

Une partition idéalisée et régionalisée de la composition en espèces ligneuses des forêts françaises pour l'analyse de leurs ressources en bois

Article soumis à la revue *Ecoscience* en septembre 2018

Jean-Daniel Bontemps¹, Jean-Christophe Hervé^{1,†}, Anaïs Denardou^{1,2}

¹IGN, Laboratoire de l'Inventaire Forestier, 14 rue Girardet, 54000 Nancy.
Jdbontemps.ign@gmail.com, Anais.Denardou@ign.fr

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

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

Correspondance : Jean-Daniel Bontemps, Jdbontemps.ign@gmail.com

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), et sur une 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, les compositions minoritaires étant regroupées. Une première application est proposée avec la ventilation du stock de bois selon ces compositions.

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). Elles mettent en évidence le rôle des conditions écologiques et de la gestion historique de ces forêts.

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

Introduction

La description de grands ensembles forestiers hétérogènes impose leur classification 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 (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).

De telles approches restent peu développées à l'échelle du territoire national français, 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 (Wernsdörfer *et al.*, 2012 ; Colin *et al.*, 2017), (ii) la compréhension de la dynamique de long terme d'expansion des forêts (Pignard, 2000, Hervé *et al.*, 2014 ; 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 du territoire. L'importance des ressources forestières françaises (16,5 millions d'ha et plus de 2,600 millions de m³, chiffres IGN) dans le paysage européen (4^e surface et 3^e 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 trajectoires historiques de gestion (par exemple avec les reboisements résineux et l'introduction de nouvelles essences, Pardé, 1966 ; ou la favorisation des mélanges, Sardin, 2008), conduisant à l'existence d'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. A ces derniers, s'ajoute encore l'impératif de production d'une connaissance intelligible, 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 à caractère

permanent a été créé en 1958 (Bazire, 1984). 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 à 4 niveaux hiérarchiques, dont les deux 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 immédiatement 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, 91 unités cartographiques, Cavaignac, 2009 ; IFN, 2011) repose sur l'analyse des facteurs climatiques, géologiques, pédologiques et de la flore forestière. Ses objectifs explicites 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 prépondérance sur le territoire national a été enfin réalisée à partir des mesures de couverts effectuées sur les 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, c'est 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 approche repose sur un effectif encore très conséquent, et reste d'appréhension limitée.

Il reste donc aujourd'hui essentiel de mettre en place des partitions synthétiques des forêts du territoire pour en discrétiser la 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 hiérarchique des forêts du territoire métropolitain, centré sur la composition en essences des surfaces forestières documentée par l'inventaire forestier national. Le rôle du milieu physique dans la

structuration de cette diversité d'espèces nous a conduits à introduire un premier niveau de partitionnement défini par la typologie de contextes biogéographiques de niveau 1 (GRECO, ou « Grandes Régions Ecologiques »). A un deuxième niveau hiérarchique, une partition des couverts forestiers fondée sur les types de peuplements de l'inventaire forestier (Morneau *et al.*, 2008) complétés par les peuplements purs est développée à partir de règles de décision formelles comprenant : 1) un principe d'agrégation de compositions autour d'essences dominantes qui forment des peuplements purs ou des mélanges avec d'autres essences, 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 une catégorisation générique au-delà), 3) un principe d'homogénéisation des compositions explicites entre GRECO voisines. L'analyse des stocks de bois (volumes sur pied) associés à ces ensembles est présentée 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**.

[Tableau 1]

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 91 unités, et correspondant à une résolution fine de 6,000 km² 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 accessible à l'entendement, 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-continental), de ceux du Sud du pays (Sud-Ouest océanique, Méditerranée) auxquels s'ajoute la Corse (**figure 1**).

[Figure 1]

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^e 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^e de TCLR (entre 15 et 25%). Le seuil de 8/10^e définit les peuplements purs. L'essence de plus fort TCLR est dite essence principale, et elle est dite prépondérante lorsqu'elle dépasse un seuil de 2/10^e de TCLR, et qu'aucune autre essence ne dépasse les 2/10^e.

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 sur 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.

[Tableau 2]

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 humain. 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). 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-continental* (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 toute problématique de quantification de diversité en espèces (distributions de diversité-abondance ; McGill *et al.*, 2007).

[Figure 2]

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. Plusieurs principes de décision leur ont été appliqués pour élaborer la partition des compositions.

Principe de troncature

Une première stratégie de réduction de cette diversité consiste à expliciter les types de compositions dominantes (« 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, **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.

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 4**), 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 associées dont l'importance se situe au-delà des premiers 50% des surfaces forestières des GRECO. Ces compositions ont donc été agrégées aux types dominants.

Principe d'omission

Certains types de peuplements de la nomenclature de l'inventaire forestier national restent par ailleurs peu 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).

Ces deux derniers principes forment une entorse au principe de troncature, puisque d'une part des peuplements situés au-delà d'un seuil de 50% peuvent être intégrés à des CSE, et d'autre part des peuplements situés en deçà du seuil peuvent être intégrés à des CSG.

Principes complémentaires

Deux principes complémentaires ont été mis en œuvre : un *principe d'homogénéisation* des CSE entre GRECO voisines, et un critère d'origine dynamique des peuplements.

Tout d'abord, l'examen des CSE élaborées révèle logiquement des identités ou similitudes entre GRECO voisines au plan géographique ou géophysique. Dans le premier cas, cela a pu conduire 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 le second, 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**).

Enfin, l'application du principe de l'essence « attracteur » a pu conduire à des hésitations du fait de leur intersection non nulle (par exemple les CSE « chêne-charme » et « chêne pédonculé et feuillus »). Dans ce dernier cas, il nous 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.

Les raisonnements et principes exposés sont illustrés sur trois exemples.

Exemples de construction des compositions synthétiques explicites

Exemple 1. Compositions synthétiques explicites, génériques, et regroupements en Méditerranée

Le **Tableau 3** 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 d'omission* conduit tout d'abord à écarter le 3^e type de peuplement, dont la composition n'est pas déterminée. Il conduit ensuite à regrouper les types dont la composition n'est pas explicite (en gris dans le tableau) dans les CSG,
- (ii) Le *principe de troncature* amène ensuite à retenir les 4 premiers types de peuplements (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^e type, ils dépassent tous le seuil minimal de 50,000 ha,
- (iii) L'examen du 5^e type de peuplement (mélange Chêne – Pin d'Alep) retient l'attention, puisque son importance est égale à celle du type précédent. L'examen des types suivants permet de repérer des mélanges similaires (Chêne – Pin sylvestre, Chêne – Pin maritime). Les chênes (vert et pubescent) ont donc une tendance nette 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^e rang des CSE de la GRECO, devant celle définie par le Pin d'Alep.

[Tableau 3]

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

La construction des compositions synthétiques est illustrée sur cette région, qui a présenté la plus grande difficulté d'organisation, du fait de l'existence de plusieurs essences « attracteur » (**Tableau 4**) :

- (i) Le *principe d'omission* a été à nouveau appliqué concernant les surfaces de composition non déterminée ainsi que les compositions non explicites regroupées dans les compositions synthétiques génériques,
- (ii) L'analyse des compositions de la GRECO montre qu'elles sont en nombre considérable, et que le *principe de troncature* est pris en défaut, puisque l'importance relative des premières compositions s'effondre très rapidement, rendant le seuil des 50% de surface inatteignable,
- (iii) 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 occupera finalement le premier rang d'importance dans la région (536,000 ha, 18.6%),

(iv) La composition suivante la plus significative est formée du mélange Charme – Chêne pédonculé (89,000 ha). Les compositions suivantes comprennent 8 autres compositions associant le charme, 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^e rang de la région). Il faut ici remarquer que 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,

(v) 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^e rang de la région). A nouveau, le mélange Frêne – Chêne pédonculé a été soustrait du premier regroupement. En revanche, il n'existe pas de mélange Frêne – Charme identifié.

(vi) 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), laquelle 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^e rang de ces compositions synthétiques. A nouveau, le type Hêtre – Chêne pédonculé a été soustrait du premier regroupement.

[Tableau 4]

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 initialement retenu comme CSE dans la GRECO du Grand-Ouest (55,000 ha), afin de satisfaire au *principe de troncature*. Comme il vient d'être exposé, le seuil de 50% de surface explicitée était atteint dans la GRECO Centre-Nord en retenant des compositions pures et des regroupements autour d'essences « attracteur ». Néanmoins, cette CSE a été identifiée dans cette dernière GRECO, indiquant une similarité sylvicole avec la première. Comme elle atteint de plus une surface plus significative (185,000 ha), ce *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.

Résultats

Propriétés quantitatives générales de la partition

Les propriétés quantitatives de cette partition sont présentées au **Tableau 5**. L'identification et la quantification des différentes CSE et CSG par GRECO est reportée en **online material 2**.

[Tableau 5]

L'objectif initial d'explicitation des compositions synthétiques explicites (CSE) sur une étendue >50% de la surface forestière a pu être 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 décrite par des CSE). Un tiers (30.3%) de cette surface est décrit par les compositions synthétiques génériques (CSG). Environ 8% de la surface forestière reste de composition indéterminée, du fait d'un degré d'ouverture des peuplements qui ne permet pas une description des taux de couvert (au seuil de 2/10^e), et qui permet de situer l'importance de ces forêts ouvertes, auxquelles les GRECO les plus contributrices sont le Massif Central, le Sud-Ouest Océanique et la Méditerranée, pour une surface dépassant les 700,000 ha.

L'analyse de la couverture du stock de bois sur pied en volume selon 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%. Tandis que les CSG atteignent le tiers du stock sur pied (33.7%), le stock sur pied de composition indéterminée atteint le niveau anecdotique de 0.4%, et souligne que ces forêts ouvertes ne comportent qu'une quantité de bois marginale.

[Figure 3]

Le nombre de CSE permettant d'atteindre le seuil de 50% de la surface forestière d'une GRECO est en moyenne de 6.4, et 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 de ce point de vue la GRECO « record » en termes de diversité de CSE, avec des types à la fois feuillus et résineux qui traduisent la mise en valeur historique du massif par des boisements (**Tableau 5, online material 2**). Le coefficient de corrélation entre surface forestière totale des GRECO et nombre de CSE est de 0.42 en moyenne, indiquant l'existence d'un lien entre surface forestière décrite et diversité des compositions. 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 types 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 l'écueil combinatoire.

Compositions synthétiques explicites structurant la partition

Eléments généraux

Les 29 CSE sont décrites et codées dans le **Tableau 6**. Leur répartition est à la faveur des compositions feuillues (15, contre 11 CSE résineuses), et trois compositions mixtes (mélanges de Pin sylvestre et espèces feuillues, M1 : mélanges centrés sur le Hêtre commun associé au Sapin pectiné ou à l'Epicéa commun, M2 ; mélanges chênes-pins, M3). Parmi les CSE feuillues, deux sont décrites avec des variantes : i) celles dominées par le Chêne pédonculé, où des peuplements de Chêne pédonculé pur (121,000 ha, F1.3) ou avec feuillus (319,000 ha, F1.2) ont été distingués pour le seul Massif Central, là où ils ont été 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, où des peuplements de Hêtre pur ont pu être distingués pour les massifs montagneux (Vosges, Jura, Massif Central, Alpes, Pyrénées) et les plaines du Nord et de l'Est (F6.1), là où ils ont été fusionnés en un type associant les chênes dans la région Grand-Ouest (F6.3).

[Tableau 6]

Surfaces forestières associées aux CSE

La surface totale décrite par une CSE feuillue est comprise entre 56,000 ha (Hêtre pur ou avec des chênes dans la GRECO Grand-Ouest, CSE F6.3) et 1,300,000 ha (Chêne pédonculé pur ou avec feuillus dans les GRECO de plaine du Nord ainsi que dans le Sud-Ouest et les Pyrénées, 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 ainsi la seule à faire entorse au principe d'une étendue minimale de 50,000 ha, du fait de la petitesse de la région Corse, et du 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 leur caractère significatif et représentatif à l'échelle de la forêt métropolitaine.

Fréquence des CSE sur le territoire forestier

Le nombre d'occurrences d'une CSE sur le territoire est très variable, et est compris entre 1 et 7 (cas du Hêtre pur dans les massifs montagneux et dans certaines plaines, F6.1), pour un nombre moyen d'occurrences de 4.5. Deux faits doivent être soulignés : i) 13 CSE présentent une seule occurrence, ce qui vient à nouveau souligner la diversité et l'identité contextuelle en 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 6, Figure 1**), que l'on a cherché à expliciter autant que possible par homogénéisation entre régions.

Analyse des compositions en espèce des CSE

Au plan de la composition en espèces, plusieurs constats émergent : i) tandis que les CSE résineuses correspondent en quasi-totalité à des peuplements purs (seule la sapinière-pessière est explicitée, pour 64,000 ha dans les Vosges et le Jura, R9), 9/13 CSE feuillues correspondent à des mélanges feuillus 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, la présence des Chênes sessile et pubescent dans des peuplements essentiellement purs est à remarquer.

Emblèmes forestiers et faits moins attendus

L'analyse des CSE à occurrence unique ou double fait ressortir bien 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 hm³), 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 hm³), 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 hm³) 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 hm³), c'est-à-dire d'une essence qui a historiquement contribué à la strate de

taillis des peuplements. Les volumes de bois associés à ces compositions attestent du caractère constitué de ces ressources.

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 hm³), ainsi que du Frêne commun dans les plaines du Nord-Est, dans le Jura et les Pyrénées (>800,000 ha, 145 hm³) 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 explicites

Afin de proposer une lecture plus synthétique encore de la composition des forêts du territoire, les 29 CSE (**Tableau 6**) 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 ont été adjointes (**Tableau 7**). La distribution de ces compositions dans un plan défini par leur surface et leur stock de bois est présentée en **Figure 4**.

[Tableau 7]

[Figure 4]

CSA prépondérantes

Ces CSA couvrent des domaines conséquents, puisqu'elles représentent en moyenne une surface >800,000 ha chacune, pour un stock de bois moyen de près de 150 hm³.

Quatre CSA dépassent chacune le million d'hectares, et dominent largement les suivantes : il s'agit des surfaces occupées i) par des espèces feuillues diverses, ii) par le Chêne pédonculé et son cortège d'espèces feuillues, iii) par les espèces de pins, iv) enfin celles occupées par les chênes méridionaux et leurs cortèges feuillus. L'occurrence au premier rang de la CSG « divers feuillus » est à souligner. A elles seules, ces quatre compositions représentent, dans

les zones où elles sont explicitées, 40% du stock de bois total de la forêt française (>1/4 si on ne retient que les trois CSA).

De façon nette, les CSA résineuses sont peu nombreuses et moins étendues (à l'exception des pins). A nouveau, la CSG « divers résineux » occupe un rang élevé (le second, avec une surface >850,000 ha). Les surfaces occupées par le Sapin pectiné, l'Epicéa commun ou leur mélange demeurent ainsi sous les 600,000 ha et n'occupent que le 11^e rang de ces CSA. Les compositions formées par le Douglas ou le Mélèze en occupent les tous derniers rangs. Ces éléments mettent nettement en évidence le caractère feuillu de la forêt française, ainsi que la diversité élevée en espèces ligneuses qui se matérialise dans l'importance des compositions génériques.

Stock de bois sur pied

La mise en correspondance du stock sur pied et des surfaces incluses dans ces compositions agrégées (**Tableau 7, 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 5**), les cortèges de chênes méditerranéens et les mélanges chênes/pins atteignent des stocks de l'ordre de 70 m³/ha, ii) à l'inverse, les peuplements formés de résineux divers, ceux formés de Sapin et/ou d'Epicéa 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 m³/ha), et que les peuplements de Douglas et divers résineux dépassent les 300 m³/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 5]

Discussion

L'objectif des travaux était de proposer une partition des forêts françaises métropolitaine fondée sur leur composition ligneuse, avec une stratification selon leur contexte biogéographique. Cette partition devait obéir au double impératif d'être exhaustive et précise, tout en restant suffisamment intelligible pour pouvoir servir de référentiel. 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**), permettant de décrire une surface représentative en un minimum de compositions synthétiques explicites (CSE), 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 6**) afin d'atteindre une description exhaustive.

Approche méthodologique

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 nouvelle valorisation d'un effort de collecte qui reste considérable (de l'ordre de 6,000 points par an). Bien que cette typologie de base ait été établie en priorisant des compositions de grande importance surfacique, avec une attention portée aux espèces (même référence), il serait utile de vérifier sa robustesse en la comparant à une méthode statistique de classification des types élémentaires (>1000) associée à une méthode de classement probabiliste pour les inventaires annuels ultérieurement réalisés.

La présente partition s'est appuyée sur plusieurs principes formels permettant de borner les explorations (principes de troncature, d'agrégation, d'homogénéisation, d'omission) que l'on a objectivés et illustrés, et sur certains critères quantitatifs tels que le choix d'explicitier au moins 50% de la surface de chaque GRECO en compositions synthétiques 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 4**). Le seuil de 50% des surfaces forestières a été a posteriori dépassé (**Tableau 5**), suggérant une possibilité de progrès. Cependant, 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) nous semble ne pas devoir être dépassé fortement.

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 qui seraient fortement capitalisées, puis ii) de conduire une analyse conjointe 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 5**) reflètent un stock insignifiant, qui rend leur omission sans conséquence.

Enfin, cette première analyse pourrait être à l'avenir complétée par l'adjonction d'autres facteurs de stratification des forêts, tels que la destination foncière des surfaces forestières, ou leur soumission à un plan simple de gestion (PSG) pour les forêts privées (Boutefeu, 2005), qui peut être de premier intérêt pour la formulation de politiques de gestion (Galbert *et al.*, 2015). Si cela ne pose pas de difficulté majeure au plan technique, la multiplicité de ces facteurs nous a conduits à une présentation qui demeure simple et en démontre la faisabilité.

Analyse quantitative et efficacité de la partition

Les trois compositions spécifiques génériques ou CSG (divers feuillus, résineux et mixtes) représentent 30% de la surface forestière métropolitaine, dont la moitié est couverte par la seule CSG « divers feuillus » (**Tableau 5**), et soulignent l'importance de la diversité ligneuse structurée par ces cortèges. Chacune de ces CSG occupe par ailleurs le premier rang d'importance dans sa classe de composition botanique, devant les CSE (**Tableau 6**). Les CSG feuillues et résineuses occupent par ailleurs les deux premiers rangs absolus, avec la CSE « chêne pédonculé pur ou avec feuillus » (**Tableau 5**). Ces chiffres démontrent que cette fraction significative des forêts françaises ne peut être réduite aux 29 CSE identifiées, et en soulignent la diversité ligneuse tous cortèges confondus.

La surface des forêts ouvertes dont la composition est indéterminée est conséquente (>1,200,000 ha), bien que le stock de bois sur pied associé y soit négligeable (**Tableau 5**). 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), et avec une part relative au voisinage de 15% (Sud-Ouest, Méditerranée, Corse), 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 temporelle plus profonde fondée sur les inventaires forestiers anciens et la statistique forestière Daubrée (1908) montre que les surfaces dominées par les essences feuillues ont progressé deux fois plus vite que celles dominées par des résineux depuis un siècle (4 et 2 millions d'ha respectivement, pour une composition globale inchangée, 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 sont essentiellement feuillues. Alors que les forêts françaises représentent le premier stock feuillu européen, la capitalisation future en bois de ces nouvelles surfaces ne pourra qu'en accroître l'importance. Ce dernier fait est encore confirmé (**Tableau 6, 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 (rôles des boisements en plantations).

Comme indiqué précédemment, le dépassement du seuil de 50% des surfaces couvertes par des CSE a pu être atteint dans toutes les GRECO (**Tableau 5**), et se traduit par une prise en compte encore supérieure du niveau de stock sur pied (**Figure 3**). Avec un nombre moyen de 6.4 CSE/GRECO (allant de 4 à 11), la maniabilité de cette partition est démontrée. 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 6**). 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'Épicéa 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 6**). Le cas du massif central est emblématique d'une mise en valeur forestière accroissant la diversité ligneuse à un niveau régional. L'identification de ces ressources en bois (stock sur pied) dans cette partition indique qu'elles sont à un état de constitution avancé, et peut cacher par contraste d'autres ensembles moins développés. Par exemple, 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).

Analyse des compositions synthétiques de la partition, constats attendus et originaux

L'analyse quantitative de ces CSE (**Tableau 6**) rappelle que les forêts françaises sont majoritairement feuillues, et que les espèces de chênes de tout tempérament climatique y jouent un rôle structurant. Bien que l'origine de ce constat sorte du champ de cette analyse quantitative, il est permis de rappeler que les chênes sont des essences aptes à rejeter de souche (Boppe, 1889) et qu'elles ont été à ce titre sélectionnées 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, comme le suggère une analyse de son autoécologie, démontrant que son potentiel de croissance n'est pas le facteur limitant en limite méridionale de son aire (Seynave *et al.*, 2008).

Dans des contextes de moyenne et de haute montagne, le Hêtre occupe une même 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 & Hermanin, 2007 en Italie), tandis que le Châtaignier devient visible dans le massif central et le Sud-Ouest. L'identification du Charme commun comme essence structurante de CSE dans le Nord et l'Est du pays est à remarquer, puisqu'elle forme ordinairement 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 séminal de conversion des taillis en futaie dans ces régions (Hüffel, 1926 ; Plaisance, 1966). Le fait semble encore 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 6**) met également en évidence le contraste existant 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^{ème} siècle, dont le Pin maritime, l'Epicéa commun, le Douglas, le Mélèze et les pins dans le Nord-Ouest sont représentatifs. Concernant les feuillus, 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. De façon nette, le caractère plus ancien et d'évolution plus spontanée de certaines essences résineuses se traduit encore par l'occurrence de compositions mélangées, tels que la hêtraie-sapinière/pessière dans les massifs de l'Est, les mélanges chênes-pins méditerranéens, ou le mélange de Pin sylvestre et feuillus dans le Massif Central et les Alpes. Pour ce dernier cependant, le rôle du reboisement de peuplements feuillus appauvris par le dispositif du Fonds Forestier National et dès le XIX^{ème} siècle est attesté (Lacaze, 1964).

De façon essentielle, l'analyse fait enfin ressortir les différences existant entre une description statistique représentative de la forêt telle qu'elle est permise 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 au niveau plus agrégé des CSA (**Tableau 7**), où plusieurs faits sont à relever : 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 de tels biais de perception. A ce titre, les données collectées par l'inventaire forestier national sont de premier intérêt.

Relation entre prévalence des compositions synthétiques en surface forestière et en stock de bois sur pied

La partition des forêts françaises a été prioritairement ciblée sur leurs surfaces, avec l'objectif de segmentation quantitative de l'occupation des territoires forestiers. Dans une logique d'évaluation des ressources forestières, le stock de bois sur pied a été utilisé comme variable

auxiliaire, afin de contrôler 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 (moyenne nationale de 162 m³/ha, **Tableau 5**).

S'agissant du risque d'occultation des stocks de bois, les principaux enseignements en sont les suivants (**Tableau 5** et **Figure 3**) :

i) tandis que la surface de composition indéterminée est très significative (>1.2 Mha pour 8% de la surface), le stock de bois recensable associé, par définition faible s'agissant de forêts « ouvertes », est en réalité négligeable (0.003% du stock) et atteint 6.4 m³/ha. Ces forêts ouvertes ont deux origines, soit qu'il s'agisse de forêts pauvres (contextes nutritionnels ou géophysiques médiocres, limites altitudinales de la végétation), soit qu'il s'agisse de forêts « nouvelles » progressant sur des territoires agricoles (Lepart *et al.*, 2001 ; Denardou *et al.*, 2017). Tandis qu'il n'est pas possible de faire la part de ces deux origines, la seconde plaide pour une contribution future à l'augmentation de stock sur pied,

ii) de façon systématique, la part de stock de bois sur pied couverte par les CSE est supérieure à celle des surfaces (près de 2/3 du stock total, **Tableaux 5 et 6**), avec une capitalisation moyenne de 178.5m³/ha, supérieure à la moyenne nationale. Cela s'explique au plan quantitatif par la moindre capitalisation dans la CSG « divers feuillus » (140.5 m³/ha, **Tableau 5**) qui est représentée dans toutes les GRECO (**Tableau 6**) 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 forte prévalences et des compositions simples (espèce unique, mélanges de deux espèces, ou cortège associé à une espèce dominante), et nécessairement à des forêts qui ont été et/ou demeurent mises en valeur par la gestion forestière. En favorisant la régénération ou l'action de plantation, des structures de peuplement élevées (futaie), et en consacrant l'amélioration des peuplements par la sélection des arbres éclaircis, cette dernière contribue logiquement à un accroissement du stock sur pied. 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 m³/ha, Denardou *et al.*, 2017). De ces points de vue, la partition proposée est également efficace pour l'appréhension et la catégorisation des ressources forestières du territoire.

L'examen des capitalisations en bois des CSE et CSG (**Tableau 6**) a par ailleurs révélé des déviations marquées de certaines compositions par rapport au stock moyen à l'hectare des forêts françaises (**Figure 5**), structurées selon les classes botaniques. La position dominante des CSE résineuses associées à l'Epicéa commun, le Sapin pectiné (y compris le mélange avec le Hêtre pour ces dernières), le Douglas et les résineux divers (>300 m³/ha) interpelle, et peut s'expliquer par deux facteurs non exclusifs : 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), l'insuffisante exploitation de peuplements croissant de façon privilégiée en contextes de montagne peu

accessibles (cas de la sapinière). Les compositions synthétiques les moins capitalisées concernent les chênes méditerranéens et leurs cortèges (70 m³/ha), ainsi que les pins, en association ou non avec des feuillus (**Figure 5**), avec des causes potentielles multiples : i) d'une part ces essences sont héliophiles et à ce titre, plus intolérantes à des conditions de densité élevée. La capitalisation des CSE 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 des conditions de croissance plus défavorables peuvent limiter leur capitalisation. Enfin, la position de moindre capitalisation des feuillus divers désigne la progression marquée des nouvelles forêts feuillues.

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

Conclusions

Il est possible de partitionner la surface des forêts françaises (>16 Mha) en un petit nombre de compositions synthétiques explicites et génériques (32 au total, **Tableau 6**), réductible à 18 compositions agrégées (**Tableau 7**). Les compositions synthétiques explicites 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 à la fois 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).

La partition peut être généralisée à d'autres facteurs, en suivant des principes de décision formulés à cette fin.

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., 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. (1984). – L'inventaire forestier national français. *Revue Forestière Française*, 36 : 14-24.
- 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.
- 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.
- CAVAIGNAC, S. (2009). – *Les sylvoécotésions (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.
- DAUBRÉE, L. (1912). – *Statistique et atlas des forêts de France*. Ministère de l'Agriculture et de la Forêt, Paris.
- 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., WURPILLOT, S., VIDAL, C. & ROMAN-AMAT, B. (2014). – L'inventaire des ressources forestières en France: un nouveau regard sur de nouvelles forêts. *Revue Forestière Française*, 66: 247-260.
- 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.
- LACAZE, J.-F. (1964). – Comparaison de diverses provenances de pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) représentées dans les arboretums forestiers. *Revue Forestière Française* : 658-686.
- 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.
- 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.
- 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.
- SARDIN, T. (2008). – *Chênaies continentales*. Guide des sylvicultures. Lavoisier, Paris.
- 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.
- TOMPPO, 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.

Annexes de la partie IV

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 (Tableau 2, online material 1)
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 (Tableau 6)
Compositions synthétiques génériques	CSG	Regroupement de types de peuplement selon les 3 unités « divers feuillus », « divers résineux » et divers mixtes	Cette contribution (Tableau 6)
Compositions synthétiques agrégées	CSA	Regroupement des CSE en 15 unités	Cette contribution (Tableau 7)

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

Annexe IV.1

Richesse spécifique nombre d'espèces	Surface forestière (ha)	Effectif	Description	Exemple
1	6 921 000	22	Explicite	Peuplement pur de sapin pectiné
			Générique	Peuplement pur de conifère exotique
2	2 559 000	26	Explicite	Mélange de hêtre et sapin pectiné
			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
			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	-	-
Total	15 668 000	117		

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.

Annexes de la partie IV

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 ¹	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) ²	7	55,000	
Chêne et pin sylvestre	Chênes – pins (M3)	8	37,000	2.8
Mélange feuillu/résineux à 2 essences ²	Divers mixtes (M0) ²	9	26,000	
Mélange feuillu/résineux à 3 essences ²	Divers mixtes (M0) ²	10	20,000	
Pin sylvestre pur	Divers résineux (R0) ³	11	20,000	
Chêne et pin maritime	Chênes – pins (M3)	12	19,000	1.5
Total Chênes – pins ⁴			153,000	11,7 ⁴
Total explicité ⁵			843,000	64.3

Tableau 3. 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 ».

¹Peuplements non décrits, ²Types de peuplements génériques non explicites, regroupés dans les compositions génériques F0, R0 ou M0 (voir Tableau 5), ³Type de peuplement de surface insuffisante pour constituer une composition synthétique de la GRECO, ⁴Type de peuplement regroupé, occupant le 3^e rang de la GRECO à l'issue de la procédure, ⁵La proportion minimale de 50% de la surface est atteinte. Les codes des compositions synthétiques sont donnés au Tableau 5.

Annexe IV.1

Type de peuplement (IFN)	Composition synthétique	Rang	Surface (ha)	Surface (%)
Chêne sessile pur	Conservé (F4)	1	427,000	14.8
Chêne pédonculé pur	Regroupé (F11)	2	252,000	8.7
Chênes pédonculé et sessile	F11	5	95,000	3.3
Charme et chêne pédonculé	Regroupé (F5)	6	89,000	3.1
Charme et chêne sessile	F5	8	79,000	2.7
Frêne, chêne pédonculé et autre(s) feuillu(s)	Regroupé (F2)	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
Hêtre et chêne sessile	Regroupé (F62)	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

Annexes de la partie IV

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
Total explicité			1,918,000	66,4

Tableau 4. 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.

Annexe IV.1

GRECO	Surface (x 10 ³ ha)	Stock (x10 ⁶ m ³)	Compositions synthétiques (spécifiques/génériques)	Surface (ha, %)	Stock (m ³ , %)	Surface non- déterminée (ha, %)	Stock non- déterminé (x10 ⁶ m ³ , %)
Plaines							
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
TOTAL Plaines							
Montagnes							
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

<i>Annexes de la partie IV</i>							
Massif Central (MC)	2,788	533.7	11/3	1,636,000	350.7	170,000	1.2
				58.7	65.7	6.1	0.2
Alpes (A)	1,234	207.9	8/3	771,000	135.5	70,000	0.6
				62.3	65.2	5.7	2.7
Pyrénées (P)	711	117.0	8/3	369,000	70.2	28,000	0.1
				51.9	60.0	3.9	0.1
Corse (C)	394	43.1	4/2*	226,000	29.7	55,000	0.2
				57.5	69.0	14.0	0.4
TOTAL Montagnes							
TOTAL	15,668,000	2,543.4	29/3	9,624,000	1717.5	1,265,000	8.1
				61.4	65.9	8.1	0.003

Tableau 5. 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 ».

Annexe IV.1

Code	Compositions synthétiques	Fréquence	GRECO	Surface (x10 ³ ha, %)	Stock (x10 ⁶ m ³ , %)
Compositions feuillues					
F1.1	Chêne pédonculé pur / avec feuillus ¹	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 ²	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)
Compositions résineuses					
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 ³	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)
Compositions mixtes					
M1	Pin sylvestre et feuillus	2	MC, A	297 (1.9)	40.3 (1.5)
M2	Hêtre et sapin pectiné ou ⁴ 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)
Compositions génériques					
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 6. Identification, localisation et importance des compositions synthétiques explicites (CSE) et génériques (CSG) retenues. ¹Feuillus : autres que châtaignier (SOO), autres que hêtre (GOCO), autres que hêtre, charme et frêne (CNSO, GESG), ²Feuillus essentiellement composés de chênes, ³Pins : pin maritime, pin sylvestre et pin laricio (et pin noir en CNSO), ⁴ « Ou » inclusif, le sapin et l'épicéa pouvant accompagner simultanément le hêtre.

Annexe IV.1

Essences dominantes	Compositions synthétiques	Surface	Stock sur pied
		(x10 ³ ha, %)	(x10 ⁶ m ³ , %)
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 7. Agrégation des compositions synthétiques agrégées (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 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.

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).

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.

Figure 4. Importance en stock de bois sur pied (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.

Figure 5. Compositions synthétiques agrégées (CSA) ordonnées selon leur densité moyenne de stock de bois sur pied (m^3/ha). Voir tableau 6 et Figure 4 pour les dénominations



Figure 1.

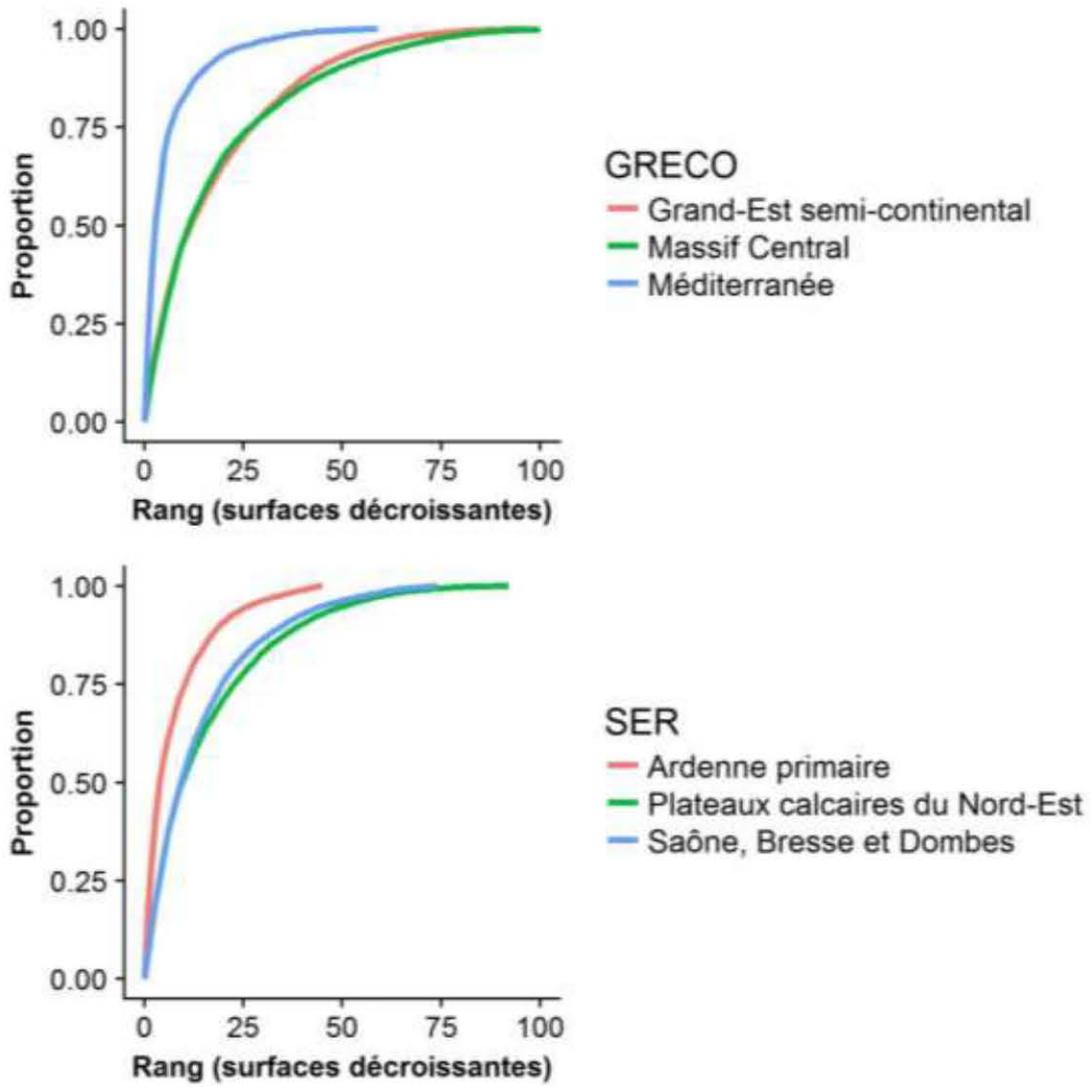


Figure 2.

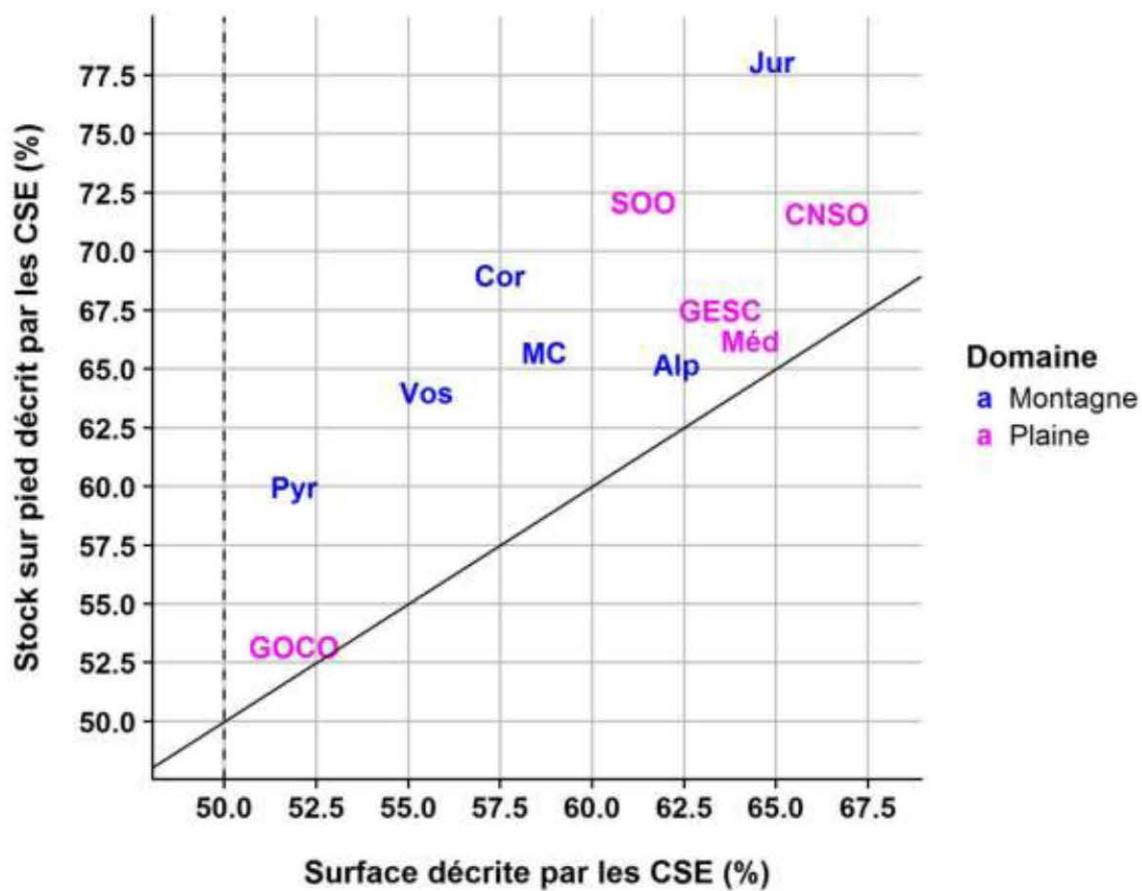


Figure 3.

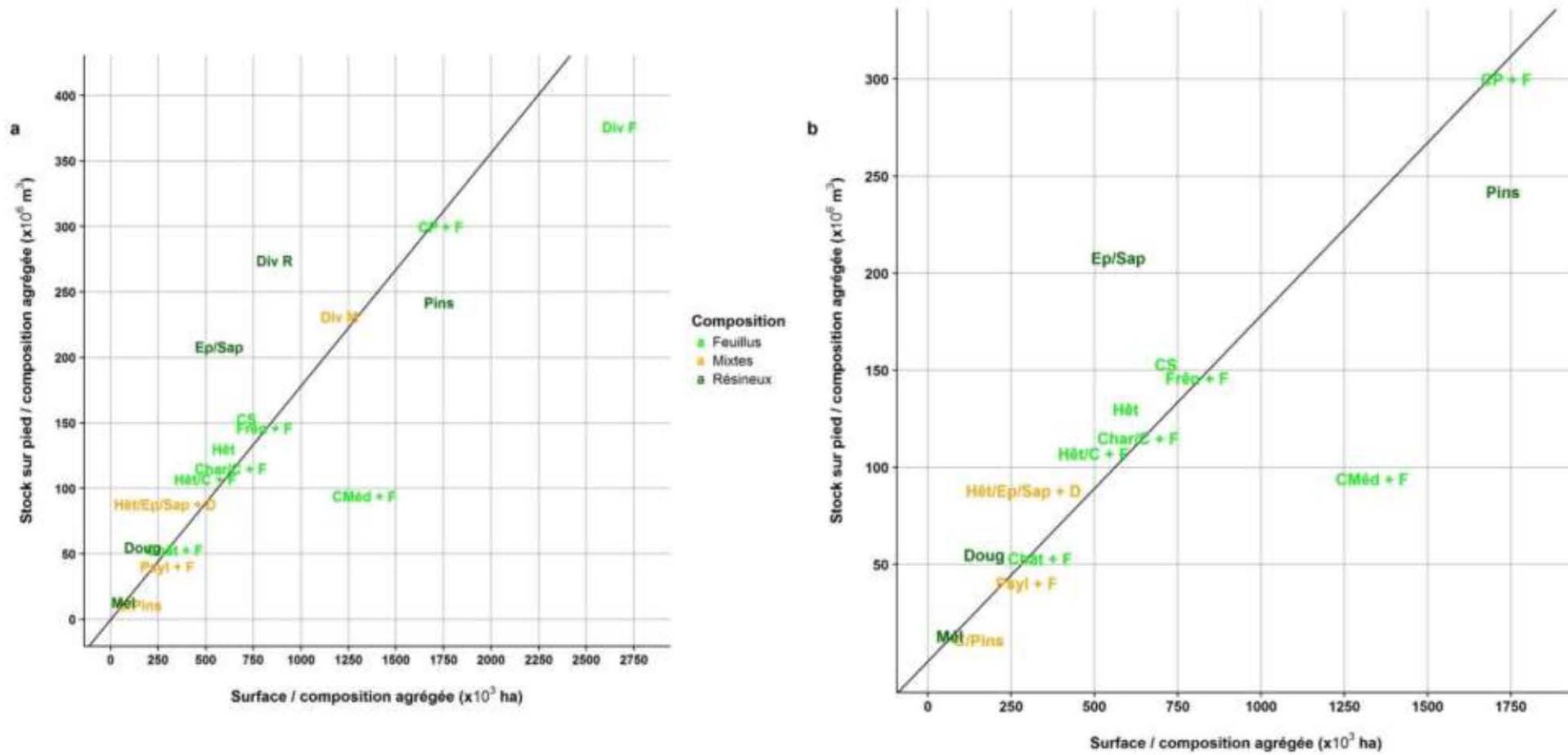


Figure 4.

