



HAL
open science

Étude rétrospective et mise à jour de la ressource en pin maritime du massif des Landes de Gascogne après la tempête Klaus du 24 janvier 2009

Antoine Colin, Céline Meredieu, Thierry Labbé, Thierry Belouard, Sylvie Batifol

► To cite this version:

Antoine Colin, Céline Meredieu, Thierry Labbé, Thierry Belouard, Sylvie Batifol. Étude rétrospective et mise à jour de la ressource en pin maritime du massif des Landes de Gascogne après la tempête Klaus du 24 janvier 2009. [Rapport Technique] IFN n°2010-CER-2-077, 2010. hal-02821276

HAL Id: hal-02821276

<https://hal.inrae.fr/hal-02821276>

Submitted on 6 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

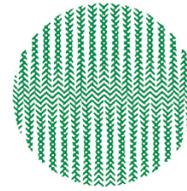


INVENTAIRE FORESTIER
NATIONAL



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
DE L'ALIMENTATION
DE LA PÊCHE
DE LA RURALITÉ
ET DE L'AMÉNAGEMENT
DU TERRITOIRE



INRA

Institut National de la Recherche Agronomique

**Etude rétrospective et mise à jour de la ressource
en pin maritime du massif des Landes de Gascogne
après la tempête Klaus du 24 janvier 2009**

Rapport final de la convention IFN / MAAP n° E18 /2010 du 21 juin 2010
(IFN n°2010-CER-2-077)

Décembre 2010

Antoine COLIN (IFN)
Céline MEREDIEU (INRA)
Thierry LABBE (INRA)
Thierry BELOUARD (IFN)

Et avec la collaboration de Sylvie Batifol de l'IFN

Inventaire Forestier National (IFN)

Direction de la Valorisation
Château des Barres
45290 - Nogent-sur Vernisson

Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)

Unité Mixte de Recherche BIOGECO (UMR 1202)
Domaine de Pierroton – site de recherche Forêt-Bois
69, route d'Arcachon
33612 - Cestas

Fiche signalétique – convention n° E18 / 2010

1. IDENTIFICATION

Titre : Etude rétrospective et mise à jour après la tempête Klaus de la ressource pin maritime du massif des Landes de Gascogne

Organisme : Inventaire Forestier National (IFN)

Montant : 31.867 euros, dont 6.567 euros d'autofinancement par l'organisme

Date de notification : 21 juin 2010

Durée : 5 mois

Nom du responsable : Antoine COLIN

Téléphone : 02-38-28-38-30

Mail : antoine.colin@ifn.fr

Comité de pilotage : Néant

2. OBJECTIFS VISES

Les objectifs ont-ils été atteints ? Lesquels ? Et sinon, pourquoi ?

Oui, à savoir (1) l'actualisation de la ressource forestière du massif landais la veille et le lendemain du passage de la tempête Klaus du 24 janvier 2009, (2) l'analyse rétrospective de la ressource pin maritime du massif landais à partir des données IFN, et (3) l'adaptation du module *Sylvogène* dans *Capsis* aux données du nouvel inventaire IFN.

D'autres objectifs que ceux prévus ont-ils été atteints ? Néant.

Est-ce que de nouvelles pistes d'étude ont été mises en évidence ?

Oui, l'étude est la première étape indispensable avant une analyse prospective de la ressource forestière et des disponibilités en bois sur le massif landais, voire à l'échelle de la Région Aquitaine. Elle a également montré la nécessité de revisiter le modèle de croissance pin maritime en utilisant les données IFN, afin d'étendre son domaine de validité.

3. RAPPORT FINAL

Ses références bibliographiques :

Colin A., Meredieu C., Labbé T., Bélouard T., 2010. Etude rétrospective et mise à jour de la ressource pin maritime du massif des Landes de Gascogne après la tempête Klaus. Convention MAAP / IFN n° E18 /2010. 39 pages.

Est-il confidentiel : non

Diffusion prévue : 2 exemplaires adressés au MAAPRAT

4. VALORISATION DES RESULTATS

Publications : non

Projets d'articles : non

Présentation orale : Réunion du Comité Tempête de la Préfecture de Région Aquitaine

5. RESUME

Après décembre 1999, le massif de pin maritime des Landes de Gascogne a de nouveau été sévèrement frappé par la tempête Klaus du 24 janvier 2009. Les acteurs forêt-bois s'interrogent sur les disponibilités en bois du massif à moyen terme. Une telle analyse prospective requiert des informations sur l'état de la ressource au lendemain de la tempête. Les données collectées par l'IFN sur le massif landais depuis 2005, et l'inventaire IFN des dégâts de tempête, ont permis d'actualiser la ressource à une date postérieure à la tempête, et donc de quantifier le capital en production après celle-ci. Ce travail de modélisation conjointe IFN / INRA a aussi permis de faire progresser les outils de simulation de la ressource. Les résultats obtenus dans la présente étude permettent désormais d'envisager une étude de la ressource forestière et des disponibilités en bois après la tempête.

6. MOTS CLES

Ressource forestière, pin maritime, tempête Klaus du 24 janvier 2009, actualisation, modèles de croissance, Landes de Gascogne

SOMMAIRE

1. Contexte et objectifs.....	5
1.1. Contexte.....	5
1.2. Objectifs.....	6
2. Matériel.....	7
2.1. Le massif landais.....	7
2.2. Les forêts et les bosquets de production.....	7
2.2.1. Sur la couverture du sol.....	7
2.2.2. Sur l'utilisation du sol.....	8
2.3. Les inventaires IFN disponibles.....	8
2.3.1. Des inventaires départementaux jusqu'en 2004.....	8
2.3.2. La tempête Martin de décembre 1999.....	8
2.3.3. Un inventaire annuel et national à partir de 2005.....	9
2.3.4. La tempête Klaus de janvier 2009.....	9
2.3.5. Synthèse sur les données d'inventaire disponibles.....	9
2.4. Les données d'inventaire, les données et résultats actualisés.....	10
2.4.1. Sur les données IFN standard.....	10
2.4.2. Sur les données du protocole retour après Klaus.....	10
2.4.3. Sur la nature et le statut des données actualisées.....	11
2.4.4. Sur le calcul de résultats statistiques actualisés.....	11
2.5. Les modèles de croissance pin maritime et les outils de simulation disponibles.....	12
2.5.1. Les modèles de croissance pin maritime de l'INRA.....	12
2.5.2. Le module Sylvogène.....	12
3. Méthode d'actualisation.....	13
3.1. Présentation générale.....	13
3.2. Traitements d'actualisation.....	14
3.2.1. Sélection des points à actualiser.....	14
3.2.2. Affectation des points à actualiser entre modèles INRA et IFN.....	15
3.2.3. Caractéristiques communes aux actualisations INRA et IFN.....	16
3.2.4. Spécificités de l'actualisation avec le modèle INRA.....	18
3.2.5. Spécificités de l'actualisation avec les modèles IFN <i>ad hoc</i>	19
3.3. Calculs statistiques.....	19
4. Résultats : la ressource sur pied et son évolution.....	20
4.1. Couverture du sol.....	20
4.1.1. Préambule.....	20
4.1.2. Evolution de la superficie selon l'occupation du sol.....	21
4.1.3. Evolution de la surface boisée de pin maritime.....	21
4.2. Ressource sur pied.....	23
4.2.1. Préambule.....	23
4.2.2. Volume par groupe d'essences.....	23
4.2.3. Volume résineux par département.....	25
4.2.4. Volume résineux par classe d'âge.....	26
4.2.5. Volume résineux par classe de dimension des bois.....	27
5. Conclusion et perspectives.....	29
Références citées dans le rapport.....	30
Annexe 1 : analyse de l'évolution de la couverture du sol.....	31
Annexe 2 : analyse de l'évolution de la surface forestière par essence principale.....	34

1. Contexte et objectifs

1.1. Contexte

Les motivations pour réaliser une analyse quantitative et qualitative actualisée de la ressource en pin maritime du massif des Landes de Gascogne (ou massif landais) sont aujourd'hui nombreuses.

La forêt cultivée des Landes de Gascogne représente une source importante de richesse économique et d'emplois au niveau régional et national : sylviculture, enseignement, recherche et développement, exploitation forestière, transport, transformations industrielles de la matière première bois, commercialisation, etc.

Or, en moins de 10 ans, elle a été sévèrement frappée par deux tempêtes centennales : Martin le 27 décembre 1999 puis Klaus le 24 janvier 2009.

Les acteurs publics (Administration centrale et régionale, Conseil Régional, etc.) et privés (interprofession pin maritime, etc.) ont exprimé leurs interrogations sur l'avenir de ce massif forestier de production, notamment dans le cadre du « Comité Tempête » piloté par la Préfecture de Région, des missions réalisées en 2009 par le CGAAER (MM. Lafitte et Lerat), du comité de pilotage du projet *Sylvogène*, de l'expertise ECOFOR sur l'avenir du massif forestier landais (cf. groupe filière dans <http://landes.gip-ecofor.org>), etc.

Quels seront les conséquences de ces deux tempêtes exceptionnelles sur la ressource et la disponibilité en bois dans les prochaines années et décennies ? Comment la gestion des bois abattus et stockés, les modes de reconstitution des parcelles sinistrées et la gestion des peuplements restants vont-ils orienter cette disponibilité à moyen terme ?

Encadré 1 : Des résultats provisoires sur la disponibilité en bois du massif après Klaus

Au moins trois évaluations de la disponibilité en bois sur le massif landais après la tempête Klaus ont été réalisées en 2009. Ces résultats restent toutefois provisoires.

Dans le cadre de l'expertise sur l'avenir du massif forestier landais pilotée par ECOFOR en 2009, l'interprofession régionale et le FCBA ont réalisé une première évaluation de l'impact à moyen terme de la tempête Klaus sur la disponibilité en bois de pin maritime. Cette estimation est provisoire dans la mesure où elle ne s'appuie pas sur la distribution de la ressource en classes d'âge. Les auteurs déclarent qu'elle devra être approfondie à partir de données actualisées.

En 2009, deux études nationales complémentaires ont été réalisées par l'IFN, le Cemagref, le FCBA et Solagro, sur la biomasse disponible à l'horizon 2020 pour des usages bois d'œuvre, bois industrie et bois énergie. Ces études ont été commandées par l'ADEME (résultats disponibles sur www.dispo-boisenergie.fr) et le MAAP (résultats disponibles sur <http://agriculture.gouv.fr/actualisation-2009-de-l-etude>).

Les auteurs ont déclaré, lors de la restitution des études au niveau national le 14 avril 2010 à Paris puis régional le 6 octobre 2010 à Bordeaux, que les disponibilités résineuses en Aquitaine restent partielles et qu'elles devront être affinées dans le cadre d'une future analyse locale. En effet, la prise en compte des dégâts de Klaus est restée incomplète, notamment du fait du manque d'informations suffisantes à cette date sur l'avenir du massif.

1.2. Objectifs

L'analyse de la ressource sur pied et des disponibilités en bois à moyen terme relève d'une étude prospective du même nom.

De manière toute à fait classique, une étude prospective sur la ressource requiert deux types d'informations :

1. Des données d'entrée sur la ressource forestière. Elles permettent d'établir un état des lieux de la ressource du massif landais à l'instant T₀, ou encore ce que l'on appelle « état zéro de la ressource ». C'est sur cette base, qui doit être la plus précise et consensuelle possible, que s'appuiera l'analyse prospective à proprement parler.

L'Inventaire Forestier National (IFN) réalise des inventaires sur le massif landais depuis le début des années 1960¹. Les données sont enregistrées dans des bases de données numériques depuis le second inventaire qui a été réalisé à la fin des années 1970. Ainsi, les résultats de quatre inventaires IFN sont disponibles sur le massif.

En outre, des inventaires *ad hoc* réalisés également par l'IFN ont permis d'évaluer spécifiquement les dégâts des tempêtes Martin puis Klaus.

2. Des scénarios de gestion des peuplements et des superficies, scénarios implémentés sur la période de la prospective et en fonction desquels on souhaite estimer la ressource sur pied et la disponibilité en bois à l'instant T₀ + N, où T₀ est l'état actualisé de la ressource initiale et N est l'horizon temporel de la prospective. Les grands facteurs à prendre en compte dans les scénarios sont décrits notamment dans le rapport d'expertise du sous-critère A1 « ressource » co-rédigé par l'IFN, le FCBA et l'INRA (cf. expertise ECOFOR sur l'avenir du massif forestier landais).

La présente étude est une estimation de l'état de la ressource sur pied actualisée au lendemain de la tempête Klaus (cf. point 1 ci-dessus). Les éléments apportés par la présente étude constituent donc certaines données d'entrée indispensables à l'étude prospective quantifiée sur la ressource et les disponibilités en bois du massif landais (cf. points 1 et 2 ci-dessus), étude appelée de leurs vœux par les différents acteurs.

L'étude vise ainsi deux objectifs, sur la base uniquement des données relevées par l'IFN sur le massif landais :

1. Une analyse rétrospective de la ressource en pin maritime ces 30 dernières années ;
2. Un état des lieux statistique de la ressource sur pied, actualisée au lendemain de la tempête Klaus de 2009, élément d'entrée d'une étude prospective sur la ressource et la disponibilité en bois à moyen terme.

L'IFN et l'INRA de Bordeaux ont décidé de s'associer dans cette étude. Ce partenariat a notamment permis d'utiliser le modèle de croissance pin maritime de l'INRA pour actualiser la ressource des futaies pures et équiennes de pin maritime sur le Plateau Landais, mais aussi d'atteindre un troisième objectif :

3. adapter le module *Sylvogène* aux données du nouvel inventaire IFN, et ainsi avancer dans la mise en place d'un simulateur régional sur la ressource pin maritime, outil utilisable dans l'analyse prospective à venir.

¹ Le département de la Gironde a été le premier département français inventorié en 1961.

