

1 Titre : Régénération par graines du châtaignier (*Castanea sativa* Miller) selon différentes approches de recépage.

2

3 Auteurs: Enrico Marcolin^{a,*}, Maria Chiara Manetti^b, Francesco Pelleri^b, Marco Conedera^c, Gianni Boris

4 Pezzatti^c, Emanuele Lingua^a, Mario Pividori

5

6

7 ^a Département TESAF, Université de Padoue, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro, PD, Italie

8 ^b Centre de Recherche CREA sur la Forêt et le Bois, Viale Santa Margherita 80, 52100 Arezzo, Italie

9 WSL^c Institut fédéral de recherches suisse, Groupe de recherche sur les écosystèmes insubriques, Cadenazzo, Suisse

10

11 Adresses électroniques : enrico.marcolin@unipd.it (Enrico Marcolin), mariachiara.manetti@crea.gov.it (Marie

12 Chiara Manetti), francesco.pelleri@crea.gov.it (Francesco Pelleri), marco.conedera@wsl.ch (Marque

13 Conedera), boris.pezzatti@wsl.ch (Gianni Boris Pezzatti), emanuele.lingua@unipd.it (Emanuele Lingua),

14 mario.pividori@unipd.it (Mario Pividori)

15

16 *Auteur correspondant : enrico.marcolin@unipd.it

17

18 Résumé

19 La gestion des taillis de châtaigniers italiens a été progressivement suspendue après la Seconde Guerre mondiale, entraînant une
20 surveillance généralisée des peuplements concernés. Ces dernières années, on observe un regain d'intérêt pour le bois de taillis.
21 produits ont accru le besoin de connaissances solides sur les pratiques de restauration les plus appropriées pour les bâtiments sur-vieillis.
22 taillis.

23 Dans ce contexte, un enjeu clé est d'assurer une régénération qualitative et abondante des graines du châtaignier.

24 (*Castanea sativa* Miller) afin de remplacer les sècles trop âgées. Des questions restent cependant en suspens quant à son rôle

25 des normes (arbres libérés après recépage) et, en particulier, sur leur interaction avec le post-

26 Établissement du recépage pour la régénération des semences.

27 Afin de clarifier ces aspects, nous avons appliqué différents systèmes de recépage dans des taillis de châtaigniers vieillissants afin de

28 pour créer un gradient de couverture résiduelle allant de la couverture totale laissée sans intervention à la simple coupe en taillis

29 (tous les arbres coupés, aucune norme publiée). L'impact des différents traitements sur la régénération du châtaignier a été

30 ont ensuite été évalués par le biais d'enquêtes sur le terrain au cours de la deuxième et de la cinquième année suivant la coupe, respectivement.

31 La régénération des graines de châtaignier s'établit rapidement et abondamment pour garantir le remplacement des châtaignes mortes

32 souches également dans le taillis simple. La phase de régénération des châtaigniers après taillis provenait principalement de

33 issues de la banque de semences annuelle existante et ont été concentrées au cours des deux premières années suivant l'intervention,
34 alors que les apports de semences par les arbres standards ou par les arbres adultes en bordure de forêt jouaient un rôle secondaire ou négligeable
35 à partir de la troisième année suivant la coupe. Ainsi, la présence de normes n'a pas favorisé la régénération.

36 Au contraire, il a montré un effet dépressif marqué sur le taux de croissance des jeunes plants de châtaignier et, sous
37 conditions d'ombrage importantes ont favorisé l'implantation d'espèces d'arbres tolérantes à l'ombre.

38 D'un point de vue sylvicole, le recépage simple des taillis de châtaigniers trop âgés représente une solution précieuse
39. Option de gestion combinant une implantation rapide de la régénération naturelle des graines de châtaignier avec la
40 repousses et développement des selles les plus vigoureuses.

41

42

43 Mots-clés : taillis de châtaignier ; croissance des semis ; standards ; recrutement des châtaigniers.

44

45

46 1. Introduction

47 Les forêts de châtaigniers (*Castanea sativa* Miller) constituent un élément important du paysage dans les régions vallonnées de
48 pays d'Europe du Sud (Bourgeois, 2004 ; Conedera et al., 2016 ; Gallardo-Lancho, 2001) et l'Italie en particulier
49 (Beccaro et al., 2019 ; Bounous, 2002). Les châtaigneraies sont cultivées intensivement à des fins multiples.
50 monocultures, principalement pour l'alimentation (vergers) et le bois (tapis) (Beccaro et al., 2019 ; Conedera et al., 2004b ;
51 Gavaland et Pelletier, 2006). En Italie, le système de taillis le plus courant dans les châtaigneraies est représenté
52 par le taillis avec des boutures, qui consiste à libérer des individus individuels (boutures) plus longs qu'une
53 cycles de production de taillis, dans le but d'assurer la continuité d'une couverture de sol minimale, produisant des arbres plus grands
54 bois et dispersion de graines supplémentaires (Manetti et al. 2020). Au cours de la dernière période d'après-guerre, la baisse de l'activité économique
55 La valeur des produits traditionnels à base de châtaigne a diminué en raison de l'évolution socio-économique combinée à la diffusion
56 agents pathogènes (c.-à-d. *Phytophthora* spp. et *Cryphonectria parasitica*) ont entraîné l'abandon de ces méthodes.
57 peuplements monospécifiques de châtaigniers subsistent depuis de nombreuses décennies (Conedera et al., 2004a ; Müllerová et al., 2015).
58 En l'absence de gestion régulière, les châtaigneraies pures ont tendance à être envahies par d'autres espèces d'arbres (par exemple, *Betula*
59 *pendula*, *Fraxinus* spp., *Acer* spp., *Tilia* spp., *Quercus* spp., *Fagus sylvatica*) selon les conditions du site et
60 structures de peuplements (Conedera et al., 2001 ; Manetti et al., 2001 ; Paci, 1992 ; Zlatanov et al., 2013). Par conséquent,
61 Les châtaigniers non aménagés tendent à évoluer vers des forêts mixtes de feuillus avec une proportion réduite de châtaigniers.
62 (Fonti et al., 2006 ; Muster et al., 2007 ; Pividori et al., 2006). Dans les taillis de châtaigniers abandonnés,
63 Certains sillons trop âgés meurent, réduisant ainsi la densité du peuplement, d'autres développent une biomasse épigée disproportionnée avec
64 par rapport au système racinaire, ce qui augmente le risque de déracinement des souches, notamment sur les pentes abruptes où
65 forêts jouent un rôle protecteur important (Vogt et al., 2006 ; Pividori et al., 2008 ; Vergani et al., 2017).
66 Récemment, on observe un regain général de traditions locales et une nouvelle sensibilité à l'égard de la préservation du châtaignier.
La culture et le paysage ont suscité un regain d'intérêt pour le système sylvicole du taillis en général (par exemple, la levée des souches).
68 demande de biomasse ligneuse pour la production d'énergie) et dans le bois de châtaignier en particulier (par exemple, production
69 de bois de châtaignier de haute qualité). Cependant, la restauration des taillis de châtaigniers abandonnés et trop vieux implique une
70 sélection préliminaire de sites appropriés (Álvarez-Álvarez et al., 2010 ; Díaz-Varela et al., 2011 ; Lemaire, 2009)
71 et une définition claire des objectifs de gestion et des approches sylvicoles connexes (c.-à-d. le taillis)
72 système, période de rotation, fréquence et intensité d'amincissement) (Cutini, 2001 ; Manetti et Amorini, 2012 ; Mattioli
73 et al., 2016).
74 Dans les taillis de châtaigniers, la régénération par graines et par bouturage contribue à la génération de nouveaux arbres.
La composante végétative à 75 % repose sur la capacité de repousse abondante et quasi illimitée du tronc de la plante.
76 châtaigniers (Giudici et Zingg, 2005 ; Unrau et al., 2018). Les années de fructification abondante chez les châtaigniers se succèdent.
77 de manière assez constante (Ott et al., 2003), de sorte que la production de semences et la banque annuelle de semences associée ne représentent pas
78 est un facteur limitant. Par conséquent, la nouvelle génération de graines de châtaignier peut prospérer lorsque les conditions de site et de lumière sont optimales.
79 favorable à la germination et à l'établissement des semis. Le châtaignier est un arbre héliophile et donc
80 s'établit difficilement par graines ou se développe sous un couvert dense et en l'absence d'un rayonnement solaire suffisant à

81 au niveau du sol (Pinchot et al., 2017 ; Pridnya et al., 1996 ; Zlatanov et al., 2013). D'un point de vue sylvicole
82 vues, il est cependant très important d'améliorer le taux de régénération des semences à long terme afin de maintenir
83 Une densité de selles appropriée (c.-à-d. en remplaçant les selles mortes) améliore l'état de santé général et le bois
84 qualité des taillis (Giudici et Zingg, 2005 ; Pividori et al., 2006 ; Zlatanov et al., 2015).
85 Dans cette étude, nous avons analysé l'influence de différentes approches de recépage sur le post-traitement
86. Établissement à partir de la banque de semences annuelle et développement à court terme des semences naturelles de châtaigne
87 régénération lors de la restauration de la gestion des taillis dans les taillis de châtaigniers vieillissants. En particulier, nous
88 ont testé comment les paramètres des peuplements de taillis, tels que la surface terrière résiduelle des arbres témoins et la densité de
89 rejets, affectés par la régénération des graines après recépage.
90
91

92 2. Matériel et méthodes

93

94 2.1. Zone d'étude

95 La zone d'étude est située dans le nord-est de l'Italie, sur les pentes méridionales des Préalpes vénitiennes (Fig. 1).

96 caractérisée par un climat tempéré avec des précipitations annuelles moyennes et des températures comprises entre 1400 et

97 1900 mm (concentration maximale en automne et au printemps sans périodes sèches) et 9-12°C (mois le plus chaud :

98 juillet ; mois le plus froid : janvier). Les sols sont majoritairement acides, de type Luvisol dystrique-leptique (Groupe de travail IUSS).

99 WRB, 2014) avec une bonne aptitude au drainage. Les conditions environnementales et de croissance de la zone d'étude sont

100 est donc assez représentatif du climat de la zone tempérée C dans le monde, selon la classification climatique de Köppen-Geiger.

101 (Kottek et al., 2006) du nord de l'Italie et du sud de la Suisse, où les taillis de châtaigniers couvrent un

102 superficie de 300 000 ha (Gasparini et al., 2011).

103 Dans cette région, les châtaigneraies ont été activement gérées jusque dans les années 1970 sous forme de taillis pour différentes essences de bois.

104 produits tels que des planches, des poteaux ainsi que des piquets pour paniers et des outils de travail. La production de taille moyenne

105 Les poteaux pour la vigne ont été obtenus à partir de taillis de châtaigniers avec la mise en place d'un nombre minimum de standards (30-

106 50 arbres·ha⁻¹) tandis que pour la production de bois de scierie et de poteaux grossiers, les taillis étaient gérés en un

107 périodes de rotation moyenne (40 ans) avec la libération de toutes les normes et des pousses qui n'ont pas atteint le niveau requis

Taille 108 (Manetti et al., 2020).

109 Les châtaigniers de la zone d'étude ont été attaqués par la guêpe gallicole asiatique du châtaignier (*Dryocosmus kuriphilus*).

110 Yasumatsu) à partir de 2007 au plus tard (année du premier enregistrement) et ont été entièrement colonisées par

111 2013 (Colombani et Battisti, 2016 ; Graziosi et Santi, 2008).

112

113

-Fig.1 ici-

114

115 2.2. Plan d'expérience

116 Nous avons sélectionné trois peuplements de taillis de châtaigniers vieillissants (c.-à-d. de 25 à 60 ans) appartenant à des propriétaires privés au sud-

117 versants exposés et modérément pentus à des altitudes comprises entre 450 et 610 m dans les communes de Valli

118 del Pasubio, Pederobba et Miane (Fig. 1 ; Tab. 1) où des interventions de taillis étaient prévues. Le doux

Le châtaignier (*Castanea sativa* Mill.) était l'espèce dominante, mais d'autres feuillus, comme le chêne européen, étaient également présents.

