

Le chêne rouge d'Amérique : lumières sur une essence parfois contestée

Potentialités et perspectives en Auvergne-Rhône-Alpes

Synthèse
d'étude
2023-2024

Sommaire

Constats et zone d'étude.....	3
Qui est le chêne rouge d'Amérique ?	3
Les bassins de présence d'Auvergne-Rhône-Alpes.....	3
Quelques Résultats	4
L'autécologie.....	4
La productivité.....	5
La régénération naturelle intra-peuplement.	6
L'indice de Biodiversité Potentielle (IBP).....	6
La divagation / L'invasivité.....	7
Les acteurs de la filière.	8
Limites.....	8
Recommandations techniques.	8

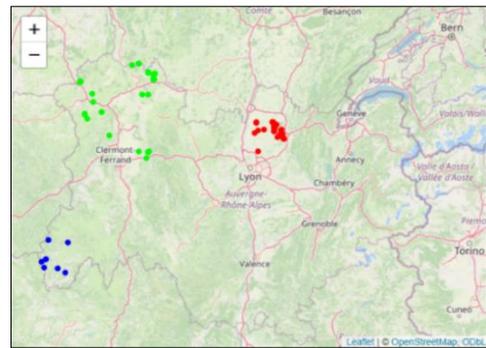
Constats et zone d'étude

Qui est le chêne rouge d'Amérique ?

Le chêne rouge d'Amérique, historiquement planté en France pour ses qualités ornementales et sa croissance rapide, a été largement utilisé en forêt à partir des années 1980, couvrant aujourd'hui environ 63 000 hectares. En Auvergne-Rhône-Alpes, le Centre National de la Propriété Forestière (CNPF) explore de nouvelles stratégies sylvicoles et identifie le chêne rouge d'Amérique comme un candidat potentiel face aux défis climatiques à venir. Il suscite un regain d'intérêt en raison de sa croissance rapide, de sa régénération naturelle parfois abondante et de son état sanitaire jugé non alarmant par le département santé des forêts (DSF, 2023). Cependant, des interrogations et réticences se posent concernant notamment sa dynamique de régénération, sa place quant à la biodiversité, sa capacité commerciale... d'où l'importance de focaliser cette étude localement sur certains volets : production, régénération naturelle, divagation et biodiversité.

Les bassins de présence d'Auvergne-Rhône-Alpes.

Cette étude se concentre sur deux bassins de présence affirmée (Ain et Allier), avec des peuplements purs ou mélangés. Sa présence dans la région est constatée dans presque tous les départements, mais de manière plus discrète, le Puy-de-Dôme et le Cantal feront partis des départements enquêtés complémentaires. Il ne forme, dans aucune localisation de la région, de massif mono ou pluri spécifique. Les climats sont variant du continental dégradé à l'océanique dégradé.



Localisation des peuplements mesurés

Crédits-Carte : Manon Raynaud © CNPF

Dans la région, le chêne rouge d'Amérique est principalement présent en plaine et moyenne montagne. Il s'accommode bien aux sols peu fertiles et tolère la sécheresse, mais sa croissance en est impactée. Son classement en tant qu'espèce « envahissante » ne fait pas consensus et soulève des questions de son impact sur la biodiversité.

Cette étude vise donc à approfondir les connaissances, en examinant plus précisément son comportement autécologique, son état sanitaire, sa dynamique de régénération naturelle et sa dispersion ainsi que son potentiel d'accueil de la biodiversité.

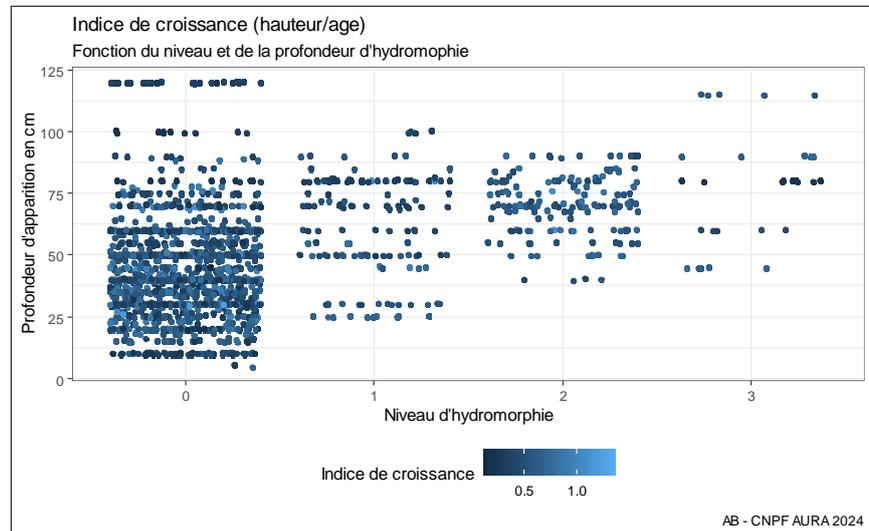
Si possible, elle fournira des recommandations sylvicoles.

Quelques Résultats

L'autécologie.

L'hydromorphie est souvent considérée comme limitante par la bibliographie. Les taux ou la profondeur d'apparition ne sont pas toujours bien qualifiés et dans notre étude, cette variable ne semble pas avoir un impact aussi considérable qu'annoncé.

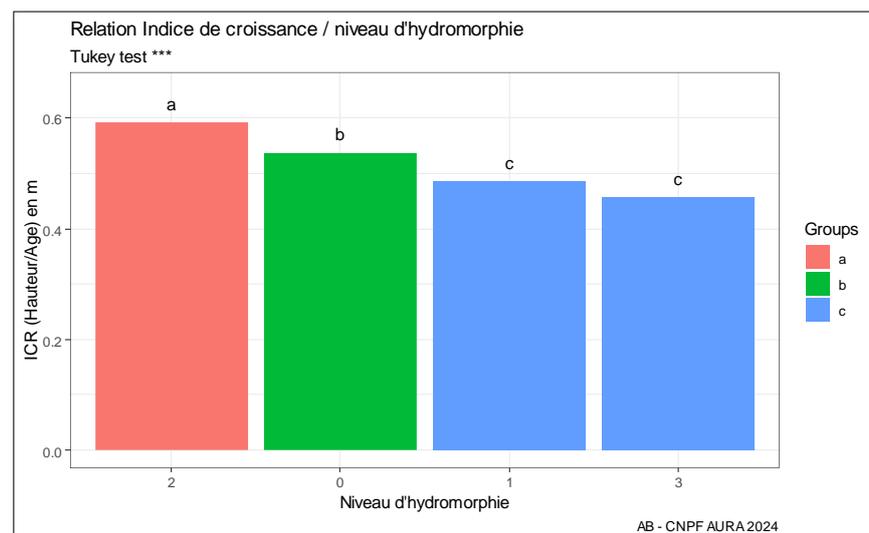
Le graphique ci-contre montre que la distribution de la croissance n'est pas ordonnée par l'hydromorphie et suggère une relation plus complexe.



Cependant prises indépendamment, les placettes avec de l'hydromorphie (niv. 1 à 3) corrént significativement avec la croissance dans le sens où :

- L'hydromorphie peu contraignante de surface (niv 1 - prof ~ 25-50 cm) ou très contraignante profonde (niv 3 - prof > 50 cm) impactent le plus la croissance.
- L'hydromorphie modérée (niv 2 - prof >= 50 cm) impacte le moins la croissance.
- Les placettes sans hydromorphie ont une moins bonne croissance qu'en hydromorphie modérée.

La frontière est ténue entre les groupes, et ne traduit pas forcément un impact conséquent pour le comportement de croissance. De plus, les autres relations ou même les biais de mesure renforcent la prudence quant à une lecture trop rapide de la relation hydromorphie/croissance, notamment du fait que la période d'enneigement (non mesurée) doit influencer certainement plus que la présence/absence.

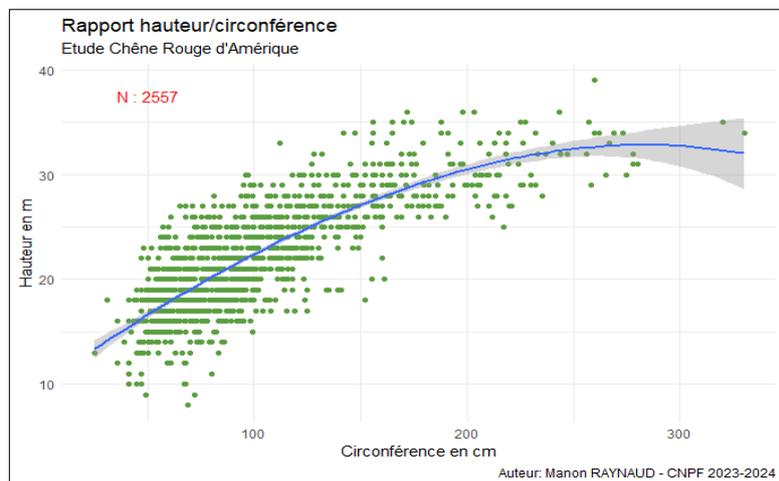


Les résultats soulignent l'importance d'apprécier l'autécologie de l'espèce dans son ensemble, les facteurs dit « compensateurs » n'existent pas vraiment. Nos mesures mettent en évidence le meilleur comportement de croissance quand tous les facteurs sont présents. Les valeurs des variables suivantes illustrent les besoins exigés de l'essence pour obtenir un bon comportement de croissance (0.6-0.8 m / an) et sanitaire.

Variabiles	Valeurs
Indice climatique Martonne	~ 45
Exposition	Non contraignante
Topographie	Plaine ou plane préférentiellement
Altitude	Non contraignante jusque 850 m
Précipitations moyennes annuelles	~ 950 mm
Température moyenne annuelle	~ 11 °C
Humus	Mulls à Eumoder
Épaisseur de sol	50 cm minimum avec charge en cailloux nulle à très faible.
Textures	Limons dominants ou Équilibrée
RUM	60 mm minimum (ce qui correspond à un sol de 50cm de profondeur avec un coefficient textural de 1.2, soit une texture équilibrée)
Hydromorphie de surface	Absente

La productivité.

La hauteur moyenne constatée est de 22 m à 30 ans et 28 m à 60 ans et une productivité moyenne de 7 m³/ha/an, sans différence notable entre les différents bassins. Avec une croissance moyenne en hauteur de 0,60 m/an, le diamètre 65 cm est constaté vers 25-30 mètres de hauteur dominante (vers 60 ans). Cet âge semble un bon compromis de récolte à partir duquel le risque de pourriture cubique augmente et qui dévalorise la bille de pied.



Notre étude met en évidence que le chêne rouge présente un bon état sanitaire et peu de défauts jusqu'à quatre mètres de hauteur de grume.

La régénération naturelle intra-peuplement.

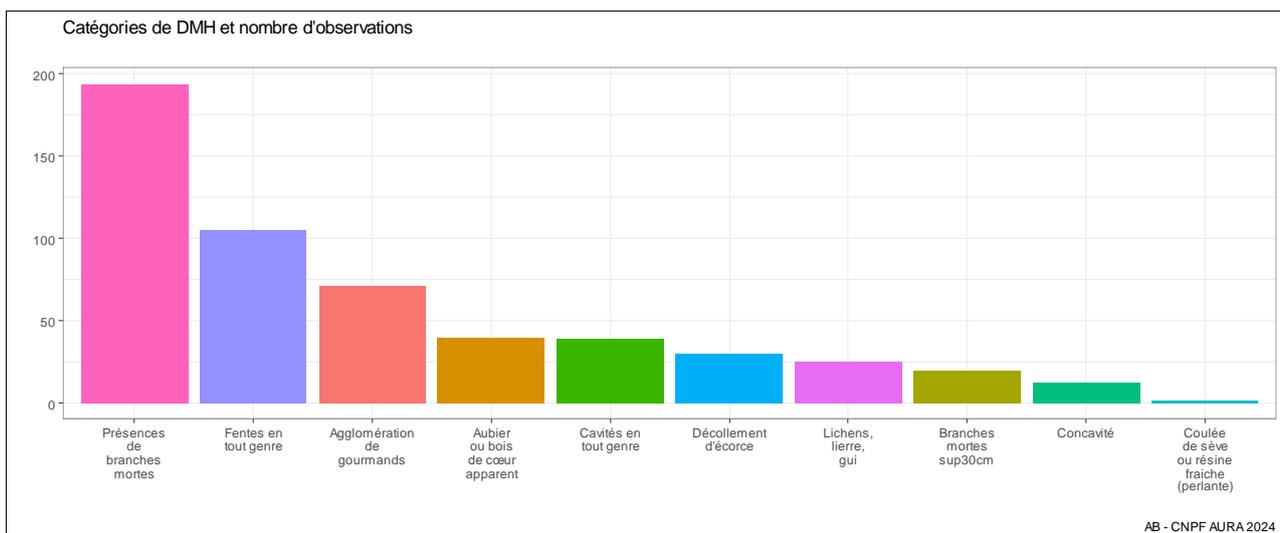
La régénération naturelle du chêne rouge **apparaît surtout à partir de 40-50 ans** mais globalement elle reste variable (présence/quantité) en fonction des sites. La maturité des peuplements à un effet sur l'abondance de la régénération naturelle. Plus le peuplement est âgé, plus la régénération toutes strates confondues est présente.

L'étude révèle que la régénération naturelle du chêne rouge peut être très dynamique comme inexistante, et que la relation « présence/quantité » de régénération naturelle des autres espèces est complexe. En effet, beaucoup de facteurs influencent la dynamique de régénération des essences, et la seule présence de régénération du Chêne Rouge n'explique pas l'absence des autres essences. (Même si notre échantillon est majoritairement composé de peuplements purs, nous n'avons pas non plus dégagé de relation dans les peuplements mélangés). **Dans les peuplements mélangés, la régénération du chêne rouge peut coexister avec celles d'autres essences à condition qu'une sylviculture orientée y soit réalisée, c'est-à-dire au profit du maintien des autres essences pour conserver le bénéfice du mélange dans la régénération naturelle.** Le chêne rouge a bonne efficacité photosynthétique (ombre comme lumière), ce qui lui confère un bon potentiel de régénération. D'autres essences (frêne, érables, sapins, hêtre...) ont seulement cette capacité à l'ombre ou à la lumière.

Dans la moitié des cas, la régénération naturelle du chêne rouge est affectée par le gibier, nous confirmons son appétence, déjà bien connue, par les ongulés (à noter que notre étude ne fait pas état de présence permanente du cerf dans les massifs enquêtés)

L'indice de Biodiversité Potentielle (IBP).

Les peuplements présentent une variété et une représentativité de dendromicrohabitats (DMH). Pour les 270 points de mesures, selon notre protocole, seuls 9 (~ 3 %) ne présentent pas de DMH. La fréquence d'observation se distingue comme suit :

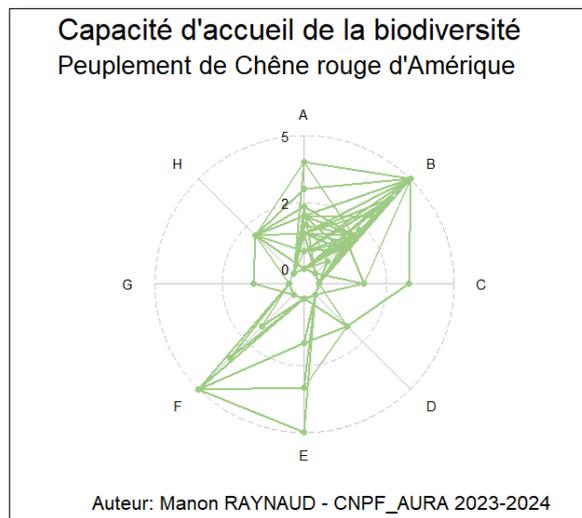


L'indice de biodiversité potentiel (IBP) met en avant 4 variables qui jouent le plus dans le potentiel d'accueil de l'essence : la présence d'essences autochtones (A), la structure verticale de la végétation (B), la présence de très gros bois vivants (E), et la présence d'arbres porteurs de microhabitats (F).

Les peuplements matures sont plus complexes et diversifiés, ce qui semble influencer favorablement la capacité d'accueil du milieu.

La biodiversité faunistique et floristique des écosystèmes forestiers dépend des éléments structuraux biotiques et abiotiques, chaque essence, y compris le chêne rouge, contribuant de manière unique à cet équilibre, ce qui rend les comparaisons de biodiversité délicates.

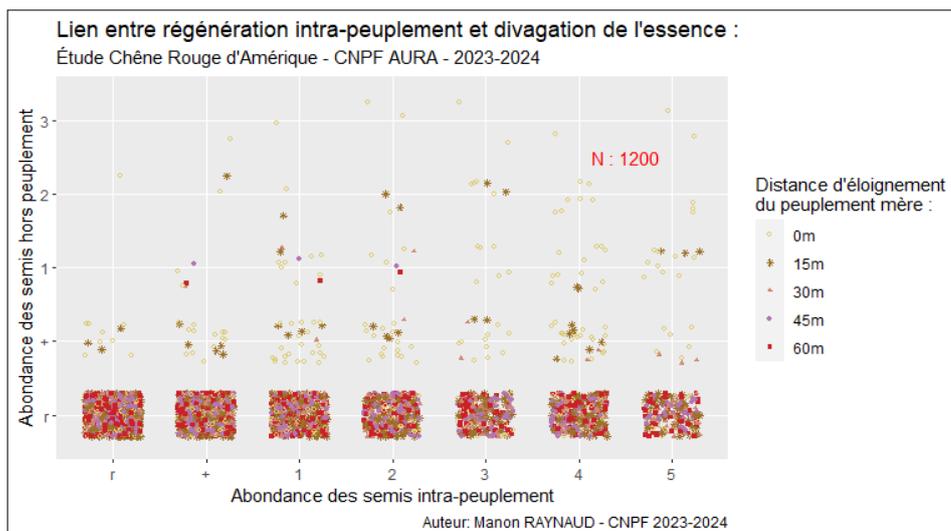
Bien que certaines études indiquent des impacts négatifs sur les sols, d'autres indiquent que le chêne rouge peut aussi accroître la diversité des arthropodes indigènes et de leurs prédateurs lors de fortes fructifications par exemple (Giannety et al., 2022).



Concernant les humus, nos relevés indiquent que plus de 80% des relevés sont de type mull, sans distinction de l'origine du peuplement (boisement/reboisement). A ce stade nous constatons donc une bonne humification de la litière.

La divagation / L'invasivité.

La présence et l'abondance de la régénération naturelle diminuent d'autant plus que l'éloignement avec le peuplement d'origine augmente : **au-delà de 30 mètres elle est quasi absente**, même lorsque le peuplement d'origine présente une très forte dynamique de régénération naturelle. **Par ailleurs, peu de publications permettent de démontrer scientifiquement l'invasivité au sens dispersif de l'essence.** Nos mesures indiquent que la dissémination des glands se fait principalement par gravitation à la périphérie du houppier et reste limitée à 15 mètres dans la plupart des cas. Nos résultats confirment la position Européenne de la non invasivité et suggère de réétudier son statut régional d'espèce exotique envahissante émergente.



Les acteurs de la filière.

Le bois d'œuvre de chêne rouge présente un intérêt confirmé par les acteurs de la première transformation de la filière régionale. Récente à l'état mature et parfois soumises à des aprioris, l'essence n'est pas encore valorisée à son maximum sur le territoire. Cependant, dans un contexte de changement climatique et de demande croissante de matériaux bois, nous encourageons des travaux complémentaires pour son développement commercial du producteur au consommateur.

Limites.

Cette étude se concentre sur la région Auvergne-Rhône-Alpes et ses résultats ne sauraient s'extrapoler à d'autres contextes qu'avec les réserves nécessaires. L'échantillonnage, non stratifié a priori et les biais potentiels introduits par les opérateurs peuvent affecter la précision de certaines données. Malgré les 160 000 saisies de mesures, la pression d'échantillonnage et le contrôle d'hétérogénéité de nos protocoles, certains détails ont pu ne pas être captés.

L'étude ne couvre pas les peuplements les plus jeunes et se concentre à partir des 20 ans et plus. Notons que les mesures de croissance sont difficilement comparables avec celles de travaux antérieurs en raison de différences méthodologiques et de modifications climatiques récentes !

L'analyse du couple « présence de l'espèce x texture de sol » est restreinte car l'absence de données pour certaines classes d'âge et les modalités rares de textures limitent l'évaluation complète du spectre.

La régénération et la biodiversité, évaluées à un instant donné, nécessiteraient une analyse plus approfondie pour comprendre leur dynamique dans le temps. Enfin, la provenance et la diversité génétique des chênes rouges introduits mériteraient une étude spécifique pour cerner ce sujet, qui n'est pas à notre portée, et permettre ou non de renforcer nos observations.

