



HAL
open science

**Écologie d'une espèce fongique emblématique :
distribution, phénologie des fructifications et structure
génétique des populations d'amanite des Césars
(*Amanita caesarea* (Scop.: Fr.) Pers.) dans les pelouses
sèches du Limousin**

Vincent Mennessier

► **To cite this version:**

Vincent Mennessier. Écologie d'une espèce fongique emblématique : distribution, phénologie des fructifications et structure génétique des populations d'amanite des Césars (*Amanita caesarea* (Scop.: Fr.) Pers.) dans les pelouses sèches du Limousin. Sciences de l'environnement. 2018. hal-02054354v1

HAL Id: hal-02054354

<https://ephe.hal.science/hal-02054354v1>

Submitted on 1 Mar 2019 (v1), last revised 2 Apr 2019 (v2)

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

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



École Pratique
des Hautes Études



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES ÉTUDES
Sciences de la Vie et de la Terre

MÉMOIRE

Présenté
par

Vincent MENNESSIER

Pour l'obtention du Diplôme de l'École Pratique des Hautes Études

Écologie d'une espèce fongique emblématique : distribution, phénologie des fructifications et structure génétique des populations d'amanite des Césars (*Amanita caesarea* (Scop.: Fr.) Pers.) dans les pelouses sèches du Limousin

Soutenu le 07 décembre 2018 devant le jury suivant :

M. Christopher CARCAILLET, EPHE – Tuteur pédagogique

M. Bruno DELESALLE, EPHE – Président

Mme Laetitia HUGOT, Conservatoire Botanique National de Corse – Examineur

M. Benoît JAILLARD, INRA – Rapporteur

M. Franck RICHARD, Université de Montpellier – Tuteur scientifique

Mémoire préparé sous la direction de :

Franck RICHARD, Professeur, Université de Montpellier

Laboratoire de : Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive, UMR 5175

et de

Christopher CARCAILLET

EPHE (Sciences de la Vie et de la Terre)

Laboratoire d'écologie des hydrosystèmes naturels et anthropisés (UMR 5023, Villeurbanne)

Préambule

Bien qu'ayant grandi en région parisienne, la cueillette des champignons a toujours pris une grande part de mes loisirs. Le mythe de la « Coucourelle » (dénomination de l'amanite des Césars utilisée par mon grand-père) alimente encore les discussions familiales.

L'élément déclencheur du présent projet de recherche sur *Amanita Caesarea* a vraisemblablement été un article paru dans la presse quotidienne régionale le 9 août 2011 (annexe 1). Il relatait une poussée importante de cette espèce en basse Corrèze. Cette information a réveillé le chercheur d'Or (onges) qui dormait en moi et m'a incité à lancer des prospections en haute Corrèze, bien que ce territoire semblait être en limite de répartition. Un mode opératoire permettant de prospector rapidement les zones potentiellement les plus favorables à l'espèce a été mis en place rapidement en reprenant ses traits biologiques principaux, dont font état diverses ressources bibliographiques. La première station fut trouvée le jour même.

Les échanges avec Franck Richard sur la découverte de places à *Amanita Caesarea* en limite de répartition, dans des milieux atypiques, ont conforté l'intérêt d'approfondir les connaissances. Franck a alors proposé de développer un projet de recherche au sein de son unité et dans le cadre du diplôme SVT de l'EPHE. Christopher Carcaillet a accepté de rejoindre le projet et de prendre la mission de tuteur pédagogique.

La structuration des investigations de terrain réalisée dans mon étude a progressivement permis de mieux comprendre les mécanismes et les habitats préférentiels de l'espèce sur le secteur d'étude. Ce mémoire en expose les faits saillants.

Remerciements

Cette étude est une formidable aubaine dans ma tranquille vie de citoyen corrézien. Comme la première oronge de l'année qui vient concrétiser les rêves de cueillette accumulés depuis la saison passée, elle m'a apporté un flot d'émotions intenses, beaucoup de plaisir.

Tout d'abord parce que le questionnement écologique, l'observation et l'étude sont pour moi des jeux du quotidien qui ont été renforcés au cours de mon cursus de formation, notamment lors de mon passage au bureau d'étude de l'ONF en Corse, avec Franck.

Ensuite parce qu'elle m'a donné les moyens de répondre à des questions élémentaires, mais plus complexes qu'elles n'y paraissent, que nombre d'amateurs de champignons se posent. C'est là qu'elle trouve son sens, dans l'intérêt qu'elle suscite.

Le sens, c'est bien sûr Franck Richard qui m'a aidé à le donner. Un très grand merci à toi Franck pour m'avoir fait confiance et pour m'avoir amené à monter ce projet. Dans cette aventure, j'ai particulièrement apprécié ta lecture éclairante de l'écologie mais aussi ta lecture sociétale de questionnements a priori réservés au monde de la recherche. Je te suis extrêmement reconnaissant de m'avoir donné l'opportunité de me former et, je pense, de progresser. C'est pour moi un cadeau de la plus grande valeur. Merci pour l'accueil dans ta vallée, plein de bienveillance, avec ta charmante famille. Dans le bouillonnement de tes activités, tu arrives à formuler tes attentes et tes envies avec calme et subtilité, c'est une grande qualité. Je souhaite que notre amitié nous confère des retrouvailles toujours aussi enthousiastes.

Dans ce projet, l'encadrement pédagogique de Christopher Carcaillet a été précis et rigoureux. Merci Christopher pour ton rôle de facilitation dans le déroulement du diplôme, tes remarques et tes contributions pertinentes lors de nos points d'étape et pendant la phase de rédaction. J'ai énormément apprécié tes qualités d'enseignant, ton grand savoir, et ton regard sur la science. Notre partenariat devrait se poursuivre puisque tu m'as ouvert les portes vers de nouveaux travaux.

Je souhaite ici adresser un grand merci institutionnel à l'EPHE qui, par ce diplôme, propose une formule inédite et pleine de vertus. Il ouvre les portes de la recherche aux personnes qui n'en ont pas pris le chemin initialement et permet de réaliser un projet de recherche dans des conditions remarquables. Je souhaite sincèrement que ce diplôme puisse profiter à d'autres pendant longtemps.

Ce remerciement est également adressé aux élus de la Communauté de Communes des Gorges de la Haute Dordogne et en particulier son Président Jean Valade et sa Vice-Présidente Joëlle Verbiguié qui ont encouragé mon projet et accepté de prendre en charge une part des besoins matériels, organisationnels et financiers.

Merci aux chercheurs du CEFÉ et à leurs partenaires qui m'ont accompagné dans ce travail. Marie-Pierre Dubois pour ton travail de vulgarisation de la génétique et pour le temps que tu accordes à des stagiaires de passage comme moi. Finn Kjellberg pour ton aide sur le traitement des données génétiques. Adrien Taudières pour ton aide dans le traitement statistique des données de phénologie. Pierre-Arthur Moreau pour la détermination des champignons. Xavier Parladé pour le dosage du mycélium dans les sols. Gaël Delpon pour la détermination et l'écologie des orthoptères. Merci également à Clémence Pillard, Yasmin Pinuela, Anne Voyer, stagiaires au CEFÉ pour leur contribution aux manipulations de génétique au laboratoire.

Le projet s'est aussi réalisé grâce au concours de tonton Vévé, Hervé Mennessier, référent et opérateur principal pour la partie lotoise des investigations. C'est très appréciable d'avoir un oncle passionné de nature, de patrimoine et d'histoire des territoires. Merci à Laurent Chabrol pour ton aide sur les déterminations botaniques.

J'adresse toute ma reconnaissance aux propriétaires des stations d'étude qui ont mis à disposition leurs terrains, transmis l'historique des sites et détaillé leurs pratiques.

Enfin, je conclus ce paragraphe en adressant un énorme merci à ma femme Adeline Cesco, mes parents, mes sœurs, ma famille et mes proches pour leurs encouragements et leurs précieux questionnements de néophytes, qui font le lien avec les préoccupations de notre société. Merci à Lisandre et Aubin, mes deux fils chéris, tous les deux nés pendant ce travail et dont on commence déjà à sentir de la ferveur pour la coucourelle.

Table des matières

I. INTRODUCTION.....	12
II. MATERIEL ET METHODES.....	17
II.1. Sites d'étude et stratégie d'échantillonnage.....	17
II.1.1. Les pelouses sèches de haute Corrèze : un patrimoine localisé menacé par la déprise	17
II.1.2. Des écosystèmes situés dans un ensemble géologico-climatique complexe	19
II.1.3. Stratégie d'échantillonnage : Recherche systématique des stations potentielles à <i>Amanita caesarea</i>	20
II.1.4. Stations complémentaires Basse Corrèze, Lot.....	20
II.2. Composante foncière et analyse des pratiques agricoles	21
II.2.1. Conventions de partenariat avec les propriétaires fonciers.....	21
II.2.2. Analyse des pratiques avec les propriétaires fonciers.....	21
II.3. Analyses stationnelles.....	22
II.3.1. Analyses pédologiques et microclimatiques.....	22
II.3.2. Analyse des séquences météorologiques	25
II.4. Analyse des biodiversités associées à <i>Amanita caesarea</i>	26
II.4.1. Communautés fongiques.....	26
II.4.2. Communautés végétales et habitats naturels.....	26
II.4.3. Communautés d'orthoptères	27
II.5. Suivi diachronique des populations d' <i>Amanita caesarea</i>	27
II.5.1. Relevés in situ.....	27
II.5.2. Analyses morphométriques de carpophores d' <i>Amanita caesarea</i>	28
II.5.3. Estimation des individus végétatifs d' <i>Amanita caesarea</i>	29
II.5.4. Analyse moléculaire des carpophores.....	31
II.6. Plan d'échantillonnage.....	33
II.7. Analyses statistiques des données.....	35
III. RESULTATS	36
III.1. Biologie et écologie d' <i>Amanita caesarea</i>	36
III.1.1. Distribution de l'appareil végétatif dans la place à oronges : effet de l'habitat et de la distance séparant l'hôte sur la concentration en mycélium dans le sol	36
III.1.2. Analyse quantitative de la production d' <i>Amanita caesarea</i> et approche morphométrique de l'appareil reproducteur	38
III.1.2.1. Variation inter-stationnelle et inter-annuelle de production de biomasse	38
III.1.2.2. Variabilité morphologique des carpophores.....	39
a) Comparaison Corse – Haute Corrèze	39
b) Variabilité stationnelle.....	40
c) Variabilité inter-annuelle.....	42
d) Analyse des compromis morphométriques.....	42

III.1.3. Phénologie de la reproduction sexuée	44
III.1.3.1. Une espèce à éclipses de fructifications	44
III.1.3.2. Un champignon estival	44
III.1.3.3. Corrélations entre cycles lunaires et date de poussées d' <i>Amanita caesarea</i>	46
III.1.3.4. Corrélation entre épisodes pluvieux et fructification d' <i>A. caesarea</i>	46
a) Analyse des épisodes pluviométriques précédant la fructification d' <i>Amanita caesarea</i> ...	48
b) Détermination du délai entre la « pluie déclencheuse » et la poussée d'orange	50
c) Analyse de la distribution des épisodes de pluie entre la pluie déclencheuse et la poussée	50
d) Proposition de séquence pluviométrique type précédant la poussée d' <i>Amanita caesarea</i>	51
III.1.3.5. Variables de contrôle du délai pluie/pousse	52
a) Effet de la pluviométrie	52
b) Effet de la température	53
c) Effets combinés de la pluie et de la température	54
III.1.3.6. Variables de contrôle de la durée de pousse	55
a) Variabilité de la durée de pousse	55
b) Effet de la pluviométrie et de la température	55
III.1.3.7. Distribution thermique et pluviométrique des pousses d' <i>Amanita caesarea</i>	56
III.1.4. Structuration génétique multi-échelles des populations d' <i>A. caesarea</i>	58
III.1.4.1. Individus génétiques	58
a) Distribution des effectifs par génotype au sein des populations	59
b) Distribution temporelle des génotypes	60
c) Corrélation entre diversité génétique et production d' <i>A. caesarea</i> à l'échelle locale : approche par la biomasse produite et le nombre de poussées	60
III.1.4.2. Diversité génotypique inter-stations en haute Corrèze	62
III.1.4.3. Diversité génotypique régionale	62
a) A l'échelle de la façade ouest du massif central	62
b) Comparaison zone méditerranéenne / Massif central	63
III.2. Analyse du socio-écosystème à <i>Amanita caesarea</i>	65
III.2.1. Histoire des pratiques et pratiques actuelles	65
III.2.1.1. Histoire et gestion des boisements	65
III.2.1.2. Histoire des pratiques agricoles	66
III.2.2. Caractéristiques géologiques et topographiques	66
III.2.2.1. Géologie	66
III.2.2.2. Topographie des stations	67
III.2.3. Caractéristiques pédologiques des stations d' <i>A. caesarea</i>	68
III.2.3.1. Profondeur de sol	68
III.2.3.2. Chimie du sol	68