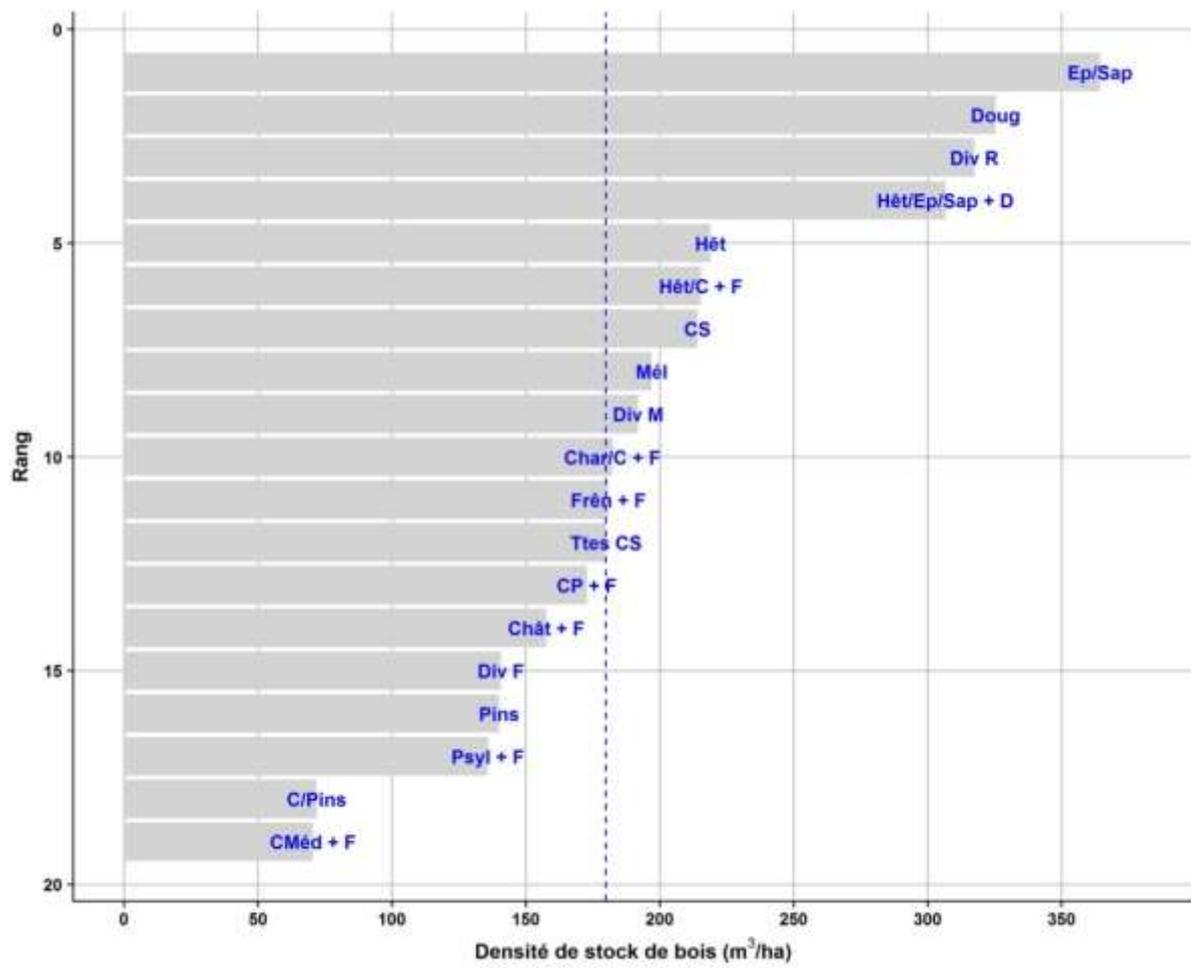


Figure 5.

Annexe IV.2. Essai d'homogénéisation des information de composition en essence au niveau des points d'inventaire entre l'ancienne (1976-2004) et la nouvelle méthode (2007-2012)

A.IV.2.1 Utilisation de la variable IMPESS

La donnée IMPESS est découpée en quatre classes :

- Code 1 : essence pure : essence dont le TCLR est supérieur à 75%
- Code 2 : essence prépondérante : essence occupant le plus grand couvert (dans le doute, celle de plus gros volume ou, si le doute persiste, celle de plus grande valeur économique).
- Code 3 : essence importante : essence occupant un couvert libre relatif au moins égal à 25 % du couvert total du peuplement.
- Code 4 : essence mineure : essence présente mais dont le couvert libre relatif n'atteint pas ou n'excède pas 25% du couvert total du peuplement.

Il est à remarquer que dans le cas où une essence est pure (code IMPESS 1), aucune autre essence ne peut présenter un code IMPESS de 1, 2 ou 3. De même, si on est en présence d'un mélange, aucune essence ne peut avoir un code IMPESS 1 et le code 2 sera attribué à l'essence la plus importante du mélange. Tous les points ont donc soit une essence associée à un code IMPESS de 1 (pur) ou de 2 (mélange).

La variable IMPESS est décrite par sous-unité de peuplement (4 modalités : Unique, taillis d'un mélange futaie-taillis, futaie d'un mélange futaie-taillis, supplémentaire ; **Tableau A.IV.2.1**). Il a été choisi de ne travailler qu'avec les peuplements en structure régulière et les futaies des mélanges futaie-taillis, peuplements représentant la strate recensable de l'IFN.

Libellé	Définition
Unique	Ensemble du peuplement principal en structure forestière régulière (hormis étage d'importance mineure et de hauteur ou d'âge très nettement distincts)
Taillis de mélange futaie-taillis	Taillis d'un mélange futaie-taillis
Futaie de mélange futaie-taillis	Futaie d'un mélange futaie-taillis
Supplémentaire	Peuplement annexe en structure régulière pouvant être une strate d'essence prépondérante < 50% du couvert ou de vieux reliquats sur une jeune régénération ou une jeune régénération sous un peuplement mur non exploité

Tableau A.IV.2.1 Libellés et définitions des modalités de sous-unités identifiées par l'IFN

Les compositions identifiées par l'IFN en NM sont décrites à partir des essences ayant un TCLR supérieur à 15%. Or, la variable IMPESS n'a pas de séparation à ce niveau mais en a une à 25%. Nous avons donc choisi d'identifier les compositions à partir des essences dont le code IMPESS est 1, 2 ou 3. Ainsi, la limite basse est remontée à 25%.

A.IV.2.2 Cas des chênes non différenciés

A la fin de l'AM (à partir des années 2000), la modalité « chêne indifférencié » (codée 01) a parfois été utilisée pour décrire l'essence d'un arbre ou d'un groupe d'arbre. Derrière cette modalité (utilisée pour décrire 2705 points d'inventaire) peut se cacher soit du chêne sessile, soit du chêne pédonculé, soit du chêne pubescent. Il est donc indispensable d'identifier l'essence présente afin de reconstituer les compositions.

Afin d'identifier l'essence de ces chênes, nous avons travaillé à deux échelles : l'échelle de l'essence (à laquelle est associée la variable IMPESS) et l'échelle de l'arbre.

La variable IMPESS est associée à l'essence dans le point. Pour pouvoir différencier dans les compositions chêne sessile, chêne pédonculé et chêne pubescent, il faut qu'un point qui présente le chêne indifférencié comme essence ayant une IMPESS de 1, 2 ou 3 n'ait qu'une seule sorte de chêne quand on regarde ses arbres individuellement et que l'essence soit bien différenciée (*i.e.* différente de 01).

Le nombre de points qui présentent le chêne indifférencié en essence pure, prépondérante et importante a été calculé. Les résultats ont été ventilés selon le fait qu'il est possible d'identifier l'essence de chêne présente (*i.e.* il n'y a qu'un seul type de chêne présent dans les arbres recensables et ce chêne est identifié) ou non (*i.e.* il y a plusieurs chênes présents dans les arbres recensables ou il y a du chêne indifférencié dans les arbres recensables).

Il a été vérifié qu'aucun point ne présente à la fois le chêne indifférencié et un chêne identifié en IMPESS 1, 2 ou 3.

Seuls 26 départements présentent des chênes indifférenciés. Parmi toutes les GRECO, le CN (11 départements) et le MC (7 départements) sont les plus représentées. Certaines GRECO ne présentent qu'un seul département touché (GO, GE, Vo, Me, Co).

Cinq cas de figures ont été observés :

1. Les points où l'on trouve le chêne indifférencié au niveau de l'essence mais aucun arbre n'a été relevé → « point sans arbre »
2. Les points où l'on trouve le chêne indifférencié au niveau de l'essence mais aucun chêne n'a été relevé → « point sans chêne »
3. Les points où l'on trouve le chêne indifférencié au niveau de l'essence et un seul type de chêne a été relevé (différent du chêne indifférencié) → « point déterminé »
4. Les points où l'on trouve le chêne indifférencié au niveau de l'essence et au niveau des arbres relevés → « point avec du 01 »

5. Les points où l'on trouve le chêne indifférencié au niveau de l'essence et deux types de chênes, au moins, ont été relevés (différents du chêne indifférencié) → « point avec deux chênes »

Les cas 1 et 2 (identifiés dans 158 points ; 6%) sont traités comme des points ne comportant pas de chêne. Le cas 3 (identifié dans 929 points ; 34%) est le seul permettant de différencier l'essence. Les cas 4 et 5 (identifiés dans 1618 points ; 60%) laissent un doute quant à l'essence présente. Ces derniers points ont été assignés de façon proportionnelle aux compositions présentes dans les départements des points.

Grâce à la variable IMPESS et l'identification des chênes indifférenciés, un essai d'attribution de composition aux points AM a été effectué. Les compositions utilisées sont celles définies par la partition (voir partie IV – 2.1).

A.IV.2.3 Vérification de la cohérence des compositions identifiées entre ancienne et nouvelle méthode

Chaque point AM et NM ayant été associé à une composition, il a été possible d'étudier la variation de surface par département de ces compositions en combinant à la fois les données AM et NM. Les compositions NM ont été calculées soit à partir du regroupement des compositions IFN (méthode 1) soit en recalculant ces compositions avec un seuil minimum de 25% pour coller au mieux à la donnée IMPESS (méthode 2). Les évolutions de surfaces ont permis de juger de la cohérence ou non des compositions AM et NM pour chaque méthode, en vérifiant si un biais important est observable.

A.IV.2.3.1 Méthode 1 : seuil minimum NM de 15%

Pour certaines compositions, les chronologies d'évolution des surfaces présentent un coude important entre les surfaces AM et NM, traduisant un biais empêchant l'utilisation de cette méthode (**Figure A.IV.2.1**).

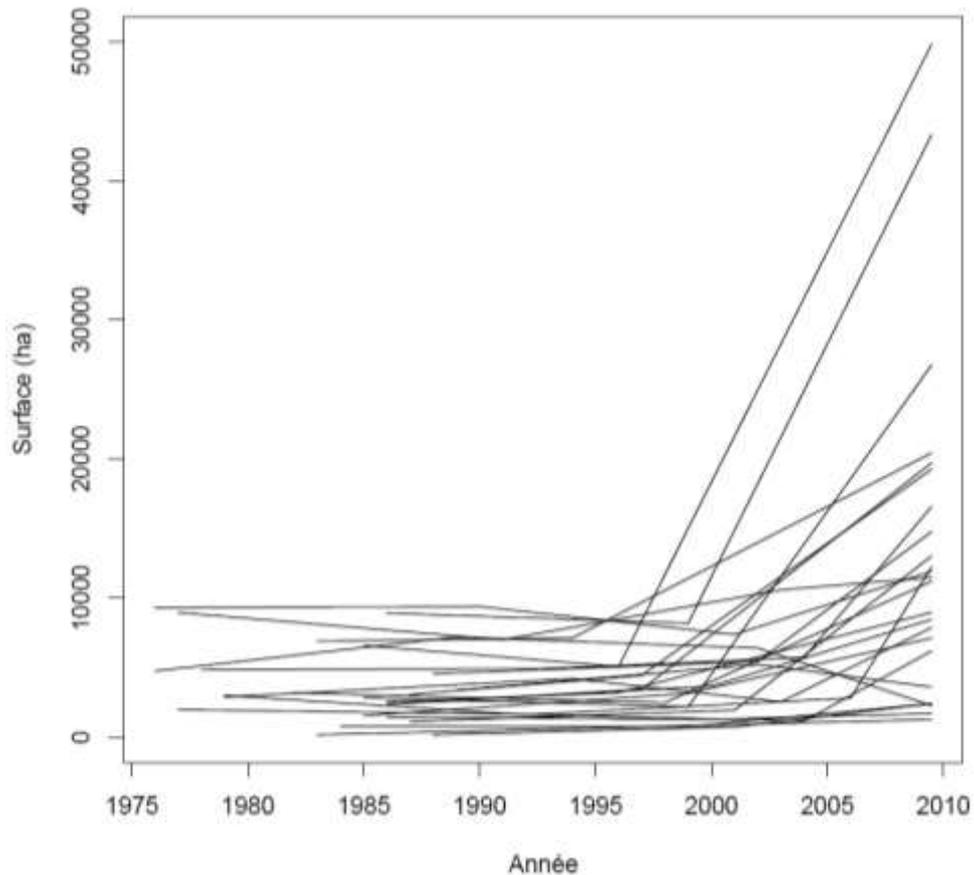


Figure A.IV.2.1 Evolution de la surface des forêts de charme pur ou avec chêne du Centre Nord semi-océanique. Les données AM sont calculées à partir de la variable IMPESS (méthode 1).

A.IV.2.3.2 Méthode 2 : seuil minimum NM de 25%

Le coude persiste avec la méthode 2 (**Figure A.IV.2.2**) montrant qu'il n'y a pas juste une différence de seuil entre AM et NM mais aussi une différence de prise en compte de l'importance du couvert des essences par les opérateurs de terrain.

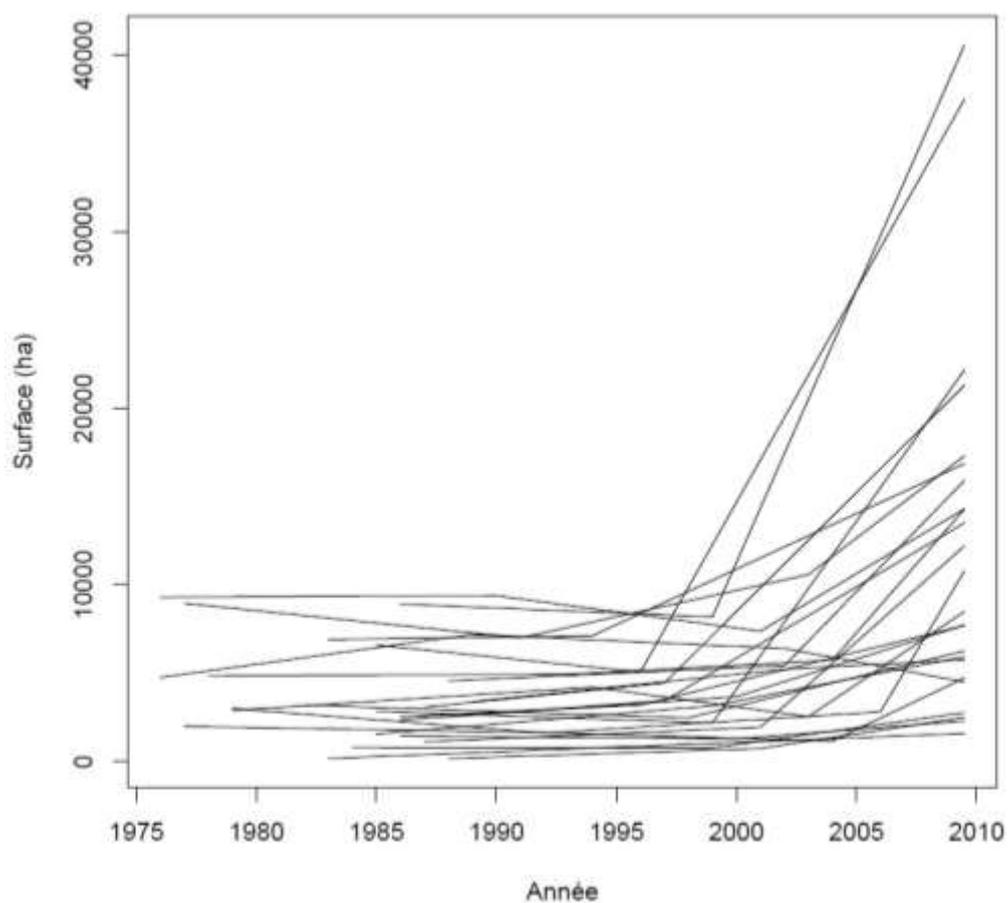


Figure A.IV.2.2 Evolution de la surface des forêts de charme pur ou avec chêne du Centre Nord semi-océanique. Les données AM sont calculées à partir de la variable IMPESS et les données NM sont recalculées avec un seuil minimum de 15% (méthode 2).

Annexe IV.3. Comparaison des flux de prélèvement de bois des deux méthodes d'inventaire à l'échelle de grands domaines statistiques.

A.IV.3.1 Méthode

Le changement de méthode d'inventaire en 2005 a engendré beaucoup de changements dont, entre autres, la mise en place d'un nouveau protocole de relevé des arbres prélevés (voir partie IV-2.2).

Le protocole ancienne méthode (P_AM) se base sur des avis d'experts afin d'identifier les souches de moins de 5 ans alors que le protocole nouvelle méthode (P_NM) procède, grâce à un retour sur les points 5 ans après, à un inventaire exact des arbres prélevés. Il a été décidé de vérifier la véracité de la donnée de prélèvement ancienne méthode en comparant les résultats des deux protocoles.

Pour vérifier cette concordance, nous avons utilisé les données IFN de 2005 et 2006 (12 822 points d'inventaire) qui ont l'avantage d'avoir mis en œuvre les deux protocoles et qui permettent donc leur comparaison.

Le nombre de tiges prélevées par an a été calculé et les résultats ont été agrégés à l'échelle de la GRECO puis à celle de la propriété à l'intérieur de la GRECO.

A.IV.3.2 Résultats

A.IV.3.2.1 Stratification par GRECO

La corrélation entre les résultats donnés par P_AM et P_NM calculés à l'échelle de la GRECO est de 0,97 ($p < 10^{-12}$; **Figure A.IV.3.1**). Les résultats de P_NM sont 2,4 fois plus forts que ceux de P_AM.

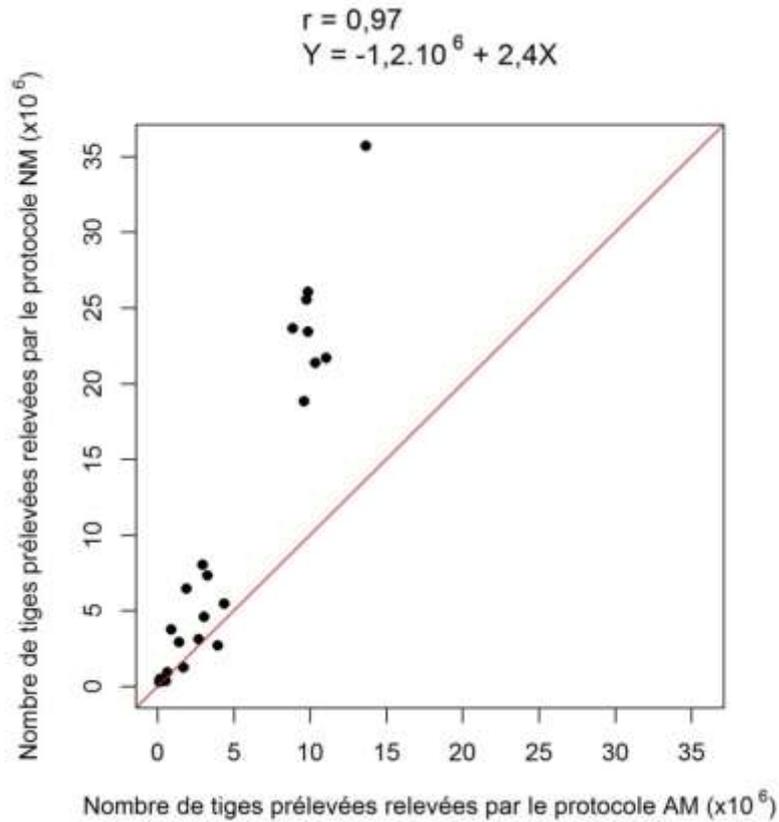


Figure A.IV.3.1 Comparaison du nombre de tiges prélevées relevées par les protocoles ancienne (AM) et nouvelle méthode (NM) pour la stratification par GRECO

A.IV.3.2.2 Stratification par GRECO et propriété

La corrélation entre les résultats donnés par P_AM et P_NM calculés à l'échelle GRECO x propriété est de 0,97 ($p < 10^{-15}$; **Figure A.IV.3.2**). En séparant les types de propriétés, on remarque que la corrélation est plus forte dans les forêts privées (0,97) et plus faible dans les forêts communales (0,89 ; **Tableau A.IV.3.1**). De plus, le biais dépend de la propriété. Alors que les prélèvements relevés par P_NM sont 2,3 fois plus élevés que ceux relevés par P_AM dans les forêts domaniales et privées, ils sont 2,8 fois plus élevés dans les forêts communales.

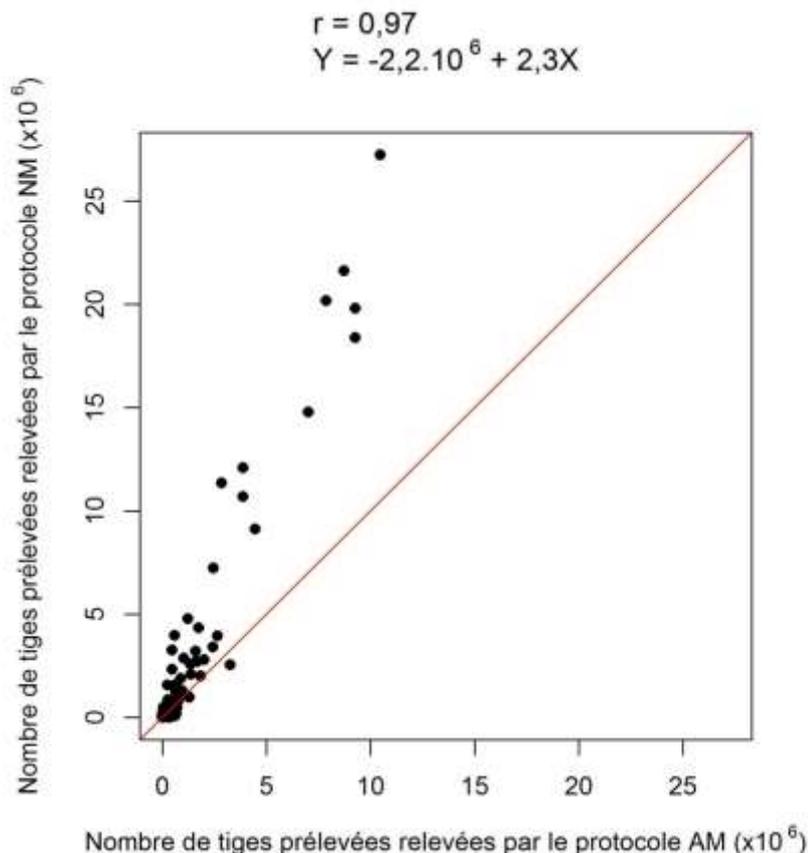


Figure A.IV.3.2 Comparaison du nombre de tiges prélevées relevées par les protocoles ancienne (AM) et nouvelle méthoe (NM) pour la stratification par propriété et GRECO

Propriété	r	Pente
Communal	0,89	2,8
Domanial	0,91	2,3
Privé	0,97	2,3

Tableau A.IV.3.1 Résultats des corrélations entre le nombre de tiges mortes calculé avec l'ancienne méthode et celui calculé avec la nouvelle pour chaque type de propriété

A.IV.3.3 Conclusion

Les résultats montrent une bonne corrélation entre les résultats du protocole AM et ceux du protocole NM. On remarque, en revanche, une forte différence entre les résultats des deux protocoles. Ceux de P_NM sont plus de deux fois plus élevés que ceux de P_AM. Cela suggère que de nombreuses souches de moins de 5 ans, n'ont pas été relevées dans le protocole P_AM car elles ont été considérées comme étant plus anciennes.

Les corrélations se dégradent quand on stratifie par type de propriété. Diminuant jusqu'à 0,89 pour les forêts communales. De plus, la pente de la régression linéaire qui lie les résultats des deux protocoles diffère d'un type de propriété à l'autre.

Ces fortes variations lorsque l'on stratifie par type de propriété et GRECO montre que cette donnée est peu précise et qu'il est impossible d'utiliser la variable de prélèvement qui est trop biaisée. Il est donc indispensable d'estimer ces prélèvements par une autre méthode. Nous utiliserons par la suite un bilan de flux pour calculer les prélèvements (cf. partie IV - 3.2.3).

Annexe IV.4. Estimation dendrométrique permettant le calcul des flux de surface terrière

Deux estimations ont dû être effectuées pour permettre un calcul très précis des flux de surface terrière :

- i) L'estimation de l'épaisseur de l'écorce à partir du diamètre à 1,30 m, indispensable au calcul des flux de croissance et de recrutement.
- ii) L'estimation de la circonférence à 1,30 m à partir de la circonférence à la base, indispensable pour le calcul des flux de mortalités car la circonférence à 1,30 m est rarement relevée sur les arbres morts.

A.IV.4.1 Estimation de l'épaisseur d'écorce à partir du diamètre à 1,30 m

L'épaisseur d'écorce est une donnée renseignée par l'IFN. Cependant, pour le calcul des flux de croissance et de recrutement (cf. Partie IV – 3.2.1) des reconstitutions de l'évolution du diamètre sont effectuées et il est alors indispensable de pouvoir estimer la valeur passée de cette épaisseur.

Pour cela, nous avons travaillé avec les valeurs IFN du diamètre à 1,30 m (D13) et de l'épaisseur d'écorce (EC) afin d'en étudier la relation entre EC et le diamètre sous écorce (D13_sec).

La première étape a constitué à calculer le diamètre sous écorce de chaque arbre vivant présent dans la base de donnée.

$$D13_sec = D13 - 2 EC \quad (1)$$

Une régression linéaire a alors été ajustée pour chaque essence entre le logarithme de EC et celui de D13_sec et les coefficients de ces régressions sont récupérés (**Figure A.IV.4.1**).

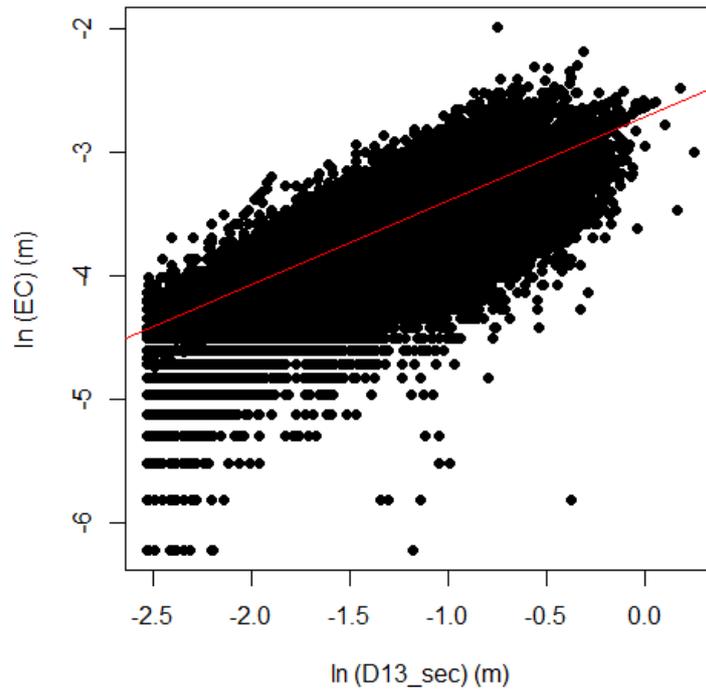


Figure A.IV.4.1 Relation entre le logarithme de l'épaisseur de l'écorce (EC) et le logarithme du diamètre à 1,30 m sous écorce (D13_sec) pour le douglas. En rouge : régression linéaire.

A.IV.4.2 Estimation de la circonférence à 1,30 m à partir de la circonférence à la base

La valeur de la circonférence à 1,30 m (C13) n'a pas toujours été mesurée sur les arbres morts. Cependant, la valeur de la circonférence à la base (C0) est renseignée. Comme nous souhaitons travailler, pour le calcul des flux, à partir des données de diamètre et de circonférence à 1,30 m, une estimation de C13 en fonction de C0 a dû être effectuée.

Une régression linéaire par essence a été effectuée entre les logarithmes de C13 et de C0 des arbres vivants (**Figure A.IV.4.2**).

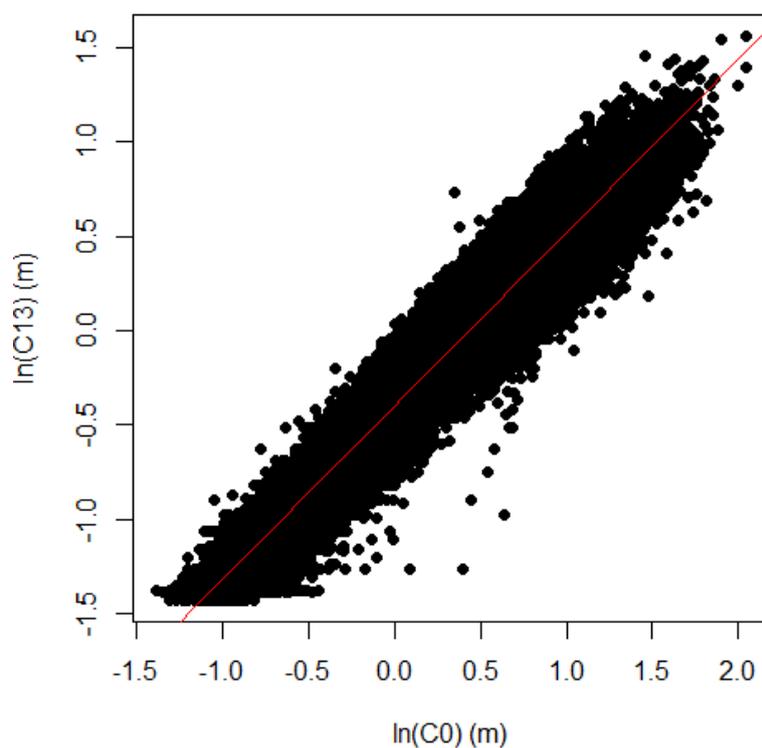


Figure A.IV.4.2 Relation entre le logarithme de la circonférence à 1,30 m (C13) et le logarithme de la circonférence à la base (C0) du chêne sessile. En rouge : régression linéaire.

Annexe IV.5. Cas particulier : non disponibilité des IR

En AM, 2,6 millions arbres ont été inventoriés. 95,0% d'entre eux ont un IR10 renseigné et non nul. Pour les 5% restant, l'IR10 n'a pas pu être utilisé et l'IR5 (dans 3,4% des cas) ou l'IRN (quand les cernes n'étaient pas lisibles sur 5 ans, l'incrément radial a été relevé sur les N années lisibles) si l'IR5 était également non renseigné ou nul (0,1% des cas) a été utilisé. Dans 98,5% un incrément radial était donc disponible. Pour les 1,5% restant, une estimation de celui-ci a été nécessaire. Pour cela, une moyenne des IR annualisés des arbres de même catégorie (essence, département, année d'inventaire, propriété et classe de diamètre) a été calculée. Dans le cas où l'arbre était seul dans sa catégorie, les critères ont été enlevés (dans l'ordre de suppression : classe de diamètre, propriété, année d'inventaire et département). Pour le cas du noyer dont aucun IR n'a été mesuré, une moyenne par département et classe de diamètre a été utilisée.

De même, pour l'IR5 à t_{1i} , si celui-ci n'était pas disponible, l'IRN était utilisé ou l'IR10 si l'IRN n'était pas renseigné. Si aucun des trois n'était renseigné, une estimation, reposant sur la même logique que précédemment, était utilisée.

Annexe IV.6. Diagrammes des flux

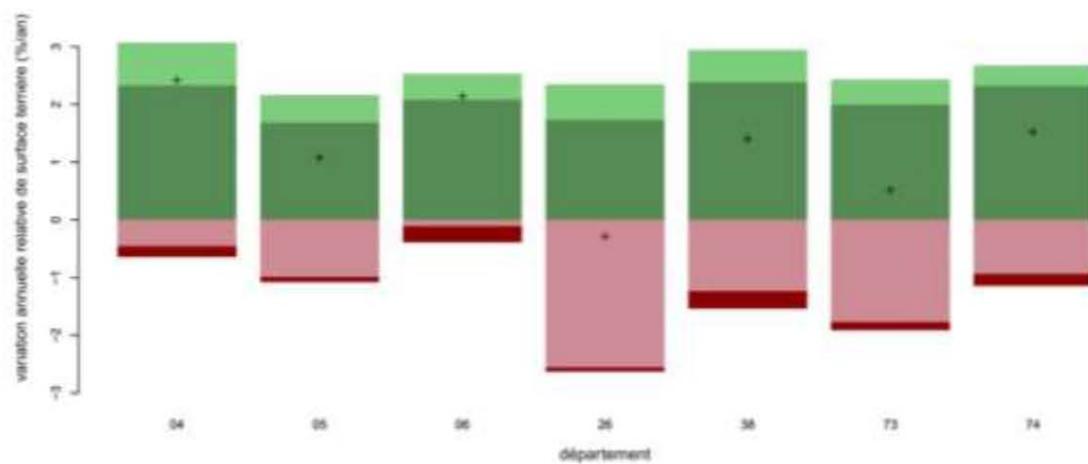
Les flux relatifs annuels calculés en partie IV par département x propriété et département x propriété x essence ont été représentés par des diagrammes. L'ensemble de ces diagrammes sont représentés à partir de la page suivante.

La légende étant la même pour chaque graphique, elle n'est présentée qu'une seule fois (ci-dessous) et non à chaque graphique.

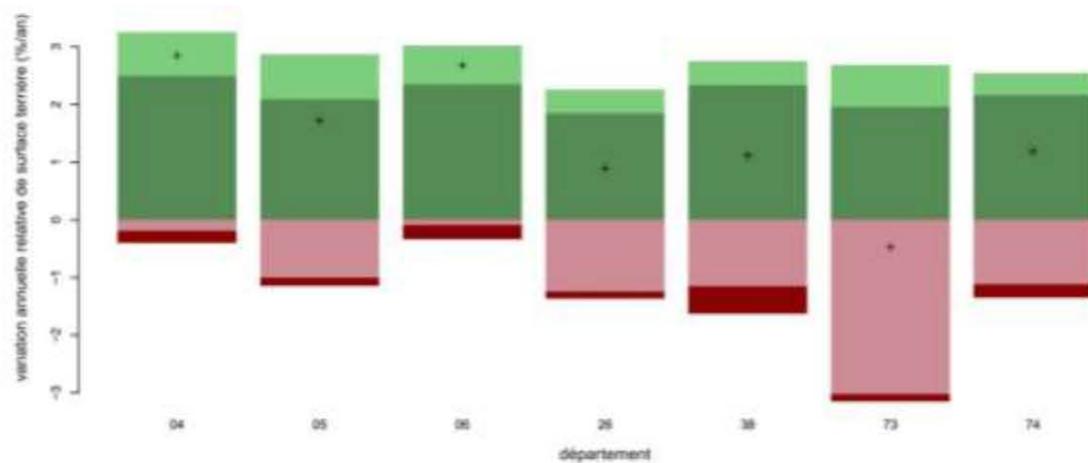


Figure A.IV.6.1 Légende des histogrammes des flux par département x propriété et département x propriété x essence

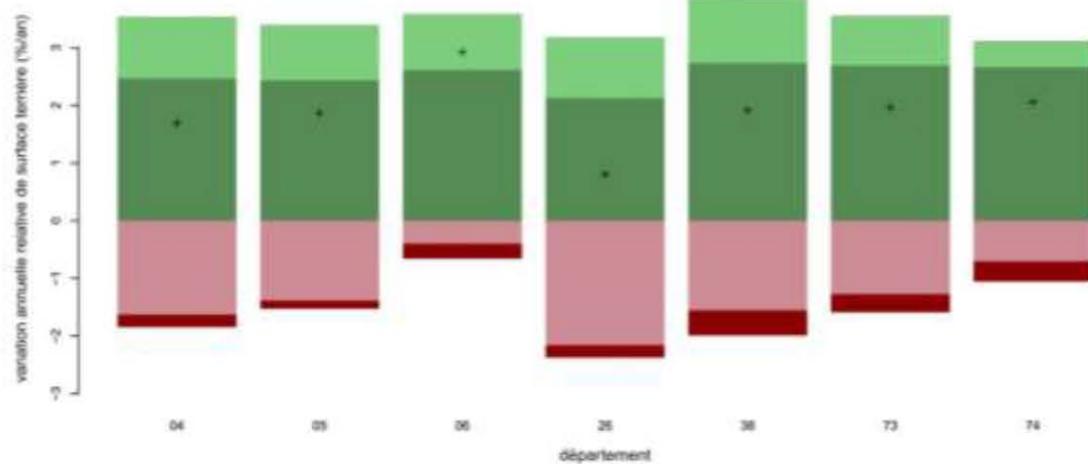
AI . C



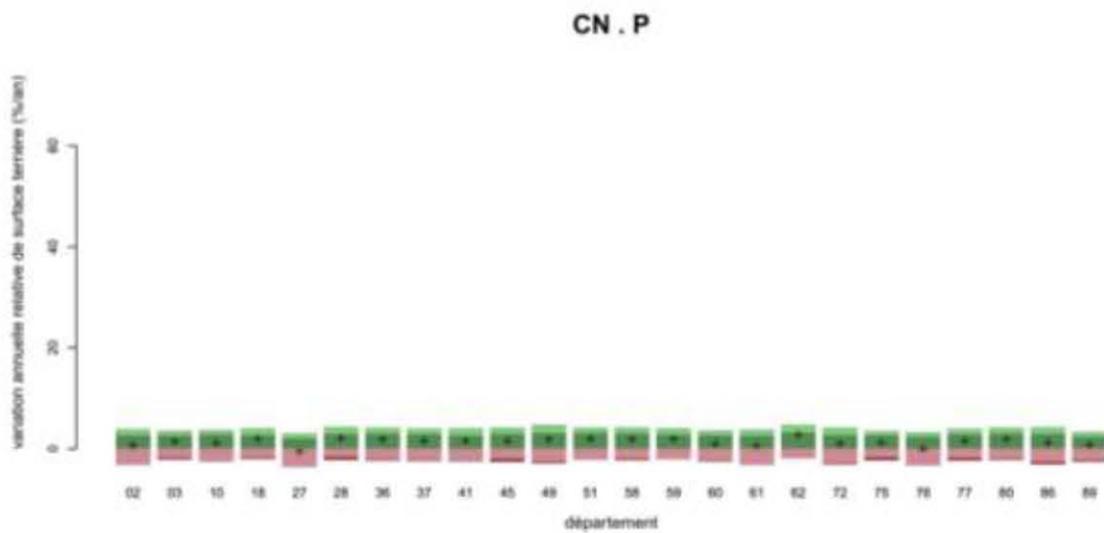
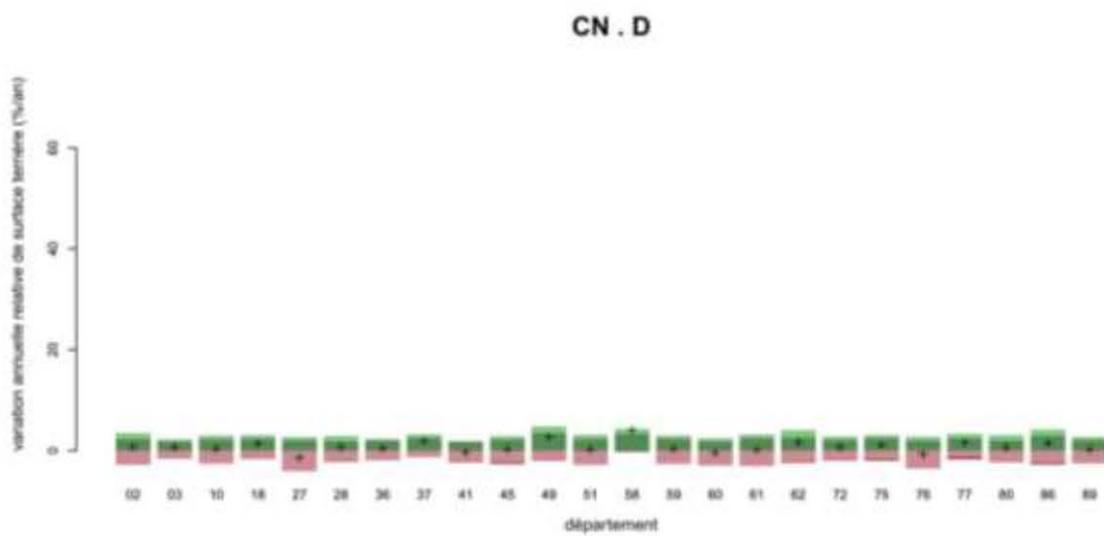
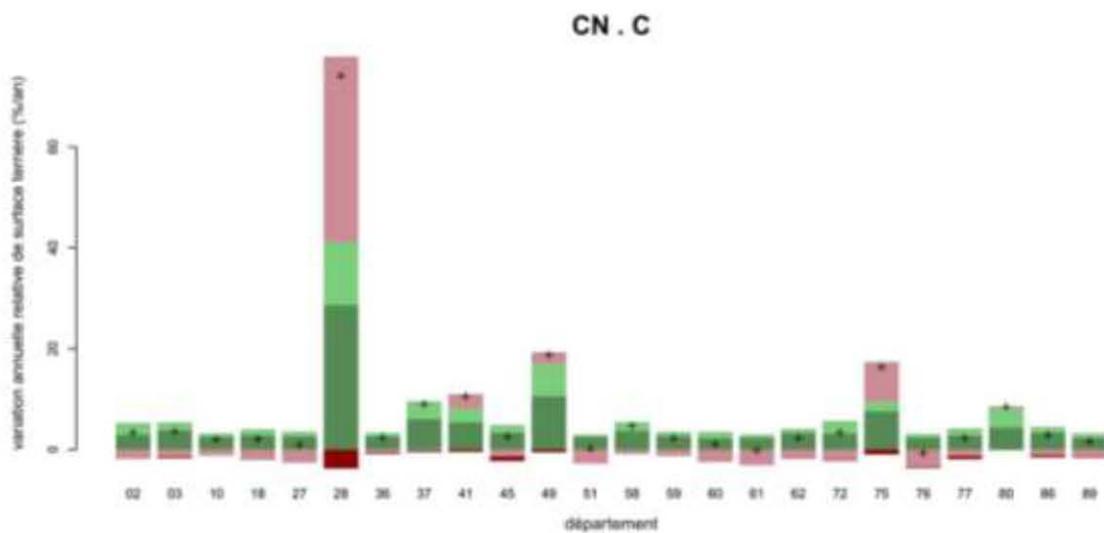
AI . D

