



**HAL**  
open science

## Partition idéalisée et régionalisée de la composition en espèces ligneuses des forêts françaises

Jean-Daniel Bontemps, Jean-Christophe Hervé, Anaïs Denardou

► **To cite this version:**

Jean-Daniel Bontemps, Jean-Christophe Hervé, Anaïs Denardou. Partition idéalisée et régionalisée de la composition en espèces ligneuses des forêts françaises. *Ecoscience*, 2019, 26 (4), pp.291-308. 10.1080/11956860.2019.1588511 . hal-03085685

**HAL Id: hal-03085685**

**<https://hal.science/hal-03085685>**

Submitted on 21 Dec 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.

# Partition idéalisée et régionalisée de la composition en espèces ligneuses des forêts françaises

Jean-Daniel Bontemps<sup>1,\*</sup>, Jean-Christophe Hervé<sup>1,†</sup>, Anaïs Denardou<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>IGN, Laboratoire d'Inventaire Forestier, 14 rue Girardet, 54000 Nancy.

[Jdbontemps.ign@gmail.com](mailto:Jdbontemps.ign@gmail.com)

<sup>2</sup>INRA, Centre Grand-Est, UMR 1137 INRA/Université de Lorraine Ecologie Ecophysiologie Forestière, route d'Amance, 54280 Champenoux

\* Correspondance : [jdbontemps.ign@gmail.com](mailto:jdbontemps.ign@gmail.com)

† décédé le 16 avril 2017, et ayant contribué à formuler les bases de l'analyse

DOI : [10.1080/11956860.2019.1588511](https://doi.org/10.1080/11956860.2019.1588511)

## Résumé

Les espèces forestières ligneuses conditionnent fortement la dynamique et la gestion des forêts. La diversité des forêts françaises est la plus élevée d'Europe, et limite l'analyse quantitative de ces ressources. Une partition de la surface des forêts françaises en compositions ligneuses dominantes et organisée par grandes régions écologiques (GRECO) est développée pour réduire cette diversité.

Cette partition repose sur la composition en espèces mesurée par l'inventaire forestier national (2006-2015, >65,000 placettes) organisée en typologie préexistante. Elle exploite la distribution en J de l'abondance des compositions élémentaires, identifie des compositions dominantes décrivant au moins 50% des surfaces des GRECO avec regroupement des compositions minoritaires. Une caractérisation écologique de cette partition et son application à l'analyse des stocks de bois sont proposées.

Cette partition décrit 61,4% de la surface forestière du pays (66% du stock de bois) selon 29 compositions dominantes, démontrant son efficacité. Ces compositions révèlent l'importance des mélanges feuillus, et de strates forestières négligées (pins dans le Nord). Les densités de stock de bois apparaissent faibles dans les compositions feuillues (chênes méditerranéens), et élevées dans certaines compositions résineuses (mélange sapin/épicéa en montagne). La partition met en évidence le rôle des conditions écologiques et de la gestion sur la diversité ligneuse.

**Mots-clés :** surface forestière, espèces d'arbres, diversité en espèces, partition, stock de bois, ressources forestières

## **Abstracted and regionalized partitioning of tree species composition in French forests for the analysis of wood resources**

### **Summary**

Forest tree species strongly influence the dynamics and management of forests. French forests show the greatest compositional diversity in Europe, and constrains the quantitative analysis of associated wood resources. The aim was hence to develop a partition of French forests' area according to their dominant compositions in tree species and stratified by biogeographical regions (GRECO) in order to organize this diversity.

The partition relies on forest composition as measured by the national forest inventory (2006-2015, >65,000 plots). It builds upon the J-shaped distribution of elementary composition abundance, identifies dominant compositions describing a minimum 50% of GRECO's forest area, minor compositions being gathered. An ecological assessment of this partition and its application to the analysis of the growing stock are developed.

This partition describes 61,4% of the forested area (66% of the growing stock) according to 29 dominant compositions, demonstrating its efficiency. These compositions revealed the importance of broadleaved mixtures, and of ignored forest strata (pine species in Northern France). Growing stock densities appeared lowest in broadleaved compositions (Mediterranean oaks), and greatest in some coniferous compositions (mixture Silver fir/Norway spruce in mountains). They highlight the role of ecological contexts and historical forest management of these forests.

**Keywords:** forest area, tree species, species diversity, partitioning, growing stock, forest resources

## **Introduction**

La description de grands domaines forestiers hétérogènes impose de les classer en types emblématiques simplifiés. A l'échelle traditionnelle du massif forestier, cette nécessité s'est incarnée dans la notion de 'typologie des peuplements' forestiers. Ces typologies, fondées sur la composition en essences, la structure des peuplements forestiers, ou leur capital en bois, sont mobilisées en sylviculture et en aménagement (Burger et Pierpoint, 1990 ; Brucciamachie, 2001). Les typologies de stations forestières, fondées sur l'analyse de l'environnement biophysique et floristique des forêts, et destinées à évaluer la potentialité des milieux pour la production forestière, en sont un autre exemple à l'échelle du massif ou régionale (Brêthes, 1989 ; Meades and Roberts, 1992).

De telles approches restent marginalement développées à l'échelle de territoires nationaux (Pignatti, 1998 ; Larsen et Nielsen, 2007), à laquelle s'expriment des enjeux plus récents mais majeurs, tels que (i) l'évaluation et la projection des stocks et flux de carbone forestiers (Sällnas, 1990 ; Colin *et al.*, 2017), (ii) la compréhension de la dynamique de long terme d'expansion des forêts (Meyfroidt et Lambin, 2011 ; Denardou *et al.*, 2017), ou (iii) le monitoring de l'impact des changements climatiques, s'inscrivant dans la stratégie européenne pour la bioéconomie (EU, 2015 ; d'Amécourt *et al.*, 2016). Ces enjeux imposent une appréhension exhaustive – et non plus illustrative – des forêts des territoires nationaux.

En France, l'importance des ressources forestières françaises (16,5 millions d'ha et plus de 2,600 millions de m<sup>3</sup>, chiffres IGN) dans le paysage européen (4<sup>e</sup> surface et 3<sup>e</sup> stock de bois sur pied, Forest Europe, 2015) soulignent l'importance du besoin. La forêt française se singularise cependant par une hétérogénéité record dans le paysage européen, résultant d'une diversité de contextes biogéographiques et d'essences forestières. Les forêts françaises comprennent ainsi 13 des 14 « types forestiers européens » issus d'une typologie continentale (« EFT », Barbati *et al.*, 2014), les plaçant au premier rang de la diversité européenne. Les

statistiques d'inventaire forestier indiquent encore que 12 espèces d'arbres sont « essence principale » du peuplement (essence de plus fort couvert) sur des surfaces supérieures à 500,000 ha, et 18 espèces le sont sur plus de 200,000 ha (chiffres IGN). La moitié de la surface forestière est encore occupée par des mélanges d'essences (Morneau *et al.*, 2008).

Cette diversité considérable résulte à la fois d'un milieu physique contrasté, et des choix historiques de gestion (par exemple avec les reboisements résineux, Pardé, 1966), conduisant à des ensembles forestiers dont la nature et la dynamique peuvent fortement différer. Elle doit donc être prise en compte dans l'examen des enjeux s'exprimant au niveau national. Cette nécessité se retrouve dans d'autres pays européens à forte diversité (Italie, Barbati *et al.*, 2007). A ces derniers, s'ajoute encore la nécessité de production d'une connaissance synthétique, quantitative et sans biais de la diversité des forêts françaises aux fins plus générales d'appui aux politiques forestières.

A cette échelle, les inventaires forestiers nationaux sont l'outil privilégié de caractérisation des forêts et de leurs milieux (Tomppo *et al.*, 2010). L'inventaire forestier français a été créé en 1958 (Hervé, 2016). Trois approches typologiques des couverts forestiers issues du dispositif d'inventaire forestier français existent à ce jour :

(i) la « carte forestière » (IFN, 2008 ; Touzet et Lecordix, 2010) est une description des formations végétales (couverts forestiers, composition) consistant en une discrétisation en unités homogènes de l'information photogrammétrique aérienne en infra-rouge couleur. Cette discrétisation repose sur une nomenclature nationale hiérarchique, dont les niveaux les plus fins renseignent sur de grands types de composition et les essences prédominantes (une dizaine d'essences ou groupe d'essences explicites au dernier niveau). L'objectif étant cartographique, il ne donne cependant pas une vision synthétique et quantitative de la prédominance de ces types. L'information photogrammétrique en proche infra-rouge couleur

est par ailleurs plus grossière que celle issue de la composition des couverts relevée sur les points d'inventaire,

(ii) la classification biophysique du territoire en « Sylvoécorégions » (SER, 86 unités cartographiques, Cavaignac, 2009 ; IFN, 2011) repose sur l'analyse des facteurs climatiques, géologiques, pédologiques et de la flore forestière, avec une sous-stratification facultative des zones de forêts alluviales. Ses objectifs sont de fournir un guide pour le choix des essences ou pour faciliter le suivi des impacts du changement climatique. Le nombre conséquent des SER ne facilite pas leur appropriation aisée, et les compositions dominantes n'y sont pas explicitées. Les SER sont encore regroupées en 11 Grandes Régions Ecologiques (GRECO, Cavaignac, 2009) séparant les principaux massifs montagneux des plaines, en individualisant ces dernières selon le macroclimat (océanique, continental, méditerranéen), et forment une partition géographique plus accessible.

(iii) une typologie des mélanges d'essences et de leur fréquence sur le territoire national a été enfin réalisée à partir des mesures de couverts des points d'inventaire statistique depuis 2005 (Morneau *et al.*, 2008 ; IGN, 2016). Un type de peuplement élémentaire étant défini par un nombre d'essences et leur identité, ce sont au total plus de 1000 types élémentaires qui ont été identifiés sur le territoire, justifiant une démarche de regroupement. Un regroupement opérationnel fait apparaître 117 compositions (désignés dans la suite comme « types de peuplements »), et forme aujourd'hui une typologie de référence pour la ventilation opérationnelle de résultats statistiques de l'inventaire forestier. Cette typologie repose sur un nombre de compositions très conséquent, qui limite son utilité.

Il reste donc aujourd'hui essentiel de mettre en place une partition synthétique des forêts du territoire national pour discrétiser leur diversité compositionnelle, en évitant le classique écueil combinatoire associé au nombre des essences, des contextes écologiques, des types de propriété, et en agrégeant les contextes qui n'ont qu'une signification marginale sur le

territoire. L'objectif est d'identifier les « idéotypes » forestiers dominants qui les structurent, et pouvant permettre une appréhension efficace et non biaisée de la diversité de ces forêts.

Dans cet article, nous présentons donc un essai de partition des forêts du territoire métropolitain, centré sur la composition en essences des surfaces forestières documentée par l'inventaire forestier national. Il s'agit d'abord de regrouper ces compositions selon leur importance dans les surfaces forestières, et non pas de comprendre leur structuration selon leurs caractéristiques écologiques. Néanmoins, le rôle du milieu physique dans la structuration de cette diversité d'espèces a conduit à introduire un premier niveau de partitionnement défini par la typologie de contextes biogéographiques de niveau 1 (GRECO, ou « Grandes Régions Ecologiques », fondées sur des variables écologiques et environnementales). A un deuxième niveau hiérarchique, une partition des couverts forestiers fondée sur les types de peuplements de l'inventaire forestier (Morneau *et al.*, 2008) est développée à partir de règles de décision formelles ayant une dimension heuristique et comprenant trois principes qui en assurent la répétabilité et la représentativité : 1) un *principe de troncature* des surfaces forestières fondé sur l'idée du « principe de Pareto » (Dunford *et al.*, 2014) consistant à décrire un maximum de la surface forestière – ici un minimum de 50% – en un minimum de compositions fondées sur les types de peuplements, avec regroupement en compositions génériques feuillus/résineux/mixtes au-delà), 2) un *principe d'agrégation* de compositions autour d'essences dominantes qui forment des peuplements purs ou des mélanges avec d'autres essences, 3) un *principe d'homogénéisation* des compositions explicites entre GRECO voisines. Une analyse de ces compositions selon quatre variables environnementales additionnelles incluant l'altitude, la profondeur de sol, la réserve utile en eau du sol, et la richesse trophique du sol est effectuée. L'analyse des stocks de bois (volumes sur pied) associés à ces ensembles, ainsi que leur densité est présentée à la fois pour contrôler la

représentativité de la partition, et comme une première application à l'analyse des ressources en bois.

## Matériel et méthodes

Les termes et définitions associés aux typologies utilisées ou développées dans cette contribution sont présentés au **Tableau 1**.

Terme	Acronyme	Définition	Source
Grandes régions écologiques	GRECO	Partition du territoire métropolitain en 11 régions biophysiques	Cavaignac, 2009 IFN, 2011
Sylvoécorégions	SER	Système emboîté de partition des GRECO en 91 unités	IFN, 2011
Types de peuplements	-	Partition de référence des compositions ligneuses mesurées sur les points d'inventaire forestier en 117 types fondamentaux	Morneau <i>et al.</i> , 2008 IGN, 2016 ( <b>Tableau 2, online material 1</b> )
Compositions synthétiques explicites	CSE	Type de peuplement ou regroupement de types de peuplements dont la composition en espèces ligneuses est explicite, 29 unités	Cette contribution ( <b>Tableau 6</b> )
Compositions synthétiques génériques	CSG	Regroupement de types de peuplement selon les 3 unités « divers feuillus », « divers résineux » et « divers mixtes »	Cette contribution ( <b>Tableau 6</b> )
Compositions synthétiques agrégées	CSA	Regroupement des CSE en 15 unités	Cette contribution ( <b>Tableau 7</b> )

**Tableau 1. Termes et définitions associés aux typologies utilisées ou mises en œuvre dans l'analyse.**

### *Partitions utilisées*

#### *Partitions biogéographiques*

Une partition cartographique du territoire forestier français en ‘sylvoécorégions’ (SER ; Cavaignac, 2009 ; IFN, 2011) a été développée par l’inventaire forestier national sur la base de facteurs pédologiques, botaniques et climatiques. Cette partition comprend 86 unités, et correspondant à une résolution fine de 6,000 km<sup>2</sup> par unité. Ces SER sont elles-mêmes rassemblées en une partition d’ordre hiérarchique supérieur définie par les Grandes Régions Ecologiques (GRECO, 11 régions). Ces dernières forment une partition plus synthétique, séparant les massifs montagneux (Vosges, Jura, Alpes, Massif central et Pyrénées) des régions de plaine, et pour ces dernières, distinguant des ensembles du Nord du pays suivant un gradient de continentalité (Grand Ouest océanique, Centre-Nord semi-océanique, Grand Est semi-continentale), de ceux du Sud du pays (Sud-Ouest océanique, Méditerranée) auxquels s’ajoute la Corse (**Figure 1**).



**Figure 1. Partition géographique du territoire métropolitain en grandes régions écologiques (GRECO).** Les GRECO sont issues d’une analyse du milieu biophysique (Cavaignac, 2009) et séparent des contextes de montagne et de plaine, ainsi que des influences océaniques et continentales. Les identifiants de ces régions et leurs acronymes sont indiqués sur la carte.

### *Partition en types de peuplements (composition en espèces)*

Depuis 2005 (IFN, 2004), une typologie de compositions des peuplements de référence a été établie à partir d'une nouvelle prise de données sur les couverts forestiers, décrits en 1/10<sup>e</sup> de taux de couvert libre relatif (TCLR) des essences sur les points de sondage de terrain de l'inventaire (IGN, 2016). Le TCLR correspond au rapport de la surface projetée des houppiers accédant à la lumière d'une essence sur celui de tout le peuplement. Il fournit donc directement l'importance relative d'une essence au niveau de la canopée. Les essences forestières recensées ne sont prises en compte dans la composition des peuplements que si elles excèdent les 2/10<sup>e</sup> de TCLR (entre 15 et 25%). Le seuil de 8/10<sup>e</sup> définit les peuplements purs. L'essence de plus fort TCLR est dite essence principale.

