêne sessile)
<i>Alnus glutinosa</i> (aulne glutineux)	<i>Quercus pubescens</i> (chêne pubescent)
<i>Betula pendula</i> (bouleau verruqueux)	<i>Quercus pyrenaica</i> (chêne tauzin)
<i>Betula pubescens</i> (bouleau pubescent)	<i>Quercus robur</i> (chêne pédonculé)
<i>Carpinus betulus</i> (charme commun)	<i>Quercus rubra</i> (chêne rouge d'Amérique)
<i>Castanea sativa</i> (châtaigner commun)	<i>Robinia pseudoacacia</i> (acacia)
<i>Fagus sylvatica</i> (hêtre commun)	<i>Salix alba</i> (saule blanc)
<i>Fraxinus excelsior</i> (frêne commun)	<i>Salix atrocinnerea</i> (saule à feuilles d'olivier)
<i>Juglans nigra</i> (noyer noir)	<i>Salix aurita</i> (saule à oreillettes)
<i>Juglans regia</i> (noyer commun)	<i>Salix caprea</i> (saule marsault)
<i>Larix decidua</i> (mélèze d'Europe)	<i>Salix cinerea</i> (saule cendré)
<i>Malus sylvestris</i> (pommier sauvage)	<i>Salix fragilis</i> (saule fragile)
<i>Picea abies</i> (épicéa commun)	<i>Salix triandra</i> (saule à trois étamines)
<i>Picea sitchensis</i> (épicéa de Sitka)	<i>Salix viminalis</i> (saule des vanniers)
<i>Pinus nigra</i> (pin noir)	<i>Sorbus aria</i> (alisier blanc)
<i>Pinus pinaster</i> (pin maritime)	<i>Sorbus aucuparia</i> (sorbier des oiseleurs)
<i>Pinus strobus</i> (pin de Weymouth)	<i>Sorbus domestica</i> (cormier)
<i>Pinus sylvestris</i> (pin sylvestre)	<i>Sorbus torminalis</i> (alisier torminal)
<i>Populus alba</i> (peuplier blanc)	<i>Tilia cordata</i> (tilleul à petites feuilles)
<i>Populus canescens</i> (peuplier grisard)	<i>Tilia platyphyllos</i> (tilleul à grandes feuilles)
<i>Populus nigra</i> (peuplier noir)	<i>Ulmus glabra</i> (orme de montagne)
<i>Populus tremula</i> (tremble d'Europe)	<i>Ulmus laevis</i> (orme lisse)
<i>Prunus avium</i> (merisier)	<i>Ulmus minor</i> (orme champêtre)
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (douglas)	

Trois listes d'essences d'intérêt pour prendre en compte les attentes des propriétaires et gestionnaires forestiers :

-
- Liste L1** : Essences arborées selon Brosse (2000) avec un fort rôle de production et qui sont en station actuellement ; *Salix sp*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula* et *Sorbus aucuparia* exclues.
- Liste L2** : Les mêmes essences que la **Liste L1**, *Betula spp.* exclues.
- Liste L3** : Les mêmes essences que la **Liste L2**, *Carpinus betulus* et *Tilia spp.* exclues.
-

FICHE THÉMATIQUE 2 : PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Enjeux dans le cadre de la création de ce guide

- Dans le cadre de ce travail, pour qu'une tige soit considérée comme « objectif » son essence doit être reconnue économiquement intéressante par la filière et doit avoir une production correcte pour une station donnée dans l'état des connaissances actuelles. Les essences considérées comme étant en station ont été définies grâce aux catalogues de station en vigueur. Ainsi, les résultats présentés dans ce guide pourraient surestimer l'acquisition de la régénération car ils ne prennent pas en compte la sensibilité aux sécheresses estivales des essences.

- Les nouvelles connaissances sur la modification des aires de répartition des espèces avec le changement climatique et sur le potentiel d'adaptation des arbres déjà en place permettront d'affiner la sélection des essences au fil du temps.

Points de vigilance dans le cadre de la régénération des peuplements sinistrés par une tempête :

- Il est conseillé de diversifier et mélanger les essences.

- Il est aussi possible de favoriser les essences supportant mieux les sécheresses estivales lorsque ces essences sont présentes dans la régénération.

