

➤ Croissance des arbres dans CAPSIS-EcoAF

FOREM
Montpellier, 01-04-2025

F Santi, F de Coligny, F Liagre, A Diouf
UMR BioForA



> Contexte

Un développement séquentiel pour CAPSIS EcoAF

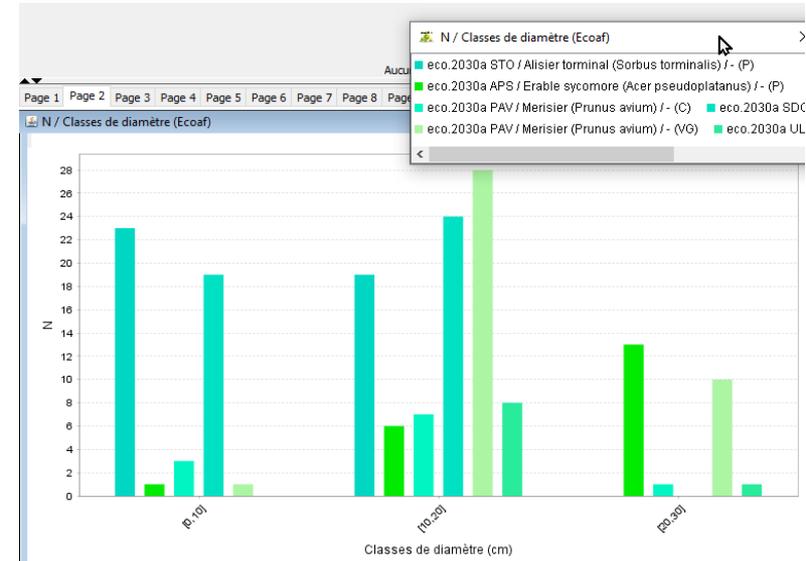
- ❖ Dessiner les parcelles agroforestières complexes (implémenter les besoins issus des conseillers agroforestiers, en particulier d'Agrooft) → Forem 2019 ... 2023
- ❖ Production fruitière, pour les 6 espèces principales utilisées en vergers maraîchers (F Warlop) → Forem 2023
- ❖ Pouvoir visualiser et quantifier l'ombre sur les parcelles via SamsaraLight → Forem 2022
- ❖ Modéliser le houppier des différentes espèces, en croissance libre
- ❖ Les allométries pour le houppier dépendent du diamètre
- ❖ **Modélisation de la croissance en diamètre**



➤ Quel est l'usage potentiel d'EcoAF ?

Des utilisateurs sont aussi co-développeurs

- ❖ Usage complexe → inutile pour de simples haies
- ❖ Conseillers agroforestiers → exemples tous prêts
- ❖ Enseignement agricole → exemples, exercices
- ❖ Agenceurs péri-urbains → Visualiser l'ombre portée des arbres dominants
- ❖ Bibliothèque de cas importables UnExemple.reuse



[DominantsDATE.xlsx](#) : nombre de dominants par espèce. Sa dernière ligne, ainsi que [DominantsDATE.reuse.txt](#) sont pour un simulateur qui calcule l'ombrage (usage très avancé, voir Comment §9). Au rafraîchissement des paramètres, les fichiers sont refaits.

↓ Télécharger

↓ Télécharger



➤ Les agenceurs d'arbres

Dans l'interface d'agencement d'une parcelle, on peut ajouter des jeunes plants ou des arbres pré-existants de plusieurs façons, leurs diamètres sont ensuite traités différemment

- ❖ Plant/arbre simple – l'utilisateur n'a pas de données à suggérer
- ❖ Plant/arbre en double – l'utilisateur n'a pas de données à suggérer
- ❖ Plant/arbre avec 1 référence de croissance en diamètre par espèce
- ❖ Plant/arbre avec 2 références de croissance en diamètre par espèce
- ❖ Plant/arbre fruitier – tous les arbres ont le même type de croissance végétative

 Ajouter arbres

Agenceurs disponibles

Ajout - Plants

Ajout en double

Ajout - Plants ou arbres (une mesure)

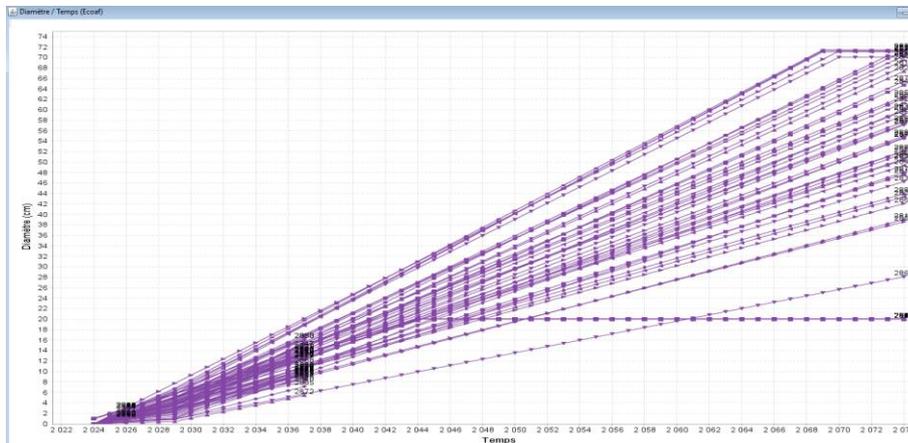
Ajout - Plants ou arbres (deux mesures)

Ajout d'arbres fruitiers

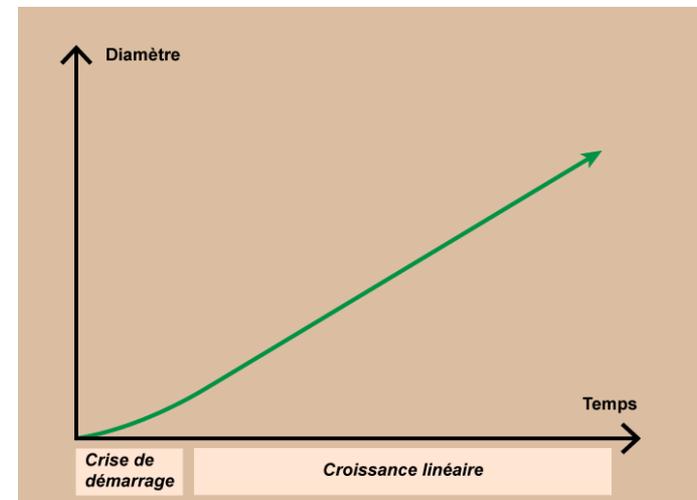


➤ Modèle général de croissance en diamètre

- ❖ Arbre en croissance libre
- ❖ Phase d'installation, croissance éventuellement réduite
- ❖ Croissance grossièrement linéaire
- ❖ Plateau maximum défini, mais coupe en pleine croissance
- ❖ Paramètre loggingDiameter du fichier d'entrée treeSpecies calculé d'après les données issues de 6 métropoles françaises, si non d'après le site floriscope.io



Visualisation graphique EcoAF Diamètre/Temps

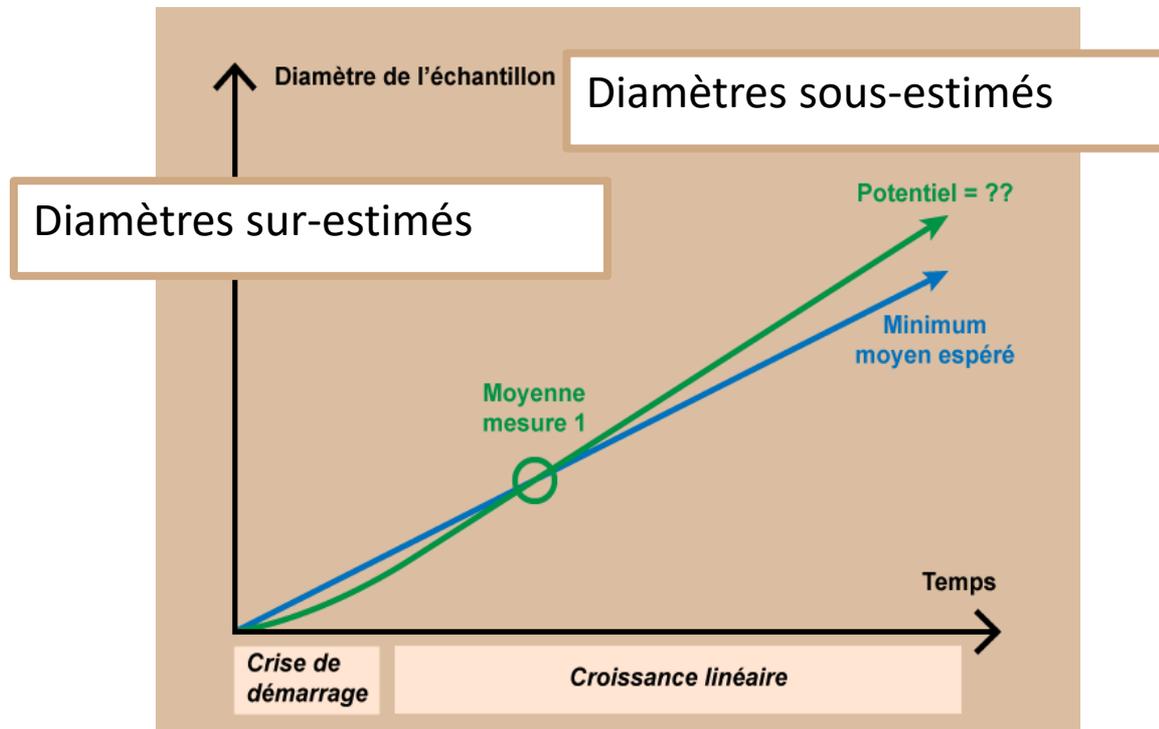


➤ L'utilisateur a des métadonnées (moy, ET)

Modélisation approximative d'une parcelle existante, pour projeter l'aspect futur

Les données d'une parcelle proche sont utilisées pour modéliser une nouvelle parcelle

- ❖ Agenceur Ajout – Plants ou arbres (une mesure)
- ❖ Renseigne Age de mesure 1, Moyenne diamètres 1, Sigma diamètres 1 (mm)
- ❖ Tirage selon une loi normale de la valeur du diamètre à age1, autres valeurs déduites de la droite passant aussi par le diamètre à la plantation (0).