120 charme (*Carpinus betulus* L.), chêne sessile (*Quercus petraea* (Matt) Liebl.), frêne commun (*Fraxinus excelsior*

121 L.), érable sycomore (*Acer pseudoplatanus* L.), tilleul à petites feuilles (*Tilia cordata* Miller), bouleau pendulaire (*Betula pendula*

122 Roth), le robinier faux-acacia (*Robinia pseudoacacia* L.) et le cerisier doux (*Prunus avium* L.) étaient également occasionnellement présents.

123 présent.

124 Bien que différant tant par la densité des fumiers que par l'âge depuis la dernière coupe, tous les peuplements sélectionnés étaient en

125 en général trop dense et sombre pour permettre une régénération significative des graines de châtaigne (Tab. 1). En raison de cela

126 conditions initiales hétérogènes en termes de densité et d'âge du peuplement, sans plan d'expérience systématique

On aurait pu en tirer 127. Au lieu de cela, des zones avec différentes intensités de taillis ont été appliquées aléatoirement au sein de chaque site.

128 afin de générer un gradient continu de couverture végétale fourni par les normes publiées, allant de

129 l'intensité maximale de recépage (approche de recépage simple avec suppression de tous les rejets sur pied et aucun

130 arbres restants (norme standard) jusqu'à aucune intervention (c.-à-d. libération de tous les arbres sur pied avant recépage) (Tab. 1). Cette approche

Le traitement 131 a ensuite été appliqué sur tous les sites d'étude pendant la période de repos hivernal, à partir de 2006 dans la Valli del

132 Pasubio (c'est-à-dire juste avant la première observation de la guêpe gallicole), suivi de Pederobba en 2007 et de Combai

133 en 2008 (Tab. 1).

134 -Onglet 1 ici-

135

136 Afin d'évaluer la régénération des semences, nous avons localisé aléatoirement 120 parcelles carrées (2 x 2 m) (ci-après dénommées

137 parcelles d'échantillonnage (voir tableau 1) sur les cartes SIG des sites d'étude. Cette procédure a imposé une distance minimale de

138 5 m entre les parcelles et à 10 m des limites de la zone expérimentale avec la routine ArcGis Create

139 points aléatoires (ArcGIS version 10.6, ESRI, Redlands, CA, États-Unis).

140

141 2.3. Enquête de terrain

142 Avant l'abattage, tous les excréments ont été localisés à une résolution submétrique et cartographiés dans un SIG, puis étiquetés par un

143 étiquettes en plastique numérotées. Les paramètres suivants ont été mesurés sur chaque tabouret : projection horizontale de quatre

144 rayons de couronne, diamètre à hauteur de poitrine (DHP) de tous les pousses vivantes avec un DHP > 5 cm et hauteur de l'arbre dominant

145 pousses. Après l'abattage, des parcelles d'échantillonnage destinées à l'évaluation de la régénération des semences ont été vérifiées sur le terrain afin de

146 pour éliminer les sites inadaptés à l'établissement de la régénération (zones rocheuses, étangs, ruisseaux, chemins forestiers). Après

147 de cette sélection, les 96 parcelles d'échantillonnage confirmées ont été marquées de façon permanente sur le terrain et leur pente et

148 aspects dominants enregistrés.

149 La dynamique de régénération à court terme et l'évolution standard des arbres ont été suivies lors de la 2e (1re) enquête et

150 5e (2e enquête) saisons de croissance post-traitement utilisant un protocole d'enquête standardisé (Tab. 1). Normes

151 sujets ont été évalués en termes de hauteur, de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et de projection de la couronne. La régénération végétative au niveau des selles était de :

152 ont été évalués en relevant le nombre de pousses vivantes et la hauteur de la pousse dominante. Des selles ont été prélevées.

153 classés comme morts lorsqu'aucune repousse n'a été enregistrée lors du 2ème relevé.

154 espèces, l'abondance et la hauteur des individus de régénération des graines ont été enregistrées au niveau de la parcelle d'échantillonnage.

155

156 2.4. Prétraitement des données

157 Tous les échantillons de selles des sites expérimentaux ont été classés dans l'une des classes sociales suivantes (dominante,

158 intermédiaires et dominés/supprimés) en fonction de la hauteur de la pousse dominante, du diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et de la superficie de

159 couronnes d'incidence par rapport aux voisins.

160 L'aspect des parcelles d'échantillonnage a été linéarisé en calculant l'indice de norditude (Nness), en supposant

161 valeurs plus élevées de Nness pour les versants exposés au nord et valeurs plus faibles pour les versants exposés au sud, selon

162 suivant la formule (Beers et al., 1966 ; Elson et al., 2007) :

163

164
$$= \cos(\quad) \cdot \tan(\quad)$$

165

166 Les distances entre chaque parcelle d'échantillonnage et l'étalon le plus proche (DistStd) et le tabouret de repousse le plus proche.

167 (DistStool) ont été calculés dans un environnement SIG (ArcGIS version 10.6, ESRI, Redlands, CA, USA).

168 De même, nous avons défini une variable binaire de couverture à partir de la carte d'inventaire SIG, en attribuant la valeur 1 à la variable si une

169 parcelles d'échantillonnage étaient couvertes par la projection de la couronne d'un standard et à 0 si la parcelle n'était pas couverte.

170 Afin d'explorer l'influence des paramètres du peuplement sur la régénération des semences, nous avons défini une zone circulaire de 6

Un rayon de 171 m centré sur chaque parcelle d'échantillonnage (ci-après dénommée RA) a été défini à l'aide d'un SIG. Nous avons choisi un rayon de 6 m.

172 rayons car il correspondait aux projections moyennes de la couronne des 10 plus grands tabourets (Fig. 2, Hatch et al.,

173 1975 ; Holmes et Reed, 1991). Au sein de chaque RA, nous avons résumé les paramètres de peuplement collectés en calculant

174 pour chaque enquête : le nombre de rejets (Repousses), le nombre de pousses vivantes (Pousses), la hauteur moyenne

175 de la pousse dominante par souche (HSh), la surface basale des souches avant recépage (BApre) et la surface basale

176 aires des standards (BAres). La BAres a été utilisée dans plusieurs études comme indicateur de la canopée résiduelle.

177 couvertures lors de l'analyse de l'influence de cette dernière sur la dynamique de régénération post-traitement (Joys et al.,

178 2004 ; Lucas-Borja et al., 2016 ; Mitchell et Popovich, 1997). La forte corrélation ($r_s = 0,83$, $p < 0,01$)

La corrélation de 179 entre le taux de couverture du couvert (CA) et la surface terrière (BApre) observée dans les peuplements avant traitement a confirmé ce résultat.

180 choix.

181  -Fig. 2 ici-

182

183 2.5. Analyse des données

184 Dans les deux ensembles de données d'enquêtes, les relations entre les variables de régénération des semences (collectées et calculées dans

185 les parcelles d'échantillonnage (y compris DistStd, DistStool, pente et Nness) et les paramètres du peuplement (Stools, Sh, HSh et

186 BAres (calculés au sein de chaque RA) ont été étudiés préliminairement par le test de corrélation de rang de Spearman (r_s

187 coefficient, $p < 0,05$).

188

189 2.5.1. Diversité des espèces d'arbres dans la régénération par graines

La diversité des espèces dans la régénération par graines au niveau de la parcelle a été évaluée pour chaque relevé à l'aide de l'indice de Shannon.

191 (SH), qui combine la richesse spécifique et l'abondance relative (Magurran, 2004). Changements dans la diversité spécifique,

192 Les différences de SH pour chaque parcelle entre la 2e et la 5e année après le traitement ont ensuite été testées avec un non-

193 tests paramétriques par paires de Friedman.

194 Une analyse de classification hiérarchique multivariée a été utilisée pour comparer la similarité entre les parcelles en termes d'arbre
195 espèces de composition et regrouper les parcelles présentant une abondance d'espèces similaire en clusters (McCune et Grace,
196 2002). Nous avons appliqué la distance euclidienne comme coefficient de distance et la méthode de liaison de Ward comme méthode de fusion.
197 stratégie. La séparation en termes de différences dans les assemblages d'espèces entre les groupes de parcelles a été testée.
198 en utilisant la procédure de permutation à réponses multiples (MRPP) (Zimmerman et al., 1985). La méthode non paramétrique
L'analyse des espèces indicatrices (ISA) a ensuite été utilisée pour identifier les espèces présentant une préférence significative.
200 distributions en termes de fréquence et d'abondance par rapport aux clusters obtenus (Dufrene et
201 Legendre, 1997). Dans la procédure ISA, la valeur indicatrice (VI) d'une espèce est obtenue en multipliant le relatif
202 abondance de l'espèce concernée dans un groupe en fonction de sa fréquence relative. La signification du résultat calculé
203 IV est ensuite testé à l'aide d'une procédure de randomisation Monte Carlo.

204

205 2.5.2. Abondance et croissance de la régénération des graines de châtaignier

L'abondance et la hauteur des semis de châtaignier ont été utilisées comme variables de réponse et modélisées en fonction de la densité du peuplement.

207 variables (c.-à-d. BApre, BAres, classe sociale des selles, Stools, Sh ; DistStd, DistStool) et environnementales

208 paramètres (c.-à-d. la pente et l'indice de Nness) considérant le site comme un facteur aléatoire (ce qui correspond également fondamentalement

209 à la chronoséquence des traitements (voir tableau 1). Des modèles linéaires généralisés (GLM) ont été appliqués avec un

210 sélections progressives ascendantes pour évaluer les effets possibles sur la hauteur des semis dus à l'échelle des interventions

211 (c.-à-d. un calendrier différent entre les sites de taillis, d'arpentage et d'infestation de guêpes gallicoles, Tab. 1), tandis que

212 régressions multiples ont été appliquées pour ajuster les données continues sur la croissance de la régénération des graines de châtaignier.

213 Seules les variables présentant, une fois ajoutées, une augmentation significative ($p < 0,05$) de la performance du modèle ont finalement été retenues.

214 On a donc retenu le modèle présentant le meilleur ajustement (R^2 ajusté) et l'erreur absolue moyenne la plus faible.

215 (MAE) des résidus ont été sélectionnés. La statistique de Durbin-Watson a été utilisée pour tester la significativité des résidus.

216 corrélations basées sur l'ordre dans lequel elles sont apparues dans l'ensemble de données.

217 Des modèles de régression de Poisson ont été utilisés pour ajuster l'abondance (nombre) des semis de châtaignier dans les 2^e et 5^eme

218 ans après le traitement. La procédure a ajusté un modèle utilisant le maximum de vraisemblance et une sélection pas à pas de

219 variables indépendantes. Les estimations et les rapports de taux des coefficients dans les modèles de régression ont été calculés.

220 pour chaque variable retenue : le rapport de taux représente l'augmentation du taux d'événements pour chaque unité d'augmentation

221 dans chaque variable indépendante.

222 Les différences de croissance et d'abondance de la régénération des graines ont été testées à l'aide du test non paramétrique de Wilcoxon/

223 Test de Kruskal-Wallis.

224 Les analyses statistiques et la modélisation ont été réalisées à l'aide de Statgraphics Centurion (StatPoint Technologies Inc.,

225 Warrenton, VA, États-Unis) et le programme PC-ORD version 6 (MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, États-Unis) pour

226 l'analyse multivariée.

227

229 3. Résultats

230 3.1. Organisation sociale et développement des selles

231 Les stands de prétraitement présentaient une hiérarchie et un agencement sociaux marqués : 14 % des tabourets étaient

232 espèces dominantes, 45 % intermédiaires et les 41 % restantes dominées/supprimées. Mortalité après recépage

233 ont affecté 11 % des selles dans toutes les classes sociales, avec une préférence pour les selles situées dans les zones les plus densément peuplées.