Les observations ponctuelles restent limitées d'un point de vue temporel, il conviendrait à la mise en lumière de certains aspects que nous proposons ici d'installer du monitoring au long court afin de mieux cerner les dynamiques dans certains types de peuplements, qui présentent notamment des enjeux croisés de maintien de la production, de la diversité en composition et en structure, de la biodiversité, des aménités sous pression climatique grandissante.

Recommandations techniques.

Bien que l'étude ne portait pas prioritairement sur l'établissement de recommandations, nous pouvons avancer, au regard de nos investigations de terrain, quelques précautions à prendre avec cette essence. Tout d'abord sur le respect de son autécologie, puis son éducation et de sa sylviculture pour obtenir un bois de qualité et enfin de son renouvellement.

Il est important de distinguer la tolérance de l'essence qui correspond à sa marge d'acceptation, de son optimum qui représente le milieu le plus favorable à son développement, pour la production de bois d'œuvre notamment. Dans un contexte de changement climatique, **il est conseillé d'installer une essence dans son optimum**, et c'est donc bien l'ensemble des facteurs de sol et de climat qui doivent être étudiés simultanément avant d'installer ou de favoriser le chêne rouge, ou toute autre essence.

Cette essence nécessite **une éducation suivie durant les quinze premières années pour obtenir une bille de pied avec peu de branches**. Cette formation peut se faire naturellement grâce à des essences accompagnatrices comme le charme ou le châtaignier, qui compriment les tiges pour former un tronc droit, ainsi qu'à l'aide de tailles de formation et d'élagage réalisées par le sylviculteur. Les premières éclaircies doivent favoriser les plus beaux individus et réduire la densité **à environ 600 tiges/ha**, permettant aux arbres de bénéficier de ressources suffisantes. Des éclaircies supplémentaires, seront ensuite effectuées tous **les 5 à 7 ans en fonction de la dynamique de croissance**. Une gestion plus active est recommandée d'autant plus que la station est fertile. L'objectif raisonnable de récolte est d'atteindre un diamètre **de 60-70 cm (60-70 ans), limitant le risque de pourriture cubique**.

Le renouvellement devra favoriser la diversité des essences en place afin de concourir à la robustesse du peuplement et sa résilience climatique. **Ceci peut donc nécessiter de réduire la régénération du chêne rouge pour favoriser les autres essences**. La pratique du cassage est recommandée. **Pratiquée entre mi-juin et mi-août, elle consiste à rabattre la partie supérieure des jeunes chênes rouges concurrents à 30-50 % de leur hauteur**. Cette technique permet de maintenir un bourrage pour l'élagage et une ambiance forestière.

En plantation, le chêne rouge a besoin d'un conditionnement rigoureux des plants et une sélection des provenances adaptées au climat. **La diversification avec d'autres essences issues du recru ou plantées est clairement recommandée**. Nous conseillons également de l'intégrer **dans ces plantations pour environ 20 à 70%** du nombre de plants. En regarni d'une plantation d'une autre essence, il peut être installé à hauteur de 20 % maximum du mélange et dans les 5 ans post-plantation initiale.

En enrichissement, nous conseillons d'intégrer **le chêne rouge sans dépasser 20 % de la surface du peuplement en place**. Si possible, cette introduction peut se faire par trouées ou par bouquet (avec par exemple, un maximum d'environ 50 plants par îlot).

Conclusion

L'étude met en lumière les atouts du chêne rouge en Auvergne-Rhône-Alpes notamment sa productivité, son bon état sanitaire et sa régénération naturelle dynamique, faisant de lui un candidat d'intérêt face au changement climatique. Cependant son introduction doit-être prudente, avec une gestion sylvicole adaptée pour préserver au mieux la biodiversité, la diversité des essences et la fonctionnalité des écosystèmes.



Semis de Chêne rouge

Crédits-Photos : Manon Raynaud © CNPF



LE CHÊNE ROUGE D'AMÉRIQUE : LUMIÈRES SUR UNE ESSENCE PARFOIS CONTESTÉE

POTENTIALITÉS ET PERSPECTIVES EN AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

MANON RAYNAUD

MAITRE D'APPRENTISSAGE : ADRIEN BAZIN



2023 - 2024



MASTER 2 AETPF,

PARCOURS FORÊT ET MOBILISATION DES BOIS



DRAAF Auvergne-Rhône-Alpes

Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt

TABLE DES MATIERES

Remerciements.....	
I. Introduction	1
I.A. Qui est le chêne rouge d'Amérique ?.....	1
I.B. Objectifs de l'étude.....	2
II. Zone d'étude et méthode	4
II.A. Les bassins de présence en AURA.....	4
II.B. Construction d'une base de données SIG.....	4
II.C. Comité de pilotage.....	4
II.D. Conception des protocoles et codage de prétraitement statistique.....	5
II.E. Pression d'échantillonnage et campagnes de mesures.....	7
II.F. Traitements statistiques.....	8
III. Résultats	9
III.A. Compatibilité pédoclimatique, productivité et état sanitaire.....	9
III.B. Dynamique de régénération intra-peuplement de l'essence.....	15
III.C. Dynamique de divagation.....	17
III.D. Le potentiel d'accueil de la biodiversité généraliste.....	19
IV. Discussion	21
IV.A. Compatibilité pédoclimatique et état sanitaire de l'essence.....	21
IV.B. Régénération intra-peuplement.....	22
IV.C. Potentiel de divagation.....	24
IV.D. Accueil de la biodiversité généraliste.....	25
IV.E. Acteurs de la filière.....	27
V. Limites de l'étude	28
VI. Recommandations	30
Conclusion	31
Bibliographie.....	
Résumé.....	

REMERCIEMENTS

Ce mémoire est le fruit d'un travail collectif, et je suis profondément reconnaissante à toutes les personnes qui ont contribué à sa réalisation. En premier lieu, je remercie particulièrement Madame Anne-Laure Soleilhavoup, directrice du CNPF d'Auvergne Rhône-Alpes, pour m'avoir offert l'opportunité de réaliser mon apprentissage au sein de cet établissement. Cette expérience a été enrichissante tant sur le plan professionnel que personnel. Je remercie également la DRAAF Auvergne-Rhône-Alpes pour le financement essentiel de cette étude.

Mes remerciements particuliers vont à Monsieur Adrien Bazin, mon tuteur d'apprentissage, pour son encadrement, sa disponibilité, et ses précieux conseils tout au long de l'année. Grâce à lui, j'ai pu découvrir le poste d'ingénieur forestier et les compétences associées. Je souhaite aussi exprimer ma gratitude à l'ensemble des membres du CNPF d'Auvergne Rhône Alpes pour leur accueil et leur soutien, ainsi qu'à mes professeurs et encadrants académiques de l'Université d'Orléans. Enfin, je remercie les acteurs du territoire, les organismes du comité de pilotage, les gestionnaires, et les propriétaires forestiers pour leur collaboration.

Mots clés : Controverse, productivité, renouvellement, biodiversité, invasion

I. INTRODUCTION

En France, le chêne rouge d'Amérique (*Quercus rubra* L.) a été historiquement planté dans les parcs ornementaux pour ses couleurs automnales vives, puis introduit en contexte forestier à la fin du XIXe siècle pour sa rapidité de croissance. Son utilisation en plantation s'est surtout développée dans les années 1980 lorsqu'il a été ajouté à la liste des espèces subventionnables par le Fonds Forestier National. Actuellement, l'Inventaire Forestier National (IFN) recense sur l'ensemble du territoire métropolitain environ 63 000 hectares avec le chêne rouge comme essence principale pour un volume sur pied d'environ 8 millions de mètres cubes. Il est donc considéré par l'IFN comme une essence secondaire et est à ce titre regroupé avec les autres feuillus secondaires dans la cartographie des peuplements (BD Forêt V2) et leurs résultats. En 2023 il est placé au 11^{ème} rang des essences plantées en France avec environ 950 000 plants vendus (INRAE 2023), malgré sa réputation comme étant très appétant pour le gibier.

En Auvergne-Rhône-Alpes (AURA), les chênes pédonculés et sessiles couvrent environ 135 000 ha, en peuplement de production à forte valeur ajoutée, principalement dans les départements de l'Allier et de l'Ain (IFN). L'état sanitaire est parfois médiocre avec des dépérissements « préoccupants » (DSF AURA 2023). Toutes les essences sont concernées : « les incidents climatiques de 2023 ont continué à affecter la santé des forêts » (DSF AURA 2024). Nous considérons que d'ici 2030 le réchauffement climatique aura augmenté la température moyenne annuelle de 1.5 °C par rapport à l'ère préindustrielle (Calvin et al. 2023). Celui-ci a déjà commencé et va continuer à transformer le climat d'Auvergne-Rhône-Alpes et affecter aussi les autres essences forestières régionales dont l'épicéa, le sapin pectiné et le douglas.

Le Centre National de la Propriété Forestière (CNPF) est un établissement public qui intervient auprès des propriétaires forestiers privés pour leur apporter des conseils techniques notamment et concourt à la gestion durable des forêts privées. Parmi leurs questions actuelles, celle du choix des essences à privilégier est redondante (par renouvellement à l'identique, par transformation ou par modification de la proportion des espèces en place...). Les pratiques sylvicoles courantes sont parfois remises en question et mènent vers diverses stratégies : anticipation du renouvellement, diversification des essences, promotion de la régénération naturelle, réduction des cycles de croissance/coupe, ainsi que la création de zones en libre évolution.

Pour répondre à cette question il apparaît nécessaire pour le CNPF AURA d'acquérir, d'actualiser les connaissances sur le comportement productif et sanitaire de certaines essences. Dans une récente étude (CNPF AURA 2021-2023), le chêne rouge d'Amérique est ressorti comme un candidat potentiel.

I.A. QUI EST LE CHENE ROUGE D'AMERIQUE ?

Le chêne rouge d'Amérique (*Quercus rubra* L.), est originaire de l'Est de l'Amérique du Nord. Son aire de répartition est très vaste avec un climat contrasté allant pour les précipitations de 760 mm (Nord-Ouest) à 2030 mm (Sud des Appalaches) et pour les températures moyennes annuelles de 4°C à 16°C (Burns, Honkala 1990). Il se retrouve en peuplements purs ou mélangés avec *Prunus pennsylvanica*, *Betula papyrifera*, *Pinus strobus*, *Tsuga canadensis*... C'est une essence présentant une importante plasticité liée entre autre à sa diversité génétique (Burns, Honkala 1990). Il possède des feuilles caduques alternes composées de 7 à 9 lobes, atteignant 15-20 cm de longueur. Monoïque, sa pollinisation se fait principalement par le vent, avec une floraison en mai suivie de la production de glands trapus en automne. Leur maturation échelonnée sur 2 ans offre une fructification régulière.

Le chêne rouge vit jusqu'à 150-200 ans, en France il est souvent récolté vers 80 ans, parfois en raison d'une pourriture cubique induite par des micromycètes lignivores comme la Collybie à pied en fuseau (*Gymnopus fusipes*) et le Xylébore disparate (*Xyleborus dispar*) qui déprécient la qualité commerciale de la bille de pied. Des défauts morphologiques liés, à l'exploitation ou à la sylviculture tels que des grosses branches peuvent également entraîner une dégradation de la qualité du bois, affectant les retombées économiques pour le propriétaire forestier (Sinou, Blanchin 2021).

Peu recommandé dans les espaces protégés français (considérée essence exotique et parfois invasive), il est progressivement tombé en disgrâce au cours des années 2000.

Ces dernières années, il fait l'objet d'un regain d'intérêt pour sa rapidité de croissance dans une stratégie de réduction des cycles de production et de captation du carbone. L'abondance de sa régénération naturelle et sa bonne tolérance à l'ombre lui confère un caractère reproductif naturel dynamique succès de l'irrégularisation des peuplements. Enfin, son état sanitaire n'est pas identifié dans la région comme préoccupant.

Dans un contexte de changement climatique récent et à venir, au maintien d'écosystèmes forestiers vivants notamment en plaine, il nous est apparu nécessaire d'actualiser quelques connaissances historiques de son comportement et d'enquêter certaines controverses afin de déterminer si celles-ci se vérifient (encore). De plus, puisque la filière forêt-bois est en continuel évolution, il nous semble important de savoir s'il peut être un atout pour demain et dans quelle mesure ?

I.B. OBJECTIFS DE L'ETUDE

Présente principalement en plaine, collines et moyenne montagne, il préfère des climats tempérés, évite les stations froides et sèches et peut s'adapter à des sols peu fertiles. L'essence présente l'avantage d'être « sciaphile », à croissance rapide, tolérante à la sécheresse et avec une régénération facile. Cependant, des facteurs limitants existent : altitude maximale de 800-900m, sensibilité au phototropisme, à l'engorgement de surface, au calcaire, à une mauvaise alimentation en eau, aux gelées tardives et précoces, risque de maladies et d'appétence du gibier (Timbal et al. 1994) (Sinou, Blanchin 2021). Du point de vue de l'autécologie, le chêne rouge d'Amérique prospère favorablement sur des sols sableux ou limoneux bien drainés, ou l'influence des nappes perchées est limité. Dans les textures plus lourdes (limono-argileuses, argileuses), il rencontre des problèmes entraînant du dépérissement surtout lors de fortes sécheresses (Timbal et al. 1994). Pourtant, des peuplements vigoureux ont été observés au AURA sur des sols à engorgement marqué. Ces références bibliographiques sont-elles toujours pertinentes et transposables ? En lien avec l'autécologie et les conditions pédoclimatiques, les tables de production qui existent (Timbal et al. 1994) sont-elles concordantes en AURA, sachant qu'il n'y a pas de tables régionales ?

Le chêne rouge n'apparaît pas sur la liste européenne des espèces exotiques envahissantes mais il est soumis régionalement à des restrictions d'introduction (arrêté MFR, zonages Natura 2000...). Le Conservatoire Botanique National du Massif-Central (CBN-MC) classe l'essence comme :

- « taxon envahissant émergent », c'est-à-dire « pouvant très localement présenter des populations denses et donc laisser présager un comportement envahissant futur » (Cotation Lavergne, niveau 2).
- « risque invasif élevé », c'est-à-dire « ayant une probabilité importante que cette espèce devienne une menace pour les communautés naturelles si elle se naturalise » (Cotation de Weber et Gut).

Cependant, cela soulève des interrogations sur la fréquence, l'intensité, les types de milieux et de communautés natives concernés et sur la cohérence et les critères de classement (classé au même titre que d'autres espèces absentes du territoire). Est-ce qu'il a réellement cette capacité d'expansion ? Les termes « divagation » ou « dispersion » seront préférés pour traiter de cet aspect de manière plus neutre. En regard du dépérissement des chênes autochtones, sa présence ne permet-elle pas le maintien d'une certaine capacité d'accueil de la biodiversité ?

Le chêne rouge se régénère naturellement bien grâce à une fructification abondante (Timbal et al. 1994). Ce caractère est-il toujours vérifiable face aux nouvelles contraintes climatiques ? En conséquence de cette abondance, il est parfois considéré comme « invasif ». Pour l'être, il doit cependant avoir réalisé quatre étapes nécessaires : introduction, acclimatation, naturalisation et expansion et il en découle la question du potentiel d'impact sur la biodiversité locale.

Considérant ce qui vient d'être évoqué, et comme aucune étude régionale, dans un contexte de changement climatique récent, n'a été réalisée en Auvergne-Rhône-Alpes, les objectifs de ce travail seront d'**évaluer** le potentiel régional de l'essence en répondant aux questions suivantes :

- L'autécologie bibliographique est-elle toujours conforme aux observations du terrain ?
- Est-il dépérissant et quels pourraient en être les facteurs explicatifs ?
- Quel est le comportement de croissance en hauteur et quelle relation peut-être mise en évidence avec l'âge et la station ?
- Quel est son potentiel d'accueil de la biodiversité ?
- Quelle est sa dynamique de régénération intra-peuplement et de divagation ?

Notre étude tentera donc de fournir des recommandations régionales aux propriétaires forestiers sur la compatibilité pédoclimatique et les perspectives de développement du chêne rouge au sein de la filière, en questionnant son impact sur la biodiversité/milieux associés et ses aspects sanitaires et de croissance.

Cette étude est accompagnée financièrement par la Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt (DRAAF) d'Auvergne-Rhône-Alpes.

II. ZONE D'ETUDE ET METHODE

II.A. LES BASSINS DE PRESENCE EN AURA

Cette étude se focalise dans les trois bassins de présence notable de l'essence, répartis en 4 départements, où elle ponctue le milieu forestier, mais sans jamais former de massif pur de plusieurs dizaines d'hectares. A noter que *Cervus elaphus* n'est pas présent sur ces territoires.

Nord-Est (Ain) : 139 000 ha de forêts au total (68 % privés. 64 % feuillu, 36 % résineux toutes essences confondues). Secteur de plaines et collines inférieur à 300 m d'altitude avec un climat homogène de type continental dégradé (précipitation moyennes annuelle (Pman) = 1217 mm, température moyenne annuelle (Tman) = 10.6 °C, source Météo France et traitement CNPF AURA).

Nord-Ouest (Allier et Puy-de-Dôme) : 335 000 ha de forêts (83 % privés. 53 % feuillu, 47 % résineux). Secteur de plaines et collines inférieur à 400 m d'altitude avec un climat varié de type océanique-continental dégradé (Pman = 642 mm, Tman = 11.5 °C).

Sud-Ouest (Cantal), 130 000 ha de forêts (83 % privés. 75 % feuillu, 25 % résineux), collines et basse montagne jusque 800 m d'altitude avec un climat de type océanique dégradé (Pman = 1171 mm, Tman = 9.1 °C), plus froid et pluvieux. Ce secteur bien que moins représenté dispose de quelques peuplements pouvant compléter notre échantillon.

Ces bassins sont concernés par des zonages environnementaux de type Natura 2000, tels que la Sologne Bourbonnaise dans l'Allier ou la Dombes dans l'Ain obligeant pour les plantations les propriétaires forestiers à se référer aux documents d'objectifs (DOCOB) des sites et plus généralement aux recommandations sur les matériels forestiers de reproduction (MFR) ou le chêne rouge est réglementé.

II.B. CONSTRUCTION D'UNE BASE DE DONNEES SIG

L'IFN répertorie 30 points de mesure en AURA alors que Merlin, l'outil interne du CNPF en identifie près de 1 330 ha en forêt privée avec des données par parcelle forestière (essence, type peuplement, dendrométrie...). C'est cette base de données qui a été mobilisée pour cartographier sous QGIS les peuplements disponibles et mesurables. Les données attributaires sont renseignées suite à la lecture des documents de gestion.

Les parcelles ciblées doivent avoir une surface de 2 hectares minimum avec une géométrie « régulière », une surface terrière de chêne rouge supérieure à 50 % (autres essences possibles) et être âgées d'au minimum 20 ans. Nous avons souhaité éviter les lisières et les géométries quelconques qui influencent la prise de données (écartement minimum des placettes de mesures de 20 m des bordures) ainsi que les peuplements inférieurs à 80 tiges/ha. Au total, 101 peuplements ont été identifiés comme pouvant répondre aux besoins de l'étude.

II.C. COMITE DE PILOTAGE

La bibliographique propose très peu de protocoles de mesure. Nous avons réuni un premier comité de pilotage (COPIL) entre professionnels de la gestion, DRAAF, CBN-MC, Conservatoire d'espace naturel (CEN), DSF, l'Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement (INRAE), l'interprofession Fibois, pour définir entre autre les variables à mesurer, comment, avec

quelles limites. L'équipe projet en a conçu, testé, calibré, quatre (annexe 5) avant leur prise en main par les opérateurs de mesure. Ils ont été numérisés via Epicollect5. Le COPIL s'est également réuni pour évoquer le retour des campagnes de mesures et enfin pour discuter des résultats.

II.D. CONCEPTION DES PROTOCOLES ET CODAGE DE PRETRAITEMENT STATISTIQUE

Les protocoles sont indépendants les uns des autres, les prises de données sont donc sans chevauchement.

1. **La production** : Relevé de station et photo, dendrométrie du peuplement et photo, défaut de la grume de pied, aspects sanitaires et présence de régénération.

- **Précisions pour le traitement statistique de l'autécologie et du climat :**

Parmi les 36 facteurs écologiques de G. Masson (2005), nous en avons sélectionné et recodé 10 (6 pour le sol et 4 pour le climat) pour créer un indice de compatibilité pédoclimatique de l'essence par placette (somme des valeurs de chaque facteur, gradient de -13 à 39, annexe 1). Ces facteurs ont été notés individuellement de la manière suivante et classés selon leur compatibilité totale en code couleur :

- -1 : Manque de bibliographie (couleur blanche),
- 0 : Incompatibilité (rouge), le facteur est donc limitant,
- 1 : Tolérance (orange),
- 2 : Contexte favorable (vert clair),
- 3 : Optimum (vert foncé).