III.2.4. Caractéristiques climatiques de la zone d'étude au cours de la période d'analyse.....	69
III.2.4.1. Climat à la station de Neuvic.....	69
III.2.4.2. Microclimat enregistré sur les stations d'étude	70
a) Comparaison entre les températures de l'air relevées à Neuvic et sur les stations étudiées.....	70
b) Température du sol et présence d' <i>Amanita caesarea</i> sur la zone d'étude.....	71
III.2.5. Communautés fongiques ectomycorhiziennes associées à <i>A. caesarea</i>	72
III.2.5.1. Distribution des familles et des espèces	72
III.2.5.2. Approche multivariée des stations avérées et potentielles	73
III.2.5.3. Distributions d' <i>A. caesarea</i> et de deux espèces comestibles de premier ordre, <i>Russula</i> <i>virescens</i> et <i>Boletus aereus</i>	73
III.2.6. Communautés végétales	74
III.2.6.1. Distribution des traits d'habitat et de durée de vie	74
III.2.6.2. Analyse comparative des végétations des stations avérées et potentielles par approche multivariée.....	75
III.2.7. Communautés orthoptères	76
III.2.7.1. Fréquence, diversité et niveaux de protection	76
III.2.7.2. Analyse de la distribution des espèces d'orthoptères en fonction des caractéristiques microclimatiques des habitats.....	77
III.2.7.3. Analyse de la distribution des espèces d'orthoptères en fonction des caractéristiques topographiques des habitats et de la végétation.....	78
III.2.8. Analyse de la biodiversité observée au sein des 3 phylum.....	79
IV. DISCUSSION	81
IV.1. L'amanite des Césars, une espèce dont la phénologie de fructification est déterminée par les séquences de précipitations	81
IV.2. Une espèce dont les carpophores présentent des caractéristiques biométriques variables aux niveaux local et régional.....	84
IV.3. L'amanite des Césars, une espèce dont la distribution est liée à l'agriculture et aux perturbations ?	85
IV.4. Les places à orange : un micro-habitat où converge la diversité de l'espèce.....	87
IV.5. Les pelouses sèches de haute Corrèze, des écosystèmes dans lesquels convergent des enjeux de conservation de la biodiversité	89
V. CONCLUSION	91
VI. BIBLIOGRAPHIE	92
VII. ANNEXES	94

Liste des annexes

Annexe 2 : Arbre phylogénétique du genre Amanita obtenu par neighbour-joining	95
Annexe 3 : Méthode d'analyse des populations de champignons ectomycorhiziens	96
Annexe 4 : Schéma du cycle haplodiplophasique des champignons ectomycorhiziens.....	97
Annexe 5 : planches photo - Vincent Mennessier 2011-2017	98
Annexe 6 : Tableau d'échantillonnage des carpophores d'Amanita caesarea pour la réalisation du typage par les marqueurs microsatellites.....	102
Annexe 7 : Quantité de mycélium d'A .caesarea dans le sol mesurée par qPCR.....	103
Annexe 8 : Production et productivité des stations à Amanita caesarea	104
Annexe 9 : Tableau des résultats d'analyses statistiques portées sur les variables morphométriques .	105
Annexe 10 : Tableau des résultats d'analyses statistiques portées sur les compromis morphométriques.....	106
Annexe 11 : Variables et traits morphométriques mesurés au stade « mûre plan »	106
Annexe 12 : Tableau des durées d'incubation de pousse et des facteurs de régulation pressentis.....	107
Annexe 13 : Chronologie des pousses sur les sous-stations de haute-Corrèze.....	108
Annexe 14 : Tableau des effectifs cumulés croissants du nombre de pousses affectées par des pluies (4 valeurs de cumul : 5, 10, 15 et 20mm) au cours des 60 jours précédant l'émergence des carpophores	109
Annexe 15 : Tableau de synthèse des résultats obtenus par modélisations linéaires pour expliquer la durée d'incubation et la durée de pousse par la pluviométrie et la température	110
Annexe 16 : Tableau présentant la production des génotypes en haute-Corrèze sur la période 2013-2016.....	111
Annexe 17 : Tableau présentant la proportion d'individus ayant produit 1 ou plusieurs années en Haute-Corrèze sur la période 2013-2016 et en Corse sur la période 1999-2010.....	113
Annexe 18 : Tableau présentant le lien entre la diversité génétique et 1) La productivité en masse de carpophores et 2) la régularité des pousses	113
Annexe 19 : Tableau présentant l'histoire des pratiques agricoles recensées à partir des entretiens avec les propriétaires	114
Annexe 20 : Tableau de présentation des résultats des analyses de la chimie du sol.....	115
Annexe 21 : Résultats des tests statistiques réalisés sur la chimie des sols.....	116
Annexe 22 : Tableau de résultats des inventaires mycologiques réalisés sur 20 stations de haute-Corrèze entre 2014 et 2016	117
Annexe 23 : tableau rassemblant les données relatives aux cortèges botaniques, fongiques et orthoptères ainsi qu'aux conditions environnementales et aux pratiques	118
Annexe 24 : Tableau présentant la liste des espèces botaniques observées lors des relevés phytosociologiques réalisés sur 12 stations de haute-Corrèze.....	119
Annexe 25 : Tableau présentant la liste des espèces d'orthoptères observées lors des inventaires réalisés sur 10 stations de haute-Corrèze.....	120
Annexe 26 : Analyse en composante principale des cortèges d'orthoptères des stations productrices d'Amanita caesarea (avérées) et des stations candidates (potentielles).....	121

Table des figures

Figure 1 : Carpophore d' <i>Amanita caesarea</i> (orange) dans une pelouse de haute Corrèze	14
Figure 2 : vue partielle d'une pelouse sèche de Haute Corrèze, à titre d'exemple.....	17
Figure 3 : Localisation géographique et topographie de la zone d'étude.....	18
Figure 4 : Précipitations annuelles moyennes en Corrèze et isohyètes correspondantes	20
Figure 5 : Représentation du profil type des stations et des habitats échantillonnés.....	22
Figure 6 : extraction de sol à la tarière manuelle.....	23
Figure 7 : Schéma des prélèvements de sol pour l'analyse des paramètres édaphiques	23
Figure 8 : Mise en place des capteurs de température sur la station HC35	24
Figure 9 : Schéma de mise en place des sondes thermiques sur les stations HC3B, HC10 et HC35 ...	25
Figure 10 : Inventaire botanique sur HC37	26
Figure 11 : Typologie des stades de développement des carpophores d' <i>Amanita caesarea</i>	28
Figure 12 : Mesures biométriques et prélèvements de tissus	29
Figure 13 : Schéma des prélèvements de sol pour dosage des ADN végétatifs d' <i>Amanita caesarea</i> ...	30
Figure 14 : Prélèvements de sol sur la station HC10.....	30
Figure 15 : Localisation des fructifications sur la station HC3	31
Figure 16 : Distribution du nombre moyen de génotypes d' <i>Amanita caesarea</i> détectés en fonction du nombre de loci microsatellites utilisés	33
Figure 17 : Abondance de mycélium d' <i>Amanita caesarea</i> dans les transects	36
Figure 18 : Densité de mycélium d' <i>A. caesarea</i> dans le sol des places à orange (pop) et dans les habitats adjacents (bois, lisières, pelouses et milieux de transitions).....	37
Figure 19 : Productivité des stations à <i>Amanita caesarea</i> de Haute-Corrèze	38
Figure 20 : Masse annuelle de carpophores (en haut) et nombre de carpophores (en bas) produits sur les 7 stations connues en 2014	39
Figure 21 : Distribution de la masse totale des carpophores en haute-Corrèze et en Corse.....	40
Figure 22 : Distribution et tests statistiques de comparaison a)des biomasses(en haut), b) des diamètres de chapeau (au milieu) et c) des hauteurs de stipe (en bas) d' <i>Amanita caesarea</i> au sein de cinq stations de Haute Corrèze et de Haute Corse.....	41
Figure 23 : Distribution des hauteurs de stipe d' <i>Amanita caesarea</i> au sein de la station HC3 de haute Corrèze, entre 2014 et 2016	42
Figure 24 : Distribution du compromis morphométriques « Dispersion des spores »	43
Figure 25 : Distribution du compromis morphométriques « Production de spores ».....	43
Figure 26 : Relation statistique entre le trait de « dispersion de spores » et la hauteur de la pelouse ...	43
Figure 27 : Variation interannuelle du nombre de stations productrices.....	44
Figure 28 : Distribution saisonnière des fructifications d' <i>A. caesarea</i> , <i>B. aereus</i> et <i>R. virescens</i>	45
Figure 29 : Distribution de la température du sol le jour de l'émergence des premiers carpophores ...	45
Figure 30 : Distribution temporelle des précipitations, des températures et des poussées d' <i>Amanita</i> <i>caesarea</i> au cours de la période 2011-2017	47
Figure 31 : Nombre cumulé de poussées d' <i>Amanita caesarea</i> précédées par des pluies supérieures à 5, 10, 15 et 20mm au cours des 60 jours qui les précèdent. Les cercles rouges indiquent de visu le moment de l'inflexion	49
Figure 32 : Nombre cumulé de poussées de <i>Russula virescens</i> (à gauche) et <i>Boletus aereus</i> (droite) précédées par des pluies supérieures à 15mm au cours des 60 jours qui les précèdent	49
Figure 33 : Distribution temporelle des poussées d' <i>Amanita caesarea</i> en lien avec les épisodes de pluies supérieures à 15 mm au cours des 60 jours qui les précèdent. La courbe lissée a été réalisée par transformation de Fourier à l'aide de <i>Geom_Smooth</i> dans R Package <i>GGplot2</i>	50
Figure 34 : Distribution des pics d'occurrence de pluies au cours des 60 jours qui précèdent les poussées d' <i>Amanita caesarea</i> , <i>Russula virescens</i> et <i>Boletus aereus</i>	50
Figure 35 : Schéma type des 5 étapes de construction des pousses d' <i>Amanita caesarea</i> par la pluviométrie.....	51