A partir de ces données, et compte tenu de la diversité en essences de la forêt française (70 essences sont recensées par l'inventaire forestier, dont près de la moitié dominant au moins 50,000 ha en France), plus de 1000 types élémentaires de mélanges ont été identifiés, imposant de les organiser en partitions emboîtées hiérarchiquement, et fondées sur l'abondance et la proximité entre types élémentaires. Une présentation de ces partitions emboîtées est donnée dans Morneau *et al.* (2008, voir aussi IGN, 2016).

La typologie de référence utilisée aujourd'hui à l'IFN correspond au premier niveau de regroupement des types élémentaires, et compte ainsi le nombre déjà considérable de 117 types de peuplement fondamentaux (ou « types de peuplements », **Tableau 2**, description exhaustive dans le **online material 1**). Ces types incluent des peuplements purs et des mélanges, et peuvent être complètement spécifiés et informatifs (par exemple mélange « hêtre – chêne sessile »), ou être plus génériques s'ils correspondent à un regroupement de types élémentaires secondaires dans la forêt française (par exemple « mélange chêne(s) – pin(s) »,

ou encore « autre mélange de résineux à 4 essences »). Ils masquent donc une diversité combinatoire élevée.

Richesse spécifique nombre d'espèces	Surface forestière (ha)	Effectif	Description	Exemple
1	6 921 000	22	Explicite	Peuplement pur de sapin pectiné
	386 000	4	Générique	Peuplement pur de conifère exotique
2	2 559 000	26	Explicite	Mélange de hêtre et sapin pectiné
	2 035 000	13	Générique	Mélange de pin sylvestre et d'un feuillu
2+	505 000	11	Générique	Mélange de chêne vert et autre(s) feuillu(s)
3	65 000	1	Explicite	Mélange de hêtre, sapin pectiné, et épicéa commun
	452 000	4	Générique	Mélange de hêtre, sapin pectiné, et autre essence
3+	1 307 000	27	Générique	Mélange de frêne, chêne sessile et autre(s) feuillu(s)
4	38 000	2	Générique	Autre mélange de 4 résineux
4+	59 000	4	Générique	Mélange de châtaignier, chênes, et autre(s) feuillus(s)
5	9 000	1	Explicite	Autre mélange de 5 feuillus
5+	63 000	1	Générique	Autre mélange feuillus/résineux à 5 essences ou +
Indéterminé	1 267 000	1	-	-
<b>Total</b>	<b>15 668 000</b>	<b>117</b>		

**Tableau 2. Compositions ligneuses de référence de l'inventaire forestier national (« types de peuplements », Tableau 1).** La richesse spécifique est donnée en nombre d'espèces d'arbres forestiers (diversité alpha). La surface forestière est arrondie au millier d'hectares.

### *Diversité combinatoire et inégalité de prévalence des types de peuplements*

#### *Aspect combinatoire*

Le croisement des types biogéographiques de niveau 1 (11 GRECO) et des types de peuplements de l'inventaire (117) amène à un nombre de parties théoriques de 1287. De plus, les besoins d'analyse des ressources forestières peuvent amener à introduire d'autres facteurs fondamentaux de stratification, par exemple la destination foncière de la forêt, qui accroît ce

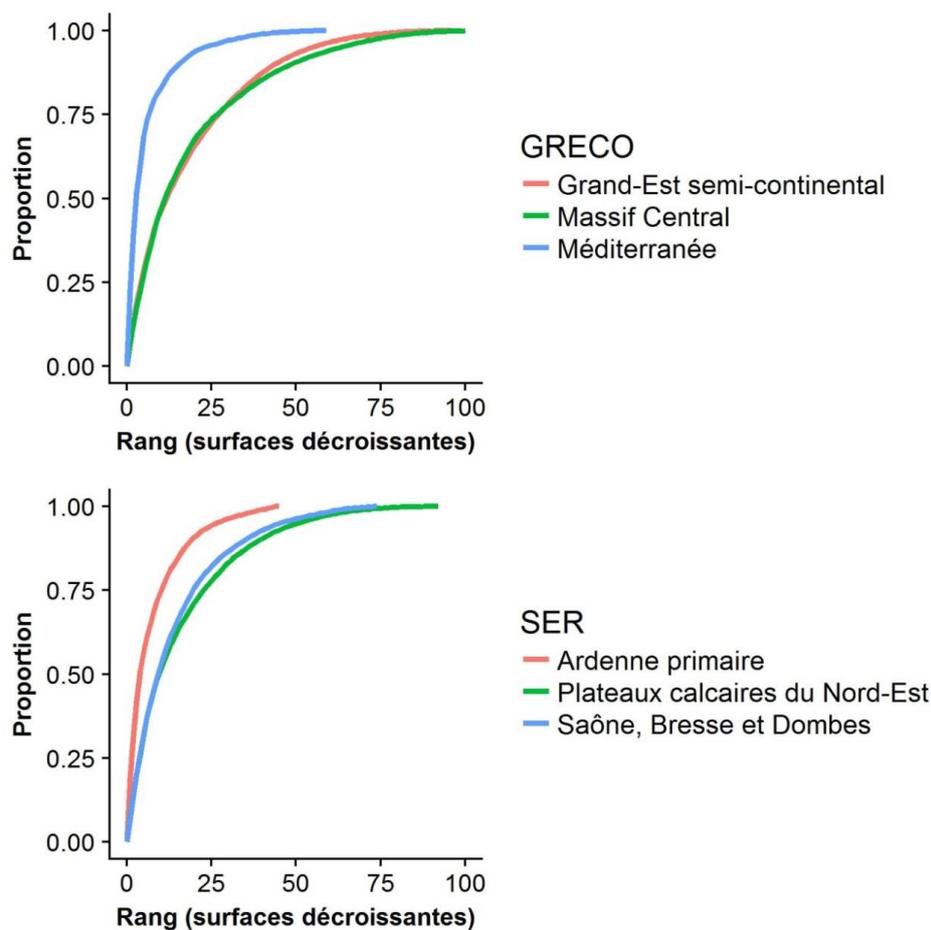
nombre de parties théoriques d'un facteur 3 au minimum (forêt domaniale, communale, privée), amenant ce nombre théorique à 3861. L'ensemble des types de peuplements n'existant pas dans toutes les GRECO, le nombre de parties réelles est en réalité moindre (897/1287, ou encore 1861/3861), mais reste à nouveau trop élevé pour être accessible à l'entendement. Il y a donc nécessité de contraindre cette partition.

### *Inégalité de prévalence des types de peuplement*

L'examen de l'importance en surface des types de peuplements existant au sein de chaque GRECO montre une forte inégalité dans leur prévalence, qui est générale à l'ensemble des GRECO (elle se retrouve aussi au grain des SER, indiquant que l'inégalité de taille des GRECO n'en est pas la cause profonde, **Figure 2**). Ainsi, les trois premiers types les plus abondants représentent entre 16.8 % et 46.2 % (moyenne 30 %) de la surface forestière des GRECO. Les 50% de types les plus importants représentent entre 81.0 % et 92.7 % (moyenne 87 %) de ces surfaces. Cette inégalité de distribution est illustrée pour la GRECO *Grand-Est semi-continentale* (3 premiers types et 50% de premiers types à 19.3% et 92.2% de la surface, respectivement) et la SER *Ardenne Primaire* (3 premiers/50% premiers types à 42.0% et 92.5% de la surface, respectivement) en **Figure 2**. Ce phénomène demeure un fait classique en écologie, propre à la quantification de diversité en espèces (distributions de diversité-abondance ; McGill *et al.*, 2007).

### *Stratégie et principes de construction de la partition*

Les informations de types de peuplements, établis à partir des données de composition collectées pendant la décennie 2006 – 2015 sur les points de sondage temporaires de l'inventaire ont été utilisées. Trois principes de décision leur ont été appliqués pour élaborer la partition des compositions.



**Figure 2. Taux de couverture de la surface forestière d'unités géographiques en fonction du rang des types de peuplements de l'inventaire forestier selon leur étendue spatiale.** Ces fonctions de répartition sont illustrées pour trois grandes régions écologiques (GRECO, haut) et trois sylvoécorégions (SER, bas ; voir Tableau 1).

### 1. Principe de troncature

Une première étape de réduction de cette diversité consiste à isoler les types de peuplements dominants (« compositions synthétiques explicites », ou CSE) d'une GRECO jusqu'à un certain seuil de surface forestière cumulée, et de regrouper les types secondaires en groupes génériques (« compositions synthétiques génériques », ou CSG, qui regroupent des types de peuplements feuillus, résineux, ou mixtes, **Tableau 1**). C'est ce que nous appelons le *principe de troncature*. Un seuil heuristique minimum à cette explicitation, qui s'est avéré possible à atteindre, est de 50% de la surface forestière d'une GRECO. Par ailleurs, une contrainte quantitative de représentativité des CSE a été introduite, avec un second seuil minimum de

50,000 ha (0,3% de la surface de la forêt française). Les compositions se situant en-deçà de ces critères ont été regroupés selon trois compositions synthétiques génériques : les peuplements de feuillus, les peuplements résineux (à chaque fois purs ou en mélanges), ou peuplements mixtes feuillus/résineux.

Certains types de peuplements de la nomenclature de l'inventaire forestier national restent par ailleurs non informatifs, parce qu'ils reposent déjà sur des pré-regroupements de types élémentaires. C'est par exemple le cas de compositions telles que les « feuillus indigènes purs », ou les « autres mélanges résineux à 2 essences ». Dans cette situation et bien qu'étant dominantes, ces compositions ont été rattachées aux CSG (compositions feuillues, résineuses ou mixtes).

## *2. Essences « attracteur » et principe d'agrégation*

L'examen des types de peuplements de chaque GRECO révèle que certaines essences ligneuses – ou groupes d'essences – dominants ont tendance à participer à des mélanges d'essences (voir aussi Morneau *et al.*, 2008) et se retrouvent dans des types dominants distincts, sans que ces derniers soient fondamentalement différents (au plan de leur gestion courante, de leur histoire, ou de leur dynamique). Ces essences sont qualifiées d'« attracteur ». C'est emblématiquement le cas du chêne pédonculé dans le Nord de la France (cas de la GRECO Centre-Nord semi-océanique, **Tableau S2, online material 3**), ou encore des mélanges structurés autour des essences Hêtre/Sapin pectiné/Epicéa commun (cas des GRECO Alpes, Jura et Vosges). Ce constat amène alors à poser un *principe d'agrégation* de ces types, qui forme le second principe d'élaboration de la partition. Un type résultant est ainsi « Chêne pédonculé en peuplement pur ou accompagné de feuillus divers ». Dans cette situation, il n'y a pas de raison d'omettre les compositions dont l'importance se situe au-delà des premiers 50% des surfaces forestières des GRECO.

L'application du principe de l'essence « attracteur » peut conduire à des intersections non nulles (par exemple les CSE « chêne-charme » et « chêne pédonculé et feuillus »). Dans ce dernier cas, il est apparu utile de faire intervenir un critère d'origine des peuplements, et notamment le mode de gestion en taillis des « charmaies-chênaies » qui les distingue de mélanges de chêne avec d'autre feuillus.

### *3. Principe d'homogénéisation géographique*

L'examen des CSE élaborées révèle logiquement des identités ou similitudes entre GRECO voisines au plan géographique ou géophysique. Un *principe d'homogénéisation* des CSE entre GRECO voisines a donc été appliqué dans deux cas. Dans un premier cas, cela a conduit à retenir des CSE dont l'importance se situait en deçà des 50,000 ha (cas des peuplements de sapin dans plusieurs massifs de montagne). Dans un second cas, il est apparu utile d'introduire des CSE à variantes compositionnelles pour en faire ressortir l'unité (cas des hêtraies et hêtraies-chênaies qui peuvent être distinguées dans les plaines du Nord de la France, mais qui sont d'importance insuffisante pour être distinguées dans le Grand-Ouest, **Figure 1 et online material 2**).

Trois exemples de construction des compositions synthétiques par GRECO, illustrant les trois principes mentionnés, sont présentés dans le **online material 3**.

## **Résultats**

### *Propriétés quantitatives de la partition*

Les propriétés quantitatives de cette partition sont présentées au **Tableau 3**. L'identification et la quantification des différentes compositions spécifiques par GRECO est reportée en **online material 2**.

GRECO	Surface (x 10 <sup>3</sup> ha)	Stock (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Compositions synthétiques (spécifiques/génériques)	Surface (ha, %)	Stock (m <sup>3</sup> , %)	Surface non-déterminée (ha, %)	Stock non-déterminé (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> , %)
<b>Plaines</b>							
Grand Ouest Cristallin et Océanique (GOCO)	645	108.0	4/3	334,000 51.9	57.4 53.2	37,000 5.7	0.4 0.3
Centre Nord semi-océanique (CNSO)	2,889	521.0	7/3	1,918,000 66.4	373.1 71.6	154,000 5.3	1.0 0.2
Grand Est semi-continental (GESC)	2,154	386.6	7/3	1,367,000 63.5	260.7 67.5	125,000 5.8	0.9 0.2
Sud-ouest océanique (SOO)	2,468	276.6	4/3	1,517,000 61.4	199.5 72.1	404,000 16.4	1.9 0.7
Méditerranée (M)	1,312	72.9	5/3	843,000 64.3	48.0 66.2	174,000 13.2	0.5 0.7
<b>TOTAL Plaines</b>							
<b>Montagnes</b>							
Vosges (V)	577	158.3	6/3	321,000 55.5	101.2 64.0	29,000 5.0	2.7 0.2
Jura (J)	496	118.3	6/2*	322,000 64.9	91.5 78.1	19,000 3.9	0.2 0.1
Massif Central (MC)	2,788	533.7	11/3	1,636,000 58.7	350.7 65.7	170,000 6.1	1.2 0.2
Alpes (A)	1,234	207.9	8/3	771,000 62.3	135.5 65.2	70,000 5.7	0.6 2.7
Pyrénées (P)	711	117.0	8/3	369,000 51.9	70.2 60.0	28,000 3.9	0.1 0.1
Corse (C)	394	43.1	4/2*	226,000 57.5	29.7 69.0	55,000 14.0	0.2 0.4
<b>TOTAL Montagnes</b>							
<b>TOTAL</b>	<b>15,668,000</b>	<b>2,543.4</b>	<b>29/3</b>	<b>9,624,000</b> <b>61.4</b>	<b>1717.5</b> <b>65.9</b>	<b>1,265,000</b> <b>8.1</b>	<b>8.1</b> <b>0.003</b>

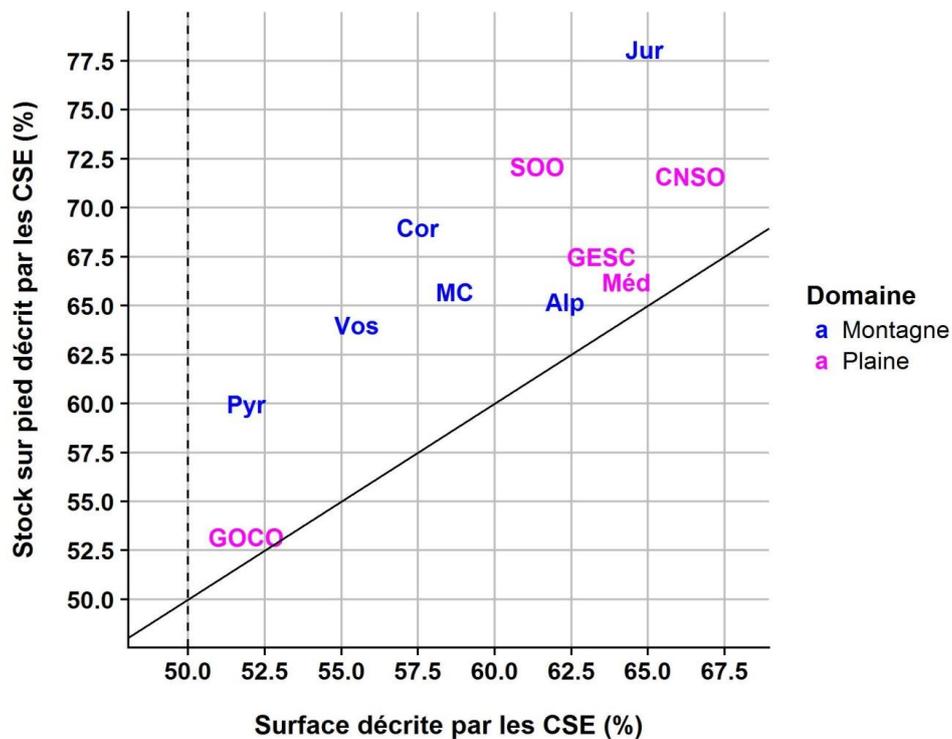
**Tableau 3. Statistiques des surfaces forestières et stocks de bois sur pied totaux des différentes régions écologiques (GRECO) et part associée aux compositions synthétiques explicites (CSE) identifiées dans chaque GRECO. \*Corse et Jura : absence de la CSG « divers résineux ».**

L'objectif initial d'explicitation des compositions synthétiques explicites (CSE) sur une étendue >50% de la surface forestière a été atteint dans chaque GRECO (>55% dans 9/11 GRECO et >60% dans 6/11 GRECO, **Figure 2**) comme au plan national (61,6% de la surface forestière sont décrits par des CSE). Environ 8% de la surface forestière reste indéterminée en composition, du fait d'une ouverture des peuplements qui ne permet pas une description des couverts (au seuil de 2/10<sup>e</sup>), et qui situe l'importance de ces forêts ouvertes. Les GRECO les plus contributrices sont le Massif Central, le Sud-Ouest Océanique et la Méditerranée, pour une surface dépassant les 700,000 ha.

