



HAL
open science

Effet de la diversité des essences sur la hauteur dominante

P. Vallet, Thomas Perot

► **To cite this version:**

P. Vallet, Thomas Perot. Effet de la diversité des essences sur la hauteur dominante. Rendez-vous Techniques de l'ONF, 2018, 57, pp.3-10. hal-02499782

HAL Id: hal-02499782

<https://hal.science/hal-02499782>

Submitted on 5 Mar 2020

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

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

EFFET DE LA DIVERSITÉ DES ESSENCES SUR LA HAUTEUR DOMINANTE

Patrick Vallet ^(1, 2)
Thomas Pérot ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Irstea Nogent-sur-Vernisson,
UR EFNO

⁽²⁾ Univ. Grenoble Alpes,
Irstea, LESSEM

L'étude du fonctionnement des peuplements mélangés n'est pas près de s'épuiser. En ce qui concerne l'effet du mélange sur la productivité, les travaux ont surtout porté sur la croissance radiale ou en surface terrière. Mais la productivité dépend aussi de l'influence du mélange sur la croissance en hauteur, plus difficile à appréhender : les deux effets sont-ils de même ampleur ? Vont-ils dans le même sens ? Quels sont les mécanismes ? Méthode d'étude et premières réponses.

Les travaux récents sur l'effet du mélange d'essences sur la productivité ont pour la plupart porté sur la croissance en diamètre ou en surface terrière. Pour la majorité de ces études, les effets constatés sont positifs. Des résultats sont parfois donnés en volume ou en biomasse, ce qui nécessite d'intégrer également l'effet du mélange sur la croissance en hauteur des arbres. Or cette composante est beaucoup moins bien caractérisée que la croissance radiale, en raison de la plus grande difficulté de la prise de mesure ainsi que de son imprécision. Connaître l'effet du mélange sur la croissance en hauteur est pourtant important pour deux raisons principales. D'une part, la croissance en hauteur d'un arbre dépend des conditions de lumière dans son environnement proche et donc de la dynamique de croissance des arbres de son voisinage. On peut alors s'attendre à ce que les dynamiques de croissance en hauteur des espèces en peuplements mélangés soient différentes de celles des peuplements monospécifiques. D'autre part il est important de connaître le sens de l'effet du mélange sur la croissance en hauteur et notamment si, pour une essence donnée, cet effet va dans le même sens ou bien à l'opposé de celui observé sur la croissance radiale. Si les deux effets vont dans le même sens, alors le mélange a un réel effet sur la quantité de bois produit. Dans le second cas, l'effet du mélange est une allocation différente de la production de bois entre la croissance radiale et la croissance en hauteur dans les mélanges par rapport aux peuplements purs, sans nécessairement entraîner de différence de productivité à l'échelle de l'arbre.

Dans l'étude que nous présentons ici, nous avons donc cherché à caractériser l'effet du mélange sur la croissance en hauteur dominante. Le principe de notre méthode est de comparer la croissance en hauteur dominante d'une espèce poussant en peuplement pur avec la croissance de cette même espèce poussant en peuplement mélangé à conditions

stationnelles et caractéristiques dendrométriques du peuplement comparables. Pour ce faire, la première étape consiste à développer des modèles de croissance permettant de décrire la croissance en hauteur dominante des espèces poussant en peuplement pur et valides pour un maximum de situations possibles. En appliquant ce type de modèle à une espèce présente dans une placette mélangée, on obtient la valeur attendue de sa croissance en hauteur dominante si elle avait poussé en peuplement pur. La différence entre la valeur attendue donnée par le modèle et la valeur observée sur la placette donne une estimation de l'effet du mélange sur la croissance en hauteur dominante de l'espèce considérée.

En pratique, la méthode nécessite d'avoir un grand nombre d'observations pour compenser les problèmes de variabilité des résultats liés aux différentes sources d'erreur (erreurs de mesure, erreurs de prédiction des modèles) et obtenir des estimations fiables de l'effet du mélange. Nous avons donc utilisé les données de l'inventaire forestier de l'IGN. Dans un premier temps, nous avons développé des modèles de croissance en hauteur dominante en peuplements purs pour cinq espèces forestières françaises, qui servent de référence pour la croissance. Nous avons ensuite étudié l'influence d'espèces accompagnatrices sur la croissance en hauteur dominante de ces cinq espèces en comparant les données observées en mélange à la référence en peuplement pur. Dans un troisième temps, nous avons étudié les effets réciproques d'une espèce sur l'autre. L'ensemble des méthodes et résultats présentés ici sont détaillés plus amplement dans un article scientifique de Vallet et Pérot (2016).