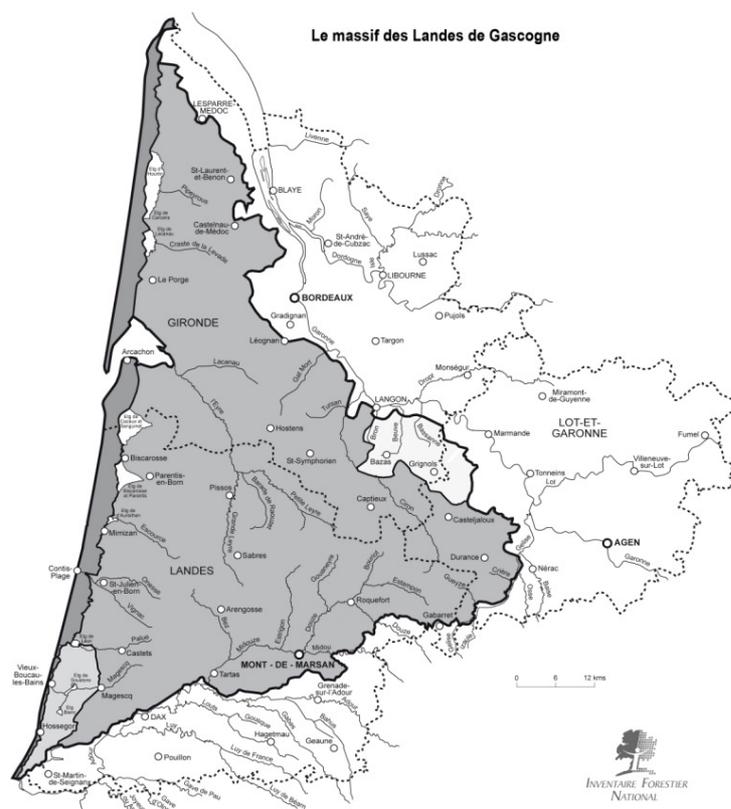
2. Matériel

2.1. Le massif landais

Le domaine d'étude considéré est celui du massif des Landes de Gascogne (figure 1).

Il est défini traditionnellement (cf. PEFC Aquitaine) comme l'ensemble des quatre régions forestières nationales IFN que sont le Plateau Landais, le Marensin, les Dunes Littorales et le Bazadais. Il se situe sur les 3 départements aquitains de la Gironde (33), des Landes (40) et du Lot-et-Garonne (47).

Figure 1: le massif des Landes de Gascogne, ou massif landais



2.2. Les forêts et les bosquets de production

L'IFN détermine deux caractéristiques complémentaires pour chaque espace inventorié, la couverture et l'utilisation du terrain. *In fine*, c'est la ressource des forêts et bosquets de production qui est analysée dans cette étude.

2.2.1. Sur la couverture du sol

Depuis 2005, l'IFN applique la définition internationale de la forêt (FAO, dans IFN 2010).

Les forêts sont des « *territoires occupant une superficie d'au moins 50 ares, avec des arbres capables d'atteindre une hauteur supérieure à 5 m à maturité in situ, un couvert arboré de plus de 10 % et une largeur moyenne d'au moins 20 mètres. Elles n'incluent pas les terrains dont l'utilisation du sol prédominante est agricole ou urbaine* ». Les forêts sont incluses dans la présente analyse.

Les peupleraies sont inventoriées par l'IFN et incluses dans la catégorie *forêt*. Les peupleraies sont néanmoins exclues de la présente étude en raison de leurs particularités prononcées (âge d'exploitabilité, objectifs de production), de leur rareté dans la zone d'étude, et de l'objet même de l'étude qui est d'estimer la ressource en pin maritime.

S'ils ne sont pas de la forêt, les bosquets² font toujours l'objet d'un inventaire par l'IFN. Les bosquets sont inclus dans la présente étude.

2.2.2. Sur l'utilisation du sol

Elle dépend de la destination donnée à un site, du point de vue économique ou social. Un terrain de couverture végétale donnée peut avoir plusieurs utilisations différentes du sol, parfois simultanées.

La production de bois est une utilisation attribuée aux forêts et aux bosquets. Le terrain doit permettre une production suffisante de bois sans qu'une autre utilisation ou les conditions physiques ne viennent en empêcher l'exploitation. Les forêts et bosquets de production sont inclus dans l'analyse.

Les autres utilisations peuvent concerner l'accueil du public, l'habitat, la protection des sols ou des eaux, l'agriculture ou l'élevage, etc. Les forêts et bosquets dont aucune utilisation n'est la production de bois sont des autres forêts et autres bosquets. Les autres forêts et autres bosquets sont exclus de la présente étude car ils ne contribuent pas, par nature, à l'objectif poursuivi ici.

2.3. Les inventaires IFN disponibles

2.3.1. Des inventaires départementaux jusqu'en 2004

Jusqu'en 2004, l'IFN réalisait des inventaires départementaux et périodiques tous les dix ans en moyenne. Les années de référence des derniers inventaires pour les trois départements du massif landais sont les suivants :

Tableau 1 : année de référence des inventaires départementaux sur le massif landais

Départements	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4
Gironde (33)	1977	1987	1998
Landes (40)	1978	1988	1999
Lot-et-Garonne (47)	1979	1989	2000
Massif Landais	1978	1988	1999

Des publications IFN présentent les résultats de ces inventaires départementaux successifs : <http://www.ifn.fr/spip/?rubrique183>

2.3.2. La tempête Martin de décembre 1999

Pour évaluer les dégâts de la tempête Martin du 27 décembre 1999, l'IFN était retourné sur les points des quatrièmes inventaires de la Gironde et du nord des Landes, ce qui lui avait déjà permis d'actualiser ses données. Dans le département du Lot-et-Garonne, les chablis ont été observés directement lors des opérations de lever, soit en 2000.

Une publication IFN hors série intitulée « Massif des Landes de Gascogne - IVe inventaire 1998-1999-2000 » a été éditée en 2003. Elle résume l'évaluation des dégâts de la tempête Martin à l'échelle du massif : http://www.ifn.fr/spip/IMG/pdf/IFN_MASSIF_LANDAIS-2.pdf

² Surface comprise entre 0,05 et 0,5 ha

2.3.3. Un inventaire annuel et national à partir de 2005

En 2005, l'IFN a abandonné la méthode d'inventaire départementale et périodique pour un inventaire systématique et annuel sur l'ensemble du territoire métropolitain.

En 2009, après quatre campagnes annuelles d'inventaire (de novembre 2004 à octobre 2008), l'IFN dispose de 1031 points d'inventaire (i.e. forêts et bosquets de production) sur le massif landais, soit des observations en quantité suffisante pour dresser un état statistique de la ressource en pin maritime (et en autres essences) la veille de la tempête Klaus. Ces résultats statistiques sont millésimés 2006 car les chiffres IFN appuyés sur plusieurs campagnes annuelles ne sont jamais actualisés, en routine (voir § 2.3.5).

2.3.4. La tempête Klaus de janvier 2009

Par ailleurs, l'échantillon 2005-2008 a fait l'objet d'un inventaire retour en janvier et février 2009, soit directement sur le terrain, soit sur photographies aériennes le cas échéant. Le but était d'évaluer les dégâts occasionnés par la tempête Klaus.

C'est ainsi que dès la fin du premier trimestre 2009, l'IFN a publié une estimation des dégâts de la tempête Klaus (L'IF n°21), adoptée par l'ensemble des acteurs régionaux et nationaux.

Cette estimation s'est cependant appuyée sur une actualisation partielle des volumes exposés, et donc des volumes de dégâts (et *in fine* de la ressource sur pied après tempête qui est obtenue par différence entre ces deux termes), comme indiqué dans l'encadré 2 de l'IF n°21.

En effet, les caractéristiques dendrométriques des arbres indemnes n'ont pas pu être mises à jour alors qu'une estimation rapide des dégâts était demandée. Or, ces arbres ont crû entre la date de lever et la tempête, période qui représente selon les points de quelques mois à quatre années. Leur circonférence, leur hauteur, et donc leur volume sur pied se sont accrus sur la période, augmentant ainsi le volume exposé.

Les données collectées par l'IFN lors de l'inventaire retour permettent de finaliser ce travail d'actualisation, pour toutes les essences inventoriées sur le massif. C'est l'objet principal de l'étude présentée ici.

2.3.5. Synthèse sur les données d'inventaire disponibles

Finalement, la mobilisation de l'ensemble des données successives d'inventaire de l'IFN sur le massif landais permet de réaliser une étude de la ressource en pin maritime et en autres essences, depuis la fin des années 1970 jusqu'à fin janvier 2009, soit après la tempête 2009. Elle permet également d'identifier précisément les impacts des tempêtes Martin (27 décembre 1999) et Klaus (24 janvier 2009).

Encadré 2 : Les différences entre données d'inventaire et données actualisées

L'actualisation d'une ressource forestière est un exercice de modélisation.

Elle s'appuie sur des données d'inventaire antérieures à la tempête, et dans le cas présent, sur une observation au lendemain de la tempête de l'état de végétation des arbres (vif, chablis, mort sur pied, coupé avant tempête) ou du statut des points IFN (peuplement indemne, totalement ou partiellement détruit, rasé avant tempête).

Elle mobilise aussi des modèles de croissance (flux de biomasse entrant dans l'écosystème, par photosynthèse), et des modèles de prélèvement et de mortalité (flux de biomasse sortants de l'écosystème, par sylviculture ou par mortalité naturelle).

L'incertitude des résultats actualisés est souvent plus importante que celle des résultats d'inventaire initiaux, en raison de l'addition des erreurs (1) liées aux hypothèses retenues pour la modélisation (croissance, prélèvements, chablis) et (2) liées à l'incertitude statistique de la description initiale de la ressource, incertitude calculée par l'IFN et liée à l'échantillonnage.

En ce sens, une ressource actualisée ne constitue pas un nouveau résultat d'inventaire, mais une estimation modélisée, la plus proche possible de la réalité, mais avec une imprécision souvent plus forte, et au moins identique, aux résultats d'inventaire.

Dans son délibéré du 30 juin 2008, le Conseil Scientifique et Technique de l'IFN, indiquait que si actualisation des données IFN il devait y avoir « *il faudrait que l'actualisation soit une véritable amélioration de l'information, c'est à dire que l'actualisation ne devrait pas se traduire par une erreur totale (variance de l'estimation + (erreur + biais) engendrés par le modèle d'actualisation) nettement supérieure à la variance de l'estimateur simple et à l'ampleur prévisible de l'évolution.* » Autrement dit, une actualisation ne devrait être envisagée que si la précision du résultat actualisé peut être qualifiée de satisfaisante, compte tenu de la précision des variables utilisées pour l'actualisation et de l'évolution prévisible de la variable à actualiser.

Dans le cas présent, les résultats actualisés sont relativement robustes du fait (1) de la durée relativement réduite de la période l'actualisation, mais surtout (2) de l'observation à deux dates des mêmes arbres et points d'inventaire, ce qui permet de construire des scénarios de coupe et de dégâts de tempête précis. Cela permet de réduire l'erreur additionnelle induite par les choix de modélisation, alors que l'incertitude statistique sur la ressource initiale reste inchangée.

2.4. Les données d'inventaire, les données et résultats actualisés

2.4.1. Sur les données IFN standard

Toutes les données collectées dans le cadre du nouvel inventaire de l'IFN, de niveau point (i.e. localisation géographique, structure, essence principale, âge, etc.) et arbre (i.e. essence, circonférence, hauteur, accroissement, etc.), sont utilisables dans l'actualisation. Si la plupart des données servent à qualifier la ressource à un instant donné (comme le volume de pin maritime de 100 cm de circonférence), d'autres comme l'accroissement de circonférence permettent d'ajuster des modèles de croissance et de recrutement.

2.4.2. Sur les données du protocole retour après Klaus

L'objectif de l'inventaire retour était de déterminer l'impact de la tempête.

Pour le massif landais, il a consisté à ré-observer les points inventoriés depuis novembre 2004. Seuls les points sans arbres vivants recensés au moment de l'inventaire initial ont été exclus de ce retour, soit 42 points momentanément déboisés et 151 points sans arbres recensables, soit un total de 193 points sur les 1031 du massif. Cette exclusion était conforme à l'objectif de l'inventaire retour. En effet, sur ces points aucune « ressource » (au sens IFN) n'était exposée à la tempête.

Deux modes d'action différents ont été mis en place :

- (1) le retour sur les points d'inventaire, mis en œuvre dès que les conditions de sécurité le permettaient (82 % des points actualisés). Les opérateurs de l'IFN ont pu relever directement :

- Pour chaque arbre inventorié lors du premier passage en inventaire : s'il était effectivement exposé au moment de la tempête (un arbre non exposé a été coupé ou il est mort avant Klaus), et si oui, s'il était abattu (i.e. chablis, volis) ou indemne.
- Pour chaque point où les arbres ne pouvaient pas être repositionnés avec certitude : la classe de dégâts du point, exprimée en taux de couvert.

(2) la photo-interprétation ponctuelle, quand le terrain était impossible (18 % des cas).

- Pour chaque point : elle a permis de déterminer la classe de dégâts, en couvert.

Ainsi, l'inventaire retour apporte une ou plusieurs informations pour chacun des arbres ou des points du massif landais.

Ces données ont été utilisées par l'IFN pour déterminer les arbres chablis, et finalement pour publier des volumes des dégâts.

L'inventaire retour apporte également des informations sur (1) les arbres coupés et morts au cours de la période d'actualisation et (2) les arbres exposés à la tempête et indemnes. Ces données sont directement utilisées dans la phase d'actualisation pour déterminer les scénarios de coupe, de mortalité et de dégâts de tempête.

2.4.3. Sur la nature et le statut des données actualisées

Nature des données actualisées

La première tâche dans un travail d'actualisation est de bien identifier les données à actualiser, en fonction des objectifs fixés. Ici, l'actualisation vise à estimer la ressource sur pied après le passage de la tempête. Ces données seront utilisées dans une analyse prospective sur la ressource et la disponibilité en bois à moyen terme.

C'est pourquoi seules les variables d'inventaire répondant à cet objectif final ont fait l'objet d'une actualisation au lendemain de la tempête. Il s'agit de l'âge des peuplements, de la surface boisée, de la croissance radiale des arbres, du volume sur pied, du nombre de tiges et de la surface terrière, ventilées par groupe d'essences et par classe de dimension.

Aussi, faute de nouvelles observations disponibles, aucune autre donnée d'inventaire n'a été actualisée, comme la qualité du bois ou les données dérivées des observations sur les couverts : structure forestière, essence principale du point, composition en essences, etc. Actualiser ces données répondrait à une autre demande et nécessiterait des modèles souvent plus complexes ou simplement indisponibles.

Statut des données actualisées

Les données actualisées sont des données hautement élaborées. C'est le résultat d'un travail de modélisation. Ainsi, bien qu'elles soient attachées aux objets élémentaires d'inventaire (les points et les arbres), elles ne constituent pas des données brutes, au sens mises en téléchargement gratuit sur le site Internet de l'IFN.

2.4.4. Sur le calcul de résultats statistiques actualisés

Les données actualisées sont portées par des individus, comme les points d'inventaire ou les arbres. Cela permet d'utiliser la chaîne de calcul statistique de l'IFN. Ces individus constituent les éléments d'un échantillon statistique plus large, comme la population de pins maritimes du massif landais. Ils n'ont d'intérêt statistique qu'au sein de la population totale.

