



HAL
open science

Potentiel adaptatif du sapin de Bornmüller en France

Bruno Fady, Caroline Scotti-Saintagne

► **To cite this version:**

Bruno Fady, Caroline Scotti-Saintagne. Potentiel adaptatif du sapin de Bornmüller en France. INRAE. 2023. <hal-04266113>

HAL Id: hal-04266113

<https://hal.inrae.fr/hal-04266113v1>

Submitted on 31 Oct 2023

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

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



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC 4.0 - Attribution - Non-commercial use - International License



Potentiel adaptatif du sapin de Bornmüller en France

Rapport final du 08/09/2023 des travaux réalisés dans le cadre de la convention de mécénat financier (22 juin 2021 – 21 juin 2023) entre L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE (INRAE) et LE FONDS DE DOTATION PLANTONS POUR L'AVENIR (PPLA).

Rédaction du rapport :

Bruno Fady, Caroline Scotti-Saintagne, (INRAE -URFM, Avignon).

Remerciements pour la collecte et la mise en forme des données de terrain, la relecture et l'approbation du rapport : Franck Rei (INRAE-UEFM, Avignon), William Brunetto (INRAE-URFM, Avignon), Victor Larsonnier, Vincent Lejeune, Pascal Thevret, Dominique Veisse (INRAE-GBFOR, Orléans), Frédéric Bernier, Laurent Séverin (INRAE-UEFP, Pierroton), Pauline Bellot, Jean Ladier, Maureen Meiranesio-Rabaux (ONF-RDI Avignon), et Vincent Dintillac (CRPF Auvergne).

Remerciements pour la participation à la vérification des données, leur analyse et leur visualisation : Matéo Cano, Philippe Clastre, Christian Pichot, Aurélien Riou (INRAE -URFM, Avignon).

Mots clés : Adaptation, forêt, plantation, diversification, sapin, changement climatique.

1- Rappel du contexte et objectifs scientifiques :

La forêt française, dans sa diversité, est sous la menace des aléas du changement climatique : augmentation des températures moyennes annuelles, augmentation des risques de sécheresse et d'extrêmes climatiques, augmentation concomitante des dégâts liés aux insectes et maladies. Le climat méditerranéen, actuellement limité au sud-est de la France, a de fortes chances de devenir celui de nombreuses régions plus septentrionales et occidentales qu'actuellement, si on fait l'hypothèse que le climat du futur a des analogues actuels. Dans ce contexte global et celui des opportunités offertes à la filière forêt bois par le volet forestier du plan de relance gouvernemental, des espèces exotiques, taxonomiquement proches des espèces autochtones, peuvent être une solution de diversification bienvenue.

C'est le cas du sapin de Bornmüller (*Abies bornmuelleriana* Mattf.), originaire de Turquie, dont l'aire de répartition se trouve en climat méditerranéen (Arbez 1969). Suivi en France depuis les années 1960 dans des tests de provenances INRAE, son adaptation à des conditions un peu plus xériques et variables que celles de l'habitat du sapin pectiné a été démontrée. La ressource française en matériel forestier de reproduction (MFR) est fournie par deux vergers à graines. Un verger à graines homologué depuis 2017 (dénommé Uludag, MFR 710) situé à la Luzette, est composé de 48 clones issus de trois provenances de l'aire d'origine. Un deuxième verger à graines (dénommé Bostan, MFR 700) situé à Haute Serre, composé de 62 clones issus de trois autres provenances, est homologué depuis 2021. Les clones greffés de ces vergers plantés dans les années 1990 et maintenant fructifères, ont été sélectionnés sur la base de critères de vigueur et de

circonférence (les deux vergers), de tardiveté du débourrement et de densité du bois (verger 700 Bostan) et de forme (verger 710 Uludag) dans des tests de provenance âgés d'une vingtaine d'années, situées dans le sud-ouest et dans le nord-est du pays.

Cette sélection pour la constitution de la ressource française de sapin de Bornmüller amène deux constatations majeures :

- Les tests de provenance source de clones sélectionnés sont situés dans des habitats climatiques favorables. Les provenances existant dans des tests situés en conditions plus difficiles n'ont pas été considérés. La sélection ne prenait pas en compte le changement climatique.
- La sélection a été faite à un âge jeune (une vingtaine d'années) : le classement a pu changer au cours du temps, par exemple du fait d'une vigueur accrue variable avec l'âge (ce qui est assez classique chez les sapins) et de résistances variables à des accidents climatique ou biotiques qui sont arrivés depuis (sécheresses estivales, gels tardifs, dégâts d'insectes).

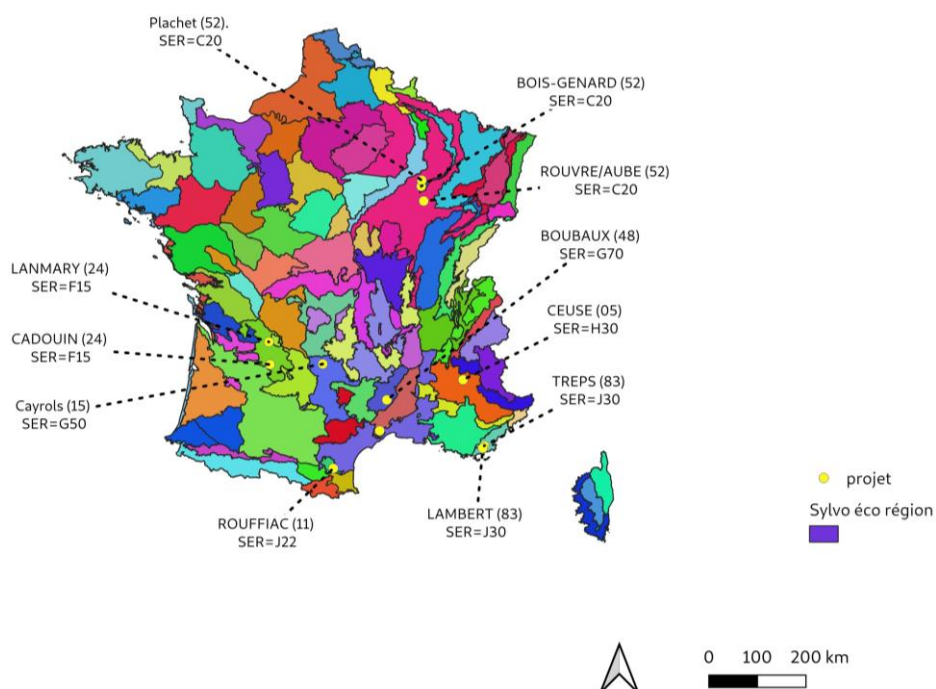
Pour s'assurer que la qualité des MFR produits par les deux vergers à graines de sapin de Bornmüller français correspond aux enjeux actuels de la forêt française, pour éventuellement en compléter ou modifier la composition et pour affiner les recommandations d'utilisation (habitats favorables et à éviter, mélange ou pas de MFR en sortie de pépinière, etc.), la filière forestière française a besoin de connaissances supplémentaires, mobilisables par une campagne de mesures dans une série de tests de provenances INRAE notamment, dans lesquels sont présentes les origines géographiques des clones des deux vergers à graines, en comparaison avec d'autres provenances de sapin de Bornmüller et d'autres sapins. Cette acquisition de connaissances au bénéfice de la filière forestière française constitue le projet d'évaluation des jardins communs de sapin de Bornmüller décrit ci-après.