Démarche méthodologique

Espèces cibles et sélection des placettes de l'inventaire forestier

Nous avons choisi d'étudier des espèces communes en France afin d'avoir suffisamment de données pour obtenir des résultats robustes. Nous avons également choisi des espèces aux caractéristiques contrastées pour obtenir des résultats généraux. Nous nous sommes ainsi focalisés sur le chêne sessile, le hêtre, l'épicéa commun, le sapin pectiné, et le pin sylvestre sur l'ensemble de leur répartition en France. En revanche, nous n'avons pas fait de restriction sur les espèces avec lesquelles les espèces cibles peuvent être associées. Nous nous sommes également restreints aux peuplements réguliers et équiennes.

La méthode mise en place nécessite deux jeux de données d'inventaire ; un jeu de peuplements purs, qui sert à développer les modèles de croissance en

hauteur, et un jeu de peuplements mélangés, sur lequel l'effet du mélange est évalué. Parmi les données brutes des campagnes 2008 à 2012 de l'inventaire forestier de l'IGN, nous avons sélectionné les placettes à partir d'un ensemble de critères correspondant aux exigences de l'étude (voir encadré). La sélection de placettes obtenues est décrite dans le tableau 1. Grâce aux critères mis en place, les gammes de variation des peuplements mélangés sont incluses dans celles des peuplements purs. Il est donc possible d'utiliser les modèles développés en peuplements purs pour prédire la croissance en hauteur dominante des espèces correspondantes dans les placettes mélangés. Le tableau 2 indique les nombres de placettes par associations d'espèces.

	Nombre de placettes		Age (années)		Hauteur (m)		Température annuelle moyenne (°C)		Précipitations annuelles (mm)		Altitude	
	Pur	Mélange	Pur	Mélange	Pur	Mélange	Pur	Mélange	Pur	Mélange	Pur	Mélange
Chêne sessile	494	468	94 (19-190)	102 (26-177)	22.2 (7.9-34.8)	23.6 (10.4-33.0)	10.3 (8.9-11.9)	9.8 (8.8-11.2)	796 (615-1197)	886 (624-1328)	227 (62-604)	274 (63-560)
Hêtre	439	572	108 (23-200)	99 (24-176)	23.6 (8.6-36.6)	24.9 (10.5-36.1)	9.1 (6.1-11.4)	9.0 (6.6-10.5)	1142 (684-1865)	1074 (691-1877)	627 (58-1484)	452 (85-1193)
Pin sylvestre	516	156	65 (19-144)	72 (24-151)	14.5 (5.5-25.3)	18.6 (6.8-31.9)	8.9 (5.8-11.6)	9.5 (6.7-11.9)	925 (645-1347)	911 (630-1400)	765 (88-1559)	513 (85-1316)
Sapin pectiné	263	173	86 (30-177)	88 (29-173)	24.8 (8.8-36.3)	25.5 (12.2-38.1)	8.2 (6.0-10.8)	7.9 (5.7-9.4)	1203 (794-1900)	1368 (852-2003)	828 (292-1492)	818 (370-1349)
Épicéa commun	450	190	51 (18-136)	78 (27-159)	22.2 (7.6-34.4)	26.0 (11.6-38.3)	8.0 (4.9-10.3)	7.8 (4.9-9.7)	1266 (777-1918)	1341 (836-1992)	774 (157-1488)	831 (285-1396)

Tableau 1 : Description de la base de données

Les valeurs moyennes sont données pour les peuplements purs et mélangés (quantiles 2.5% et 97.5% entre parenthèses).

	Bouleau	Charme	Châtaignier	Chêne pédonculé	Chêne pubescent	Chêne sessile	Douglas	Épicéa	Erable sycomore	Frêne	Hêtre	Merisier	Pin laricio	Pin noir d'Autriche	Pin sylvestre	Sapin
Chêne sessile	12	21	12	123	-	-	-	-	-	25	233	-	-	-	42	-
Hêtre	-	29	-	94	-	216	-	35	19	55	-	10	-	-	35	79
Pin sylvestre	-	-	-	26	12	32	-	16	-	-	31	-	12	27	-	-
Sapin pectiné	-	-	-	-	-	10	-	89	-	-	64	-	-	-	10	-
Épicéa commun	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	43	-	-	-	23	109