La part de couverture du volume de bois sur pied par les CSE de cette partition est encore plus favorable, puisqu'un seuil de 60% du stock est atteint dans 10/11 GRECO (et 70% dans 3/11 GRECO, **Figure 3**), pour une couverture du stock sur pied total de 65,9%. Le stock sur pied dont la composition ligneuse est indéterminée (8% des surfaces) atteint le niveau anecdotique de 0.3%, et souligne que ces forêts ouvertes ne comportent qu'une quantité de bois marginale. Le nombre de CSE permettant d'atteindre le seuil de 50% de la surface forestière d'une GRECO (moyenne 6.4), est compris entre 4 (Grand-Ouest, Sud-Ouest Océanique, et Corse, traduisant la dominance d'un petit nombre de CSE) et 11 (le Massif Central est la GRECO « record » en termes de diversité, avec des types résineux qui reflètent une mise en valeur historique par des boisements (**Tableau 3, online material 2**)). La corrélation entre surface forestière totale des GRECO et nombre de CSE est de 0.42, indiquant l'existence d'un lien entre importance de la surface forestière considérée et diversité compositionnelle. La surface forestière moyenne d'une CSE est de 141,000 ha, ce qui indique une bonne représentativité.

Il existe une différence du nombre de CSE entre GRECO de plaine (5.4 CSE en moyenne, corrélation surface / nombre de CSE = 0.38) et de montagne (8.2 CSE en moyenne, corrélation = 0.89), traduisant une diversité supérieure en montagne. La surface moyenne décrite par une CSE est de 220,000 ha en plaine, contre 76,000 ha en montagne. Au total, 29

CSE sont identifiées, traduisant une efficacité de la partition proposée au regard de la difficulté combinatoire initiale.



**Figure 3. Taux de couverture du stock de bois sur pied de l'ensemble des CSE de chaque grande région écologique (GRECO) en fonction de leur taux de couverture en surface forestière.** Pour l'ensemble des GRECO, les CSE assurent une couverture en stock de bois supérieure à celle des surfaces. Voir Figure 1 pour la définition des GRECO.

### *Compositions synthétiques de la partition*

#### *Eléments généraux*

Les 29 CSE sont décrites et codées dans le **Tableau 4**. Leur répartition est à la faveur des compositions feuillues (15, contre 11 compositions résineuses, complétées par trois compositions mixtes. Parmi les CSE feuillues, deux sont décrites avec des variantes :

i) celles dominées par le Chêne pédonculé, avec des peuplements de Chêne pédonculé pur (121,000 ha, F1.3) ou avec feuillus (319,000 ha, F1.2) distingués pour le seul Massif Central,

et fusionnés en un type générique pour les autres GRECO (F1.1, GRECO de plaines du Nord du pays, Sud-Ouest océanique et Pyrénées),

ii) celles dominées par le Hêtre, avec des peuplements de Hêtre pur distingués pour les massifs montagneux (Vosges, Jura, Massif Central, Alpes, Pyrénées) et les plaines du Nord et de l'Est (F6.1), alors qu'ils ont été fusionnés en un type associant les chênes dans la région Grand-Ouest (F6.3).

#### *Surfaces forestières associées aux compositions synthétiques*

La surface totale décrite par une CSE feuillue est comprise entre 56,000 ha (F6.3) et 1,300,000 ha (F1.1). La surface totale décrite par une CSE résineuse est comprise entre 23,000 ha (Pin laricio en Corse, R11) et plus de 600,000 ha (Pin maritime dans le Sud-Ouest et en Corse, R1). La CSE R11 est la seule en deçà de 50,000 ha (petitesse de la région Corse, mais caractère emblématique du Pin laricio dans cette zone). En moyenne, l'étendue d'une CSE est >280,000 ha, celle d'une CSE feuillue >350,000 ha, celle d'une CSE résineuse >210,000 ha, celle d'une CSE mixte >220,000 ha, et celle d'une CSG >800,000 ha, ce qui souligne l'importance cumulée de petits ensembles forestiers diversifiés à l'échelle du territoire.

#### *Fréquence des compositions synthétiques sur le territoire forestier*

Le nombre d'occurrences d'une CSE sur le territoire (moyenne 4.5) est très variable, et est compris entre 1 et 7 (cas du Hêtre pur dans les massifs montagneux et dans certaines plaines, F6.1). Deux faits sont à remarquer : i) 13 CSE présentent une seule occurrence, ce qui vient à nouveau souligner la diversité et la variabilité régionale des espèces ligneuses de la forêt française, sur des ensembles forestiers très significatifs en surface, ii) respectivement 7/4 CSE

présentent 2/4 occurrences, ce qui traduit également une similarité compositionnelle de GRECO voisines (Tableau 4, Figure 1).

Code	Compositions synthétiques	Fréquence	GRECO	Surface (x10 <sup>3</sup> ha, %)	Stock (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> , %)
<b>Compositions feuillues</b>					
F1.1	Chêne pédonculé pur / avec feuillus <sup>1</sup>	5	GOCO, CNSO, GESC, SOO, P	1,296 (8.3)	215.2 (8.3)
F1.2	Chêne pédonculé avec feuillus	1	MC	319 (2.0)	60.9 (2.3)
F1.3	Chêne pédonculé	1	MC	121 (0.8)	23.5 (0.9)
F2	Frêne pur / avec feuillus	4	CNSO, GESC, J, P	808 (5.2)	145.8 (5.6)
F3	Chêne pubescent	5	SOO, MC, P, M, A	802 (5.1)	64.5 (2.5)
F4	Chêne sessile	4	GOCO, CNSO, GESC, MC	715 (4.6)	153.5 (5.9)
F5	Charme pur / avec chênes (+feuillus)	2	CNSO, GESC	631 (4.0)	114.9 (4.4)
F6.1	Hêtre	7	A, P, J, V, MC, CNSO, GESC	594 (3.8)	130.5 (5.0)
F6.2	Hêtre et chênes (+feuillus)	3	CNSO, GESC, V	441 (2.8)	94.6 (3.6)
F6.3	Hêtre pur / avec chênes (+feuillus)	1	GOCO	56 (0.4)	12 (0.5)
F7.1	Chêne vert	2	M, C	336 (2.1)	16.5 (0.6)
F7.2	Chêne vert et feuillus	1	C	99 (0.6)	8.4 (0.3)
F8.1	Châtaignier pur / avec feuillus <sup>2</sup>	1	SOO	206 (1.3)	1.3 (1.3)
F8.2	Châtaignier	1	MC	130 (0.8)	20.3 (0.8)
F9	Chênes vert / pubescent	1	M	97 (0.6)	5.0 (0.2)
<b>Compositions résineuses</b>					
R1	Pin maritime	2	SOO, C	613 (3.9)	81.4 (3.1)
R2	Pin sylvestre	2	MC, A	355 (2.3)	47.4 (1.8)
R3	Epicéa commun	4	V, J, MC, A	264 (1.7)	93.8 (3.6)
R4	Sapin pectiné	4	V, J, MC, P	243 (1.6)	92.5 (3.5)
R5	Pins <sup>3</sup>	2	GOCO, CNSO	241 (1.5)	47.4 (1.8)
R6	Douglas	1	MC	169 (1.1)	55.5 (2.1)
R7	Pin d'Alep	1	M	148 (0.9)	11.4 (0.4)
R8	Mélèze	1	A	66 (0.4)	13.2 (0.5)
R9	Epicéa commun / sapin pectiné	2	V, J	64 (0.4)	22.1 (0.8)
R10	Pin noir	1	A	50 (0.3)	7.4 (0.3)
R11	Pin laricio	1	C	23 (0.1)	7.2 (0.3)
<b>Compositions mixtes</b>					
M1	Pin sylvestre et feuillus	2	MC, A	297 (1.9)	40.3 (1.5)
M2	Hêtre et sapin pectiné ou <sup>4</sup> épicéa commun (+ autres essences)	3	V, J, A	287 (1.8)	88.1 (3.4)
M3	Chênes et pins	1	M	153 (1.0)	11.2 (0.4)
<b>Compositions génériques</b>					
F0	Divers feuillus	11	Toutes	2,675 (17.1)	376.1 (14.4)
M0	Divers mixtes	11	Toutes	1,204 (7.7)	230.8 (8.8)
R0	Divers résineux	9	Sauf J, C	863 (5.5)	274.1 (10.5)

**Tableau 4. Identification, localisation et importance des compositions synthétiques explicites (CSE) et génériques (CSG) retenues.** <sup>1</sup>Feuillus : autres que châtaignier (SOO), autres que hêtre (GOCO), autres que hêtre, charme et frêne (CNSO, GESC), <sup>2</sup>Feuillus essentiellement composés de chênes, <sup>3</sup>Pins : pin maritime, pin sylvestre et pin laricio (et pin noir en CNSO), <sup>4</sup> « Ou » inclusif, le sapin et l'épicéa pouvant accompagner simultanément le hêtre.

### *Analyse des compositions en espèces des compositions synthétiques*

Au plan de la composition en espèces, plusieurs constats émergent : i) tandis que les CSE résineuses correspondent en quasi-totalité à des peuplements purs (un seul mélange : la sapinière-pessière pour 64,000 ha dans les Vosges et le Jura, R9), 9/13 CSE feuillues correspondent à des mélanges dominés par quelques essences, ii) les peuplements à base de chênes sont très prédominants au sein des CSE feuillues, avec seulement 3 types fondés sur d'autres essences (Hêtre commun, Châtaignier et Frêne commun), iii) le comportement « attracteur » de trois essences en particulier (leur association effective dans des mélanges avec un large nombre d'essences sur de grandes surfaces) est nettement identifié : ainsi le Chêne pédonculé est une essence dominante sur >1,600,000 ha, le Hêtre commun sur >1,100,000 ha, et le Frêne commun sur >800,000 ha. A l'inverse, le Chêne sessile et pubescent se rencontrent dans des peuplements essentiellement purs.

### *Emblèmes forestiers et faits moins attendus*

L'analyse des CSE à occurrence unique ou double fait ressortir des emblèmes identitaires régionaux de la forêt française, parmi lesquels peuvent être cités : le mélange de Hêtre et de chênes dans les plaines du Nord et de l'Est du pays (>600,000 ha, 95 hm<sup>3</sup>), le Pin maritime dans le Sud-Ouest et en Corse (>600,000 ha), le Chêne vert en Méditerranée et en Corse (>300,000 ha), le Douglas et le Châtaignier dans le Massif Central (170,000 ha et 130,000 ha, 55 et 20 hm<sup>3</sup>), le Pin d'Alep en Méditerranée (près de 150,000 ha), le mélange Sapin pectiné/Epicéa commun dans les Vosges et le Jura (>60,000 ha), enfin le Mélèze (>60,000 ha) et le Pin noir (>50,000 ha) dans les Alpes. Elle révèle aussi des faits moins attendus, tels que l'occurrence des pins (Pin maritime, Pin sylvestre, Pin laricio, et Pin noir (>240,000 ha, 115 hm<sup>3</sup>) dans les régions de l'Ouest et du Nord de la France qui ont fait l'objet de boisements résineux, ou celle du Charme commun accompagné de chênes dans le Nord et

l'Est du pays (>630,000 ha, 47 hm<sup>3</sup>), c'est-à-dire d'une essence qui a historiquement contribué à la strate de taillis des peuplements.

L'analyse des CSE à forte occurrence fait quant à elle ressortir des emblèmes de contextes climatiques larges, parmi lesquels peuvent être cités : le Chêne pédonculé dans les plaines du Nord et du Sud-Ouest ainsi que dans les massifs forestiers occidentaux (>1,700,000 ha), le Hêtre commun dans l'ensemble des massifs et dans les plaines du Nord et de l'Est (600,000 ha), ainsi que le Sapin pectiné et l'Epicéa commun dans les massifs des Vosges, du Jura, du Massif Central, des Pyrénées ou Alpes (260,000 et 240,000 ha). L'occurrence du Chêne pubescent dans l'ensemble de la moitié Sud du pays est à souligner (>800,000 ha, 64 hm<sup>3</sup>), ainsi que du Frêne commun dans les plaines du Nord-Est, dans le Jura et les Pyrénées (>800,000 ha, 145 hm<sup>3</sup>) dont la dynamique est avérée. A nouveau, les volumes de bois associés à ces compositions sont très significatifs.