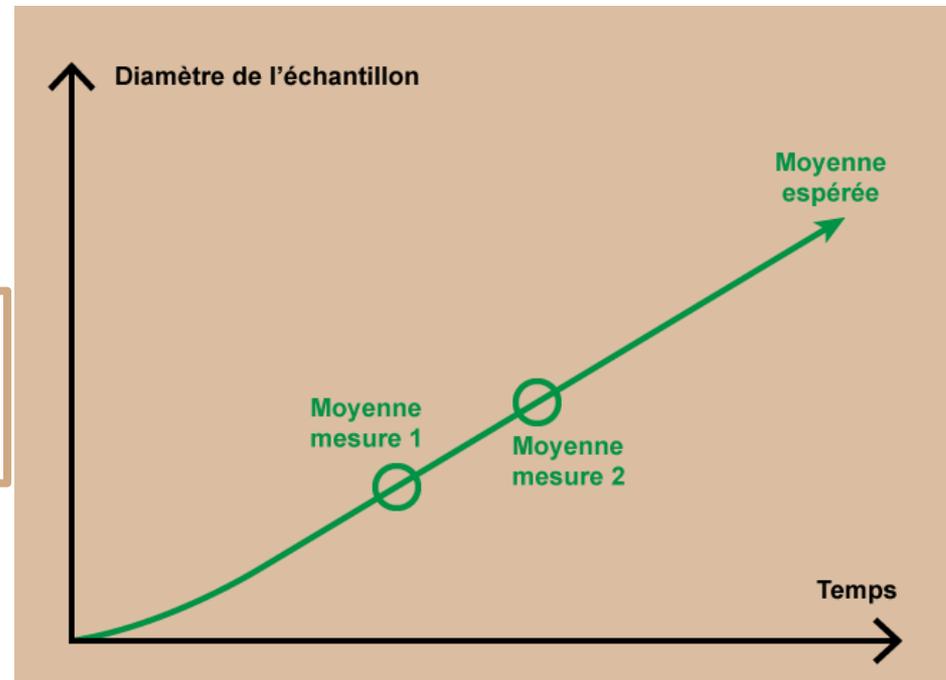


➤ L'utilisateur a des métadonnées (moy ET)

En plus, mesures de diamètre à age2 → on renseigne Ages de mesure 1 et 2, Moyenne diamètres 1 et 2, Sigma diamètres 1

- ❖ Agenceur Ajout – Plants ou arbres (deux mesures)
- ❖ Tirage selon une loi normale de la valeur du diamètre à age1. Valeurs précédentes déduites de la droite passant aussi par diamètre à la plantation = 0. Valeurs postérieures déduites de l'accroissement annuel entre Moyenne diamètres 1 et Moyenne diamètres 2.

Le tirage aléatoire du diamètre à *age1* est fait selon une loi normale





L'utilisateur a des métadonnées à sa disposition

Besoin de nombreuses références

- ❖ Valeurs fournies par l'appli DIAFNOSTIC développée par INRAE et AGROOF
- ❖ <https://docs.models-agroforestry.eu/diafnostic/results/>

Croissance estimée par arbre			Diamètre mesure 1 (cm)					Diamètre mesure 2 (cm)					Gain/an (cm)					Comm			
N° de formulaire	Espèce	Localisation	Tous				Exc		Tous			Exc		Tous			Exc		Tous	Exc	
			Age	Nombre d'arbres	Moyenne	Ecart-type	Valeur	NB ET/MOY	Age	Nombre d'arbres	Moyenne	Ecart-type	Valeur	NB ET/MOY	Années	Moyenne	Ecart-type	Valeur			NB ET/MOY
																				voir	voir

Légendes

- Age = âge lors de la mesure 1, puis nombre d'années en plus lors de la mesures 2
- Nombre d'arbres = nombre d'arbres mesurés
- Exc. = Arbre exceptionnel
- NB ET/MOY = nombre d'écart-types en plus de la moyenne
- Années = nombre d'années prises en compte pour le calcul du gain annuel
- Comm = commentaires publics

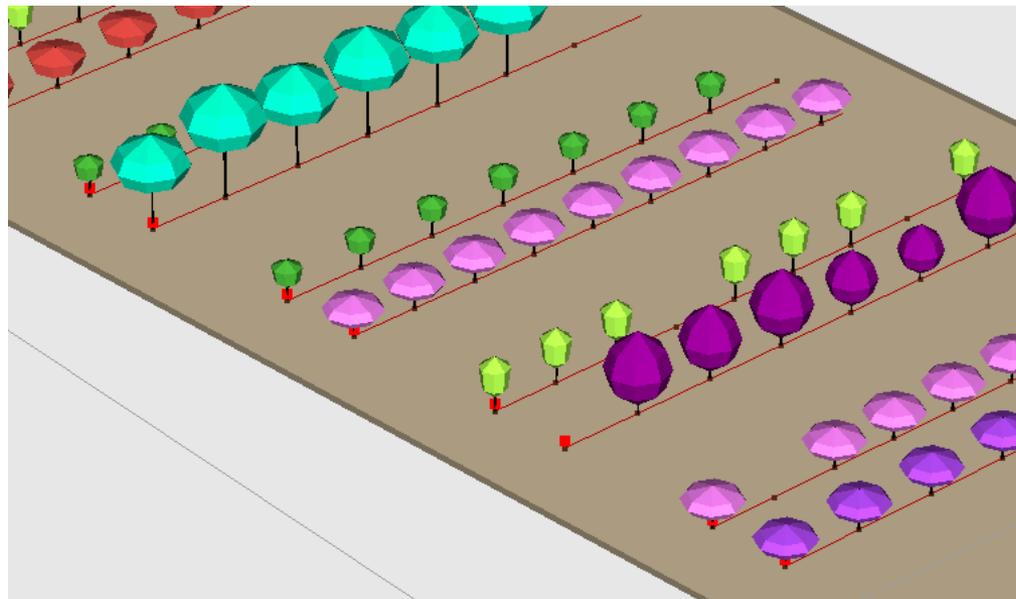
- Table des matières**
- [Tableau des résultats partagés](#)
 - Résultats personnels**
 - Obtenir mes résultats personnels
 - Lire les graphiques sur les diamètres mesurés
 - Les graphiques sur les futurs diamètres
 - Test des erreurs de mesure
 - Un arbre exceptionnel
 - Puis-je partager mes résultats personnels ?

➤ Cas particulier des arbres fruitiers

Taillés pour favoriser la production de fruits, arrosés et fertilisés

Durée de vie de courte, remplacés au bout de 20 ans par de nouveaux arbres, pour maintenir la productivité

- ❖ Croissance en diamètre à 0,20 m de hauteur
- ❖ Linéaire entre la plantation (1 cm) et l'arrachage (ou le plateau) à 20 ans (20 cm)
- ❖ Pas de modulation de la fertilité de la parcelle
- ❖ Pas d'aléas individuels, arbres greffés identiques



➤ L'utilisateur n'a pas de données

Agenceurs « Ajout (en double) – Plants »

❖ Paramètres du fichier treeSpecies

HG_dbhMiddle_cm ● Diamètre à la rupture de pente entre deux dynamiques de croissance (2 à 8 cm, dépend des espèces)

DG_dbhSlopeMean Moyenne de l'accroissement en diamètre annuel

DG_dbhSlopeSD Écart-type de l'accroissement en diamètre annuel

❖ Accroissement en diamètre après atteinte du point de rupture **HG_dbhMiddle_cm**

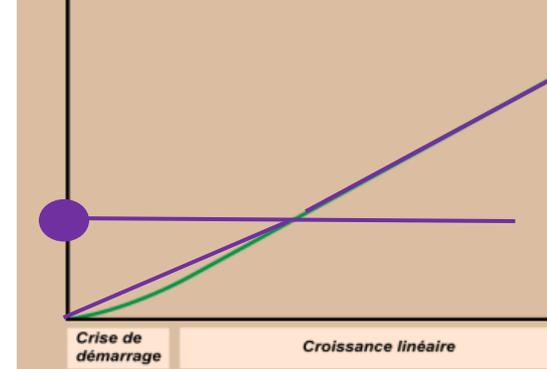
$DG_dbhSlopeAfter = N (DG_dbhSlopeMean , DG_dbhSlopeSD) * fertilityModifier$