Une propriété de l'actualisation est de ne pas constituer un nouvel inventaire. Dès lors, tous les estimateurs statistiques élaborés pour la production des résultats standards de l'IFN sont applicables : tarifs de cubage, poids des arbres à l'ha, poids relatif des points dans l'échantillon d'inventaire. Les procédures statistiques de l'IFN s'appliquent donc toutes et directement pour la production de résultats actualisés à l'échelle du massif landais.

2.5. Les modèles de croissance pin maritime et les outils de simulation disponibles

2.5.1. Les modèles de croissance pin maritime de l'INRA

Deux des grandes familles des modèles de croissance forestiers existent pour le pin maritime en Aquitaine :

- Un modèle de croissance de type « peuplement » dont les paramètres existent pour la lande et pour la dune. Ce modèle a été implémenté dans la plate-forme *Capsis* sous la forme du module « Lemoine » (Lemoine, 1991 ; Dreyfus et Bonnet, 1997). Il permet d'actualiser les variables agrégées de niveau peuplement.
- Un modèle de croissance de type « arbre indépendant des distances avec contrainte peuplement ». Ce modèle a été implémenté dans la plate-forme *Capsis* sous la forme du module « PP3 ». Son domaine de calibration est la lande principalement (Salas-Gonzalez *et al.*, 2001 ; de Coligny *et al.*, 2003). Ce modèle permet d'actualiser la circonférence et la hauteur de tous les arbres recensables d'un peuplement. Les arbres sont considérés comme différents en début de simulation si leur circonférence est différente. Ainsi un arbre dans ce modèle est la combinaison d'une circonférence, d'une hauteur et d'un effectif. L'actualisation de la circonférence et de la hauteur de chaque individu prend en compte la fertilité du peuplement (définie par la hauteur dominante à 40 ans) et la compétition au sein du peuplement (définie par un indice de compétition calculé au niveau du peuplement). Les interventions sylvicoles réduisant le nombre d'arbres peuvent donc être simulées pour chaque individu en modifiant son effectif.

2.5.2. Le module Sylvogène

Le volet « ressource » du projet aquitain *Sylvogène* 2006-2008 a permis de développer les premiers éléments d'un système d'analyse prospective de la ressource en pin maritime sur le massif landais. Ce projet associait les partenaires régionaux IFN, INRA et FCBA.

Le système retenu s'appuie sur la plateforme de simulation *Capsis* et l'application *Oscar* de l'IFN dédiée aux études de ressource et de disponibilité forestière, dont il constitue une extension. L'intérêt de ce choix était de capitaliser sur les outils déjà existants.

Côté IFN, l'application *Oscar* a été spécialement adaptée pour permettre l'extraction de résultats d'inventaire départementaux suivant un format directement utilisable par les modèles de croissance pin maritime de l'INRA (modèle arbre et modèle peuplement) et du FCBA. Les spécifications de l'extracteur *Sylvogène* ont fait l'objet de nombreux échanges entre les trois partenaires et il a permis à chacun de mieux connaître les données IFN et les modèles de croissance pin maritime disponibles à l'échelle du massif.

L'INRA a développé un nouveau module, *Sylvogène*, dans *Capsis*. Son rôle est de lancer des simulations (i.e. modélisation de la croissance et des opérations sylvicoles) pour un ensemble de points IFN (mode batch) avec 1 ou N modèles disponibles dans *Capsis*.

A l'issue du projet *Sylvogène*, le système d'analyse de la ressource pin maritime du massif des Landes de Gascogne était opérationnel pour les données des inventaires départementaux de l'IFN.

L'adaptation du module *Sylvogène* aux données du nouvel inventaire IFN a été réalisée par l'INRA et l'IFN dans le cadre de la présente étude.

3. Méthode d'actualisation

3.1. Présentation générale

La ressource sur pied au lendemain de la tempête Klaus a été estimée par un traitement original, en deux temps.

Temps 1 : La ressource sur les points IFN inventoriés entre novembre 2004 et octobre 2008 a été actualisée à la date du 23 janvier 2009 (soit la veille de la tempête Klaus) en modélisant la croissance, le recrutement et les prélèvements. Ce travail a permis d'évaluer la **ressource exposée à la tempête**.

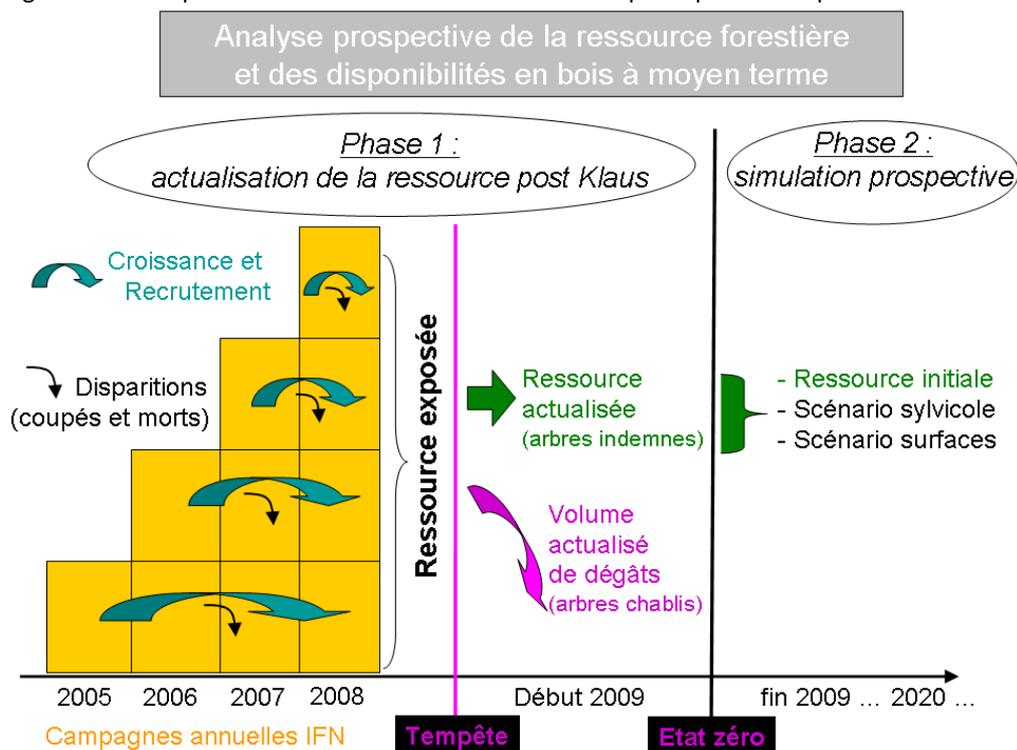
- Estimation de l'accroissement biologique des arbres : suivant les types de peuplements et la localisation au sein du massif, soit en utilisant le modèle de croissance du pin maritime de l'INRA, soit en utilisant directement les observations IFN des inventaires initiaux dans un modèle de croissance en circonférence *ad hoc*.
- Évaluation des arbres recrutés au cours de la période d'actualisation : à partir des observations collectées par l'IFN lors du passage initial en inventaire, estimation du nombre de tiges recrutées par an et du volume correspondant.
- Evaluation des prélèvements : à partir des observations IFN de l'inventaire retour, réfaction des arbres qui ont disparu au cours de la période d'actualisation, soit par récolte (éclaircie, coupe rase) soit par mortalité naturelle ou accidentelle.

Temps 2 : En frappant la ressource exposée, la tempête a « prélevé » certains arbres sous la forme de chablis et de volis. Cette information est fournie par l'inventaire retour.

Les arbres indemnes constituent la ressource effectivement sur pied après la tempête, ou le capital en production après le passage de la tempête. C'est cette ressource qui constitue l'**état zéro post-tempête** utilisable dans l'analyse prospective.

L'actualisation est la phase 1 de la prospective. Les étapes sont résumées ci-dessous :

Figure 2 : les étapes de l'actualisation de la ressource sur pied après la tempête Klaus



3.2. Traitements d'actualisation

3.2.1. Sélection des points à actualiser

L'objectif de l'étude est d'actualiser la ressource juste au lendemain de la tempête Klaus. Un passage au crible des points IFN disponibles permet de sélectionner ceux qui sont concernés par l'étape d'actualisation.

Sur les 1031 points inventoriés sur le massif landais au cours des 4 premières campagnes d'inventaire, 193 ont été directement exclus de l'inventaire retour car sans ressource initiale exposée (42 coupes rases et 151 jeunes peuplements sans arbres recensables).

La question de l'actualisation au 23 janvier 2009 de la ressource de ces 193 points s'est rapidement posée :

- 42 points ont été vus comme momentanément déboisés depuis moins de 5 ans lors du premier passage en inventaire (i.e. coupe rase de pin maritime).
 - Si pour des raisons sanitaires il est recommandé d'attendre au maximum 3 ans entre la date de coupe et le reboisement (risque de Fomes), les éventuels reboisements à prendre en compte en 2009 concerneraient des points coupés entre 2000 et 2005 inclus, soit 39 points.
 - En 2009, ces boisements auraient un âge compris entre 1 et 6 ans et un âge moyen pondéré de 3,3 ans.
 - Ce dernier chiffre est inférieur aux 4 ans mesurés en moyenne par l'IFN pour que les pins maritimes franchissent le seuil de recensabilité. Autrement dit, aucun pin maritime de moins de 4 ans n'est supposé être recensable, et la ressource sur les points IFN concernés serait donc nulle.
 - Finalement, on peut considérer raisonnablement qu'aucun reboisement n'a atteint le diamètre de recensabilité le jour de la tempête. Tous ces points ont donc été exclus de l'actualisation.

- 151 points étaient des jeunes peuplements sans aucun arbre recensable, et donc sans ressource au sens de l'IFN.
 - Rappel : aucune information sur les dégâts de la tempête Klaus n'est disponible. On ne sait pas non plus si ces points étaient toujours boisés en 2009. Or cette information est fondamentale pour la connaissance de la ressource.
 - Certains de ces points avaient-ils une ressource recensable en janvier 2009 ? La réponse est certainement oui, mais aucune donnée ne permet d'évaluer directement le recrutement annuel sur ces points.
 - Pourrait-on estimer un recrutement annuel en effectifs à partir des données disponibles ?
 - La fonction de correction des effectifs de Salas Gonzalez n'est applicable que dans des peuplements de pin maritime où une strate recensable est présente, ce qui n'est pas le cas ici.
 - Déterminer une relation recrutement = $f(\text{âge})$ sur les points recensables est une approche envisageable mais les données IFN disponibles sur ces points sont souvent peu précises par nature (couvert par essence et par strate, classe d'âge) et les utiliser induirait une forte incertitude sur le résultat de cette estimation.
 - → Aucun modèle fiable n'est disponible.
 - En outre, l'actualisation porterait, selon les points, sur une durée de 1 à 4 ans, et une durée moyenne d'environ 2 ans. Si une procédure *ad hoc* permettait de recruter des arbres sur une partie de ces points, le volume IFN apporté serait faible. En revanche l'incertitude sur cette estimation serait très forte.

- Pour toutes ces raisons, il a été décidé de ne pas actualiser les points sans arbres levés lors du passage initial en inventaire, compte tenu de la forte incertitude induite par les différentes procédures envisagées pour pallier à l'absence de données et aussi du peu d'enjeu que revêt le traitement de ces points pour la connaissance de la ressource à la date du 1^{er} février 2009. Cela revient à considérer que ces points ne portaient toujours aucun arbre recensable la veille de la tempête.

A noter que ces choix ont une conséquence nulle ou mineure sur la ressource estimée au lendemain de la tempête. L'impact serait une sous-estimation de la ressource sur pied mais d'une ampleur absolument inférieure à l'incertitude associée à ce résultat.

Si cette sous-estimation mineure de la ressource au lendemain de la tempête peut être acceptée raisonnablement pour cette étude, il ne saurait en être de même pour l'étude prospective à venir. En effet, ces jeunes peuplements représentent l'avenir de la ressource du massif landais à moyen / long terme ; l'analyse détaillée de leur statut (forêt / non forêt) et de leur devenir (traitements sylvicoles) devra être réalisée dans le cadre de l'étude prospective.

L'inventaire retour a donc concerné 838 points = 1031-193.

Dans ce cadre, les équipes IFN ont noté que 56 points étaient passés en coupe rase entre la date du lever initial et la date de la tempête. Ces points n'avaient donc plus de ressource exposée en janvier 2009 et ils ont été exclus de l'actualisation.

Finalement, **la ressource de 782 points IFN a été actualisée** dans la présente étude :

- pour 640 d'entre eux, l'IFN dispose d'informations au niveau de chaque arbre,
- pour les 142 restants, un taux de dégâts est disponible au niveau du point.

3.2.2. Affectation des points à actualiser entre modèles INRA et IFN

Les 1031 points d'inventaire disponibles sur le massif landais ont été extraits de la base d'exploitation de l'IFN, puis importés dans le module *Sylvogène* de *Capsis* que l'INRA a adapté pour l'occasion aux données de la nouvelle méthode IFN.

Parmi les modèles disponibles à l'INRA, seul le modèle PP3 a été utilisé pour cette actualisation. En effet, pour permettre une ventilation « native » des résultats actualisés par classe de circonférence, il était nécessaire de calculer l'accroissement au niveau de chacun des arbres levés par l'IFN. Par conséquent le module Lemoine, qui ne donne que des caractéristiques dendrométriques à l'échelle du peuplement, a été écarté de cette étude.

Le module *Sylvogène* a retenu les seuls points actualisables avec le modèle PP3, à savoir les « peuplements purs de pin maritime en futaie régulière équienne, suffisamment recensables et hors des Dunes Littorales ».

Concrètement, le module *Sylvogène* a recherché les points IFN pour lesquels le domaine de validité du modèle PP3 était vérifié, à savoir :

- les points doivent être actualisés dans l'étude (voir § 3.2.1).
- les points sont des bosquets et des forêts de production.
- points boisés (c'est-à-dire l'inverse des coupes rases).
- peuplement recensable (taux de couvert libre de la strate recensable > 15 %).
- part des arbres de futaie dans la surface terrière totale du point > 0.
- la structure forestière est la futaie.

- l'âge du peuplement est compris entre 15 et 80 ans et l'écart maximum entre les âges mesurés sur les arbres d'un même point est inférieur à un seuil dépendant de l'âge du peuplement (i.e. contrainte de peuplement équiennne).
- les points appartiennent aux régions forestières « Plateau Landais », « Marensin » et « Bazadais » ; sont exclus les points situés dans la région des « Dunes Littorales ».
- le couvert est exclusivement composé de pin maritime (i.e. peuplement pur).
- le nombre d'espèces arborées recensables sur le point est égal à 1.
- le nombre de tiges recensables à l'hectare est > 100 .
- une hauteur dominante est calculée.