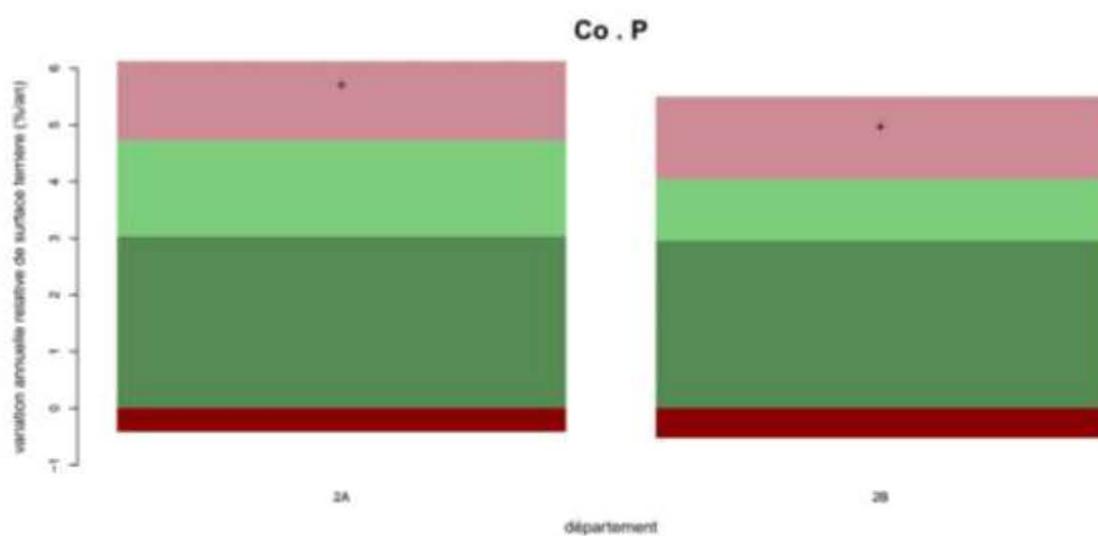
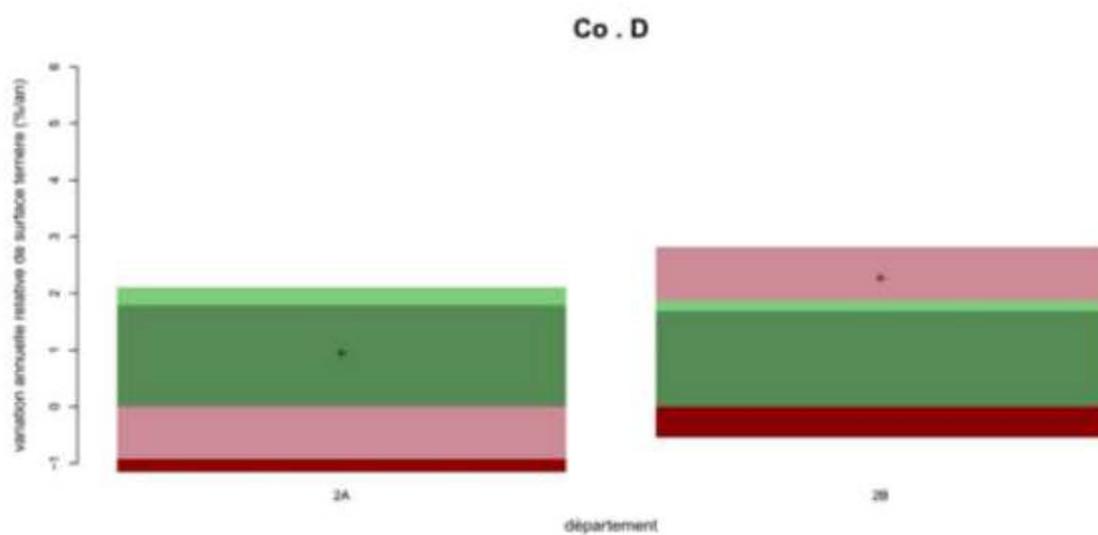
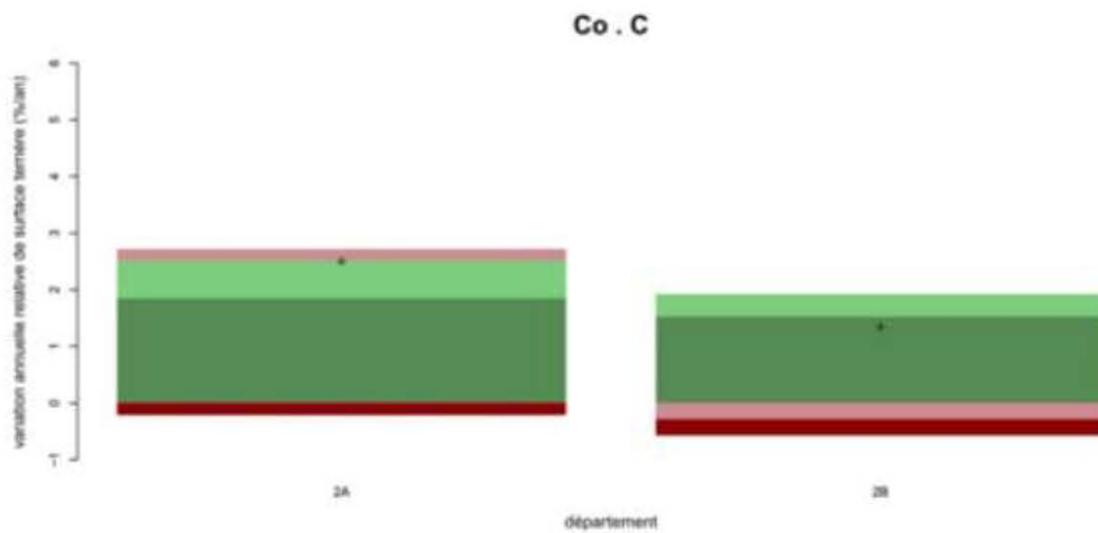


AI . P

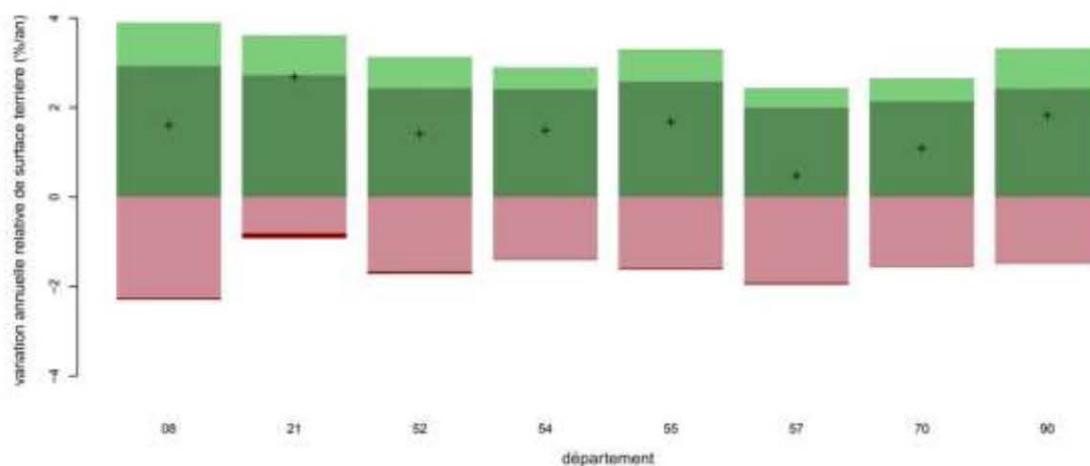


Annexe IV.6

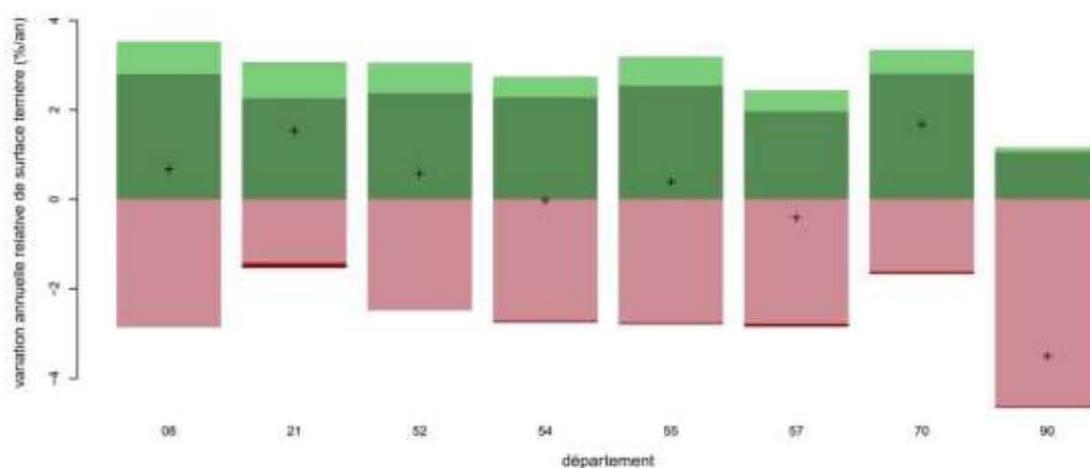




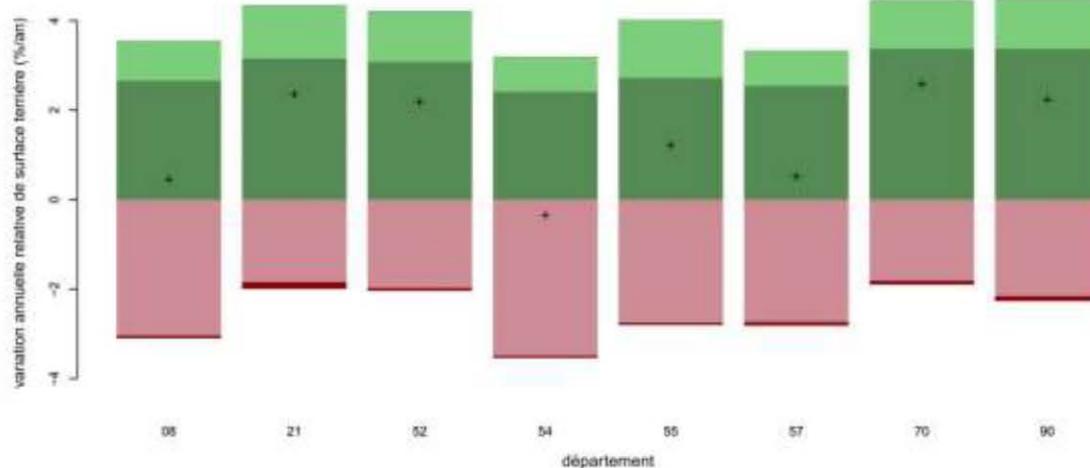
GE . C

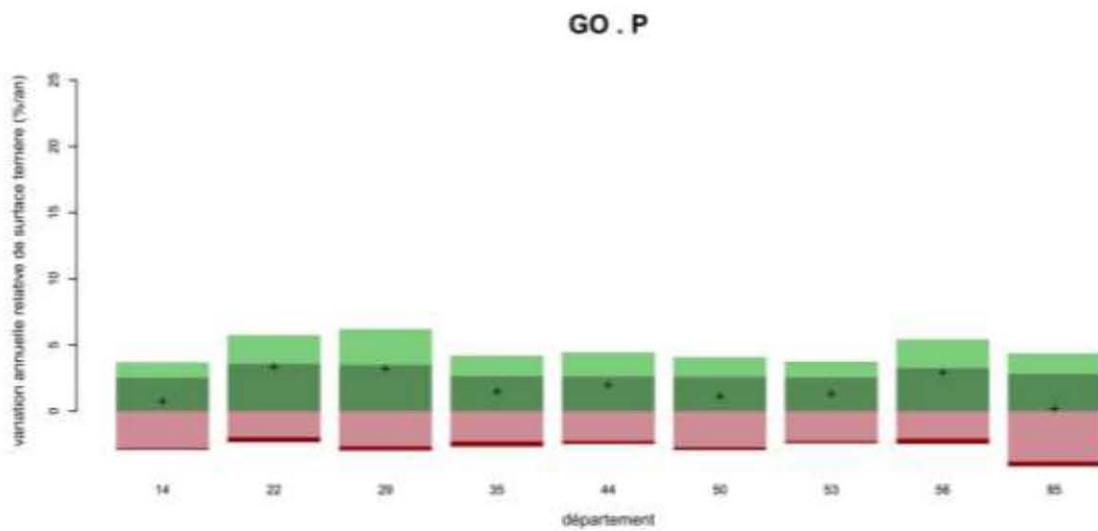
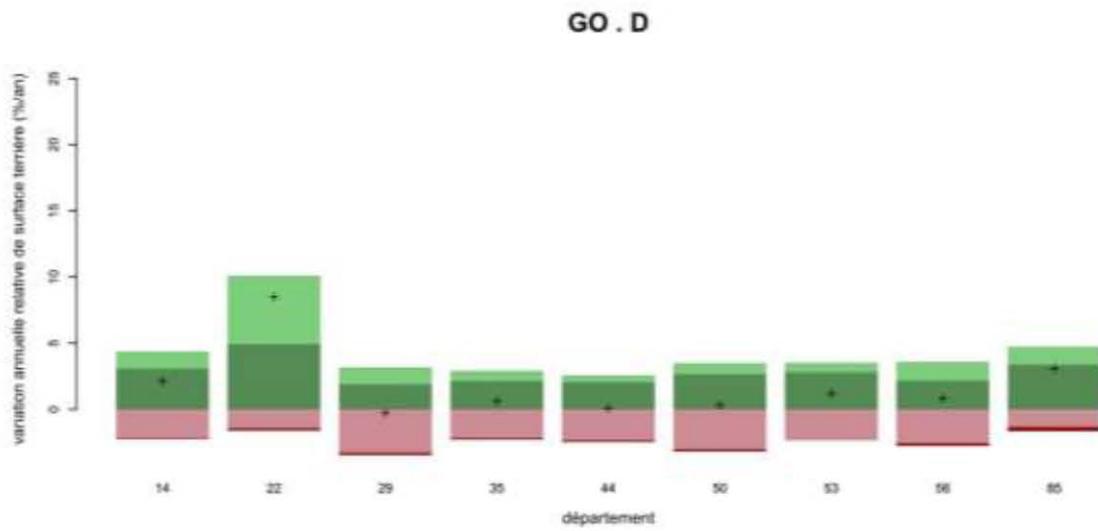
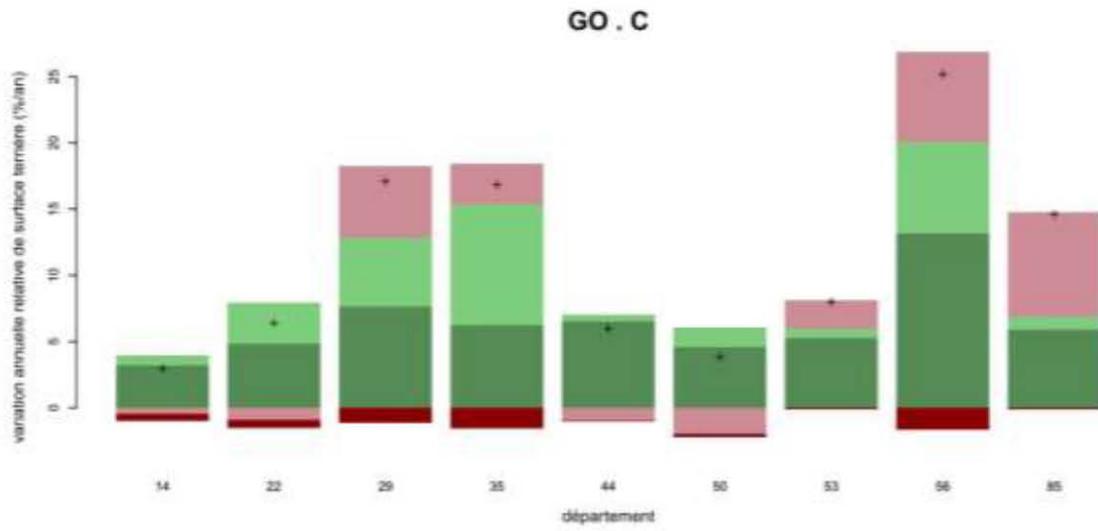


GE . D

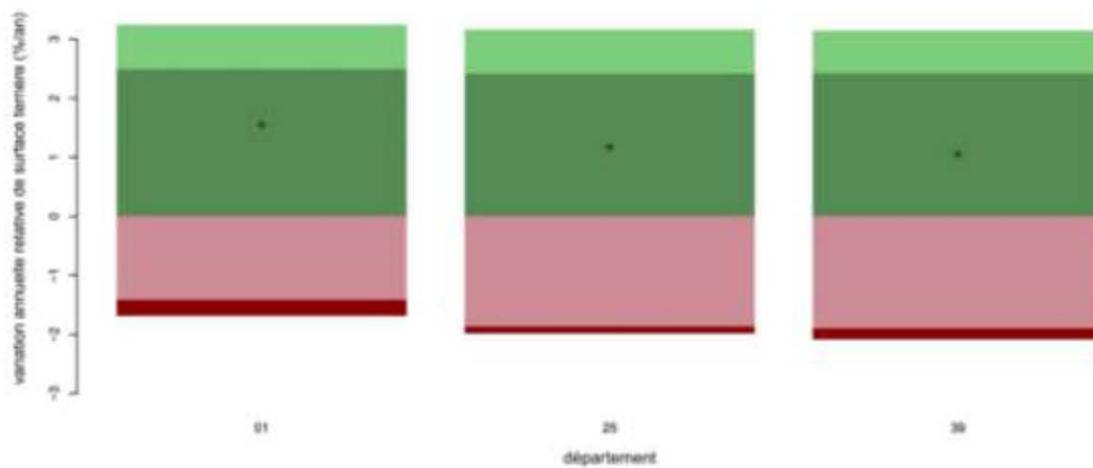


GE . P

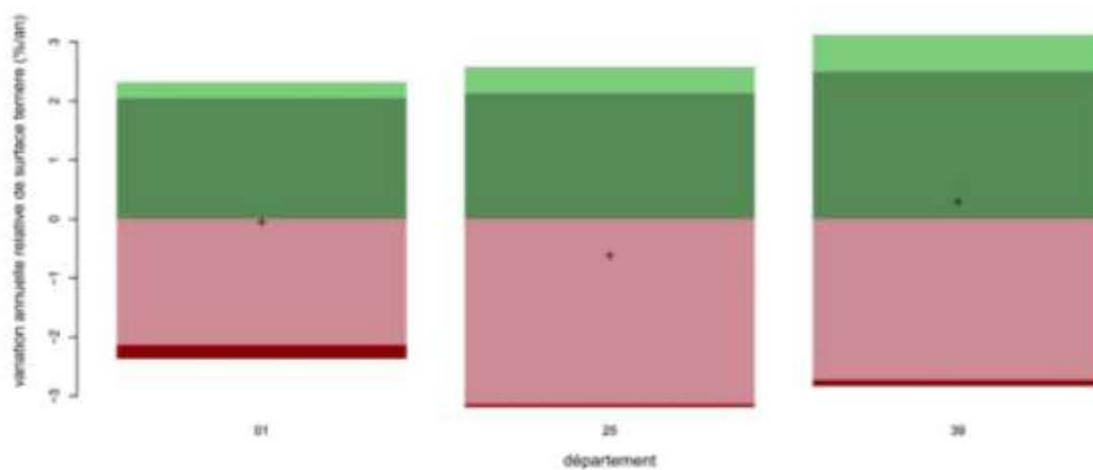




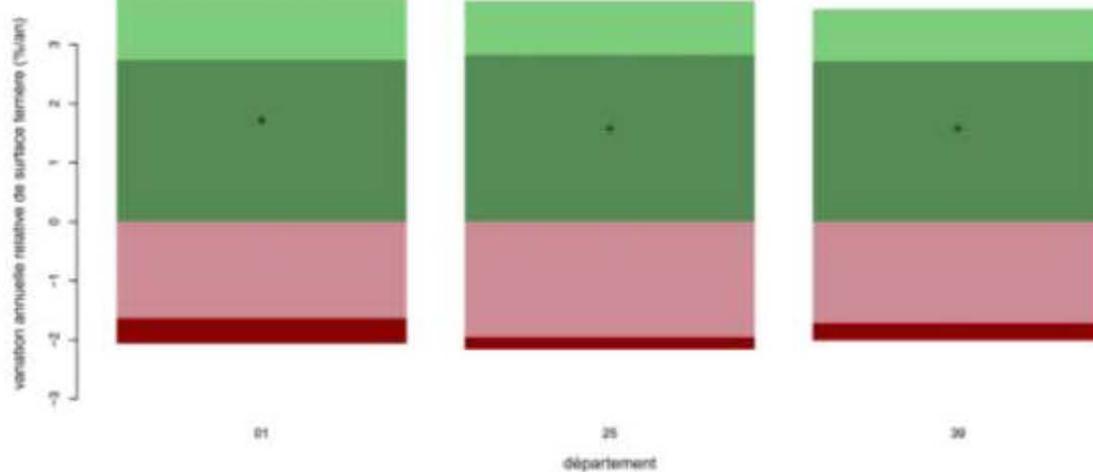
Ju . C



Ju . D

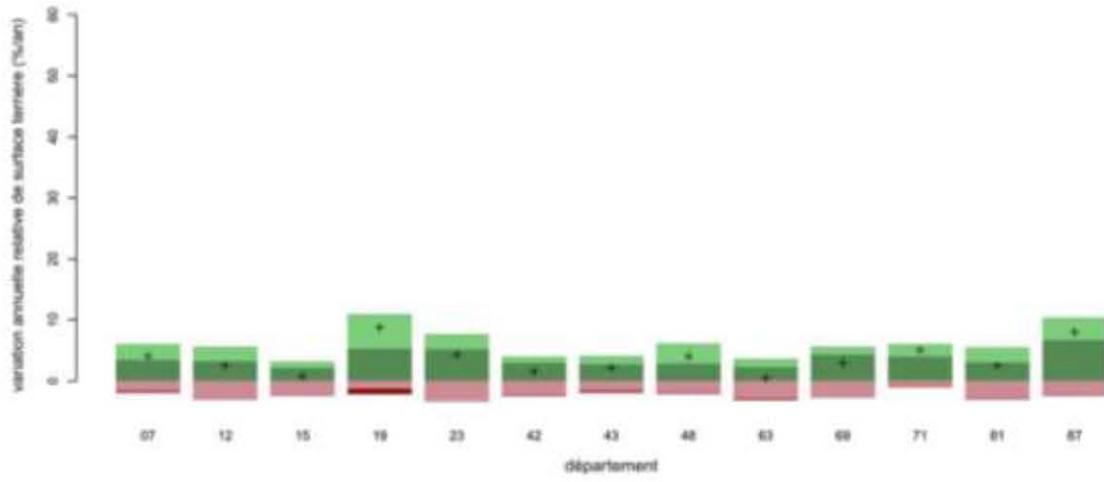


Ju . P

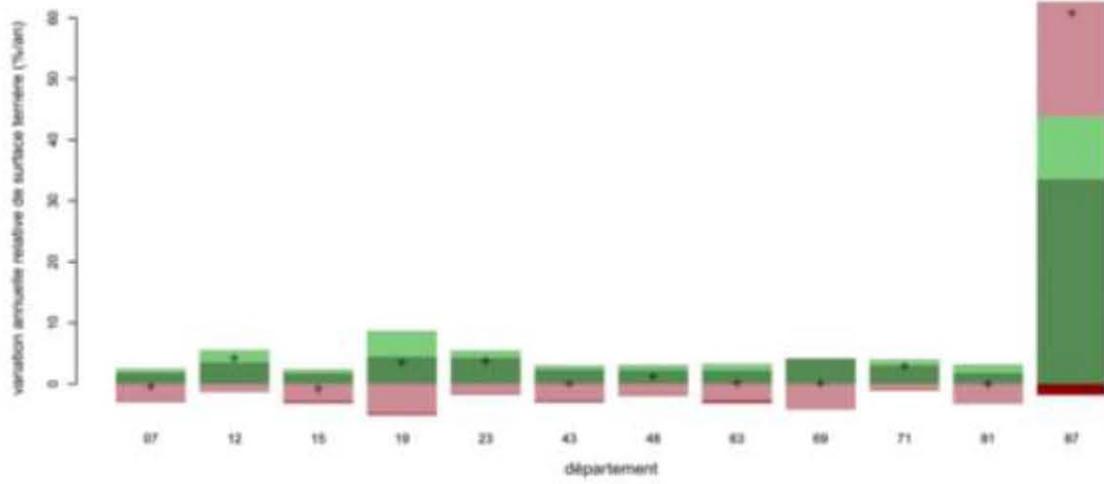


Annexes de la partie IV

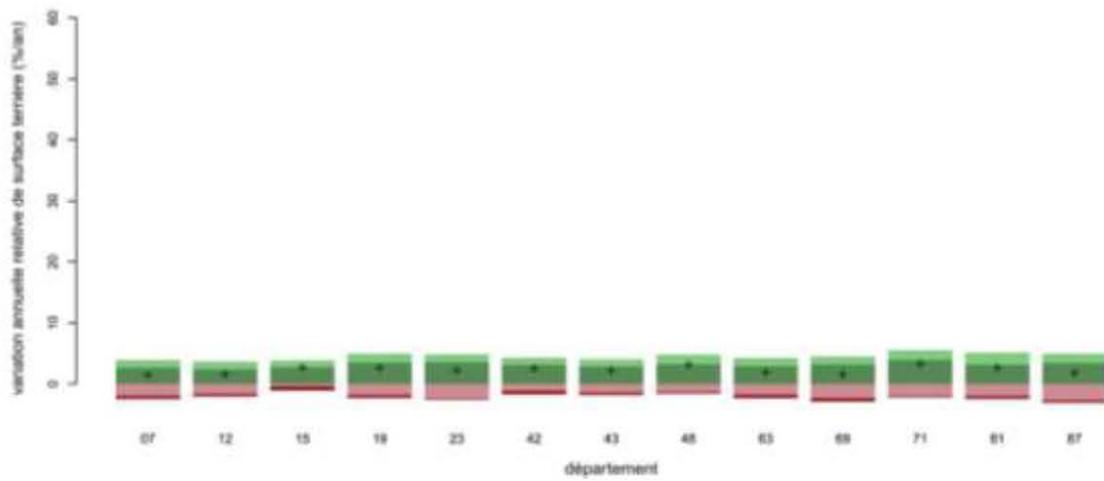
MC . C

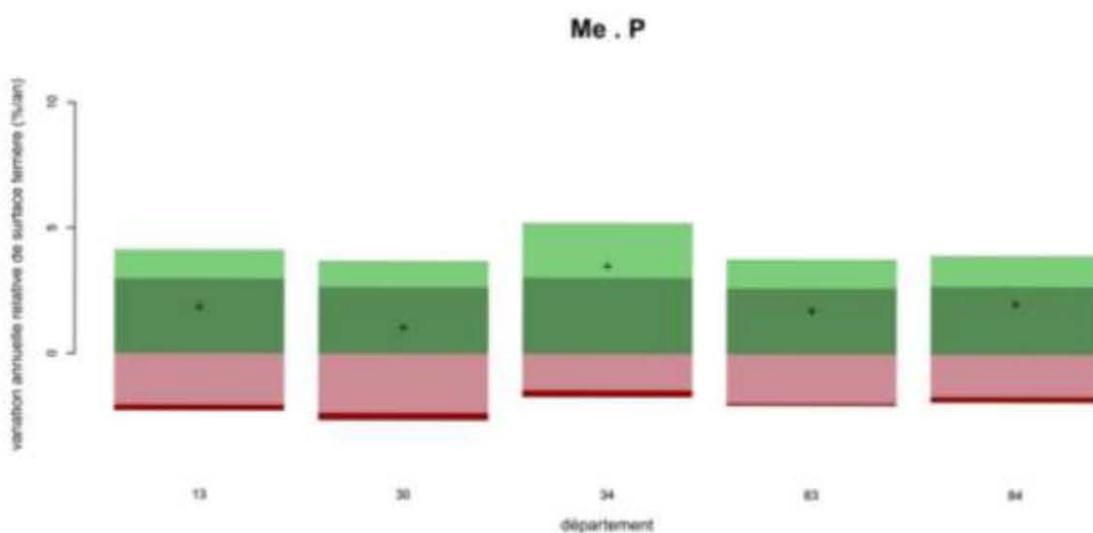
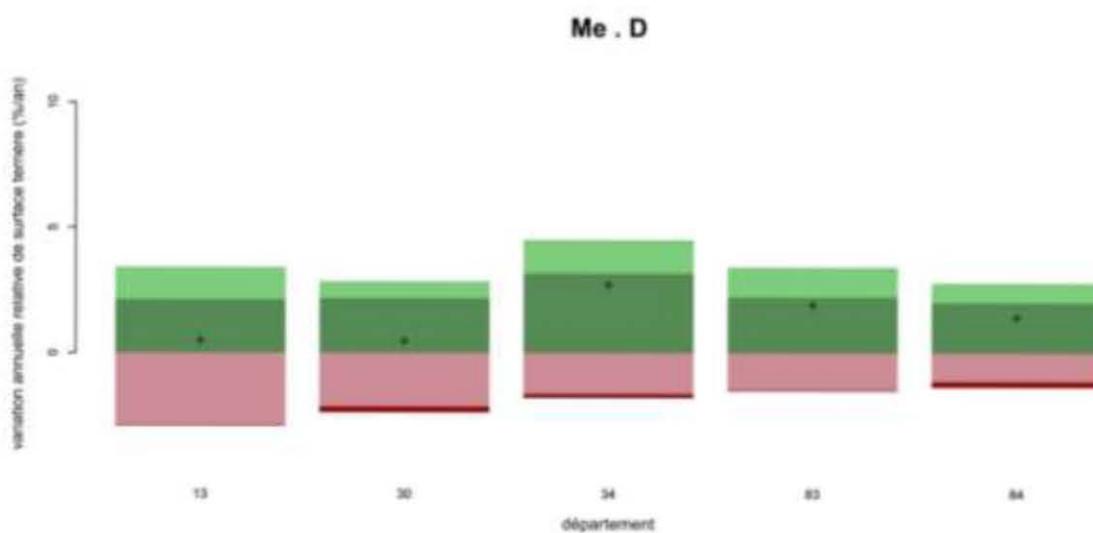
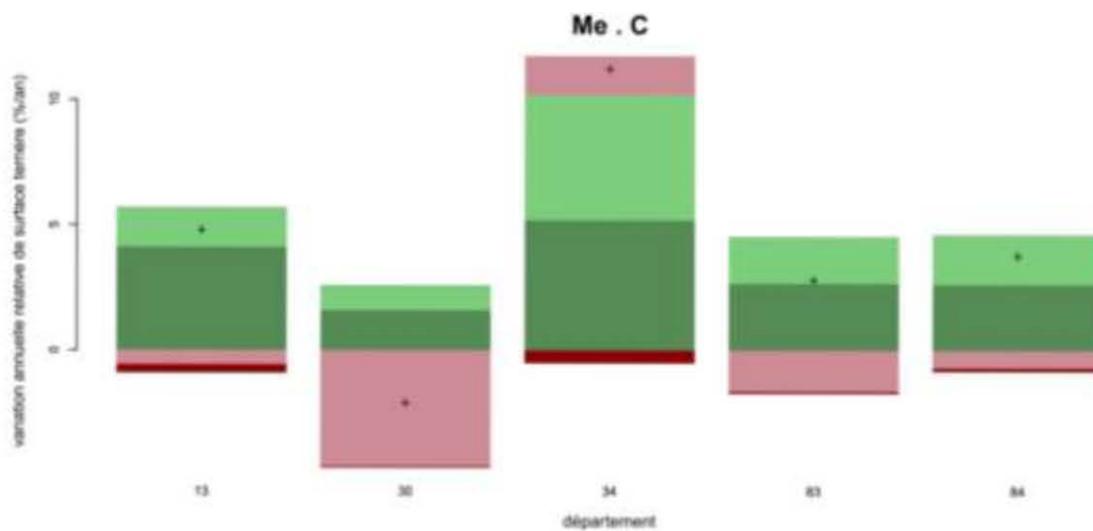


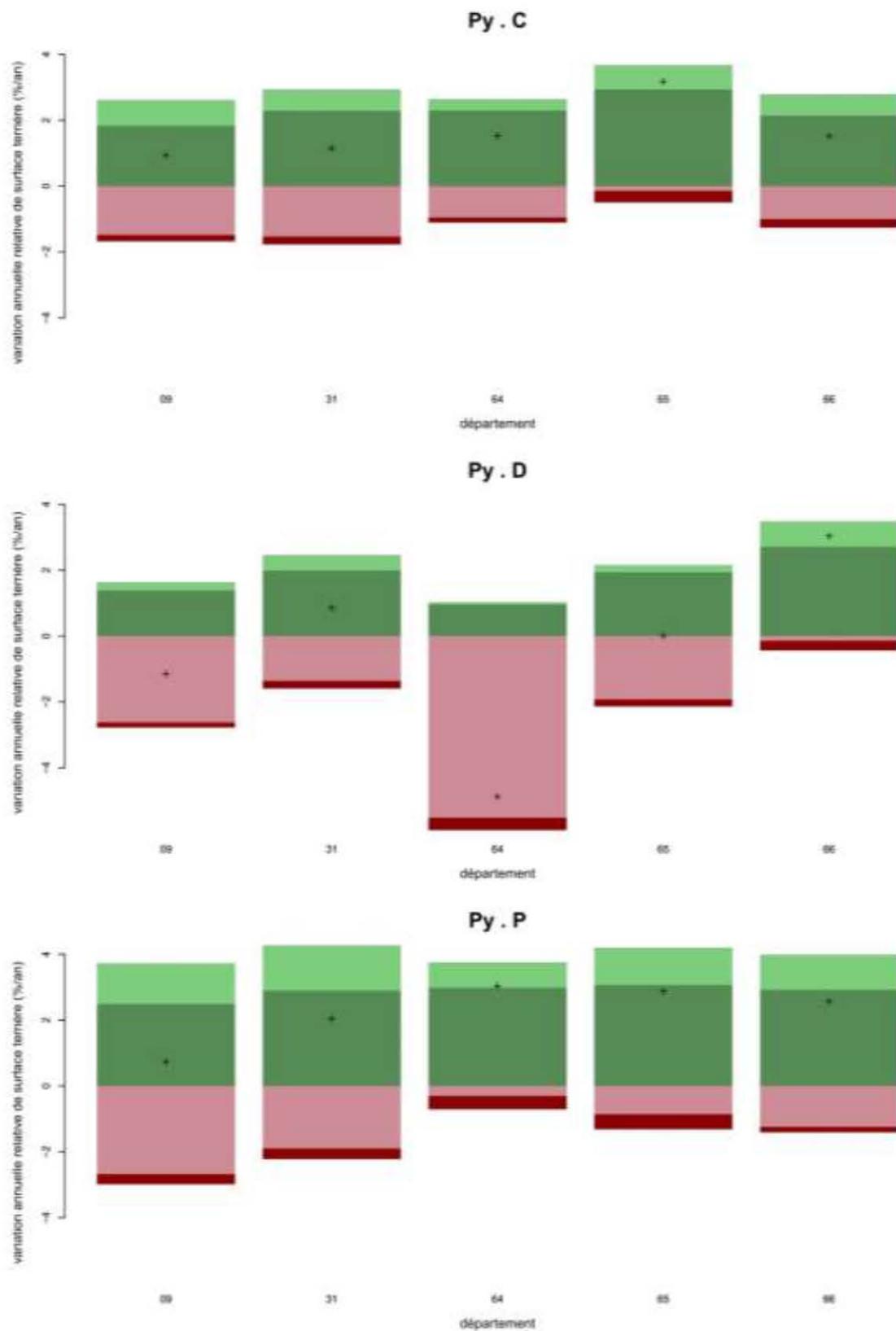
MC . D

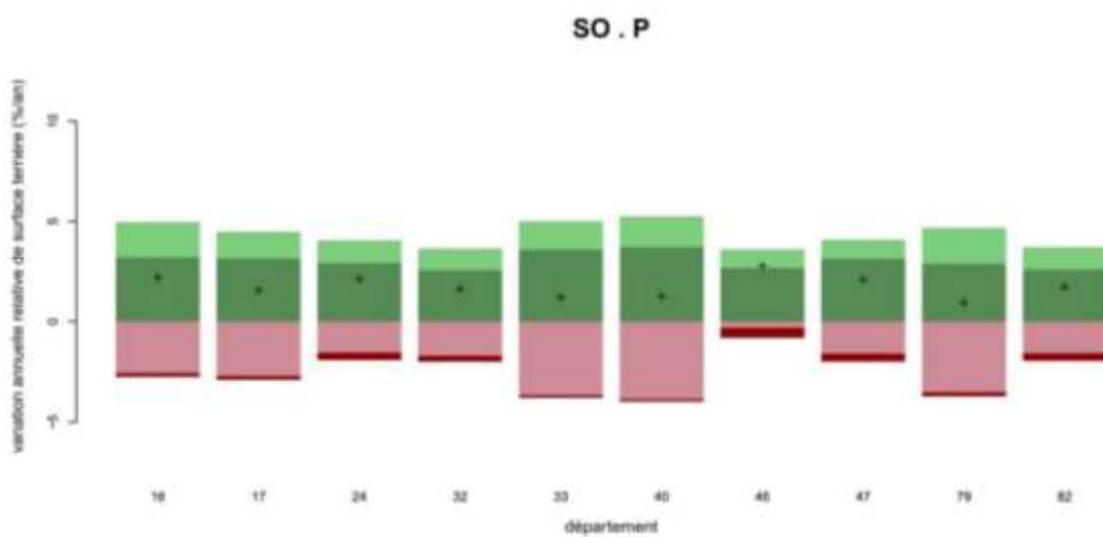
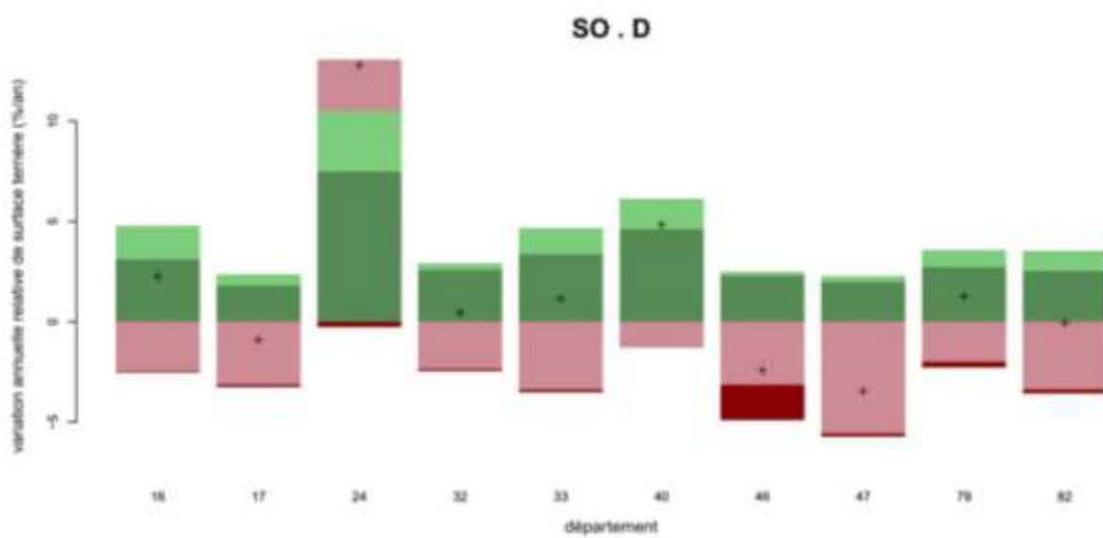
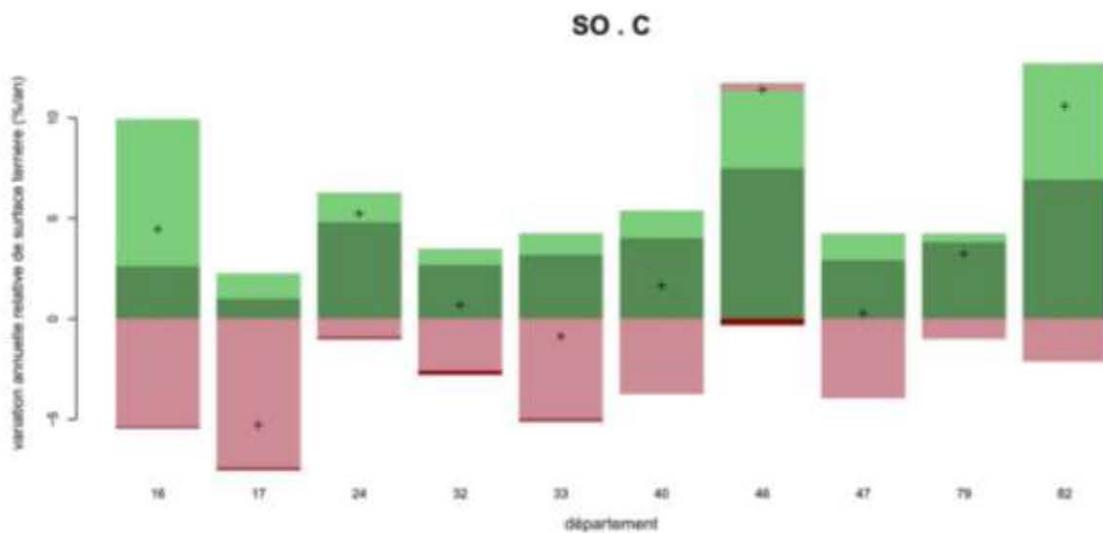