Figure 36 : Distribution des durées d'incubation d' <i>Amanita caesarea</i> et de deux espèces compagnes	52
Figure 37 : Relation linéaire entre la durée d'incubation et la fréquence des pluies >1mm	52
Figure 38 : Relation linéaire entre la durée d'incubation et le cumul de pluie (en mm)	53
Figure 39 : Relation linéaire entre la durée d'incubation et la température moyenne (en °C)	53
Figure 40 : Relation linéaire entre la durée d'incubation et la température cumulée (en °C)	53
Figure 41: Validation du modèle linéaire n°1, expliquant le mieux la variabilité de durée d'incubation, par l'analyse de la distribution des résidus	54
Figure 42 : Distribution des durées de pousse d' <i>Amanita caesarea</i>	55
Figure 43 : Relation linéaire entre la durée de pousse et le cumul de pluie	56
Figure 44 : Distribution temporelle des évènements pluviométriques déclencheurs et des dates de poussée d' <i>Amanita caesarea</i> au cours de la période 2011-2017	57
Figure 45 : Distribution des génotypes (en pourcentage) en fonction du nombre de carpophores qu'ils ont produit au sein des 3 zones d'échantillonnage : Haute Corrèze, Lot et Corse	59
Figure 46 : a) dynamique temporelle (en haut) et b) relation statistique entre la production de carpophores d' <i>A. caesarea</i> et la diversité génotypique correspondante (en bas) au cours de 14 épisodes de fructification observés sur 6 stations entre 2014 et 2016	61
Figure 47 : Distribution spatiale par analyse en composante principale des séquences microsattellites extraites à partir des échantillons de haute-Corrèze	62
Figure 48 : Distribution spatiale par analyse en composante principale des séquences microsattellites extraites à partir des échantillons de haute-Corrèze, de basse-Corrèze et du Lot	63
Figure 49 : Distribution spatiale par analyse en composante principale des séquences microsattellites extraites à partir des échantillons de haute-Corrèze, de basse-Corrèze, du Lot, de l'Hérault et de la Corse	63
Figure 50 : Distribution des stations en fonction des différents contextes géologiques de Haute-Corrèze	66
<i>Figure 51 : Contextes topographiques en Haute Corrèze, montrant la distribution des stations à orange potentielles (en bleu) et avérées (en orange) selon leur altitude (a haut), leur pente (b milieu) et leur exposition (c bas)</i>	67
Figure 52 : Graphique présentant la distribution des stations au sein des classes de profondeur de sol	68
Figure 53 : Diagrammes ombro-thermiques de la station de Météo France de Neuvic sur la période 2011-2017	69
Figure 54 : Températures moyennes hebdomadaires des capteurs aériens	71
Figure 55 : Températures moyennes annuelles des capteurs placés dans le sol	72
Figure 56 : Diversité fongique ectomycorhizienne et distribution des familles sur les stations à <i>A. caesarea</i>	72
Figure 57 : Représentation en composantes principales des communautés ectomycorhiziennes au sein des stations productrices d' <i>Amanita caesarea</i> (avérées) et des stations candidates (potentielles)	73
Figure 58 : Diagramme de Venn montrant les distributions d' <i>A. caesarea</i> , <i>Russula virescens</i> et <i>Boletus aereus</i> dans les stations de Haute Corrèze	74
Figure 59 : (a) Tableau de présentation des principaux traits d'habitats et de durée de vie attachés aux espèces et (b) distribution des traits d'habitat au sein des stations étudiées	75
Figure 60 : Représentation en composantes principales des cortèges botaniques au sein des stations productrices d' <i>Amanita caesarea</i> (avérées) et des stations candidates (potentielles)	75
Figure 61 : Diversité spécifique en orthoptères des stations	76
Figure 62 : (a) Tableau de classification des espèces d'orthoptères observées et (b) distribution des niveaux de protection de la zone némorale au sein du cortège	77
Figure 63 : Représentation en composantes principales de la distribution des espèces d'orthoptères en fonction des caractéristiques microclimatiques des habitats	78
Figure 64 : Représentation en composantes principales de la distribution des stations en fonction des caractéristiques topographiques, botaniques et des habitats	79

Figure 65 : Liste hiérarchisée des 10 taxons les plus fréquents chez les champignons ectomycorhiziens, les végétaux vasculaires et les orthoptères sur les stations à <i>Amanita caesarea</i>	80
Figure 66 : Indices de diversité des 3 phylum sur les stations à <i>Amanita caesarea</i> calculés selon le modèle additif de Lande, 1996. ($\alpha+\beta$ = diversité locale γ).....	80

Table des tableaux

Tableau 1 : Présentation de l'étude de l'amanite des césars en Limousin 2014-2017	16
Tableau 2 : Effort de prospection réalisé sur les stations de Haute Corrèze entre 2011 et 2017.....	28
Tableau 3 : Caractéristiques des treize marqueurs microsatellites utilisés dans l'étude des populations d' <i>Amanita caesarea</i>	32
Tableau 4 : Synthèse des données collectées pour chaque station	34
Tableau 5 : Statistiques descriptives des variables biométriques mesurées sur des carpophores.....	40
Tableau 6 : Distribution des pousses au sein des cycles lunaires	46
Tableau 7: Principaux résultats obtenus par modélisations linéaires pour expliquer la durée d'incubation.....	54
Tableau 8 : Tableau de synthèse du génotypage par marqueurs microsatellites	58
Tableau 9 : Histoire des pratiques forestières recensées sur 12 stations de haute-Corrèze.....	65
Tableau 10 : Histoire des pratiques agricoles recensées ; valeurs minima, moyenne et maxima des intensités.....	66
Tableau 11 : Caractéristiques chimiques des sols dans les habitats à <i>Amanita caesarea</i> de haute Corrèze. En italique gras, les valeurs significativement différentes de celles observées au sein des populations d' <i>Amanita caesarea</i> (en orange) (p-adj de Tuckey <0,05).....	68
Tableau 12 : Statistiques descriptives des séquences thermiques et pluviométriques observées entre 2011 et 2017 à la station météo France de Neuvic (19160)	69
Tableau 13 : Valeurs de température relevées in situ, dans quatre types de milieux	70

I. INTRODUCTION

Les champignons mycorrhiziens jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes terrestres (Smith et Read 2008). Sous climat tempéré en particulier, la symbiose ectomycorhizienne assure l'équilibre hydrique et la nutrition minérale de la plupart des espèces d'arbres. Malheureusement, si la nature des liens fonctionnels unissant les plantes à leurs symbiotes est désormais bien documentée, la biologie et l'écologie de la grande majorité des espèces fongiques, et en particulier les composantes de leur niche, sont encore très mal connues (Selosse et al. 2018). Les raisons de ce déficit de connaissances sont multiples, et comprennent notamment l'extraordinaire diversité d'organismes impliqués, l'impossibilité de cultiver la plupart des espèces et la nature cryptique de leur appareil végétatif, seuls les appareils reproducteurs (les carpophores) étant accessibles à l'œil nu (Hawksworth 2001).

Du point de vue écologique, les champignons ectomycorhiziens (ECM) sont un groupe diversifié de plus de 7000 espèces de champignons incluant principalement des basidiomycètes (par exemple *Suillus*, *Lactarius*, *Russula*, *Cortinarius*, *Paxillus*), mais aussi des ascomycètes (Truffes, Pezizes, *Helvella* ; Smith et Read 2008). L'amanite des Césars *sensu lato* est un collectif de 13 espèces phénétiques (i.e. sur la base de caractères morphologiques), phylogénétiquement très proches (Weiß 1998 ; [Annexe 2](#)), distribuées sur l'ensemble du domaine méditerranéen, de l'Asie orientale au Mexique, en passant par l'Afrique et l'Amérique du Nord. Ces champignons ectomycorhiziens forment des symbioses racinaires avec les genres *Quercus* (chêne) et *Castanea* (châtaignier), préférentiellement sur sol décarbonatés. Les ectomycorhizes assurent l'interface entre l'appareil assimilateur souterrain du végétal et le mycélium du champignon. Au niveau de cette interface, la plante pourvoit le mycélium en carbone sous forme d'hexoses et reçoit en retour de l'azote et du phosphate assimilables ainsi qu'une protection vis-à-vis des organismes pathogènes (Smith et Read 2008). Pour cette espèce, comme pour la plupart des amanites, ses mycorhizes sont rares dans les sols analysés (Richard et al. 2005 ; Wolfe et al. 2010), et la mycorhize d'amanite des césars n'a pas été décrite, ni produite in vitro à partir de cultures de mycélium (Daza 2006), l'essentiel des travaux actuels se concentrant sur la composition chimique des fructifications (Vetter 2005 ; Dursun *et al.* 2006). Pour l'heure, seule une espèce proche, *Amanita caesareoides*, a pu être mise en culture avec succès en conditions contrôlées jusqu'à la production d'ectomycorhizes (Endo et al. 2013). **Mieux connaître la distribution dans le sol et les conditions environnementales de développement du mycélium d'amanite des césars constitue le premier objectif de ce travail.**

Comme de nombreuses autres espèces de basidiomycètes, le mycélium et les fructifications d'amanite des Césars sont constitués de filaments microscopiques et dicaryotiques (c'est-à-dire que les articles des filaments mycéliens possèdent deux noyaux haploïdes, de types sexuels complémentaires ; [annexe 4](#)). En effet, la courte phase haploïde issue de la germination des spores est suivie de manière obligatoire d'une plasmogamie, la caryogamie n'ayant lieu que bien plus tard, dans les appareils reproducteurs, au niveau des lames ([Annexe 4](#)). L'amanite des Césars se multiplie de façon sexuée (*via* la production de spores méiotiques) et asexuée (par croissance et fragmentation du mycélium souterrain). Le régime de reproduction asexué conduit à l'établissement d'individus clonaux (« ramets » d'un même génotype, ou « genet ») et fragmentés dans l'espace (Selosse 2001). En revanche, la reproduction sexuée (*via* la production de spores méiotiques) permet la dispersion et l'établissement de nouveaux génotypes (Selosse 2001), dont les fructifications révèlent partiellement la présence ([annexe 3](#)

et 4). L'analyse de la structuration génétique d'une population d'amanite des Césars suivie en Corse depuis 1999 a ainsi montré que ces deux types de multiplication coexistent à l'échelle locale. Sur une surface de 6400 m², de grand génets fractionnés en plusieurs ramets côtoient de nombreux individus génétiques de taille variable (Salomon 2011). Si cette première analyse éclaire sur le part des deux types de reproductions dans la structuration des populations d'amanite, elle apparaît isolée car basée sur un seul site. **Analyser finement la structure génétique des populations d'amanite des césars sur un ensemble plus large de populations, afin d'en déterminer les caractéristiques conservées au niveau régional, et plus largement au sein de l'aire de distribution de l'espèce, constitue un second objectif de ce travail.**

L'amanite des Césars, ou oronge, a une préférence marquée pour les climats méditerranéens. En France, l'espèce est fréquente en Corse, du littoral à 1200 mètres (Richard et al. 2009), et plus localisée sur le continent. Au cours des dernières décennies, la distribution de l'oronge semble avoir nettement progressé vers le nord, des fructifications de cette espèce étant de plus en plus régulièrement observées en dehors de la région méditerranéenne, dès lors que des conditions climatiques clémentes peuvent être localement exprimées (piémonts alpins, Alsace, Bassin Parisien, côte atlantique). Dans les régions sous influence continentale, cette espèce reste à priori exceptionnelle.

