

Synthèse du Réseau Régional d'Expérimentation et de Démonstration Hauts-de-France sur le peuplier

Première partie : analyse statistique des essais installés

Synthèse
2022

Table des matières

Caractérisation du réseau de placettes	4
Historique	4
Objectifs	4
Le protocole d'installation	5
Le réseau de placettes	6
Localisation des placettes.....	6
Les cultivars de peupliers	9
Analyse statistique	11
Préambule	11
Croissance globale des peupliers	12
Etude des potentialités des stations	14
Analyse de la croissance par cultivar	18
Analyse de la croissance par cultivar en fonction des stations	23
Prédire la performance des peupliers: le rôle du sol, du relief et du climat	26
Contexte actuel de filière : Plan Peuplier et importance de l'élagage	38
Plan Peuplier	38
Importance de l'élagage	41
Le marché du peuplier	41
Annexe 1 : Eléments Graphiques : Illustration des circonférences à 5, 10 et 15 ans	42
Annexe 2 : Analyse de la significativité des résultats : Différence entre les stations.....	55
Annexe 3 : croissance annuelle par dispositif et pluviosité	66
Annexe 4 : analyses statistiques, vérification des hypothèses et sélection du meilleur modèle.....	107
Annexe 5 : Clé de détermination des stations à peuplier	115
Annexe 6 : liste des cultivars par station	116
Annexe 7 : liste des cultivars éligibles aux aides	117
Annexe 8 : classification de débourrement des principaux clones	118

Le peuplier est une des composantes majeures des paysages de notre région, il est d'ailleurs l'essence la plus récoltée en bois d'œuvre devant le chêne avec 163 000 m³ de bois rond par an soit 12 % de la récolte nationale, plaçant la région Hauts-de-France au deuxième rang des régions pour le volume de peuplier récolté.

Conscient de l'importance du territoire populicole et de ses enjeux, le CRPF Hauts-de-France a mis en place un réseau d'expérimentation régionale sur cette essence avec le soutien d'organismes professionnels régionaux et de propriétaires forestiers. Les premiers essais ont été mis en place au début des années 80 afin de tester et étudier le comportement de différents cultivars proposés par la recherche, et ce, sur différentes stations.

L'ensemble des peupliers installés proviennent de croisements et de sélections. Ils sont le fruit du travail de chercheurs italiens (Casale Montferrato, Alasia), belges (Grammont, Institut INBO) et français [INRA, IRSTEA (ces deux structures ont désormais fusionné pour devenir INRAE), GIS, FCBA, Poloni]. Les cultivars expérimentés se répartissent entre les groupes d'appartenance suivants :
Trichocarpa, Euraméricain et Interaméricain.

Les chiffres présentés dans cette synthèse sont issus des essais CNPF.

Caractérisation du réseau de placettes

Historique

Comme évoqué en introduction, les premiers essais de peupliers dans la région des Hauts-de-France ont été installés il y a un peu plus de trente ans. A cette époque, différentes personnalités comme Philippe de Boissieu et de Michel Hubert membres de l'IDF ont été moteurs dans le développement de la populiculture expérimentale et ont élaboré le protocole d'installation des essais expérimentaux, en collaboration avec M. Steenackers de l'Institut de recherche de Grammont en Belgique. Par la suite, le protocole et la méthode d'installation choisis ont été résolument simplifiés afin de faciliter leur suivi (voir paragraphe 3). L'un des objectifs recherché, toujours d'actualité de nos jours, visait à expérimenter les cultivars de peupliers sur différentes stations pour définir la bonne adéquation entre type de station et cultivar.

M. Steenackers a fourni les premières boutures de peupliers interaméricains (Raspalje, Unal, Boelare, Hunnegem et Beaupré) qui ont été testées en comparaison avec un peuplier témoin bien connu, le Robusta. Le cultivar euraméricain Ghoy, également expérimenté, était essentiellement planté dans les terrains les plus mouilleux. Patrick Poliautre technicien forestier au CRPF s'est chargé pendant une trentaine d'années de participer à la mise en place des placettes et de leur suivi. Ses successeurs ont continué jusqu'à aujourd'hui dans ce sens.

Les premiers résultats ont rapidement montré que le cultivar Hunnegem est hautement sensible à la maladie de la rouille. Par contre, le cultivar Beaupré s'est avéré initialement être le meilleur sur tous les types de station (stations alluviales et hors vallée). Le cultivar Beaupré a révolutionné la populiculture dans la région, d'importantes campagnes de plantation ont été menées. Ses très bonnes qualités technologiques lui ont également permis de répondre à la demande des scieurs. Malheureusement, dans les années 94/95, une nouvelle mutation du champignon de la rouille, (race E4) est apparue dans le département de l'Aisne et a entraîné les conséquences que l'on connaît.

Les chercheurs ont alors orienté différemment leurs investigations. L'expérimentation des interaméricains a été abandonnée. Les cultivars euraméricains et Trichocarpa ont remplacé les interaméricains sur le terrain d'expérimentation.

Objectifs

L'objectif principal du réseau de placettes est de tester de nouveaux cultivars avant leur mise en marché. Les cultivars sont généralement mis à disposition par les organismes de recherche et des pépiniéristes. Ils sont plantés dans différentes stations afin d'évaluer leur comportement. Les plants

sont installés sur des parcelles privées ou communales après conventionnement entre le CRPF et les propriétaires. Des mesures sont ensuite réalisées annuellement.

Les essais visent aussi à servir de support à des réunions de vulgarisation. Les nouveaux cultivars peuvent ainsi être présentés. L'expérience des propriétaires dans l'entretien des plants apporte des informations, notamment sur la facilité d'élagage, les périodes de débourrement, le comportement face aux aléas climatiques et les problèmes phytosanitaires rencontrés.

Le protocole d'installation

L'installation d'une expérimentation de peupliers se fait par bloc de 25 plants. Seuls les 9 peupliers du milieu sont mesurés. Les autres constituent la bande d'isolement. Il peut arriver cependant qu'au vu de la configuration du terrain, cette disposition ne soit pas toujours possible et que les plants soient alors installés en ligne avec ou sans bande d'isolement.

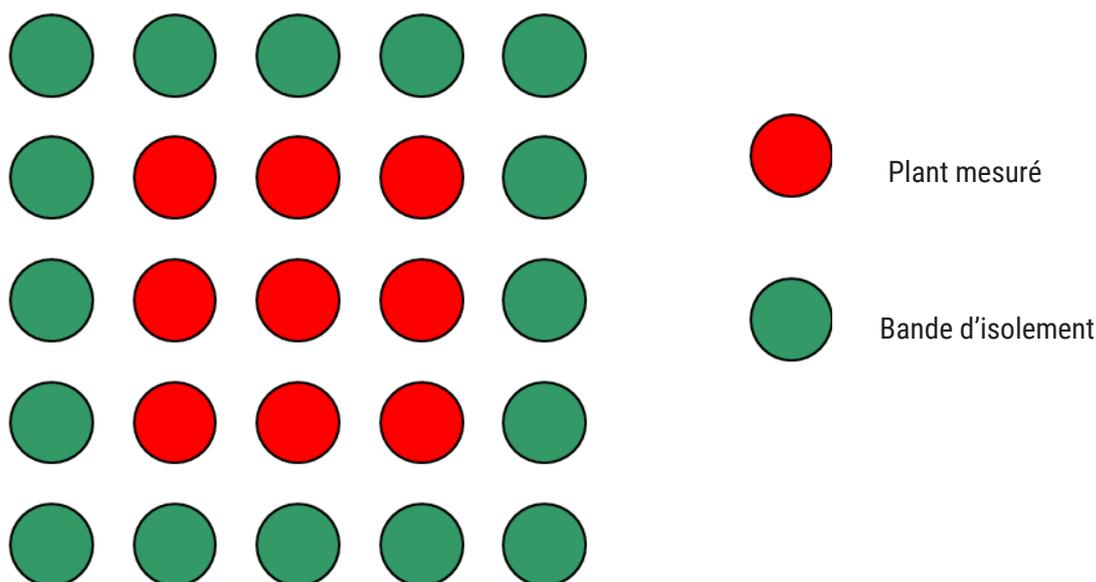


Figure 1 : Exemple de dispositif d'essai

Avant chaque installation, des sondages pédologiques sont réalisés afin d'en identifier la station. La nature du sol permet d'orienter le choix des cultivars mais également de comparer le comportement d'un même cultivar sur des sols différents.

Les mesures se concentrent sur la circonférence à 1.30 m du sol. Elles sont faites généralement annuellement, les premières années de la plantation, en dehors de la période de végétation d'octobre à fin mars. Puis, elles sont espacées de 2, voire 3 ans. Au bout de 15 ans, nous obtenons le maximum

d'informations sur le comportement des cultivars expérimentés. Leur courbe de croissance diminue progressivement. Ces mesures sont complétées sur le terrain par des observations sur l'état sanitaire des peupliers et leur architecture (branchaison, rectitude du tronc, forme du houppier....). Le témoignage des propriétaires sur le suivi des plantations est également une riche source d'informations. Ils nous renseignent en particulier sur la difficulté d'élagage de certains cultivars et leur date de débourrement.

Les mesures individuelles sont saisies dans des tableurs Excel conçus par le CRPF Hauts-de-France. Ils recensent les relevés annuels et ils permettent d'obtenir des informations sur la circonférence et les accroissements (moyen et courant). Actuellement seules les circonférences moyennes sont renseignées dans la base de données nationale du CNPF ILEX.

Le réseau de placettes

Suivant la base de données Ilex, le réseau de placettes en Hauts-de-France comprend 144 essais. Actuellement 34 essais sont suivis.

Essai abandonné	48
Essai terminé	23
Essai suivi	34
Essai récolté	39
Total	144

Tableau 1 : Répartition des essais selon leur activité

Les essais abandonnés correspondent aux situations suivantes : des entretiens sur la plantation non effectués qui engendrent une dégradation du dispositif, une mortalité trop importante de cultivars mesurés dû à des aléas climatiques ou biotiques une vente de la propriété etc.

Un essai est terminé lorsque nous avons suffisamment de données intéressantes et exploitables sur les cultivars concernés. En général, les mesures sont terminées lorsque l'essai atteint une quinzaine d'années, la courbe d'accroissement des peupliers s'infléchissant, de nouvelles campagnes de mesures deviennent inutiles.

Localisation des placettes

Les placettes sont installées sur les 5 départements. Une centaine de communes sont concernées par le réseau de placettes peuplier depuis son existence.

Département	Nombre de placettes
Aisne	9
Nord	10
Oise	8
Pas de Calais	1
Somme	6

Tableau 2 : Nombre de placettes d'essais par département

Le territoire de l'ancienne Picardie dispose de terrains (vallées alluviales de l'Oise, de L'Aisne, l'Ourcq) favorables à la plantation de peupliers. Elle comprend le nombre le plus important de placettes. Sur les 34 en cours de suivi, 23 se situent en Picardie. En annexe on retrouve l'ensemble des fiches des placettes en cours de suivi.

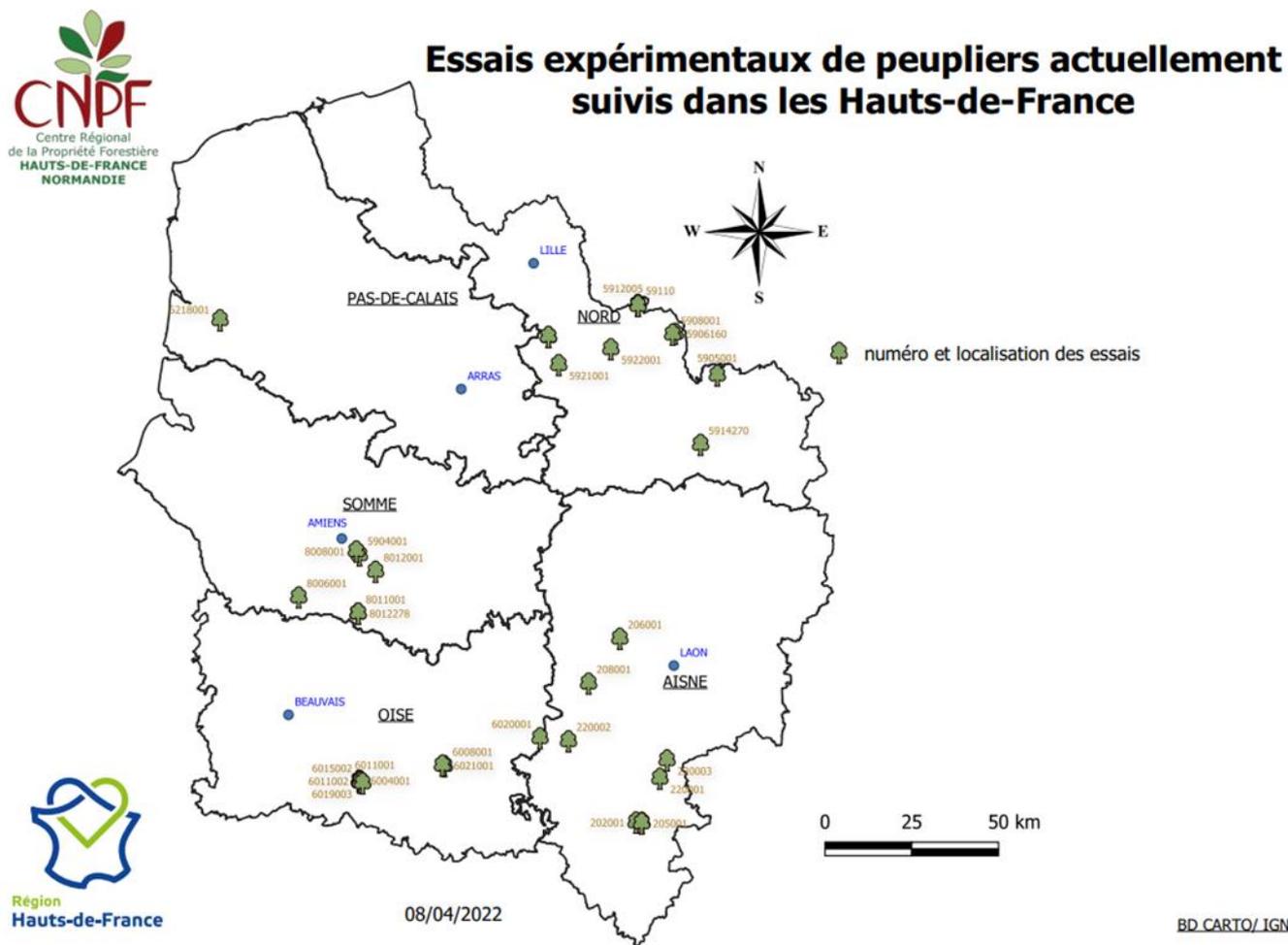


Figure 2 : Carte des essais suivis en 2022

Les stations à peuplier

Les stations évoquées dans cette synthèse se réfèrent au **guide des typologies des stations à peupliers**. Il a été élaboré par l'IDF et le réseau d'expérimentations peuplier animé par Eric Paillassa, ingénieur CNPF-IDF.

La typologie se décline en 18 stations. Elle prend en compte uniquement les stations favorables à la production de peupliers. On identifie chacune des stations grâce à une clé de détermination (cf. Annexe 7) qui utilise 3 critères de classification : **la présence de la nappe, le pH et la texture du sol.**

1	Sol Organique	10	Acide Fraiche
2	Très Humide	11	Argileuse
3	Argileuse Humide	12	Argileuse Acide
4	Sableuse Humide	13	Limoneuse
5	Riche Humide	14	Limoneuse Profonde
6	Acide Humide	15	Limoneuse Acide
7	Argileuse Fraiche	16	Sableuse
8	Sableuse Fraiche	17	Sableuse Profonde
9	Riche Fraiche	18	Sableuse Acide

Tableau 3 : Stations pédologiques

Sur ces 18 stations, 7 concernent le réseau d'essais du CRPF Hauts-de-France. **La plus représentée est la station n° 5 riche humide** puisque 15 essais y ont été installés.

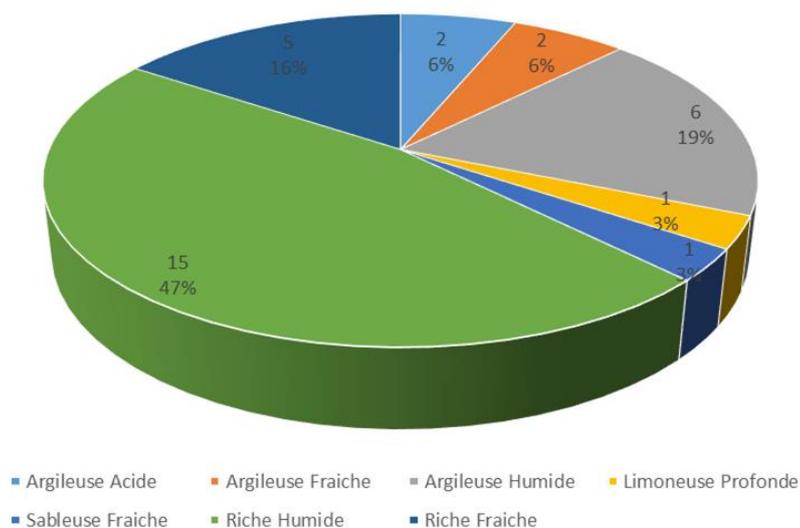


Figure 3 : Représentation des différentes stations dans le dispositif expérimental

Les cultivars de peupliers

Il est important de rappeler qu'un cultivar n'est pas un Organisme génétiquement modifié (OGM). Le terme provient de l'abréviation anglaise « Cultivated Variety ». Les peupliers actuellement commercialisés sont le fruit d'une hybridation assistée par l'homme. Une fois créé, le cultivar est reproduit par bouturage à partir d'un individu unique. Tous les cultivars d'une même variété sont identiques et constituent une population clonale.

Les peupliers que l'on trouve chez nos pépiniéristes sont issus des croisements et sélections figurants dans l'arborescence ci-dessous. Concernant les interaméricains, suite aux dégâts de la maladie de la rouille, seul le cultivar Raspalje, au sein de cette sélection, est produit et vendu.

CROISEMENTS ET SELECTIONS DU PEUPLIER 2013

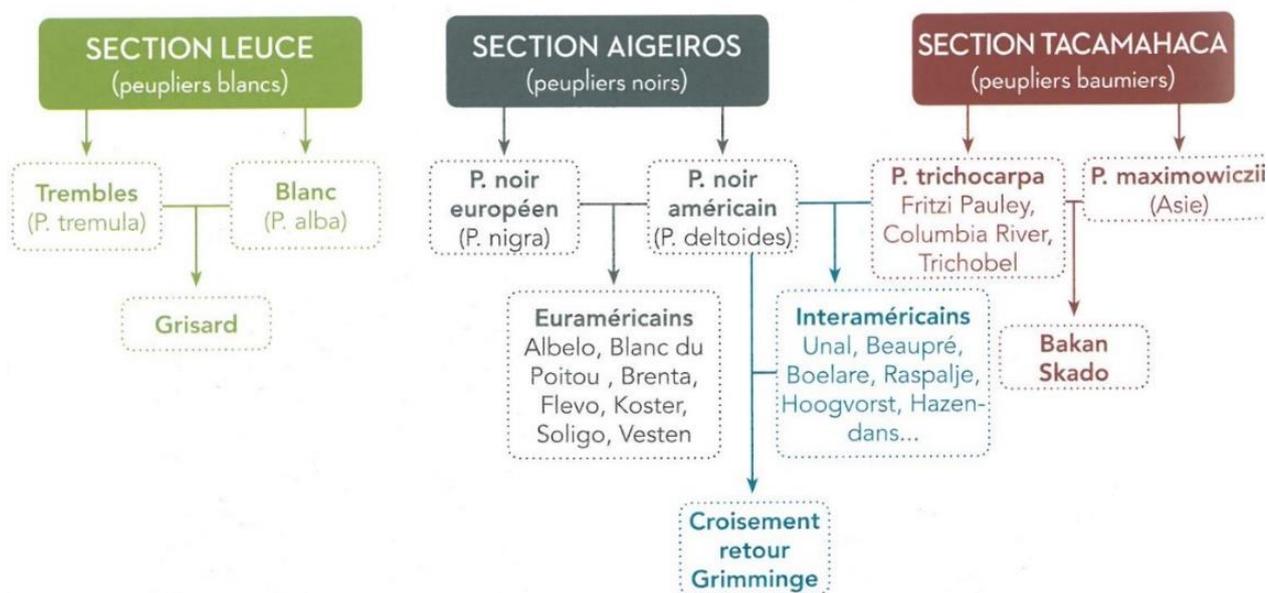


Figure 4 : Origines des cultivars

Au total 158 cultivars de peupliers ont été testés sur le réseau de placettes expérimentales du CRPF. Les euraméricains sont les plus expérimentés, notamment depuis le milieu des années 90 et l'abandon de la recherche pour les croisements entre les peupliers noirs américains et les Trichocarpa.

Répartition des cultivars par station

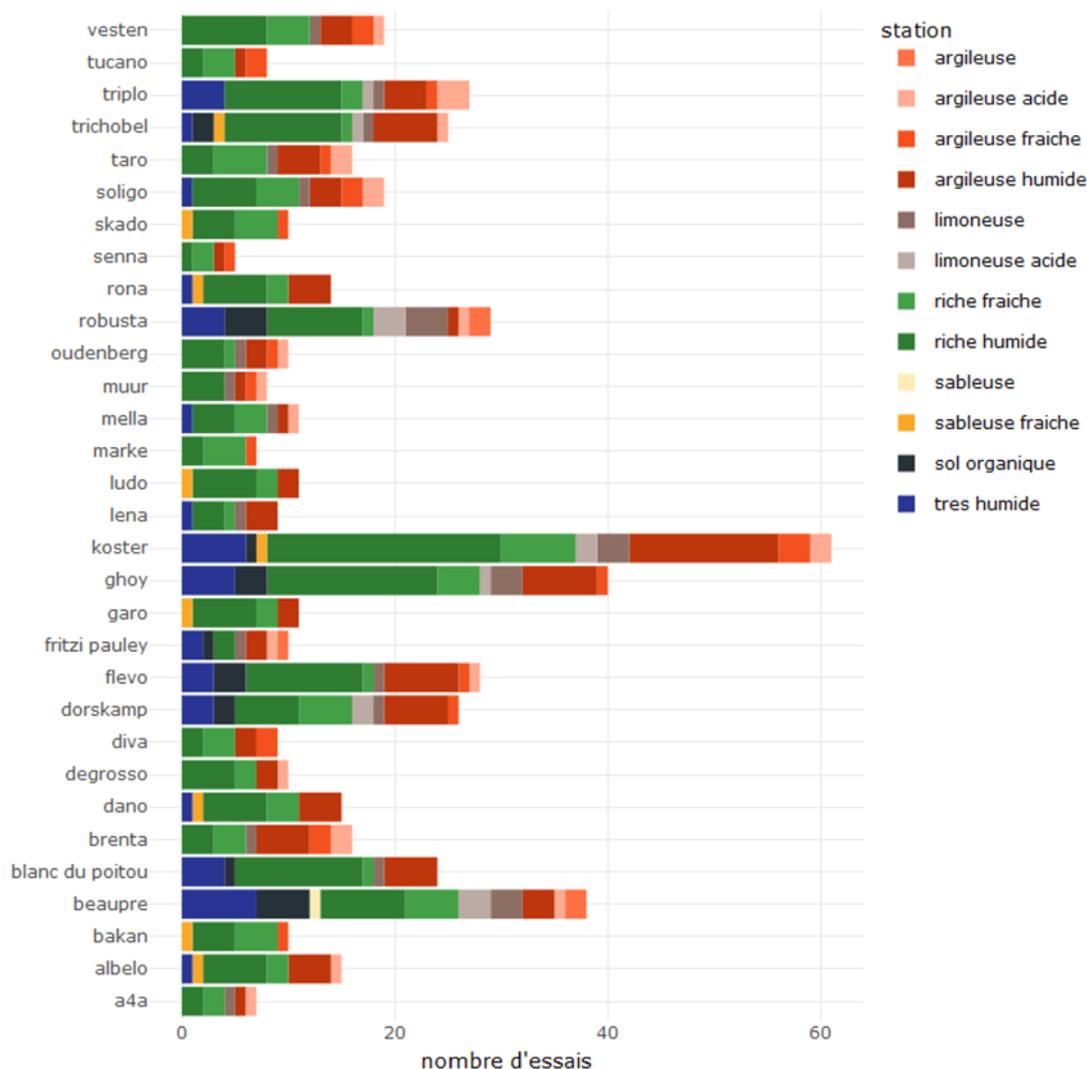


Figure 5 : Représentativité des principaux cultivars par station

Les stations **riches humides et riches fraîche**, considérées comme les **meilleures stations à peupliers**, ont servi de terrain d'expérimentation au plus grand nombre de cultivars. **45 cultivars** ont été testés sur la **station riche humide** et **35 sur la station riche fraîche**. Le **Koster** est le cultivar le plus représenté (61 essais) suivi par le **Ghoy** (40 essais) et le **beaupré** (37 essais) bien que ce dernier ne soit plus planté aujourd'hui, en raison de sa sensibilité à la rouille. Ces cultivars sont bien représentés comme en témoigne le nombre d'essais et le nombre de stations concernées. En revanche, d'autres cultivars (Senna, Tucano, Marke, A4A ...) sont encore peu suivis en expérimentation et ne couvrent qu'un nombre limité de stations. Il faudra donc rester vigilant à la robustesse des données dans l'analyse des performances de croissance des différents cultivars. De plus, il ne faut pas négliger le paramètre stationnel dans la comparaison entre cultivar. En effet, indépendamment des critères génétiques, des clones présents quasi-exclusivement sur de bonnes

stations devraient présenter des performances meilleures que des clones présents davantage sur des stations à potentiel de croissance plus faible.

Analyse statistique

Une version html pour une meilleure visibilité des données est disponible sur simple demande au CNPFF Hauts-de-France

Préambule

Facteurs influençant la croissance des peupliers

La vitesse de croissance en circonférence des peupliers dépend d'un certain nombre de facteurs : station, climat, cultivar, état sanitaire.

La première partie de l'analyse fait un tour d'horizon global de l'expérimentation en populiculture dans la région Hauts-de-France. La deuxième partie montre le rôle joué par les stations sur la croissance des peupliers. Dans la partie suivante, les performances globales de croissance des différents cultivars sont étudiées et comparées. Enfin l'effet des différents facteurs pédoclimatiques sur la croissance des cultivars de peuplier est analysé.

Dans cette analyse, seule la croissance des peupliers est analysée. Les facteurs sanitaires seront traités dans une autre partie de la synthèse Peuplier. Au total, 158 cultivars différents ont été testés dans la région. Notre analyse ne porte que sur les 40 cultivars les plus fréquents sur lesquels nous avons des données suffisantes de suivi de croissance. Enfin, certaines analyses ne se concentreront que sur une quinzaine de clones parmi ceux dont les données sont les plus robustes.

Limites de l'analyse

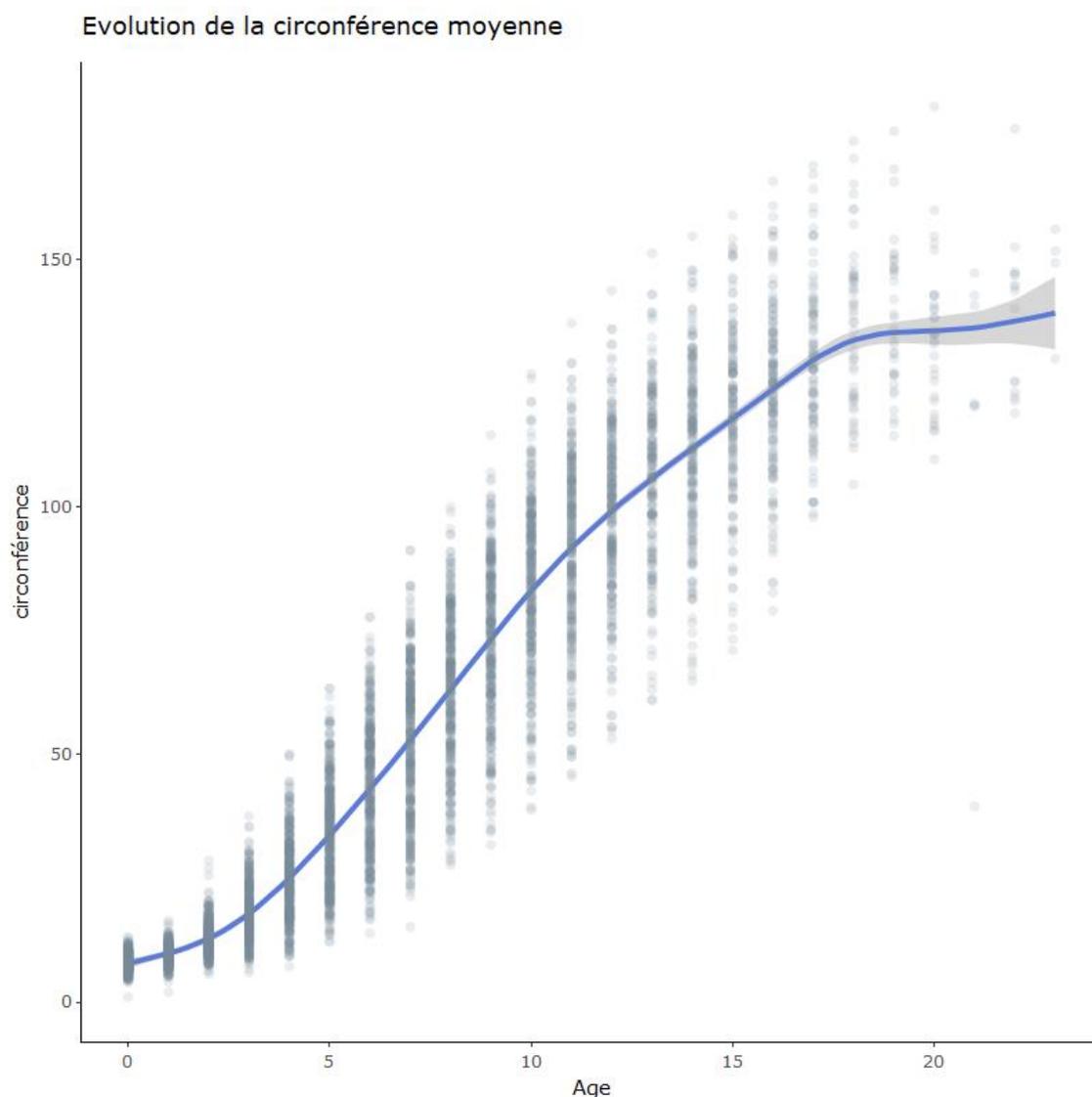
Notre analyse s'appuie sur les jeux de données qui sont extraits de la base ILEX, interne au CNPFF. L'unité d'observation primordiale n'est pas la mesure individuelle d'un arbre donné à un âge donné mais la **moyenne de la circonférence de tous les peupliers du même cultivar** sur chaque site et pour chaque année de mesure. La **variabilité intra-cultivar** sur un même site n'est donc pas analysable dans l'état actuel du jeu de données. Les données de taux de reprise ou plus largement la mortalité n'étant pas disponibles, ces aspects ne sont pas traités car trop dépendants d'éléments extérieurs. Les **facteurs sanitaires** ne sont pas non plus intégrés. Il faut donc rester prudent quant aux conclusions tirées de l'analyse.

De même les **variables pédologiques** quantitatives (réserve utile, niveau trophique etc...) n'étant mesurées que sur un nombre limité de dispositifs, seule la variable qualitative "station" est prise en compte dans cette analyse. C'est une variable qui synthétise les caractéristiques du sol.

Dans un second temps de l'analyse, les facteurs stationnels issus de la carte prédictive des stations forestières en Hauts-de-France seront utilisés.

Croissance globale des peupliers

Dans un premier temps, nous observons la courbe de croissance en circonférence générale des peupliers tous cultivars et toutes stations confondus.



La courbe bleue représente une régression non-linéaire de la **circonférence des peupliers à 1m30** en fonction de l'**âge**, tout cultivar et toute station confondus. On peut observer une accélération de la

croissance vers 3-4 ans et une notable décélération vers 18-20 ans. Cependant cette courbe de croissance ne doit pas être sur-interprétée, en raison de l'hétérogénéité des données qui l'alimentent.

On peut noter une donnée de circonférence particulièrement faible (39.58 cm à 21 ans). Cette observation incline la courbe de croissance. Elle se dégage complètement des autres observations, aussi est-il préférable de l'ignorer.

La suite de l'analyse se décompose en plusieurs parties qui visent à répondre aux questions suivantes: premièrement, quelles sont les potentialités de chaque station pour la croissance des peupliers? Ensuite, quelles sont les performances de croissance des différents cultivars? Enfin, quels cultivars sont adaptés pour chaque station?

Pour ces différentes parties, nous allons observer la dynamique de croissance des peupliers en fonction des différentes modalités. Dans un second temps nous allons comparer les moyennes de circonférence des peupliers à 5 ou 10 ans ainsi que la façon dont les données sont distribuées. Ensuite des tests statistiques seront réalisés pour vérifier la significativité des résultats. Enfin chaque partie se termine par un bilan général par rapport à la problématique posée dans la partie.

La dernière partie, plus exploratoire, cherche à dégager les facteurs (pédologiques, climatiques, topographiques ...) agissant significativement sur la croissance des peupliers en région. En statistique, La significativité désigne le seuil à partir duquel les résultats d'un test sont jugés fiables. Autrement dit, ce seuil détermine la confiance dans la corrélation entre un test effectué et les résultats obtenus. Les tests statistiques réalisés dans cette étude ont pour but de définir si les résultats observés (par exemple la tendance d'un cultivar à pousser mieux qu'un autre en moyenne) peuvent aboutir à des conclusions fiables.

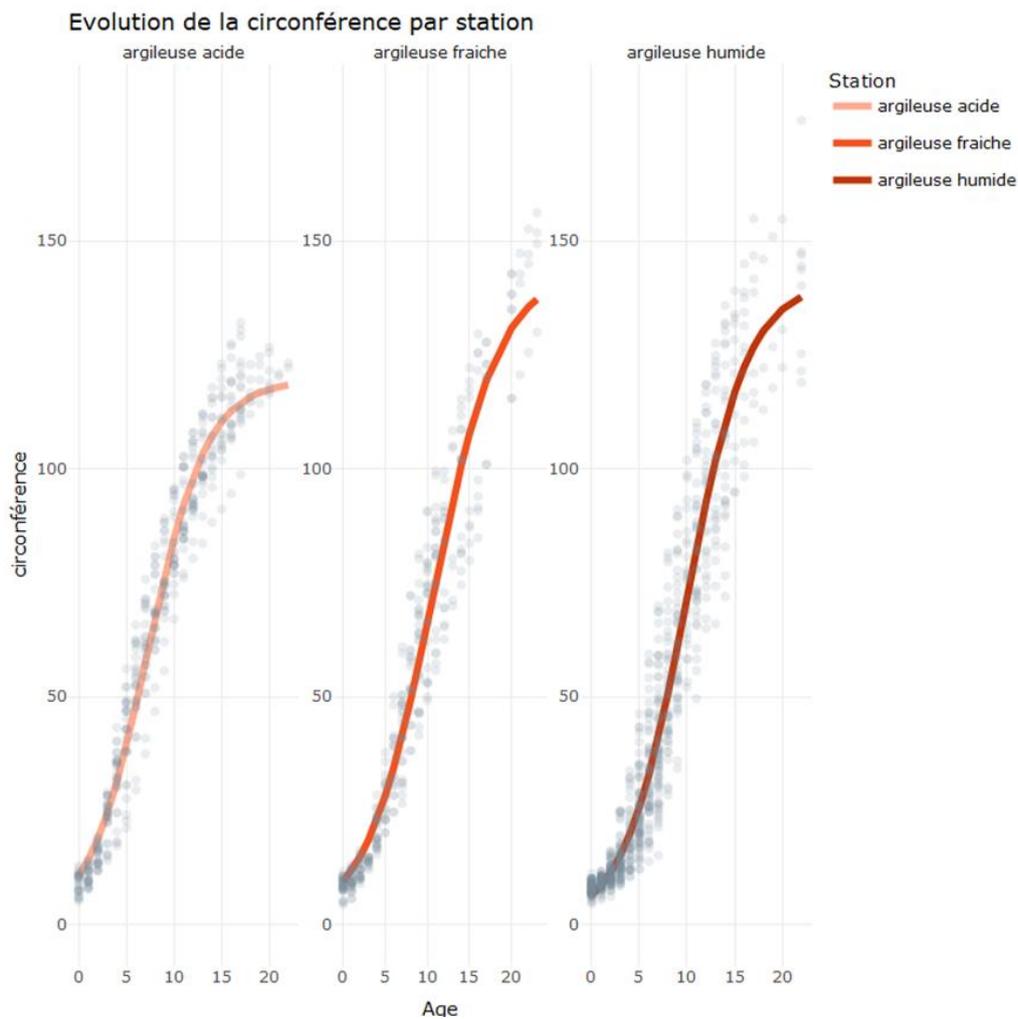
L'analyse utilisera des méthodes de régression linéaire, plus faciles à interpréter ainsi que des tests statistiques paramétriques lorsque les conditions le permettront.

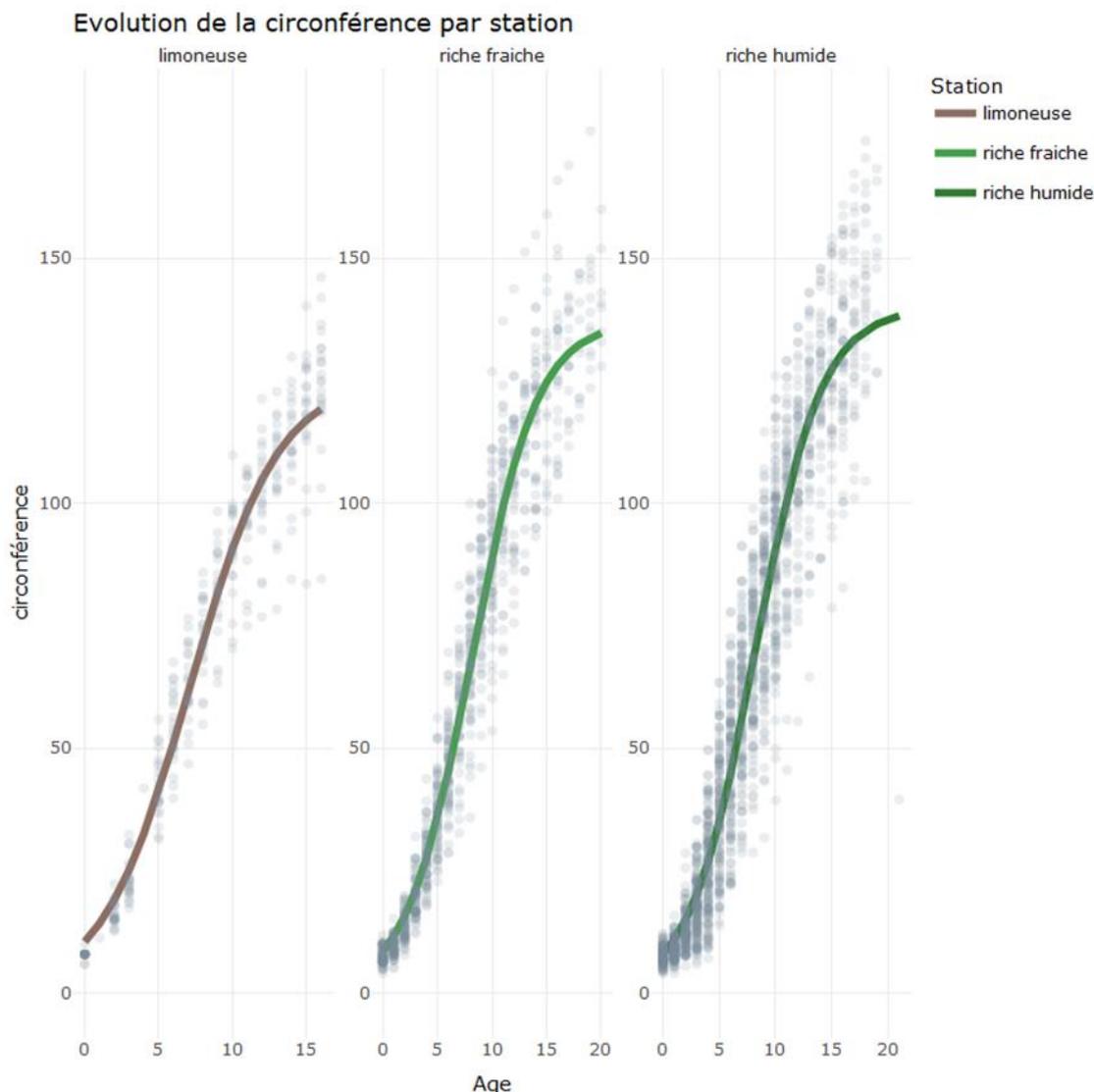
- 1/ observer la croissance en fonction du temps,
- 2/ regarder la moyenne et la distribution des données de circonférence à 5 ans par modalité (travail réalisé aussi à 10 et 15 ans mais seules les conclusions apparaissent dans le corps du texte), et enfin
- 3/ Des tests pour vérifier la significativité des résultats suivi d'un bilan général.

Etude des potentialités des stations

L'objectif de cette partie est de montrer comment les différentes stations agissent sur la croissance des peupliers, indépendamment du type de cultivar.

Observation de la croissance au cours du temps





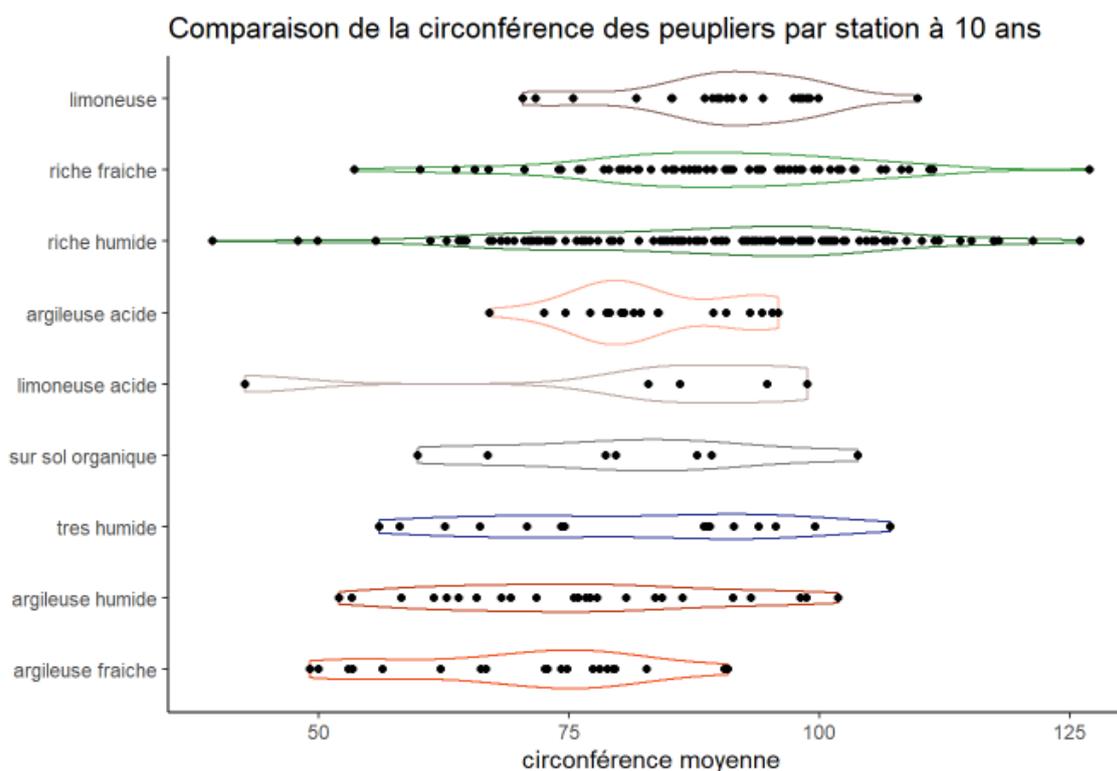
La courbe de régression sigmoïde de la circonférence en fonction de l'âge des peupliers permet de visualiser comment, tous cultivars confondus, le paramètre stationnel influe sur la croissance au cours du temps : quand la pente est plus forte, on en déduit que la station présente globalement de meilleures performances de croissance.

A retenir

On constate les performances supérieures observées sur les "bonnes" stations à peuplier (riche humide, riche fraîche). Sur la station argileuse acide, on observe un ralentissement de la croissance des peupliers à 15 ans vers 110 cm de circonférence, alors que la station riche humide montre un léger ralentissement à 15 ans également vers 129 cm de circonférence.

Comparaison de la circonférence à 10 ans

En premier lieu, l'objectif est de regarder si certaines stations présentent en moyenne des peupliers avec une meilleure croissance que d'autres. La capacité de croissance des peupliers pour chaque station est évaluée en regardant leur **circonférence à 10 ans**. Les analyses ont également été réalisées à 5 ans, aboutissant aux mêmes conclusions qu'à 10 ans.



Si l'on compare la circonférence moyenne, tout cultivar confondu et pour chaque station, on peut observer de façon tendancielle quelles stations présentent les meilleures potentialités. On peut dégager les tendances suivantes:

A retenir

La station **limoneuse** présente les meilleures croissances, suivie par le groupe des stations **riche fraîche, riche humide et argileuse acide**. Les stations **limoneuse acide** et **sur sol organique** présentent des potentialités encore inférieures. Enfin les stations **très humide, argileuse humide, argileuse fraîche** présentent les moins bonnes potentialités. Les analyses statistiques sont disponibles en annexe I.

Au-delà de ces observations, on peut noter une grande variabilité de croissance sur les différentes stations, ce qui peut s'expliquer notamment par les différences génétiques entre les différents cultivars. En conclusion, l'étude approfondie des performances par station montre de fortes tendances, même si les résultats sont à prendre avec précaution car le plan d'expérimentation n'est pas équilibré. Autrement dit, les autres facteurs de croissance ne sont pas standardisés: tous les cultivars ne sont pas représentés de la même façon et en même quantité sur chaque station.

A retenir

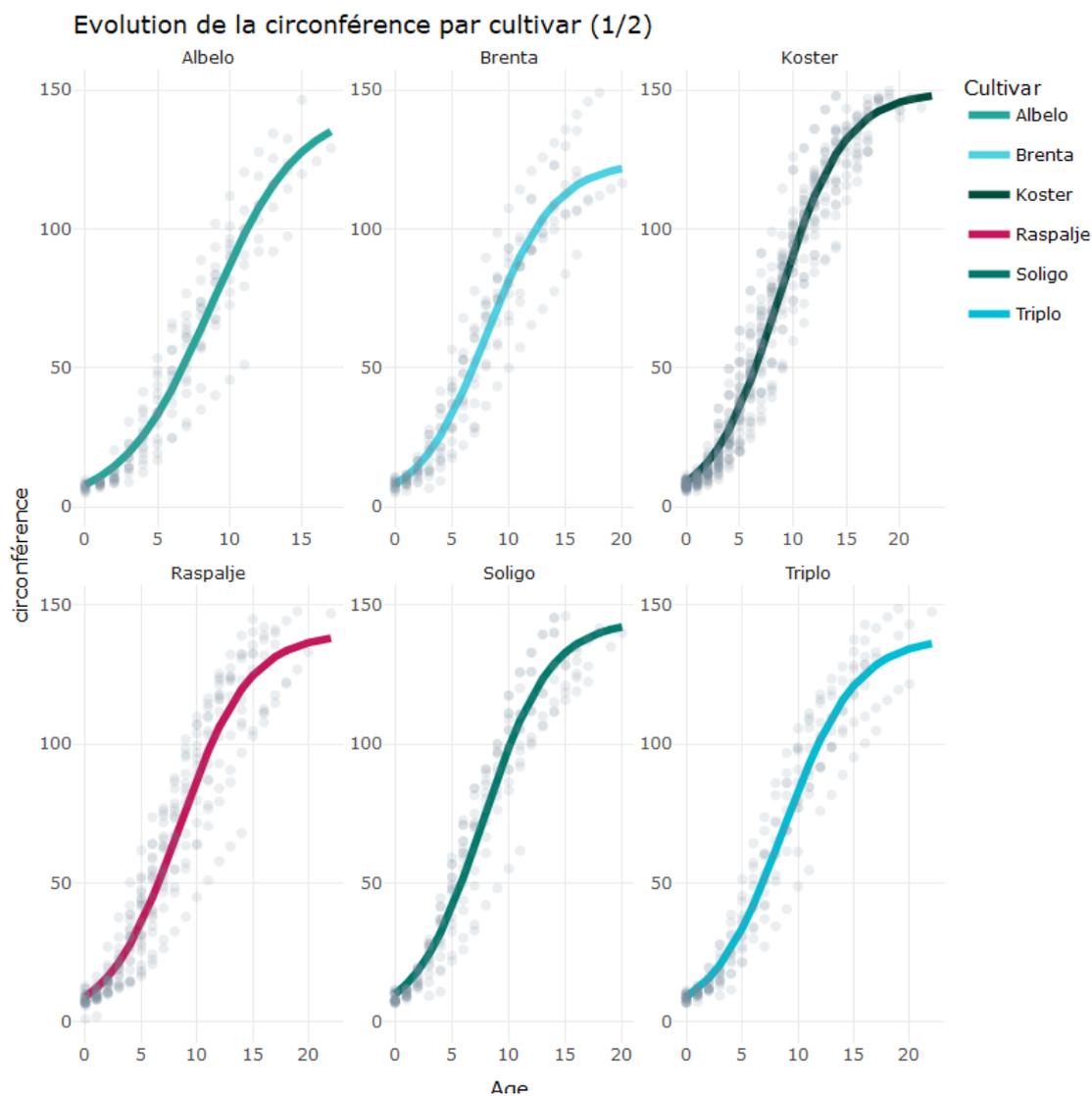
Même si les analyses statistiques ne permettent pas toujours de montrer des différences significatives, on peut résumer les potentialités des stations d'un point de vue tendanciel dans le tableau suivant:

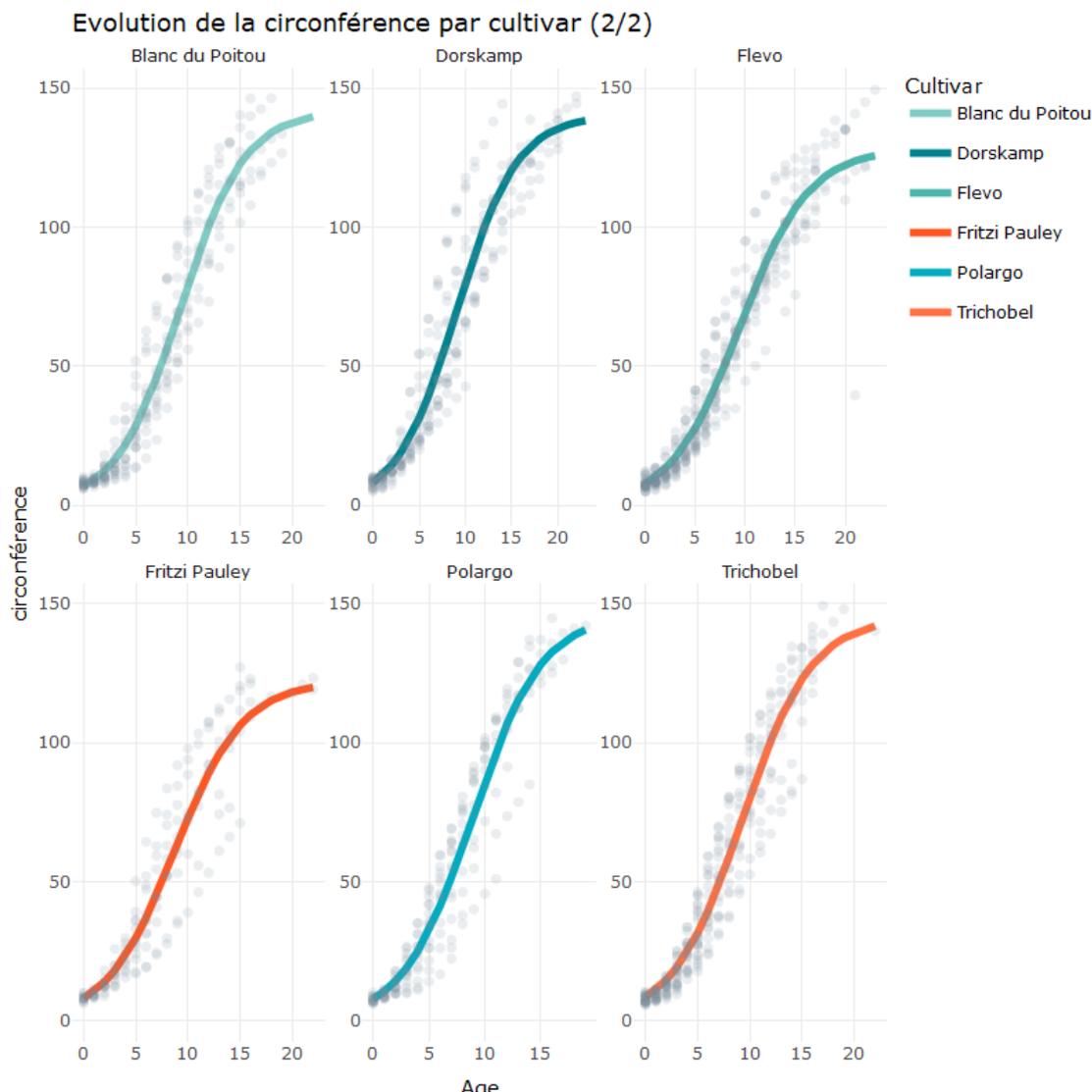
potentialités pour les peupliers	stations
moyennes	argileuse humide, sableuse fraîche, argileuse fraîche
bonnes	argileuse, très humide
très bonnes	limoneuse, argileuse acide, riche humide, riche fraîche, sur sol organique, limoneuses acides

Analyse de la croissance par cultivar

Observation de la croissance au cours du temps

Visualisons la **dynamique de croissance par cultivar**. Ces graphiques montrent la droite de régression linéaire de la croissance en fonction de l'âge, pour les 12 cultivars qui présentent le plus de données fiables:





Ces régressions sigmoïdales de la circonférence en fonction de l'âge, bien qu'imparfaites, permettent de prédire l'âge nécessaire pour atteindre une circonférence donnée, en moyenne, pour un cultivar. Le même type de modèle sera utilisé par la suite pour connaître l'âge des peupliers à une circonférence de 140 cm prise à 1m30 de hauteur, en séparant le jeu de données en fonction des stations.

Performances des différents cultivars

Dans cette partie est présentée la circonférence moyenne des différents cultivars âgés de 10 ans. Le premier tableau porte sur l'ensemble des cultivars étudiés. Le second tableau se concentre sur les principaux cultivars, c'est à dire ceux sur lesquels nous avons le plus de données. Enfin, le dernier tableau présente les mêmes résultats par cultivar mais ventilés par station. Les résultats sont tous présentés dans l'ordre de circonférence décroissante (autrement dit les cultivars qui présentent la plus grosse circonférence à 10 ans en moyenne sont présentés en premier).

Table 1: Circonférence moyenne à 10 ans des 15 groupes les plus performants pour les modalités circonférence X station

Cultivar	Station	Circonf	ecart_type	Nb_dispositif
A4A	riche fraiche	111	21.92	2
Vesten	riche fraiche	111		1
Soligo	riche humide	109	8.33	5
Diva	riche fraiche	108		1
AF2	riche fraiche	107		1
Vesten	riche humide	106	5.64	4
Imola	riche fraiche	106		1
Tucano	riche humide	104		1
Moncalvo	riche fraiche	104		1
Soligo	riche fraiche	104	13.59	4
Koster	riche humide	103	13.45	12
Aleramo	riche fraiche	103		1
Senna	riche fraiche	102		1
Dorskamp	riche humide	102	18.99	5
Moleto	riche fraiche	102		1

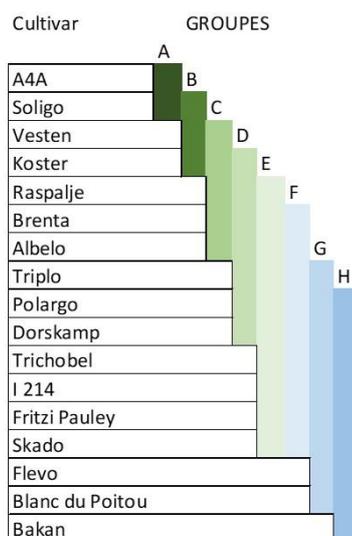
Le cultivar qui montre les meilleures performances moyennes est A4A, avec 111 cm de circonférence moyenne à 10 ans. Cependant, on ne dispose que de 2 dispositifs avec ce cultivar, il faut donc consolider ces observations tout comme pour le Vesten. Soligo donne également de bons résultats moyens avec une circonférence à 10 ans de 109 cm. On constate globalement que les meilleurs résultats sont obtenus sur les stations riches humides et riches fraîches. A l'inverse on observe pour la plupart des cultivars que les dispositifs sur stations sableuses fraîches ou très humides sont moins bons que la moyenne.

Les données ont été analysées à 5, 10 et 15 ans, de la même façon que précédemment. Les éléments graphiques sont consultables en **annexe 1**, et les analyses statistiques en **annexe 2**.

A 15 ans, en raison du plus faible nombre de dispositifs suivis jusqu'à ce stade, les résultats présentés doivent être pris avec prudence, surtout pour les cultivars les moins représentés. On peut tout de même souligner, à la lecture des résultats, les performances toujours plus faibles de Brenta, Fritz Pauley, Flevo ou I214. A l'inverse Soligo, Koster, Vesten ou encore Raspalje se maintiennent bien dans leur croissance et restent donc de bons cultivars en terme de vitesse de croissance.

Les cultivars peuvent être regroupés en groupes de performance (A étant la meilleure performance, H la moins bonne) comme illustré dans le graphique ci-dessous :

Comparaison des cultivars par le test de comparaison de moyennes de Student



Les mêmes analyses peuvent aussi être réalisées à 10 ans, les résultats changent marginalement comparés aux analyses à 5 ans en raison d'un comportement de croissance différent entre cultivars avec le temps.

Le tableau suivant présente dans l'ordre décroissant les circonférences des 15 cultivars les plus dynamiques ventilées par station.

Table 2: circonférences à 5 ans par cultivar et par station dans l'ordre décroissant

Cultivar	Station	circonférence
Taro	riche humide	56.9
Degrosso	argileuse acide	56.2
A4A	limoneuse	55.9
Soligo	riche humide	52.8
Koster	argileuse acide	52.2
Blanc du Poitou	limoneuse	51.9
A4A	riche fraîche	51.2
A4A	riche humide	51.0
Fritzi Pauley	limoneuse	50.2
Soligo	argileuse acide	49.3
A4A	argileuse acide	48.7
Soligo	limoneuse	47.8
Soligo	riche fraîche	47.4

Cultivar	Station	circonférence
Albelo	argileuse acide	47.3
Lambro	riche humide	47.2

Les meilleurs résultats de croissance juvénile sont obtenus pour les cultivars **Taro** (56.9 cm de circonférence à 5 ans sur station riche humide), **Degrosso** (56.2 cm de circonférence à 5 ans sur station argileuse acide) et **A4A** (55.9 cm de circonférence à 5 ans sur station limoneuse). Cependant ces résultats sont issus à chaque fois d'un seul dispositif de mesure, qui incite à la prudence quant à leur interprétation.

Les variations entre l'analyse à 5 ans et à 10 ans sont résumées dans le tableau ci-dessous :

classification des cultivars par circonférence moyenne décroissante	
à 5 ans	à 10 ans
A4A	Soligo 
Soligo	A4A 
Koster	Koster
Raspalje	Polargo 
Brenta	Raspalje 
Albelo	Albelo
Polargo	Brenta 
Dorskamp	Dorskamp
Trichobel	Trichobel
I 214	Blanc du Poitou 
Fritzi Pauley	Fritzi Pauley
Flevo	Flevo
Blanc du Poitou	I 214 

A4A présente la meilleure croissance juvénile (*c'est un cultivar encore peu testé*) mais il est doublé par **Soligo** à 10 ans bien que le **test de Tukey** ne montre pas de différence significative. **Polargo** et **Blanc du Poitou** qui présentaient une croissance juvénile respectivement moyenne et faible, gagnent en vitesse d'accroissement entre 5 et 10 ans jusqu'à rattraper plusieurs cultivars. A l'inverse, **I 214** est doublé entre 5 et 10 ans par tous les cultivars qui présentaient des performances plus faibles à 5 ans.