Cas particulier de la texture du sol : l'indice varie de 0 à 9.2 car il dépend du nombre d'horizon. La plupart des études sont basées sur le triangle de l'Aisne à 15 classes. Sur le terrain, l'appréciation entre un limon léger et moyen est difficile voire, impossible (Augusto et al. 2017). Pour ces raisons, nous avons utilisé le triangle à 5 classes (de Forges, Feller, Jamagne 2008). Pour illustrer le rapport entre les deux classements, nous avons mis en regard l'indice de compatibilité textural de la bibliographie de Masson et celui d'Augusto. Pour la classe équilibrée, qui est considérée comme compatible, nous observons un conflit car elle comporte à la fois des textures favorables et incompatibles selon Masson.

Masson 2005 et valeur de compatibilité	ALo 0	A 0	AL 0	LA 2	LL 3	Lm 3	AS 0	LSA 1	LAS 1	LS 3	LmS 2	LLS 2	S 0	SL 3	SA 1
L. Augusto et al., 2017	Argile lourde		Argile		Limon			Equilibre					Sable		
Indice de compatibilité calculé	0		0		2.6			1.5					1.3		

Tableau 1 : Comparaisons bibliographiques

Nous avons donc calculé une moyenne par classe simplifiée d'Augusto à partir des valeurs des indices de Masson. La note globale additionne les indices de compatibilité de chaque horizon (soit 4 au maximum), avec une correction pour les horizons non identifiés (échelle de 0 à 9.2).

Précisions pour l'humus : le classement de Masson nous semble original. En effet, les humus de type mesomull ou eumull sont classés en absence de bibliographie alors qu'ils témoignent de manière générale d'une bonne décomposition de la matière alors que l'oligomull est lui classé en contexte favorable et proche des deux précédents. Un certain manque de connaissances bibliographique est à identifier sur ce point (annexe 1). Pour la réserve utile, les coefficients de pédo-transfert (Al Majou et al. 2008) ont été traduits en indice de compatibilité pédoclimatique (paramètre non documenté par Masson, 2005), afin de vérifier si l'essence est présente uniquement dans les stations favorables selon la bibliographie. Une compatibilité pédoclimatique « parfaite » correspondrait donc aussi à des stations avec une productivité maximale. Ces indices de compatibilité selon la bibliographie ont par la

suite été confrontés à la croissance pour tenter de mettre en évidence les variables les plus significatives et de clarifier certaines zones d'ombre de la bibliographie actuelle.

L'indice climatique (IClim) est l'indice d'aridité de De Martonne : $P_{man}/(T_{man}+10)$ (E.Martonne, 1926).

- **Précisions pour le traitement statistique de la productivité :**

Afin de mettre en évidence la productivité de l'essence, nous avons sélectionné 82 peuplements purs réguliers. Les hauteurs mesurées ont été centrées et réduites pour pouvoir faire des comparaisons en fonction des bassins de présence et par rapport à la bibliographie (Timbal et al. 1994). L'étude des hauteurs entre les bassins n'a pas montré de différence significative (*n.s.*), ce qui a conduit à regrouper toutes les hauteurs. Il n'y a pas non plus de différence significative (***) entre les hauteurs dominantes et moyennes (*n.s.*). L'indice de croissance (ICr) a donc été créé en divisant les hauteurs dominantes par l'âge avec une limite supérieure de sélection à 50 ans.

La production en volume à l'hectare est calculée par placette uniquement pour les peuplements purs et âgés de moins de 50 ans (671 valeurs) en utilisant différentes méthodes :

- volume par placette via la densité (L10 : distance au 10^{ème} arbre le plus éloigné),
- calcul $F*G*H$ (avec G : la surface terrière, Hauteur de découpe (H) = 0,5*Hauteur totale (pour des arbres jeunes il est raisonnable de réserver une demi-hauteur pour la bille, et l'autre moitié pour la surbille et le houppier) et coefficient de forme (F) = 0.7 issu des tarifs Chaudé 13 et 14 couramment employés pour ce type d'essence et de peuplement (Chaudé 1987).

Il s'agit ici d'un calcul de production moyenne et non courante.

Pour quantifier les variables les plus significatives influençant la croissance, nous avons analysé :

- les données brutes en relation avec l'ICr,
- les indices de compatibilité pédoclimatiques par variable.

La présence de défauts par arbre sur la grume de 4 m a été relevée afin de définir la qualité commerciale de l'essence ainsi que la présence et le type de sylviculture effectué. Concernant l'état sanitaire, celui-ci a été relevé selon trois classes résumant le protocole DEPERIS, « tous les arbres sont sains, présence d'arbres dégradés, présence d'arbres morts ».

1. **La biodiversité : faute de compétences naturalistes spécifiques et de ressources suffisantes,** a été quantifiée par l'Indice de Biodiversité Potentielle (IBP - CNPF, v3.0). Relevé de la structure et composition du peuplement, quantification du bois mort et des gros bois et milieux associés avec photos. Les dendromicrohabitats (DMH : branches mortes, fentes et cavités..., agglomération de gourmands...) ont été relevés sur 10 arbres par placette.

- **Précisions pour le traitement statistique de l'IBP et de la complexité :**

Nous avons calculé le score IBP par placette en attribuant des notes de 0, 1, 2 ou 5 par variable (annexe 2) puis construit une note « de complexité » globale tenant compte en plus de la structure verticale du peuplement, de la présence de milieux diversifiés, de la répartition des classes de diamètres et de la présence de régénération (annexe 3).

2. **Régénération intra-peuplement :** dendrométrie du peuplement, photo, coefficient de recouvrement par stade de croissance, consommation du gibier par niveau d'abrutissement (même opérateur pour minimiser les biais) et hors protocole Brossier-Pallu, faute de temps.
3. **Divagation :** elle a été évaluée en réalisant 5 placeaux de 1m² écartés entre-eux de 15 m, à partir de la limite du peuplement et jusqu'à 60 m d'éloignement quel que soit le milieu adjacent et ce pour 4 azimuts fixes (N, S, E, O). Pour les peuplements de plus de 2 ha, les demi-azimuts ont été ajoutés, portant à 8 le nombre de directions de relevés. Pour chaque

placeaux : nature du sol, description du peuplement juxtaposant (si type de sol forestier), taux de recouvrement par strate de régénération, identification de blocages potentiels et photo.

La quantification de la régénération (intra et divagation) a été appréhendée par stade de croissance (semis, fourré, gaulis, perchis) avec le taux de recouvrement de Braun-Blanquet 1928 (Loïc 2015) :

- *r* : Absence d'individus
- *+* : Individus peu abondants, recouvrement inférieur à 5 % de la surface
- *1* : Individus assez abondants, recouvrement inférieur à 5 % de la surface
- *2* : Individus abondants ou très abondants, recouvrant de 5 à 25 % de la surface
- *3* : Nombre d'individus quelconque, recouvrant de 25 à 50 % de la surface
- *4* : Nombre d'individus quelconque, recouvrant de 50 à 75 % de la surface
- *5* : Nombre d'individus quelconque, recouvrant plus de 75 % de la surface.

• **Précisions pour le traitement statistique de la régénération :**

Les peuplements étudiés sont bordés par des milieux adjacents répartis de la manière suivante : 35 % en zone agricole, 32 % en forêt composées d'autres essences, 27 % en forêt mélangée avec du chêne rouge et 3 % respectivement en zone bâtie ou à proximité d'un étang, d'une marre... où parfois les mesures ont été difficiles. Lorsque le milieu adjacent est une forêt mélangée avec du chêne rouge, les mesures sur la régénération ne sont pas réalisées pour éviter les biais d'origine de celle-ci.

Les mesures intra-peuplement sont d'abord traitées indépendamment (3 mesures/peuplement) puis couplées chacune avec les mesures du protocole de divagation par azimuth pour déterminer si l'absence de divagation est due à un manque de régénération du peuplement d'origine ou à d'autres variables.

II.E. PRESSION D'ÉCHANTILLONNAGE ET CAMPAGNES DE MESURES

Au printemps 2023, nous avons sollicité les propriétaires et les gestionnaires forestiers pour obtenir les accords de passage. Anticipant des refus potentiels, il a été décidé de ne pas stratifier a priori l'échantillonnage et de mesurer le plus grand nombre de peuplements en fonction des accords obtenus. Sur 62 demandes (pour 101 peuplements ciblés), seuls 3 refus ont été formulés. Les visites terrain ont confirmé l'intérêt ou non des peuplements, ce qui a permis d'en mesurer 82, pour un nombre total de 79 à 90 répétitions selon les protocoles. Les mesures ont commencé au fil de l'eau de la réception des accords, ce qui n'a toujours pas rendu possible la stratification a priori.

Chaque peuplement est mesuré par trois placettes à rayon variable (sauf pour la divagation) afin de contrôler son hétérogénéité. Les mesures peuvent être répétées par tranche de 3 ha supplémentaires dans les peuplements de surface importante. Les points d'arrêt sont définis par l'opérateur *in-situ*.

Protocoles	Productivité	Régénération intra-peuplement	Biodiversité	Régénération (divagation) extra-peuplement
Nombre mesuré				
Peuplements	88	90	90	79
Placeaux de mesure	3	3	3	4 azimuts * 5 placeaux
Répétitions totales	264	270	270	316 azimuts * 5 placeaux (=1580)
Variables mesurées	272	126	77	23
Données totales	71 808	34 020	20 790	36 340

Tableau 2 : Échantillonnage

Une partie de la pression d'échantillonnage est basée sur la densité. A partir des données de densité de Merlin (confirmées par les mesures de terrain) nous avons orienté les protocoles vers des mesures par placette à rayon variable afin de capter les différences pour 10 arbres à chaque fois. Le L10 mesuré

est en moyenne de 10 m (surface ~ 300 m², eq. 300 tiges / ha). Avec 3 répétitions de 10 arbres, l'échantillonnage couvre environ 10 % du nombre et de la surface, ce qui est utilement recommandé (Lejeune, Petit 2016). Pour les valeurs de L10 < 7 m (7 m eq. 617 tiges / ha), la pression pourrait être jugée limite. Dans notre étude, peu de peuplements sont dans ce cas. Pour les valeurs entre 7 m et 11m (11 m eq. 250 tiges / ha), nous sommes dans un optimum de pression d'échantillonnage. Enfin, pour un L10 supérieur à 11 m, nous augmentons la pression jusque 30 % (L10 de 17 m eq. 105 tiges / ha). Nous considérons que les 30 répétitions avec un L10 inférieur à 7 m sont largement compensées par le reste du jeu de données. Pour la divagation, la pression est d'environ 8.5 % de la surface, 60 m² parcourus par azimut pour 5 m² de relevés.

Deux campagnes de mesures « protocole productivité » se sont déroulées durant l'été et l'automne 2023. Le reste des mesures avec les autres protocoles, par un seul opérateur à la même période.

II.F. TRAITEMENTS STATISTIQUES

Sur plus de 160 000 saisies, nous avons trouvé 8 erreurs (démontrant ici l'efficacité du numérique). Deux valeurs aberrantes concernaient la hauteur des arbres : 340 et 1200 m, corrigé par comparaison de valeurs du point de mesure (34 et 12 m). Les autres valeurs aberrantes sont la profondeur totale de sol prospecté et ont été corrigées par addition des épaisseurs de chaque horizon.

A cette base de données des mesures de terrain, nous avons ajouté pour chaque site 3 variables climatiques (Pman, Tman et nombre de jours de gel) calculées par le CNPF AURA à partir des données MétéoFrance du modèle SAFRAN pour la période 1980-2022. Le traitement statistique a été fait à l'aide du logiciel Rstudio, avec pour principaux packages : Dplyr, ggplot2, FactoMineR et agricolae.

Pour les croisements de variables qualitatives et quantitatives, des régressions linéaires multiples, des analyses de variance et des tests de Khi² ont été utilisés. Dans le cas du test ANOVA, celui-ci permet d'affirmer ou infirmer une liaison significative entre deux variables en s'arrêtant à une analyse de l'ensemble sans en renseigner le sens (ex : lien hauteur-âge). L'utilisation du Test post-HOC avec correction de Bonferroni est donc appliquée pour en déduire le sens. En cas de non-respect des conditions préalables, les tests non paramétriques correspondants ont été employés. Afin d'avoir une vision globale et pouvoir expliquer le comportement de plusieurs variables, des analyses multifactorielles (ACM) ont été utilisées. Le jeu de données a été employé partiellement ou intégralement selon les besoins de traitement, le nombre de répétitions est indiqué sur le graphique (n=).

Par convention, le résultat des tests est présenté selon : 0 '***' ; 0.001 '**' ; 0.01 '*' ; 0.05 '.' ; 0.1 '' ; 1 'n.s.'

III. RESULTATS

Les mesures se répartissent géographiquement de la manière suivante (figure 1). L'étude a révélé que les peuplements en Auvergne-Rhône-Alpes sont âgés de 20 à 110 ans, **45 ans en moyenne, et dont 60 % est entre 30 et 45 ans**. Ce sont des **peuplements jeunes, mais issus du contexte climatique récent**.

Le contrôle de l'hétérogénéité met en évidence une variabilité stationnelle et écologique au sein des répétitions de mesures d'une même unité d'échantillonnage et au sein de certains peuplements. Par exemple l'humus est

différent dans 29 % des cas, et la profondeur de sol varie ($sd > 15$ cm) dans 18 % des cas. En croisant l'ensemble des variables (texture, densité...) mesurées par répétition, cela met en évidence une forte hétérogénéité, d'où l'importance de réaliser des mesures répétées à une échelle spatiale réduite.

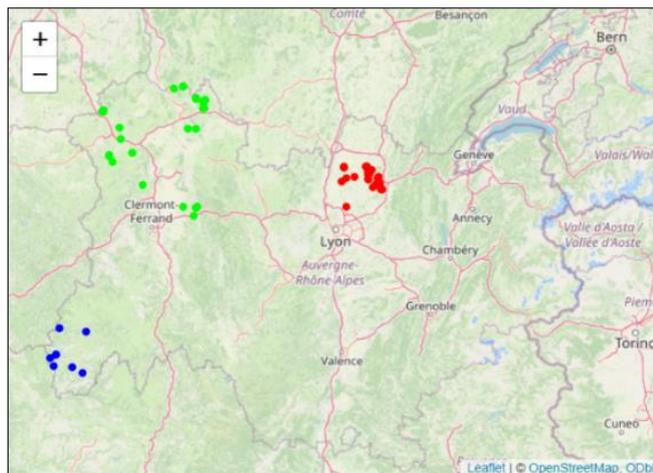


Figure 1: Localisation des peuplements

III.A. COMPATIBILITE PEDOCLIMATIQUE, PRODUCTIVITE ET ETAT SANITAIRE

L'autécologie bibliographique de Masson est-elle conforme aux mesures du terrain ?

La répartition du nombre de placettes en fonction du nombre de facteurs limitants s'établit selon :

- **30.7 % des placettes n'ont pas de facteur limitant,**
- **43.5 % = 1 facteur,**
- 23.1 % = 2 facteurs
- 2.7 % = 3 facteurs limitants.

Aucune distinction par bassin ne peut être faite.

La figure 2 illustre le nombre de placettes par classe de compatibilité pédoclimatique comme suit :

- 17.8 % des observations sont en classe optimale (bande verte claire),
- 75 % dans l'intermédiaire (bande orange),
- 7.2 % en classe d'incompatibilité (bande rouge).

Elle met aussi en évidence que la croissance peut être faible, moyenne ou bonne au sein de la même classe et que la croissance peut être faible malgré une bonne compatibilité sans facteurs limitants.

Par exemple, concernant la pluviométrie moyenne annuelle, la bibliographie annonce des valeurs optimales d'environ 1000-1100 mm. Notre jeu de données présente 35.2 % des cas dans cet optimum, puis 21.6 % avec des valeurs jugées favorables (800-1000 ; 1100-1200 mm), 35.2 % des cas dits incompatibles (< 800 mm) et 8 % des cas non documentés par la bibliographie. Pourtant, la croissance observée peut être bonne moyenne ou faible quel que soit ces valeurs de pluviométrie.

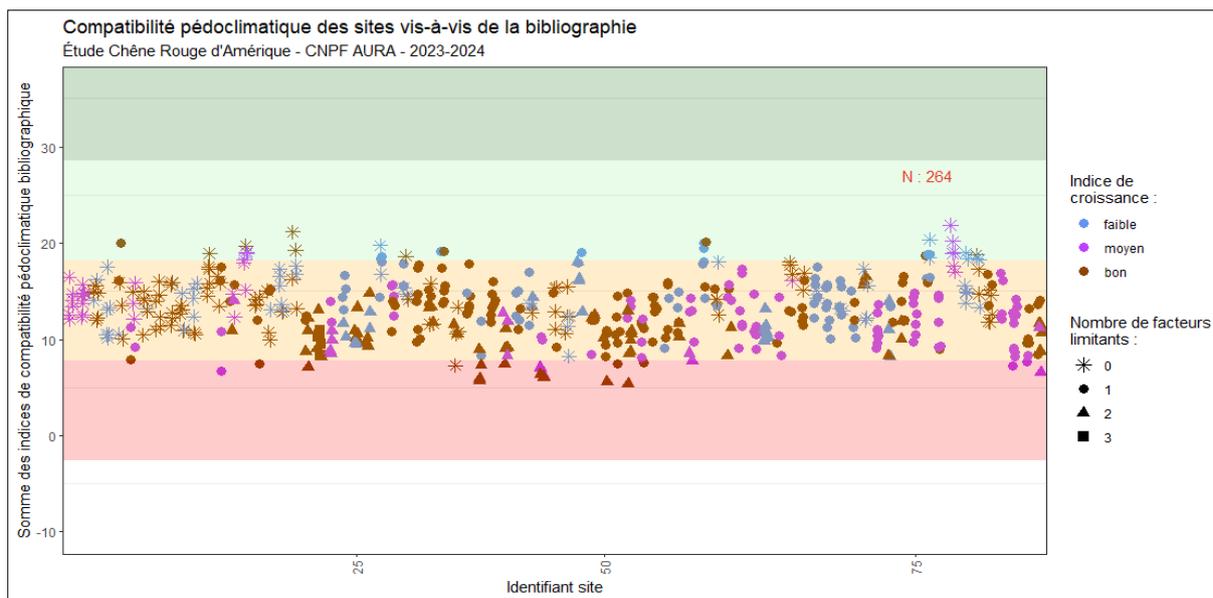


Figure 2 : Compatibilité pédoclimatique des sites, G.Masson, 2005

L'essence est liée (***) à son indice de compatibilité bibliographique comme suit :

- 1 facteur limitant = 18 cas « favorables », 97 cas « incertains » (l'essence tolère le paramètre).
- 2 facteurs limitants = 3 cas « favorables », 43 cas « incertains » et 15 cas « incompatibles »
- 3 facteurs limitants = 3 cas « incertains » et 4 cas « incompatibles ».

Cependant, avec aucun facteur limitant, la bibliographie indique dans 55 cas une situation incertaine alors que seulement 26 cas sont en situation favorable.

Dans notre jeu de données, quatre variables récurrentes limitent la compatibilité de l'essence :

- L'hydromorphie (44 % des cas),
- La pluviométrie moyenne annuelle (36 %),
- La texture du sol (10 %),
- La profondeur utile de sol (10 %).

• Hauteur – circonférence

La relation est de type « plutôt linéaire » pour des circonférences allant jusqu'à 200 cm puis atteint une asymptote vers 32 m. La figure 3 montre que la hauteur peut être variable pour une même circonférence (projection de toutes les hauteurs confondues), notamment dans la gamme entre 15 et 25 m. Le lien entre hauteur et circonférence est à modérer car d'autres facteurs interviennent tels que la densité et la sylviculture.