❖ Avant **HG_dbhMiddle_cm**, facteur de réduction tiré au hasard entre 1 et 0,75

❖ Le diamètre du tronc à 1,30 cm à l'âge 0 (plantation) est 0 (hauteur <1,3 m) ou 1

❖ Qualité de la parcelle : entrée par l'utilisateur dans l'interface d'agencement

fertilityModifier 0.8 (peu productive) – 1 (par défaut) – 1.2 (très productive)



➤ Estimer la croissance annuelle en diamètre moyenne $DG_dbhSlopeMean$ pour chaque espèce

- ❖ Un arbre en croissance libre a plus d'accès à la lumière, et sur terrain agricole, a accès aux engrais affectés aux cultures
- ❖ Peut-on utiliser les données IFN pour estimer les croissances en diamètre ? Stage M1 A Diouf en 2024

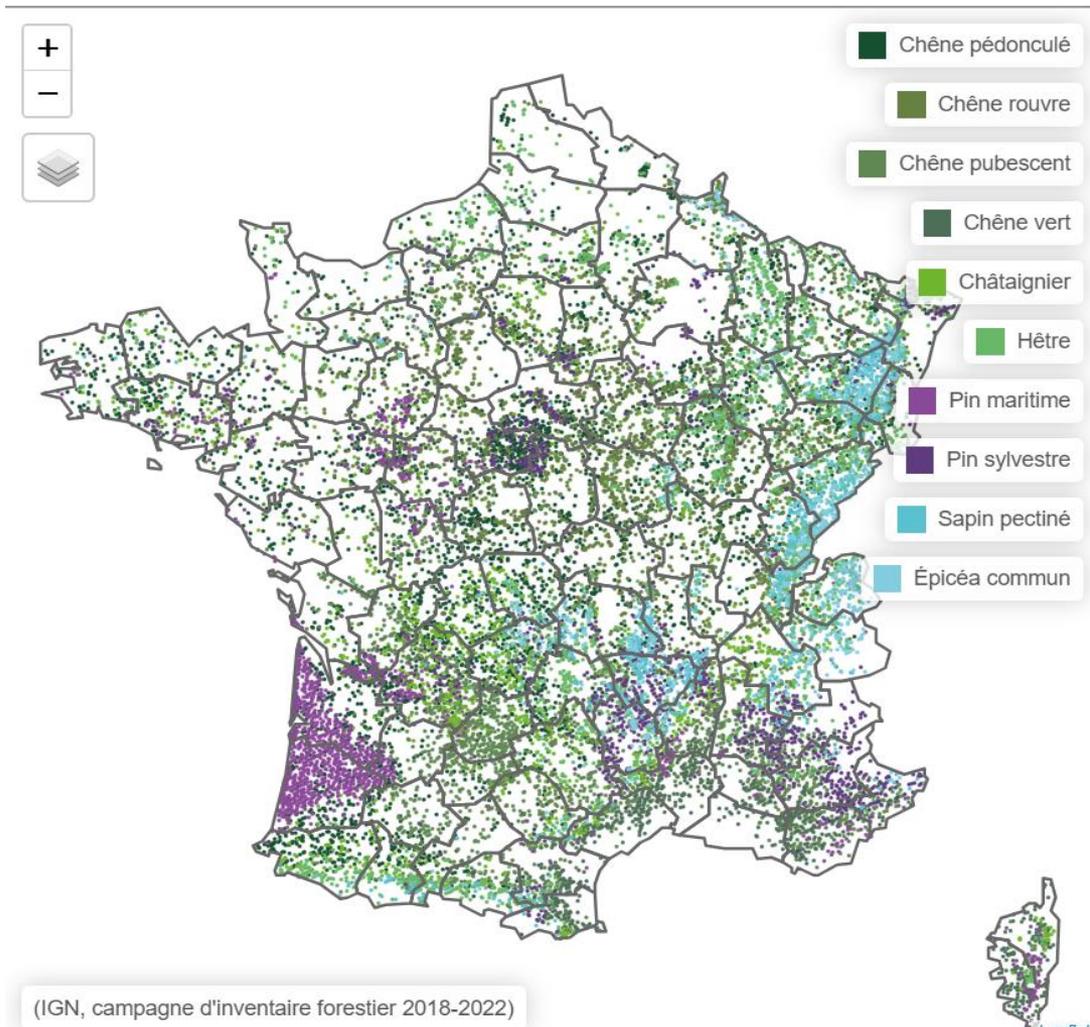
	Agroforesterie	Forêt
Croissance	Accélérée	Très variable
Densité des arbres	Faible	Moyenne à forte
Compétition	Modérée	Forte



➤ DG_dbhSlopeMean

Accroissements annuels individuels d'arbres (diamètres > 7,5 cm)
des placettes d'inventaire IFN = Inventaire Forestier National

- ❖ Arbres sans accident
- ❖ Dominants : houppier libre > 2/3
- ❖ Moins de 60 ans
- ❖ Issus de semence