MC . P

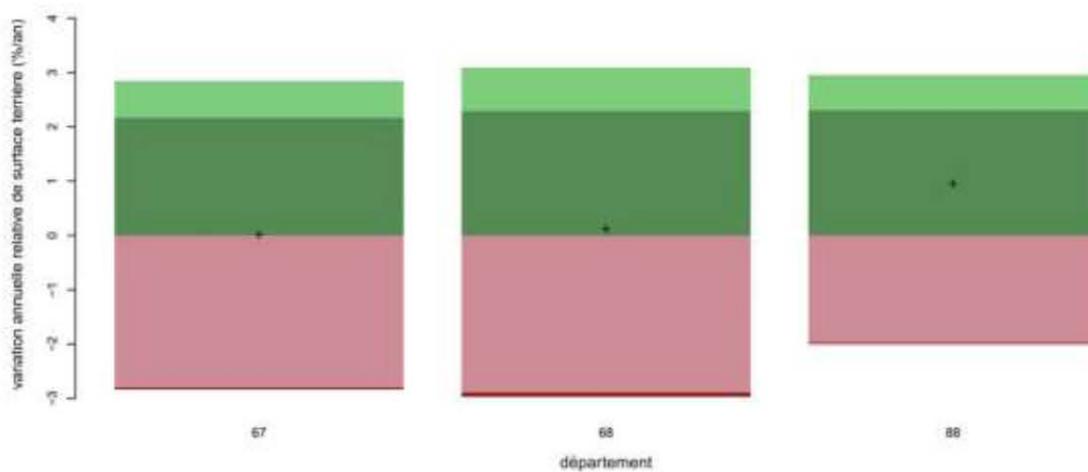




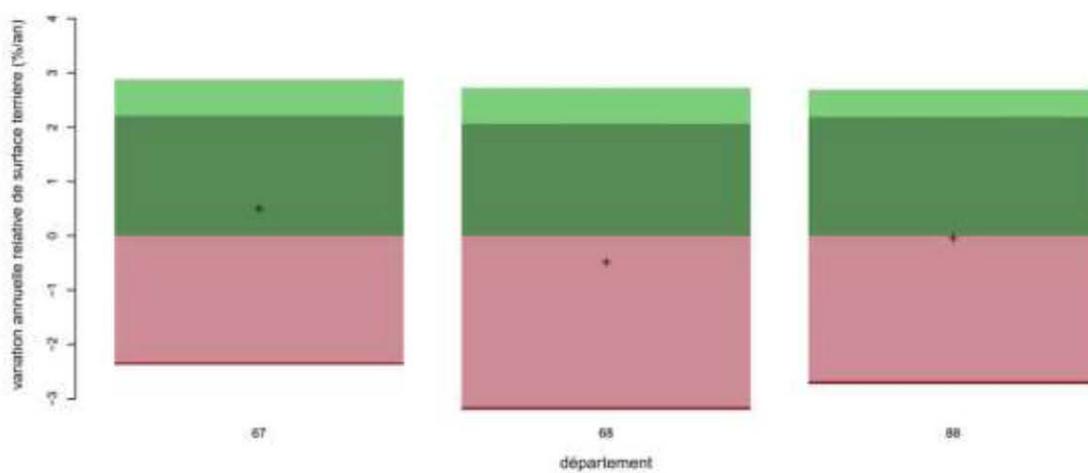




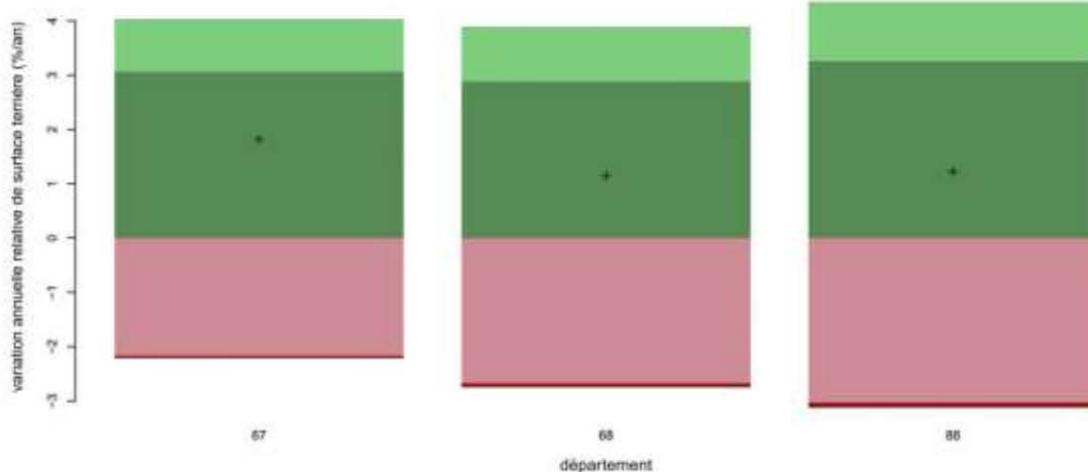
Vo . C



Vo . D



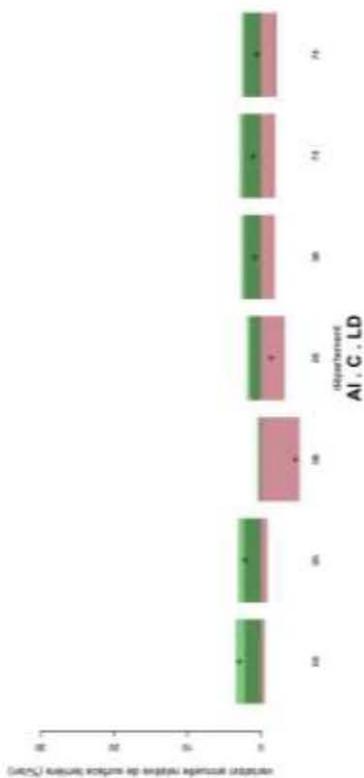
Vo . P



AI . C . AA



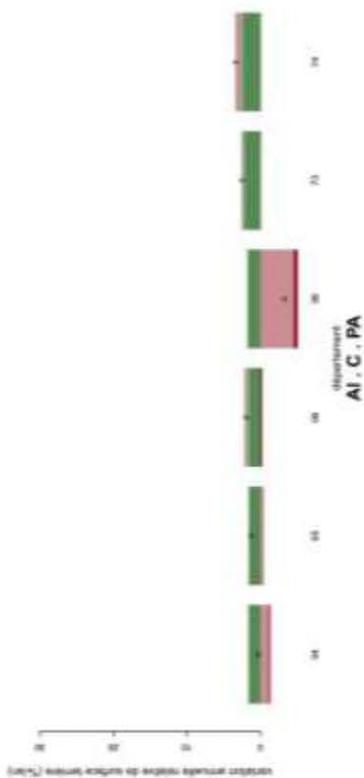
AI . C . FS



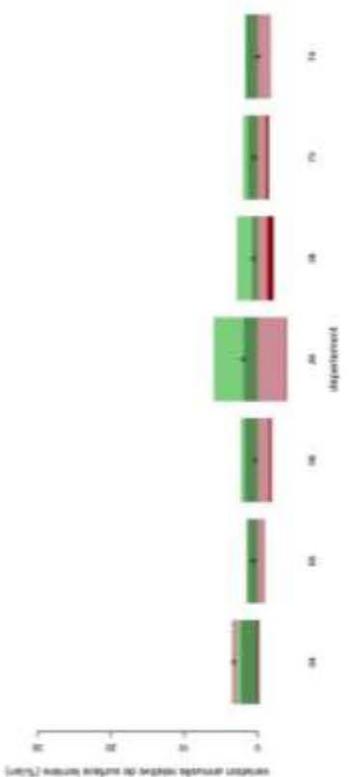
AI . C . DF



AI . C . LD

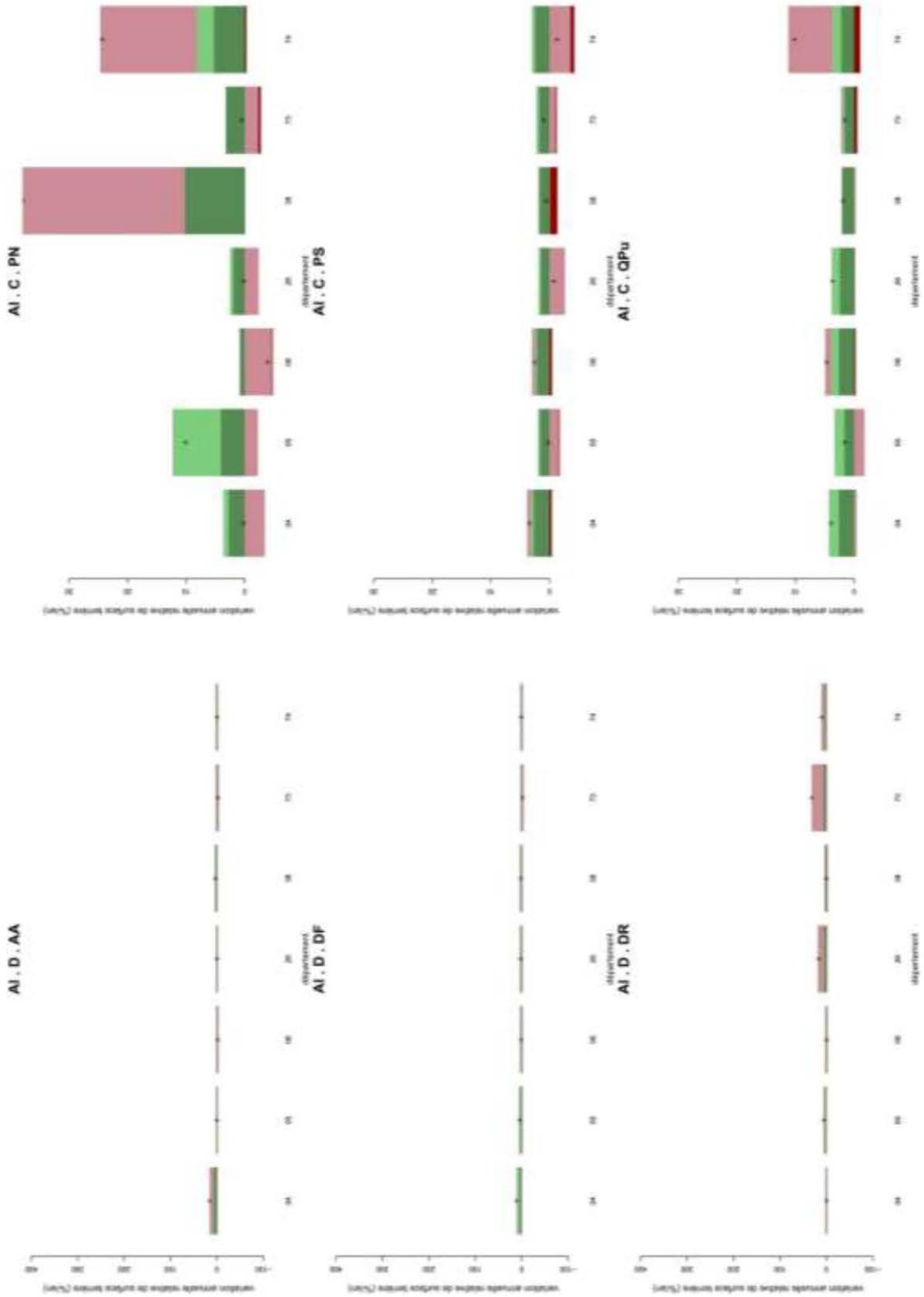


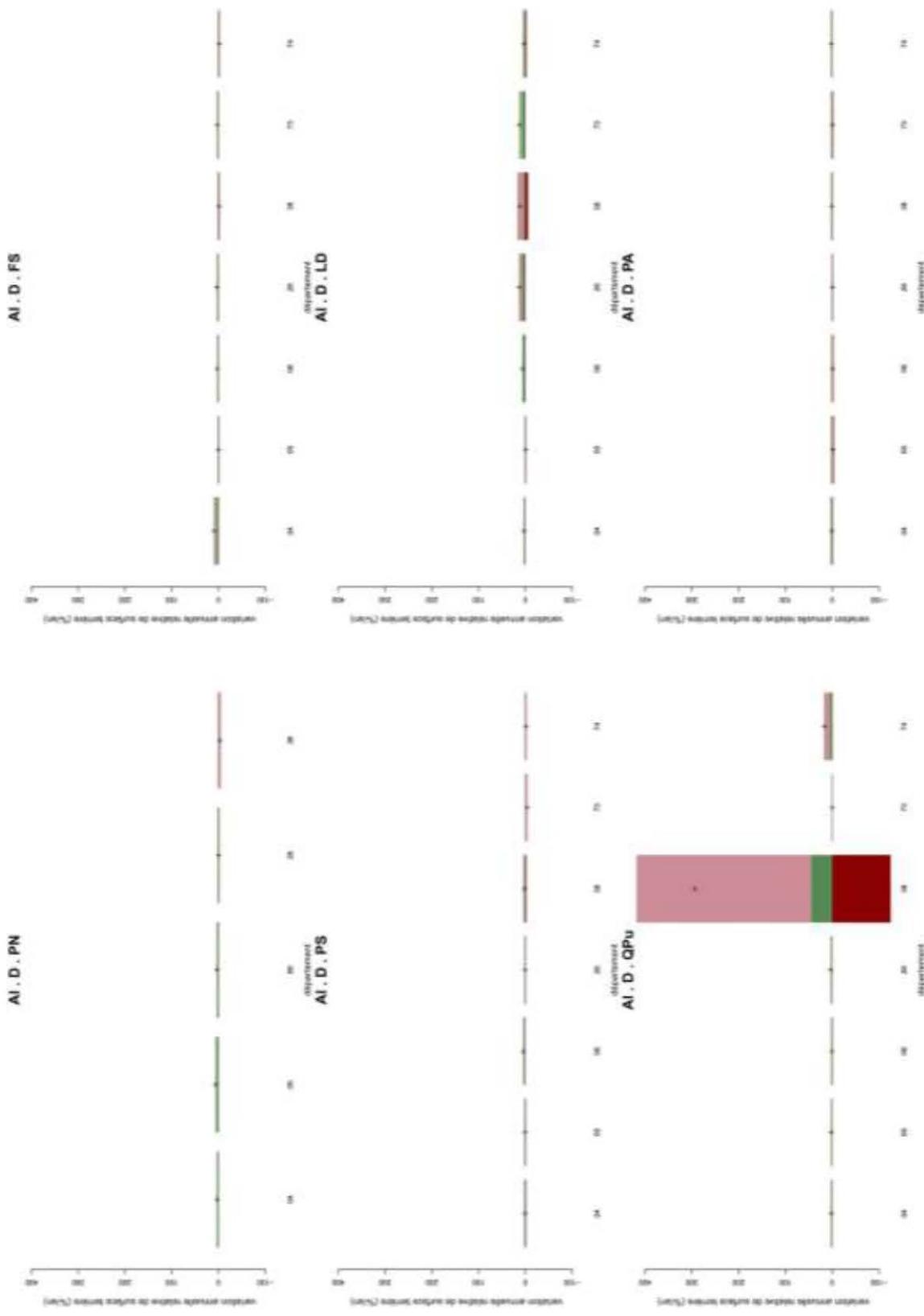
AI . C . DR

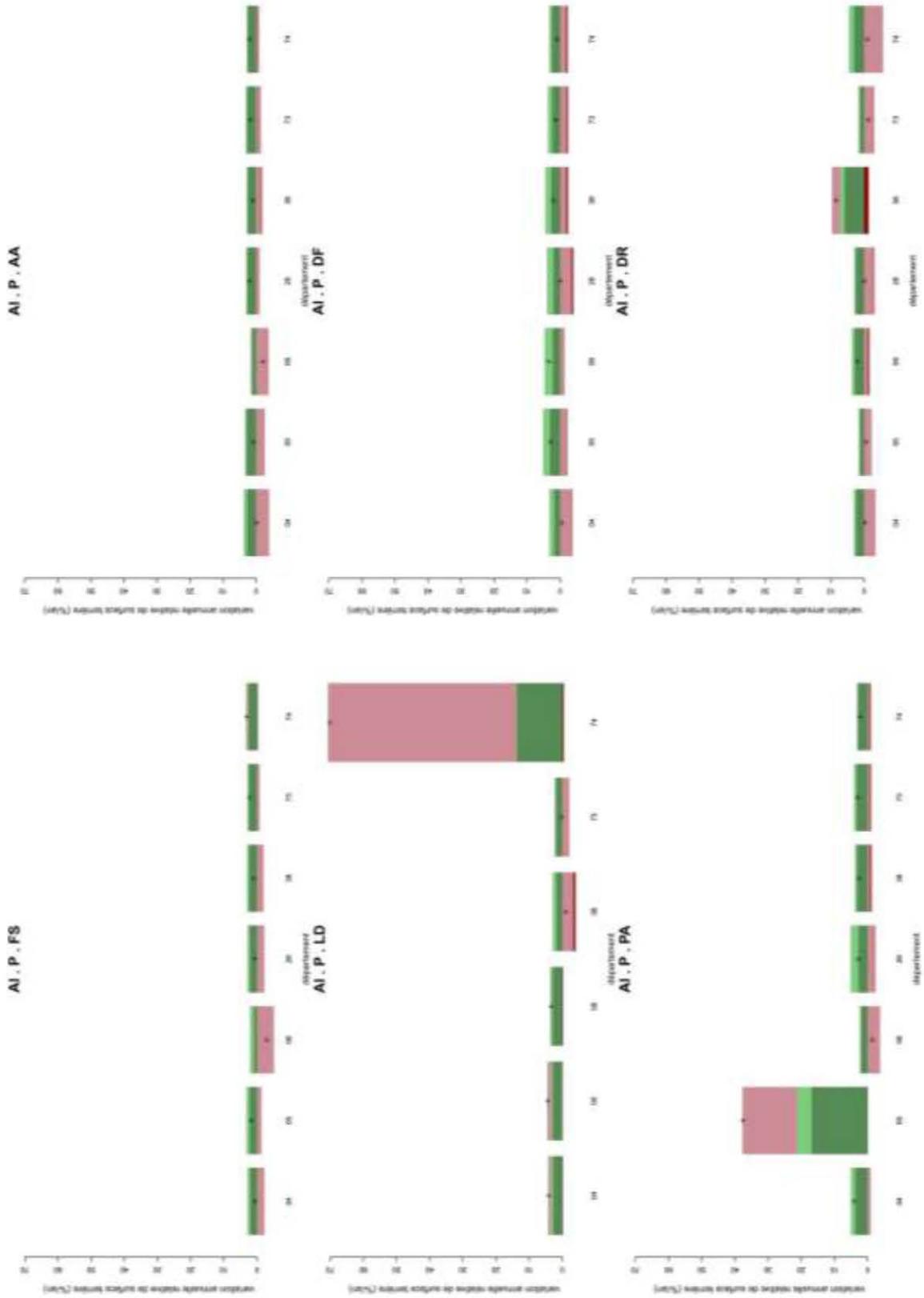


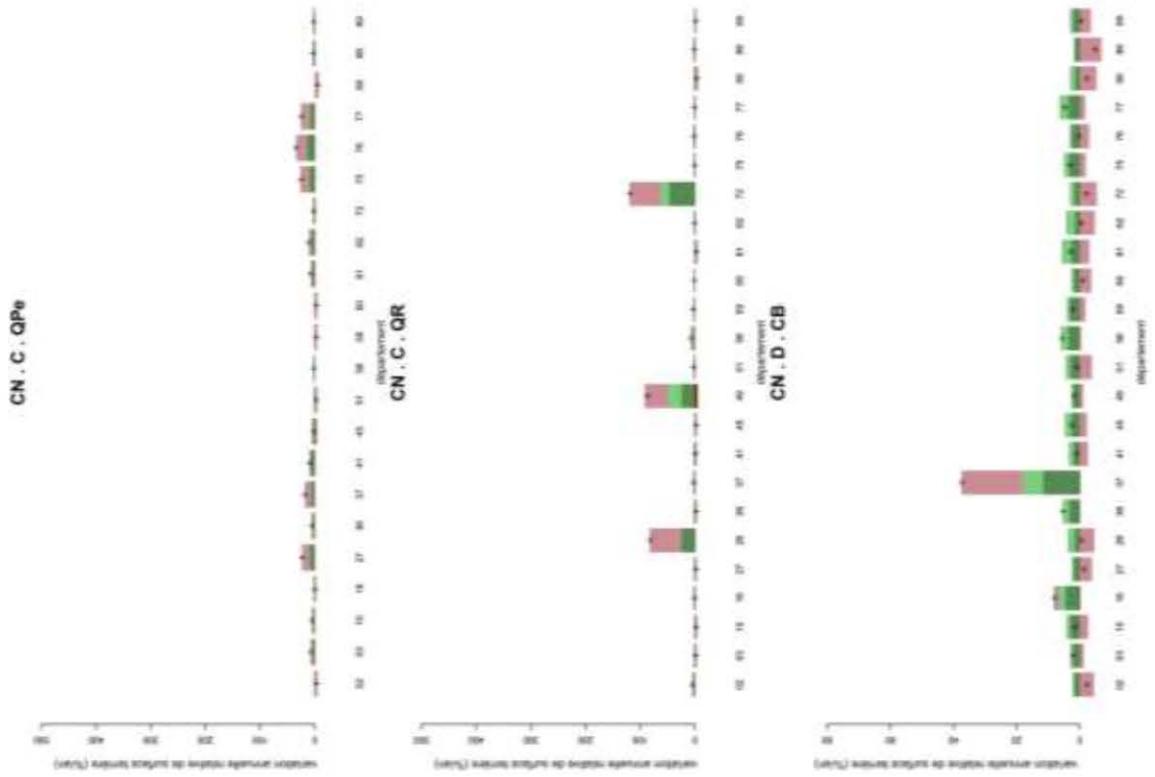
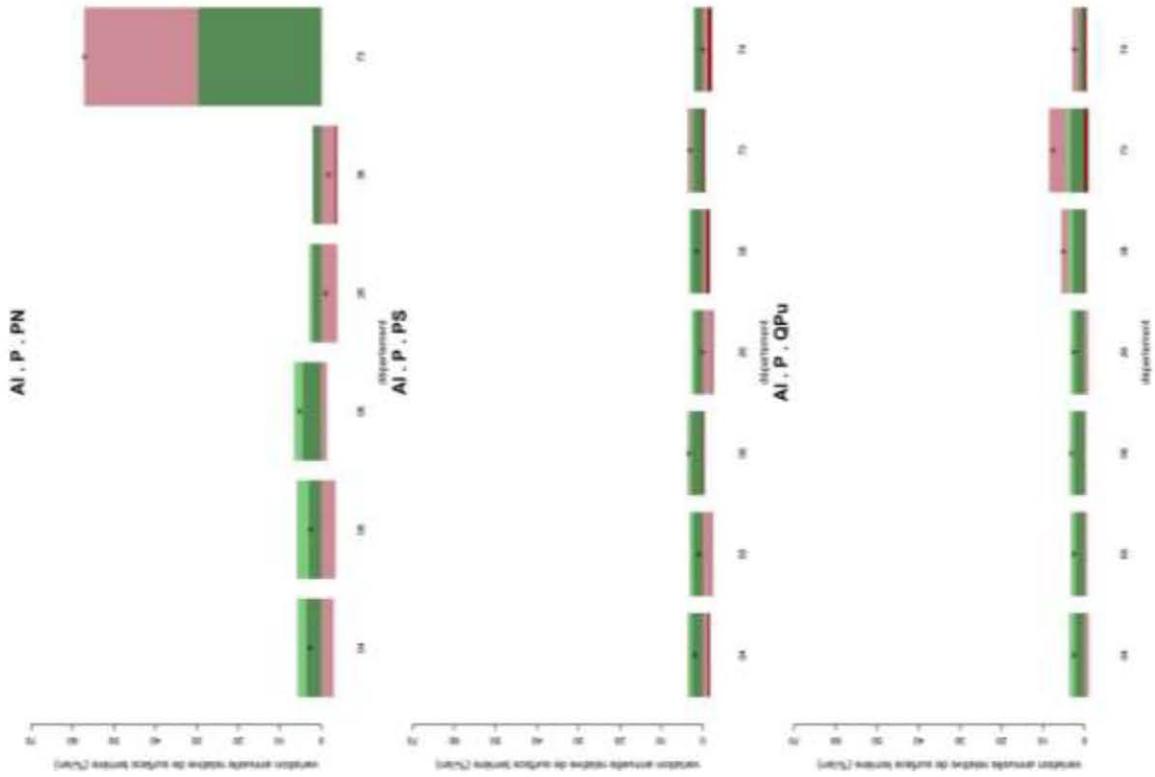
AI . C . PA







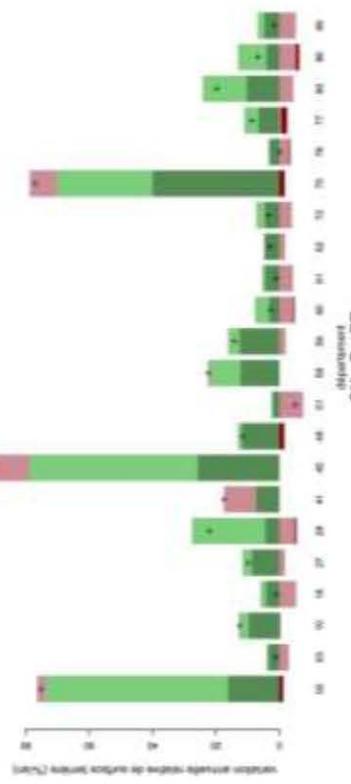




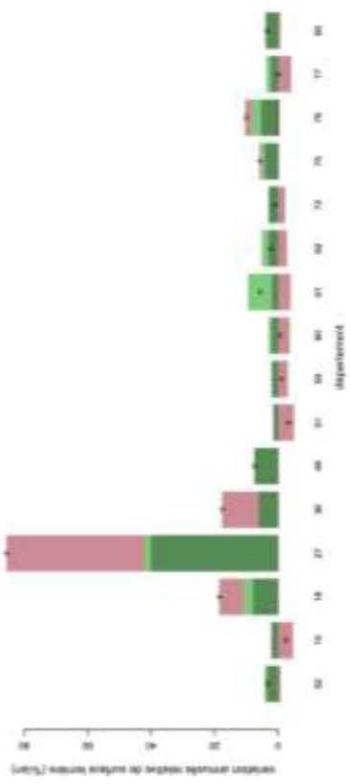
CN . D . DF



CN . D . DR



CN . D . FE



CN . D . FS

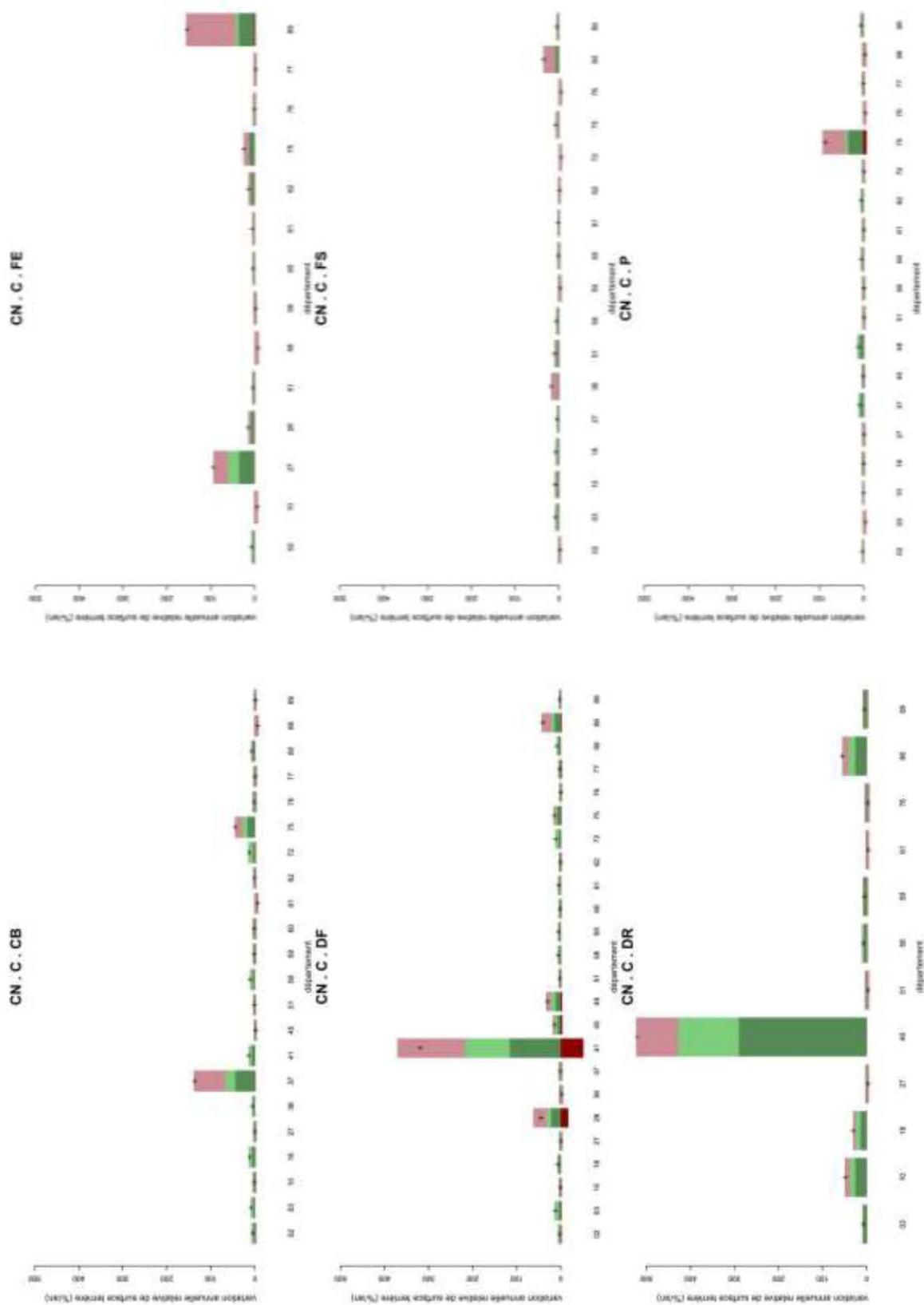


CN . D . P

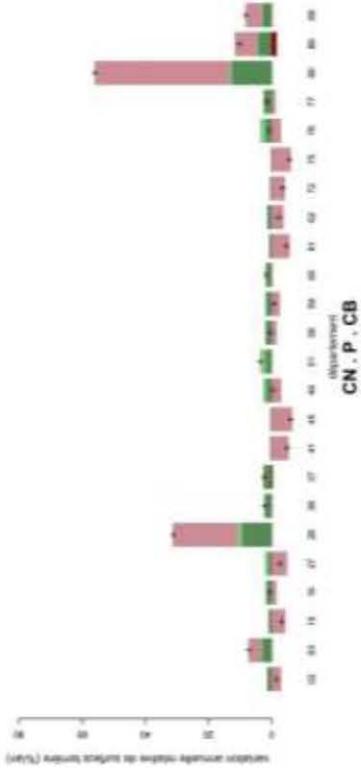


CN . D . QPe





CN . D . QR



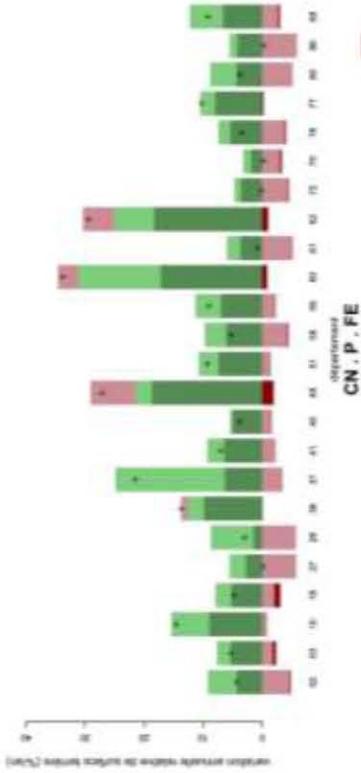
CN . P . CB



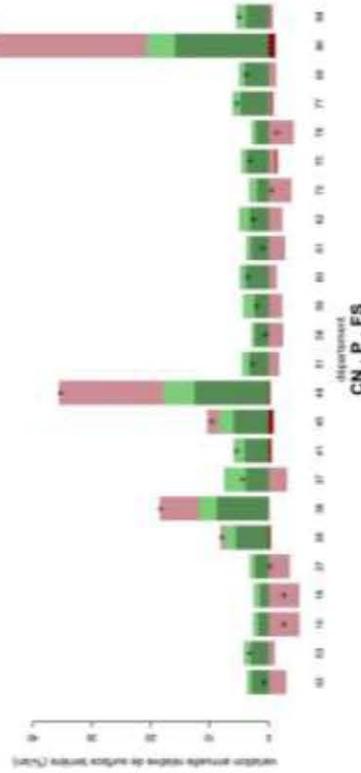
CN . P . DF



CN . P . DR



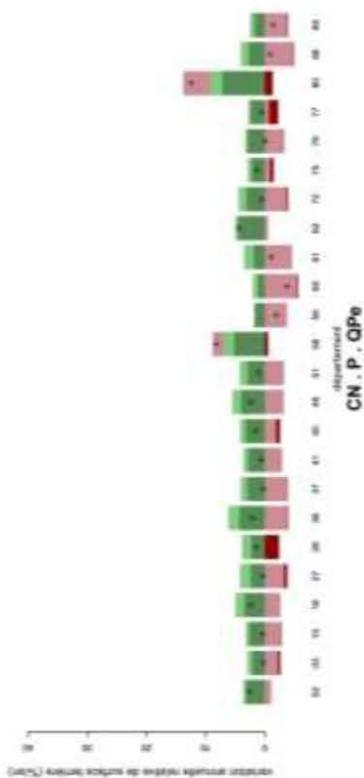
CN . P . FE



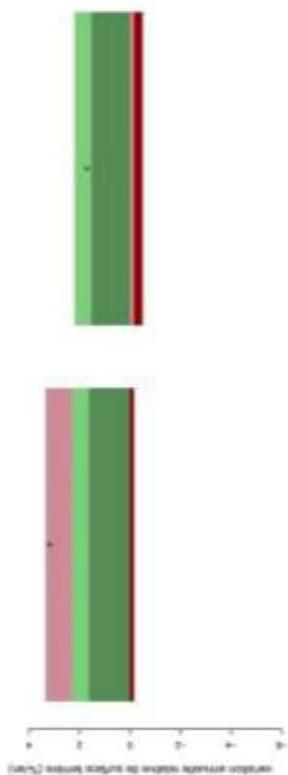
CN . P . FS



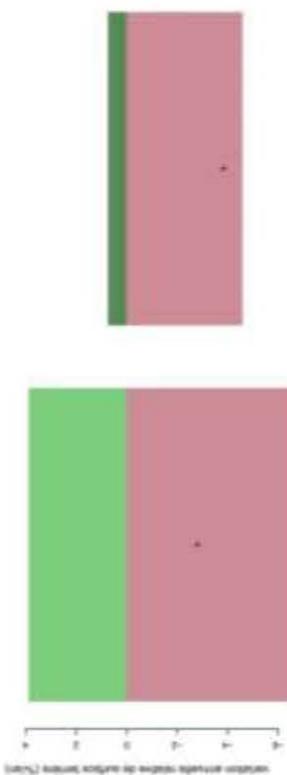
CN . P . P



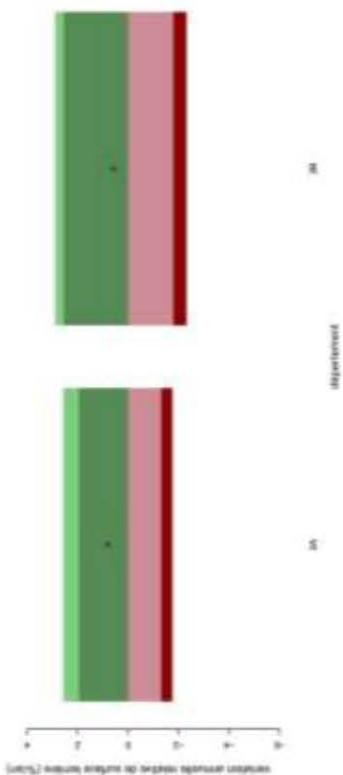
Co . C . DF

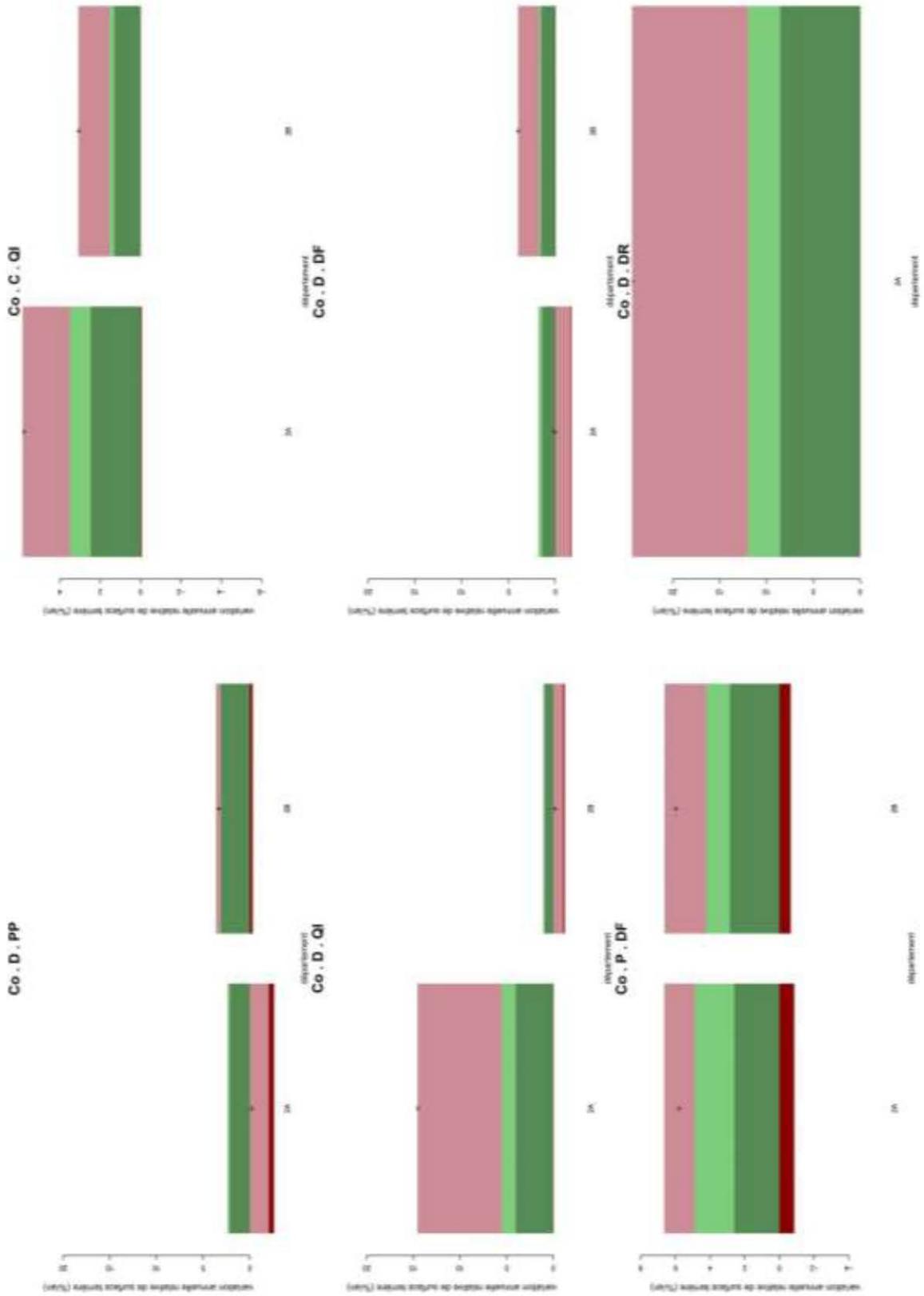


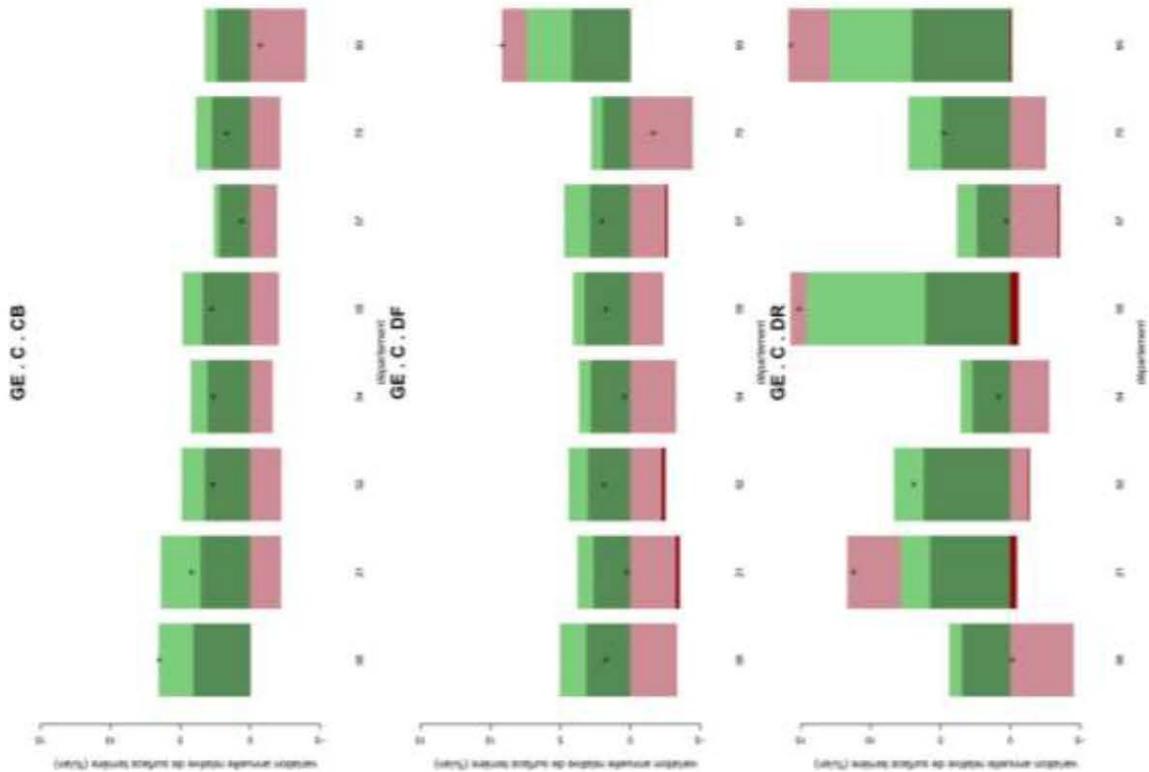
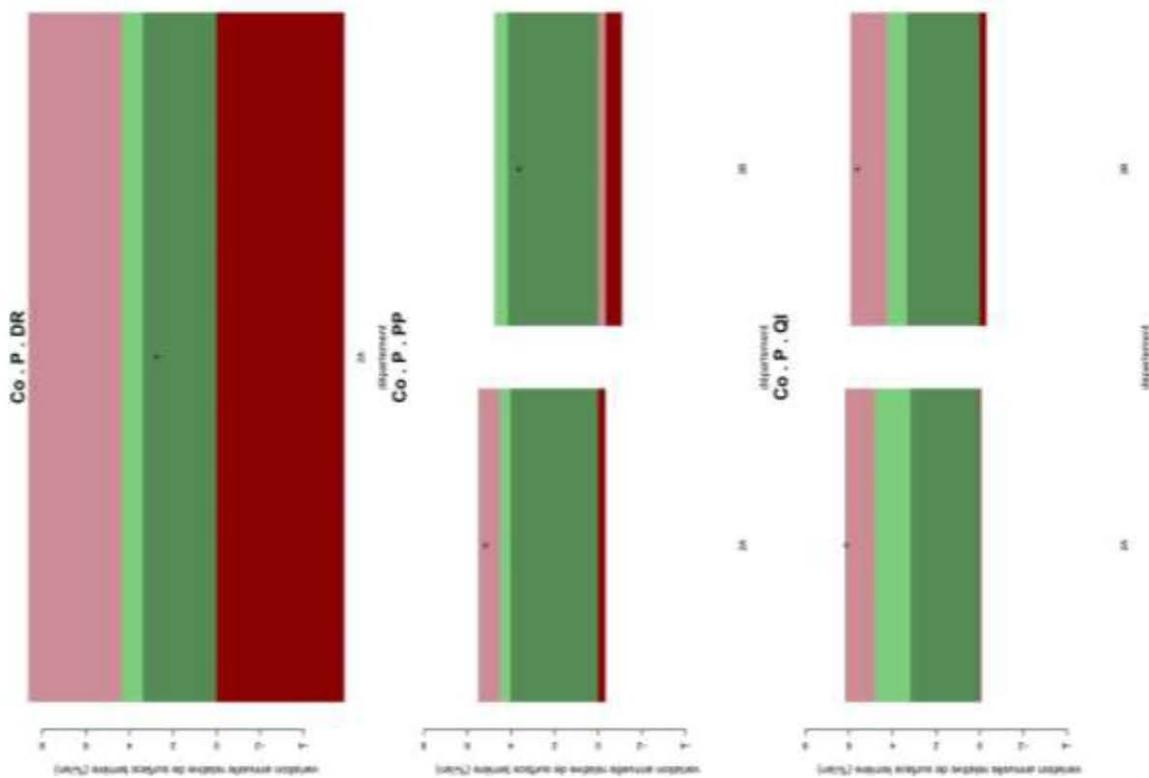
Co . C . DR