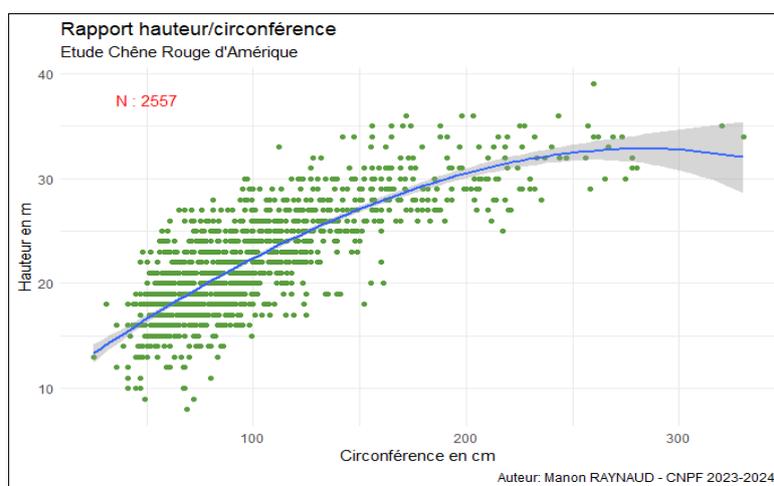


Figure 3: Rapport hauteur et circonférence

- **Hauteur – âge**

La figure 4 illustre que la hauteur augmente avec l'âge jusque vers 60 ans. L'ajustement n'est pas strictement linéaire (Pearson : 0.52).

Graphiquement, nous voyons que la hauteur atteint une asymptote de 28 m vers 60 ans, tous bassins de production confondus.

La croissance moyenne est de 0.60 m/an (+/- 0.17 m/an) tout âge et localisation confondus.

Concernant les extrêmes, la croissance minimale est de 0.20 m/an dans le bassin Nord-Ouest (sol plus sableux notamment), tandis que le maximum est de 1.13 m/an sur le bassin Nord-Est (sol plus limoneux entre-autre).

- **Productivité**

La production a été évaluée pour des âges allant de 20 à 48 ans (moyenne de 32 ans). Celle-ci est en moyenne de 6.4 m³/ha/an (médiane : 6.3, écart-type (sd) : 2, min = 2.6, max = 12.2). Il y a quelques peuplements aux alentours des extrêmes (25 répétitions en borne minimale et 10 répétitions en borne maximale) mais la majeure partie du jeu de données est contenue entre 4 et 8 m³/ha/an.

Nous pouvons donc considérer que les bassins de présence sont bien des bassins de production. Les peuplements jeunes ont une productivité moyenne de 7.7 m³/ha/an à 20 ans et de 7.3 m³/ha/an à 30 ans tandis que les courbes de (Timbal et al. 1994) indiquent une croissance moyenne de 2.2 m³/ha/an et 4.5 m³/ha/an à 20 et 30 ans. **Les valeurs des jeunes peuplements régionaux sont plus élevées que celles des courbes de Timbal et al. 1994, dans les classes d'âge inférieures à 50 ans.**

- **Croissance – climat**

L'ICr est en moyenne de 0.63 m/an (min = 0.2, max = 1.13). L'Iclim est en moyenne arrondie de 43 (min = 31, max = 90 pour le Cantal).

Les variables Icr et Iclim ne suivent pas une loi normale (***) et leur relation n'est pas linéaire (Spearman : 0.38).

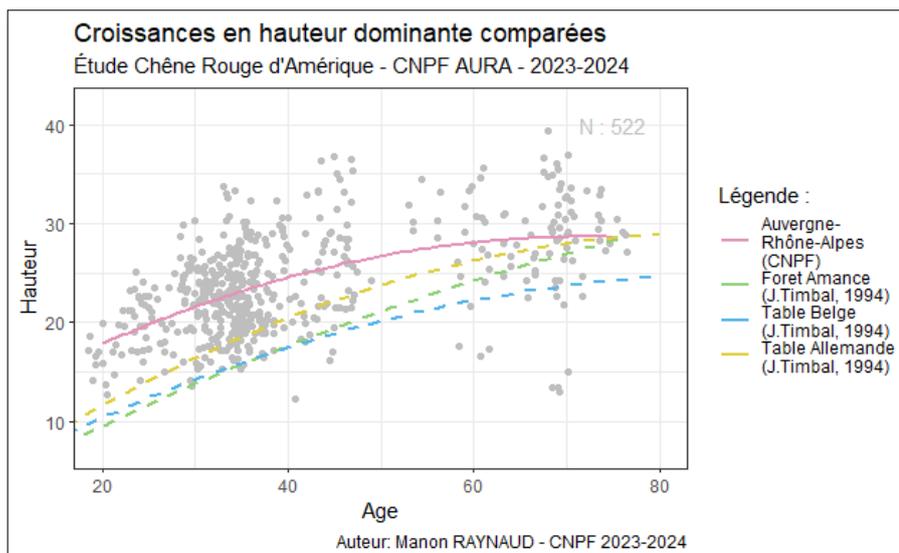


Figure 4: Croissance en hauteur dominante comparée, J.Timbal et al., 1994

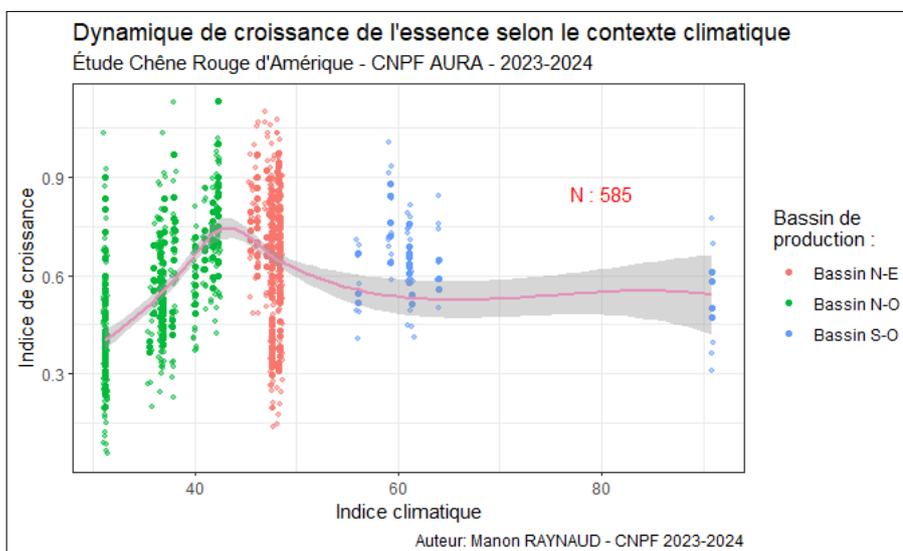


Figure 5 : Dynamique de croissance de l'essence selon le climat

La figure 5 met en évidence une asymptote vers la valeur IClim de 45 (Pman ~ 900 mm, Tman ~ 10 °C), pour un ICr de 0.75 m/an. Les indices climatiques les plus arides correspondent à l'Allier, puis plus humides dans l'Ain et enfin humides dans le Cantal. A noter que la queue de distribution droite illustre la présence du Chêne rouge dans des valeurs IClim élevées avec cependant un bon ICr.

Pour résumer :

- Les bassins de production sont ordonnés selon leurs indices climatiques
- La dispersion des ICr reste importante pour chaque IClim, illustrant les contrastes stationnels dans chaque bassin
- L'ICr le plus faible est rencontré dans le contexte d'aridité les plus élevés (IClim ~ 30).

• Lien ICr et autres paramètres pédoclimatiques

En croisant ICr à l'ensemble des paramètres stationnels (figure 6), nous obtenons une corrélation significative pour 20 variables, (avec cependant certaines qui sont colinéaires puisqu'elles construisent l'ICr). Nous retiendrons donc : la sylviculture récente (***), l'exposition (***), la topographie (**), l'affleurement rocheux (.), l'humus (***), la texture (***), la charge en cailloux (***), l'hydromorphie (*), la cause d'arrêt de prospection (**), la profondeur totale de sol (*), la densité (***), la surface terrière CRA (***) et autres essences (*), l'état sanitaire (**), la présence de défauts (***) et l'indice climatique (***).

Le découpage hiérarchique (ICr en variable supplémentaire) permet de distinguer 6 groupes de comportement fonction de la croissance :

- 1 : composé de 1.6 % des placettes (à 100 % dans le bassin Nord-Ouest). Il représente une faible part du jeu de données, est plutôt satellisé et doit être traité avec prudence. Il se caractérise par un IClim de 42, avec une faible altitude (238 m) et une texture de sol jugée équilibrée. L'ICr moyen est de 0.60 m/an.
- 2 : composé de 34 % des placettes de mesure (100 % situées dans le bassin Nord-Est). La texture dominante est limoneuse ou argileuse, IClim de 48 et sa topographie de plaine sans exposition dominante à faible pente, pas d'hydromorphie de surface et un humus de type mesomull. Au niveau sylvicole, ces placettes ont pour la plupart été éclaircies dans les 5 ans et parfois avec un élagage. Les peuplements composant ce groupe sont peu denses (surface terrière aux alentours de 20 m²). ICr moyen : 0.69 m/an, soit le meilleur des groupes.
- 3 : composé de 10.3 % des placettes de mesure (100 % situées dans le bassin Nord-Ouest). IClim de 31, sa texture à dominance sableuse avec un humus de type dysmoder. Le terrain est plutôt de type vallon avec une exposition au Nord. L'ICr moyen est de 0.46 m/an.
- 4 : composé de 42 % des placettes de mesure (91.5 % situées dans le bassin Nord-Ouest et 8.5 % dans le Nord-Est). Peuplements principalement mono-spécifiques (surface terrière d'autres essences nulle), et une texture de type équilibrée. IClim d'environ 36, avec des peuplements assez denses (L10 de 6-7 m), sans hydromorphie de surface, un humus de type dysmull et

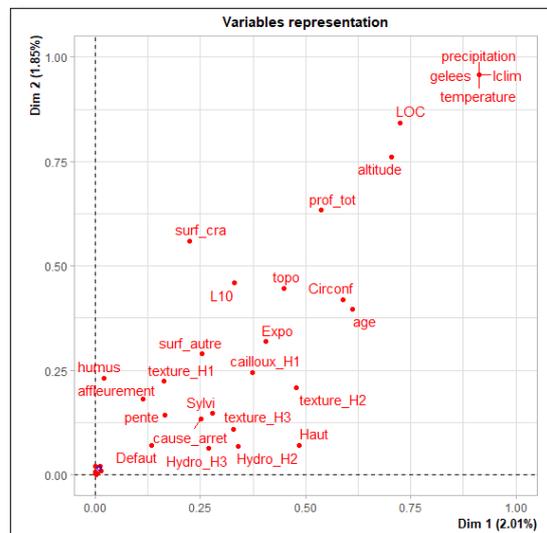


Figure 6: ACM

eumoder et des profils de plaine. C'est le second groupe le plus performant avec un ICr moyen de 0.64 m/an.

- 5 : composé de 1.7 % des placettes de mesure, il doit être traité avec prudence (100 % situées dans le bassin Nord-Ouest). IClim de 38, altitude moyenne de 277 m, une texture de type argile lourde en haut de versant (exposition Nord-Ouest) avec une présence d'hydromorphie de surface et un humus de type oligomull. Les peuplements sont très denses (surface terrière de 38 m²/ha), monospécifiques et en zone de pente. C'est le groupe avec l'ICr moyen le plus faible à 0.45 m/an.
- 6 : composé de 9.4 % des placettes de mesure (100% situées dans le bassin Sud-Ouest). Topographie de mi-versant (zone de pente) exposé sud-Ouest avec pour cause d'arrêt de tarière de la pierrosité et n'ayant jamais eu de sylviculture. IClim de 60 qui explique pour beaucoup le groupe ICr moyen de 0.63 m/an.

Pour résumer : l'essence semble avoir la meilleure croissance avec une texture de type limoneuse ou argileuse sans présence d'hydromorphie, avec un humus de type mesomull et un climat plutôt humide et frais. Au niveau sylvicole, il s'agit de peuplements ayant bénéficié d'une éclaircie récente amenant à une densité aux alentours de 20 m². L'hydromorphie n'intervient que dans un groupe.

Afin de mettre à l'épreuve la bibliographie nous avons analysé (ANOVA et post-hoc puis ACM) le comportement des indices de compatibilités bibliographiques avec nos valeurs d'ICr. Les variables qui sont significativement liées à l'ICr sont : IClim (***) , la texture (***) , la topographie (***) et l'humus (***) . La compatibilité pédoclimatique explique très bien la croissance (***) avec un taux d'erreur de 16 %. Les observations du terrain vont globalement dans le sens de la bibliographie avec des bonnes capacités de croissances (ICr) en lien avec des variables plutôt favorables et des ICr moins bons en lien avec des variables plutôt défavorables. Les valeurs chiffrées ayant un rôle dans la croissance de l'essence sont à retrouver en annexe 4.

Cas particulier du lien productivité et hydromorphie

La bibliographie évoque la sensibilité voire, l'incompatibilité du Chêne rouge à de l'hydromorphie de surface (<= 40 cm de profondeur).

27 % des 267 placettes étudiées présentent de l'hydromorphie. La croissance maximale et minimale est constatée dans les sites sans hydromorphie (fig. 7bis).

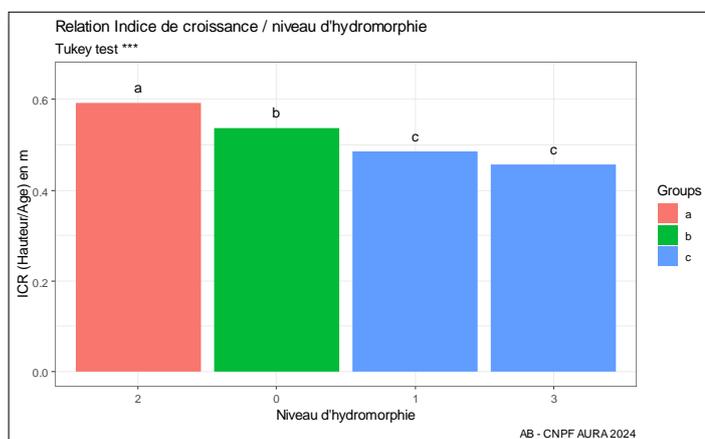
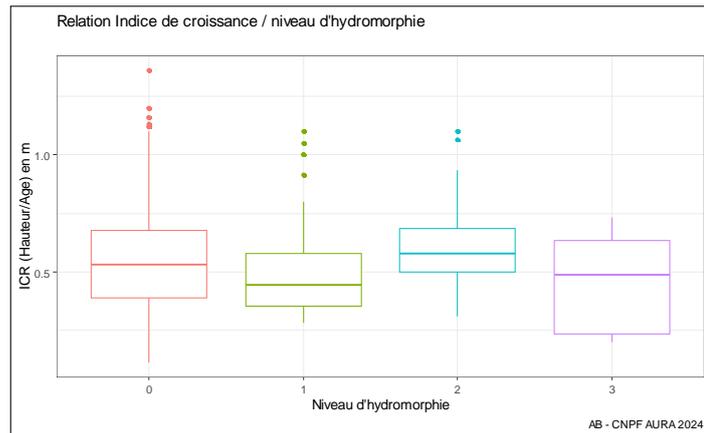


Figure 7 et 7 bis: Croissance selon le taux d'hydromorphie

Le classement des ICr en fonction du niveau d'hydromorphie s'établit comme suit : 2, 0, 3, 1 (Anova significative), mais ce résultat suggère une relation plus complexe entre croissance et hydromorphie que par sa simple présence / absence.

Nous pouvons toutefois évoquer que l'hydromorphie ne semble pas aussi contraignante qu'évoquée dans la bibliographie. L'incompatibilité du Chêne rouge à de l'hydromorphie de surface (<= 40 cm) reste possible mais

plutôt dans les cas marqués (niv. 3 probablement), ce que nous n'avons pas rencontré dans l'étude.



- **Qualité commerciale**

La majorité des 1352 arbres retenus pour l'analyse **ne présentent pas de défauts sur les quatre premiers mètres** pouvant déprécier la valeur commerciale du bois. Nos observations se répartissent comme suit : 63 % sans défauts, 13 % avec des nœuds, 8 % avec une courbure, 7 % avec des grosses branches, 4 % avec une blessure, 4 % ont une fourche et baïonnette et 1 % des coulures noires liées à des blessures. Pour le cas particulier des coulures noires, une contre-expertise a été faite par le correspondant observateur du département des forêts afin de vérifier qu'il ne s'agissait pas d'un problème pathogène de type encre notamment.

- **Etat sanitaire**

L'essence ne présente pas d'état sanitaire dégradé. Les 1352 observations retenues présentent **97.7 % d'arbres sains** (1.8 % ayant un houppier dégradé et 0.5 % sont morts).

À retenir : La hauteur moyenne de l'essence est de 22 m à 30 ans sans différence entre les bassins de présence avec une croissance moyenne de 0.63 m/an et une productivité moyenne de 7 m³/ha/an. L'hydromorphie n'est pas un facteur aussi limitant que peut l'annoncer la bibliographie. Dans la majorité des cas, le Chêne rouge ne présente pas de défauts sur les quatre premiers mètres et dispose d'un bon état sanitaire.

III.B. DYNAMIQUE DE REGENERATION INTRA-PEUPEMENT DE L'ESSENCE

Les peuplements étudiés présentent une régénération dès 20 ans, mais de manière plus conséquente (en proportion de l'ensemble) à partir de 40 ans.

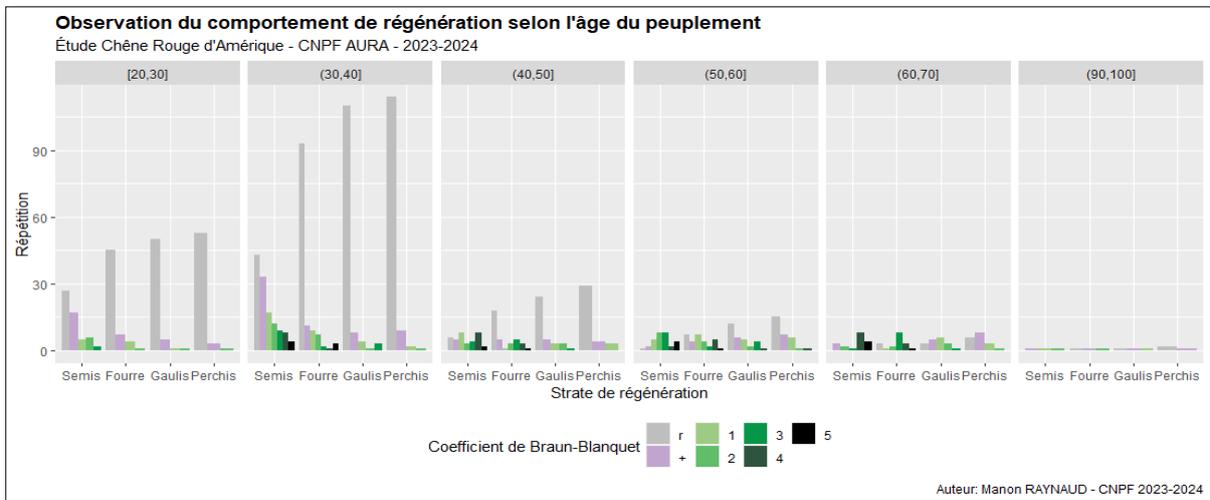


Figure 8: Comportement de la régénération selon l'âge

Nous pouvons observer (fig. 8) qu'au sein des jeunes peuplements, la régénération au stade semis est majoritaire. Au cours de la maturité du peuplement, la proportion de chaque strate a tendance à s'équilibrer (comparaison des peuplements 20-30 ans à 60-70 ans).

Une précision peut-être apportée avec une différence significative (***) de comportement entre l'âge, les strates de régénération et leur abondance.