### ***Idéalisation de composition des forêts françaises : agrégation des compositions synthétiques***

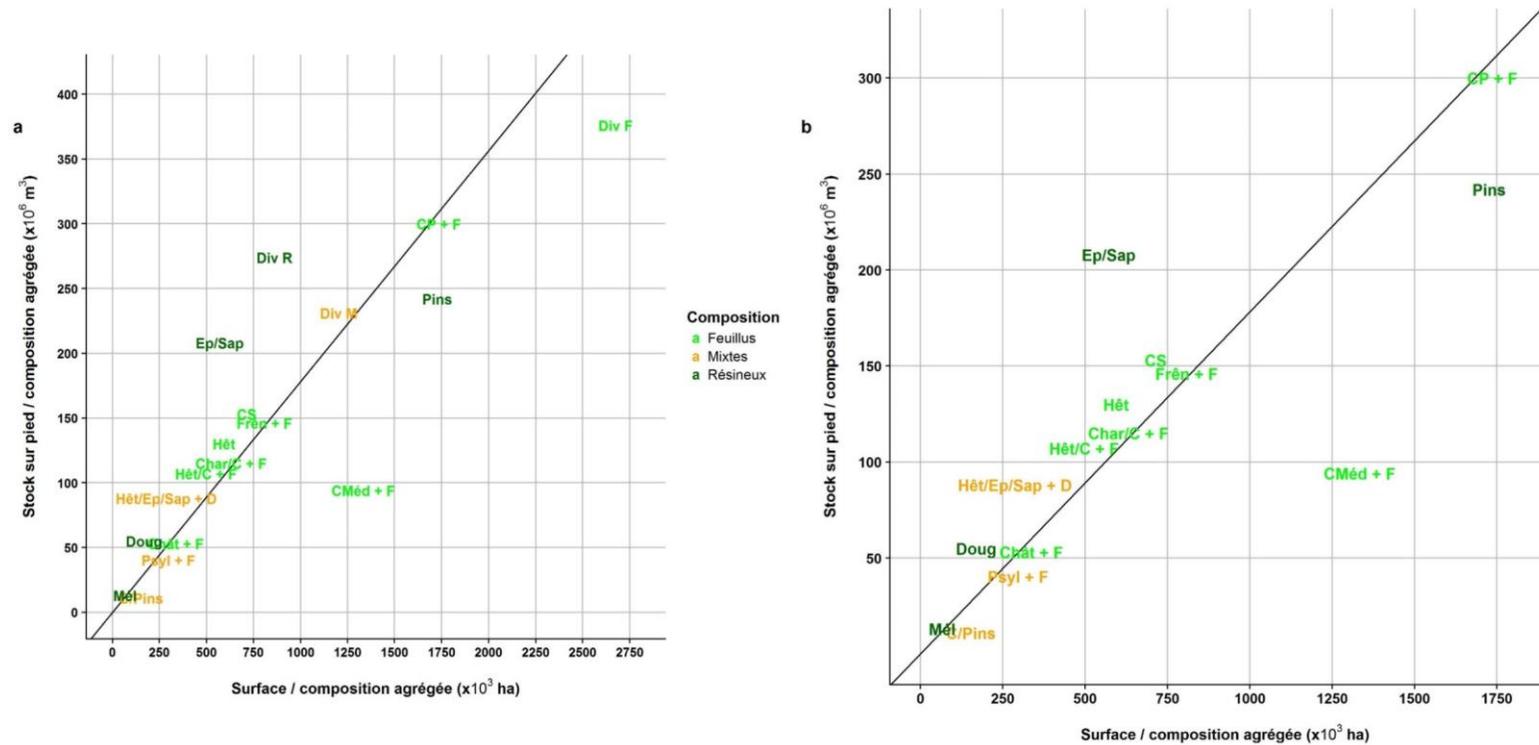
Afin de proposer une lecture plus synthétique de la composition des forêts du territoire, les 29 CSE (**Tableau 4**) ont été agrégées (« compositions synthétiques agrégées », CSA) selon trois directions : i) en regroupant des CSE qui forment des variantes (par exemple F1.2 et F1.3 autour du chêne pédonculé), ii) en regroupant des CSE d'espèces qui se rencontrent aussi en mélanges, et dans un contexte régional donné (par exemple F3, F7.1/F7.2 et F9 autour des chênes méridionaux, c'est-à-dire le Chêne pubescent et Chêne vert dans un domaine méditerranéen), iii) et en regroupant des CSE dont les espèces forment un groupe botanique étroit au regard de la diversité des essences françaises, comme c'est le cas autour du genre Pinus et des mélanges associés (R1, R2, R5, R7, R10, R11). L'agrégation a ainsi conduit à identifier 15 CSA auxquelles les CSG sont adjointes (**Tableau 5**). La distribution de ces

compositions dans un plan défini par leur surface et leur stock de bois est présentée en

**Figure 4.**

Essences dominantes	Compositions synthétiques	Surface	Stock sur pied
		(x10 <sup>3</sup> ha, %)	(x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> , %)
Divers Feuillus	F0	2,675 (17.1)	376 (14.4)
Chêne pédonculé et cortège feuillu	F1.1 – F1.3	1,736 (11.1)	300 (11.5)
Pins	R1, R2, R5, R7, R10, R11	1,727 (11.0)	242 (9.3)
Chênes méridionaux et cortèges feuillus	F3, F7.1, F7.2, F9	1,334 (8.5)	94 (3.6)
Divers mixtes	M0	1,204 (7.7)	231 (8.8)
Divers Résineux	R0	863 (5.5)	274 (10.5)
Frêne et cortège feuillu	F2	808 (5.2)	146 (5.6)
Chêne sessile	F4	715 (4.6)	153 (5.9)
Charme, chênes et cortège feuillu	F5	631 (4.0)	115 (4.4)
Hêtre	F6.1	594 (3.8)	130 (5.0)
Epicéa, sapin et mélange	R3, R4, R9	571 (3.7)	208 (8.0)
Hêtre, chênes et cortèges feuillus	F6.2 – F6.3	497 (3.2)	107 (4.1)
Châtaignier et cortèges feuillus	F8.1 – F8.2	336 (2.1)	53 (2.0)
Pin sylvestre et cortèges feuillus	M1	297 (1.9)	40.3 (1.5)
Hêtre, sapin/épicéa et cortèges divers	M2	287 (1.8)	88 (3.4)
Douglas	R6	169 (1.1)	55 (2.1)
Chênes et pins	M3	153 (1.0)	11 (0.4)
Mélèze	R8	66 (0.4)	13 (0.5)

**Tableau 5. Agrégation des compositions synthétiques (CSA) par essences dominantes, classées par ordre d'importance dans la surface de la forêt de production française.** Les chiffres de stock sur pied sont également renseignés, et permettent de mesurer la capitalisation de ces regroupements (par exemple importante pour les résineux du groupe R8 – R10, et faible pour les chênes méridionaux, F6 – F9).



**Figure 4. Importance en stock de bois sur pied ( $\text{hm}^3$ ) des compositions synthétiques agrégées (CSA) en fonction de leur importance surfacique.** La pente de la droite figurée correspond au stock sur pied moyen par hectare des CSA. Ces compositions sont décrites au tableau 6 : +F = cortèges feuillus, +D = et cortèges divers, CP = Chêne pédonculé, CS = Chêne sessile, C = chênes, CMéd = chênes Méditerranéens.

### *Compositions agrégées prépondérantes*

Ces compositions agrégées (CSA) représentent en moyenne une surface >800,000 ha chacune, pour un stock de bois moyen de près de 150 hm<sup>3</sup>.

Quatre CSA dépassent chacune le million d'hectares (feuillus divers, Chêne pédonculé, pins, méridionaux). A elles seules, ces quatre compositions représentent, dans les zones où elles sont explicitées, 40% du stock de bois total de la forêt française.

De façon nette, les CSA résineuses sont peu nombreuses et moins étendues (à l'exception des pins). La CSG « divers résineux » occupe un rang élevé (le second, avec une surface >850,000 ha). Les surfaces occupées par le Sapin pectiné, l'Épicéa commun ou leur mélange demeurent sous les 600,000 ha et n'occupent que le 11<sup>e</sup> rang de ces CSA. Les compositions formées par le Douglas ou le Mélèze en occupent les derniers rangs.

Ces chiffres mettent nettement en évidence le caractère feuillu de la forêt française, ainsi que la diversité élevée en espèces ligneuses exprimée dans l'importance des compositions génériques.

### *Caractérisation écologique des compositions agrégées*

Les compositions agrégées centrées sur des essences dominantes ont été caractérisées selon des contraintes environnementales fondamentales incluant la contrainte thermique (altitude), la contrainte hydrique (profondeur et réserve utile en eau des sols), et la contrainte trophique (indice de richesse trophique, **Tableau 6, Figure 5**).

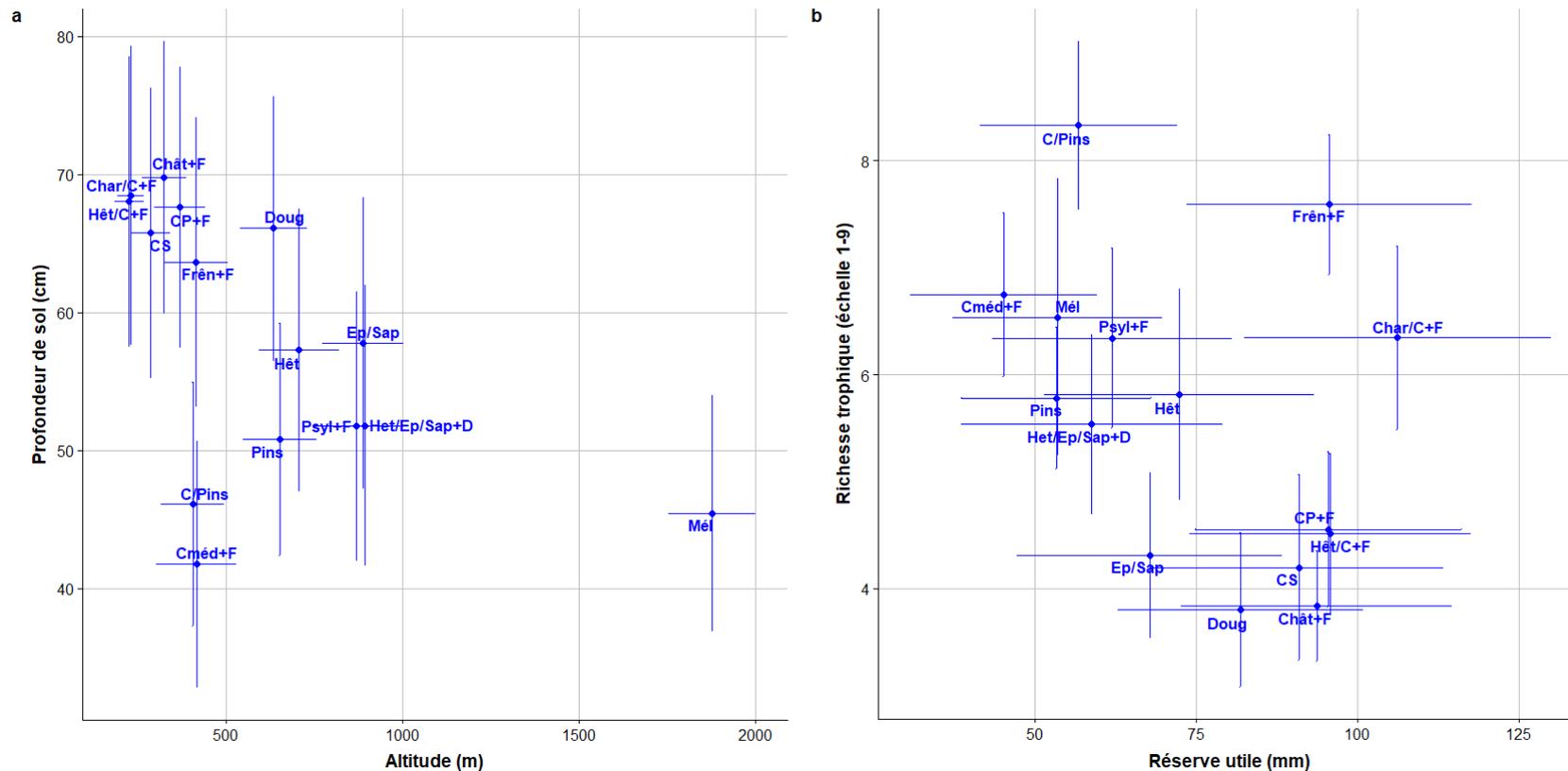
Les compositions agrégées occupent des gradients écologiques larges mais distincts, ce qui démontre que la partition opérée conserve les spécificités écologiques des groupes d'espèces.

La position de ces compositions sur le gradient d'altitude (**Figure 5a**) montre une opposition nette entre compositions essentiellement feuillues à basse altitude (cortège des espèces sociales : Chênes sessile et pédonculé, Hêtre, Charme, Châtaignier), et essentiellement

résineuses à moyenne et haute altitude (Mélèze, sapinière-pessière, Pin sylvestre). Le Hêtre en peuplements purs se démarque comme feuillu de montagne. A l'inverse, les pins mélangés aux chênes, ainsi que le Douglas, occupent des altitudes plus basses. Les gradients de profondeur de sol et d'altitude sont logiquement corrélés négativement. En plaine et basse altitude cependant, on distingue les feuillus sociaux, le Frêne et le Douglas (essence productive introduite), exigeants pour la profondeur de sol (60 à 70 cm en moyenne) et les chênes méditerranéens, les pins, et leurs mélanges, beaucoup plus rustiques (40 à 50 cm en moyenne).

Essences dominantes	Altitude (m)	Réserve utile (mm)	Richesse trophique (1-9)
Chêne pédonculé et cortège feuillu	370 (145)	95 (40)	4.5 (1.5)
Pins	650 (210)	55 (30)	5.8 (1.3)
Chênes méridionaux et cortèges feuillus	420 (225)	45 (30)	6.8 (1.5)
Frêne et cortège feuillu	420 (180)	95 (45)	7.6 (1.3)
Chêne sessile	290 (115)	90 (45)	4.2 (1.7)
Charme, chênes et cortège feuillu	230 (75)	105 (45)	6.3 (1.7)
Hêtre	710 (225)	70 (40)	5.8 (2.0)
Epicéa, sapin et mélange	890 (230)	65 (40)	4.3 (1.5)
Hêtre, chênes et cortèges feuillus	230 (80)	95 (45)	4.5 (1.5)
Châtaignier et cortèges feuillus	330 (125)	95 (40)	3.8 (1.0)
Pin sylvestre et cortèges feuillus	870 (235)	60 (40)	6.3 (1.7)
Hêtre, sapin/épicéa et cortèges divers	890 (205)	60 (40)	5.5 (1.7)
Douglas	640 (190)	80 (35)	3.8 (1.4)
Chênes et pins	410 (180)	55 (30)	8.3 (1.6)
Mélèze	1880 (245)	55 (30)	6.5 (2.6)

**Tableau 6. Caractéristiques écologiques principales des compositions agrégées (CSA) par essences dominantes (voir tableau 7).** Ces indicateurs issus des données écologiques de l'inventaire forestier national sont choisis pour représenter la contrainte thermique (altitude), la contrainte hydrique (réserve utile en eau à 1 m de profondeur) et la richesse trophique ou nutritionnelle (échelle relative croissante dans l'intervalle [1,9], calculée à partir des relevés de végétation de l'inventaire forestier, et des valeurs indicatrices des espèces végétales issues de la Flore Forestière Française ; Rameau J.-C., Mansion D., Dumé G., (1989, 1999, 2008), Flore forestière française (T1 plaines et collines, T2 montagne, T3 Méditerranée, éditions de l'IDF, 3 volumes)). L'amplitude de la distribution à 95% est fournie.



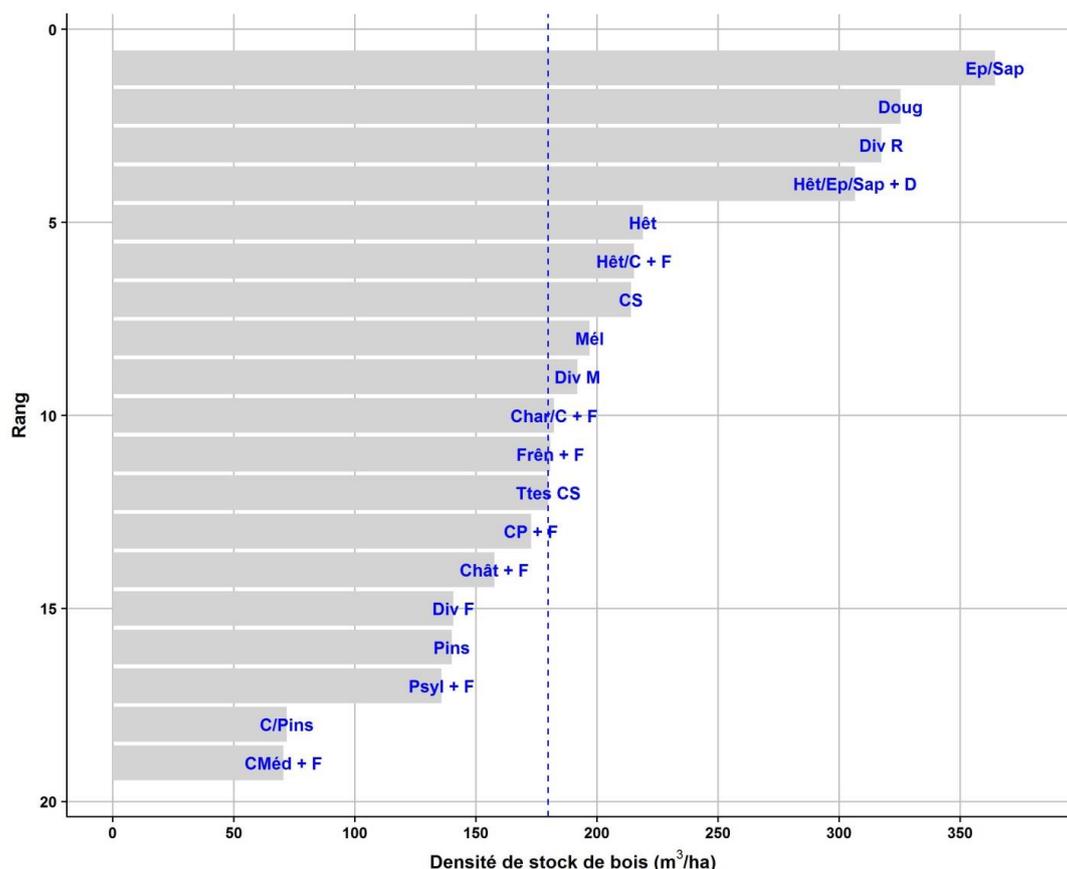
**Figure 5. Distribution des compositions synthétiques agrégées (CSA) selon des indicateurs écologiques mesurés par l’inventaire forestier national, a : altitude (m) et profondeur des sols (cm), b : réserve utile en eau des sols (mm) et richesse trophique (échelle relative croissante de 1 à 9).** La réserve utile calculée jusqu’à une profondeur maximale de 1 m, et tient compte de la texture des horizons pédologiques, et de la charge en éléments grossiers. La richesse trophique est calculée à partir des relevés de végétation de l’inventaire forestier, et des valeurs indicatrices des espèces végétales issues de la Flore forestière française (Rameau J.-C., Mansion D., Dumé G., (1989, 1999, 2008), Flore forestière française (T1 plaines et collines, T2 montagne, T3 Méditerranée, éditions de l’IDF, 3 volumes). Les intervalles de distribution des compositions à un niveau de confiance de 95% sont figurés.