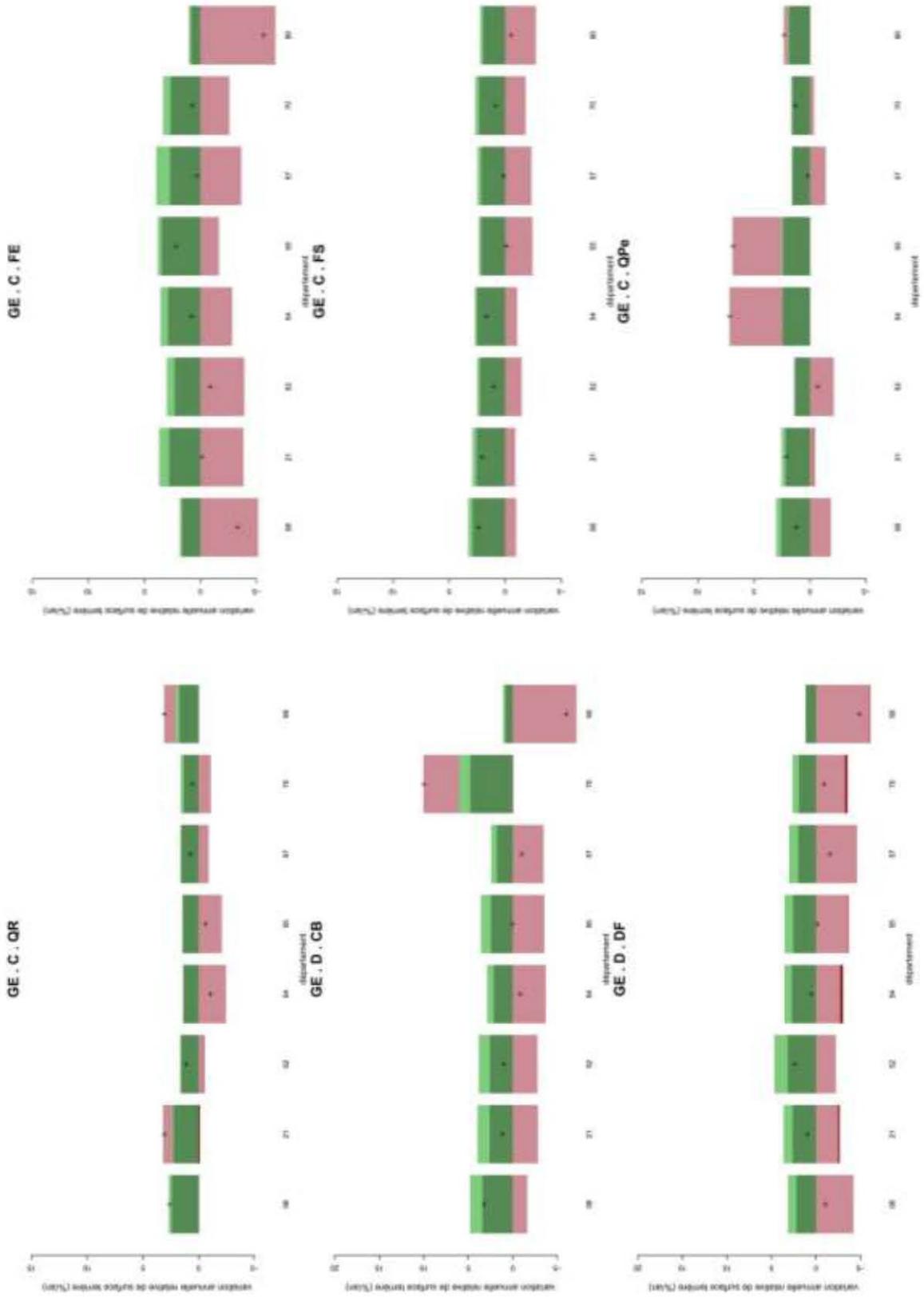


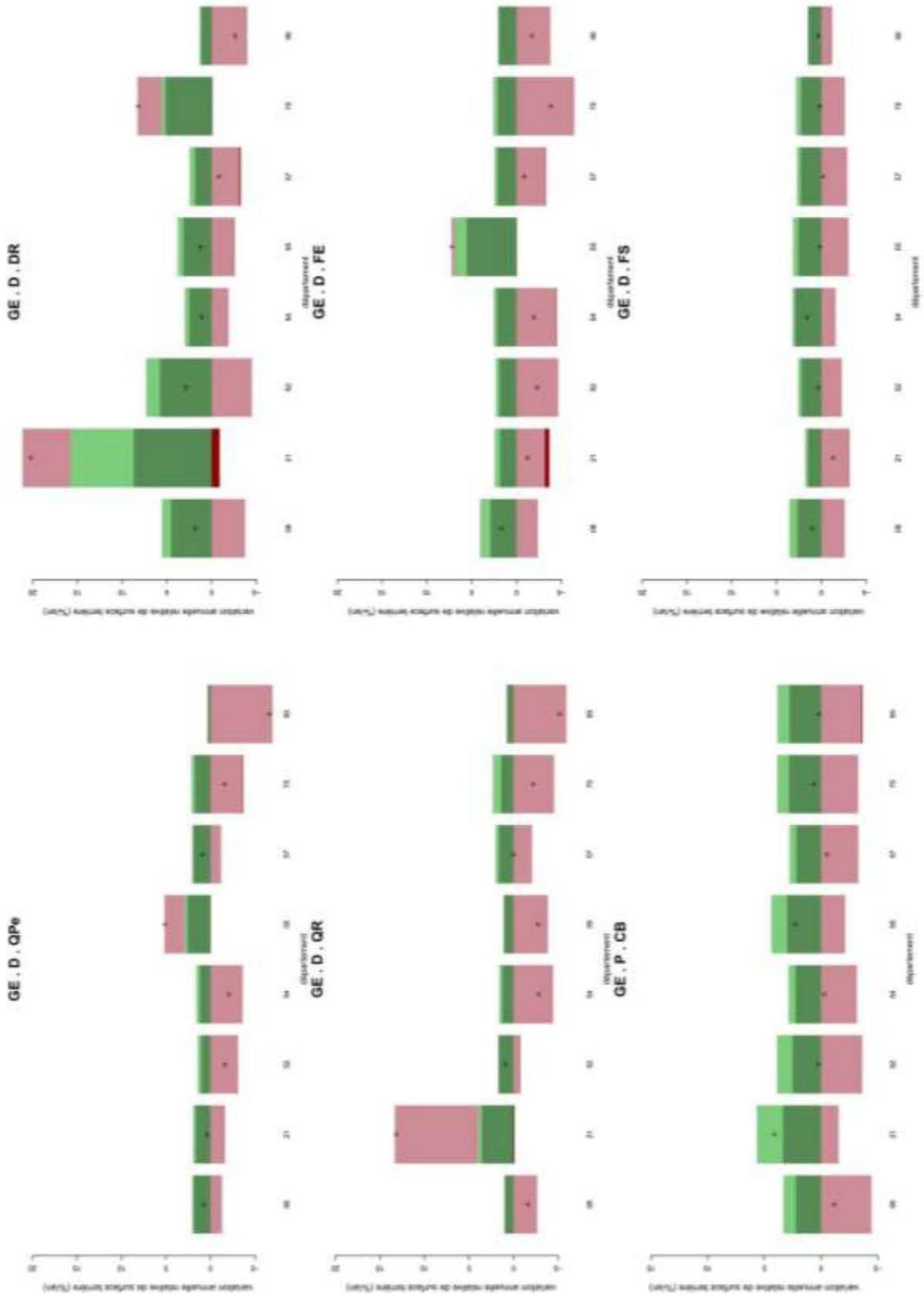
Co . C . pp

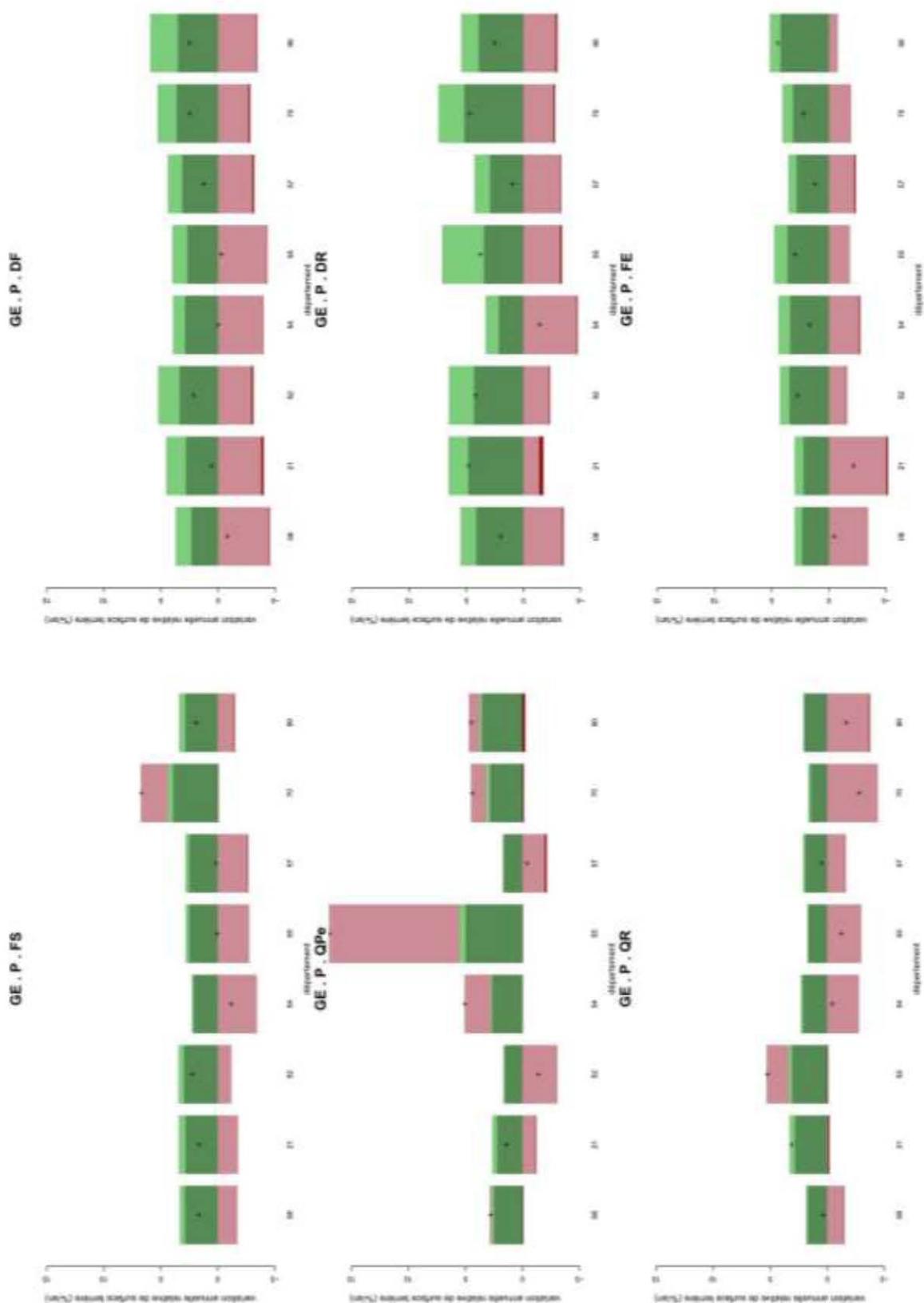


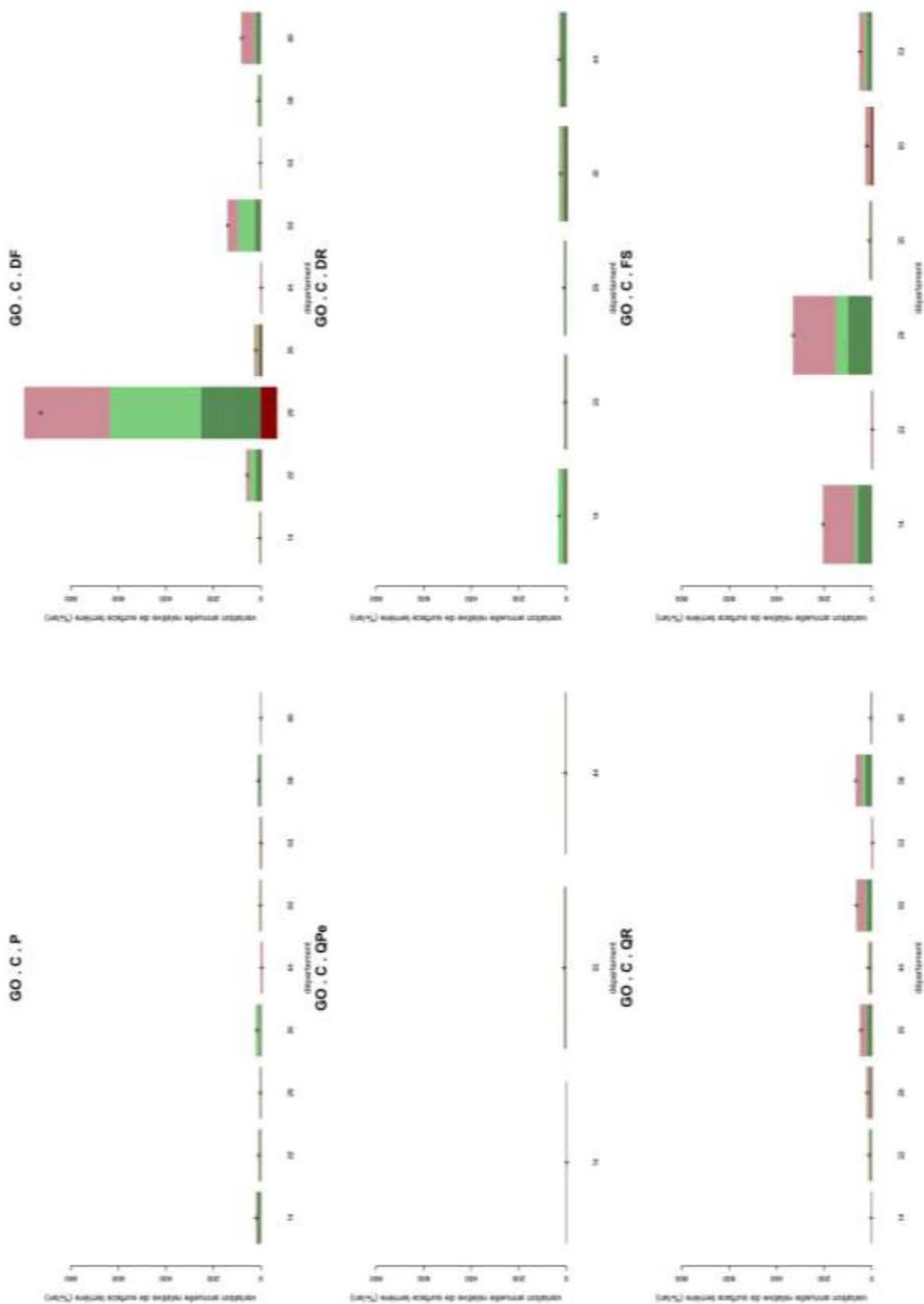












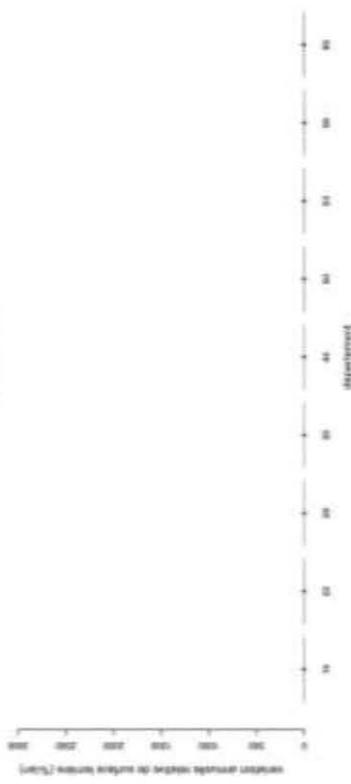
GO . D . DF



GO . D . DR



GO . D . FS



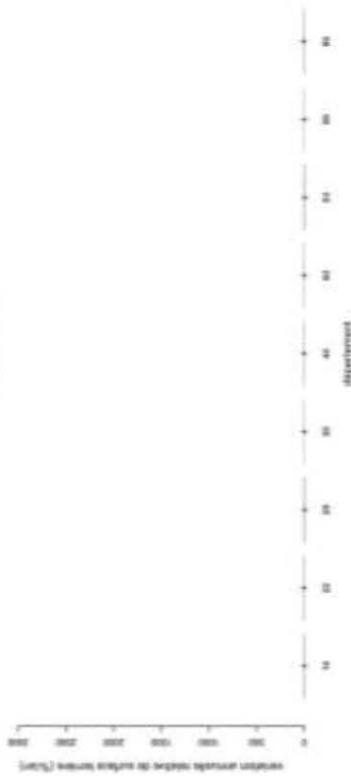
GO . D . P



GO . D . QPe



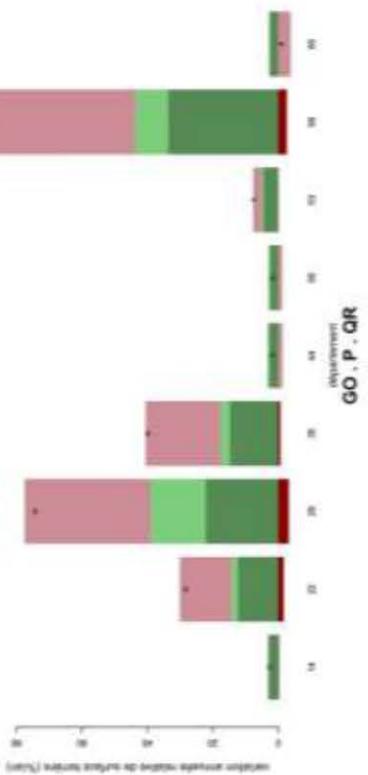
GO . D . QR

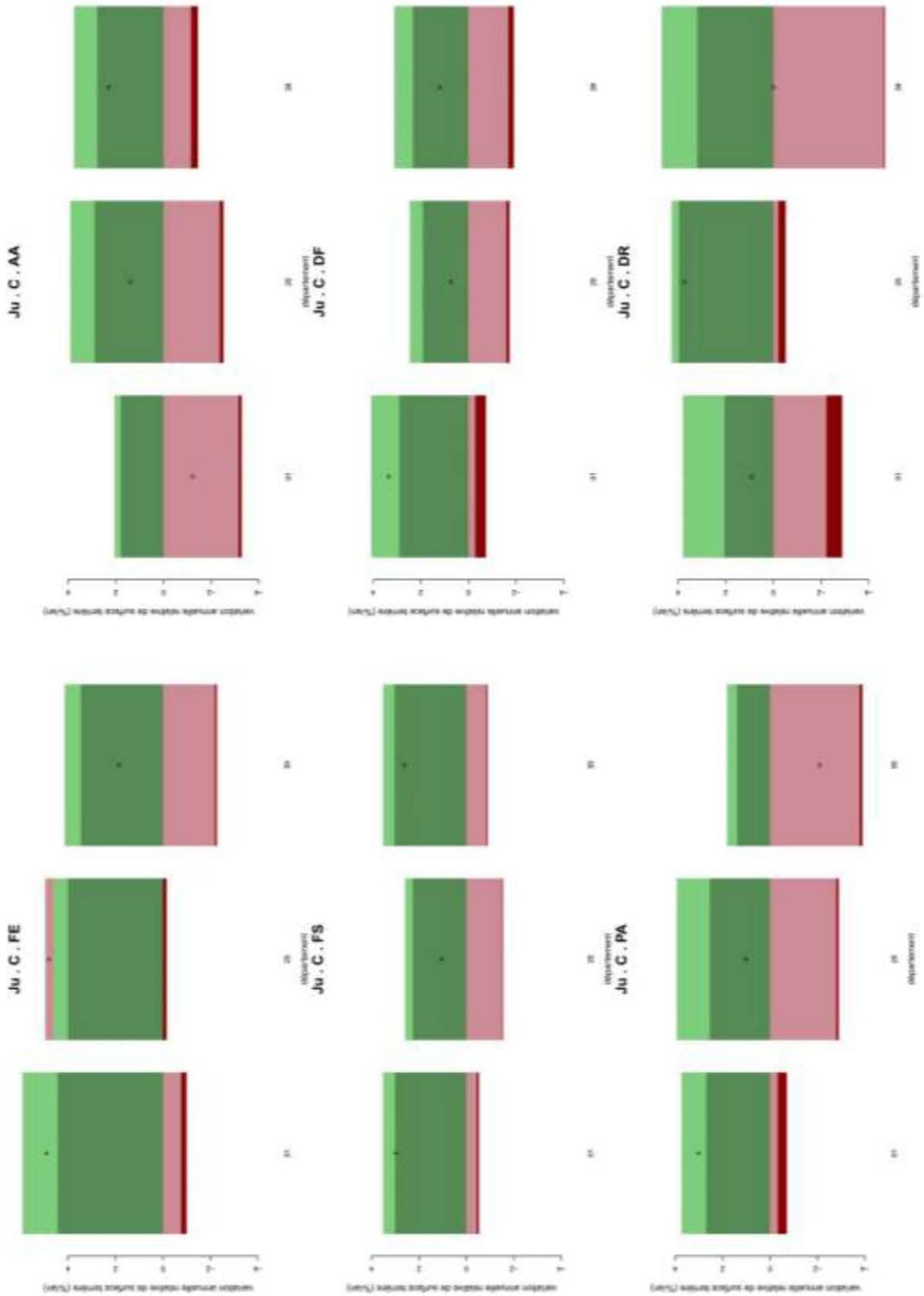


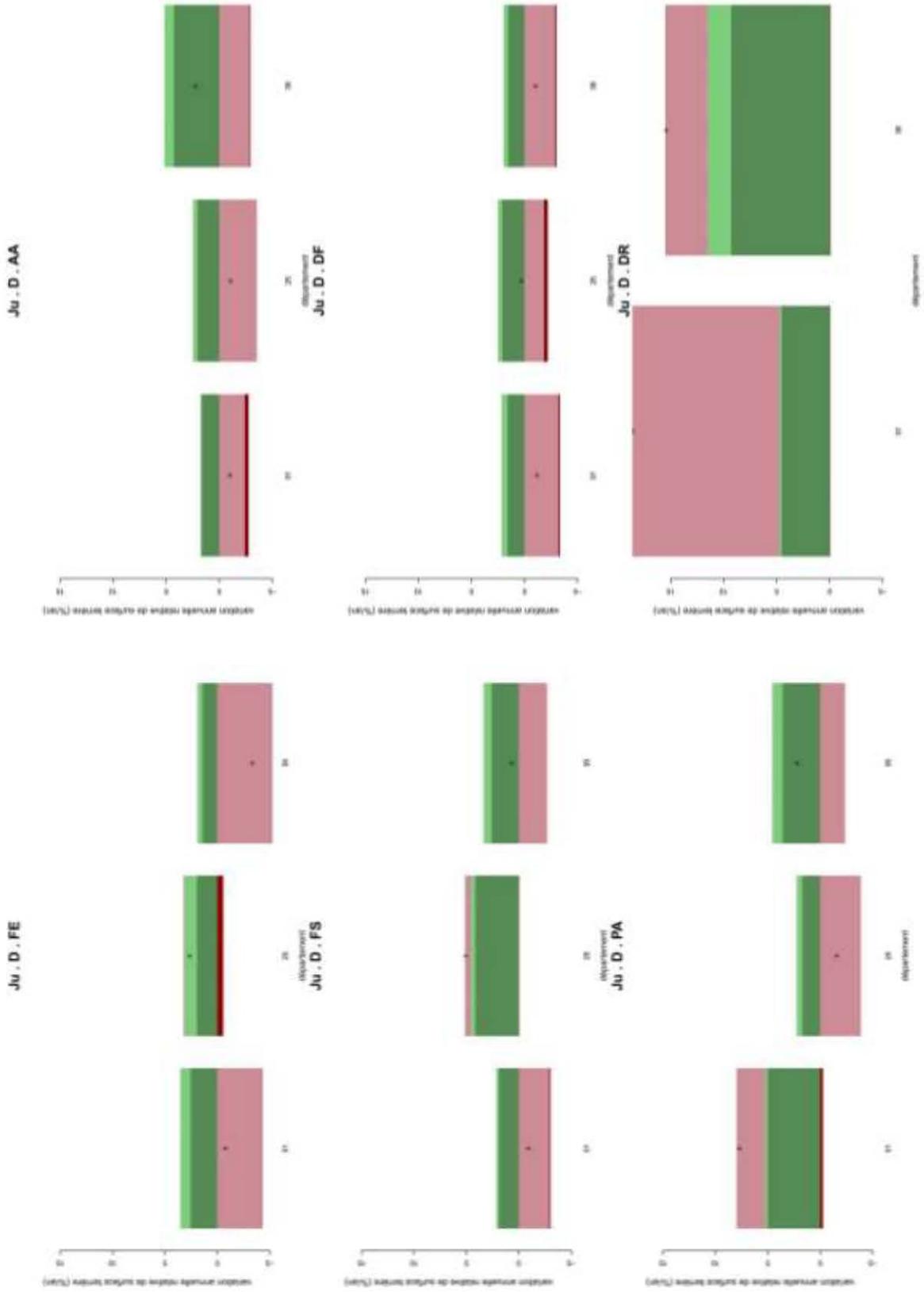
GO . P . DF



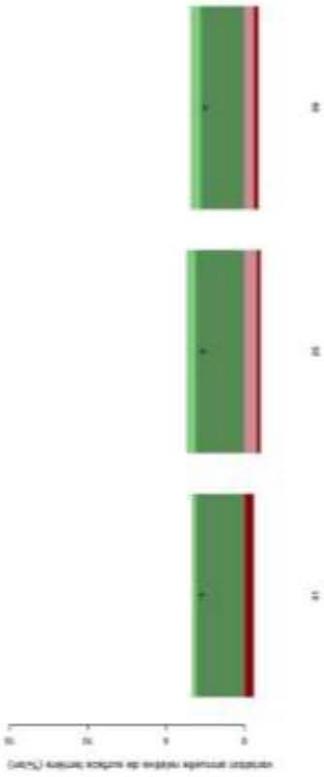
GO . P . P



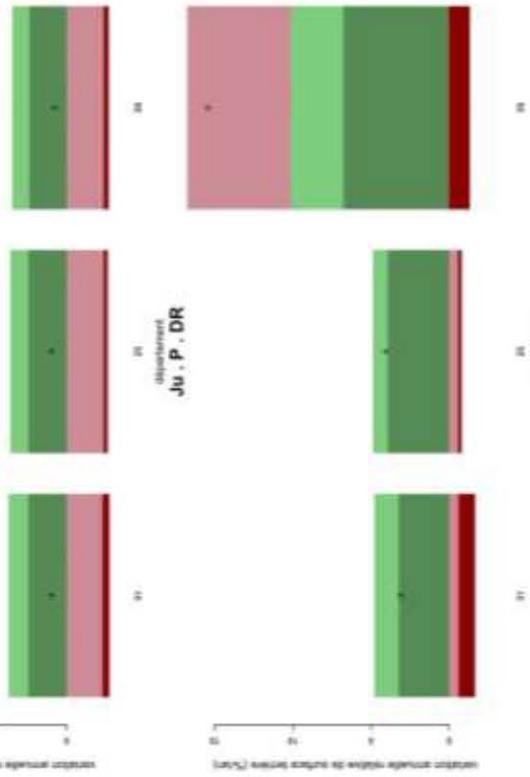




Ju . P . AA

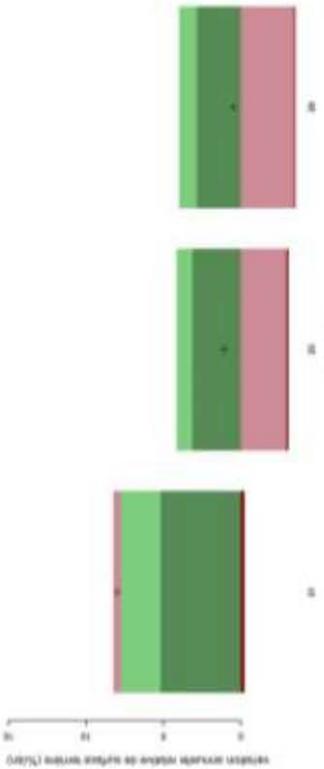


01
02
03
autres produits relatifs de surface hersee (%)

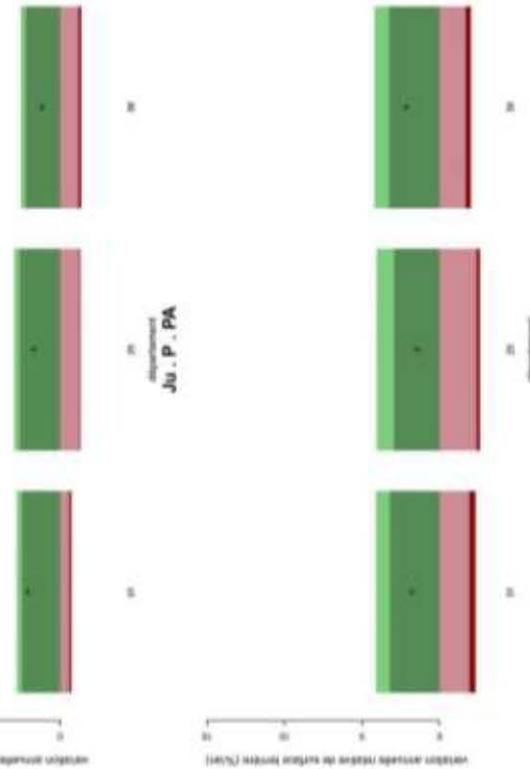


01
02
03
autres produits relatifs de surface hersee (%)

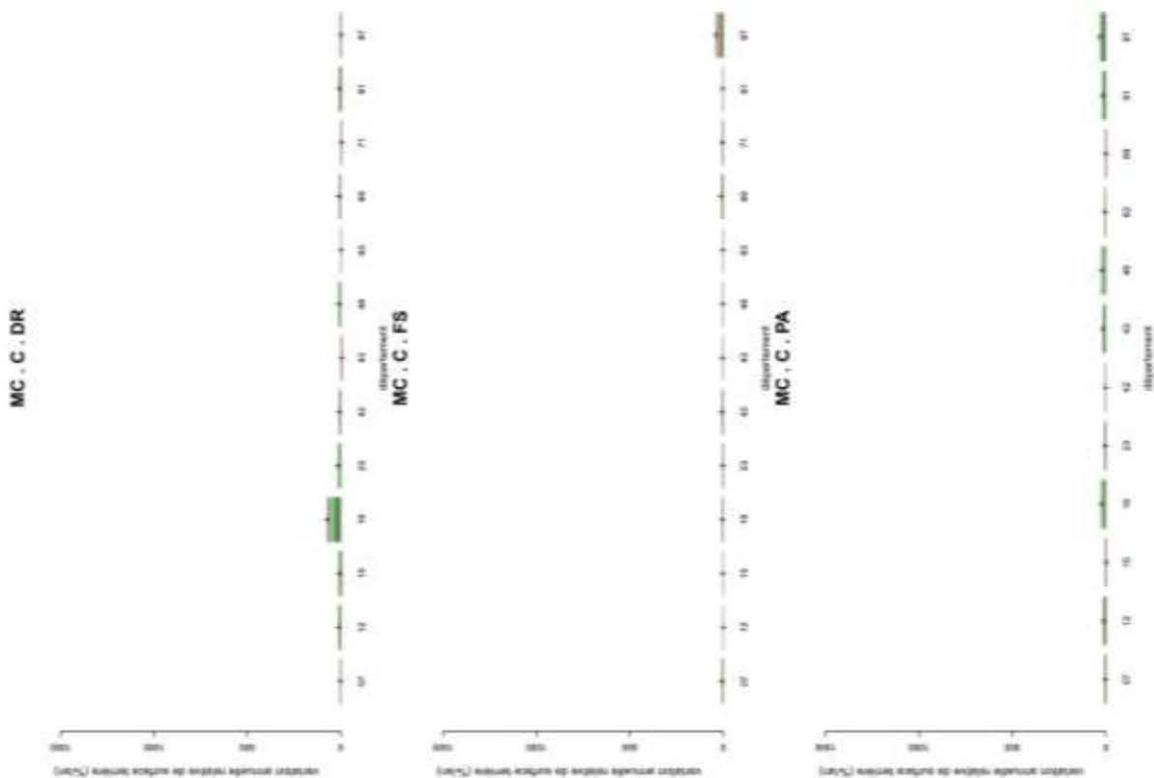
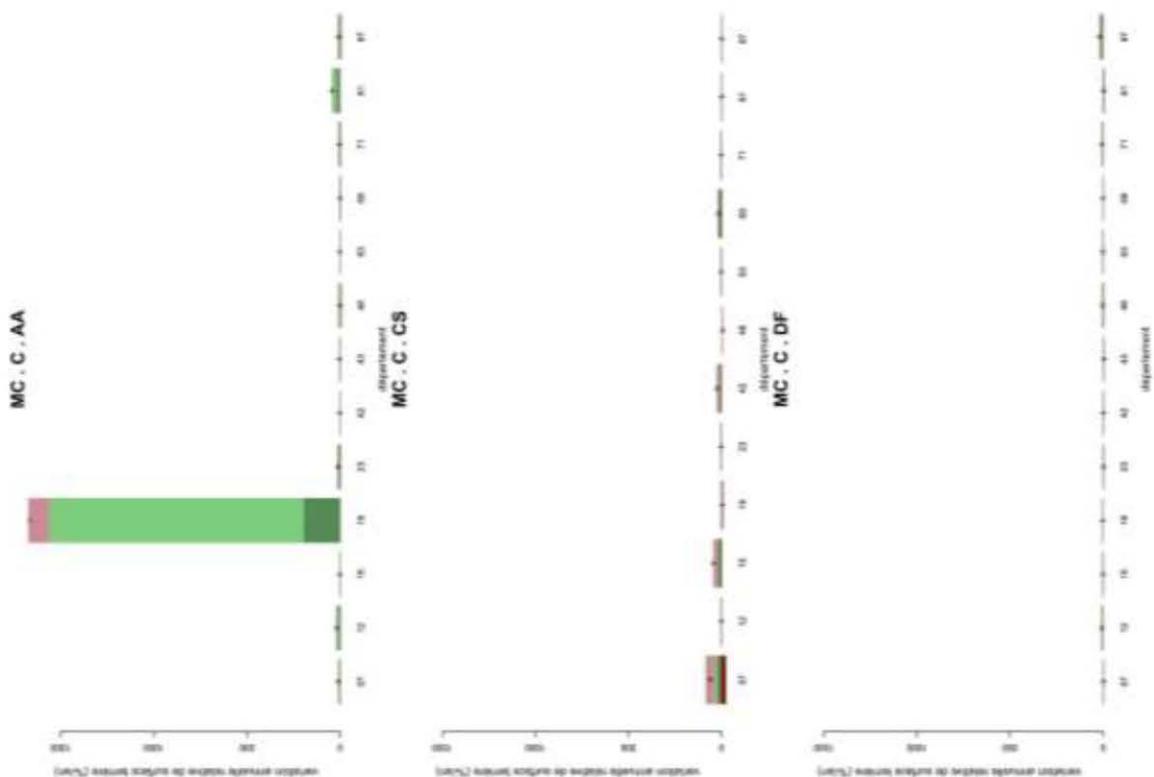
Ju . P . FE

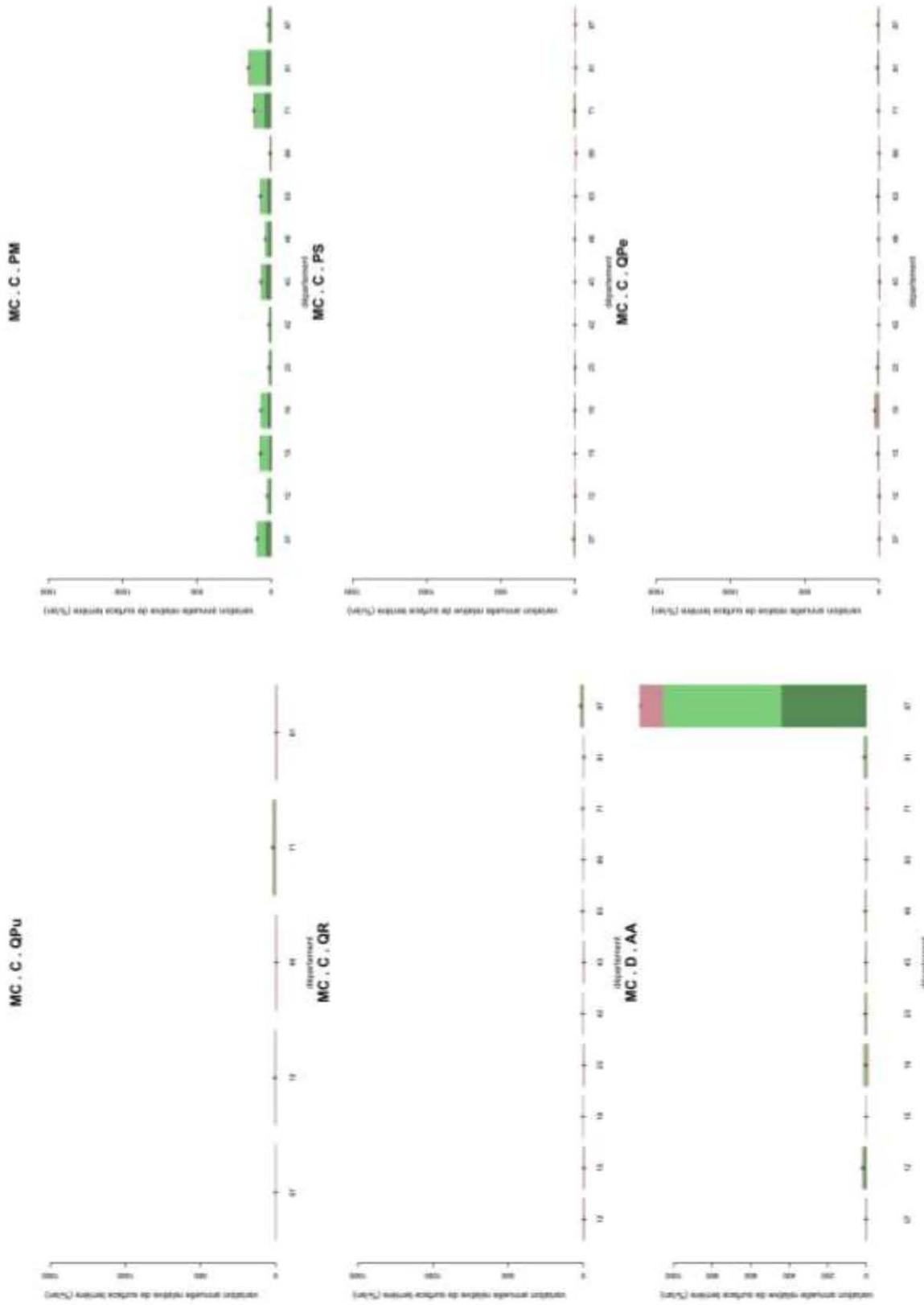


01
02
03
autres produits relatifs de surface hersee (%)

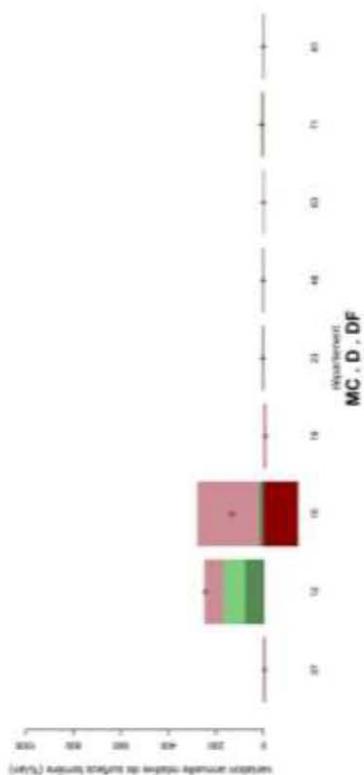


01
02
03
autres produits relatifs de surface hersee (%)





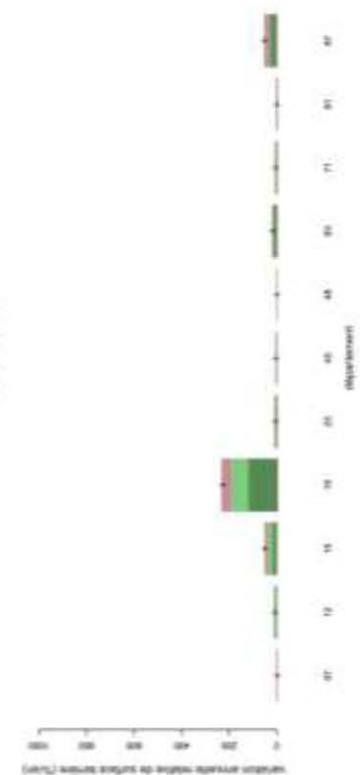
MC . D . CS



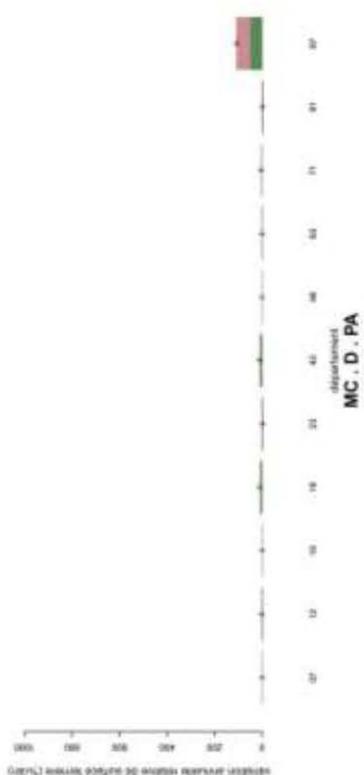
MC . D . DF



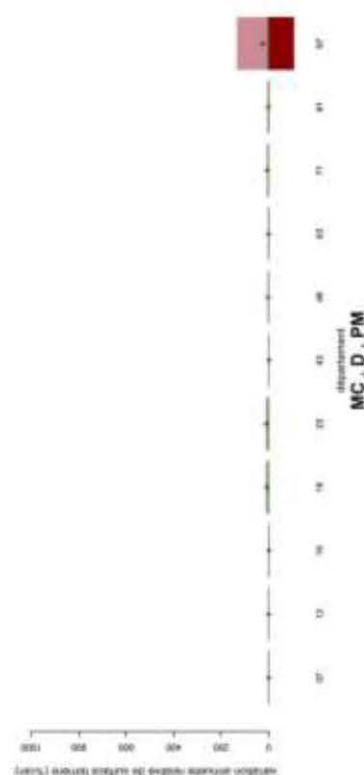
MC . D . DR



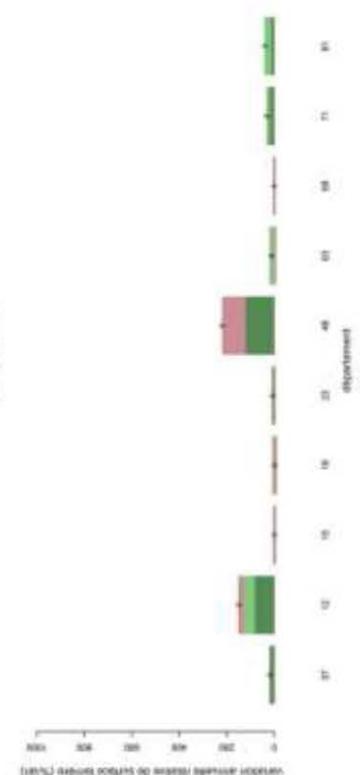
MC . D . FS



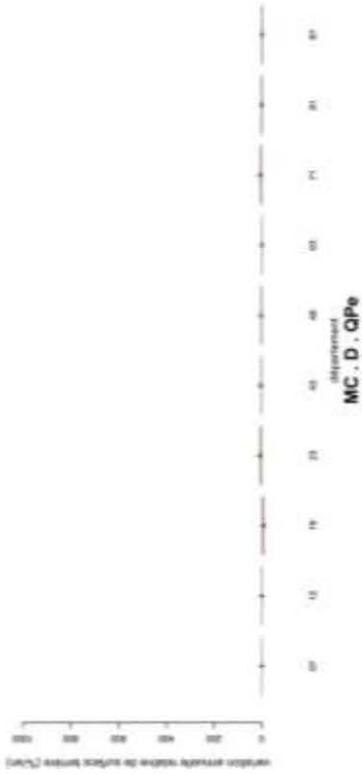
MC . D . PA



MC . D . PM

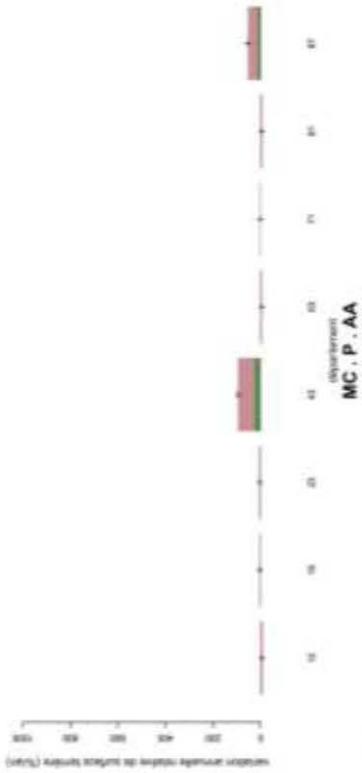


MC . D . PS



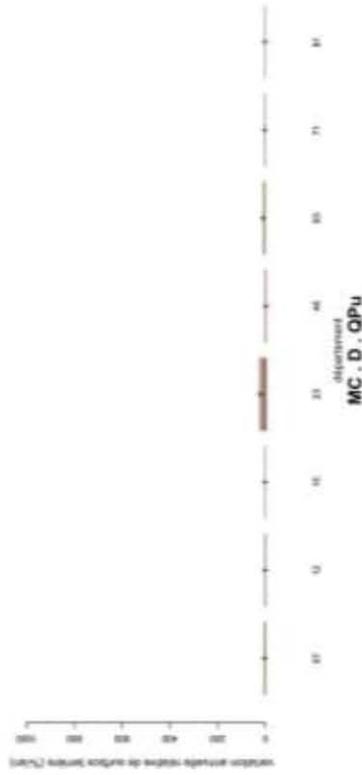
nombre actif de juges (en milliers)

MC . D . QR



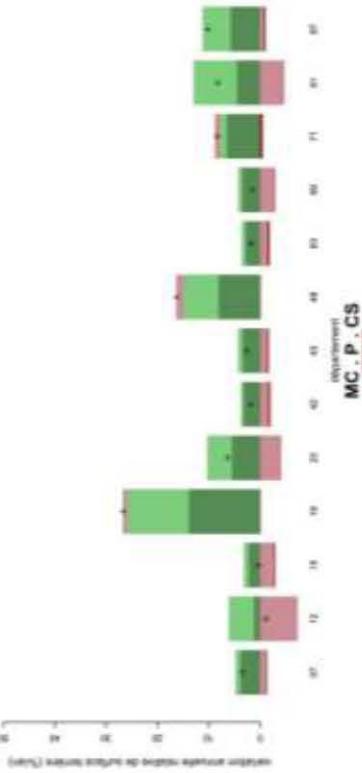
nombre actif de juges (en milliers)

MC . D . QPe



nombre actif de juges (en milliers)