Grâce à des caractères morphologiques singuliers (lames et stipe jaunes tranchant avec la blancheur d'une volve en sac très développée), l'oronge est très facilement identifiable, impossible à confondre lors d'échantillonnages, et particulièrement visible. Ces caractéristiques font d'*Amanita caesarea* un excellent modèle pour les approches populationnelles. Les facteurs de déclenchement des poussées de champignons sont en partie environnementaux (température, humidité, photopériode ; cf. Boddy et al. 2014 pour les facteurs déterminant la phénologie des poussées dans l'hémisphère nord, en lien avec le changement climatique) et en partie biotiques (interaction avec la végétation, compétition dans le sol). Pour les champignons ectomycorhiziens, l'allocation carbonée nécessaire à l'édification des fructifications étant fournie par l'hôte, un flux de sève élaborée va transiter depuis la canopée, vers les racines, puis les mycorhizes, le mycélium et enfin le carpophore, en fin de saison de végétation (cf. Le Tacon et al. 2013 pour l'exemple de *Tuber melanosporum*). Si les principaux facteurs agissant sur le rythme des poussées fongiques ont été mis en évidence, la nature précise, l'intensité et la cinétique des signaux nécessaires à la fructification et le délai de la réponse des espèces restent peu connus, même pour des espèces en cours de domestication comme la truffe, où une partie des paramètres du milieu sont contrôlés (irrigation, gestion de l'hôte, etc ; Olivera et al. 2011). Pour l'oronge, une analyse corrélative réalisée entre les séquences météorologiques et les fructifications en Corse entre 1999 et 2009 a permis de mettre en évidence l'existence d'un épisode pluvieux estival conséquent (supérieur à 15mm) entre 60 et 90 jours avant la poussée et l'existence d'un épisode pluvieux secondaire amplificateur de la fructification au cours des 60 jours précédant la poussée (Salomon 2011). Malheureusement, basé sur un seul cas d'étude (la forêt du Fango), sous un climat méditerranéen marqué, ne permet qu'une unique poussée d'oronge par an, ce premier travail reste exploratoire. **Explorer les liens entre les séquences météorologiques et la cinétique des fructifications d'oronge représente le troisième axe de questionnement de ce travail.**

L'existence de places à oronges, micro-habitats au sein desquels l'espèce fructifie avec fidélité, parfois pendant assez de temps pour que leur emplacement se transmette dans le secret entre générations de cueilleurs, combiné à la rareté et au prestige de l'espèce, jadis consommée à la

table des empereurs romains du Haut-Empire, ont contribué à conférer à l'amanite des Césars une valeur sans égal parmi les champignons sylvestres (Raynal 1996). Les places à oronge, tout comme les truffières naturelles pour *Tuber melanosporum*, constituent un modèle d'étude pour le chercheur, pour interroger la biologie et l'écologie de l'espèce. Dans ces sites de quelques dizaines de mètres carrés à quelques ares, la longévité de l'espèce pourrait refléter différentes dynamiques populationnelles souterraines, comme la présence d'un individu exceptionnellement longévif et étendu, ou bien l'existence de conditions particulièrement propices au développement de l'espèce qui pourrait s'y installer en une succession temporelle d'individus. **Analyser la singularité écologique des places à oronge, et y décrypter la structure des populations de cette espèce constitue le quatrième objectif de ce travail.**

L'oronge est une espèce connue pour fructifier préférentiellement aux lisières des boisements, dans les peuplements clairiérés après éclaircies forestières, les pare-feux l'année suivant le gyrobroyage de la strate arbustive, ou encore dans les trouées naturelles des peuplements surannées (Richard et al. 2004). Cette écologie marquée vers les écosystèmes perturbés, qu'ils soient naturels ou cultivés, interroge sur les facteurs déterminant son installation, et sur la réponse de l'espèce aux pratiques anthropiques. Dans le Limousin, une étude préliminaire systématique conduite depuis 2011 sur le territoire de la Communauté de Communes des Gorges de la Haute Dordogne a permis de détecter un ensemble de 37 espaces candidats, sur la base de caractéristiques topographiques et microclimatiques, où l'espèce a d'ores et déjà été observée. Il s'agit de pelouses sèches issues de l'activité agricoles, aujourd'hui encore cultivées par l'homme, et montrant une grande variabilité d'histoire culturelle, de modalité de gestion, et d'itinéraires de pratiques (Cf. Figure 1 et [annexe 5](#)). **Examiner les liens entre les populations d'oronge et l'anthropisation des milieux, en d'autres termes questionner la compatibilité entre le maintien de populations d'oronge et les régimes de perturbations anthropiques constitue le cinquième axe de questionnement de ce travail.**



Figure 1 : Carpophore d'*Amanita caesarea* (orange) dans une pelouse de haute Corrèze

Ce programme de recherche, **réalisé à partir d'une approche descriptive de terrain, a pour objectif de mieux comprendre la biologie et l'écologie de l'amanite des Césars en explorant diverses facettes de ses habitats aux marges de sa distribution actuelle en domaine atlantique de montagne, c'est-à-dire hors de l'influence du climat méditerranéen.**

Pour atteindre cet objectif, **quatre niveaux complémentaires de questionnement ont été privilégiés** (Tableau 1), et utilisés de la manière suivante :

Au niveau de la structure reproductrice (carpophore), ce travail a tout d'abord visé à décrire la variabilité morphologique intra- et inter-populationnelle, et à questionner **1)** ses possibles déterminants par une approche corrélative de traits et **2)** sa signification écologique. Comme hypothèse de travail, il est ici postulé que le filtre environnemental (éclairage au sol, hauteur de végétation) forcerait les traits morphologiques des carpophores (masse, hauteur du stipe, ...) d'orange.

Au niveau de la population (ensemble de carpophores collectés sur une même place à orange, ou station), ce travail a ensuite cherché à décrypter les déterminants météorologiques de la phénologie des poussées d'amanite des Césars. Construit selon une approche corrélative, et basé sur un suivi diachronique fin des stations (746 prospections réalisées entre 2011 et 2017), ce travail comporte à la fois une visée fondamentale (comprendre l'écologie de la reproduction de l'espèce) et un objectif opérationnel (répondre par la modélisation à l'incertitude entourant les dates de récoltes possibles d'une ressource à haute valeur ajoutée pour les propriétaires).

Au niveau de la place à orange (écosystème de quelques ares où se concentre la fructification de l'orange), le travail consiste à **1)** caractériser finement ces sites de poussée (microclimat, sol, communautés fongiques, végétales et entomologiques) et **2)** à l'aide d'outils moléculaires développés pour cette espèce (banque microsatellite et sondes spécifiques pour qPCR), à caractériser la distribution végétative du mycélium dans le sol d'une part, et décrire la structure génétique et la dynamique temporelle des populations d'orange par le génotypage de tous les carpophores produits entre 2014 et 2016 d'autre part. Cette analyse vise in fine à examiner la diversité génétique de cette espèce, de la place à orange (37 stations de Haute-Corrèze) à la région (Limousin *vs* Corse). Cette partie de l'étude porte elle aussi une dimension appliquée, par l'analyse des enjeux croisés de conservation des biodiversités fongique, végétale et entomologique dans les pelouses sèches du Limousin, milieux d'intérêt patrimonial par leur rareté.

Au niveau du socio-écosystème (unité de gestion agricole, constituée de la pâture contenant une ou plusieurs places à orange), ce travail a pour objectif de caractériser l'écologie de l'amanite des Césars au regard de sa compatibilité avec les pratiques humaines. A la lumière d'entretiens semi-directifs réalisés avec les propriétaires, et des mesures de rémanence des intrants effectuées *in situ*, une approche corrélative a été conduite afin de mettre en lien anthropisation et diversité, production et présence végétative de l'orange.

L'ensemble des travaux réalisés est ci-après présenté en abordant successivement **1)** la biologie et l'écologie de l'amanite (morphologie, phénologie, régime de reproduction) et **2)** les dimensions environnementales, populationnelles et de biodiversité relatives aux places à orange.

Tableau 1 : Présentation de l'étude de l'amanite des césars en Limousin 2014-2017

1) Analyse multi-niveaux de la biologie et de l'écologie de l'amanite des césars

		Questions posées / hypothèses	Types d'analyses effectuées	Données pour l'analyse
Niveau	Région (Limousin / Corse)	<ul style="list-style-type: none"> - Quelle précocité des poussées d'Amanite des césars au regard des autres espèces thermophiles comestibles ? - Quelle réponse de l'amanite aux épisodes pluvieux sur la zone d'étude ? - Quelle structuration génétique des populations d'amanite ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse diachronique comparative multitaxons (amanite, russule, bolet) des phénologies de poussée - Analyse corrélative entre temporalité des poussées et précipitations enregistrées à Neuvic - Analyse d'isolement des populations par la distance 	<ul style="list-style-type: none"> - Calendrier des fructifications observées in situ - Calendrier des fructifications + Chroniques météo France - Marqueurs microsatellites x nb carpophores
	Station (Haute Corrèze)	<ul style="list-style-type: none"> - Quelle variabilité interannuelle de la production de carpophores ? - Quelle plasticité de l'amanite vis-à-vis des perturbations anthropiques ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse diachronique des fructifications - Analyse corrélative entre l'histoire des pratiques, la rémanence des éléments du sol et la production d'amanite 	<ul style="list-style-type: none"> - Nombre et poids x nb années - Pratiques, intensité et fréquence x biomasse carpophores
	Sous-station	<ul style="list-style-type: none"> - Quelle distribution du mycélium dans le sol entre le bois et la mégaphorbiaie ? - Quelle distribution des poussées dans le temps au regard des conditions microclimatiques du sol ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse descriptive et corrélative des patrons d'abondance de mycélium dans le sol par qPCR - Analyse descriptive et corrélative entre Température du sol et temporalité des fructifications - Analyse descriptive de la fructification des genets dans la sous-station 	<ul style="list-style-type: none"> - Concentration en mycélium x 5 habitats - Température sol au moment de la pluie, de la pousse, moyenne de température pendant l'incubation - Calendrier des fructifications x individus génétiques
	Population	<ul style="list-style-type: none"> - Quelle structure génétique des populations d'amanite ? - Quelle productivité des individus ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse de la diversité génétique inter-populations - Analyse diachronique de production des genets 	<ul style="list-style-type: none"> - Marqueurs microsatellites x nb individus x nb populations - Nb genets x biomasse annuelle
	Carpophore	<ul style="list-style-type: none"> - Quelle variabilité de la silhouette des carpophores d'amanite des césars ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Approche corrélative : comparaison Haute-Corrèze / Corse 	<ul style="list-style-type: none"> - Nb carpophores x traits morphologiques (Hauteur du pied, diamètre du chapeau, poids total, poids du chapeau)

2) Analyse des conditions environnementales et des biodiversités associées aux stations d'amanite des césars

		Questions posées / hypothèses	Types d'analyses effectuées	Données pour l'analyse
Niveau	Région (Haute-Corrèze)	<ul style="list-style-type: none"> - Quelle variabilité des conditions topographiques ? - Quelles caractéristiques climatiques ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse descriptive des variables en Limousin et en Corse - Analyse descriptive des variables en limousin 	<ul style="list-style-type: none"> - Géologie + altitude + pente + exposition, - Températures et pluvio MF
	Station	<ul style="list-style-type: none"> - Quelles conditions microclimatiques pour les populations ? - Quels habitats favorables à la fructification de l'espèce ? - Quelles biodiversités associées aux habitats à amanite des césars ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse des données environnementales des stations d'amanite - Analyse des habitats - Description des communautés compagnes en limousin. Analyses multivariées. 	<ul style="list-style-type: none"> - Températures du sol, pluviométrie - Configuration bois / pelouse / mégaphorbiaie, Age des forêts, largeur bande forestière - Tableaux de présence absence : champignons, orthoptères, botanique

II. MATERIEL ET METHODES¹

II.1. Sites d'étude et stratégie d'échantillonnage

II.1.1. Les pelouses sèches de haute Corrèze : un patrimoine localisé menacé par la déprise

Les pelouses sèches (végétations rases, composées d'herbacées ; Figure 2) sont des objets généralement associés aux paysages méditerranéens développés sur substrat carbonaté. Ces milieux si particuliers sont également présents en haute Corrèze, où ils occupent des surfaces très réduites, uniquement liées à des conditions topographiques et microclimatiques rarement réunies dans la région.



Figure 2 : vue partielle d'une pelouse sèche de Haute Corrèze, à titre d'exemple.

Dans ces pelouses, il a été remarqué une biodiversité végétale, fongique et entomologique remarquable. Des

prospections réalisées en 2011 ont ainsi permis d'identifier des espèces à affinité méridionale (l'orthoptère *Calliptamus barbarus*, *Genista sagittalis*, *Boletus aereus*, ...).

Depuis des siècles, voire des millénaires, les sociétés humaines ont œuvré pour ouvrir les espaces afin d'y développer l'agriculture. Sans leur intervention, les dynamiques végétales naturelles conduisent à la couverture quasi-totale du sol par la forêt. Cependant, depuis le milieu du XIX^{ème} siècle, la part de la forêt a considérablement augmenté, passant de 16% à 30% au niveau national, phénomène plus particulièrement prononcé en territoire de montagne (IFN 2004). Le territoire Limousin était majoritairement agricole jusqu'au milieu du XIX^{ème} siècle. La surface de la forêt a considérablement augmenté depuis cette période, passant de 9% (cadastre 1908) à 34% (IFN 2004), en lien avec la déprise agricole.