La position des compositions sur les gradients de réserve utile en eau des sols (de 40 à 110 mm en moyenne) et de richesse trophique (de 4 à 8 sur un gradient maximal de 1 à 9) met en évidence les contrastes écologiques existant sur le territoire et leur contribution à la diversité des espèces (**Figure 5b**). Les compositions les plus exigeantes en eau sont bien identifiées (autour des espèces attracteur Chêne pédonculé, Hêtre, et Frêne et du Douglas) avec des réserves utiles autour de 100 mm. A l'inverse, les chênes méditerranéens, les pins, le Mélèze et les mélanges chênes-pins se rencontrent dans des conditions hydriques plus défavorables (autour de 40 mm). On observe une corrélation négative entre richesse en eau et richesse nutritionnelle, opposant les feuillus de plaine et le Douglas, qui poussent dans les conditions les plus acides (sols profonds lessivés) aux compositions méditerranéennes (chênes méditerranéens, mélanges chênes pins) et de montagne (Pin sylvestre, Mélèze), qui se développent sur des substrats souvent calcaires. Le Frêne et son cortège feuillu se distingue nettement de ce gradient par son exigence pour des conditions écologiques exigeantes au plan hydrique et trophique.

#### *Stock de bois sur pied et densité de stock à l'hectare des compositions agrégées*

La mise en correspondance du stock sur pied et des surfaces incluses dans ces compositions agrégées (**Tableau 5, Figure 4**) montrent une régularité de distribution autour du stock moyen à l'hectare des forêts françaises. Plusieurs exceptions notables sont toutefois à relever : i) au rang des anomalies négatives les plus visibles, les peuplements formés de feuillus divers, de chênes méridionaux puis de pins, révèlent les capitalisations en volume par unité de surface les plus faibles. En termes de densité de stock à l'hectare (**Figure 6**), les cortèges de chênes méditerranéens et les mélanges chênes/pins atteignent des stocks de l'ordre de 70 m<sup>3</sup>/ha, ii) à l'inverse, les peuplements formés de résineux divers, ceux formés de Sapin et/ou d'Épicéa montrent une capitalisation élevée en volume. L'analyse de la densité de stock

montre que les compositions dominées par le Sapin et l'Epicéa atteignent plus du double de la densité moyenne des CSE/CSG (178 m<sup>3</sup>/ha), et que les peuplements de Douglas et divers résineux dépassent les 300 m<sup>3</sup>/ha. A l'exception des pins, le lien existant entre composition dominante (feuillue ou résineuse) et le degré de capitalisation en volume sur pied est à souligner.



**Figure 6. Compositions synthétiques agrégées (CSA) ordonnées selon leur densité moyenne de stock de bois sur pied (m<sup>3</sup>/ha).** Voir tableau 6 et Figure 4 pour les dénominations.

## Discussion

### *Exploitation de l'asymétrie des courbes de diversité-abondance*

L'objectif de cette contribution est de proposer une partition des forêts d'un territoire national fondée sur leur composition ligneuse, avec une stratification selon leur contexte biogéographique. Cette partition devait assurer le compromis d'être rigoureuse et précise, tout en restant suffisamment simple. L'idée originale qui a dirigé l'approche repose sur l'exploitation de la diminution très rapide et systématique de l'occurrence des compositions ligneuses au sein de domaines géographiques donnés (courbes diversité-abondance, **Figure 2**, McGill *et al.*, 2007), permettant de décrire une surface représentative en un minimum de compositions synthétiques, selon une forme de « principe de Pareto ». La seconde idée a été de regrouper les longues queues de distribution des compositions restantes en un nombre très restreint de compositions synthétiques génériques (**Tableau 4**) afin d'atteindre une description exhaustive. Cette approche est originale à l'échelle de territoires nationaux. Avec une trentaine de compositions synthétiques, elle apparaît plus efficace que d'autres systèmes (109 types de végétation forestière en Italie, Pignatti, 1998 ; 19 types au Danemark, pour une forêt bien plus restreinte en surface, Larsen et Nielsen, 2007) et pourrait être appliquée pour décrire d'autres forêts diversifiées (par exemple Pologne et Roumanie en Europe).

### *Principes, critères, et facteurs contrôlés pour l'élaboration de la partition*

La construction de la partition s'est fondée sur la typologie des types de peuplements de l'inventaire forestier (Morneau *et al.*, 2008) résultant de l'analyse des taux de couvert libre des espèces, mesurés sur les points de sondage temporaire de l'inventaire forestier. A ce titre, elle constitue une valorisation d'un effort de collecte considérable (environ 6,000 points par an). Bien que cette typologie de référence ait été établie en priorisant des compositions de

grande importance surfacique, avec une attention portée aux espèces dominantes, il serait utile de vérifier sa robustesse en la comparant à une méthode statistique de classification (par exemple Bradter *et al.*, 2011) des types élémentaires (>1000), sur les inventaires annuels plus récents.

La présente partition s'est appuyée sur trois principes formels illustrés (**Tableaux S1 et S2 du online material 3**) permettant de borner les explorations (principes de troncature, d'agrégation, d'homogénéisation), et sur deux critères quantitatifs heuristiques incluant le choix d'explicitier au moins 50% de la surface de chaque GRECO en compositions explicites (impératif de représentativité), avec des unités compositionnelles qui dépassent les 50,000 ha chacune.

Si ces choix sont raisonnés, ils conservent une dimension subjective, dont le rôle peut s'accroître avec la complexité des compositions (cas de la GRECO Centre-Nord, **Tableau S2**). Le seuil de 50% des surfaces forestières a en pratique été dépassé (**Tableau 3**). Le nombre déjà élevé de CSE nécessaires dans certaines régions (jusqu'à 8 dans les Pyrénées et 11 dans le Massif Central, pour une surface demeurant inférieure à 60%), pour des surfaces associées dont les plus petites avoisinent les 50,000 ha (0,03% de la surface totale) indique qu'il est a posteriori raisonnable.

L'importance du stock de bois sur pied a été contrôlée en parallèle des surfaces, afin i) de s'assurer que ne seraient pas omises des compositions de faible importance mais fortement capitalisées, puis ii) de conduire une analyse parallèle de ces quantités. En réalité, ce risque n'existe pas (voir compositions génériques, **Figure 4a**). De même, les surfaces forestières dont la composition n'est pas déterminée par l'inventaire forestier (**Tableau 3**) reflètent un stock négligeable, qui rend leur omission sans conséquence.

L'analyse de la partition selon les facteurs écologiques fondamentaux du développement des forêts (**Tableau 6, Figure 5**) a permis de démontrer que les caractéristiques écologiques des espèces ligneuses dominantes restent perceptibles et en cohérence avec leur écologie.

Enfin, d'autres facteurs hiérarchiques tels que la propriété forestière, ou l'existence de plans de gestion (Boutefeu, 2005) pourraient être pris en compte. Cela ne pose pas de difficulté majeure au plan technique.

### ***Diversité ligneuse non identifiable, diversité des feuillus et diversité en montagne***

Les trois compositions génériques (divers feuillus, résineux et mixtes) représentent 30% de la surface forestière métropolitaine, dont la moitié est couverte par la seule composition « divers feuillus » (**Tableau 3**). Chacune de ces compositions occupe par ailleurs le premier rang d'importance dans sa classe de composition botanique, devant les CSE (**Tableau 4**). Les CSG feuillues et résineuses occupent enfin les deux premiers rangs absolus, avec la CSE « chêne pédonculé pur ou avec feuillus » (**Tableau 3**). Ces chiffres démontrent que cette fraction significative des surfaces forestières ne peut être réduite aux 29 CSE identifiées, et en soulignent la diversité ligneuse.

La surface des forêts ouvertes dont la composition est indéterminée est conséquente (>1,200,000 ha), malgré un stock de bois sur pied associé y soit négligeable (**Tableau 3**). La géographie de ces forêts ouvertes, dont les surfaces les plus significatives occupent la moitié Sud du pays (Sud-Ouest, Méditerranée, Massif Central pour une surface >700,000 ha), désigne les régions marquées par l'expansion spontanée des forêts sur des terrains agricoles abandonnés (Pignard, 2000 ; Galbert *et al.*, 2015 ; Denardou *et al.*, 2017). Bien que la composition de ces nouvelles forêts ne soit par définition par connue, une analyse de long terme a montré que les surfaces dominées par les essences feuillues ont progressé deux fois plus vite que celles dominées par des résineux depuis un siècle (Denardou *et al.*, 2017), alors

même que la seconde était soutenue par des programmes de boisement volontaires (par exemple par le Fonds Forestier National, FFN ; Pardé, 1966). Cette progression ainsi que la géographie de ces changements suggèrent que ces surfaces indéterminées sont essentiellement feuillues. La capitalisation future en bois de ces nouvelles surfaces ne pourra qu'en accroître l'importance, alors que les forêts françaises représentent le premier stock feuillu européen (Forest Europe 2015). Ce dernier fait est encore confirmé (**Tableau 4, Figure 4a**) par le fait que la CSG « divers feuillus » est moins capitalisée qu'en moyenne, là où la CSG « résineux » l'est plus qu'en moyenne.

Le nombre de CSE plus élevé dans les GRECO de montagne (8.2 en moyenne contre 5.4 en plaine) pour une proportion de surface couverte plus faible (**Figure 3**) traduit une double particularité de ces massifs. D'une part, la variabilité altitudinale des conditions climatiques est telle qu'elle favorise un étagement de la végétation et un enrichissement de la diversité ligneuse, avec une occurrence très nette de CSE résineuses (cas des compositions fondées sur l'Epicéa, le Sapin pectiné, le Pin sylvestre) en plus de CSE feuillues qui se trouvent dans ces domaines (**Tableau 4**). D'autre part, on ne peut ignorer le rôle de programmes de boisement de montagne, qui ont conduit à introduire ou à privilégier l'expansion de plusieurs essences résineuses sur le territoire. Des exemples sont donnés par le Mélèze et le Pin noir dans les programmes de boisement de Restauration des Terrains de Montagne, RTM, dans les Alpes (Saillet, 1991), de l'introduction du Douglas et de l'extension de l'Epicéa commun dans le massif central avec le FFN (Pardé, 1966 ; Guitton & Riou-Nivert, 1987), ou plus récemment de l'utilisation d'espèces de pins en reboisement dans les plaines du Nord-Ouest (**Tableau 4**). Le cas du massif central est emblématique d'une mise en valeur forestière accroissant la diversité ligneuse à un niveau régional. En comparaison, le Pin laricio utilisé comme essence de reboisement dans le Centre de la France, pourtant emblématique, occupe une surface trop faible pour être explicitée dans l'analyse (13,000 ha en GRECO Grand-Ouest).

### *Espèces ligneuses dominantes de la forêt française : constats attendus et originaux*

L'analyse quantitative de ces CSE (**Tableau 4**) montrent que les forêts françaises sont majoritairement feuillues, et que les espèces de chênes y jouent un rôle structurant. Ce rôle résulte de l'aptitude des chênes à rejeter de souche (Boppe, 1889), et leur sélection sur des horizons pluriséculaires par la pratique du taillis et taillis-sous-futaie (Hüffel, 1926) pour l'approvisionnement en bois de chauffage domestique ou industriel (Badré, 1992). Dans les plaines du Nord, ce système a pu conduire à une réduction de la prévalence du Hêtre (Seynave *et al.*, 2008).

Dans des contextes de moyenne et de haute montagne, le Hêtre occupe une position privilégiée (il rejette de souche aux environs de 1000m d'altitude ; Boppe, 1889) et a joué ce rôle d'approvisionnement en bois énergie pour les populations de montagne (Davasse, 1992 ; Coppini et Hermanin, 2007 en Italie), tandis que le Châtaignier devient visible dans le massif central et le Sud-Ouest. Le Charme commun est une essence structurante dans le Nord et l'Est du pays, qui forme une essence d'accompagnement des taillis de chêne. Son caractère dominant dans les couverts de peuplements de ces régions suggère que ces populations ont atteint un stade de maturité. Ce constat peut être relié à l'effort historique de conversion des taillis en futaie dans ces régions (Hüffel, 1926 ; Plaisance, 1966). Le fait est confirmé par la capitalisation en volume sur pied de la CSE associée au charme dans la moyenne nationale (**Figure 4b**), là où on pourrait l'attendre en deçà (taillis moins capitalisés).

L'opposition entre le caractère préférentiellement mélangé des peuplements feuillus (Morneau *et al.*, 2008) et monospécifique des peuplements résineux (**Tableau 4**) met en évidence un contraste entre des forêts feuillues à l'évolution semi-naturelle (rôle de la régénération) et certaines forêts résineuses nouvelles installées lors de boisements artificiels depuis le XIX<sup>e</sup> siècle, dont le Pin sylvestre, le Pin maritime, l'Epicéa commun, le Douglas, le Mélèze et les pins dans le Nord-Ouest sont représentatifs. Le Chêne sessile fait exception par son degré de

pureté, qui peut être la résultante d'une sélection fondée sur la valeur de son bois (Jarret, 2004). Il ne faut toutefois pas négliger l'importance de compositions résineuses plus naturelles, telles que la sapinière-pessière dans les Vosges et le Jura, les peuplements de Pin laricio en Corse ou de Pin d'Alep en Méditerranée.

L'analyse fait enfin ressortir la différence existant entre une description statistique représentative de la forêt par un inventaire forestier national (IFN, 2004), et les représentations de la culture collective. Ainsi, plusieurs ensembles réputés emblématiques de la forêt française (Bazire et Gadant, 1991) sont trop restreints pour être identifiés dans cette partition, ou y jouent un rôle marginal (exemples de la hêtraie Normande, de la pineraie de Corse, ou du mélézin alpin). A l'inverse, la prévalence du Chêne pubescent dans toute une moitié Sud du pays, des mélanges associés au Frêne commun dans plusieurs régions, ou des pins dans le Nord-Ouest sont moins attendus. Ces constats plus originaux sont particulièrement explicites à un niveau plus agrégé (**Tableau 5**) : i) les mélanges feuillus associés au Chêne pédonculé et les pineraies sont les deux ensembles les plus étendus des forêts françaises (environ 1.7 Mha chacun), ii) ils sont suivis par les mélanges feuillus associés aux chênes méditerranéens puis au Frêne (1.3 Mha et 800,000 ha respectivement), iii) les peuplements de Chêne sessile ne viennent qu'après ces ensembles. En conséquence, l'intérêt d'une telle partition est bien de pouvoir objectiver les ensembles compositionnels les plus significatifs de la ressource forestière, et de corriger les perceptions subjectives. A ce titre, les données collectées par l'inventaire forestier national sont de premier intérêt.