MC . P . AA



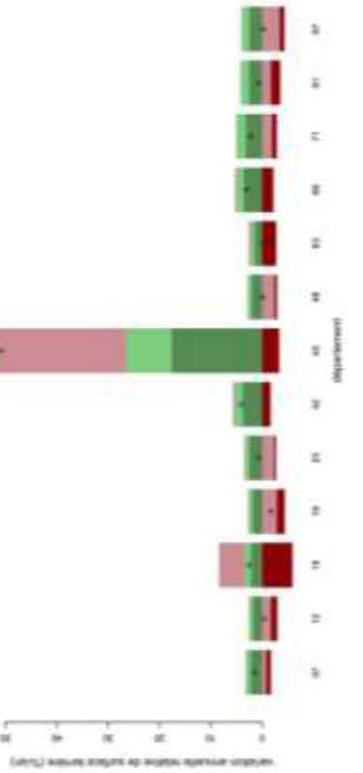
nombre actif de juges (en milliers)

MC . D . QPu

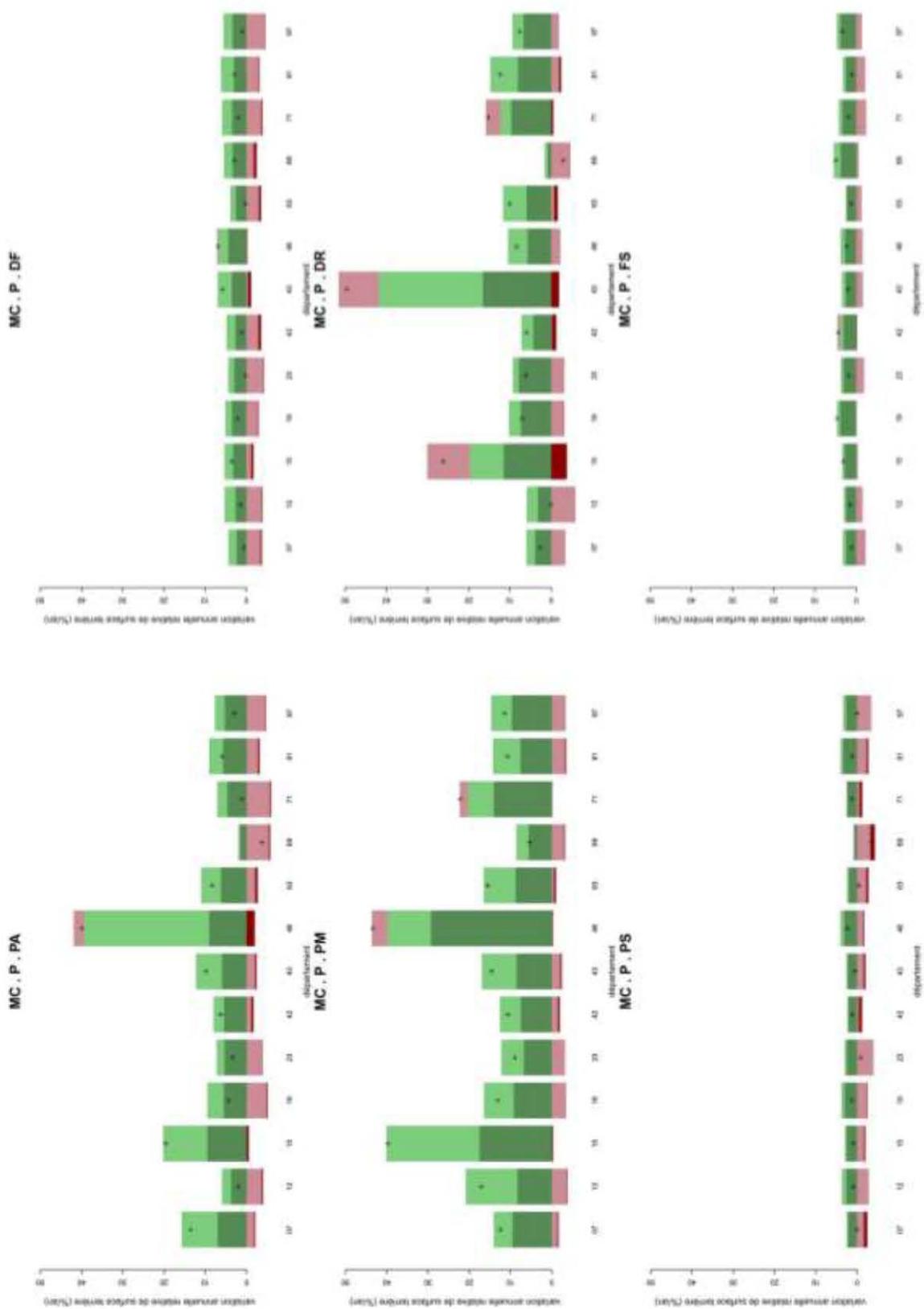


nombre actif de juges (en milliers)

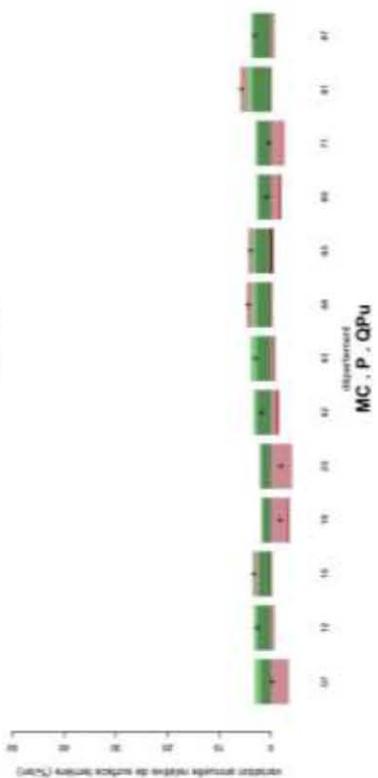
MC . P . CS



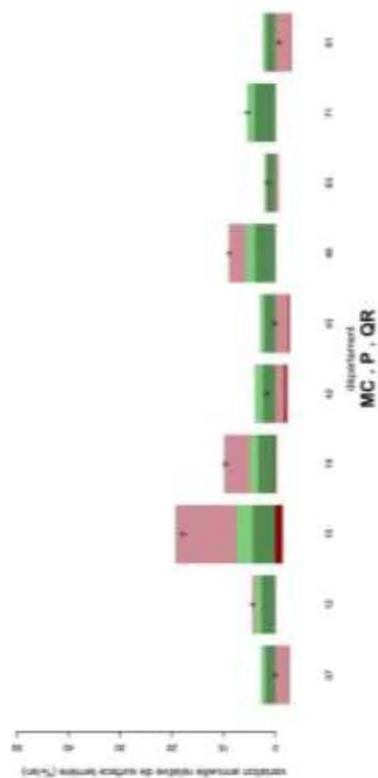
nombre actif de juges (en milliers)



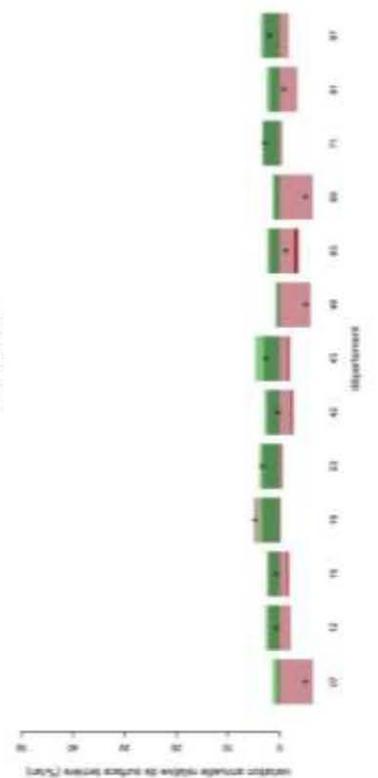
MC . P . QPe



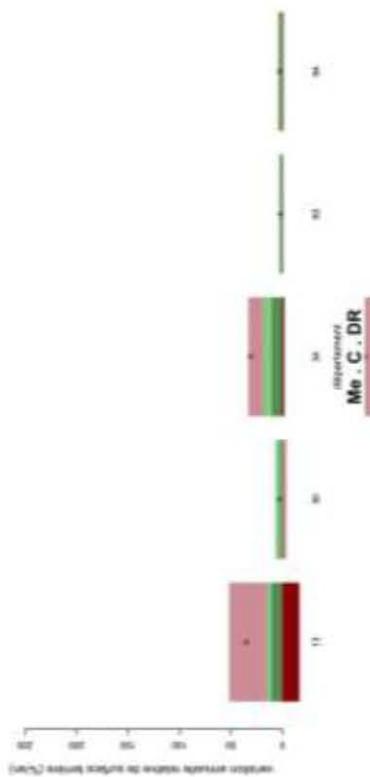
MC . P . QPu



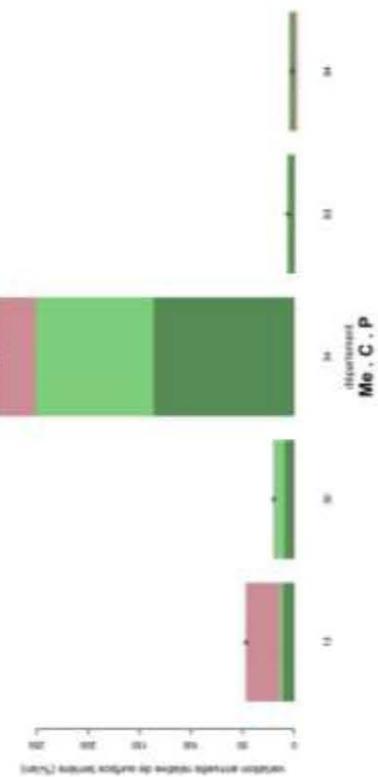
MC . P . QR



Me . C . DF

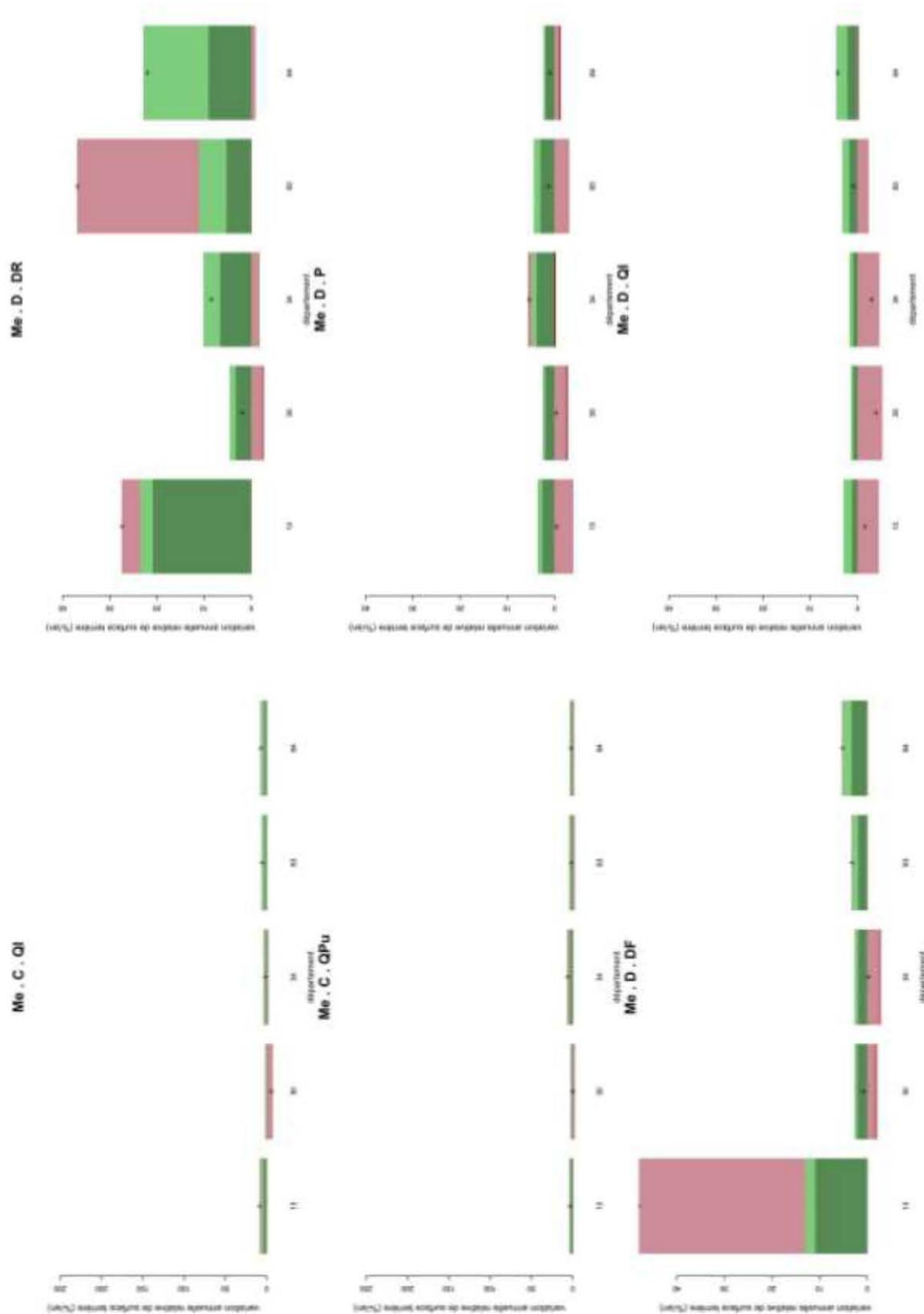


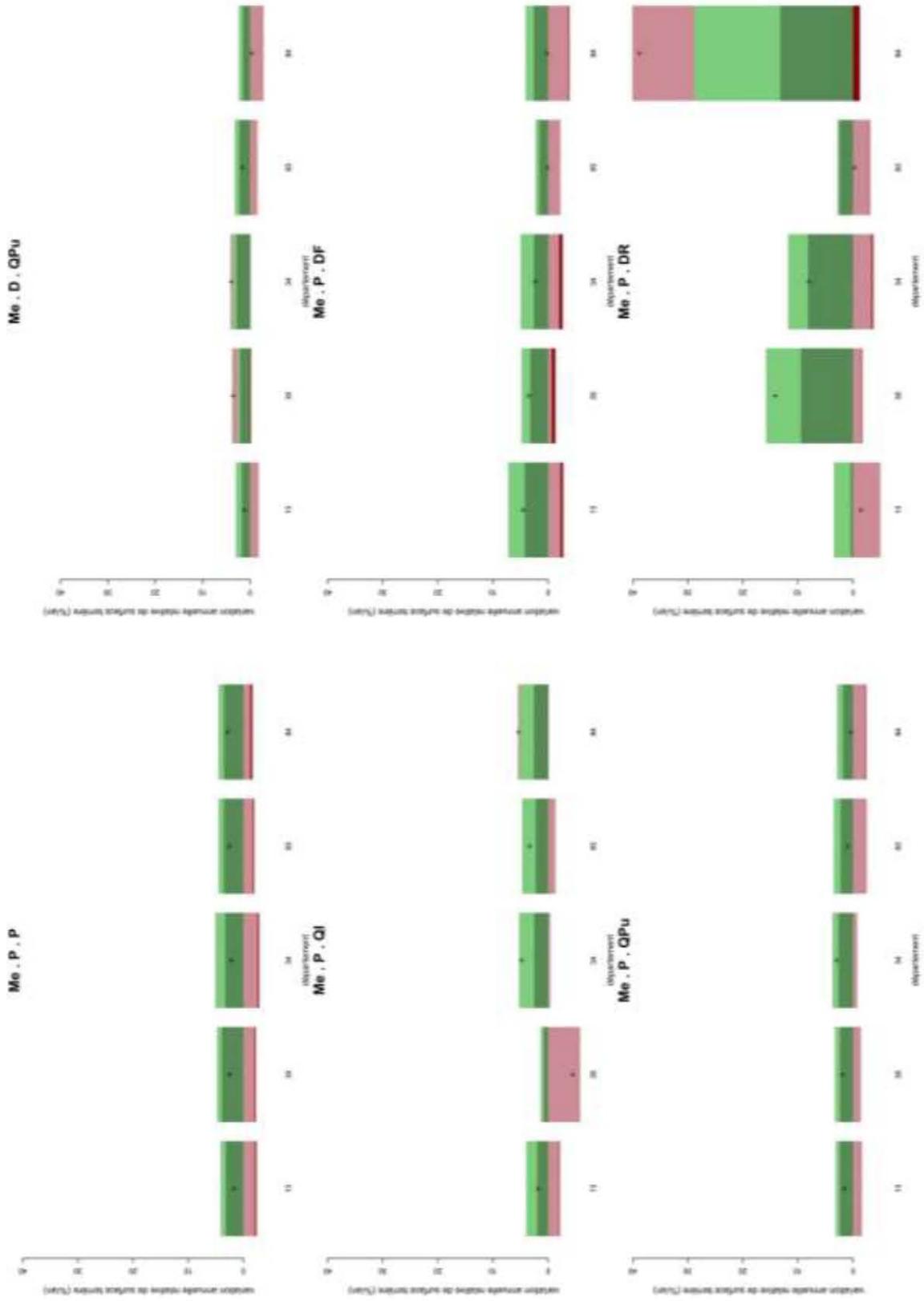
Me . C . DR



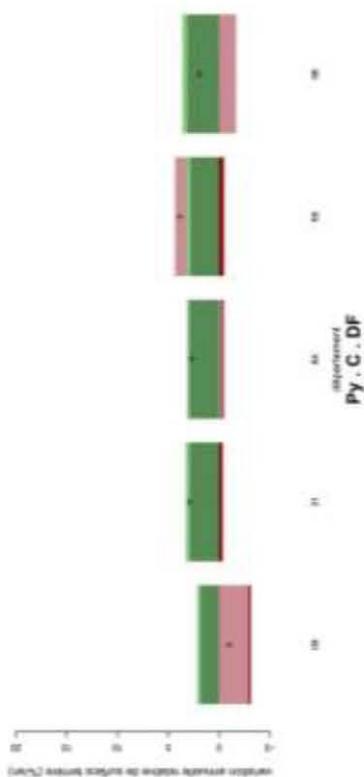
Me . C . P



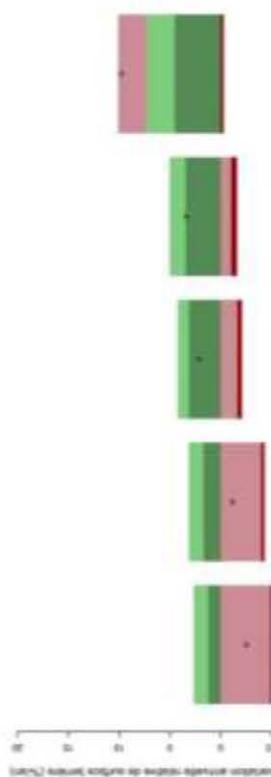




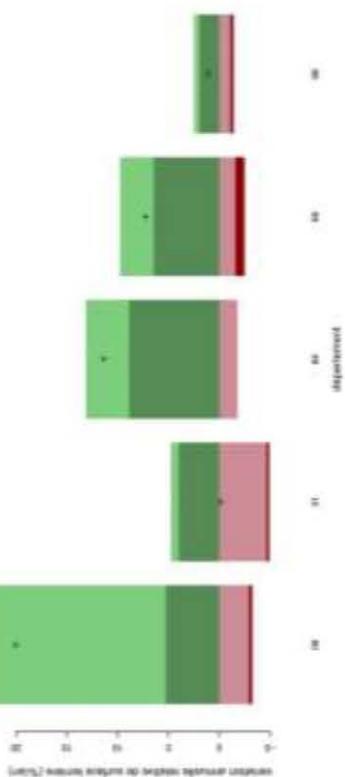
Py . C . AA



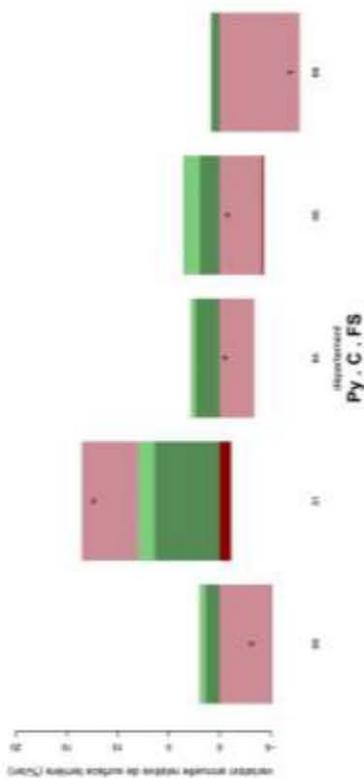
Py . C . DF



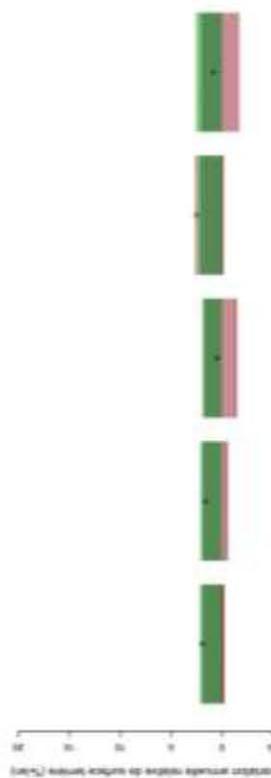
Py . C . DR



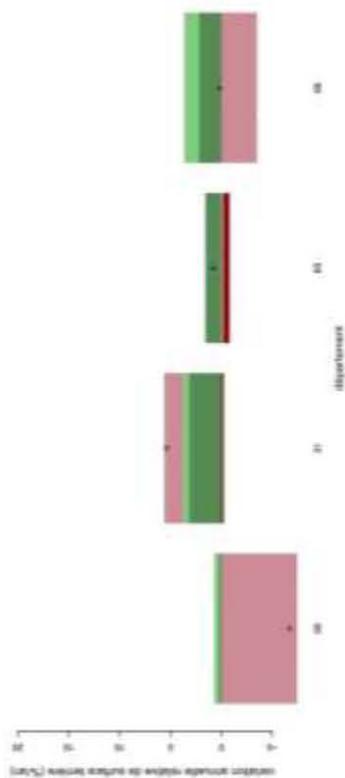
Py . C . FE

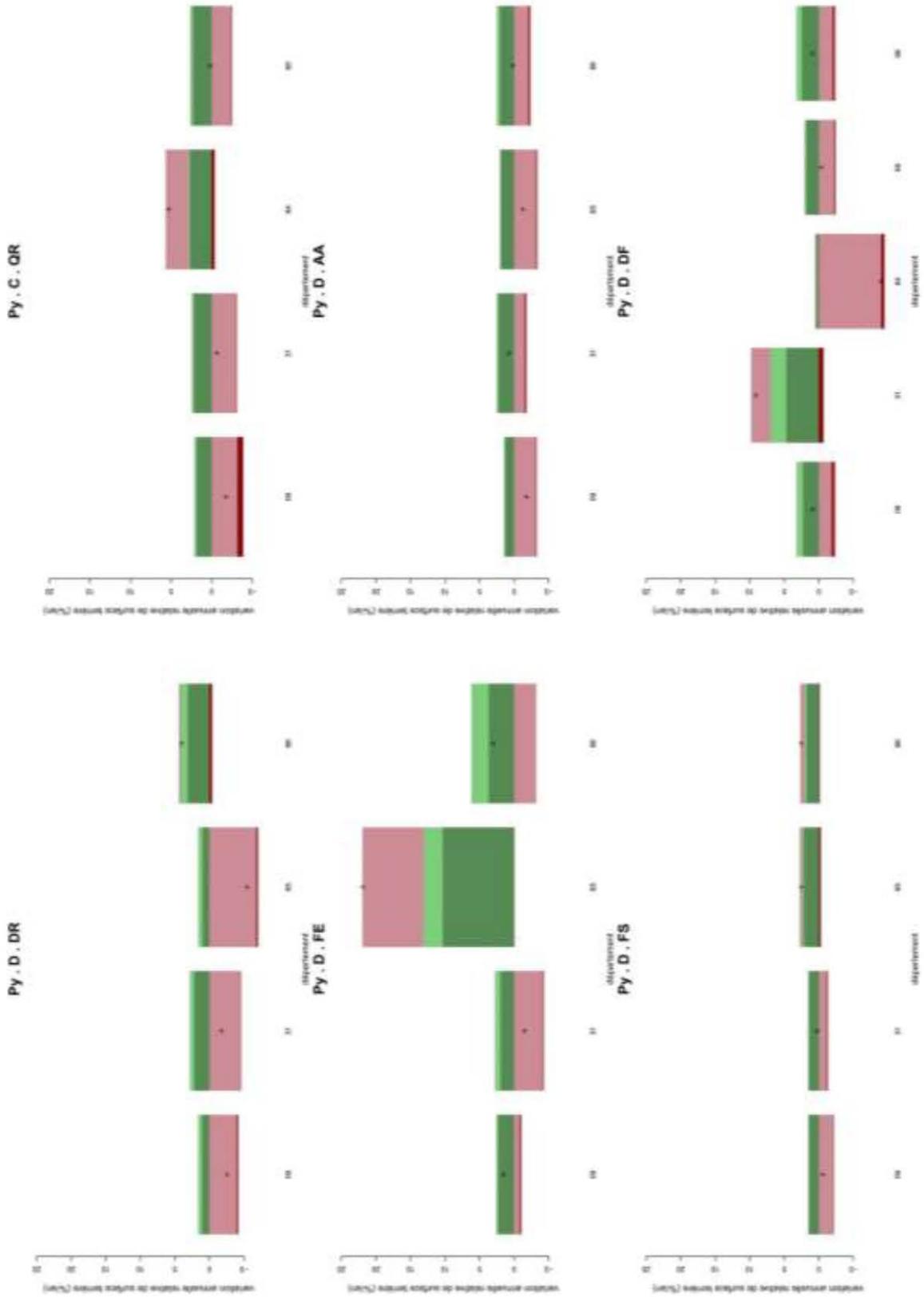


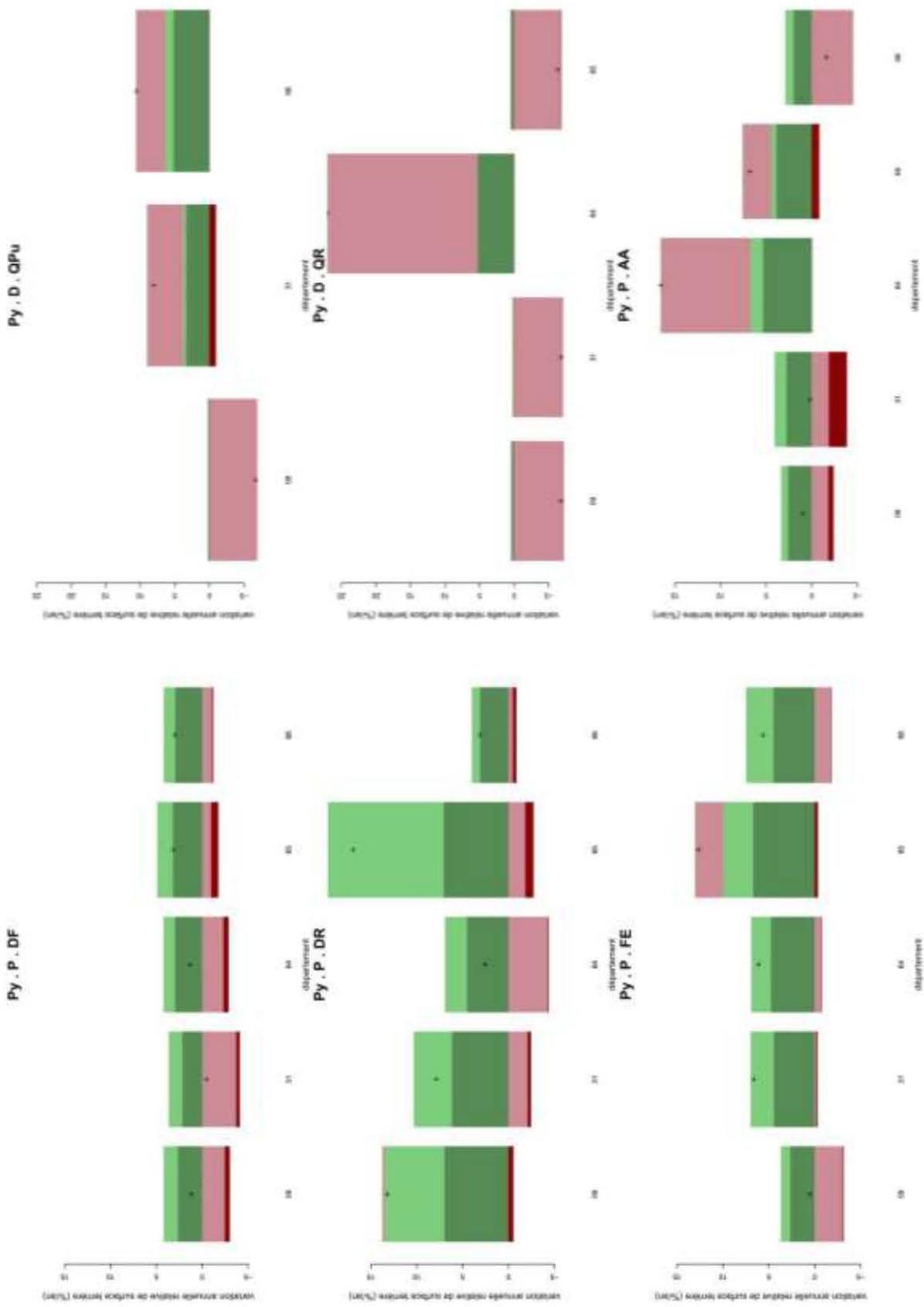
Py . C . FS

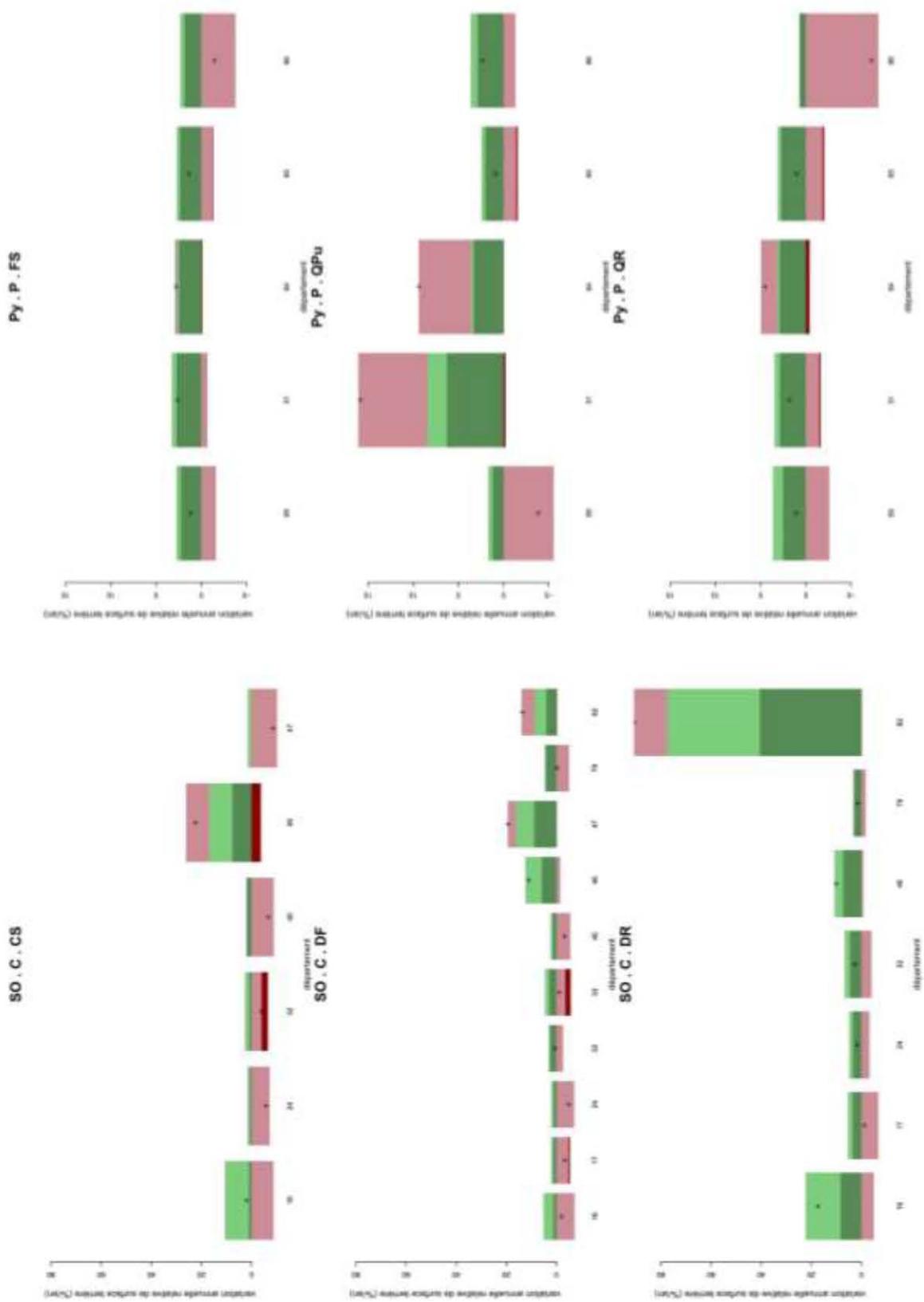


Py . C . QPu

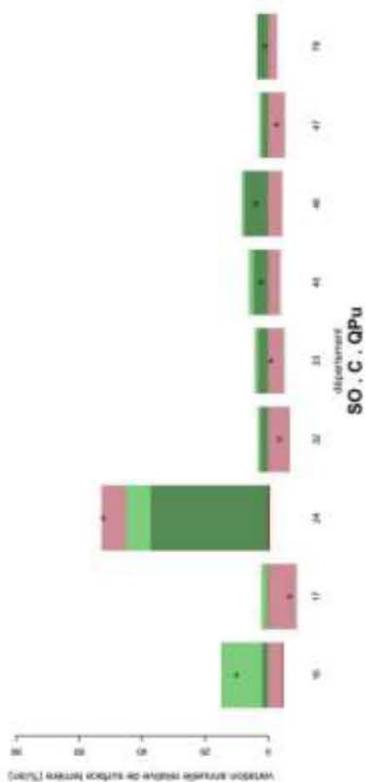




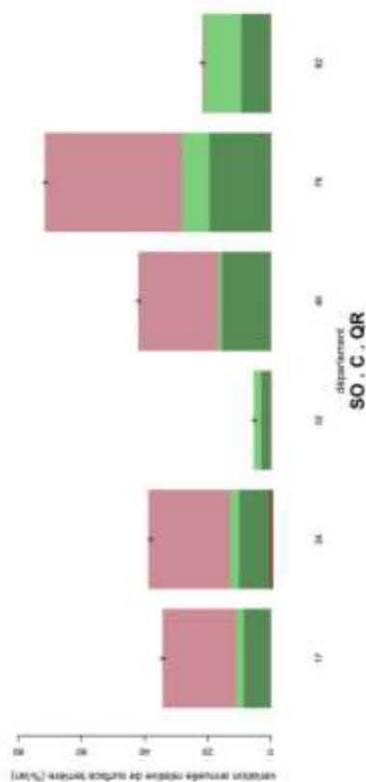




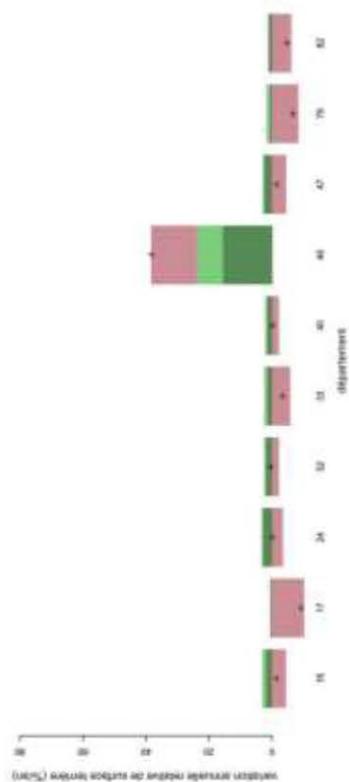
SO . C . PP



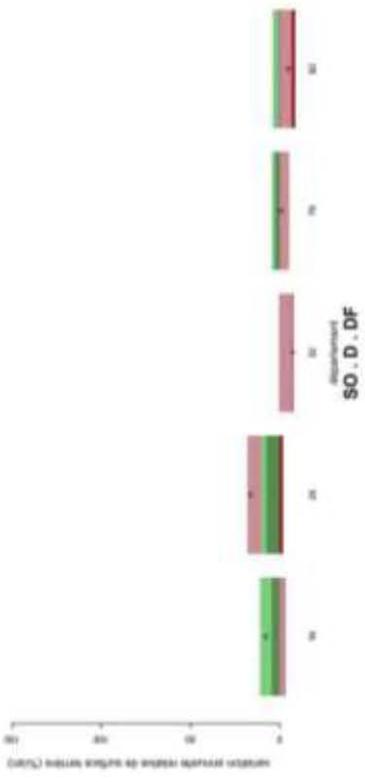
SO . C . QPu



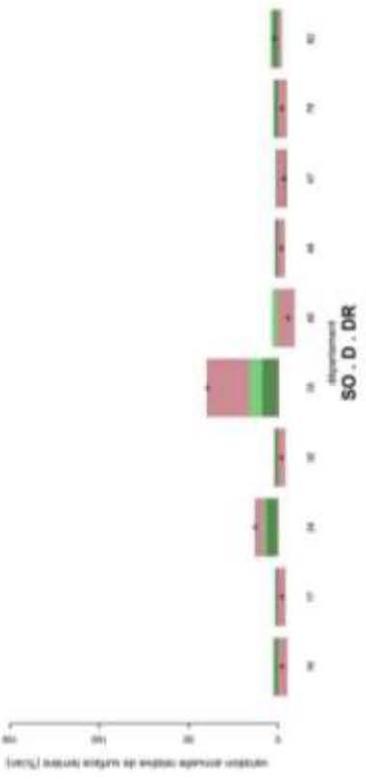
SO . C . QR



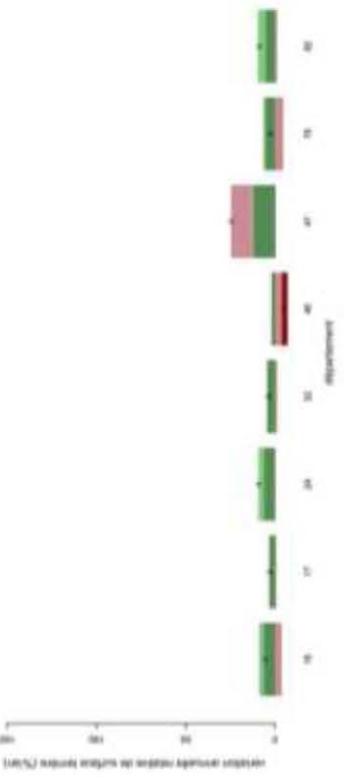
SO . D . CS

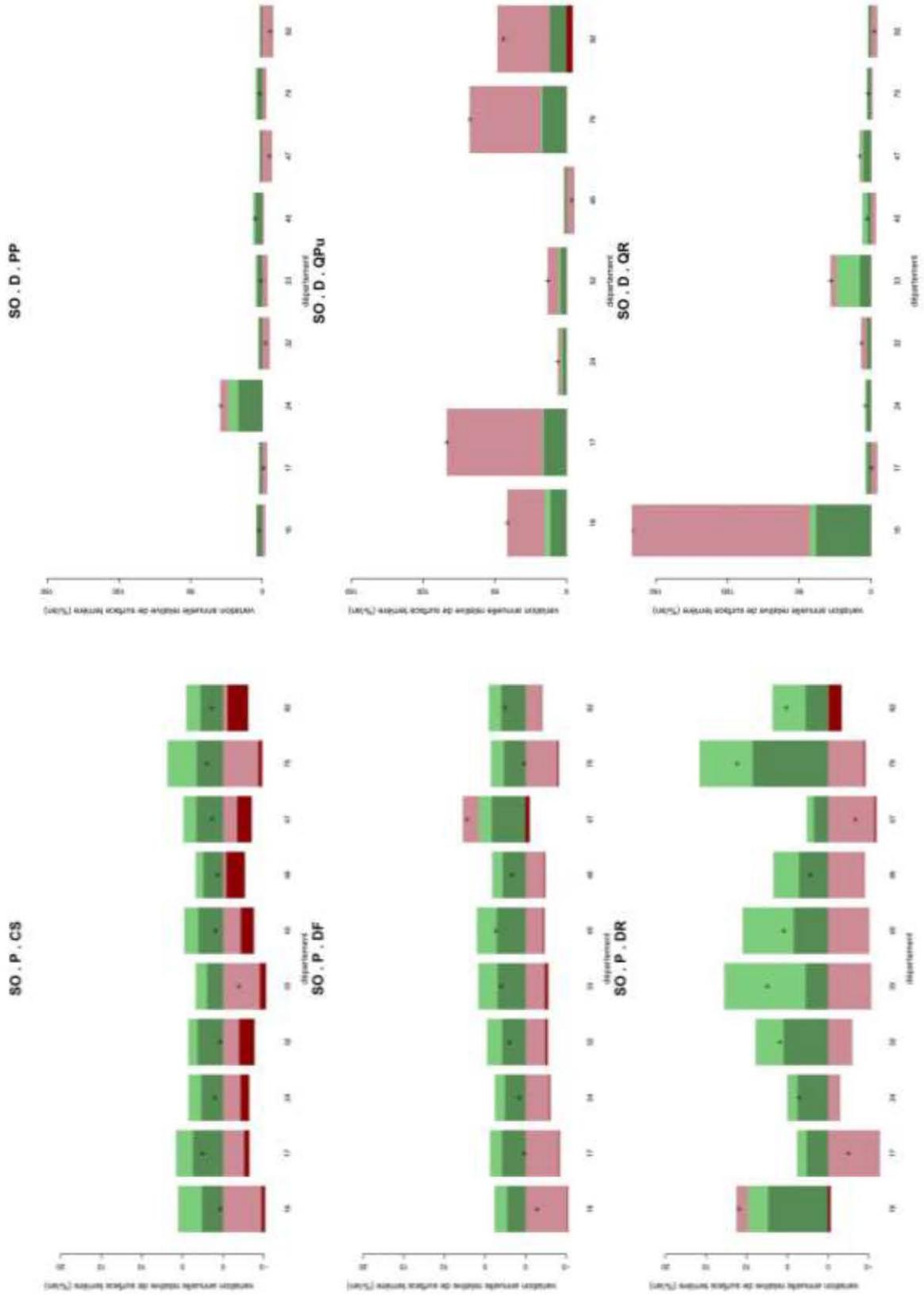


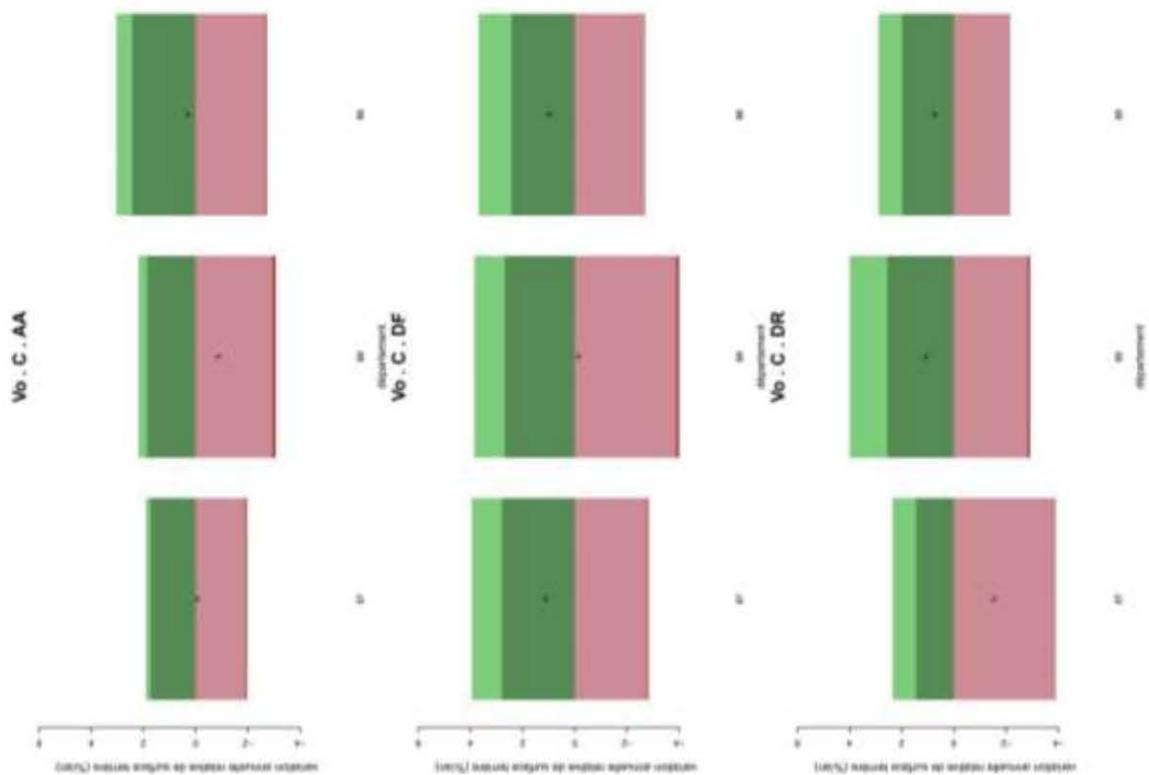
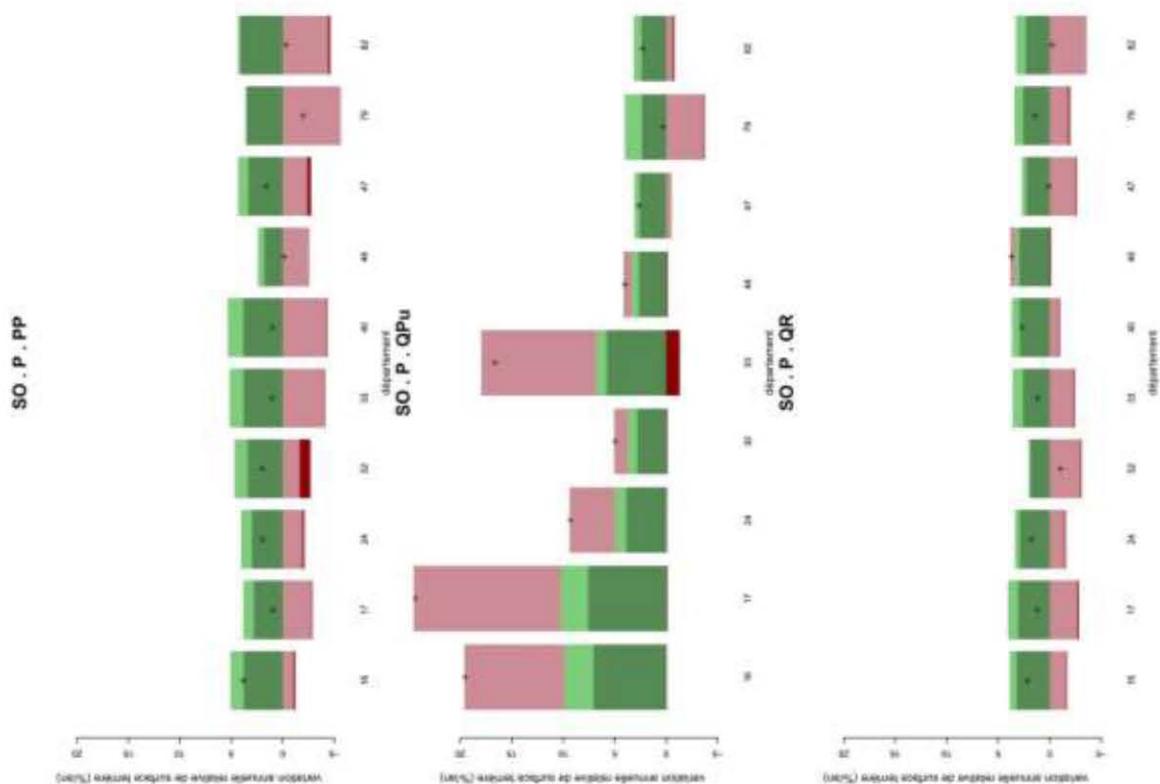
SO . D . DF