La figure 9 (post-hoc anova) montre que :

- **plus le peuplement est âgé, plus l'abondance toutes strates confondues est élevée** (sans différence significative de 42 à 60 ans - a).
- dans les stades jeunes (< 40 ans – ab, b, bc, c), nous retrouvons les modalités d'abondance « rares » (r et +).
- une **absence (r) ou quasi-absence (+) de régénération (en proportion de l'ensemble) et ce jusque 50 ans.**

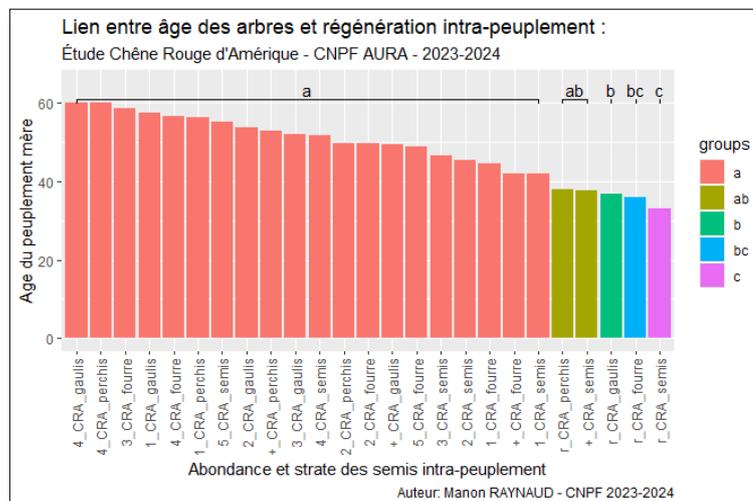


Figure 9: Lien entre âge des arbres et régénération intra-peuplement

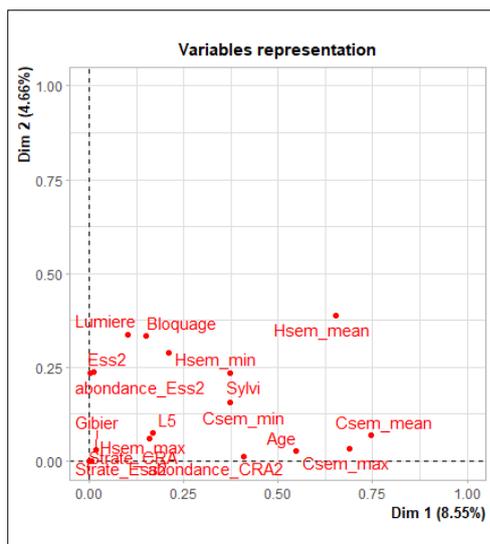


Figure 10 : ACM

Le découpage hiérarchique de l'ACM (abondance de régénération toutes strates confondues vs le reste du jeu de données - fig. 10) propose 3 groupes :

- 1) peuplements de hauteur inférieure à 15 m, à forte densité et en mélange avec d'autres essences. Age compris entre 20 et 45 ans avec des absences de régénération (blocage herbacée notamment).
- 2) peuplements âgés de 20 à 45 ans et hauteur de 15 à 24 m avec peu de régénération, qui ont bénéficié d'une éclaircie ces dernières années et parfois d'un élagage. Ce sont des peuplements avec régénération absente, ou peu abondantes d'autres essences Frêne, Châtaignier, Erable sycomore, Hêtre et sans consommation par le gibier. Dans certains cas, la régénération peut être bloquée par manque de lumière, par la concurrence herbacée.
- 3) avec des peuplements âgés de 46 à 100 ans et une hauteur de 23 à 32 m. Ce sont des peuplements ayant bénéficié d'une éclaircie au cours de ces 5-10 dernières années et n'ayant aucune consommation par le gibier. Ces peuplements présentent uniquement une régénération de Chêne rouge sans blocage apparent.

Pour résumer : La régénération ne semble pas ou peu s'exprimer au sein des jeunes peuplements (inférieurs à 45 ans) de type fermé ou présentant un blocage lié à de la concurrence pour les ressources. Au contraire, des peuplements ayant plus de 45 ans, avec des hauteurs plus importantes, une sylviculture active et ne présentant pas de blocage apparents sont plus favorables à la régénération naturelle.

- **Diversité d'essences au sein de la régénération naturelle**

La figure 11 met en évidence les cas de diversité de régénération naturelle (peuplements purs et mélangés confondus). Nous pouvons voir que cette diversité est faible et présente uniquement sur quelques sites.

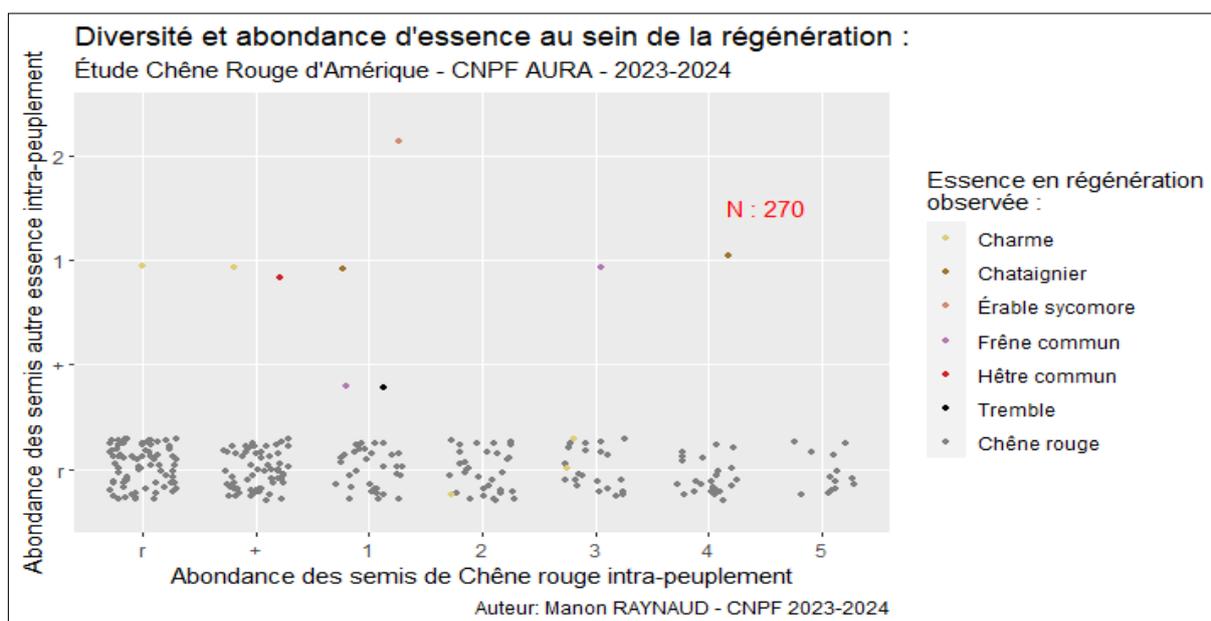


Figure 11 : Diversité et abondance d'essence au sein de la régénération

Nous pouvons constater que dans certains cas, la régénération d'autres essences (héliophile ou sciaphile) est présente mais peu abondante quel que soit l'abondance de celle du Chêne rouge.

- **Impact du gibier sur l'essence en régénération naturelle**

Parmi les 270 observations de régénération, les semis jugés non aboutis (52 %) sont aussi fréquents que ceux aboutis (48 %) parmi lesquels 2 % sont concernés par une consommation conséquente.

À retenir : La régénération naturelle est présente principalement à partir de 40 ans mais est contrastée. Son abondance évolue en parallèle de la maturité des peuplements avec un équilibre constaté entre les strates au cours des années. Quel que soit l'abondance de régénération de chêne rouge, celle d'autres essences semble ne pas ou peu s'exprimer au sein des mesures effectuées. Dans un cas sur deux la régénération est impactée par le gibier.

III.C. DYNAMIQUE DE DIVAGATION

- **Divagation et milieu adjacent**

En milieu agricole, la présence de régénération se manifeste uniquement à la valeur « 0 m » c'est-à-dire à l'aplomb du peuplement, de même que pour le bâti. En milieu forestier, nous pouvons constater que dans de très rares cas, la régénération est présente, mais diminue progressivement en s'éloignant du peuplement mesuré.

Nous pouvons observer une différence significative d'abondance de la régénération en fonction du type de milieu (kruskal.test*).**

- **Divagation et azimut**

La figure 12 montre que **l'abondance de régénération diminue avec la distance à la lisière, au-delà de 30 mètres du peuplement mesuré, celle-ci n'est pas significative (Kruskal-Wallis, n.s).** L'azimut n'a pas d'influence significative (Kruskal-Wallis, n.s) sur cette abondance.

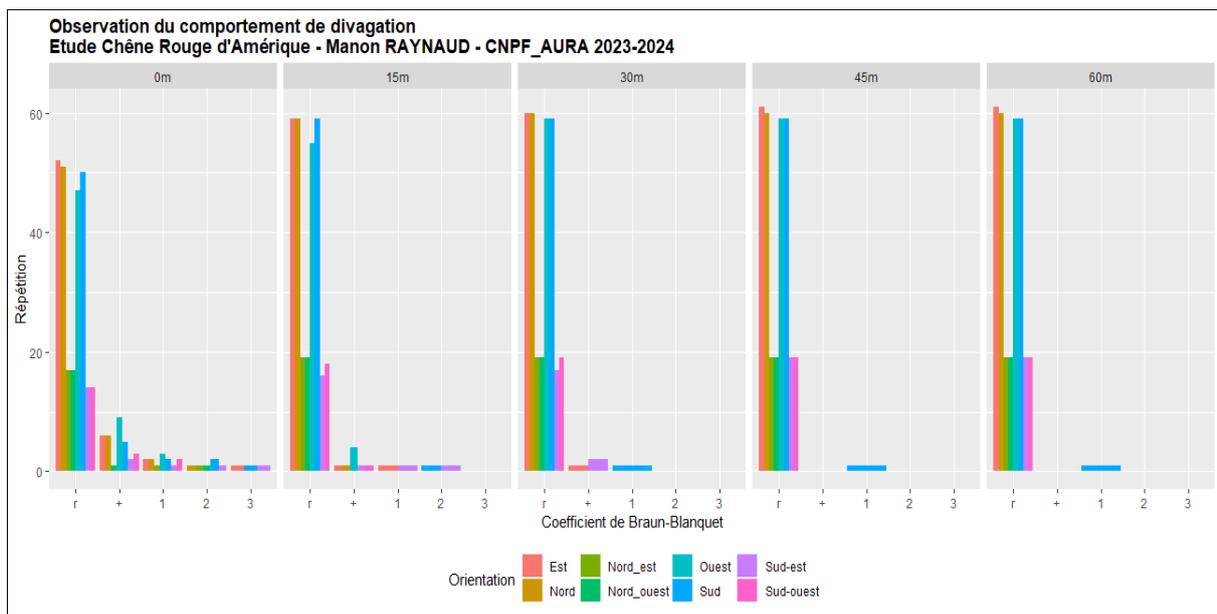


Figure 12: Comportement de la divagation selon la distance d'éloignement du peuplement mesuré

- **Divagation tous milieux confondus**

Concernant la divagation en fonction de l'abondance de régénération, quelle que soit l'abondance intra-peuplement, il n'y a pas de comportement statistiquement différent de divagation (fig. 13, kruskal.test, *n.s*). Lorsqu'un signal est observé, il est principalement à la lisière, avec une absence presque totale de régénération à plus de 30 mètres.

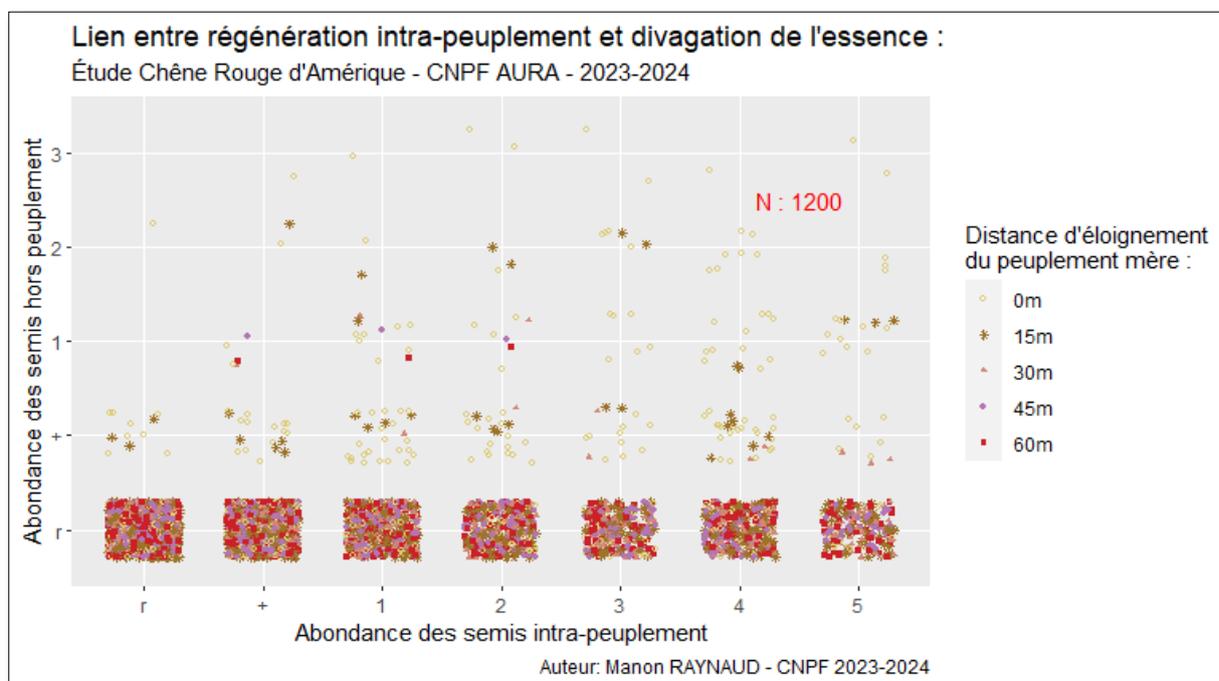


Figure 13 : Lien entre régénération intra-peuplement et divagation de l'essence

Concernant l'abondance de régénération en fonction de l'éloignement (Test de Fisher, ***), une différence significative est observée entre abondance élevée à 0 m et rare au-delà de 30 m. L'ACM (fig. 14) identifie les variables explicatives de l'abondance de régénération hors-peuplement, son découpage hiérarchique propose 2 groupes :

1. Construit par les milieux : 57 % des mesures sont en milieu agricole ou point d'eau ou bâti et par les facteurs bloquants (fougère, herbacée, ronce et manque de lumière). Les proportions par coefficients d'abondance sont : « r » à 95 %, « + » à 3 %, « 1 » à 1 % et « 2 » à 1 %.
2. Caractérisé par un milieu adjacent de type forestier (43 %) avec une faible proportion de blocage de la régénération (sauf certains blocages potentiels) et un âge moyen de 35 ans.

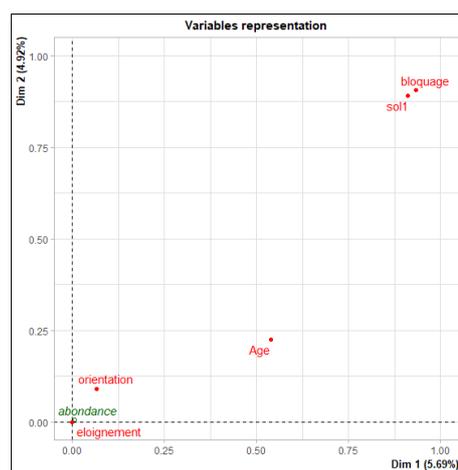


Figure 14: ACM

Pour résumer : Dans la majorité des cas, aucune divagation n'est constatée. Seul le milieu adjacent de type forestier semble pouvoir accueillir des semis hors peuplement d'origine mais à de très faibles fréquences et dans des distances toujours proches du peuplement d'origine.

Les proportions par coefficients d'abondance sont : « r » à 92 %, « + » à 4 %, « 1 » à 2 %, « 2 » à 1 % et « 3 » à 1 %.

- **Divagation en milieu forestier**

Une ACM complémentaire nous permet d'identifier les milieux forestiers défavorables à la divagation : il s'agit de taillis ou d'accrus avec une hauteur de 10-15 m ou d'une concurrence liée à la fougère, à la ronce ou au sous-étage (Bouleau, Charme, Tremble...).

Les écosystèmes qui sembleraient être les plus favorables à la divagation sont : des chênaies ou chênaies-charmaies régulières (parfois du Douglas) de 20-25 m de hauteur avec une surface terrière de 14 à 25 m² / ha, sans blocage apparent.

À retenir : Le milieu adjacent et le blocage apparent jouent un rôle dans la capacité d'accueil de la divagation des semis. Cependant, quel que soit le cas de figure, l'abondance de la régénération diminue avec la distance d'éloignement du peuplement d'origine et devient absente au-delà de 30 mètres (même dans un contexte de forte abondance de la régénération intra-peuplement).

III.D. LE POTENTIEL D'ACCUEIL DE LA BIODIVERSITE GENERALISTE

- **Dendromicrohabitats**

Les relevés mettent en évidence que 92 % des placettes ont au moins un arbre avec un DMH. Dans la grande majorité des cas, les arbres présentent des branches mortes (33 %), des fentes en tout genre (18 %), ou des agglomérations de gourmands (12 %). D'autres DMH sont observés en plus faible fréquence, tels que le bois de cœur apparent (7 %), des cavités en tout genre (7 %), du décollement d'écorce (5 %).

- **Autres paramètres favorables**

La figure 15 présente les scores IBP des peuplements, nous pouvons voir que les autres paramètres favorables les plus fréquents sont la présence d'essences autochtones (A), la structure verticale de la végétation (B), la présence de très gros bois vivants (E) et d'arbres porteurs de micro habitats (F).

Au contraire, la présence de bois morts sur pied (C) ou au sol (D), la présence de milieux associés et la continuité temporelle de l'état boisé ne sont que faiblement représentés.

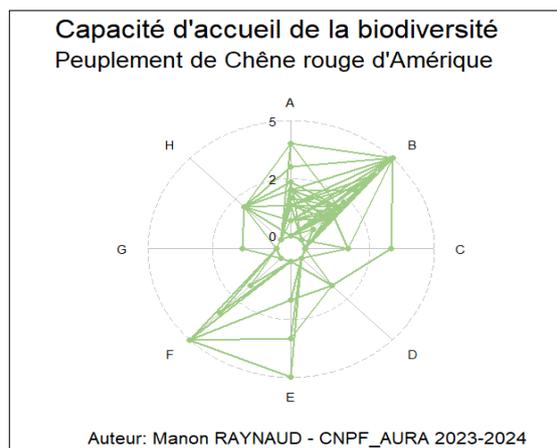


Figure 15 : Vision globale des scores IBP mesurés

Une corrélation (0.30) existe entre l'âge des peuplements et la note IBP : celle-ci augmente avec la maturité (milieu devenant plus accueillant avec l'ancienneté).

- **Complexité des peuplements**

La figure 16 illustre le score de complexité globale en fonction de l'âge, une corrélation existe (0.31), mais l'amplitude de la note de complexité peut être importante dans chaque classe d'âge.

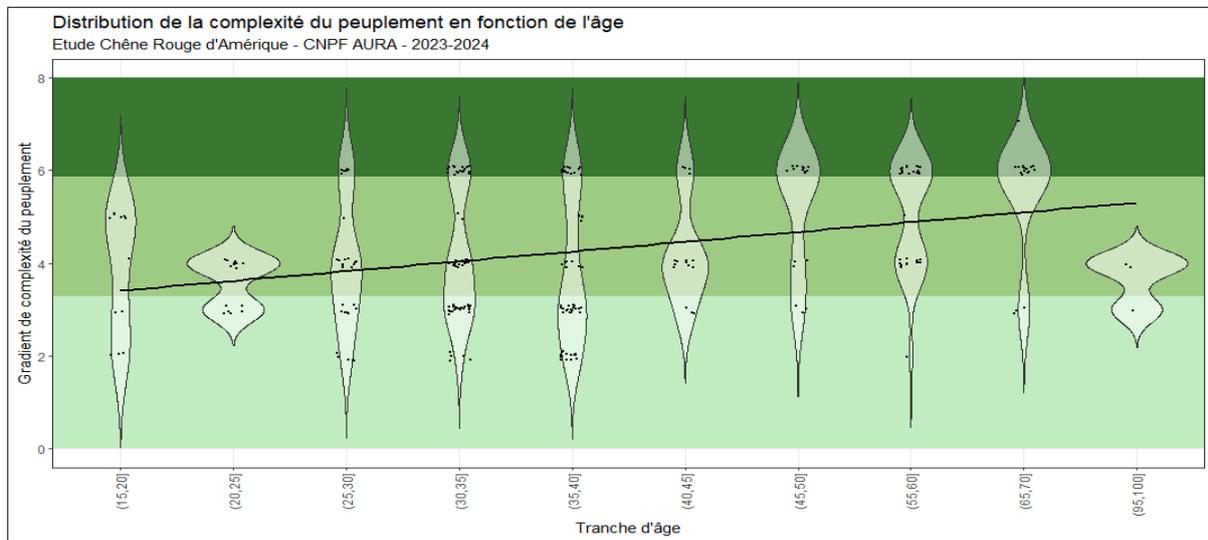


Figure 16 : Complexité du peuplement selon la maturité de celui-ci

- **Les humus**

Notre étude relève la répartition suivante des humus : Oligomull (46 %), Mesomull (27 %), Eumoder (11 %), Dysmull (10 %), Dysmoder (5 %) et Hemimoder (1 %). Les humus les plus représentés sont de type « mull » traduisant un bon fonctionnement du sol.

À retenir : La maturité semble jouer un rôle dans le potentiel d'accueil et dans la complexité des peuplements de Chêne rouge. L'essence présente toutefois une grande diversité de dendromicrohabitats et une bonne décomposition de la matière organique fournie à la litière.