234 parties de peuplement peuplées. Dans les zones moins denses (c.-à-d. moins de 500 selles-ha⁻¹), la mortalité due aux selles est principalement

235 espèces affectées ont dominé/supprimé les châtaigniers et les espèces secondaires telles que le charme, l'érable et le bouleau.

236 La hiérarchie sociale des peuplements avant le recépage se reflétait également dans la hauteur des rejets au 5^e siècle.

237 ans après l'intervention. Les pousses appartenant aux selles dominantes (HSh = 523 ± 121 cm écart-type) étaient significativement

238 pousses plus hautes que celles issues à la fois de la plante intermédiaire (HSh = 337 ± 91 cm écart-type) et de la plante dominée/supprimée (HSh

239 = 156 ± 66 cm sd) classes (T = 465, p < 0,05, test de Kruskal-Wallis).

240 Au cours de la deuxième année suivant le traitement, les rejets de châtaignier ont montré en moyenne 45,6 (±1,5) pousses-rejet.

241 ¹ avec des valeurs maximales de 229 pousses-stool-~~et~~ et une hauteur moyenne des pousses dominantes de 163 (±60) cm. Cinq

242 des années après le recépage, le nombre de rejets de châtaignier a considérablement diminué pour atteindre 12,3 (±0,4) rejets-stool-1 en moyenne

243 (maximum observé 96 pousses-stool-1), avec une hauteur moyenne de la pousse dominante de 295 (± 21) cm (Tab. 2a).

244

245 -Onglet 2 ici-

246

247 3.2. Assemblages de régénération des semences

248 Outre *C. sativa*, la régénération par graines des espèces d'arbres comprenait une présence significative de *Quercus*

249 *petraea*, *Tilia cordata*, *Acer pseudoplatanus*, *Fraxinus excelsior*, *Betula pendula*, *Carpinus betulus*, *Prunus*

250 *avium*, *Sorbus* spp., *Robinia pseudoacacia*, *Salix caprea* L et *Populus tremula* L. (Tab. 3).

251

252 -Onglet 3 ici-

253

254 Analyse de regroupement hiérarchique de la régénération par graines en fonction de l'abondance des espèces d'arbres dans le 2^{et} et 5^e année post-

255 traitements ont permis d'identifier quatre groupes homogènes de parcelles (le regroupement a conservé plus de 80 % de l'original).

256 informations) différant significativement en termes d'abondance et de fréquence des espèces (réponse multiple)

257 permutations (MRPP, T = -82,298, A = 0,48, p ≤ 0,001). Selon l'analyse des espèces indicatrices

258 (ISA), les quatre groupes ont permis d'identifier les principaux assemblages de dix espèces d'arbres en régénération (Tab. 4). *Castanea*

259 *sativa* était l'espèce dominante du groupe 1 ; *B. pendula*, *R. pseudoacacia* et *S. caprea* étaient significativement moins représentées.

260 espèces fréquentes et abondantes au sein du groupe 2. *Q. petraea* et *P. tremula* étaient les plus abondantes et les plus fréquentes.

261 espèces du groupe 3 ont été incluses, tandis que *P. avium* a été exclu car non significatif dans la simulation de Monte Carlo randomisée.

262 procédures, p = 0,105. Enfin, *F. excelsior*, *A. pseudoplatanus*, *C. betulus* et *T. cordata* étaient les plus

263 espèces d'arbres fréquentes du groupe 4.

264

265

-Onglet 4 ici-

266

267 3.3. Abondance et développement des semis non châtaigniers

268 Au cours de la deuxième année suivant le traitement, nous avons enregistré en moyenne 6,0 ($\pm 0,6$) plantules·m⁻², dont 68 % étaient

269 arbres non châtaigniers (autres espèces). La diversité spécifique de la régénération par graines (SH) était significative ($p < 0,01$).

270 et corrélé positivement à DistStd ($r_s = 0,35$) et négativement à BAres ($r_s = -0,37$) avec une tendance croissante

271 vers les parcelles exposées au sud ($r_s = -0,41$, corrélation avec Nness). Les semis d'espèces d'arbres autres que le châtaignier ont montré

272 hauteurs allant de 6 cm à 83 cm avec une moyenne globale de 33,8 ($\pm 1,6$) cm (Tab. 2b).

273 Au cours de la cinquième saison de croissance suivant le traitement, la régénération globale des semences était en moyenne de 4,5 ($\pm 0,3$)

274 plantules·m⁻², 25 % inférieur à celui de la deuxième année suivant le traitement. Pourcentages de graines non issues du châtaignier

275 espèces n'ont présenté que de légères variations par rapport à la deuxième année suivant le traitement, sans changements significatifs dans le

276 L'indice de diversité de Shannon entre les deux enquêtes ($p > 0,05$, test de Friedman, tableau 3) est différent de celui de l'enquête de la deuxième année.

277 Lors de l'étude de la 5e année, le SH n'a montré aucune corrélation significative avec les paramètres du peuplement. Cependant, le total

L'abondance de la régénération des graines et l'abondance des semis de châtaignier (CS2 et CS5) ont montré une forte corrélation.

279 corrélations entre les deux enquêtes ($r_s = 0,57$ et $r_s = 0,70$, respectivement).

280 L'abondance des semis d'autres espèces n'a montré aucune différence en fonction du site ($p > 0,05$,

281 test de Kruskal-Wallis) mais une augmentation significative – quoique légère – des parcelles situées à plus de 12 mètres de la

282 normes (Fig. 3b) et enfin, une légère corrélation avec la pente (indice de corrélation de Spearman $r_s = -0,39$, $p < 0,05$).

283 De manière générale, ces espèces non châtaignes présentaient une hauteur moyenne de 55,8 ($\pm 2,5$) cm, couvrant une gamme

284 de 18 à 134 cm (Tab. 2b).

285

286

-Fig. 3 ici-

287

288 3.4. Abondance des semis de châtaignier

289 Au cours de la deuxième année suivant le traitement, l'abondance des semis de châtaignier était de 1,9 ($\pm 0,2$) individus·m⁻², soit 32%.

290 % du total des régénérations de graines. Seulement 14,6 % des parcelles échantillonnées ne présentaient aucun plant de châtaignier, tandis que

291 Leur abondance avait tendance à être plus élevée à proximité (< 10 m) des standards (Fig. 3a). Les abondances différaient significativement

292 parmi les sites : Valli Pasubio 2008 = 2,7 ($\pm 0,4$) individus·m⁻², Pederobba 2009 = 1,8 ($\pm 0,4$) individus·m⁻²,

293 Combai 2010 = 1,0 ($\pm 0,2$) individus·m⁻² ($T = 7,51$, $p < 0,05$, test de Kruskal-Wallis).

294 La régression de Poisson a confirmé les différences existantes entre les sites expérimentaux quant à la quantité de châtaignes

295 les semis au cours de la 2e année post-traitement (CS2), mettant en évidence en outre des relations significatives avec les selles

296 densité (selles), surface basale des selles avant traitement (BApre), distance à la selle de repousse la plus proche

297 (DistStool) et pente (Tab. 5). Concernant la densité de régénération des graines de châtaignier par rapport à

À proximité des normes, seule une réduction légèrement significative de l'abondance a été détectée à des distances de 298.

299 supérieur à 12 m (Fig. 3a). Le modèle explique 28 % de la variance, avec une erreur absolue moyenne (MAE) de 1,8 individus·m².

300 L'erreur absolue moyenne (MAE) des données de validation est de 1,7 individu·m².

301

302 -Onglet 5 ici-

303 Cinq ans après le traitement, les châtaigniers représentaient environ 27 % de la régénération totale par graines et

304 étaient absents dans 9,7 % des parcelles d'échantillonnage. La densité de châtaigniers était en moyenne de 1,2 (±0,1) individus·m², avec

305 une réduction de 37 % par rapport à la deuxième année suivant le traitement.

306 Des différences significatives subsistent dans l'abondance des semis de châtaignier (CS5) entre les sites : Valli Pasubio 2011

307 = 2,0 (0,3) individus·m², Pederobba 2012 = 0,9 (0,1) individus·m², Combai 2013 = 1,0 (0,2) individus·m²

308 (T = 15,7, p < 0,01, test de Kruskal-Wallis), mais pas pour les semis d'espèces autres que le châtaignier (p > 0,05).

309 La régression de Poisson a également confirmé les différences existantes entre les sites quant au nombre de jeunes plants de châtaignier.

310 au cours de la 5e année post-traitement (CS5), principalement en fonction du nombre de repousses (Sh5), les selles

311 densité (Selles) et la distance à la selle la plus proche (DistStool) (Tab. 5). Malgré une réduction globale si

312 par rapport au 2^e et un an après le traitement, la régénération des graines de châtaignier la 5e année après le traitement

313 zones privilégiées situées aux extrémités de l'échelle de densité des selles (très faible ou très élevée) et de

314 distance aux selles (selles les plus proches jusqu'à 1 m ou à plus de 4 m). Malgré cette tendance, il n'y avait pas

315 différences significatives ont été observées dans l'abondance des semis de châtaignier entre les classes de Stools et DistStool.

316 (Fig. 3c, 3d). Le modèle explique 60 % de la variance, avec une erreur absolue moyenne (MAE) de 0,9 individu·m² et une MAE de

317 Données de validation de 0,8 individus·m².

318

319 3.5. Hauteur des jeunes châtaigniers

320 Au cours de la deuxième saison de croissance après le recépage, les semis de châtaignier ont présenté une hauteur moyenne de 40,2 (±1,7) cm,

321 valeurs comprises entre 10 cm et 81 cm, avec une corrélation positive nette avec la distance à la norme la plus proche.

322 (Fig. 4b). L'analyse de corrélation de Spearman a montré que la croissance des semis de châtaignier au cours de la 2e année année

323 Le post-traitement (CsHm2) était significativement (p < 0,01) corrélé à BAres (rs = -0,54, Fig. 4a), Nness (rs = -0,37),

324 tabourets (rs = -0,31) et distance aux standards (rs = 0,48, Fig. 4b).

325

326 - Fig. 4 ici -

327

328 Le modèle de régression final était hautement significatif, avec un R² ajusté de 51 % et une erreur absolue moyenne (MAE) de 51 %.

329 était de 8,02. Le modèle final a été vérifié pour l'homoscédasticité et la normalité des résidus (données manquantes).

330 (illustré), et la statistique de Durbin-Watson n'a montré aucune indication d'autocorrélation sérielle dans les résidus à

331 avec un intervalle de confiance de 95,0 % (p > 0,05). Le modèle linéaire généralisé n'a pas mis en évidence d'effet significatif du site ou de l'année civile (p > 0,05).

Les 332 variables prédictives retenues pour le modèle après une procédure de régression pas à pas étaient la surface basale de

333 normes (BAres), exposition du terrain (Nness) et distance à la norme la plus proche (DistStd) (Tab. 6).

334

335

-Onglet 6 ici-

336

337 Au cours de la cinquième année suivant le traitement, les châtaigniers ont atteint les plus grandes hauteurs ($83,2 \pm 4,2$ cm, intervalle 10 -

338 157 cm) parmi la régénération par semis, avec DistStd jouant un rôle positif. En particulier, au cours de la cinquième année post-

339 normes de traitement ont montré un effet inhibiteur de croissance plus important au cours de la deuxième année suivant le traitement.

340 traitements (Fig. 4b). Cette phase de croissance des jeunes plants de châtaignier (CsHm5) était significativement ($p < 0,01$)

341 était corrélé à la distance aux standards ($r_s = 0,45$) et à la surface basale des standards ($r_s = -0,53$), mais aussi

342 avec la hauteur des jeunes plants de châtaignier dans le 2^{et} année post-traitement (CsHm2) ($r_s = 0,65$) et la hauteur de

343 pousses dominantes (H5Sh) ($r_s = 0,37$, Fig. 4d). De même, dans le modèle du 2^{et} un an après le traitement, le GLM

L'étude 344 n'a pas montré d'effet significatif du site ou de l'année civile ($p > 0,05$). Le modèle le plus adapté à CsHm5 après une

345 La procédure de régression par étapes a retenu BAres, DistStd, H5Sh et Sh5 comme prédicteurs, avec un ajustement de 51 % (R^2 ajusté).