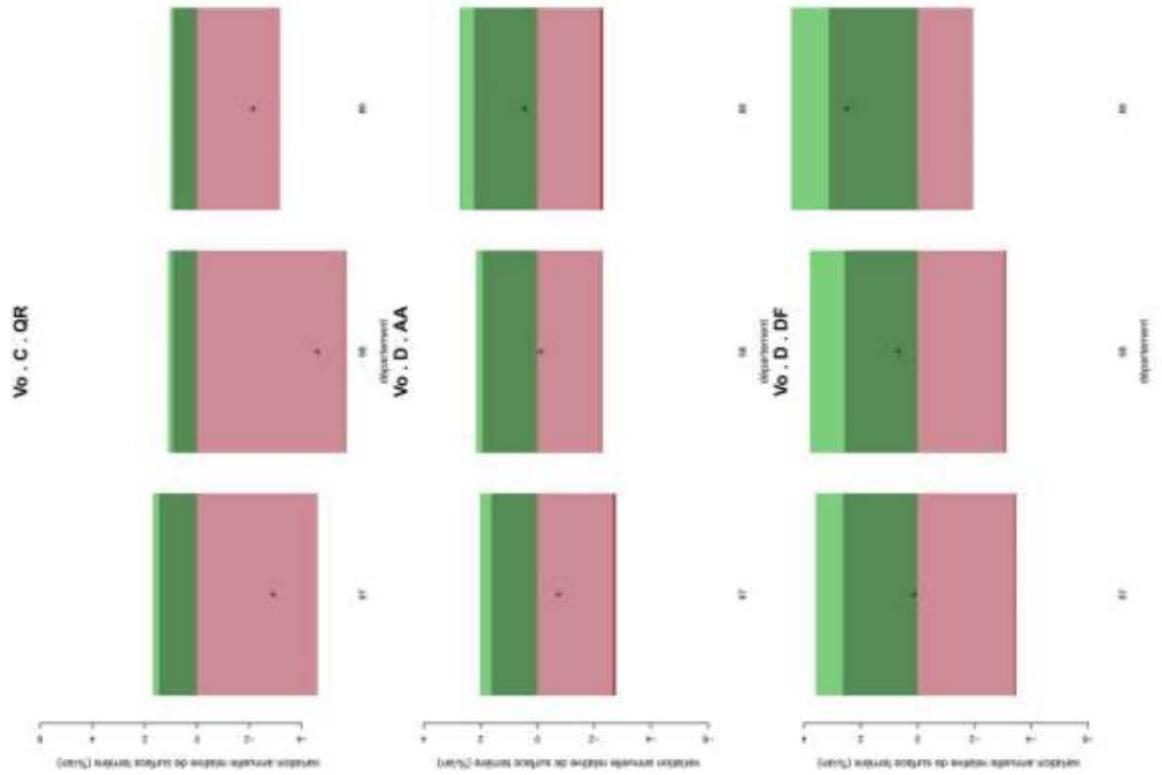
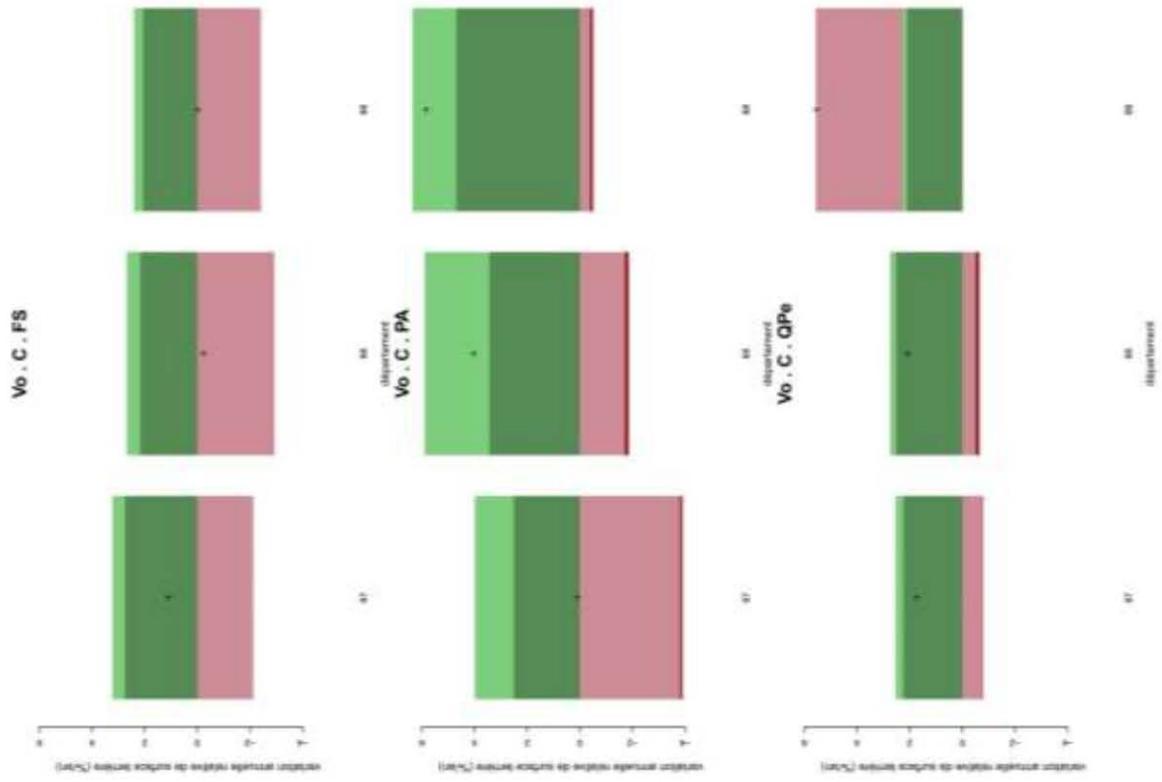


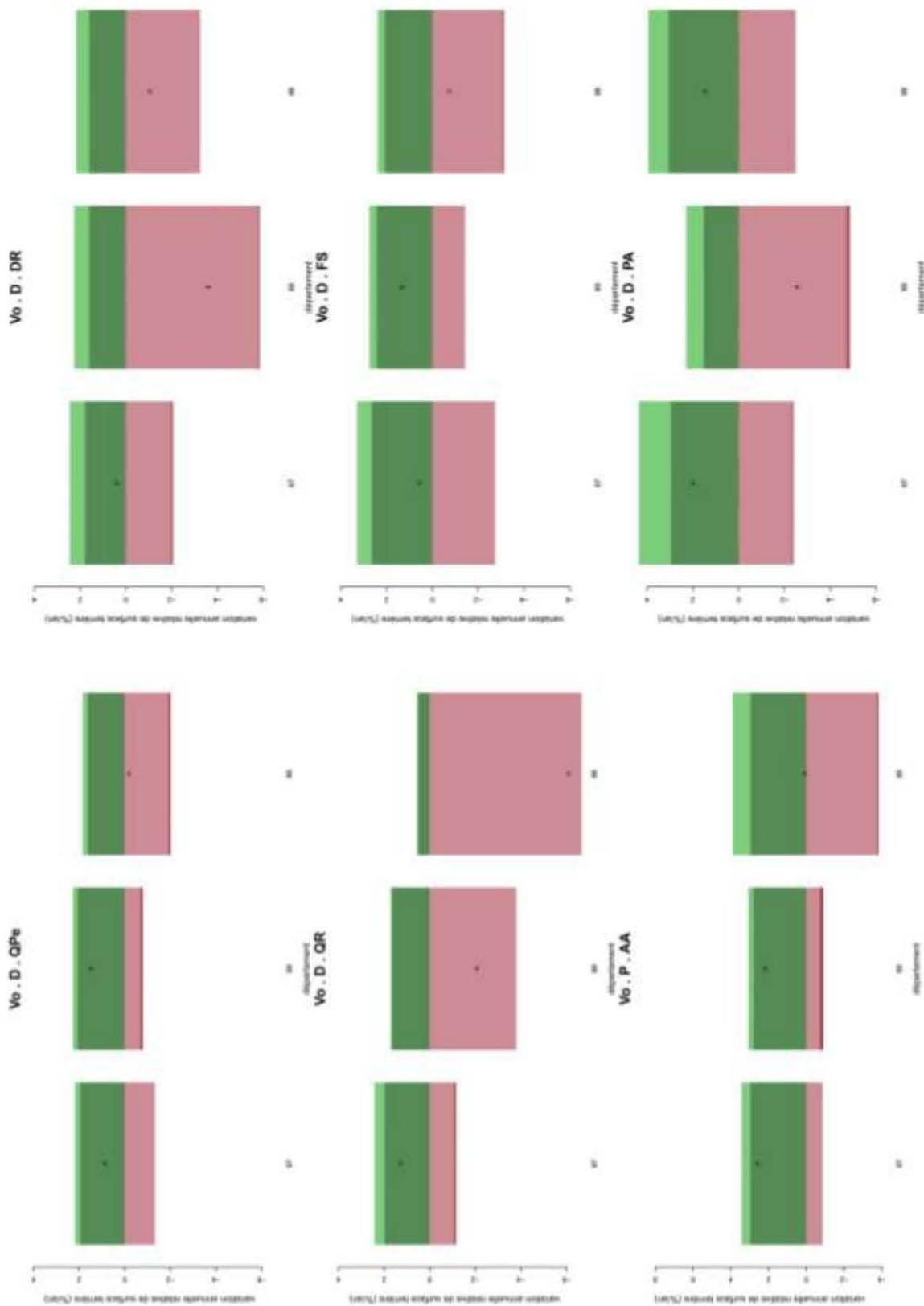
SO . D . DR



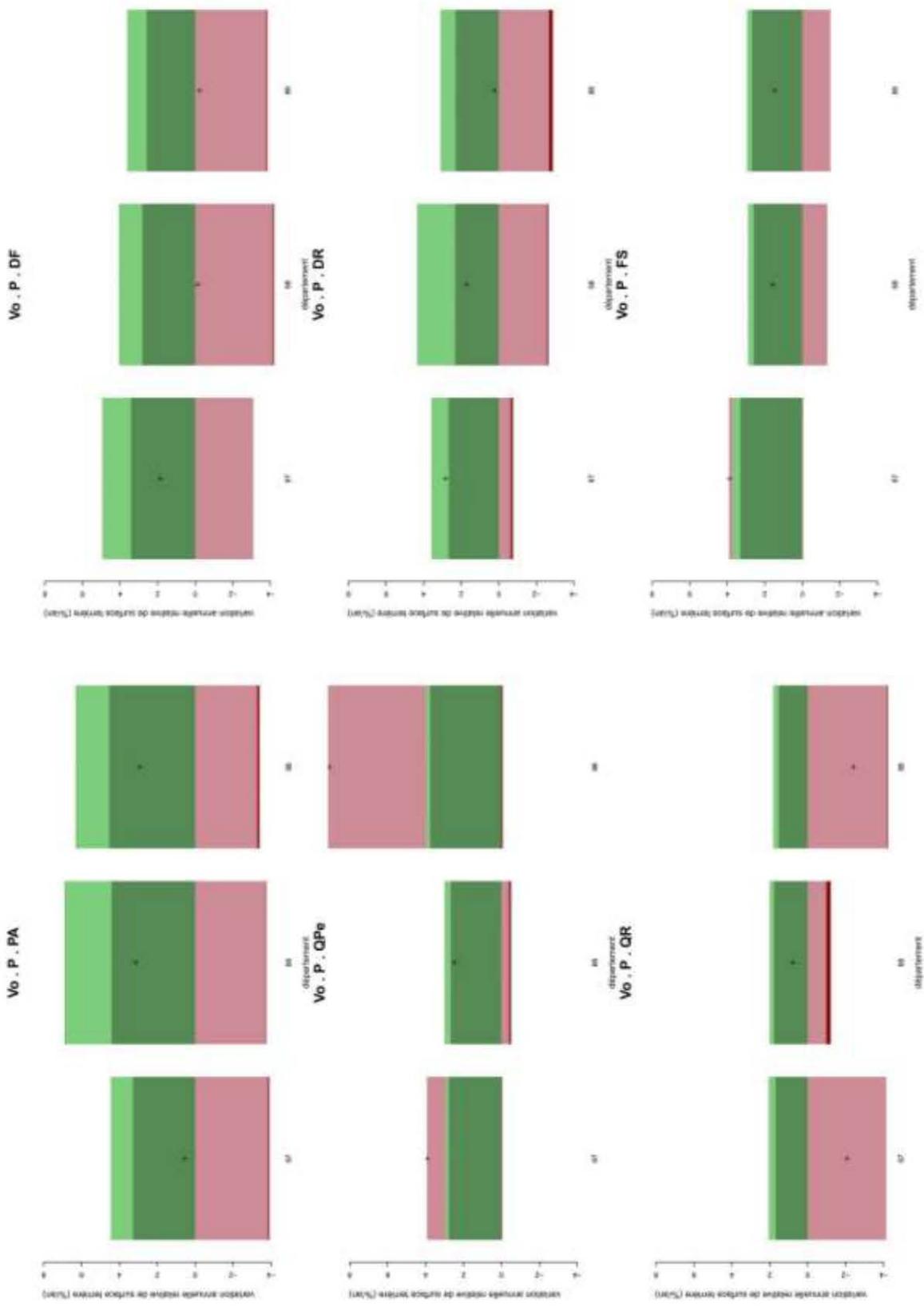








Annexes de la partie IV



Annexe IV.7. Sélection des individus département x propriété

Les individus sont listés par ordre de surface terrière initiale (en moyenne en 1983) décroissante et la part dans la surface terrière initiale cumulée est donnée. En gris : les individus écartés de l'analyse.

Individus Département x propriété	Part dans la surface terrière initiale cumulée (%)	Individus Département x propriété	Part dans la surface terrière initiale cumulée (%)
40 . P	3,85	75 . P	65,18
33 . P	6,94	30 . P	65,80
24 . P	9,55	88 . D	66,41
19 . P	11,38	67 . D	67,02
63 . P	13,06	64 . C	67,63
07 . P	14,56	17 . P	68,24
12 . P	16,05	56 . P	68,84
43 . P	17,43	54 . C	69,44
38 . P	18,79	02 . P	70,03
58 . P	20,10	60 . P	70,61
89 . P	21,41	69 . P	71,18
88 . C	22,68	34 . P	71,73
83 . P	23,91	55 . P	72,29
74 . P	25,08	31 . P	72,84
23 . P	26,22	32 . P	73,38
26 . P	27,36	05 . P	73,91
41 . P	28,47	54 . P	74,43
25 . C	29,56	61 . P	74,94
87 . P	30,65	05 . C	75,45
70 . C	31,71	22 . P	75,93
04 . P	32,77	49 . P	76,39
88 . P	33,79	57 . C	76,85
21 . P	34,81	57 . P	77,31
42 . P	35,83	65 . P	77,76
46 . P	36,83	74 . C	78,21
48 . P	37,84	65 . C	78,65
18 . P	38,81	38 . C	79,09
71 . P	39,76	66 . P	79,52
25 . P	40,69	06 . C	79,95
37 . P	41,62	01 . C	80,37
15 . P	42,55	76 . P	80,79
01 . P	43,47	55 . D	81,21
64 . P	44,36	04 . D	81,59
68 . C	45,23	76 . D	81,98
81 . P	46,08	28 . P	82,36
52 . P	46,93	29 . P	82,73
27 . P	47,78	67 . P	83,09
09 . P	48,61	84 . P	83,44
57 . D	49,44	04 . C	83,78
39 . P	50,26	35 . P	84,12
67 . C	51,06	54 . D	84,44
39 . C	51,84	45 . D	84,75
45 . P	52,62	68 . P	85,07
47 . P	53,38	82 . P	85,38
70 . P	54,13	80 . P	85,68
52 . C	54,87	09 . D	85,99
73 . P	55,61	21 . D	86,30
55 . C	56,34	75 . D	86,60
36 . P	57,07	26 . D	86,89
03 . P	57,79	60 . D	87,18
86 . P	58,51	26 . C	87,46
51 . P	59,23	13 . P	87,74
16 . P	59,93	14 . P	88,01
10 . P	60,61	08 . C	88,28
72 . P	61,28	03 . D	88,55
08 . P	61,95	44 . P	88,82
73 . C	62,62	79 . P	89,08
21 . C	63,28	63 . C	89,33
06 . P	63,93	08 . D	89,58
77 . P	64,57	02 . D	89,82

Annexes de la partie IV

Individus Département x propriété	Part dans la surface terrière initiale cumulée (%)	Individus Département x propriété	Part dans la surface terrière initiale cumulée (%)
52 . D	90,06	79 . D	98,86
89 . C	90,30	18 . C	98,91
77 . D	90,54	12 . C	98,96
53 . P	90,77	43 . D	99,00
48 . D	91,00	44 . D	99,04
61 . D	91,23	85 . D	99,08
31 . C	91,45	07 . C	99,12
68 . D	91,66	80 . D	99,16
10 . C	91,87	29 . D	99,19
09 . C	92,08	01 . D	99,22
39 . D	92,28	74 . D	99,25
30 . D	92,48	19 . C	99,28
62 . P	92,67	02 . C	99,31
05 . D	92,86	23 . D	99,34
58 . C	93,04	77 . C	99,37
58 . D	93,22	73 . D	99,40
66 . D	93,39	16 . D	99,43
66 . C	93,57	23 . C	99,46
59 . D	93,75	63 . D	99,49
85 . P	93,91	14 . D	99,51
41 . D	94,08	49 . D	99,54
40 . C	94,24	34 . C	99,56
71 . C	94,40	37 . C	99,59
38 . D	94,55	17 . C	99,61
34 . D	94,71	69 . C	99,64
15 . C	94,86	27 . C	99,66
50 . P	95,00	15 . D	99,68
51 . D	95,14	90 . D	99,70
83 . C	95,28	32 . C	99,72
33 . D	95,41	76 . C	99,74
59 . P	95,54	75 . C	99,76
18 . D	95,67	56 . D	99,78
72 . D	95,80	87 . C	99,79
71 . D	95,92	32 . D	99,80
40 . D	96,04	59 . C	99,82
89 . D	96,16	22 . D	99,83
27 . D	96,28	47 . D	99,84
51 . C	96,40	61 . C	99,86
90 . C	96,51	36 . C	99,87
07 . D	96,63	03 . C	99,88
10 . D	96,74	82 . D	99,89
31 . D	96,85	62 . C	99,90
36 . D	96,95	24 . D	99,91
43 . C	97,06	47 . C	99,91
81 . D	97,17	53 . D	99,92
84 . C	97,27	22 . C	99,93
90 . P	97,38	13 . D	99,93
83 . D	97,48	86 . C	99,94
48 . C	97,58	50 . D	99,94
28 . D	97,66	19 . D	99,95
81 . C	97,75	72 . C	99,95
37 . D	97,83	50 . C	99,96
33 . C	97,91	24 . C	99,96
25 . D	97,99	16 . C	99,96
35 . D	98,07	14 . C	99,97
17 . D	98,14	46 . C	99,97
70 . D	98,21	64 . D	99,98
06 . D	98,28	29 . C	99,98
30 . C	98,35	49 . C	99,98
42 . C	98,42	45 . C	99,98
13 . C	98,48	35 . C	99,99
12 . D	98,54	56 . C	99,99
86 . D	98,60	53 . C	99,99
65 . D	98,65	80 . C	99,99
62 . D	98,71	41 . C	99,99
60 . C	98,76	44 . C	100,00
84 . D	98,81	79 . C	100,00

Annexe IV.7

Individus Département x propriété	Part dans la surface terrière initiale cumulée (%)
85 . C	100,00
46 . D	100,00
82 . C	100,00
69 . D	100,00
87 . D	100,00
28 . C	100,00

Tableau A.IV.7.1 Part cumulée de la surface terrière initiale représentée par les individus département x propriété. En gris : les individus écartés de l'analyse

Annexe IV.8. Sélection des individus département x propriété x essence

Les individus sont listés par ordre de surface terrière initiale (en moyenne en 1983) décroissante et la part dans la surface terrière initiale cumulée est donnée. En gris : les individus écartés de l'analyse.

Individus département x propriété x essence	Part dans la surface terrière initiale cumulée (%)	propriété x essence	initiale cumulée (%)
40 . P . PP	3,47	04 . P . QPu	29,77
33 . P . PP	6,03	83 . P . DF	30,06
43 . P . PS	6,82	63 . P . AA	30,34
38 . P . DF	7,58	06 . P . PS	30,61
24 . P . CS	8,30	71 . P . DF	30,89
24 . P . DF	8,90	37 . P . P	31,16
01 . P . DF	9,45	02 . P . DF	31,44
48 . P . PS	9,98	25 . C . AA	31,71
24 . P . PP	10,51	86 . P . QR	31,98
83 . P . P	11,03	23 . P . DF	32,24
74 . P . PA	11,55	74 . C . PA	32,51
46 . P . QPu	12,05	36 . P . QR	32,77
24 . P . QR	12,54	77 . P . DF	33,04
89 . P . QPe	13,02	89 . P . DF	33,30
04 . P . PS	13,48	70 . C . FS	33,56
58 . P . QPe	13,93	63 . P . DF	33,82
64 . C . FS	14,36	33 . P . DF	34,07
19 . P . QR	14,78	12 . P . QR	34,33
12 . P . CS	15,19	60 . P . DF	34,59
25 . C . DF	15,59	68 . C . AA	34,84
19 . P . CS	15,99	12 . P . QPu	35,10
87 . P . QR	16,38	27 . P . QPe	35,35
63 . P . PS	16,77	26 . P . DF	35,60
74 . P . DF	17,16	41 . P . DF	35,85
88 . P . PA	17,55	88 . P . DF	36,09
64 . P . DF	17,93	76 . D . FS	36,34
39 . C . DF	18,31	72 . P . P	36,58
47 . P . PP	18,69	37 . P . QPe	36,83
07 . P . PS	19,05	05 . P . PS	37,07
70 . C . QPe	19,42	42 . P . AA	37,31
09 . P . DF	19,78	25 . C . FS	37,55
73 . P . DF	20,13	66 . P . DF	37,78
88 . C . AA	20,49	21 . P . QPe	38,02
41 . P . P	20,84	27 . P . DF	38,25
87 . P . CS	21,19	24 . P . QPu	38,48
33 . P . QR	21,54	63 . P . FS	38,72
41 . P . QR	21,88	30 . P . DF	38,94
26 . P . PS	22,22	18 . P . DF	39,17
07 . P . CS	22,56	16 . P . DF	39,40
64 . P . QR	22,90	15 . P . FS	39,62
73 . C . PA	23,24	37 . P . DF	39,85
57 . D . DR	23,57	21 . C . QPe	40,07
39 . P . DF	23,91	21 . P . DR	40,29
23 . P . QR	24,24	57 . D . FS	40,51
56 . P . P	24,57	73 . P . PA	40,73
71 . P . QPe	24,89	38 . P . PA	40,95
25 . P . PA	25,21	68 . C . FS	41,17
19 . P . PS	25,54	39 . P . PA	41,39
31 . P . DF	25,86	03 . P . QR	41,61
26 . P . QPu	26,18	36 . P . QPe	41,82
19 . P . DF	26,49	18 . P . QPe	42,04
45 . P . QR	26,80	63 . P . QR	42,25
83 . P . QPu	27,11	40 . P . DF	42,47
88 . C . FS	27,42	21 . P . DF	42,68
42 . P . PS	27,73	07 . P . QPu	42,89
43 . P . AA	28,03	15 . P . QR	43,10
88 . D . AA	28,33	51 . P . DF	43,31
25 . P . DF	28,62	74 . P . FS	43,51
18 . P . QR	28,91	34 . P . DF	43,71
40 . P . QR	29,20	72 . P . DF	43,91
75 . P . DF	29,49	13 . P . P	44,10
Individus département x	Part dans la surface terrière	Individus département x	Part dans la surface terrière
		propriété x essence	initiale cumulée

Annexe IV.8

	(%)		(%)
65 . P . DF	44,30	19 . P . PA	56,21
08 . P . DF	44,50	39 . P . FS	56,36
54 . P . DR	44,69	12 . P . QPe	56,51
58 . P . DF	44,89	38 . P . FS	56,67
32 . P . DF	45,08	52 . P . CB	56,82
16 . P . QR	45,27	49 . P . DF	56,97
03 . D . QPe	45,47	64 . P . FS	57,12
45 . P . DF	45,66	07 . P . DF	57,27
58 . P . QR	45,85	86 . P . P	57,42
37 . P . QR	46,04	41 . P . QPe	57,57
70 . P . DF	46,23	84 . P . P	57,72
25 . P . AA	46,42	66 . C . DR	57,86
17 . P . DF	46,61	39 . C . AA	58,01
55 . C . QR	46,79	49 . P . P	58,16
55 . C . FS	46,98	70 . C . QR	58,31
58 . P . CB	47,17	72 . P . QPe	58,45
10 . P . QR	47,36	22 . P . QR	58,60
45 . P . P	47,54	21 . P . QR	58,75
32 . P . QR	47,73	81 . P . CS	58,89
46 . P . CS	47,92	07 . P . FS	59,04
05 . C . LD	48,10	38 . C . PA	59,19
89 . P . QR	48,29	58 . P . FS	59,33
25 . C . PA	48,47	81 . P . QPe	59,48
17 . P . PP	48,65	52 . C . CB	59,62
75 . P . QR	48,83	22 . P . DF	59,77
89 . P . P	49,02	54 . C . QR	59,91
16 . P . CS	49,19	09 . P . QPu	60,06
12 . P . FS	49,37	81 . P . QR	60,20
46 . P . DF	49,55	55 . P . DF	60,34
09 . D . FS	49,73	04 . P . DF	60,48
67 . D . FS	49,91	54 . C . FS	60,63
67 . C . FS	50,09	84 . P . QPu	60,77
55 . C . CB	50,26	27 . P . QR	60,91
24 . P . DR	50,44	68 . P . DF	61,05
86 . P . DF	50,61	09 . C . FS	61,19
58 . P . DR	50,79	67 . C . DR	61,33
89 . P . CB	50,96	76 . P . DF	61,46
52 . C . QR	51,14	08 . P . DR	61,60
87 . P . DF	51,31	68 . C . DF	61,74
83 . P . QJ	51,49	45 . D . P	61,88
26 . P . FS	51,66	51 . P . QPe	62,01
63 . P . PA	51,83	40 . C . PP	62,15
88 . C . QR	52,00	65 . C . AA	62,29
47 . P . QR	52,17	32 . P . QPu	62,42
88 . D . FS	52,34	77 . P . QPe	62,56
23 . P . CS	52,51	82 . P . QPu	62,69
70 . C . CB	52,68	01 . P . FS	62,83
30 . P . QJ	52,84	52 . C . FS	62,96
65 . C . FS	53,01	57 . C . FS	63,10
48 . P . CS	53,18	29 . P . QR	63,23
52 . P . DF	53,34	04 . D . PN	63,37
15 . P . PS	53,51	30 . P . P	63,50
52 . P . DR	53,67	67 . C . AA	63,64
48 . P . FS	53,84	39 . C . PA	63,77
10 . P . DF	54,00	42 . P . QPe	63,90
09 . P . FS	54,16	70 . P . DR	64,04
03 . P . QPe	54,32	19 . P . FS	64,17
71 . P . QR	54,48	69 . P . AA	64,30
38 . P . AA	54,64	12 . P . DF	64,43
06 . C . PS	54,80	55 . P . QR	64,56
67 . D . DR	54,96	73 . C . AA	64,69
01 . C . AA	55,12	86 . P . QPe	64,82
28 . P . QR	55,28	38 . C . AA	64,95
88 . C . DF	55,43	56 . P . DF	65,07
52 . C . QPe	55,59	70 . P . QPe	65,20
34 . P . QJ	55,75	52 . P . QPe	65,33
57 . P . DR	55,90	31 . P . QR	65,46
17 . P . QR	56,06	88 . C . PA	65,58
Individus département x propriété x essence	Part dans la surface terrière initiale cumulée	Individus département x propriété x essence	Part dans la surface terrière initiale cumulée

Annexes de la partie IV

	(%)		(%)
36 . P . DF	65,71	38 . P . PS	73,48
61 . P . DF	65,84	81 . P . DF	73,58
55 . C . DF	65,97	80 . P . DF	73,68
88 . P . FS	66,09	65 . P . QR	73,78
21 . P . CB	66,22	61 . P . QR	73,88
03 . P . DF	66,34	42 . P . DF	73,98
07 . P . DR	66,47	66 . P . DR	74,08
81 . P . QPu	66,59	69 . P . PM	74,18
01 . C . DF	66,71	55 . D . DR	74,28
18 . P . P	66,84	28 . P . QPe	74,38
61 . P . QPe	66,96	21 . C . CB	74,48
49 . P . QR	67,08	57 . C . QR	74,58
15 . P . DF	67,21	45 . D . QR	74,68
63 . P . QPe	67,33	14 . P . DF	74,77
52 . P . QR	67,45	12 . P . PS	74,87
18 . P . CB	67,57	88 . C . QPe	74,97
34 . P . QPu	67,69	66 . D . DR	75,07
39 . D . DF	67,81	29 . P . DF	75,17
01 . P . PA	67,93	75 . D . QR	75,26
04 . C . PS	68,05	51 . P . CB	75,36
69 . P . QPe	68,17	21 . D . QPe	75,46
05 . C . PS	68,29	08 . P . QR	75,55
67 . C . PA	68,41	70 . P . QR	75,65
23 . P . PA	68,52	54 . D . FS	75,74
06 . P . QPu	68,64	52 . P . FS	75,84
88 . C . DR	68,76	60 . P . QR	75,93
54 . C . CB	68,88	21 . C . FS	76,03
23 . P . FS	68,99	89 . C . QPe	76,12
10 . P . QPe	69,11	04 . P . FS	76,22
51 . P . QR	69,23	70 . C . DF	76,31
35 . P . DF	69,34	55 . P . CB	76,40
02 . P . FE	69,46	67 . P . PA	76,50
65 . P . FS	69,57	05 . C . DR	76,59
30 . P . QPu	69,69	68 . C . DR	76,68
75 . D . DF	69,80	52 . D . FS	76,77
77 . P . QR	69,91	68 . C . PA	76,86
56 . P . QR	70,03	73 . C . DF	76,95
47 . P . DF	70,14	17 . P . CS	77,04
48 . D . DR	70,25	88 . P . DR	77,13
35 . P . QR	70,37	28 . P . DF	77,22
10 . P . P	70,48	57 . C . QPe	77,31
26 . D . PN	70,59	03 . P . DR	77,40
88 . P . AA	70,70	30 . D . DF	77,49
39 . C . FS	70,81	64 . C . AA	77,58
55 . D . FS	70,92	82 . P . DF	77,66
70 . P . CB	71,03	21 . D . FS	77,75
67 . D . AA	71,14	07 . P . AA	77,84
67 . P . DF	71,25	69 . P . DF	77,93
43 . P . FS	71,36	88 . P . QR	78,01
21 . C . QR	71,47	57 . D . QR	78,10
54 . P . DF	71,58	53 . P . QR	78,19
25 . P . FS	71,69	04 . D . PS	78,27
21 . C . DF	71,80	33 . P . CS	78,36
60 . D . FS	71,91	76 . P . QR	78,44
58 . D . QPe	72,01	01 . P . AA	78,52
74 . P . AA	72,12	67 . C . QPe	78,61
79 . P . DF	72,23	61 . P . DR	78,69
06 . P . DF	72,33	06 . C . LD	78,77
67 . C . DF	72,44	74 . C . AA	78,85
15 . P . QPe	72,54	77 . D . QPe	78,94
46 . P . QR	72,65	36 . P . CB	79,02
57 . D . QPe	72,75	58 . C . QPe	79,10
26 . C . FS	72,86	35 . P . P	79,18
52 . C . DF	72,96	06 . C . AA	79,26
73 . P . FS	73,06	67 . C . QR	79,34
39 . P . AA	73,17	63 . C . PS	79,42
02 . P . QR	73,27	61 . D . QPe	79,50
55 . P . DR	73,37	06 . P . DR	79,58
Individus département x propriété x essence	Part dans la surface terrière initiale cumulée	Individus département x propriété x essence	Part dans la surface terrière initiale cumulée

Annexe IV.8

	(%)		(%)
57 . C . CB	79,66	62 . P . DF	84,53
67 . D . PA	79,74	09 . D . AA	84,59
21 . P . FS	79,82	49 . P . QPe	84,66
42 . P . PA	79,90	02 . D . FS	84,72
55 . P . FS	79,98	55 . D . CB	84,79
07 . P . QPe	80,06	16 . P . PP	84,85
54 . C . DF	80,14	55 . D . DF	84,91
14 . P . QR	80,21	57 . P . CB	84,98
08 . P . FE	80,29	54 . P . CB	85,04
59 . D . QR	80,37	82 . P . QR	85,10
08 . P . QPe	80,44	48 . P . DR	85,17
38 . C . FS	80,52	70 . C . DR	85,23
08 . P . CB	80,60	66 . P . QPu	85,29
08 . C . QPe	80,67	63 . C . AA	85,35
80 . P . FS	80,75	65 . C . DF	85,42
40 . P . CS	80,83	55 . D . QR	85,48
44 . P . QR	80,90	31 . C . DF	85,54
51 . P . FE	80,98	45 . P . QPe	85,60
27 . P . CB	81,05	54 . P . FS	85,67
44 . P . DF	81,13	54 . C . QPe	85,73
47 . P . QPu	81,20	44 . P . P	85,79
29 . P . DR	81,28	55 . C . QPe	85,85
68 . C . QPe	81,35	10 . C . QR	85,91
31 . C . FS	81,43	42 . P . PM	85,97
08 . C . DF	81,50	85 . P . QR	86,03
34 . P . P	81,57	30 . D . P	86,09
81 . P . FS	81,65	57 . P . FS	86,15
43 . P . QPe	81,72	60 . P . FS	86,21
54 . C . DR	81,79	15 . P . CS	86,27
01 . C . FS	81,87	27 . P . P	86,33
22 . P . DR	81,94	36 . P . P	86,39
79 . P . QR	82,01	74 . C . FS	86,45
53 . P . DF	82,08	22 . P . FS	86,51
88 . D . PA	82,15	21 . D . CB	86,57
10 . P . CB	82,23	67 . P . DR	86,62
09 . P . QR	82,30	57 . P . QR	86,68
57 . D . CB	82,37	68 . P . FS	86,74
05 . P . QPu	82,44	27 . P . FS	86,80
26 . D . PS	82,51	76 . P . FS	86,85
72 . P . QR	82,58	03 . P . CB	86,91
51 . P . P	82,65	08 . D . QPe	86,97
38 . C . DF	82,72	02 . P . CB	87,02
68 . D . DF	82,79	05 . C . FS	87,08
57 . P . DF	82,86	48 . P . DF	87,13
05 . P . LD	82,93	09 . P . FE	87,19
43 . P . PA	83,00	23 . P . PS	87,25
06 . P . LD	83,06	03 . P . FS	87,30
08 . D . DR	83,13	57 . P . QPe	87,36
52 . P . FE	83,20	50 . P . DF	87,41
41 . D . QR	83,27	69 . P . CS	87,47
54 . D . DR	83,34	42 . P . FS	87,52
10 . C . QPe	83,40	74 . C . DF	87,58
26 . C . AA	83,47	47 . P . CS	87,63
73 . C . FS	83,54	54 . P . QR	87,69
75 . P . QPe	83,61	76 . P . QPe	87,74
01 . C . PA	83,68	15 . P . AA	87,79
05 . P . FS	83,74	67 . D . QPe	87,85
04 . C . LD	83,81	07 . P . PM	87,90
71 . P . PM	83,88	64 . C . DF	87,96
60 . P . QPe	83,94	61 . D . FS	88,01
70 . P . FE	84,01	44 . P . QPe	88,06
81 . P . PA	84,07	08 . D . DF	88,12
22 . P . P	84,14	48 . D . FS	88,17
34 . D . DF	84,21	05 . P . DF	88,22
85 . P . DF	84,27	71 . P . CS	88,27
19 . P . DR	84,34	01 . P . DR	88,33
04 . D . LD	84,40	23 . P . PM	88,38
70 . P . FS	84,46	79 . P . CS	88,43
Individus département x propriété x essence	Part dans la surface terrière initiale cumulée	Individus département x propriété x essence	Part dans la surface terrière initiale cumulée

Annexes de la partie IV

	(%)		(%)
60 . P . CB	88,48	65 . C . DR	91,65
89 . C . CB	88,53	54 . D . QR	91,69
77 . P . CB	88,59	60 . D . CB	91,73
29 . P . P	88,64	26 . D . AA	91,77
71 . C . QPe	88,69	26 . D . FS	91,81
45 . P . CB	88,74	02 . D . QR	91,85
04 . C . FS	88,79	04 . D . DR	91,90
19 . P . QPe	88,84	62 . P . FS	91,94
15 . C . PS	88,89	13 . P . QI	91,98
63 . C . PA	88,95	66 . D . FS	92,02
77 . P . FE	89,00	87 . P . DR	92,06
25 . P . FE	89,05	67 . P . FS	92,10
21 . P . FE	89,10	76 . D . P	92,14
19 . P . PM	89,15	75 . P . P	92,18
05 . D . PS	89,20	04 . P . LD	92,22
46 . P . DR	89,25	15 . C . FS	92,26
06 . C . PA	89,30	68 . P . AA	92,30
31 . C . AA	89,34	03 . D . FS	92,34
41 . P . CB	89,39	08 . C . QR	92,38
02 . D . DF	89,44	02 . P . QPe	92,42
87 . P . PM	89,49	31 . P . FS	92,46
52 . D . CB	89,54	62 . P . FE	92,50
26 . P . PN	89,59	10 . P . FE	92,54
71 . C . QR	89,64	68 . P . PA	92,58
09 . P . AA	89,69	26 . P . DR	92,62
02 . D . CB	89,73	41 . D . P	92,66
54 . D . CB	89,78	77 . D . DF	92,70
16 . P . QPu	89,83	75 . D . P	92,74
60 . D . QR	89,88	61 . P . FS	92,77
68 . C . QR	89,92	26 . C . PS	92,81
39 . P . FE	89,97	38 . D . AA	92,85
57 . C . DR	90,02	21 . C . DR	92,89
73 . P . AA	90,07	76 . P . FE	92,93
05 . C . AA	90,11	76 . P . DR	92,96
60 . P . FE	90,16	89 . C . QR	93,00
03 . P . P	90,20	30 . D . DR	93,04
77 . D . P	90,25	66 . P . FS	93,07
21 . D . DF	90,30	51 . P . DR	93,11
31 . P . QPu	90,34	09 . C . AA	93,15
27 . P . DR	90,39	25 . C . FE	93,19
52 . C . DR	90,43	34 . D . P	93,22
42 . P . QR	90,48	56 . P . DR	93,26
10 . C . CB	90,52	54 . D . QPe	93,30
09 . D . DR	90,57	48 . P . QPe	93,33
63 . P . PM	90,61	80 . P . QR	93,37
23 . P . DR	90,66	04 . D . QPu	93,41
87 . P . FS	90,70	05 . D . LD	93,44
39 . D . AA	90,75	32 . P . CS	93,48
08 . C . DR	90,79	13 . P . QPu	93,52
64 . C . QR	90,83	34 . P . DR	93,55
41 . D . QPe	90,88	89 . P . DR	93,59
50 . P . QR	90,92	04 . C . QPu	93,62
14 . P . QPe	90,96	29 . P . FS	93,66
60 . D . QPe	91,01	63 . C . FS	93,69
77 . P . P	91,05	84 . P . DF	93,73
65 . C . QR	91,10	14 . P . FS	93,77
53 . P . QPe	91,14	71 . P . FS	93,80
08 . P . FS	91,18	87 . P . PA	93,84
12 . P . DR	91,22	80 . P . FE	93,87
38 . D . PA	91,27	76 . D . QPe	93,91
71 . C . DF	91,31	81 . P . DR	93,94
43 . P . DF	91,35	82 . P . CS	93,98
61 . D . DR	91,39	69 . P . PS	94,01
04 . P . DR	91,44	08 . D . FS	94,04
84 . P . QI	91,48	64 . P . FE	94,08
80 . P . CB	91,52	52 . D . QR	94,11
61 . P . P	91,56	37 . P . CB	94,15
45 . D . QPe	91,61	04 . P . PN	94,18
Individus département x propriété x essence	Part dans la surface terrière initiale cumulée	Individus département x propriété x essence	Part dans la surface terrière initiale cumulée