2- Protocole expérimental et travaux accomplis

Le sapin de Bornmüller a été planté dans de nombreux sites expérimentaux en forêt publique (s'il existe des dispositifs expérimentaux en forêt privée, nous n'en avons pas connaissance, à l'exception du site de Cayrols, voir tableau). Ce sont ces sites qui font l'objet des travaux prévus dans la convention. Pour permettre d'estimer le potentiel adaptatif et de vigueur des parents des MFR, les mesures devront être à la fois quantitatives (vigueur) et qualitatives (survie, dégâts, forme, fructification) et concerner des habitats variés. Les sites du réseau INRAE GEN4X (<https://www6.inrae.fr/in-sylva-france/Services/In-Situ/Reseau-GEN4X>), les sites expérimentaux gérés par l'ONF et les deux placeaux conservatoires de provenance authentifiée (une seule origine géographique) répondent bien, ensemble, à cet objectif d'évaluation.

Sur la base des documents d'archive, la liste des sites à mesurer figure dans le tableau ci-dessous. Le Tableau 1 indique leur localisation, leur habitat climatique, leur sylvoécorageon et le type de test concerné (test de provenance avec répétitions ou forêt composée d'une seule provenance dont l'origine géographique est connue, conduite avec une sylviculture classique, à titre de référence). Tous les sites ont été mesurés et observés. Ils couvrent une large gamme d'habitats et d'âges, comme visible sur la carte de localisation de la Figure 1.

Figure 1 : Localisation géographique des dispositifs expérimentaux (majuscules) et placeaux conservatoires (minuscules) mesurés dans le cadre de la convention.



Les neuf premiers sites expérimentaux du Tableau 1 sont suivis par INRAE. Ils font partie du réseau de Génétique forestière pour la recherche et l'expérimentation, infrastructure de recherche nationale IN-Sylva France (GEN4X, <https://www6.inrae.fr/in-sylva-france/Services/In-Situ/Reseau-GEN4X>). Les sites de Boubaux, Céüse et Le Plachet sont gérés par la RDI de l'ONF et le site de Cayrols par le CRPF Auvergne Rhône Alpes.

Tableau 1 : Liste de dispositifs expérimentaux mesurés dans le cadre de la convention.

Lieu (département)	Type de test*	Code du dispositif	SER**	Type de climat
ROUVRE/AUBE (52)	TP	0110060001	C20	Continental
BOIS-GENARD (52)	TP	0110060301	C20	Continental
BOIS-GENARD (52)	TP	0110060400	C20	Continental
LANMARY (24)	TP	0110060002	F15	Océanique
CADOUIN (24)	TP	0110060302	F15	Océanique
ROUFFIAC (11)	TP	0110060402	J22	Méditerranéen
TREPS (83)	TP	0410002301	J30	Méditerranéen
LAMBERT (83)	TP	0110020103	J30	Méditerranéen
PIGNAN (34)	TP	0110020102	J22	Méditerranéen
CEUSE (05)	TP	AR.86.21.12	H30	Montagnard
BOUBAUX (48)	TP	AR.97.20.03	G70	Sub-méditerranéen
CAYROLS (15)	PCPA	NA	G50	Sub-océanique
PLACHET (52).	PCPA	NA	C20	Continental
Total	11 TP et 2 PCPA	13 dispositifs différents	7 SER différentes	5 habitats différents

* Type de test : TP : test de provenances ; PCPA : placeau conservatoire de provenance authentifiée (chaque placeau est constitué d'une seule provenance ; ils sont gérés selon la sylviculture en vigueur localement, et non pour des besoins expérimentaux).

** SER : Sylvoécocorégion selon la classification de l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (<https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?article773>)

Les sélections massales faites en 1972 dans les sites expérimentaux du Bois Génard (52) et de Cadouin (24) ont servi à la constitution du verger à graines Uludag situé à la Luzette (provenances Cangal, Arac et Uludag). Les sélections massales faites en 1966 dans les sites expérimentaux de Rouvres-sur-Aube (52), Lanmary (24), Cayrols (15) et le Plachet (52) ont servi à la constitution du verger à graines de Bostan situé à Haute Serre (provenances Catak, Baldiran et Kizilkize).

3- Mode opératoire et variables à évaluer :

Les mesures et observations décrites ci-dessous ont été mises au point lors de la première année de la convention. Les mesures et observations sont faites de la même façon dans tous les sites. Elles rendent compte des potentialités de croissance, de qualité du bois, des risques abiotiques et sanitaires potentiels pour la survie et de la présence de fructifications et d'une régénération naturelle, donc des capacités d'adaptation et de résilience de l'espèce et de ses diverses origines géographiques (provenances) à des conditions écologiques variées.

3.1- Circonférence à 1,30 m.

Dans les tests de provenances : Sur tous les arbres, y compris les témoins non-Bornmüller quand ils sont présents, au ruban, pied à coulisse ou autre. Précision au millimètre à la lecture sur le terrain, ne pas arrondir.

A Cayrols et au Plachet : sur un sous échantillon constitué de tous les arbres de 3 placettes circulaires de 12 m de rayon.

3.2- Fourchaison.

Dans les tests de provenances : Pour estimer les plus gros défauts de forme, à faire sur tous les arbres en même temps que la circonférence, notation de la présence de fourches, leur position dans l'arbre, voir photo ci-contre pour un défaut majeur à noter.

A Cayrols et au Plachet : échantillonnage idem 1-.

3.3- Hauteur totale sur échantillon.

Dans les tests de provenances : **Hauteur dominante** par parcelle unitaire (PU) ou par bloc (les 3 plus gros arbres d'une PU ou d'un bloc mono-arbre) et la **hauteur de 10 arbres sélectionnés** (parmi 20) sur la base de la représentativité de leur circonférence dans la PU ou le bloc.

A effectuer sur la totalité du dispositif. Inclure des témoins non-Bornmüller quand ils sont présents. Précision à 10 cm sur le terrain, ne pas arrondir.

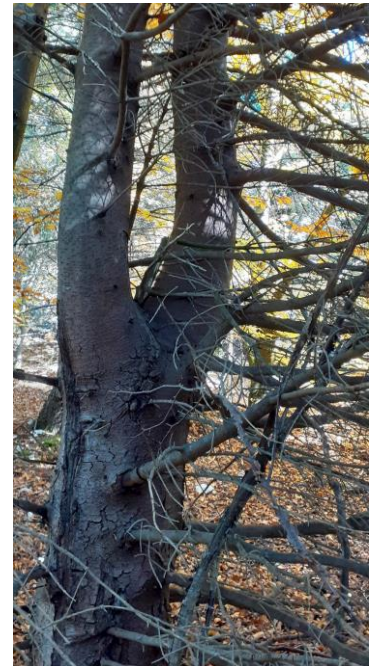
A Cayrols et au Plachet : sur un sous échantillon constitué des 5 plus gros arbres de chaque placette circulaire définie en 1-.

3.4- Comptage des cônes (2022).

Dans les tests de provenances : Compter tous les cônes visibles lors d'une observation exhaustive à la jumelle, depuis le meilleur point de vue (attention à ne pas compter plusieurs fois les mêmes cônes). A faire sur les mêmes arbres que ceux qui ont été mesurés pour la hauteur dominante.

L'année 2022 devrait être une année de moyenne ou forte production en cônes. La meilleure époque pour observer les cônes se situe entre début juillet et fin septembre avant leur désarticulation.

A Cayrols et au Plachet : échantillonnage idem 3-.



3.5- Estimation de l'état sanitaire

- **Branches mortes et manque d'aiguilles** : utiliser le protocole **DEPERIS** mis au point par le DSF. Voir : <https://agriculture.gouv.fr/la-methode-deperis-pour-quantifier-letat-de-sante-de-la-foret>. A faire sur tous les arbres ayant fait l'objet d'une mesure de hauteur totale et d'un comptage des cônes (3- et 4-). Bien caler les observations sur un arbre sain avant de commencer et bien sélectionner la partie du houppier notable pour chaque arbre à observer.