- En absence d'essences potentiellement tolérantes aux sécheresses estivales dans la régénération il est possible d'introduire des essences favorables en complément. Ainsi, les régénérations avec le bouleau comme essence principale donnent l'opportunité de compléter la régénération naturelle par des essences plus adaptées aux sécheresses estivales. À l'inverse, les sites ayant une régénération dense d'essences non adaptées aux sécheresses, qui plus est si elles sont très compétitives, permettent plus difficilement l'introduction d'essences plus adaptées, sans surcoût.

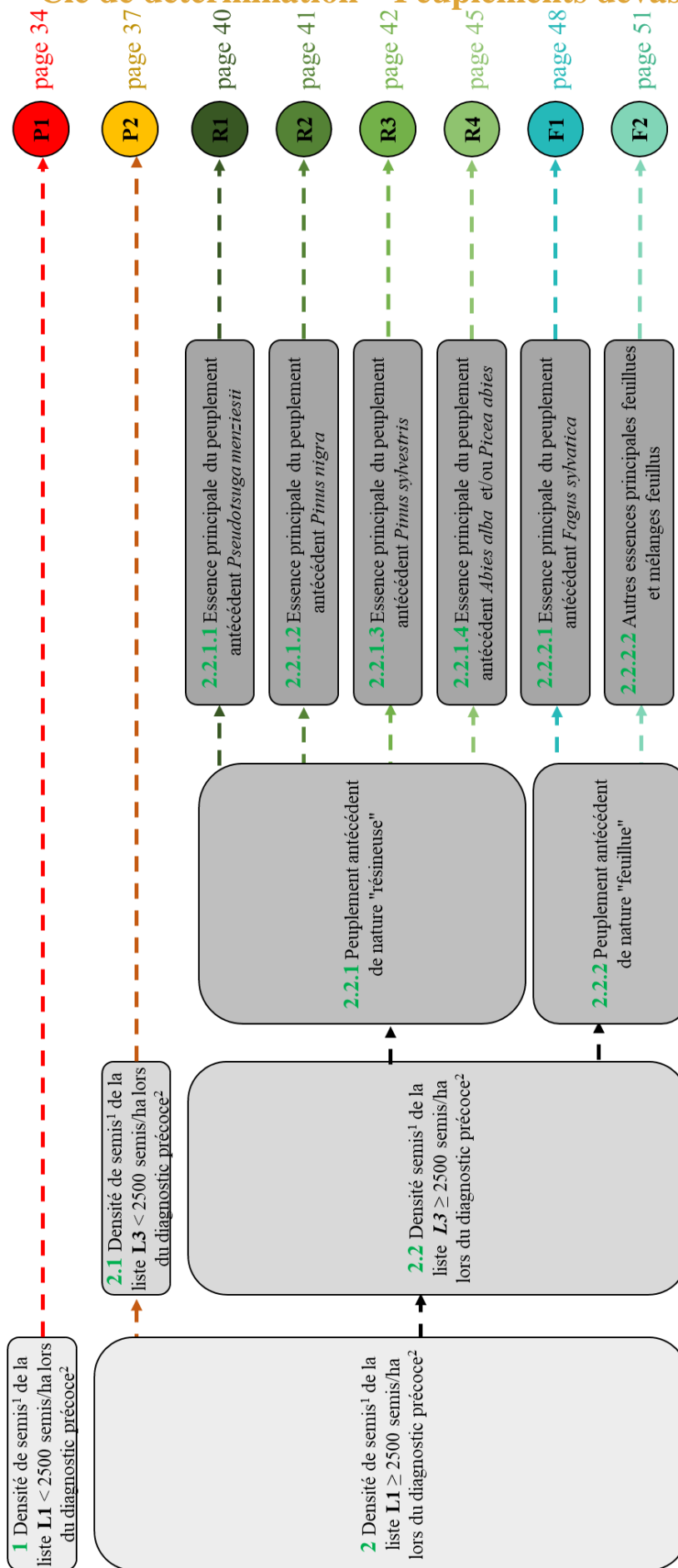
Les principales références bibliographiques utilisées dans la construction du guide