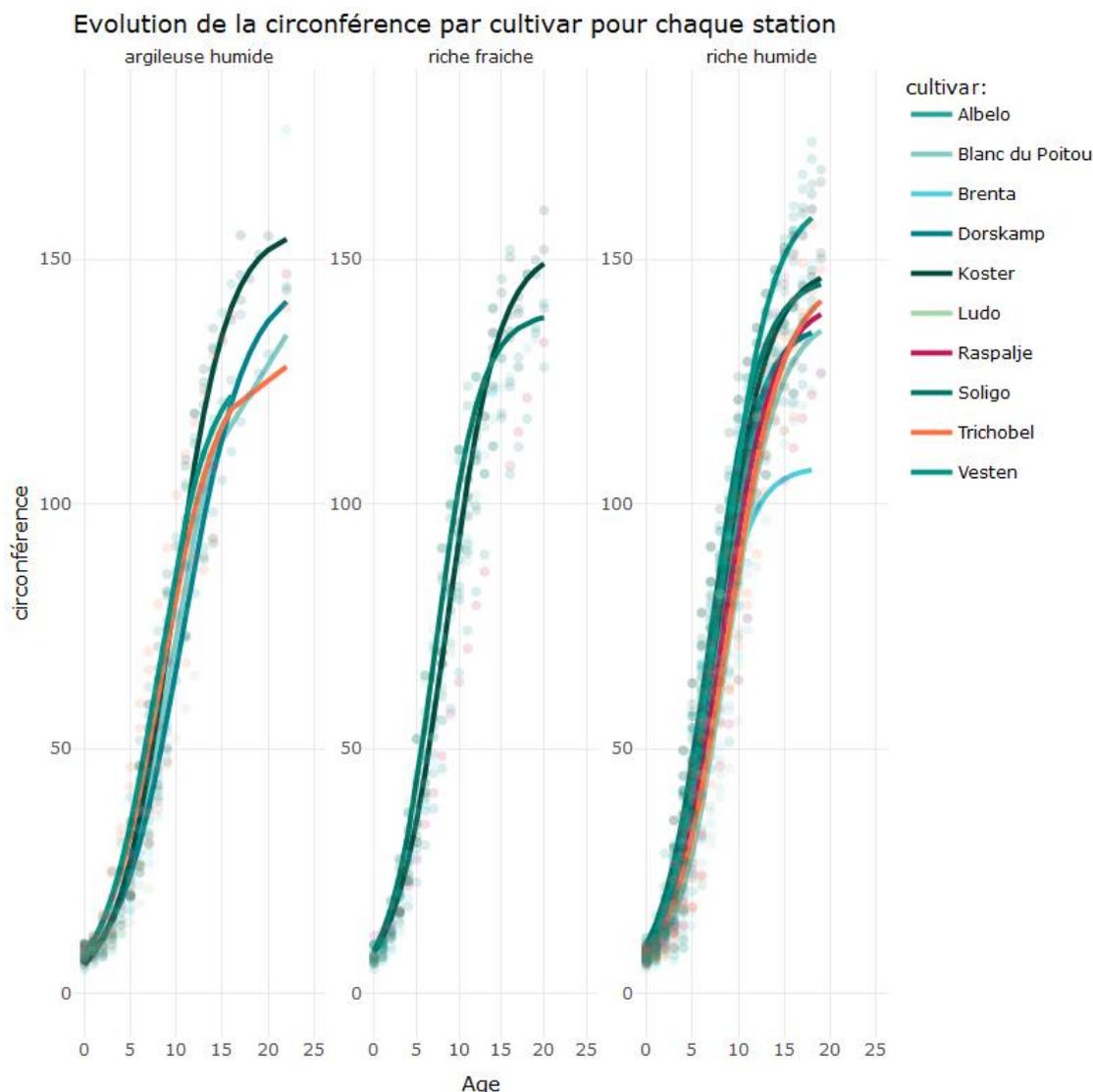
Parmi les cultivars les moins dynamiques, on peut citer **I 214**, **Flevo**, **Fritzy Pauley** et **Blanc du Poitou**.

Analyse de la croissance par cultivar en fonction des stations

Observation de la croissance au cours du temps

Nous avons regardé les différences de potentialités entre stations ainsi que les différences de croissances entre les cultivars de peuplier. Nous savons que le plan expérimental n'est pas équilibré : la distribution des différents cultivars sur les différentes stations n'est pas homogène. Dans cette partie nous regardons par conséquent les performances des cultivars pour chaque station afin de pouvoir comparer leur croissance dans un contexte pédologique relativement homogène.

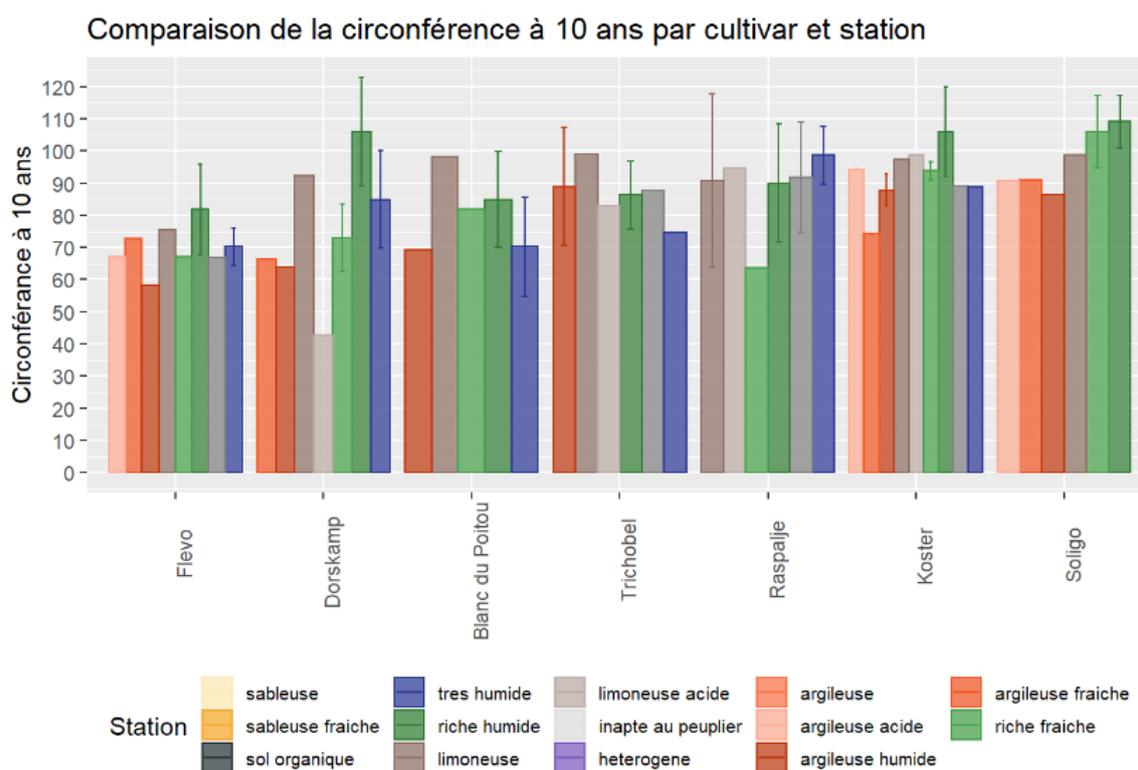
Les graphiques suivants montrent les courbes de régression de la croissance des différents peupliers pour chaque station :



On peut voir des tendances se dégager, mais il reste à confirmer que ces différences de croissance entre cultivars sont bien significatives.

L'analyse statistique (Annexe 2.3) nous montre que tous les cultivars bénéficient du contexte stationnel de façon comparable : Un cultivar peut donc être considéré comme performant de façon ubiquitaire, et une station bonne (ou mauvaise) pour l'ensemble des cultivars. Attention cependant, le jeu de données utilisé pour aboutir à ces résultats est relativement peu conséquent. La récolte de davantage de données pourrait faire apparaître un effet significatif du facteur cultivar x station : un cultivar donné réagirait mieux dans une station spécifique qu'un autre (Les tendances que l'on semble observer sur les graphiques précédents).

Cet histogramme témoigne de la forte variabilité de croissance de chaque cultivar en fonction des stations. Dans un souci de rigueur, les performances des différents cultivars doivent également être étudiées pour chaque station (Annexe 2.3).



J. Bonigen @cnpf

Sur station très humide, aucune différence significative ne s'est dégagée entre les cultivars. Néanmoins Raspalje, Koster et Fritzi Pauley montreraient des performances a priori meilleures que I 214, Blanc du Poitou ou Flevo.

Sur station riche fraîche, plus de dispositifs ont été installés. Des différences significatives de performance entre cultivars se dégagent. A4A et Soligo montrent une meilleure croissance à 5 ans que Koster, I 214, Dorskamp ou encore Flevo.

Le tableau suivant résume les tendances observées pour chaque station :

Regroupement des cultivars par station en fonction de leur performance

Station	meilleur croissance	croissance intermédiaire	plus faible croissance
très humide	Raspalje, Koster, Fritz Pauley	albelo, Dorskamp, Trichobel	Flevo, Blanc du Poitou, I 214
riche humide	Soligo, A4A, Koster, Dorskamp	Albelo, Brenta, Polargo, Raspalje	Trichobel, Flevo, Blanc du Poitou, I 214, Fritz Pauley
sur sol organique	Raspalje	Koster, Trichobel, Flevo, Fritz Pauley, Dorskamp	I 214, Blanc du Poitou
argileuse humide	Trichobel, Raspalje	Soligo, Koster, Blanc du Poitou, Flevo, Dorskamp, Brenta, Albelo, Polargo	Fritz Pauley, I 214
argileuse acide	Koster, Soligo, A4A, Albelo	Brenta, I214	Trichobel, Fritz Pauley, Flevo
argileuse fraîche	Soligo, A4A, Koster, Dorskamp	Brenta, Flevo, Dorskamp, Koster	I 214
limoneuse acide	Raspalje, Koster, Trichobel		Dorskamp
riche fraîche	A4A, Soligo	Polargo, Albelo, Brenta, Koster, Blanc du Poitou	I 214, Raspalje, Dorskamp, Flevo

Détermination de l'âge pour atteindre 140 cm de diamètre par cultivar

Afin de prédire l'âge nécessaire pour atteindre une circonférence donnée, ici 140 cm à hauteur de poitrine, une régression sigmoïde entre la circonférence et l'âge est établie pour chaque cultivar. Avec ce modèle de régression, on peut prédire cet âge de la façon la plus précise possible.

En statistiques, un modèle de régression sigmoïde cherche à établir une relation entre une variable à expliquer (ici la circonférence) et une ou plusieurs variables, dites explicatives (ici l'âge pour chaque cultivar) en s'appuyant sur une fonction sigmoïde dont les paramètres sont calculés par le modèle pour représenter le mieux possible des données. Ce choix vient du comportement connu de la croissance des peupliers : après une période d'installation la croissance en diamètre s'accélère jusqu'à un point d'inflexion puis ralentit progressivement avec le vieillissement de l'arbre.

Le tableau ci-dessous résume, pour chaque cultivar, l'âge nécessaire pour atteindre une circonférence de 140 cm à 1m30. Cet âge est estimé grâce aux courbes présentées dans le graphique précédent. Seuls les couples Station / Cultivar pour lesquels plusieurs dispositifs ont pu être observés, et dont les circonférences observées dépassent 140 cm sont présentés.

Table 3: Age nécessaire pour atteindre 140 cm de circonférence, approximation par sigmoïde

Station	Cultivar	Age à 140 cm à 1m30
argileuse humide	Koster	16.0
riche fraîche	Koster	15.9
riche humide	Vesten	13.1
riche humide	Soligo	15.2
riche humide	Koster	15.4
riche humide	Trichobel	18.2
riche humide	Raspalje	20.6

A retenir

En raison du manque de données et du faible nombre de répétition, l'âge a été estimé sur un faible nombre de cultivar et de stations. Si on se concentre sur la station riche humide, les résultats de la modélisation témoignent d'une excellente dynamique de croissance pour le cultivar **Vesten** (13.1 ans pour atteindre 140 cm de circonférence) suivi par Soligo et Koster qui atteignent les **140 cm** de circonférence vers **15 ans**. A l'inverse Trichobel et a fortiori Raspalje ont une croissance plus faible, atteignant les 140cm de circonférence autour de **18 ans** et **20.6 ans** respectivement.

Prédire la performance des peupliers: le rôle du sol, du relief et du climat

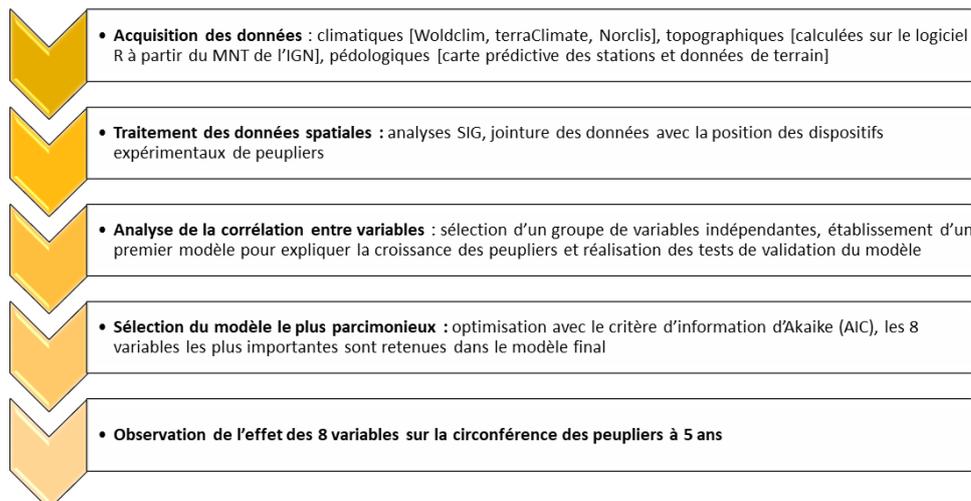
Dans cette partie nous regardons comment les conditions pédologiques, topographiques climatiques et même météorologiques peuvent agir sur la croissance des peupliers.

En effet, comme l'illustre le schéma général des facteurs agissants sur la croissance en introduction (facteurs influençant la croissance des peupliers), une partie de la variabilité de croissance entre les peupliers est expliquée par des facteurs non génétiques et mal intégrés dans la variable (simplifiée) "Station".

Afin de percevoir quels sont les facteurs qui influent sur la croissance des peupliers et comment ils agissent, une analyse par régression multiple (plusieurs facteurs explicatifs à la fois) est réalisée. La démarche générale de l'analyse est exposée dans le schéma ci-dessous :

Démarche générale de cette partie

OBJECTIF : regarder l'effet des variables pédoclimatiques sur la croissance des cultivars de peuplier



La première étape consiste donc à obtenir **les facteurs pédoclimatiques d'intérêt**.

Les facteurs pédoclimatiques pouvant impacter la croissance des peupliers

Le climat

Différentes sources de données spatiales (SIG) disponibles en ligne ont été valorisées dans le cadre de cette analyse.

WorldClim

WorldClim est une base de données climatiques de haute résolution spatiale issue d'un modèle d'interpolation de données météorologiques. Il s'agit de données raster exploitables pour la cartographie et la modélisation. Les données utilisées sont des moyennes trentenaires de la période 1970-2000. Pour l'analyse, ont été utilisées des données mensuelles (moyennes sur 30 ans) pour la température minimum, maximum et moyenne ainsi que les précipitations. De plus 19 autres variables bioclimatiques ont été testées dans l'analyse. Elles sont résumées dans le document synthétique à la fin de cette partie. Les données présentent une résolution spatiale d'1 km².

Terraclimate

Terraclimate est une base de données climatiques pour l'ensemble du globe avec une résolution temporelle mensuelle pour toutes les années de la période **1958 à 2020**. Cette base de données fournit donc des données climatiques précises de **chaque mois de l'année sur les 44 dernières années** (les années 2021 et 2022 ne sont cependant pas encore disponibles). Toutes les données ont une résolution spatiale de 4 km².

TerraClimate utilise un système d'interpolation combinant des données de haute résolution spatiale issues de Worldclim avec des données de moindre résolution spatiale mais de très haute résolution temporelle issues du CRU Ts4.0 et de la réanalyse japonaise sur 55 ans (JRA55), afin d'obtenir des données de bonne résolution spatiale et temporelle. Il s'agit néanmoins d'un modèle qui comporte son lot d'imprécisions et qui ne remplacera jamais la précision d'un suivi de mesure ponctuelle sur une station météorologique. Cependant Terraclimate a subi d'importants tests de validation par des observations ponctuelles sur des stations météo intégrées dans un grand nombre de réseaux (Global Historical Network, SNOTEL, RAWS ...).

Pour cette étude, plusieurs jeux de données ont été étudiés. Des variables climatiques primaires : précipitation, température minimum, température maximum. Et des données dérivées : l'évapotranspiration et l'indice de sécheresse de Palmer. D'autres données pourraient être valorisées à l'avenir.

Un outil R a été développé pour extraire ces données climatiques au niveau de chacun des dispositifs expérimentaux. Il permet de mettre en correspondance les données météorologiques avec les années de croissance des peupliers. La plus-value de cette approche est d'avoir les données météorologiques qui correspondent précisément aux années de croissance et non pas uniquement des données climatiques issues de moyennes trentenaires sur une période passée (WorldClim).

Les résultats graphiques en Annexe 3, qui montrent la croissance des peupliers par dispositif parallèlement à la pluviométrie annuelle, sont issus de ce travail.

Norclis

Les données climatiques Norclis de l'**IDF** ont été développées par **Jean Lemaire** et intégrées dans le cadre du projet **Bioclimsol**.

Le relief

La technologie LIDAR aérien (Light Detection And ranging) permet de produire un modèle numérique de terrain (MNT) sur la zone d'étude. Celui-ci renseigne sur la forme en 3 dimensions et l'altitude de la surface du sol, à une résolution donnée. Un certain nombre de variables topographiques peuvent être produites sur la base du MNT comme la carte des pentes ou des expositions. Certaines de ces variables peuvent agir significativement sur la croissance des arbres. Néanmoins, on peut s'attendre à ce que ces facteurs apparaissent moins pertinents si l'ensemble du jeu de données est récolté dans un contexte

topographique relativement homogène comme cela pourrait être le cas avec les peupleraies testées (beaucoup de zones en plaine alluviale). Ces paramètres seront néanmoins intégrés à l'analyse afin de tester leur pertinence dans un modèle statistique expliquant la croissance des peupliers.

Les données ont été analysées sur R avec le package Raster.

Nous disposons d'un MNT de résolution 25 m à l'échelle départementale. Les données ont été fusionnées à l'échelle régionale.

A partir du MNT, ont été produites plusieurs variables détaillées dans le document synthétique ci-dessous : slope (la pente), T_{Pp} (indice de position topographique), T_{Pg} (indice de classification topographique), TWI (indice topographique d'humidité). Les données ont ensuite été extraites sur les sites d'étude suivant la même méthodologie que pour les autres données SIG.

Le sol

La carte prédictive des stations forestières des Hauts-de-France définit différents paramètres des stations forestières sur les massifs forestiers de la région, en se basant sur une méthode intégrant un grand nombre de variables bioclimatiques ainsi que sur des relevés de terrain.

Cette carte prédictive des stations en Hauts-de-France est issue d'un travail multi-partenarial du réseau **RMT AFORCE**. AFORCE est un réseau mixte technologique (RMT) qui a pour objectif d'accompagner les forestiers dans l'adaptation des forêts aux changements climatiques, tout en renforçant les capacités d'atténuation de celles-ci. La création de cette carte est inspirée de la méthodologie développée par le LERFOB dans la région Vosgienne. Des facteurs écologiques structurant la répartition des stations forestières ont été modélisés, tels que des modèles climatiques (AURITALIS et DIGITALIS) ou encore des données issues du MNT 25 m de l'IGN. Le résultat est une carte de prédiction des stations dans les massifs forestiers en Hauts-de-France. Elle se veut accessible aux gestionnaires et propriétaires et devrait permettre de faciliter la réalisation de cartes de stations forestières avec la complémentarité de diagnostics terrains.

Les données utilisées dans ce projet ne concernent pas la carte prédictive en elle-même, mais les données brutes de réserve utile, de risque d'engorgement et de niveau trophique. Ces données ont été utilisées ici pour pallier au fait que les mesures pédologiques complètes ne sont pas toujours disponibles sur l'ensemble des dispositifs expérimentaux.

Liste de l'ensemble des variables explicatives testées

WordClim variables	
bio_1	Annual Mean Temperature
bio_2	Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp))
bio_3	Isothermality (BIO2/BIO7) ($\times 100$)
bio_4	Temperature Seasonality (standard deviation $\times 100$)
bio_5	Max Temperature of Warmest Month
bio_6	Min Temperature of Coldest Month
bio_7	Temperature Annual Range (BIO5-BIO6)
bio_8	Mean Temperature of Wettest Quarter
bio_9	Mean Temperature of Driest Quarter
bio_10	Mean Temperature of Warmest Quarter
bio_11	Mean Temperature of Coldest Quarter
bio_12	Annual Precipitation
bio_13	Precipitation of Wettest Month
bio_14	Precipitation of Driest Month
bio_15	Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)
bio_16	Precipitation of Wettest Quarter
bio_17	Precipitation of Driest Quarter
bio_18	Precipitation of Warmest Quarter
bio_19	Precipitation of Coldest Quarter

Terraclimate variables	
ppt	précipitation totale mensuelle (en mm)
ppta	précipitations annuelles (en mm)
PDSI_min	Indice de sécheresse de Palmer (du mois le plus sec de l'année)
tmax	température maximale (moyenne mensuelle en °C)
tmin	température minimale (moyenne mensuelle en °C)
aet	évapotranspiration (cumul mensuel en mm)
def	déficite hydrique climatique (cumul mensuel en mm)
pet	évapotranspiration potentielle (cumul mensuel en mm)
soil	humidité du sol (total cumulé à la fin du mois en mm)
ws	vitesse du vent (moyenne mensuelle en m/s)

variables issues de Norclis	
PETP0410	bilan hydrique climatique de avril à octobre
PETP0509	bilan hydrique climatique de mai à septembre
PETP0608	bilan hydrique climatique de juin à aout
PETPAN	bilan hydrique climatique annuel
ETPAN	évapotranspiration annuelle
P0410	pluviométrie de avril à octobre
PAN	pluviométrie annuelle (en mm)
TMAN	température moyenne annuelle
TN01	température minimale du mois de janvier
TN03	température minimale du mois de mars
TX0608	température maximale de juin à aout

variables issues du MNT	
alt	altitude en m
swi	soil water index
twi	indice topographique d'humidité
TPp	indice de position topographique (continue)
TPg	indice de classification topographique (discrete)

variables stationnels	
RU	réserve utile en eau (en mm)
engor	niveau d'engorgement
ferti	niveau trophique
Nappe.temp	niveau d'aparition de la nappe temporaire
Nappe.perm	niveau d'aparition de la nappe permanente
Prof..pros	profondeur prospectable par les racines

Les corrélations entre toutes ces variables explicatives ont été calculées (Voir Annexe 4). En effet, des facteurs très corrélés agissent de façon semblable sur la **variable à expliquer, et ne peuvent pas être retenus dans un même modèle statistique (condition d'indépendance des variables explicatives)**

Sélection du meilleur modèle expliquant la performance des peupliers

Un modèle de régression linéaire multiple intégrant l'ensemble des facteurs pédoclimatiques indépendants est mis en place.

A retenir

30% de la variance de la variable circonférence à 5 ans (C1m30_5ans) est expliquée par les facteurs fixes (pédoclimatiques), et jusqu'à 52% en tenant compte de la variable aléatoire (le dispositif expérimental). Cependant, notre modèle comprend encore beaucoup de variables: il n'est pas parcimonieux.

L'objectif est de réduire encore leur nombre afin de conserver uniquement les plus pertinentes et d'établir ainsi un modèle plus parcimonieux. L'optimisation et le choix du meilleur modèle est réalisé avec **le critère d'information d'Akaike (AIC)**. L'explication de la méthode et son application sont exposées en **Annexe 4**. Les tests de validation de modèles linéaires sont également décrits en **Annexe 4**. Nos modèles vérifient bien les hypothèses nécessaires (pas de multicolinéarité, normalité et homoscédasticité ou variance constante des résidus) et peuvent donc être analysés.

Description du meilleur modèle

Suite à l'AIC, on obtient le modèle optimisé suivant : **C1m30_5ans ~ bio_5 + bio_6 + bio_14 + ETPAN + TPg + engor + RU + ferti**

A retenir !

On peut le traduire ainsi : la circonférence des peupliers à 5 ans est fonction de 8 facteurs (bio_5, bio_6, bio_14, ETPAN, TPg, engor, RU et ferti.).

Voici les différentes variables retenues par notre modèle :

- la température maximale du mois le plus chaud (**bio_5**) montre que les peupliers sont affectés par les anomalies de températures très chaudes durant l'année, phénomène qui va en s'accroissant avec le changement climatique.

- la température minimum du mois le plus froid (**bio_6**) montre que les peupliers sont affectés par les anomalies de températures très froides durant l'année.
- le niveau de précipitation du mois le plus sec (**bio_14**) montre que les peupliers sont affectés par les anomalies de sécheresse importante durant l'année. C'est également un facteur qui va être de plus en plus marqué avec le changement climatique (augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses estivales).
- L'évapotranspiration potentielle annuelle (**ETPAN**), influencée par de nombreux facteurs (température de l'air, ensoleillement, vent) montre que les peupliers sont affectés par l'importance des pertes en eau à l'échelle de l'année par évaporation et transpiration, ce qui agit directement sur le déficit hydrique auquel l'espèce est globalement très sensible.
- L'indice topographique d'humidité (**TWI**) produit à partir du MNT permet de quantifier le rôle de la topographie sur la disponibilité en eau. L'indice prend en compte la pente et le bassin versant amont dans son calcul. L'indice mesure en quelque sorte la tendance de l'eau à s'écouler ou au contraire à s'accumuler en un endroit donné. Un indice élevé témoigne d'un haut potentiel d'accumulation d'eau et inversement. La croissance des peupliers est donc liée à la façon dont la topographie influence l'apport en eau.
- L'indice de position topographique (**TPg**) découle de l'indice TPI. Ce dernier est un indice calculé à partir du MNT (modèle numérique de terrain) qui permet d'évaluer la situation topographique locale. La méthode repose sur le calcul de la différence entre l'altitude d'une cellule (pixel) et la moyenne des altitudes des cellules voisines. L'emprise des cellules prises en compte a été définie à partir d'une fenêtre adaptée au contexte paysager de l'étude, dont l'opérateur choisit la forme (circulaire dans le cas des vallées alluviales à peuplier), en fonction du voisinage.

Une valeur de TPI fortement négative correspond à une zone de fond de vallée, une valeur de TPI proche de 0 correspond à un versant et une valeur de TPI fortement positive représente un espace proche d'une "ligne de crête". L'indice TPg est un indice topographique catégoriel obtenu à partir du TPI et de la pente. Il différencie les zones de crêtes, les versants à pente forte ou faible et les fonds de vallée. Malgré la faible variabilité topographique attendue sur les zones d'études, il s'avère que l'indice TPg influence significativement la croissance des peupliers, car il a été retenu dans notre meilleur modèle.

- La réserve utile (**RU** en mm) issue du modèle de la carte prédictive des stations, tout comme les deux variables suivantes, représente la quantité d'eau maximale que le sol peut contenir et restituer aux racines.
- Le niveau d'engorgement (**engor**) représente le risque d'apparition d'un gley (engorgement permanent) dans le sol à partir de 20 cm de profondeur. Le risque est exprimé en pourcentage de 0 à 100. Cet indicateur est donc fortement corrélé au niveau d'humidité du sol. Si les peupliers ont besoin de sols bien alimentés en eau toute l'année, un engorgement superficiel marqué est généralement peu propice à leur croissance.
- Le niveau trophique du sol (**ferti**) agit également de façon significative sur la croissance des peupliers d'après notre modèle. La variable ferti prend des valeurs allant de 1 (sol très acide) à 6 (sol calcaire).

Effets des variables pédoclimatiques sur la croissance en circonférence

Le coefficient de détermination R^2 est de 0.28. Cela signifie que 28% de la variance de la circonférence des peupliers à 5 ans est expliqué par notre modèle.

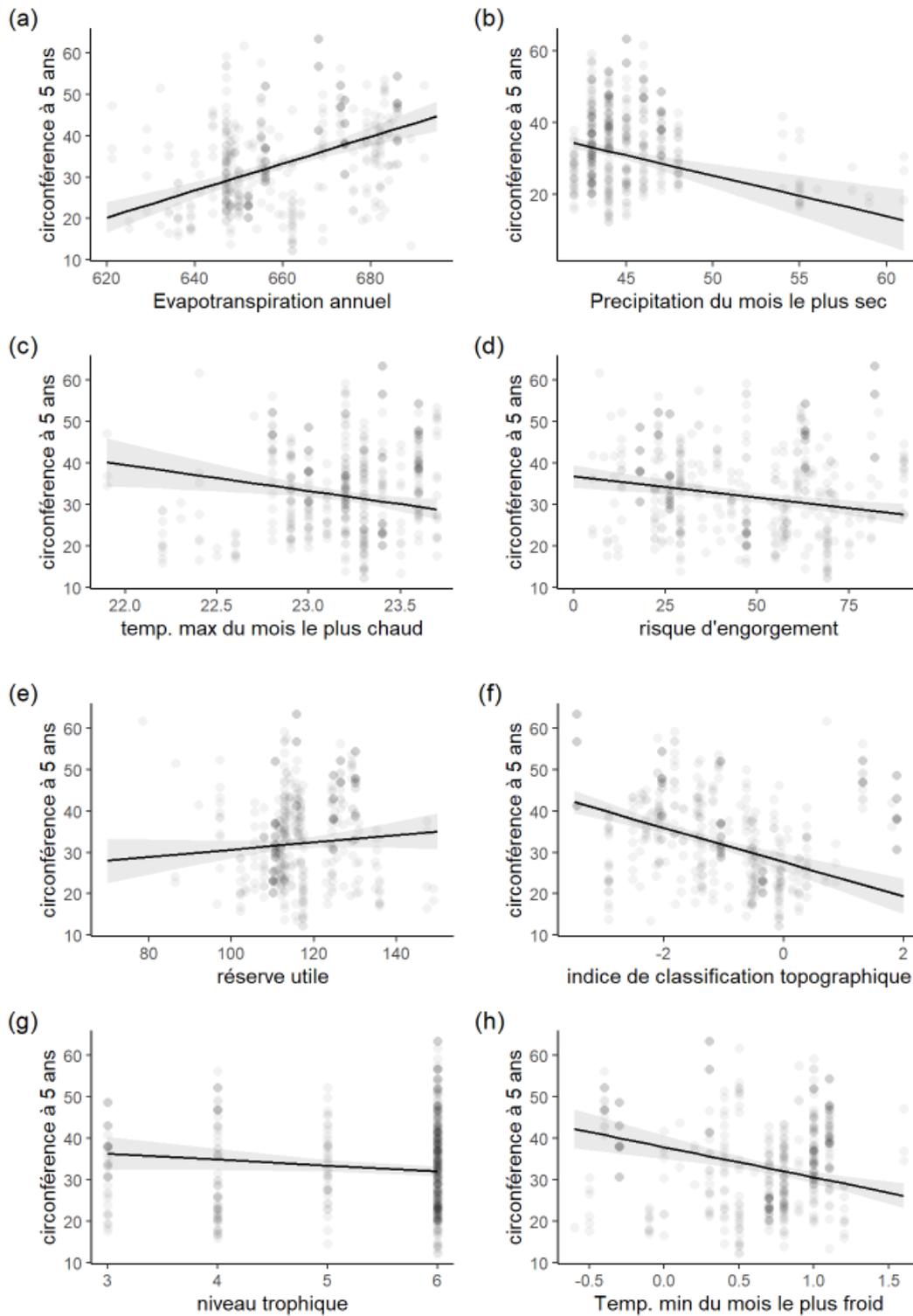
Toutes les variables interviennent de façon significative dans le modèle (coefficient significativement différent de 0) sauf la réserve utile (RU) et le niveau trophique (ferti).

La taille de l'effet de la RU ($\text{Estimates(RU)} = 0.09$) est assez faible. En revanche ce n'est pas vraiment le cas pour le niveau trophique ($\text{Estimates(ferti)} = -1.45$). Donc cette variabilité doit influencer davantage la circonférence à 5 ans des peupliers.

L'effet des différentes variables du modèle sur la circonférence à 5 ans des peupliers est exposé dans les graphiques suivants.

Sur les graphiques, chaque point correspond à une observation (c'est à dire la circonférence d'un cultivar donné dans un dispositif donné à l'âge de 5 ans). De plus, chaque droite correspond à un effet prédit de la variable d'après notre meilleur modèle, en considérant que chaque autre variable est fixée à sa moyenne. On observe ainsi uniquement l'effet de la variable en question.

Plus la pente de la droite de régression est forte (qu'elle soit négative ou positive), plus le facteur impacte fortement la croissance des peupliers.



- (a) L'augmentation de l'évapotranspiration annuelle (**ETPAN**) agit positivement sur la croissance en circonférence, ce qui peut paraître surprenant au premier abord. Ce facteur peut toutefois être corrélé à une plus forte activité photosynthétique et un meilleur ensoleillement, favorables à la

croissance sur les zones à plus forte ETPAN. On peut s'attendre à une inversion de la tendance pour de trop fortes valeurs d'ETP, pouvant participer au stress hydrique. Cependant, on a déjà constaté que l'eau n'apparaissait pas comme un facteur limitant de façon générale sur les dispositifs populicoles analysés.

- (b) La circonférence à 5 ans est inversement corrélée avec la précipitation du mois le plus sec. Autrement dit les peupliers localisés dans des zones où les précipitations du mois le plus sec sont importantes (60mm) poussent en moyenne moins que dans les zones avec moins de précipitation sur les mois les plus sec (45 mm par exemple). C'est assez contre-intuitif mais cela peut être lié aux spécificités du jeu de donnée, sachant de plus que la taille des effets de ce facteur (bio_4) est assez faible (Estimates = -0.65).
- (c) L'augmentation de la température maximale du mois le plus chaud agit négativement sur la circonférence à 5 ans. Les zones avec des canicules plus fortes en été seraient ainsi davantage défavorables à la croissance des peupliers.
- (d) Bien que l'effet (et donc la pente de la droite) soit faible, il semblerait que l'augmentation d'un risque d'engorgement prononcé à 20cm de profondeur agisse négativement sur la circonférence à 5 ans, ce qui peut s'expliquer par le manque d'aération du sol, propice à la croissance des peupliers. Néanmoins la taille de l'effet est peu marquée. Pour cause, ce facteur est corrélé positivement au taux d'humidité du sol. Or, un taux d'humidité élevé est globalement propice aux peupliers qui ont besoin d'une bonne alimentation en eau pour se développer.
- (e) Une augmentation de la réserve utile potentielle en eau se traduit par une augmentation peu marquée de la croissance en circonférence des peupliers. On peut noter que l'amplitude de la RU se situe entre 80 et 150 mm environ avec peu d'observations en dessous de 100 mm. La réserve en eau ne s'est pas avérée être un facteur très limitant qui discriminerait la croissance des peupliers, mais le facteur apparaît tout de même dans notre modèle final.
- (f) L'indice de position topographique est négativement corrélé à la croissance en circonférence des peupliers. Ainsi quand on s'éloigne des fonds de vallée (perte en eau < apport) pour aller vers des situations de versant (perte = apport) voir de sommet (perte > apport), cela impacte négativement la croissance des peupliers qui ont idéalement besoin d'un apport continu et suffisant en eau pour grandir.
- (g) Les peupliers montrent une plus faible croissance sur les terrains **calcaires** que dans les contextes trophiques non calcaires, même si l'effet semble très faible. Il semble qu'il y ait surtout une diminution de la circonférence moyenne entre les terrains **calciques** riches/carbonatés et les terrains calcaires carbonatés. On constate que les dispositifs sur terrain **acidicline** (valeur de 3) et **neutrophile** (valeur de 4) ne montrent pas vraiment de meilleurs résultats que sur terrain riche

(note de 5). Cela s'explique assez bien puisque la richesse chimique du sol est un stimulateur de la croissance.

- (h) Une augmentation de la température minimum du mois le plus froid impacte négativement la circonférence des peupliers à 5 ans, ce qui reste à expliquer.

Remarque : Il faut rappeler que les corrélations établies ici ne concernent que les dispositifs de peupleraie en région. Ainsi certains facteurs qui pourraient être très importants pour la croissance d'autres essences ou bien des peupliers dans d'autres stations peuvent très bien ne pas ressortir ici si elles présentent peu de contraste dans notre jeu de données. Cela peut aussi s'expliquer par le fait qu'ils n'atteignent pas de seuils critiques défavorables à la croissance des peupliers dans l'ensemble des zones d'études. A titre d'exemple, le bilan hydrique climatique (P-ETP) est un paramètre décisif de la croissance des peupliers mais il ne ressort pas sur le modèle retenu, sans doute en raison de sa faible amplitude et donc de son caractère peu limitant sur la croissance des peupliers dans les dispositifs étudiés. En effet, les peupleraies sont généralement installées sur des stations bien alimentées en eau. Les paramètres qui ressortent de l'étude sont donc ceux dont la variabilité au sein des zones étudiées agit significativement sur la croissance des peupliers.

Nous avons vu comment les conditions pédoclimatiques influent sur la croissance des peupliers. Dans notre modélisation, nous expliquons 28% de la variance au travers de seulement 8 variables explicatives.

Le facteur génétique, autrement dit le type de cultivar, doit représenter une autre part non négligeable de la variance que l'on peut estimer en établissant un modèle adapté dont le R^2 est de 0.216. Donc environ 20% de la variance de la circonférence des peupliers à 5 ans est expliquée par le facteur génétique (type de cultivar).

A retenir

Les stations forestières, conformément à nos attentes, ont un fort impact sur la croissance de tous les cultivars de peupliers. On préférera donc l'introduction de ces cultivars sur des stations favorables à leur croissance, notamment les stations limoneuses, et les stations riches humides et fraîches. Cette étude montre déjà des résultats intéressants en comparant la croissance des cultivars entre eux : malgré la relativement faible importance du jeu de données, il est déjà possible d'observer que les cultivars Soligo, Vesten et Koster sont les plus compétitifs. A l'opposé, les cultivars Fritzi Pauley, Flevo et I 214 ont les croissances les plus faibles. L'acquisition de davantage de données et l'installation de nouveaux dispositifs dans les années à venir pourraient nous permettre de tirer des conclusions pour les cultivars pour l'instant moins observés mais prometteurs: Imola, Aleramo et Senna notamment.

Contexte actuel de filière : Plan Peuplier et importance de l'élagage

Plan Peuplier

La récolte de bois d'œuvre dans les Hauts-de-France est marquée par une part très importante de peuplier : il constitue la première essence la plus récoltée (devant le chêne) avec 124 000 m³ récoltés en 2020. Il s'agit d'un signal positif lorsque l'on sait que la récolte de bois d'œuvre est la seule à augmenter dans la région (+ 3,2 % entre 2018 et 2020, source Agreste).

La récolte de bois en 2020							
En millier de m ³ de bois rond	Aisne	Nord	Oise	Pas-de-Calais	Somme	Région	France métro.
Récolte totale de bois	500	216	342	109	135	1 302	37 070
Bois d'œuvre	194	42	107	37	58	438	18 584
Grumes de feuillus	165	38	97	36	47	383	4 845
dont chêne	36	15	38	4	5	98	2 220
dont hêtre	35	6	21	9	7	78	845
dont feuillus précieux (merisier, frêne, érable, etc.)	26	5	10	7	9	56	233
dont peuplier	64	7	18	13	22	124	1 299
Grumes de conifères	29	4	11	1	10	55	13 739
Bois d'industrie	82	23	69	2	11	186	10 124
Bois énergie	224	151	166	70	66	678	8 362

Tableau 5 : Récolte de bois en Hauts-de-France en 2020 selon le département de récolte

Source : Agreste – enquête annuelle de branche, exploitation forestière, 2021

Le manque de reboisement ces dernières années a pénalisé la dynamique de l'ensemble de la filière populeuse en restreignant l'accessibilité à une ressource qui devrait être abondante et locale. La demande en bois de peuplier est pourtant croissante, comme en témoignent l'implantation de deux leaders du déroulage chez nos voisins du Grand-Est (le groupe espagnol GARNICA à Troyes et le groupe THEBAULT-DROUIN à Marigny-le-Châtel) ainsi que la modernisation d'un troisième dérouleur (LEROY à Epernay).

Dans ce contexte, le CRPF Hauts-de-France, l'interprofession Fibois Hauts-de-France et l'Association Peuplier des Hauts-de-France ont initié en 2019 un « Plan Peuplier » qui vise à redynamiser la filière. Ce plan s'inscrit dans le cadre du Programme Régional de la Forêt et du Bois (PRFB) des Hauts-de-France et se décline en un programme pluriannuel d'actions, construit avec l'ensemble des représentants de chaque secteur de la filière populeuse (amont comme aval). Le groupe de travail de ce Plan Peuplier, nommé Cellule Peuplier, a ainsi participé à de nombreux échanges qui ont permis d'aboutir à un plan d'actions concret.

Le Plan Peuplier se décompose en 2 phases :

Phase 1 – octobre 2019 à septembre 2021

La première phase du projet a consisté en une synthèse des données connues sur la ressource populicole des Hauts-de-France, afin d'établir un premier diagnostic de filière permettant de mieux cerner les potentialités actuelles du peuplier. Cet état des lieux a été dressé en échangeant avec les acteurs concernés afin d'estimer leurs besoins, comprendre la situation de la filière actuelle ainsi que d'évaluer leur réceptivité vis-à-vis du déploiement dans la région du « Plan Peuplier » et des outils qui y sont liés. La connaissance de l'aval de la filière par l'interprofession Fibois Hauts-de-France et les travaux menés par l'Association Peuplier sur les communes populicoles ont été déterminants dans ce diagnostic.

Les premières réunions d'information et d'échanges autour de ce projet se sont tenues en début d'année 2020, suivies par la création en juin de la Cellule Peuplier. L'implication de tous les maillons de la filière a été nécessaire à l'établissement d'un programme d'actions pertinent et répondant aux besoins de chacun. Ce travail a également bénéficié à ses débuts d'un appui du Conseil National du Peuplier (CNP), dont les données sur la ressource populicole nationale sont très complètes et ont aidé à mieux appréhender la nécessité de reboiser.

La Cellule Peuplier est animée par un réseau d'acteurs en région Hauts-de-France : le CRPF, l'Association peuplier et Fibois. Ces structures ont en charge la mise en œuvre du Plan Peuplier, la communication sur les actions déjà réalisées et constituent des relais d'information pour les acteurs et entreprises de la filière. Le Plan Peuplier a pour volonté de fédérer l'ensemble des acteurs de la filière autour du reboisement et de la redynamisation du peuplier, ce pourquoi il a été important de les consulter de manière à construire un programme d'actions consensuel.

Ce Plan Peuplier, organisé et harmonisé le plus possible en fonction des attentes de chacun, a été validé en septembre 2021 par la Cellule Peuplier et a pour vocation d'être présenté à la Région courant 2022 pour lancer de potentiels outils d'aide à la relance du reboisement et la conduite de peupleraies de qualité. Il s'accompagne d'autres opérations de communication auprès de publics avertis mais aussi non avertis (comme le grand public).

Actions réalisées dans le cadre de cette première phase :

- Création et animation d'un groupe de travail régional et représentatif de l'amont et de l'aval de la filière (« Cellule Peuplier ») ;
- Réalisation d'une campagne de communication auprès des communes populières (envoi d'une « pochette peuplier » avec brochure du CNP, argumentaire sur le peuplier et questionnaire d'information sur la gestion des peupleraies communales) ;
- Animations de 3 réunions de vulgarisation à destination des propriétaires forestiers, en insistant sur la nécessité de reboiser et le rôle de l'élagage (qualité des peupliers) ;
- Elaboration d'un programme de mesures concerté regroupant l'ensemble des actions de redynamisation de la filière populière de la région ;
- Création d'un logo pour la lisibilité du Plan Peuplier en région.



Phase 2 – depuis janvier 2022

Le CRPF, l'interprofession Fibois et l'Association Peuplier des Hauts-de-France, avec l'appui de la Cellule Peuplier, ont pour mission depuis janvier 2022 de mettre en œuvre le programme de mesures d'accompagnement de filière construit en phase 1. Ces mesures ont été identifiées comme des leviers d'accompagnement à la filière pour redynamiser le peuplier en Hauts-de-France : aide régionale à l'élagage, communication auprès des populteurs et du grand public, formations à la populture, etc.

En plus du fort potentiel populière des Hauts-de-France, la nouvelle dynamique créée par l'arrivée et/ou la modernisation de grands industriels devrait redonner du souffle aux peupleraies en soutenant le reboisement. La demande croissante de bois qui en résulte doit être vue comme une opportunité de développement des entreprises de proximité ; la mise en place de circuits-courts et la valorisation d'une matière première renouvelable locale, largement souhaitées tant par les acteurs de la filière que par le grand public, peuvent s'insérer concrètement dans l'économie régionale grâce au peuplier.

Importance de l'élagage

La qualité du bois de peuplier est tributaire de la qualité des tailles de formation et des élagages réalisés. Il est important d'intervenir au bon moment et suffisamment tôt pour éviter l'apparition de nœuds dans le bois, qui déprécieraient sa qualité. Un document sur l'élagage a été réalisé par le CPRF et l'IDF, avec l'appui de Fibois Hauts-de-France, de l'Association Peuplier, des pépinières Crété, des pépinières Vandromme ainsi que de la Coforaisne. Il résume les modalités de réalisation des tailles de formation et des élagages. Ce document est disponible sur le site internet du CPRF.

Le marché du peuplier

Le peuplier est depuis toujours un élément constitutif des paysages français. Sa croissance rapide et les caractéristiques technologiques de son bois en font une matière première durable, adaptée aux besoins actuels comme aux défis de demain.

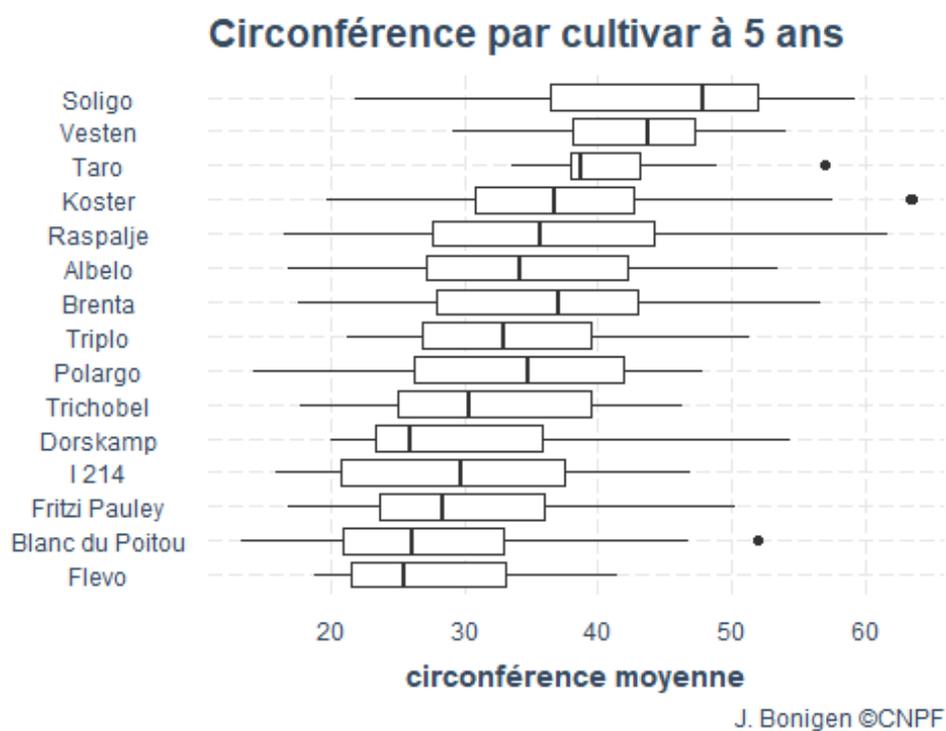
Son bois a des qualités uniques : résistant, très léger, facile à travailler. On le retrouve pour différents usages : construction, emballages, cosmétiques, contreplaqué... La filière bois découvre au fil des années différents usages possibles qui lui donne ainsi une attrance pour les industriels dont certains comme le géant Garnica s'est implanté pas loin de la région Hauts-de-France pour être au plus près de la matière première

Le prix au mètre cube dépend bien évidemment de différents critères parmi lesquels on peut citer : volume unitaire, qualité du bois, élagage, accès, cultivars. Il est donc difficile de donner des valeurs exactes, d'autant plus que le cours du bois diffère aussi selon les années. Néanmoins, avec une amélioration du prix de vente de bois sur pied par rapport à la fin des années 2010, voici quelques ordres de grandeurs : les sciages de second choix auront un prix oscillant autour de 30 €/m³, les produits standards et de bonne qualité seront entre 35 et 50 €/m³ et les plus belles pièces avoisineront les 60 €/m³, voire au-delà pour des produits exceptionnels. A noter que certains des industriels cités plus haut ne cherchent pas de gros produits : des circonférences comprises entre 120 et 150 cm conviennent pour produire des contreplaqués dont ils sont spécialistes. Eventuellement, les bois non élagués peuvent être utilisés si les nœuds ne sont pas trop importants car les feuilles de contreplaqués issues de ces arbres seront disposées à l'intérieur du panneau.

Annexe 1 : Eléments Graphiques : Illustration des circonférences à 5, 10 et 15 ans

Annexe 1.1 : Accroissement moyen à 5 ans

Table 4: Accroissement moyen à 5 ans pour chaque cultivar dans l'ordre décroissant



Cultivar	Acc_moy	Circonf	ecart_type	Nb_dispositif
A4A	5.99	51.1	4.14	6
Soligo	5.19	44.1	11.64	15
Vesten	4.63	42.2	7.24	11
Taro	4.60	41.2	7.11	10
Lambro	4.51	38.6	8.70	9
Dvina	4.74	38.1	6.28	4
Muur	3.96	37.1	3.24	6
Koster	4.37	36.7	11.33	41
Delvignac	4.23	36.6	5.44	2
Oudenberg	4.06	36.4	7.52	9
Raspalje	4.37	36.1	12.41	22
Degrosso	4.52	35.2	12.87	10
Imola	4.49	35.2	6.33	4
Albelo	4.65	34.7	10.97	15
Brenta	3.90	34.5	11.44	13
Triplo	3.26	34.0	9.48	12
Polargo	3.99	33.4	10.57	15
Alcinde	2.87	33.1	11.82	2
Senna	4.04	32.8	6.97	4
Dano	4.22	32.3	12.54	12
AF2	2.81	32.0	7.92	2

Cultivar	Acc_moy	Circonf	ecart_type	Nb_dispositif
Rona	4.10	31.9	9.57	12
Trichobel	3.77	31.7	8.93	23
Dorskamp	3.38	31.4	11.32	17
Aleramo	3.77	31.3	12.56	4
Ludo	3.89	31.2	12.82	10
Garo	4.08	30.8	9.05	10
Diva	3.10	30.5	6.90	4
I 214	3.29	29.9	9.43	19
Fritzi Pauley	3.32	29.9	9.62	12
Moleto	3.37	29.5	9.67	4
Tucano	3.17	29.5	12.03	4
Skado	2.83	29.4	9.93	4
Lena	3.28	29.3	7.67	8
Moncalvo	3.27	29.3	10.46	4
Blanc du Poitou	3.09	28.5	10.72	17
Flevo	3.07	27.8	7.43	27
Delrive	2.75	27.3		1
AF8	3.26	27.1	4.85	4
Bakan	2.38	22.1	5.13	4

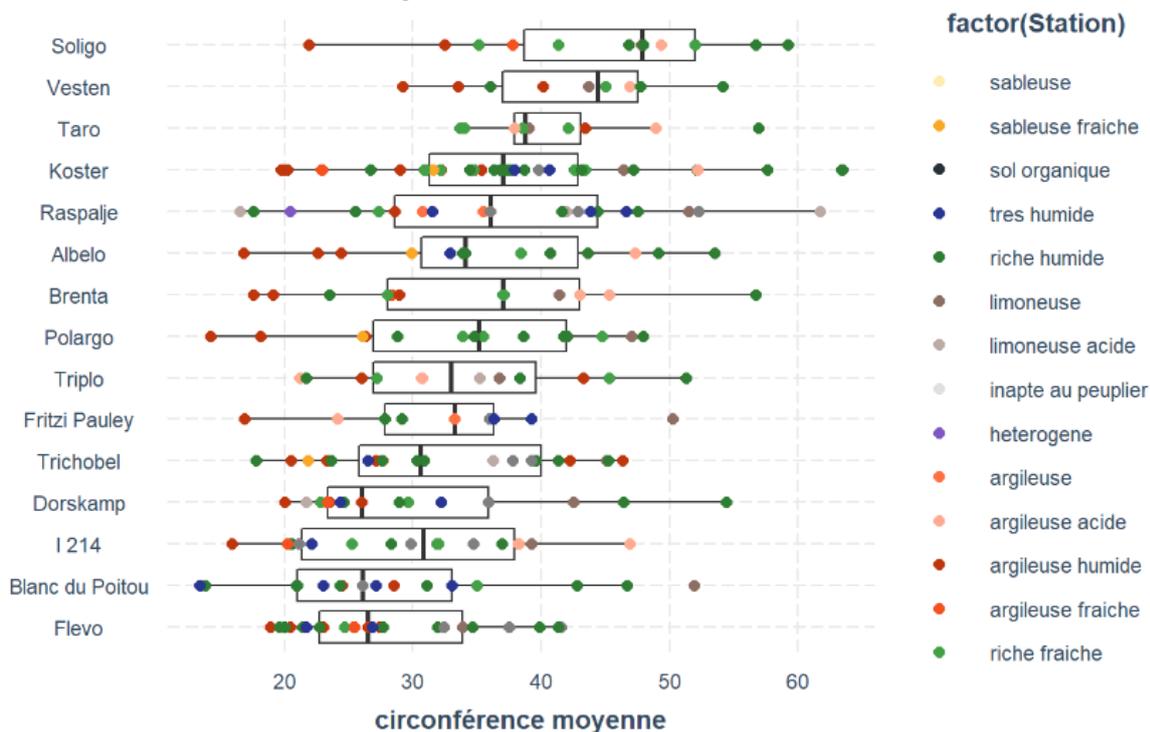
Table 5: Circonférence moyenne à 5 ans des 15 groupes les plus performants pour les modalités circonférence x station

Cultivar	Station	Circonf	ecart_type	Nb_dispositif
Taro	riche humide	56.9		1
Degrosso	argileuse acide	56.2		1
A4A	limoneuse	55.9		1
Soligo	riche humide	53.5	5.67524	5
Koster	argileuse acide	52.2	0.00707	2
Blanc du Poitou	limoneuse	51.9		1
A4A	riche fraiche	51.2	7.14178	2
A4A	riche humide	51.0		1
Fritzi Pauley	limoneuse	50.2		1
Soligo	argileuse acide	49.3		1
A4A	argileuse acide	48.7	0.02121	2
Soligo	limoneuse	47.8		1
Lambro	riche humide	47.8	2.70939	3
Albelo	argileuse acide	47.3		1
Polargo	limoneuse	47.0		1

Table 6: *Accroissement moyen à 5 ans, principaux cultivars, dans l'ordre de circonférence décroissante*

Cultivar	Acc_moy	Circonf	ecart_type	Nb_dispositif
Soligo	5.19	44.1	11.64	15
Vesten	4.63	42.2	7.24	11
Taro	4.60	41.2	7.11	10
Koster	4.37	36.7	11.33	41
Raspalje	4.37	36.1	12.41	22
Albelo	4.65	34.7	10.97	15
Brenta	3.90	34.5	11.44	13
Triplo	3.26	34.0	9.48	12
Polargo	3.99	33.4	10.57	15
Trichobel	3.77	31.7	8.93	23
Dorskamp	3.38	31.4	11.32	17
I 214	3.29	29.9	9.43	19
Fritzi Pauley	3.32	29.9	9.62	12
Blanc du Poitou	3.09	28.5	10.72	17
Flevo	3.07	27.8	7.43	27

Circonférence par cultivar et station à 5 ans



J. Bonigen @cnpf

Annexe 1.2 : Circonférence à 10 ans

Table 7: Accroissement moyen à 10 ans pour chaque cultivar dans l'ordre décroissant

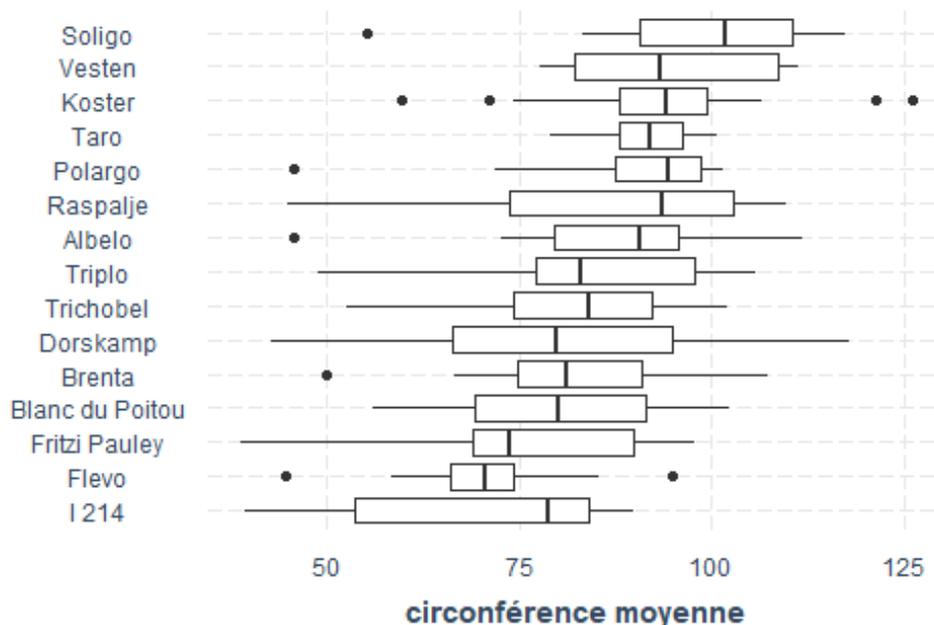
Cultivar	Acc_moy	Circonf	ecart_type	Nb_dispositif
A4A	7.71	101.2	12.73	6
Soligo	7.26	98.5	16.65	14
Imola	7.42	97.7	7.88	3
Vesten	6.88	95.0	13.09	11
Aleramo	6.77	94.3	14.04	3
Koster	6.81	93.5	13.91	32
Senna	6.96	92.4	12.15	3
Taro	6.68	90.8	7.45	10
Diva	5.78	90.2	16.85	3
Alcinde	5.11	89.3		1
Polargo	6.38	88.9	16.72	11
Tucano	5.45	88.8	15.56	3
Skado	6.24	88.6	12.21	3
Raspalje	6.45	87.4	19.77	14
Albelo	6.80	86.7	17.46	11
Moletto	6.11	85.3	14.41	3
Degrosso	6.59	84.4	11.22	9
AF2	6.00	84.3	31.54	2
Dano	6.19	84.3	21.00	8
Triplo	5.76	83.4	16.56	12
Rona	6.25	83.3	14.35	8
Garo	6.48	83.2	11.96	8
Trichobel	6.12	82.7	14.53	16
Dorskamp	5.99	82.6	22.22	14
Brenta	5.94	81.3	14.90	12
Dvina	6.29	80.7	7.53	4
Blanc du Poitou	5.97	80.0	15.28	13

Cultivar	Acc_moy	Circonf	ecart_type	Nb_dispositif
Ludo	5.86	78.9	18.77	8
Muur	6.02	78.6	12.35	7
Lambro	6.20	78.6	14.80	10
Moncalvo	5.62	78.4	22.10	3
Oudenberg	5.95	76.6	16.74	10
Fritzi Pauley	5.45	74.8	19.31	8
AF8	5.59	73.7	7.57	2
Flevo	5.02	71.2	12.31	17
Lena	5.23	71.0	11.70	7
Delvignac	6.06	70.6		1
I 214	5.04	70.2	16.86	17
Bakan	5.08	69.4	6.11	3
Delrive	4.49	60.2		1

Table 8: *Accroissement moyen à 10 ans, principaux cultivars, dans l'ordre décroissant*

Cultivar	Acc_moy	Circonf	ecart_type	Nb_dispositif
Soligo	7.26	98.5	16.65	14
Vesten	6.88	95.0	13.09	11
Koster	6.81	93.5	13.91	32
Taro	6.68	90.8	7.45	10
Polargo	6.38	88.9	16.72	11
Raspalje	6.45	87.4	19.77	14
Albelo	6.80	86.7	17.46	11
Triplo	5.76	83.4	16.56	12
Trichobel	6.12	82.7	14.53	16
Dorskamp	5.99	82.6	22.22	14
Brenta	5.94	81.3	14.90	12
Blanc du Poitou	5.97	80.0	15.28	13
Fritzi Pauley	5.45	74.8	19.31	8
Flevo	5.02	71.2	12.31	17
I 214	5.04	70.2	16.86	17

Circonférence par cultivar à 10 ans



J. Bonigen ©CNPF

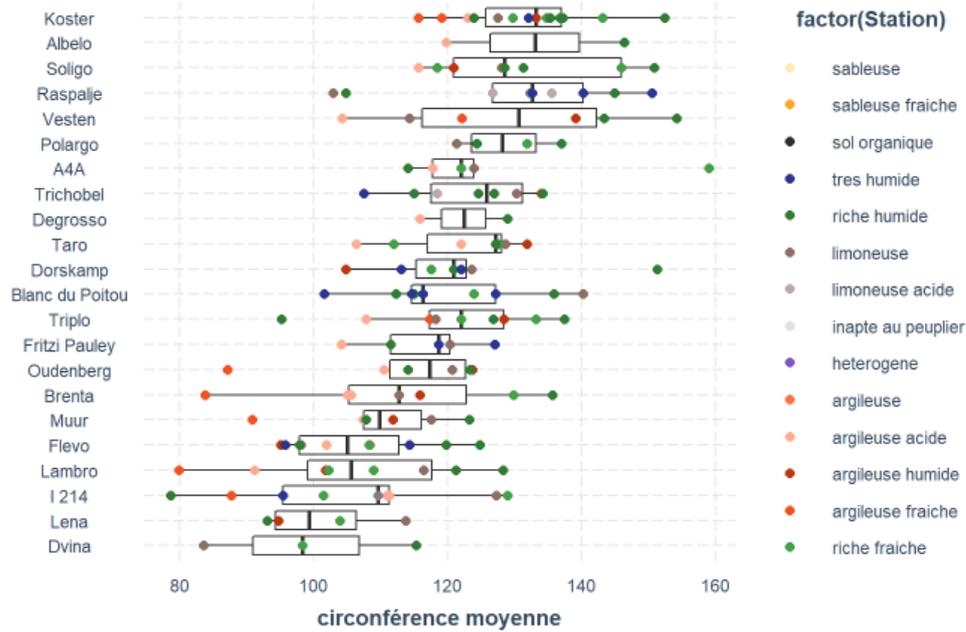
A dix ans, on retrouve en premières places les cultivars présentant de bonnes performances à 5 ans. **Soligo** et **Vesten** restent respectivement en première place et seconde place parmi les clones suffisamment représentés (A4A montre de meilleures performances mais il est encore peu testé). **Taro** et **Koster** se disputent la troisième place du podium. On peut noter que Polargo, qui présentait une croissance juvénile moyenne (9ème place en circonférence à 5 ans parmi les principaux cultivars), dépasse la circonférence moyenne de certains cultivars à 10 ans (5ème place) comme Raspalje, Albelo ou Triplo. Parmi les cultivars les moins dynamiques on peut citer I214, Flevo, Fritzy Pauley et Blanc du Poitou. I214 occupait la 12ème place en moyenne à 5 ans, et se place au dernier rang des principaux cultivars comparés à 10 ans.