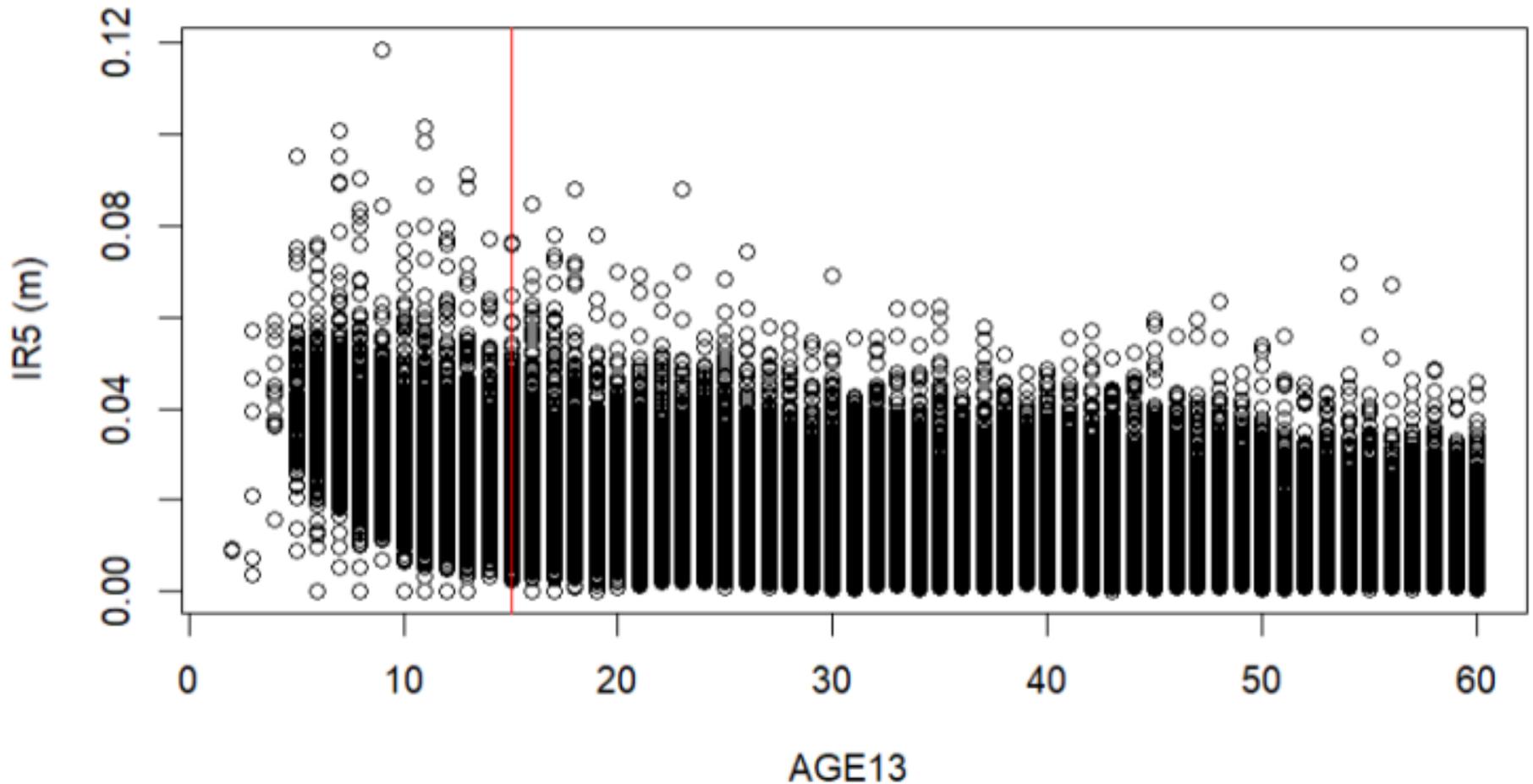


❖ Campagnes 2009 à 2022

CAMPAGNE	IDP	Libellé ESPAR	Libellé ORI	Libellé LIB	AGE13	C13	HTOT	IR5
2022	1201556	Bouleau verruqueux	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	7	0.355	9.1	0.0345
2022	1201556	Pin sylvestre	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	7	0.372	6.2	0.0370
2022	1202785	Pin laricio de Corse	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	6	0.414	5.6	0.0465
2022	1202785	Pin laricio de Corse	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	6	0.319	5.2	0.0390
2022	1203319	Charme	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	15	0.644	14.0	0.0296
2022	1203418	Tremble	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	12	0.444	13.0	0.0277
2022	1203418	Tremble	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	11	0.375	14.1	0.0230
2022	1203514	Chêne pédonculé	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	30	1.222	19.0	0.0242
2022	1203583	Chêne sessile	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	6	0.260	4.8	0.0206
2022	1203583	Chêne sessile	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	6	0.264	4.3	0.0215
2022	1206060	Chêne pédonculé	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	9	0.441	8.0	0.0361
2022	1208009	Peuplier cultivé	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	7	0.252	8.0	
2022	1208412	Chêne pédonculé	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3		0.549	5.6	0.0126
2022	1210672	Frêne commun	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	5	0.289	7.6	0.0415
2022	1210870	Pin noir d'Autriche	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	54	0.957	15.3	0.0103
2022	1210870	Pin noir d'Autriche	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3		0.539	9.0	0.0060
2022	1212945	Saule cendré	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3		1.430	13.2	
2022	1214851	Aulne glutineux	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3		0.455	6.7	0.0092
2022	1214851	Aulne glutineux	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	55	1.642	18.6	0.0151
2022	1215151	Saule blanc	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	29	1.595	14.7	0.0249
2022	1215766	Chêne des marais	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	8	0.286	7.8	0.0322
2022	1215766	Chêne des marais	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	9	0.337	7.8	0.0393
2022	1217290	Chêne pédonculé	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3		0.793	12.4	0.0107
2022	1217290	Chêne pédonculé	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3		1.190	11.8	0.0275
2022	1219360	Pin d'Alep	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3		0.245	3.8	0.0141
2022	1219360	Pin d'Alep	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	18	0.600	5.7	0.0186
2022	1219360	Pin d'Alep	Issu de semence	Couvert libre supérieur à 2/3	15	0.785	9.5	0.0225

➤ DG_dbhSlopeMean

- ❖ Au-delà de 15 ans, la concurrence entre arbres fait chuter l'accroissement annuel

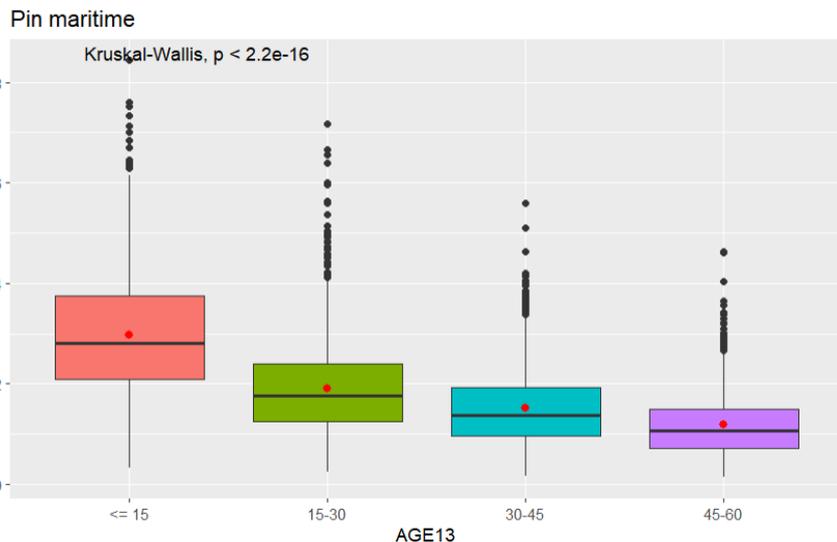


DG_dbhSlopeMean

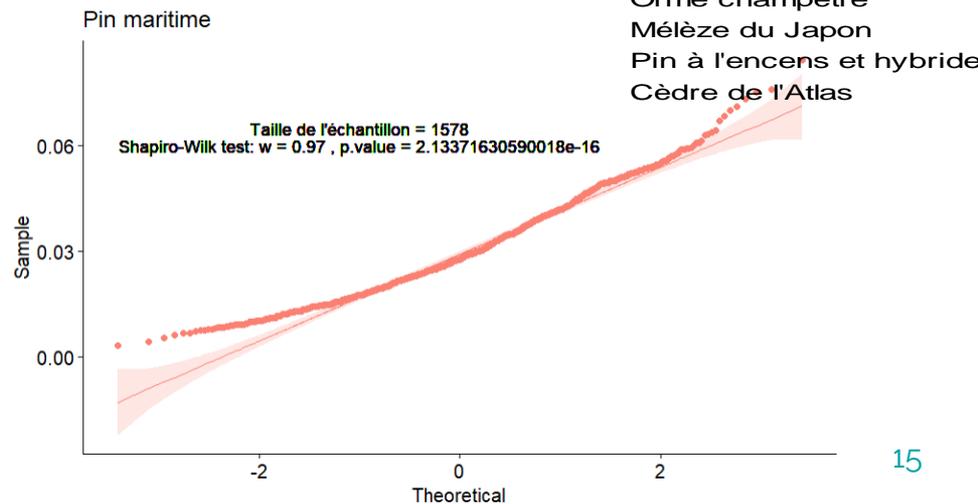
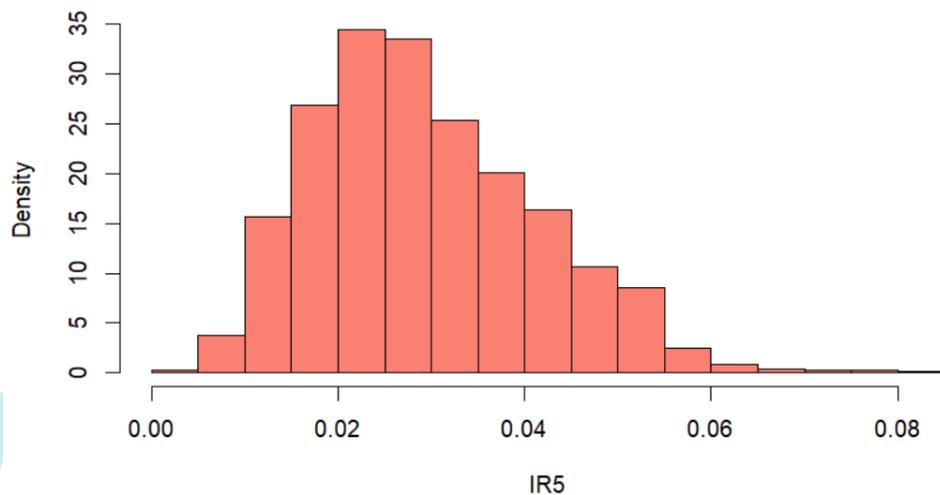
- ESPECE
- Pin maritime
- Douglas
- Chêne pédonculé
- Pin sylvestre
- Chêne sessile
- Bouleau verruqueux
- Frêne commun
- Pin laricio de Corse
- Hêtre
- Épicéa commun
- Peuplier cultivé
- Châtaignier
- Robinier faux acacia
- Saule marsault
- Pin d'Alep
- Tremble
- Pin noir d'Autriche
- Aulne glutineux
- Érable sycomore
- Charme
- Chêne rouge
- Chêne pubescent
- Merisier
- Mélèze d'Europe
- Sapin pectiné
- Érable champêtre
- Épicéa de Sitka
- Orme champêtre
- Mélèze du Japon
- Pin à l'encens et hybride
- Cèdre de l'Atlas