IV. DISCUSSION

IV.A. COMPATIBILITE PEDOCLIMATIQUE ET ETAT SANITAIRE DE L'ESSENCE

L'étude de la compatibilité pédoclimatique du chêne rouge d'Amérique révèle des résultats intéressants, notamment en ce qui concerne sa tolérance à l'hydromorphie. Timbal et al. (1994) indiquent que l'essence est limitée par l'hydromorphie de surface, qui peut être un facteur défavorable. Nos observations montrent que ce n'est pas systématique. En effet, plusieurs points de mesure indiquent un bon comportement de productivité et d'état sanitaire, même dans des contextes d'hydromorphie marqués dans les 40 premiers centimètres. Cette observation vient en contre point de celui de « La flore forestière française », qui affirme que le chêne rouge supporte mal l'hydromorphie de surface. Nous pouvons supposer que celle-ci entraîne une mortalité de certaines racines en hiver, pouvant probablement être reconstituées au printemps. Un questionnement peut cependant se poser avec la possible apparition de l'encre ou la collybie en fuseau jouant « un rôle crucial dans les premiers stades du déclin » et dont la « présence peut souvent passer inaperçue jusqu'à la mort » (Pettifor et al. 2022).

L'essence possède une bonne capacité de production globalement plus forte à l'échelle régionale qu'au sein des peuplements étudiés par J. Timbal et al. (1994).

Concernant la compatibilité pédoclimatique nos résultats soulignent à nouveau que l'autécologie de manière générale et celle du chêne rouge en particulier ne dépend pas que d'un seul facteur limitant. Il y a une interaction entre les facteurs limitants, qui semblent faire baisser la productivité. Certains points contradictoires ont pu être mis en évidence entre la bibliographie et le terrain concernant : la profondeur de sol (croissance bonne même avec une faible profondeur), la topographie (croissance similaire entre les situations de mi-versant, bas-versant, haut-versant et plaine), l'humus (les types eumull et mésomull non jugés par la bibliographie sont favorables à la croissance), l'hydromorphie (pas d'impact considérable sur la productivité, les précipitations (l'essence supporte davantage les fortes pluviométries que les faibles avec un maximum observé à 1687 mm/an), la localisation (meilleure capacité de croissance sur le bassin Nord-Est que Sud-Ouest et Nord-Est), la texture (les indices de compatibilité sont donnés par classe et ne tiennent pas compte de l'épaisseur respective de chaque horizon).

L'écosystème forestier est complexe (Baldrian, 2016), il serait réducteur d'expliquer la croissance d'un organisme vivant uniquement par quelques variables. La pluviosité, par exemple, peut être un facteur limitant, mais ce paramètre est changeant et pourrait évoluer avec le climat. Timbal et al. (1994) mentionnent une croissance en hauteur de 20 mètres à 50 ans selon la norme Allemande, tandis que notre jeu de données indique que cette croissance est atteinte à un âge beaucoup plus jeune (25 ans). Nous pouvons observer des comportements distincts selon la station pédoclimatique donc il n'est pas correct de prendre l'âge comme unique variable entrant dans la croissance moyenne de l'essence.

Une étude en Pologne montre que l'écosystème influence la réponse de l'essence face aux contraintes environnementales (Woziwoda, et al. 2014). Nos résultats vont dans ce sens et suggèrent que, plus l'essence est dans un environnement pédoclimatique favorable, plus le rapport hauteur/âge est avantageux. Les catalogues des stations locaux sont donc importants notamment pour faire le lien avec le comportement des essences.

En Auvergne-Rhône-Alpes, les meilleures performances sont observées avec un IClim compris entre 40-50 qui s'approche d'un climat tempéré. La réponse de la croissance au climat suggère un

questionnement sur l'adaptabilité du chêne rouge dans un climat futur plus chaud et sec surtout dans le contexte de plaines et collines. L'indice de croissance n'est pas si pénalisé que cela, mais s'éloigne nettement des performances moyennes de croissance dans des valeurs ICLIM asséchantes. L'outil Climessence évalue l'essence comme « peu sensible à la sécheresse » en stade juvénile et adulte avec des avis variables et « a priori mieux adapté aux climats secs que les chênes sessiles et pédonculés ». Ce modèle est uniquement prévisionnel, il est donc à coupler avec la compatibilité autécologique de l'essence sur le territoire d'introduction. Une attention particulière devra donc être portée sur le contexte climatique des sites d'introduction et de son évolution projetée.

En absence de bibliographie spécifique sur le potentiel du chêne rouge dans un contexte de changement climatique, une tentative d'analogie peut être faite avec les études urbaines ou des températures sont plus élevées de 2.4 à 4.6 °C en moyenne (Searle et al. 2012). Le chêne rouge répond en multipliant par huit la biomasse des semis qui y sont cultivés par rapport à ceux de sites ruraux. Les semis urbains ont misé sur une croissance des feuilles (surface photosynthétique dix fois plus grande) sans différence de capacité photosynthétique par unité de surface. Ainsi, les semis arrivent à « orienter » leur développement dans ces conditions. Cela met en évidence l'influence climatique sur le développement d'un nouvel individu et pourquoi pas comment la végétation pourrait réagir face aux changements climatiques. Ces résultats sont intéressants et font l'objet de recherches actuelles, notamment par la filiale ONF-Vegetis (Comm. pers.), mais sont à nuancer car le fonctionnement de « l'écosystème urbain » n'est pas transposable dans le contexte forestier.

Les rapports régionaux du DSF ne signalent pas à ce jour de dépérissements concernant cette essence (DSF AURA 2023). Notre étude abonde dans ce sens. Attention, il est possible que de l'Encre ou de la collybie en fuseau soient présentes sur le territoire mais non observées durant l'étude. Les facteurs biotiques et abiotiques présents ailleurs en France pourraient s'exprimer avec une virulence accentuée par le changement climatique. Bien que non alarmant, l'état sanitaire de l'essence doit être surveillé.

Ces différents résultats confirment que l'autécologie doit s'apprécier dans son ensemble. Les facteurs ne semblent pas être toujours compensatoires, la prise en compte de chacun (et particulièrement des limites stationnelles) est donc nécessaire. C'est une essence à bonne croissance (0,60 m/an) avec une asymptote à 60 ans laissant ensuite des possibilités aux arbres de croître en diamètre tout en restant attentif aux potentielles pourritures cubiques. L'ensemble des variables et données chiffrées pour une bonne croissance sont décrites en annexe 4.

IV.B. REGENERATION INTRA-PEUPEMENT

Nos observations montrent que le Chêne rouge possède une régénération active dès 40 ans.

En Amérique du Nord, il a du mal à se régénérer dans son aire d'origine en raison de la compétition avec les espèces tolérantes à l'ombre (Dyderski, Jagodziński 2019). Cependant, en Europe centrale, Major et al. (2013) ont observé une régénération réussie en Allemagne, même dans des peuplements densément couverts. Ils évoquent que la densité des semis est généralement élevée avec une moyenne de 24 tiges/m² (eq. 240 000 tiges/ha) et que les semis de cette essence étaient plus nombreux que ceux de toutes les autres espèces d'arbres réunies. Nos résultats vont en partie dans ce sens, les peuplements denses comme ouverts présentent une régénération dans la majorité des cas. Cependant, cette régénération n'est pas systématique.

La production des graines est un élément clé du processus de régénération. Dans une bonne année, seulement 1 % des glands sont fertiles et il faut environ 500 glands pour produire un plant d'un an viable. Une étude en Pologne de Gręda et al. (2022) met en évidence que la survie des semis de Chêne rouge dépend principalement de la compétition interspécifique dans le sous-étage, de la disponibilité de la lumière et d'arbres parentaux (capacité à produire des glands).

Dans les années qui suivent l'établissement des plants de chêne rouge, la teneur en humidité du sol semble jouer un rôle crucial dans leur survie et leur croissance (Dyderski, Jagodziński 2019), mais plusieurs études et rapports régionaux suggèrent que le chêne rouge présente une meilleure résistance à la sécheresse que les chênes pédonculé et sessile indigènes (Nicolescu et al., 2020).

Des travaux sylvicoles notamment sont nécessaires pour préserver la diversité floristique. Comme le montre l'étude de Woziwoda et al. (2014), la réduction de la richesse et de l'abondance des espèces indigènes due à la co-concurrence. Nos résultats montrent que dans les peuplements denses comme ouverts, la régénération du Chêne rouge au stade semis est en majorité plus abondante que celle de toutes autres essences confondues. Cet aspect n'a pas été traité au cours des mesures (notamment avec un échantillon de peuplements plutôt monospécifiques). Nous pouvons toutefois nous demander : comment cette diversité se maintiendra ou progressera-t-elle dans le temps ? Quelle est sa durabilité et sa dynamique ?

Le type de forêt influence la richesse en espèces et la dynamique de régénération naturelle tend vers une homogénéisation du sous-étage, réduisant ainsi la diversité des espèces indigènes (Dyderski, Jagodziński 2019). Le Chêne rouge semble avoir, comme pour d'autres espèces une influence négative sur la richesse spécifique et la couverture végétale du sous-étage (Stanek, Piechnik, Stefanowicz 2020). Les changements des paramètres physicochimiques du sol et de la végétation du sous-étage peuvent être associée à « une épaisse couche de litière à décomposition lente » (faible N, C/N élevé) et génère une barrière physique, limitant la germination, l'évaporation et la croissance des plantules d'autres espèces. Cette faible décomposition est à nuancer car elle n'est pas non plus observée au sein de notre étude. En effet, nous constatons 70 % des cas un humus de type mull, ayant un bon fonctionnement. Par ailleurs, l'humus n'est pas une variable de présence ou d'absence de régénération au sein des peuplements étudiés. Divers facteurs jouent sur la dynamique de dégradation de l'humus : lumière, type de sol, fermeture du peuplement mais encore origine du boisement... Nous pouvons ainsi nous questionner sur l'intérêt de comparer cette dynamique au sein des jeunes peuplements de Chêne rouge par rapport à des chênaies indigènes présentes depuis 200 ans par exemple.

La gestion de l'essence nécessite une compréhension de la dynamique spatiale et temporelle de sa dispersion dans différents habitats forestiers. Cette espèce se régénère abondamment sur des sols fertiles dans des habitats mixtes ou feuillus (Straighty et Žalkauskas, 2012; Chmura, 2013, 2014; Major et al.). Les résultats sur le territoire AURA confirment cette abondance de régénération mais celle-ci reste contrastée et non systématique.

Des études phytosociologiques montrent que cette régénération dépend principalement des arbres mères et est plus abondante dans les zones de coupes (avec présence de lumière), bien que la compétition réduise la richesse fonctionnelle et l'uniformité des espèces (Chmura 2020).

La question de l'appétence de l'essence et des risques d'abrouissement se pose. L'étude « Effects of Deer Browsing, Fabric Mats, and Tree Shelters on Quercus rubra Seedlings », réalisée dans le centre-Sud du Minnesota met en évidence que l'abrouissement par le Cerf de Virginie s'est produit sur environ 68 % des semis poussant sans abri d'arbres, pour seulement 3.6 % par des souris ou des campagnols et 2.5 % par des lapins.

Timbal et al. (1994) affirment également que le gibier est un facteur limitant pour le développement de la régénération naturelle de l'essence en raison de sa forte appétence. Le cortège faunistique

régional n'est pas similaire au Minnesota mais nos résultats mettent en avant un **abrouissement des semis dans presque un cas sur deux** confirmant l'impact des cervidés sur la régénération.

Une question subsiste : est-ce que la dynamique de l'essence peut compenser les dégâts causés par les cervidés grâce à une densité élevée de semis ? Par rapport au développement de la régénération en hauteur, cela ne semble pas être un frein s'il y a uniquement du Chevreuil.

Notre étude met en avant que la régénération intra-peuplement est contrastée pouvant être très dynamique ou absente, quel que soit l'âge. Une faible diversité spécifique constatée au sein de la régénération, peut s'expliquer par une désynchronisation entre les cortèges et surtout car l'échantillonnage est basé sur des peuplements purs.

Au sein des peuplements mélangés, nous ne pouvons pas affirmer que la régénération naturelle de l'essence bloque systématiquement la régénération naturelle des autres essences. Dans les cas où la régénération naturelle du Chêne rouge est absente, la présence de régénération naturelle des autres essences n'est pas améliorée.

Le chêne rouge possède une efficacité photosynthétique à l'ombre comme à la lumière, lui donnant un potentiel exclusif de même que pour d'autres essences telles que le frêne, l'érable, le sapin, le hêtre... et ce, surtout en l'absence de travaux sylvicoles.

IV.C. POTENTIEL DE DIVAGATION

Chaque espèce possède une stratégie de dispersion propre qui peut se faire par le vent pour des graines légères comme le frêne, par l'eau comme pour l'orme lisse, par certains animaux dans le cas du chêne sessile, par multiplication végétative comme l'ailanthe ou par gravitation sous le périmètre du houppier. C'est ensuite le type du milieu, plus ou moins favorable, la prédation, plus ou moins importante, qui permettront la germination des graines formant des semis.

La dispersion par vecteurs, notamment par le Geai des chênes, a été étudiée. En Italie Wróbel et al. (2022) révèlent que les glands de chêne rouge sont transportés sur des distances plus courtes et sont plus souvent consommés que ceux de chêne pédonculé, entraînant une dispersion moins efficace. Myczko et al. (2014) ont confirmé que les geais préfèrent les glands de chênes indigènes. Une autre étude a montré que les Geais européens évitent les glands de chêne rouge, tandis que les rongeurs les prélèvent indépendamment de leur morphologie, favorisant ainsi une **régénération locale plutôt qu'une dispersion à longue distance** (Bieberich 2016).

Les glands sont des fruits « lourds » et sans poche d'air (ils ne peuvent pas se disperser par le vent ou l'eau), la microfaune telle que les rongeurs est souvent citée comme moteur majeur de la dispersion. Prenant cela en considération, nous pouvons supposer que l'aire de dispersion des fruits de l'arbre se concentre par gravitation à l'aplomb du houppier et dans le périmètre de vie des rongeurs. Jensen, (1985) a suivi des graines de *Fagus sylvatica* L. marquées radio activement et prélevées par des rongeurs pour une mise en cache. Les distances de transport à partir du point de chute vont de 1 à 13 m (moyenne 4.13 m), avec 5 graines en moyenne par cache. Ce périmètre de dispersion correspond bien aux distances de divagation observées et ne dépassant pas les 30 m.

Outre l'aspect dispersion des fruits, la dynamique de régénération propre à l'essence doit être prise en compte et corrélée au milieu associé. Comme l'évoque également Dyderski et al. (2020), le chêne rouge est une espèce avec une tolérance modérée à l'ombre et une production élevée en litière. Les

glands sont dispersés par les rongeurs et les oiseaux mais « la plupart d'entre eux tombent sous la canopée ». Leur chute étant antérieure à celle des feuilles, celles-ci leur assurent par la suite une protection hivernale.

Dans son aire d'origine, certains insectes comme le papillon (*Cydia spp.*) et le charançon (*Curculio spp.*) prédatent les graines de chêne rouge tout comme les écureuils et les souris. Cependant, une étude en Pologne (Bogdziewicz et al. 2018) montre que les larves de ces insectes herbivores, notamment du charançon, ne se développent pas dans les glands, ce qui suggère que ces prédateurs ne freinent pas forcément la germination de l'espèce.

En Europe, bien que le sanglier puisse consommer ses glands, le cortège de co-développement n'est pas complet, ce qui explique parfois en partie son foisonnement en régénération naturelle.

Quoi qu'il en soit, il est nécessaire de surveiller l'installation de potentiels prédateurs naturels (premier maillon trophique) en Europe (Burns, Honkala 1990) et de leurs impacts potentiels sur l'essence et plus largement sur l'écosystème.

Jagodziński, (2017) met en avant que « la disponibilité de la lumière et la distance provenant de la source de la propagule a influencé le succès écologique du chêne rouge, révélant des interactions et des mécanismes de limitation de la dispersion ». Il qualifie la distance à la source de propagules comme étant le prédicteur le plus important (56.7 %) puis les espèces présentes sur le milieu (36.1 %) et enfin la disponibilité de la lumière (7.2 %). Hayda et al. (2022) mettent également en évidence une probabilité faible de dissémination naturelle et lorsque celle-ci est présente intra-peuplement, elle peut être contrôlée et limitée. Nos résultats vont également dans ce sens avec la présence de régénération diminuant avec la distance d'éloignement et étant quasi nulle à partir de 30 m. Nous avons pu voir que certains milieux adjacents, principalement agricoles, ne favorisent pas l'installation des semis en raison des rotations de culture et du travail régulier du sol. Cependant, 32 % des mesures qui ont été faites avec un milieu adjacent de type forestier, a priori parfois plus favorable à la divagation de l'essence, ne permettent pas de démontrer une divagation. Historiquement, le chêne rouge était utilisé en série paysagère sous forme d'allées cavalières. Cette géométrie initiale amenait à une dynamique de divagation certainement différente que les boisements de terre agricole par exemple.

Peu de ressources bibliographiques ont été trouvées permettant scientifiquement de mettre en évidence l'invasivité de l'essence. Notre étude permet d'évoquer que la dissémination des glands semble se faire principalement par gravitation à la frontière du houppier, ce qui reste limité et inférieur à 30 m. Aucun agent de dispersion « naturel » ne semble être en capacité d'agir sur cette essence massivement. Notre étude entérine donc la position Européenne et propose de **nuancer le terme d'espèce « invasive » usuellement employé voire, à requalifier son positionnement.**

IV.D. ACCUEIL DE LA BIODIVERSITE GENERALISTE

Dans un premier temps parlons du chêne rouge d'Amérique en tant que **producteur primaire**. Lors de fortes glandées, il favorise une augmentation significative du nombre d'arthropodes indigènes et de leurs prédateurs, notamment les fourmis (Giannetti et al. 2022).

Plusieurs études soulignent ses impacts négatifs sur les sols : Gentili et al. (2019) montrent que cette essence a des effets néfastes sur les horizons organiques du sol (peuplements de 60-65 ans) et réduit la biodiversité des micro-arthropodes et des plantes mais uniquement à des **niveaux faibles/modérés**.

Cette nuance est à prendre en considération car elle est souvent négligée au profit d'un discours généralisant souvent négatif. Stanek et al. (2023) ajoutent qu'il influence négativement le microbiome du sol. Ferré et al. (2020) notent une transition des formes d'humus mull à moder, une acidification du sol et une augmentation du rapport C/N (comparé à des forêts mixtes) et évoluant avec la maturité du peuplement. D'autres études soulignent les impacts de l'essence sur les cortèges floristiques : Riepšas et al. (2008) indiquent que le chêne rouge a un effet négatif sur la flore locale en Lituanie, diminuant le nombre et l'abondance des graminées et réduisant la présence de micromycètes (-34 %) et de micro-organismes minéralisants (-20 %) et ammonifiants (-5 %) par rapport aux chênes communs. Des études en Suède, Estonie, et Norvège montrent que les chênes indigènes hébergent une plus grande diversité de lichens et bryophytes que le chêne rouge, bien que certaines espèces spécifiques soient trouvées uniquement sur ce dernier. La structure de l'écorce et l'âge des arbres influencent fortement cette diversité. Une étude du Sud-ouest de la Suède reprend la thématique des lichens et bryophytes et met en évidence que l'âge des arbres exerce une profonde influence sur les lichens épiphytes et bryophytes poussant sur le hêtre avec une présence d'espèces spécialistes sur les vieux arbres (Fritz et al. 2009). Axe validé également par deux études en Estonie (Marmor et al. 2011) et en Norvège (Lie et al. 2009) mettant en avant que l'âge des arbres a un effet positif sur la richesse en espèces de lichens (importance des grands et vieux arbres en tant que porteurs de biodiversité dans les forêts boréales). Cela met en évidence que l'essence **pourrait jouer un rôle d'hôte complémentaire aux chênes indigènes, en apportant une diversité de taxons à l'échelle de l'écosystème.**

La présence de grands arbres, morts ou vivants, est cruciale pour la biodiversité et la présence de microhabitats. Paillet et al. (2019) montrent que ces arbres offrent davantage de microhabitats que les plus petits ou les vivants. Cet élément est lié davantage au processus de décomposition du bois (par exemple les branches mortes) que pour les autres microhabitats épiphytiques tels que les épiphytes (lierre, mousse et lichens). Nous avons analysé uniquement le potentiel et nous sommes conscients que la mesure de la présence et l'abondance de microhabitats n'est pas « un indicateur miracle pour quantifier la biodiversité des espèces forestières, mais ils fournissent un outil important aux gestionnaires forestiers pour guider la sélection des arbres habitats pour la conservation de la biodiversité associée » (Asbeck et al. 2021). Nos résultats mettent en évidence une grande diversité et abondance de microhabitats. De plus, lors des mesures, la présence de tambourinages de pics révélés par des perforations linéaires et circulaires autour des troncs a été fréquemment observée sur les perches de chêne rouge. Cela montre que la faune, notamment les oiseaux, utilise le milieu et les espèces associées, qu'elles soient indigènes ou non.