Annexe 1.3 : Circonférence à 15 ans

Table 9: Accroissement moyen à 15 ans, principaux cultivars, dans l'ordre décroissant

Cultivar	Acc_moy	Circonf	ecart_type	Nb_dispositif
Albelo	6.89	133	18.81	2
Soligo	7.06	132	13.73	9
Koster	6.97	132	11.82	16
Raspalje	6.57	130	16.48	9
Vesten	6.99	130	19.05	6
Polargo	6.60	129	7.09	4
Taro	6.60	122	9.52	7
Dorskamp	6.25	122	14.45	7
Blanc du Poitou	6.49	121	12.19	9
Triplo	6.01	121	13.08	9
Trichobel	6.38	120	15.21	9
Brenta	5.98	113	17.21	7
Fritzi Pauley	5.60	109	20.09	6
Flevo	5.31	104	13.59	11
I 214	5.47	103	18.87	10

Circonférence des peupliers par cultivar et station à 15 ans



Circonférence par cultivar à 15 ans

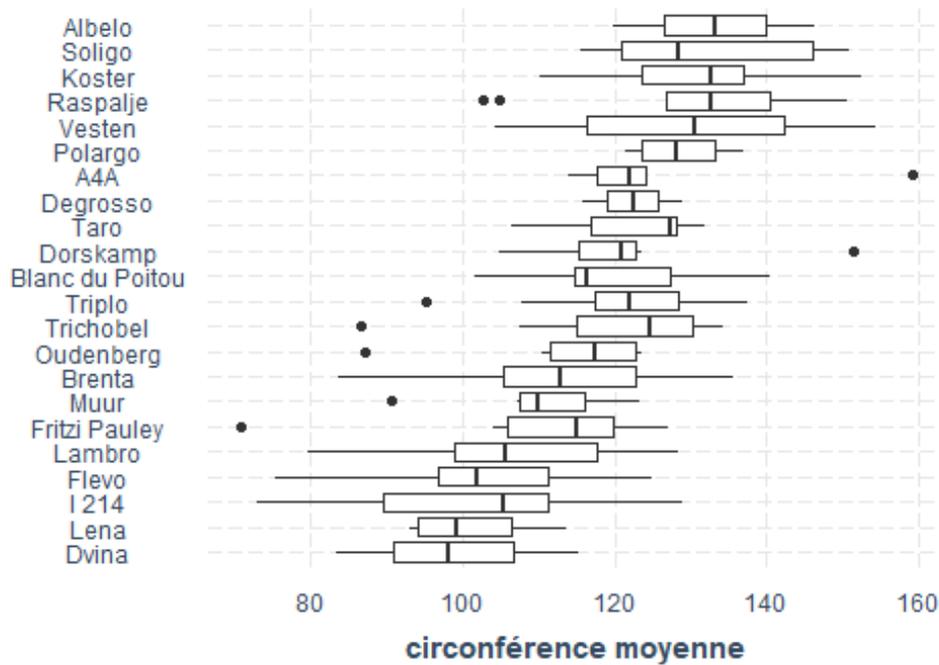


Table 10: Circonférence moyenne à 15 ans des 15 groupes les plus performants pour les modalités circonférence X station

Cultivar	Station	Circonf	ecart_type	Nb_dispositif
Vesten	riche humide	149	7.64	2
Albelo	riche humide	146		1
Raspalje	tres humide	141	8.93	3
A4A	riche fraiche	140	26.16	2
Soligo	riche humide	140	12.17	4
Blanc du Poitou	limoneuse	140		1
Koster	riche humide	140	11.01	6
Vesten	argileuse humide	139		1
Dorskamp	riche humide	136	21.50	2
Koster	riche fraiche	136	6.77	3
Brenta	riche humide	136		1
Trichobel	argileuse humide	134		1
Koster	argileuse humide	133		1
Raspalje	sur sol organique	132		1
Soligo	riche fraiche	132	19.45	2

Annexe 2 : Analyse de la significativité des résultats : Différence entre les stations

Annexe 2.1 : Part des stations

Dans cette partie, l'objectif est de vérifier par des tests statistiques si les différentes modalités (types de stations) donnent des résultats significativement différents en termes de croissance en circonférence. En d'autres termes, peut-on conclure que les différences observées sont réelles?

La performance de croissance des peupliers est définie par leur circonférence à 5 ans et à 10 ans pour cette analyse (les tests réalisés à 10 ans ne sont pas présentés en détail dans cette synthèse). Il faut noter que nous disposons de plus de données de circonférence à 5 ans en raison de la jeunesse de certains dispositifs ou de l'abandon des mesures sur d'autres avant 10 ans.

Afin de pouvoir réaliser des tests de comparaison de moyennes par station, il est nécessaire de s'assurer que notre jeu de données respecte les conditions pour l'utilisation de ces tests paramétriques. Notamment, la distribution des données de circonférence à 5 ans des peupliers doit suivre une **loi Normale**. Autrement dit, la plupart des valeurs sont regroupées autour de la moyenne et les autres s'en écartent symétriquement des deux côtés. La représentation graphique de la distribution des données suit alors une courbe en cloche symétrique et centrée sur la moyenne.

Le test de Normalité est bien vérifié (cf **annexe 4**).

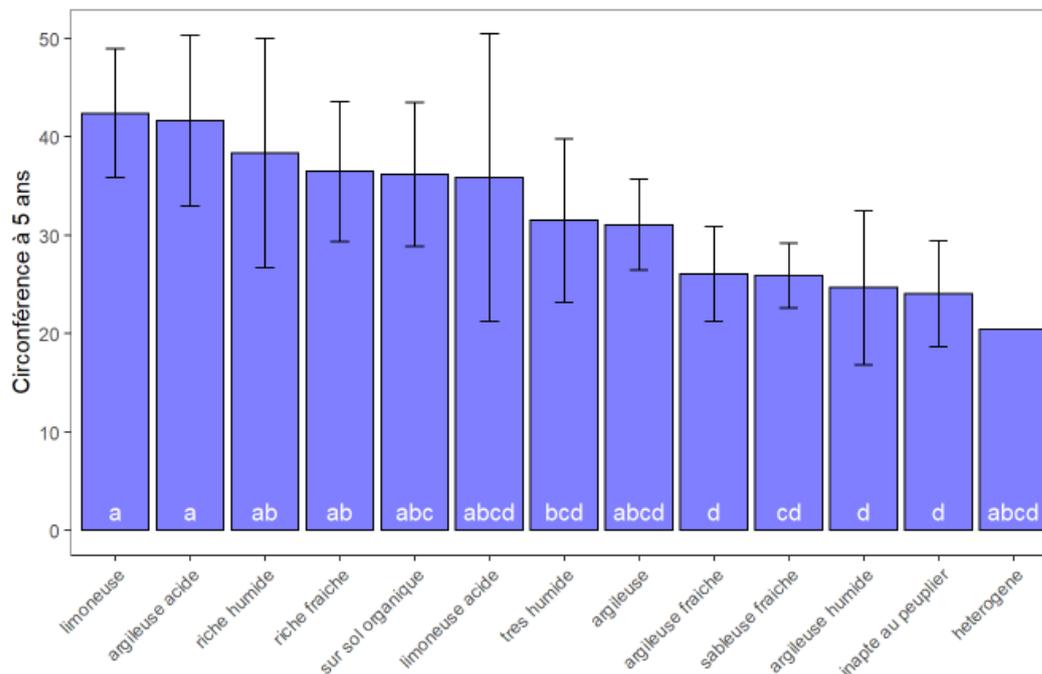
Notre variable à expliquer est la **circonférence des peupliers à 5 ans**, néanmoins les analyses de cette partie ont également été réalisées pour la circonférence à 10 ans et à 15 ans, avec des résultats similaires (non présentés).

Afin de tester si la croissance moyenne est significativement différente entre les stations, un **test anova** (analyse de la variance) est réalisé : il témoigne de l'effet significatif de la station. Les facteurs pédologiques agissent donc bien sur la croissance. En statistique, l'anova permet de vérifier si les moyennes de différents groupes (ici les différentes stations) proviennent d'une même population ou de 2 populations distinctes. Autrement dit, si la variabilité entre les moyennes de groupe est plus grande que la variabilité des observations à l'intérieur des groupes. Si ce rapport est suffisamment élevé, vous pouvez conclure que toutes les moyennes ne sont pas égales, donc dans notre cas les stations montrent un potentiel de croissance différent.

On réalise ensuite un **test de Tukey** sur la base de cette anova, pour spécifier quelles stations se différencient significativement des autres et dans quel ordre. Ce test permet de réaliser une comparaison multiple, entre les différentes modalités de stations dans notre cas, en une seule étape. Il permet de savoir si les résultats sont significativement différents entre chaque moyenne.

Pour le test de Tukey, il a été vérifié au préalable que la variance est homogène au sein de chacune des stations, condition préalable pour appliquer ce test.

Test de Tukey - comparaison de la circonférence à 5 ans par station



Le **test de Tukey** est un test adapté pour la comparaison de plusieurs populations statistiques. Dans notre cas, il permet de dégager les bonnes stations (limoneuse, argileuse acide, riche humide, riche fraîche) des stations plus difficiles (très humide, sableuse fraîche), et d'identifier les très mauvaises stations (argileuse fraîche, argileuse humide). Néanmoins, un certain nombre de stations ne présentent pas de différences significatives entre elles (par exemple la station limoneuse et la station riche fraîche). La station *hétérogène* n'est présente que sur 1 seul dispositif. En raison de l'absence de répétition, il est compliqué de différencier statistiquement cette station des autres malgré les très faibles performances obtenues.

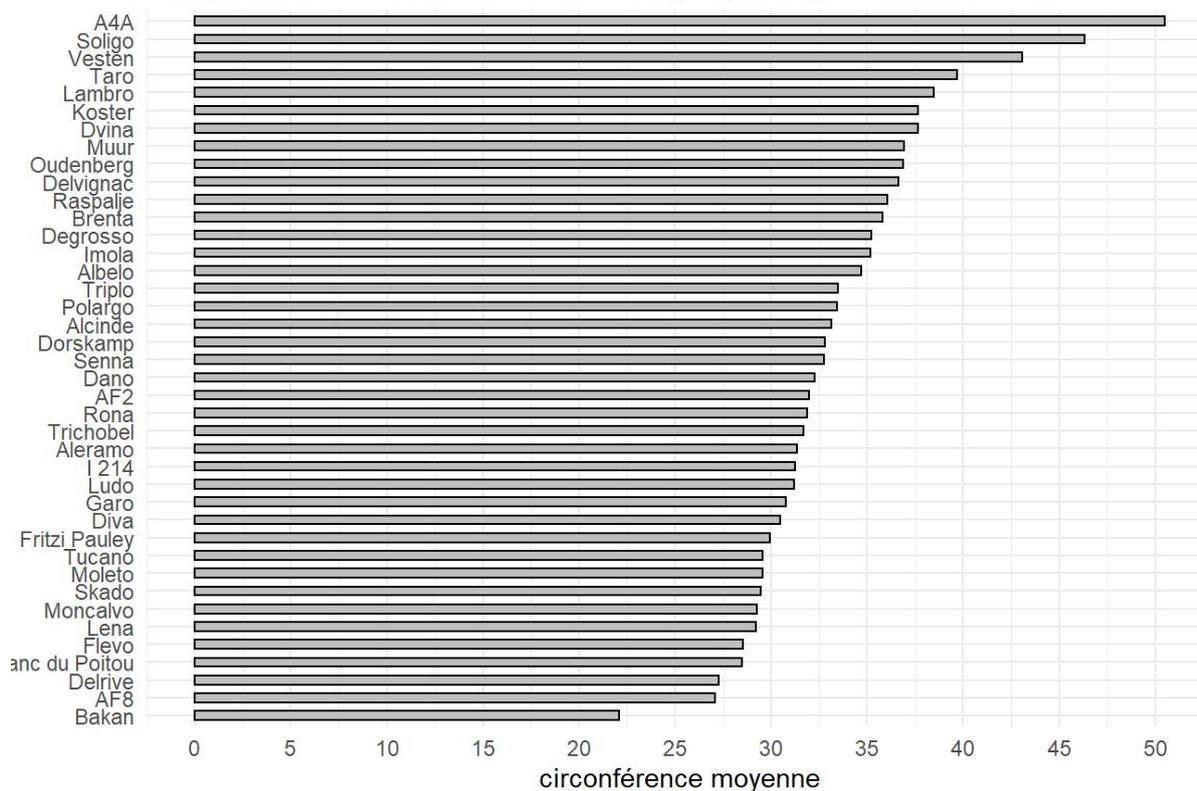
Annexe 2.2 : Part des cultivars

L'objectif de cette partie est de voir, au-delà des tendances observées, si notre jeu de données actuel permet de conclure à des **différences significatives entre les performances des cultivars**. La performance des différents clones sera définie par leur circonférence à 5 ans et à 10 ans pour cette analyse.

Nous nous sommes déjà assurés de la normalité du jeu de données.

Notre variable à expliquer est la **circonférence des peupliers à 5 ans**, néanmoins les analyses de cette partie ont également été réalisées pour la circonférence à 10 ans et à 15 ans, avec des résultats similaires (non présentés).

comparaison de la circonférence des peupliers par cultivar à 5 ans



J. Bonigen @cnpf

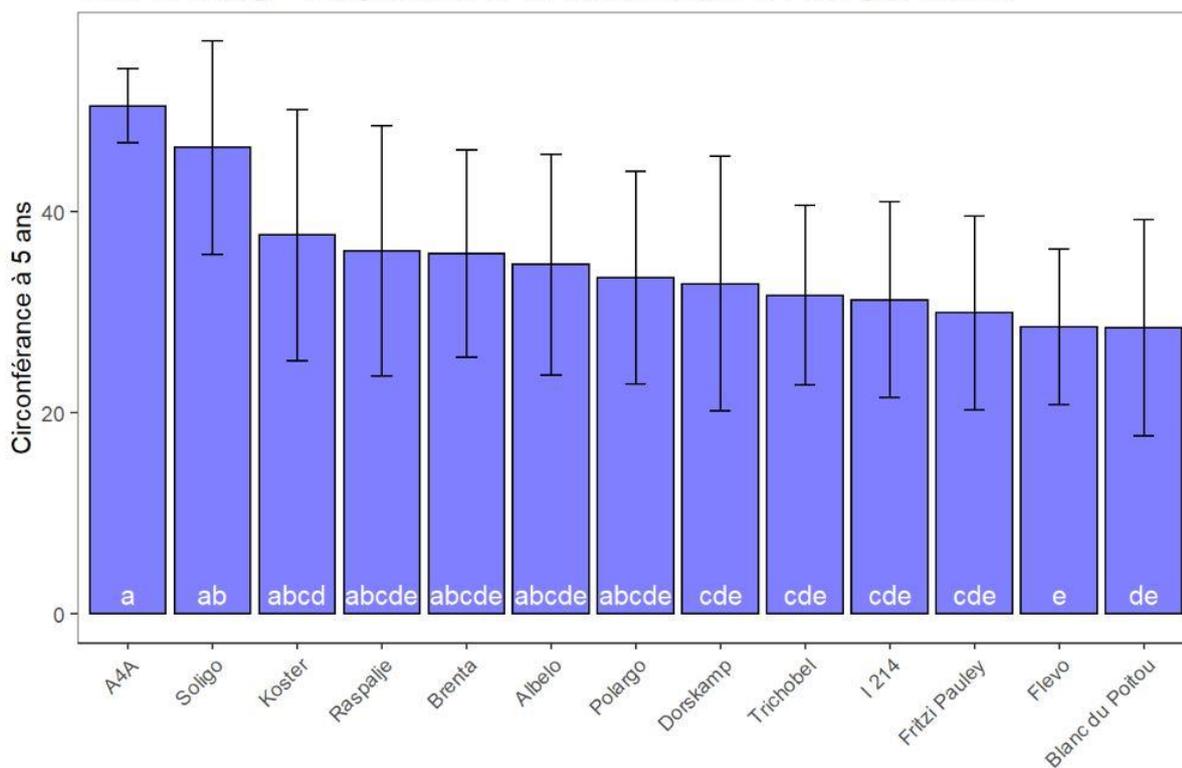
En résumé, parmi les cultivars étudiés, on constate à 5 ans des performances contrastées, allant presque du simple au double. A4A semble montrer des performances meilleures que les autres cultivars considérés. Il est suivi de Soligo, Vesten et Taro. Labro et Dvina semblent un peu moins performants que le quatuor de tête. Ils sont suivis par plusieurs cultivars aux performances comparables : Muur, Raspalje, Koster, Devignac et Degrosso.

Nous allons donc vérifier si notre jeu de données suffit à affirmer **de façon significative** la supériorité de certains cultivars sur d'autres.

Afin de définir si les moyennes de circonférence à 5 ans sont significativement différentes entre les cultivars, un **test de Tukey** a été réalisé sur le jeu de données. De plus, afin de répondre à la même question, un autre test, le **test de Student**, est également effectué. Nous verrons que ce second test différencie davantage les performances des différents cultivars de peuplier.

Un **test anova** est réalisé et témoigne de l'effet significatif du cultivar sur la croissance. Le facteur génétique (type de clone) agit bien de façon significative sur la croissance, comme on pouvait s'y attendre. Le test de Tukey est réalisé sur la base de l'anova.

Test de Tukey - comparaison de la circonférence à 5 ans par cultivar

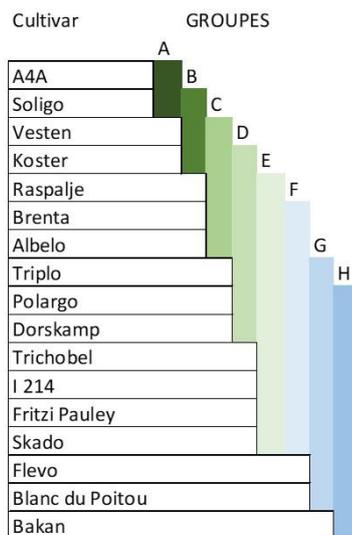


J. Bonigen @cnpf

Les cultivars sont classés sur l'histogramme par performance décroissante. Les cultivars sont regroupés par lettre (a,b,c,d,e). Deux cultivars qui ne présentent aucune lettre en commun peuvent être considérés comme significativement différents en terme de circonférence moyenne à 5 ans. S'il est possible de différencier certains cultivars entre eux, on constate qu'il y a peu de différence significative entre de nombreux clones qui présentent des circonférences moyennes à 5 ans plus ou moins proches. Ainsi, le jeu de données doit être renforcé afin de confirmer ou non les tendances observées.

Afin de mieux discriminer les cultivars entre eux, plusieurs tests de Student (comparaison de moyenne entre cultivars) ont été réalisés pour établir le tableau ci-dessous, repris dans le corps de l'étude :

Comparaison des cultivars par le test de comparaison de moyennes de Student



La comparaison des moyennes par le **test de Student** permet de montrer davantage de différences significatives entre cultivars. Une série de test a permis de différencier 8 groupes (A,B,C,D,E,F,G,H). Les cultivars n'appartenant pas aux mêmes groupes présentent une différence significative quand on compare leur moyenne de circonférence à 5 ans. On peut par exemple conclure que le cultivar A4A est significativement meilleur en terme de croissance à tous les autres cultivars excepté Soligo (groupe A). Cette analyse reste cependant à mettre en regard avec le test de Tuckey réalisé précédemment, et ne nous pouvons donc être complètement certain de la reproductibilité des résultats.

Point d'intérêt !

Attention néanmoins à l'interprétation de ces résultats : le plan échantillonnage n'est pas équilibré. En effet on retrouve que tous les cultivars n'ont pas été autant testés. Plus important encore, certains cultivars sont davantage présents sur des stations "plus favorables" que d'autres. Pour prendre en compte ce potentiel biais, le même type d'analyse sera ensuite réalisé pour chaque station, afin de comparer les cultivars entre eux sur des stations globalement homogènes.

Les mêmes analyses peuvent aussi être réalisées à 10 ans, les résultats changent marginalement comparé aux analyses à 5 ans en raison d'un comportement de croissance différent entre cultivars avec le temps.

Annexe 2.3 : Interaction Cultivar x Station :

Comparaison des circonférences à 5 ans

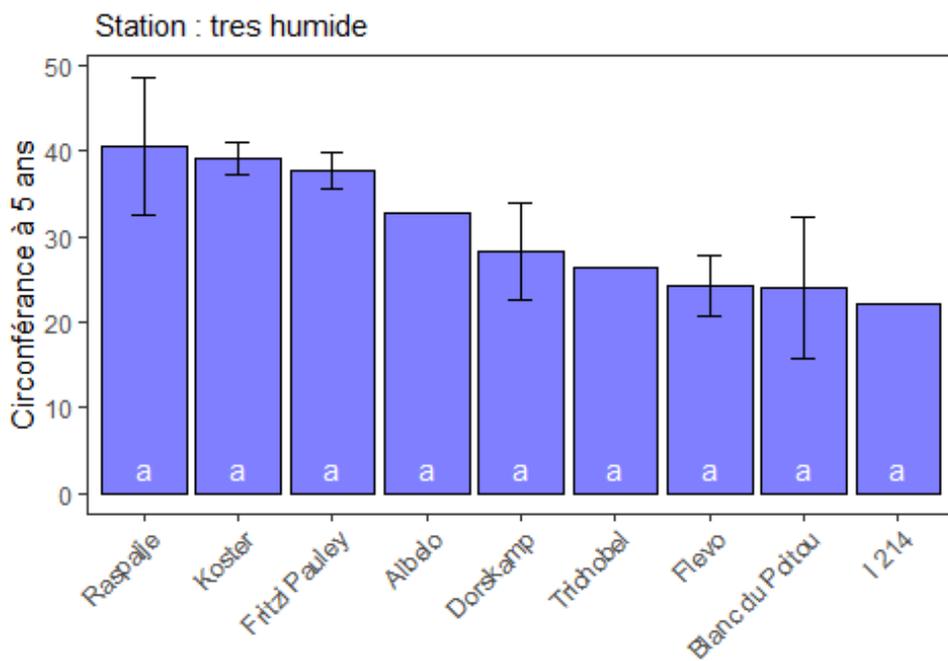
##		Df	Sum	Sq	Mean	Sq	F	value	Pr(>F)
##	Station	12	17925		1494		23.42	< 2e-16	***
##	Cultivar	39	9154		235		3.68	1.7e-10	***
##	Station:Cultivar	155	11355		73		1.15		0.16
##	Residuals			261		16647			64
##									---
##	Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1								

Après avoir établi un modèle de la circonférence en fonction de la station et du cultivar, le **test d'anova** témoigne bien du fait que ces facteurs agissent significativement sur la croissance des peupliers. En revanche, il ne semble pas y avoir d'effet significatif résultant de l'interaction entre les 2 facteurs qualitatifs, station et cultivar.

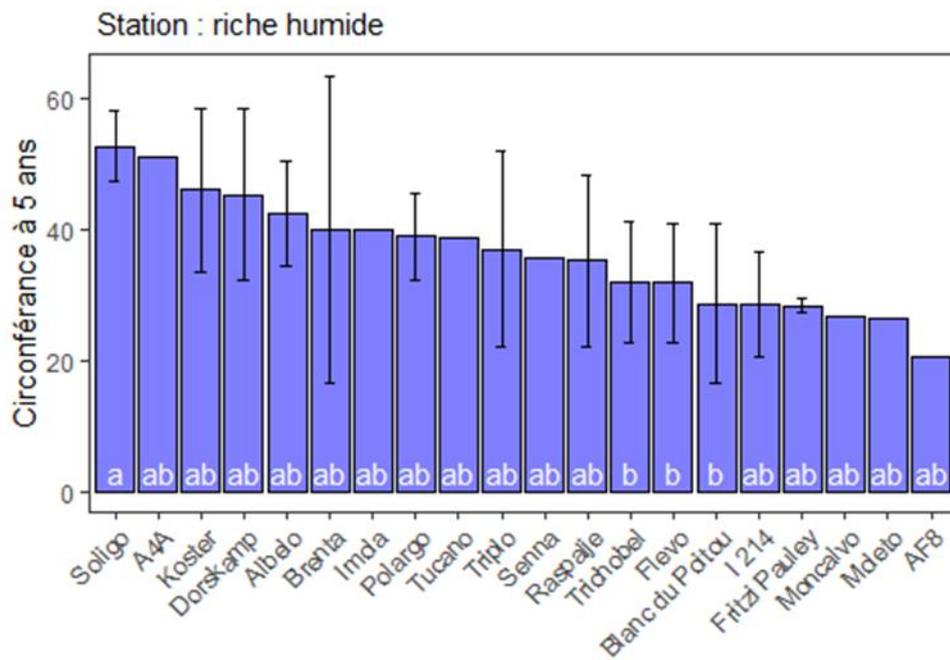
Analyse des meilleurs cultivars pour chaque station

L'analyse de la croissance en circonférence à 5 ans des différents cultivars pour chaque station permet de comparer les cultivars dans un contexte stationnel homogène, et ainsi de limiter les biais d'interprétation.

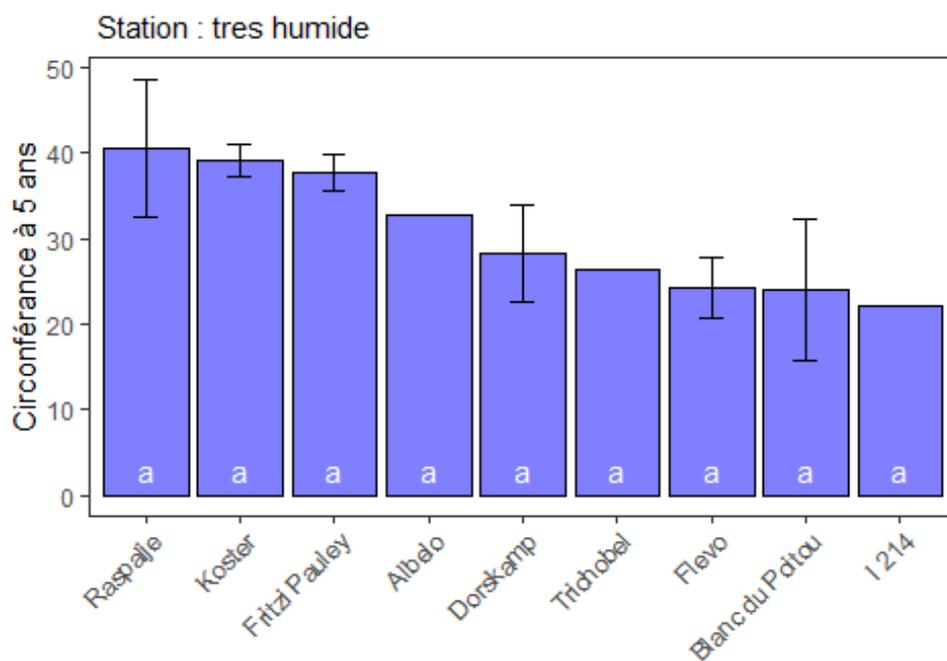
Cela permet en outre de constater quels cultivars sont les mieux adaptés à chaque station, afin de conseiller au mieux les populteurs sur le choix des clones à planter en adéquation avec la station.



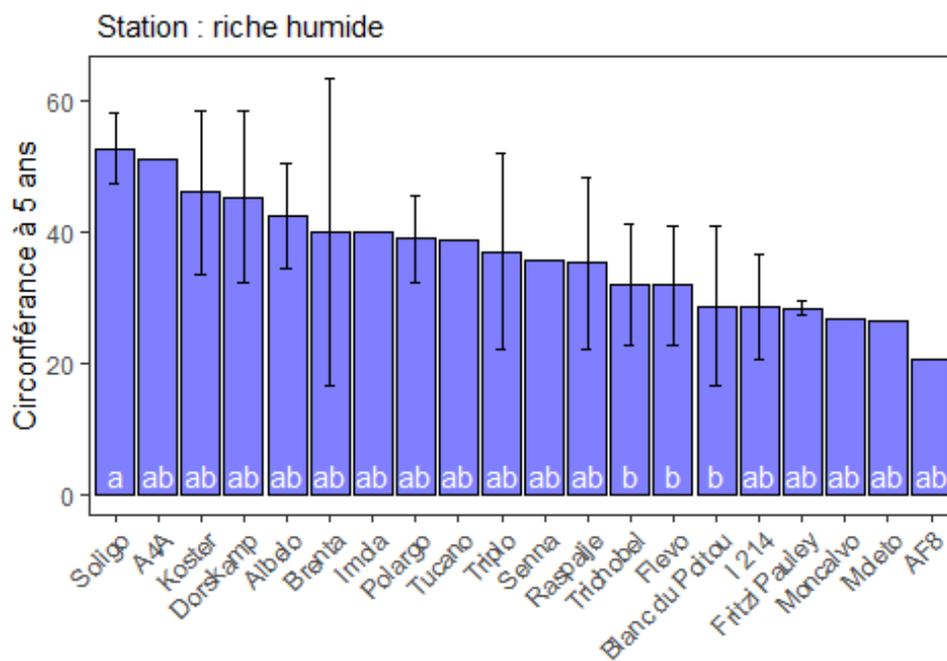
J. Bonigen ©CNPF



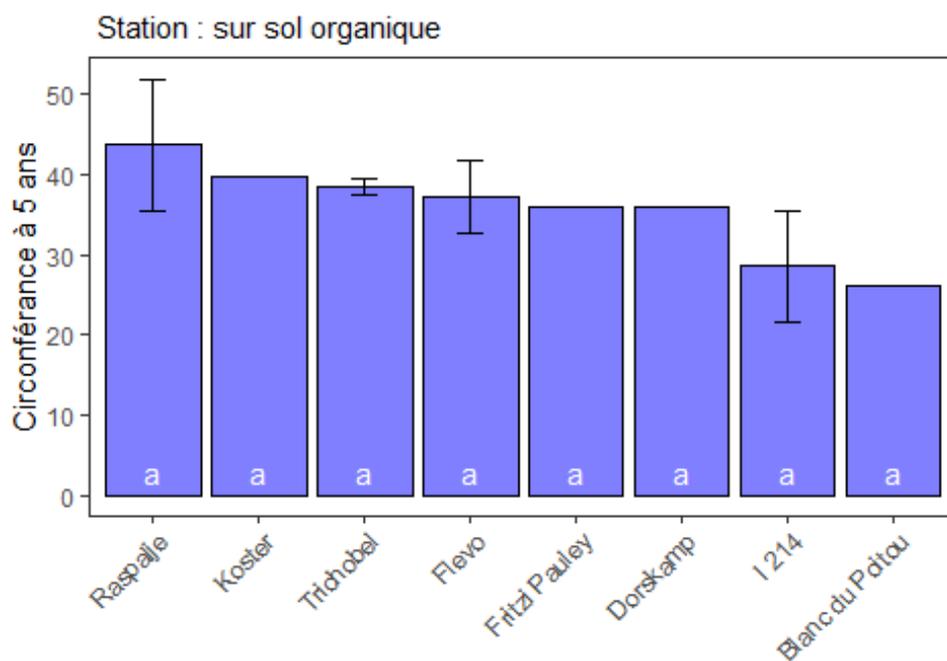
J. Bonigen ©CNPF



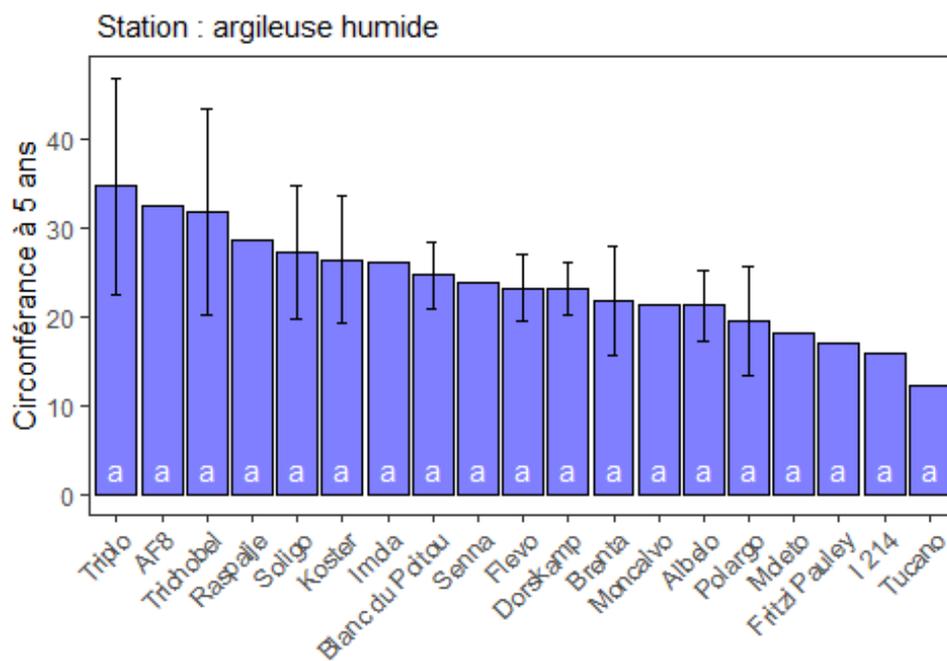
J. Bonigen ©CNPF



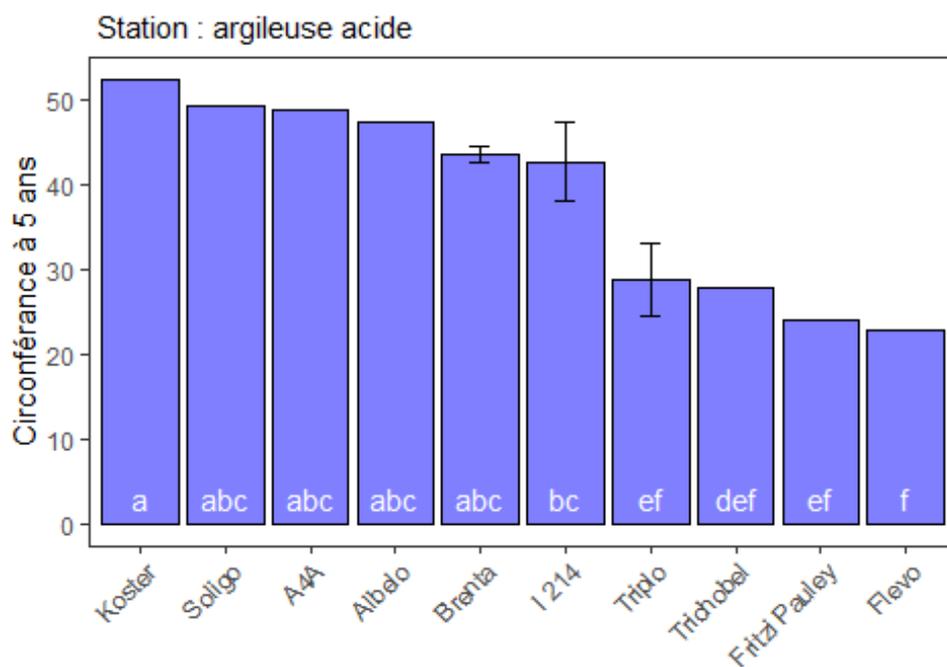
J. Bonigen ©CNPF



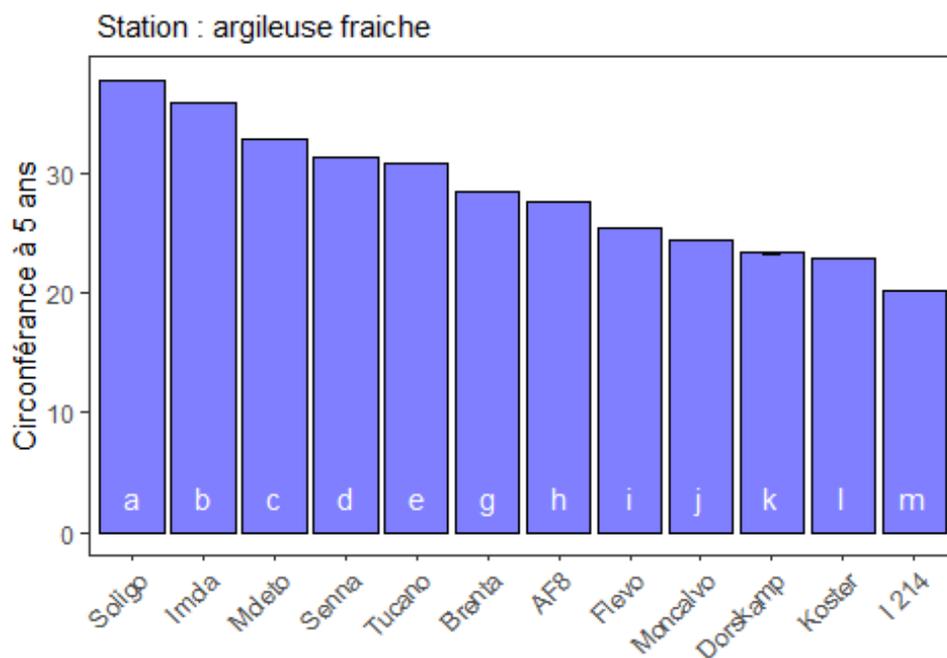
J. Bonigen ©CNPF



J. Bonigen ©CNPF

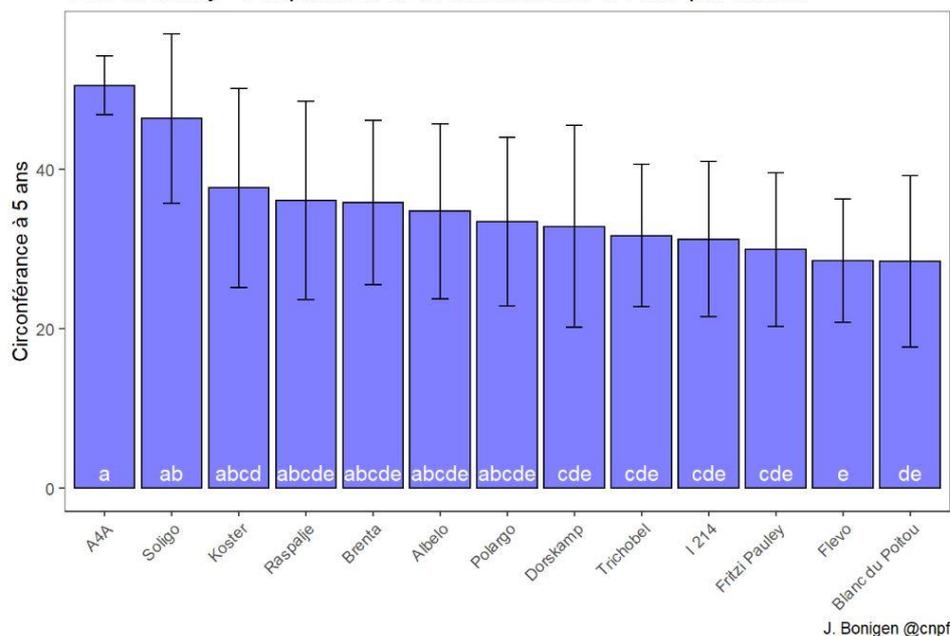


J. Bonigen ©CNPF

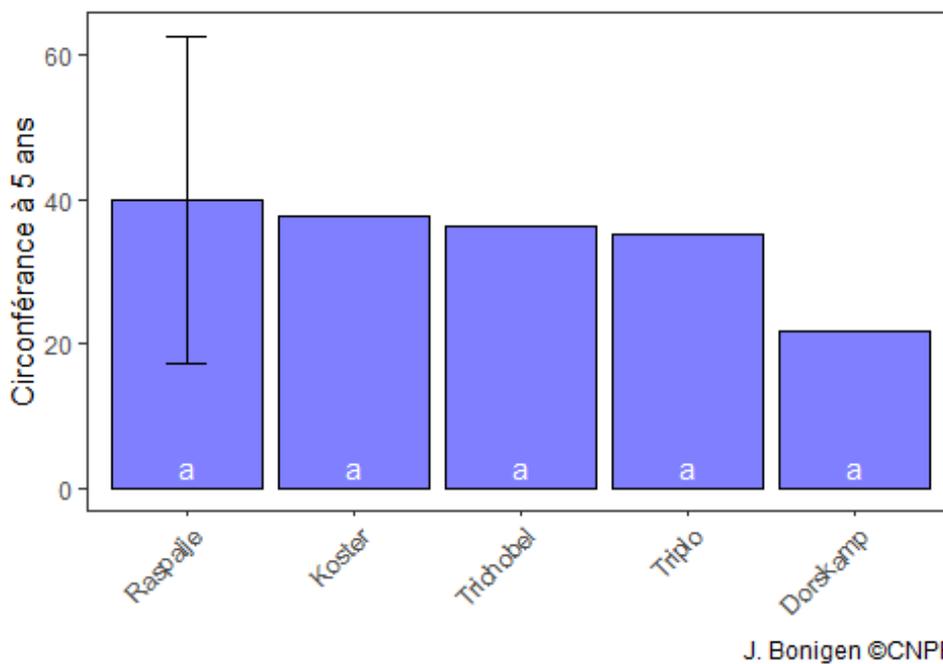


J. Bonigen ©CNPF

Test de Tukey - comparaison de la circonférence à 5 ans par cultivar



Station : limoneuse acide



Le faible nombre d'observations par modalité (**cultivar X Station**) ne permet pas toujours de dégager des différences significatives entre les cultivars. Ainsi, le test de Tukey ne permet pas dans la majorité des stations de rejeter l'hypothèse nulle : "il n'y a pas de différence significative entre cultivars". C'est à dire qu'on ne peut pas conclure à une différence significative entre les cultivars pour une station donnée.

Point d'intérêt !

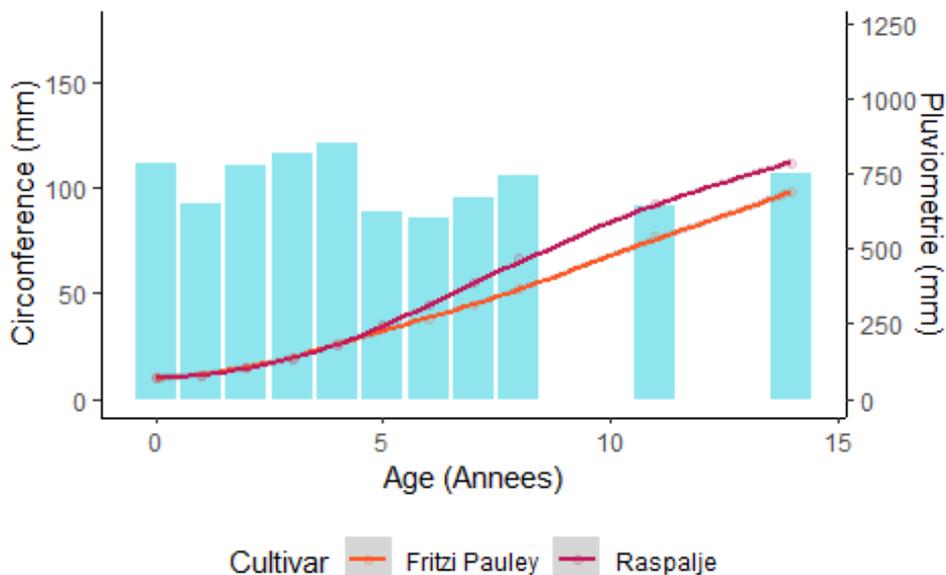
On peut néanmoins observer les différences tendancielle, qui devront être confirmées par davantage d'observations et donc plus de dispositifs à installer.

Annexe 3 : croissance annuelle par dispositif et pluviosité

Chaque dispositif pour lequel au moins deux mesures de circonférences sont disponibles est présenté, avec l'évolution annuelle lissée de la circonférence par cultivar. Lorsqu'une donnée de circonférence est disponible, la pluviosité (issue de la base de données TerraClimate) est également présentée.

Evolution de la circonférence

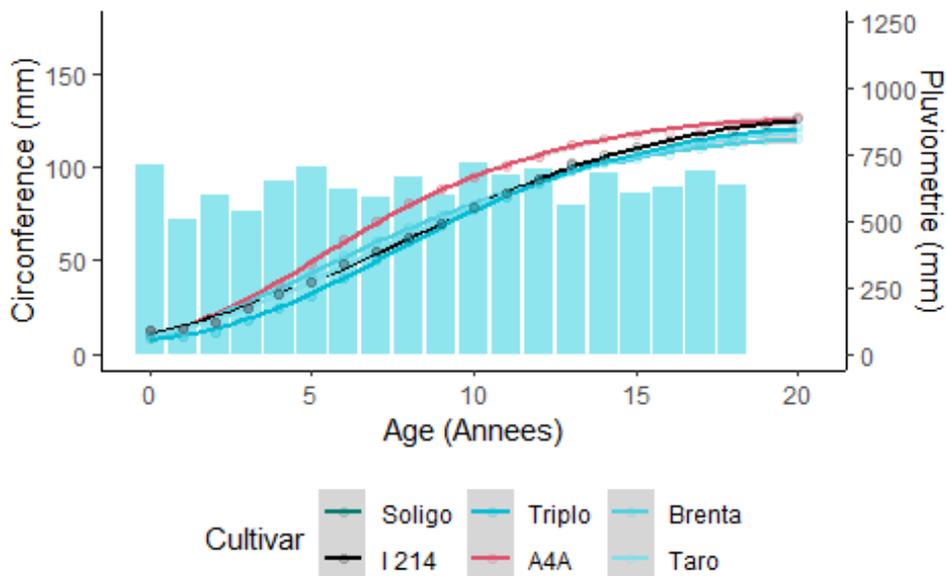
Dispositif : 6284050
 Commune : BOURLON
 Année de plantation : 1984



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonférence

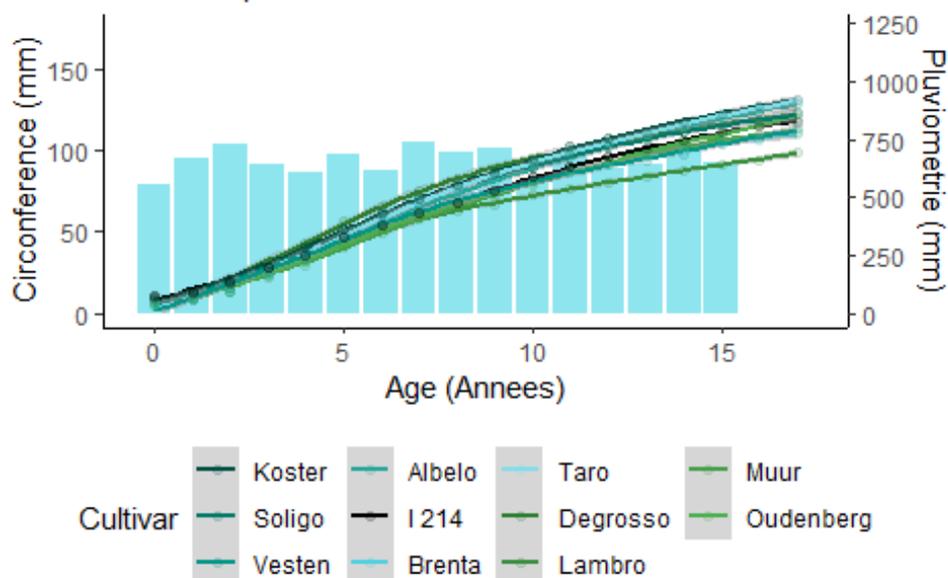
Dispositif : 202001
 Commune : COINCY
 Année de plantation : 2002



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

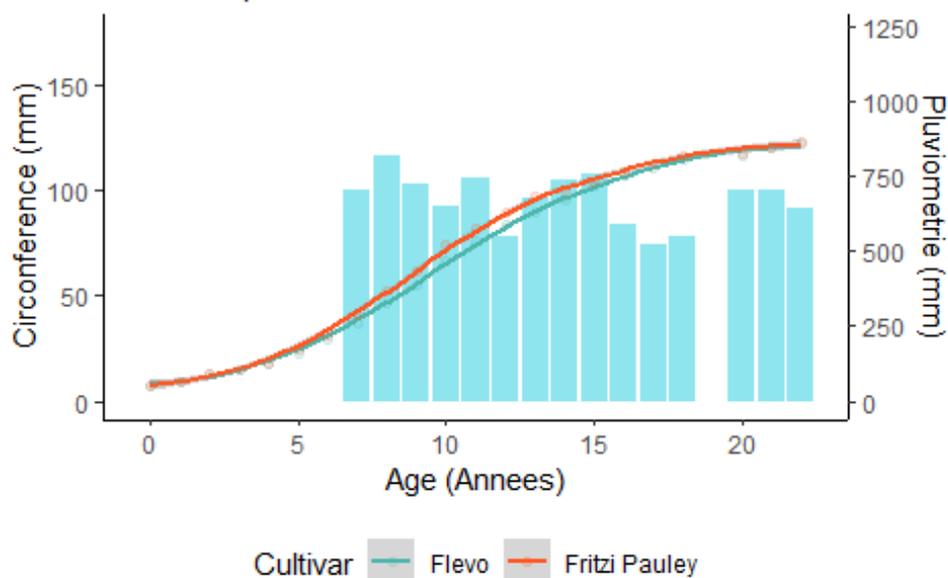
Dispositif : 205001
Commune : COINCY
Annee de plantation : 2005



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

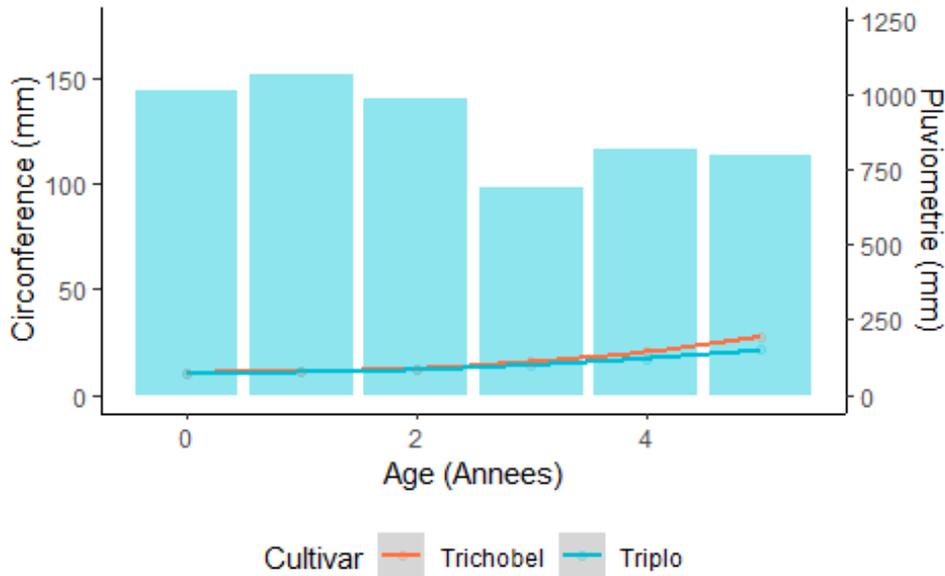
Dispositif : 6072001
Commune : ST VAAST LES MELLO
Annee de plantation : 1973



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

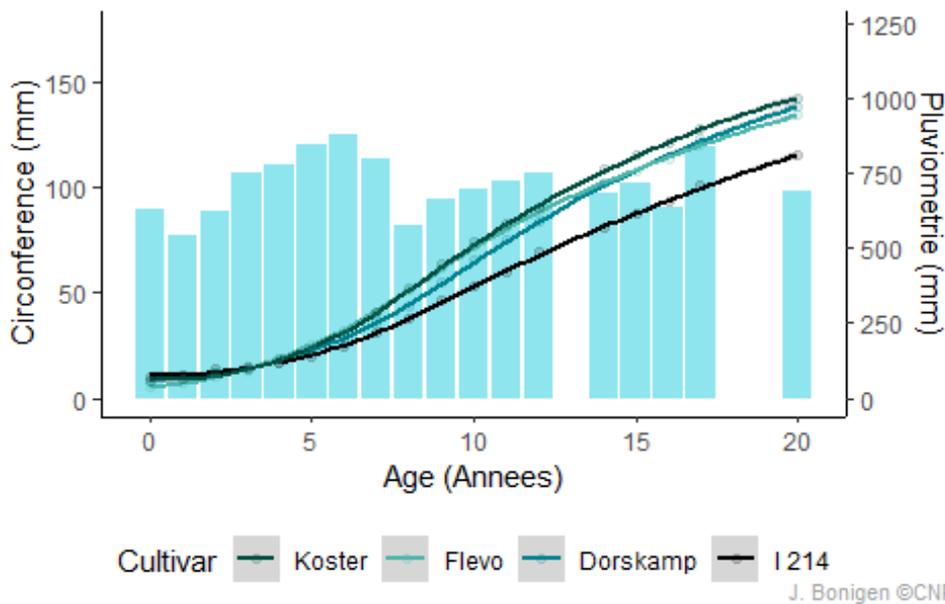
Dispositif : 5900001
 Commune : TRELON
 Année de plantation : 2000



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

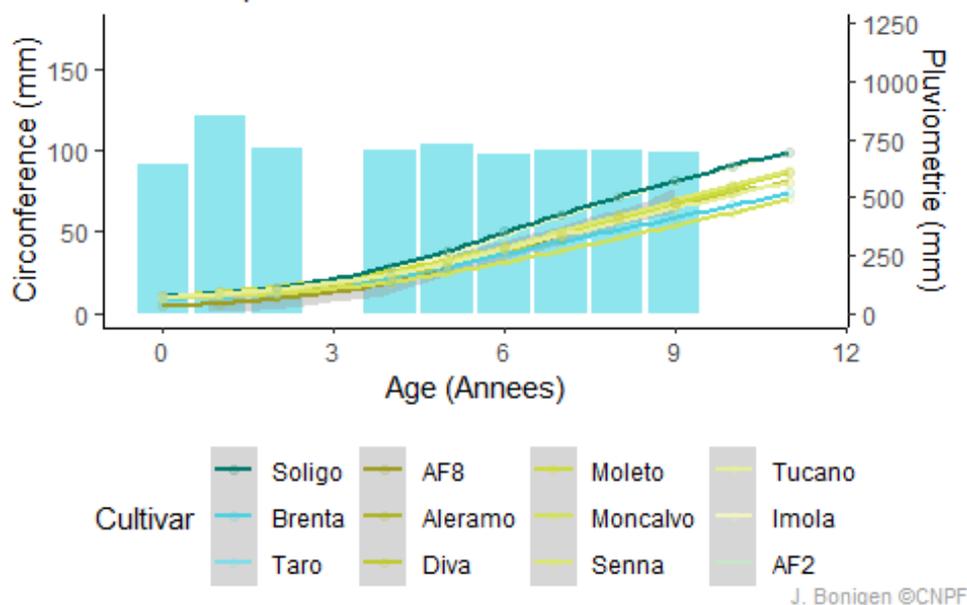
Dispositif : 5995001
 Commune : MASNY
 Année de plantation : 1995



J. Bonigen ©CNPF

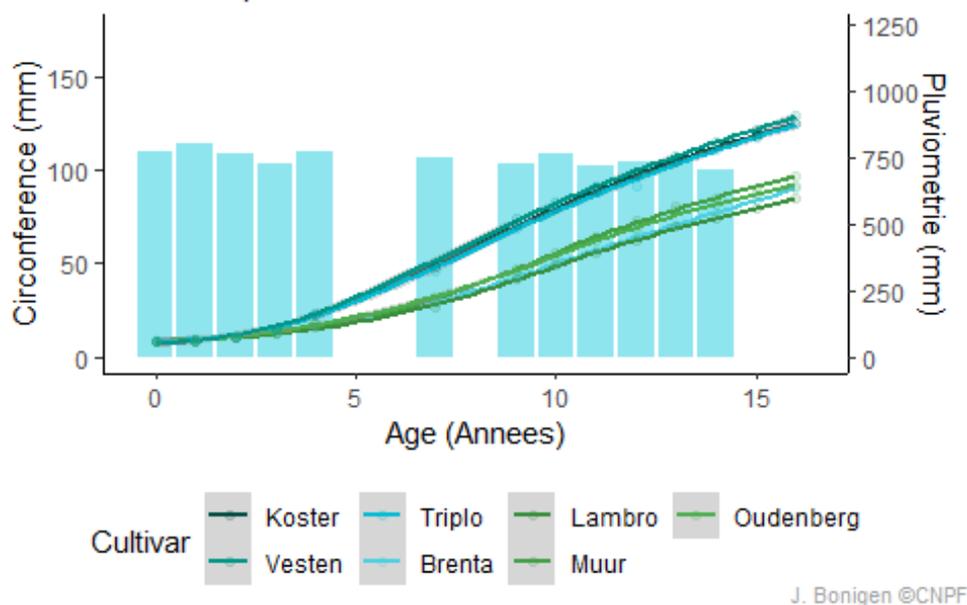
Evolution de la circonference

Dispositif : 5911001
Commune : ROOST WARENDIN
Annee de plantation : 2011



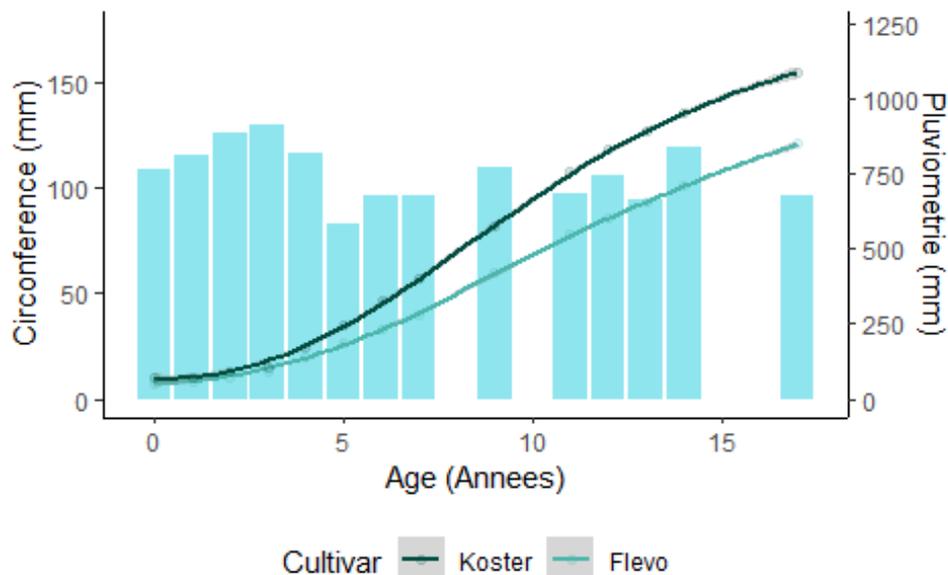
Evolution de la circonference

Dispositif : 5906160
Commune : THIVENCELLE
Annee de plantation : 2006



Evolution de la circonference

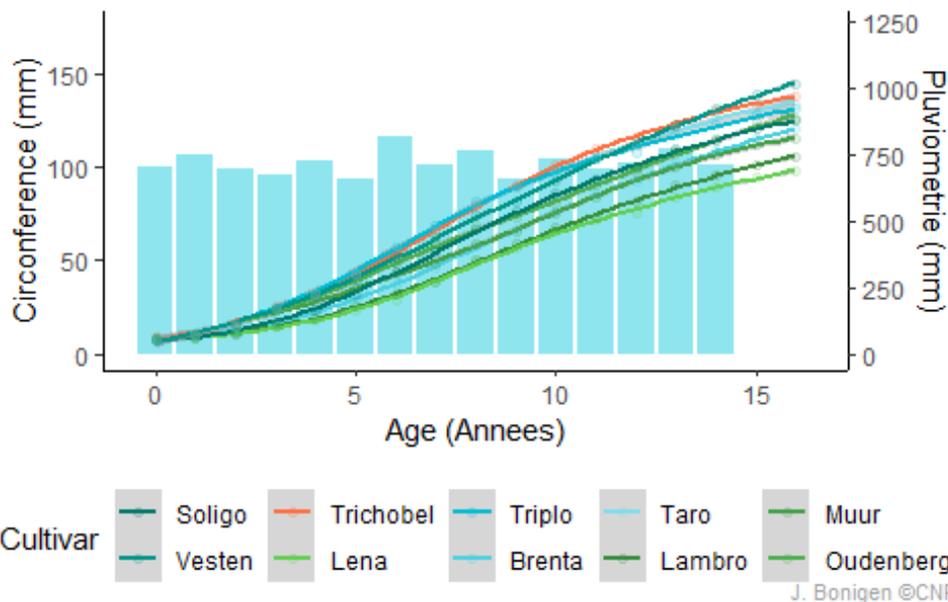
Dispositif : 298005
 Commune : BRISSY HAMeGICOURT
 Année de plantation : 1998



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

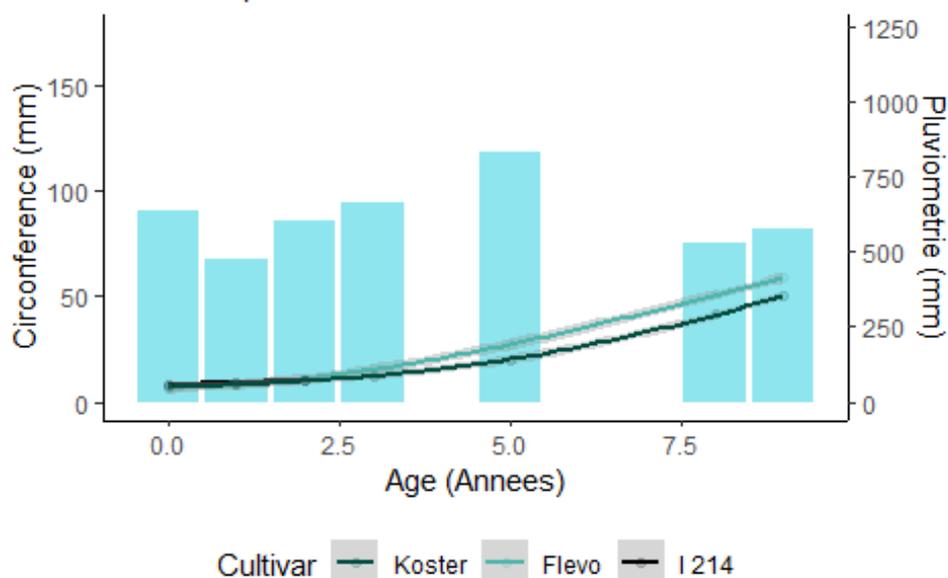
Dispositif : 8006001
 Commune : FLEURY
 Année de plantation : 2006