- Bastien, Y., 2005. *Arbres objectifs et élagage artificiel*.
- Becquey, J., et Pillon, S., 2009. *Toutes les belles tiges peuvent être d'avenir*. Forêt entreprise n° 189, pp. 14-16.
- Birot, Y., Landmann, G., Bonhême, I., 2009. *La forêt face aux tempêtes*. Editions Quae.
- Brosse, J., 2000. *Larousse des arbres et des arbustes*. Larousse.
- Drouineau, S., Laroussinie, O., Birot, Y., Terrasson, D., Formery, T., Roman Amat, B., 2000. « *Expertise collective sur les tempêtes, la sensibilité des forêts, et sur leur reconstitution* ». Dossiers de l'environnement de l'INRA, n° 20.
- IFN, 2003. *Les tempêtes de décembre 1999 Bilan national et enseignements*. L'IF, n° 2.
- IGN, 2013. *Fiches descriptives des grandes régions écologiques (GRECO) et des sylvoécorégions (SER) - Inventaire forestier* [en ligne]. <https://inventaire-forestier.ign.fr/spip/spip.php?article773>.
- Kenk, G., 2002. *Rôle de la végétation dans la reconstitution de la forêt après tempête: l'exemple Allemand (Bade-Wurtemberg)*. Revue Forestière Française, n° 6, pp. 547-558.
- 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, n° 29-30, pp. 8-16.
- Méthot, S., Blais, L., Gravel, J., Latrémouille, I., St-Pierre, S., Vézeau, S., 2014. *Guide d'inventaire et d'échantillonnage en milieu forestier*. Ministère des Ressources naturelles Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers, Quebec.
- Mortier, F., Rey, B., 2002. *L'Office National des Forêts guide la reconstitution des forêts publiques*. Revue Forestière Française LIV - numéro spécial, pp. 190-203.
- Ningre, F., 1997. *Une définition raisonnée de la fourche du jeune hêtre*. Revue Forestière Française 49, pp. 32-40.
- Ningre, F., Cordonnier, F., Piboule, A., 2011. *Typologie et réactivité des perches de hêtre en forêt hétérogène*. Forêt Wallonne 111, pp. 16-25.
- ONF. 2003. *Suivi de la qualité des perches et petits bois*.
- Otto, H-J., 1998. *Écologie forestière*. Forêt privée française.
- Rameau, J-C., 1999. *Accrus, successions végétales et modèles de dynamique linéaire forestière*. Ingénieries EAT, n° spécial Boisement naturel des terres agricoles en déprise, pp. 33-48.
- 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, n° 3, pp. 289-310.

Ainsi que les catalogues de stations forestières et guides sylvicoles.



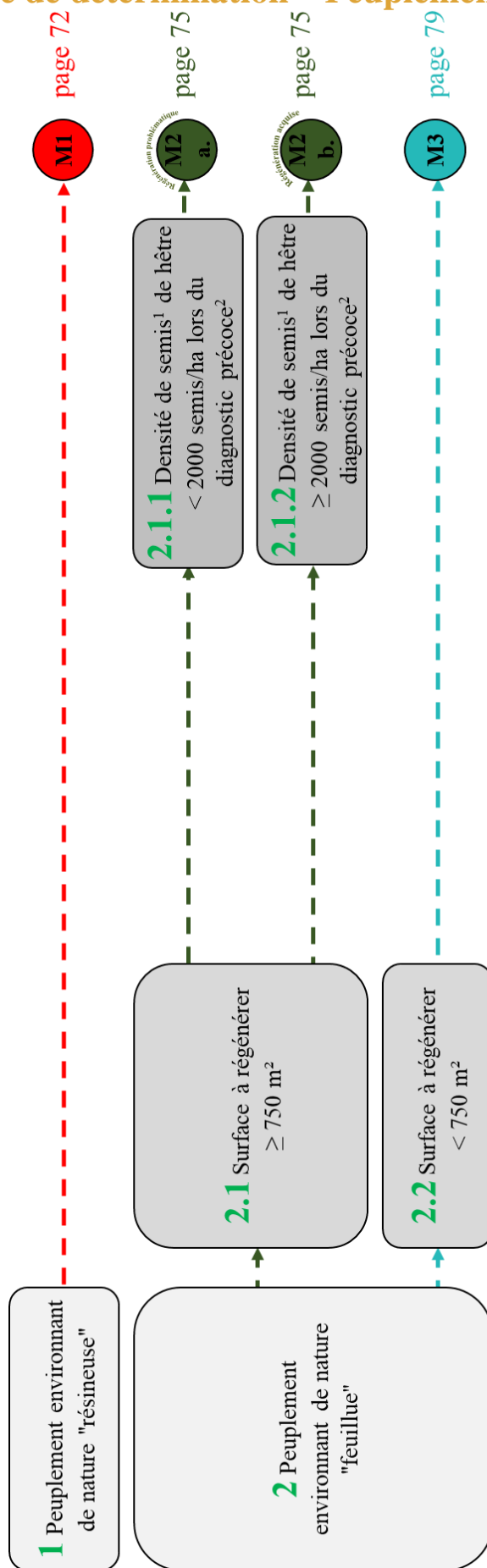
Clé de détermination – Peuplements dévastés