- Présence de **gélivures** indiquant une sensibilité aux gels hivernaux (photo ci-contre), échantillonnage idem 1- sur tous les dispositifs.

- Présence de **pourridié** : notation au niveau parcelle sur arbres tombés ou sur souches, de la présence de mycélium ou de carpophores d'*Heterobasidion* spp..



3.6- Régénération naturelle

Estimation de l'importance de la **régénération naturelle** issue des sites expérimentaux :

- 1- Y a-t-il de la régénération naturelle : oui / non ?
Dans la plantation : oui / non ? En dehors de la plantation : oui / non ? (photo ci-contre)
- 2- S'il y a de la régénération en dehors de la parcelle, à quelle distance se trouve-t-elle : moins de 50 m, 50-100 m et + de 100 m ?
- 3- S'il y a de la régénération en dehors de la parcelle, quelle est son abondance dans chaque classe de distance : rare, fréquente, abondante, très abondante ?
- 4- S'il y a de la régénération en dehors de la parcelle, quels stades rencontre-t-on : semis, semis recruté, fourré (au moins 1.30 m de haut), gaulis, perchis (5 à 10 m de hauteur) dans chaque classe de distance.



3.7- Acquisition des données :

Appareils classiques de dendrométrie et d'observation en forêt. Les mesures et observations de terrain ont été effectuées essentiellement en 2022 et quelques-unes en 2023.

3.8- Gestion des données et des métadonnées :

Saisie des données sur support informatique, dépôt dans le système d'information local, envoi au coordonnateur (INRAE Avignon, URFM), mise en forme et dépôt dans le système d'information local d'Avignon PlantaExp, puis archivage automatique dans le système d'information national INRAE, GnpIS. Le jeu de données sera déposé ultérieurement sur le serveur de données institutionnel « recherche.data.gouv », sous forme d'archive ouverte avec un DOI.

4- Résultats

4.1- Données générales, comparaisons inter-sites

Tableau 2 : estimation de quelques caractères liés à l'adaptation et la croissance par site suivi au cours du projet.

Nom du site	Année de plantation	Nombre de plants installés	Surface installée (ha)	Arbres restants en 2022 en % (*)	Hauteur moyenne 2022 en cm (amplitude)	Circonférence moyenne 2022 en mm (amplitude)	Espèces présentes (nombre de provenances) (**)
ROUVRE / AUBE	1966	5336	2,10	29,33%	1994 (770-2720)	734 (68-1449)	ANO (13), ABO (3)
BOIS-GENARD (0301)	1972	4940	1,98	33,64%	1856 (1010-2450)	715 (71-1367)	ANO (7), ABO (4), ALB (2), AEQ (2)
BOIS-GENARD (0400)	1978	3120	1,25	32,8%	1712 (800-2250)	727 (91-1348)	ABO (6), ANO (6), AEQ (1)
LANMARY	1966	3591	1,75	25,1%	2049 (345- 3395)	731 (105-1724)	ABO (3), ANO (9)
CADOUIN	1972	2516	1,00	44,8%	1726 (435-2600)	612 (82-1287)	ABO (4), ANO (7), AEQ (2), ALB (5), ACE (1), ANU (1)
ROUFFIAC	1978	3240	1,6	67,0%	1323 (250-1910)	608 (110-1354)	ABO (5), ANO (6), AEQ (1), ACI (2), API (1)
TREPS	1977	1071	0,23	44,7%	1555 (540-2080)	655 (150-1605)	ABO (3), ANO (3), AEQ (1), ACE (1), ACI (2), ACO (3) ANU (1), API (1)
LAMBERT	1997	735	0,29	70,3%	1071 (70-1850)	453 (58-1021)	ABO (8), AEQ (1), ALB (2), ACE (1), ACI (3)
PIGNAN	1997	840	1,89	9,8%	471 (140-810)	331 (101-586)	ABO (8), AEQ (1), ACE (1), ACI (3)
CEUSE	1988	336	0,3	10-15%	1270 (800-1800)	648 (367-1256)	ABO (1), ANO (2)
BOUBAUX	1997	3267	2,4	90,8%	698 (140-1370)	326 (101-745)	ABO (4), AEQ (1), ACI (1)
CAYROLS	1967	900	0,8	60,0%	2960 (2900 – 3160)	1136 (785-1780)	ABO (1)
PLACHET	1965	2500	1,03	43,8%	2213 (1740-2570)	876 (532-1217)	ABO (1)
Amplitude	1966 – 1997	336 - 5336	0,23 - 2,10	9,8 - 90,8	471 – 2960	331 – 1136	

(*) Arbres restant en 2022 : inclus les mortalités naturelles et les interventions sylvicoles. Certains sites n'ont pas été éclaircis : Rouffiac et tous les sites plantés depuis 1988. Pour Cayrols, il s'agit d'une approximation en l'absence de données individuelles.

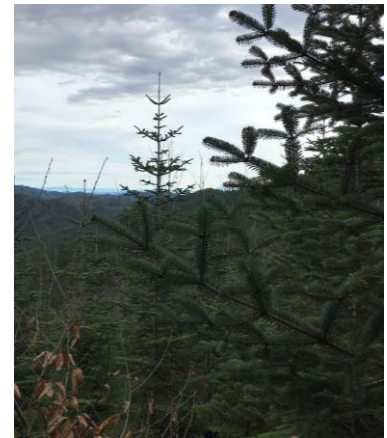
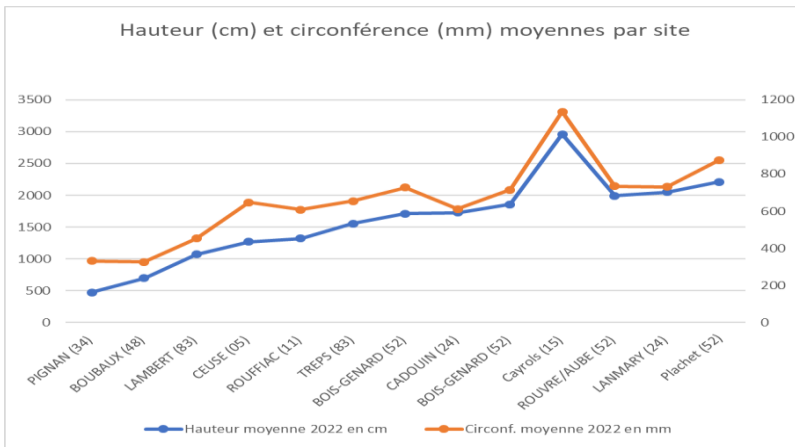
(**) Espèces présentes : ABO (*A. bornmuelleriana*), ANO (*A. nordmanniana*), AEQ (*A. equitrojani*), ALB (*A. alba*), ACE (*A. cephalonica*), ANU (*A. numidica*), ACI (*A. cilicica*), API (*A. pinsapo*), ACO (*A. concolor*).

Tableau 3 : mesures et observations de quelques caractères liés à l'adaptation et la régénération par site suivi au cours du projet.