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

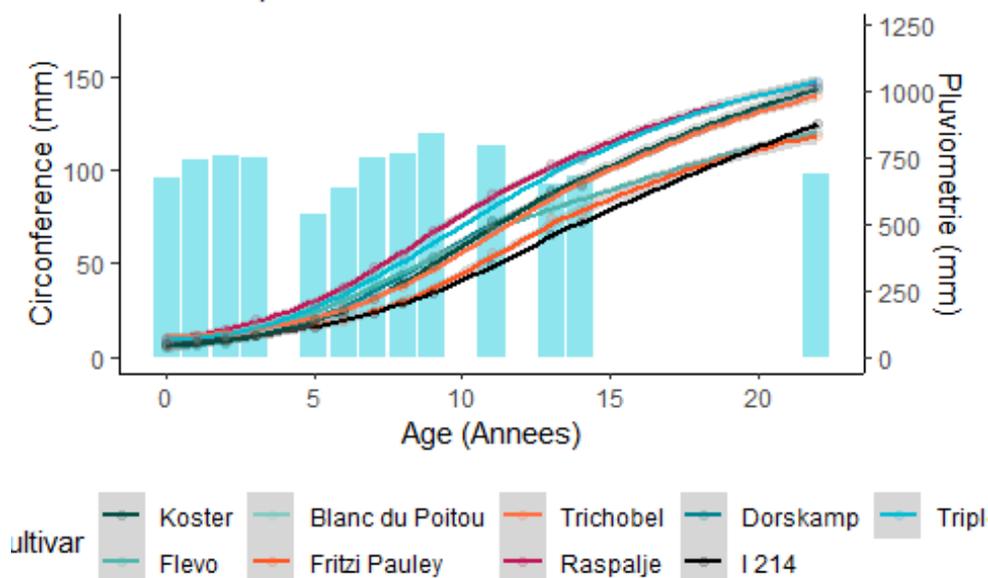
Dispositif : 6095010
Commune : HEILLES
Annee de plantation : 1995



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

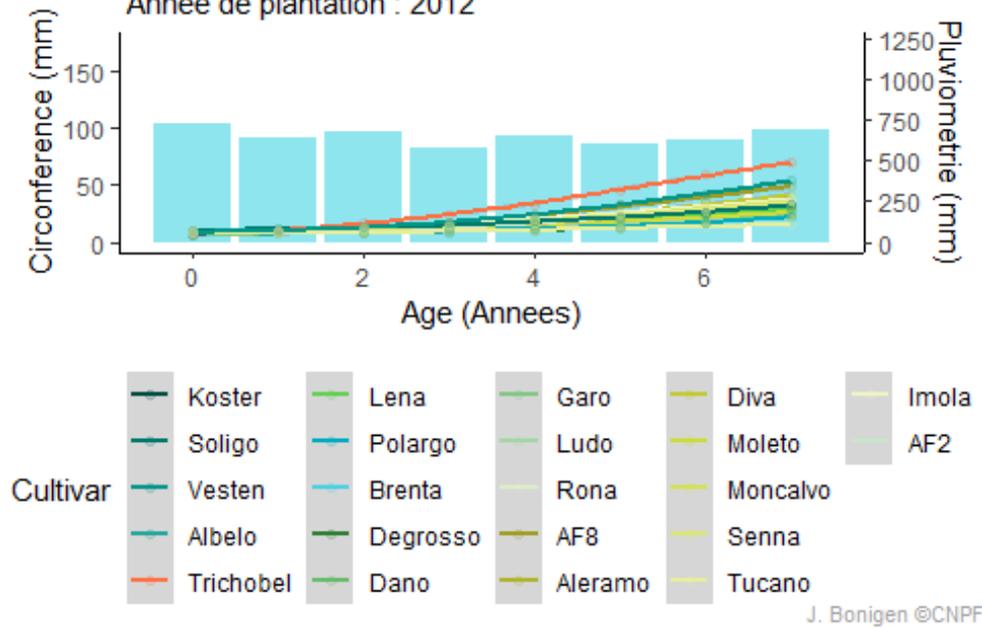
Dispositif : 6291886
Commune : LILLERS
Annee de plantation : 1991



J. Bonigen ©CNPF

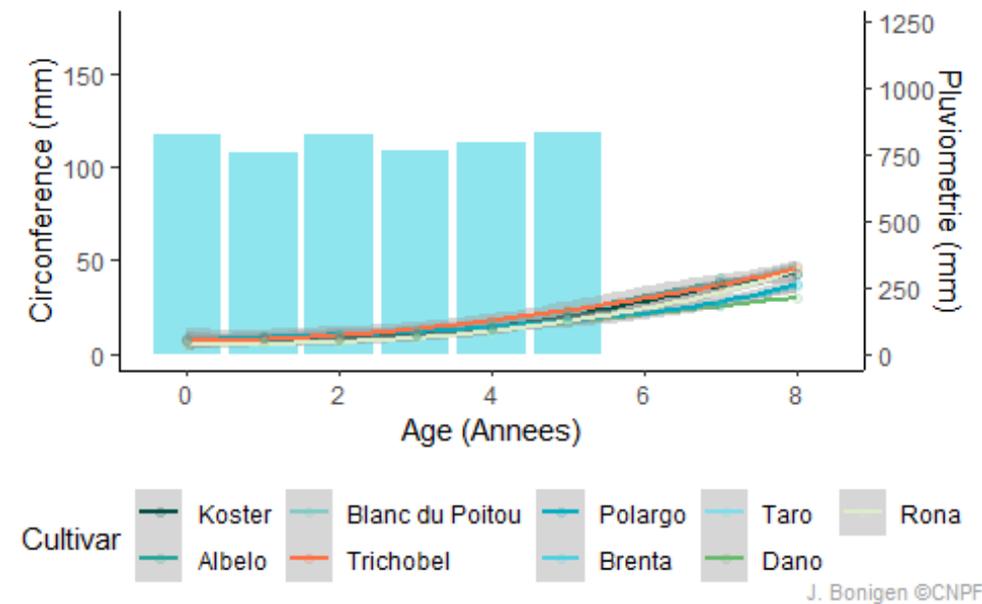
Evolution de la circonference

Dispositif : 212001
 Commune : MAREST DAMPCOURT
 Année de plantation : 2012



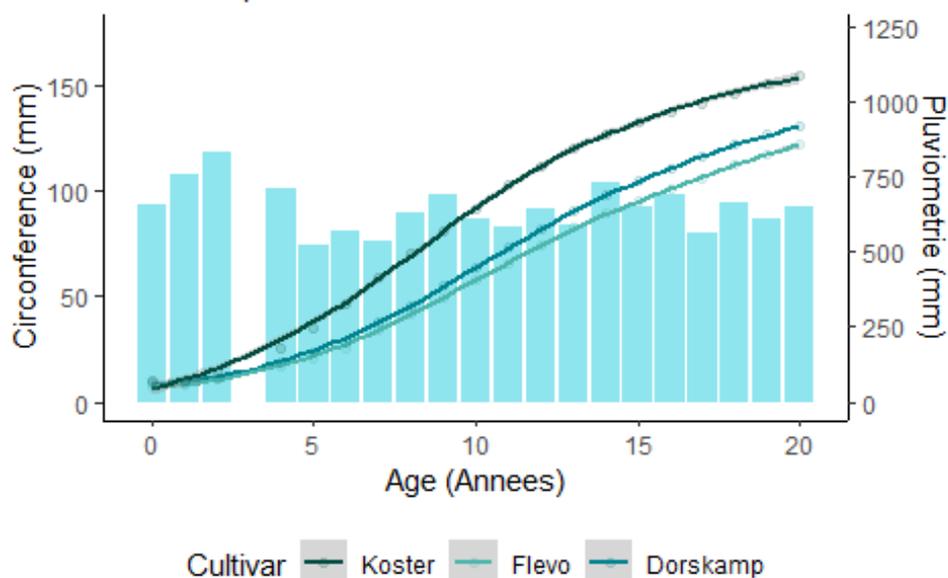
Evolution de la circonference

Dispositif : 5914270
 Commune : MAROILLES
 Année de plantation : 2014



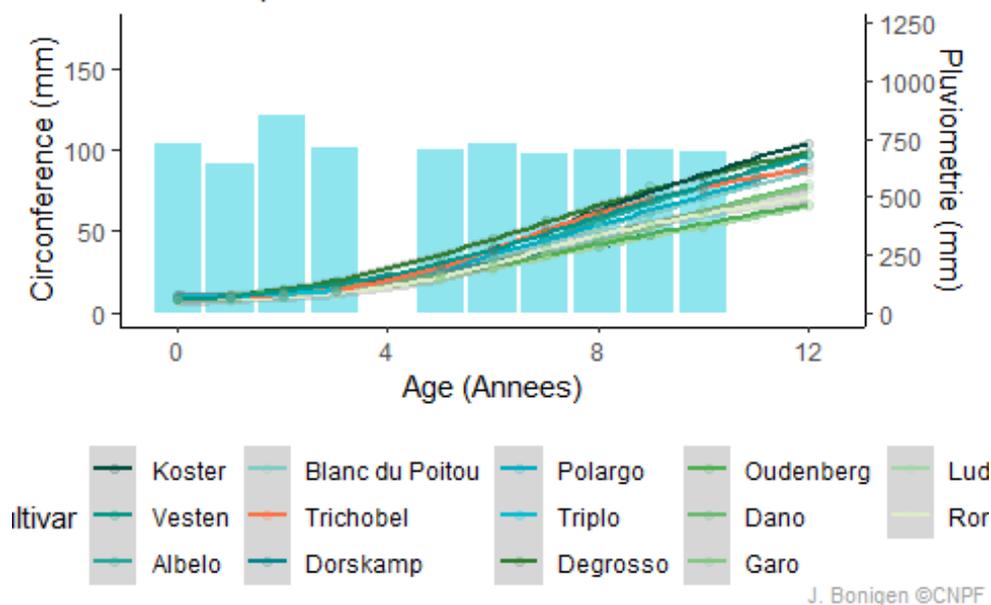
Evolution de la circonference

Dispositif : 6098001
Commune : MELLO
Annee de plantation : 1998



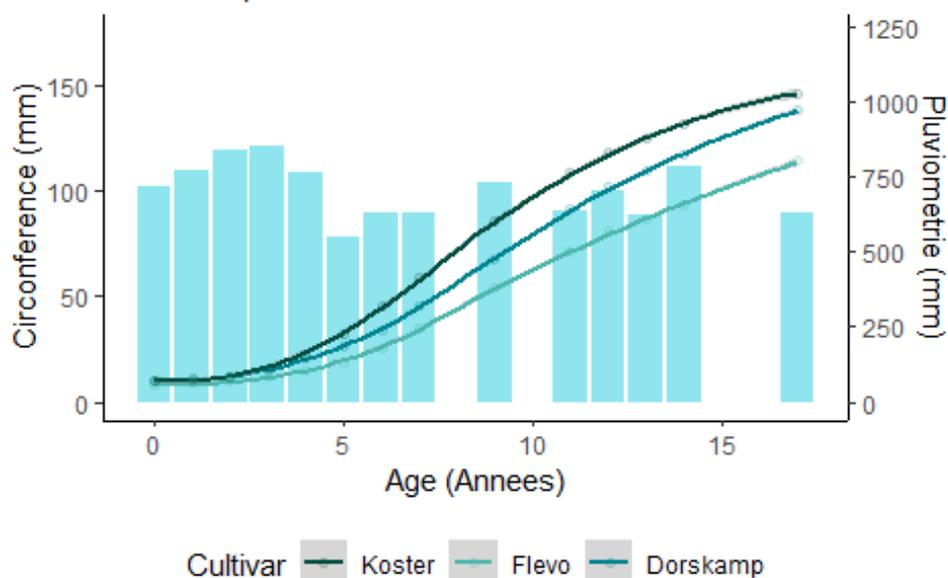
Evolution de la circonference

Dispositif : 5910001
Commune : ROOST WARENDIN
Annee de plantation : 2010



Evolution de la circonference

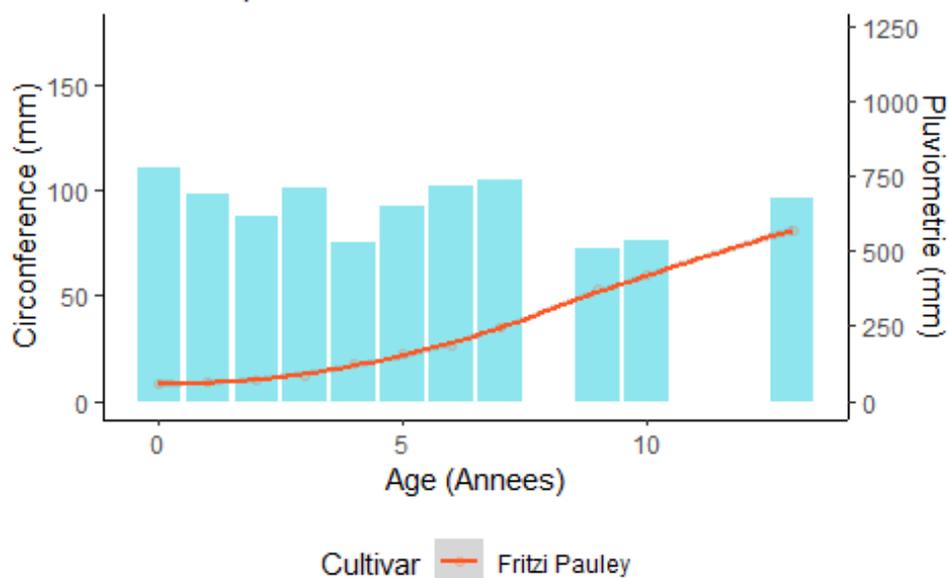
Dispositif : 298004
Commune : SeRY LES MeZleRES
Annee de plantation : 1998



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

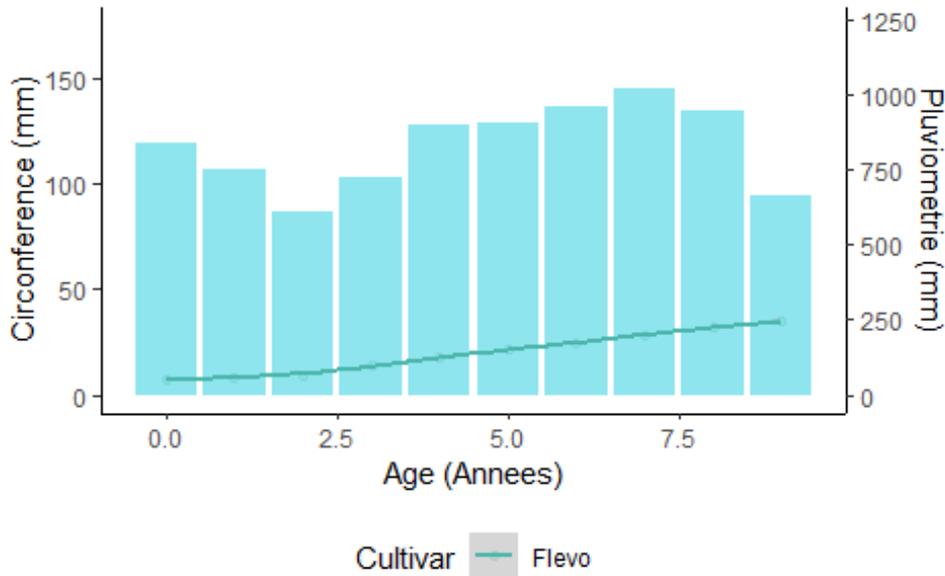
Dispositif : 6081159
Commune : CHEVRleRE
Annee de plantation : 1981



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

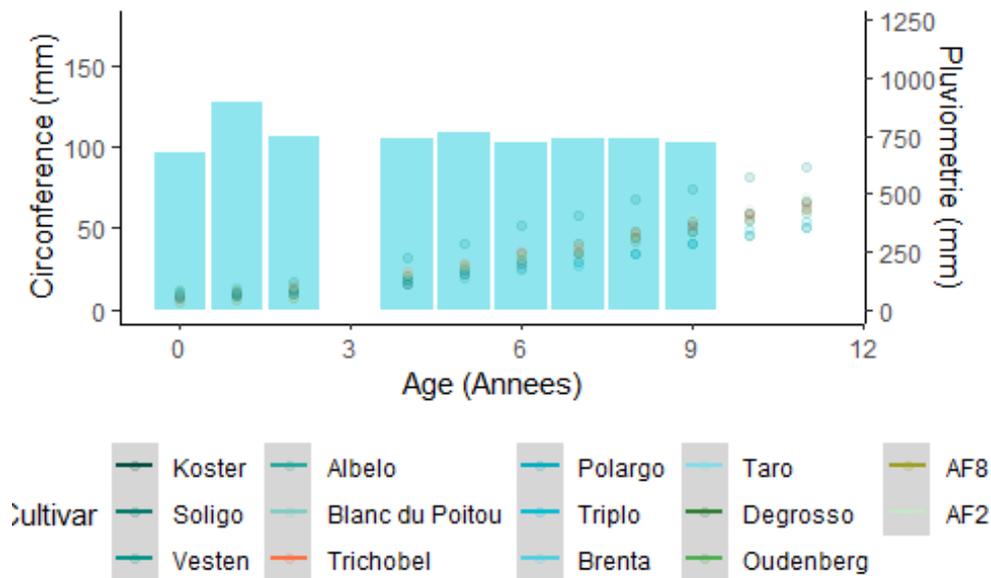
Dispositif : 5994001
Commune : FEIGNIES
Annee de plantation : 1994



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

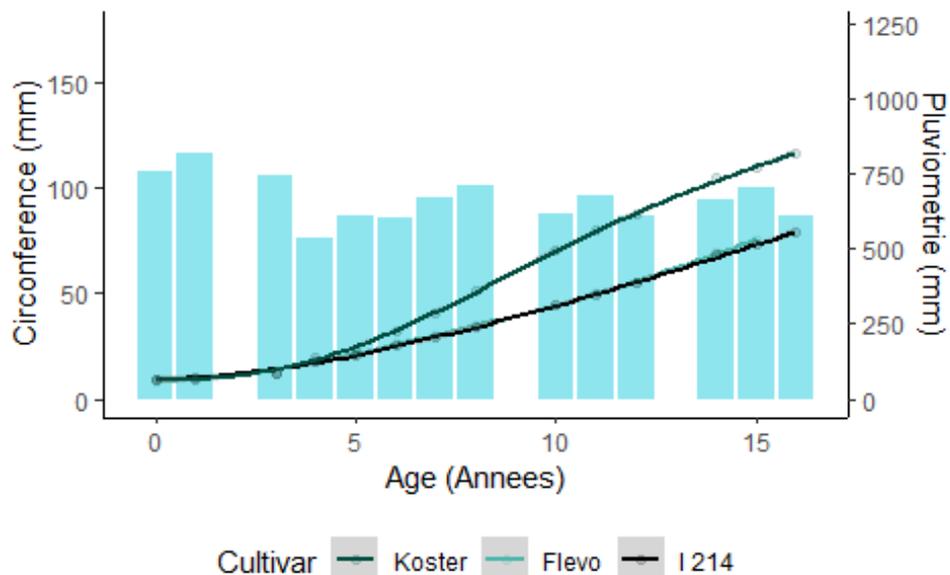
Dispositif : 5911002
Commune : FLISNES LEZ MORTAGNE
Annee de plantation : 2011



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

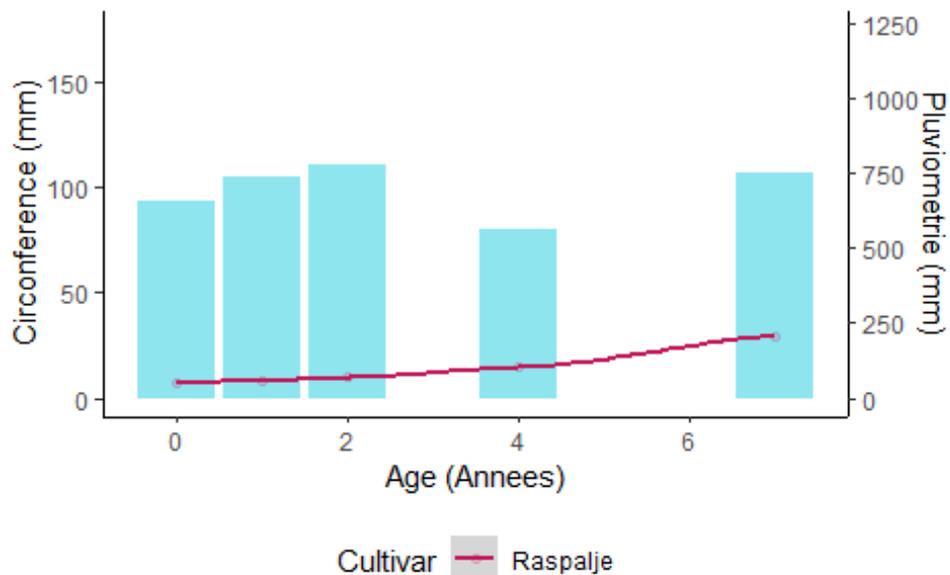
Dispositif : 299001
Commune : FRIERES FAILLOUEL
Annee de plantation : 1999



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

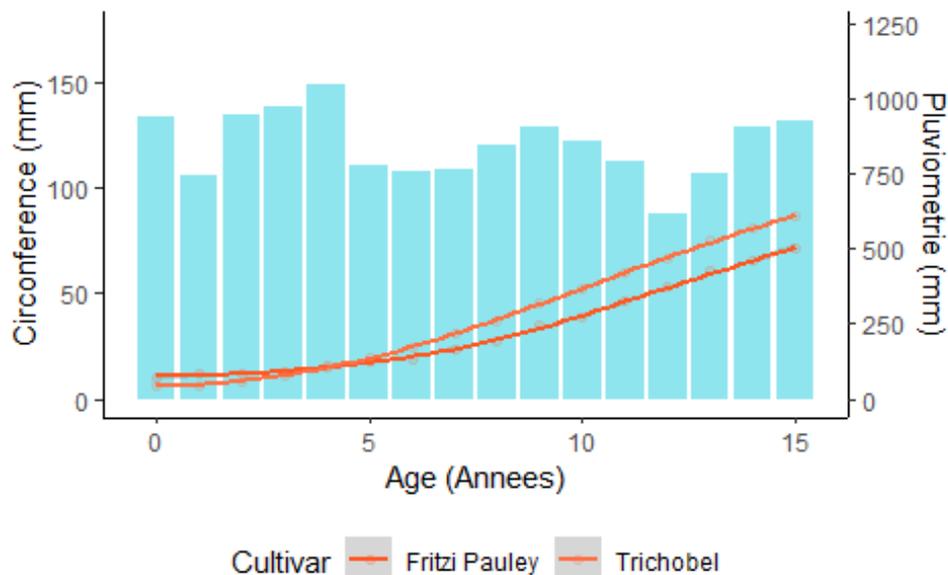
Dispositif : 5985016
Commune : MERVILLE
Annee de plantation : 1985



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

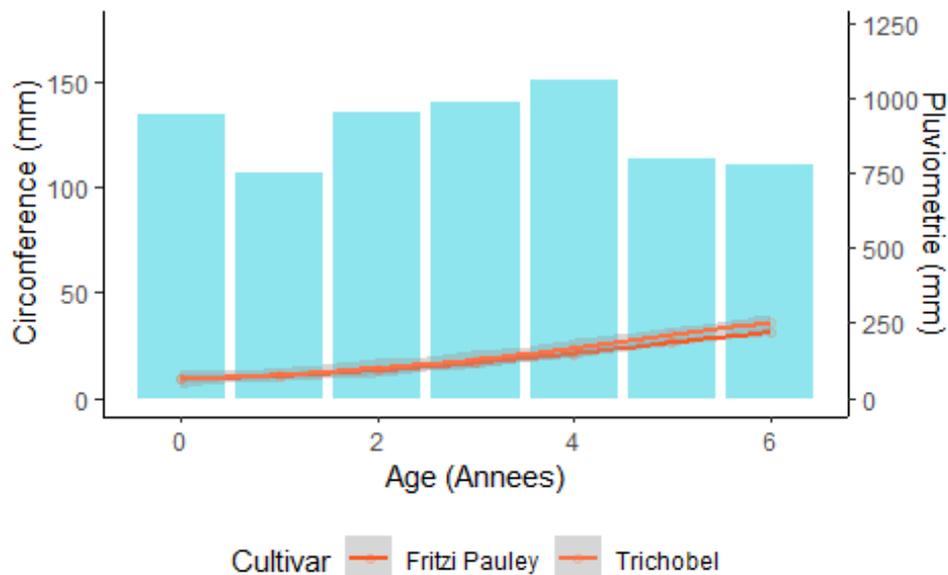
Dispositif : 5984005
Commune : SAINS DU NORD
Annee de plantation : 1984



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

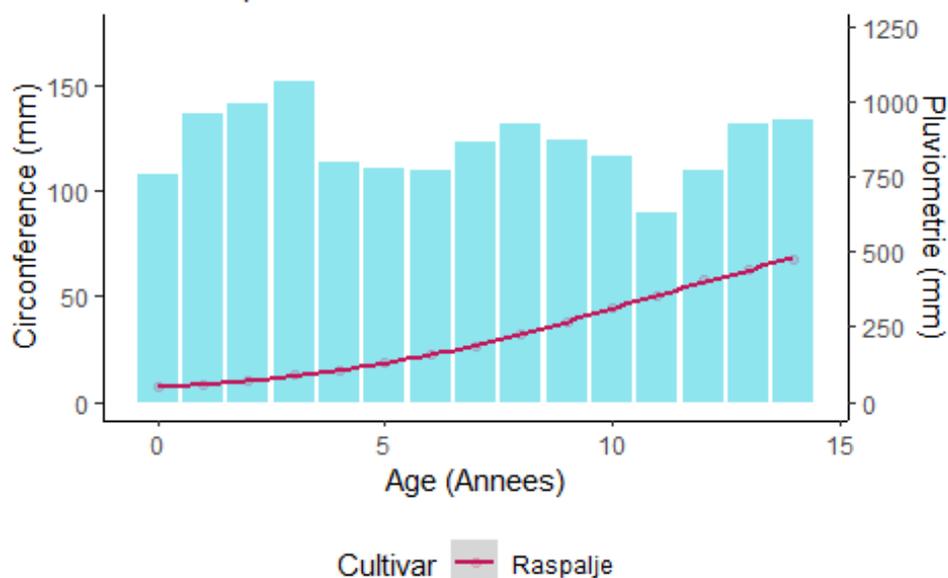
Dispositif : 5984092
Commune : WALLERS TRELON
Annee de plantation : 1984



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

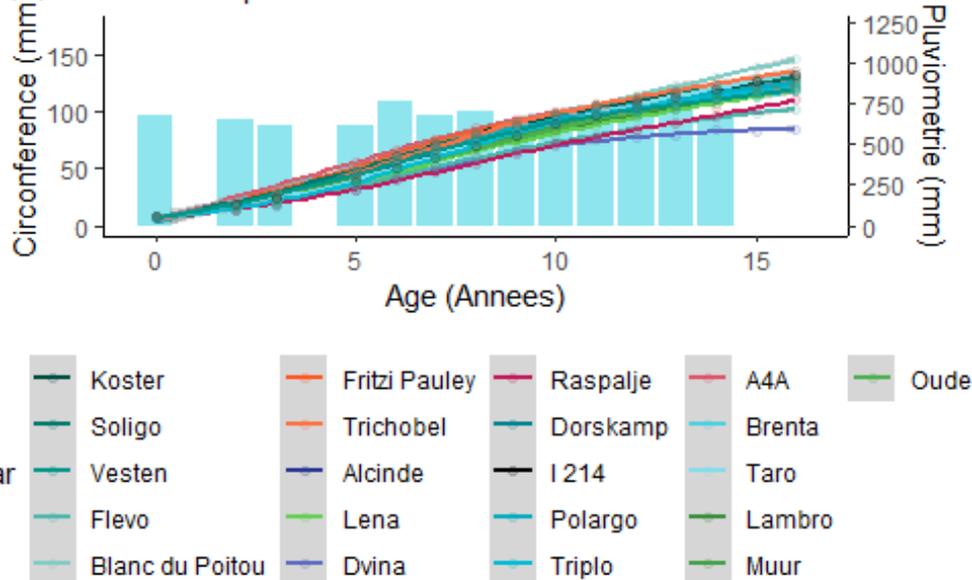
Dispositif : 5985091
 Commune : WALLERS TRÉLON
 Année de plantation : 1985



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

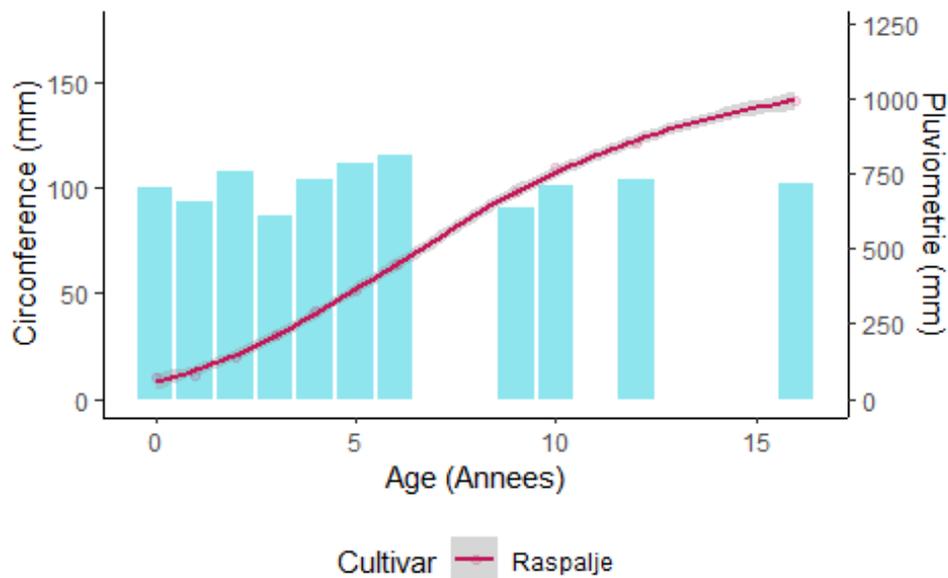
Dispositif : 206001
 Commune : BERTAUCOURT
 Année de plantation : 2006



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

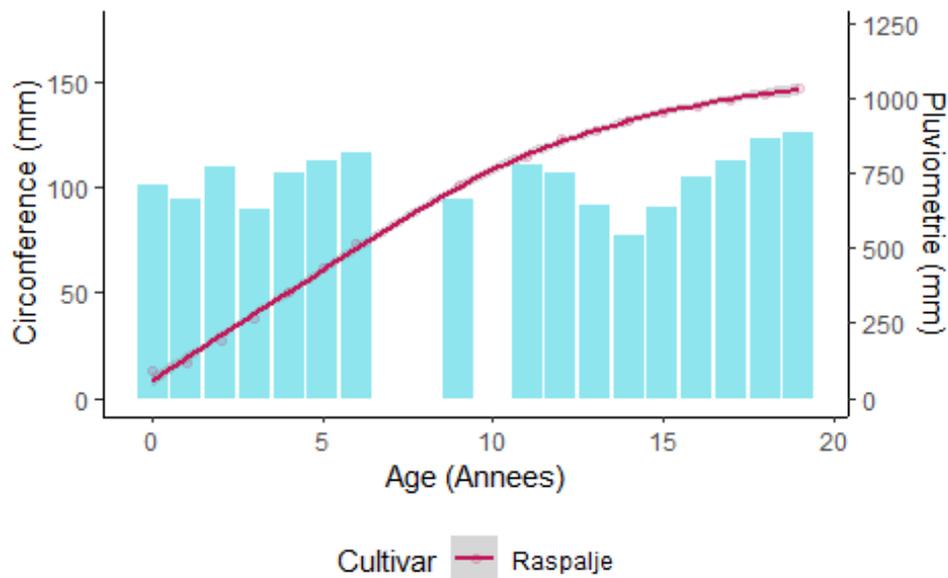
Dispositif : 8082341
 Commune : HARDECOURT AUX BOIS
 Année de plantation : 1982



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

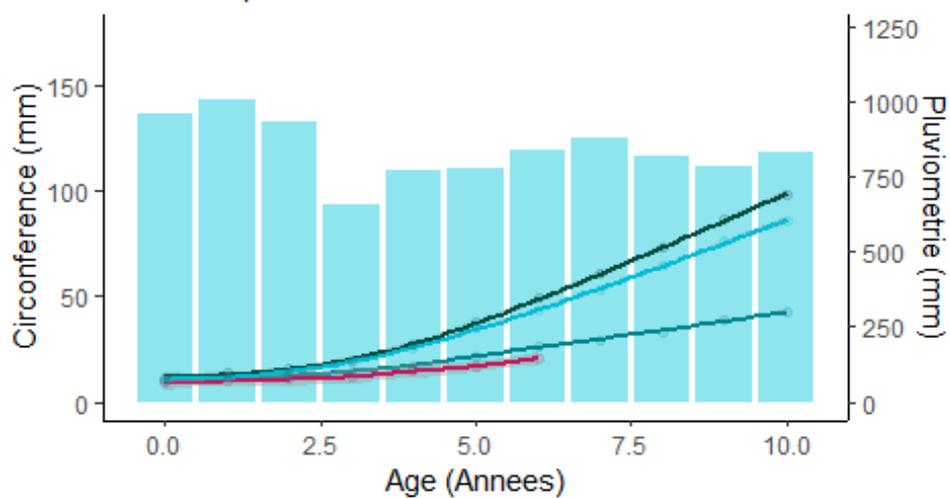
Dispositif : 8082156
 Commune : AVELUY
 Année de plantation : 1982



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

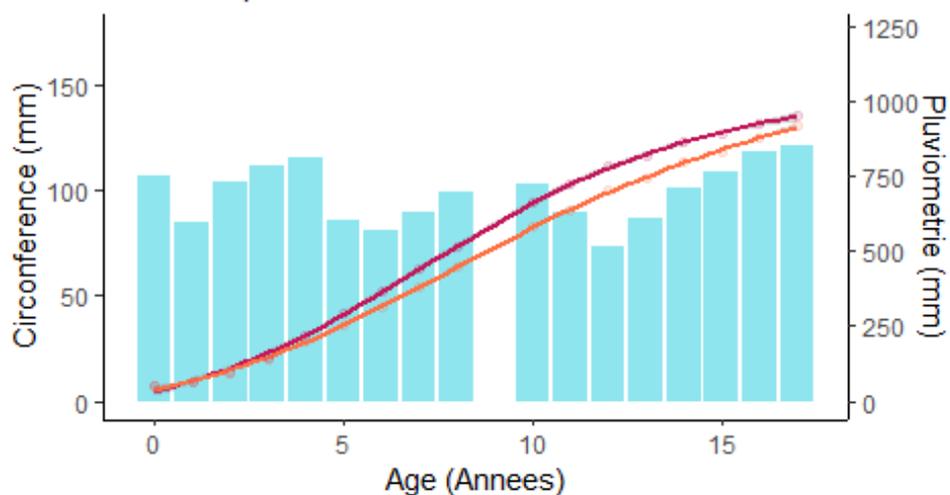
Dispositif : 5900002
Commune : GOMMENIES
Annee de plantation : 2000



Cultivar ■ Koster ■ Raspalje ■ Dorskamp ■ Triplo
J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

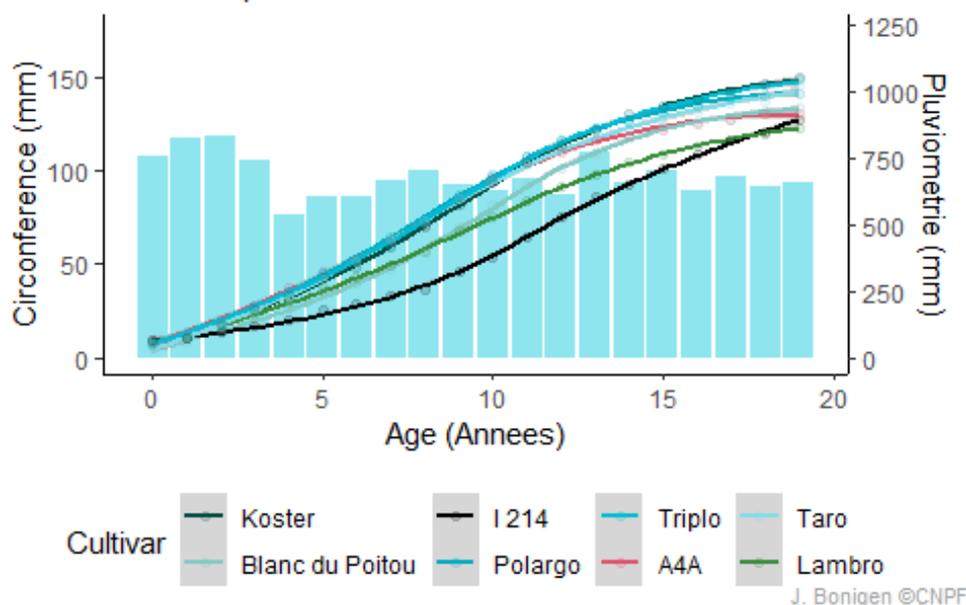
Dispositif : 8084056
Commune : TEMPLEUX LA FOSSE
Annee de plantation : 1984



Cultivar ■ Trichobel ■ Raspalje
J. Bonigen ©CNPF

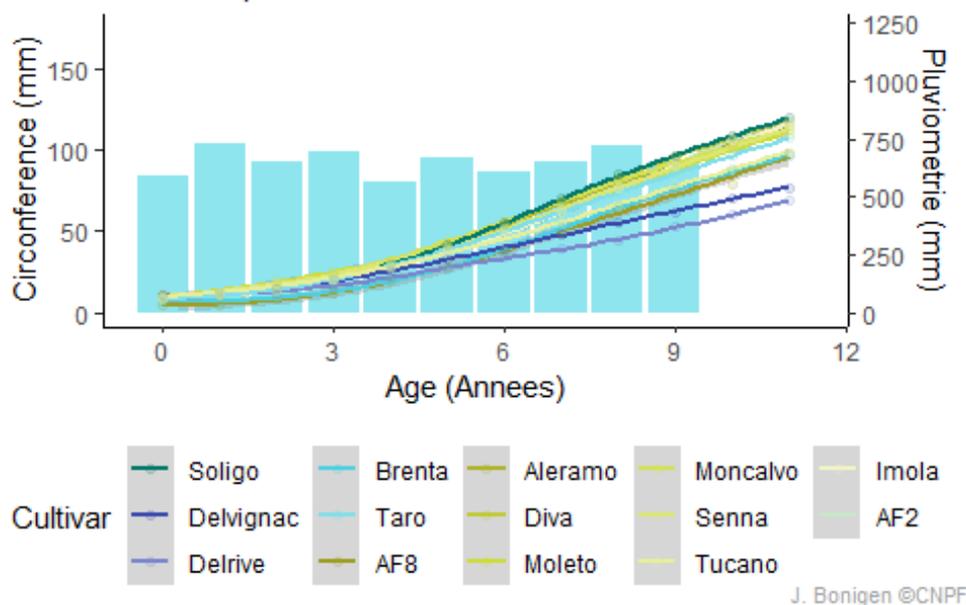
Evolution de la circonference

Dispositif : 8099002
Commune : BUSSY LES DAOURS
Annee de plantation : 1999



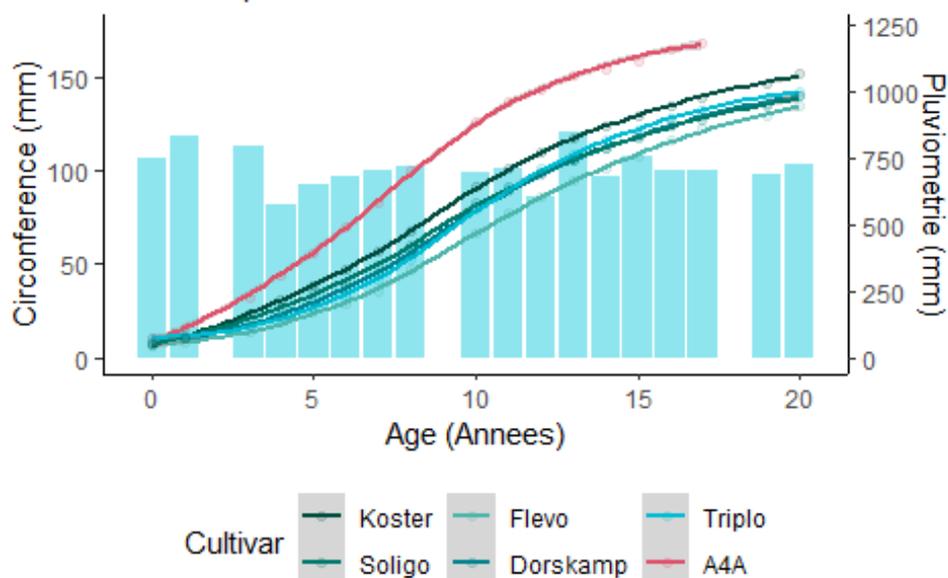
Evolution de la circonference

Dispositif : 6011002
Commune : CIRES LES MELLO
Annee de plantation : 2011



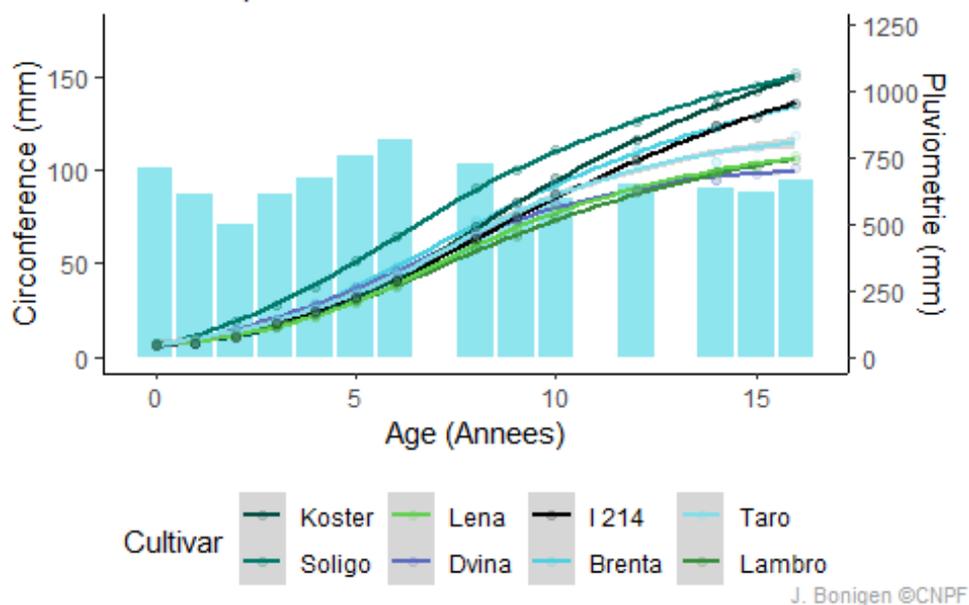
Evolution de la circonference

Dispositif : 6299001
Commune : CLARQUES
Annee de plantation : 1999



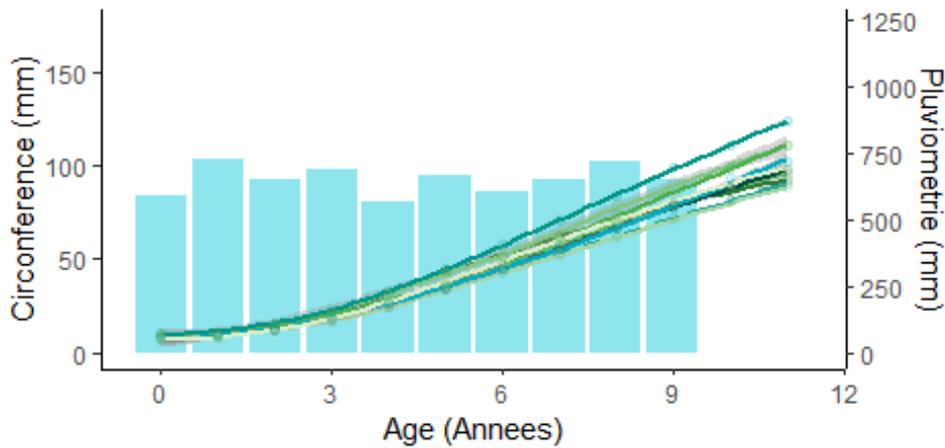
Evolution de la circonference

Dispositif : 8094001
Commune : FOUENCAMPS
Annee de plantation : 1994



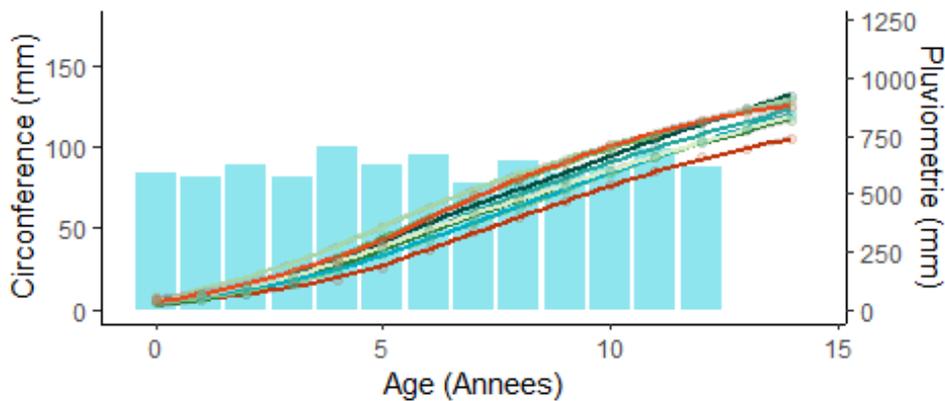
Evolution de la circonference

Dispositif : 6011001
Commune : MELLO
Annee de plantation : 2011



Evolution de la circonference

Dispositif : 6008001
Commune : RHUIS
Annee de plantation : 2008

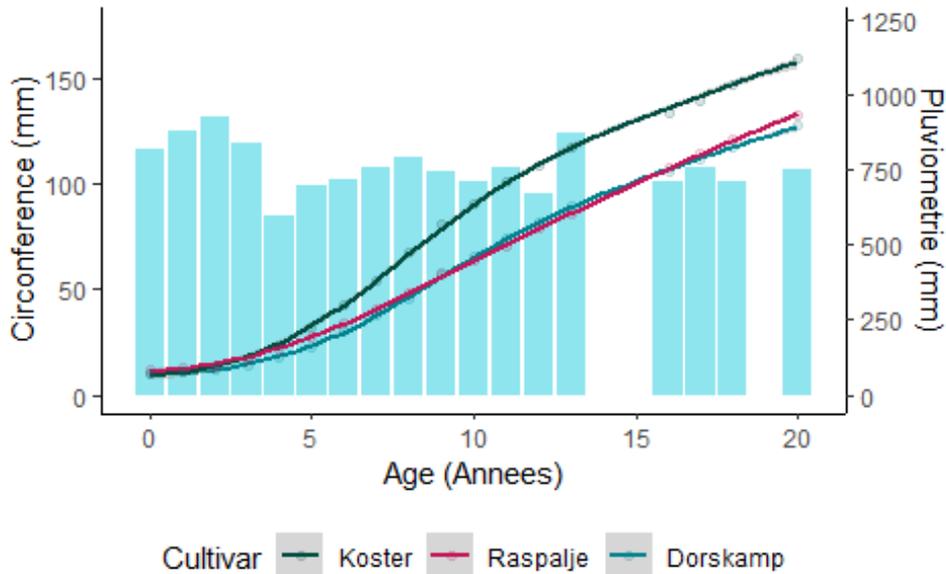


Evolution de la circonference

Dispositif : 5999001

Commune : THIAN

Annee de plantation : 1999

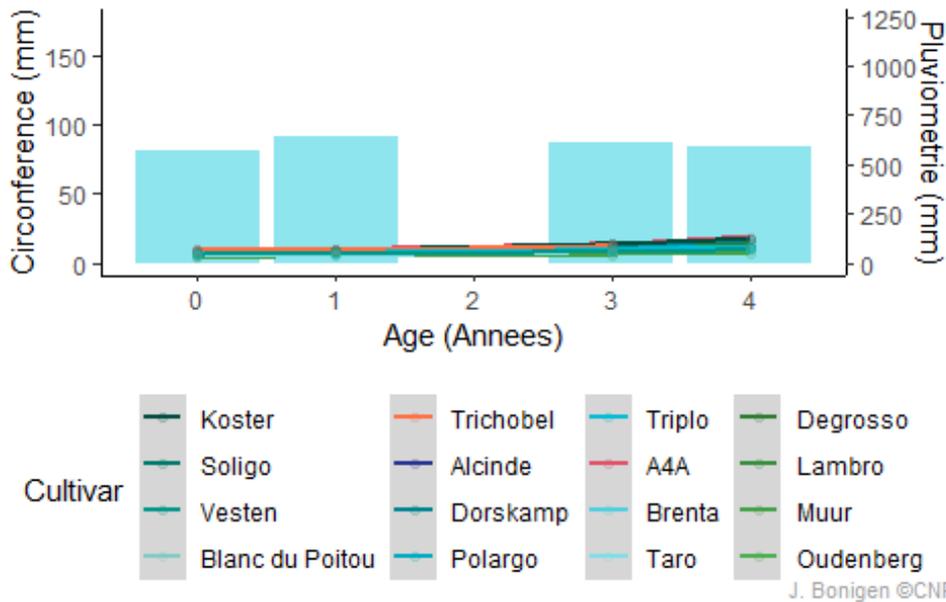


Evolution de la circonference

Dispositif : 205002

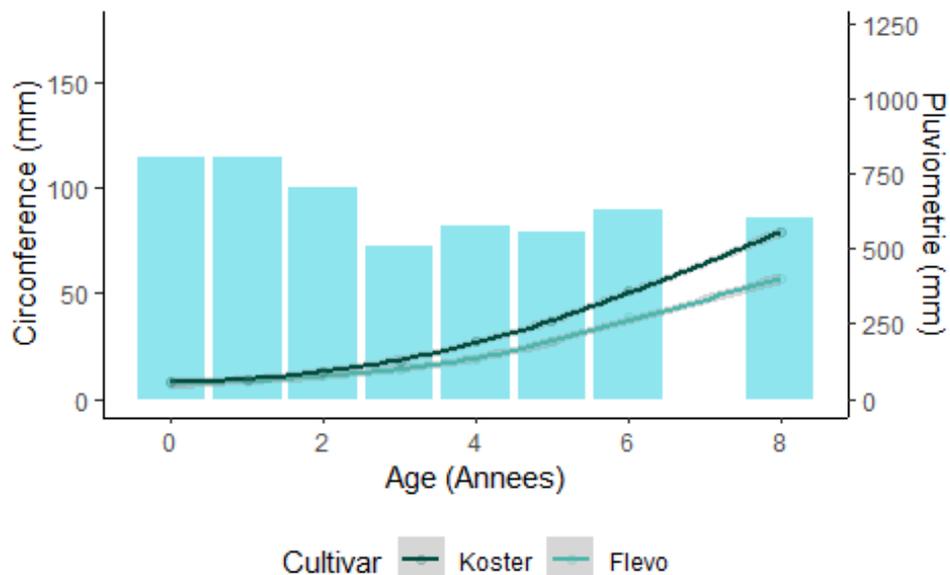
Commune : BICHANCOURT

Annee de plantation : 2005



Evolution de la circonference

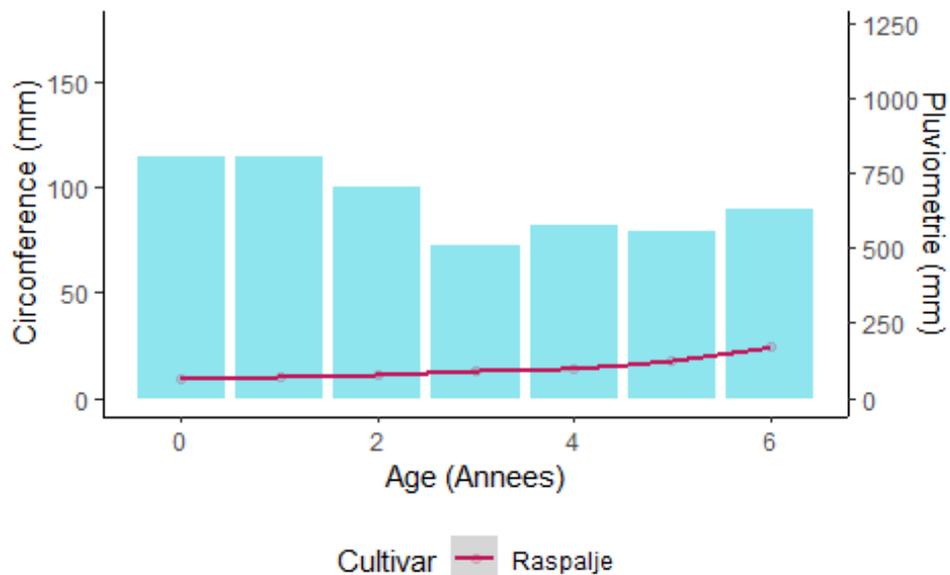
Dispositif : 6000003
Commune : BIENVILLE
Annee de plantation : 2000



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

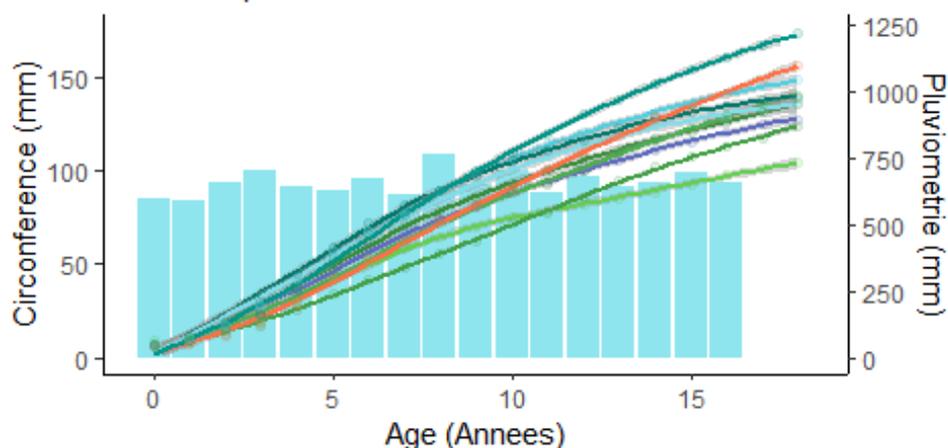
Dispositif : 6000004
Commune : BIENVILLE
Annee de plantation : 2000



J. Bonigen ©CNPF

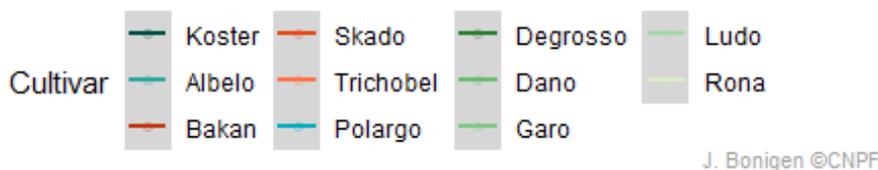
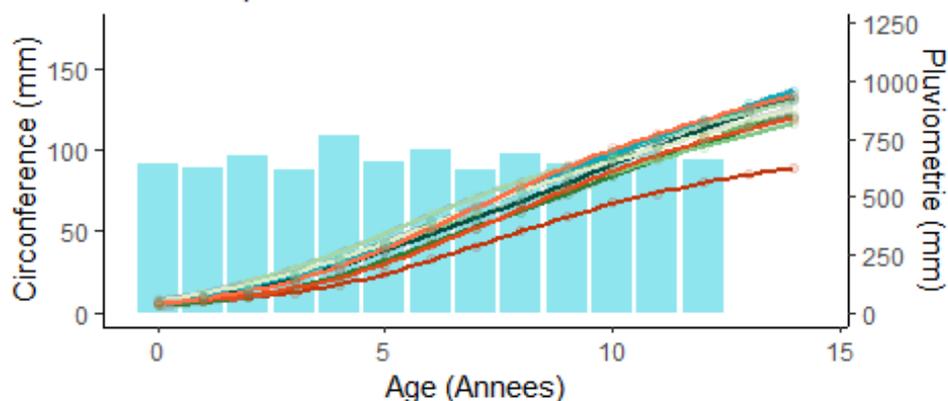
Evolution de la circonference

Dispositif : 8004001
Commune : BOVES
Annee de plantation : 2004



Evolution de la circonference

Dispositif : 8008001
Commune : CAGNY
Annee de plantation : 2008



Evolution de la circonference

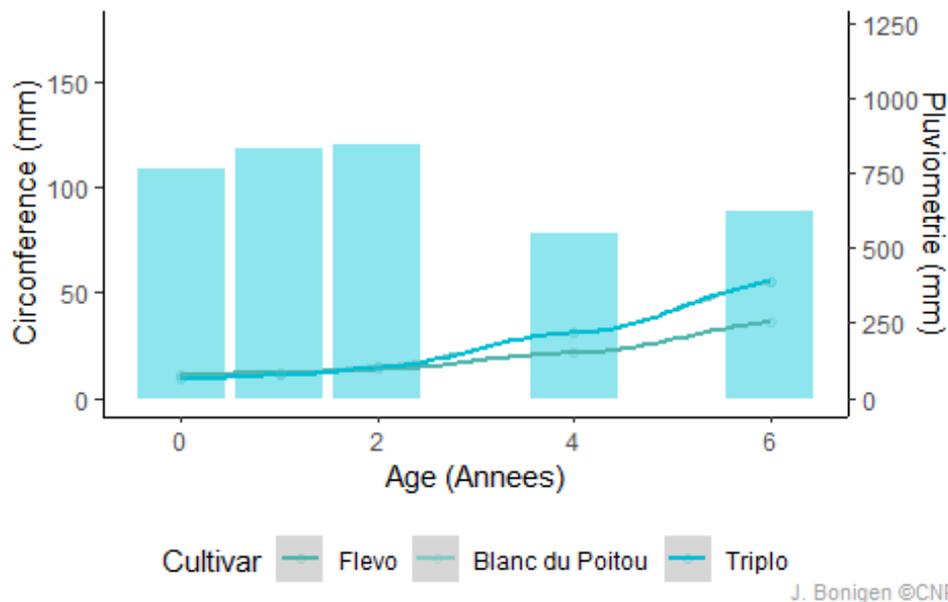
Dispositif : 8095001
Commune : CAMBRON
Annee de plantation : 1995



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

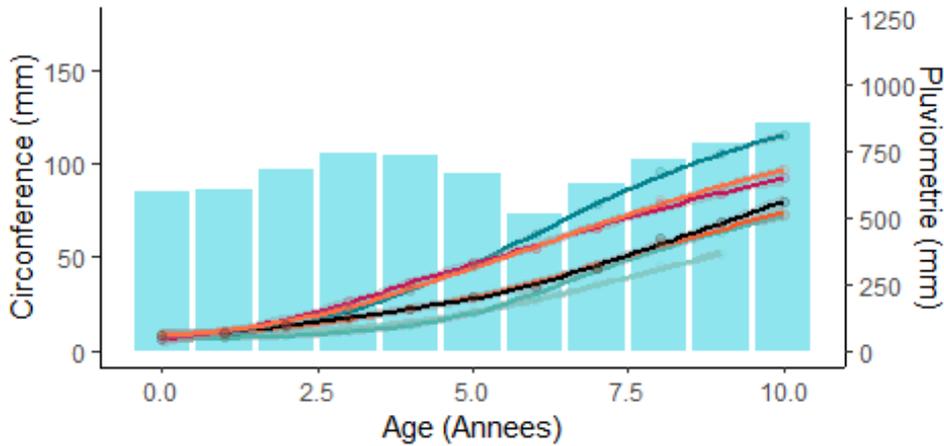
Dispositif : 299010
Commune : CAULAINCOURT
Annee de plantation : 1999



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

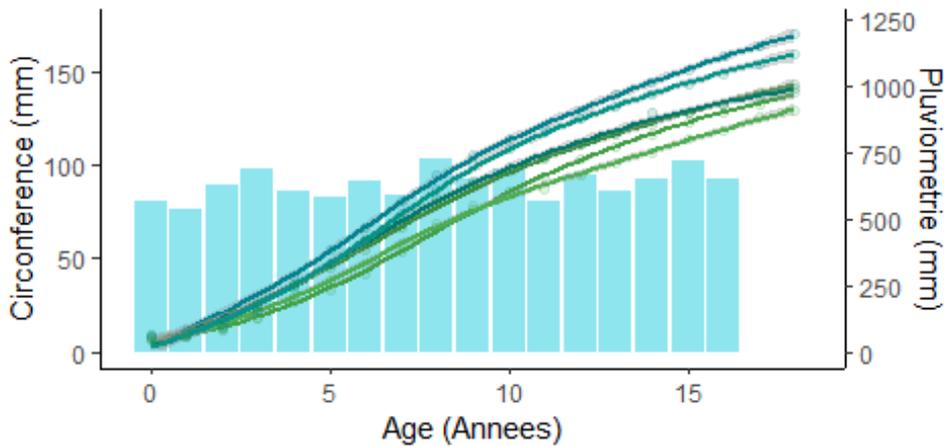
Dispositif : 290001
Commune : CESSleRES
Annee de plantation : 1990



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

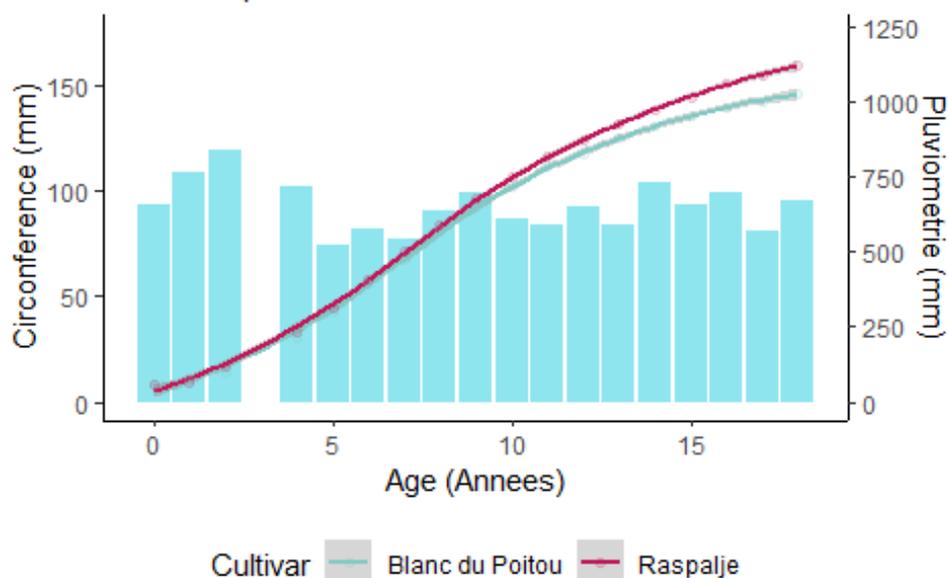
Dispositif : 6004001
Commune : CIREs LES MELLO
Annee de plantation : 2004