A ce stade, les points rejetés par le module *Sylvogène* sont retournés à l'IFN.

Finalement, parmi les 1031 points IFN disponibles sur le massif landais :

- 249 n'ont pas été actualisés (voir chapitre 3.2.1),
- 782 ont été actualisés,
 - Dont 310 qui ont été pris en charge par le modèle PP3 de l'INRA (points inclus dans le domaine de validité du modèle),
 - Dont 472 points qui ont été actualisés avec des modèles de croissance construits par l'IFN dans le cadre de cette étude.

3.2.3. Caractéristiques communes aux actualisations INRA et IFN

Nombre d'itérations annuelles pour l'actualisation

Les points IFN sont levés tout le long de l'année. Il a été convenu que, pour les points levés après le 30 juin de la campagne d'inventaire en cours N, la croissance ne serait pas calculée pour cette campagne N. En effet, d'après Lemoine les accroissements en diamètre des pins maritimes dans les Landes de Gascogne sont réalisés entre 63 et 75% fin juin.

Avec cette hypothèse on suppose que tous les points inventoriés par l'IFN avant le 30 juin d'une année ne tiennent pas compte de la croissance de l'année, et inversement que tous les points levés après le 30 juin de l'année ont réalisé toute la croissance de l'année.

La date pivot du 30 juin pour la croissance du pin maritime a été généralisée à toutes les essences présentes sur le massif landais, faute d'informations disponibles.

C'est ainsi qu'un nombre d'itération d'actualisation est calculé pour chaque point IFN. Il est compris entre 0 et 4 ans ; la durée moyenne sur les 782 points est de 2,4 années.

L'âge de chaque point IFN a été actualisé en ajoutant à l'âge initial le nombre d'itérations d'actualisation annuelles.

Actualisation de la circonférence des arbres

Les modèles mis en œuvre sont des modèles de croissance de la circonférence des arbres. Ils fonctionnent suivant un pas de temps annuel. Dans les deux cas il s'agit donc de modèles « arbre ». Pour autant, le modèle INRA tient compte, dans la croissance individuelle, d'un indice de fertilité du peuplement et de la compétition entre tous les individus d'un même peuplement. Ce n'est pas le cas des modèles IFN qui sont plus simples.

Actualisation de la hauteur des arbres

Les hauteurs individuelles sont actualisées par allométrie, c'est-à-dire que la hauteur actualisée est prédite au travers d'une relation établie entre la circonférence et la hauteur observées initialement dans les données IFN. Ainsi, on calcule pour chaque arbre une hauteur actualisée. Les modèles ont actualisé la hauteur des arbres inventoriés en ajoutant un incrément en hauteur à la hauteur initialement mesurée.

Actualisation du volume sur pied des arbres

Le volume de bois sur pied d'un arbre est le résultat de l'emploi d'un modèle appelé « tarif de cubage ». L'IFN calcule de tels modèles pour l'édition de ses résultats d'inventaire.

Les variables prédictives du volume dans les tarifs de cubage de l'IFN incluent deux variables quantitatives, la circonférence de l'arbre et sa hauteur, des variables qualitatives comme son essence, et des variables contextuelles comme la localisation géographique du peuplement, l'altitude, etc.

Les actualisations réalisées avec les modèles INRA et IFN ont permis de mettre à jour les deux variables d'entrée quantitatives des tarifs de cubage IFN. Les volumes sur pied actualisés ont ainsi pu être calculés avec ces tarifs, c'est-à-dire de manière homogène, ou indépendante du modèle retenu pour l'actualisation.

Estimation du recrutement

L'IFN qualifie de « recensable » toute tige dont la circonférence à 1,30 m de hauteur est supérieure à 23,5 cm. Les mesures dendrométriques IFN sont exclusivement réalisées sur les tiges recensables. Les tiges « non recensables » ne sont pas non plus dénombrées ; elles ne sont donc pas « vues » dans le cadre de l'inventaire dendrométrique.

Le recrutement est défini comme le franchissement par une tige du seuil de recensabilité au cours d'une période donnée. Il s'agit donc d'un flux, exprimé en effectif par an.

On peut estimer le recrutement à partir des observations IFN sur les arbres recensables.

En effet, l'IFN mesure directement (par carottage) et pour tous les arbres l'accroissement en rayon réalisé au cours des cinq années précédant le passage en inventaire. Il est alors possible, toujours pour chaque arbre, de reconstituer une circonférence 5 ans auparavant, et ainsi d'identifier les tiges qui ont franchies le seuil de recensabilité sur la période.

On peut alors en déduire, point par point, l'effectif moyen recruté par an et, parce qu'on connaît le volume des arbres levés, on peut également estimer le volume annuel recruté. Ces données sont disponibles pour tous les points IFN, quelles que soient leur structure, les essences qu'ils portent, etc.

Ces observations ont été mobilisées dans l'étude, pour tous les points à actualiser (que ce soit avec les modèles INRA ou IFN) sur lesquels un recrutement avait effectivement été observé lors de l'inventaire initial.

On a fait l'hypothèse que le recrutement moyen annuel en effectif observé par le passé restait constant à chaque itération de l'actualisation. Les tiges recrutées une année sont toutes injectées dans la première classe de circonférence recensable.

Cette hypothèse est relativement grossière car le recrutement varie en fonction du stade de développement du peuplement, et notamment de la fermeture du couvert. Elle a cependant été retenue, faute de mieux, mais elle a l'avantage certain (1) de s'appuyer sur des observations terrain et (2) de n'être appliquée que sur une durée réduite, au maximum 4 ans, ce qui en limite l'impact compte tenu de l'objectif poursuivi dans la présente étude. En effet, le volume des très petites tiges est particulièrement faible.

Finalement, le recrutement estimé n'a de sens que globalement, à l'échelle du massif. Cette approche pourra éventuellement être revue au moment de l'analyse prospective.

A noter : La fonction de correction publiée par Salas Gonzalez *et al.* (1993) pour les peuplements de pin maritime n'a pas été retenue car elle a été construite pour estimer un effectif total sur les points IFN, incluant les tiges recensables et non recensables. Utiliser cette fonction apporte donc une information sur le « stock », or c'est une estimation du « flux » qui est requise dans la présente étude. En outre, cette fonction n'est applicable que lorsque le peuplement comporte une strate recensable *suffisante*, ce qui limite a priori son champ d'application.

Prise en compte des dégâts de la tempête Klaus

La prise en compte des dégâts de la tempête Klaus a été réalisée (pour tous les points et/ou pour tous les arbres, y compris les arbres recrutés) à l'issue de la phase d'actualisation de la ressource jusqu'au 23 janvier 2009.

Le poids des arbres à l'hectare calculé sur les points IFN a été réduit de l'intensité des dégâts.

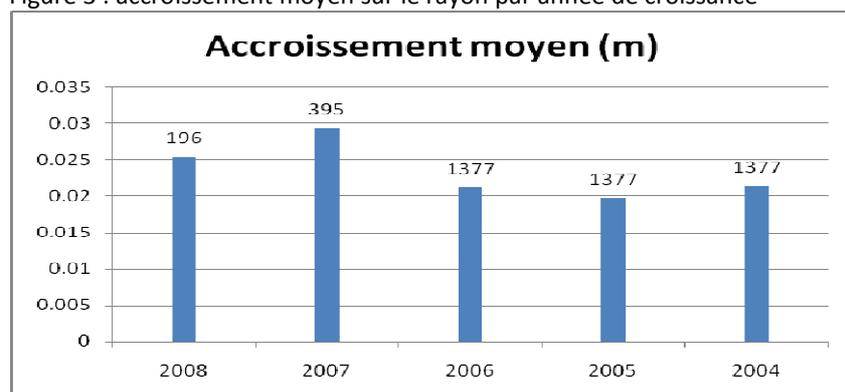
3.2.4. Spécificités de l'actualisation avec le modèle INRA

Ajustement de la croissance annuelle

Le modèle PP3 prédit la croissance pour une situation climatique moyenne. Or la période 2005-2008 a été affectée par des années particulièrement défavorables à la croissance du pin maritime.

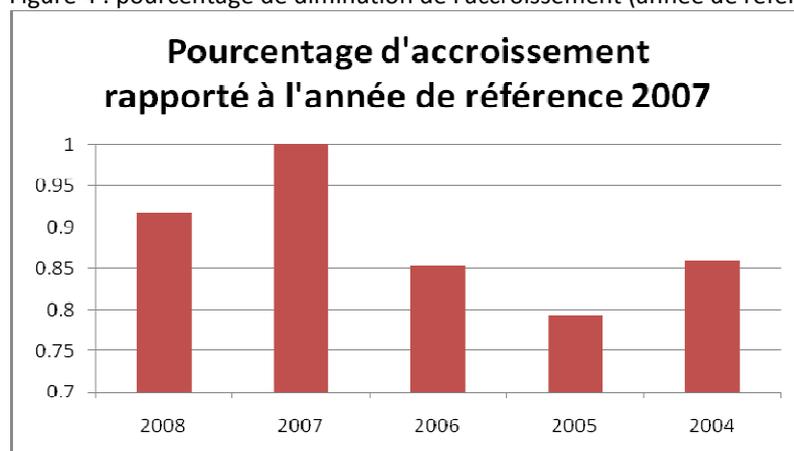
L'objectif étant de représenter au mieux la croissance observée sur la période d'actualisation, il a été choisi de réduire la croissance des arbres. Les taux d'ajustement annuels ont été déterminés sur la base des accroissements en diamètre de la période 2005-2008 mesurés sur les carottes des arbres levés lors des inventaires IFN (figure 3). Les pourcentages de correction qui ont été appliqués sont présentés dans la figure 4.

Figure 3 : accroissement moyen sur le rayon par année de croissance



L'étiquette correspond au nombre d'arbres considérés

Figure 4 : pourcentage de diminution de l'accroissement (année de référence 2007)



Non prise en compte du recrutement dans la croissance individuelle des arbres

Un recrutement a pu être calculé sur certains points actualisés avec le modèle PP3 (cf supra). Ce cas de figure reste cependant rare dans la mesure où les points traités avec le modèle INRA ont tous un âge minimum de 15 ans.

Pour autant, sur les points où un recrutement a été estimé, l'effectif additionnel n'a pas été pris en compte dans les variables permettant de calculer l'accroissement individuel. En clair, on a considéré que les arbres recrutés n'ont pas eu d'impact sur la croissance de leurs voisins. Cette hypothèse simplificatrice a été jugée préférable, compte tenu du mode d'estimation global du recrutement.

Modèle de récolte et de mortalité

Trois cas ont été distingués lorsque le point a été revisité après la tempête Klaus et que des informations étaient disponibles au niveau des arbres :

- les arbres exposés et indemnes après la tempête (absence de dégât),
- les arbres exposés et endommagés par la tempête (arbres chablis ou volis),
- les arbres qui ont disparu avant la tempête Klaus, donc non exposés.

Dans ce dernier cas, une éclaircie individuelle a été simulée pour tenir compte de ces disparitions, et ainsi rendre compte de leur impact sur la croissance des arbres restants.

La date des disparitions (par éclaircie ou mortalité) a été affectée (1) soit en fin de période de croissance pour les points levés fin 2006, en 2007 et 2008 (2) soit en milieu de période de croissance pour les autres dates de lever.

Par ailleurs, l'éclaircie des arbres est obligatoirement faite en fin de période de croissance, lorsque la disparition des arbres entraîne un nombre total de tiges par hectare inférieur à 100. En effet, en deçà de ce seuil, le modèle PP3 ne peut fonctionner correctement.

Enfin, quand seule l'information d'une éclaircie probable de niveau point existe (information extraite d'un travail *ad hoc* de photo-interprétation par l'IFN), un taux de coupe moyen a été proposé par l'IFN. L'outil de coupe dans *Capsis* affecte une valeur de surface terrière après éclaircie avec un Kg³ égal à 1 et le poids à l'hectare des arbres sur le point est réduit d'un taux équivalent à l'intensité de cette coupe.

3.2.5. Spécificités de l'actualisation avec les modèles IFN *ad hoc*

A partir des données IFN sur l'accroissement annuel en rayon, un modèle de croissance individuel en circonférence, fonction de la circonférence initiale, a été ajusté par année (2005 à 2008), par groupe d'essences (chênes : chêne pédonculé, sessile, pubescent, et tauzin, autres feuillus et groupes des résineux dans lequel le pin maritime est quasi exclusif) et par localisation géographique (Dunes Littorales vs reste du massif landais).

Ce sont donc 24 modèles distincts qui ont théoriquement été calibrés par l'IFN, sur la base des seules données IFN. Des tests statistiques ont cependant permis de réduire à **16 le nombre de modèles de croissance distincts**, en regroupant les combinaisons qui ne présentaient pas de différences significatives sur le critère de la croissance radiale. Concrètement, la distinction entre la Dune et le reste du massif landais a été conservée pour le groupe des résineux, mais écartée pour les essences feuillues.

Les accroissements prédits sont directement issus des observations IFN sur la période considérée. En ce sens ils n'ont pas été corrigés *a posteriori*, comme ce fut le cas des variables actualisées avec le modèle PP3, basé sur une année climatique moyenne.

3.3. Calculs statistiques

Les données actualisées de niveau point (âge, recrutement) et arbre (circonférence, hauteur, volume, surface terrière, effectif) ont été insérées dans la base d'exploitation de l'IFN, comme de nouvelles estimations.

Les variables actualisées sont ainsi interrogeables avec les outils de calcul statistiques de l'IFN à l'échelle du massif landais, à savoir le Service de calcul et l'application OCRE.

³ Un Kg égal à 1 signifie que toutes les classes de dimensions sont éclaircies de façon équivalente.

4. Résultats : la ressource sur pied et son évolution

4.1. Couverture du sol

4.1.1. Préambule

Sur les données d'inventaire

Dans cette partie relative aux superficies, les résultats dits « de l'inventaire national » concernent la période précédant la tempête Klaus, soit les quatre premières campagnes annuelles d'inventaire réalisées de 2005 à 2008, ou une année moyenne 2006, c'est-à-dire des chiffres non actualisés.

Rappel : les inventaires départementaux ont les années de référence suivantes :

Département	cycle 2	cycle 3	cycle 4
Gironde (33)	1977	1987	1998
Landes (40)	1978	1988	1999
Lot-et-Garonne (47)	1979	1989	2000
Massif landais	1978	1988	1999

Dans l'ancienne méthode d'inventaire, les résultats à l'échelle du massif landais étaient la somme des résultats des inventaires départementaux, sans actualisation.