Nom du site	Type de sol / substrat	Précipitations annuelles moyennes avant 1990 (mm)	Altitude en m	Âges des arbres en 2022	Nombre moyen de cônes en 2022 (*) (amplitude)	Etat sanitaire général	Régénération dans / autour de la parcelle
ROUVRE / AUBE	Sol brun forestier / calcaire	900	350	61	73 (4-275)	Très bon	Néant / rare
BOIS-GENARD (0301)	Argile compact / calcaire	860	320	54	38 (5-110)	Très bon	Néant / rare
BOIS-GENARD (0400)	Argile compact / calcaire	860	321	50	33 (3-142)	Très bon	Néant / rare
LANMARY	Sol brun limoneux / colluvions	810	166	61	27 (0-117)	Très bon	Abondant / rare
CADOUIN	Sable et graviers / marnes	810	180	54	20 (0-128)	Très bon	Fréquent / rare
ROUFFIAC	Limono-sableux / grès	700	580	49	20 (0->30)	Très bon	Abondant / fréquent
TREPS	Rankosol / schistes	1200	600	49	14 (0-30)	Très bon	Néant / rare
LAMBERT	Argilo-sableux / schistes	1100	440	28	0 (0-10)	Très bon	Néant / néant
PIGNAN	Argile rouge / calcaire	650	150	28	0 (0-10)	Très bon	Néant / néant
CEUSE	Argile / calcaire	1080	1200	38	37 (0-160)	Bon (plusieurs cimes claires)	Néant / rare
BOUBAUX	Limono-sableux / schistes	1500	400-550	28	0,6 (0-30)	Très bon	Néant / néant
CAYROLS	Limoneux / gneiss et micaschistes	1200	620	~60	58 (10-130)	Très bon	Très abondant / abondant
PLACHET	Limoneux / calcaire	970	330	~62	43 (23-62)	Bon (quelques arbres secs)	Néant / abondant
Amplitude	Argile – sable / calcaire - schiste	650 - 1500	150 - 1200	28 - 62	0 - 275	Bon à très bon	Néant à très abondant

(*) Estimation du nombre de cônes à Rouffiac, au Treps, à Lambert, à Pignan : comptage par catégories, d'absent à plus de 30 par palier de 10 (4 paliers, notes 0 à 3).

Figure 2 : relation entre l'âge des plants et leur hauteur (cm, axe des ordonnées de gauche) et leur circonférence (mm, axe des ordonnées de droite) en 2022. Panneau de droite : exemple de pousses annuelles vigoureuses (site de Boubaux).



La hauteur totale et la circonférence augmentent régulièrement avec l'âge (Figure 2). Si des différences fortes s'observent dans les sites jeunes à âge égal (Lambert, Pignan, Boubaux, 28 ans), elles s'aplanissent avec le temps (les valeurs sont quasi identiques pour Rouvres sur Aube et Lanmary (61 ans). On note la situation exceptionnelle de Cayrols (Figure 3). Deux causes pourraient expliquer cette vigueur exceptionnelle : effet provenance (une seule provenance très vigoureuse : Catak) ou/et effet site ? L'effet provenance unique s'il y en a un (absence de compétition intraspécifique), n'est pas visible au Plachet (provenance unique, Kizilkize).

On n'observe pas de présence de cônes en 2022 avant l'âge de 30-40 ans. La fructification devient abondante au-delà d'un âge de 40-50 ans. Par contre, la présence de semis recrutés n'est visible qu'au-delà de 60 ans, et pas dans tous les sites. La capacité d'introduction et de colonisation par régénération naturelle est possible et probable au-delà d'un âge de 50 ans (Tableau 4).

Tableau 4 : régénération à Cayrols, le site dans lequel elle est la plus abondante.

Distance à la placette	Abondance	Stade	Remarques
Dans placette	Très abondant	Semis	Cohortes de 3 ans, 7 ans et 10 ans
A moins de 50 m	Abondant	Semis, semis recruté, fourré, gaulis	Quelques abrouissements
Entre 50 et 100 m	Fréquent	Semis, semis recruté	Quelques abrouissements
Au-delà de 100 m	Rare	Semis	Autre propriétaire, travaux du sol récents en défaveur du sapin

L'état sanitaire est bon sur l'ensemble des sites mesurés, avec très peu de notes de houppiers clairsemés, de fentes sur le tronc attribuables à des gélivures ou un trop fort stress hydrique (essentiellement dans le sud-ouest). La forme des arbres est très bonne, avec très peu de défauts de fourches observés (Figure 3). On note la présence à faible fréquence de pourridié dans les sites sous influence océanique de Cayrols et Cadouin.

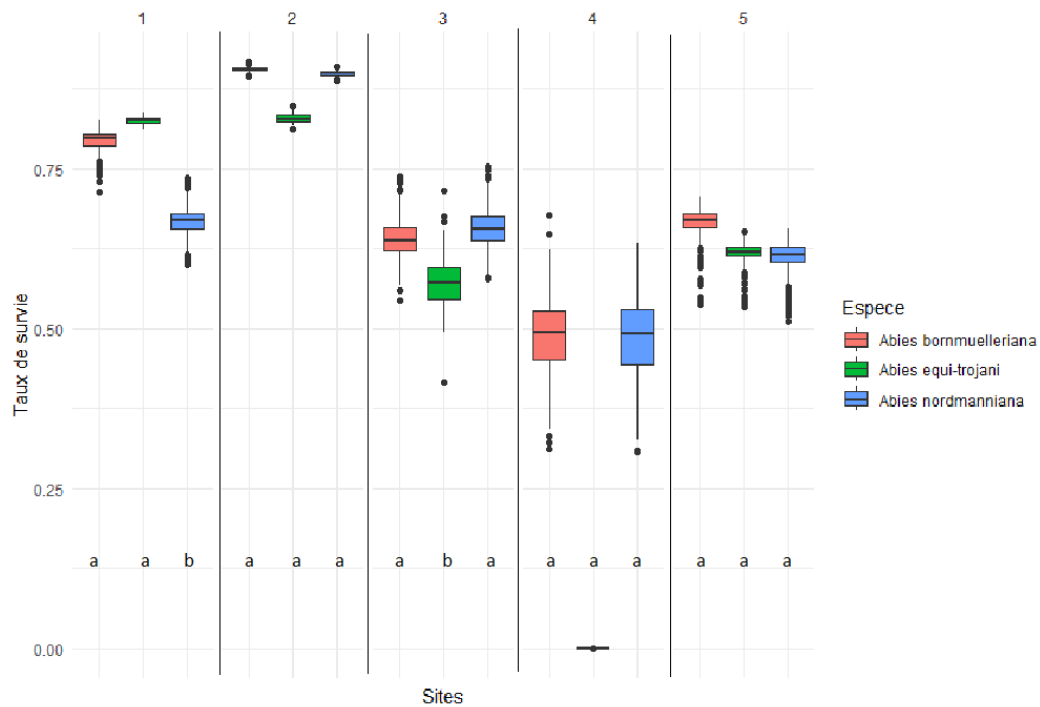
Figure 3 : vue générale du site de Cayrols (gauche, provenance Catak, le sol est recouvert de taches de semis de 3 à 7 ans) et vue partielle du site de Lanmary (droite, provenance Baldiran)