¹ **Données comparatives.** Un jeu de données externes, constitué de matériel de Corse et de l'Hérault a été mis à ma disposition afin de permettre de réaliser un étude multi-sites de 1) la variabilité morphométriques de l'amanite des Césars et 2) la structuration génétique multi-échelle des populations de cette espèce.

Ces données ont été obtenues dans la continuité d'une étude diachronique effectuée en Corse par Franck Richard depuis 1999. Brièvement, cette base de données a été rassemblée dans le cadre de la tâche d'observation « communautés fongiques » financée par l'Observatoire de Recherche Méditerranéen de l'Environnement de Montpellier (OSU OREME). Ce suivi est effectué dans la réserve de Biosphère du Fango, sur un transect permanent de 6400 m² (M'hamedi 1991) installé dans une futaie âgée de chêne vert en phase d'écroulement, c'est-à-dire siège de nombreuses trouées naturelles (Panaïotis et al. 1998), favorables à la fructification de l'amanite des Césars (Richard et al. 2004). D'autres populations d'Amanite des Césars, de Corse (Corté, Porto Vecchio, Castagniccia) et du continent (Hérault), ont également fait l'objet de prélèvements d'échantillons.

Ce matériel rassemble une collection référence de 545 carpophores. Les données brutes consistent en 1) une base de données spatialisée des carpophores collectés, associée à 2) leurs traits morphométriques et 3) leur génotypage à l'aide de marqueurs microsatellites (Salomon 2011).

La zone où sont situées les pelouses étudiées couvre une surface de 335 km². Sur ce territoire, La forêt occupe aujourd’hui 51% de l’espace. Les peuplements sont généralement assez jeunes et n’excèdent pas 150 ans en raison de l’occupation majoritairement agricole du territoire jusqu’au milieu du XIX^{ème} siècle. La sylviculture a été initiée au cours du XX^{ème} siècle, pour faire face à la déprise agricole. La forêt cultivée a ainsi gagné sur les surfaces agricoles. L’usage de machines capables de travailler à grande échelle induit des changements brutaux sur les parcelles exploitées et favorise ainsi les écosystèmes jeunes et pionniers. Dans le domaine agricole dominé par l’élevage bovin de race « limousine », la mécanisation a également conduit à de profondes modifications du sol et de la végétation des parcelles pâturées. Le travail du sol, les amendements, les engrais et les semis autorisent le développement d’une gamme étroite (tolérantes/favorisées par les amendements et/ou choisie (semées, favorisées) d’espèces.

Malgré cela, certaines prairies naturelles, c’est-à-dire n’ayant pas fait l’objet d’un ensemencement, se maintiennent depuis plusieurs décennies, voire plusieurs siècles. Ces milieux sont néanmoins des écosystèmes anciennement façonnés par l’homme, au fonctionnement complexe (= socio-écosystème ou SES). Leur conservation est étroitement liée à une gestion extensive (faible mécanisation, peu d’intrants et absence de travail du sol) des espaces par les acteurs du territoire (agriculteurs, forestiers...).

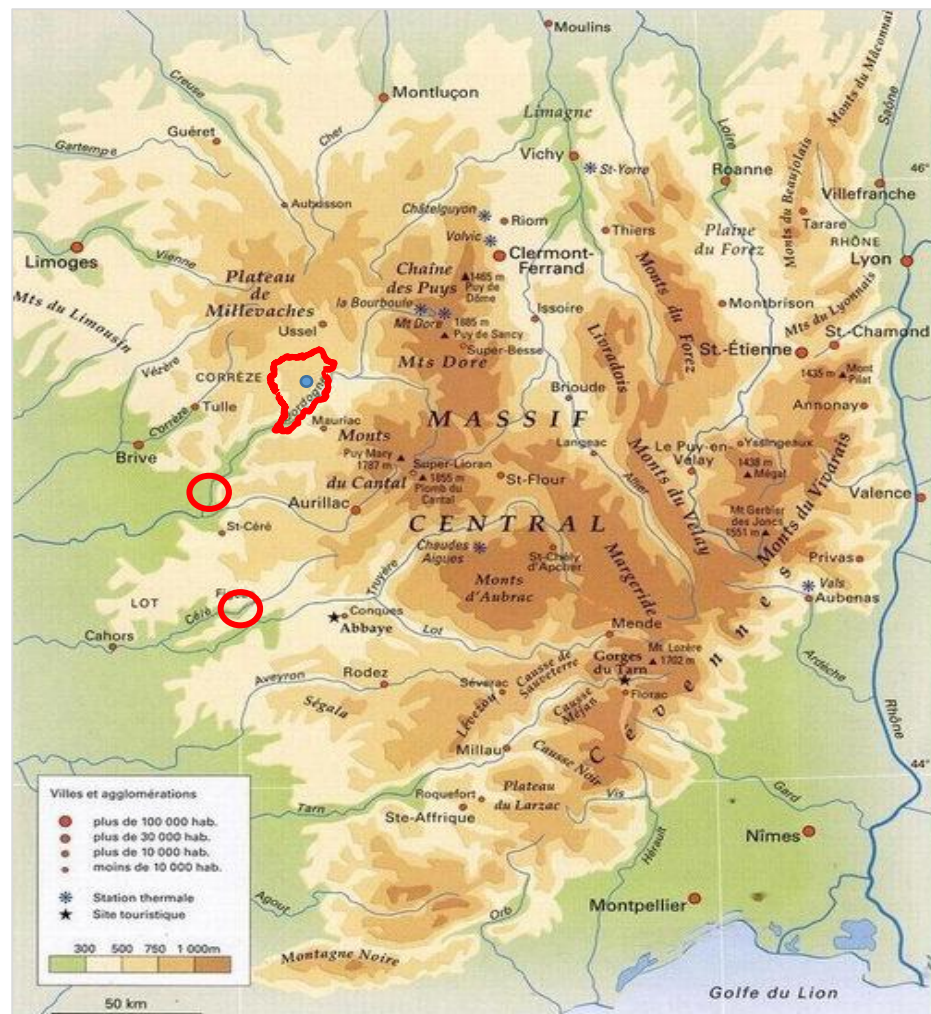


Figure 3 : Localisation géographique et topographie de la zone d’étude (En bleu la station météo France de Neuvic, les cercles rouges indiquent les zones d’étude complémentaires du Lot et de Basse Corrèze)

II.1.2. Des écosystèmes situés dans un ensemble géologico-climatique complexe

D'une **altitude** moyenne de **600 m**, le plateau corrézien est entouré au nord par les contreforts du plateau de Millevaches (800-900 m) et au sud par les gorges de la Dordogne (250-400 m ; Figure 3). On peut y schématiser deux grands ensembles géologiques (synthèse extraite des cartes géologiques du BRGM n° 739 et 763) :

- La série métamorphique de la moyenne Dordogne qui s'est constituée au Dévonien (360-415 Ma) est principalement composée de gneiss, métatexites et diatexites. On observe également des poches d'ortholeptynites à grains fins. La série est altérée et donne au plateau un relief peu accidenté.

- Le massif granitique d'Ussel qui s'est mis en place dans la série métamorphique par l'activité tectonique (325-395 Ma). Il est souvent représenté par des cristaux de feldspath potassique.

→ Au gré de l'érosion des sols et du ruissellement, les fonds de vallées se sont remplis d'alluvions et de colluvions variablement sableuses, caillouteuses et tourbeuses. La granulométrie y est irrégulière et étalée.

La nature géologique du socle confère aux sols une nature sableuse, pauvre en argile, parfois riche en matière organique peu décomposée (tourbe). Cette lente décomposition est due à l'acidité de la roche et à sa relative imperméabilité ainsi qu'à l'engorgement des sols en lien avec une pluviométrie importante.

Le climat tempéré océanique de la façade Ouest du massif central, est rendu semi-montagneux à mesure que l'on monte en altitude. Ainsi, entre Brive et Ussel, la moyenne annuelle de température est différente de 4°C. Dans notre zone d'étude, la température annuelle moyenne est comprise **entre 9 et 11°C**. Ce climat est notamment caractérisé par des températures minimales basses. Le nombre moyen de jours avec gelées est compris **entre 80 et 100**, avec de nombreux épisodes des gelées tardives au printemps et des gelées précoces à l'automne, réduisant la période de fructification de nombreuses espèces fongiques.

Les vents d'Ouest en provenance de l'Atlantique apportent la majeure partie des précipitations. Le premier relief qu'ils rencontrent est le Plateau de Millevaches. Son altitude avoisinant les 1 000m suffit à déclencher des précipitations relativement abondantes, pouvant atteindre une moyenne annuelle de 1 600mm. Sur le plateau corrézien, les cumuls de précipitations annuels moyens s'échelonnent entre **1 100mm** dans les gorges de la Dordogne et **1 300mm** au pied du Plateau de Millevaches (Figure 4).

(Source : Météo France, période 1971/2000)

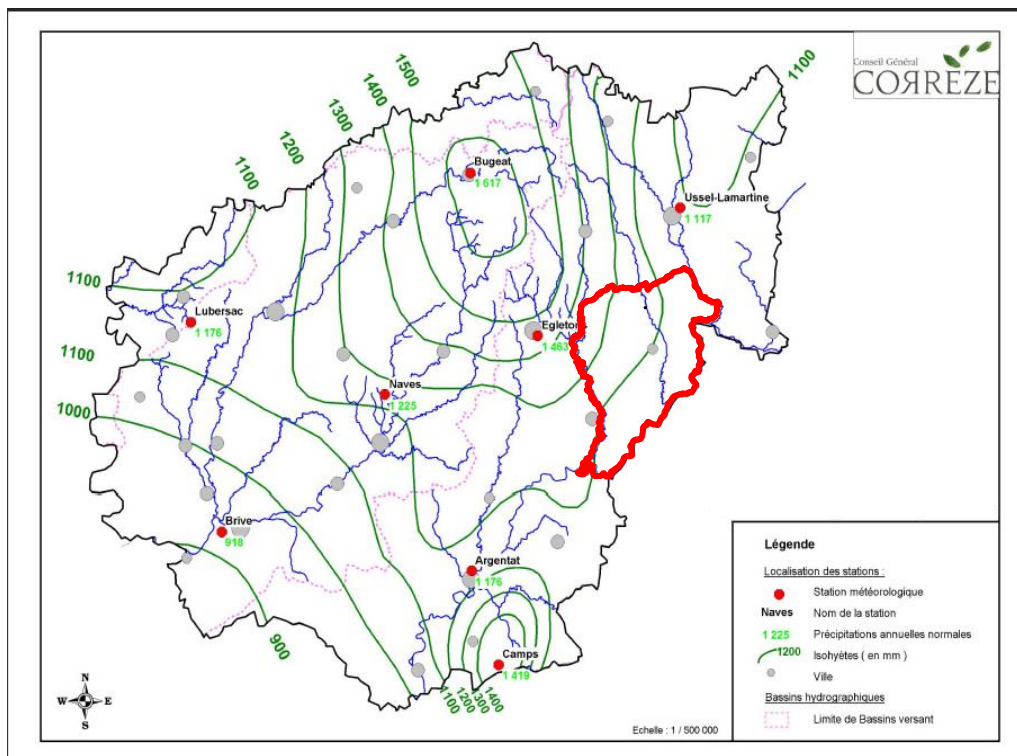


Figure 4 : Précipitations annuelles moyennes en Corrèze et isohyètes correspondantes

II.1.3. Stratégie d'échantillonnage : Recherche systématique des stations potentielles à *Amanita caesarea*

Une méthode de prospection à l'échelle du territoire d'étude haut-Corrézien (335 km²) a été mise en place en 2011 pour identifier un maximum de stations potentielles dans un court laps de temps. Elle repose sur une analyse cartographique réalisée avec le logiciel MAP INFO mis à disposition par la Communauté de Communes des Gorges de la Haute Dordogne.