346 de la variabilité avec une erreur absolue moyenne (MAE) de 21,8 (Tab. 7). La statistique de Durbin-Watson n'a montré aucune autocorrélation sérielle.

347 dans les résidus à un niveau de confiance de 95,0 % ($p > 0,05$).

348

349

-Onglet 7 ici-

350

351 Enfin, la hauteur des jeunes plants de châtaignier a subi un effet dépressif significatif dû à l'ombrage de

352 standards, les deux au cours de la deuxième année post-traitement, $32,8 (\pm 2,1)$ cm lorsqu'ils étaient ombrés contre $46,3 (\pm 2,2)$ cm lorsqu'ils l'étaient.

353 en pleine lumière, $T = 18,7$, $p < 0,001$, test de Kruskal-Wallis) et, cinq ans après le traitement, $61,1 (\pm 4,7)$ cm contre

354 $102 (\pm 5,3)$ cm respectivement, $T = 22,4$, $p < 0,001$, test de Kruskal-Wallis) (Fig. 5).

355

356

-Fig. 5 ici-

357

358

359 4. Discussion

360 4.1. Régénération après recépage

361 souches de châtaignier ont confirmé leur capacité à repousser immédiatement et abondamment après le recépage, malgré les

362 sujets d'âge avancé avant traitement (Bourgeois, 2004 ; Giudici et Zingg, 2005). Fumier post-rejet

La mortalité (363) variait entre 10 % et 20 % et touchait principalement les selles dominées ou supprimées, comme d'autres

364 taillis dans des conditions environnementales similaires (Amorini et al., 2001, 2000 ; Giudici et Zingg, 2005) ou

365 peuplements présentant des densités de selles plus élevées (Silla et al., 2018). Cinq ans après la coupe, les selles dominantes présentaient

366 pousses de plus de 500 cm de hauteur, ce qui correspond à des classes d'indice de station appropriées pour la production de bois de châtaignier

367 (Giudici et Zingg, 2005 ; Manetti et al., 2001 ; Menéndez-Miguélez et al., 2015). Dans de telles conditions,

368 La concurrence pourrait déjà être élevée dès la deuxième saison de croissance (Bourgeois, 2004 ; Ciancio et Nocentini,

369 2004 ; Manetti et Amorini, 2012), comme le révèle la diminution rapide du nombre de pousses entre les

370 secondes et la cinquième année après le traitement.

371 Le recépage a favorisé la germination des graines hivernantes libérées par les peuplements prétraités.

372 l'automne juste avant l'abattage. Ainsi, les conditions d'éclairage ont permis l'établissement d'une quantité notable

373 de semis au cours des deux années suivantes (60 000 individus·ha⁻¹), en particulier des semis de châtaignier (19 000

individus·ha⁻¹ 374), confirmant que les taillis de châtaigniers matures peuvent produire une quantité importante de graines viables

375 (Pridnya et al., 1996 ; Silla et al., 2018). Nos modèles ont indiqué que chez les semis de châtaignier à cycle court,

L'abondance de 376 dépend de la densité des selles et de la pente. De plus, le modèle a mis en évidence une densité plus élevée de

377 jeunes plants de châtaignier situés près des souches les plus grandes (surface terrière plus importante avant traitement) affichant le nombre le plus élevé

378 pousses (Sh₂), qui étaient supposément les plus dominantes produisant de grandes quantités de graines avant le recépage.

379 La densité des selles et la présence de selles dominantes peuvent représenter un indicateur du nombre et de la qualité des selles pré-

380 arbres à rejets de souche, tandis qu'une pente locale douce semble faciliter la concentration et la germination des graines

381 les lourdes et roulantes graines de châtaigne. Selon le modèle, les conditions spécifiques du site jouent également un rôle.

382 rôle significatif, qui peut être lié aux caractéristiques du peuplement avant taillis (âge et stade de développement,

383 densité des selles) et aux conditions de santé (vitalité générale, par exemple stade de l'épidémie de vésicule biliaire, voir : Battisti

384 et al., 2014; Gehring et al., 2018).

385 La réduction de l'abondance des semis entre la deuxième et la cinquième saison de croissance suivant le traitement

386 (25 % au total et 37 % en ce qui concerne uniquement le châtaignier) était le résultat de l'effet combiné de

387 compétitions entre plantules (Pinchot et al., 2017) et la compétition croissante avec les arbustes, les souches et

388 normes (Mason et Macdonald, 2002). En fait, nos modèles ont mis en évidence le début de la phase concurrentielle.

389 avec les rejets de souche cinq ans après le recépage (Manetti et al., 2018 ; Bolvanský et Užík, 2011 ;

390 Bourgeois, 2004 ; Cicek et Tilki, 2007).

391

392 4.2. Normes et régénération des semences

393 La diminution significative du nombre de jeunes châtaigniers vivants entre la deuxième et la cinquième année après le traitement,
394 combinés à leur augmentation de hauteur moyenne au niveau de la parcelle, ont indirectement confirmé que l'impulsion post-rejet était
395 % des semences de châtaignier régénérées provenaient de la banque de semences annuelles avant traitement. Par conséquent,
396 légumineuses de châtaignier issues de graines fournies par des arbres adultes témoins ou des châtaigniers adultes ont été prélevées sur le site.
397 La bordure de la zone de taillis semble jouer un rôle secondaire, voire négligeable (Bacilieri et al., 1993 ; Gonzalez et
398 al., 2008 ; Zlatanov et al., 2013). De plus, à partir de la troisième année suivant le traitement, l'abondance
399 souches de châtaignier repoussant rapidement rétablissent les indices de surface foliaire (ISF) antérieurs à la coupe, de manière significative
400 réduisant la disponibilité de lumière pour l'établissement de nouveaux plants de châtaignier (Bourgeois, 2004 ; Covone et
401 Gratani, 2006 ; Mason et Macdonald, 2002). De même, à moyen terme (c.-à-d. 5 ans après l'intervention),
La régénération par semis de châtaignier 402, préalablement établie, survit, se développe et pousse mieux dans les zones dépourvues de
403 Effet d'ombrage des standards (Fig. 5) (Zhu et al., 2014 ; Zlatanov et al., 2013). L'effet de dépression de croissance
404 fournis par des arbres standards sur des semis de châtaignier situés à proximité (dans un rayon de 6 à 8 m), depuis
Le résultat de 405 les premières années suivant la coupe en taillis (Fig. 4a, b) a été confirmé par nos modèles de croissance de jeunes plants de châtaignier.
406 étalons de densité (exprimée ici en surface basale des étalons) et la distance à l'étalon le plus proche
407 représentent les facteurs les plus importants influençant négativement le taux de croissance des jeunes plants de châtaignier (Manetti).
408 et coll., 2018 ; Rhoades et coll., 2009 ; Silla et coll., 2018).
Les assemblages d'espèces (409) lors de la régénération par graines semblent mettre en évidence les caractéristiques écologiques intrinsèques de la
410 arbres concernés (Kirby et al., 2017 ; Marchand et Houle, 2006). Semis d'espèces pionnières exigeantes en lumière
411 (*B. pendula*, *R. pseudoacacia* et *S. caprea*) et des chênes (*Quercus* spp.) ont été associés les uns aux autres après
412 taillis. La présence des poteaux favorise probablement un regroupement spatial d'espèces plus tolérantes à l'ombre.
413 espèces telles que *A. pseudoplatanus*, *F. excelsior*, *C. betulus* et *T. cordata*, qui souvent avantageusement
414 se régénèrent dans les conditions ombragées créées par le lâcher d'un trop grand nombre de tiges standard dans les taillis de châtaigniers
415 (Gonzalez et al., 2008 ; Mattioli et al., 2016 ; San-Miguel-Ayanz et al., 2016). Il est intéressant de noter que les semis de châtaignier
L'individu 416 n'a pas manifesté d'associations particulières avec d'autres espèces d'arbres, ce qui pourrait être la conséquence de
417 surabondance d'apports de semences provenant du peuplement avant recépage.
418
419 4.3. Implications pour la gestion
420 La décision de rétablir la gestion par taillis dans les taillis de châtaigniers abandonnés devrait être fondée sur un
421 Évaluation préliminaire et détaillée du site (c.-à-d. évaluation de l'indice du site) (Díaz-Varela et al., 2011 ; Manetti et
422 al., 2001) et les conditions du peuplement (c.-à-d. la densité du couvert forestier, le nombre et la hauteur des pousses et la biomasse ligneuse du peuplement).
423 biomasse, production de semences et qualité des semences).
424 Sur les sites propices à la production de bois, le processus de restauration devrait commencer par un simple recépage des
425 peuplements matures offrant les meilleures conditions possibles au sol (c.-à-d. une bonne irradiation solaire et
426 température appropriée) pour la repousse des souches (Barkham, 1992 ; Giudici et Zingg, 2005) et des semis
427 établissements au cours des deux premières années suivant la coupe en taillis (Joys et al., 2004). Nos résultats ont démontré que la plupart

428 souches sont capables de repousser abondamment après la coupe et la banque de semences avant traitement est si abondante que
429 assurent une régénération par graines dense et vigoureuse (Conedera et al., 2006). Une telle abondante post-rejet
La régénération 430 permet aux gestionnaires forestiers non seulement d'assurer le renouvellement des peuplements forestiers grâce à la mortalité des peuplements (qui
431 peut représenter jusqu'à 20 %, mais aussi augmenter la densité globale des sèdes, le cas échéant. Issu de semences
432 individus peuvent en outre représenter une cible privilégiée en cas de mise en œuvre d'une approche arborescente.
433 sylviculture pour une production de bois de haute qualité (Manetti et al., 2014).
434 La présente étude interroge en particulier la pertinence des normes de lâcher dans les taillis de châtaigniers dédiés
435 à la production de bois. Les normes ne fournissent généralement pas de bois de bonne qualité (Fonti et Macchioni, 2003 ;
436 Mutabaruka et al., 2005 ; Spina et Romagnoli, 2010) et ne constituent pas un facteur clé de l'établissement
437 de régénération des graines de châtaignier. De plus, la présence de supports pourrait favoriser l'établissement d'ombrages.
438 espèces tolérantes plutôt que les jeunes plants de châtaignier exigeants en lumière. Par conséquent, il est suggéré de ne pas
439. Il convient de ne pas tenir compte des normes lorsque l'objectif principal est la production de bois de châtaignier. Toutefois, des exceptions peuvent être prévues.
440 sont représentés par des taillis sur des pentes abruptes, fortement exposés à l'érosion et aux glissements de terrain superficiels, où le
La couverture 441 et le renforcement racinaire assurés par les normes publiées peuvent jouer un rôle protecteur important.
442 (Dazio et al. 2018) ou par des peuplements fortement touchés par le chancre du châtaignier, où la libération de standards avec
443 guérisons et infections moins virulentes peuvent avoir un effet phytosanitaire positif (Turchetti et Maresi, 2006).
444 De plus, lorsque d'autres espèces d'arbres, comme les chênes à feuilles caduques, sont présentes dans le peuplement avant traitement, leurs
445 La conservation en tant que normes de production de semences pourrait être une option pour préserver la biodiversité (Mattioli et al., 2016).
446 Pour les châtaigniers en Italie, cela impliquerait une discussion sur les prescriptions existantes, tant au niveau national que...
447 au niveau régional (Cutini et al., 2018 ; Unrau et al., 2018) et la mise en œuvre de mesures nouvelles et différenciées
448 lignes directrices sylvicoles pour la gestion des taillis de châtaigniers (Manetti et al., 2017). Dans ce contexte,
449 Une discussion entre les praticiens est nécessaire afin d'adapter les pratiques, les prescriptions et les lignes directrices existantes.
450 aux nouvelles preuves fournies par la recherche expérimentale.
451

452 références

453

454 Álvarez-Álvarez, P., Díaz-Varela, E., Cámara-Obregón, A., Afif-Khoury, E., 2010. Relier la croissance et la nutrition

455 facteurs liés au site dans les jeunes plantations de châtaigniers établies sur des terres agricoles et forestières du nord

456 Espagne. *Agrofor. Syst.* 79, 291–301. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9313-z>

457 Amorini, E., Chatziphilippidis, G., Ciancio, O., Di Castri, F., Giudici, F., Leonardi, S., Manetti, MC, Nocentini,

458 S., Pividori, M., Rapp, M., Romane, F., Sevrin, E., Zingg, A., 2000. La durabilité de la forêt de châtaigniers

459 dans la région méditerranéenne. *Ecol. Mediterr.* 26, 3–169.