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

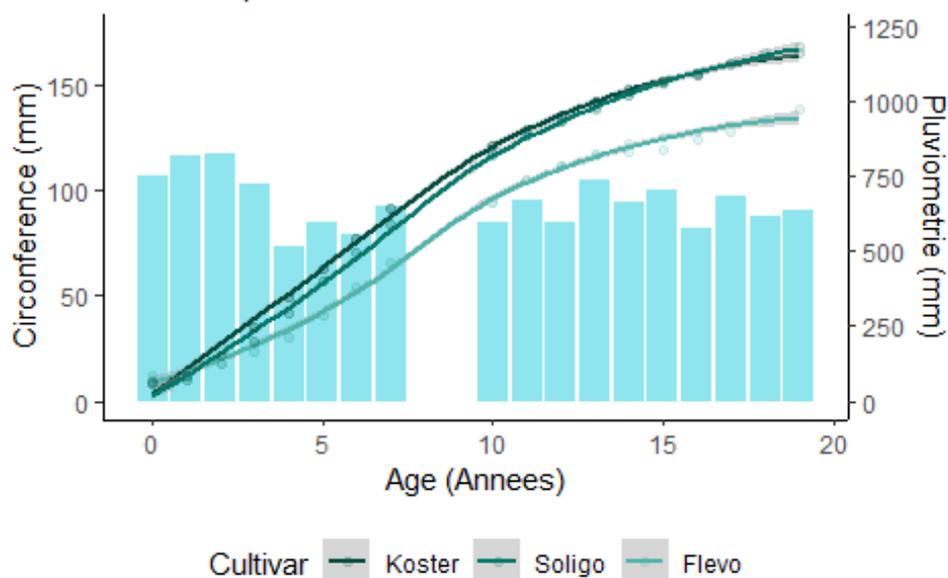
Dispositif : 6098002
Commune : CIRE LES MELLO
Annee de plantation : 1998



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

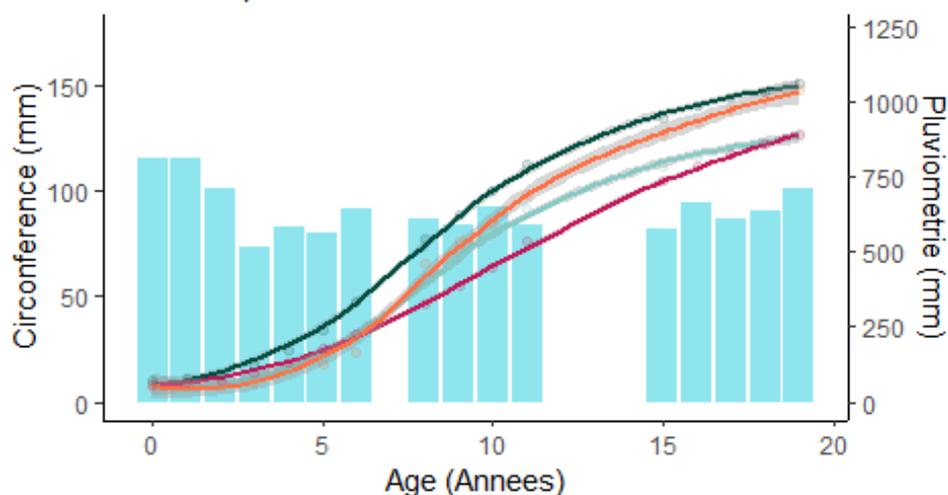
Dispositif : 299007
Commune : COEUVRES ET VALSERY
Annee de plantation : 1999



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

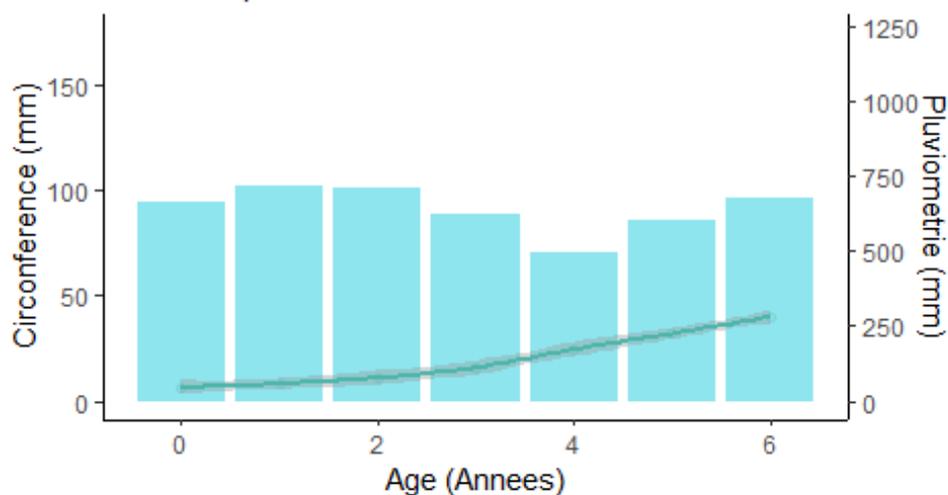
Dispositif : 6000001
Commune : COUDUN
Annee de plantation : 2000



Cultivar ■ Koster ■ Blanc du Poitou ■ Trichobel ■ Raspalje
J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

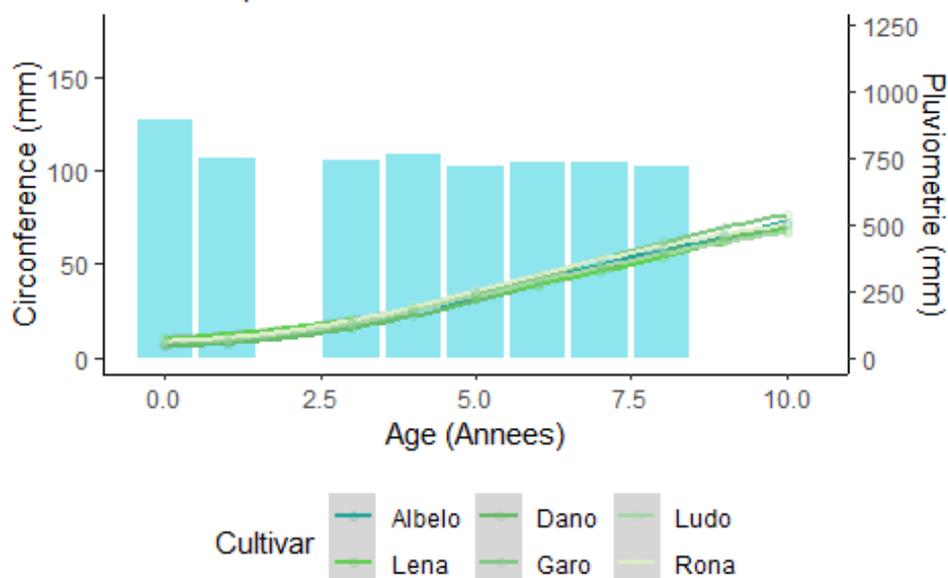
Dispositif : 8092001
Commune : ECHELLE ST AURIN
Annee de plantation : 1992



Cultivar ■ Flevo
J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

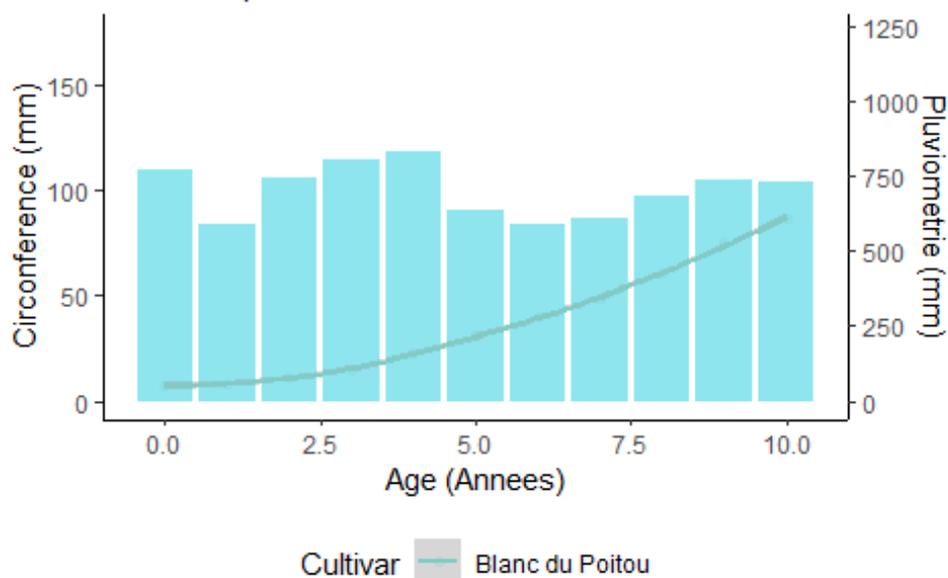
Dispositif : 5912005
Commune : FLISNES LEZ MORTAGNES
Annee de plantation : 2012



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

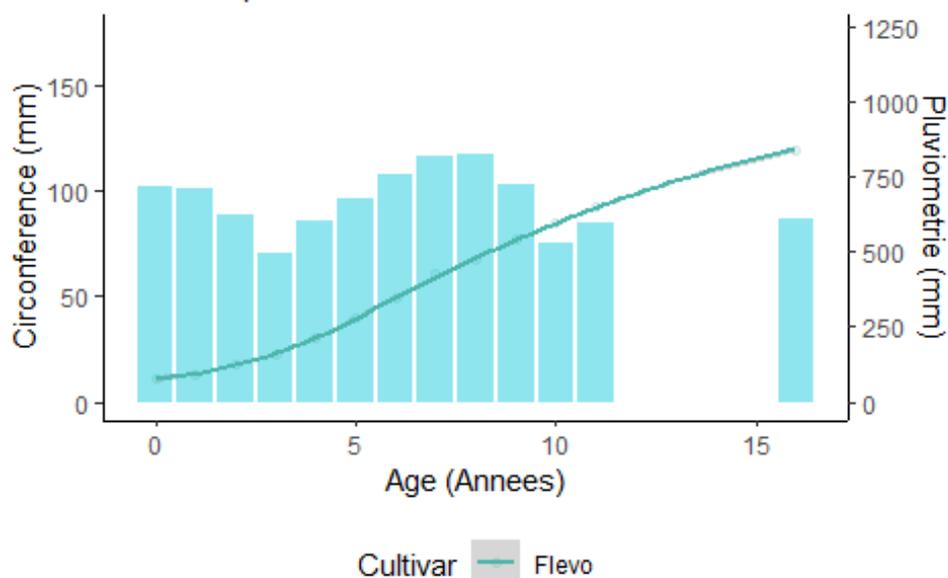
Dispositif : 284287
Commune : FRESSANCOURT
Annee de plantation : 1984



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

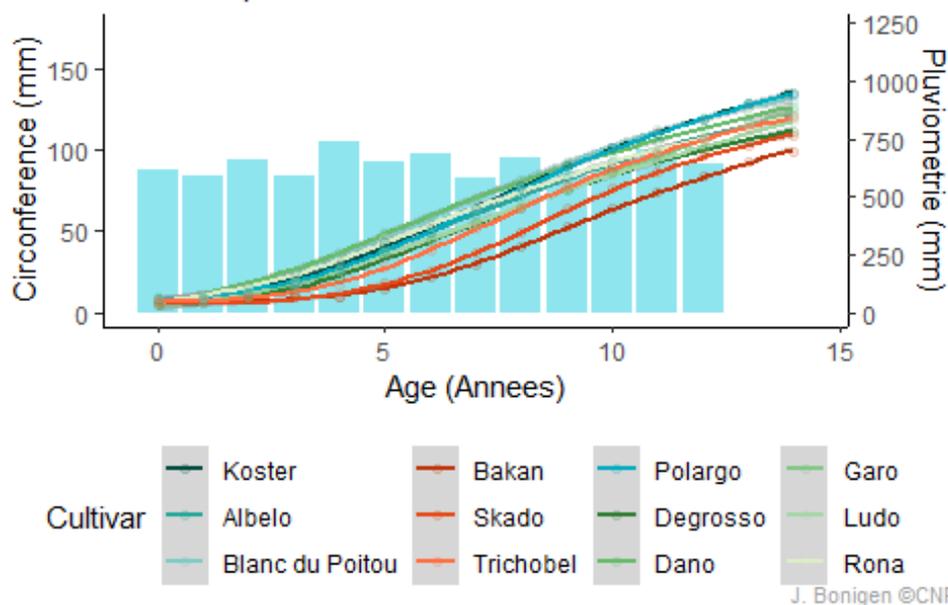
Dispositif : 8093002
Commune : GUERBIGNY
Annee de plantation : 1993



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

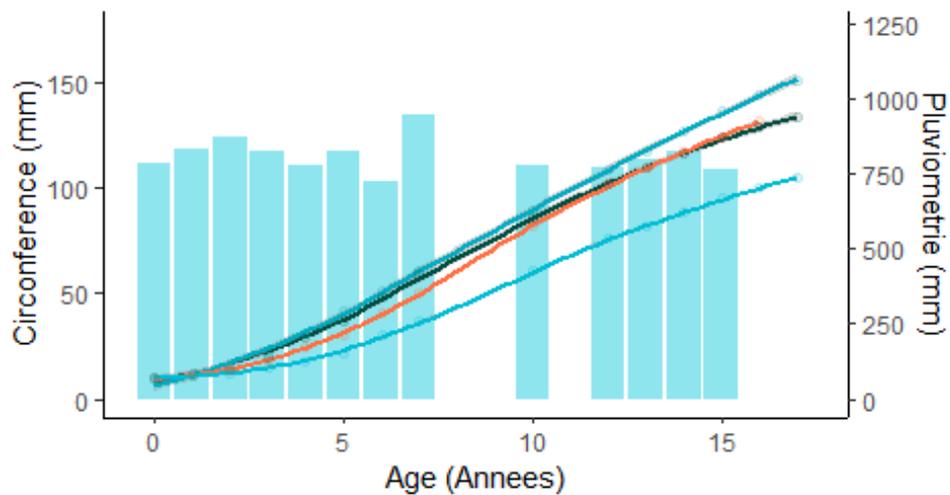
Dispositif : 208001
Commune : GUNY
Annee de plantation : 2008



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

Dispositif : 5905001
Commune : HOUDAIN LEZ BAVAY
Annee de plantation : 2005

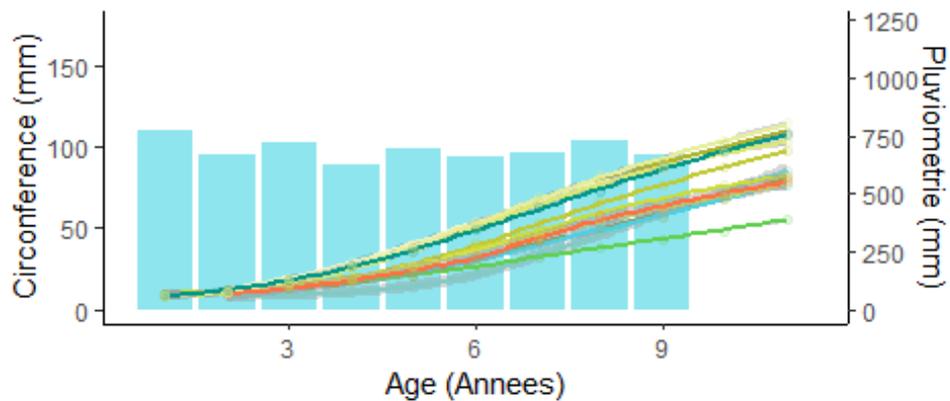


Cultivar ■ Koster ■ Trichobel ■ Polargo ■ Triplo

J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

Dispositif : 8011001
Commune : LA FALOISE
Annee de plantation : 2011

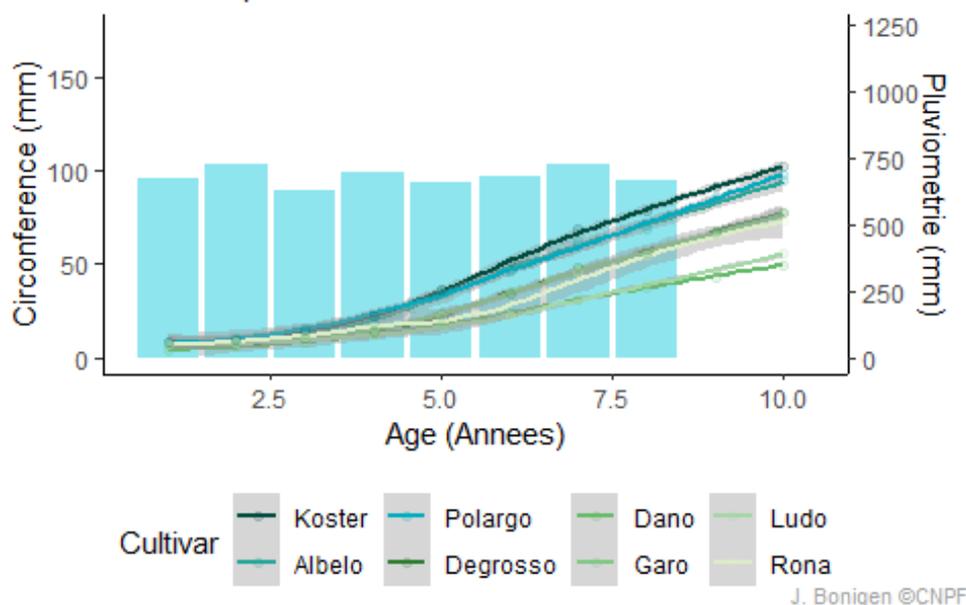


Cultivar ■ Soligo ■ Trichobel ■ AF8 ■ Moleto ■ Tucal
■ Vesten ■ Lena ■ Aleramo ■ Moncalvo ■ Imola
■ Blanc du Poitou ■ Brenta ■ Diva ■ Senna ■ AF2

J. Bonigen ©CNPF

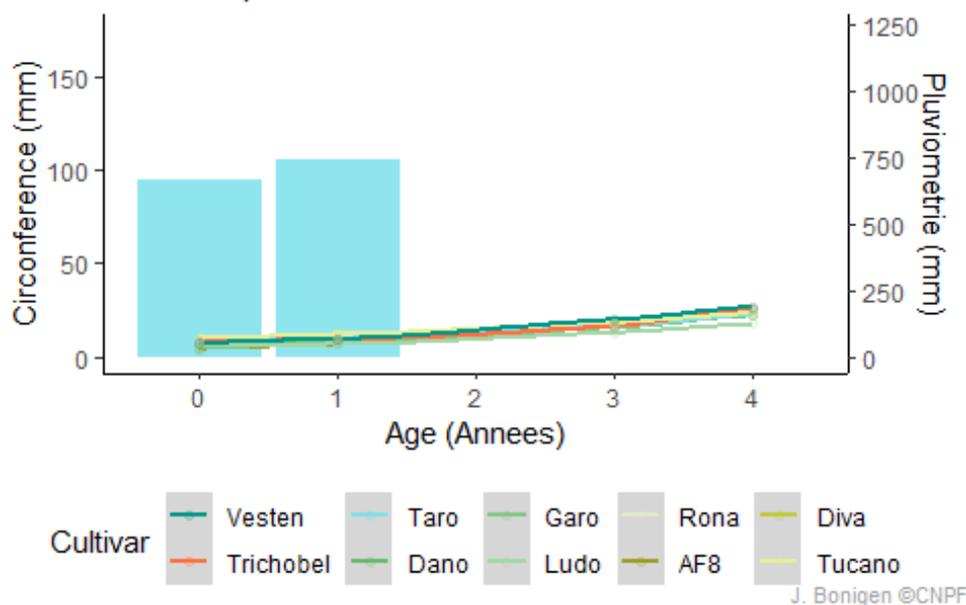
Evolution de la circonference

Dispositif : 8012278
Commune : LA FALOISE
Annee de plantation : 2012



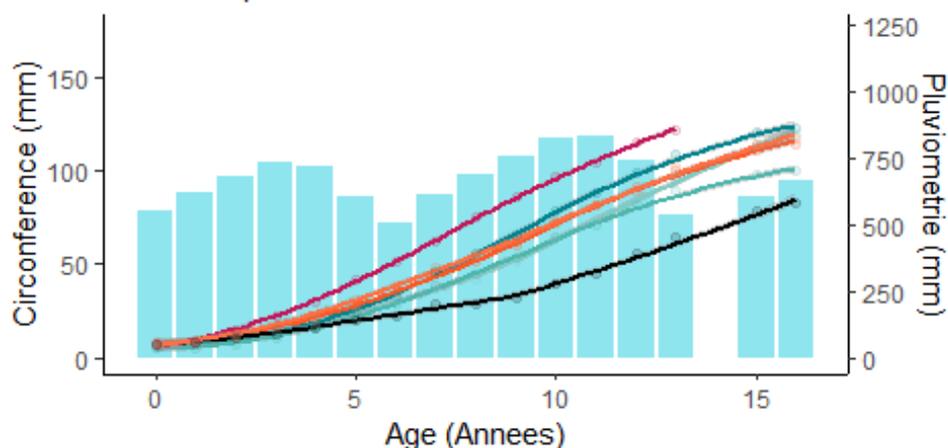
Evolution de la circonference

Dispositif : 6218001
Commune : MONTREUIL SUR MER
Annee de plantation : 2018



Evolution de la circonference

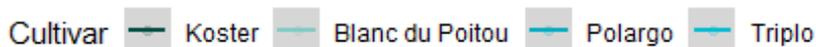
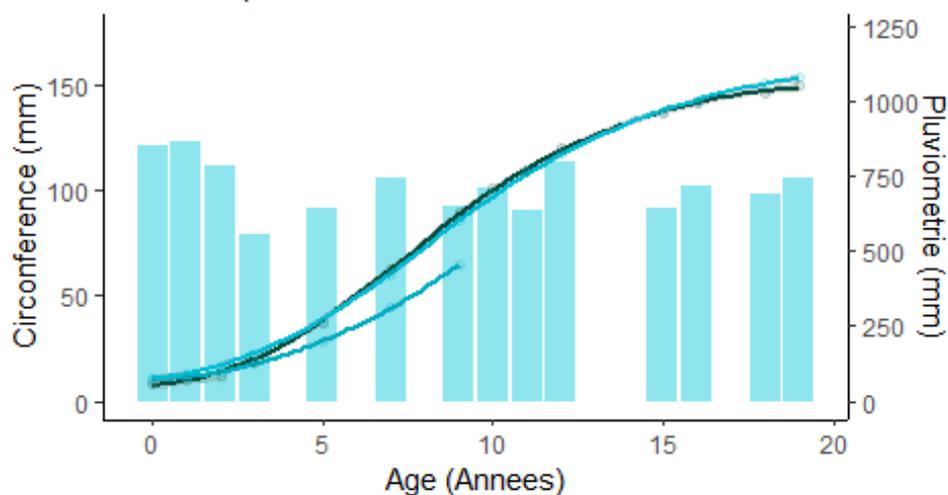
Dispositif : 8090001
Commune : PONT NOYELLE
Annee de plantation : 1990



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

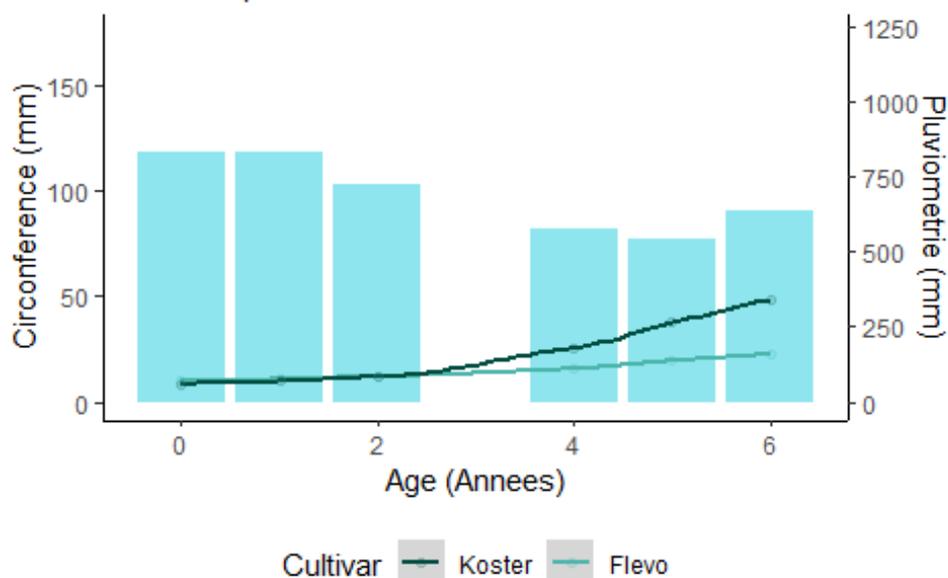
Dispositif : 200104
Commune : RIBEMONT
Annee de plantation : 2000



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

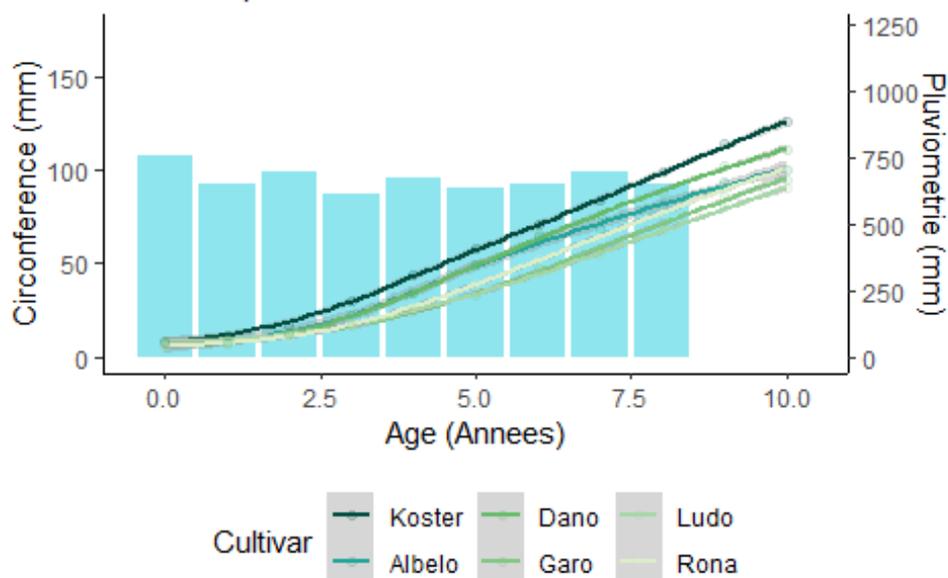
Dispositif : 6000002
Commune : SAINT FELIX
Annee de plantation : 2000



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

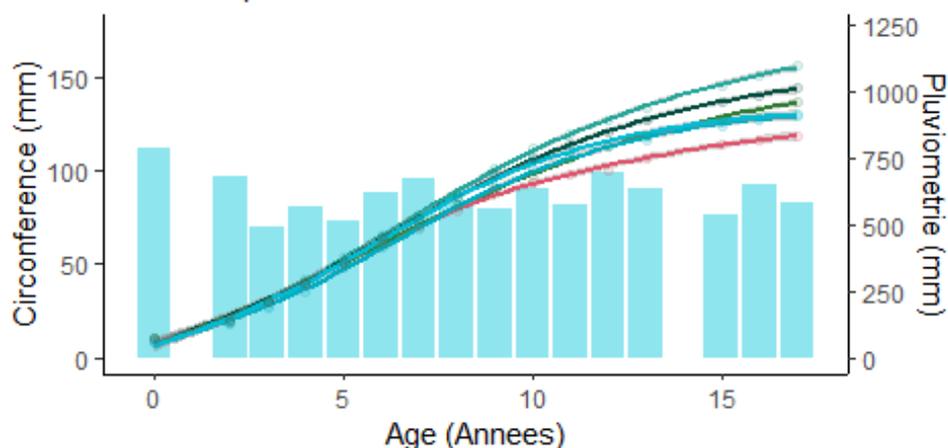
Dispositif : 8012001
Commune : THEZY GLIMONT
Annee de plantation : 2012



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

Dispositif : 6000008
Commune : VARINFROY
Annee de plantation : 2000

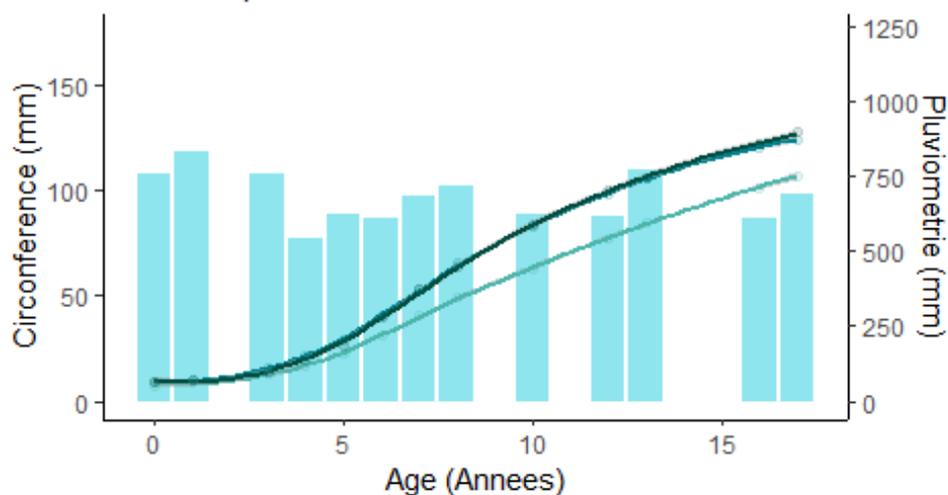


Cultivar — Koster — Polargo — A4A
— Albelo — Triplo — Degrosso

J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

Dispositif : 299009
Commune : VERSIGNY
Annee de plantation : 1999

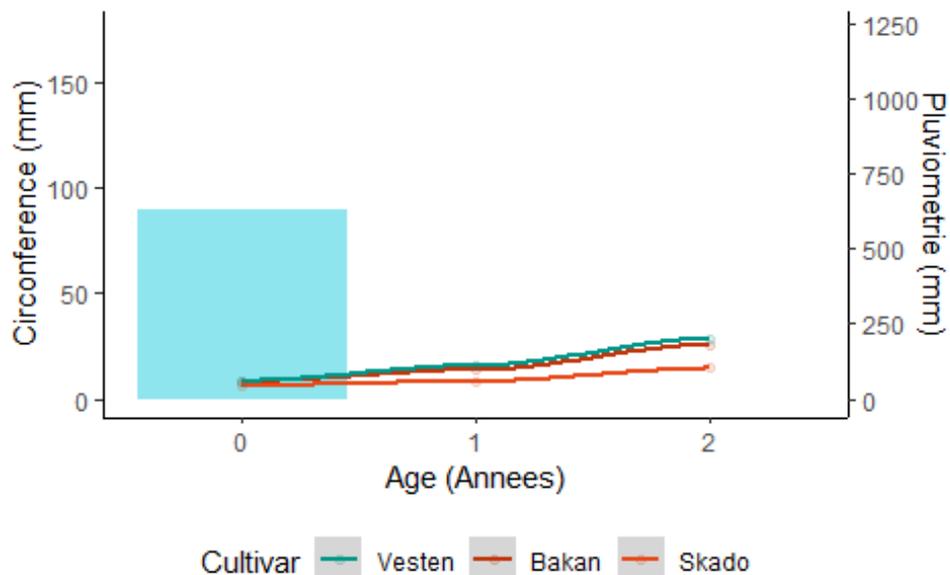


Cultivar — Koster — Flevo — Dorskamp

J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

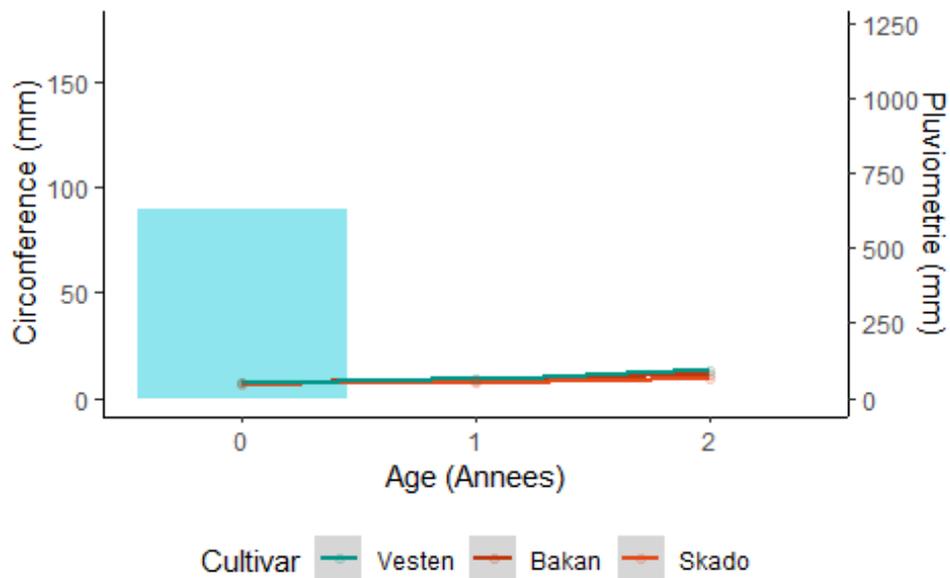
Dispositif : 220001
Commune : LHUYS
Annee de plantation : 2020



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

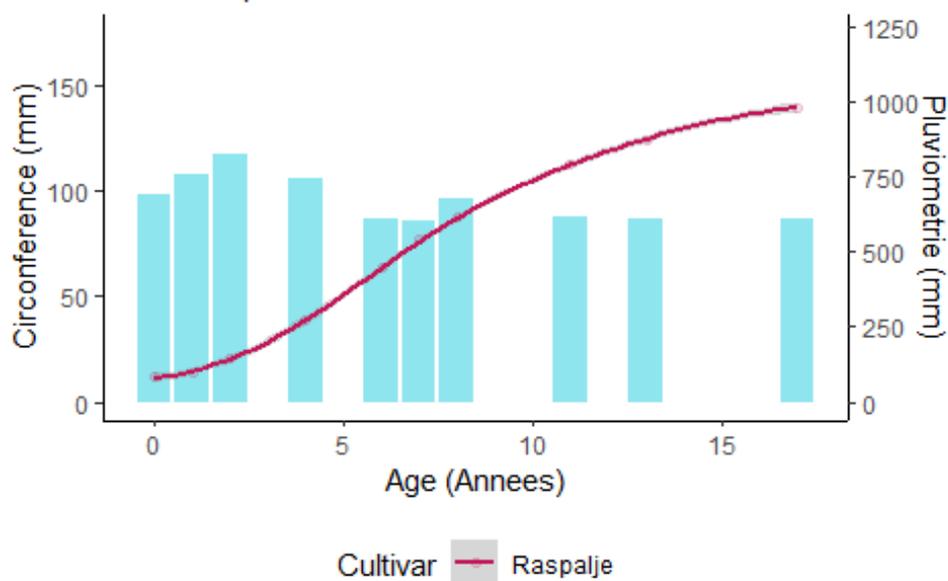
Dispositif : 6020001
Commune : JAULZY
Annee de plantation : 2020



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

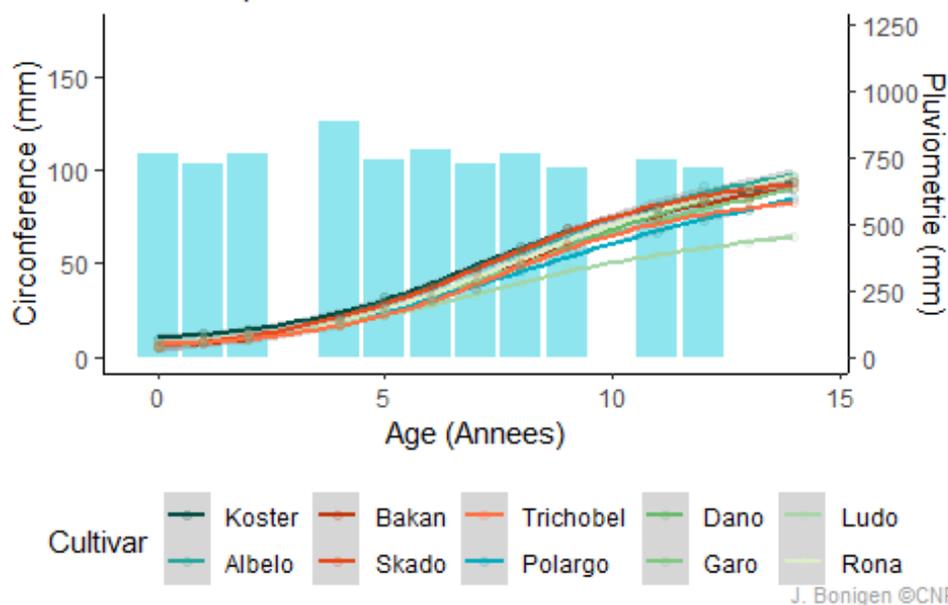
Dispositif : 298008
Commune : FLAVY LE MARTEL
Annee de plantation : 1998



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

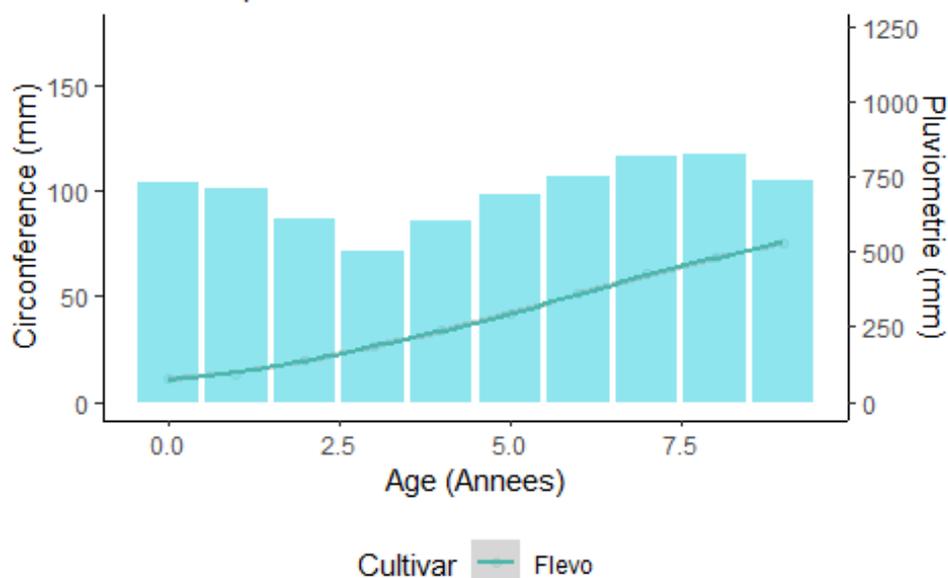
Dispositif : 5908001
Commune : THIVENCELLE
Annee de plantation : 2008



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

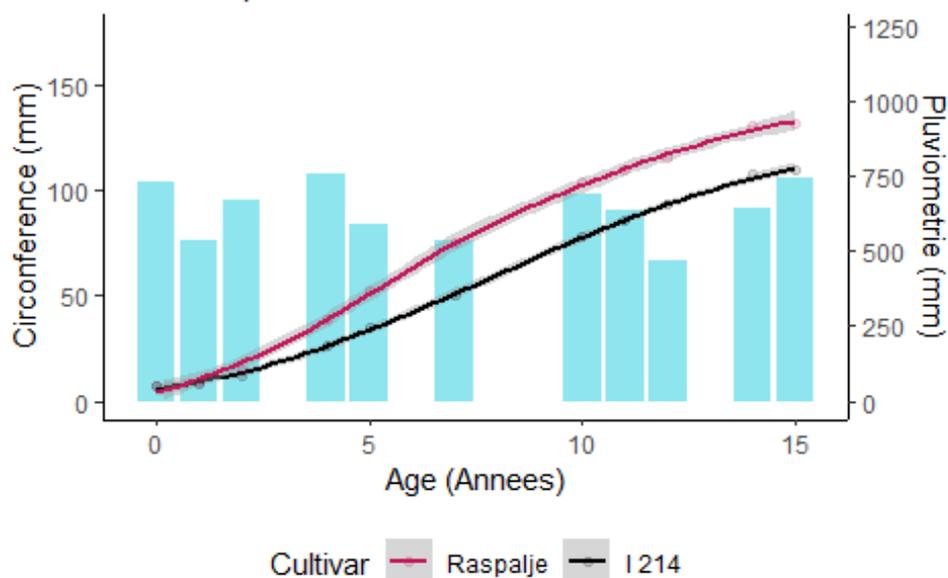
Dispositif : 8093001
Commune : BRAY SUR SOMME
Annee de plantation : 1993



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

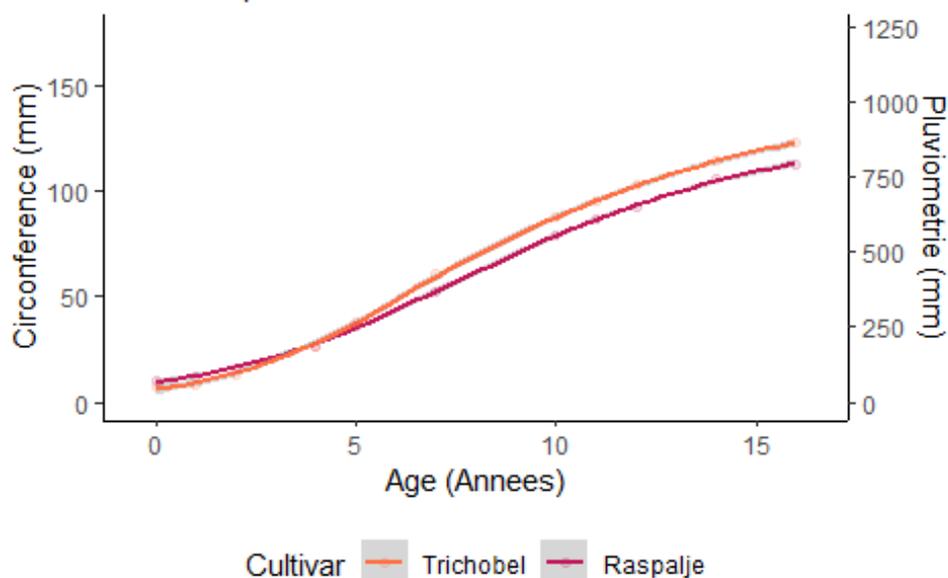
Dispositif : 6084296
Commune : DUVY
Annee de plantation : 1984



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

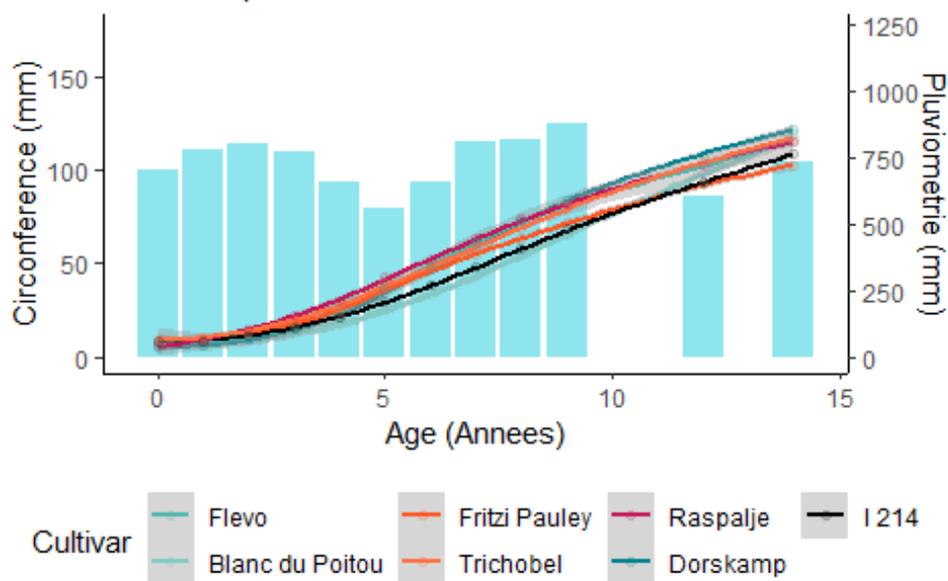
Dispositif : 6084229
Commune : LA FERTE MILON
Annee de plantation : 1984



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

Dispositif : 5991001
Commune : ONNAING
Annee de plantation : 1991



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

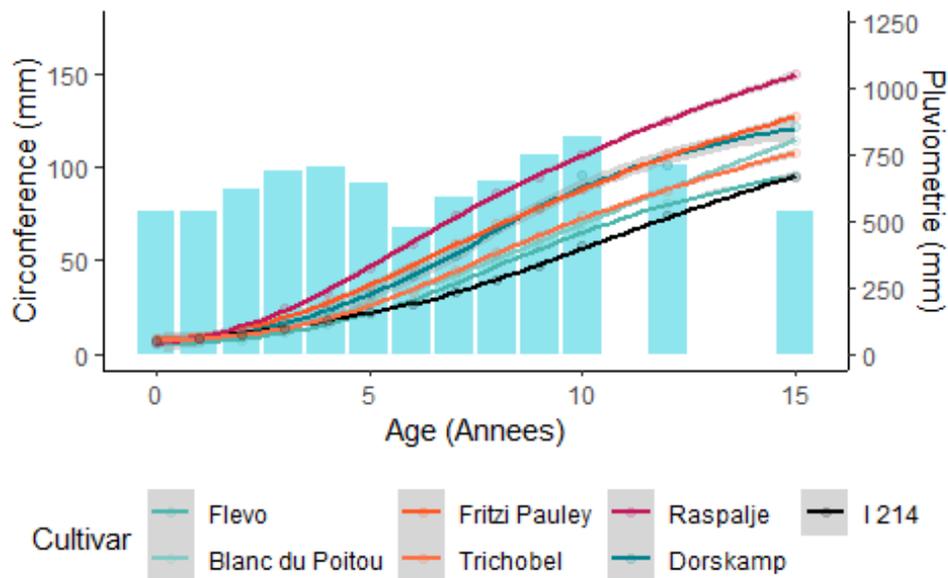
Dispositif : 295001
Commune : VERSIGNY
Annee de plantation : 1995



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

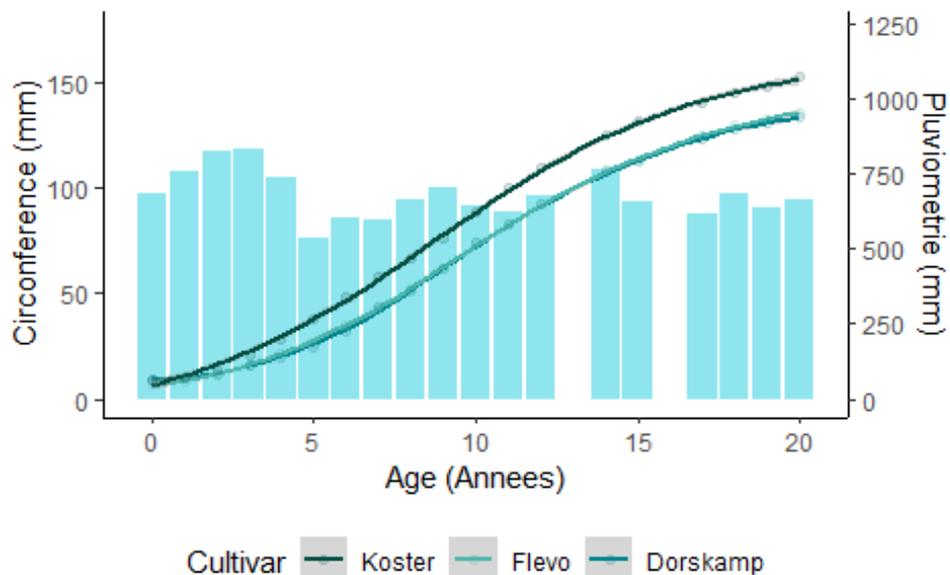
Dispositif : 6090010
Commune : ANTILLY
Annee de plantation : 1990



J. Bonigen ©CNPF

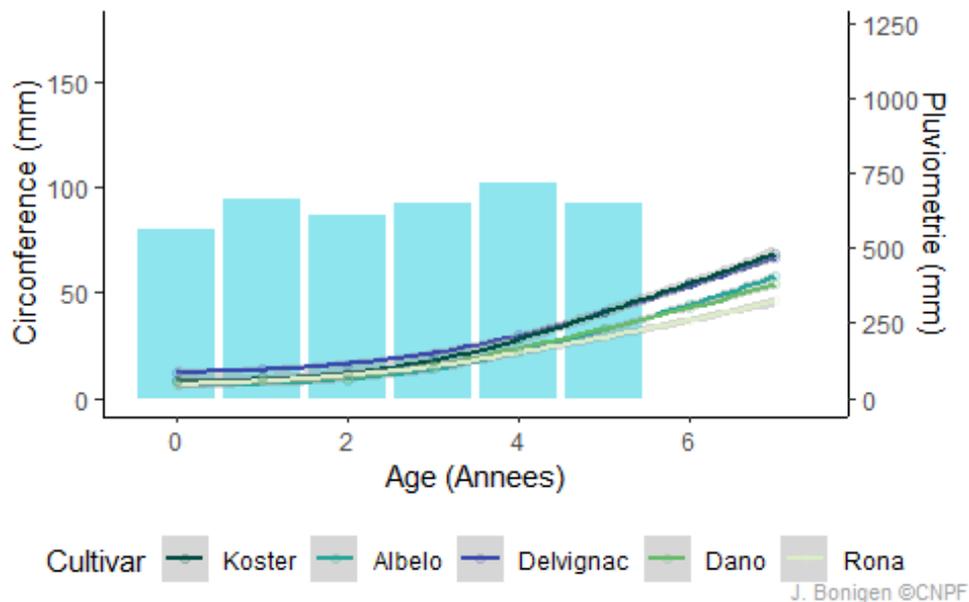
Evolution de la circonference

Dispositif : 8098001
Commune : HANGARD
Annee de plantation : 1998



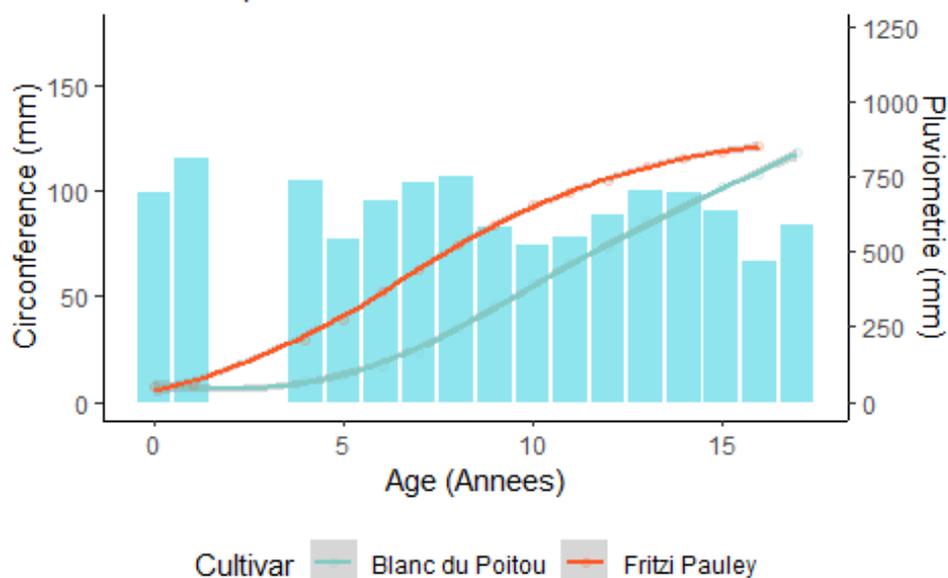
Evolution de la circonference

Dispositif : 6015002
Commune : MELLO
Annee de plantation : 2015



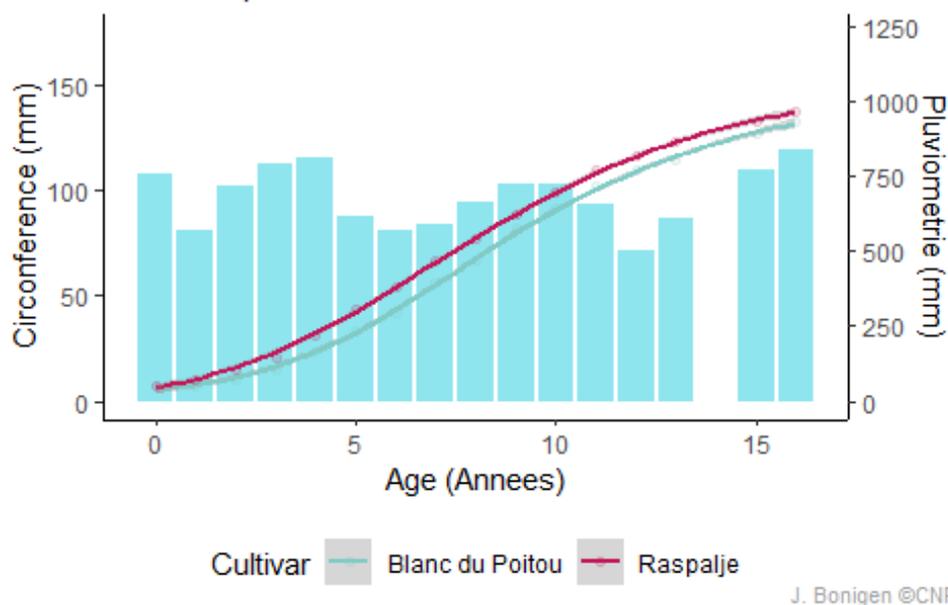
Evolution de la circonference

Dispositif : 6080001
Commune : MELLO
Annee de plantation : 1980



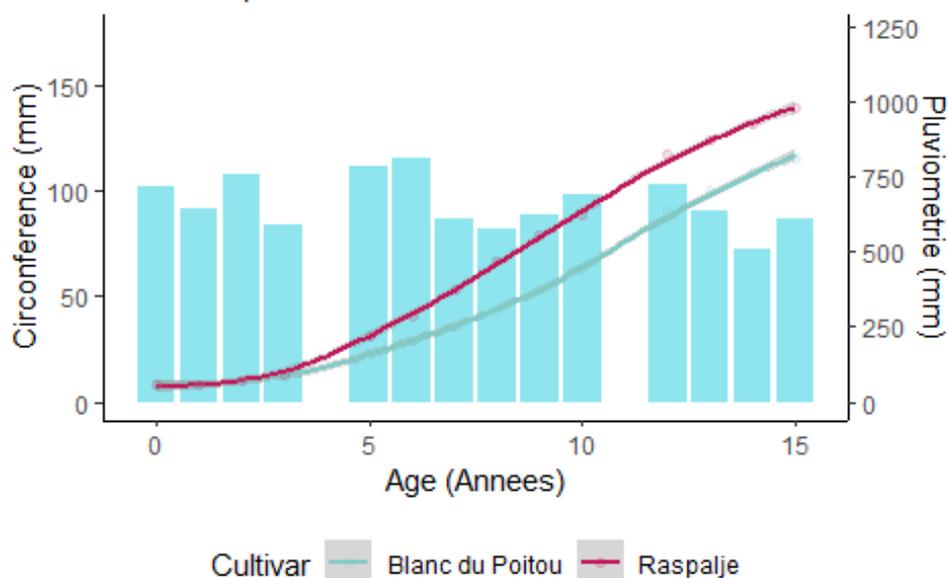
Evolution de la circonference

Dispositif : 284286
Commune : PONT-SAINT-MARD
Annee de plantation : 1984



Evolution de la circonference

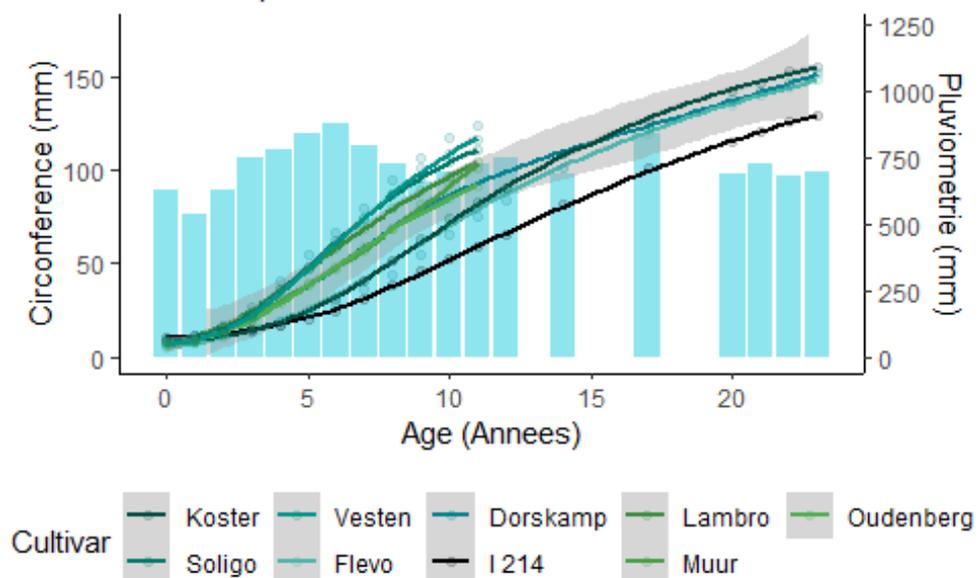
Dispositif : 282052
Commune : VERMAND
Annee de plantation : 1982



J. Bonigen ©CNPF

Evolution de la circonference

Dispositif : 6e+06
Commune : MASNY
Annee de plantation : 1995

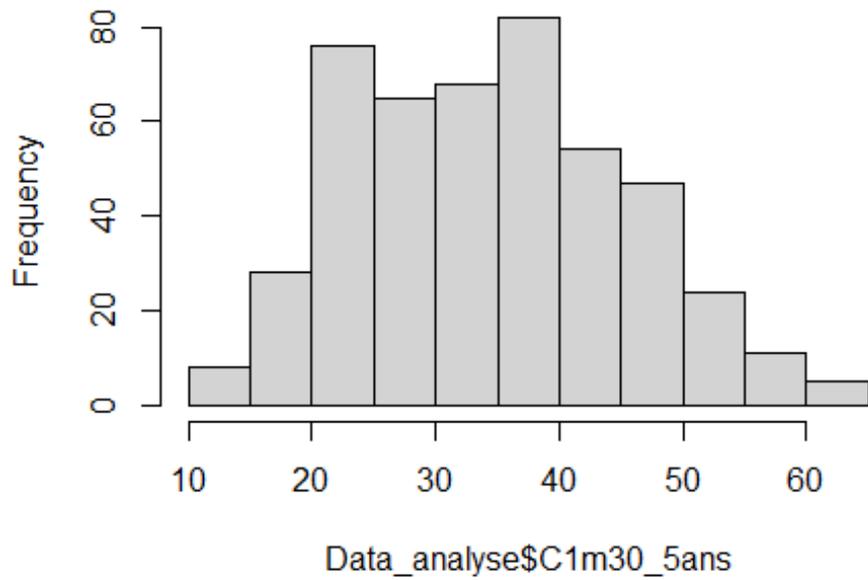


J. Bonigen ©CNPF

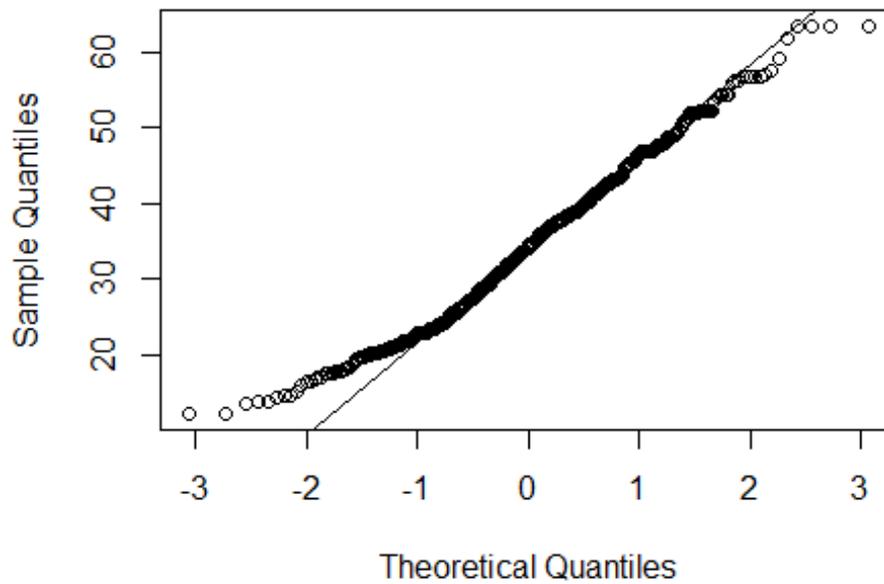
Annexe 4 : analyses statistiques, vérification des hypothèses et sélection du meilleur modèle

Test de normalité de la distribution des données

Histogram of Data_analyse\$C1m30_5ans



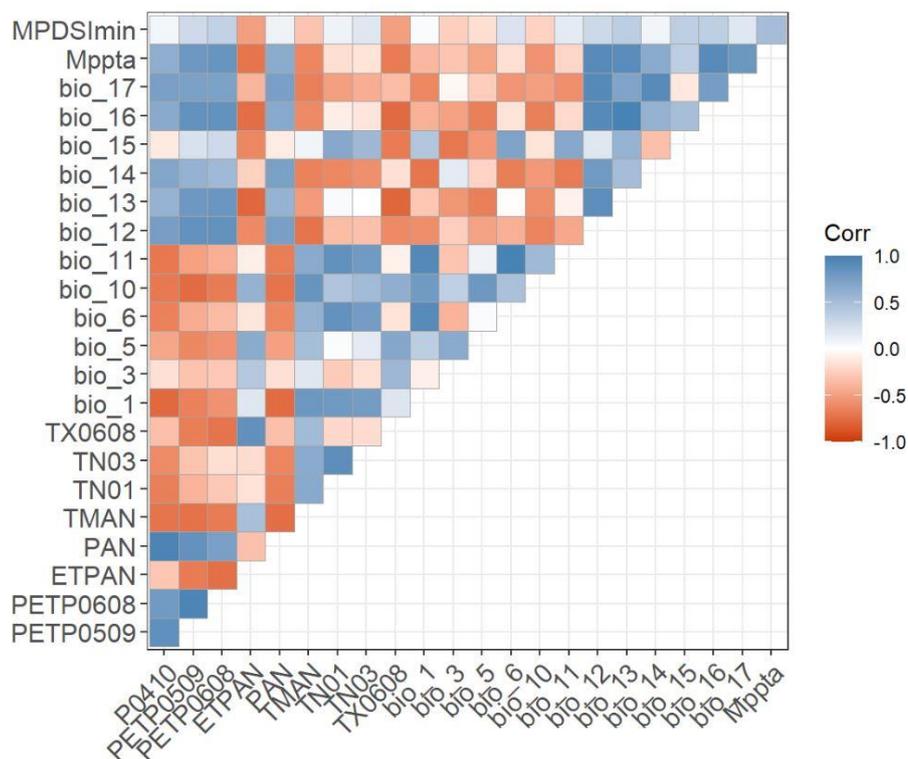
Normal Q-Q Plot



La répartition de la circonférence moyenne des différents individus (= moyenne de circonférence d'un cultivar par dispositif à 5 et 10 ans) suit globalement une loi Normal (forme en cloche). Sur le second graphe, les points sont globalement sur la ligne. Ce constat est favorable à l'utilisation des tests paramétriques.