Des données non actualisées

Il est important de noter que les actualisations de la ressource réalisées après les tempêtes de 1999 et de 2009 (cf. objet de la présente étude pour cette dernière) ne concernent pas les attributs des points IFN tels que le statut « forêt / non forêt » ou l'essence principale du peuplement : ils ne sont pas mis à jour par ces opérations (cf. paragraphe 2.4.3). Ces actualisations sont à intégrer dans les analyses prospectives qui doivent proposer des scénarios d'évolution des superficies par catégories d'occupation des sols et par essences principales.

Ainsi, un peuplement de pin maritime inventorié au quatrième cycle avant la tempête Martin et détruit par celle-ci à 80 % restera un peuplement de pin maritime dans la colonne relative aux résultats du quatrième cycle.

En revanche, les effets des tempêtes peuvent apparaître lors de la comparaison des résultats des inventaires successifs.

Les surfaces des différentes catégories d'occupation du sol, ou des essences principales ne sont donc pas modifiées par les actualisations successives, actualisations dont l'objectif est de mettre à jour les grandeurs dendrométriques de la ressource, comme le volume ou la surface terrière. Cette approche est conforme avec le code forestier qui stipule qu'un terrain temporairement déboisé conserve un statut boisé pendant une durée d'au moins 5 ans, sauf indications contraires.

4.1.2. Evolution de la superficie selon l'occupation du sol

Tableau 2 : évolution de la couverture du sol du massif landais à partir des inventaires IFN

Couverture du sol (en hectares)	Inventaires départementaux (de 1977 à 2000)			Inventaire national (2005 à 2008)	
	2 ^e cycle (1978)	3 ^e cycle (1988)	4 ^e cycle (1999)	Superficie (2006)	Intervalle de conf. à 95% (en ha)
Forêt (y compris peupleraies et bosquets)	989 000	973 000	991 000	974 000	31 000
<i>Dont forêt de production (hors peupleraie)</i>	<i>965 000</i>	<i>953 000</i>	<i>965 000</i>	<i>951 000</i>	<i>31 000</i>
<i>Dont autre forêt (hors peupleraie)</i>	<i>21 000</i>	<i>18 000</i>	<i>22 000</i>	<i>21 000</i>	<i>7 000</i>
<i>Dont peupleraie</i>	<i>4 000</i>	<i>2 000</i>	<i>3 000</i>	<i>3 000</i>	<i>4 000</i>
Lande	39 000	29 000	19 000	16 000	8 000
Autre végétation cultivée	288 000	295 000	304 000	286 000	Non Disponible
Sans végétation					
Eau continentale					
Sous total des surfaces non occultées	1 316 000	1 297 000	1 314 000	1 276 000	Non Disponible
Occulté	15 000	32 000	15 000	53 000	6 000
Total Massif Landais	1 331 000*	1 329 000	1 329 000	1 329 000	sans objet

*L'estimation des surfaces départementales et des régions forestières a légèrement varié en raison du changement de méthode d'estimation de celles-ci et des mouvements des dunes et du littoral.

La surface boisée du massif landais est restée globalement constante au cours du temps, avec des variations constatées qui sont inférieures à la précision statistique permise par l'outil IFN (cf. dernière colonne à droite du tableau).

Plus généralement, on ne relève pas d'évolutions statistiquement significatives des superficies par catégorie d'utilisation du sol depuis la fin des années 1970, si ce n'est celle des landes qui tend systématiquement à se réduire : diminution de près de 60 % de la surface depuis 1978.

On notera que les variations observées semblent étroitement corrélées aux superficies occultées par les autorités militaires. Ces espaces comprennent des terrains sans végétation, des terrains boisés et des landes, sans qu'il soit possible d'évaluer la superficie de chacun d'eux. Davantage de détails sont disponibles dans la note préparée par l'IFN en mai 2010 à la demande de l'administration forestière régionale et rapportée en annexe 1.

4.1.3. Evolution de la surface boisée de pin maritime

L'essence principale d'un point IFN est définie comme l'essence de plus fort couvert libre :

- sur la placette de 20 ares si le peuplement est recensable⁴,
- sur la placette de 7 ares si le peuplement n'est pas recensable.

⁴ Un peuplement est dit recensable quand la strate des arbres de plus de 7,5 cm de diamètre à 1,30 m de hauteur recouvre plus de 15 % de la superficie du point.

Tableau 3 : évolution de la surface des peuplements de pin maritime du massif landais

En hectare	Cycle 2 (1978)	Cycle 3 (1988)	Cycle 4 (1999)	Inv. national (2006)
Gironde	353 000	362 000	363 000	320 000
Landes	487 000	480 000	477 000	436 000
Lot-et-Garonne	51 000	54 000	51 000	47 000
Massif landais	891 000	896 000	891 000	803 000

La surface boisée de production où le pin maritime est l'essence principale du peuplement (y compris les coupes rases) est restée stable sur la période comprise entre 1977 et 2000, soit autour de 895 000 ha. Elle a nettement baissé en 2006, pour atteindre 803 000 ha, dont 132 000 ha de peuplements non recensables.

Alors que la surface boisée totale du massif landais est restée globalement constante sur la période (cf. § précédent), la surface des peuplements à essence principale feuillue a progressé de 70 000 ha depuis le quatrième cycle d'inventaire (dont 52 000 ha de chênes), pendant que celle des pins maritimes a régressé de 88 000 ha.

Si, à première vue, l'évolution observée récemment laisse penser à un phénomène de changement d'essence principale depuis la tempête Martin, l'analyse détaillée des données IFN dans les peuplements feuillus montre qu'en 2006 :

- 85 % du volume inventorié dans les peuplements feuillus recensables est représenté par des essences feuillues. Ce chiffre est cohérent avec le classement de ces points en peuplements à essence principale feuillue,
- Les trois quarts de la surface feuillue du massif landais sont constitués de peuplements recensables,
- Moins de 4 % de la surface feuillue est constituée de plantations,
- 85 % de la surface représentée par les peuplements feuillus a un âge > 30 ans.

En outre, l'IFN a analysé le devenir des peuplements de pin maritime observés lors du quatrième cycle d'inventaire, jusqu'à une date antérieure à la tempête Klaus.

Cette analyse révèle une corrélation positive entre l'intensité des dégâts de la tempête Martin et l'évolution à la hausse des surfaces à essence principale feuillue sur des surfaces autrefois pin maritime. Elle ne donne toutefois pas la raison de cette évolution, qui peut être soit (1) naturelle par effet mécanique dans des peuplements mélangés où les pins ont plus disparu que les feuillus, (2) naturelle par effet de colonisation des essences feuillue, ou (3) artificielle du fait de plantations feuillues.

L'importance des deux dernières hypothèses peut toutefois être relativisée par les éléments qui ont été présentés plus haut, à savoir que les peuplements à essence principale feuillue sont majoritairement recensables et ne sont pas des plantations.

Finalement, ces éléments révèlent :

- (1) pour une grande majorité d'entre eux, la présence depuis une date antérieure à la tempête de 1999 des feuillus vus en 2006 (il ne s'agit donc pas d'accrus postérieures à la tempête Martin),
- (2) que les feuillus étaient probablement mélangés aux résineux en 1999, et qu'ils sont devenus prépondérants dans le peuplement après la tempête de 1999, tempête qui a occasionnée des dégâts plus importants dans les résineux.

Davantage de détails sont disponibles dans la note préparée par l'IFN en mai 2010 à la demande du CGEDD, et rapportée en annexe 2.

4.2. Ressource sur pied

4.2.1. Préambule

Les résultats identifiés « Inv. Nat. » ou « Ressource actualisée 2009 » font référence aux résultats obtenus avec les données collectées dans le cadre de la nouvelle méthode d'inventaire (campagnes 2005 à 2008) et actualisées autour de la tempête du 24 janvier 2009. Ils incluent le recrutement estimé sur la période d'actualisation.

Pour ne pas alourdir le présent rapport, les résultats sont uniquement exprimés en volume bois fort tige. Des résultats en surface terrière et en effectif pourraient être élaborés.

4.2.2. Volume par groupe d'essences

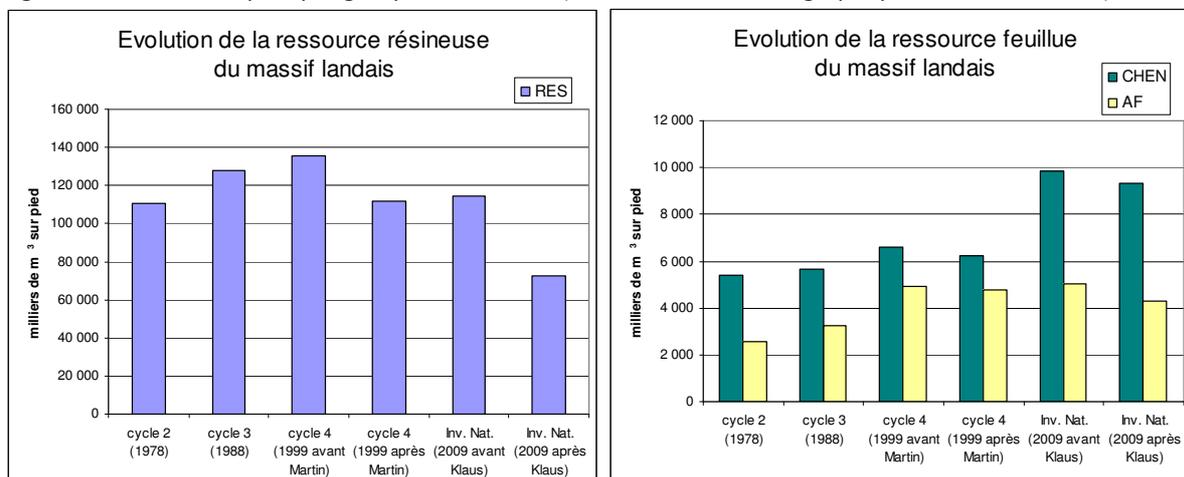
Trois groupes d'essences sont distingués :

- les pins maritimes et les autres résineux (notés RES⁵),
- les chênes pédonculés, sessiles, pubescents et taurins (notés CHEN),
- les autres feuillus (notés AF).

Tableau 4 : volumes sur pied par groupes d'essences (en milliers de m³)

Groupes d'essences	Cycle 2 1978	Cycle 3 1988	Cycle 4 actualisé 1999 (avant Martin)	Cycle 4 actualisé 1999 (après Martin)	Inv. Nat. actualisé 2009 (avant Klaus)	Inv. Nat. actualisé 2009 (après Klaus)
RES	110 568	127 835	135 393	111 607	114 127 ± 11 500	72 464 ± 7 960
CHEN	5 397	5 659	6 627	6 226	9 834 ± 2 710	9 315 ± 2 620
AF	2 569	3 244	4 908	4 794	5 032 ± 1 810	4 315 ± 1 580
Total	118 535	136 738	146 828	122 627	128 993 ± 11 890	86 094 ± 8 605

Figure 5 : volumes sur pied par groupes d'essences (les échelles des deux graphiques sont différentes)



Volume exposé lors de la tempête Klaus

La ressource exposée à la tempête Klaus sur le massif landais était estimée, après actualisation, à près de 129 millions de m³, avec un intervalle de confiance à 95 % de 11,9 Mm³. A la veille de Klaus, la ressource sur pied de pin maritime s'établissait à 114 Mm³ (± 11,5 Mm³).

⁵ La distinction entre les pins maritimes et les autres résineux n'a pas été retenue, ces derniers représentant une ressource faible (0,2 % du volume des résineux) dont l'estimation souffre d'une précision statistique très réduite, alors que les chiffres relatifs au groupe des résineux sont précis.

Tableau 5 : tempête Klaus, volumes exposés, volumes de dégâts et volumes indemnes

Groupes d'essences	Volume sur pied actualisé avant la tempête Klaus			Volume actualisé de dégâts de la tempête Klaus			Volume sur pied actualisé après la tempête Klaus		
	recens. ¹	recrut. ²	total	recens. ¹	recrut. ²	total	recens. ¹	recrut. ²	total
RES	113 611 ± 11 475	516 ± 33	114 127 ± 11 500	41 496 ± 6 100	166 ± 22	41 662 ± 6 120	72 115 ± 7 933	349 ± 30	72 464 ± 7 960
CHEN	9 793 ± 2 703	41 ± 7	9 834 ± 2 710	512 ± 362	<i>ns</i>	519 ± 364	9 281 ± 2 617	34 ± 6	9 315 ± 2 620
AF	4 987 ± 1 800	45 ± 10	5 032 ± 1 810	710 ± 500	<i>ns</i>	717 ± 502	4 277 ± 1 578	37 ± 9	4 315 ± 1 580
Total	128 392 ± 11 900	601 ± 35	128 993 ± 11 890	42 718 ± 6 075	180 ± 23	42 898 ± 6 091	85 673 ± 8 563	421 ± 32	86 094 ± 8 605

¹ La ressource recensable ou « recens » correspond aux arbres qui étaient recensables lors du passage initial en inventaire

² La ressource recrutée ou « recrut » correspond aux tiges qui sont devenues recensables au cours de la période d'actualisation (voir explication de la méthode dans le paragraphe 3.2.3).

ns : chiffre non significatif au seuil de 95 %

Volume de dégâts des tempêtes Martin et Klaus

A l'échelle du massif landais, le volume actualisé de dégâts de la tempête Klaus s'élève à **42,9 Mm³**, avec un intervalle de confiance à 95 % de 6,1 Mm³.

Avec la tempête de 2009, la ressource sur pied de pin maritime dans le massif landais a été réduite de 41,7 Mm³ (± 6,1 Mm³), dont 26,4 Mm³ sous la forme de chablis (± 16 %), 5,8 Mm³ de volis (± 23 %), et 9,5 Mm³ d'autres dégâts (± 20 %).

L'ampleur des dégâts de la tempête Klaus est bien supérieure à celle de Martin, aussi bien en volume touché qu'en taux de dégâts, chez les résineux comme chez les feuillus.

Tableau 6 : volumes de dégâts des tempêtes Martin et Klaus par groupes d'essences

Groupes d'essences	Tempête Martin de 1999		Tempête Klaus de 2009	
	Volume de dégâts (en milliers de m ³)	Taux de dégâts (en %)	Volume actualisé de dégâts (en milliers de m ³)	Taux actualisé de dégâts (en %)
RES	23 786	18	41 662 ± 6 120	37
CHEN	301	6	519 ± 364	5
AF	114	2	717 ± 502	14
Total	24 201	17	42 899 ± 6 091	33

Volume sur pied après la tempête Klaus = état zéro de la ressource post Klaus

La ressource restant sur pied après la tempête Klaus s'établit, à l'échelle du massif landais, à 86,1 Mm³, avec un intervalle de confiance à 95 % de 8,6 Mm³.