Tableau 2 : Nombre de points en mélange par espèce cible et par espèce associée

Critères de sélection des placettes de l'inventaire

Tous les points sont issus de peuplements n'ayant qu'une seule strate (classés en futaie régulière par l'inventaire). Nous avons également sélectionné les placettes dont l'écart d'âge entre les deux arbres dominant carottés n'excède pas 25%. Un peuplement est dit pur lorsque 90% de la surface terrière est d'une même essence, identique à celle des deux arbres sélectionnés par les opérateurs de l'inventaire pour l'évaluation de l'âge. Pour les peuplements mélangés, un des deux arbres carottés doit être de l'une des cinq espèces cible, et l'autre arbre d'une essence différente de la première. Ce critère n'exclut pas les peuplements à plus de deux espèces, mais le protocole de l'inventaire garantit que ce sont les

deux espèces les plus importantes de la placette. Les placettes de peuplements mélangés doivent en outre être dans une zone géographique couverte par les peuplements purs correspondants, afin de garantir qu'elles soient dans la zone de validité des modèles de croissance en hauteur. Pour ce faire, nous avons retenu pour la sélection des peuplements mélangés uniquement les Sylvo-Eco-Régions (IFN, 2011) pour lesquelles au minimum cinq placettes pures ont servi à la calibration des modèles de croissance en hauteur de l'espèce considérée. Enfin, nous n'avons retenu que les associations d'espèces comportant au minimum 10 placettes afin d'avoir un résultat suffisamment robuste.

Enfin, pour étudier les effets réciproques d'une espèce sur l'autre, il est nécessaire d'avoir les modèles de croissance en hauteur pour les deux essences, et donc d'avoir une combinaison de deux des espèces cibles. Sept couples ont ainsi pu être étudiés : chêne sessile – hêtre (195 placettes), chêne sessile – pin sylvestre (26 placettes), hêtre – sapin (63 placettes), hêtre – épicéa (35 placettes), hêtre – pin sylvestre (27 placettes), pin sylvestre – épicéa (14 placettes), et sapin – épicéa (87 placettes).

Calcul de la hauteur dominante

La définition classique de la hauteur dominante est la hauteur moyenne des 100 plus gros arbres à l'hectare du peuplement. Pour des placettes plus petites, calculer cette moyenne sur (n-1) arbres pour une placette de n ares permet d'éviter un biais méthodologique (Pardé et Bouchon, 1988). Le rayon maximal des placettes de l'inventaire est de 15 mètres, représentant une surface de 7 ares. Il faudrait donc calculer la hauteur moyenne des 6 plus gros arbres. Or, les deux arbres carottés à cœur pour mesurer l'âge sont choisis par l'inventaire parmi les 6 plus gros arbres du peuplement dominant. Dans le cas des peuplements purs, la moyenne de ces deux arbres est alors une estimation non biaisée de la hauteur dominante. Dans le cas des peuplements mélangés, une estimation de la hauteur dominante pour chacune des deux espèces est la hauteur de l'arbre correspondant. Cette méthode de calcul a l'intérêt d'avoir une estimation de la hauteur et de l'âge portant sur les mêmes individus. Plus de détails sont fournis dans l'article de Vallet et Pérot (2016), en particulier dans le cas de placettes plus petites.

Sélection d'une forme de courbe de croissance en hauteur dominante

L'inventaire forestier est basé sur des placettes temporaires, et ne comporte donc pas de valeurs d'accroissement en hauteur. Il faut alors travailler sur un ensemble de couples de points hauteur – âge, et non sur des accroissements. Or il pourrait y avoir un déséquilibre entre les fertilités dans la ressource forestière entre des peuplements d'âges différents. Pour compenser ces effets, il est nécessaire d'inclure dans le modèle les facteurs environnementaux qui influent sur la croissance (climat : données Aurelhy ; sol et flore : données IFN). Il faut de plus choisir une forme

de courbe classique dans la littérature scientifique. Nous avons utilisé le modèle de Hossfeld II, qui est à la fois parcimonieux (3 paramètres seulement à ajuster) et souple (il peut s'adapter à de nombreuses formes de nuages de points), et dont les paramètres peuvent être facilement liés aux caractéristiques du peuplement. La forme générale du modèle est décrite par l'équation 1 :

$$H_{dom} = a \times \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{b}{age}\right)^c\right)}$$

où H_{dom} est la hauteur dominante, age est l'âge du peuplement à la souche, et a , b , et c sont les trois paramètres à ajuster. Le paramètre a est la valeur asymptotique de la courbe de croissance, et reflète la productivité du site. On peut alors définir ce paramètre comme une combinaison linéaire des variables environnementales influant sur la croissance (équation 2) :

$$H_{dom,i} = \left(a_{0,i} + \sum_{k=1}^n a_{k,i} \times X_k\right) \times \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{b_i}{age}\right)^{c_i}\right)}$$

où les X_k sont les variables environnementales, et les $a_{k,i}$ les paramètres correspondants pour une essence cible i . Les détails statistiques sur l'ajustement des modèles sont fournis dans l'article de Vallet et Pérot (2016).