Ainsi, 37 stations potentielles ont été identifiées en haute Corrèze, puis visitées pour vérifier qu'il s'agit bien de prairies naturelles de type pelouse sèche, bordée d'un boisement de chênes ou de châtaigniers. La présence d'*Amanita caesarea* a ensuite été recherchée par des prospections en période de poussée, reconduites plusieurs fois dans l'année et sur plusieurs années.

II.1.4. Stations complémentaires Basse Corrèze, Lot

Des stations à *Amanita caesarea* connues en basse Corrèze (5) et dans le Lot (5) ont été intégrées au projet (Figure 3) pour apporter un complément d'information sur la partie génétique, la phénologie des poussées et la morphologie des carpophores (Cf. chapitres « II.3, II.5, II.6). Préalablement à l'étude, ces stations ont été identifiées avec la même méthodologie qu'en haute Corrèze, avec l'appui cette fois des cartes géologiques. Les stations Lotoises, situées dans la région de Figeac ont été suivies par Hervé Mennessier et les stations de basse Corrèze par Vincent Mennessier.

II.2. Composante foncière et analyse des pratiques agricoles

II.2.1. Conventions de partenariat avec les propriétaires fonciers

Toutes les stations sont situées sur des parcelles privées. Des fiches synthétiques de présentation du sujet ont été rédigées et présentées aux propriétaires concernés. Pour régulariser le déroulement de l'étude sur les parcelles choisies, des conventions ont été établies. Ce travail a été réalisé en 2014 et a consisté en la prise de contact avec les propriétaires et le recueil de leur accord pour conduire la présente étude. Tous les propriétaires contactés ont accepté le partenariat et signé une convention nous permettant d'accéder aux parcelles, de réaliser des prélèvements, d'installer des dispositifs de mesure et de recueillir auprès d'eux l'historique des pratiques. En retour, le porteur de l'étude s'est engagé à communiquer les données récoltées et à restituer les résultats de l'étude.

Au cours de l'année 2015-2016, des conventions de partenariat ont été signées entre le porteur du projet (CNRS) et 11 propriétaires différents, afin de permettre la mise en œuvre d'une démarche collaborative comprenant des échanges d'informations, le maintien des pratiques et la concertation des choix de gestion pour la durée de l'étude.

II.2.2. Analyse des pratiques avec les propriétaires fonciers

Le recensement des pratiques a été réalisé à l'aide d'entretiens semi-directifs conduits avec les propriétaires des parcelles concernées au moment de la signature des conventions de partenariat. Les propriétaires ont accepté cet exercice qui comprenait un volet forestier (coupes, entretien, plantations, replantations, usage, devenir à court, moyen ou long terme...) et un volet agricole (travail du sol, semis et culture, engrais, amendement, pression de pâturage, en fréquence et en intensité). Par ailleurs, les données forestières (ancienneté des forêts) correspondant aux sites ont été extraites des documents cartographiques historiques consultables (Géoportail), afin de distinguer les forêts secondaires, issues d'une colonisation post-déprise agricole, des forêts ayant persisté au cours du XVIII-XIX^{ème} siècle lors du dernier minimum forestier (Chauchard et al. 2007).

Ce travail de recollement d'indices historiques a notamment permis d'apprendre que certains propriétaires connaissent la présence des amanites des Césars sur les stations depuis plus de 50 ans, confirmant d'autres savoirs empiriques, établis en Méditerranée, et attestant que les places à oronges persistent plusieurs décennies.

II.3. Analyses stationnelles

II.3.1. Analyses pédologiques et microclimatiques

En Haute-Corrèze, l'analyse fine des conditions topographiques et des habitats naturels environnants permet de définir le profil type des stations, et d'y différencier cinq types d'habitats, tels que présentés dans la Figure 5. Sur chaque station, il a été ainsi distingué le bois (au-delà de l'arbre de lisière), la lisière (zone située sous la projection verticale du houppier de l'arbre hôte, côté pelouse), la bande de fructification (coïncidant généralement avec la pelouse écorchée, productrice de carpophores), la pelouse (zone pelusée moins rase, à plus faible déclivité, sans fructifications) et la zone de transition (souvent constituée d'une mégaphorbiaie² hydrophile, en fond de vallon). Ces cinq zones forment généralement un gradient écologique de 20 à 40 mètres de long.

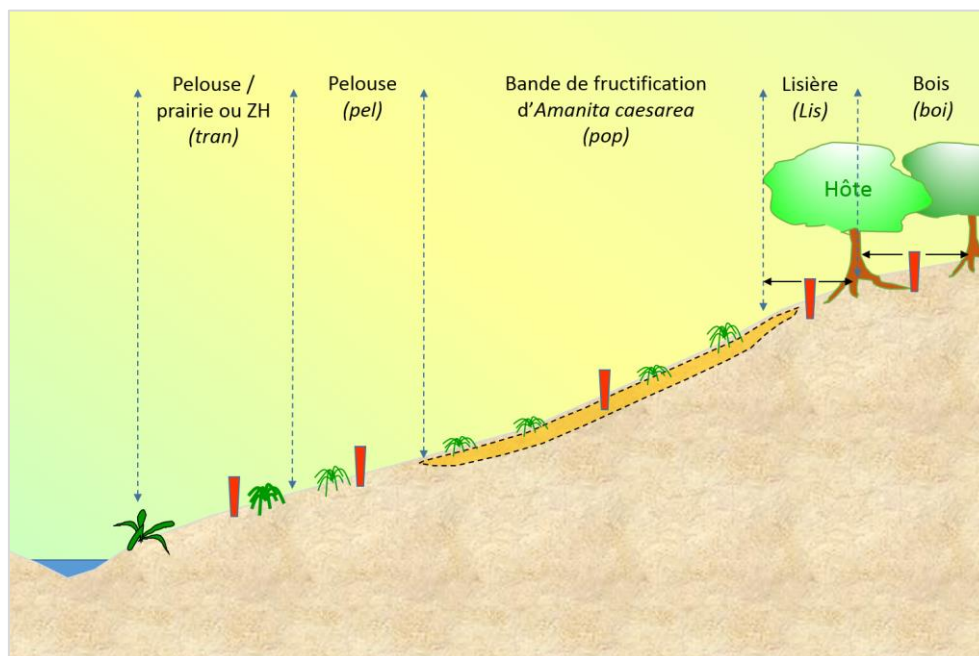


Figure 5 : Représentation du profil type des stations et des habitats échantillonnés

Les polygones rouges indiquent les points de prélèvement et analyse pédologiques. En jaune, zone productrice de carpophores d'orange.

Les caractéristiques pédologiques et microclimatiques ont été analysées sur des stations productrices et sur des zones candidates n'ayant pas été le siège de poussées d'orange pendant la durée de l'étude, et considérées comme des témoins présentant des caractéristiques topographiques, de végétation et d'histoire proches de celles des stations avérées.

² Végétation de grandes herbes, généralement à feuilles larges poussant sur sols riches et profonds, souvent humides.

Profondeur de sol

Afin de caractériser les conditions pédologiques associées aux populations productrices d'amanite des Césars, 24 sondages de sol ont été réalisés, à la **tarière manuelle** (Figure 6), pour évaluer leur profondeur, sur 12 stations (8 en haute Corrèze, 2 en basse Corrèze, et 2 dans le Lot). Les sondages ont été faits dans 3 types de milieu : bois, pelouse et zone de transition avec le milieu humide du talweg (Figure 5). La limite de profondeur était atteinte dès lors que l'arène granitique altérée stoppait la progression de la tarière.



Figure 6 : extraction de sol à la tarière manuelle

Paramètres édaphiques

Des prélèvements nécessaires pour réaliser des **analyses de sols** (pH, azote et phosphore total, azote assimilable, et principaux cations échangeables) ont été effectués en mai 2015. Sur chaque type d'habitat, cinq prélèvements de 10 cm de profondeur, espacés de 50 cm ont été réalisés selon la disposition présentée Figure 7. Les cinq prélèvements ont été assemblés en un seul puis envoyés pour analyse au laboratoire de l'INRA d'Arras.

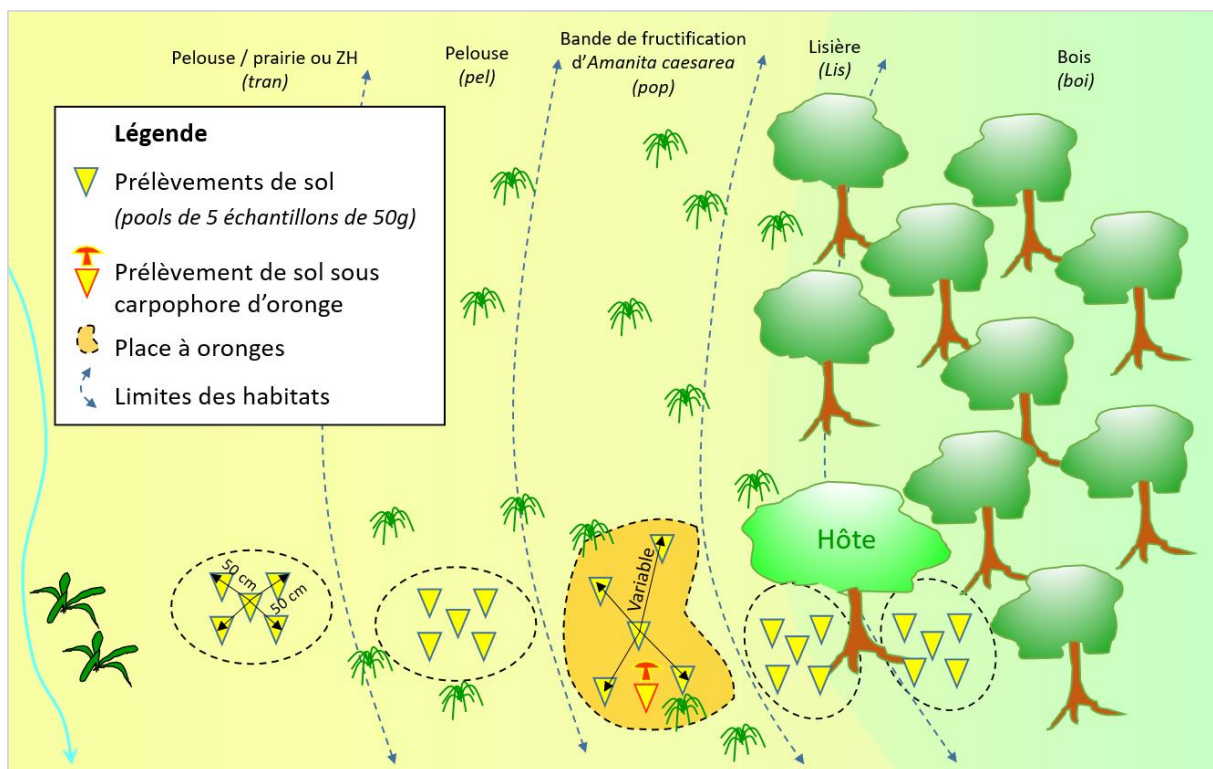


Figure 7 : Schéma des prélèvements de sol pour l'analyse des paramètres édaphiques

Microclimat édaphique

Les paramètres microclimatiques ont été mesurés à l'aide de 27 **sondes thermiques de type « ibutton »**. Les données enregistrées ont été extraites par Pierrick AURY (CEFE, plateforme des terrains expérimentaux). Avant la mise en place sur le terrain, un étalonnage a été réalisé

en plaçant les sondes sur une armoire, dans un sachet fermé, à l'abri de la lumière, pendant plusieurs semaines.

Les stations ont été équipées de sondes enterrées et pour certaines de sondes aériennes (1,5 m). Les sondes ont été enterrées à 10 cm de profondeur, dans les habitats où se concentrent potentiellement le mycélium et les ectomycorhizes (Genney et al. 2006). Les sondes aériennes ont été placées à 1,5 m de hauteur, à l'abri du rayonnement solaire et des précipitations et normalement ventilées. (Figure 8).

Les données de température aérienne ont été relevées avec un pas de temps horaire alors qu'une mesure toute les 4 heures a été effectuée dans le sol.