30 espèces avec au moins 24 arbres de 1-15 ans

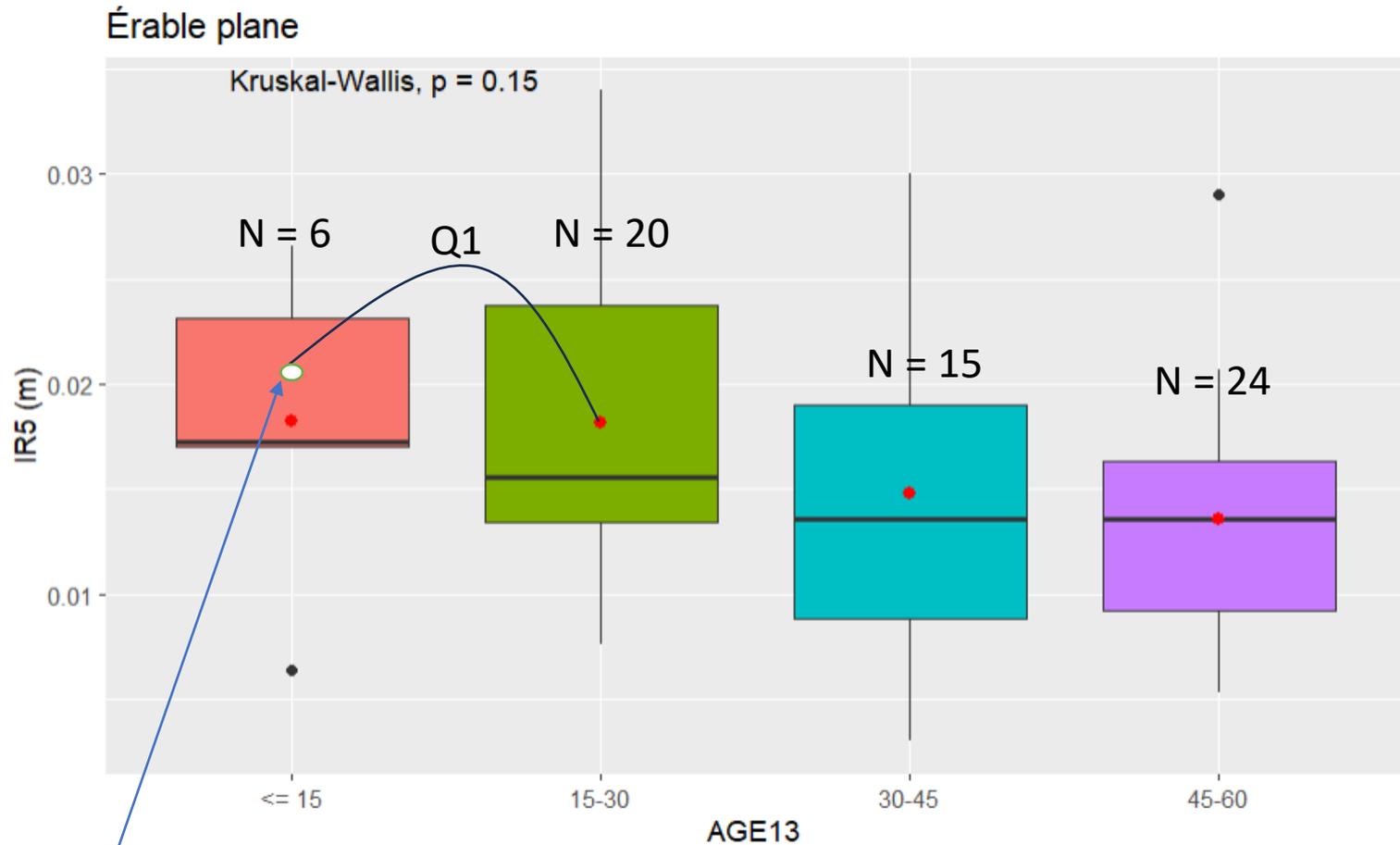
→ Estimation à partir de IR5 ≤ 15 ans



Pin maritime, Age <= 15



➤ DG_dbhSlopeMean



DG_dbhSlopeMean estimée = moyenne (IR5 (15-30ans)) * Q1

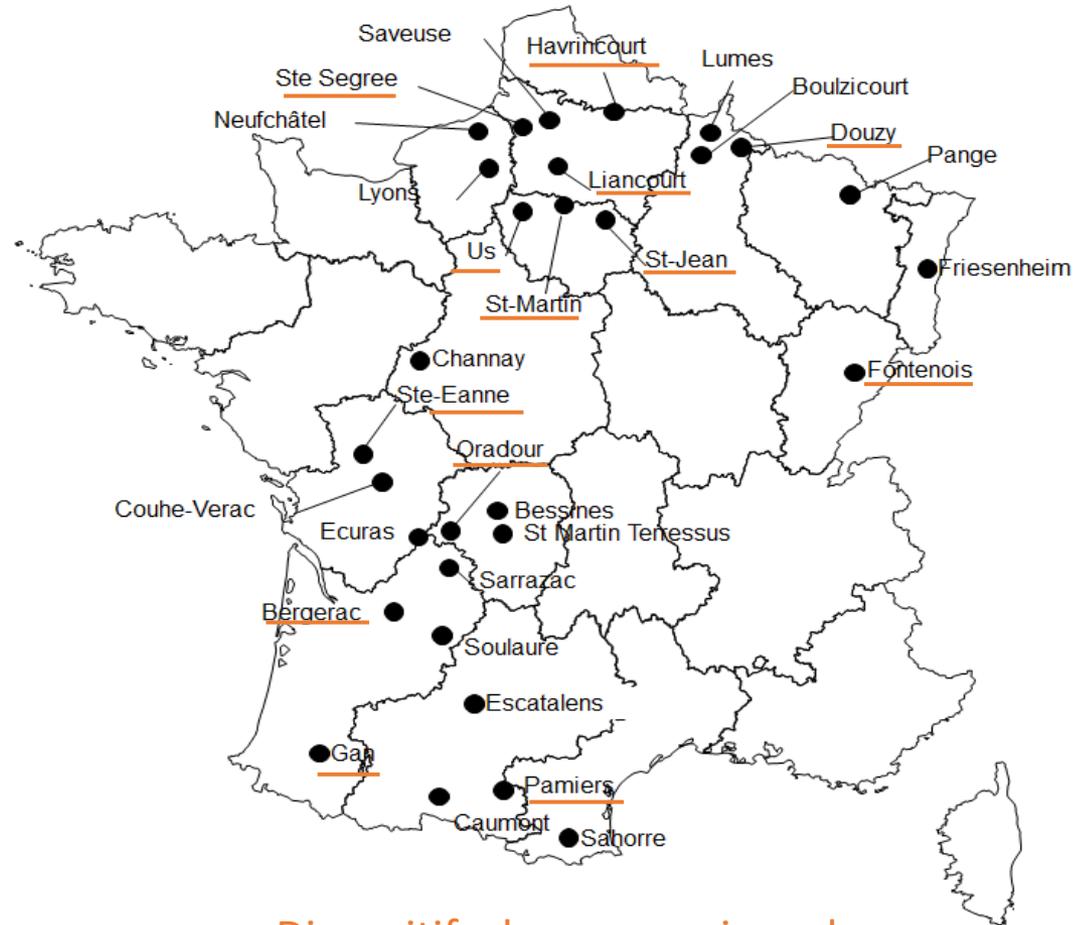
Hmax 10 - 15 m		Hmax 16 - 20 m		Hmax 21 - 25 m		Hmax 26 - 42 m	
Moyenne	0,65	Moyenne	0,88	Moyenne	1,00	Moyenne	1,26
Ecart-type	0,19	Ecart-type	0,44	Ecart-type	0,43	Ecart-type	0,40
Nombre	15	Nombre	22	Nombre	18	Nombre	34
Nombre d'estimés	22	Nombre d'estimés	14	Nombre d'estimés	7	Nombre d'estimés	23
Amandier	0,38	Alisier blanc	0,54	Aulne de Corse	0,92	Ailante	1,32
Aubepine monogyne	0,45	Alisier torminal	0,58	Chene rouge d'Amerique	1,13	Aulne glutineux	0,99
Bouleau pubescent	0,92	Aulne blanc	0,80	Chene vert	0,26	Bouleau verruqueux	0,88
Cerisier	0,76	Cerisier de Sainte Lucie	0,45	Erable champetre	0,69	Cedre de l'Atlas	1,10
Charme houblon	0,69	Chataignier commun	1,13	Eucalyptus hybride	1,25	Charme commun	0,78
Erable a feuilles d'obier	0,57	Chene liege	0,30	Frene a fleurs	0,55	Chene chevelu	0,95
Genevrier commun	0,30	Chene pubescent	0,80	If commun	0,76	Chene des marais	2,00
Houx	0,65	Chene tauzin	0,80	Meleze hybride	1,09	Chene pedoncule	0,96
Noisetier commun	0,61	Cormier	0,64	Noyer commun	1,14	Chene sessile	0,83
Pin cembro	0,51	Cryptomeria du Japon	2,25	Peuplier hybride	1,87	Epicea commun	1,06
Pin d'Alep	0,82	Cypres commun	0,49	Peuplier tremble	0,93	Epicea de Sitka	1,75
Pommier sauvage	0,73	Cypres de Lawson	1,63	Pin de Monterey	2,01	Erable plane	1,10
Saule cendre	0,87	Erable de Montpellier	0,54	Pin de Salzmann	0,44	Erable sycomore	1,01
Sorbier des oiseleurs	0,61	Meleze d'Europe	1,01	Pin laricio	1,07	Frene commun	0,93
Sureau noir	0,92	Merisier	0,91	Pin noir d'Autriche	0,78	Frene oxyphylle	1,03
		Merisier a grappes	1,17	Sapin argente	1,05	Hetre commun	0,77
		Orme de montagne	1,31	Sapin de Nordmann	1,12	Marronnier d'Inde	0,71
		Pin parasol	0,92	Saule fragile	0,97	Noyer noir	1,70
		Poirier commun	0,67			Orme champetre	0,88
		Poirier sauvage	0,61			Orme lisse	1,77
		Saule Marsault	0,95			Peuplier blanc	1,76
		Thuja geant	0,95			Peuplier grisard	1,36
						Peuplier noir	1,39
						Pin a l'encens	1,49
						Pin maritime	1,19
						Pin sylvestre	0,91
						Platane d'Amerique	1,63
						Robinier faux-acacia	0,97
						Sapin de Douglas	1,19
						Saule blanc	1,57
						Sequoia toujours vert	2,11
						Tilleul a grandes feuilles	1,17
						Tilleul a petites feuilles	1,32
						Tulipier de Virginie	2,14

- ❖ Estimations pour 89 espèces
- ❖ Déductions pour autres espèces :
moyennes par catégories de hauteur

➤ DG_dbhSlopeMean

Données IFN → pas de connaissances sur le degré de concurrence entre arbres → Utiliser les données des témoins PAV901 de 14 dispositifs de merisiers, où la concurrence est contrôlée par une densité d'environ 500 /ha, pour calculer un facteur correcteur

Site	Nombre
Bergerac	49
Douzy	51
Eanne	38
Fontenoy	7
Gan	26
Havrincourt1	49
Havrincourt2	21
Liancourt	104
Oradour	37
Pamiers	16
Segree	51
StJean	81
StMartin	33
Us	35