Calcul de l'effet du mélange

Dans cette étude, nous avons utilisé une méthode classique de calcul de l'effet de la diversité en écologie : pour les placettes mélangées, on calcule la différence entre la hauteur attendue en peuplement pur (fournie par le modèle présenté au-dessus), et la hauteur réelle observée dans le mélange. Pour une valeur en pourcentage, qui représente l'effet observé indépendamment de la taille, on divise cette différence par la hauteur attendue en peuplement pur (équation 3).

$$\text{Effet du mélange}_{i,j} = \frac{H_{dom,observée,i,j} - H_{dom,attendue,i}}{H_{dom,attendue,i}} \times 100$$

où $\text{Effet du mélange}_{i,j}$ est l'effet de l'espèce j sur la hauteur dominante de l'espèce i .

Facteurs	Unité	Paramètre (éq. 2)	Chêne sessile	Hêtre	Pin sylvestre	Sapin	Epicéa
Intercept	-	a_0	36.87*** (3.59)	33.81*** (2.7)	23.57*** (1.67)	23.28*** (2.06)	6.29 (8.38)
Altitude	(km)			-8.69*** (0.73)	-9.06*** (1.59)	-8.17*** (1.01)	7.99*** (2.14)
Altitude ²	(km ²)				3.62*** (0.94)		-7.59*** (1.27)
Température min de Mars	(°C)		1.17*** (0.35)				
Pente	(%)		-0.10*** (0.02)		-0.0317** (0.0099)		
Profondeur du sol	(cm)				0.0496*** (0.0094)		
Réserve utile	(mm)		0.27** (0.1)	0.0490*** (0.0069)		0.0317*** (0.0084)	0.0303*** (0.0071)
Bilan hydrique de juillet	(mm)				0.076*** (0.014)		
Bilan hydrique de juillet ²	(mm ²)			-0.00055*** (0.00016)			
Déficit hydrique de juillet	(mm)						-0.049*** (0.014)
Indice d'azote (Ellenberg)	-	a_k		0.86** (0.28)	1.01*** (0.21)	1.17*** (0.28)	0.89*** (0.23)
pH ²	-				-0.098*** (0.015)		
Roche mère calcaire	(booléenne)		-6.82*** (1.09)				
Roche mère siliceuse	(booléenne)						3.36*** (0.49)
Indice de lumière (Ellenberg)	-		-3.06*** (0.43)	-0.82* (0.33)			9.17** (3.09)
Indice de lumière (Ellenberg) ²	-						-1.02*** (0.29)
Indice de densité	-		14.94*** (2.9)		4.90*** (0.63)	18.26*** (4.05)	2.96** (0.90)
Indice de densité ²	-		-7.06*** (1.86)			-6.97* (2.96)	
GRECO (Océanique Nord-Ouest)	(booléenne)		-2.91** (0.95)				
GRECO (Massif Central)	(booléenne)			-1.85** (0.66)			
GRECO (Alpes)	(booléenne)					-3.74** (1.27)	
Age à ½ de la valeur asymptotique	(année)	b	51.56*** (5.67)	37.91*** (1.37)	24.62*** (1.21)	36.21*** (1.21)	32.86*** (1.29)
Facteur de forme		c	1.14*** (0.08)	1.87*** (0.11)	1.86*** (0.18)	2.04*** (0.18)	1.96*** (0.10)
Statistiques							
Nombre d'observations			494	439	516	263	450
Erreur standard résiduelle			0.42	0.39	0.74	0.64	0.50

Significativité des effets : ***: très fortement significatif ; **: très significatif ; *: significatif ; n.s. : non significatif.

Tableau 3 : Paramètres des modèles de croissance en hauteur (équation 2)

Les écart-types des paramètres sont entre parenthèses.

Résultats

Modèles de croissance en hauteur dominante en peuplements purs

Bien qu'étant une étape intermédiaire dans le cadre de cette étude sur les mélanges, les modèles de croissance en hauteur développés sont des résultats intéressants. En particulier, la détermination des variables environnementales influant sur la croissance en hauteur se fait selon un processus de sélection statistique qui quantifie leur influence sur ces espèces (**tableau 3**).