La stratification verticale dans les écosystèmes forestiers est essentielle pour la diversité des niches. Thiel et al. (2021) mettent en évidence que les peuplements complexes permettent des **interactions spécialisées et généralisées entre différentes strates**, soutenant une biodiversité riche : la strate du couvert forestier est composée de liens forts et d'associations généralisées, tandis que les strates inférieures comprennent des liens plus faibles et des interactions plus spécialisées. Les « communautés d'oiseaux, de chauves-souris [...], de petits mammifères sont stratifiés verticalement en termes d'abondance, de richesse spécifique, de diversité et de composition communautaire ». Notre étude met en évidence cette **stratification verticale** au sein des peuplements mesurés. La dynamique de régénération de l'essence semble renforcer une répartition des strates, verticales et horizontales au sein des peuplements matures, favorable à différents types de biodiversité. Le cortège d'espèces sur le chêne rouge semble de ne pas être lié à l'essence en tant que tel mais dépendre de **plusieurs facteurs** : du support (par exemple la porosité de l'écorce variant selon l'âge de l'arbre), du climat (température, luminosité, humidité, vent) et de facteurs biotiques. Il est donc important de nuancer la présence ou l'absence de cortèges au sein des peuplements régionaux de chêne rouge, d'autant plus que ceux-ci sont **encore jeunes**. Il semble que le chêne rouge ait une écorce moins crevassée et plus lisse pendant une quarantaine d'années. Il s'apparente plus à *Fagus sylvatica* qu'à un chêne indigène. Ce paramètre évolue au cours du cycle de vie de l'arbre. De plus, notre indice

de complexité montre que plus un peuplement est mature, plus sa structure devient complexe et potentiellement plus accueillante pour la biodiversité généraliste.

La biodiversité faunistique et floristique dans un écosystème forestier dépend des éléments **structuraux biotiques et abiotiques**. Chaque essence, y compris le chêne rouge, contribue de manière unique à cet équilibre rendant les comparaisons de biodiversité délicates voire, non pertinentes. Bien que certaines études montrent des impacts négatifs sur les sols, le chêne rouge favorise aussi une augmentation significative des arthropodes indigènes et de leurs prédateurs lors de fortes glandées. Cette essence peut enrichir la biodiversité locale en créant des microhabitats et en soutenant une faune spécifique. La capacité du chêne rouge à s'établir et à prospérer, même dans des conditions de régénération difficiles, montre son **potentiel qui pourrait plutôt être considéré comme un atout parmi d'autres pour la diversité structurelle des forêts et ce dans un contexte de changement climatique**.

IV.E. ACTEURS DE LA FILIERE

Il est ici question de mieux comprendre les attentes de la filière aval. Nous nous sommes donc questionné sur les produits recherchés par les scieurs sur le marché du chêne rouge, l'évolution du volume de sciage, vers quelle valorisation et enfin le lien avec la qualité recherché et le produit fini. Pour cela, nous avons interrogé une des principales scieries qui en transforme, dans l'Ain.

L'essence possède un bois à structure hétérogène avec un aubier mince (2,5 à 5 cm) et est peu affecté par la roulure, les nœuds vicieux et la pourriture, mais est sensible à la gélivure et à la fibre torse. Il se prête bien au rabotage, ponçage, mortaisage et tournage, malgré un séchage long et difficile. Son absence de thylles le rend non durable et modérément résistant à l'imprégnation et à la tonnellerie. Historiquement valorisé en Amérique du Nord, il est actuellement utilisé en France en menuiserie intérieure, plaquage, industrie, bois de chauffage, et pour des usages extérieurs comme des poteaux et traverses de chemin de fer, mais est déconseillé pour l'ébénisterie ou la tonnellerie.

Le chêne rouge offre des avantages significatifs en termes de rendement au sciage et de qualité du bois par rapport à d'autres variétés de chêne, avec un rendement matière de 55 à 60 %, surpassant les chênes sessile et pédonculé. Sa croissance dynamique réduit les défauts, bien que des tailles de formation soient parfois nécessaires (Nicolescu et al. 2020). Classé en 1^{er} ou 3^{ème} choix de qualité, il peut être exploité en scierie à partir d'un diamètre de 40 cm jusqu'à 80 cm. Malgré sa « rareté » régionale, il présente une alternative prometteuse pour l'industrie du bois, notamment dans la construction de cercueils.

Encore mal connu, le chêne rouge voit toutefois ses usages évoluer comme indiqué dans l'étude de Blaison faite par le FCBA dans l'Ain (FCBA INFO 2016). Les peuplements sont jeunes, avec des volumes disponibles faibles, mais les plantations entrent en production augmenterons l'offre dans les prochaines années. Les pépinières locales, comme l'une d'elles interrogée dans l'Ain, voient une demande croissante avec environ 20 000 plants de chêne rouge vendus en 2024. Économiquement, c'est une option abordable notamment dans la diversification des peuplements forestiers.

Le chêne rouge présente un potentiel de renouvellement et de transformation intéressant pour les acteurs de la filière. Récente à l'état mature et parfois soumises à des aprioris, l'essence n'est pas encore valorisée à son maximum sur le territoire. Cependant, dans un contexte de changement climatique et de demande croissante de matériaux bois, nous encourageons des travaux complémentaires sur son potentiel commercial et son positionnement au sein de la filière.

V. LIMITES DE L'ETUDE

Cette étude se concentre exclusivement sur la région Auvergne-Rhône-Alpes, ce qui restreint la portée géographique des résultats et des recommandations. Par conséquent, des études complémentaires pourraient être engagées afin de confirmer ou non nos résultats à une autre échelle et dans d'autres territoires.

En raison de contraintes de terrain, notamment la difficulté parfois de conjuguer accord des propriétaires privés et calendrier de campagnes de mesures, l'échantillonnage n'a pas été stratifié, ce qui peut limiter l'extrapolation des résultats. De plus, trois opérateurs de mesure introduisent un biais, par exemple pour la variable sol où la force physique peut influencer la profondeur des sondages.

Le contrôle de l'hétérogénéité par répétitions de mesures peut ne pas avoir capturé l'ensemble de la micro-variabilité. L'étude s'est concentrée sur des peuplements de 20 ans et plus, donc elle n'enquête pas l'état sanitaire des très jeunes arbres, ce qui aurait pu fournir des résultats plus complets. La variable âge n'était pas toujours renseigné dans les documents de gestion et une marge d'erreur de 2 à 3 ans est à prendre en compte (âge à la graine vs année de plantation). L'utilisation de la tarière de Pressler aurait pu améliorer certaines mesures mais des contraintes liées aux accords des propriétaires ont limité cette approche. Les peuplements de plus de 80 ans sont rares, ce qui réduit la complétude des observations de biodiversité, de régénération naturelle notamment.

Une réserve doit avoir lieu concernant la comparaison de croissance avec les travaux de Timbal (1994) car les périodes de croissance, les paramètres pédoclimatiques ne sont pas similaires. De plus, l'accroissement moyen repose sur le suivi temporel d'un peuplement spécifique, tandis que nous utilisons plusieurs peuplements avec des âges et des sylvicultures variés sans suivi dans le temps. Le manque de données dans certaines classes d'âge (30-40 ans et au-delà de 50 ans) empêche une analyse plus détaillée. Le climat considéré lors de l'étude de Timbal (1994) est différent de celui que nous avons pris en considération (1980-2022). Ceci peut influencer les résultats, car les contraintes de croissance et les séries temporelles d'analyses ne sont pas les mêmes. De plus, le jeu de donnée ne présente pas de valeurs d'aridité très faibles (le Sud Ardèche ou la Drôme ont peu de peuplements de chêne rouge) par conséquent nous ne pouvons pas vérifier mais uniquement soupçonner son comportement dans un contexte climatique futur changeant.

La bibliographie ne permet pas d'obtenir des informations liant la texture et l'épaisseur des horizons, la plupart du temps ce sont des termes génériques (profondeur totale, texture favorable...), ce qui peut avoir un impact lors du diagnostic de terrain pour évaluer la compatibilité de l'essence. Cette approche peut-être semblable pour la RUM (voir annexe 4), ainsi que l'hydromorphie.

La régénération de l'essence est évaluée à un instant « t », sans prise en compte de la stabilité de cette proportion dans le temps. De plus, notre jeu de données, basé sur des peuplements plutôt purs, ne permet pas d'étudier l'impact sur la diversité des régénérations naturelles lié à un potentiel manque de semenciers de diverses essences (justifiant une couverture de semis de l'essence 100 % plus abondante que celle d'autres essences).

La faible maturité des arbres sur le territoire d'étude constitue une limite, car le potentiel d'accueil de la biodiversité augmente avec l'âge des peuplements. Bien que les protocoles aient relevé la biodiversité généraliste, une étude plus approfondie avec des inventaires naturalistes serait nécessaire pour évaluer la biodiversité spécialisée. La capacité d'accueil de la biodiversité a été constatée à un instant « t », celle-ci est donc susceptible d'évoluer au cours de la maturation de l'écosystème (notamment les types d'humus). Concernant la biodiversité, une prudence est de mise car une niche écologique présente n'est pas obligatoirement occupée et une question peut se poser sur l'évaluation

et la détermination du stade de maturité biologique d'une essence. Nos observations peuvent ne pas être durables, mais donnent une vision globale des peuplements jeunes en maturation et les prémices d'un potentiel d'accueil.

La quantification des semis en dehors du peuplement d'origine n'inclus pas une analyse de leur provenance, limitant ainsi la certitude de leur origine. Il s'agit ici d'une divagation par éloignement de proximité et non pas d'éloignement « conséquent ». La divagation est évaluée à un instant « t », sans prévoir de mesures futures. D'autant plus que des milieux de type landes abandonnées n'ont pas été rencontrés sur le terrain donc non analysés.

Enfin, la détermination génétique des Chênes rouges étudiés n'a pas été réalisée. Selon De Foucault et Tison dans *Flora Gallica*, les chênes rouges introduits en France peuvent appartenir à plusieurs espèces et/ou hybrides, nécessitant une analyse cytologique ou génétique approfondie pour confirmer la pureté des échantillons.

VI. RECOMMANDATIONS

Bien que l'étude ne portait pas sur l'établissement de recommandations, nous pouvons avancer, au regard de nos investigations de terrain, quelques précautions à prendre avec cette essence. Tout d'abord sur le respect de son autécologie, puis son éducation et de sa sylviculture pour obtenir un bois de qualité et enfin de son renouvellement.

Il est important de distinguer la tolérance de l'essence qui correspond à sa marge d'acceptation, de son optimum qui représente le milieu le plus favorable à son développement. Dans un contexte de changement climatique, **il est désormais déconseillé d'installer une essence dans sa zone de tolérance**, et c'est donc bien l'ensemble des facteurs de sol et de climat qui doivent être étudiés simultanément avant d'installer ou de favoriser le chêne rouge, ou toute autre essence.

Cette essence nécessite **une éducation suivie durant les quinze premières années pour obtenir une bille de pied avec peu de branches**. Cette formation peut se faire naturellement grâce à des essences accompagnatrices comme le charme ou le châtaignier, qui compriment les tiges pour former un tronc droit, ainsi qu'à l'aide de tailles de formation et d'élagage réalisées par le sylviculteur. Les premières éclaircies doivent favoriser les plus beaux individus et réduire la densité **à environ 600 tiges/ha**, permettant aux arbres de bénéficier de ressources suffisantes. Des éclaircies supplémentaires, seront ensuite effectuées tous **les 5 à 7 ans en fonction de la dynamique de croissance**. Une gestion plus active est recommandée d'autant plus que la station est fertile. L'objectif raisonnable de récolte est d'atteindre un diamètre **de 60-70 cm (60-70 ans)**, limitant le risque de pourriture cubique.

Le renouvellement devra favoriser la diversité des essences en place afin de concourir à la robustesse du peuplement et sa résilience climatique. **Ceci peut donc nécessiter de réduire la régénération du chêne rouge pour favoriser les autres essences**. La pratique du cassage est recommandée. **Pratiquée entre mi-juin et mi-août, elle consiste à rabattre la partie supérieure des jeunes chênes rouges concurrents à 30-50 % de leur hauteur**. Cette technique permet de maintenir un bourrage pour l'élagage et une ambiance forestière.

En plantation, le chêne rouge a besoin d'un conditionnement rigoureux des plants et une sélection des provenances adaptées au climat. **La diversification avec d'autres essences issues du recru ou plantées est clairement recommandée**. Nous conseillons également de l'intégrer **dans ces plantations pour environ 20 à 70%** du nombre de plants. En regarni d'une plantation d'une autre essence, il peut être installé à hauteur de 20 % maximum du mélange et dans les 5 ans post-plantation initiale.

En enrichissement, nous conseillons d'intégrer **le chêne rouge sans dépasser 20 % de la surface du peuplement en place**. Si possible, cette introduction peut se faire par trouées ou par bouquet (avec un maximum d'environ 50 plants par îlot).

CONCLUSION

Cette étude a tenté de répondre aux interrogations soulevées dès l'introduction en apportant des éclairages précieux sur les potentialités du chêne rouge en région AURA. Les résultats obtenus mettent en évidence plusieurs aspects prometteurs, notamment une bonne productivité, un état sanitaire encourageant, et une régénération dynamique. Ces caractéristiques positionnent le chêne rouge de manière détaillée comme un candidat pour contribuer à l'adaptation des forêts face aux changements climatiques, à condition que sa gestion soit orientée et conduite avec soin.

Toutefois, cette essence, bien que porteuse de nombreux atouts, ne doit pas être perçue comme une solution miracle. Son introduction dans les peuplements forestiers doit se faire avec prudence, en tenant compte des particularités locales et des interactions avec les autres essences présentes. La gestion sylvicole devra être rigoureuse pour éviter que le caractère compétitif du chêne rouge n'entraîne une éventuelle réduction de la diversité au sein des peuplements. Il est essentiel de veiller à la sélection des tiges d'avenir et à la composition des mélanges afin de maintenir et de développer la complexité des écosystèmes, gage de leur résilience.

Concernant la divagation, bien que nous ne prétendions pas qu'elle n'existe pas ailleurs, sa fréquence est suffisamment faible pour qu'elle soit considérée négligeable sur le territoire. Les bénéfices écologiques du chêne rouge, notamment en termes de soutien à la biodiversité et de création de micro-habitats, sont mesurables, mais doivent être équilibrés par une gestion prudente et éclairée.

En somme, si le chêne rouge présente des résultats actuels prometteurs, sa transposition dans un contexte climatique futur incertain demande une approche mesurée. Une gestion forestière adaptée devra permettre de tirer parti de certains de ses avantages tout en préservant la fonctionnalité et la résilience des écosystèmes forestiers.

BIBLIOGRAPHIE

- AL MAJOU, H., BRUAND, A., DUVAL, O., LE BAS, C. et VAUTIER, A., 2008. Prediction of soil water retention properties after stratification by combining texture, bulk density and the type of horizon. *Soil Use and Management*. Vol. 24, n° 4, pp. 383-391. DOI 10.1111/j.1475-2743.2008.00180.x.
- ASBECK, Thomas, GROSSMANN, Josef, PAILLET, Yoan, WINIGER, et al., 2021. The Use of Tree-Related Microhabitats as Forest Biodiversity Indicators and to Guide Integrated Forest Management. *Current Forestry Reports*. Vol. 7, n° 1, pp. 59-68. DOI 10.1007/s40725-020-00132-5.
- AUGUSTO, Laurent, POUSSE, Noémie, ACHAT, David, BRÉDOIRE, et al., 2017. Projet INSENSÉ: 'Indicateurs de sensibilité des écosystèmes forestiers soumis à une récolte accrue de biomasse'.
- BALDRIAN, Petr, 2016. Forest microbiome: diversity, complexity and dynamics. BANIN, Ehud (éd.), *FEMS Microbiology Reviews*. pp. fuw040. DOI 10.1093/femsre/fuw040.
- BIEBERICH, Judith, 2016. Acorns of introduced *Quercus rubra* are neglected by European Jay but spread by mice. *Annals of Forest Research* [en ligne]. Vol. 59, n° 1. [Consulté le 28 mai 2024]. DOI 10.15287/afr.2016.522. Disponible à l'adresse : <http://www.afrjournal.org/index.php/afr/article/view/522>
- BLAISON, Xavier, 2016. LE CHENE ROUGE D'AMERIQUE.
- BOGDZIEWICZ, Michał, BONAL, Raul, ESPELTA, et al., 2018. Invasive oaks escape pre-dispersal insect seed predation and trap enemies in their seeds. *Integrative Zoology*. Vol. 13, n° 3, pp. 228-237. DOI 10.1111/1749-4877.12285.
- BURNS, Russel M. et HONKALA, Barbara H., 1990. *Silvics of Noth America : 2. Hardwoods*. U.S.department of agriculture, forest service. Washington, DC.
- CALVIN, Katherine, DASGUPTA, Dipak, KRINNER, Gerhard, MUKHERJI et al., 2023. *IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland*. [en ligne]. First. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). [Consulté le 22 mai 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- CHAUDÉ, P., 1987. *Tarif de cubage à décroissances variables pour les arbres sur pied*. Pierre Chaudé.
- CHMURA, Damian, 2020. The Spread and Role of the Invasive Alien Tree *Quercus rubra* (L.) in Novel Forest Ecosystems in Central Europe. *Forests*. Vol. 11, n° 5, pp. 586. DOI 10.3390/f11050586.
- DE FORGES, A Richer, FELLER, C et JAMAGNE, M, 2008. Perdue dans le triangle des textures. *Etude et Gestion des Sols*.
- DSF AUVERGNE-RHÔNE-ALPES, 2023. bilan_regional_dsf_2023.pdf. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://draaf.auvergne-rhone-alpes.agriculture.gouv.fr/bilan-regional-2023-a5473.html>
- DYDERSKI, Marcin K. et JAGODZIŃSKI, Andrzej M., 2019. Seedling survival of *Prunus serotina* Ehrh., *Quercus rubra* L. and *Robinia pseudoacacia* L. in temperate forests of Western Poland. *Forest Ecology and Management*. Vol. 450, pp. 117498. DOI 10.1016/j.foreco.2019.117498.
- DYDERSKI, Marcin K. et JAGODZIŃSKI, Andrzej M., 2020. Impact of Invasive Tree Species on Natural Regeneration Species Composition, Diversity, and Density. *Forests*. Vol. 11, n° 4, pp. 456. DOI 10.3390/f11040456.
- FCBA INFO, 2016. *FCBAINFO Le chêne rouge de la Dombes.pdf* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.fcba.fr/ressources/fcba-info-le-chene-rouge-de-la-dombes-01-une-essence-offrant-dinteressantes-aptitudes-a-lusage-parquet-et-carrelet/>
- FERRÉ, Chiara et COMOLLI, Roberto, 2020. Effects of *Quercus rubra* L. on soil properties and humus forms in 50-year-old and 80-year-old forest stands of Lombardy plain. *Annals of Forest Science*. Vol. 77, n° 1, pp. 3. DOI 10.1007/s13595-019-0893-0.
- FRITZ, Örjan, NIKLASSON, Mats et CHURSKI, Marcin, 2009. Tree age is a key factor for the conservation of epiphytic lichens and bryophytes in beech forests. *Applied Vegetation Science*. Vol. 12, n° 1, pp. 93-106. DOI 10.1111/j.1654-109X.2009.01007.x.
- GENTILI, FERRÈ, CARDARELLI, MONTAGNANI, BOGLIANI, CITTERIO, et COMOLLI, 2019. Comparing Negative Impacts of *Prunus serotina*, *Quercus rubra* and *Robinia pseudoacacia* on Native Forest Ecosystems. *Forests*. Vol. 10, n° 10, pp. 842. DOI 10.3390/f10100842.
- GIANNETTI, Daniele, SCHIFANI, Enrico, CASTRACANI, Cristina, et al., 2022. The introduced oak *Quercus rubra* and acorn-associated arthropods in Europe: An opportunity for both carpophagous insects and their ant predators. *Ecological Entomology*. Vol. 47, n° 4, pp. 515-526. DOI 10.1111/een.13136.
- HAYDA, Yuriy, MOHYTYCH, Vasyl, BIDOLAKH, et al., 2022. The introduction of red oak (*Quercus rubra* L.) in Ukrainian forests: advantages of productivity versus disadvantages of invasiveness. *Folia Forestalia Polonica*. Vol. 64.
- IRSTEA, 2023. *Évolutions 2021-2022 du marché national des plants forestiers : Résultats par essence forestière* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://agriculture.gouv.fr/statistiques-annuelles-sur-les-ventes-de-graines-et-plants-forestiers>
- JENSEN, Thomas Secher, 1985. Seed-Seed Predator Interactions of European Beech, *Fagus silvatica* and Forest Rodents, *Clethrionomys glareolus* and *Apodemus flavicollis*. *Oikos*. Vol. 44, n° 1, pp. 149. DOI 10.2307/3544056.
- LEJEUNE, Philippe et PETIT, Sébastien, 2016. *Inventaire Forestier d'Amenagement. Guide à destination des utilisateurs*.
- LIE, Marit H., ARUP, Ulf, GRYTNES, John-Arvid et OHLSON, Mikael, 2009. The importance of host tree age, size and growth rate as determinants of epiphytic lichen diversity in boreal spruce forests. *Biodiversity and Conservation*. Vol. 18, n° 13, pp. 3579-3596. DOI 10.1007/s10531-009-9661-z.
- LOÏC, DELASSUS, 2015. Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques.
- MARMOR, L., TÖRRA, T., SAAG, L. et RANDLANE, T., 2011. Effects of forest continuity and tree age on epiphytic lichen biota in coniferous forests in Estonia. *Ecological Indicators*. Vol. 11, n° 5, pp. 1270-1276. DOI 10.1016/j.ecolind.2011.01.009.