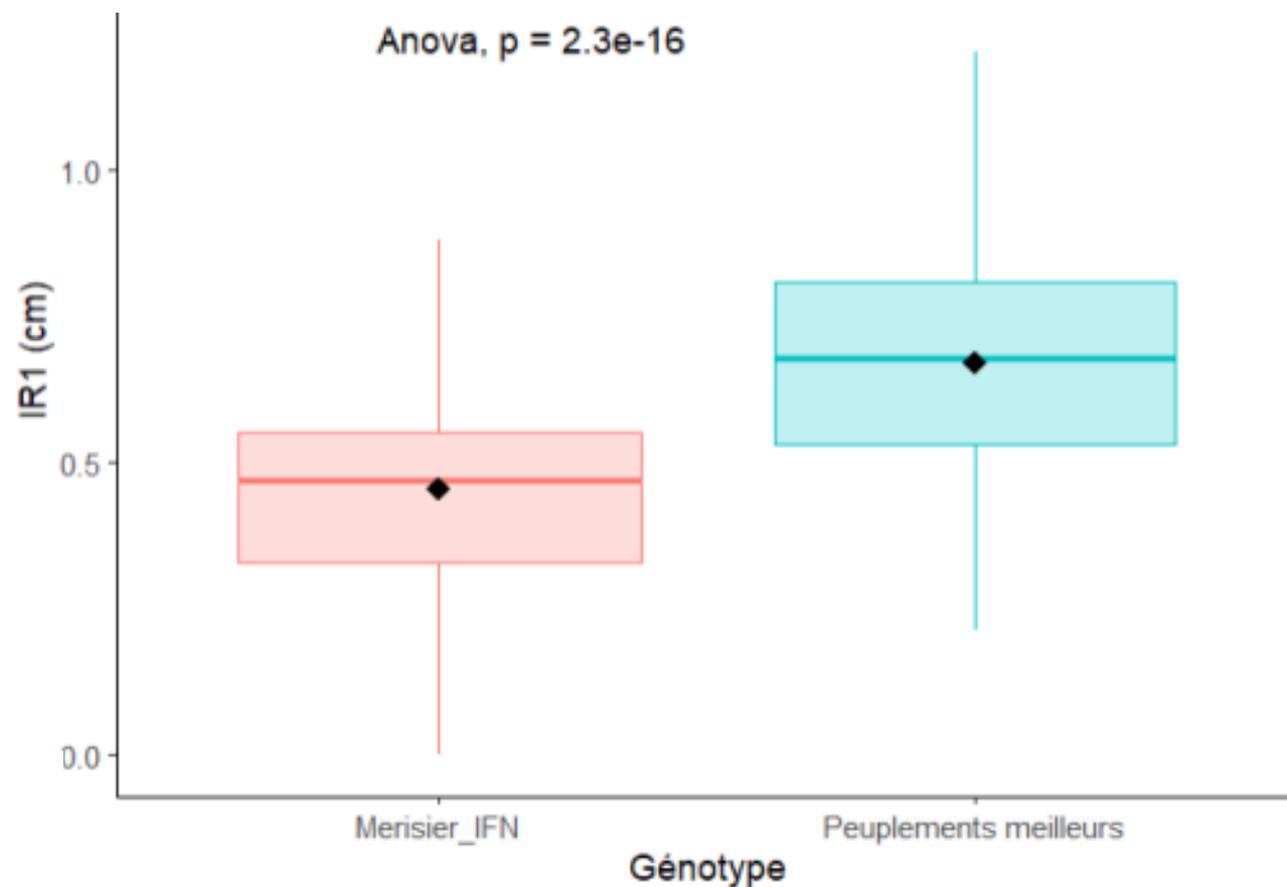


Dispositifs de comparaison de génotypes de merisier comportant des témoins « Peuplements »

> DG_dbhSlopeMean

Génotype	Nombre	Moyenne	Ecart-type	Min	Max
Merisier de l'IFN	63	0,454	0,204	0	0,95
Peuplements meilleurs	598	0,67	0,193	0,213	1,38

- ❖ Coefficient correcteur : 1,475
- ❖ Pour toutes les espèces



➤ DG_dbhSlopeSD

Site	Nombre	Ecart-type
Bergerac	49	0.12885654
Douzy	51	0.15819864
Eanne	38	0.18977861
Fontenoy	7	0.09047178
Gan	26	0.17983406
Havrincourt1	49	0.14562809
Havrincourt2	21	0.13950250
Liancourt	104	0.16019878
Oradour	37	0.12744583
Pamiers	16	0.09284228
Segree	51	0.16181044
StJean	81	0.16186752
StMartin	33	0.13119261
Us	35	0.17633551

Test de Levene d'homogénéité des variances OK

	Df	F value	Pr(>F)
group	13	1.5356	0.09995
	584		

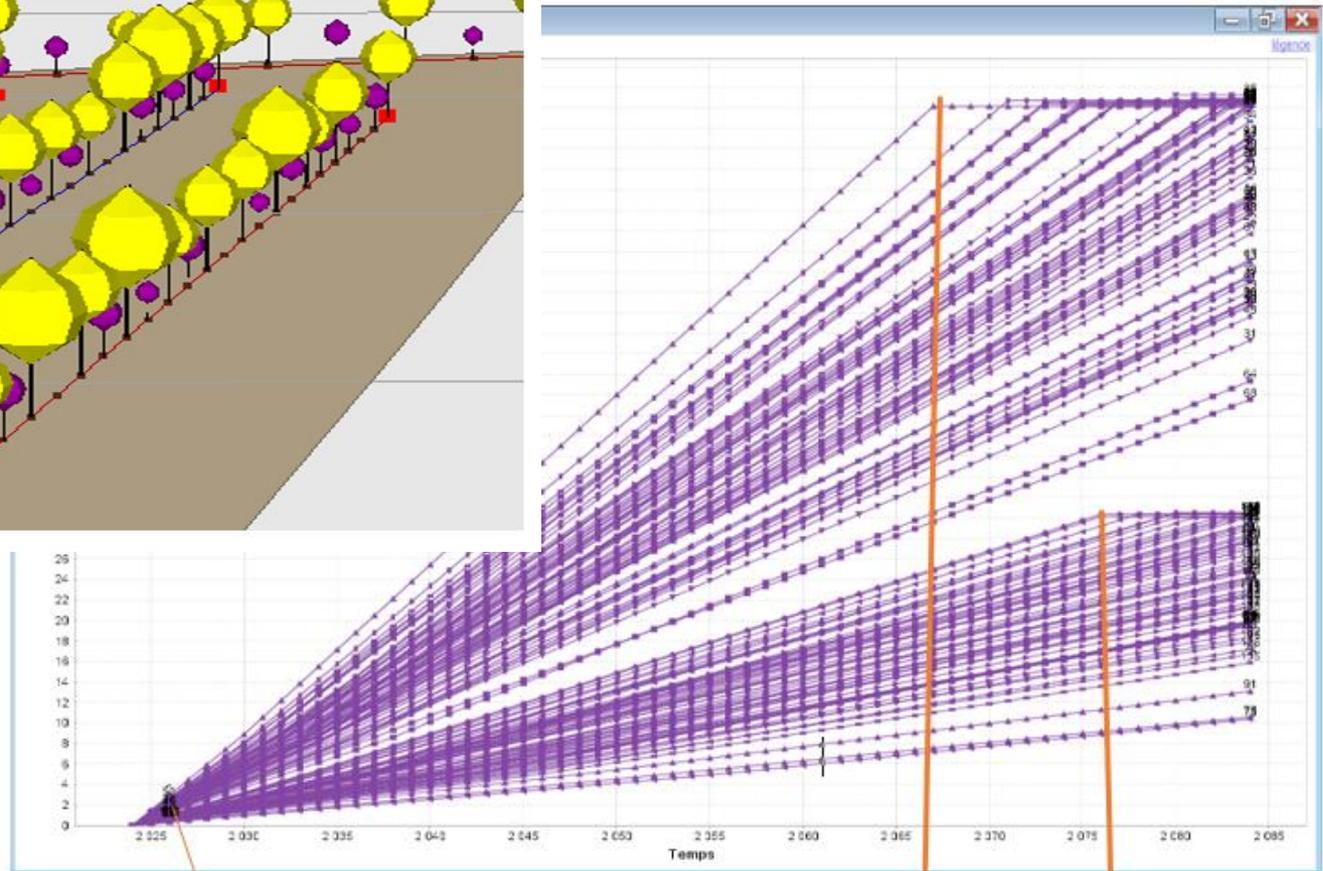
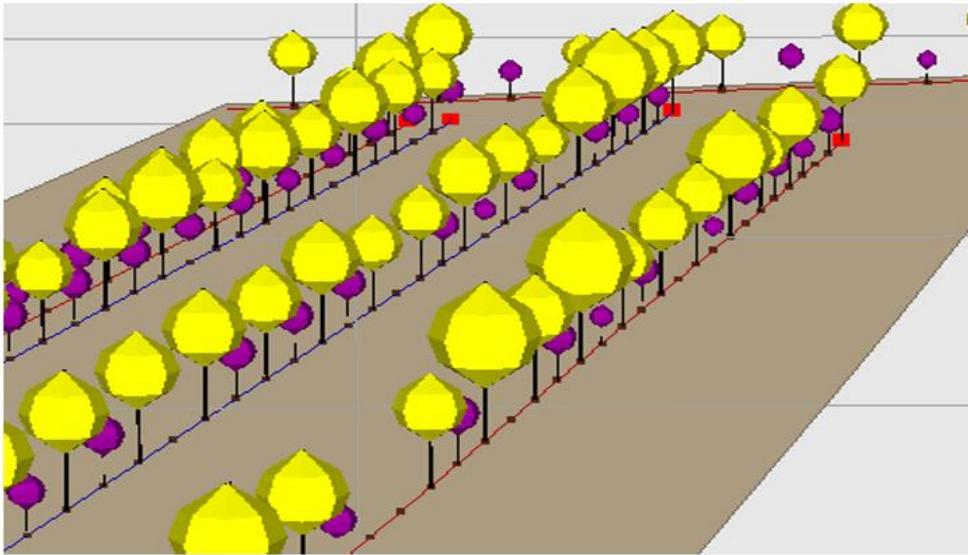
$$Sd (IR1 (Peuplements)) = \sqrt{\frac{\sum_1^{14} (n_i - 1) sd_i^2}{N - 13}} = 0,157 \text{ cm}$$

$$CV = 23,4 \%$$

→ Pour toutes les espèces, DG_dbhSlopeSD estimé à 23,4 % de l'accroissement annuel moyen DG_dbhSlopeMean