460 Amorini, E., Manetti, MC, Turchetti, T., Sansotta, A., Villani, F., 2001. Impact du système sylvicole sur

461 Incidence de *Cryphonectria parasitica* et variabilité génétique dans un taillis de châtaigniers en Italie centrale. *Pour.*

462 *Ecol. Manage.* 142, 19–31. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00337-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00337-6)

463 Bacilieri, R., Bouchet, M.A., Bran, D., Grandjanny, M., Maistre, M., Perret, P., Romane, F., 1993.

464 Mécanismes de germination et de régénération dans les forêts dégénérées méditerranéennes. *J. Veg. Sci.* 4, 241–

465 246.

466 Barkham, JP, 1992. Les effets du recépage et de la négligence sur la performance de la flore vivace du sous-bois,

467 dans : *Écologie et gestion des taillis*. pp. 115–146. <https://doi.org/10.1007/978-94->

468 011-2362-4_7

469 Battisti, A., Benvegnù, I., Colombari, F., Haack, RA, 2014. L'invasion de la guêpe du châtaignier en Italie provoque

470 Perte de rendement significative dans la production de noix de *Castanea sativa*. *Agric. For. Entomol.* 16, 75–79.

471 <https://doi.org/10.1111/afe.12036>

472 Beccaro, G., Alma, A., Bounous, G., Gomes-Laranjo, J. (Eds.), 2019. *Le manuel du châtaignier*. CRC Press.

473 <https://doi.org/10.1201/9780429445606>

474 Beers, T., Dress, P., Wensel, L., 1966. Notes et observations : Transformation de l'aspect et productivité du site

475 Recherche. *J. For.* 64, 691–692. <https://doi.org/10.1093/jof/64.10.691>

476 Bolvanský, M., Užík, M., 2011. Effet de la taille des fruits, de l'origine des arbres parents et des conditions d'essai sur la croissance

477 caractéristiques des semis de châtaignier européen. *Folia Oecologica* 38, 146–155.

478 Bounous, G., 2002. *Le châtaignier. Culture, environnement et utilisations en Italie et dans le monde*. Edagricole. Bologne.

479 Bourgeois, C., 2004. *Le châtaignier: un arbre, un bois*. Forêt privée française.

480 Ciancio, O., Nocentini, S., 2004. *La forêt de taillis : sylviculture-gestion*. Académie des sciences

481 Foresterie, Florence.

482 Çiçek, E., Tilki, F., 2007. Effets de la taille des graines sur la germination, la survie et la croissance des plantules de *Castanea sativa*

483 *Mill. J. Biol. Sci.* 7, 438–441. <https://doi.org/10.3923/jbs.2007.438.441>

484 Colombari, F., Battisti, A., 2016. Parasitoïdes indigènes et introduits dans la lutte biologique contre *Dryocosmus*

485 *Kuriphilus* en Vénétie (Italie). *EPPO Bull.* 46, 275–285. <https://doi.org/10.1111/epp.12297>

486 Conedera, M., Stanga, P., Oester, B., Bachmann, P., 2001. Différentes dynamiques post-culturelles dans les lieux abandonnés

- 487 vergers et taillis de châtaigniers. *Snow Landsc Res* 76, 487–492.
- 488 Conedera, M., Krebs, P., Tinner, W., Pradella, M., Torriani, D., 2004a. La culture de *Castanea sativa*
489 (Mill.) en Europe, de son origine à sa diffusion à l'échelle continentale. *Veg. Hist. Archaeobot.* 13, 161–
490 179. <https://doi.org/10.1007/s00334-004-0038-7>
- 491 Conedera, M., Manetti, MC, Giudici, F., Amorini, E., 2004b. Répartition et potentiel économique du
492 Le châtaignier (*Castanea sativa* Mill.) en Europe. *Ecol. Mediterr.* 30, 179-193.
- 493 Conedera, M., Garbarino, M., Pividori, M., Coch, T., 2006. Banque de semences dans un taillis de châtaigniers hors rotation.
494 Caractéristiques et fonctionnalités. *Sherwood* 122, 9–13.
- 495 Conedera, M., Tinner, W., Krebs, P., De Rigo, D., Caudullo, G., 2016. *Castanea sativa* en Europe : répartition
496 habitat, utilisation et menaces. Dans : San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T.,
497 Mauri, A. (Éds.), *Atlas européen des espèces d'arbres forestiers*. Publ. Off. UE, Luxembourg.
- 498 Covone, F., Gratani, L., 2006. Caractéristiques physiologiques et structurales liées à l'âge des taillis de châtaignier à la
499 Parc des Castelli Romani (Italie). *Ann. For. Sci.* 63, 239–247. <https://doi.org/10.1051/forest>
- 500 Cutini, A., 2001. Nouvelles options de gestion des taillis de châtaigniers : une évaluation sur des bases écologiques. *Pour.*
501 *Gestion écologique* 141, 165–174. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00326-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00326-1)
- 502 Cutini, A., Mattioli, W., Roggero, F., Fabbio, G., Romano, R., Quatrini, V., Corona, P., 2018. Taillis
503 Sylviculture : les lois et réglementations sont-elles adaptées à la situation actuelle en Italie ? *Pour. - Riv. di Selvic. ed*
504 *Ecol. For.* 15, 20–28. <https://doi.org/10.3832/efor2772-015>
- 505 Dazio, E. (PR), Conedera, M., et Schwarz, M., 2018. Impact de différentes pratiques de gestion des taillis de châtaigniers sur
506 Renforcement racinaire et susceptibilité aux glissements de terrain superficiels. *For. Ecol. and Manage.* 417, 63-76.
507 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.031>
- 508 Díaz-Varela, R.-A., Álvarez-Álvarez, P., Díaz-Varela, E., Calvo-Iglesias, S., 2011. Prédiction de la qualité des peuplements
509 caractéristiques des forêts de châtaigniers du nord-ouest de l'Espagne en combinant les attributs du terrain, les caractéristiques spectrales et texturales
510 caractéristiques et métriques du paysage. *For. Ecol. Manage.* 261, 1962–1972.
511 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.02.023>
- 512 Dufrene, M., Legendre, P., 1997. Assemblages d'espèces et espèces indicatrices : la nécessité d'une approche flexible
513 Approche asymétrique. *Ecol. Monogr.* 67, 345. <https://doi.org/10.2307/2963459>
- 514 Elson, LT, Simon, NPP, Kneeshaw, D., 2007. Différences de régénération entre l'exploitation forestière par le feu et par coupe à blanc
515 dans le sud-est du Labrador : une analyse à échelles spatiales multiples, *Revue canadienne de recherche forestière*.
516 <https://doi.org/10.1139/X06-237>
- 517 Fonti, P., Macchioni, N., 2003. Secousse annulaire chez le châtaignier : description anatomique, étendue et fréquence de
518 échecs. *Ann. For. Sci.* 60, 403–408. <https://doi.org/10.1051/forest:2003032>
- 519 Fonti, P., Cherubini, P., Rigling, A., Weber, P., Biging, G., 2006. Les cernes des arbres révèlent la dynamique de la compétition chez
520 taillis de *Castanea sativa* abandonnés après des changements d'utilisation des terres. *J. Veg. Sci.* 17, 103.
521 [https://doi.org/10.1658/1100-9233\(2006\)017\[0103:trscdij\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1658/1100-9233(2006)017[0103:trscdij]2.0.co;2)

- 522 Gallardo-Lancho, JF, 2001. Répartition des forêts de châtaigniers (*Castanea sativa* Mill.) en Espagne : possible
523 Critères écologiques de qualité et de gestion (axés sur les taillis). *For. Snow Landsc. Res*
524 76, 477–481.
- 525 Gasparini, P., Tabacchi, G., (Eds.), 2011. L'Inventaire national des forêts et des réservoirs forestiers de
526 INFC Carbone 2005. Deuxième inventaire forestier national italien. Méthodes et résultats. Ministère des Forêts.
527 des politiques agricoles, alimentaires et forestières, Bologne.
- 528 Gavaland, A., Pelletier, S., 2006. Gestion polyvalente du châtaignier : la situation française. *Adv. Hortic.*
529 *Sci.* 20, 70–81. <https://doi.org/10.1400/14450>
- 530 Gehring, E., Bosio, G., Quacchia, A., Conedera, M., 2018. Adaptation de l'effort d'échantillonnage pour évaluer la population
531 Établissement de *Torymus sinensis*, agent de lutte biologique contre la guêpe gallicole du châtaignier. *Int. J. Pest Manag.*
532 64, 193–203. <https://doi.org/10.1080/09670874.2017.1364448>
- 533 Giudici, F., Zingg, A., 2005. Capacité de germination et mortalité du châtaignier (*Castanea sativa* Mill.) après
534 La gestion par taillis. Une étude de cas. *Ann. For. Sci.* 62, 513–523. <https://doi.org/10.1051/forest>
- 535 Gonzalez, M., Deconchat, M., Balent, G., Cabanettes, A., 2008. Diversité des banques de semis de plantes ligneuses
536 sous canopée fermée dans les forêts de taillis fragmentées. *Ann. For. Sci.* 65, 511–511.
537 <https://doi.org/10.1051/forest:2008029>
- 538 Graziosi, I., Santi, F., 2008. Guêpe gallicole du châtaignier (*Dryocosmus kuriphilus*) : propagation en Italie et nouvelles observations
539 dans la province de Bologne. *Bull. Insectologie* 61, 343–348.
- 540 Hatch, CR, Gerrard, DJ, Tappeiner II, JC, 1975. Surface exposée de la couronne : un indice mathématique de
541 Potentiel de croissance individuel des arbres. *Can. J. For. Res.* <https://doi.org/10.1139/x75-030>
- 542 Holmes, MJ, Reed, DD, 1991. Indices de compétition pour les feuillus nordiques d'espèces mixtes. *For. Sci.*
543 1338–1340.
- 544 Groupe de travail WRB de l'IUSS, 2014. Base de référence mondiale pour les ressources en sols 2014. Base de données internationale sur les sols
545 Système de classification pour la dénomination des sols et la création de légendes pour les cartes pédologiques, Rapports mondiaux sur les ressources en sols
546 N° 106. <https://doi.org/10.1017/S0014479706394902>
- 547 Joys, AC, Fuller, RJ, Dolman, PM, 2004. Influences du broutage par les cerfs, de l'historique des taillis et des arbres standards
548 sur la croissance et le développement de la structure de la végétation dans les taillis des plaines anglaises. *Pour.*
549 *Ecol. Manage.* 202, 23–37. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.06.035>
- 550 Kirby, KJ, Buckley, GP, Mills, J., 2017. Conséquences sur la biodiversité du déclin des taillis et de leur transformation en hautes forêts
551 Restauration des forêts et des taillis dans les bois britanniques. *Folia Geobot.* 52, 5–13.
552 <https://doi.org/10.1007/s12224-016-9252-1>
- 553 Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F., 2006. Carte mondiale du climat de Köppen-Geiger
554 Classement mis à jour. *Météorol. Zeitschrift* 15, 259-263. [https://doi.org/10.1127/0941-](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130)
555 2948/2006/0130
- 556 Lemaire, J., 2009. Productivité des taillis et traitements sylvicoles. Dossier Châtaignier. *Sherwood* 151, 13–