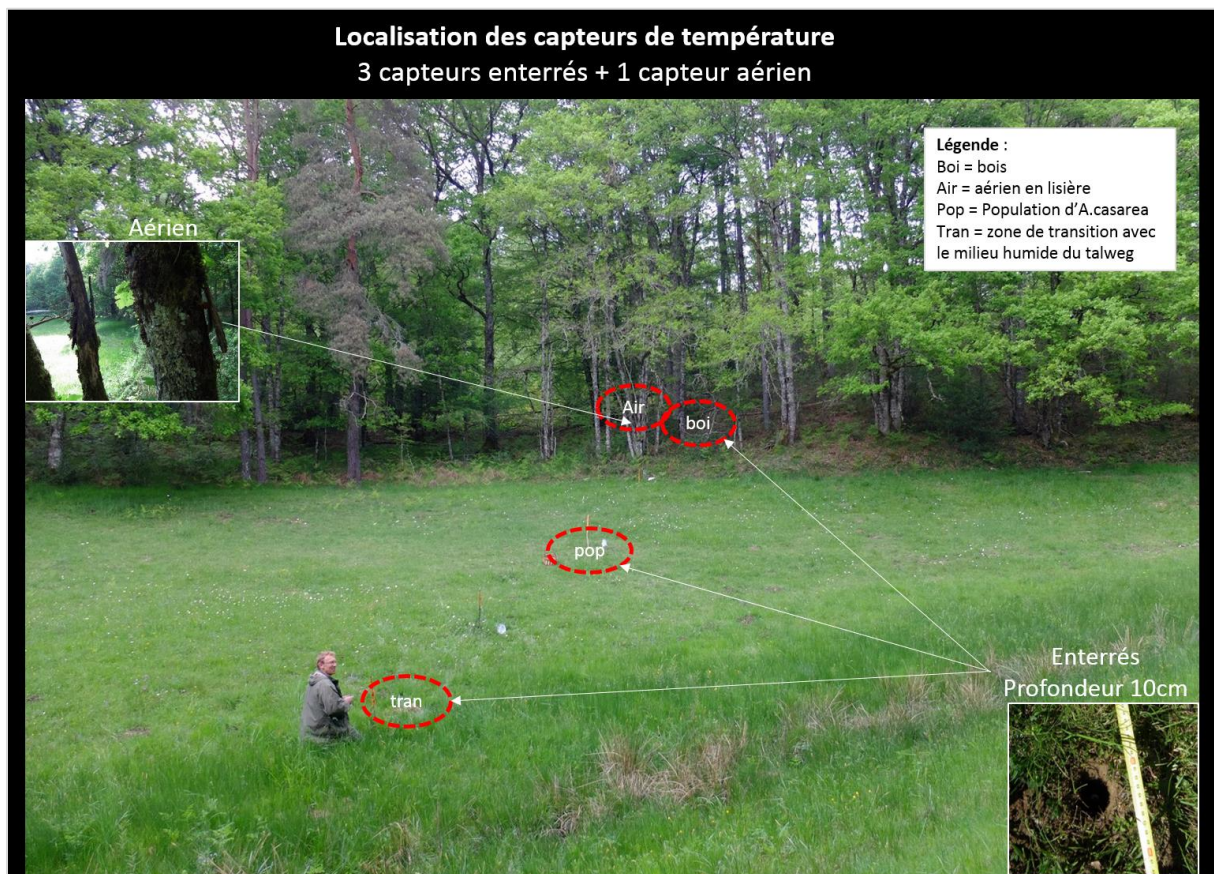


Figure 8 : Mise en place des capteurs de température sur la station HC35

En haute Corrèze, 3 sous-stations dites « cœur de projet » ont été équipées de 4 sondes (3 dans le sol et 1 aérienne).

Par ailleurs, une sonde aérienne a été placée dans la station Météo France de Neuvic pour effectuer un étalonnage du matériel en vue d'exploiter les données Météo France.

Les 14 autres sondes, toutes dans le sol, ont été installées dans les places à oronges. En haute Corrèze 10 sondes ont été placées dans les bandes de fructifications (Figure 9). En basse Corrèze et dans le Lot 2 sondes ont été placées en forêt dans les emplacements des fructifications.

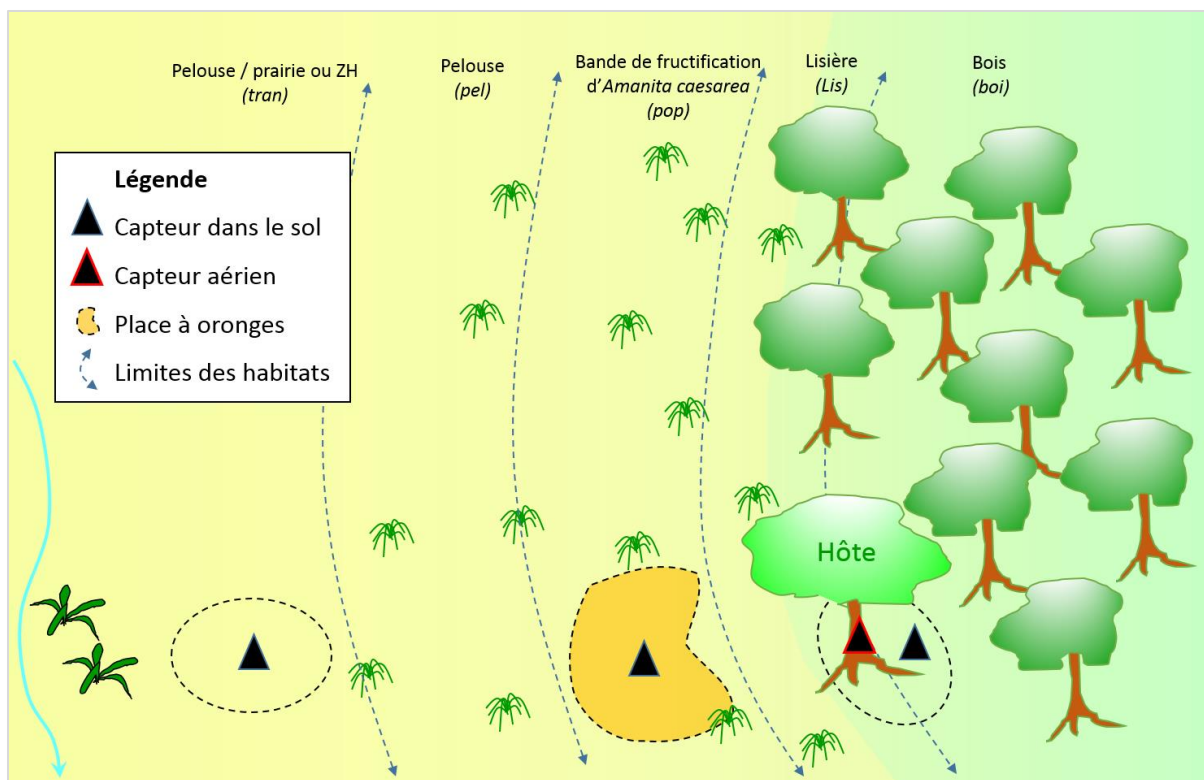


Figure 9 : Schéma de mise en place des sondes thermiques sur les stations HC3B, HC10 et HC35

Un premier relevé des capteurs a été réalisé en fin d'année 2015 pour effectuer un contrôle sur 15 d'entre eux. Il a permis d'archiver une série temporelle de 4 mois et demi (du 26/06 au 12/11). Les capteurs ont été replacés *in situ* début 2016 et 7 nouvelles sous-stations ont été équipées pour compléter le jeu de données.³

II.3.2. Analyse des séquences météorologiques

Au cours de la période 2011 à 2017, les données météorologiques de la station Météo France de Neuvic⁴ ont été analysées afin de déterminer l'influence des facteurs thermiques et hydriques sur la phénologie et l'intensité des poussées d'amanite des césars. La station de Neuvic est située à proximité du barycentre de la zone d'étude et traduit ainsi une valeur moyenne des paramètres analysés (Figure 3). Les données mises à disposition comprennent les valeurs journalières de température minimum, maximum et moyenne ainsi que de précipitations.

³ Les capteurs aériens ont été remis en place avec un nouveau matériel en 2016. L'enveloppe en jute qui permettait de les suspendre aux arbres hôtes présentait l'inconvénient de constituer une enveloppe tampon qui stockait de l'humidité et biaisait potentiellement les données de température. Ces enveloppes ont été remplacées par une toile de moustiquaire plastique de maille 1 mm. L'hôte support de la station HC3B était situé dans un contexte boisé plus fermé que les stations HC10 et HC35 (observation d'un début de moisissure), un changement d'hôte a été réalisé pour homogénéiser les 3 contextes.

⁴ Ces données ont été fournies par Cyril Bernard du CEFE dans le cadre d'une collaboration entre le CNRS et Météo France.

II.4. Analyse des biodiversités associées à *Amanita caesarea*

Les différents inventaires (mycologiques vs botaniques vs entomologiques) ont été réalisés sur des ensembles de stations sensiblement différents en raison de contraintes liées aux modèles biologiques étudiés et aux aléas terrain. L'échantillonnage botanique est plus large que les relevés mycologiques afin d'intégrer des stations présentant de possibles raretés ou espèces patrimoniales. En revanche, l'échantillonnage des orthoptères a été réduit pour s'adapter à des contraintes de disponibilité en temps.

II.4.1. Communautés fongiques

Un inventaire a été réalisé sur 20 sous-stations (dont 11 productrices d'*Amanita caesarea*) de haute Corrèze, à partir des observations de carpophores. Il concerne donc les espèces à fructification épigée appartenant à la guildes mycorhizienne. Leur détermination est rendue complexe par la grande diversité des espèces retrouvées et par le niveau d'expertise élevé que nécessite l'identification taxonomique au rang spécifique au sein certains genres (Russules, Cortinaires et Inocybes notamment). La plupart des carpophores trouvés ont été pris en photo et soumis à l'expertise du Dr Pierre-Arthur Moreau (Université de Lille) afin de limiter drastiquement le taux d'identifications erronées. Cependant, toutes les espèces n'ont pas pu être déterminées et certaines ont été assignées au niveau du genre, de manière conservatrice.

L'effort de prospection, étalé de mai à novembre en 2014, 2015 et 2016 principalement, a concerné les pelouses, lisières et prairies attenantes aux places à oronges (11 populations avérées productrices concernées par cet échantillonnage) d'une part, et les mosaïques d'habitats des zones candidates (9 zones non avérées) d'autre part.

II.4.2. Communautés végétales et habitats naturels

Les premiers inventaires botaniques ont été réalisés sur 13 stations (dont 15 sous-stations productrices d'oronges) en mai et juin 2015. Ils ont permis d'établir une liste d'espèces la plus complète possible en inventoriant la diversité végétale au sein des différents habitats présents sur les stations. Ce travail d'identification faisant appel à des compétences très spécifiques, le Conservatoire Botanique National du Massif Central a été sollicité pour apporter son appui technique. Laurent Chabrol, responsable de l'antenne Limousin s'est joint au projet. Son expertise a permis de structurer l'information et d'affiner la détermination des espèces (Figure 10).



Figure 10 : Inventaire botanique sur HC37
F. Richard, L. Chabrol

En juin 2016, des relevés phytosociologiques ont été réalisés sur 12 sous-stations dont 8 productrices d'oronges, afin de caractériser les groupements végétaux des pelouses hébergeant les populations d'amanite des Césars. Les coefficients d'abondance-dominance et de sociabilité

de Braun-Blanquet ont été assignés aux espèces présentes. Chaque groupement végétal a été assigné à un type d'habitat (pelouse, lisière ou « ourlet », prairie, etc.), et le type biologique des espèces constitutives y a été déterminé (annuel, bisannuel, vivace). Ce travail d'analyse phytosociologique est non encore finalisé, et se poursuit en collaboration avec Laurent Chabrol.