Analyse de corrélation entre les variables climatiques

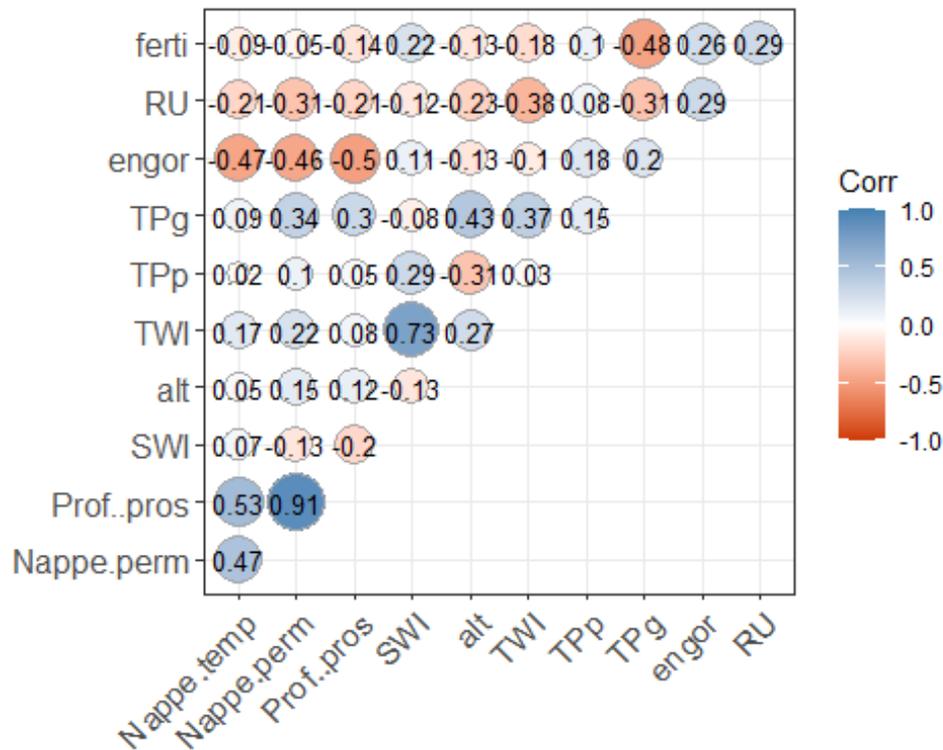
Analyse de corrélation entre les variables climatiques



Dans ce tableau sont présentées les corrélations entre les variables climatiques. Les corrélations négatives apparaissent en rouge et les corrélations positives en bleu. Si 2 variables sont fortement corrélées entre elles (correlation supérieur à 0.7), elles ne peuvent pas être retenues ensemble dans l'établissement d'un modèle de régression linéaire multiple.

Afin donc d'exclure les variables trop corrélées à d'autres, nous choisissons de retenir pour la suite les variables bioclimatiques suivantes : bio_3, bio_5, bio_6, bio_14, bio_15, ETPAN, PETP0509, Mppta, MPDSlmin.

Analyse de corrélation des variables



La même approche que précédemment est effectuée sur les variables stationnelles. Nous retiendrons l'ensemble de ces variables à l'exception du SWI qui est corrélé à 73% avec le TWI et Prof..pros (la profondeur prospectable) qui est fortement corrélée à la Nappe permanente. Par ailleurs un test de corrélation entre toutes les variables restantes a été effectué mais conduit à garder les différentes variables.

Etablissement d'un modèle statistique

Le modèle testé est le suivant : $C1m30_5ans = f(\text{bio}_3 + \text{bio}_5 + \text{bio}_6 + \text{bio}_{14} + \text{bio}_{15} + \text{ETPAN} + \text{PETP0509} + \text{Nappe.temp} + \text{Nappe.perm} + \text{TWI} + \text{TPp} + \text{TPg} + \text{engor} + \text{RU} + \text{ferti})$

La variable "dispositifs" est retenue comme variable aléatoire.

```
##
## [1,] 0.295 0.524
## [1] 1667
```

R2m R2c

30% de la variance de la variable C1m30_5ans est expliqué par les facteurs fixes et jusqu'à 52% en tenant compte de la variable aléatoire (qui rend compte que tous les facteurs spécifiques à chaque dispositif expérimental).

L'objectif de l'analyse est d'optimiser le modèle.

Optimisation du modèle multivarié - AIC

L'AIC (critère d'information d'Akaike) est une mesure de la qualité d'un modèle statistique. L'ajout de variable à un modèle permet en général d'augmenter sa vraisemblance mais cela alourdit le modèle, et ne facilite pas sa compréhension. L'AIC permet de pénaliser les modèles en fonction du nombre de

paramètres afin de satisfaire le critère de parcimonie. On choisit alors le modèle avec le critère d'information d'Akaike le plus faible.

Donc, afin de réduire encore le nombre de variable à retenir dans notre analyse, une AIC est effectuée sur les variables permettant de retenir les variables les plus pertinentes dans l'établissement d'un modèle linéaire multivarié permettant d'expliquer la variabilité de la croissance des peupliers.

Suite à l'AIC, on obtient le modèle optimisé mod2 : **C1m30_5ans ~ bio_5 + bio_6 + bio_14 + ETPAN + TPg + engor + RU + ferti**

C1m30_5ans

Predictors

Estimates

CI

p

(Intercept)

18.96

-68.79 – 106.71

0.671

bio_14

-1.13

-1.63 – -0.63

<0.001

bio_5

-6.29

-10.62 – -1.97

0.004

bio_6

-7.35

-10.66 – -4.05

<0.001

engor

-0.10

<0.001

ETPAN

0.33

0.23 – 0.42

<0.001

ferti

-1.45

-2.97 – 0.07

0.062

RU

0.09

-0.03 – 0.20

0.137

TPg

-4.13

-5.34 – -2.93

<0.001

Observations

426

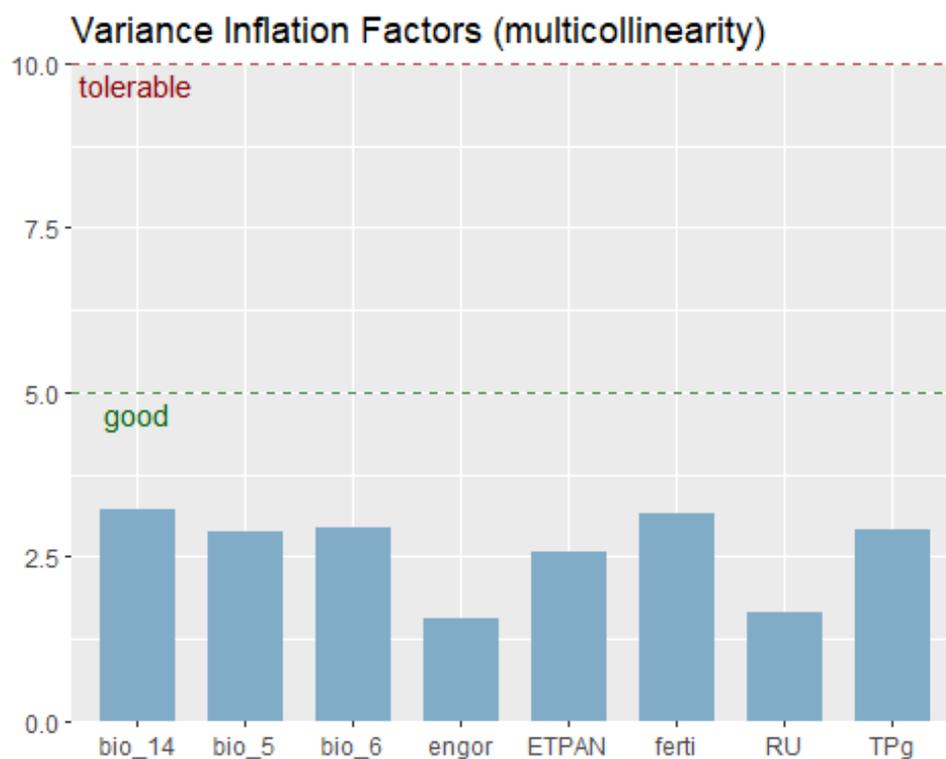
R2 / R2 adjusted

0.281 / 0.267

Conditions de validité du modèle

Vérification des hypothèses permettant l'utilisation d'un modèle linéaire :

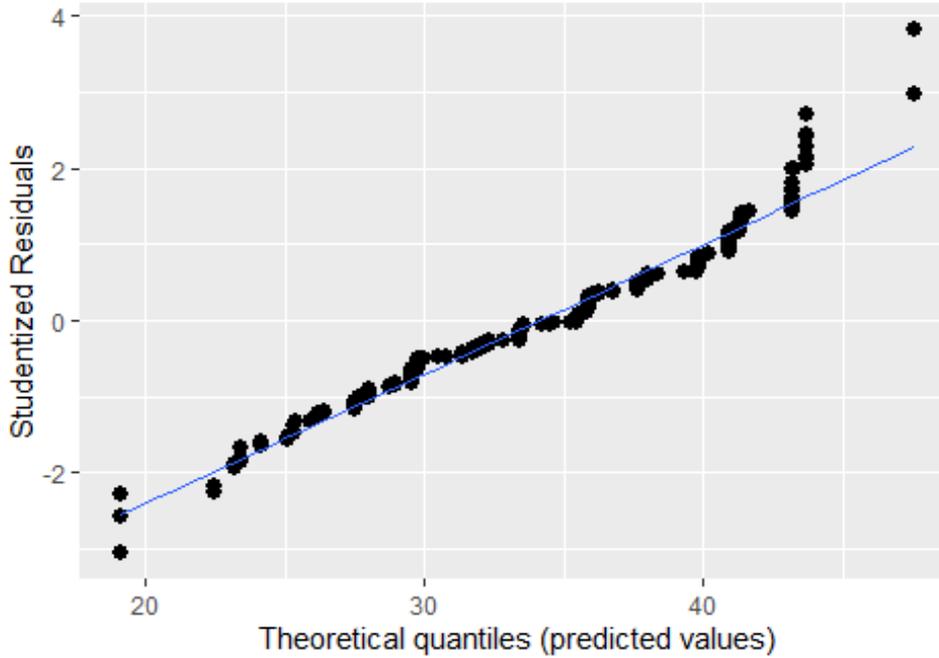
```
##          R2m    R2c  
## [1,] 0.277 0.277  
## [[1]]
```



```
##  
## [[2]]
```

Non-normality of residuals and outliers

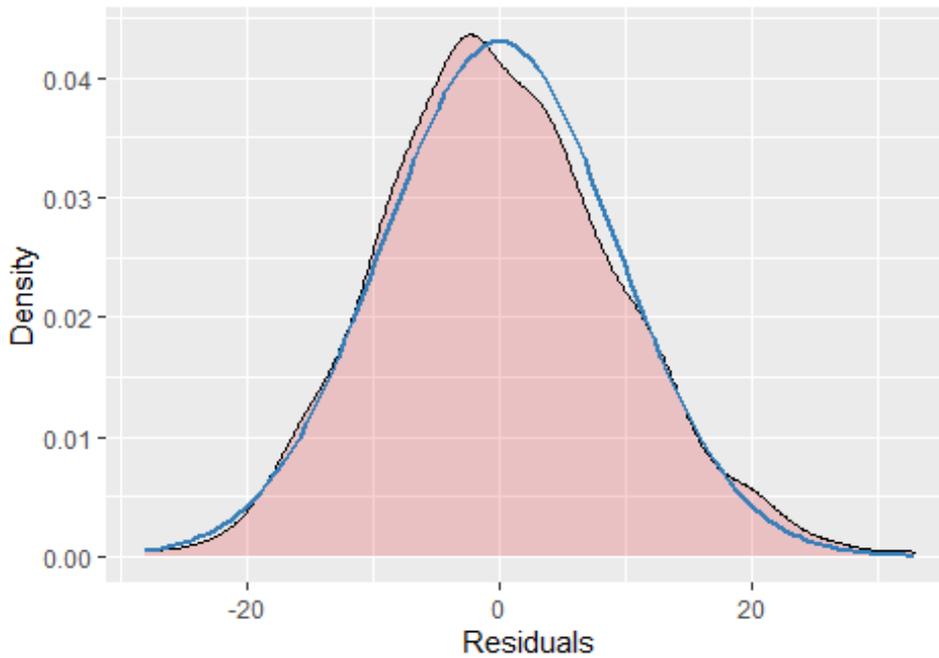
Dots should be plotted along the line



```
##  
## [[3]]
```

Non-normality of residuals

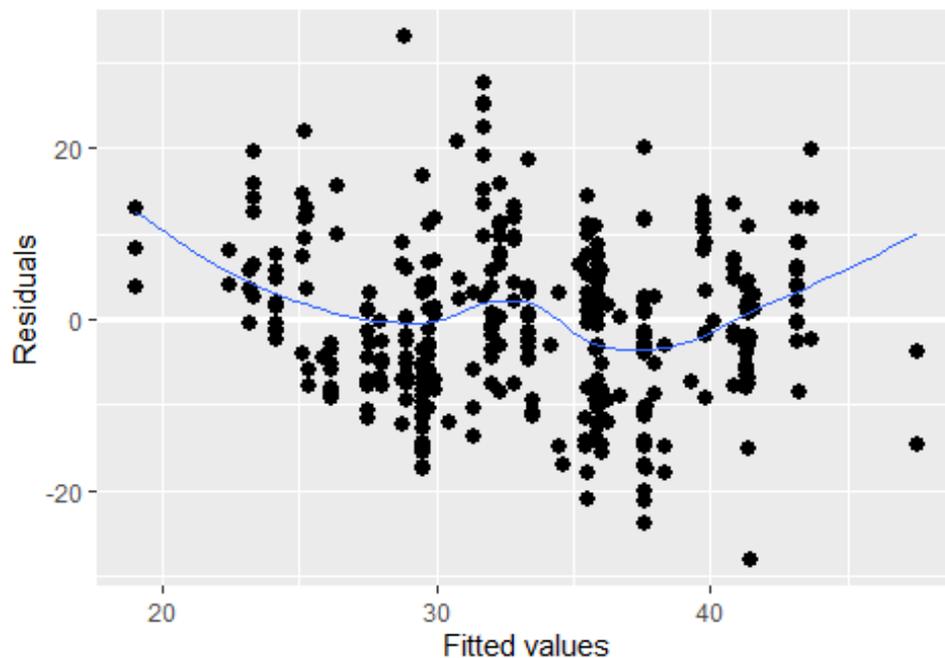
Distribution should look like normal curve



```
##  
## [[4]]
```

Homoscedasticity (constant variance of residuals)

Amount and distance of points scattered above/below line is equal



Les différentes conditions (homoscédasticité et normalité des résidus) sont vérifiées pour le modèle. Il est donc possible de d'utiliser un modèle linéaire pour modéliser la circonférence des peupliers.

Annexe 7 : liste des cultivars éligibles aux aides

MAA/DGPE/SDFE/SDFCB/Bureau de la Gestion durable de la forêt et du bois

Période : JUILLET 2022 – JUIN 2024

CLONES DE PEUPLIER ELIGIBLES AUX AIDES DE L'ETAT POUR LA CULTURE EN FUTAIE Libre de droits = sans parenthèse, sinon Terme de la protection commerciale communautaire – Nom d'obteneur et/ou de son représentant	Sud-Est			Sud-Ouest		Nord-Ouest				Nord	Nord-Est	Remarques sanitaires**				
	Auvergne-Rhône- Alpes	PACA	Corse	Occitanie	Nouvelle-Aquitaine	Pays-de-la Loire	Bretagne	Normandie	Centre-Val-de-Loire	Île-de-France	Hauts-de-France	Grand-Est	Bourgogne- Franche-Comté	Installation du puceron lanigère observée en laboratoire	Installation du puceron lanigère observée en peupleraie mais sans impact négatif	Impact négatif du puceron lanigère sur la croissance en peupleraie
1. Peupliers euraméricains																
ALBELO (2039 – 3C2A)															Oui	
ALERAMO (2044 - CREA)																
BLANC DU POITOU															Oui	
BRENTA (2034 – CREA)																
DANO (2041 – 3C2A)																
DIVA (2044 – CREA)																
DORSKAMP	S	S					S	S		S		S	S	Oui	Oui	Oui
GARO (2041, 3C2A)																
KOSTER (2021 – 3C2A)*																
I-45/51																
LAMBRO (2034 – CREA)																
LUDO (2041 - 3C2A)																
MOLETO (2045 - CREA)																
MONCALVO (2045 – CREA)																
MUUR (2032- INBO)															Oui	
POLARGO (2037 – 3C2A)	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	Oui	Oui	Oui
RONA (2041 – 3C2A)															Oui	
SOLIGO (2034 -CREA)														Soigner la plantation, reprise pouvant être délicate		
TARO (2034 – CREA)																
TUCANO (2044 – CREA)																
VESTEN (2032 – INBO)														Oui	Oui	Non
2. Peupliers interaméricains et rétrocroisement																
AFB																
RASPALJE																
3. Peupliers trichocarpa																
FRITZI-PAULEY																
TRICHOBEL																
4. Peupliers deltoïdes																
ALCINDE																
DELGAS (2043 – GIS Peuplier)																
DELLINOIS (2043 – GIS Peuplier)																
DELVIGNAC (2043 – GIS Peuplier)																
DVINA (2031 – CREA)																
OGLIO																
5. Hybrides Trichocarpa x maximowiczii																
BAKAN (2037 - INBO)														hybrides pouvant être sensibles à Sphaerulina musiva (OO non présent en Europe)		
SKADO (2037 – INBO)																
Nombre de clones utilisables	30	27	26	27	29	27	25	24	28	28	25	22	30			

S	Cultivar subventionnable dans la région Cultivar subventionnable placé "sous surveillance" , dont la culture est exposée à des risques sanitaires OU à des performances agronomiques en-deça des attentes initiales.
----------	--

Liste "annexe" (clone expérimental subventionnable dans le cadre strict des dérogations et dont l'inscription en liste principale sera étudiée dans aucun cultivar

* protection commerciale du cultivar KOSTER : protection communautaire jusqu'au 01/11/2021 (protection végétale communautaire n° EU1293), protection sur le territoire national jusqu'au 18/02/2024 (certificat d'obtention végétale COV).

** consulter la fiche conseil d'utilisation sur les peupliers cultivés concernant les sensibilités aux pathogènes et exigences stationnelles et compo

Annexe 8 : classification de débourrement des principaux clones

Clone	Débourrement
AF2	5 - tardif
AF8	4 - assez tardif
Albelo	5 - tardif
Alcinde	4 - assez tardif
Aleramo	1- précoce
Bakan	2 - assez précoce
Blanc du Poitou	6 - très tardif
Brenta	3 - id. P. italica
Dano	5 - tardif
Delgas	4 - assez tardif
Dellinois	4 - assez tardif
Delvignac	4 - assez tardif
Dender	
Diva	4 - assez tardif
Dorskamp	2 - assez précoce
Dvina	4 - assez tardif
Flevo	1- précoce
Fritzi Pauley	3 - id. P. italica
Garo	5 - tardif
I 45/51	4 - assez tardif
Koster	6 - très tardif
Lambro	3 - id. P. italica
Lena	4 - assez tardif
Ludo	5 - tardif
Marke	
Moleto	4 - assez tardif
Moncalvo	2 - assez précoce
Muur	3 - id. P. italica
Oglio	2 - assez précoce
Oudenberg	6 - très tardif
Polargo	5 - tardif
Raspalje	2 - assez précoce
Rona	5 - tardif
Skado	1- précoce
Soligo	2 - assez précoce
Taro	4 - assez tardif
Trichobel	2 - assez précoce
Tucano	5 - tardif
Vesten	6 - très tardif

Synthèse du Réseau Régional d'Expérimentation et de Démonstration Hauts-de-France sur le peuplier

Deuxième partie : analyse sanitaire sur les essais installés

Synthèse
2022

Table des matières

Présentation des principaux problèmes des peupliers de culture.	5
Problèmes abiotiques.	5
Dégâts dûs au gel	5
Dégâts dûs aux coups de soleil.....	5
Dégâts dûs aux canicules	6
Dégâts dûs à la sécheresse	6
Dégâts dûs à la grêle.....	6
Problèmes biotiques	7
Les agents pathogènes	7
Les ravageurs	14
Les mammifères	30
Les problèmes plurifactoriels - Les dépérissements	32
Etat des lieux des problèmes phytosanitaires en Hauts-de-France.	33
Matériel et méthodes	33
Étude d'occurrence et de prévalence.	37
Insectes xylophages.....	41
Pathogènes	42
Défoliateurs	43
Dégâts d'origine climatique	44
Étude de la sévérité	47
Rouille à <i>Melampsora laricij populina</i>	47
Puceron lanigère du peuplier	50
Étude de l'impact	52
Impact sur la vitalité (dégâts)	52
Impacts sur la croissance.....	56
Conseils de gestion.	58
Les mesures de gestion	58

Sensibilité des cultivars aux différents problèmes	58
Prescriptions de gestion.....	61
Les traitements phytosanitaires.....	64
Table des illustrations.....	66

Le peuplier est une composante importante des paysages de notre région, il est d'ailleurs l'essence la plus récoltée en bois d'œuvre devant le chêne avec 163 000 m³ de bois rond par an soit 12 % de la récolte nationale, plaçant la région Hauts-de-France au deuxième rang des régions pour la récolte des peupliers.

Conscient du territoire populier et de ses enjeux, le CRPF Hauts-de-France a mis en place un réseau d'expérimentation régionale sur cette essence avec le soutien d'organismes professionnels régionaux et de propriétaires forestiers. Les premiers essais ont été mis en place au début des années 80 afin de tester et étudier le comportement de différents cultivars proposés par la recherche, l'ensemble sur différentes stations.

L'ensemble des peupliers installés proviennent de croisements et de sélections. Ils sont le fruit du travail de chercheurs italiens (Casale Monferrato, Alasia), belges (Grammont, Institut INBO) et français (INRA, IRSTEA (ces deux structures ont désormais fusionné pour devenir INRAE), GIS, FCBA, Poloni). Les cultivars expérimentés se répartissent entre les groupes d'appartenance suivants :
Trichocarpa, Euraméricain et Interaméricain.

Les chiffres présentés dans cette synthèse sont issus des essais CNPFF.

Présentation des principaux problèmes des peupliers de culture.

Problèmes abiotiques.

Dégâts dûs au gel



Particulièrement sur les cultivars qui débourrent précocement, les gelées tardives peuvent provoquer la destruction totale des pousses de printemps. Plus gravement, les grands froids peuvent brûler les jeunes tissus du tronc et des rameaux (nécroses), voire entraîner l'apparition de gelivures (fentes longitudinales sur le tronc, cf photo ci-contre). Outre la dépréciation de la bille de pied rendue impropre aux transformations les plus nobles (déroulage, sciage), ces blessures offrent une porte d'entrée privilégiée pour les parasites secondaires qui peuvent alors porter atteinte à l'état de santé des tiges. Il convient de bien connaître les conditions climatiques de la parcelle pour

éventuellement utiliser des cultivars adaptés.

D'autres perturbations liées aux gelées précoces (d'automne) peuvent nuire à l'aoûtement des peupliers (mise en réserves). Au printemps suivant, on peut alors observer des difficultés lors du débourrement consécutif avec des mortalités parfois importantes. Les cultivars davantage adaptés à une climatologie plus méridionale (présentant une sénescence plus tardive) sont plus exposés à ces risques.



Dégâts dûs aux coups de soleil

Les coups de soleils surviennent surtout dans des situations stationnelles où l'alimentation en eau fait défaut et sur des expositions sud à sud-ouest. Les jeunes plançons ou les peupliers interaméricains sont souvent les plus sensibles du fait de la finesse de leur écorce. Un coup de soleil peut alors brûler les tissus et provoquer la chute estivale du feuillage. Cela représente généralement un stress pouvant participer au dépérissement des peupleraies exposées : c'est lorsque le soleil est dans une position quasi perpendiculaire au tronc de l'arbre que le risque est maximum. La présence de lisières ou de sous-étage peut limiter ou éliminer ce phénomène.



Dégâts dûs aux canicules

Les épisodes de fortes chaleurs peuvent entraîner des dommages importants sur les arbres, susceptibles d'engager même leur pronostic vital.

L'évapotranspiration suractivée par la température atmosphérique, peut engendrer des phénomènes de rupture des vaisseaux conducteurs de sève, se manifestant par des écoulements noirâtres

sur le tronc. Ces lésions provoquent la formation de bulles d'air dans la colonne de sève, qui peuvent entraîner dans les cas les plus graves, la mort de l'arbre par embolie. Ce phénomène est appelé « cavitation »

Recourir à des cultivars adaptés aux conditions stationnelles (sol + climat) représente une mesure efficace pour atténuer la vulnérabilité face à ce phénomène.



Dégâts dûs à la sécheresse

Une rupture brutale d'alimentation en eau comme un déficit hydrique prolongé se manifestent le plus souvent par un dessèchement du feuillage voire des fentes sur le tronc. Dans les années suivantes, et si le phénomène se réitère, le dépérissement des peupleraies, alors affaiblies, peut survenir.



Dégâts dûs à la grêle

Outre les dégâts physiques provoqués par les impacts de grêle sur le tronc et les branches, des peupliers grêlés peuvent succomber à des attaques parasitaires consécutives à l'évènement climatique, d'autant plus facilement que la plantation est jeune.

Problèmes biotiques

Les agents pathogènes

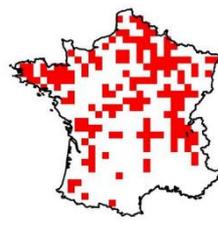
Les rouilles à *Melampsora*



Urédosores observables sur la face inférieure des feuilles de peupliers en été

FRÉQUENCE	■	■	■	■	■
AGRESSIVITÉ	■	■	■	■	■
IMPACT	■	■	■	■	■

SYSTEMATIQUE	Champignon - Basidiomycète - Urédinale
HÔTES	Peupliers, Mélèzes + nbx hôtes alternants (selon espèces)
POSITION	Feuilles



Carte d'occurrence de
 dommages des rouilles à
Melampsora du peuplier en
 France
 Source : DSF

Biologie

Les *Melampsora*, au nombre de huit espèces actuellement identifiées en France, provoquent sur peuplier diverses rouilles dont certaines, pour accomplir totalement leur cycle, nécessitent la présence d'un deuxième hôte qui est, soit une plante herbacée, soit une essence forestière.

Les 3 espèces de *Melampsora* les plus connues sur peuplier sont :

- *Melampsora larici populina*
- *Melampsora allii populina*
- *Melampsora medusae* (plutôt au Sud de la France).

La rouille *Melampsora larici populina* (rouille du mélèze) est la plus problématique pour la populiculture française.

Pour cette espèce, il existe différentes formes appelées 'races' et qui sont au nombre de 7 (de E1 à E7). Chacune de ces races développe des « virulences » (capacités à infecter certains cultivars) particulières, ce qui les distingue.

Le cycle annuel respecte les phases suivantes :

Phase 1 : Infection des aiguilles du mélèze d'Europe au printemps

Quelques semaines après l'infection, se forment sur ces aiguilles de petites vésicules ovales, de couleur jaune (environ 1 mm) contenant des spores (**écidiospores stade I**). Ces spores ne peuvent développer leur action pathogène que si elles sont déposées (sous l'action du vent) sur des feuilles de peuplier où elles germent, le mycélium pénètre alors dans les tissus foliaires.

Phase 2 : De petites pustules orangées apparaissent au courant de l'été sur la face inférieure de feuilles de peuplier contenant des spores (**urédospores stade II**).

Ceux-ci peuvent rapidement contaminer l'arbre de feuille en feuille. Les feuilles tombées à terre à l'automne présentent de nombreuses ponctuations brun clair virant au noir (**téleutospores stade III**). Ils hivernent à ce stade. C'est sous cette forme que les mélèzes sont infectés au printemps.

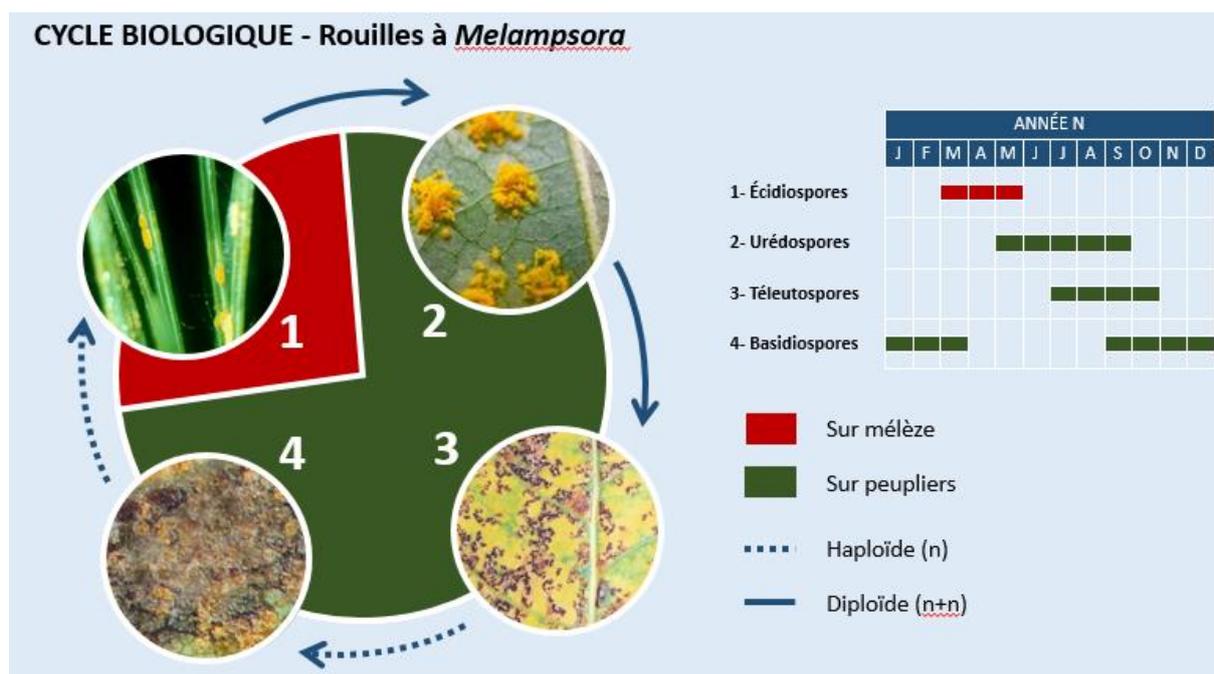


Figure 1 – Cycle biologique de *Melampsora larici populina*

Remarque : Du fait de la longévité des urédospores, la rouille peut se développer même en l'absence de l'hôte intermédiaire.

Symptômes et éléments de diagnostic

- Défoliation précoce (juillet-août)
- Feuilles sur l'arbre pendant l'été : pustules jaunes orangées (face inférieure)
- Feuilles à terre (en fin d'été – automne) : pustules brunes à noires (face inférieure).

Dégâts

Fanaison précoce, puis chute importante des feuilles. Si l'attaque se répète, il y a un risque de réduction de croissance et un mauvais aoûtement des pousses terminales soumises aux conditions de gel ou à d'autres attaques parasitaires.

La brunissure des feuilles (*Marssonina brunea*)



FRÉQUENCE	
AGRESSIVITÉ	
IMPACT	

SYSTEMATIQUE	Champignon - Ascomycète - Heliotiales
HÔTES	Peuplier (section Aigeiros, section Tacamahaca)
POSITION	Feuilles (pétioles, nervures), rameaux verts


 Nécroses foliaires provoquées par des infections de *Marssonina brunea* sur feuille de peuplier

Biologie

Le nom de la forme sexuée du champignon est *Drepanopeziza punctiformis* et le nom de la forme asexuée est *Marssonina brunea*.

Ce pathogène s'attaque principalement aux peupliers de la section Aigeiros (*P. nigra*, *P. deltoïdes* et leurs hybrides). *P. trichocarpa* est tolérant.

Le champignon hiverne sous sa forme sexuée dans les feuilles malades tombées au sol et sous sa forme asexuée dans l'écorce des rameaux contaminés de l'année précédente. Dès la reprise de végétation, les premières infections peuvent être réalisées par les deux formes hivernantes du pathogène. La forme sexuée produit des ascospores qui sont transportées par le vent et qui assurent

les contaminations à longue distance, alors que la forme asexuée fournit un grand nombre de conidies qui, en suspension dans l'eau de pluie, participe plutôt à la dispersion locale. Les contaminations se poursuivent pendant toute la période de végétation, chaque fois que les conditions climatiques sont favorables (forte humidité relative de l'air). Les spores peuvent germer sur le limbe foliaire, les pétioles ou les jeunes rameaux.

Sur les deux faces du limbe apparaissent des petites taches brunes de moins d'un millimètre de diamètre. Les tissus qui les entourent jaunissent puis brunissent quand les taches sont nombreuses, donnant à la feuille une couleur bronze caractéristique. Sur les nervures, les pétioles et les jeunes pousses, on observe des taches plus grandes et plus allongées, souvent qualifiées de pustules, au milieu desquelles apparaissent, par temps humide, des masses cireuses blanchâtres qui renferment les spores.

Facteurs prédisposants :

- présence de cultivars sensibles
- précipitations importantes, forte humidité atmosphérique
- températures moyennes de 12° C à 20° C.

Symptômes et éléments de diagnostic

- Aspect général : jaunissement du feuillage, chute précoce des feuilles (juin-juillet), aspect clairsemé du feuillage dans le 1/3 inférieur (la défoliation débute par le bas).
- Feuilles : au printemps, taches brunes arrondies (petites ponctuations : diamètre < 1 mm), tout d'abord éparées, puis confluentes, pour former des taches plus grandes.
- Autre : attaque forte ou clone sensible: atteinte également des pétioles, nervures et jeunes pousses de l'année avec la présence de pustules noires plus ou moins allongées.

Dommages et dégâts

- Défoliation partielle ou totale
- Sensibilité à des parasites de faiblesse (ex. *Cryptodiaporthe populea*,...)
- Chez les arbres adultes, diminution de production (Italie : environ 16 % pour l'ensemble des clones, jusqu'à 60 % pour les clones les plus sensibles)
- Chez les jeunes tiges : dépérissement et mort de l'arbre si les attaques sont répétées.

Les dégâts s'expriment d'abord par les branches basses et progressivement gagnent celles du dessus. Les feuilles atteintes, qui tombent précocement, présentent de petites taches brunes arrondies, généralement d'un diamètre inférieur au millimètre. La partie centrale de ces taches est plus claire et correspond avec la face inférieure. Ces taches, d'abord éparses, peuvent s'étendre. Les tissus environnants se décolorent, jaunissent et progressivement brunissent.

Des taches semblables se rencontrent aussi sur les pétioles, de même que sur les rameaux et sur les pousses terminales encore herbacées.

Dans des plantations très atteintes, on peut observer dès le mois de mai des feuillages réduits à un plumeau de feuilles dans la partie terminale.

De loin, les arbres atteints par la maladie sont reconnaissables : dans la première phase, par leur couleur verte moins intense, presque jaunâtre, et dans la phase suivante, par l'aspect moins dense du feuillage que prend la partie inférieure de l'arbre.

Cette défeuillaison a une répercussion d'autant plus importante sur la croissance de l'année que la chute des feuilles est précoce. Par ailleurs, elle a aussi une répercussion sur la végétation de l'année suivante celle de l'attaque. Elle détermine chez les sujets adultes un retard et une réduction du débourrage des bourgeons situés sur les branches basses dont plusieurs au cours du printemps meurent. Sur les jeunes plants atteints l'année précédente, il est à craindre une sensibilité accrue aux crises de transplantation, aux attaques de *Dotichiza populea* et autres champignons corticaux.

NB : avec les changements climatiques (augmentation des températures et périodes sèches), les conditions biologiques deviennent moins favorables au développement de ce champignon.

Confusion possible

En Europe, d'autres *Marssonina* peuvent attaquer les peupliers :

- *Marssonina castagnei*, sur feuilles (taches de 5 à 10 mm, blanc-gris), essentiellement sur tremble et peuplier grisard
- *Marssonina populi nigrae* : taches foliaires rondes (1 à 8 mm) sur peuplier noir

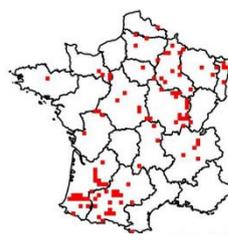
Dothichiza (Discosporium populeum, Cytospora chrysosperma)



Nécroses provoquées par *Discosporium populeum* (à gauche) et *Cytospora* (à droite) sur tiges de peuplier

FRÉQUENCE	■	■	■	■	■
AGRESSIVITÉ	■	■	■	■	■
IMPACT	■	■	■	■	■

SYSTEMATIQUE	Champignon - Ascomycète - Sphaeropsidale
HÔTES	Peupliers
POSITION	Tronc, branches



Carte d'occurrence de
dommages de *Dothichiza* en
France
Source : DSF

Biologie

Discosporium populeum :

- Les spores émises au niveau des fructifications sur une tige infectée sont véhiculées par le vent ou la pluie.
- L'infection est réalisée au niveau de blessures ou lésions de l'écorce. Le champignon envahit les tissus sous-jacents et provoque leur nécrose, ce qui engendre souvent une dépression des tissus.
- Les fructifications apparaissent au niveau de la nécrose.

Cytospora chrysosperma :

- Les pycnides apparaissent à partir du mois de février. Elles nécessitent, pour leur bonne formation, une température assez basse. Elles se rencontrent en très grand nombre à la surface infectée du sujet porteur et renferment une multitude de spores dont la viabilité s'étend sur plusieurs mois. Il existe donc une très grande possibilité de contamination. Les cirrhes sont émises à partir des pycnides quand les conditions hygrométriques sont favorables (élevées). La pollution est réalisée par des spores contenues dans les cirrhes, disséminées par le vent et la pluie.

- Une blessure (plaie de taille ou cicatrice foliaire) est nécessaire pour permettre l'implantation du champignon qui est incapable de se frayer un passage dans les tissus sains du végétal. Si l'arbre est placé dans de mauvaises conditions, la progression du mycélium finit par devenir annulaire. Par contre, si les conditions de croissance sont bonnes, la maladie finit par être circonscrite près du point de pénétration.

Symptômes et éléments de diagnostic

Discosporium populeum :

Nécrose brune déprimée et fendillement de l'écorce. Les nécroses peuvent devenir ceinturantes et causer la mort de la tige infectée.

Cytospora chrysosperma :

En début d'attaque :

- apparition sur l'écorce de taches de coloration brun-noirâtre,
- les tissus sous-jacents prennent une teinte noire, mate, uniforme.

Stades plus avancés :

- apparition de pycnides noires pourvues à leur sommet d'un ostiole,
- par temps pluvieux : expulsion de la pycnide d'un cordonnet muqueux (cirrhe) de couleur variable, jaune orangé à orange vif (en fonction de l'état hygrométrique).

Stade final :

- l'écorce se dessèche et se déchire en lanières,
- le bois vire progressivement au noir.

Dégâts

Discosporium populeum :

Le champignon est un parasite de faiblesse qui ne peut coloniser l'hôte qu'à la faveur d'un stress (sécheresse, inadaptation à la station, problème d'enracinement...). Le pathogène intervient uniquement dans un contexte défavorable. L'arrêt des conditions déclenchantes induit en général l'arrêt de l'extension du problème.

Cytospora chrysosperma :

Parasite de faiblesse ou de déséquilibre, on constate de gros dégâts essentiellement sur des jeunes plants installés dans de mauvaises conditions en pépinière ou en plantation.

- Mortalité de branches
- Mortalité de jeunes sujets en cas de forte contamination.

Les ravageurs

Chrysomèle du peuplier (Melasoma populi)



FRÉQUENCE	■	■	■	■	■
AGRESSIVITÉ	■	■	■	■	■
IMPACT	■	■	■	■	■

SYSTEMATIQUE	Insectes – Coléoptères - Chrysoméridés
HÔTES	Peupliers, Trembles
POSITION	Feuilles

▲
Adulte de Chrysomèle du peuplier (*Melasoma populi*)
sur feuille

Biologie

Deux à trois générations annuelles.

L'adulte hiverne dans la litière. Au débourrement, l'accouplement se fait sur les feuilles et la femelle dépose ses œufs orangés par groupes de 15 à 30 sur la face inférieure des feuilles. L'éclosion a lieu une dizaine de jours plus tard et les jeunes larves se nourrissent sur la feuille pendant un mois environ, puis se nymphosent sur place.

Les adultes, à leur sortie, s'envolent vers d'autres arbres où ils vont engendrer une deuxième génération (été) après avoir pratiqué des criblures de feuilles (repas de maturation). En fin de saison, les adultes de deuxième (voire troisième) génération se réfugient au sol pour hiverner.

Symptômes et éléments de diagnostic

- Adulte : coléoptère de 10 à 12 mm à élytres orangées et pronotum noir
- Larve : 12 à 15 mm (dernier stade), noirâtre devenant blanche avec des taches noires

Le décapage de feuilles par les larves aboutit à un aspect parcheminé (nervures respectées). Le grignotage par les adultes provoque une criblure des feuilles (petites perforations).

Dégâts

Larves et adultes consomment partiellement les feuilles. En cas de forte attaque, on assiste au dessèchement des feuilles ce qui peut provoquer l'affaiblissement des tiges colonisées.

Confusion possible

Avec des charançons phyllophages, ou d'autres chrysomèles (altises, ...).

Une autre espèce, *Melasoma tremulae*, d'aspect semblable mais plus petit (7 à 10 mm), occasionne des dégâts similaires sur tremble.

Grande Sésie (*Aegeria apiformis*)



Baubet © DSF

LM. Nagelisen ©

Adulte (à gauche) et larves (à droite) de grande Sésie (*Aegeria apiformis*)

FRÉQUENCE	■	■	■	■	■
AGRESSIVITÉ	■	■	■	■	■
IMPACT	■	■	■	■	■

SYSTEMATIQUE	Insectes – Coléoptères - Chrysomélidés
HÔTES	Peupliers, Trembles
POSITION	Feuilles
SYSTEMATIQUE	Insectes – Lépidoptère - Sésiidés
HÔTES	Peupliers, Bouleaux
POSITION	Colet, base du tronc

Biologie

Après accouplement, la ponte a lieu de la fin mai à la fin août, suivant les régions, isolément ou groupée à la base des troncs, au niveau du collet et parfois même sur le sol.

Les larves éclosent 2 à 3 semaines plus tard et creusent des excavations aux bords irréguliers dans l'écorce avant d'y hiverner. A la montée de la sève du printemps suivant, elles pénètrent dans le bois et creusent des galeries en général descendantes, irrégulières qui descendent parfois dans les racines. La larve hiverne dans sa galerie avant de se nymphoser au printemps suivant.

L'émergence se fait près du sol au cours de l'été et on voit fréquemment les mues nymphales qui restent engagées dans l'orifice d'émergence.

Symptômes et éléments de diagnostic

Les symptômes sont localisés à la base des troncs (souvent cachés par la strate herbacée) :

- cordon de sciure rougeâtre s'échappant d'un orifice ;
- orifice de sortie de l'adulte, circulaire, situé à l'extrémité supérieure de la galerie, qui laisse souvent voir la mue nymphale qui dépasse ;
- décollement de l'écorce sur quelques centimètres carrés.

Adulte : papillon mimétique d'un hyménoptère vespidé avec l'abdomen jaune à rayures noires, aux ailes transparentes, de 45 mm d'envergure

Larve : chenille avec 3 paires de pattes thoraciques, couleur blanc crème, tête marron, 50 à 60 mm en fin de développement.

Dégâts

C'est surtout en pépinières et dans les jeunes plantations que les attaques de Sésie peuvent être dommageables. Si de nombreuses galeries sont présentes à la base des plants, ces derniers peuvent se dessécher ou se casser.

La grande Sésie peut s'attaquer aussi à des arbres de plus grande dimension sur lesquels des attaques répétées peuvent "miner" le collet.

Facteurs de sensibilité :

- terrains enherbés, non entretenus ;
- arbres de pépinières ou jeunes plantations.

Confusion possible

Avec d'autres espèces d'insectes xylémophages en particulier la Grande Saperde (larve sans pattes thoraciques).

Grande Saperde (*Saperda carcharias*)



FRÉQUENCE	■	■	■	■	■
AGRESSIVITÉ	■	■	■	■	■
IMPACT	■	■	■	■	■

SYSTEMATIQUE	Insectes – Coléoptère - Cerambycides
HÔTES	Peupliers, Saules
POSITION	Tronc, grosses branches

Adulte (à gauche) et larve (à droite) de grande Saperde
(*Saperda carcharias*)

Biologie

Le développement de la Grande Saperde se prolonge généralement sur 2 ans, voire 3 ans. En juin-juillet, les adultes émergent et se portent sur le feuillage des peupliers dont ils se nourrissent.

De juin à septembre, après accouplement, la femelle dépose 30 à 40 oeufs isolément, le plus souvent dans la moitié inférieure du tronc, dans des encoches pratiquées à l'aide de ses mandibules dans l'écorce lisse ou dans les fissures de l'écorce. Sur des grands arbres, la ponte peut être réalisée sur les grosses branches. La première année, les oeufs hivernent. Ils donnent naissance au printemps suivant aux larves qui pénètrent dans le tronc. Elles cheminent tout d'abord entre le liber et l'écorce, puis pénètrent dans l'aubier en creusant dans un premier temps une galerie horizontale, puis une galerie verticale (à 90° par rapport à la précédente) vers le haut ou vers le bas. Les galeries ont une section ovale.

Après avoir hiverné, les larves se nymphosent en mai-juin, dans des logettes préparées à cet effet. La nymphose dure 3 à 4 semaines puis les adultes essaient.

En conditions climatiques fraîches (régions septentrionales ou de montagne), les larves ont un développement ralenti et peuvent hiverner un deuxième hiver.

Symptômes et éléments de diagnostic

- Boursoufflures provoquées par la déformation de l'écorce suite à l'activité larvaire
- Présence de copeaux assez grossiers au pied des arbres ou encore accrochés à l'écorce du tronc au niveau d'un orifice créé par la larve

- Suintements très visibles à partir des trous à la montée de la sève (la coloration peut subsister longtemps)
- Trous dans l'écorce presque ronds correspondant au trou de sortie de l'insecte adulte
- Exsudation de gommages.

La grande saperde est un coléoptère longicorne avec de longues antennes annelées et des élytres larges et ponctuées

- adultes : couleur grise avec des taches plus claires liées à une pubescence jaunâtre, 3 cm de long
- larves : apode, de couleur blanche, 2 à 4 cm de long et 1 cm de large.

Dégâts

Provoque dans toute l'Europe de graves dégâts dans les jeunes plantations de peupliers (5 à 25 cm de diamètre) et dans les pépinières.

- Dégâts directs : les grumes sont dépréciées et impropres au déroulage
- Dégâts indirects : la présence de nombreuses galeries dans de jeunes tiges entraîne une moindre résistance au vent des sujets et provoque des cassures.

Cet insecte cependant pullule rarement.

Confusion possible

Avec d'autres insectes xylémophages du peuplier en particulier la Sésie apiforme (Grande Sésie).

Petite Sésie (*Paranthrene tabaniformis*),



FRÉQUENCE	■	■	■	■	■
AGRESSIVITÉ	■	■	■	■	■
IMPACT	■	■	■	■	■

SYSTEMATIQUE	Insectes – Lépidoptère - Sésiidés
HÔTES	Peupliers, Saules
POSITION	Tronc de jeunes tiges, rameaux

▲
Adulte (à gauche) et larve (à droite) de grande Saperde
(*Paranthrene tabaniformis*)

Biologie

La ponte est effectuée en juin-juillet dans les anfractuosités de l'écorce de jeunes sujets de 1 à 3 ans, préférentiellement, ou d'arbres plus âgés au niveau de blessures.

Dès l'éclosion, la larve traverse l'écorce et pratique dans le bois une galerie longitudinale de 3 ou 4 cm. La tige réagit en formant une excroissance au niveau de l'attaque, ressemblant au bourrelet galliforme de petite saperde. La larve fore ensuite une galerie longitudinale dans le bois jusqu'en octobre où elle va se mettre en repos hivernal. A la reprise de végétation, les larves achèvent leur développement et retournent au niveau du trou de pénétration où elles aménagent leur berceau de nymphose. Les papillons émergent en fin de printemps.

Le développement complet est donc annuel, voire bisannuel lorsque l'émergence des parents a été retardée par des conditions climatiques défavorables (froid).

Symptômes et éléments de diagnostic

- Boursouffure de la tige et décollement de l'écorce autour d'un orifice de pénétration, avec cordon de sciure blanche
- Galerie médullaire pouvant atteindre 8 cm de long.

L'adulte est un papillon mimétique d'hyménoptère vespidé, avec un abdomen noir traversé de 3 ou 4 fines bandes jaunes, ailes transparentes, envergure jusqu'à 35 mm.

La larve est une chenille avec 3 paires de pattes thoraciques et 5 paires de fausses pattes, crème, à tête marron, taille de 25 à 35 mm en fin de développement.

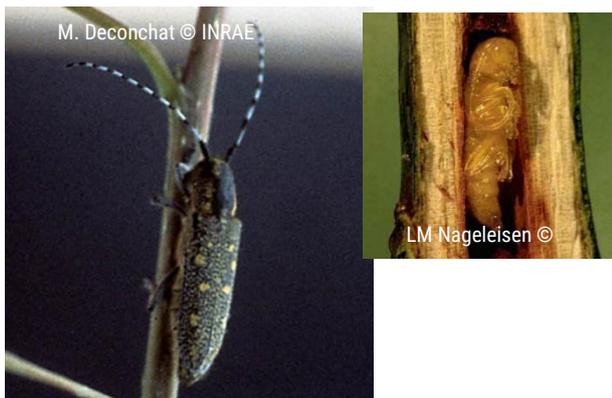
Dégâts

En pépinière et en jeune plantation essentiellement, avec risque de casse au niveau des galeries ou de dessèchement des plants en cas de forte attaque.

Confusion possible

Avec la grande Sésie (galerie plus large) au niveau des cépées et la petite saperde sur jeunes tiges ou rameaux.

Petite Saperde (*Saperda populnea*)



FRÉQUENCE	<div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #0070C0;"></div>	<div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #A9A9A9;"></div>			
AGRESSIVITÉ	<div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #0070C0;"></div>	<div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #A9A9A9;"></div>			
IMPACT	<div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #0070C0;"></div>	<div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #0070C0;"></div>	<div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #A9A9A9;"></div>	<div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #A9A9A9;"></div>	<div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #A9A9A9;"></div>

SYSTEMATIQUE	Insectes – Coléoptère - Cerambycides
HÔTES	Peupliers, Saules
POSITION	Tiges, rejets, petites branches

Adulte (à gauche) et nymphe (à droite) de petite Saperde (*Saperda populnea*)

Biologie

Le développement de la petite saperde se prolonge généralement sur 2 ans, voire 3 ans.

En mai-juin, les adultes émergent et se portent dans le houppier pour se nourrir des feuilles. En juin-juillet, après accouplement, la femelle dépose une centaine d'œufs, isolément, dans une cavité en forme de fer à cheval qu'elle pratique avec ses mandibules sur des rameaux de faible dimension (diamètre <3 cm). La réaction de l'arbre à l'incision provoque une réaction des tissus de la tige (galle) que la larve utilise comme première nourriture. Les larves éclosent en moins de 15 jours et commencent leur développement dans la tige en creusant tout d'abord une galerie semi-circulaire horizontale. En fin d'été, elles atteignent la moelle. Elles creusent alors une galerie centrale

ascendante dans laquelle elles hibernent. Le développement larvaire se poursuit ainsi une seconde année jusqu'en septembre-octobre.

Les larves se nymphosent alors à l'extrémité de la galerie creusée. La nymphose se poursuit après hivernage et l'adulte sort en mai-juin en creusant un trou circulaire.

Symptômes et éléments de diagnostic

- Présence d'incisions caractéristiques (branches du fer à cheval dirigées vers le haut)
- Apparition de renflements (les uns à la suite des autres, aspect de chapelet)
- Orifice circulaire de sortie.

La petite saperde est un petit coléoptère longicorne avec de longues antennes annelées. Chaque élytre porte 4 à 5 tâches plus ou moins nettes :

- les adultes sont de couleur noire avec des bandes et des tâches jaunâtres sur la tête et les élytres, longueur 10 à 15 mm ;
- les larves sont apodes, de couleur blanche, 20 mm de long en fin de développement.

Dégâts

Surtout préjudiciables aux pépinières et très jeunes plantations.

- La désorganisation des tissus provoquée par les galeries peut entraîner la dessiccation de l'axe et favoriser la rupture des tiges (vent, gel, givre...).
- Les dégâts peuvent servir de porte d'entrée à des agents pathogènes (*Dothichiza*, etc.).

Zeuzère (*Zeuzera pyrina*)



J-P. Grandjean ©



LM Nageleisen ©

Larve (à gauche) et adulte + enveloppe nymphale (à droite) de zeuzère (*Zeuzera pyrina*)

FRÉQUENCE	■	■	■	■	■
AGRESSIVITÉ	■	■	■	■	■
IMPACT	■	■	■	■	■

SYSTEMATIQUE	Insectes – Lépidoptère - Cossidés
HÔTES	Peupliers, Saules, chênes, frênes, hêtre, érables
POSITION	Tronc, grosses branches

Biologie

Une génération par an. Cette espèce est dotée d'un grand pouvoir de dissémination.

Au cours de l'été, la femelle dépose des oeufs jaune-rosé par petits paquets, dans les anfractuosités des branches ou des jeunes tiges, dans tous les endroits où elle peut introduire son abdomen.

Après éclosion, les jeunes chenilles se portent sur les feuilles puis les bourgeons et les pousses, où elles creusent une galerie médullaire en rejetant à l'extérieur des déjections roussâtres. Ces rejets sont souvent accompagnés d'exsudation de sève. Les chenilles effectuent au cours de leur développement 2 à 5 déplacements dans des rameaux de diamètre croissant pour pénétrer à partir de la fin septembre dans l'épaisseur des branches ou des troncs dans lesquels elle creuse une galerie verticale pour hiverner.

Après hibernation, la larve reprend son activité alimentaire début mai jusqu'à la nymphose à l'intérieur des galeries. Les papillons volent de juin à août.

Symptômes et éléments de diagnostic

- En été, dépérissement de la partie terminale d'une branche ou de l'axe principale d'une jeune tige qui sèche et casse parfois au niveau de la zone atteinte qui est entièrement évidée. Déjections jaunâtres des chenilles sur les parties jeunes de l'arbre (bourgeons, pousses, nervures, pétioles).
- L'observation de la chenille jaune clair tachetée de points noirs confirme le diagnostic mais il faut en général la chercher à l'intérieur du bois à l'aide d'un ciseau à bois.
- Les dépouilles nymphales restent souvent accrochées au niveau des orifices de sortie des adultes (fin du printemps, début été).

Papillon blanc avec des petites taches noires, d'assez grande taille (3 à 4 cm), les ailes sont disposées en toit au repos

Dégâts

- Sur des sujets d'âge moyen (8-10 ans), la présence des galeries provoque le dessèchement et la rupture des branches attaquées ; la croissance est ralentie et l'arbre affaibli
- En pépinière et jeune plantation, les dégâts sont beaucoup plus graves, la présence d'une seule chenille peut détruire l'axe principal et entraîner la mort de l'arbre
- Facteur de sensibilité : peupleraies ou plantations de feuillus précieux hors station ou affaiblies.

Confusion possible

- Au niveau des symptômes, confusions possibles avec d'autres lépidoptères xylémophages, en particulier les sésies sur saules et peupliers.
- La chenille et le papillon de zeuzère sont caractéristiques et peuvent être difficilement confondus avec d'autres espèces.

Cossus gâte-bois (Cossus cossus)



Adulte (à gauche) et chenille (à droite) de *Cossus gâte-bois (Cossus cossus)*

FRÉQUENCE	■	■	■	■	■
AGRESSIVITÉ	■	■	■	■	■
IMPACT	■	■	■	■	■

SYSTEMATIQUE	Insectes – Lépidoptère - Cossidés
HÔTES	Peupliers, tous feuillus
POSITION	Tronc, collet

Biologie

Le cycle du *Cossus* exige deux ou trois années. Les papillons sont nocturnes ; ils apparaissent depuis la fin juin, jusqu'à la mi-août.

Après accouplement, la femelle introduit ses œufs en paquets de 15 à 50 dans les anfractuosités de l'écorce en général sur la partie basse du tronc. La fécondité moyenne est importante, jusqu'à 500 œufs. Après une incubation de 12 à 15 jours et éclosion, les jeunes chenilles pénètrent sous l'écorce au niveau du collet et creusent, isolément ou en groupe, des galeries en plage.

Au printemps suivant, elles pénètrent plus profondément dans le bois et forent des galeries séparées d'un diamètre croissant, à section ovale, en remontant souvent dans le tronc. Les crottes et la sciure sont évacuées par l'orifice de pénétration régulièrement élargi. Les chenilles restent immobiles dans leur galerie pendant l'hiver et se nymphosent au printemps suivant au bout de la galerie larvaire, après s'être rapprochée de la partie externe du tronc, dans un cocon de soie. La nymphose dure 4 à 6 semaines à la suite desquelles émergent les papillons.

Symptômes et éléments de diagnostic

- Accumulation de sciure et d'excréments au pied de l'arbre
- Ecoulements le long du tronc
- Départ des galeries sinueuses dans le bois
- Trou de sortie de gros diamètre (1 à 1,5 cm)

- Chenille très caractéristique, couleur lie de vin, de grande dimension, pouvant atteindre 80 à 100 mm de longueur
- Papillon gris argenté à brun, mimétique de l'écorce, de grande envergure, 5 à 9 cm, les mâles sont plus petits que les femelles.

Dégâts

Les galeries de gros diamètre à la base du tronc (1 à 1,5 cm) peuvent entraîner la mort directe de l'arbre sur des jeunes tiges où s'il y a succession d'attaques sur des tiges plus grosses plusieurs années de suite mais surtout elles créent une zone de fragilité et rendent la tige sensible à la casse en cas de vent. Les sites enherbés sont plus sensibles.

Charançon de la patience (Cryptorhynchus lapathi)



Adulte de charançon de la patience (*Cryptorhynchus lapathi*)

FRÉQUENCE	<div style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #0070C0; border: 1px solid #000;"></div>	<div style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #0070C0; border: 1px solid #000;"></div>	<div style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #0070C0; border: 1px solid #000;"></div>	<div style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #A9A9A9; border: 1px solid #000;"></div>	<div style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #A9A9A9; border: 1px solid #000;"></div>
AGRESSIVITÉ	<div style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #0070C0; border: 1px solid #000;"></div>	<div style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #A9A9A9; border: 1px solid #000;"></div>	<div style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #A9A9A9; border: 1px solid #000;"></div>	<div style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #A9A9A9; border: 1px solid #000;"></div>	<div style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #A9A9A9; border: 1px solid #000;"></div>
IMPACT	<div style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #0070C0; border: 1px solid #000;"></div>	<div style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #0070C0; border: 1px solid #000;"></div>	<div style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #A9A9A9; border: 1px solid #000;"></div>	<div style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #A9A9A9; border: 1px solid #000;"></div>	<div style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #A9A9A9; border: 1px solid #000;"></div>

SYSTEMATIQUE	Insectes – Coléoptère - Curculionidés
HÔTES	Peupliers, saules, aulnes, bouleaux
POSITION	Tronc (de préférence parties basses)

Biologie

Cryptorhynchus lapathi est la seule espèce du genre *Cryptorhynchus* qui vit en Europe et plus précisément en France.

Selon les conditions climatiques, les adultes sortent d'hivernation et volent de mai à juin. Après accouplement, les femelles déposent généralement leurs œufs dans des perforations pratiquées dans l'écorce, à la base des troncs. La ponte peut se prolonger jusqu'en juin. Les œufs demeurent en diapause jusqu'au printemps de l'année suivante.

Dès leur éclosion, les jeunes larves débutent leur nutrition dans l'écorce puis dans le liber. Au fur et à mesure de leur développement, elles creusent leur galerie jusque dans l'aubier. En fin mai, la nutrition atteint son maximum. Peu de temps avant la nymphose, la larve recule dans sa galerie et s'immobilise à la face interne de l'écorce. Là, elle se nymphose.

L'adulte émerge en juillet et va se nourrir sur les rameaux jusqu'en octobre-novembre (en fonction des facteurs météorologiques) avant d'entrer en hibernation dans les anfractuosités de l'écorce ou la litière.

Symptômes et éléments de diagnostic

- Dans le bois : présence de galeries entremêlées, bourrées de sciure
- Sur le tronc : brunissement de l'écorce, faible quantité de sciure s'échappant vers l'extérieur si l'on découvre une galerie, trou de sortie circulaire
- Sur l'arbre : débourrement plus tardif, nanification des feuilles, aspect chétif du sujet.
- Adulte : charançon de 5 à 9 mm, coloration généralement noire, les élytres sont recouvertes d'écailles jaunâtres à blanchâtres sur le tiers postérieur, le rostre est fortement incurvé.
- Larve apode blanchâtre en forme de haricot, de 9 à 10 mm en fin de développement.

Dégâts

- Les larves occasionnent de lourds dégâts dans le bois de par leur activité xylémophage ; avec dépréciation de la grume et sensibilité aux bris de vent.
- Les adultes peuvent affaiblir les sujets jeunes de par leur nutrition à l'émergence.

Confusion possible

Avec les autres espèces d'insectes xylémophages du peuplier (saperdes, sésies).

Charançons phyllophages (*Phyllobius* spp, *Polydrusus* spp, *Strophomorus* spp, *Peritelus* spp...)