- 557 16.
- 558 Lucas-Borja, ME, Candel-Pérez, D., García Morote, FA, Onkelinx, T., Tíscar, PA, Balandier, P., 2016. Pinus
- 559 Le recrutement des semis de *Nigra Arn. ssp. salzmannii* est affecté par la surface terrière du peuplement, la couverture arbustive et
- 560 Interactions climatiques. *Ann. For. Sci.* 73, 649–656. <https://doi.org/10.1007/s13595-016-0550-9>
- 561 Magurran, AE, 2004. Mesurer la diversité biologique. Blackwell Publishing.
- 562 Manetti, MC, Amorini, E., Becagli, C., Conedera, M., Giudici, F., 2001. Potentiel productif du châtaignier
- 563 (*Castanea sativa* Mill.) est présent en Europe. *For. Snow Land. Res* 76, 471–476.
- 564 Manetti, MC, Amorini, E., 2012. Normes dans le système de taillis de châtaigniers : patrimoine culturel ou culture
- 565 Exigence ? Pour. - *Riv. di Selvic. ed Ecol. For.* 9, 281–292. <https://doi.org/10.3832/efor0705-009>
- 566 Manetti, MC, Pelleri, F., Becagli, C., Conedera, M., Schleppei, P., Zingg, A., 2014. Dynamique de croissance et feuilles
- 567 Indice de surface des taillis de châtaigniers soumis à une nouvelle approche sylvicole : axée sur l'arbre individuel
- 568 gestion. *Acta Hortique.* 1043, 121-128. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1043.15>
- 569 Manetti, MC, Becagli, C., Carbone, F., Corona, P., Giannini, T., Romano, R., Pelleri, F., 2017. Lignes directrices pour
- 570 Sylviculture du taillis de châtaignier. Réseau rural national, Conseil de la recherche agricole et
- 571 L'analyse de l'économie agricole, Rome.
- 572 Manetti, MC, Becagli, C., Pelleri, F., Pezzatti, GB, Pividori, M., Conedera, M., Marcolin, E., 2018. Évaluation
- 573 Régénération par graines dans les taillis de châtaigniers : une approche méthodologique. *Ann. Silv. Res.* 42, 85–94.
- 574 <https://doi.org/10.12899/asr-1670>
- 575 Manetti, MC, Marcolin, E., Pividori, M., Zanuttini, R., Conedera, M., 2020. Taillis et forêts
- 576 Technologie du bois de châtaignier, dans : Beccaro, GL, Alma, A., Bounous, G., Gomes-Laranjo, J. (Éds.), Le
- 577 Manuel du châtaignier. Gestion des cultures et des forêts. CRC Press, p. 379.
- 578 Marchand, P., Houle, G., 2006. Modèles spatiaux de richesse en espèces végétales en bordure de forêt : quels sont leurs
- 579 Déterminants ? *For. Ecol. Manage.* 223, 113–124. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.064>
- 580 Mason, CF, Macdonald, SM, 2002. Réponses de la flore de sous-bois à la gestion par taillis dans un contexte anglais
- 581 forêt - Une étude utilisant des quadrats permanents. *Biodivers. Conserv.* 11, 1773–1789.
- 582 <https://doi.org/10.1023/A:1020395014155>
- 583 Mattioli, W., Mancini, LD, Portoghesi, L., Corona, P., 2016. Conservation de la biodiversité et forêt
- 584 Gestion : le cas des taillis de châtaigniers en Italie centrale. *Plant Biosyst.* 150, 592–
- 585 600. <https://doi.org/10.1080/11263504.2015.1054448>
- 586 McCune, B., Grace, JB, 2002. Analyse des communautés écologiques, Modélisation par équations structurelles.
- 587 [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(03\)00091-1](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(03)00091-1)
- 588 Menendez-Miguel, M., Alvarez-Alvarez, P., Majada, J., Canga, E., 2015. Effets des éléments nutritifs du sol et
- 589 Facteurs environnementaux influençant la productivité des taillis de *Castanea sativa* Mill. dans le nord-ouest de l'Espagne.
- 590 Pour. 46, 217–233. <https://doi.org/10.1007/s11056-014-9456-2>
- 591 Mitchell, JE, Popovich, SJ, 1997. Efficacité de la surface terrière pour l'estimation du couvert forestier du pin ponderosa

- 592 Pin. For. Ecol. Manage. 95, 45–51. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00002-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00002-9)
- 593 Müllerová, J., Hédli, R., Szabó, P., 2015. Abandon des taillis et ses implications pour la diversité des espèces dans
594 Végétation forestière. For. Ecol. Manage. 343, 88–100. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.02.003>
- 595 Muster, S., Eisenbeer, H., Conedera, M., 2007. Effets à petite échelle de l'utilisation historique des terres et de la topographie sur
596 Composition des espèces d'arbres post-culturelles dans une vallée alpine du sud de la Suisse. Landsc. Ecol. 22,
597 1187–1199. <https://doi.org/10.1007/s10980-007-9099-1>
- 598 Mutabaruka, C., Woodgate, GR, Buckley, GP, 2005. Paramètres de croissance externe et interne en tant que potentiels
599 indicateurs de tremblement chez le châtaignier (*Castanea saliva* Mill.). Forestry 78, 175–186.
600 <https://doi.org/10.1093/forestry/cpi016>
- 601 Ott, E., Conceprio, F., Pedrini, A., 2003. Premières évaluations de l'introduction de la régénération naturelle dans le
602 taillis mixte de châtaigniers et de hêtres dans la forêt expérimentale et pédagogique du SPF de Zurich
603 Novaggio, Canton du Tessin | Évaluation préliminaire de l'introduction de la régénération naturelle.
604 Revue suisse de foresterie. 154, 51–67. <https://doi.org/10.3188/szf.2003.0051>
- 605 Paci, M., 1992. Notes sur l'écologie du châtaignier. Econ. Mont. 24, 15–17.
- 606 Pinchot, CC, Schlarbaum, SE, Clark, SL, Saxton, AM, Sharp, AM, Schweitzer, CJ, Hebard, FV, 2017.
607 Croissance, survie et capacité compétitive de jeunes plants de châtaignier (*Castanea sativa* Mill.) plantés de part et d'autre d'un
608 Gradient de niveaux de lumière. New For. 48, 491–512. <https://doi.org/10.1007/s11056-017-9577-5>
- 609 Pividori, M., Armando, F., Conedera, M., 2006. Dynamique post-récolte dans un taillis mixte de châtaigniers
610 ses limites écologiques. Forêt@ 3, 86–90.
- 611 Pividori, M., Meloni, F., Nicoloso, A., Arienti, R., Conedera, M., 2008. Renversement des souches de
612 Châtaignier : Deux études de cas dans des taillis matures. Sherwood 149, 17–21.
- 613 Pridnya, M. V, Cherpakov, V. V, Paillet, FL, 1996. Écologie et pathologie du châtaignier européen (*Castanea*
614 *sativa*) dans les forêts de feuillus des montagnes du Caucase, dans le sud de la Russie. Bull. Torrey Bot. Club
615 123, 213–222. <https://doi.org/10.2307/2996797>
- 616 Rhoades, C., Loftis, D., Lewis, J., Clark, S., 2009. L'influence des traitements sylvicoles et des conditions du site
617 sur l'établissement de semis de châtaignier d'Amérique (*Castanea dentata*) dans l'est du Kentucky, aux États-Unis. For. Ecol.
618 Manage. 258, 1211–1218. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.06.014>
- 619 St. Michael-Ayanz, J., De Rigo, D., Caudullo, G., Durrant, TH, Mauri, A. (Eds.), 2016. Atlas européen de
620 Espèces d'arbres forestiers. Office de l'Union européenne, Luxembourg. <https://doi.org/10.2788/038466>
- 621 Silla, F., Camisón, Á., Solana, A., Hernández, H., Ríos, G., Cabrera, M., López, D., Morera-Beita, A., 2018.
622 La pérennité du châtaignier dépend-elle de facteurs cultureux ? Régénération, recrutement et
623 mortalité dans les forêts dominées par *Quercus* et *Castanea*. Ann. For. Sci. 75, 95.
624 <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0772-0>
- 625 Spina, S., Romagnoli, M., 2010. Caractérisation du défaut de secousse annulaire chez le châtaignier (*Castanea sativa* Mill.)
626 Le bois dans la région du Latium (Italie). Forestry 83, 315–327. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpq014>

- 627 Unrau, A., Becker, G., Spinelli, R., Lazdina, D., Magagnotti, N., Nicolescu, V.N., Buckley, P., Bartlett, D.,
628 Kofman, PD (dir.), 2018. Les taillis en Europe. Fribourg-en-Brisgau, Allemagne : Albert Ludwig
629 Université de Fribourg.
- 630 Vergani, C., Giadrossich, F., Buckley, P., Conedera, M., Pividori, M., Salbitano, F., Rauch, HS, Lovreglio, R.,
631 Schwarz, M., 2017. Dynamique du renforcement racinaire des taillis européens et son effet sur
632 Glissements de terrain superficiels : une revue. *Earth-Science Rev.* 167, 88–102.
633 <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.02.002>
- 634 Vogt, J., Fonti, P., Conedera, M., Schröder, B., 2006. Dynamique temporelle et spatiale de l'évacuation des selles chez
635 forêts de taillis de châtaigniers abandonnées. *For. Ecol. Manage.* 235, 88–95.
636 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.08.008>
- 637 Zhu, J., Lu, D., Zhang, W., 2014. Effets des trouées sur la régénération des plantes ligneuses : une méta-analyse. *J. For.*
638 *Res.* 25, 501–510. <https://doi.org/10.1007/s11676-014-0489-3>
- 639 Zimmerman, GM, Goetz, H., Mielke, PW, 1985. Utilisation d'une méthode statistique améliorée pour les groupes
640 Comparaison avec l'étude des effets des feux de prairie. *Ecology* 66, 606–611. <https://doi.org/10.2307/1940409>
- 641 Zlatanov, T., Schleppi, P., Velichkov, I., Hinkov, G., Georgieva, M., Eggertsson, O., Zlatanova, M., Vacik, H.,
642 2013. Diversité structurale des forêts abandonnées dominées par le châtaignier (*Castanea sativa* Mill.) :
643 Implications pour la gestion forestière. *For. Ecol. Manage.* 291, 326–335.
644 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.11.015>
- 645 Zlatanov, T., Velichkov, I., Georgieva, M., Hinkov, G., Zlatanova, M., Gogusev, G., Eastaugh, C., 2015.
646 La gestion vise à améliorer l'état du châtaignier (*Castanea sativa* L.) sur le mont Belasitsa, dans le sud-ouest du pays.
647 Bulgarie ? *iForest - Biogeosciences For.* e1–e6. <https://doi.org/10.3832/ifer1420-008>
648
649

650 Remerciements

651 Nous remercions Ingrid Dal Cin, Alberto Marcon, William Mauri et le service forestier de la région de Vénétie pour

652 interventions et gestion des zones d'étude. Nous remercions également les étudiants de l'Université de

653 Padoue pour l'aide sur le terrain et Gloria Marcolin pour la révision anglaise du texte final.

654

655 Faits saillants

656 • La régénération naturelle des graines de châtaignier est un élément clé pour la restauration des taillis de châtaigniers vieillissants.

657 • La mise en place de la régénération des semences était plus que suffisante pour garantir un renouvellement sûr des semences
658 selles mortes.

659 • Les châtaigniers relâchés (normes) après le recépage ne jouent pas un rôle pertinent en tant que semeurs d'arbres.