4.2- Données interspécifiques, sapins de Turquie

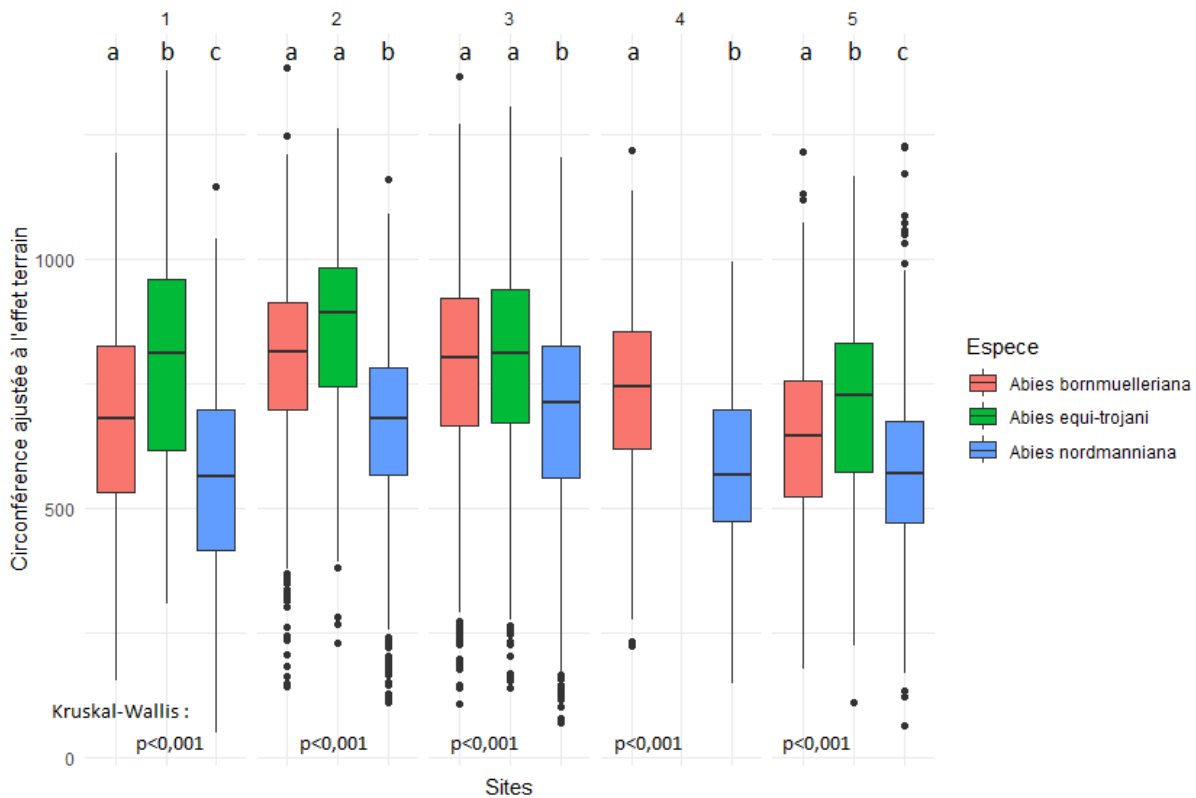
Nous nous sommes focalisés sur le groupe des sapins de Turquie les plus proches phylogénétiquement du sapin de Bornmüller. Les analyses réalisées par Matéo Cano et Aurélien Riou au cours de leur stage de M1 (Aix-Marseille Université) montrent que chaque fois que la comparaison est possible sur un même site, la vigueur (hauteur et circonférence) du sapin de Bornmüller (*Abies bornmuelleriana*) et du sapin de Troie (*A. equi-trojani*) est meilleure que celle du sapin de Nordmann (*A. nordmanniana*). Ici, nous nous sommes focalisés sur cinq sites. Site 1 : Rouffiac-des-Corbières ; site 2 : Bois-Génard (01-1006-04-00) ; site 3 : Bois-Génard (01-1006-03-01) ; site 4 : Le Treps ; site 5 : Cadouin.

Figure 4 : Taux de survie d'*A. bornmuelleriana*, *A. equi-trojani* et *A. nordmanniana* sur cinq sites d'étude. Une lettre identique à une autre (bas du graphique) indique l'absence de différence significative des taux de mortalité intra-site (test de Mann-Whitney).



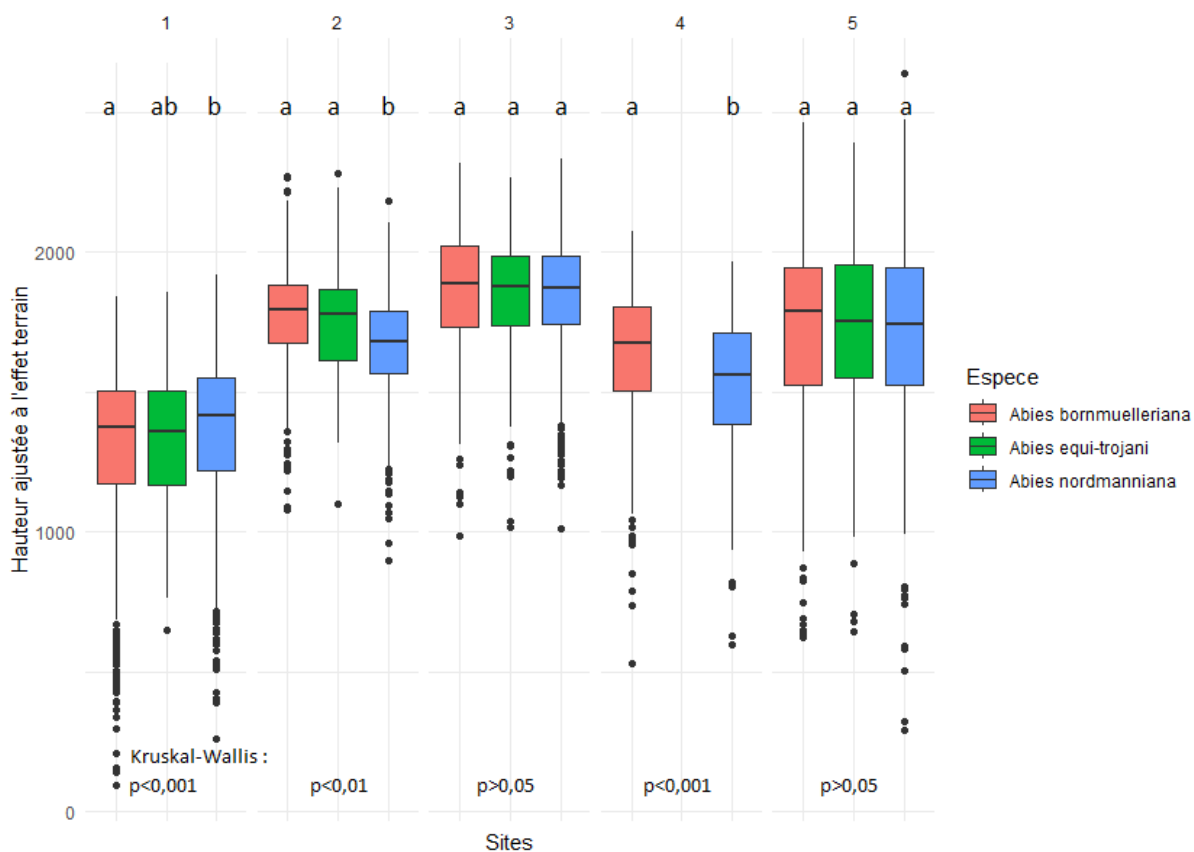
Le taux de survie rend compte de la mortalité naturelle, les arbres coupés lors des interventions sylvicoles ont été exclus de l'analyse. Le taux de survie varie selon les sites sans que l'on puisse déceler une tendance particulière. Hormis dans le site au climat méditerranéen très prononcé de Pignan (Tableau 2), le taux de survie est supérieur à 50% dans tous les habitats testés. L'espèce *A. equi-trojani* n'est pas présente au Treps (site 4). On n'observe pas de tendance particulière en termes de différence de survie entre les trois espèces *A. bornmuelleriana*, *A. equi-trojani* et *A. nordmanniana* (Figure 4)

Figure 5 : Circonférences ajustées à l'effet terrain d'*A. bornmuelleriana*, *A. equi-trojani* et *A. nordmanniana* pour cinq sites d'étude. Une lettre identique à une autre (haut du graphique, a, b ou c) indique l'absence de différence significative des valeurs de circonférence intra-site (test de Mann-Whitney).