Inpn.mnhn©

Adulte de charançon phyllophage (*Phyllobius* sp)

FRÉQUENCE	■	■	■	■	■
AGRESSIVITÉ	■	■	■	■	■
IMPACT	■	■	■	■	■

SYSTEMATIQUE	Insectes – Coléoptère - Curculionidés
HÔTES	Toutes essences (feuillues et résineuses)
POSITION	Feuilles ou aiguilles

Biologie

Généralement, les espèces sont polyphages mais celles qui consomment des feuilles ne consomment pas d'aiguilles de résineux. Une espèce, *Stereonychus fraxini*, est spécifique des frênes.

Cycle annuel :

- Au printemps, apparition des adultes qui consomment des feuilles pour l'alimentation et la maturation sexuelle. Ils pondent d'avril à juin sur ou dans le sol,
- En été et automne, les larves souterraines, très polyphages, se nourrissent de racines diverses, puis se transforment en cocons dans le sol,
- En hiver, hibernation sous forme de larve ou de cocon.

Symptômes et éléments de diagnostic

Charançons à rostre court dont les adultes (de 4 à 8 mm de long) se nourrissent de feuilles ou d'aiguilles. Ce groupe comporte plusieurs dizaines d'espèces et seule la détermination d'adultes permet de préciser l'espèce en cause.

- Les adultes, aux couleurs souvent métalliques caractéristiques, sont visibles sur les feuilles mais se laissent souvent tomber au sol lorsqu'on les approche, rendant leur observation difficile.

- Certaines espèces de charançons dites « cigariers » découpent les feuilles et les enroulent en un tube qui protège le développement de leurs larves. Très fréquents, ils ne pullulent jamais et ne sont pas à l'origine de dommages forestiers.
- Chez les résineux, le bord des aiguilles est découpé en dents de scie, puis celles-ci se vrillent, jaunissent et se dessèchent.

Dégâts

- Les jeunes plantations sont particulièrement sensibles, en particulier celles de feuillus divers (érables, frêne...).
- Pullulations soudaines mais sporadiques et de courte durée.
- Affaiblissement des tiges attaquées.
- La faible durée de présence des adultes rend la lutte difficile à mettre en œuvre et peu pertinente.
- Dégâts racinaires (larves) sans conséquences dans le domaine forestier.

Puceron lanigère (Phloemyzus passerinii)



O. Baubet © DSF



FX_Sainfonge© DSF

FRÉQUENCE					
AGRESSIVITÉ					
IMPACT					

SYSTEMATIQUE	Insectes – Homoptère - Aphididés
HÔTES	Peupliers
POSITION	Tronc et branches


 Adulte de puceron lanigère du peuplier (*Phloemyzus passerinii*)

Biologie

Le puceron lanigère est une espèce qui effectue tout son cycle de développement sur peuplier. Le développement est en principe initié dès la fin mars par une série de femelles ovipares aptères. L'insecte développe du printemps à l'automne 10 à 12 générations parthénogénétiques. La

multiplication des colonies est maximale de mai à août lorsque les températures sont assez élevées. L'hivernation est assurée à partir du mois de novembre par des insectes qui s'abritent dans des anfractuosités de l'écorce du tronc et des racines superficielles.

Certains facteurs peuvent favoriser le développement des attaques de puceron lanigère :

- présence de clones sensibles (en France principalement I 214) ;
- températures comprises entre 18 et 24°C associées à une forte hygrométrie, à une diminution de la luminosité et à une faible circulation de l'air dans les peuplements.

Ces éléments expliquent que les attaques sont souvent concentrées dans les peupleraies fermées (âgées de 5 à 11 ans) ou dans les jeunes peuplements sous les protections contre le gibier, de type manchons plastique en spirale ou fendus.

Symptômes et éléments de diagnostic

- Puceron de couleur vert-jaune ou vert sombre suivant les stades, dissimulé sous d'abondantes sécrétions cireuses blanchâtres.
- Tronc recouvert d'un feutrage blanchâtre discontinu, constitué de traînées sinueuses suivant les irrégularités de l'écorce.
- Les attaques anciennes sont repérables car l'écorce qui a perdu son élasticité se craquelle aux endroits occupés par les anciennes colonies (" symptômes en peau de lézard ").

Dégâts

Les dégâts sont surtout liés aux toxines injectées dans l'arbre au moment de la prise de nourriture.

On constate dans les peuplements colonisés :

- des mortalités en cas d'attaques précoces et massives ;
- un affaiblissement prédisposant les peupliers aux attaques de pathogènes ou ravageurs secondaires (*Dothichiza*, *agriles*) ;
- une sensibilité accrue aux coups de vent.

Les mammifères

Dégâts de rongeurs



Plusieurs espèces de rongeurs peuvent provoquer des dégâts le plus souvent sur jeunes peupliers. Alors que le campagnol terrestre (*Arvicola terrestris*) a pour habitude de consommer les racines des plançons, le campagnol roussâtre (*Clethrionomys glareolus*) écorce les parties aériennes de tiges à différentes hauteurs. Plus fréquemment constatés, les dégâts de campagnol agreste (*Microtus agrestis*) localisés aux collets des

plançons, restent néanmoins les plus préjudiciables sur le plan économique car ils sont susceptibles d'entraîner la mortalité rapide d'une plantation en cas d'explosion de population.

La lutte curative par le contrôle des populations est inopérante. En revanche, de manière préventive, il convient de garder en mémoire que l'andainage des rémanents ou encore le maintien d'une couverture herbacée dense au pied des plants seraient susceptibles de constituer un refuge idéal pour le développement des rongeurs. D'autre part, les dégâts les plus importants sont souvent observés lors d'hivers abondamment neigeux.

L'écureuil roux ou encore le ragondin sont également signalés à l'origine de dégâts parfois conséquents.

Dégâts de gibier

Les dégâts de gibiers sont graves car ils sont fréquemment cumulatifs et localisés. Abroutissements, frottis, écorçages, renversements de plants, sont des dégâts bien connus des forestiers, qui peuvent mettre en péril la valeur d'avenir d'une plantation (pertes de croissance, pourritures, chablis...) et entraîner des surcoûts importants (protections, regarnis, surveillance, déclassement des bois...).



Qu'il s'agisse de chevreuil, cerf, sanglier ou encore lapin, les dégâts de gibier résultent soit d'une surpopulation (les effectifs sauf lapin ? sont en constante augmentation), soit d'une inadaptation du milieu (nourriture insuffisante, l'hiver par exemple).

Préventivement, la restauration d'un bon équilibre sylvo-cynégétique, améliorée par une populiculture adaptée (cultivars diversifiés, bonne répartition des classes d'âges, gagnages...), peut limiter les dégâts. Cependant, des protections sont souvent nécessaires pour les jeunes plantations. Clôture, manchons de grillage, filets plastiques individuels, sont des dispositifs efficaces de protection les plus fréquemment utilisés en populiculture.

Les problèmes plurifactoriels - Les dépérissements

Définition

Le dépérissement d'une peupleraie, est défini par son caractère lent et progressif dans le temps mais également par des causes multiples, définies sous forme de « facteurs » :

Si les arbres meurent très rapidement à la suite d'un accident ponctuel ou de l'atteinte directe d'un parasite primaire, et qu'il n'est pas possible d'identifier de facteurs prédisposants et aggravants, on parlera de « mortalité » et non de « dépérissement ».

Les dépérissements se manifestent par une détérioration progressive de l'état de feuillaison des arbres, le plus souvent en conséquence de mortalités et pertes de ramifications (rameaux, branches...) occasionnées par des stress. Les phénomènes de résilience fréquents chez les autres essences forestières (émission de suppléants participant à la reconstitution du houppier après des périodes de dégradation), sont plus rarement observés sur peupliers. Par conséquent, les dépérissements sont délétères pour la survie des arbres à longs termes.



Exemple de processus de dépérissement sur peupliers :

Facteurs du dépérissement	Causes	Éléments de diagnostic
Facteurs prédisposants conditions dans lesquelles ont poussé les arbres et pouvant les rendre vulnérables aux aléas.	Déséquilibre physiologique. Travaux de désherbage insuffisants Mauvaise mise en place des plançons Peuplement âgé et/ou peu vigoureux Excès de calcaire actif pour certains cultivars ?	Stations déficitaires en eau Concurrence herbacée forte Déchaussement des plançons Lichens sur les branches, croissance sur la circonférence < 5cm
Facteurs déclenchants événements ponctuels (aléas) provoquant des stress et un affaiblissement des arbres	Sécheresse, stress hydrique, grands froids ou froid brutal après une période de douceur Attaques de défoliateurs Attaques répétées de rouille Attaques répétées de puceron lanigère Dégâts de mammifères	Coloration anormale du feuillage Pertes foliaires importantes en été Mortalité de rameaux fins Chute prématurée des feuilles ou rameaux en automne
Facteurs aggravants Atteintes consécutives à un affaiblissement et engageant le pronostic vital de l'arbre à court terme	Attaques de <i>Dothichiza</i> , <i>Cytospora</i> Attaques d'autres parasites de faiblesse (Armillaire, agriles...).	Nécroses sur les rameaux, branches et/ou tronc Pourriture au pied ou des racines Présence de Gui

Etat des lieux des problèmes phytosanitaires en Hauts-de-France.

Matériel et méthodes

Le Département de la Santé des Forêts enregistre les observations de son réseau de correspondants-Observateur depuis sa création en 1989. En 2007, la stratégie de recueil des données a évolué pour traiter les problématiques rencontrées selon différentes approches et protocoles standardisés.

Toujours en vigueur aujourd'hui, cette stratégie s'articule selon 3 axes :

- 1- **Axe « veille sanitaire »** dont l'objectif consiste à enregistrer tous les problèmes occurants à l'occasion des missions de terrain des correspondants-Observateurs, quelle que soit essence. Cet axe recourt à une fiche standardisée de signalement (fiche V) utilisable quelle que soit le problème et l'essence rencontrés.
- 2- **Axe « Suivis spécifiques »** dont l'objectif consiste à caractériser et suivre dans le temps de manière plus approfondie certains problèmes ciblés. Cet axe repose sur différents protocoles élaborés pour répondre spécifiquement aux questionnements posés. Ces protocoles sont systématiquement accompagnés d'une fiche de terrain et d'une base de données qui leur sont propres. Ils font le plus souvent l'objet d'installation de placettes de terrain. Les dispositifs de terrain peuvent être ponctuels dans le temps, mais lorsqu'un objectif de suivi temporel est nécessaire (selon la problématique ou le questionnement), ils peuvent aussi être semi-permanents (quelques années dans le cas d'enquêtes) ou permanents (placettes suivies sur de longues séries > 10 ans).

Parmi les protocoles de suivi spécifique, on peut citer le suivi des jeunes plantations de l'année, les suivis statistiques détaillés, les suivis de Processionnaire du pin. A cela s'ajoutent de nombreuses enquêtes semi-permanentes qui enrichissent la base de données sur plusieurs sujets comme la Chalarose du frêne, les dépérissements, la Cécidomyie du douglas, la Maladie des bandes rouges du pin, notamment. Concernant les peupliers, des suivis spécifiques ont été entrepris de 2007 à 2016 sur les pathogènes foliaires et de 2016 à aujourd'hui sur tous les problèmes sanitaires les plus courants de l'essence.

- 3- **Axe « Surveillance du territoire »** dont l'objectif consiste à une détection de certains agents de dommages très ciblés (le plus souvent biotiques : d'origine pathologique ou entomologique) lorsque ceux-ci sont considérés absent du territoire mais dont l'enjeu ou le risque qu'ils représentent, justifient d'une recherche systématique. Cet axe concerne plus

particulièrement les organismes réglementés (ayant un statut de quarantaine notamment) faisant l'objet de plan ou de mesures réglementaires particulières (lutte notamment).

Les enregistrements de la base de données du DSF liés aux peupliers de 2007 à 2021 sur la totalité du territoire national, représentent 4892 observations recueillant 9736 mentions de problèmes et/ou symptômes.

	Veille sanitaire	Suivis spécifiques				Surveillance du territoire	Total
		Plantation	Fiches détaillées	Pathologie foliaire des peupliers	Puceron lanigère du peuplier		
Auvergne-Rhône-Alpes	191	172		121	12	6	502
Bourgogne-Franche-Comté	290	127	7	212	93	9	738
Bretagne	78	16				1	95
Centre-Val de Loire	344	186	4	13	34	7	588
Grand Est	437	179	5	94		6	721
Hauts-de-France	225	124		49		59	457
Ile-de-France	37	13			13	3	66
Normandie	29	13					42
Nouvelle-Aquitaine	466	217	1	89	91	8	872
Occitanie	265	193	6	42	81	3	590
Pays de la Loire	158	29	4	8	4	8	211
Total	2530	1269	27	628	328	110	4892

Figure 2 ci-dessous- Ventilation des occurrences par type de suivis, enregistrées dans la base DSF de 2007 à 2022, concernant les peupliers

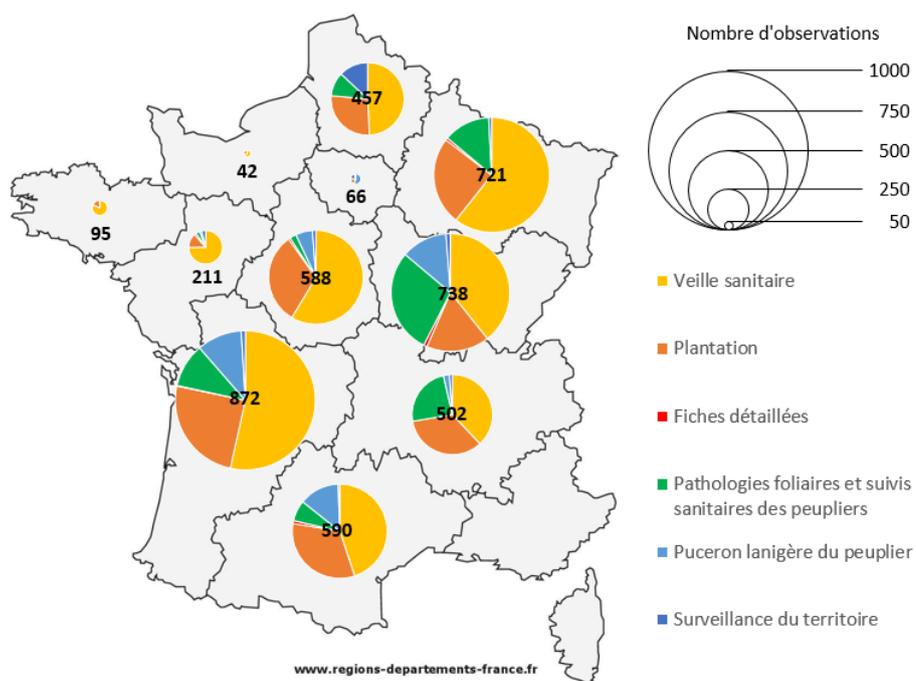
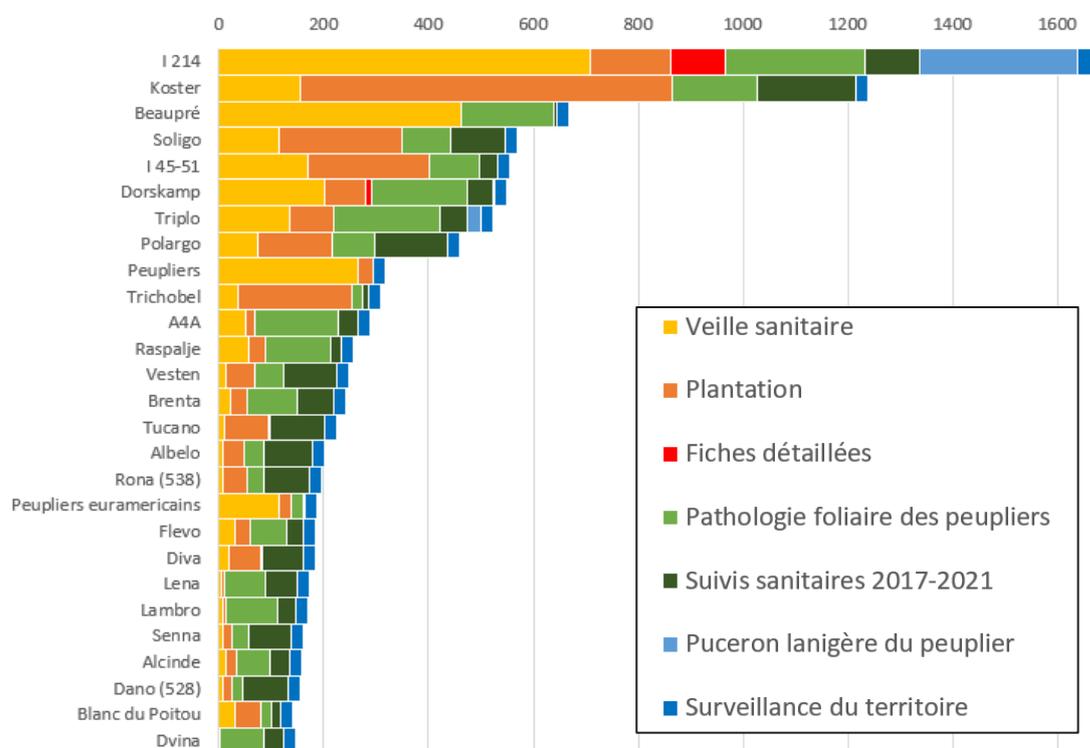


Figure 3 – Ventilation du nombre d’occurrence par type de suivis et par cultivars, sur l’ensemble des enregistrements de la base DSF de 2007 à 2022.



Chaque type de suivi de la stratégie du DSF possède des champs de données et caractéristiques protocolaires qui lui sont propres. Cela limite les possibilités d’analyses qui sont susceptibles d’être produites pour l’étude.

Par ailleurs, tous les cultivars ne présentent pas le même niveau d’échantillon (cf Figure 3), invitant à considérer la puissance statistique et les intervalles de confiance de chaque analyse envisagée.

La suite du chapitre explore les possibilités d’analyse tenant compte de l’ensemble de ces contraintes. Un soin particulier d’illustration des échantillons travaillés est régulièrement apporté dans différentes analyses réalisées, dans l’objectif de caractériser la fiabilité des résultats.

Pour répondre aux besoins de l’étude, les plupart des analyses ont été réalisées au niveau régional (données Hauts-de-France uniquement). Mais lorsque la significativité de l’échantillon régional était insuffisante, il a parfois été choisi d’élargir le jeu de données au niveau national. C’est le cas pour l’étude des problèmes abiotiques (profitant de signaux plus contrastés à la faveur de la variabilité climatique plus élevée sur l’ensemble du territoire national), mais aussi pour l’étude de l’impact des problèmes sur la productivité et la croissance (nombre de populeta suivis et répétitions par cultivars insuffisants en Hauts-de-France uniquement).

		TYPES DE SUIVIS						
		Veille sanitaire	Plantation	Fiches détaillées	Pathologies foliaires	Suivis populeum	Puceron lanigère	Surveillance du territoire
CARACTERISTIQUES ECHANTILLONS/SUIVIS	Représentativité des cultivars		Restreinte	Très restreinte	Large	Restreinte	Restreinte	Restreinte
	Représentativité de l'âge de peuplements		Très restreinte	Très restreinte	Large	Restreinte	Restreinte	Restreinte
	Représentativité des problématiques		Restreinte	Très restreinte	Large	Restreinte	Très restreinte	Restreinte
	Représentativité spatiale		Large	Très restreinte	Très restreinte	Très restreinte	Large	Restreinte
	Récurrence, temporalité des suivis	Très restreinte	Restreinte	Restreinte	Complète	Complète	Restreinte	Très restreinte
VARIABLES	% tiges atteintes	Partiellement disponible ¹	Partiellement disponible ¹	Partiellement disponible ¹	Partiellement disponible ¹	Partiellement disponible ¹	Partiellement disponible ¹	Partiellement disponible ¹
	Sévérité	Partiellement disponible ¹	Indisponible	Partiellement disponible ¹	Partiellement disponible ¹	Partiellement disponible ¹	Partiellement disponible ¹	Partiellement disponible ¹
	% de mortalité	Partiellement disponible ¹	Partiellement disponible ¹	Partiellement disponible ¹	Partiellement disponible ¹	Partiellement disponible ¹	Partiellement disponible ¹	Partiellement disponible ¹
	Circonférence/diamètre	Indisponible	Indisponible	Indisponible	Partiellement disponible ¹	Partiellement disponible ¹	Partiellement disponible ¹	Indisponible
POSSIBILITES D'ANALYSES	Occurrences simples/Fréquence	Possible ²	Possible ²	Impossible	Impossible	Impossible	Impossible	Possibles mais fiabilité limitée ²
	Sévérité/Prévalence	Possible ²	Impossible	Possible ²	Possible ²	Possible ²	Possible ²	Possibles mais fiabilité limitée ²
	Impact sur la vitalité	Possibles mais fiabilité limitée ²	Possibles mais fiabilité limitée ²	Possible ²	Possible ²	Possible ²	Possible ²	Possible ²
	Impact sur la croissance/productivité	Impossible	Impossible	Impossible	Possibles mais fiabilité limitée ²	Possible ²	Possibles mais fiabilité limitée ²	Impossible
LEGENDE								
CARACTERISTIQUES ECHANTILLONS ET SUIVIS			VARIABLES			POSSIBILITES D'ANALYSES		
	Très restreinte		Indisponible		Impossible		Complète	
	Restreinte		Partiellement disponible ¹		Possibles mais fiabilité limitée ²		Large	
	Large		Disponible		Possible ²		Restreinte	
	Complète						Très restreinte	
			(1) série temporelle incomplète			(2) selon problématiques et cultivars		

Étude d'occurrence et de prévalence.

En premier lieu, il est intéressant de constater que le nombre d'observations concernant le peuplier, enregistré dans la base de données du DSF depuis 2007 se répartit de manière contrastée entre les différents départements de la région, en cohérence avec l'enjeu que le peuplier y représente (superficies populicoles en corrélation). **Il est aussi intéressant d'observer que les problèmes d'origine entomologique représentent 44% des observations sur la période, contre 26% pour les problèmes abiotiques et 21% pour les problèmes pathologiques.**

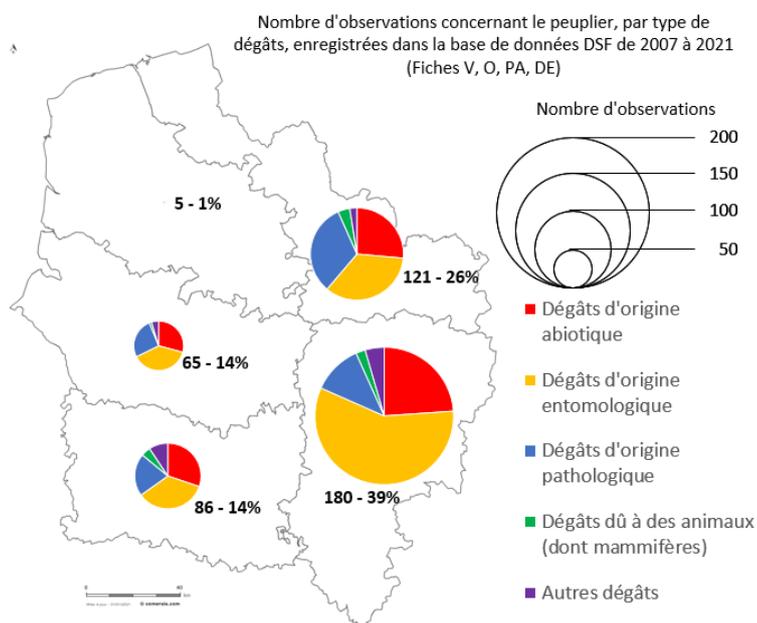


Figure 4 – Nombre d'observations concernant le peuplier, par type de dégâts, enregistrées dans la base DSF de 2007 à 2021 (Fiches V, O, PA, DE)

Mais ce constat n'a pas toujours été le même dans le temps. Les données montrent en effet une **progression significative de l'occurrence des problèmes entomologiques** sur la période, alors que les problèmes pathologiques semblent montrer une tendance inverse. Les problèmes abiotiques illustrent quant à eux une tendance plutôt stable, avec des variations interannuelles pouvant être importantes (liées à la fréquence et l'intensité des aléas climatiques ayant été significativement impactant pour l'essence)

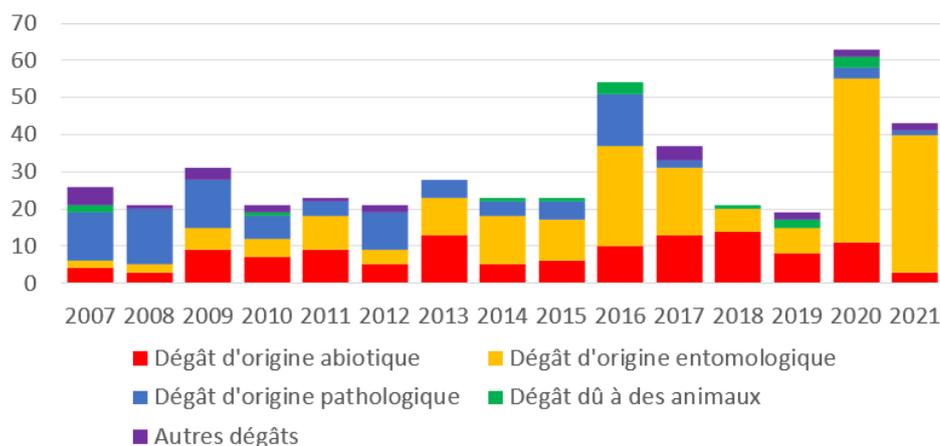


Figure 5 – Evolution du nombre d’observations concernant le peuplier, par type de dégâts, enregistrées dans la base DSF de 2007 à 2021 en Hauts-de-France (Fiches V, O, PA, DE)

Pour limiter les biais, les analyses d’occurrences présentées ci-après utilisent principalement les données de la base des signalements DSF enregistrées en région Hauts-de-France dans le cadre des stratégies « veille sanitaire » (fiches V) et « surveillance du territoire » (fiches O) sur la totalité de la période disponible (2007 à 2021). Cela représente 225 observations au total.

Les problèmes phytosanitaires ont toujours été observés sur les peupliers de culture, quel que soit le cultivar. Ils semblent néanmoins assez logiquement plus fréquents dans les bassins populaires bien connus de la région (vallées de l’Aisne, de l’Oise, de la Somme, de la Marne, de l’Escaut et de la Sambre). Les signalements enregistrés dans la base DSF depuis 2007 (tous problèmes cumulés) illustrent bien ce constat de départ (voir figure 6)

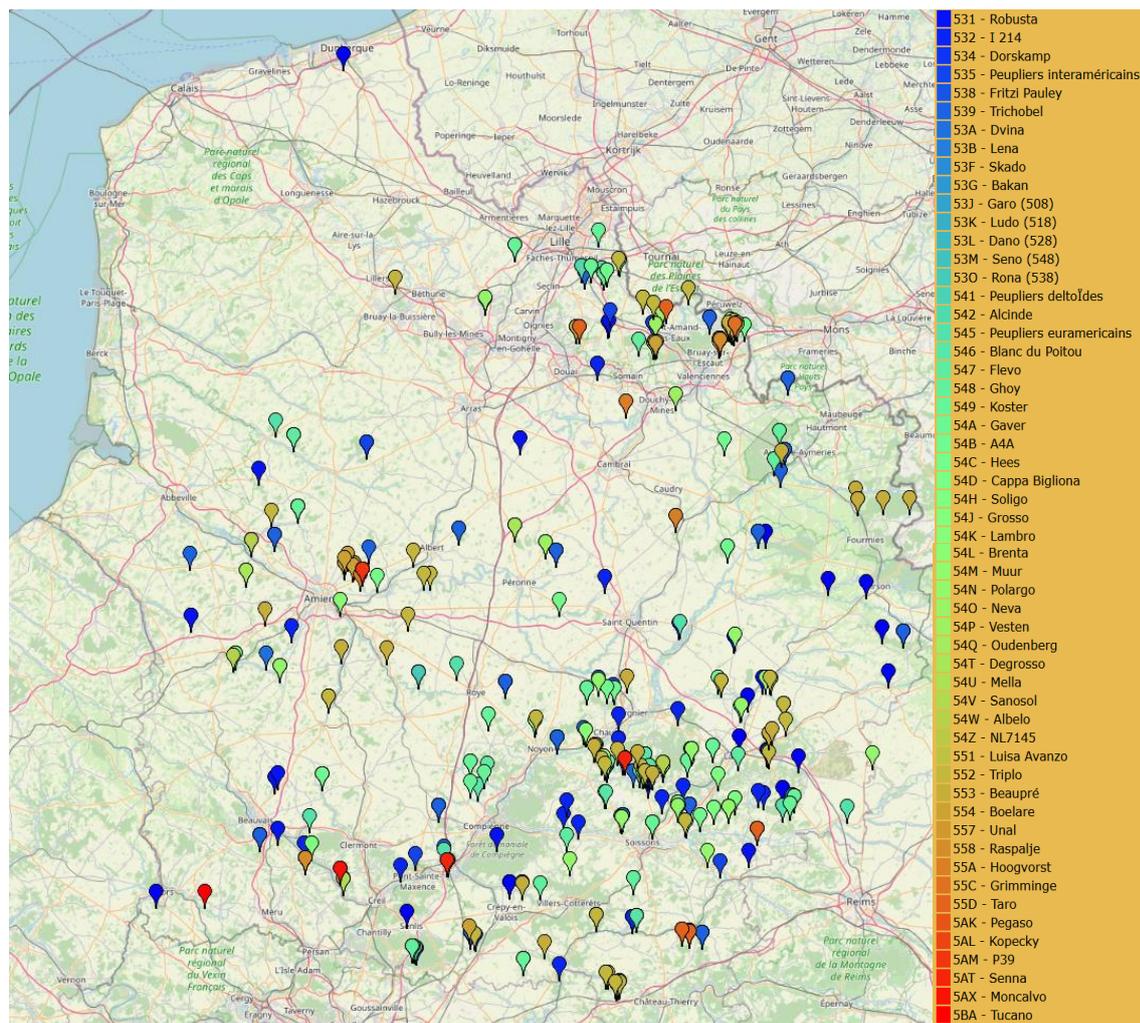


Figure 6 - Carte de localisation des signalements sur peupliers enregistrés de 2007 à 2021 dans le cadre des axes « veille sanitaire » et « surveillance du territoire » de la stratégie du DSF

Néanmoins, seule une dizaine de problèmes concerne plus de 90% des signalements. Parmi eux, le **Puceron lanigère** représente une préoccupation surpassant très nettement les autres sujets. Les événements abiotiques (bien souvent liés à des extrêmes climatiques), ou encore les quelques pathogènes bien connus sur peuplier (rouille, *Marssonina*...) et ravageurs (défoliateurs, insectes xylophages...) marquent également significativement les statistiques par leur fréquence, comme par leur sévérité (voir figure 7)

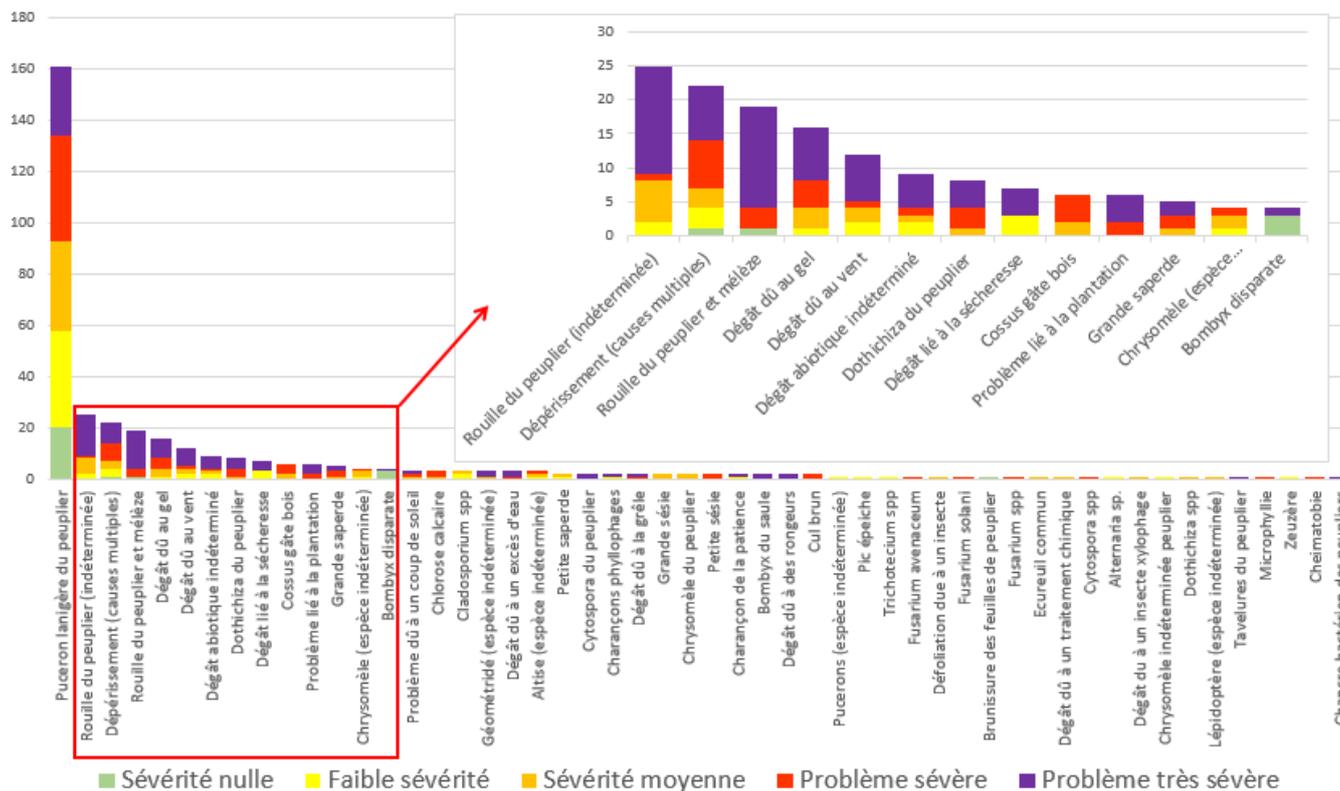


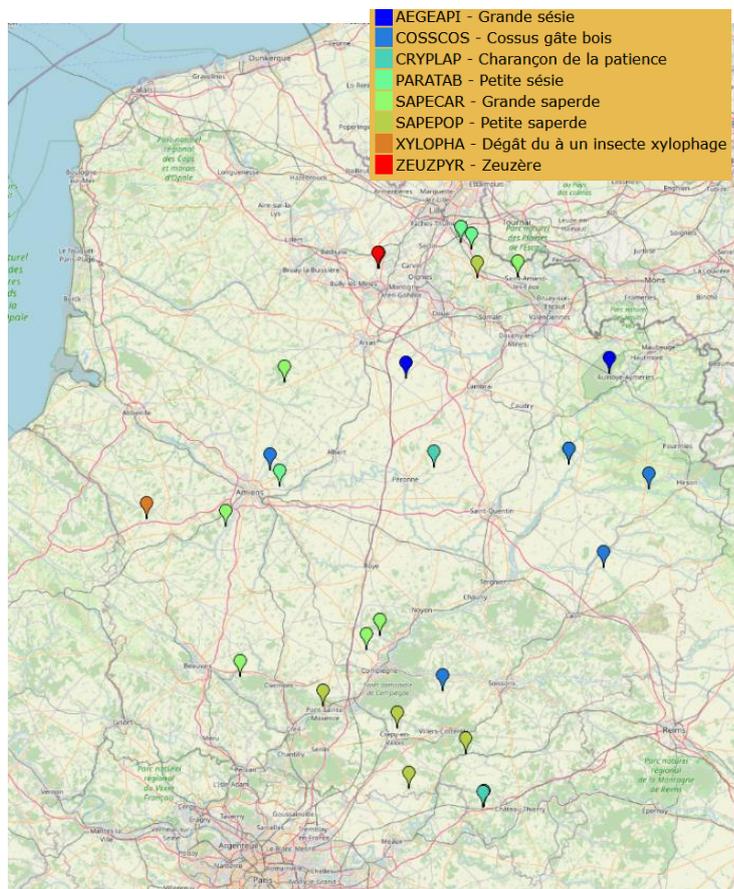
Figure 7 – Fréquence d'occurrence et sévérité des problèmes phytosanitaires des signalements de peupliers enregistrés dans la base DSF en Hauts-de-France de 2007 à 2021

L'ensemble de ces données collectées durant de longues périodes, a permis de caractériser au gré des années, le profil des cultivars concernés en dressant notamment leur niveau de vulnérabilité (sensibilité-tolérance) aux différents aléas sanitaires auxquels ils ont été exposés par le passé.

La suite du chapitre présente quelques conclusions portant sur les problématiques ayant fait l'objet de suivis spécifiques plus approfondis en rapport aux enjeux qu'elles ont pu représenter.

En dehors des quelques aléas biotiques d'enjeu majeur (Rouille, Puceron lanigère détaillés dans les chapitres suivants), la plupart des aléas restent globalement rares ou anecdotiques, bien que certains cas fassent de temps en temps émerger localement une problématique d'enjeu important (lié à une sévérité élevée) mais toujours circonscrit.

Insectes xylophages



Parmi les insectes xylophages, le Cossus gâte-bois (*Cossus cossus*) et la grande Saperde (*Saperda carcharias*) ont été les plus signalés depuis 2007, occasionnant des dégâts modérés. La grande Sésie (*Aegeria apiformis*) et le Charançon de la patience (*Cryptorhynchus lapathi*) ont, de manière plus anecdotique, manifesté des dommages parfois sévères.

Figure 8 – Signalements d'insectes xylophages sur peupliers enregistrés de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

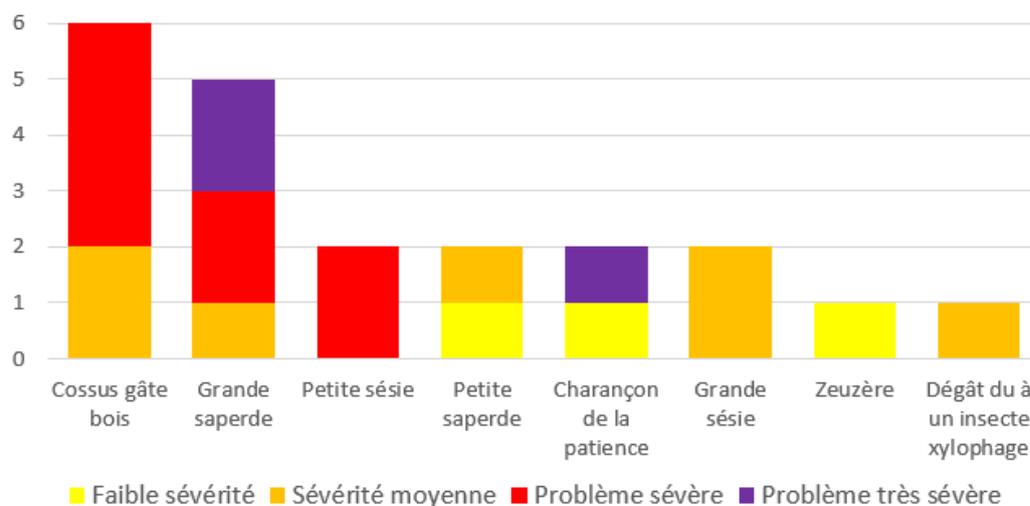


Figure 9 – Fréquence d'occurrence et sévérité des signalements d'insectes xylophages et cambioxylophages sur peupliers enregistrés de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

Pathogènes



Hauts-de-France

Après la Rouille, ce sont les *Dothichiza* ou *Cytospora* dont on enregistre la fréquence et la prévalence avec des dommages sévères au regard de leur rôle de parasites de faiblesse et des phénomènes de mortalités qu'ils entraînent.

Les autres cas mentionnant des champignons ou maladies, concernent en général des pathogènes foliaires parmi lesquels on discerne la brunissure des feuilles (*Marssonina brunea*) ou encore certaines anthracoses et tavelures...

Figure 10 - Signalements de pathogènes sur peupliers enregistrés de 2007 à 2021 en

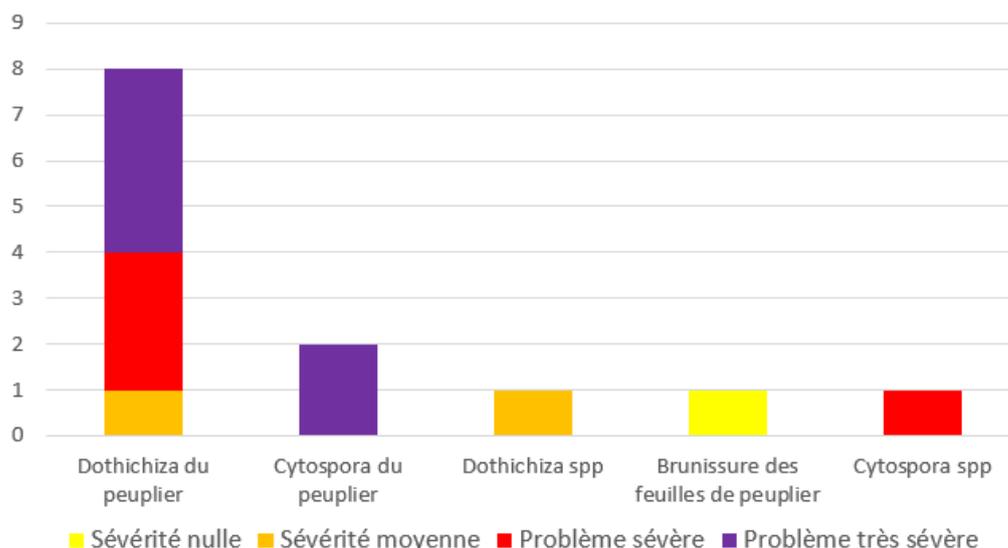
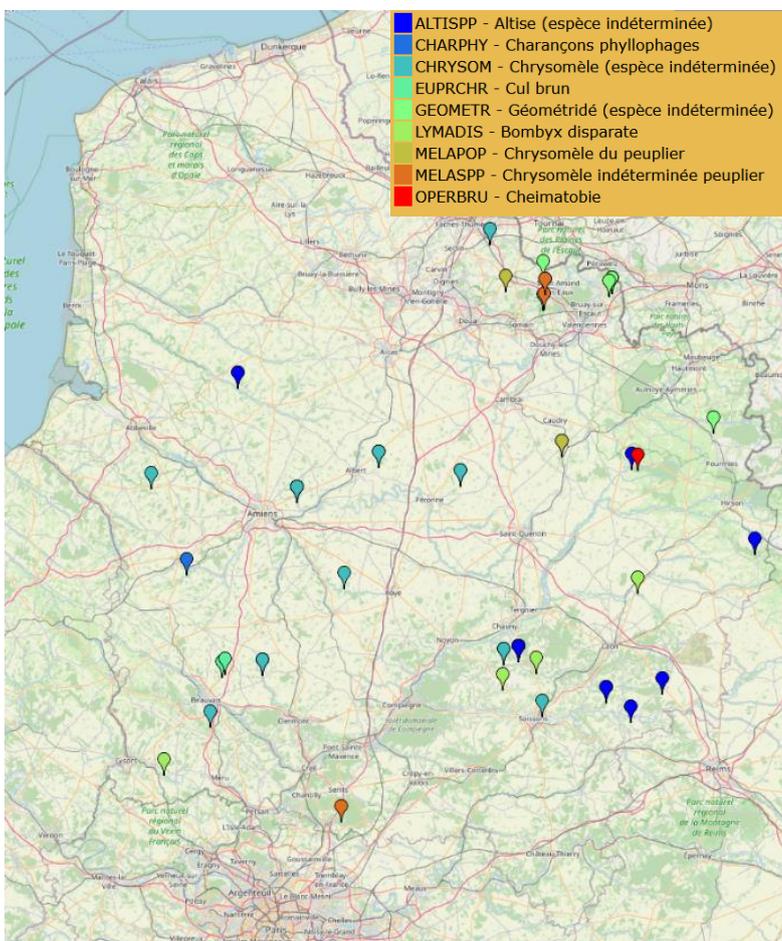


Figure 11 – Fréquence d'occurrence et sévérité des signalements de pathogènes sur peupliers enregistrés de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

Défoliateurs



Les défoliateurs sont également fréquents sur peupliers. Les chrysomélidés (dont altises) représentent les préoccupations les plus fréquentes en la matière. Plus rare, le Bombyx du saule (*Leucoma salicis*) peut occasionner des dégâts sévères dans certains contextes. A noter qu'en dehors de toutes les autres essences feuillues et résineuses qu'ils affectionnent, les charançons phyllophages représentent parfois une source d'inquiétude sur peupliers (notamment dans les phases d'installation des reboisements)

Figure 12 - Signalements d'insectes défoliateurs sur peupliers enregistrés de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

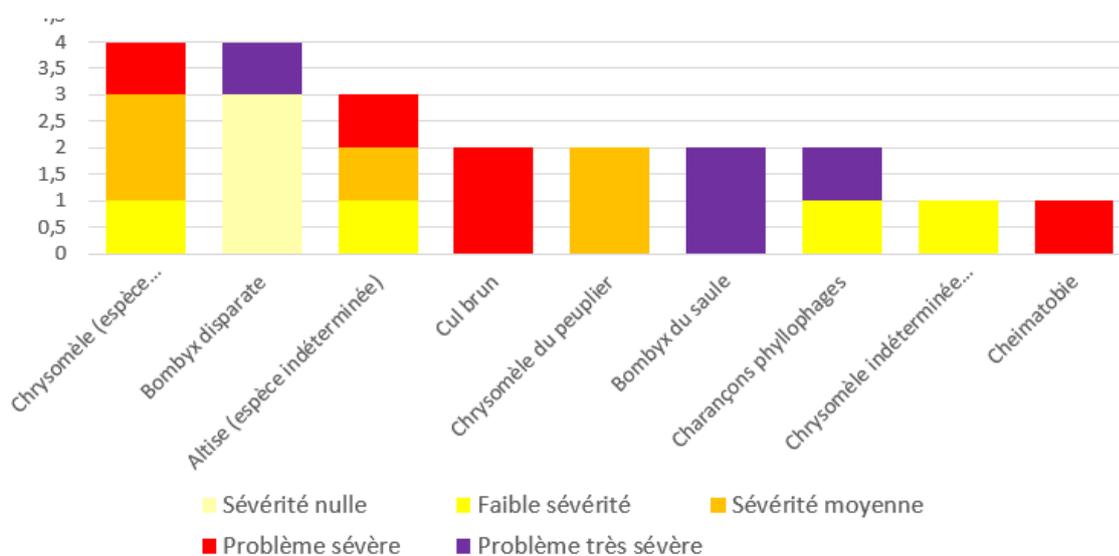


Figure 13 – Fréquence d'occurrence et sévérité des signalements d'insectes défoliateurs sur peupliers enregistrés de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

Dégâts d'origine climatique

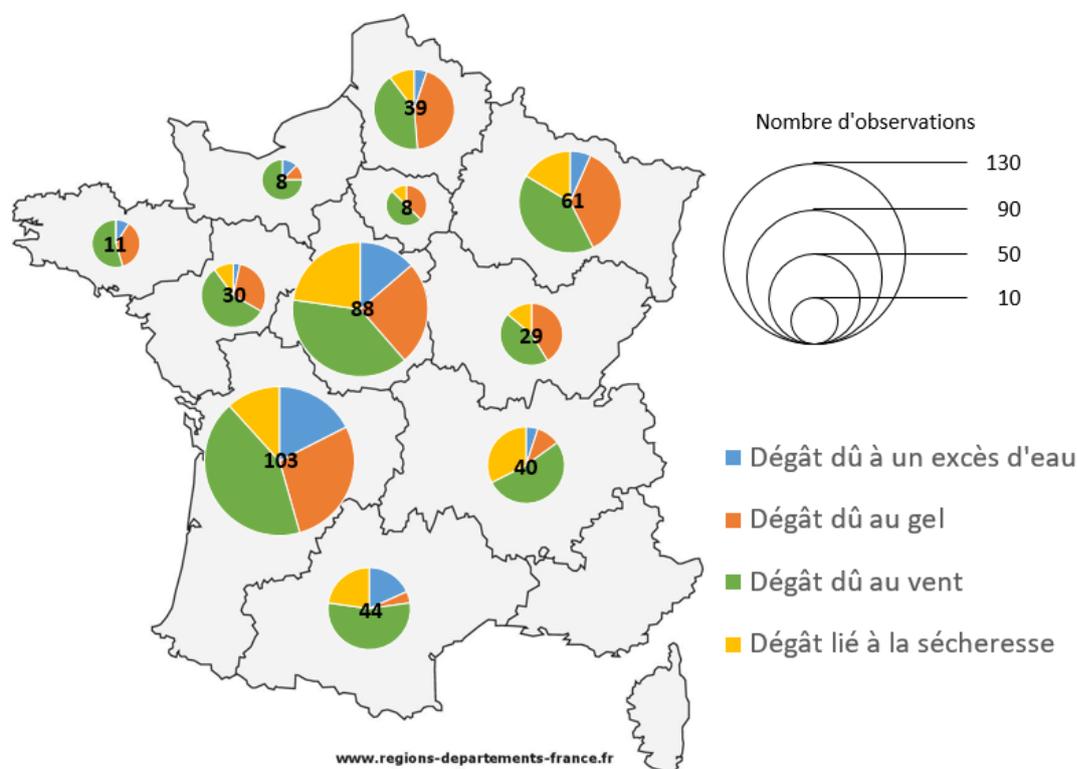


Figure 14 – Ventilation des occurrences par type de dégâts d'origine climatique. Source : base de données du DSF de 2007 à 2021

Avec 461 observations recensées dans la base DSF depuis 2007, les peupliers montrent également une sensibilité aux aléas abiotiques, le plus souvent suite à des épisodes extrêmes climatiques qui révèlent à chaque fois les caractères autécologiques des cultivars.

Même si globalement, le peuplier jouit d'une stratégie d'adaptation des cultivars qui limite le plus souvent la vulnérabilité des schémas de populiculture régionaux, les signaux observés renvoient néanmoins des tendances cohérentes. Alors que les dégâts liés à la sécheresse sont sensiblement plus marqués sous les climats à caractères méditerranéen et continentaux, les dégâts de gel sont plus fréquents dans les régions septentrionales. Quant au vent, il n'épargne que peu de contextes, dans la mesure où l'essence reste systématiquement fragile face à cet aléa et que c'est plutôt l'exposition locale qui représente le premier facteur explicatif de ce type de dégât (position topographique de plateau ou configuration et orientation des vallées dans lesquelles les parcelles sont implantées...).

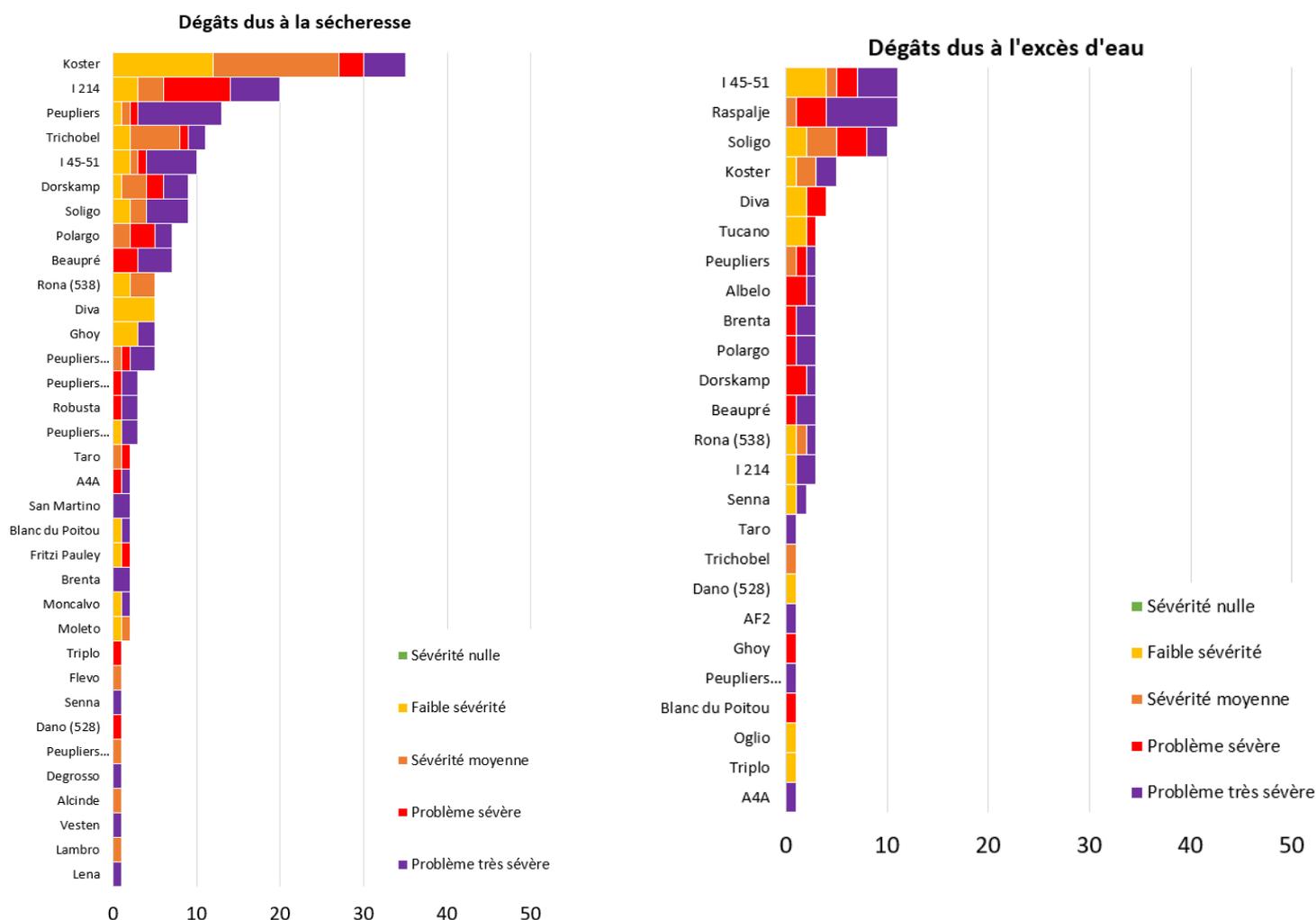


Figure 15 – Fréquence et sévérité des signalements des cultivars de peuplier impliqués dans des observations de dégâts dus à la sécheresse et à l'excès d'eau dans la base DSF nationale de 2007 à 2021.

Les détails des signalements enregistrés dans la base DSF de 2007 à 2021, font ressortir une fréquence plus élevée de certains cultivars consécutivement à l'observation de dégâts d'origine abiotique. Il faut néanmoins noter que les cultivars les plus signalés sont également ceux qui sont les plus fréquemment plantés. Cela illustre la cohérence établie entre risque et enjeux.

Avec respectivement plus de 30 et 20 signalements en 15 ans, le **Koster** et le **I214** sont les cultivars les plus impliqués dans des phénomènes liés à la sécheresse (cf Figure 15). En moindre mesure, on

retrouve quelques cultivars comme le Trichobel, I45-51, Dorskamp et Soligo, dont la fréquence d'occurrence reste significative pour pouvoir percevoir un caractère de sensibilité face à cet aléa.

Les dégâts liés à des excès d'eau sont nettement moins fréquents (en rapport avec le caractère hygrophile de l'essence), mais révèlent néanmoins une sensibilité plus marquée pour le **I45-51, le Raspalje et le Soligo**.

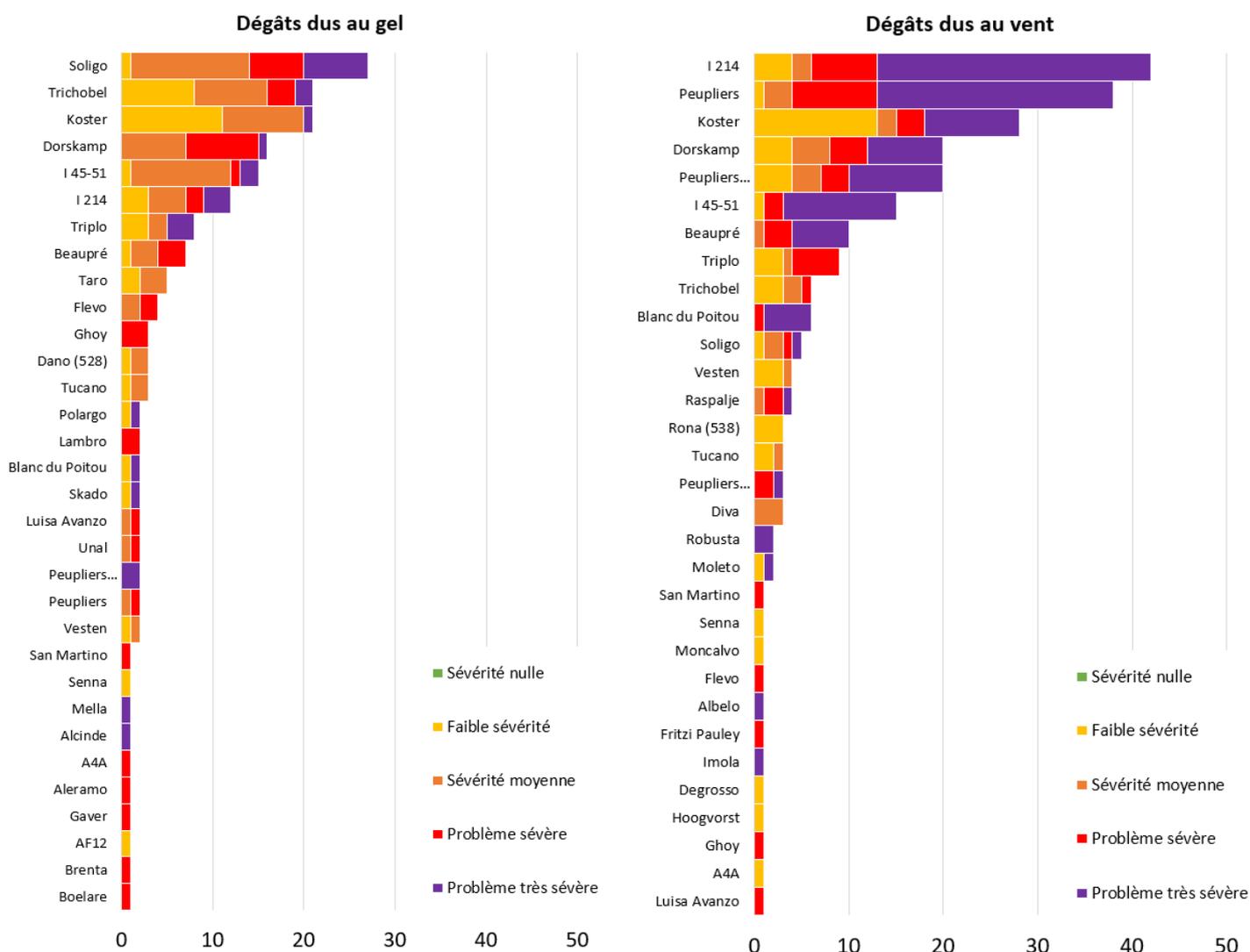


Figure 16 – Fréquence et sévérité de signalements des cultivars de peuplier impliqués dans des observations de dégâts dus au gel et au vent dans la base DSF nationale de 2007 à 2021.

L'analyse d'occurrence de dégâts consécutifs **au gel conduit à identifier le Soligo, le Trichobel ou encore le Koster**, comme des cultivars particulièrement sensibles.

Le Dorskamp, le I45-51 et le I214 sont également cités de manière significative. Il est à noter que les caractères de sensibilité liée à la température sont assez bien corrélés avec le patrimoine génétique

parental des variétés. Les cultivars italiens jouissent en général d'une phénologie plus avantageuse aux performances de croissance (saison de végétation plus longue). En contrepartie, ils montrent une sensibilité plus marquée aux gelées précoces et tardives. Ce sont ces particularités de configuration qui expliquent un nombre important de cas recensés dans la base DSF (dégâts sur cultivars italiens plus souvent signalés dans les régions septentrionales).

L'occurrence des dégâts liés au **vent** montre un signal plus important sur **le I214**, confirmant sa fragilité face à ce type de perturbation. Il est à noter que les dommages causés par le Puceron lanigère suite à des colonisations importantes de la surbille, tend à accroître la fragilité du bois au niveau des lésions provoquées par l'insecte dans les tissus. Cela est de nature à expliquer une partie du signal observé en ce qui concerne le I214.

Étude de la sévérité.

Les données présentées ci-après proviennent de protocoles de suivis spécifiques installés depuis 2007 dans le cadre de la stratégie du DSF. Entre 10 et 20 populeta ont été suivis dans toute la France de 2007 à aujourd'hui, et ont permis d'observer 47 cultivars. Pour les Hauts-de-France, cela représente 6 populeta recensant le suivi de 44 cultivars sur la période.

Seules les problématiques de la Rouille à *Melampsora* et du Puceron lanigère enregistrent suffisamment de données et de variables pour permettre la pertinence et la fiabilité des analyses. Par ailleurs, pour des raisons de significativité, certaines analyses ont été réalisées sur la base du jeu de données nationales.

Rouille à *Melampsora laricii populina*

Les rouilles à *Melampsora* ont surtout représenté un sujet important à la suite d'une époque où la stratégie de développement des cultivars de production cherchait à obtenir une résistance « complète » à la maladie. L'utilisation très abondante d'un nombre limité de ces variétés résistantes a conduit au contournement de cette résistance par le pathogène (évolution des virulences = nouvelles races). Ce type de politique populicole a abouti aux crises sanitaires qui ont marqué l'histoire de la populiculture régionale (Beaupré et interaméricains face à la rase E5 notamment...). A la faveur d'un usage plus systématique de cultivars « tolérants » (infectés par la rouille sans pertes importantes de production) d'une part, et des conditions atmosphériques estivales de plus en plus défavorables au pathogène (étés chauds et secs), l'impact des attaques de rouilles a très nettement diminué au cours des 10 dernières années.

Les suivis sur populeta mis en place par le DSF à travers la région depuis 2007 (cf Figure 17) illustrent assez bien cette variabilité de la sensibilité des cultivars à l'origine de l'évolution des pratiques en faveur de cultivars plus tolérants, peu impactés par le pathogène et aujourd'hui plus répandu à travers les territoires.