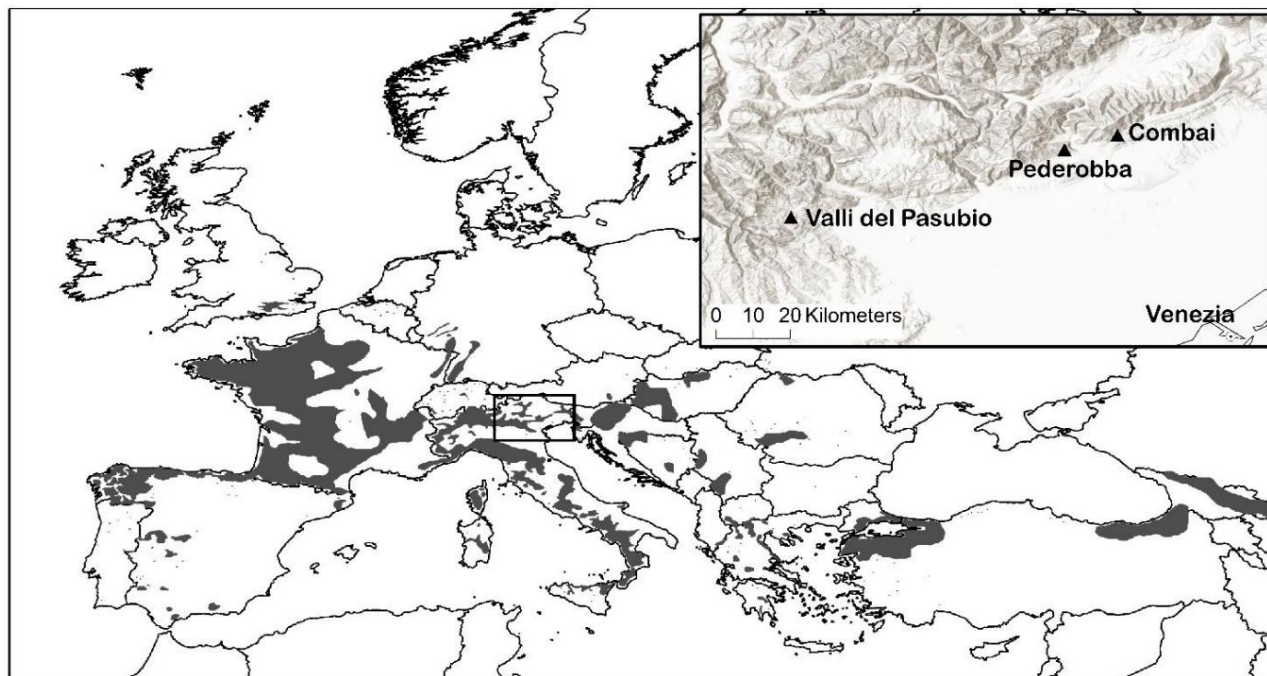
660 • La présence de poteaux a inhibé la croissance des semis jusqu'à 10 mètres de distance.

661 • Une présence excessive de normes a favorisé l'établissement de la régénération des espèces tolérantes à l'ombre
662 espèces.

663

664

665



666

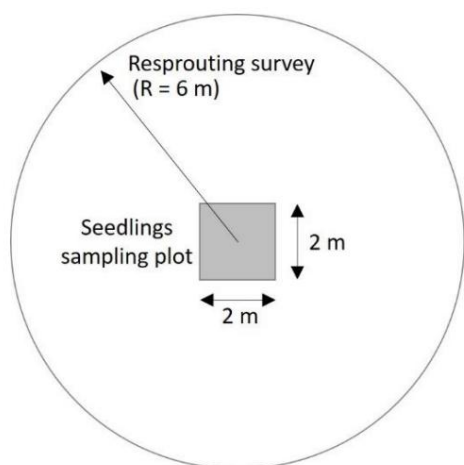
667 Figure 1 – Répartition de l' aire de répartition de *C. sativa* (zones plus foncées) et localisation des sites d'étude le long de l'Italie

668 Préalpes : Valli del Pasubio, Pederobba, Combai (source : Système européen d'information sur la génétique forestière)

669 Ressources – (EFI) Institut forestier européen).

670

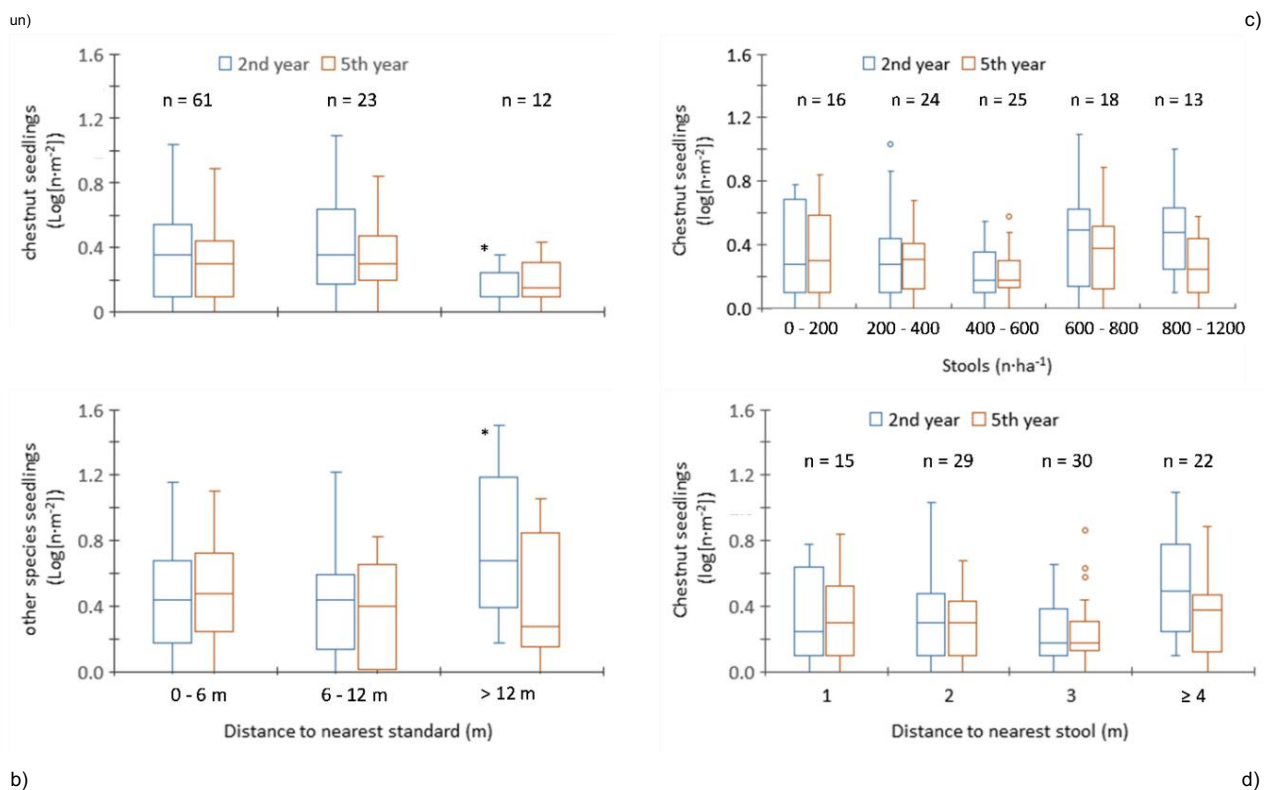
671



672

673 Figure 2 – Schéma d'une parcelle d'échantillonnage pour la régénération des semences (zone carrée grise de 2 x 2 m au centre) et
674 la zone circulaire RA environnante (rayon de 6 m) pour l'étude de la régénération végétative et de la densité des selles.

675



676 Figure 3 – Densité des semis de a) châtaignier et b) autres espèces (espèces d'arbres autres que le châtaignier) en relation avec

677 Trois classes de distance à la norme la plus proche ont été enregistrées la 2e et la 5e année après le traitement. Différence significative.

678 relations entre les variables retenues dans les modèles d'abondance des semis de châtaignier : c) selles

679 densité, d) distance à la selle la plus proche. Les données sont transformées logarithmiquement afin d'être normalisées. Les groupes sont marqués d'un

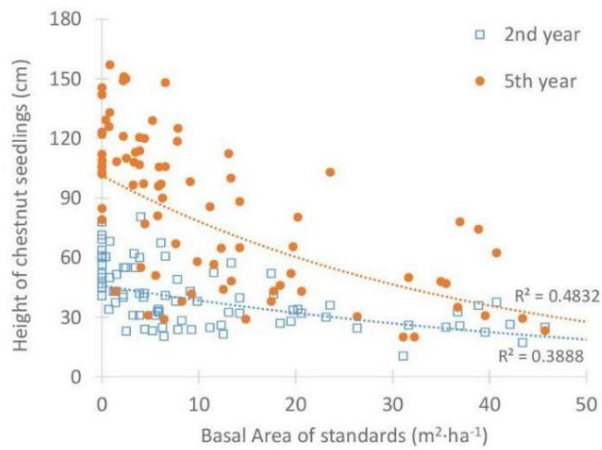
680 (*) ont montré des différences significatives entre les classes de distance au cours d'une même année de croissance ($p < 0,05$, test de Wilcoxon).

681 tests).

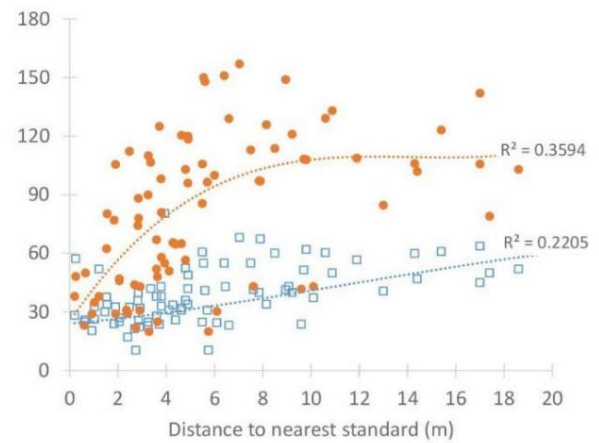
682

683

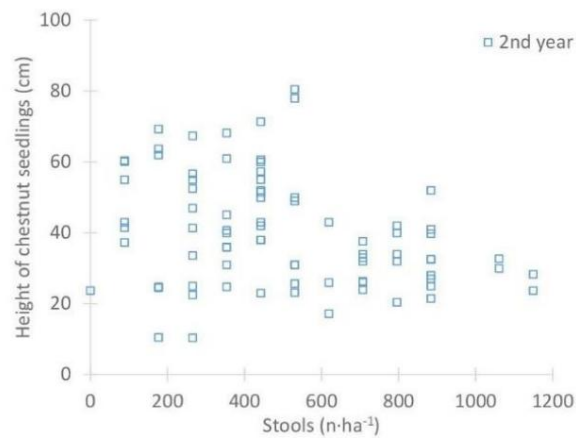
684



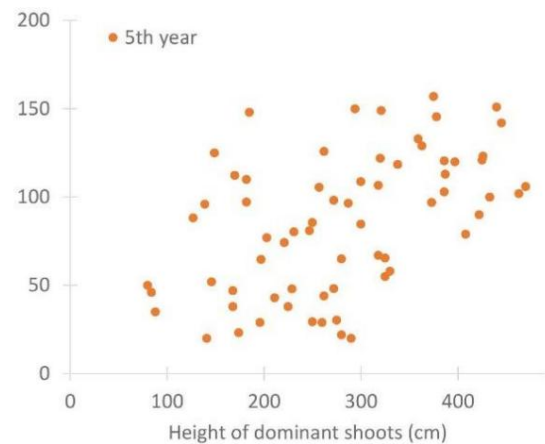
un)



b)



c)



d)

685 Figure 4 – Relations significatives entre les variables corrélées ou retenues dans les modèles de croissance

686 de jeunes plants de châtaignier la 2e et la 5e année après traitement : a) hauteur des jeunes plants de châtaignier par rapport à