On retrouve des résultats connus empiriquement. Différentes variables représentant le climat ont un effet significatif, notamment l'altitude, qui s'est avérée un meilleur prédicteur que toutes les combinaisons de variables climatiques testées pour toutes les essences, excepté le chêne sessile que l'on trouve peu en montagne. Pour le chêne sessile, le climat est intégré par la température minimale du mois de mars, ce qui correspond au début de la saison de croissance. Des variables représentatives de la quantité d'eau, notamment estivale, sont également influentes. Les variables d'un deuxième groupe, représentant la richesse du sol, se sont révélées importantes pour la croissance, notamment l'indice d'azote d'Ellenberg. Ensuite, un groupe de variables représentant l'accès à la lumière (un indice d'Ellenberg ou bien un indice de densité) est significatif : plus l'accès à la lumière est aisé, moins la croissance est forte. Comme dans le cas d'éclaircies fortes, la croissance en hauteur ralentit quand les arbres sont moins en concurrence pour l'accès à la lumière. Enfin, il restait quelques disparités géographiques pour certaines essences, de magnitude faible, inexplicables par les variables environnementales disponibles. Ces légères erreurs résiduelles sont prises en compte par des variables binaires donnant le décalage du chêne sessile pour la zone nord-ouest océanique, du hêtre pour le massif-central et du sapin pour les Alpes.

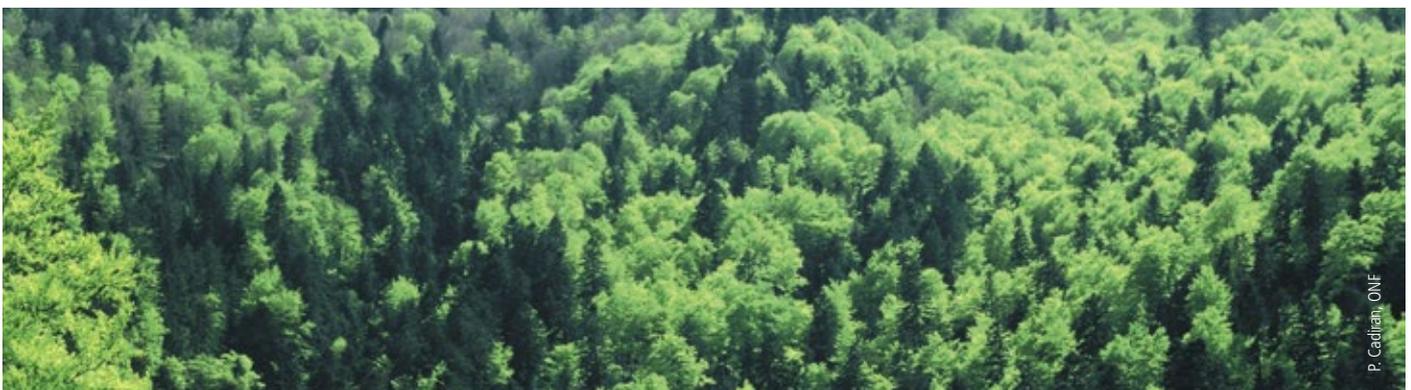
Effet d'une espèce associée sur la croissance d'une espèce cible

L'effet du mélange sur la hauteur dominante peut être positif, nul, ou négatif suivant les associations étudiées (**figure 1**). De manière générale, l'effet est faible. Il est de magnitude inférieure à 10% pour 29 des 31 cas étudiés, et au maximum de +15,7% dans le cas du pin sylvestre en mélange avec le hêtre. Lorsqu'on groupe l'ensemble des espèces associées,

les résultats vont d'une baisse de 4% de la croissance en hauteur pour l'épicéa, tandis qu'au contraire le pin sylvestre est tiré en hauteur de 6,6% par le mélange. Quelques résultats qualitatifs apparaissent également pour certaines essences. L'effet est faible pour le chêne sessile ou le sapin, quelle que soit l'espèce avec laquelle ces essences sont associées. À l'inverse, l'effet est plus fort pour le hêtre, qui peut être soit dynamisé par le mélange avec le sapin ou l'épicéa, soit pénalisé avec le douglas, le chêne pédonculé ou le chêne pubescent. Lorsque significatif, l'effet sur l'épicéa est toujours négatif, quelle que soit l'espèce associée. L'inverse est obtenu pour le pin sylvestre, dont l'effet est toujours positif (lorsque significatif). Enfin, l'épicéa a un effet positif sur les trois espèces cibles auxquelles il est associé (hêtre, pin sylvestre, et sapin).