### ***Stock de bois sur pied dans les compositions synthétiques et origine des contrastes***

La partition des forêts françaises a été ciblée sur leurs surfaces. Dans une logique d'évaluation des ressources forestières, le stock de bois sur pied a été utilisé comme variable de contrôle, afin de vérifier que cette approche n'occulte pas des stocks significatifs, puis d'analyser la

relation entre surfaces et stocks de bois partitionnés pour aborder la problématique de capitalisation des forêts (**Tableau 3**).

Tandis que la surface de composition indéterminée est très significative (>1.2 Mha pour 8% de la surface, **Tableau 3**), le stock de bois associé est en réalité négligeable (0.003% du stock) et atteint 6.4 m<sup>3</sup>/ha. Ces forêts ouvertes ont deux origines potentielles, soit qu'il s'agisse de forêts pauvres (contextes nutritionnels ou géophysiques médiocres), soit qu'il s'agisse de forêts « nouvelles » progressant sur des territoires agricoles (Lepart *et al.*, 2001 ; Denardou *et al.*, 2017).

La part de stock de bois sur pied couverte par les compositions synthétiques est supérieure à celle des surfaces (près de 2/3 du stock total, **Tableaux 3 et 4**), avec une capitalisation moyenne de 178.5m<sup>3</sup>/ha, supérieure à la moyenne nationale. Cela s'explique au plan quantitatif par la moindre capitalisation dans la CSG « divers feuillus » (140.5 m<sup>3</sup>/ha, **Tableau 3**) qui est représentée dans toutes les GRECO (**Tableau 4**) pour une part moyenne de 17% des surfaces, ainsi que celle de « composition indéterminée » déjà évoquée. Au plan sylvicole, l'interprétation est à rechercher dans le fait que les CSE correspondent à des fortes prévalences et des compositions simples (espèce unique, mélanges de deux espèces, ou cortège associé à une espèce dominante), donc à des forêts mises en valeur par la gestion forestière et plus capitalisées. La forêt domaniale, qui est par soumission à l'aménagement forestier emblématique d'une mise en valeur ancienne et continue, se capitalise aujourd'hui ainsi à un niveau moyen de 180 m<sup>3</sup>/ha, Denardou *et al.*, 2017). La partition proposée est également efficace pour l'appréhension et la catégorisation des ressources forestières du territoire.

La capitalisation en bois des compositions synthétiques (**Tableau 4**) révèle des déviations marquées de certaines compositions par rapport au stock moyen à l'hectare des forêts françaises (**Figure 3**), et structurées par classes botaniques. La position dominante des

compositions résineuses associées à l'Epicéa commun, au Sapin pectiné (y compris le mélange avec le Hêtre pour ces dernières), au Douglas et aux résineux divers (>300 m<sup>3</sup>/ha) interpellée, et peut s'expliquer par deux facteurs : la capitalisation sur pied de peuplements installés lors des programmes de boisement comme le FFN (Epicéa, Douglas, résineux divers) dont la valorisation n'a pas encore été conduite (Galbert *et al.*, 2015), et l'insuffisante exploitation de peuplements croissant en contextes de montagne peu accessibles (cas de la sapinière). Les compositions synthétiques les moins capitalisées concernent les chênes méditerranéens et leurs cortèges (70 m<sup>3</sup>/ha), ainsi que les pins, en association ou non avec des feuillus (**Figure 3**), avec des causes potentielles multiples : i) d'une part ces essences sont héliophiles et peu tolérantes à des niveaux de densité élevés. Les compositions fondées sur le Chêne sessile et pédonculé tendent cependant à invalider le raisonnement pour les chênes, ii) d'autre part les chênes méditerranéens croissent de façon significative en peuplements de taillis, par nature faiblement capitalisés (Quézel et Bonin, 1980), iii) enfin plusieurs de ces CSE se situent dans des régions méridionales (Pin sylvestre et feuillus, chênes méditerranéens, chênes/pins de la GRECO Méditerranée) où les conditions de croissance sont plus défavorables.

En résumé, la forte variabilité de la densité de stock sur pied trouve son origine dans des phénomènes historiques politiques (boisements résineux) et naturels (écologie des feuillus et pins) qui mettent en évidence un contraste : alors que la forêt française et son stock de bois sont majoritairement feuillus, les densités de stock les plus élevées sont localement résineuses.

## Conclusions

Une partition de la surface des forêts françaises (>16 Mha) en un petit nombre de compositions synthétiques (32 au total, **Tableau 4**), réductible à 18 compositions agrégées (**Tableau 5**) est proposée. Son originalité repose sur l'exploitation de la distribution

asymétrique de l'abondance des espèces ligneuses. Ce système de partitionnement apparaît plus synthétique que d'autres systèmes nationaux en Europe (Pignatti, 1998 ; Larsen et Nielsen, 2007). Les compositions synthétiques explicites en essences couvrent 60% de la surface et près de 2/3 du stock sur pied, pour des ensembles dépassant la plupart du temps les 50,000 ha. Ces éléments démontrent l'efficacité et l'intelligibilité de cette partition, qui sont une garantie d'utilité.

Cette partition peut avoir plusieurs valorisations : i) servir de référentiel national ou régional pour des forêts métropolitaines, et d'appui pour la formulation de politiques forestières (exemple actuel du plan national forêt-bois), ii) servir de fondement écologiquement plus étayé pour des approches de simulation quantitative de l'évolution des ressources forestières (Wernsdörfer *et al.*, 2012 ; Colin *et al.*, 2017) dans lesquelles le rôle des espèces ligneuses est majeur, iii) servir de base à une exploration contextuelle des causes dynamiques de l'expansion des forêts françaises (Denardou *et al.*, 2017).

Le principe de partitionnement peut être généralisé à d'autres facteurs, ou à d'autres territoires nationaux de composition ligneuse significative.

## Références

- AMECOURT (D'), A., HOULLIER, F., LEMAS, P.-R. & SÈVE, J.-C. (2016). – *Plan recherche & innovation 2025 filière forêt-bois. Ministère de l'Agriculture, Paris.*
- BADRÉ, M. (1992). – Les forêts et les industries en Lorraine à la fin du XVIIIe siècle. *Revue Forestière Française*, 44: 365-369.
- BARBATI, A., CORONA, P. & MARCHETTI, M. (2007). – A forest typology for monitoring sustainable forest management: The case of European Forest Types. *Plant biosystems* 141:93-103.
- BARBATI, A., MARCHETTI, M., CHIRICI, G. & CORONA, P. (2014). – European Forest Types and Forest Europe SFM indicators: Tools for monitoring progress on forest biodiversity conservation. *Forest Ecology and Management*, 321: 145-157.
- BAZIRE, P. & GADANT, J. (1991). – *La forêt en France. La documentation française, Paris.*
- BOPPE, L. (1889). – *Traité de sylviculture. Berger-Levrault, Nancy.*
- BOUTEFEU, B. (2005). L'aménagement forestier en France : à la recherche d'une gestion durable à travers l'histoire. — *Vertigo* 6, 1-8.
- BRADTER, U., THOM, T. J., ALTRINGHAM, J. D., KUNIN, W. E. & BENTON, T. G. (2011). – Prediction of National Vegetation Classification communities in the British uplands using environmental data at multiple spatial scales, aerial images and the classifier random forest. *Journal of Applied Ecology*, 48: 1057-1065.
- BRÊTHES, A. (1989). – La typologie des stations forestières. Recommandations méthodologiques. *Revue Forestière Française*, 41: 7-27.
- BRUCCIAMACHIE, M. (2001). – Les typologies de peuplement, 20 ans après. *Revue Forestière Française*, 53: 449-458.
- BURGER, D., PIERPOINT, G. (1990). – Trends in Forest Site and Land Classification in Canada. *The Forestry Chronicle*, 66: 91-96.

- CAVAIGNAC, S. (2009). – *Les sylvoécorégions (SER) de France métropolitaine. Etude de définition*. Inventaire Forestier National, Nogent-sur-Vernisson.
- COLIN, A., WERNSDÖRFER, H., THIVOLLE-CAZAT, A. & BONTEMPS, J.-D. (2017). – *France. Country report*. Pp 159-174 in: S. Barreiro, M.-J. Schelhaas, R. McRoberts, & G. Kändler (eds), *Forest inventory-based projection systems for wood and biomass availability*, Springer, Berlin, Heidelberg, New-York.
- COPPINI, M. & HERMANIN, L. (2007). – Restoration of selective beech coppices: a case study in the Apennines (Italy). *Forest Ecology and Management*, 249: 18-27.
- DAVASSE, B. (1992). – Anthracologie et espaces forestiers charbonnés. Quelques exemples dans la moitié orientale des Pyrénées. *Bulletin de la société botanique de France*, 139: 597-608.
- DENARDOU, A., HERVÉ, J.-C., DUPOUEY, J.-L., BIR, J., AUDINOT, T. & BONTEMPS, J.-D. (2017). – L'expansion séculaire des forêts françaises est dominée par l'accroissement du stock sur pied et ne sature pas dans le temps. *Revue Forestière Française*, 69: 319-339.
- DUNFORD, R., SU, Q., TAMANG, E. & WINTOUR, A. (2014). – The Pareto Principle. *The Plymouth Student Scientist* 7, 140-148.
- EUROPEAN COMMISSION. (2015). – *Sustainable agriculture, forestry and fisheries in the bioeconomy - A challenge for Europe*. 4th SCAR Foresight Exercise
- FOREST EUROPE. (2015). – *State of Europe's forests 2015*. FAO, EFI, Madrid.
- GALBERT (DE), M., MAGRUM, M. & MORIN, G.-A. (2015). – *Valorisation agricole et forestière de l'espace rural*. Ministère de l'Agriculture, Paris.
- GUITTON, J.-L. & RIOU-NIVERT, P. (1987). – Reboisement et sylviculture des résineux. *Revue Forestière Française*, 39: 56-67.

- HERVÉ, J.-C. (2016). Forest inventory: France. In *National forest inventories: assessment of wood availability and use* (ed. C. Vidal, I. Alberti, L. Hernandez and J. Redmond), Springer: 385-404.
- HÜFFEL, G. (1926). – *Les méthodes de l'aménagement forestier en France*. Berger-Levrault, Nancy-Paris-Strasbourg.
- IFN. (2004). – Des changements majeurs à l'IFN pour mieux répondre aux besoins des utilisateurs. *IF*, n°5, 8pp.
- IFN. (2008). – Nouvelle cartographie forestière. De la production à l'utilisation. *IF*, n°20, 8pp.
- IFN. (2011). – Une nouvelle partition écologique et forestière du territoire métropolitain. *IF*, n°26, 8pp.
- IGN. (2016). – Les forêts mélangées. *IF*, n°36, 12 pp.
- JARRET, P. (2004). – *Chênaie atlantique*. Guide des sylvicultures. Lavoisier, Paris.
- LEPART, J., MARTIN, A., MARTY, P., & DEBAIN, S. (2001). La progression des pins sur les Causses : un phénomène difficilement contrôlable ? L'exemple du Causse Méjan. *Forêt méditerranéenne*, 22: 23-28.
- MCGILL, B., ETIENNE, R. S., GRAY, J. S. & al. (2007). – Species abundance distributions moving beyond single prediction theories to integration within an ecological framework. *Ecology Letters*, 10: 995-2015.
- MEADES, W. J. & ROBERTS, B. A. (1992). – A review of forest site classification activities in Newfoundland and Labrador. *The Forestry Chronicle*, 68: 25-33.
- MEYFROIDT, P. & LAMBIN, E. F. (2011). – Global forest transition: prospects for an end to deforestation. *Annual Review of Environment and Resources*, 36: 343-371.
- MORNEAU, F., DUPREZ, C. & HERVÉ, J.-C. (2008). – Les forêts mélangées en France métropolitaine. Caractérisation à partir des résultats de l'Inventaire forestier national. *Revue Forestière Française*, 60: 107-120.

- PARDÉ, J. (1966). – Forêts et reboisements à haute productivité en France. *Revue Forestière Française*, 11: 718-724.
- PIGNARD, G. (2000). – Evolution récente des forêts françaises : surface, volume sur pied, productivité. *Revue Forestière Française*, 52: 27-36.
- PIGNATTI, S. (1998). – I boschi d'Italia. *Sinecologia e biodiversita*, UTET, Torino, Italy.
- PLAISANCE, G. (1966). – Une conversion réussie. Oeuvre de Bernard Lorentz. *Revue Forestière Française*: 82-98.
- QUÉZEL, P. & BONIN, G. (1980). – Les forêts feuillues du pourtour méditerranéen. Constitution, écologie, situation actuelle, perspectives. *Revue Forestière Française* 32: 253-268.
- SAILLET, B. (1991). – De l'utilité des boisements pour la restauration et la conservation des terrains de montagne. *Revue Forestière Française*, 43: 119-130.
- SALLNÄS, O. (1990). – A matrix growth model of the Swedish forest. *Studia Forestalia Suecica*, 183: 3-22.
- SEYNAVE, I., GÉGOUT, J.-C., HERVÉ, J.-C. & DHÔTE J.-F. (2008). – Is the spatial distribution of European beech (*Fagus sylvatica* L.) limited by its potential height growth? *Journal of Biogeography*, 35: 1851-1862.
- TOMPPPO, E., GSCHWANTNER, T., LAWRENCE, M. & MCROBERTS, R. E. (2010). *National forest inventories - pathways for common reporting*. Springer, Heidelberg, Dordrecht, London, New-York.
- TOUZET, T. & LECORDIX F. (2010). – La carte forestière sans papier. *Journal du comité français de cartographie*, 206: 53-62.
- WERNSDÖRFER, H., COLIN, A., BONTEMPS, J.-D., CHEVALIER, H., PIGNARD, G., CAURLA, S., LEBAN, J.-M., HERVÉ, J.-C. & FOURNIER M. (2012). – Large-scale dynamics of a heterogeneous forest resource are driven jointly by geographically

varying growth conditions, tree species composition and stand structure. *Annals of Forest Science*, 69: 829-844.