¹ Densité des semis d'essences d'intérêt. Densité évaluée visuellement comme très satisfaisante ou quantifiée plus précisément si nécessaire. En effet, dans le cas de faibles densités à évaluer, la faible hauteur des semis couplée à une répartition spatiale souvent très hétérogène rendent l'estimation visuelle délicate. Il est alors conseillé de procéder à des comptages par échantillonnage (cf. « Comment réaliser un diagnostic ? » page 30).

² Ce seuil reflète l'échantillonnage qui a été effectué dans le cadre de cet observatoire et il faut le considérer comme un ordre de grandeur du fait de la forte variabilité spatiale des semis (cf. « Limites d'utilisation et perspectives » page 96).

Clé de détermination – Peuplements mités



¹ Densité des semis d'essences d'intérêt de plus d'un an et de plus de 10 cm de hauteur. Densité évaluée visuellement comme très satisfaisante ou quantifiée plus précisément si nécessaire. En effet, dans le cas de faibles densités à évaluer, la faible hauteur des semis couplée à une répartition spatiale souvent très hétérogène rendent l'estimation visuelle délicate. Il est alors conseillé de procéder à des comptages par échantillonnage (cf. « *Comment réaliser un diagnostic ?* » page 68).

² Ce seuil reflète l'échantillonnage qui a été effectué dans le cadre de cet observatoire et il faut le considérer comme un ordre de grandeur du fait de la forte variabilité spatiale des semis (cf. « *Limites d'utilisation et perspectives* » page 96).

Conception et rédaction

Lisa Laurent (UMR Silva – AgroParisTech)
Eric Lacombe (UMR Silva – AgroParisTech)

Merci pour leur contribution à

Vincent Boulanger (ONF)
Catherine Collet (UMR Silva – Inrae)
Lucie Dietz (UMR Silva – AgroParisTech)
Jean-Luc Dupouey (UMR Silva – Inrae)
Sylvain Gaudin (CNPf – CRPF Grand-Est)
Jean-Claude Gégout (UMR Silva – AgroParisTech)
Pierre Gonin (CNPf-IDF)
Eric Karcher (MAA – DRAAF)
Hubert Loye (ONF)
Gregory Sajdak (CNPf-IDF)
Cyril Vitu (CNPf – CRPF Grand-Est)
Isabelle Wurtz (MAA – DRAAF)

Merci aux personnels des organismes partenaires (ONF, CNPF), aux gestionnaires et propriétaires des sites pour la mise à disposition des sites et pour leur contribution à leur suivi.

Merci aussi aux personnes qui ont contribué aux mesures, aux analyses et à la rédaction lors des deux campagnes précédentes. Merci également à tous les salariés et stagiaires qui ont participé à la campagne de mesures 2018-2019 : Laëtitia Delpech, Cécile Dorget, Baptiste Hellio, Inès Isimbi Mfizi, Marion Jezuita, Rémi Joly, Agathe Le Goff, Sophie Lorentz, Jean-Baptiste Mayet, Anouchka Simonin, Erwin Thirion, Sylvain Varona y Varona, Florian Vast, Aimé Vaster et Etienne Voisin.

Merci également à tous les utilisateurs des versions précédentes du guide qui ont permis la construction de la version définitive.

Financement

DRAAF Grand-Est

Appel à projets national : « Innovation et investissements pour l'amont forestier » de décembre 2016 (CONVENTION n° : DRAAF-GE-SERFOB-2017-003). « Projet optimisation des travaux sylvicoles post-tempête 2017 – 2020 ». Le ministère de l'agriculture a également participé au financement des campagnes précédentes.

Photographies d'illustration

Issues de l'observatoire

Pour plus d'informations : <https://www6.nancy.inrae.fr/silva/Equipes-de-recherche/ForeSTree/Projets-Recherche/Post-tempete-2017-2020>