La circonférence du sapin de Nordmann est systématiquement (et parfois significativement) plus faible que celle des deux autres sapins de Turquie (Figure 5).

Figure 6 : Hauteur ajustée à l'effet terrain d'*A. bornmuelleriana*, *A. equi-trojani* et *A. nordmanniana* pour cinq sites d'étude. Une lettre identique à une autre (haut du graphique, a ou b) indique l'absence de différence significative des valeurs de circonférence intra-site (test de Mann-Whitney).

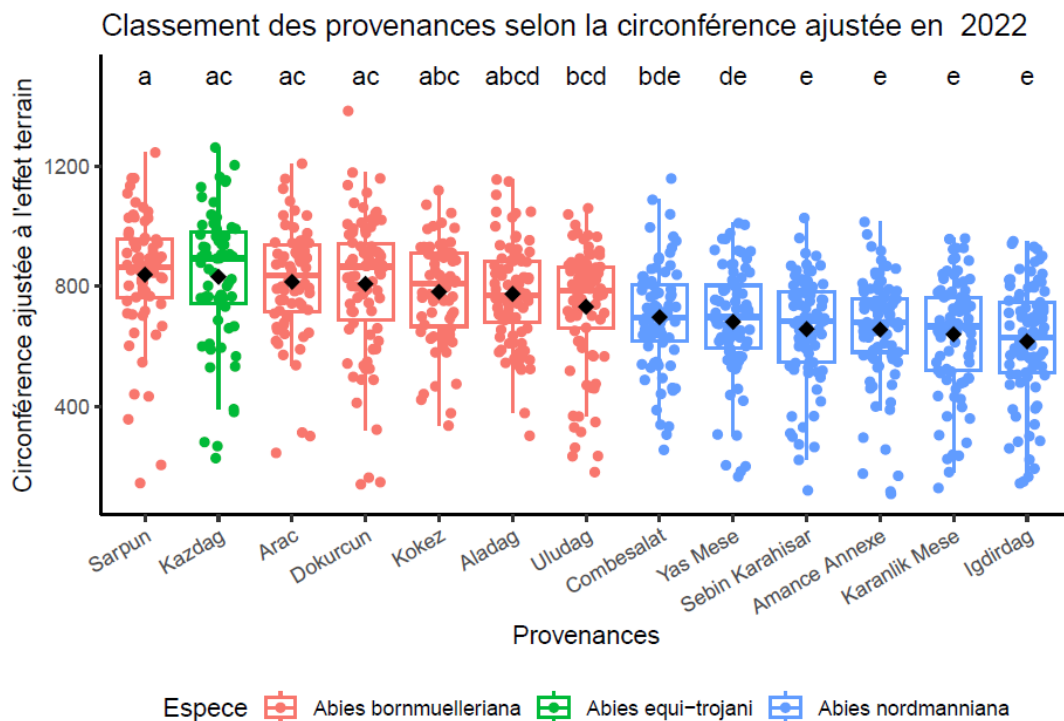


Sauf à Rouffiac (site 1, Figure 6), la hauteur totale du sapin de Nordmann est au mieux égale voire plus faible que celle des deux autres sapins.

4.3- Données intraspécifiques, comparaisons entre provenances de sapin de Bornmüller et de Nordmann

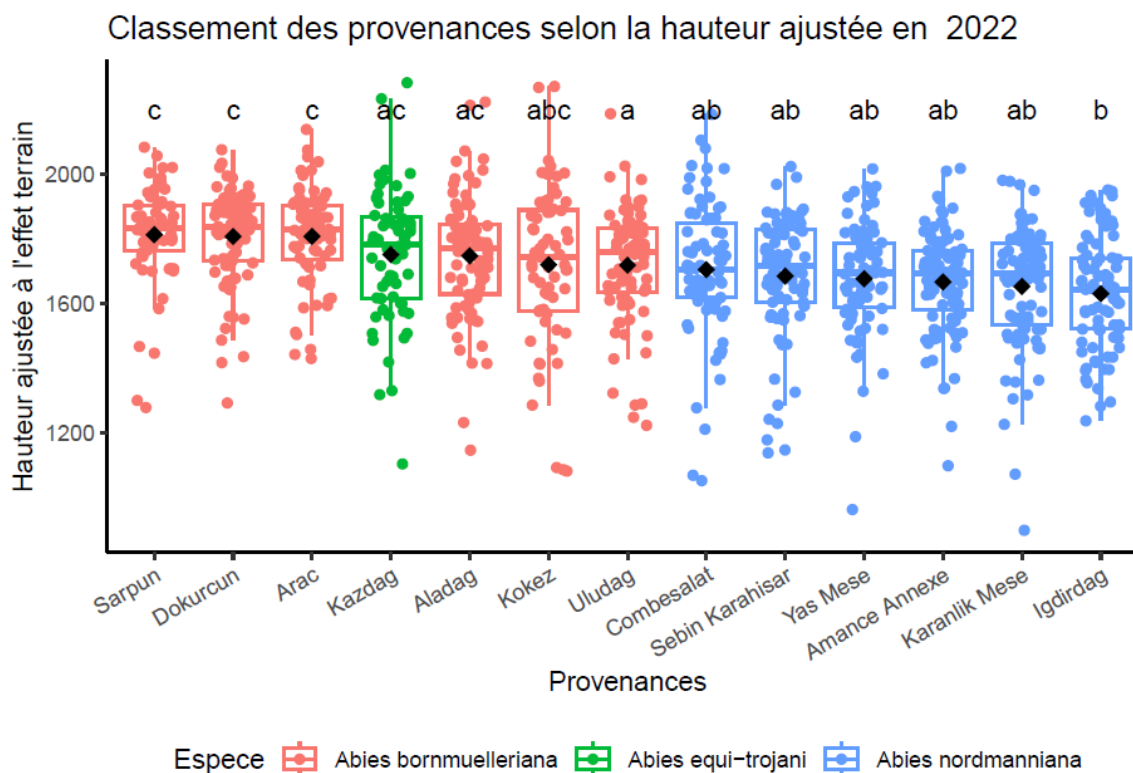
La hauteur totale et la circonférence des provenances ont été comparées dans les mêmes cinq sites que ci-dessus (paragraphe 4-2), et, de la même façon que ci-dessus, les valeurs ont été ajustées aux variations intra-sites de l'environnement par une méthode prenant en compte la vigueur des plus proches voisins. Ainsi, les différences de croissance observées sont dues à des effets génétiques et non des effets de différences de fertilité intra-site. La liste des provenances présentes dans les dispositifs mesurés figure en Annexe 1.

Figure 7 : Circonférence ajustée à l'effet terrain des provenances d'*A. bornmuelleriana* (en rouge), *A. nordmanniana* (en bleu) et *A. equi-trojani* (en vert) au Bois Génard. Les significativités sont obtenues par un test de Mann-Withney. Des lettres différentes (a, b ou c) indiquent des différences significatives entre provenances.



Les différences de circonférence entre provenances de chaque espèce sont relativement faibles et souvent non-significatives (Annexe 2), sauf au Bois Génard (Figure 7). Aucune provenance n'est systématiquement meilleure que les autres dans tous les sites.

Figure 8 : Hauteur totale ajustée à l'effet terrain des provenances d'*A. bornmuelleriana* (en rouge), *A. nordmanniana* (en bleu) et *A. equi-trojani* (en vert) au Bois Génard. Les significativités sont obtenues par un test de Mann-Whitney. Des lettres différentes (a, b ou c) indiquent des différences significatives entre provenances.



Comme dans le cas des circonférences, seul le site du Bois Génard (Figure 8) montre des différences significatives de hauteurs entre provenances de sapin de Bornmüller, sans qu'il soit possible de faire émerger une provenance systématiquement plus ou moins vigoureuse (Annexe 3).