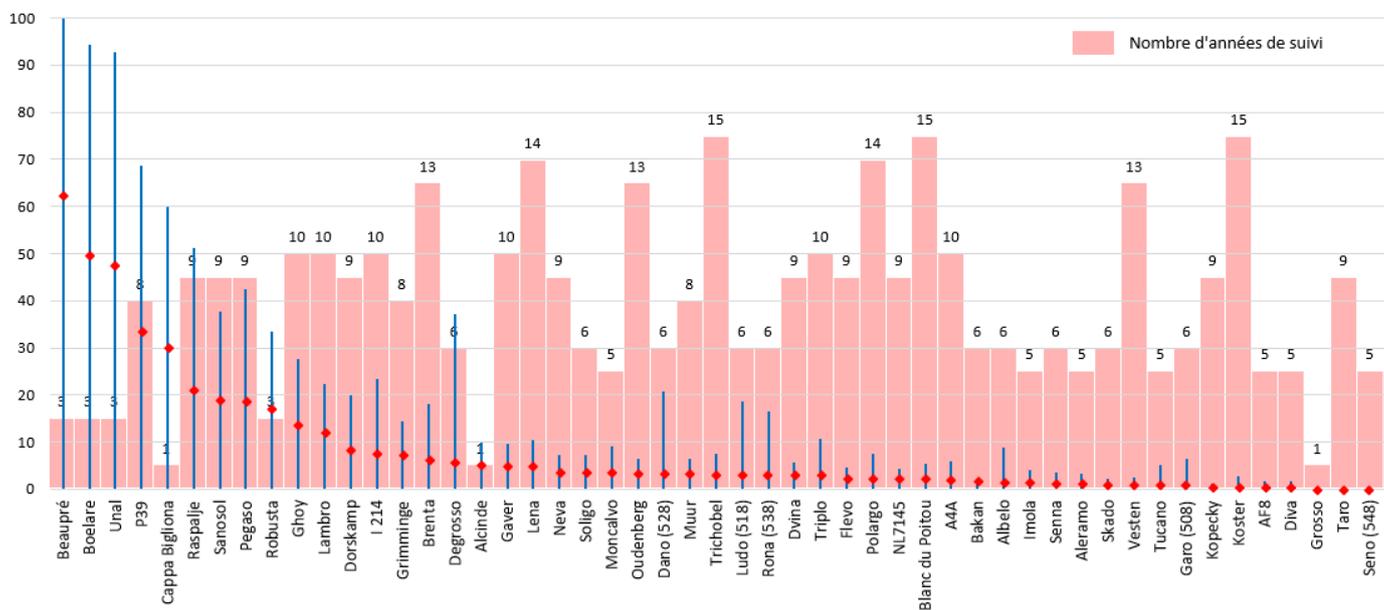


Figure 17 – Pourcentages moyens d'atteinte foliaire en été par la rouille à *Melampsora*, relevés dans le cadre du protocole de suivi spécifique des pathogènes foliaires de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

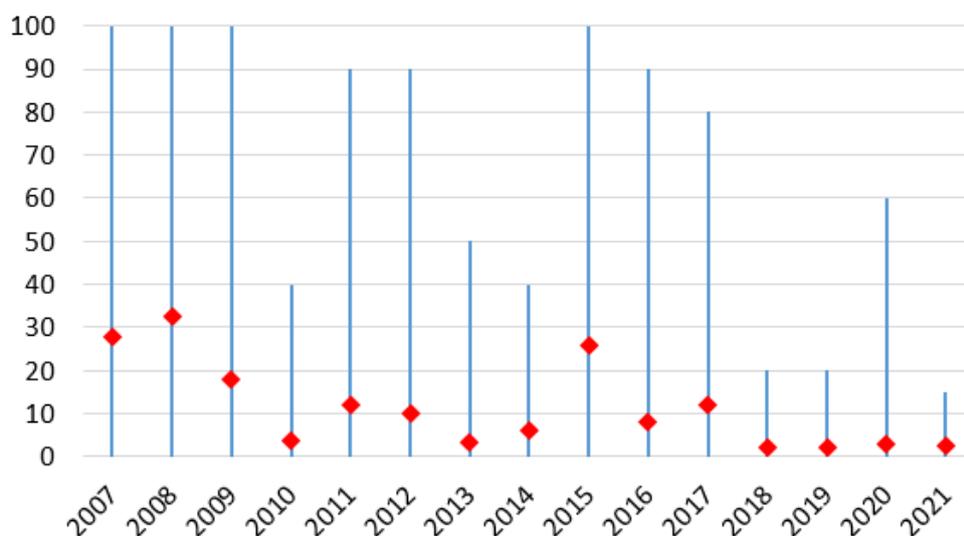


Figure 18 – Evolution des taux moyens d'atteinte foliaire par la rouille en été, de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

L'intensité des attaques de rouille traduite ici par le pourcentage moyen d'atteinte foliaire (moyennes tous cultivars) contrastent d'une année sur l'autre selon les conditions atmosphériques enregistrées

en été. Même si le signal paraît faible et nécessite une plus longue série d'observations, **une diminution tendancielle de la sévérité semble vouloir confirmer que le problème est de moins en moins impactant ces dernières années.**

Cela est probablement lié aux **conditions climatiques estivales de moins en moins favorables au pathogène, mais aussi au recours de plus en plus systématique à des cultivars tolérants.** La variabilité de l'intensité des attaques relatives aux conditions climatiques estivales et à la sensibilité des cultivars s'observe bien dans le temps sur les suivis réalisés (cf figure 19)

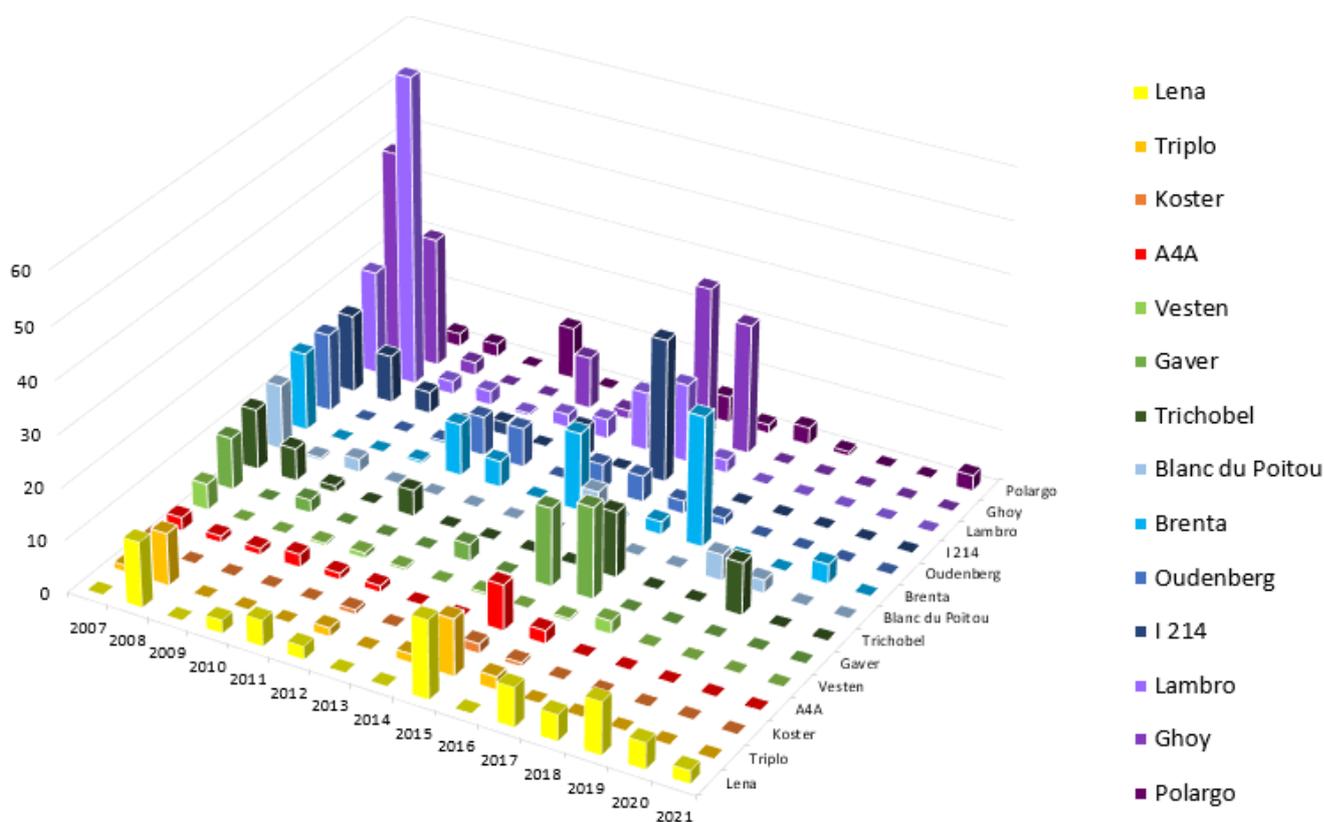


Figure 19 - Evolution des taux moyens d'atteinte foliaire par la rouille en été des cultivars ayant bénéficié de plus de 10 années de suivis spécifiques sanitaires dans les populeta de Hauts-de-France

Puceron lanigère du peuplier

Le puceron lanigère du peuplier a été signalé pour la première fois en 2011 dans la région. Dans les premières années des suivis de détection entrepris, il n'a pas montré de pullulations importantes et était le plus souvent mentionné sur les cultivars déjà connus pour leur appétence (I214, Triplo, Blanc du Poitou). Mais en 2020, une attaque d'intensité sans précédent a généré une situation de crise plutôt centrée sur le département de l'Aisne, enregistrant un nombre de cas très important, mais concernant surtout un nombre inédit de cultivars jusqu'alors peu mentionnés dans la base de données.

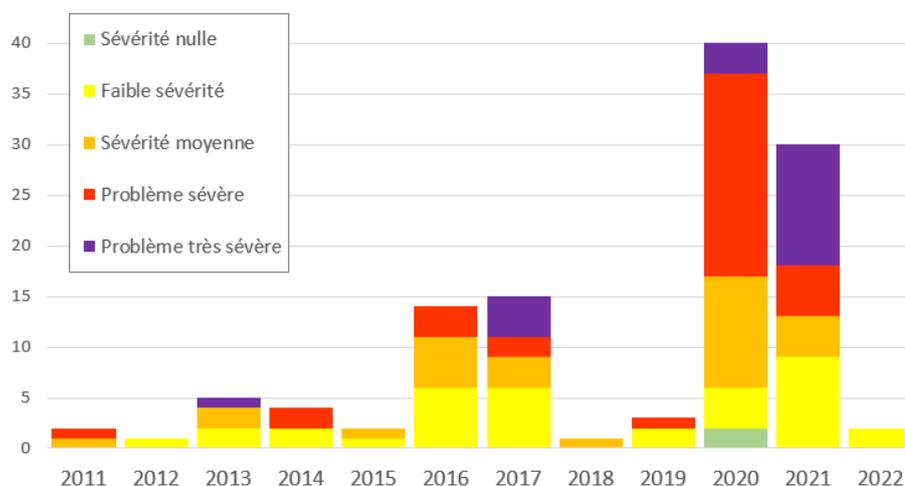


Figure 20 – Fréquence d'occurrence et sévérité des signalements de Puceron lanigère enregistrés dans la base DSF de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

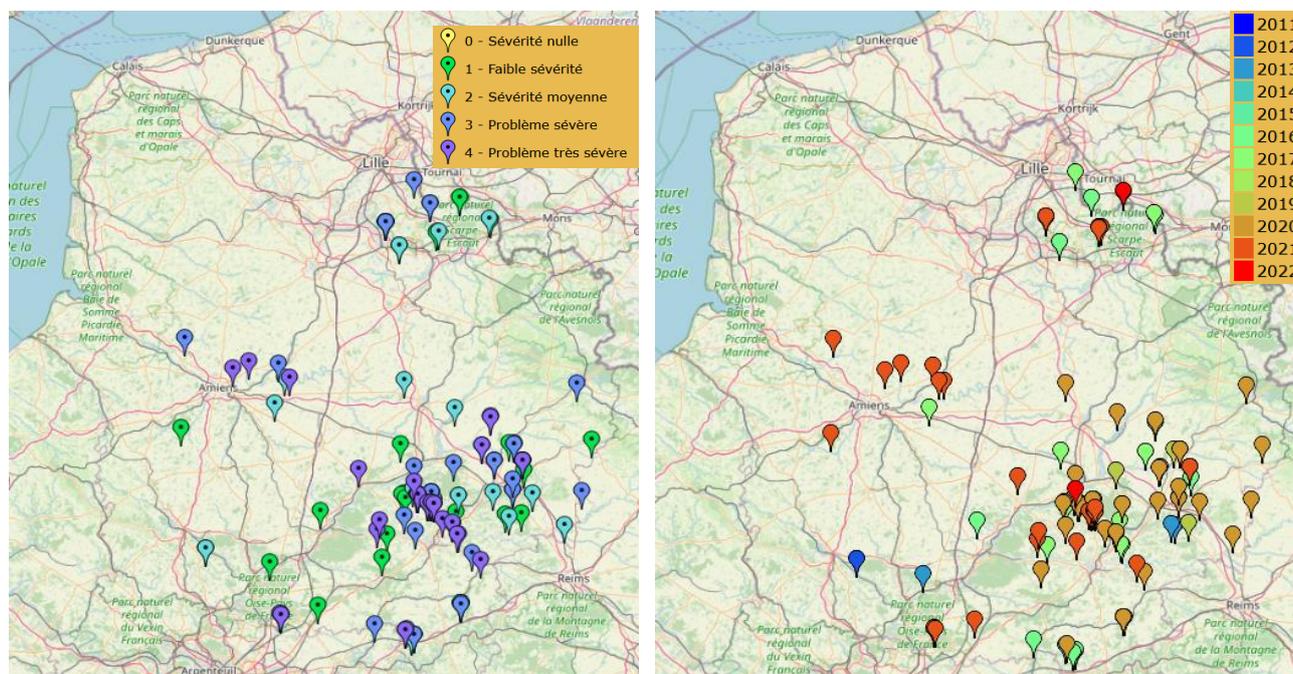


Figure 21 - Sévérité et années d'observation des cas de puceron lanigère recensés de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

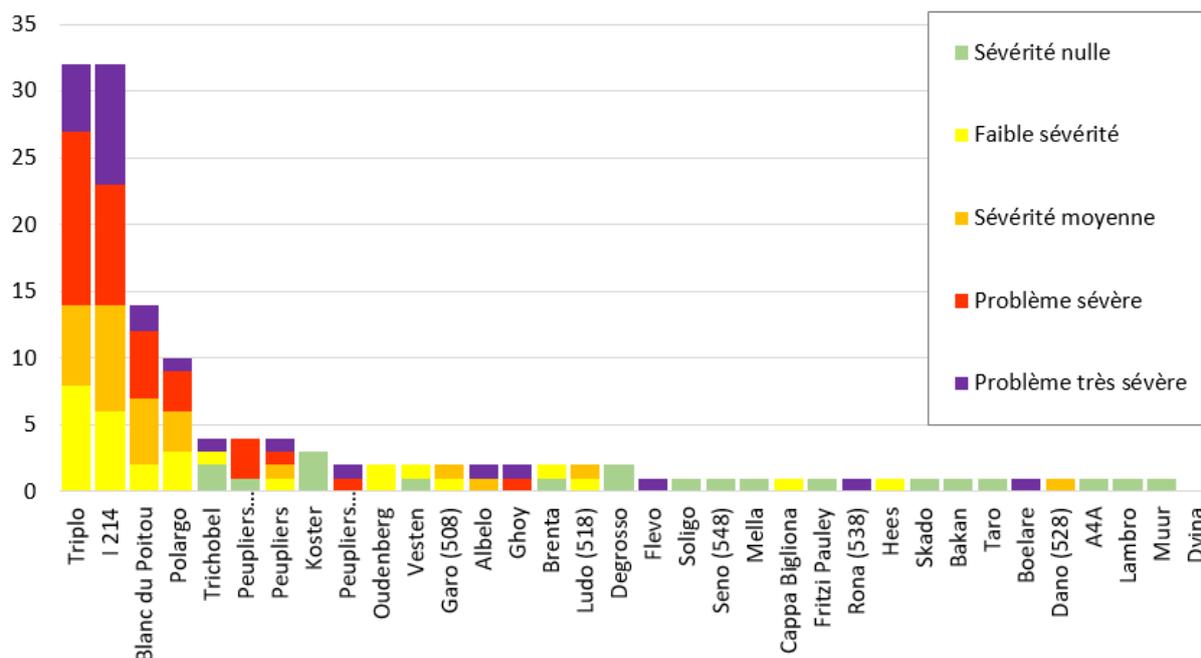


Figure 22 - Fréquence d'occurrence et sévérité des signalements de Puceron lanigère selon les cultivars, enregistrés dans la base DSF de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

Alors que le **Triplo**, le **I214** et le **Blanc du Poitou** ont confirmé une **appétence du puceron envers eux et une sensibilité** déjà bien connues et documentées, d'autres cultivars ont montré des caractères jusqu'alors peu décrits.

Des colonisations de fréquence inédite ont été rapportées sur Polargo et Trichobel. De manière plus anecdotique, un nombre important de cultivars a montré une sensibilité plus ou moins importante. Parmi eux, Albelo, Ghoy, Flevo, Rona, Ludo, Garo ou encore Dano, ont montré les taux de colonisation du tronc les plus sévères, révélant une appétence particulièrement marquée vis-à-vis du Puceron lanigère.

Néanmoins, les suivis de mortalités et de croissance réalisés à la suite de l'événement, n'ont pas permis de conclure sur leur sensibilité. En effet aucune perte n'a pu être recensée sur ces cultivars lors de la saison de végétation suivante (2021).

Ces suivis mis en place par le DSF auront donc permis de confirmer ou infirmer les niveaux de sensibilité différents des cultivars colonisés, mettant en évidence l'impérieuse nécessité de distinguer les notions « d'appétence » (cultivars pouvant montrer de forts taux de colonisation du tronc sans que cela ne provoque de dommages) de « sensibilité ».

Cette crise aura permis de délimiter plus précisément les prescriptions de gestion étayant des stratégies d'adaptation (choix de cultivars), comme des stratégies de gestion de crise (dispositifs de monitoring, d'alerte, et clés de décision pour le déclenchement des coupes) – cf paragraphe « conseils de gestion ».

Étude de l'impact.

Pour des raisons de puissance statistique, les analyses ci-après ont été réalisées à partir de la base de données DSF sur la totalité du territoire. L'étude de l'impact de la vitalité (dégâts) repose sur les données des axes veille sanitaire (Fiches V) et surveillance du territoire (Fiches O) de la stratégie du DSF. La proportion des tiges mortes n'est devenue un champ de donnée obligatoire qu'à partir de 2014. C'est pourquoi, les analyses ci-après exploitant cette variable, ciblent une période temporelle plus étroite. L'étude de l'impact sur la croissance repose sur les suivis spécifiques des « pathogènes foliaires des peupliers » (2007 à 2016) et suivis sanitaires des peupliers (2017 à 2021).

Impact sur la vitalité (dégâts)

Une première lecture des taux de mortalité rapportés dans les signalements de la base DSF, illustre que le peuplier est globalement peu sujet à des mortalités importantes parce que les cultivars sont le fruit d'importants programmes de génie végétal recherchant depuis longtemps l'amélioration des performances (en commençant bien entendu par la vitalité). C'est la raison pour laquelle le taux moyen de mortalité rapporté à l'échelle nationale, est de l'ordre de 8,8% (sur 414 signalements enregistrant cette donnée).

Bien que le signal soit peu sensible (cf [Figure 23](#)), les taux de mortalité les plus élevés (tous cultivars) concernent d'abord les dégâts d'origine abiotique. Viennent ensuite les dégâts d'origine entomologique, puis pathologique.

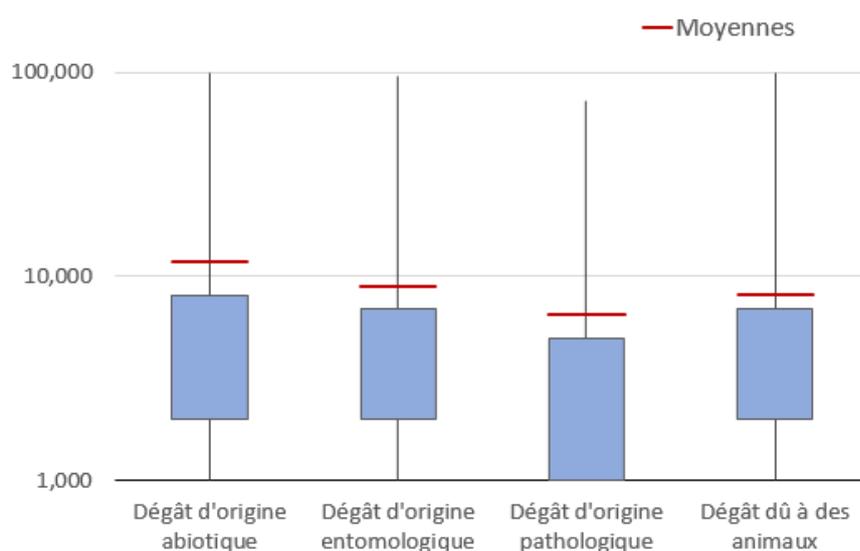


Figure 23 – Distribution des taux de mortalité observés par type de problèmes sur les signalements (à perte occurrente > 1% de mortalité) enregistrés dans la base DSF de 2014 à 2021.

Les observations de la base DSF montrent une variabilité importante de la proportion de tiges mortes. Mise en rapport avec le pourcentage de tiges atteintes, cela permet d'identifier les problématiques les plus impactantes (cf Figure 24). Alors que les pathogènes de faiblesse (*Dothichiza*, *Cytospora*...) et ravageurs secondaires (*agriles*...) intervenant dans les processus de mortalité, se démarquent assez logiquement dans les signaux observés des proportions de tiges mortes, d'autres aléas d'origine abiotique (vent, excès d'eau, sécheresse, gel, mais aussi problèmes liés à la plantation) sont le plus souvent impliqués dans les mortalités.

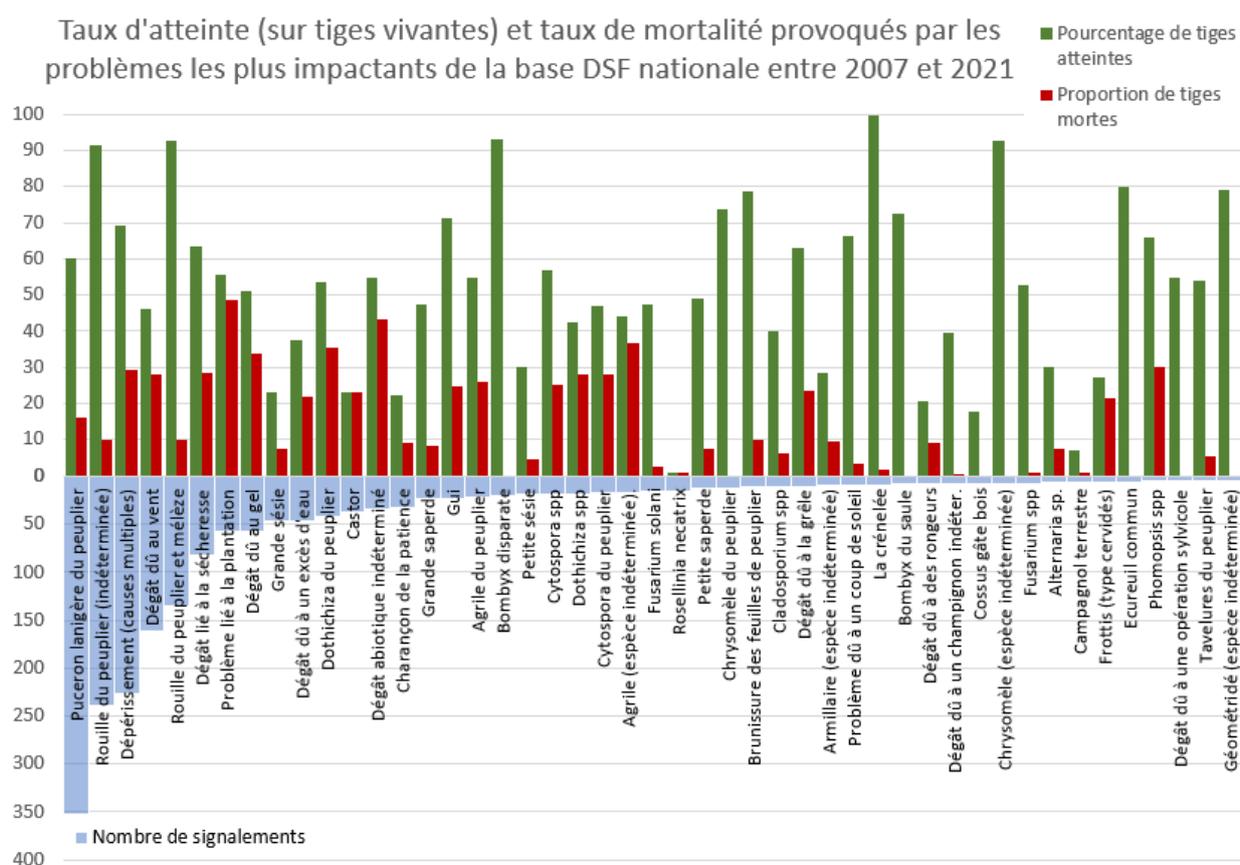


Figure 24 – Taux d'atteinte (sur tiges vivantes) et taux de mortalité provoqués par les problèmes les plus impactants de la base DSF nationale entre 2014 et 2021

Il convient néanmoins de pondérer ces conclusions avec le nombre d'occurrences des signalements, qui ne permet pas dans tous les cas de profiter d'un intervalle de confiance fiable. Selon cette considération, **le Puceron lanigère et la Rouille restent les problématiques les plus occurrentes dans les données**. Cela permet de constater que le taux de mortalité moyen reste relativement faible pour la période et l'aire géographique considérées.

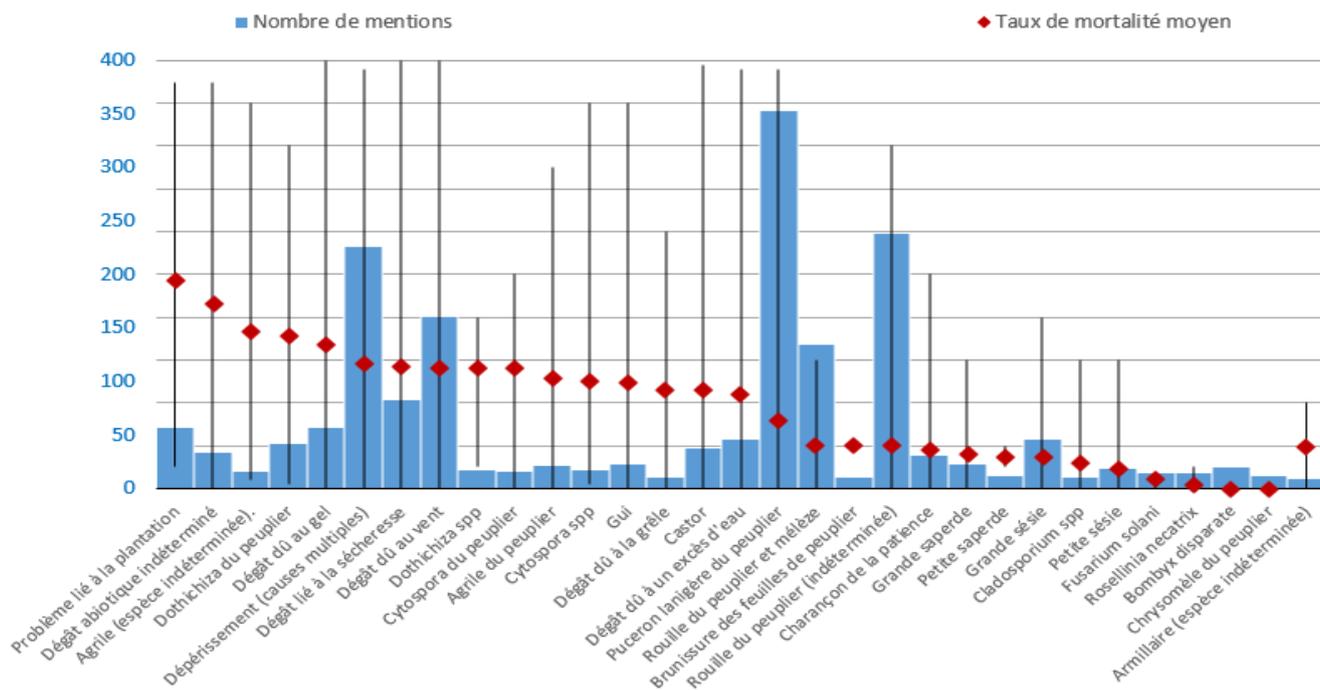


Figure 25 – Taux de mortalité observés par problème (base DSF Fiches V et O enregistrées de 2014 à 2021 en France)

A noter que le taux de mortalité peut montrer une grande amplitude de ses valeurs extrêmes, témoignant d'une variabilité importante et de l'impact sur la vitalité pouvant être important selon les problématiques et contextes (cf Figure 25)

L'étude de cette même variable selon les cultivars, permet de visualiser la vulnérabilité globale de chacun d'entre eux - à pondérer néanmoins avec les problématiques qui l'expliquent - (cf Figure 26 et Figure 27)

En toute logique, on y retrouve surtout les cultivars sensibles aux rouilles à *Melampsora*, et au Puceron lanigère, dont les signalements plus occurrence renvoient aussi un signal sur l'enjeu que représentent ces problématiques.

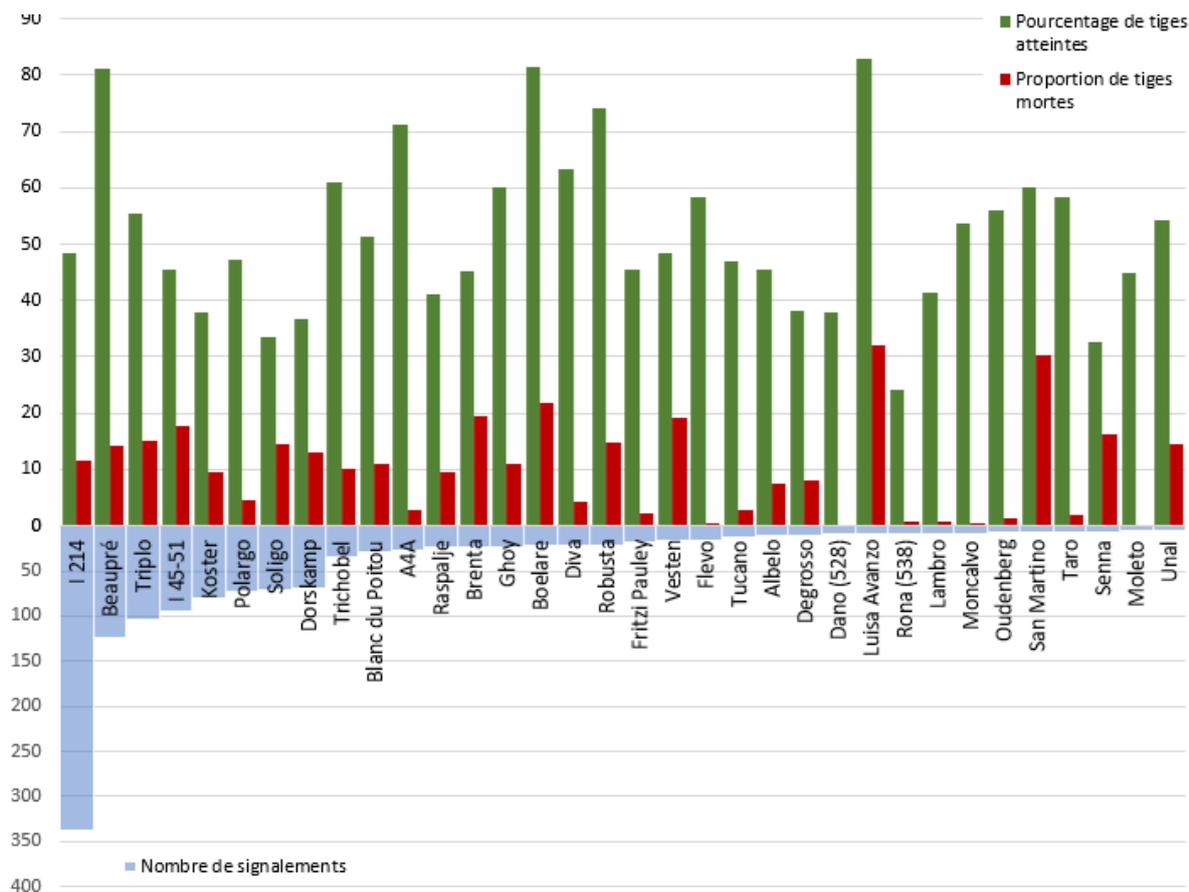


Figure 26 - Taux d'atteinte (sur tiges vivantes) et taux de mortalité observés sur les cultivars les plus courants (au moins 5 mentions) de la base DSF nationale entre 2014 et 2021

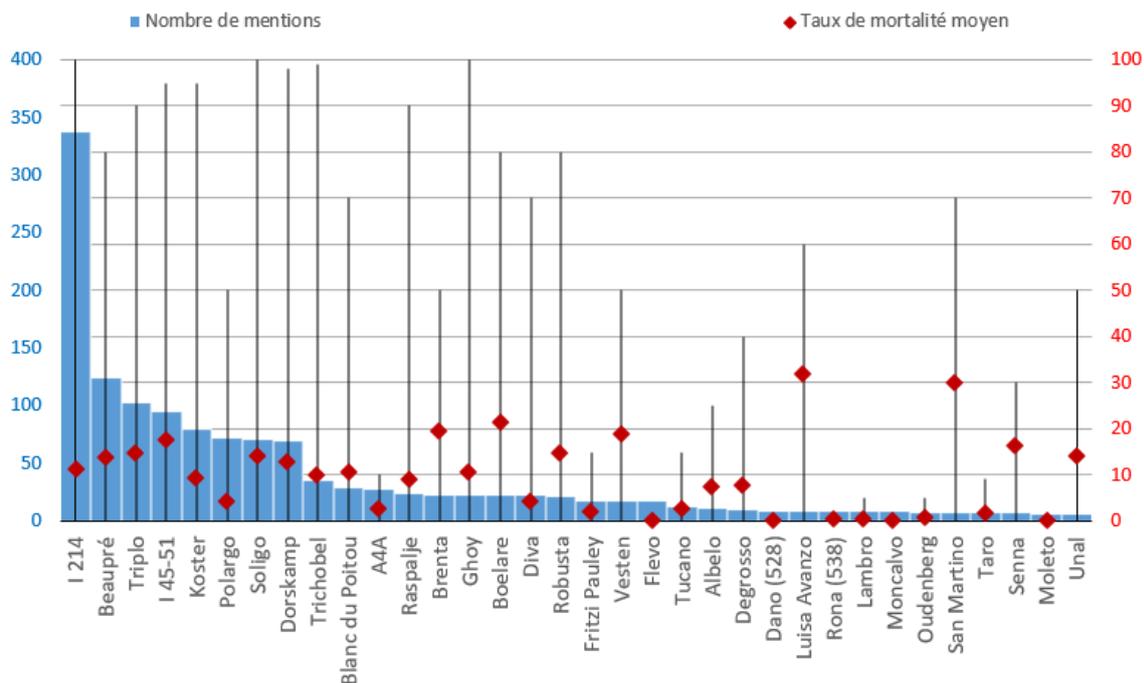


Figure 27 - Taux de mortalité observés par cultivars (base DSF Fiches V et O enregistrées de 2014 à 2021 en France)

Impacts sur la croissance

L'étude de l'impact sur la croissance nécessite de disposer de suivis de croissance associés à des suivis sanitaires individuels durant un nombre d'années suffisant (séries temporelles de 10 ans ou plus).

Des travaux récents ont été menés sur le Puceron lanigère à la faveur des pullulations observées en Hauts-de-France en 2020-2021, mais ne peuvent aujourd'hui délivrer que des résultats temporaires. Les suivis entrepris par le DSF permettent néanmoins d'envisager plus sereinement ce type d'analyse pour la rouille à *Melampsora*, seule problématique ayant bénéficié d'un suivi complet de l'ensemble de ces critères sur une période suffisamment longue (à travers les notations des populations dans le cadre des suivis « pathogènes foliaires » et « suivis sanitaires »).

Les accroissements courants en circonférence des individus mesurés sur la période montrent tout d'abord une distribution très écartée et semblent peu corrélée à la Rouille. Cela illustre en premier lieu la variabilité des performances de cultivars testés selon les facteurs de production classiques (stations). Voir [Figure 28](#)

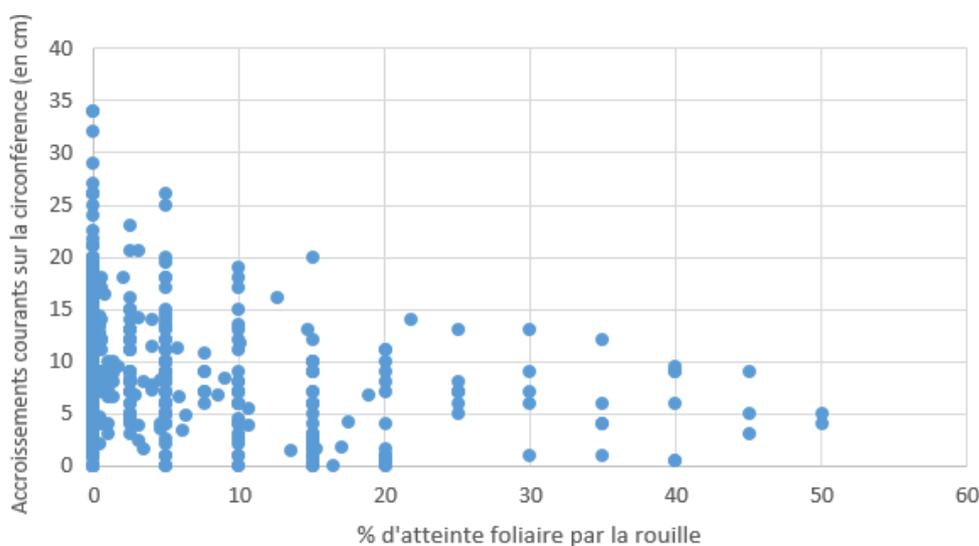


Figure 28 – Distribution de l'accroissement courant sur la circonférence en fonction de la sévérité d'atteinte foliaire par la rouille

La part relative de l'effet de la Rouille sur une potentielle perte de croissance reste donc difficile à déterminer. Néanmoins, certaines analyses intégrant tout le matériel d'étude (tous cultivars sur l'ensemble des années de suivis) suggèrent une perte de 27 à 32% dès lors que le taux d'atteinte foliaire se situe respectivement entre 6 et 25% et entre 26 et 50% (cf [Figure 29](#)). Cependant, ces

chiffres ne manifestent pas de tendance nette et doivent être pondérés avec les conditions stationnelles de croissance qui peut peuvent engendrer des effets compensateurs.

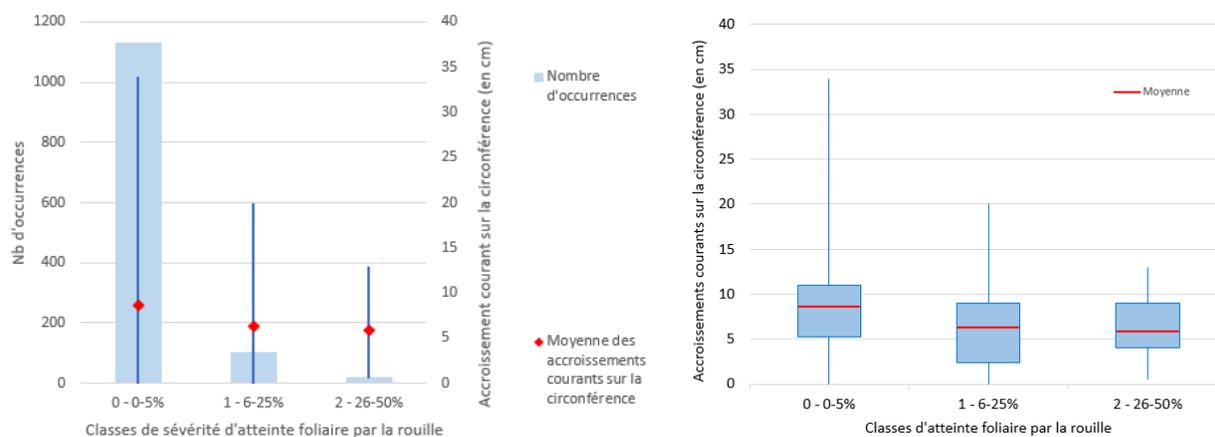


Figure 29 – Effet de la sévérité de la rouille à Melampsora sur la croissance. Distribution des accroissements courants sur la circonférence selon des classes d'atteinte foliaire par la rouille.

Conseils de gestion.

Les mesures de gestion

Sensibilité des cultivars aux différents problèmes

Le raisonnement sur des révolutions de production courtes (20 à 30 ans) que la populi-culture impose (expositions plus courtes aux aléas + développement permanent de nouveaux cultivars arrivant sur le marché), conjugué à la nécessité de disposer d'un recul suffisant pour une évaluation fiable de l'impact des problèmes sanitaires émergents en conditions naturelles, rend délicat l'exercice d'évaluation de la vulnérabilité des cultivars. Par conséquent, la fiabilité des conclusions établies dans cette synthèse est proportionnelle à l'ancienneté d'utilisation des cultivars (recul en nombre d'années).

Néanmoins, les expérimentations menées dans le cadre des actions de développement du CNPFP-IDF, représentent depuis 2007 une source d'investigations pour les suivis entrepris par le DSF. Les suivis de croissance associés aux suivis phytosanitaires dont ces dispositifs bénéficient, permettent en effet de rechercher des liens de cause à effet qu'il est parfois intéressant de relever.

Le bilan ci-après tient compte des observations réalisées dans le cadre de la stratégie du Département de la Santé des Forêts, ainsi que de recherches bibliographiques complémentaires. La notion de sensibilité ci-après développée, fait appel aux probabilités d'impacts susceptibles d'engendrer des pertes économiques (productivité-croissance + mortalités).

NB : orange = plus de 2 signalements de sévérités 3 et 4 enregistrés sur la période 2007-2022
Rouge = plus de 4 signalements de sévérités 3 et 4 enregistrés sur la période 2007-2022

?	Pas de donnée
	Pas ou peu sensible
	Sensible
	Très sensible

Cultivars	Problèmes abiotiques				Problèmes biotiques					
	Gel	Sécheresse, canicule	Inondations, engorgements	Vent	Rouille à <i>Melampsora</i>	Chancres bactérien	Brunissure des feuilles <i>Marssonina</i>	Puceron lanigère	Xylophages	Défoliateurs
A4A										
Soligo										
Vesten								?		
Taro										
Lambro										
Dvina										
Muur										
Koster										
Delvignac										
Oudenberg										
Raspalje										
Degrosso										
Imola										
Albelo								?		
Brenta								?		
Triplo										
Polargo								?		
Alcinde										
Senna										
Dano								?		
AF2										
Rona								?		
Trichobel								?		
Dorskamp										
Aleramo										
Ludo								?		
Garó								?		
Diva										
I 214										
Fritzi Pauley										
Moletó										
Tucano										
Skado										
Lena										
Moncalvo										
Blanc du Poitou										
Flevo								?		
Delrive										
AF8										
Bakan										

Tableau 2 – Sensibilités de cultivars de peuplier aux problèmes d'origines biotiques et abiotiques les plus étudiés.

Concernant le Puceron lanigère, il est indispensable de distinguer les notions d'appétence et de sensibilité. Des travaux de recherche menés en laboratoire ont permis de dresser un certain nombre de caractères s'exprimant en atmosphère contrôlée. Néanmoins, les observations sur le terrain ne confirment pas systématiquement les résultats obtenus en conditions de laboratoire. Il est donc nécessaire de poursuivre à l'avenir les observations de terrain à l'occasion des pullulations qui seraient susceptibles de survenir à nouveau pour affiner le déterminisme des caractères d'appétence et de sensibilités recherchés.

Le tableau ci-après est un bilan de 2015 dressé à l'issue des travaux de recherche menés par l'Université d'Orléans (Baubet, Sallé, & Maison, 2015). Les colonnes de droite ont été complétées à l'aide des informations récoltées lors de l'attaque de 2020 en Hauts-de-France.

?	Pas de donnée
-	cultivars sur lesquels le puceron ne se développe pas
+ / -	Cultivars sur lesquels il s'installe mais se développe mal et pouvant tolérer une infestation par le puceron.
+	Cultivars apparemment résistants dans le test mais de sensibilité confirmée en conditions naturelles, ou sur lesquels l'installation ou la multiplication peuvent être fluctuants en conditions de laboratoire
++	les cultivars à risque sur lesquels les pucerons peuvent s'installer et bien se développer.

Cultivars	Tests en Laboratoire		Observations DSF	
	Taux d'installation	Taux de multiplication	Présence de pucerons = Appétence	Mortalités suite à des pullulations = Sensibilité
A4A	+ / -	-	-	-
Albelo	+	-	+	-
Alcinde	-	?	?	?
Bakan	?	?	-	-
Blanc du Poitou	+	-	++	++
Boelare	?	?	++	-
Brenta	-	?	+	-
Dano	?	?	+	-
Degrosso	?	?	-	-
Delrive	-	?	?	?
Dorskamp	-	-	+	+
Dvina	-	?	-	-
Flevo	+	+	++	-
Fritz Pauley	?	?	-	-
Garos	?	?	+	-
Ghoy	?	?	++	-
Hees	?	?	-	-
I214	+	+	++	++
Koster	+	?	-	-
Lambro	+ / -	-	-	-
Lena	-	?	?	?
Ludo	?	?	+	-
Mella	+ / -	-	-	-
Oudenberg	?	?	+	-

Polargo	+	-	++	-
Raspalje	-	?	?	?
Rona	?	?	++	-
Seno	?	?	-	-
Skado	?	?	-	-
Soligo	+	-	-	-
Taro	-	?	-	-
Trichobel	?	?	+	-
Triplo	?	?	++	++
Unal	-		?	?
Vesten	+	+	+	-

Tableau 3 – Appétence et sensibilité des cultivars au puceron lanigère (*Phloomyzus passerinii*)

Prescriptions de gestion

Qu'elles s'inscrivent dans le cadre de stratégies d'adaptation, de prévention ou de lutte, différentes prescriptions de gestion sont aujourd'hui reconnues pertinentes au regard des différents enjeux et problématiques auxquels elles peuvent répondre.

Parmi les prescriptions les plus recommandées en matière de populiculture on peut retenir les suivantes :

Stratégies	Adaptation		Anticipation, prévention		Lutte	
	Recourir à des cultivars adaptés aux conditions stationnelles	Recourir à des cultivars tolérants et diversifiés	Adopter des mesures prophylactiques	Récolter les arbres montrant des symptômes	Récolter les arbres montrant des dommages sévères	Engager des mesures de lutte
Prescriptions de gestion (Cf description des références de 1 à 6 ci-après)						
Rouilles à <i>Mélampsora</i>		2	3		5	
Pathogènes foliaires (<i>Marssonina</i> , Septoriose, tavelures...)		2	3			
Chancre bactérien		2	3		5	
Pathogènes de faiblesse (<i>Dothichiza</i> , <i>Cytospora</i> ...)	1	2	3	4	5	
Puceron lanigère		2	3	4	5	
Insectes xylophages	1		3		5	
Insectes défoliateurs	1					6

Tableau 4 – Clé stratégique de prescriptions de gestion face aux aléas sanitaires du peuplier de culture.

1- Recourir à des cultivars adaptés aux conditions stationnelles

Cette recommandation générale permet de prévenir les risques de tous ordres en s'assurant que les cultivars disposent de toutes les conditions favorables à leur vitalité-longévité, leur vigueur, leur vulnérabilité, mais aussi et surtout à leur productivité. Seuls les agents pathogènes et ravageurs primaires dits « de vigueur » peuvent poser problème indépendamment de l'adéquation du cultivar avec la station (cas de Puceron lanigère et de la Rouille...) En revanche, des cultivars dans leur optimum stationnel sont le plus souvent moins vulnérables aux à-coups et accidents climatiques (du moins en dessous d'un certain seuil d'intensité...).

2- Recourir à des cultivars tolérants et diversifiés

Une autre mesure d'adaptation consiste à choisir des cultivars tolérants aux agents pathogènes et ravageurs auxquels ils peuvent être exposés.

Cela permet de vivre avec les problématiques tout en limitant leur impact sur la production et contribue surtout à éviter les risques de contournement des résistances totales comme cela a été le cas avec la race E5 de la rouille à *Melampsora laricii-populina* sur le cultivar Beaupré.

La diversification des cultivars permet également de s'affranchir des perturbations liées à des pertes importantes, qu'elles soient d'ordre sanitaire (tolérances différenciées aux maladies et ravageurs) ou même économique (qualité des bois, itinéraires sylvicoles plus ou moins exigeant).

3- Adopter des mesures prophylactiques

Ce type de mesures consiste à réaliser certaines actions susceptibles de limiter l'impact des aléas en présence. Par exemple, élaguer sa parcelle et la débarrasser du sous-étage peut permettre une plus grande ventilation et un amoindrissement de l'humidité atmosphérique favorable aux pathogènes foliaires (comme la rouille ou *Marssonina*).

Désinfecter les outils de taille permet de ne pas propager le Chancre bactérien.

Éviter les plaies d'élagage de section trop importante, en pratiquant les interventions à temps, limite l'installation d'insectes xylophages (Cossus gâte-bois, Zeuzère, Petite Saperde, Petite Sésie...).

Entretenir la végétation concurrente lors de premières années de développement limite les risques d'affaiblissement lié à l'approvisionnement en eau et l'exposition à des pathogènes de faiblesse (*Dothichiza*, *Cytospora*...).

4- Récolter les arbres montrant des symptômes

Ce type de mesure s'inscrit dans les procédés de lutte visant à prévenir la propagation d'un phénomène infectieux (contagieux) et surtout de limiter les pertes économiques en perspective de mortalités probables.

Dans ce type de cas, le prélèvement (et la destruction) est bien souvent et systématiquement envisagé dès qu'un individu est symptomatique pour de raisons de risque infectieux (cas du chancre bactérien).

5- Récolter les arbres montrant des dommages sévères

Il s'agit du même type de mesure que le point précédent à la nuance près qu'elle se destine à traiter les cas où l'on observe des mortalités (au-delà des symptômes). Si le pronostic vital des arbres non symptomatiques n'est pas engagé de manière imminente, alors l'action peut consister au simple prélèvement des quelques individus concernés. En général, le déclenchement de la récolte se détermine par une proportion minimale de tiges mortes dans le peuplement. Par exemple, dans le cas du puceron lanigère, il est reconnu pertinent de n'extraire que les individus symptomatiques en dessous de 20% de tiges mortes et d'envisager la coupe rase au-delà. La possibilité (actuelle) de récolter des peupliers à partir de 120 cm de circonférence (dont déroulage) est une solution qui tend à limiter l'exposition aux risques sanitaires de tous ordres (permet de récolter des arbres avant une dégradation plus importante due à des aléas de tous ordres...).

6- Engager des mesures de lutte curative

Les mesures de lutte curative consistent à agir pour tenter d'enrayer un phénomène infectieux ou une pullulation d'insecte en recourant à des traitements phytosanitaires. Compte-tenu des nombreuses contraintes que cela représente (efficacité limitée, mise en œuvre délicate, réglementation, coûts...cf 0), il est souvent reconnu peu pertinent d'engager ce type de mesure. Durant plusieurs années, des traitements ont été pratiqués pour limiter l'impact de la Rouille sur le Beaupré. De la même manière, des essais de traitements ont été engagés pour lutter contre le Puceron lanigère.

Au regard de l'efficacité limitée de ces traitements (nécessitant plusieurs passages annuels le plus souvent) et des cours actuels des débouchés du peuplier, ces itinéraires techniques ont très vite été considérés non-rentables et les possibilités d'éradication des problématiques auxquelles ils font face, illusoire.

Aujourd'hui, seules des défoliations totales et répétées dues à des insectes (comme les charançons phyllophages) sur une jeune plantation en cours d'installation, peuvent justifier de traitements phytosanitaires les deux voire trois premières années.

Les traitements phytosanitaires

Pour être efficace, un traitement phytosanitaire doit respecter un certain nombre de conditions qu'il est parfois difficile de réunir.

- L'agent ciblé doit être accessible (xylophages incompatibles).
- La période de traitement doit être adaptée à la biologie de l'agent pathogène ou du parasite visé. Cette période est parfois très étroite (1 à 2 semaines).
- Lorsque les dégâts sont visibles, il est souvent trop tard car le parasite responsable des symptômes n'est plus là !
- Certains traitements n'ont qu'un effet préventif les fongicides utilisés contre les rouilles empêchent le champignon de s'installer sur les feuilles, mais ne le détruisent pas par exemple.
- Durant la période optimale de traitement, la météo peut être défavorable à une application efficace (vent, pluie abondante).
- Les produits ont parfois une efficacité limitée dans le temps (rémanence), ce qui impose de réitérer l'opération plusieurs fois (= surcoûts la plupart du temps injustifiés).
- Les opérations d'application sur des arbres de grandes hauteurs exigent des procédés et équipements onéreux et à l'efficacité incertaine.



D'un point de vue réglementaire.

En France, l'application des produits phytopharmaceutiques en peupleraies est soumise à plusieurs cadres juridiques qui se côtoient et réglementent leurs usages :

Le Code rural.

- Le produit utilisé et les dosages pratiqués doivent être homologués pour l'usage « peuplier » dans le catalogue édité par l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire. Ce catalogue est disponible sur le site du Ministère de l'Agriculture : <https://ephy.anses.fr/>
- Les traitements aériens (par hélicoptère) sont interdits depuis 2012, sauf mesures dérogatoires prises par arrêtés préfectoraux.
- La certification des compétences (CERTIPHYTO) est obligatoire : depuis octobre 2013 pour les distributeurs, prestataires de services et de conseil ; au 1er janvier 2015 pour les propriétaires forestiers (plus d'infos sur : <https://mesdemarches.agriculture.gouv.fr>)



Le Code de l'Environnement

Les peupleraies sont très souvent cultivées sur des zones humides ou à proximité immédiate. Les dispositions de la Loi sur l'eau stipulent notamment qu'il est interdit de traiter à moins de 5 m d'un cours d'eau. Par ailleurs, il n'est pas recommandé de traiter en zones humides.

Attention, il convient également de bien connaître les autres périmètres de protection réglementaire pouvant s'appliquer localement aux peupleraies. Par exemple, il peut exister des prescriptions particulières relatives à des périmètres de captages d'eau potable ou encore des zones Natura 2000. Ces réglementations peuvent notamment prescrire l'interdiction d'usage de certains produits.

D'une manière générale, le traitement chimique est souvent délicat à mettre en œuvre, à l'efficacité incertaine mais surtout peu pertinent sur le plan économique dans la majorité des cas, d'autant plus qu'il existe une large gamme de solutions alternatives pour prévenir les problèmes phytosanitaires (cf paragraphe Prescription de gestion).

Table des illustrations

Figure 1 – Cycle biologique de *Melampsora laricii populina*

Figure 2 ci-dessous- Ventilation des occurrences par type de suivis, enregistrées dans la base DSF de 2007 à 2022, concernant les peupliers

Figure 3 – Ventilation du nombre d'occurrence par type de suivis et par cultivars, sur l'ensemble des enregistrements de la base DSF de 2007 à 2022.

Figure 4 – Nombre d'observations concernant le peuplier, par type de dégâts, enregistrées dans la base DSF de 2007 à 2021 (Fiches V, O, PA, DE)

Figure 5 – Evolution du nombre d'observations concernant le peuplier, par type de dégâts, enregistrées dans la base DSF de 2007 à 2021 en Hauts-de-France (Fiches V, O, PA, DE)

Figure 6 - Carte de localisation des signalements sur peupliers enregistrés de 2007 à 2021 dans le cadre des axes « veille sanitaire » et « surveillance du territoire » de la stratégie du DSF

Figure 7 – Fréquence d'occurrence et sévérité des problèmes phytosanitaires des signalements de peupliers enregistrés dans la base DSF en Hauts-de-France de 2007 à 2021

Figure 8 – Signalements d'insectes xylophages sur peupliers enregistrés de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

Figure 9 – Fréquence d'occurrence et sévérité des signalements d'insectes xylophages et cambioxyphages sur peupliers enregistrés de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

Figure 10 - Signalements de pathogènes sur peupliers enregistrés de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

Figure 11 – Fréquence d'occurrence et sévérité des signalements de pathogènes sur peupliers enregistrés de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

Figure 12 - Signalements d'insectes défoliateurs sur peupliers enregistrés de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

Figure 13 – Fréquence d'occurrence et sévérité des signalements d'insectes défoliateurs sur peupliers enregistrés de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

Figure 14 – Ventilation des occurrences par type de dégâts d'origine climatique. Source : base de données du DSF de 2007 à 2021

Figure 15 – Fréquence et sévérité des signalements des cultivars de peuplier impliqués dans des observations de dégâts dus à la sécheresse et à l'excès d'eau dans la base DSF nationale de 2007 à 2021.

Figure 16 – Fréquence et sévérité de signalements des cultivars de peuplier impliqués dans des observations de dégâts dus au gel et au vent dans la base DSF nationale de 2007 à 2021.

Figure 17 – Pourcentages moyens d'atteinte foliaire en été par la rouille à *Melampsora*, relevés dans le cadre du protocole de suivi spécifique des pathogènes foliaires de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

Figure 18 – Evolution des taux moyens d'atteinte foliaire par la rouille en été, de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

Figure 19 - Evolution des taux moyens d'atteinte foliaire par la rouille en été des cultivars ayant bénéficié de plus de 10 années de suivis spécifiques sanitaires dans les populeta de Hauts-de-France

Figure 20 – Fréquence d'occurrence et sévérité des signalements de Puceron lanigère enregistrés dans la base DSF de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

Figure 21 - Sévérité et années d'observation des cas de puceron lanigère recensés de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

Figure 22 - Fréquence d'occurrence et sévérité des signalements de Puceron lanigère selon les cultivars, enregistrés dans la base DSF de 2007 à 2021 en Hauts-de-France

Figure 23 – Distribution des taux de mortalité observés par type de problèmes sur les signalements (à perte occurrente > 1% de mortalité) enregistrés dans la base DSF de 2014 à 2021.

Figure 24 – Taux d'atteinte (sur tiges vivantes) et taux de mortalité provoqués par les problèmes les plus impactants de la base DSF nationale entre 2014 et 2021

Figure 25 - Taux de mortalité observés par cultivars (base DSF Fiches V et O enregistrées de 2014 à 2021

Figure 26 - Taux d'atteinte (sur tiges vivantes) et taux de mortalité observés sur les cultivars les plus occurrents (au moins 5 mentions) de la base DSF nationale entre 2014 et 2021

Figure 27 - Taux de mortalité observés par cultivars (base DSF Fiches V et O enregistrées de 2014 à 2021 en France)

Figure 28 – Distribution de l'accroissement courant sur la circonférence en fonction de la sévérité d'atteinte foliaire par la rouille

Figure 29 – Effet de la sévérité de la rouille à *Melampsora* sur la croissance. Distribution des accroissements courants sur la circonférence selon des classes d'atteinte foliaire par la rouille.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

BAUBET, O., SALLE, A., & MAISON, C. (2015). SENSIBILITE, TOLERANCE ET RESISTANCE DES PEUPLIERS AU PUCERON LANIGERE. *FORET-ENTREPRISE*.

CONSEIL NATIONAL DU PEUPLIER. (S.D.). *PEUPLIER DE FRANCE - LE PORTAIL DE LA FILIERE PEUPLIER*. RECUPERE SUR LES MALADIES ET RAVAGEURS: [HTTPS://WWW.PEUPLIERSDEFRANCE.ORG/PAGE/60-LES-MALADIES-ET-RAVAGEURS](https://www.peupliersdefrance.org/page/60-les-maladies-et-ravageurs)

DELPLANQUE, A. (1998). *LES INSECTES ASSOCIES AUX PEUPLIERS*. MEMOR.

FAO. (S.D.). RECUPERE SUR LES INSECTES DOMMAGEABLES AU PEUPLIER: [HTTPS://WWW.FAO.ORG/3/AC489F/AC489F06D.HTM](https://www.fao.org/3/AC489F/AC489F06D.HTM)

INRAE, AGROCAMBUS OUEST, UNIVERSITE DE RENNES. (S.D.). *PHLOEMYZUS PASSERINII*. RECUPERE SUR ENCYCLOP'APHID - L'ENCYCLOPEDIE DES PUCERONS: [HTTPS://WWW6.INRAE.FR/ENCYCLOPEDIE-PUCERONS/ESPECES/PUCERONS/PHLOEOMYZUS/P.-PASSERINII](https://www6.inrae.fr/encyclopedia-encyclopedia-pucerons/especes/pucerons/phloeomyzus/p.-passerinii)

INRAE, DSF. (S.D.). RECUPERE SUR E-PHYTIA - IDENTIFIER, CONNAITRE, MAITRISER: [EPHYTIA.INRA.FR/FR/](http://ephytia.inra.fr/fr/)

INRAE, FCBA. (S.D.). RECUPERE SUR GIS PEUPLIER: [HTTPS://WWW6.INRAE.FR/GISPEUPLIER/](https://www6.inrae.fr/gispeuplier/)

NAGELEISEN, L.-M., SAINTONGE, F.-X., & PIOUS, D. (2010). *LA SANTE DES FORETS*. IDF.

VAN LERBERGHE, P., & PARIZEL, A. (2020). *LE PEUPLIER AGROFORESTIER*. CNPF-IDF.

CNPF Hauts-de-France-Normandie

Site des Hauts-de-France
96 rue Jean MOULIN
80000 AMIENS
Tél. : 03 22 33 52 00
www.hautsdefrance-normandie.cnpf.fr



Document conçu et réalisé en 2022 avec l'appui
financier de la Région Hauts-de-France



Coordination et mise en page :

Noémi HAVET

Rédacteurs :

Jimmy BONIGEN et Valentin HIGUET (Analyses
statistiques)

Tess DE BACKER (Plan Peuplier)

Clémence BESNARD et Noémi HAVET
(Caractérisation)

Benjamin CANO (Analyse sanitaire)

Nous remercions pour leur relecture attentive : Eric PAILLASSA (IDF), Guillaume COUSSEAU (Coforaisne), Eric VANDROMME (Pépinières d'Arcy), Julien LAGER, François-Xavier VALENGIN et Gilles POULAIN de l'équipe du CNPF Hauts-de-France. Nous remercions également le groupe de travail peuplier du CNPF ainsi que la Cellule du Plan Peuplier Hauts-de-France qui ont œuvré de près ou de loin à ce travail collectif.

Réalisation et édition : 2022 – CNPF

Crédits photos : CNPF