Annexe IV.8

	(%)		(%)
67 . D . DF	94,21	50 . P . FS	96,22
75 . P . CB	94,25	26 . C . DF	96,24
52 . D . QPe	94,28	42 . P . CS	96,27
27 . P . FE	94,31	05 . P . DR	96,29
77 . D . FS	94,35	40 . C . QR	96,32
23 . P . QPe	94,38	68 . P . QPe	96,34
68 . D . PA	94,41	15 . C . AA	96,37
85 . P . P	94,45	08 . D . QR	96,39
48 . D . PA	94,48	09 . D . DF	96,42
59 . D . DF	94,51	60 . D . P	96,44
38 . D . FS	94,54	04 . C . AA	96,46
57 . D . DF	94,58	04 . D . FS	96,49
01 . P . FE	94,61	62 . P . QR	96,51
46 . P . PP	94,64	55 . P . FE	96,54
54 . D . DF	94,67	14 . P . DR	96,56
09 . P . DR	94,71	63 . P . CS	96,58
88 . D . DR	94,74	04 . C . PA	96,60
05 . D . PN	94,77	66 . D . DF	96,63
81 . P . PM	94,80	12 . P . PM	96,65
86 . P . CB	94,83	88 . D . DF	96,67
68 . D . AA	94,87	31 . P . FE	96,69
75 . D . QPe	94,90	05 . D . AA	96,72
54 . P . QPe	94,93	12 . P . PA	96,74
02 . D . QPe	94,96	64 . P . DR	96,76
77 . D . QR	94,99	87 . P . QPe	96,78
26 . C . QPu	95,02	08 . C . FS	96,81
87 . P . PS	95,05	58 . P . P	96,83
39 . C . FE	95,08	06 . P . AA	96,85
34 . D . DR	95,11	56 . P . FS	96,87
58 . D . CB	95,14	73 . C . PS	96,89
89 . C . DF	95,17	06 . C . DR	96,91
68 . D . QPe	95,20	53 . P . P	96,93
75 . P . FE	95,23	58 . C . DF	96,95
89 . P . FE	95,26	67 . P . AA	96,98
69 . P . PA	95,29	28 . P . CB	97,00
73 . C . LD	95,32	52 . D . DF	97,02
67 . P . QPe	95,35	21 . C . FE	97,04
61 . D . P	95,38	55 . C . FE	97,06
45 . D . CB	95,41	57 . D . FE	97,08
68 . D . DR	95,44	38 . P . QPu	97,10
79 . P . QPu	95,47	02 . P . FS	97,12
60 . P . P	95,50	21 . D . QR	97,13
39 . D . FS	95,53	70 . C . FE	97,15
58 . C . DR	95,55	72 . P . CB	97,17
89 . P . FS	95,58	15 . P . PA	97,19
38 . D . DF	95,61	10 . P . DR	97,21
54 . P . FE	95,64	76 . D . QR	97,23
88 . P . QPe	95,66	39 . C . DR	97,25
67 . P . QR	95,69	58 . C . CB	97,27
76 . D . DR	95,72	89 . C . FS	97,29
63 . P . DR	95,75	73 . P . LD	97,31
05 . D . FS	95,77	31 . C . QR	97,33
09 . C . DF	95,80	66 . C . FS	97,35
38 . C . PS	95,83	66 . D . AA	97,37
88 . D . QPe	95,85	73 . C . DR	97,38
59 . D . CB	95,88	76 . D . CB	97,40
55 . D . QPe	95,91	52 . D . DR	97,42
57 . C . DF	95,93	65 . P . FE	97,44
67 . D . QR	95,96	13 . P . DF	97,46
43 . P . QR	95,99	71 . P . DR	97,48
06 . C . DF	96,01	35 . P . FS	97,50
10 . C . DF	96,04	58 . P . FE	97,51
71 . P . PA	96,06	57 . P . FE	97,53
61 . D . QR	96,09	01 . C . DR	97,55
65 . P . AA	96,12	81 . P . PS	97,57
60 . D . DF	96,14	48 . D . PS	97,59
88 . D . QR	96,17	26 . P . AA	97,60
16 . P . DR	96,19	41 . P . DR	97,62

Individus département x
propriété x essence

Part dans la surface terrière
initiale cumulée

Individus département x
propriété x essence

Part dans la surface terrière
initiale cumulée

Annexes de la partie IV

	(%)
58 . D . FS	97,64
48 . P . QPu	97,66
55 . C . DR	97,68
71 . P . PS	97,69
58 . C . QR	97,71
19 . P . QPu	97,73
43 . P . QPu	97,75
71 . P . AA	97,76
68 . P . QR	97,78
08 . D . CB	97,80
68 . D . FS	97,82
52 . C . FE	97,83
45 . D . DF	97,85
08 . C . CB	97,87
04 . C . DF	97,88
76 . P . P	97,90
76 . D . DF	97,92
26 . D . PA	97,94
35 . P . DR	97,95
34 . D . QI	97,97
18 . P . DR	97,99
17 . P . QPu	98,00
25 . P . DR	98,02
75 . D . CB	98,04
64 . C . DR	98,05
23 . P . AA	98,07
73 . P . PS	98,08
28 . P . P	98,10
31 . P . DR	98,12
25 . C . DR	98,13
76 . P . CB	98,15
06 . C . QPu	98,16
43 . P . PM	98,18
18 . P . FS	98,19
59 . D . FS	98,21
51 . P . FS	98,22
61 . P . CB	98,24
63 . C . DF	98,25
68 . D . QR	98,27
42 . P . DR	98,28
03 . D . CB	98,30
26 . C . PA	98,31
65 . P . QPu	98,33
02 . D . FE	98,34
55 . P . QPe	98,36
39 . D . PA	98,37
14 . P . P	98,38
58 . D . QR	98,40
10 . P . FS	98,41
05 . P . PN	98,43
79 . P . PP	98,44
53 . P . DR	98,45
26 . P . PA	98,47
18 . P . FE	98,48
07 . P . PA	98,49
61 . P . FE	98,51
58 . C . FS	98,52
05 . D . DR	98,53
05 . C . QPu	98,55
05 . P . AA	98,56
85 . P . QPe	98,57
66 . P . FE	98,59
15 . C . PA	98,60
26 . D . QPu	98,61
77 . D . CB	98,63
89 . C . P	98,64
69 . P . FS	98,65
75 . D . FS	98,66

Individus département x
propriété x essence Part dans la surface terrière
initiale cumulée

	(%)
04 . C . DR	98,68
54 . C . FE	98,69
72 . P . DR	98,70
03 . D . QR	98,71
26 . D . DF	98,73
35 . P . QPe	98,74
34 . D . QPu	98,75
62 . P . CB	98,76
32 . P . PP	98,77
05 . C . DF	98,79
69 . P . QR	98,80
50 . P . DR	98,81
53 . P . FS	98,82
30 . D . QI	98,83
39 . P . DR	98,84
80 . P . QPe	98,86
33 . P . QPu	98,87
10 . C . FS	98,88
68 . P . DR	98,89
80 . P . P	98,90
30 . D . QPu	98,91
58 . D . DF	98,92
59 . D . QPe	98,94
59 . D . FE	98,95
69 . P . DR	98,96
38 . D . PN	98,97
66 . C . DF	98,98
31 . C . DR	98,99
02 . P . P	99,00
03 . D . P	99,01
03 . P . FE	99,02
05 . C . PA	99,03
50 . P . QPe	99,04
21 . D . DR	99,05
04 . C . PN	99,06
62 . P . QPe	99,07
81 . P . AA	99,08
10 . C . P	99,09
55 . D . FE	99,10
44 . P . DR	99,11
06 . C . FS	99,12
54 . D . FE	99,13
72 . P . FS	99,14
38 . C . DR	99,15
64 . C . FE	99,16
63 . C . QPe	99,17
04 . D . DF	99,18
48 . D . AA	99,19
73 . P . QPu	99,20
31 . C . QPu	99,21
08 . D . FE	99,22
08 . C . FE	99,23
22 . P . QPe	99,24
41 . D . DF	99,25
31 . P . AA	99,26
15 . C . QPe	99,26
15 . C . DF	99,27
26 . C . PN	99,28
04 . P . PA	99,29
45 . P . DR	99,30
71 . C . CS	99,31
73 . P . DR	99,32
80 . P . DR	99,33
28 . P . FE	99,33
47 . P . DR	99,34
59 . D . P	99,35
15 . C . QR	99,36
06 . P . PA	99,37

Individus département x
propriété x essence Part dans la surface terrière
initiale cumulée

Annexe IV.8

	(%)
48 . P . AA	99,38
57 . C . FE	99,38
74 . P . PS	99,39
41 . D . CB	99,40
01 . C . FE	99,41
48 . P . PA	99,42
42 . P . QPu	99,43
61 . D . DF	99,43
75 . P . FS	99,44
02 . P . DR	99,45
45 . P . FE	99,46
38 . P . DR	99,47
05 . D . QPu	99,47
50 . P . P	99,48
41 . D . FS	99,49
03 . D . DR	99,50
48 . D . DF	99,50
38 . D . PS	99,51
09 . C . QPu	99,52
06 . P . FS	99,52
65 . C . FE	99,53
60 . D . FE	99,54
87 . P . AA	99,54
63 . C . QR	99,55
17 . P . DR	99,56
62 . P . P	99,56
48 . P . QR	99,57
32 . P . DR	99,58
41 . P . FE	99,58
05 . D . DF	99,59
40 . C . DF	99,60
73 . C . QPu	99,60
83 . P . DR	99,61
36 . P . FE	99,61
38 . P . PN	99,62
45 . D . FS	99,63
15 . P . QPu	99,63
66 . C . AA	99,64
58 . D . DR	99,64
04 . D . PA	99,65
52 . D . FE	99,66
65 . C . QPu	99,66
37 . P . FE	99,67
15 . P . DR	99,67
21 . D . FE	99,68
36 . P . DR	99,68
43 . P . DR	99,69
02 . D . P	99,69
09 . D . QPu	99,70
79 . P . DR	99,70
48 . D . CS	99,71
60 . D . DR	99,71
82 . P . PP	99,72
38 . P . LD	99,72
04 . P . AA	99,73
74 . C . LD	99,73
77 . P . DR	99,74
72 . P . FE	99,74
06 . C . PN	99,75
04 . D . AA	99,75
63 . P . QPu	99,76
12 . P . AA	99,76
58 . C . P	99,77
74 . C . DR	99,77
09 . C . DR	99,78
74 . P . DR	99,78
09 . D . QR	99,79
44 . P . FS	99,79

Individus département x Part dans la surface terrière
Individus département x

propriété x essence	initiale cumulée (%)
19 . P . AA	99,79
64 . P . AA	99,80
85 . P . DR	99,80
66 . D . QPu	99,81
64 . P . QPu	99,81
03 . D . DF	99,82
26 . C . DR	99,82
65 . P . DR	99,82
30 . P . DR	99,83
05 . C . PN	99,83
71 . P . QPu	99,83
71 . C . DR	99,84
71 . C . QPu	99,84
38 . C . LD	99,85
75 . P . DR	99,85
36 . P . FS	99,85
71 . C . FS	99,86
26 . D . DR	99,86
66 . P . AA	99,86
76 . D . FE	99,87
89 . C . DR	99,87
48 . D . QPe	99,87
31 . C . FE	99,88
75 . D . FE	99,88
39 . D . DR	99,88
77 . D . DR	99,88
09 . C . QR	99,89
33 . P . DR	99,89
63 . C . DR	99,89
15 . P . PM	99,90
28 . P . DR	99,90
39 . D . FE	99,90
77 . P . FS	99,91
37 . P . FS	99,91
74 . P . QPu	99,91
05 . D . PA	99,91
38 . D . DR	99,92
28 . P . FS	99,92
56 . P . QPe	99,92
62 . P . DR	99,93
06 . P . PN	99,93
49 . P . DR	99,93
48 . P . PM	99,93
49 . P . CB	99,93
59 . D . DR	99,94
40 . P . DR	99,94
71 . C . PS	99,94
74 . C . PS	99,94
09 . C . FE	99,95
60 . P . DR	99,95
09 . D . FE	99,95
37 . P . DR	99,95
66 . D . FE	99,95
45 . P . FS	99,96
86 . P . FE	99,96
10 . C . FE	99,96
86 . P . DR	99,96
41 . P . FS	99,96
82 . P . DR	99,96
07 . P . QR	99,97
73 . C . PN	99,97
74 . P . LD	99,97
02 . D . DR	99,97
74 . C . QPu	99,97
38 . C . QPu	99,97
66 . C . QPu	99,98
49 . P . FE	99,98
58 . D . P	99,98

Part dans la surface terrière

Annexes de la partie IV

propriété x essence	initiale cumulée (%)
71 . C . PM	99,98
58 . C . FE	99,98
38 . D . LD	99,98
66 . P . QR	99,98
43 . P . CS	99,98
77 . D . FE	99,99
49 . P . FS	99,99
29 . P . QPe	99,99
74 . C . PN	99,99
48 . D . QPu	99,99
63 . C . CS	99,99
41 . D . DR	99,99
05 . P . PA	99,99
38 . C . PN	99,99
85 . P . FS	99,99
15 . C . DR	99,99
61 . D . CB	99,99
10 . C . DR	100,00
71 . C . AA	100,00
63 . C . PM	100,00
66 . C . FE	100,00
15 . C . CS	100,00
84 . P . DR	100,00
26 . D . LD	100,00
75 . D . DR	100,00
40 . C . CS	100,00
13 . P . DR	100,00
15 . C . PM	100,00
86 . P . FS	100,00
61 . D . FE	100,00
89 . C . FE	100,00
48 . D . PM	100,00
45 . D . DR	100,00
73 . P . PN	100,00
38 . D . QPu	100,00

Tableau A.IV.8.1 Part cumulée de la surface terrière initiale représentée par les individus département x propriété x essence. En gris : les individus écartés de l'analyse

Annexe IV.9. Création des profils diamétriques

La création de ces profils se base sur la donnée de diamètre à 1,30m de l'IFN. Ces diamètres sont classés dans des classes de taille de bois : petit bois (PB ; entre 7,5 et 22,5 cm), bois moyen (BM ; entre 22,5 et 37,5 cm), gros bois (GB ; entre 37,5 et 52,5 cm) et très gros bois (TGB ; diamètre supérieur à 52,5 cm). Pour chaque individu département x propriété x essence, la part de surface terrière dans chaque classe de diamètre à $t1_i$ a été calculée.

Une classification ascendante hiérarchique à partir de ces parts en surface terrière dans chaque classe a ensuite permis de regrouper les individus en profils diamétriques similaires.

Afin de permettre une lecture relativement facile de cette donnée, il a été choisi de distinguer cinq classes.

Annexe IV.10. Détail des 7 facies identifiés au niveau 1 de l'analyse

Facies	Strates incluses	Part de la strate dans la surface terrière initiale du facies (%)	Part de la strate dans l'expansion totale du facies (%)	IE de la strate	Stock à l'hectare (m²/ha)
1	Ju privé	14,7	11,1	1,0	20,4
	MC Privé	85,3	88,9	1,4	18,7
2	GO privé	100,0	100,0	1,4	18,2
3	MC domanial	5,0	4,1	0,8	22,4
	MC communal	15,0	14,3	1,2	18,0
	Me privé	80,0	81,6	1,2	11,3
4	CN communal	4,0	5,6	1,7	16,1
	Al privé	39,8	41,1	1,2	18,2
	Py privé	18,8	23,4	1,4	16,9
	Al communal	18,8	13,2	0,8	23,2
	Al domanial	6,3	6,1	1,2	20,1
	Py communal	9,7	10,2	1,2	22,1
	Py domanial	2,8	0,5	0,2	21,9
	(5) SO communal	100	100	1,1	14,6
6	CN privé	44,0	38,9	0,8	17,9
	Me domanial	1,0	0,8	0,9	19,7
	SO privé	37,3	42,5	1,1	16,9
	GE privé	13,1	13,6	1,0	18,7
	Vo Privé	4,6	4,2	0,9	24,2
7	GE communal	17,6	51,1	1,0	18,4
	CN domanial	16,7	11,4	0,3	20,9
	Ju communal	13,8	21,6	0,8	21,7
	Vo communal	17,8	10,2	0,3	24,9
	Ju domanial	1,1	0,0	0,2	21,3
	GE domanial	14,4	4,5	0,2	21,2
	Vo domanial	8,6	1,1	0,1	25,9

Tableau A.IV.10.1 Détail des 7 facies identifiés au niveau 1 de l'analyse

Annexe IV.11. Détail des 14 facies identifiés au niveau 2 de l'analyse

Facies	Strates GRECO x propriété x essence	Part de la strate dans la surface terrière initiale (%)	Part de la strate dans l'expansion totale (%)	IE de la strate	Diamètre Moyen du GPE (cm)
1	MC.P.Pm	0,53	4,36	8,16	15,52
	Me.P.DR	0,04	0,21	5,56	16,95
2	GO.P.DR	0,19	0,87	4,46	14,93
3	CN.P.DR	0,53	1,63	3,07	14,68
	MC.C.DF	0,04	0,2	4,51	11,33
	MC.P.DR	0,44	1,7	3,89	16,13
	MC.P.Pa	0,73	3	4,13	14,6
4	Al.P.Ld	0,19	0,51	2,72	19,79
	CN.C.Qpe	0,26	0,54	2,1	20,91
	CN.D.Qpe	0,73	1,76	2,42	21,3
	GO.P.Qpe	0,15	0,39	2,66	16,48
	Ju.C.Fe	0,04	0,13	3,3	14,83
	MC.C.Qr	0,05	0,09	1,85	15,1
	SO.P.Qpu	1,19	4,56	3,82	12,49
	Vo.C.Qpe	0,27	0,61	2,27	21,45
5	CN.D.DR	0,04	0,03	0,76	15,02
	CN.P.Fe	0,5	0,59	1,18	15,35
	GE.C.Cb	0,83	1,4	1,69	11,86
	GE.C.DR	0,33	0,8	2,45	16,35
	GE.P.DR	1,17	2,13	1,82	15,63
	Ju.D.Aa	0,05	0,07	1,53	22,88
	Ju.P.Fe	0,14	0,24	1,78	14,16
	Py.P.Fe	0,09	0,17	1,82	14,99
	SO.C.Pp	0,14	0,22	1,52	20,23
	SO.P.DR	0,24	0,53	2,25	16,14
	Vo.C.Pa	0,35	0,81	2,29	17,37
	Vo.P.Pa	0,54	0,93	1,72	14,39
6	Al.C.Ps	0,46	0,58	1,27	19,2
	Al.D.Ld	0,11	0,13	1,22	20,93
	Al.P.Pa	1,01	1,74	1,72	20,09
	Ju.P.Aa	0,39	0,71	1,79	22,37
	Py.C.Aa	0,33	0,63	1,92	23,17
	Py.C.Qr	0,09	0,17	1,88	20,24
	Py.P.Qr	0,67	1,41	2,1	19,7

Tableau A.IV.11.1 Détail des 14 facies identifiés au niveau 2 de l'analyse

Annexes de la partie IV

Facies	Strates GRECO x propriété x essence	Part de la strate dans la surface terrière initiale (%)	Part de la strate dans l'expansion totale (%)	IE de la strate	Diamètre Moyen du GPE (cm)
	Al.C.Aa	0,56	0,61	1,08	21,87
	Al.C.Ld	0,35	0,3	0,85	24,16
	Al.C.Qpu	0,07	0,19	2,65	10,86
	Al.D.Fs	0,08	0,08	1	15,3
	Al.D.Pn	0,29	0,46	1,55	16,06
	Al.P.Fs	0,83	0,94	1,13	14,54
	Al.P.Qpu	0,83	1,51	1,81	11,83
	CN.P.Fs	0,56	0,41	0,73	17,8
	CN.P.Qpe	3,58	4,98	1,39	16,61
	GE.C.Fs	1	0,57	0,57	23,26
	GE.C.Qpe	1,09	1,31	1,2	21,9
	GE.C.Qr	0,95	0,37	0,39	26,45
	GE.P.Fs	0,51	0,57	1,12	20,35
7	GE.P.Qpe	0,69	0,78	1,13	17,87
	GE.P.Qr	0,74	0,51	0,69	20,48
	Ju.C.Fs	0,44	0,55	1,23	17,66
	Ju.P.Fs	0,42	0,46	1,11	16,39
	MC.C.Fs	0,08	0,09	1,16	15,26
	MC.C.Qpe	0,05	0,12	2,19	14,01
	MC.D.Fs	0,06	0,03	0,57	16,74
	MC.P.Fs	1,59	2,44	1,53	15,74
	MC.P.Qpu	0,62	0,73	1,18	12,26
	MC.P.Qr	2,29	3,12	1,36	15,95
	Py.C.Fs	0,85	0,74	0,87	19,98
	Py.P.Fs	0,53	0,59	1,11	17,23
	SO.P.Qr	2,18	2,12	0,97	16,27
	Vo.D.Qpe	0,06	0,03	0,59	21,17
	Vo.P.Fs	0,24	0,31	1,34	19,45

Tableau A.IV.11.1 Détail des 14 facies identifiés au niveau 2 de l'analyse (suite)

Annexe IV.11

Facies	Strates	Part de la strate dans la surface terrière initiale (%)	Part de la strate dans l'expansion totale (%)	IE de la strate	Diamètre Moyen du GPE (cm)
8	Al.C.DF	0,23	0,36	1,61	12,33
	Al.C.DR	0,1	0,04	0,4	18,71
	Al.C.Pa	0,84	0,21	0,25	24,45
	Al.D.Aa	0,08	0,1	1,21	21,04
	Al.D.DR	0,04	0	-0,05	17,21
	Al.D.Ps	0,22	0,06	0,3	16,36
	Al.D.Qpu	0,04	0,05	1,38	12,09
	Al.P.Aa	0,33	0,33	1,01	21,58
	Al.P.DR	0,17	0,11	0,66	19,84
	Al.P.Ps	1,50	1,61	1,08	15,68
	Ju.C.DF	0,96	0,84	0,88	14,16
	Ju.P.Pa	0,70	0,83	1,19	18,26
	MC.D.Pa	0,03	0,07	1,98	20,67
	MC.P.Aa	1,15	1,6	1,39	19,56
	MC.P.Qpe	1,45	1,96	1,36	14,08
	Me.D.DF	0,16	0,03	0,18	15,88
	Me.D.DR	0,04	0,05	1,34	20,43
	Me.D.P	0,10	0,13	1,24	18,55
	Me.P.P	1,13	1,85	1,63	17,5
	Py.C.DR	0,20	0,33	1,65	17,25
	Py.D.DR	0,15	0,2	1,33	18,02
	Py.D.Fs	0,23	0	0,01	19,15
	Py.P.DR	0,14	0,53	3,82	16,65
9	CN.P.DF	4,56	2,73	0,6	13
	GO.P.DF	0,90	1,54	1,72	12,7
	MC.C.Pa	0,05	0,15	2,72	16,7
	MC.P.DF	2,19	2,5	1,14	12,82
10	Al.D.Pa	0,04	0,02	0,5	20,88
	Al.P.DF	2,16	2,04	0,94	13,13
	CN.D.DF	0,25	0,03	0,12	13,64
	CN.D.P	0,32	-0,13	-0,4	18,76
	GO.P.P	0,66	0,03	0,05	19,43
	Ju.P.DF	1,24	0,78	0,63	13,45
	MC.P.Ps	3,23	1,7	0,53	17,88
	Me.P.DF	0,78	0,94	1,2	14,42
	Py.C.DF	0,19	0,18	0,97	14,64
	Py.P.Aa	0,05	0,03	0,65	20,62
Py.P.DF	1,58	1,52	0,97	13,96	

Tableau A.IV.11.1 Détail des 14 facies identifiés au niveau 2 de l'analyse (suite)

Annexes de la partie IV

Facies	Strates	Part de la strate	Part de la strate dans	IE	Diamètre
	GRECO	dans la surface	l'expansion totale	de la	Moyen
	x propriété	terrière initiale	(%)	strate	du GPE
	x essence	(%)			(cm)
	Al.P.Pn	0,09	0,03	0,34	15,73
	CN.C.Cb	0,1	0,02	0,16	10,55
	CN.D.Fs	0,57	-0,18	-0,31	20,34
	CN.P.Cb	1,33	1,6	1,2	10,74
	CN.P.P	2,24	0,9	0,4	17,49
	GE.C.DF	0,61	0,32	0,52	13,27
	GE.D.Cb	0,3	0,01	0,02	11,84
	GE.D.DF	0,24	-0,04	-0,18	13,96
	GE.D.DR	0,6	0,04	0,07	19,4
	GE.P.Cb	0,72	0,5	0,7	11,7
	GE.P.DF	1,14	0,6	0,53	13,47
11	GE.P.Fe	0,28	0,14	0,5	16,45
	GO.P.Fs	0,14	0,09	0,7	15,97
	Ju.C.Pa	0,4	0,08	0,2	23,51
	Me.P.Qi	0,61	0,66	1,09	10,3
	SO.P.DF	2,28	2,49	1,09	13,36
	SO.P.Pp	7,59	5,95	0,78	21,18
	Vo.C.DF	0,42	0,18	0,43	14,24
	Vo.C.DR	0,37	-0,02	-0,06	22,29
	Vo.D.DF	0,11	0,04	0,34	13,32
	Vo.D.Pa	0,19	0,13	0,67	19,29
	Vo.P.Aa	0,16	0,07	0,43	18,53
	Vo.P.DF	0,52	0,09	0,18	14,37
	Al.C.Fs	0,44	0,22	0,5	14,21
	CN.P.Qr	3,96	1,09	0,28	16,81
	GE.D.Fs	0,68	0,06	0,09	18,94
	GE.D.Qpe	0,35	0,03	0,08	21,91
	GO.P.Qr	0,89	0,61	0,68	15,38
	Ju.C.Aa	0,61	0,38	0,62	23,13
	MC.C.Aa	0,07	0,05	0,76	19,63
12	MC.D.DR	0,12	0,01	0,07	21,29
	Me.P.Qpu	0,76	0,73	0,96	12,16
	Py.P.Qpu	0,27	0,23	0,87	12,91
	Vo.C.Aa	0,78	-0,09	-0,11	21,46
	Vo.C.Fs	0,74	0,1	0,13	19,53
	Vo.D.Aa	0,46	0,03	0,07	22,22
	Vo.D.DR	0,2	0,02	0,11	19,81
	Vo.D.Fs	0,37	-0,02	-0,06	18,84
	Vo.P.DR	0,16	0,13	0,85	19,57

Tableau A.IV.11.1 Détail des 14 facies identifiés au niveau 2 de l'analyse (suite)

Annexe IV.11

Facies	Strates GRECO x propriété x essence	Part de la strate dans la surface terrière initiale (%)	Part de la strate dans l'expansion totale (%)	IE de la strate	Diamètre Moyen du GPE (cm)
13	Ju.P.DR	0,06	0,12	2,14	17,59
	MC.P.Cs	2,26	0,2	0,09	14,58
	SO.P.Cs	1,59	0,94	0,59	12,44
14	CN.C.Qr	0,1	-0,15	-1,45	22,65
	CN.D.Cb	0,09	-0,1	-1,09	11,9
	CN.D.Qr	0,48	-1,05	-2,17	21,53
	GE.D.Qr	0,24	-0,19	-0,81	24,27
	Ju.D.DF	0,13	-0,09	-0,72	14,78
	MC.C.Ps	0,14	-0,3	-2,14	20,28
	Py.D.Aa	0,07	-0,08	-1,24	23,57
	Vo.C.Qr	0,31	-0,59	-1,88	24,5
	Vo.P.Qr	0,09	-0,15	-1,66	21,42

Tableau A.IV.11.1 Détail des 14 facies identifiés au niveau 2 de l'analyse (suite)

Annexes de la partie V

Annexe V.1. Surface décrites dans les statistiques anciennes dont la même strate département x propriété x essence n'a pas été inventoriée par l'inventaire forestier

		Inventaire forestier	
		AM	NM
Statistiques anciennes	1892	445	9170
	1908	3005	11890
	1929	0	15590

Tableau V.1.1 Surface décrites dans les statistiques anciennes dont la même strate département x propriété x essence n'a pas été inventoriée par l'inventaire forestier

Annexe V.2. Reparamétrisation du modèle de Hossfeld

Le modèle de Hossfeld utilisé dans le cadre de notre étude est l'une de ses paramétrisations explicites (Bontemps et al., 2009) :

$$D(t) = \frac{D_{max}}{1 + \left(\frac{R \cdot m \cdot C_m}{D_{max}} t + \left(\frac{D_{ini}}{D_{max} - D_{ini}} \right)^m \right)^{\frac{1}{m}}} \quad (1)$$

Où D_{max} (m^3/ha) est la densité maximale, R ($m^3/ha/an$) est la vitesse maximale d'accumulation de stock de bois, au point d'inflexion, et m est un paramètre de forme (adimensionnel), avec C_m une constante qui ne dépend que de m :

$$C_m = 4 (1 - m)^{(m-1)} (1 + m)^{-(1+m)} \text{ avec } m < 1 \quad (2)$$

Et D_{ini} (m^3/ha) la densité initiale, qui est celle d'une jeune forêt nouvellement installée.

Ce modèle peut également être reparamétré pour les besoins de cette analyse, en tentant notamment de séparer une phase d'accumulation de stock accélérée d'une phase décélérée. Si on pose D_{inf} (m^3/ha) la densité de la forêt au niveau du point d'inflexion et t_{Dinf} , le temps que met une surface forestière avant d'atteindre ce point d'inflexion, on obtient :

$$m = 1 - \frac{2D_{inf}}{D_{max}} \quad (3)$$

$$R = \left(\left(\frac{1+m}{1-m} \right)^{-m} - \left(\frac{D_{ini}}{D_{max} - D_{ini}} \right)^m \right) \frac{D_{max}}{m \cdot C_m \cdot t_{Dinf}} \quad (4)$$

Annexe V.3. Analyse de la part des forêts récentes dans le stock sur pied actuel de la forêt française

Nous avons cherché à estimer le stock sur pied actuel des forêts apparues depuis 1850 afin de connaître la part qu'il représente dans le stock total. Pour cela, les données de l'inventaire forestier entre 2013 et 2017 ont été utilisées afin de calculer le stock sur pied de plusieurs ensembles :

- le pin maritime dans la GRECO SO, provenant des boisements des landes de Gascogne au XIX^{ème} siècle (voir partie I – 1.3.1).
- le mélèze dans la GRECO des Alpes, provenant majoritairement de plantations du RTM (1860 – nos jours ; partie I – 1.3.2).
- Les résineux de la GRECO MC, provenant en grande partie des plantations du FFN (1946-1999 ; partie I – 1.3.4).
- L'Epicéa dans les GRECO autres que MC (déjà pris en compte précédemment), Alpes, Jura et Vosges.
- Le Douglas hors GRECO du MC (déjà pris en compte précédemment), implanté en France à partir de la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle mais surtout utilisé dans les boisements depuis 1965 (Ferron, 2014).
- Le pin maritime et le pin laricio hors GRECO du SO, de la Corse et du MC (déjà pris en compte précédemment).
- Le pin sylvestre dans la GRECO CN (provenant principalement de plantations du FFN).

L'ensemble du volume calculé est de 472 millions de mètres cubes soit 17,5% du stock sur pied total des forêts françaises. Ce résultat n'est cependant qu'une estimation de la part minimale de ces forêts. En effet, il ne prend en compte que les nouvelles forêts issues de plantation. Or, l'expansion en surface est principalement due à une expansion spontanée (voir partie I – 1.3) et, bien qu'à priori principalement feuillues et donc de volume à l'hectare moindre, les forêts issues de cette expansion doivent également présenter une part dans le volume forestier actuel non négligeable.

Annexe V.4. Etude de l'évolution séculaire des prélèvements

Les données des statistiques anciennes nous renseignent sur la production des forêts au début du XX^{ème} siècle. Ces productions sont présentées de façons différentes selon les statistiques en utilisant des ventilations différentes pour chacune.

La statistique agricole de 1892 sépare la production par type de propriété et mode de gestion. Cependant, un texte complémentaire permet de calculer la part du bois d'œuvre et d'industrie dans la production totale.

La statistique Daubrée sépare la production en « bois d'œuvre » et « bois de chauffage » selon chaque type de propriété.

Les productions présentées par la statistique agricole de 1929 sont les plus complexes car la ventilation présente de multiples catégories et les unités rattachées à ces catégories sont dépendantes de celles-ci. Nous avons utilisé les catégories bois d'œuvre (BO), bois de mines (BM), bois de chauffage bûche (BCB) et bois de chauffage fagots (BCF). Le BO est indiqué en mètres cubes, le BM et le BCB en stères, et le BCF en cents de fagots.

Pour convertir les stères en mètres cubes, des facteurs de cubage ont été utilisés (Mathey, 1908). Les facteurs utilisés sont : 0,74 pour les résineux, 0,65 pour le BM feuillu et 0,60 pour le BCB. La littérature estime un « cent de fagot » à 8 ou 9 livres. Or, une livre correspond à 0,5 kg en 1929. La masse volumique du bois a été estimée à 700 kg/m³ (estimation pour des bois globalement feuillus). Ainsi, un cent de fagot peut être converti en mètres cubes en multipliant par 9 et 0,5 et en divisant par 700.

Les prélèvements relevés par l'IFN ne prennent en compte que les arbres recensables (*i.e.* les arbres dont le diamètre à 1,30 m est supérieur ou égal à 7,5 cm). Ils sont donc, à priori, représentatif de la production de bois d'œuvre et d'industrie. Les prélèvements ont été calculés sur deux périodes :

- Entre les deux premiers inventaires AM à partir des flux calculés dans la partie IV. Ces flux sont calculés en surface terrière. Une conversion entre surface terrière et volume a été effectuée en utilisant un coefficient de conversion moyen calculé sur les données NM.
- A partir des données NM entre 2006 et 2011

Les données de 1892 et 1908 ne prennent pas en compte l'Alsace-Moselle du fait de son annexion à cette époque. Pour comparer les résultats entre eux, seul le bois d'œuvre et d'industrie a été pris en compte et les résultats sont rapportés à la surface et au stock initial.

Annexe de la partie VI

Annexe VI.1. Résultats du calcul des flux selon les différentes méthodes de calcul pour les forêts communales de la GRECO grand-ouest

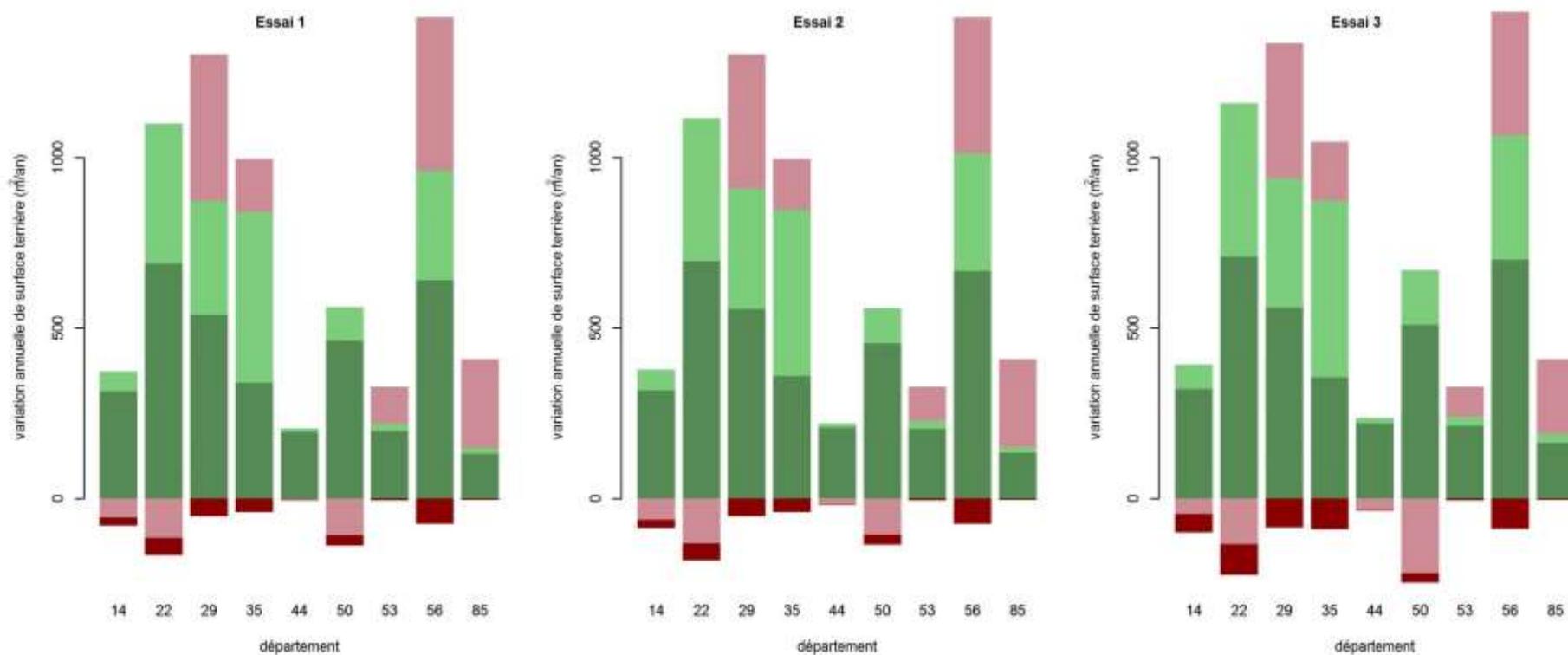


Figure A.VI.1.1. Diagrammes des flux des forêts communales de la GRECO grand-ouest selon la méthode de calcul utilisée (voir Tableau VI.1). La diminution des prélèvements négatifs s’observe principalement dans certains départements comme le 56, et le 29. On remarque aussi une apparition des prélèvements dans le département 44 ainsi qu’une augmentation de la mortalité.

Résumé

Contexte. Après des siècles de diminution, la surface forestière de la plupart des pays développés augmente, un phénomène appelé « transition forestière ». Le stock de bois sur pied présente une augmentation plus rapide mais son évolution, associée à des problématiques actuelles majeures, reste négligée. Il est indispensable de caractériser et comprendre ces évolutions, d'en connaître les causes sous-jacentes, et de les reconstituer sur le long terme afin de pouvoir situer les ressources forestières dans une trajectoire d'ensemble et anticiper leur dynamique future. Cette thèse est consacrée aux forêts françaises métropolitaines et repose principalement sur les données de l'IFN. *Objectifs.* (1) Analyser les changements de surfaces, de stock et de densité de stock et leurs hétérogénéités spatiales et temporelles, sur 40 ans (1975 – 2015) en fonction de facteurs présumés structurer ces évolutions (géographie, propriété et composition). L'existence de changements de vitesse d'expansion a été recherchée. Le lien entre les changements de stock et des propriétés de la forêt (stock et densité de stock initiaux, augmentation récente de surface) ont été analysés. (2) Analyser les mécanismes des changements de stock et décomposer l'expansion selon des ensembles forestiers homogènes du point de vue de leur dynamique. L'analyse se fonde sur une estimation des flux de stock : croissance, recrutement, mortalité et prélèvement. (3) Situer l'expansion actuelle du stock dans une dynamique séculaire. Les stocks de 1892, 1908 et 1929 (associés aux surfaces de statistiques anciennes) ont été estimés par une approche d'imputation conditionnelle de la densité. Un modèle synthétique de densification du stock des forêts a été testé afin d'étudier à quelles conditions sur cette densification il est possible de retracer la chronologie présumée du stock. *Résultats.* (1) Sur 40 ans, l'expansion en stock a été trois fois plus rapide que celle des surfaces, soulignant l'intensité de la densification des forêts, et ne présente aucun signe de saturation. Les forêts privées, et principalement les forêts feuillues, présentent les expansions de stock et de densité de stock les plus marquées, suggérant le rôle important de l'expansion naturelle et de l'abandon de terres agricoles. Les modèles statistiques révèlent l'effet positif du stock initial et des variations passées de surface sur l'expansion. (2) L'analyse des mécanismes d'expansion a mis en évidence le moindre niveau des prélèvements relativement à la croissance des forêts, et la contribution des forêts jeunes au développement des ressources. Quatre ensembles forestiers synthétiques de dynamiques distinctes et principalement composés de stocks en forêt privée expliquant l'expansion du stock sont identifiés. (3) La reconstitution du stock depuis 1850 suggère une faible densité de stock au début de la période (25 m³/ha) et une augmentation de stock de presque +300% entre 1892 et 2010, soulignant l'importance de cette expansion. Un modèle convexe a été nécessaire pour représenter la densification des forêts, attestant d'une inertie importante à la reconstitution des ressources, interprétée relativement à la baisse progressive des prélèvements ou à une reconstitution progressive de fertilité. Les analyses suggèrent enfin une évolution différenciée dans le temps du modèle de densification pour les forêts provenant de plantations. *Conclusion.* Ces travaux ont permis de montrer l'importance de l'expansion en stock et la nécessité de contextualiser cette expansion. Cette expansion ancienne ne montre pour l'instant aucune saturation et constitue un stock de carbone croissant qui ne devrait pas diminuer dans les prochaines décennies à conditions contextuelles identiques. L'analyse causale révèle qu'une part importante de l'expansion du stock ne constitue pas une ressource immédiatement disponible. Les futures politiques d'intensification des prélèvements doivent donc être circonscrites et échelonnées dans le temps.

Mots clés : expansion forestière – transition forestière - surface forestière – stock sur pied – volume – surface terrière – composition forestière – gestion forestière – déprise agricole – plantations – prélèvements – inventaire forestier national

Abstract

Context. After centuries of decrease, the forest area of most developed countries increase, a phenomenon termed "forest transition". While current increase in growing stock (GS) is greater than that in area, it remains far less studied. These changes are linked to major current issues. It is essential to assess these changes, to decipher their underlying causes, and to quantify them over the longer term in order to locate current forest resources on a broad trajectory and to anticipate their future dynamics. This thesis is dedicated to French metropolitan forests, which exhibit the most intensive changes in the growing stock in Europe, and relies on data from the French NFI program. *Objectives.* (1) Analyse forest areal, GS and GS density (GSD) changes and their spatio-temporal variations over 40 years (1975-2015). They were related to factors hypothesized to feature forest changes (geographical contexts, ownership and species composition). We screened for changes in the rate of expansion. The relationships between GS changes and some forest attributes (initial GS and GSD, recent forest area increase) were investigated. (2) Uncover the processes of GS changes and to split the GS expansion magnitude across dynamically-homogeneous forest ensembles. The study was based on GS flux estimation (growth, ingrowth, mortality and harvest). (3) Locate the actual GS expansion in a secular perspective. This analysis consisted in reconstructing the GS chronology since 1850. Levels of GS in 1892, 1908 and 1929 (associated to area of ancient statistics) were estimated using a conditional imputation approach for GSD estimation. Then, a holistic growing stock densification model was implemented to inquire the conditions required on densification patterns and magnitude to simulate the reconstituted GS chronology. *Results.* (1) Over 40 years, GS increases were three times faster than the areal ones, underlining the intensity of forest densification. No sign of saturation was found. Private forests, and mainly broadleaved ones, presented the greatest GS and GSD increases, suggesting the essential role of natural expansion and agricultural land abandonment. Regression models revealed the positive effect of initial GS and of recent areal increases on GS expansion. (2) The analysis of GS expansion processes evidenced the low level of harvests in comparison to forest growth, and the contribution of recent forests to wood resource development. It led to identify 4 synthetic forest ensembles contributing to the expansion and of distinct dynamics, mainly composed of private forests. (3) GS suggested a very low mean GSD at the beginning of the period (25 m³/ha) and a GS increase by almost +300% between 1892 and 2010, underlying the importance of this expansion. A convex growth model was required to simulate historical forest densification, attesting of a significant inertia in wood resource reconstitution after the forest transition, interpreted based on a gradual decrease in harvest rates for which indices were collected, or to a gradual recovery of site fertility. The analysis also suggested a distinct kinetics for GS densification in plantation forests. *Conclusions.* These researches reveal the magnitude of GS expansion and the importance of its analysis across forest contexts. This ancient expansion does not present any current sign of saturation and constitute a persistent carbon sink which should not decrease in the next decades assuming similar contextual conditions. According to the process analysis of GS expansion, a significant fraction of the GS increases does not constitute readily available additional wood resources. Thus, future harvest intensification policies must be contextualized and evolving in time.

Keywords: forest expansion – forest transition – forest area – growing stock – volume – basal area – forest composition – forest management – land-use abandonment – plantations – harvest – national forest inventory