En février 2009, la ressource sur pied de pin maritime est de 72,5 Mm³ (± 8 Mm³) et la ressource sur pied d'essences feuillues de 13,6 Mm³ (± 3,4 Mm³).

Ces chiffres constituent les données d'entrée de l'analyse prospective sur la ressource et la disponibilité en bois du massif landais après la tempête Klaus.

Sur la période de 9 ans qui sépare les deux tempêtes Martin et Klaus, le volume de bois sur pied dans le massif landais s'est réduit de 41 %. La ressource pin maritime a connu une baisse de 46 %. Sur la même période, le volume des essences feuillues s'est faiblement accru. En outre, le volume exposé au moment de la tempête Klaus était 12 % inférieur au volume exposé au moment de la tempête Martin (16 % pour le pin maritime) ce qui indique qu'au 1^{er} janvier 2009, le massif landais n'avait pas encore retrouvé son niveau de ressource de la période précédant la tempête Martin.

Effet de l'actualisation sur le volume de chablis

En 2009, l'IFN a estimé un volume de dégâts dans le massif landais de 37,9 millions de m³, plus ou moins 5,7 Mm³, soit un chiffre compris entre 32,2 et 43,6 Mm³. Il excluait notamment le volume des arbres coupés avant la tempête, ces arbres n'étant plus exposés lors du passage de Klaus. Pour autant, ce volume avait été actualisé partiellement, faute de temps.

L'actualisation réalisée dans la présente étude a consisté à faire croître par simulation les arbres qui n'avaient pas été coupés avant la tempête, et à estimer un volume de recrutement. De ce fait, l'actualisation conduit directement à une réévaluation à la hausse du volume de dégâts. Il est désormais estimé à 42,9 Mm³, avec un intervalle de confiance à 95 % de 6,1 Mm³, c'est-à-dire qu'il y a 95 % de chances pour que le volume de dégâts soit compris entre 36,8 et 49 Mm³.

Bien que les deux estimations de dégâts ne concernent pas les mêmes objets statistiques (l'approche mise en œuvre pour l'actualisation fait que le chiffre actualisé est - nécessairement, par construction - plus grand que le chiffre initial et est plus proche de la réalité que le chiffre produit après tempête), on note qu'elles restent dans le même intervalle de confiance, ce qui conforte la validité de l'estimation initiale utilisée dans les politiques post-tempête.

4.2.3. Volume résineux par département

Tableau 7 : volumes sur pied par département (en milliers de m³)

Département	Cycle 2 1978	Cycle 3 1988	Cycle 4 actualisé 1999 (avant Martin)	Cycle 4 actualisé 1999 (après Martin)	Inv. Nat. actualisé 2009 (avant Klaus)	Inv. Nat. actualisé 2009 (après Klaus)
Gironde	40 337	48 794	48 847	31 107	35 447 ± 6 345	27 008 ± 5 051
Landes	64 046	71 131	77 993	72 758	72 108 ± 8 941	40 295 ± 5 722
Lot-et-Garonne	6 187	7 905	8 553	7 742	6 572 ± 2 806	5 161 ± 2 266
Massif landais	110 569	127 835	135 393	111 607	114 127 ± 11 500	72 464 ± 7 960

Figure 6 : volumes sur pied par département

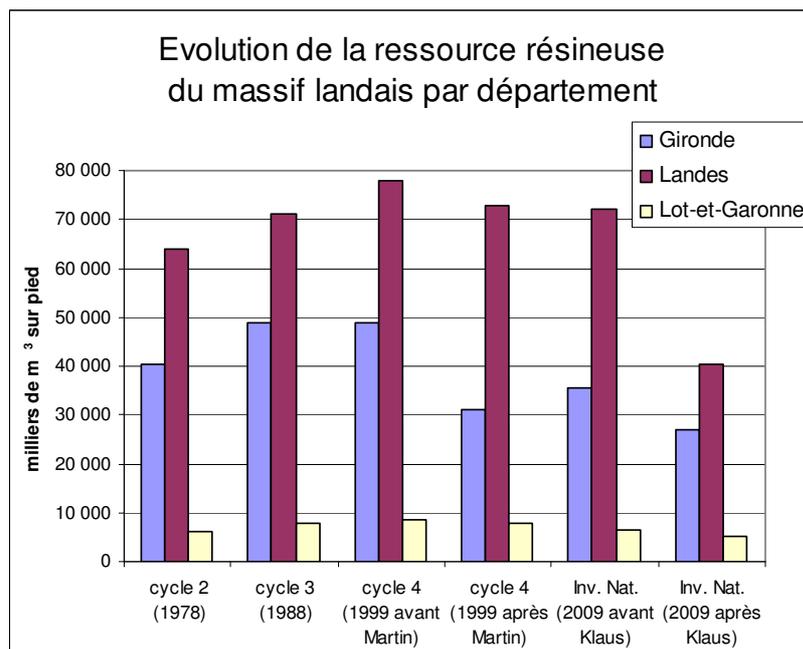


Tableau 8 : volumes de dégâts des tempêtes Martin et Klaus par département

Département	Tempête Martin de 1999		Tempête Klaus de 2009	
	Volume de dégâts (en milliers de m ³)	Taux de dégâts (en %)	Volume actualisé de dégâts (en milliers de m ³)	Taux actualisé de dégâts (en %)
Gironde	17 740	36	8 439 ± 2 709	24
Landes	5 235	7	31 813 ± 5 408	44
Lot-et-Garonne	811	9	1 411 ± 983	21
Total	23 786	18	41 662 ± 6 120	37

4.2.4. Volume résineux par classe d'âge

Tableau 9 : volumes sur pied par classe d'âge (milliers de m³)

Classe d'âge	Ressource actualisée 2009 (avant Klaus)		Dégâts actualisés de la tempête Klaus		Ressource actualisée 2009 (après Klaus)	
Moins de 10 ans	<i>ns</i>		<i>ns</i>		<i>ns</i>	
10 - 20 ans	9 437	± 2 248	2 124	± 946	7 313	± 1 794
20 - 30 ans	18 345	± 3 887	6 951	± 2 088	11 394	± 2 856
30 - 40 ans	22 862	± 5 042	9 672	± 2 813	13 190	± 3 729
40 - 50 ans	20 594	± 5 037	8 101	± 3 035	12 492	± 3 933
50 - 60 ans	16 073	± 4 639	4 893	± 2 402	11 181	± 3 803
60 ans et plus	25 751	± 6 712	9 611	± 3 470	16 140	± 4 842
Total	114 127	± 11 500	41 662	± 6 120	72 464	± 7 960

ns : chiffre non significatif au seuil de 95 %

Figure 7 : volumes sur pied par classe d'âge

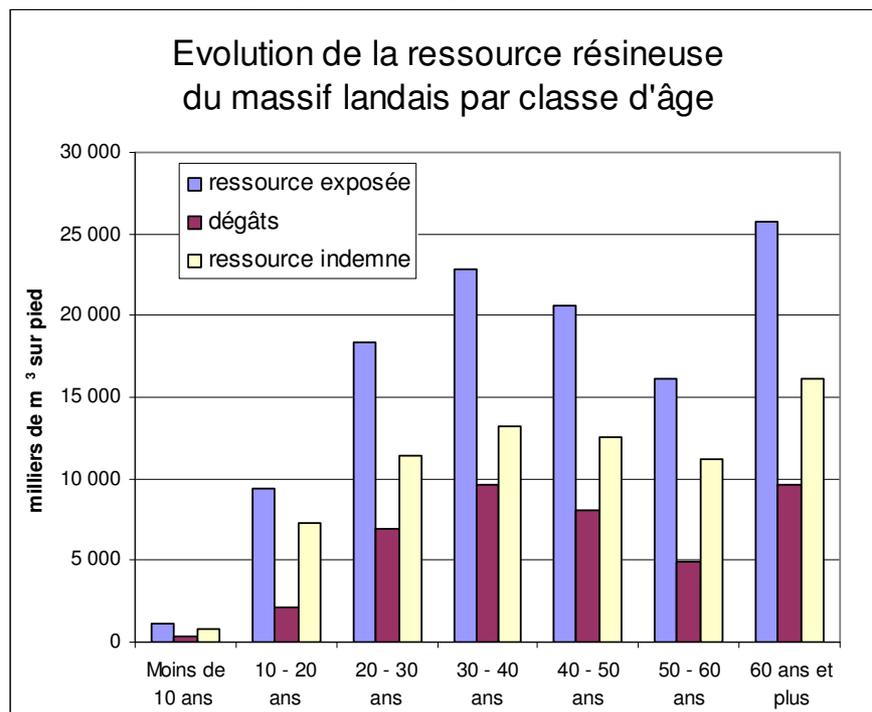


Tableau 10 : taux de dégâts de la tempête Klaus par classe d'âge

Classe d'âge	Taux actualisé de dégâts de la tempête 2009
Moins de 10 ans	29 %
10 - 20 ans	33 %
20 - 30 ans	38 %
30 - 40 ans	42 %
40 - 50 ans	39 %
50 - 60 ans	30 %
60 ans et plus	37 %
Total	37 %

4.2.5. Volume résineux par classe de dimension des bois

Tableau 11 : volumes sur pied par classe de dimension des bois (en milliers de m³)

Classe de circonférence	Ressource actualisée 2009 (avant Klaus)		Dégâts actualisés de la tempête Klaus		Ressource actualisée 2009 (après Klaus)	
Petits bois (< 60 cm)	8 528	± 1 407	1 684	± 505	6 844	± 1 205
Moyens bois (60 à 110 cm)	41 763	± 4 667	15 030	± 2 383	26 732	± 3 435
Gros bois (110 à 160 cm)	45 408	± 5 940	18 122	± 3 162	27 286	± 4 178
Très gros bois (> 160 cm)	18 428	± 3 846	6 826	± 1 927	11 602	± 2 962
Total	114 127	± 11 500	41 662	± 6 120	72 464	± 7 960

Figure 8 : volumes sur pied par classe de dimension des bois

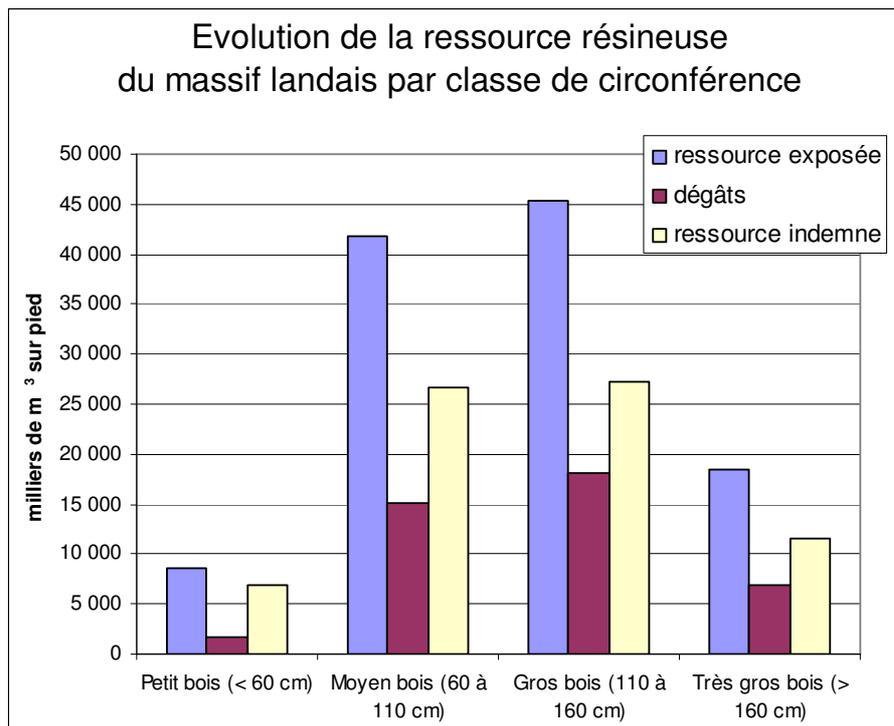


Tableau 12 : taux de dégâts de la tempête Klaus par classe de circonférence

Classe de circonférence	Taux actualisé de dégâts de la tempête 2009
Petits bois (< 60 cm)	20 %
Moyens bois (60 à 110 cm)	36 %
Gros bois (110 à 160 cm)	40 %
Très gros bois (> 160 cm)	37 %
Total	37 %

5. Conclusion et perspectives

La présente étude a permis d'atteindre deux objectifs complémentaires et essentiels en vue de l'analyse prospective de la ressource et de la disponibilité en bois à moyen terme sur le massif landais :

1. La constitution d'un état actualisé de la ressource sur pied après le passage de la tempête Klaus et à l'échelle du massif landais, soit à la date du 25 janvier 2009. On peut désormais envisager une étude de ressource et de disponibilité.
2. L'adaptation du module *Sylvogène* aux données du nouvel inventaire IFN.

Sur la ressource actualisée après tempête

Pour autant, la ressource initiale à implémenter dans l'étude prospective devra tenir compte de deux facteurs survenus postérieurement à la tempête Klaus, à savoir :

- la prolifération des scolytes notamment lors de l'été 2010, avec des volumes atteints estimés à 3,9 millions de m³ (DSF, 2010),
- l'exploitation des peuplements chablis réalisée les années 2009 et 2010.

Des études en cours permettront de renseigner ces différents éléments.

Il sera également nécessaire, dans l'optique d'une prospective à moyen terme, d'analyser finement les peuplements aujourd'hui sans ressource (coupes rases et jeunes peuplements). La collecte de nouvelles données sur photographies aériennes ou directement sur le terrain permettrait de préciser si ces peuplements étaient toujours forestiers avant la tempête, et si tel était le cas, s'ils ont été impactés par celle-ci.

Sur le module *Sylvogène* et le simulateur régional de la ressource pin maritime

Comme cela avait été imaginé lors de la création de l'outil (Bélouard *et al.*, 2009), le module *Sylvogène* a montré sa capacité d'évolution. Il est désormais capable :

- de prendre en compte des données IFN issue de la nouvelle méthode d'inventaire,
- de simuler des éclaircies / mortalités relevés sur ces points,
- de fournir des fichiers utilisables par l'IFN pour le calcul de résultats « massif ».