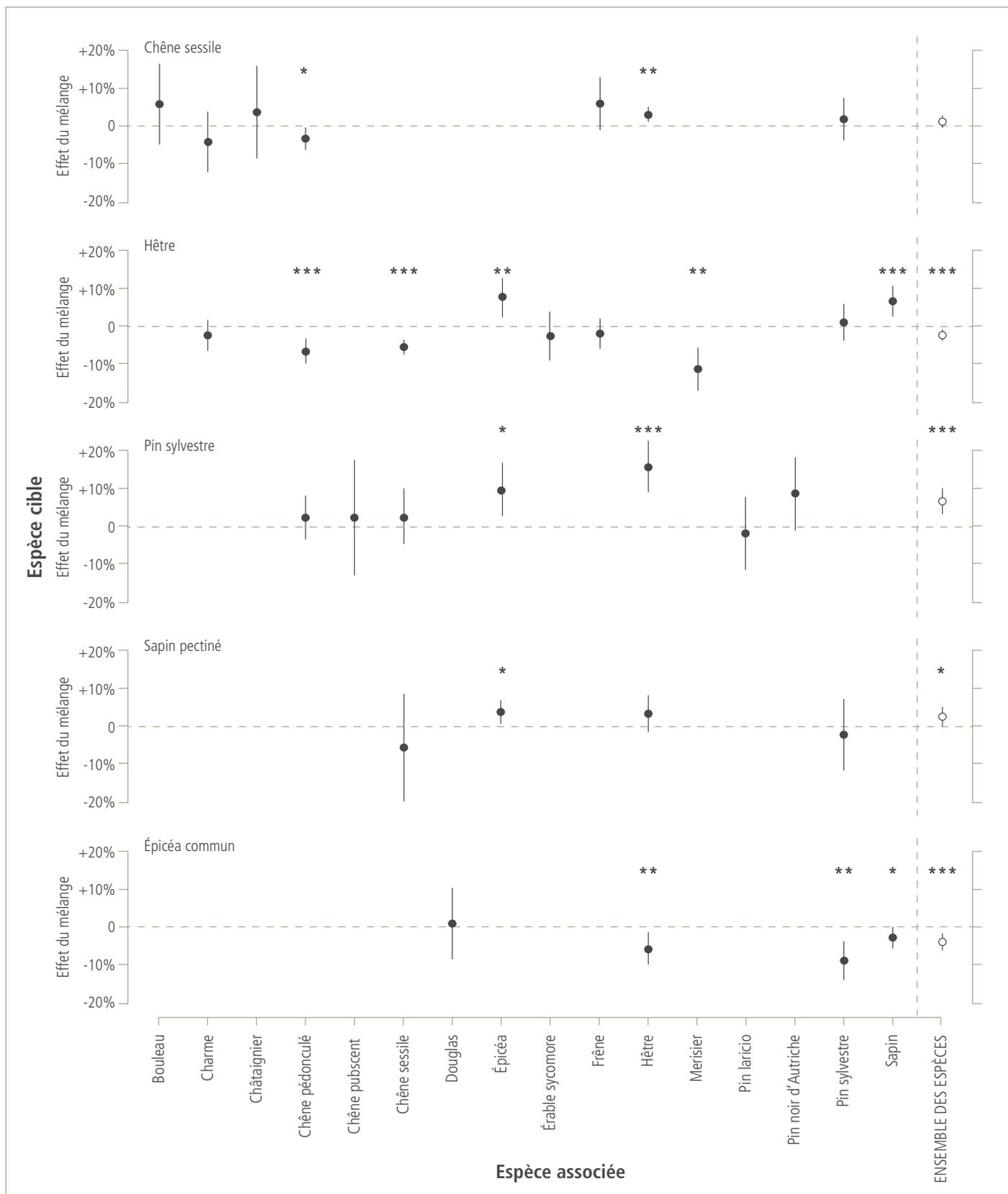
Peu d'études ont porté sur l'effet du mélange sur la hauteur dominante. Pinto *et al.* (2008) ont analysé l'effet de plusieurs feuillus et résineux sur la croissance en hauteur du sapin dans les Vosges. Leurs résultats sont très similaires aux nôtres, avec une absence d'effet du hêtre ou du chêne sessile, mais un effet positif de l'épicéa sur la croissance en hauteur du sapin. Pour le pin sylvestre, un effet positif du hêtre (+6%) a également été identifié sur un transect de placettes pan-européen par Pretzsch *et al.* (2015).

Dans les études antérieures sur la surface terrière ou le volume (Toïgo *et al.*, 2016), les effets sont de magnitude supérieure à ceux que nous avons trouvés sur la hauteur. Nous avons sélectionné dans cette étude les mêmes essences cibles que Toïgo *et al.* (2015), qui ont travaillé sur la surface terrière à partir des données de l'inventaire forestier de l'IGN également. Ils ont trouvé un effet sur le hêtre de +51% avec l'épicéa et de +32% avec le sapin. Cet effet sur la surface terrière était de +15% pour le sapin associé à l'épicéa, et de +14% pour le chêne sessile associé au pin sylvestre. Ces valeurs sont plus élevées que celles obtenues sur la hauteur, mais sont dans la même direction pour toutes les situations communes, sauf pour le couple chêne sessile - hêtre. Dans le cas du mélange chêne sessile - hêtre, les effets sont faibles, mais opposés. Ce cas particulier pourrait être lié à l'histoire sylvicole. En effet, les hêtres les plus vigoureux ont souvent été enlevés en éclaircie au profit du chêne sessile. Les résultats obtenus pour ce couple pourraient donc être une conséquence du traitement sylvicole et pas dus à un effet du mélange. Pour les autres situations, nous pouvons en conclure que le mélange a un réel effet sur la productivité en volume, et ne correspond pas seulement à une allocation différente de la matière produite entre la croissance radiale et la croissance en hauteur.