➤ Visualisation graphique



Fixée à 10% à 2 ans
quelle que soit
l'espèce

Morts

Plateau maximal
pour Aulne

Plateau maximal
pour Arbousier

➤ Visualisation graphique

Positions sur les lignes

Positions standards , Sur lignes avec label : -, Espacement(s) (m) : 7 63, Etiquettes : **lutece gardelin...**

Positions standards , Sur lignes avec label : -, Espacement(s) (m) : 7 7 7 7 7 7 21, Etiquettes : **25%sdo 25%sto 2...**

Ajouter positions

Arbres sur les positions

Ajout , Sur positions étiquetées : **lutece**, ULM / Orme hybride

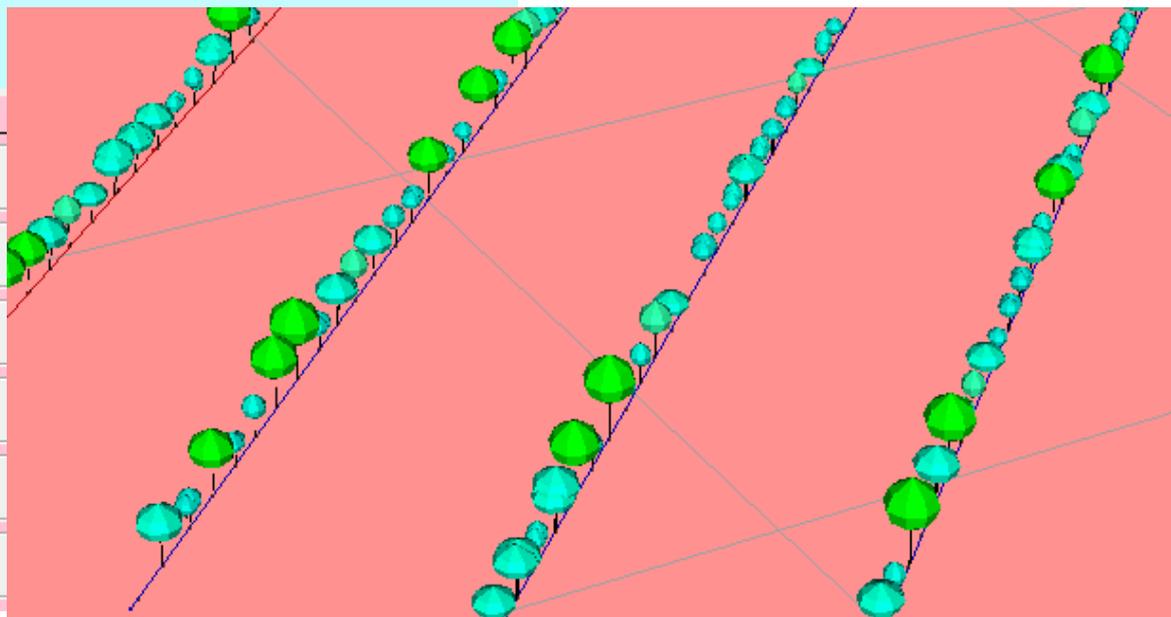
Ajout , Sur positions étiquetées : **gardeline**, PAV / Merisier

Ajout en double, Sur positions étiquetées : **sdo**, SDO / Cormier

Ajout en double, Sur positions étiquetées : **sto**, STO / Alisier torminal

Ajout en double, Sur positions étiquetées : **pav**, PAV / Merisier

Ajout en double, Sur positions étiquetées : **aps**, APS / Erable sycomore



NouzillyP1.reuse importé dans une nouvelle parcelle : agencement comme la parcelle de INRAE Nouzilly



> Perspectives

- ❖ Inclure les futures campagnes de l'IFN au fur et à mesure permettra d'avoir de meilleures estimations, en particulier pour les espèces à effectifs faibles et / ou mal réparties sur le territoire
- ❖ Disposer de nombreuses données agroforestières serait plus pertinent → DIAFnostic
- ❖ Un seul coefficient de variation n'est pas très fiable pour estimer l'écart-type pour toutes les espèces → utiliser les données de quelques parcelles agroforestières âgées serait plus pertinent
- ❖ Avec les données de Lidar-HD et le logiciel Computree, nous pourrions améliorer le modèle adapté à plusieurs niveaux fertilité et plusieurs espèces → un script Computree a été écrit, adapté aux parcelles avec des linéaires d'arbres (stage M1 A Delaneau)



➤ Merci !

<https://docs.models-agroforestry.eu/ecoaf/presentation/>

The screenshot shows the 'Documentations AF Models' website. The header is teal with a search bar and navigation icons. The main content area is dark grey. On the left, a sidebar lists 'EcoAF', 'Présentation', 'Documentation', 'Exemples', and 'Publications'. The 'Présentation' page is active, featuring a title 'Présentation' and a paragraph describing ECOAF as a tool for designing agroforestry plots. Below this is a section titled 'EcoAF dessine des parcelles agroforestières' with a sub-paragraph. A teal callout box on the right contains information about CAPSIS, a shared module developed over 20 years.

Documentations AF Models

Accueil Diagnostic EcoAF

EcoAF

Présentation

Documentation

Exemples

Publications

Présentation

ECOAF est un outil pour dessiner les futures parcelles agroforestières, afin d'éditer des plans d'aménagements et réaliser des simulations de croissance et de compétition pour la lumière. Cet outil, basé sur la plateforme de modélisation CAPSIS, pilotée par le CIRAD AMAP, est avant tout destiné aux conseillers agroforestiers.

EcoAF dessine des parcelles agroforestières

A partir d'une ou plusieurs parcelles, l'utilisateur peut composer son aménagement agroforestier, qu'il soit intraparcellaire ou sous forme de haie, ou les deux à la fois.

i CAPSIS : un cœur et des modules partagés

Développé depuis 20 ans pour la forêt (plus de 80 modules), mais accessible pour des agroforêts (module HiSafe utilisé par les chercheurs, projet initié par l'équipe de Christian Dupraz, Maris Gosme et Isabelle

➤ Croissance annuelle en diamètre pour les arbustes

Aussi : arbres recépés, lianes (assimilé à un buisson de 0,5 m de hauteur)

$$\text{HG_slopeMiddle} = (\text{heightMax} - \text{HG_interceptMiddle}) / \text{loggingDiameter} * \pi()$$

HG_interceptMiddle	heightMax(m)
0.2	<= 1 m
0.3	<= 2 m
0.4	<= 3 m
0.5	<= 10 m

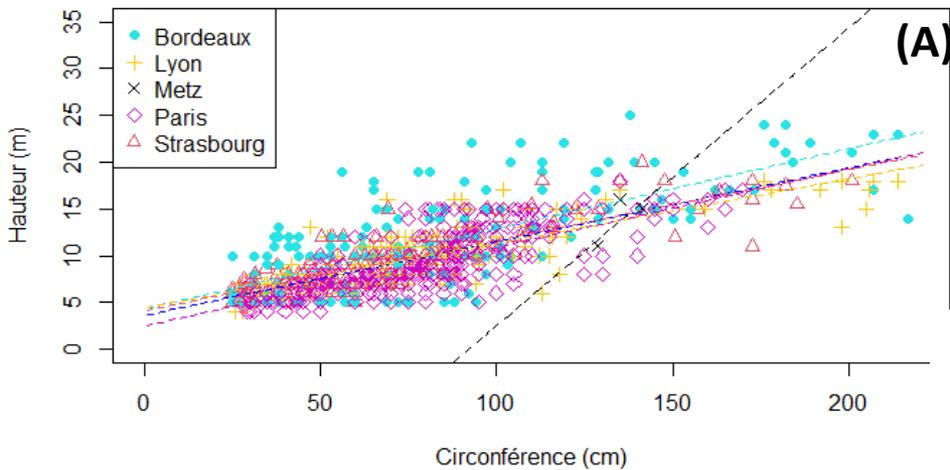


➤ Croissance en hauteur

- ❖ Hauteur à la plantation. Agenceurs « Ajout (en double) – Plants » : elle est tirée linéairement entre Hauteur min (m) et Hauteur max (m) déclarées. Agenceurs « Ajout – Plants ou arbres (une/deux mesures) » : elle est fixée à 0,5 m. Agenceur « Ajout d'arbres fruitiers » : elle y est déclarée pour tous les plants de l'espèce par Hauteur (m).
- ❖ La hauteur d'un arbre est déduite ensuite chaque année de la circonférence en mm, et des paramètres du fichier treeSpecies.
- ❖ Pour l'agenceur « Ajout d'arbres fruitiers », la croissance en hauteur est linéaire entre la Hauteur (m) initiale déclarée et la hauteur maximale de treeSpecies heightMax(m), atteinte à 7 ans, puis reste à cette valeur.
- ❖ Pour tous les autres cas, on utilise le paramètre de treeSpecies dbhMiddle_Girth, qui est le diamètre limite entre deux formules pour calculer la hauteur correspondante via deux autres paramètres (les 3 paramètres sont déduits de calculs sur arbres en ville) :
- ❖ $\text{Hauteur_limite_m} = \text{HG_interceptMiddle} + \text{HG_slopeMiddle} * \text{HG_dbhMiddle_Girth}$
- ❖ Avant cette hauteur limite, croissance linéaire depuis la hauteur à la plantation, puis quand on la dépasse :
- ❖ $\text{Hauteur_m} = \text{HG_interceptMiddle} + \text{circonférence_cm} * \text{HG_slopeMiddle}$
- ❖ Enfin la hauteur stagne quand est atteinte la hauteur maximale heightMax(m).