Néanmoins, plusieurs limites sont apparues :

- Le traitement des jeunes peuplements, et plus précisément des peuplements en deçà du seuil de recensabilité de l'IFN.
- Certains points IFN ne présentent pas suffisamment d'arbres mesurés pour que le modèle PP3 puisse convenablement prédire les croissances individuelles.

Ainsi, mais plus globalement encore, il est apparu important de revisiter dans l'avenir le modèle de croissance pin maritime en utilisant les données IFN. Cela permettrait d'améliorer son domaine de calibration, en termes de milieux couverts et de types de structure forestière.

Sur les liens avec d'autres études

Les résultats pin maritime actualisés pourraient également être utilisés dans l'étude en cours sur les facteurs de stabilité des peuplements, étude commandée par la Région Aquitaine et confiée au groupement CNPF, CRPF Aquitaine, GIS pin maritime du futur et IFN.

Les résultats de la présente étude pourraient aussi servir de référence chiffrée dans la prospective territoriale confiée par la Région Aquitaine à l'INRA et qui s'intéresse aux dynamiques démographiques, économiques, sociales et écologiques du territoire, en intégrant les questions d'adaptation du massif forestier aux changements globaux, notamment climatiques, et les évolutions des espaces agricoles, naturels et urbanisés.

Références citées dans le rapport

Bélouard T., Meredieu C., Labbé T., Najar M., 2009. Construire un système d'analyse permanent de la ressource pour optimiser la récolte et la valorisation des peuplements existants. Tache 2.3. du Contrat de recherche Sylvogène. Rapport final Sylvogène 2006-2009. Pp. 199-220.

de Coligny F., Ancelin P., Cornu G., Courbaud B., Dreyfus P., Goreaud F., Gourlet-Fleury S., Meredieu C., Saint-André L., 2003. CAPSIS: computer-aided projection for strategies in silviculture, advantages of a shared forest-modelling platform. In: Amaro A, Reed D, Soares P, Modelling Forest Systems, CABI Publishing, Wallingford. Pp 319–323.

Dreyfus P., Bonnet F. R., 1995. "CAPSIS : logiciel de simulation de conduites sylvicoles." Revue forestière française, n° spécial 1995 47: 111-115.

GIP Ecofor, 2010. Expertise sur l'avenir du Massif forestier des Landes de Gascogne <http://landes.gip-ecofor.org/index.php>

IFN 2010. La forêt française. Les résultats issus des campagnes d'inventaire 2005 à 2009 <http://www.ifn.fr/spip/spip.php?article718>

IFN 2003. Massif des Landes de Gascogne, 1998-1999-2000 + résultats après la tempête du 27/12/1999. Résultats et commentaires. 72 pages.

Lemoine B., 1991. "Growth and yield of maritime pine (*Pinus pinaster Ait*): the average dominant tree of the stand." Ann. Sci. For 48: 593-611.

Lien sur le site web Capsis et le projet Sylvogène : http://www.inra.fr/capsis/help_fr/sylvogene

L'IF n°21, 1^{er} trimestre 2009. IFN. Tempête Klaus du 24 janvier 2009 : 234 000 hectares de forêt affectés à plus de 40 %, 42,5 millions de mètres cubes de dégâts. 12 pages.

DSF Aquitaine. 2010. Avertissement santé des forêts n°10-05. Suite de la tempête de janvier 2009. Exploitation curative des peuplements scolytés durant l'hiver 2010-2011. DRAAF Aquitaine. Pôle santé des forêts Aquitaine - Midi-Pyrénées. 27 octobre 2010. 4 pages.

Salas González R., Houllier F., Lemoine B., Pierrat J-C., 1993. Représentativité locale des placettes d'inventaire en vue de l'estimation de variables dendrométriques de peuplement. Annales des Sciences Forestières n°50. Pp. 469-485.

Salas-González R., Houllier F., Lemoine B., Pignard G., 2001. Forecasting wood resources on the basis of national forest inventory data. Application to *Pinus pinaster Ait* in southwestern . Ann For Sci 58:785-802.

Annexe 1 : analyse de l'évolution de la couverture du sol

Le document suivant est une synthèse de la note préparée par l'IFN à la demande de M. Alousque (DRAAF Aquitaine), à qui elle a été remise le 21 mai 2010.

Le massif landais – ou massif des Landes de Gascogne – est défini comme l'ensemble des 4 régions forestières nationales suivantes, réparties sur les départements de la Gironde, des Landes et du Lot-et-Garonne : Dunes littorales, Plateau landais, Marensin, Bazadais.

Par la suite, il ne sera plus noté que le nom du département. Les chiffres ne concernent cependant que la portion incluse dans le massif landais.

Les résultats de l'inventaire systématique publiés dans cette note concernent la période précédant la tempête Klaus, soit les quatre premières campagnes 2005 à 2008.

Les résultats des inventaires départementaux ont les années de référence suivantes :

département	date des levés		
	cycle 2	cycle 3	cycle 4
33	1977	1987	1998
40	1978	1988	1999
47	1979	1989	2000

A noter que les actualisations de la ressource postérieures aux tempêtes 1999 et 2009 concernent l'état de végétation des arbres (vif ou chablis) et *in fine* les volumes sur pied. En revanche, les attributs des points d'inventaire tel que l'essence principale ne sont pas mis à jour par ces opérations. Ainsi, un peuplement de pin maritime détruit à 80 % restera un peuplement de pin maritime. Les surfaces ne sont donc pas modifiées par les actualisations.

Evolution de la couverture du sol du massif landais à partir des inventaires IFN

Tableau 1 : évolution de la couverture du sol du massif landais à partir des inventaires IFN

Couverture du sol (en hectares)	Inventaires départementaux (de 1977 à 2000)			Inventaire national (2005 à 2008)	
	2 ^{ème} cycle	3 ^e cycle	4 ^e cycle	Superficie	Intervalle de conf. à 95%
Forêt (y compris peupleraies et bosquets)	989 000	973 000	991 000	974 000	31 000
<i>Dont forêt de production (hors peupleraie)</i>	<i>965 000</i>	<i>953 000</i>	<i>965 000</i>	<i>951 000</i>	<i>31 000</i>
<i>Dont autre forêt (hors peupleraie)</i>	<i>21 000</i>	<i>18 000</i>	<i>22 000</i>	<i>21 000</i>	<i>7 000</i>
<i>Dont peupleraie</i>	<i>4 000</i>	<i>2 000</i>	<i>3 000</i>	<i>3 000</i>	<i>4 000</i>
Lande	39 000	29 000	19 000	16 000	8 000
Autre végétation cultivée	288 000	170 000	165 000	196 000	16 000
Sans végétation		102 000	116 000	70 000	10 000
Eau continentale		23 000	23 000	20 000	4 000
Sous total Surface non occultée	1 316 000	1 297 000	1 314 000	1 276 000	
Occulté	15 000	32 000	15 000	53 000	6000
Total Massif Landais	1 331 000*	1 329 000	1 329 000	1 329 000	

*L'estimation des surfaces départementales et des régions forestières a légèrement varié en raison du changement de méthode d'estimation de celles-ci et des mouvements des dunes et du littoral.

Tableau 2 : nomenclature de la couverture du sol appliquée par l'IFN

Libellé	Définition
Forêt	Territoire occupant une superficie d'au moins 50 ares avec des végétaux ligneux (hors liane) capables d'atteindre une hauteur supérieure à 5 m à maturité in situ, un couvert arboré de plus de 10 % (plus de 40 % pour les forêts fermées, entre 10 et 40 % pour les forêts ouvertes) et une largeur moyenne d'au moins 20 m. Elle n'inclut pas les terrains dont l'utilisation du sol prédominante est agricole. Le taux de recouvrement relatif des peupliers cultivés est inférieur à 75 %.
Bosquet	Terrain où sont remplies les conditions définissant la forêt fermée à l'exception du minimum de l'aire, qui est de 5 ares.
Lande	Terrain où croissent des végétaux non cultivés et où le taux de recouvrement absolu des arbres est inférieur à 10 %, même si des arbres épars sont présents.
Peupleraie	Terrain où sont remplies les conditions définissant la forêt à l'exception du taux de recouvrement relatif des peupliers cultivés, qui doit être supérieur ou égal à 75 %.
Autre végétation	Terrain portant des végétaux non ligneux cultivés, des arbres fruitiers, des arbres d'ornement ou des arbustes cultivés. On y trouve éventuellement des haies et des alignements. Sa largeur doit être supérieure à 20 m et sa surface à 5 ares.
Sans végétation	Terrain naturellement sans végétation (glace, roche, sol nu) ou artificialisé (sol bâti ou revêtu). Sa largeur est supérieure à 5 m, sa longueur à 25 m et son aire à 5 ares.
Eau continentale	Surface d'eau continentale, douce, saumâtre ou salée, courante ou stagnante. Elle a une largeur supérieure à 5 m et une longueur supérieure ou égale à 25 m.
Occulté	Terrains occultés sur les photos aériennes par les autorités militaires.

Détails sur les zones occultées par les autorités militaires

Certaines zones n'ont pu être inventoriées car occultées sur les images ou la BD Ortho® par les autorités militaires.

Tableau 3 : zones occultées par les autorités militaires lors des différents inventaires IFN

	Cycle 2 (1978)	Cycle 3 (1988)	Cycle 4 (1999)	Inv. Nat. (2006)	Commentaires
Camp militaire de Captieux (33 et 40)	Occulté	Occulté	Occulté	Occulté	
Camp de Souge (33)	Occulté	Occulté	Occulté	Occulté	
Cazaux (33)	Occulté	Occulté	Occulté	Occulté	
CEL Biscarosse (40)	Inventorié	Occulté	Inventorié	Occulté	env. 13 000 ha
Lagnereau	Occulté	Occulté	Occulté	Occulté	
Base aérienne de Mont-de-Marsan (40)	Inventorié	Inventorié	Inventorié	Occulté	
Latche	Inventorié	Occulté	Inventorié	Inventorié	1 200 ha
CEA Le Barp	Occulté	Occulté	Occulté	Occulté	
SNPE Poudrerie St Médard en Jalles (33)	?	1 000 ha occultés	800 ha occultés	Occulté	6 000 ha

L'augmentation importante des surfaces des zones occultées entre le 4^e inventaire et l'inventaire systématique correspond à :

- Non inventaire du CEL des Landes depuis 2005 ;
- Occultation du pourtour du Camp militaire de Captieux ;
- Apparition de nouvelles zones occultées de taille plus modeste : base aérienne de Mont-de-Marsan, SNPE à St-Médard-en-Jalles, etc.

L'augmentation des surfaces occultées conjuguée à la variabilité d'échantillonnage explique en tout ou partie la diminution apparente des surfaces sans végétation.

Bien que ne correspondant pas à une région administrative, il a été possible de calculer ces statistiques sur le massif landais sur la base des points échantillonnés au sein du massif.

Comme le massif landais n'est pas pris en compte dans la stratification du nouvel inventaire, sa surface totale a été prise égale à celle du 4^e inventaire.

Toujours pour l'inventaire national, la surface des zones occultées a été obtenue par différence entre la surface totale du massif landais et la surface des autres couvertures.

Commentaires

La surface forestière du massif landais est globalement constante sur la période 1999-2006, avec une réduction de 17 000 ha, soit un chiffre inférieur à la précision statistique permise par l'outil IFN (cf. dernière colonne du tableau 1). La surface agricole (appelée « autre végétation » par l'IFN) progresse de 31 000 ha sur la même période.

On relève également la progression de 38 000 ha de la surface occultée du fait de leur masquage sur photographies aériennes par les autorités militaires. Ces espaces comprennent des terrains sans végétation et des terrains boisés, sans qu'il soit possible d'évaluer la superficie de chacun d'eux. Cette progression peut expliquer pour partie la baisse de 46 000 ha de terres sans végétation sur la période.

De même, il n'y a pas d'évolution significative de la surface des landes entre le 4^e inventaire et l'inventaire national.

La couverture du sol « autre végétation » correspond pour l'essentiel aux surfaces agricoles. Leur augmentation a été statistiquement significative entre le 4^e inventaire et l'inventaire national et annuel (période 2005 à 2008). L'augmentation estimée (+ 31 000 ha) est nettement supérieure à l'intervalle de confiance au seuil de 95% (16 000 ha).

Auteurs : Thierry Bélouard (IFN) et Antoine Colin (IFN)

Annexe 2 : analyse de l'évolution de la surface forestière par essence principale

Le document suivant est un extrait de la note préparée par l'IFN à la demande de M. Lafitte (CGEDD), à qui elle a été remise le 20 mai 2010.

Le massif landais – ou massif des Landes de Gascogne – est défini comme l'ensemble des 4 régions forestières nationales suivantes, réparties sur les départements de la Gironde, des Landes et du Lot-et-Garonne : Dunes littorales, Plateau landais, Marensin, Bazadais.

Par la suite, il ne sera plus noté que le nom du département. Les chiffres ne concernent cependant que la portion incluse dans le massif landais.

Les résultats de l'inventaire systématique publiés dans cette note concernent la période précédant la tempête Klaus, soit les quatre premières campagnes 2005 à 2008.

A noter que les actualisations de la ressource postérieures aux tempêtes 1999 et 2009 concernent l'état de végétation des arbres (vif ou chablis) et *in fine* les volumes sur pied. En revanche, les attributs des points d'inventaire tel que l'essence principale ne sont pas mis à jour par ces opérations. Ainsi, un peuplement de pin maritime détruit à 80 % restera un peuplement de pin maritime. Les surfaces ne sont donc pas modifiées par les actualisations.

1. Résultats de l'inventaire systématique sur le massif landais (2005-2008)

A l'issue des quatre premières campagnes d'inventaire, la surface des forêts de production du massif landais, bosquets inclus et peupleraies exclues, est évaluée par l'IFN à 951 000 hectares.

Tableau 1 : superficie des forêts de production inventoriées

	Superficie (en ha)	Intervalle de confiance à 95% (en ha)
Forêts de production hors peupleraies	951 000	31 000
Dont forêts visitées	949 000	31 000
- Dont bois et boqueteaux (surface > 0,5 ha)	947 000	31 000
- Dont bosquets (surface entre 0,05 et 0,5 ha)	2 000	3 000
Dont forêts non visitées*	2 000	4 000

* les forêts non visitées n'ont pas pu être inventoriées par les opérateurs de terrain en raison de leur inaccessibilité. Ils ont toutefois confirmés qu'il s'agit de forêts de production. Aucune description des couverts ou mesure sur les arbres n'ont été réalisées ; elles sont exclues des résultats suivants.