Hêtraie Sapinière

P. Caudjian, ONF



***: très fortement significatif ; **: très significatif ; *: significatif ; [rien] : non significatif.

Figure 1 : Effet moyen du mélange en fonction de l'espèce cible et de l'espèce associée
 Les résultats sont également donnés pour toutes les espèces associées ensemble.

Effets réciproques d'une espèce sur l'autre

Dans les sept couples d'espèces étudiés, aucune n'a présenté de situation gagnant – gagnant, ni perdant – perdant (tableau 4). Dans deux cas (hêtre – épicéa, et sapin – épicéa), l'une des espèces bénéficie du mélange alors que l'autre en pâtit. Trois couples ont une relation gagnant – neutre¹ (hêtre – sapin, pin – hêtre, et pin – épicéa), un couple (chêne – pin) a une relation neutre – neutre, et un couple (chêne – hêtre) a une relation neutre – perdant. Ces résultats suggèrent que des compensations entre les espèces sont à l'œuvre.

Un schéma commun a été identifié dans toutes les situations : lorsque les espèces ont des dynamiques de croissance en hauteur dominante assez proches en peuplements purs, nous n'observons pas ou peu d'effet du mélange (cas du mélange chêne sessile – pin sylvestre par exemple). En revanche, lorsque dans le mélange une espèce a une dynamique de croissance en hauteur plus rapide que l'autre, on observe un nivellement entre les deux espèces : celle qui pousse le plus vite ralentit sa croissance, alors que celle qui pousse le moins vite est stimulée, probablement pour des aspects liés à l'accès à la lumière.

Afin de mieux quantifier ce résultat, nous avons relié l'effet du mélange sur une espèce du couple à sa différence de hauteur attendue en peuplement pur par rapport à celle de l'espèce associée (figure 2). Le lien est très fort : l'effet du mélange augmente avec la différence de hauteur de l'espèce associée. Par exemple, si l'espèce associée a une hauteur attendue en peuplement pur 20% plus grande que celle de l'espèce cible, l'effet du mélange est en espérance de +8.2%. L'effet est presque symétrique, signifiant que dans les mélanges, chacune des deux espèces fait la moitié du « chemin » vers l'autre espèce.

Ce résultat est en accord avec les interactions basées sur la compétition pour la lumière. L'accès facilité de l'espèce la plus haute l'autorise à réduire sa croissance en hauteur, comme dans le cas des éclaircies fortes en peuplements purs. À l'inverse, l'espèce la plus petite a besoin de stimuler sa croissance en hauteur pour accéder à la lumière.

Association d'espèce			Effet de l'espèce 2 sur l'espèce 1		Effet de l'espèce 1 sur l'espèce 2	
Espèce 1	Espèce 2	Nombre de placettes				
Chêne	Hêtre	195	+2.0%	n.s.	- 5.4%	***
Chêne	Pin	26	+1.3%	n.s.	+6.3%	n.s.
Hêtre	Sapin	63	+ 4.8%	*	+3.2%	n.s.
Hêtre	Epicéa	35	+ 7.7%	**	- 7.8%	**
Hêtre	Pin	27	+2.8%	n.s.	+ 16.7%	***
Pin	Epicéa	14	+ 11.6%	**	-6.5%	n.s.
Sapin	Epicéa	87	+ 3.3%	*	- 3.9%	**

Significativité des effets : ***: très fortement significatif ; **: très significatif ; *: significatif ; n.s. : non significatif

Tableau 4 : Effets du mélange sur la croissance en hauteur par espèce pour 7 couples d'espèces, pour les placettes communes aux deux essences

Les effets significatifs sont en gras. Les ajustements portant sur un sous-échantillon, les valeurs ne sont pas les copies exactes de la figure 1.