5- Conclusion

La vigueur du sapin de Nordmann est globalement plus faible que celle du sapin de Bornmüller dans tous les environnements testés, certaines provenances de sapin de Bornmüller étant significativement plus vigoureuses que celles de sapin de Nordmann. Les provenances de sapin de Nordmann issues des arboretums français (Royat, Amance, etc.) ne sont pas plus vigoureuses que les provenances de sapin de Nordmann de l'aire d'origine, et ne montrent pas d'effet d'adaptation (auquel on aurait pu s'attendre par sélection naturelle, une génération après introduction). Que ce soit pour la circonférence ou pour la hauteur totale, il y a peu de variabilité intraspécifique chez le sapin de Bornmüller. Par ailleurs, alors qu'il a une aire de répartition bien plus grande, la variabilité des performances intra-provenance d'*A. nordmanniana* est encore plus faible que celle d'*A. bornmuelleriana*. Un peu plus de 7% des paires de provenances testées montrent des différences significatives pour les caractères de hauteur et de circonférence mesurés chez le sapin de Bornmüller, contre moins de 2% chez le Nordmann.

Les résultats ne montrent pas d'effet type de substrat ou d'effet climat marqués sur la croissance, les sites de même âge dans ces différents environnements présentent des vigueurs semblables, sauf dans les cas notables de Cayrols (climat océanique atténué, très bonne croissance) et de Pignan (climat méditerranéen très marqué, faibles précipitations annuelles, très forte mortalité). La provenance Catak qui constitue le peuplement de Cayrols n'est pas systématiquement la plus vigoureuse des provenances de sapin de Bornmüller, ni à Rouvres-sur-Aube ni à Lanmary où elle est testée, et les différences entre provenances sont en général non-significatives sur l'ensemble des tests. Ainsi, il est plus probable que la vigueur de Cayrols soit due aux conditions de milieu qu'à un effet provenance.

Les observations ne montrent pas non plus de problème sanitaire particulier. Les fentes longitudinales sur l'écorce du tronc ont une fréquence faible et il n'est pas possible de les attribuer à des gélivures ou à des fentes de sécheresse estivale. Le pourridié est globalement absent sauf dans les sites sous influence océanique de Cayrols et Cadouin (Figure 9), où sa présence avérée sur quelques chablis pourrait indiquer une présence bien plus importante. Il convient donc de prendre en considération ce risque lors de l'installation de boisements de sapin de Bornmüller en climat océanique (et potentiellement sur d'anciennes terres agricoles).



Figure 9 : Illustration d'un cas de pourridié (probablement le fomes *Heterobasidion annosum*) sur racines et chablis dans le site de Cadouin (février 2022).

Enfin, au-delà de 50 ans, les boisements montrent de réels potentiels en matière de régénération naturelle, ce qui peut être un atout ou une difficulté défaut selon le type de gestion appliqué (diversification par régénération naturelle *versus* gestion conservatoire des essences autochtones).

Les vergers à graines français de sapin de Bornmüller se composent des provenances suivantes :

- La Luzette (Uludag, MFR 710) : Cangal, Arac, Uludag, couvrant largement l'aire de répartition du sapin de Bornmüller en Turquie.
- Haute Serre (Bostan, MFR 700) : Catak, Baldiran et Kizilkize, proches géographiquement dans leur aire naturelle.

Les provenances de La Luzette sont présentes dans six des sites analysés (Annexe 1). Ces provenances conviennent dans tous les habitats testés (océanique, continental, méditerranéen) et sont en général meilleures que la plupart des provenances de sapin de Nordmann testées. Dans les deux sites expérimentaux qui ont servi à la sélection massale pour le verger à graines, elles se situent dans la première moitié des provenances les plus vigoureuses (Rouvres-sur-Aube) voire sont les mieux classées (Lanmary, résultats non montrés). Il en va de même pour les provenances de Haute Serre, elles aussi présentes dans six des sites analysés. Dans les deux placeaux où elles sont présentes seules (Kizilkize au Plachet et Catak à Cayrols), ces provenances ont une croissance tout à fait satisfaisante.

S'il reste encore à tester par marqueurs génétiques que la diversité intra-provenance est bien représentée au sein de chacun des deux vergers à graines, on peut considérer du fait de nos résultats que les provenances qui les constituent représentent une gamme de performances tout à fait satisfaisante des caractères de hauteur et circonférence. Il ne semble pas que le matériel de base d'un verger convienne mieux que celui de l'autre à un type d'habitat particulier, les performances des différentes provenances n'étant pratiquement jamais significativement différentes quel que soit le milieu considéré.

Il convient de mentionner en conclusion et à titre de perspectives, (1) qu'une analyse interspécifique qui intègre toutes les espèces de sapins méditerranéens est en cours (Projet REFER) et (2) que des tests de résistance à la sécheresse en conditions contrôlées des semis issus des vergers à graines de sapin de Bornmüller doivent être faits (prévu à la pépinière PNRGF de Cadarache en 2024, coordination CNPF - Sabine Girard). Ces analyses viendront enrichir celles présentées ici.

6- Références

Arbez M., 1969. Répartition, écologie et variabilité des sapins de Turquie du Nord : *Abies nordmanniana* Spach, *Abies bornmuelleriana* Mattfeld, *Abies equi-trojani* Ascherson et Sintenis. Annales des sciences forestières 26 (2), 257-284. (<https://hal.science/hal-00882002/document>)

FAO, 1997. Directory of seed sources of the mediterranean conifers. <https://www.fao.org/3/ad112e/AD112E02.htm>.