Tableau 2 : évolution de la surface des forêts de production visitées suivant l'essence principale

Composition	Essence principale du peuplement	4 ^{ème} cycle (1999)		Inventaire national (2006)	
		Superficie (en ha)	% surface totale	Superficie (en ha)	% surface totale
Résineux	Pin maritime	891 000	92 %	803 000	84 %
	<i>Dont essence principale en peuplement recensable</i>	846 000 ²	87 %	629 000	66 %
	<i>Dont essence principale en peuplement non recensable³</i>			132 000	14 %
	<i>Dont momentanément déboisé¹</i>	45 000	5 %	41 000	4 %
	Autres résineux	2 000	< 1 %	4 000	< 1 %
	Total résineux	893 000	92 %	807 000	85 %
Feuillus	Chêne pédonculé	45 000	5 %	97 000	10 %
	Autres feuillus	28 000	3 %	46 000	5 %
	Total feuillus	73 000	8 %	142 000	15 %
Total	Forêts de production visitées	965 000	100 %	949 000	100 %

¹ les surfaces momentanément déboisées ne portent pas d'essence principale. Elles sont considérées comme des surfaces à vocation « pin maritime », hypothèse vérifiée par les résultats du 4^{ème} cycle.

² il n'est pas possible avec les résultats des inventaires départementaux de distinguer de manière suffisamment fiable si l'essence principale notée en forêt est recensable ou non.

³ est classée « essence principale du peuplement » l'essence de plus fort couvert libre relatif sur le point. Le calcul de l'essence principale est effectué indépendamment pour chacune des deux strates « recensable » et « non recensable ». Si les deux strates sont effectivement présentes sur le point IFN, l'essence principale du peuplement est fixée par défaut comme l'essence principale de la strate recensable.

Détail de l'évaluation des surfaces de pin maritime dans les peuplements non recensables⁴

Avec la nouvelle méthode d'inventaire, les taux de couvert sont estimés par les opérateurs de terrain pour chaque essence et dans chaque strate présente sur le point, recensable et non recensable. Cette démarche objective décrit au plus près la réalité du terrain. Dans une démarche analytique, les peuplements de pin maritime sont identifiés au sein des peuplements non recensables⁴. Le tableau ci-dessous présente la clé de détermination retenue dans l'étude.

Tableau 3 : clé de détermination des peuplements de pin maritime non recensables

Peuplement non recensable ⁴ ?	Essence principale du peuplement ³	Essence principale non recensable	Plantation ?	Superficie (en ha)
Oui	Pin maritime	Pin maritime	Oui	81 000
Oui	Pin maritime	Pin maritime	Non	36 000
Oui	Pin maritime	Autre que pin maritime	Oui	1 000
Oui	Pin maritime	Autre que pin maritime	Non	7 000
Oui	Autre que pin maritime	Pin maritime	Oui	6 000
TOTAL				132 000

⁴ sont classés « peuplement non recensable » les peuplements dans lesquels le couvert des arbres dont le diamètre > 7,5 cm, c'est-à-dire de la strate recensable, est inférieur à 15 %.

Analyse des surfaces par essence principale

Si la surface boisée totale du massif landais reste globalement constante sur la période, la surface des peuplements à essence principale feuillue progresse de manière notable avec une hausse de 70 000 ha (dont + 52 000 ha de chêne pédonculé), alors que celle des pins maritimes régresse de 88 000 ha. Cela laisse penser à un phénomène de changement d'essence principale sur la période.

Quelle est l'origine de cette évolution constatée ? S'agit-il d'accrues naturelles ou de nouvelles plantations suite à la tempête de 1999 (conquête feuillue) ? S'agit-il a contrario de peuplements classés en pin maritime lors du 4^{ième} inventaire mais comportant des feuillus en mélange, feuillus qui auraient été moins affectés par la tempête de 1999 et qui, mécaniquement, seraient désormais prépondérant dans le couvert ? Plus généralement, quelles sont les caractéristiques des peuplements à essence principale feuillue inventoriés par l'IFN sur le massif landais depuis 2005 ?

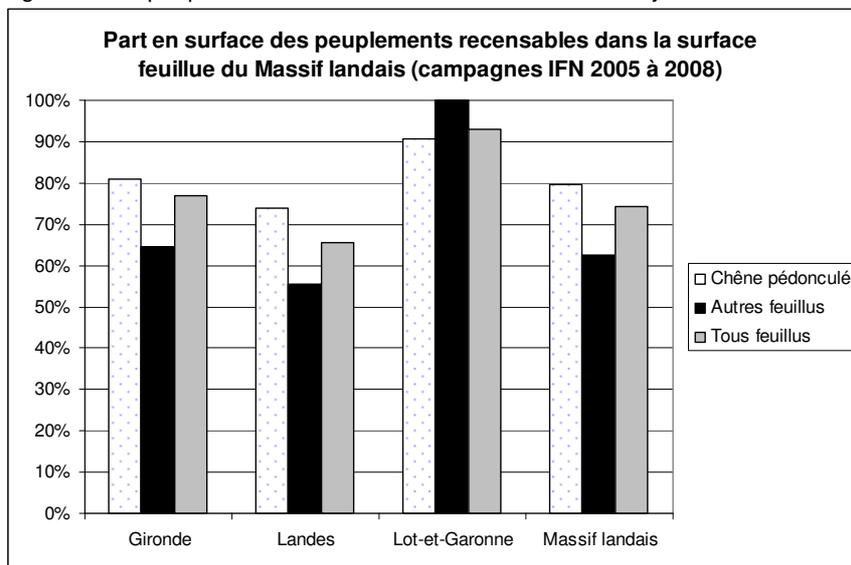
Tableau 4 : surface des peuplements feuillus suivant leur caractère recensable ou non

Essence principale feuillue	Peuplement	Inventaire systématique (campagnes 2005 à 2008)			
		Gironde (en ha)	Landes (en ha)	Lot-et-Garonne (en ha)	Massif landais (en ha)
Chêne pédonculé	Recensable	45 000	22 000	10 000	77 000
	Non recensable	11 000	8 000	1 000	20 000
	Total	56 000	30 000	11 000	97 000
Autres feuillus	Recensable	11 000	14 000	4 000	29 000
	Non recensable	6 000	11 000	--	17 000
	Total	17 000	24 000	4 000	46 000
Tous feuillus	Recensable	56 000	36 000	14 000	106 000
	Non recensable	17 000	19 000	1 000	37 000
	Total	73 000	54 000	15 000	142 000

Les peuplements feuillus non recensables correspondent à des plantations pour 2000 ha, soit 5 % des 37 000 ha inventoriés comme tels sur la totalité du massif landais.

Avec 106 000 ha, les trois quarts de la surface feuillue du massif landais sont constitués de peuplements recensables. On observe également que la proportion de peuplement recensable est toujours plus élevée dans les peuplements de chêne pédonculé, comme présenté dans le graphique ci-dessous.

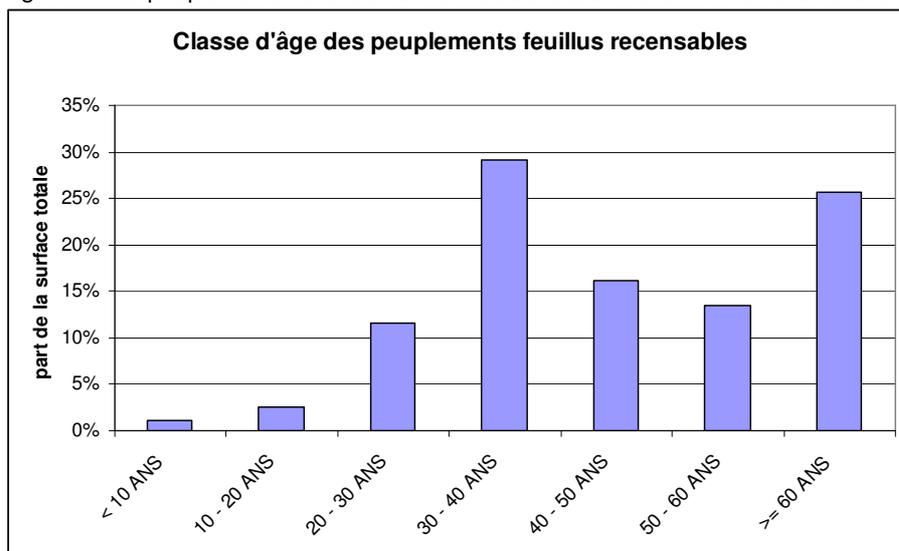
Figure 1 : les peuplements feuillus du massif landais sont majoritairement recensables



Moins de 4 % de la surface considérée est constituée de plantation, soit 4 000 ha.

En outre, la très grande majorité des peuplements feuillus recensables a un âge supérieur à 30 ans (85 % de la surface feuillue), ce qui traduit la présence des arbres sur le massif depuis une date antérieure à la tempête de 1999.

Figure 2 : les peuplements recensables feuillus sont essentiellement antérieurs à la tempête de 1999



Enfin, on relève que 85 % du volume de ces mêmes peuplements feuillus recensables avant la tempête Klaus est représenté par des essences feuillues (voir tableau 7). Ces chiffres sont cohérents avec le classement de ces peuplements en essence principale feuillue.

Tableau 5 : part en volume des essences feuillues dans les peuplements à essence principale feuillue

Localisation	Volume des feuillus (en milliers de m ³)	Volume des résineux (en milliers de m ³)	Volume total (en milliers de m ³)	% feuillus en volume
Gironde	5 000	700	5 700	88 %
Landes	4 300	1 000	5 200	81 %
Lot-et-Garonne	1 900	200	2 100	88 %
Massif landais	11 100	1 900	13 100	85 %

2. Effet de la tempête 1999 sur la progression des peuplements à essence principale feuillue

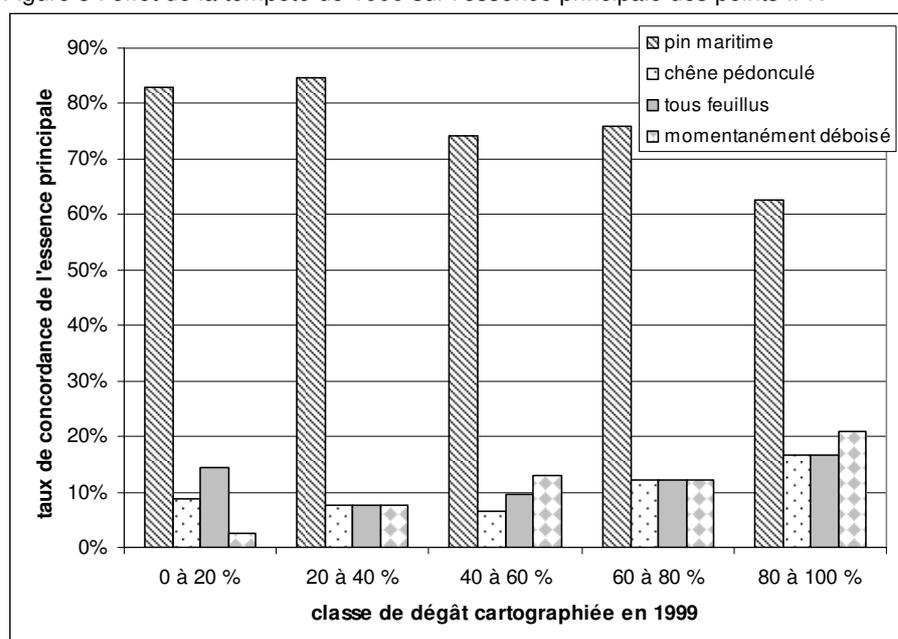
Une première analyse réalisée récemment par la délégation interrégionale Sud-Ouest de l'IFN permet d'évaluer l'effet de la tempête de 1999 sur l'évolution de la surface des peuplements à essence principale feuillue.

Elle a consisté à repositionner les points forêt des campagnes 2005 à 2007 sur la carte des classes de dégâts de la tempête de 1999 réalisée dans les peuplements cartographiés de pin maritime.

L'analyse porte sur 727 points d'inventaire dont l'essence principale a été déterminée lors des levés d'inventaire 2005-2006-2007. Pour ces mêmes points, on considère que l'essence principale en 1999 était le pin maritime. Cette hypothèse est hautement probable car les points se trouvent dans le masque « peuplement de pin maritime » cartographié pour le 4^{ème} cycle d'inventaire.

On évalue ainsi la concordance des essences principales entre les deux dates entourant la tempête de 1999, en fonction du taux de dégâts estimés. Si cet indicateur n'est pas totalement fiable (cf. l'hypothèse selon laquelle tous ces peuplements avaient pour essence principale le pin maritime en 1999), il révèle néanmoins une tendance pertinente.

Figure 3 : effet de la tempête de 1999 sur l'essence principale des points IFN



Les résultats montrent très nettement que plus les dégâts ont été importants et moins les pins maritimes demeurent l'essence principale des points IFN après 1999. A contrario, la part des feuillus et des surfaces sans essence principale (i.e. terrains forestiers momentanément déboisés) progresse.

Cette analyse révèle un lien entre l'intensité des dégâts de tempête et l'évolution à la hausse des surfaces à essence principale feuillue sur des surfaces autrefois classées en pin maritime. Elle ne donne toutefois pas la raison de cette évolution, qui peut être soit (1) naturelle par effet mécanique dans des peuplements mélangés où les pins ont plus disparus que les feuillus, (2) naturelle par effet de colonisation des essences feuillue, ou (3) artificielle du fait de plantations feuillues.

L'importance des deux dernières hypothèses peut toutefois être relativisée par les éléments qui ont été présentés plus haut, à savoir que les peuplements à essence principale feuillue sont majoritairement recensables et ne sont pas des plantations.

4. Premières conclusions

Les premiers éléments tirés des résultats de l'inventaire systématique mis en place à partir de 2005 indiquent une relative stabilité de la surface boisée du massif landais, autour de 950 000 ha.

En revanche, la superficie occupée par le pin maritime s'est réduite de 88 000 ha entre 1999 et 2006, pour atteindre désormais 803 000 ha. La surface des peuplements à essence principale feuillue a crû de 70 000 ha et s'établit désormais à 142 000 hectares.

L'analyse de la ressource des peuplements feuillus nous apprend que ceux-ci sont pour l'essentiel antérieurs à la tempête de 1999. Ceux-ci étaient donc déjà présents lors du 4^{ème} cycle d'inventaire, vraisemblablement en mélange plus ou moins riche avec le pin maritime. Les pins de ces peuplements de pin maritime ayant été plus fréquemment abattus par la tempête Martin que les feuillus, les essences feuillues occupent désormais la plus grande part du couvert de ces peuplements.

Auteurs : Antoine Colin (IFN), Jean-Christophe Hervé (IFN), et Thierry Bélouard (IFN)