**Online material 1. Typologie de référence de l'inventaire forestier national français pour la composition en espèces ligneuses des points d'inventaires de terrain**

<b>Dénomination</b>	<b>Surface (ha)</b>	<b>Richesse spécifique (nombre d'espèces)</b>
Peuplement pur d'épicéa	327 763	1
Peuplement pur de sapin pectiné	282 591	1
Peuplement pur de robinier	74 447	1
Peuplement pur de pin sylvestre	512 325	1
Peuplement pur de pin noir	118 807	1
Peuplement pur de pin maritime	739 597	1
Peuplement pur de pin laricio	133 863	1
Peuplement pur de pin d'Alep	149 450	1
Peuplement pur de pin Cembro	1 097	1
Peuplement pur de pin à crochets	43 749	1
Peuplement pur de peuplier cultivé	157 592	1
Peuplement pur de mélèze	78 625	1
Peuplement pur de hêtre	622 723	1
Peuplement pur de frêne	170 964	1
Peuplement pur de douglas	257 560	1
Peuplement pur de chêne vert	409 549	1
Peuplement pur de chêne sessile	782 326	1
Peuplement pur de chêne pubescent	847 289	1
Peuplement pur de chêne pédonculé	718 326	1
Peuplement pur de châtaignier	342 054	1
Peuplement pur de charme	72 192	1
Peuplement pur de bouleau	78 886	1
Peuplement pur de feuillu indigène	320 289	1
Peuplement pur de feuillu exotique	1 074	1
Peuplement pur de conifère indigène	61 365	1
Peuplement pur de conifère exotique	3 123	1
Mélange sapin et épicéa	125 251	2
Mélange hêtre et sapin	150 458	2
Mélange hêtre et épicéa	78 742	2
Mélange hêtre et chêne sessile	279 521	2
Mélange hêtre et chêne pubescent	28 009	2
Mélange hêtre et chêne pédonculé	113 020	2
Mélange frêne et hêtre	106 692	2
Mélange frêne et érable	111 908	2
Mélange frêne et chêne sessile	33 535	2
Mélange frêne et chêne pubescent	25 067	2
Mélange frêne et chêne pédonculé	121 889	2
Mélange chêne vert et chêne pubescent	125 697	2
Mélange chêne vert et chêne liège	20 748	2
Mélange chêne vert et arbousier	50 315	2
Mélange chêne sessile et chêne pubescent	26 668	2
Mélange chêne pédonculé et chêne sessile	158 977	2
Mélange chêne pédonculé et chêne pubescent	74 236	2
Mélange châtaignier et chêne sessile	79 087	2

Mélange châtaignier et chêne pubescent	39 622	2
Mélange châtaignier et chêne pédonculé	154 040	2
Mélange charme et chêne sessile	208 293	2
Mélange charme et chêne pubescent	18 450	2
Mélange charme et chêne pédonculé	266 694	2
Mélange bouleau et chêne sessile	46 163	2
Mélange bouleau et chêne pubescent	1 115	2
Mélange bouleau et chêne pédonculé	115 104	2
Mélange pin sylvestre et autre feuillu	169 301	2
Mélange pin maritime et autre feuillu	54 956	2
Mélange pin d'Alep et autre feuillu	2 925	2
Mélange frêne et autre feuillu	159 374	2
Mélange chêne sessile et autre feuillu	46 543	2
Mélange chêne pubescent et autre feuillu	88 879	2
Mélange chêne pédonculé et autre feuillu	170 386	2
Mélange chêne et pin sylvestre	235 562	2
Mélange chêne et pin maritime	155 311	2
Mélange chêne et pin d'Alep	97 809	2
Autre mélange feuillu / résineux à 2 essences	321 917	2
Autre mélange de 2 feuillus	400 670	2
Autre mélange à 2 résineux	132 070	2
Mélange robinier et autre(s) feuillu(s) secondaire(s)	4 903	2+
Mélange pin sylvestre et autre(s) résineux	157 804	2+
Mélange hêtre et autre(s) feuillu(s) secondaire(s)	86 232	2+
Mélange frêne et autre(s) feuillu(s) secondaire(s)	51 884	2+
Mélange de chênes	7 902	2+
Mélange chêne vert et autres chênes	2 617	2+
Mélange chêne vert et autre(s) feuillu(s)	72 920	2+
Mélange chêne sessile et autre(s) feuillu(s) secondaire(s)	16 412	2+
Mélange chêne pubescent et autre(s) feuillu(s) secondaire(s)	11 802	2+
Mélange chêne pédonculé et autre(s) feuillu(s) secondaire(s)	73 759	2+
Mélange châtaignier et autre(s) feuillu(s) secondaire(s)	19 209	2+
Mélange hêtre, sapin et épicéa	65 325	3
Mélange hêtre, sapin et autre essence	63 456	3
Mélange hêtre, épicéa et autre essence	53 964	3
Autre mélange feuillu / résineux à 3 essences	223 090	3
Autre mélange de 3 feuillus	111 719	3
Mélange pin sylvestre et plusieurs feuillus	155 442	3+
Mélange pin maritime et plusieurs feuillus	42 540	3+
Mélange pin d'Alep et plusieurs feuillus	2 486	3+
Mélange hêtre, chêne sessile et autre(s) feuillu(s)	117 583	3+
Mélange hêtre, chêne pubescent et autre(s) feuillu(s)	10 440	3+
Mélange hêtre, chêne pédonculé et autre(s) feuillu(s)	114 453	3+
Mélange hêtre et chênes	24 464	3+
Mélange frêne, chêne sessile et autre(s) feuillu(s)	79 663	3+
Mélange frêne, chêne pubescent et autre(s) feuillu(s)	25 677	3+
Mélange frêne, chêne pédonculé et autre(s) feuillu(s)	181 587	3+
Mélange frêne et plusieurs feuillus	84 316	3+

Mélange frêne et chênes	14 569	3+
Mélange de chênes et autre(s) feuillu(s) secondaire(s)	15 882	3+
Mélange chênes et autre feuillu	10 376	3+
Mélange chêne sessile et plusieurs feuillus	10 233	3+
Mélange chêne pubescent et plusieurs feuillus	16 359	3+
Mélange chêne pédonculé et plusieurs feuillus	42 520	3+
Mélange châtaignier, chêne sessile et autre(s) feuillu(s)	19 310	3+
Mélange châtaignier, chêne pubescent et autre(s) feuillu(s)	8 259	3+
Mélange châtaignier, chêne pédonculé et autre(s) feuillu(s)	75 396	3+
Mélange châtaignier et chênes	25 068	3+
Mélange charme, chêne sessile et autre(s) feuillu(s)	46 664	3+
Mélange charme, chêne pubescent et autre(s) feuillu(s)	2 507	3+
Mélange charme, chêne pédonculé et autre(s) feuillu(s)	97 178	3+
Mélange charme et chênes	66 542	3+
Mélange bouleau et chênes	9 230	3+
Autre mélange à 3 résineux ou plus	8 161	3+
Autre mélange feuillu / résineux à 4 essences	30 029	4
Autre mélange de 4 feuillus	7 966	4
Mélange hêtre, chênes et autre(s) feuillu(s)	15 633	4+
Mélange frêne, chênes et autre(s) feuillu(s)	23 016	4+
Mélange châtaignier, chênes et autre(s) feuillu(s)	8 063	4+
Mélange charme, chênes et autre(s) feuillu(s)	11 898	4+
Autre mélange de 5 feuillus	8 816	5
Autre mélange feuillu / résineux à 5 essences ou plus	63 093	5+
Non déterminé	1 266 574	

**Online material 2. Identification et importance en surface et en stock des compositions synthétiques spécifiques par Grandes Régions Ecologiques (GRECO)**

**1. Grand-Ouest cristallin et océanique (GOCO)**

Type de composition	Intitulé	Code	Surface (ha, %)	Volume sur pied (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> , %)
<b>CSE</b>	Chêne pédonculé pur / avec feuillus <sup>1</sup>	F1.1	181,000 (28,0)	26,3 (24,3)
	Hêtre pur / avec chênes (+ feuillus)	F6.3	56,000 (8,7)	12,0 (11,1)
	Pins (maritime, sylvestre, laricio) <sup>2</sup>	R5	55,000 (8,6)	10,3 (9,6)
	Chêne sessile	F4	42,000 (6,6)	8,8 (8,2)
<b>CSG</b>	Divers feuillus	F0	144,000 (13,4)	19,7 (18,2)
	Divers mixtes	M0	75,000 (6,2)	15,2 (14,0)
	Divers résineux	R0	54,000 (1,8)	15,4 (14,3)
<b>Non déterminé</b>			37,000 (5,7)	0,4 (0,3)
<b>Total (CSE + CSG)</b>			<b>334,000 (51,9)</b>	<b>57,4 (53,2)</b>

<sup>1</sup>Autres que le hêtre, <sup>2</sup>pin sylvestre, pin maritime, pin laricio. Ombré : CSE inférieure à 50,000 ha

## 2. Centre-Nord semi-océanique (CNSO)

Type de composition	Intitulé	Code	Surface (ha, %)	Volume sur pied (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> , %)
<b>CSE</b>	Chêne pédonculé pur / avec feuillus <sup>1</sup>	F1.1	536,000 (18,6)	93,9 (18,0)
	Chêne sessile	F4	427,000 (14,8)	97,0 (18,6)
	Frêne pur / avec feuillus	F2	326,000 (11,3)	56,0 (10,8)
	Charme et chênes (+ feuillus)	F5	285,000 (9,9)	54,0 (10,4)
	Pins (maritime, sylvestre, laricio, noir)	R5	186,000 (6,4)	37,1 (7,1)
	Hêtre et chênes (+ feuillus)	F6.2	103,000 (3,5)	23,0 (4,4)
	Hêtre	F6.1	55,000 (1,9)	12,1 (2,3)
<b>CSG</b>	Divers feuillus	F0	587,000 (20,3)	93,3 (17,9)
	Divers mixtes	M0	165,000 (5,7)	32,5 (6,2)
	Divers résineux	R0	67,000 (2,3)	17,9 (3,4)
<b>Non déterminé</b>			154,000 (5,3)	1,0 (0,2)
<b>Total (CSE)</b>			<b>1,918,000 (66,4)</b>	<b>373,1 (71,6)</b>

<sup>1</sup>Autres que le hêtre, le charme, et le frêne, <sup>2</sup>pin maritime, pin sylvestre, pin laricio, pin noir

### 3. Grand-Est semi-continental (GESC)

Type de composition	Intitulé	Code	Surface (ha, %)	Volume sur pied (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> , %)
<b>CSE</b>	Charme et chênes (+ feuillus)	F5	346,000 (16,0)	60,9 (15,8)
	Frêne pur / avec feuillus	F2	311,000 (14,5)	62,2 (16,1)
	Hêtre et chênes (+ feuillus)	F6.2	301,000 (14,0)	61,6 (15,9)
	Chêne pédonculé pur / avec feuillus <sup>1</sup>	F1.1	174,000 (8,1)	30,8 (8,0)
	Chêne sessile	F4	141,000 (6,5)	27,3 (7,1)
	Hêtre	F6.1	94,000 (4,4)	17,9 (4,6)
<b>CSG</b>	Divers feuillus	F0	360,000 (16,7)	53,7 (13,9)
	Divers mixtes	M0	171,000 (7,9)	37,0 (9,6)
	Divers résineux	R0	131,000 (6,1)	34,5 (8,9)
<b>Non déterminé</b>			125,000 (5,8)	0,9 (0,2)
<b>Total (CSE)</b>			<b>1,367,000 (63,5)</b>	<b>260,7 (67,5)</b>

<sup>1</sup>Autres que le hêtre, le charme, et le frêne

#### 4. Sud-Ouest Océanique (SOO)

Type de composition	Intitulé	Code	Surface (ha, %)	Volume sur pied (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> , %)
<b>CSE</b>	Pin maritime	R1	589,000 (23,9)	74,9 (27,0)
	Chêne pubescent	F3	374,000 (15,1)	37,8 (13,7)
	Châtaignier pur / avec feuillus <sup>1</sup>	F8.1	206,000 (8,3)	33,0 (11,9)
	Chêne pédonculé pur / avec feuillus <sup>2</sup>	F1.1	348,000 (14,1)	53,8 (19,5)
<b>CSG</b>	Divers feuillus	F0	330,000 (13,4)	44,1 (16,0)
	Divers mixtes	M0	171,000 (6,9)	24,0 (8,7)
	Divers résineux	R0	45,000 (1,8)	7,0 (2,5)
<b>Non déterminé</b>			404,000 (16,4)	1,9 (0,7)
<b>Total (CSE)</b>			<b>1,517,000 (61,4)</b>	<b>199.5 (72.1)</b>

<sup>1</sup>Essentiellement des chênes, <sup>2</sup>Autres que le châtaignier

## 5. Méditerranée (M)

Type de composition	Intitulé	Code	Surface (ha, %)	Volume sur pied (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> , %)
<b>CSE</b>	Chêne vert	F7.1	256,000 (19,5)	8,9 (12,3)
	Chêne pubescent	F3	189,000 (14,4)	11,5 (15,9)
	Chênes et pins	M3	153,000 (11,7)	11,2 (15,4)
	Pin d'Alep	R7	148,000 (11,3)	11,4 (15,7)
	Chênes vert / pubescent	F9	97,000 (7,4)	5,0 (6,9)
<b>CSG</b>	Divers feuillus	F0	151,000 (11,5)	12,5 (17,2)
	Divers résineux	R0	83,000 (6,3)	7,8 (10,7)
	Divers mixtes	M0	61,000 (4,7)	3,8 (5,2)
<b>Non déterminé</b>			174,000 (13,2)	0,5 (0,7)
<b>Total (CSE)</b>			<b>843,000 (64,3)</b>	<b>48,0 (66,2)</b>

## 6. Vosges

Type de composition	Intitulé	Code	Surface (ha, %)	Volume sur pied (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> , %)
<b>CSE</b>	Hêtre et sapin pectiné ou <sup>1</sup> épicéa commun (+ autres essences)	M2	72,000 (12,5)	22,1 (14,0)
	Sapin pectiné	R4	65,000 (11,3)	22,7 (14,3)
	Hêtre	F6.1	64,000 (11,0)	15,6 (9,9)
	Epicéa commun	R3	48,000 (8,3)	19,1 (12,1)
	Hêtre et chênes (+ feuillus)	F6.2	37,000 (6,4)	10,0 (6,3)
	Epicéa commun / sapin pectiné	R9	35,000 (6,0) <sup>2</sup>	11,7 (7,4)
<b>CSG</b>	Divers feuillus	F0	103,000 (17,9)	21,6 (13,6)
	Divers mixtes	M0	71,000 (12,3)	19,6 (12,4)
	Divers résineux	R0	52,000 (9,1)	15,7 (9,9)
<b>Non déterminé</b>			29,000 (5,0)	2,7 (0,2)
<b>Total (CSE)</b>			<b>321,000 (55,5)</b>	<b>101,2 (64,0)</b>

<sup>1</sup>« Ou » inclusif, le sapin et l'épicéa pouvant communément accompagner le hêtre, ombré : CSE inférieure à 50,000 ha, <sup>2</sup> bien que la composition R9 ne soit pas nécessaire pour atteindre le minimum 50% de surface, son importance est identique à la précédent, et amène à les expliciter.

## 7. Jura

Type de composition	Intitulé	Code	Surface (ha, %)	Volume sur pied (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> , %)
<b>CSE</b>	Hêtre et sapin pectiné ou <sup>1</sup> épicéa commun (+ autres essences)	M2	107,000 (21,5)	31,5 (26,6)
	Frêne pur / avec feuillus	F2	81,000 (16,3)	14,3 (12,8)
	Epicéa commun	R3	43,000 (8,7)	15,4 (13,0)
	Hêtre	F6.1	32,000 (6,4)	8,2 (7,0)
	Sapin pectiné	R4	30,000 (6,1) <sup>2</sup>	11,7 (9,9)
	Epicéa commun / sapin pectiné	R9	29,000 (5,9) <sup>2</sup>	10,4 (8,8)
<b>CSG</b>	Divers feuillus	F0	105,000 (21,1)	15,1 (12,8)
	Divers mixtes	M0	44,000 (8,9)	9,5 (8,0)
<b>Non déterminé</b>			19,000 (3,9)	0,2 (0,1)
<b>Total (CSE)</b>			<b>322,000 (64,9)</b>	<b>91,5 (78,1)</b>

<sup>1</sup>« Ou » inclusif, le sapin et l'épicéa pouvant communément accompagner le hêtre, ombré : CSE inférieure à 50,000 ha, <sup>2</sup>Bien que les compositions R4 et R9 ne soient pas nécessaires pour atteindre le minimum 50% de surface, leur importance est identique à la précédente, et amène à les expliciter.