7- Annexe 1

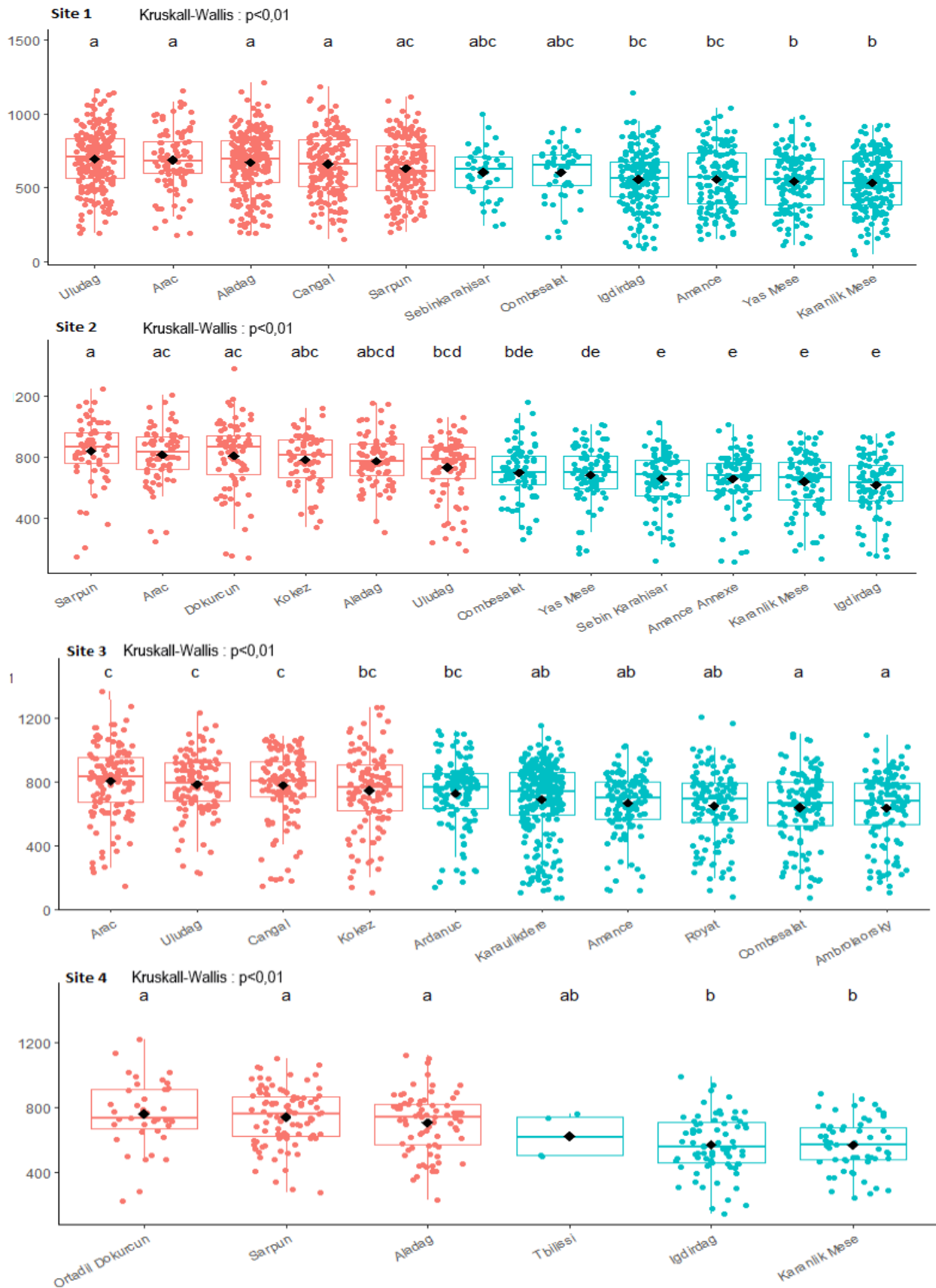
Tableau des provenances de sapin de Bornmüller testées (source : Arbez 1969, certificats d'origines des graines et FAO 1997)

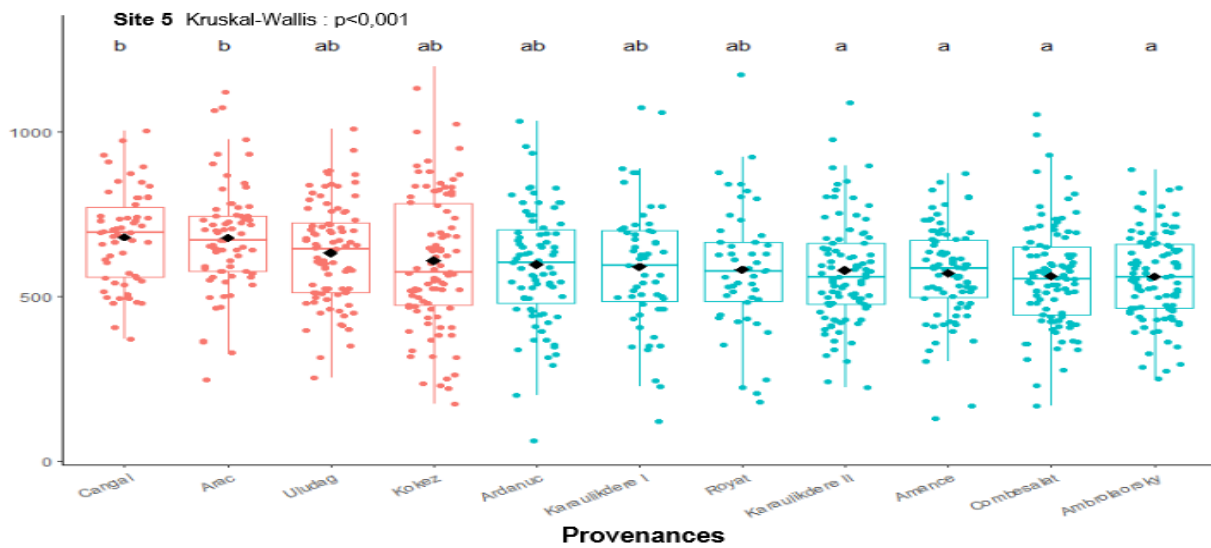
Provenance	Dispositif de test	Informations sur l'origine des provenances *
Cangal / Ayancik	Bois Génard, Cadouin, Rouffiac, Boubaux, Lambert, Pignan	Région : Kastamonou. Lat : 41,84. Long : 34,76. Alti : 1140 m. Précipit : 680 mm.
Arac	Bois Génard, Cadouin, Rouffiac	Région : Kastamonou. 1300-1680 m d'altitude
Uludag	Bois Génard, Cadouin, Rouffiac	Région : Bursa. Lat : 39,85. Long : 29,73. Alti : 1650 m. Précipit : 730 mm
Catak	Rouvres-sur-Aube, Lanmary, Cayrols, Lambert, Pignan, Boubaux	Région : Kastamonou. 1400-1700 m d'altitude
Bostan / Baldiran / Karadere / Henduzu	Rouvres-sur-Aube, Lanmary, Lambert, Pignan	Région : Kastamonou. Lat : 41,09. Long : 33,77. Alti : 1400 m. Précipit : 450 mm
Kizilkize	Rouvres-sur-Aube, Lanmary, le Plachet	Région : Kastamonou. 1500-1750 m d'altitude (Lat : 41,1. Long : 33,5).
Kokez	Bois Génard, Cadouin, Lambert, Pignan	Région : Bolu. Lat : 40,65. Long : 31,61. Alti 1300 m. Précipit : 535 mm
Sarpun	Bois Génard, Rouffiac, Treps	Région : Kastamonou. Lat : 41,50. Long : 33,50. Alti : 1500 m. Précipit : 450 mm
Akyazi / Dokurcun	Bois Génard, Treps, Lambert, Pignan	Région : Bolu. Lat : 40,65. Long : 30,87. Alti : 1275 m. Précipit : 800 mm
Aladag	Bois Génard, Rouffiac, Treps	Région : Bolu. Lat : 40,62. Long : 31,45. Alti : 1600 m
Daday	Lambert, Pignan	Région : Kastamonou. Lat : 41,59. Long : 33,42. Alti : 1500 m, Précipit : 450 mm
Abant	Lambert, Pignan, Boubaux	Région : Bolu. Lat : 40,678. Long : 31,44. Alti : 1050 m. Précipit : 535 mm
Sarialan	Lambert, Pignan, Boubaux	Région : Bolu, Lat : 40,69. Long : 31,67. Alti : 1650 m. Précipit : 535 mm

* : Région, latitude et longitude en degrés décimaux, altitude, précipitations moyennes annuelles. Le matériel testé à Céüse est d'origine inconnue. La provenance Catak testée à Boubaux a probablement été récoltée sur le site de Cayrols qui a beaucoup servi de peuplement semencier de graines de sapin de Bornmüller.

8- Annexe 2

Comparaison des circonférences 2022 du sapin de Bornmüller et du sapin de Nordmann dans 5 sites. Site 1 : Rouffiac-des-Corbières ; site 2 : Bois-Génard (01-1006-04-00) ; site 3 : Bois-Génard (01-1006-03-01) ; site 4 : Le Treps ; site 5 : Cadouin.





9- Annexe 3

Comparaison des hauteurs totales 2022 du sapin de Bornmüller et du sapin de Nordmann dans 5 sites. Site 1 : Rouffiac-des-Corbières ; site 2 : Bois-Génard (01-1006-04-00) ; site 3 : Bois-Génard (01-1006-03-01) ; site 4 : Le Treps ; site 5 : Cadouin.