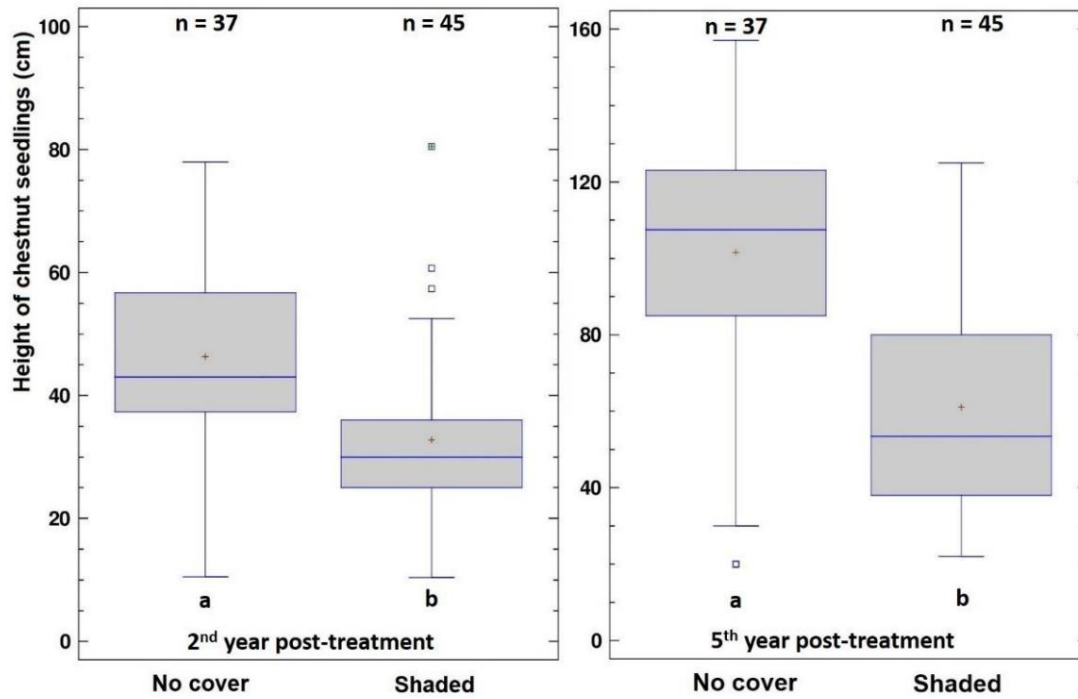
687 couverture résiduelle (surface basale des standards), b) distance aux standards les plus proches, c) densité des selles et d) hauteur

688 pousses dominantes. Notez en c) et d) les différentes échelles de référence pour la hauteur des jeunes plants de châtaignier, comme celles-ci

689 sont des graphiques uniques qui expriment cette variable à différents stades de croissance (2e et 5e année après le traitement).

690

691



692 Figure 5 – Diagramme en boîte de la hauteur des semis de châtaignier en fonction de l'ombrage selon les normes. n indique

693 le nombre de graphiques (les lettres mettent en évidence les différences significatives entre les deux groupes selon le test de Kruskal-Wallis)

694 Test de Wallis : $T = 18,7$, $p < 0,001$ et $T = 22,4$, $p < 0,001$, respectivement à la 2e et à la 5e année après le traitement).

695 Afin de distinguer les catégories de régénération, notez les différentes échelles de référence pour la hauteur de

696 jeunes plants de châtaignier à différents stades de croissance (2e et 5e année après traitement).

697

698

699

Tableau 1 – Description des zones expérimentales, avant les interventions (en haut). Chronoséquence de recépage, 701 relevés de terrain, nombre de parcelles d'échantillonnage de régénération par site et étendue de la surface terrière entourant le 702 parcelles d'échantillonnage après les interventions (en bas).

703

	Unité	District (Province)		
		Vallées de Pasubio (VI)	Pedrobba (TV)	Combiné (TV)
Coordonnées	(Lat, Long)	45°43'50"N, 11° 15'20"E	45°53'14"N, 11° 55'20"E 45°55'21"N, 12° 3'27"E	
Altitude	(m asl)	450	610	535
Pente	(%)	10-28	30	5-30
Aspect	-	S-SE	S-SE	S
Taille de la zone	(m ²)	8100	8200	5200
Selles	(n·ha ⁻¹)	605	771	404
Tiges	(n·ha ⁻¹)	770	1772	718
Hauteur maximale	(m)	20	18	25
Surface basale	(m ² ·ha ⁻¹)	29,8	38,4	53,4
Composition	(%)	Castanea sativa (85), Carpinus betulus (6), Acer pseudoplatanus (3), Frêne (2), Autres espèces (4)	Castanea sativa (85), Quercus petraea (6), Carpinus betulus (3), Prunus avium (2), Autres espèces (4)	Castanea sativa (98), Frêne (1), Bouleau (1)
Âge au taillis	(années)	35-40	20-25	55-60
taillis	(année)	2006	2007	2008
Parcelles d'échantillonnage	(n)	30	50	40
1 st enquête	(année)	2008	2009	2010
2 ^{et} enquête	(année)	2011	2012	2013
premier recensement de guêpe à galles	(année)	2008	2007	2007
Post-traitement				
Surface basale [min – max]	(m ² ·ha ⁻¹)	0 – 28,3	0 – 33,7	0 – 37,4

704

705

706 Tableau 2 - Abondance et hauteur (hauteur moyenne des pousses dominantes et hauteur moyenne des semis) de a)

707 b) germination et régénération des graines au cours des 2^e et 5^e années suivant le traitement. Entre parenthèses : erreur standard de
708 moyenne.

709 a)

régénération par germination		Temps écoulé depuis le traitement			
		2 nd année		5 ^e année	
		moyenne (erreur standard) étendue (min-max)		moyenne (erreur standard) étendue (min-max)	
N pousse	(n·stool-1)	45,6 (1,5)	1 - 229	12,3 (0,4)	1 - 96
	(n·ha-1)	22800 (719)		5880 (189)	
Dominant hauteur	(cm)	163 (21)	19 - 286	295 (59)	50 - 740

710

711 b)

régénération des semences		Temps écoulé depuis le traitement	
		2 nd année	5 ^e année
		moyenne (erreur standard)	moyenne (erreur standard)
N arbres (n·m-2)	Toutes les espèces	6,0 (0,6)	4,5 (0,3)
	C. sativa	1,9 (0,2)	1,2 (0,1)
Hauteur (cm)	C. sativa	40,2 (1,7)	83,2 (4,2)
	Autres espèces	33,8 (1,6)	55,8 (2,5)

712

713

714 Tableau 3 - Composition des espèces de régénération par graines des espèces d'arbres au cours des 2e et 5e années suivant le traitement.

715

régénération des semences	Composition des espèces	
	2 ^{et} année (%)	5 ^{me} année (%)
Castanea sativa	32	27
Quercus petraea	14	13
Érable	11	12
bouleau suspendu	8	11
Carpinus betulus	7	10
Grand frêne	9	11
tilleul Cordate	2	3
Tremble	4	3
Robinier pseudoacacia	6	3
prune œil-de-perdrix	2	3
Salix caprea	5	4
Indice de diversité de Shannon (SH)	1,07 (0,48) (-)	1,14 (0,44) (-)

(-): aucune différence significative de l'indice SH ($p < 0,05$, $n = 96$, test de Kruskal-Wallis) test) entre 2^{et} et la 5e année après le traitement.

716

717

718 Tableau 4 – Valeurs indicatrices (VI) des espèces d'arbres à régénération par graines communes dans les quatre groupes de parcelles identifiées

719 par l'analyse de regroupement hiérarchique.

720

Espèces indicatrices	Groupe	IVa observé	IVb moyen randomisé	valeur p
Castanea sativa	1	55,5	25.1	<0,001
bouleau suspendu	2	94,2	10,5	<0,001
Robinier pseudoacacia	2	56,7	9.7	<0,001
Salix caprea	2	60,0	10.2	<0,001
Quercus petraea	3	72,4	7.9	<0,001
Tremble	3	15.3	18.6	0,011
prune œil-de-perdrix	3	12.7	9,5	0,105
Grand frêne	4	35.4	18.6	<0,001
Érable	4	41,3	19.6	<0,001
Carpinus betulus	4	22.3	15.1	0,022
tilleul Cordate	4	26.3	11.1	0,001

a) Les IV observés résument la fréquence et l'abondance relatives de chaque espèce dans le groupe

là où ils sont les plus abondants.

b) Les IV randomisés moyens sont calculés à partir de 4999 simulations de Monte Carlo avec des données randomisées.

c) La valeur p correspond à la proportion d'essais randomisés dont les valeurs indicatrices étaient supérieures à la valeur p.

que la valeur observée. En gras : valeur P significative ($p < 0,05$).

721

722

Tableau 5 – Estimations du modèle des paramètres retenus dans la régression de Poisson pour l'abondance de

724 jeunes plants de châtaignier la deuxième (CS2) et la cinquième (CS5) année après le traitement. Le rapport des taux représente le

augmentation de 725 du taux d'événements pour chaque unité d'augmentation de la variable indépendante correspondante.

726

Ajusté était	paramètre	Estimation	Erreur standard	Estimé
				Rapport de taux
Châtaigne 2 ^{deuxième année} (CS2)a	intercepter	0,20	0,41	
	DistStool	0,82	0,12	2.28
	Pente	-0,19	0,006	0,98
	Selles	0,14	0,02	1,15
	Sh2	0,28	0,05	1,33
	BApre	0,45	0,21	1,56
	Site = Pederobba -0,73		0,10	0,48
	Site = Combai	-1,8	0,21	0,17
Châtaigne 5 ^{ème} année (CS5)a	intercepter	0,85	0,30	
	CS2	0,72	0,05	2.06
	DistStool	-0,55	0,13	0,58
	Selles	-0,07	0,03	0,94
	Sh5	0,20	0,08	1.22
	Site = Pederobba -0,48		0,12	0,62
		Site = Combai	-0,25	0,13

DistStd = distance entre la parcelle d'échantillonnage et l'étalon le plus proche ; DistStool = distance par rapport à l'étalon le plus proche.

Parcelle d'échantillonnage jusqu'au site fécal le plus proche ; Pente = pente en degrés de la parcelle d'échantillonnage ; BApre = surface basale

avant traitement ; Selles = nombre de selles dans la zone RA autour de la parcelle ; Sh2, Sh5

= nombre moyen de pousses par selle au cours de la 2e et de la 5e année suivant le traitement, respectivement ; Site =

variable catégorielle (Valli del Pasubio, Pederobba, Combai).

*) Le taux de rapport pour la variable Site est comparé au taux de rapport = 1 pour Site = Valli del Pasubio.

727

728

729

Tableau 6 – Statistiques du modèle final (en haut) et coefficients estimés (en bas) pour prédire la hauteur de

731 jeunes châtaigniers au cours des deux premières années suivant le traitement.

732

Résumé du modèle	Somme des carrés, degrés de liberté, carré moyen, rapport F			valeur P	
Modèle	10310	3	3436,7	28,38	<0,001
Résiduel	9446	78	121,11		
Total	19757	81			
R ajusté ²	0,50				
Erreur absolue moyenne 8,02					
Durbin-Watson	1,72 ($p > 0,05$)				
Observations	82				

Paramètres du modèle	Valeur	Erreur standard	T stat	valeur P
constante	41,3	3,34	12,4	<0,001
Bars	-7,21	2,55	-2,82	0,006
DistStd	0,87	0,31	2,82	0,0062
Lien	-20,8	6,17	-3,36	0,0012

733

734

Tableau 7 – Statistiques du modèle final (en haut) et coefficients estimés (en bas) pour prédire la hauteur de

736 jeunes plants de châtaignier au cours des cinq premières années suivant le traitement.

737

Résumé du modèle	Somme des carrés, degrés de liberté, carré moyen, rapport F, valeur p				
Modèle	65933	4	16483	22,79	<0,001
Résiduel	57134	79	723,2		
Total	123067	83			
R ajusté ²	0,51				
Erreur absolue moyenne	21,8				
Durbin-Watson	2,3 (p > 0,05)				
Observations	84				

Valeur des paramètres du modèle	Erreur standard		Statistique T	valeur P
constante	63,3	11,3	5,57	<0,001
Bars	-26,6	6,2	-4,28	<0,001
DistStd	1,9	0,67	2,81	0,006
H5Sh	0,23	0,07	3,35	0,001
Sh5	-1,17	0,49	-2,38	0,019

738

739