## 8. Massif Central

Type de composition	Intitulé	Code	Surface (ha, %)	Volume sur pied (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> , %)
<b>CSE</b>	Chêne pédonculé et feuillus	F1.3	319,000 (11,4)	60,9 (11,4)
	Pin sylvestre et feuillus	M1	170,000 (6,1)	27,3 (5,1)
	Douglas	R6	169,000 (6,1)	55,5 (10,4)
	Pin sylvestre	R2	155,000 (5,5)	25,2 (4,7)
	Hêtre	F6.1	142,000 (5,1)	32,5 (6,1)
	Châtaignier	F8.2	130,000 (4,7)	20,3 (3,8)
	Chêne pédonculé	F1.2	121,000 (4,3)	23,5 (4,4)
	Chêne pubescent	F3	115,000 (4,1)	7,4 (1,4)
	Sapin pectiné	R4	105,000 (3,8)	43,5 (8,2)
	Epicéa commun	R3	105,000 (3,8)	34,2 (6,4)
	Chêne sessile	F4	105,000 (3,8)	20,4 (3,8)
<b>CSG</b>	Divers feuillus	F0	528,000 (18,9)	71,1 (13,3)
	Divers mixtes	M0	249,000 (8,9)	53,0 (9,9)
	Divers résineux	R0	205,000 (7,3)	58,0 (10,9)
<b>Non déterminé</b>			170,000 (6,1)	1,2 (0,2)
<b>Total (CSE)</b>			<b>1,636,000 (58,7)</b>	<b>350,7 (65,7)</b>

## 9. Alpes

Type de composition	Intitulé	Code	Surface (ha, %)	Volume sur pied (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> , %)
<b>CSE</b>	Pin sylvestre	R2	200,000 (16,2)	22,2 (10,7)
	Pin sylvestre et feuillus	M1	127,000 (10,3)	13,0 (6,3)
	Hêtre et sapin pectiné ou <sup>1</sup> épicéa commun (+ autres essences)	M2	108,000 (8,7)	34,5 (16,6)
	Chêne pubescent	F3	77,000 (6,2)	4,0 (1,9)
	Hêtre	F6.1	75,000 (6,1)	16,1 (7,7)
	Epicéa commun	R3	68,000 (5,5)	25,1 (12,1)
	Pin noir	R10	50,000 (4,0)	7,4 (3,5)
<b>CSG</b>	Divers feuillus	F0	138,000 (11,2)	18,4 (8,9)
	Divers résineux	R0	129,000 (10,5)	38,6 (18,6)
	Divers mixtes	M0	91,000 (7,4)	14,8 (7,1)
<b>Non déterminé</b>			70,000 (5,7)	0,6 (2,7)
<b>Total (CSE)</b>			771,000 (62,3)	135,5 (65,2)

<sup>1</sup>« Ou » inclusif, le sapin et l'épicéa pouvant communément accompagner le hêtre

## 10. Pyrénées

Type de composition	Intitulé	Code	Surface (ha, %)	Volume sur pied (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> , %)
<b>CSE</b>	Hêtre	F6.1	132,000 (18,6)	28,1 (24,0)
	Frêne pur / avec feuillus	F2	90,000 (12,7)	13,3 (11,4)
	Chêne pédonculé pur / avec feuillus <sup>1</sup>	F1.1	57,000 (8,0)	10,4 (8,9)
	Chêne pubescent	F3	47,000 (6,6)	3,8 (3,2)
	Sapin pectiné	R4	43,000 (6,0)	14,6 (12,5)
<b>CSG</b>	Divers feuillus	F0	157,000 (22,1)	19,7 (16,8)
	Divers résineux	R0	84,000 (11,8)	13,3 (11,3)
	Divers mixtes	M0	73,000 (10,2)	13,8 (11,8)
<b>Non déterminé</b>			28,000 (3,9)	0,1 (0,1)
<b>Total (CSE)</b>			<b>369,000 (51,9)</b>	<b>70,2 (60,0)</b>

<sup>1</sup>Non rencontré avec le frêne, ombré : CSE inférieure à 50,000 ha

## 11. Corse

Type de composition	Intitulé	Code	Surface (ha, %)	Volume sur pied (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> , %)
<b>CSE</b>	Chêne vert et feuillus	F7.2	99,000 (25,0)	8,4 (19,5)
	Chêne vert	F7.1	80,000 (20,5)	7,6 (17,7)
	Pin maritime	R1	24,000 (6,1)	6,5 (15,1)
	Pin laricio	R11	23,000 (5,9)	7,2 (16,7)
<b>CSG</b>	Divers feuillus	F0	72,000 (18,3)	6,9 (16,0)
	Divers mixtes	M0	33,000 (8,5)	7,6 (17,7)
<b>Non déterminé</b>			55,000 (14,0)	0,2 (0,4)
<b>Total (CSE)</b>			<b>226,000 (57,5)</b>	<b>29,7 (69,0)</b>

ombré : CSE inférieure à 50,000 ha, <sup>2</sup>Bien que la composition R11 ne soit pas nécessaire pour atteindre le minimum 50% de surface, son importance est identique à la précédente, et amène à l'expliquer.

### **Online material 3. Exemples de construction des compositions synthétiques de la partition des forêts**

#### ***Exemple 1. Compositions synthétiques et regroupements en Méditerranée***

Le **Tableau S1** présente l'analyse conduite sur la GRECO « Méditerranée », où les types de peuplements de l'inventaire forestier sont classés par surface décroissante, associée à leur pourcentage dans la surface forestière de la GRECO :

(i) Le *principe de troncature* amène à retenir les 4 premiers types de peuplements explicites (chêne vert, chêne pubescent, pin d'Alep, mélange de chênes vert/pubescent), pour un total de 52.6% de la surface couverte. Avec une surface de 97,000 ha pour le 4<sup>e</sup> type, ils dépassent tous le seuil minimal de 50,000 ha. Le 3<sup>e</sup> type de peuplement en importance, dont la composition n'est pas déterminée, est écarté. On regroupe ensuite les types dont la composition n'est pas explicite dans les CSG,

(ii) Le 5<sup>e</sup> type de peuplement (mélange Chêne – Pin d'Alep) retient l'attention, puisque son importance est égale à celle du type précédent. Les types suivants permettent de repérer des mélanges similaires (Chêne – Pin sylvestre, Chêne – Pin maritime). Les chênes (vert et pubescent) ont donc une tendance claire à former des mélanges avec les pins dans cette région. En mobilisant le *principe d'agrégation*, on établit donc une nouvelle composition synthétique – le mélange « Chênes – Pins ». Son importance est considérable, puisqu'il occupe alors une surface >150,000 ha, qui le positionne en réalité au 3<sup>e</sup> rang des CSE de la GRECO, devant celle définie par le Pin d'Alep.

Type de peuplement (IFN)	Composition synthétique	Rang	Surface (ha)	Surface (%)
Chêne vert pur	Conservé (F71)	1	256,000	19.5
Chêne pubescent pur	Conservé (F3)	2	189,000	14.4
Non déterminé	Ecarté <sup>1</sup>	3	174,000	
Pin d'Alep pur	Conservé (R7)	4	148,000	11.3
Chênes vert et pubescent	Conservé (F9)	5	97,000	7.4
Chêne et pin d'Alep	Chênes – pins (M3)	6	97,000	7.4
Feuillu indigène pur	Divers feuillus (F0) <sup>2</sup>	7	55,000	
Chêne et pin sylvestre	Chênes – pins (M3)	8	37,000	2.8
Mélange feuillu/résineux à 2 essences <sup>2</sup>	Divers mixtes (M0) <sup>2</sup>	9	26,000	
Mélange feuillu/résineux à 3 essences <sup>2</sup>	Divers mixtes (M0) <sup>2</sup>	10	20,000	
Pin sylvestre pur	Divers résineux (R0) <sup>3</sup>	11	20,000	
Chêne et pin maritime	Chênes – pins (M3)	12	19,000	1.5
Total Chênes – pins <sup>4</sup>			153,000	11,7 <sup>4</sup>
<b>Total explicité<sup>5</sup></b>			<b>843,000</b>	<b>64.3</b>

**Tableau S1. Exemple de partition de la surface forestière d'une GRECO en compositions synthétiques explicites (CSE) et génériques (CSG) – illustration des compositions élémentaires ou regroupées en GRECO « Méditerranée ».** <sup>1</sup>Peuplements non décrits, <sup>2</sup>Types de peuplements génériques non explicites, regroupés dans les compositions génériques F0, R0 ou M0 (voir Tableau 5), <sup>3</sup>Type de peuplement de surface insuffisante pour constituer une composition synthétique de la GRECO, <sup>4</sup>Type de peuplement regroupé, occupant le 3<sup>e</sup> rang de la GRECO à l'issue de la procédure, <sup>5</sup>La proportion minimale de 50% de la surface est atteinte. Les codes des compositions synthétiques sont donnés au Tableau 5.

***Exemple 2. Essences attracteurs et regroupements en région Centre-Nord semi-océanique (CNSO)***

La construction des compositions synthétiques est illustrée pour cette région qui a présenté la plus grande difficulté d'organisation, du fait de l'existence de plusieurs essences « attracteur » (Tableau S2) :

(i) L'analyse des compositions de la GRECO montre qu'elles sont en nombre considérable. Le principe *de troncature* ne peut être vérifié simplement, puisque l'importance relative des premières compositions se réduit très rapidement, avec l'impossibilité d'atteindre le seuil de 50% des surfaces,

(ii) La première composition ne pose pas de difficulté à isoler (peuplements de Chêne sessile pour 427,000 ha et 14.8%). La seconde correspond au chêne pédonculé. Les compositions suivantes montrent que cette espèce forme de nombreux mélanges avec des feuillus (Chêne sessile, Bouleau, Châtaignier, Chêne pubescent, souvent accompagnés par d'autres feuillus). On applique donc le *principe d'agrégation*, afin de former un type « Chêne pédonculé pur ou avec feuillus », qui occupe finalement le premier rang d'importance dans la région (536,000 ha, 18.6%),

(iii) La composition suivante la plus significative est formée du mélange Charme – Chêne pédonculé (89,000 ha). Les compositions ultérieures comprennent 8 autres compositions associant le charme, et fondées systématiquement sur des chênes (et d'autres feuillus). A nouveau, le *principe d'agrégation* est mobilisé autour de cette essence attracteur, et conduit à identifier un type « Charme / Chênes et autres feuillus », qui représente finalement 289,000 ha pour 9,9% de la surface (4<sup>e</sup> rang de la région). La formation de ce groupe impose de soustraire le mélange « Charme – Chêne pédonculé » du regroupement précédent, puisqu'il présente une intersection non vide avec ces deux regroupements,

(iv) Un raisonnement semblable est appliqué au Frêne commun (59,000 ha en peuplements purs), qui forme lui aussi de nombreux mélanges avec des feuillus, dont la moitié seulement associent des chênes. Cela conduit à retenir une composition synthétique « Frêne pur ou avec feuillus », qui représente 326,000 ha pour 11.3% de la surface (3<sup>e</sup> rang de la région). A nouveau, le mélange Frêne – Chêne pédonculé a été soustrait du premier regroupement (il n'existe pas de mélange Frêne – Charme identifié),

(v) Le seuil du principe de troncature est atteint en pratique, avec 54.6% de la surface décrite. Cependant, la composition suivante correspond aux peuplements de Hêtre commun dont la surface est significative (55,000 ha), qui est donc retenue. L'analyse montre de plus que le hêtre se retrouve associé dans 5 autres types de mélanges avec des chênes et d'autres feuillus, et suggère une nouvelle CSE qui peut permettre de faire progresser la description de la surface. Ainsi est établi un type « Hêtre pur ou avec chênes (et autres feuillus) », qui représente 103,000 ha (3.5% de la région) et occupe le 5<sup>e</sup> rang de ces compositions synthétiques. A nouveau, le type Hêtre – Chêne pédonculé a été soustrait du premier regroupement.

Type de peuplement (IFN)	Composition synthétique	Rang	Surface (ha)	Surface (%)
Chêne sessile pur	Conservé (F4)	1	427,000	14.8
<b>Chêne pédonculé pur</b>	<b>Regroupé (F11)</b>	2	252,000	8.7
Chênes pédonculé et sessile	F11	5	95,000	3.3
<b>Charme et chêne pédonculé</b>	<b>Regroupé (F5)</b>	6	89,000	3.1
Charme et chêne sessile	F5	8	79,000	2.7
<b>Frêne, chêne pédonculé et autre(s) feuillu(s)</b>	<b>Regroupé (F2)</b>	12	59,000	2.1
Hêtre pur	Conservé (F61)	14	55,000	1.9
Frêne pur	F2	15	54,000	1.9
Chêne pédonculé et autre feuillu	F11	16	49,000	1.7
Chêne pédonculé et bouleau	F11	17	48,000	1.7
Frêne et érable	F2	19	45,000	1.6
<b>Hêtre et chêne sessile</b>	<b>Regroupé (F62)</b>	20	43,000	1.5
Frêne et autre feuillu	F2	22	40,000	1.4
Frêne et chêne pédonculé	F2	24	38,000	1.3
Charme et chênes	F5	26	35,000	1.2
Charme, chêne pédonculé et autres feuillus	F5	28	34,000	1.2
Chêne pédonculé et feuillus secondaires	F11	30	33,000	1.2
Charme	F5	33	25,000	0.9
Frêne et plusieurs feuillus	F2	34	25,000	0.9
Frêne et hêtre	F2	39	20,000	0.7
Hêtre, chêne pédonculé et autres feuillus	F62	40	19,000	0.7
Chêne pédonculé et châtaignier	F11	41	18,000	0.6
Chênes pédonculé et pubescent	F11	42	18,000	0.6
Frêne et feuillus secondaires	F2	43	18,000	0.6
Hêtre et chêne pédonculé	F62	45	16,000	0.6
Charme, chêne sessile et autres feuillus	F5	47	15,000	0.5
Hêtre, chêne sessile et autres feuillus	F62	49	15,000	0.5
Frêne, chêne sessile et autres feuillus	F2	50	14,000	0.5
Chêne pédonculé, châtaignier et autres feuillus	F11	51	13,000	0.4
Chêne pédonculé et plusieurs feuillus	F11	56	10,000	0.3
Frêne et chêne sessile	F2	61	6,000	0.2
Hêtre et chênes	F62	62	6,000	0.2
Charme, chênes et autres feuillus	F5	64	5,000	0.2
Frêne et chênes	F2	65	5,000	0.2
Hêtre, chênes et autres feuillus	F62	79	3,000	0.1

Charme et chêne pubescent	F5	82	2,000	<0.1
Frêne, chêne pubescent et autres feuillus	F2	91	900	<0.1
Frêne et chêne pubescent	F2	94	600	<0.1
Charme, chêne pubescent et autres feuillus	F5	96	400	<0.1
<b>Total explicité</b>			<b>1,918,000</b>	<b>66,4</b>

**Tableau S2. Exemple de partition de la surface forestière d'une GRECO en compositions synthétiques explicites (CSE) – notion de regroupement autour d'essences « attracteur » en GRECO « CNSO » (voir Figure 1).** Gras : essences ou groupes d'essences « attracteurs », Couleur : Chêne pédonculé pur ou avec feuillus, Frêne pur ou avec feuillus, Charme pur ou avec chênes (et autres feuillus), Hêtre et chênes (et autres feuillus). Les codes des compositions synthétiques sont donnés au Tableau 5.

### **Exemple 3. Homogénéisation entre GRECO (online material 2)**

La mise en œuvre du *principe d'homogénéisation* peut être illustrée par quelques situations :

- (i) Composition synthétique explicite des « pins ». Ce regroupement de compositions exclusivement pures (Pins laricio, sylvestre, maritime) a été retenu comme CSE dans la GRECO du Grand-Ouest (55,000 ha), afin de satisfaire au *principe de troncature*. Comme exposé ci-dessus, le seuil de 50% de surface explicitée a été atteint dans la GRECO Centre-Nord en retenant des compositions pures et des regroupements autour d'essences « attracteur ». Néanmoins, cette CSE est également identifiée dans cette dernière GRECO, indiquant une similarité sylvicole avec la première. Comme elle atteint de plus une surface plus significative (185,000 ha), le *principe d'homogénéisation* amène à identifier la composition synthétique des pins dans cette seconde région,
- (ii) Composition synthétique « hêtre – chênes ». Ce regroupement de compositions a été initialement identifié dans les GRECO Centre-Nord et Grand-Est où il est très significatif, à côté d'une composition pure en hêtre. Dans les Vosges d'une part, ce mélange a été retenu bien qu'il n'atteigne pas les 50,000 ha (37,000 ha), d'une part parce que la GRECO est plus restreinte en surface et que le seuil associé au *principe de troncature* amène à en tenir compte, et d'autre part parce que ce mélange apparaît en réalité comme étant emblématique de

l'ensemble du Nord et de l'Est du pays. Dans la GRECO Grand-Ouest, ce mélange est à nouveau identifié parmi les CSE. Bien que le hêtre en peuplement pur existe dans cette région, il est cette fois-ci trop restreint en théorie (11,000 ha) pour être retenu. Le principe d'homogénéisation entre régions nous amène cependant à le retenir, en le fusionnant à la composition synthétique « hêtre / chênes » sous forme de variante (« hêtre pur ou avec chênes »). Ceci permet de traduire la réalité de la présence du hêtre en peuplements purs ou mélangés au chêne dans l'ensemble de ces GRECO du Nord.