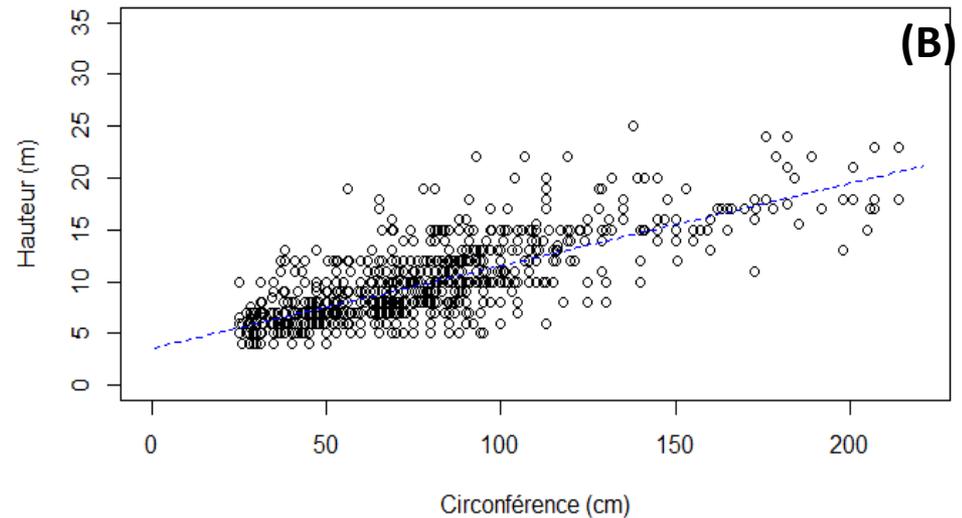
Quercus rubra



ANOVA	F	P
Ville	25.6	< 0.001
Hauteur	1386.3	< 0.001
Interaction	3.6	0.003

Hauteur = 3,637 + 0.0796 * Circonférence
 R^2 ajusté = 0.564

Quercus rubra



Exemple (P Sergent) : Chêne rouge (*Quercus rubra*) : régression linéaire de la circonférence en fonction de la hauteur, villes distinctes (A), résultat final (B)



➤ Forme du houppier

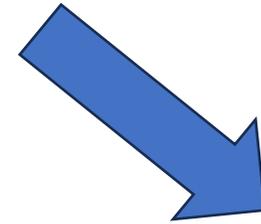
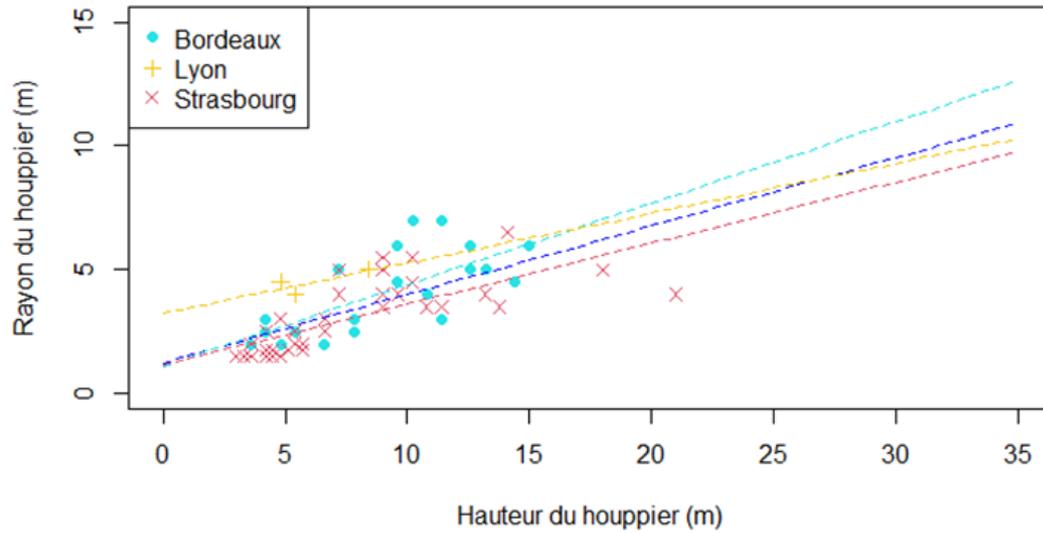
- ❖ Proportion de tronc libre sous le houppier : 10 % de la hauteur pour les espèces buissonnantes et les arbres taillés en têtard, 40 % sinon (paramètre `crownBaseHeightOverHeight` du fichier d'entrée `treeSpecies`), et une hauteur maximale du tronc libre de branches fixée à 6 m
- ❖ Le rayon maximal du houppier des arbres forestiers est au minimum de 0,1 m, puis est déduit de la hauteur, avec 3 paramètres (déduits de calculs sur arbres en ville, ou des données de `floriscope.io` sinon) du fichier d'entrée `treeSpecies` :

$$\text{Rayon_maximal_m} = \text{crownIntercept} + \text{crownSlope} * (1 - \text{crownBaseHeightOverHeight}) * \text{hauteur_m}$$

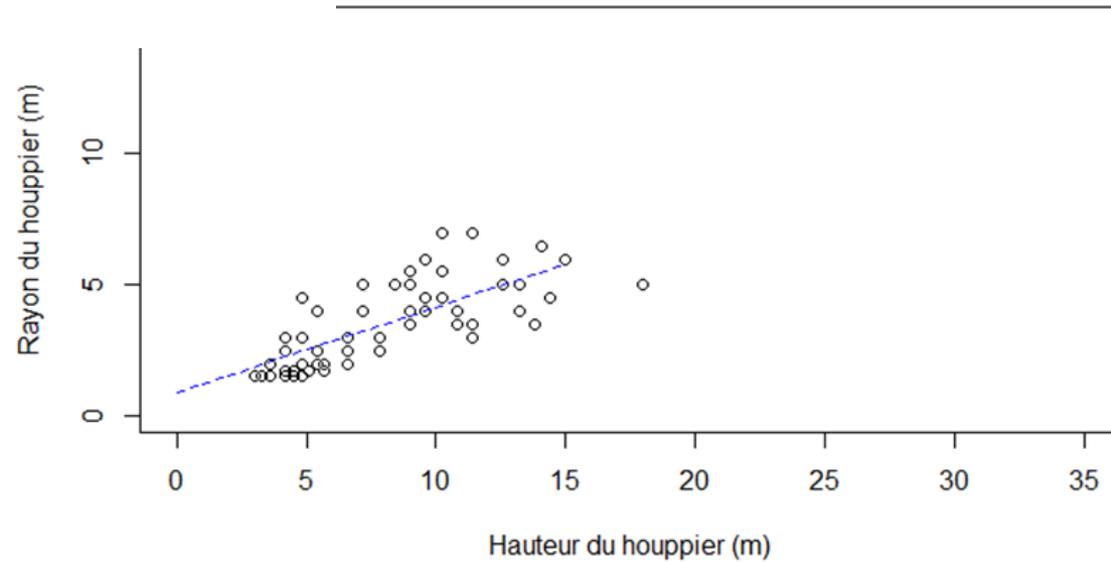
- ❖ Nuance pour les arbres fruitiers : à `Age=0`, `Rayon_maximal_m` = $\frac{1}{4}$ `Longueur_houppier_m`, linéaire jusqu'à 7 ans et `crownMaxDiameter(m)`, puis stable
- ❖ Aspect en diamant du houppier, pour toutes les espèces : paramètre `crownProfile` du fichier d'entrée `treeSpecies` : { 0; 0; 25; 80; 50; 100; 75; 80; 100; 0 } signifie à 0 % du houppier, son diamètre est 0 % du diamètre max, à 25 % du houppier, son diamètre est 80 % du diamètre max, etc
- ❖ Couleur du houppier : définie par `colorRGB (r,g,b)`
- ❖ Une protection individuelle de 1 m de hauteur est dessinée pour chaque arbre



Taxodium distichum



Taxodium distichum



Exemple (A Delaneau) : Cyprès chauve

$$\text{Rayon_maximal_m} = 0.8963 + 0.32620 * 0.9 * \text{hauteur_m}$$