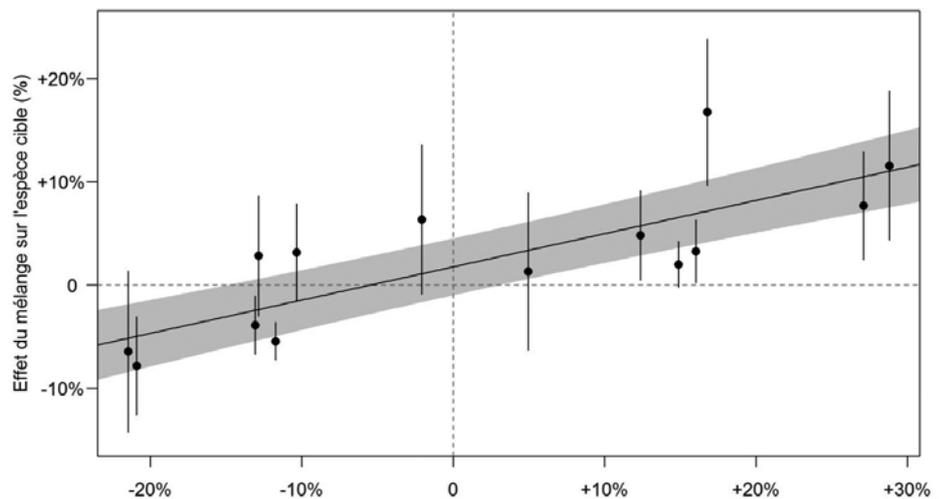


Figure 2 : Effet du mélange par espèce cible en fonction de la différence de hauteur relative attendue en peuplements purs

Par exemple, +10% sur l'axe des abscisses signifie que pour des peuplements purs, la hauteur dominante attendue pour l'espèce associée est 10% supérieure à celle attendue pour l'espèce cible. Comme indiqué dans la partie méthode, il s'agit de peuplements équiennes. La droite correspond à l'ajustement du modèle (voir Vallet et Pérot 2016 pour les détails). La zone grisée correspond à l'intervalle de confiance à 95% de l'effet du mélange.

Conclusion

Cet article présente une méthode pour estimer l'effet du mélange sur la croissance en hauteur dominante à partir des données de l'inventaire forestier de l'IGN. Bien que souvent significatifs, les effets du mélanges sont faibles, comparés à ceux obtenus sur la croissance en surface terrière. Ils sont en revanche dans le même sens dans la plupart des cas. En conséquence, le mélange induit bien une productivité accrue pour ces associations, et pas uniquement une modification de l'allocation de la biomasse dans les différentes parties des arbres. Nous avons par ailleurs pu observer un schéma général : l'effet du mélange correspond à un nivellement de la dynamique des deux espèces en association, l'espèce la plus haute réduisant sa croissance tandis que l'espèce la moins haute augmente la sienne. L'effet du mélange sur la hauteur semble bien une compétition pour la lumière plutôt qu'une complémentarité entre les espèces.

¹En toute rigueur, c'est « neutre ou non significatif », mais en l'occurrence on peut considérer qu'il n'y a pas d'effet.



Peuplement mélangé de chêne et hêtre

Références

IFN, 2011. Une nouvelle partition écologique et forestière du territoire métropolitain : les sylvoécotopes (SER). L'If n° 26, 8 p.

Pinto P.E., Gégout J.-C., Hervé J.-C., Dhote J.-F., 2008. *Respective importance of ecological conditions and stand composition on Abies alba Mill. dominant height growth*. Forest Ecology and Management vol. 255, pp. 619-629

Pretzsch H., del Rio M., Ammer C., Avdagic A., Barbeito I., Bielak K., Brazaitis G., Coll L., Dimberger G., Drossler L., Fabrika M., Forrester D.I., Godvod K., Heym M., Hurt V., Kurylyak V., Lof M., Lombardi F., Matovic B., Mohren F., Motta R., den Ouden J., Pach M., Ponette Q., Schuetze G., Schweig J., Skrzyszewski J., Sramek V., Sterba H., Stojanovic D., Svoboda M., Vanhellemont M., Verheyen K., Wellhausen K., Zlatanov T., Bravo-Oviedo A., 2015. *Growth and yield of mixed versus pure stands of Scots pine (Pinus sylvestris L.) and European beech (Fagus sylvatica L.) analysed along a productivity gradient through Europe*. European Journal of Forest Research vol. 134, pp. 927-947

Toïgo M., Vallet P., Perot T., Bontemps J.-D., Piedallu C., Courbaud B., 2015. *Overyielding in mixed forests decreases with site productivity*. Journal of Ecology, vol. 103, pp. 502-512

Toïgo M., Pérot T., Courbaud B., Vallet P., 2016. *Productivité des peuplements mélangés: quels effets des conditions environnementales dans les peuplements bi-spécifiques?* Rendez-vous Techniques de l'ONF, n° 53, pp. 46-53

Vallet P., Perot T., 2016. *Tree diversity effect on dominant height in temperate forest*. Forest Ecology and Management vol. 381, pp. 106-114