- MYCZKO, Łukasz, DYLEWSKI, Łukasz, ZDUNIAK, Piotr, SPARKS, Tim H. et TRYJANOWSKI, Piotr, 2014. Predation and dispersal of acorns by European Jay (*Garrulus glandarius*) differs between a native (Pedunculate Oak *Quercus robur*) and an introduced oak species (Northern Red Oak *Quercus rubra*) in Europe. *Forest Ecology and Management*. Vol. 331, pp. 35-39. DOI 10.1016/j.foreco.2014.07.027.
- NICOLESCU, Valeriu-Norocel, VOR, Torsten, MASON, William L, et al., 2020. Ecology and management of northern red oak (*Quercus rubra* L. syn. *Q. borealis* F. Michx.) in Europe: a review. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. Vol. 93, n° 4, pp. 481-494. DOI 10.1093/forestry/cpy032.
- PAILLET, Yoan, DEBAIVE, Nicolas, ARCHAUX, et al., 2019. Nothing else matters? Tree diameter and living status have more effects than biogeoclimatic context on microhabitat number and occurrence: An analysis in French forest reserves. BOSELA, Michal (éd.), *PLOS ONE*. Vol. 14, n° 5, pp. e0216500. DOI 10.1371/journal.pone.0216500.
- PETTIFOR, Bethany J., DENMAN, Sandra et MCDONALD, James E., 2022. Using a systematic approach to synthesize existing knowledge on *Gymnopus fusipes* (syn. *Collybia fusipes*), the cause of *Collybia* root rot. *Forest Pathology*. Vol. 52, n° 5, pp. e12766. DOI 10.1111/efp.12766.
- RIEPDAS, Edvardas et STRAIGYTĖ, Lina, 2008. Invasiveness and Ecological Effects of Red Oak (*Quercus rubra* L.) in Lithuanian Forests. *BALTIC FORESTRY*. Vol. 14, n° 2.
- SEARLE, S. Y., TURNBULL, M. H., BOELMAN, et al., 2012. Urban environment of New York City promotes growth in northern red oak seedlings. *Tree Physiology*. Vol. 32, n° 4, pp. 389-400. DOI 10.1093/treephys/tps027.
- SINOUE, Éric et BLANCHIN, Julien, 2021. Bilan des essais forestiers consacrés au Chêne rouge d'Amérique en Bretagne.
- STANEK, Małgorzata, KUSHWAHA, Priyanka, MURAWSKA-WŁODARCZYK, et al., 2023. *Quercus rubra* invasion of temperate deciduous forest stands alters the structure and functions of the soil microbiome. *Geoderma*. Vol. 430, pp. 116328. DOI 10.1016/j.geoderma.2023.116328.
- STANEK, Małgorzata, PIECHNIK, Łukasz et STEFANOWICZ, Anna M., 2020. Invasive red oak (*Quercus rubra* L.) modifies soil physicochemical properties and forest understory vegetation. *Forest Ecology and Management*. Vol. 472, pp. 118253. DOI 10.1016/j.foreco.2020.118253.
- THIEL, Sarina, TSCHAPKA, Marco, HEYMANN, Eckhard W. et HEER, Katrin, 2021. Vertical stratification of seed-dispersing vertebrate communities and their interactions with plants in tropical forests. *Biological Reviews*. Vol. 96, n° 2, pp. 454-469. DOI 10.1111/brv.12664.
- TIMBAL, J., KREMER, A., LE GOFF, N. et NEPVEU, G., 1994. *Le Chêne rouge d'Amérique*. Inra. Paris. ISBN 2-7380-0479-2.
- WOZIWODA, Beata, KOPEĆ, Dominik et WITKOWSKI, Janusz, 2014a. The negative impact of intentionally introduced *Quercus rubra* L. on a forest community. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. Vol. 83, n° 1, pp. 39-49. DOI 10.5586/asbp.2013.035.
- WOZIWODA, Beata, KOPEĆ, Dominik et WITKOWSKI, Janusz, 2014b. The negative impact of intentionally introduced *Quercus rubra* L. on a forest community. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. Vol. 83, n° 1, pp. 39-49. DOI 10.5586/asbp.2013.035.
- WRÓBEL, Aleksandra, KUREK, Przemysław, BOGDZIEWICZ, et al., 2022. Avian dispersal of an invasive oak is modulated by acorn traits and the presence of a native oak. *Forest Ecology and Management*. Vol. 505, pp. 119866. DOI 10.1016/j.foreco.2021.119866.

Annexe 1 : **Tableau d'attribution du coefficient de compatibilité pédoclimatique**

Variables et valeurs chiffrées (Masson, 2005)							Indice attribué
Station	Texture /horizon	Profondeur sol	Topographie	Humus	Hydromorphie	RUM	
	Si texture = sable, indice = 1,3.	< 30cm	/	/	Présente en surface (profondeur <=40cm)	/	0
	Si texture = argile, indice = 0.	/	/	Dysmoder, Eumoder, Hemimoder	Présente à plus de 40cm de profondeur	/	1
	Si texture = argile lourde, indice = 0.	/	Haut-versant	Mesomull, Mor, Eumul, Amphimull	/	0 - 210 mm	-1
	Si texture = limon, indice = 2,3.	>=30cm & <=50cm	Mi-versant, plaine	Oligomull	/	/	2
	Si texture = équilibre, indice = 1,5.	> 50 cm	Bas-versant	/	Absence	/	3
Climat	Altitude	Précipitations annuelles		Gelées printanières	Température moyenne		
	/	< 800mm/an		/			0
	/	/		/	Comprise entre 4-7,5 °C		1
	>= 800m	> 1200 mm/an		0-190 jours/an	Comprise entre 0-4 °C et 16-17 °C		-1
	< 800m	Comprises entre 800-1000 mm/an et 1100 -1200 mm/an		/	Comprise entre 7,5-13 °C et 13,5-16 °C		2
	/	1000 -1100 mm/an		/	Comprise entre 13-13,5 °C		3

Annexe 2 : **Tableau d'attribution des scores IBP**

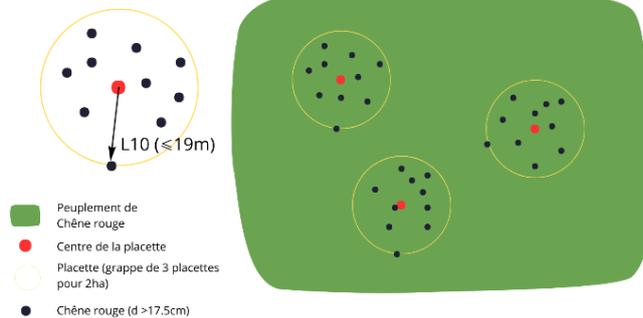
Variable mesurée	Conditions	Score
A Essences autochtones	De 0 à 1 espèce autochtone détectée	0
	2 espèces autochtones détectées	2
	Au moins 3 espèces autochtones détectées	5
B Structure verticale de la végétation	Monostrate à plus de 70 %	0
	Monostrate entre 30-70 %	2
	Multistrate à plus de 30%	5
C Bois mort sur pied de « grosse circonférence »	0 pied/ha (conversion du nombre d'arbres/de troncs de la placette à l'hectare)	0
	1-2 pieds/ha	2
	Au moins 3 pieds/ha	5
D Bois mort au sol de « grosse circonférence »	0 tronc/ha	0
	1-2 troncs/ha	2
	Au moins 3 troncs/ha	5
E Très gros bois vivants	0 pied/ha	0
	1-4 pieds/ha	2
	Au moins 5 pieds/ha	5
F Arbres vivants porteurs de dendromicro habitats	Absence	0
	De 1 à 6 dendromicro habitats relevés	2
	Plus de 6 dendromicro habitats relevés	5
G Milieux associés	Absence	0
	1 type de milieu associé	2
	Au moins 2 type de milieux associés	5
H Continuité temporelle de l'état boisé	Peuplement ne faisant pas partie d'une forêt ancienne (présente sur la carte de l'État-major et non défrichée depuis)	0
	Peuplement ayant été défriché en partie ou forêt ancienne probable	2
	Peuplement faisant partie d'une forêt ancienne avec certitude	5

Annexe 3 : **Tableau d'attribution du coefficient de complexité des peuplements**

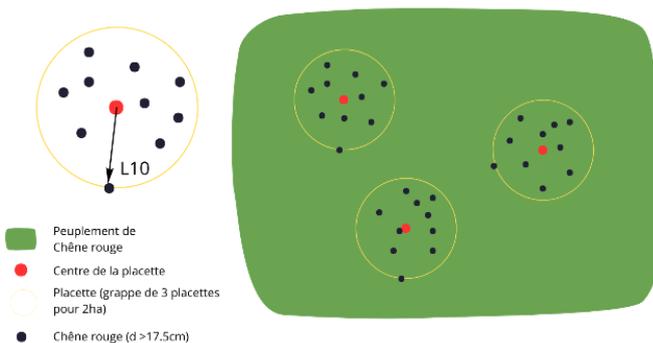
Variable mesurée	Conditions	Score
Structure verticale du peuplement	Monostrate à plus de 70 %	0
	Monostrate entre 30-70 %	1
	Multistrate à plus de 30%	2
Présence de milieux diversifiés	Absence de milieux autres	0
	Présence d'un milieu autre	1
	Présence d'au moins deux milieux autres	2
Répartition des diamètres	Une classe de diamètre représente 100 % de la placette	0
	Plusieurs classes de diamètre sont présentes, quel que soit leur nombre et leur proportion	1
	Toutes les classes de diamètre occupent au moins 5 % de la placette	2
Régénération	Absence de régénération	0
	Présence d'une strate de régénération (quel que soit le coefficient de Braun-Blanquet)	1
	Présence d'au moins deux strates de régénération (quel que soit le coefficient de Braun-Blanquet)	2

Annexe 4 : **Données chiffrées des paramètres pédoclimatiques selon la croissance de l'essence**

Variables	Indice de croissance moyen (tolérance)	Indice de croissance bon (optimum)
	Moyenne (écart-type)	Moyenne (écart-type)
Indice de croissance	0.63 m/an (0.07)	0.83 m/an (0.07)
Indice climatique Martonne	44.07 (9.28)	46.17 (5.12)
État sanitaire	Sain (97 %)	Sain (96 %)
Exposition	Sans exposition (75,4%)	Sans exposition (83 %)
Topographie	Plaine (74 %)	Plaine (82 %)
Altitude	324 m (185)	275 m (163)
Précipitations moyennes annuelles	922 mm (173)	969 mm (108)
Température moyenne annuelle	11 °C (0.5)	10.9 °C (0.5)
Humus	Oligomull (40 %), Mesomull (34 %), Eumoder (15 %), Dysmull (6 %), Dysmoder (5 %)	Oligomull (56 %), Mesomull (30 %), Eumoder (4 %), Dysmull (10 %)
Épaisseur de sol	48.65 cm (18.78)	46.23 cm (17.64)
Texture de l'horizon 1	Limon (54 %), Équilibre (36 %), Sable (9 %), Argile (1 %)	Limon (77 %), Équilibre (18 %), Sable (5 %)
RUM	57.35 mm (21.79)	56.84 mm (21.58)
Hydromorphie de surface	Absente (98 %)	Absente (98 %)
Cause arrêt tarière	Compacité (64 %), Pierrosité (19 %) et autres	Compacité (70 %), Pierrosité (23 %) et autres
Nombre de facteurs jugés limitants	0.93 (0.79)	0.75 (0.71)

Productivité :**Mesures de la productivité du Chêne rouge d'Amérique, CNPF AURA****Variables mesurées :**

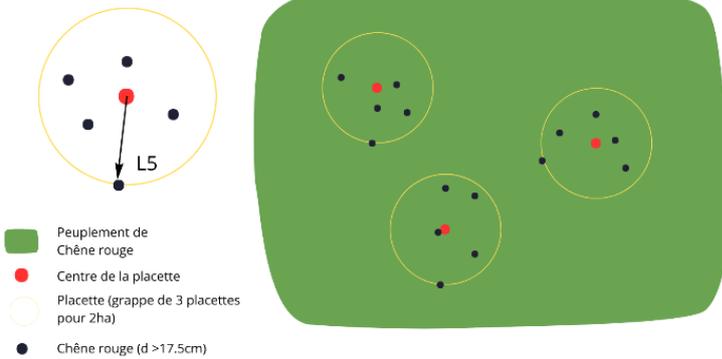
Mesures de la station/placette	Mesures dendrométriques/placette
<ul style="list-style-type: none"> Localisation GPS, Exposition, Topographie, Pente, Affleurement rocheux, Humus, Analyse par horizon (mesures pouvant être répétées pour 4 horizons différents maximum) : épaisseur, texture, éléments grossiers, hydromorphie, La cause d'arrêt de la tarière, La possibilité de prospection ou non des arbres dans le sol, Une photo du sondage. 	<ul style="list-style-type: none"> La distance du L10 (séparant le centre de la placette du 10^{ème} arbre), La surface terrière des chênes rouge, La surface terrière des autres essences, L'essence des 10 arbres, La circonférence des 10 arbres, La hauteur de 5 arbres (les deux plus gros, un arbre moyen et les deux plus petits), L'état sanitaire des 10 arbres, La qualité de la bille dans les 4 premiers mètres des 10 arbres, La présence ou absence de régénération naturelle (de minimum 50cm et recouvrant au minimum 10% de la placette), Le nombre de perches dans la placette, La sylviculture (présence et type), Une photo du peuplement.

Biodiversité :**Mesures du potentiel d'accueil de la biodiversité du Chêne rouge d'Amérique, CNPF AURA****Variables mesurées :**

Mesures peuplement/placette	Relevés arbres/placette
<ul style="list-style-type: none"> Localisation GPS, Distance du 10^{ème} arbre le plus éloigné du centre de la placette, Nombre d'essence autochtones, Structure (comprenant la stratification par recouvrement). Photos 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre de bois mort sur pied (classe d=17-37cm), Nombre de bois mort sur pied (classe d>37cm), Nombre de bois mort au sol (classe d=17-37cm), Nombre de bois mort au sol (classe d>37cm), Nombre de gros bois vivant (classe d=47-67cm), Nombre de très gros bois vivant (classe d>67cm), Liste des dendro-micro habitats visibles sur les 10 arbres observés, Présence de milieux associés,

Régénération intra-peuplement :

Mesures de la régénération du Chêne rouge d'Amérique, CNPF AURA

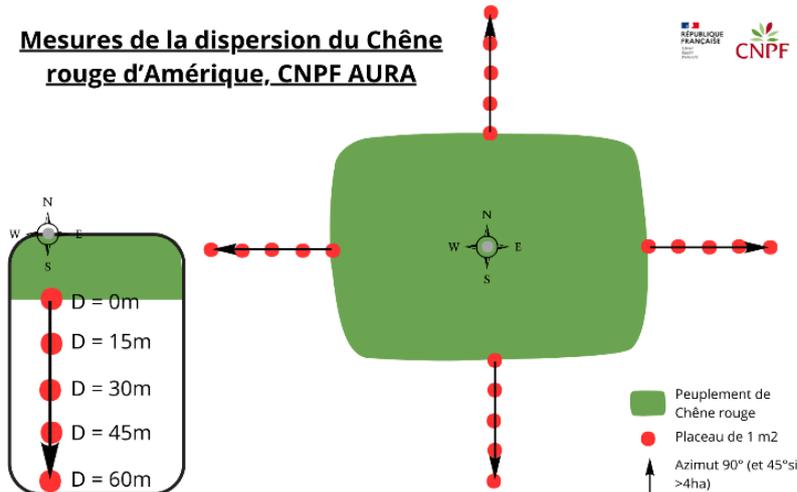


Variables mesurées :

Mesures semenciers/placette	Mesures de la régénération/placette
<ul style="list-style-type: none"> Localisation GPS, Distance du 5^{ème} arbre le plus éloigné du centre de la placette, La circonférence des 5 arbres, La hauteur des 5 arbres, Photo du peuplement/régénération. 	<p>Application du coefficient de Braun-Blanquet par strate de régénération et par essence.</p> <ul style="list-style-type: none"> Taux de recouvrement de la strate semis, Taux de recouvrement de la strate fourré, Taux de recouvrement de la strate gaulis, Taux de recouvrement de la strate perchis, Quantification de la consommation du gibier (hors Brossier-Pallu), Blocage potentiel (présence et type).

Divagation :

Mesures de la dispersion du Chêne rouge d'Amérique, CNPF AURA



Variables mesurées :

Milieu attenant/azimut	Mesures de la régénération/azimut
<ul style="list-style-type: none"> Orientation, Nature du sol, Si présence d'un milieu forestier : essence, hauteur dominante, surface terrière, type peuplement. 	<p>Application du coefficient de Braun-Blanquet par strate de régénération et par essence.</p> <ul style="list-style-type: none"> Taux de recouvrement de la strate semis, Taux de recouvrement de la strate fourré, Taux de recouvrement de la strate gaulis, Taux de recouvrement de la strate perchis, Blocage potentiel, Photo.

RESUME

En 2023-2024, le CNPF Auvergne-Rhône-Alpes, soutenu financièrement par la DRAAF et appuyé techniquement par un consortium d'acteurs de la filière, a conduit une étude régionale sur le chêne rouge d'Amérique dans trois bassins régionaux où cette essence est présente. L'étude visait à évaluer la productivité de cette espèce, sa capacité de régénération naturelle, son potentiel d'accueil pour la biodiversité, ainsi que son caractère invasif.

Les résultats, obtenus après l'analyse de plus de 90 peuplements, indiquent que le chêne rouge d'Amérique présente une productivité notable dans la région, une capacité de régénération naturelle intéressante, et une croissance rapide, en particulier dans le contexte de pratiques sylvicoles adaptées au changement climatique. Les controverses concernant son caractère invasif n'ont pas été confirmées.

Le CNPF, dans son rôle de conseil auprès des propriétaires forestiers, propose des recommandations mesurées pour sa conduite et d'éventuelles nouvelles introductions, tout en reconnaissant que malgré ses atouts, le chêne rouge d'Amérique n'est pas sans inconvénients et ne constitue pas une solution miracle.

In 2023-2024, the National Center for Forest Ownership (CNPF), financially supported by the Regional Direction for Alimentation, Agriculture and Forests (DRAAF) in the région Auvergne-Rhône-Alpes (France) and technically assisted by a consortium of industry stakeholders, conducted a regional study on Northern Red Oak in three regional locations where this species is present. The study aimed to assess the productivity of this species, its natural regeneration capacity, its potential to support biodiversity, and its invasiveness.

The results, based on the analysis of more than 90 stands, indicate that Northern Red Oak shows notable productivity in the region, interesting natural regeneration capacity, and rapid growth, particularly in the context of silvicultural practices adapted to climate change. The controversies regarding its invasiveness were not confirmed.

The CNPF, in its advisory role to forest owners, proposes measured recommendations for its management and possible new introductions, while acknowledging that despite its strengths, Northern Red Oak is not without drawbacks and does not constitute a miracle solution.