II.4.3. Communautés d'orthoptères

Les inventaires d'orthoptères, réalisés en 2015 et 2016 sur 10 stations dont 7 productrices d'oranges, se sont portés sur les criquets et les sauterelles, dont la valeur bio-indicatrice de la qualité de l'habitat est supposée dans ce type de milieu. L'échantillonnage consiste en un suivi estival et automnal (de juillet à octobre) et ainsi qu'en des prospections printanières (juin) pour la recherche d'espèces précoces.

La capture s'est faite à l'aide d'un filet, à l'occasion d'après-midis estivaux chauds et ensoleillés. L'étude de ce groupe taxonomique avait pour objectifs 1) d'élargir la qualification des enjeux de conservation de la biodiversité associée aux écosystèmes étudiés et 2) de rechercher des espèces candidates à la bioindication, c'est-à-dire dont les exigences écologiques (au niveau de l'habitat) convergent avec celles de l'amanite des césars (valeur indicatrice de la potentialité de stations futures). Les espèces ont été identifiées avec l'appui de Gaël Delpon (doctorant au CEFE).

La description des *Chorthippus* et *Biguttulus* s'est arrêtée au genre compte-tenu des difficultés de détermination des espèces.

II.5. Suivi diachronique des populations d'*Amanita caesarea*

II.5.1. Relevés in situ

Un suivi diachronique des 47 stations candidates a été initié en 2011. Tout d'abord ponctuel et associé aux principaux épisodes de pluie en 2012 et 2013, l'effort de prospection a été systématisé à partir de 2014, afin de suivre le plus finement possible, entre juin et septembre, les populations détectées, pour conduire à un total de 746 prospections sur la durée de l'étude (Tableau 2). Ce suivi systématisé des stations de haute Corrèze a été réalisé pour permettre de définir les dates de début et de fin de poussée, sur chaque sous-station.

Tous les carpophores d'amanite ont été prélevés et numérotés pour analyses, quels que soit leurs états de développement. Le relevé est considéré comme exhaustif pour les années 2014 à 2017, grâce à l'effort d'échantillonnage développé.

Tableau 2 : Effort de prospection réalisé sur les stations de Haute Corrèze entre 2011 et 2017

Année	Nombre de prospections réalisées
2017	93
2016	145
2015	210
2014	224
2013	55
2012	Plusieurs prospections estivales
2011	19
Total	746

Sur les différentes stations, le relevé quantitatif s'est accompagné d'une localisation spatiale des carpophores afin de calculer 1) la distance moyenne des carpophores à la lisière forestière, et 2) la distance maximale des carpophores à la lisière et à l'hôte potentiel le plus proche. Cette distribution a été mise en relation avec la distribution du mycélium d'amanite dans le sol.

II.5.2. Analyses morphométriques de carpophores d'*Amanita caesarea*

Tous les carpophores qui ont pu être collectés en 2013, 2014, 2015 et 2016 ont été pesés « sur le frais » (stipe, chapeau) et mesurés individuellement (longueur du stipe, diamètre du chapeau) après avoir retiré la volve ([Annexe 11](#)). La productivité biologique a été entendue comme « le nombre total et/ou la masse fraîche de carpophores produits par unité de surface au cours d'une saison de fructification » (Pilz & Molina, 2002).

Ce travail a été conduit en haute Corrèze (272 carpophores analysés), en basse Corrèze (4 carpophores analysés) et dans le Lot (17 carpophores analysés). Ces données ont été comparées au jeu de données constitué en Haute-Corse et dans l'Hérault (note infra page 18).

Pour chaque carpophore prélevé, un stade de développement a été assigné parmi les trois stades tels que définis dans la Figure 11.

Désignation du stade	Caractéristiques
Volve close (« œuf »)	Sporophore intégralement enclos par le voile général non déchiré
Conique en croissance	Sporophore à chapeau non étalé, à marge partiellement adhérente au voile général
Mature plan	Sporophore à chapeau plan, à volve non adhérente à la marge du chapeau

Figure 11 : Typologie des stades de développement des carpophores d'*Amanita caesarea* (d'après Richard & al, 2010, adapté)

Sur les individus en bon état sanitaire (c'est-à-dire non parasités et non décomposés), des prélèvements de chapeau ont été réalisés en vue d'analyses génétiques (microsatellites). Des morceaux de 5 mm de côté ont été prélevés au scalpel et mis à sécher à l'air libre dans des tubes Eppendorf de 2 ml (Figure 12). En 2015, sur les 224 carpophores collectés en haute Corrèze ; 211 étaient en état suffisant pour faire l'objet d'un prélèvement.



Figure 12 : Mesures biométriques et prélèvements de tissus

II.5.3. Estimation des individus végétatifs d'*Amanita caesarea*

Une cartographie des fructifications a été réalisée sur la période 2011-2014 dans chaque station. Cette cartographie a servi de base pour déterminer l'emplacement des prélèvements de sol à réaliser pour le dosage du mycélium d'*Amanita caesarea* par qPCR (Figure 14).

Au total, sur 7 populations connues, cinq prélèvements de sol ont été effectués dans 5 types d'habitats, selon l'échantillonnage décrit (Figure 13) : en forêt, en lisière, dans la place à amanite des césars, dans la pelouse au-delà de la place et dans le milieu de transition avec la zone humide du talweg. Les prélèvements ont été réalisés en mai 2015 et envoyés à X. PARLADÉ (Investigator IRTA (Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries), Barcelone, Espagne) pour dosage d'inoculum (spores et mycélium) d'*Amanita caesarea* par PCR quantitative à l'aide de sondes spécifiques développées par son laboratoire (Parladé & al, 2015).

Au laboratoire CEFÉ, les sols ont été tamisés à 2mm, puis leur ADNtotal extrait à l'aide du kit Power Soil (MoBio Laboratories, Carlsbad, CA, USA) selon le protocole du fabricant. Afin de fournir une idée représentative des concentrations de mycélium présentes dans les sols des populations d'orange, cinq échantillons ont été prélevés, tamisés et assemblés (aliquots de 2g ; Figure 13) pour chaque habitat de chacune des 7 stations analysées.

La quantification du mycélium extramatriciel d'amanite a été réalisée à Barcelone par X. Parladé par *quantitative Taqman PCR* (qPCR) à l'aide d'amorces développées par lui-même. Brièvement, des triplicats de *real-time PCR* ont été effectués sur chaque échantillon à l'aide de la Taq 2X Takara Premix Ex (Perfect Real Time, Takara Bio Europe, SAS, France), les

oligonucléotides spécifiques, les amorces, et ajustés à un volume de 20 µl à l'aide d'eau HPLC. Le programme utilisé dans le thermocycleur comprenait 95°C pendant 30 s, suivi de 40 cycles à 95°C pendant 5 s et 60°C pendant 34 s, et a été réalisé sur un appareil StepOne Plus Real-Time PCR équipé du logiciel STEPONE v. 2.3 (Life Technologies, Carlsbad, CA, USA). Pour chaque station, un étalon a été préparé en ajoutant 0.01 g de carpophore d'*Amanita caesarea* à 0.24 g de sol. Des courbes ont été réalisées pour chaque station à l'aide de séries de dilutions, et leur comparaison avec les résultats issus de l'extraction d'une quantité connue de carpophore utilisée pour déterminer la concentration de mycélium dans le sol (pour plus de détail, cf. Taschen et al. 2016 pour un protocole identique appliqué à *Tuber melanosporum*).

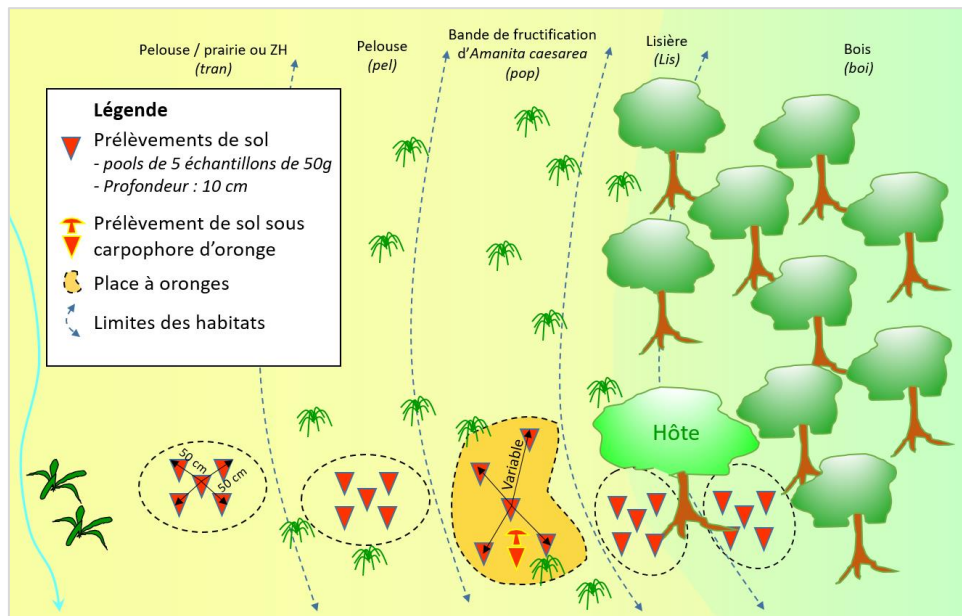


Figure 13 : Schéma des prélèvements de sol pour dosage des ADN végétatifs d'*Amanita caesarea*

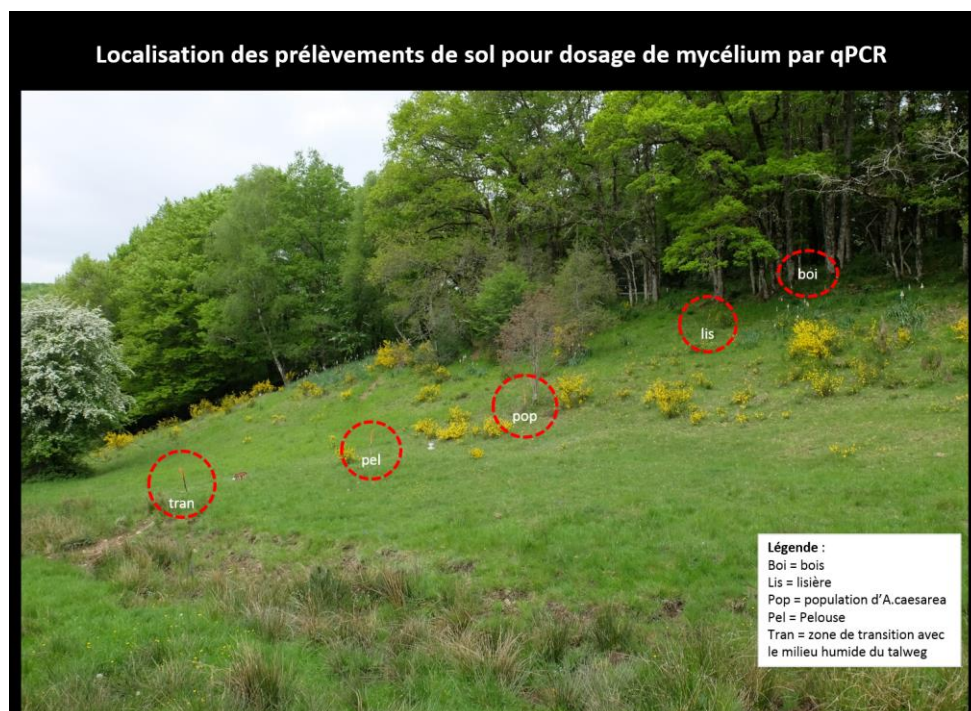


Figure 14 : Prélèvements de sol sur la station HC10

La Figure 15 présente le dispositif expérimental mis en place pour explorer la distribution fine du mycélium au sein des places à oronge. Des « transects qPCR » ont été réalisés sur différentes sous-stations (l'exemple de la station 3, composées de cinq sous stations, Figure 15), de manière orthogonale à la lisière forestière, pour permettre l'échantillonnage de l'environnement racinaire de l'hôte dans le bois, à la lisière, dans la population (très largement associée à la zone prairiale) et au-delà.

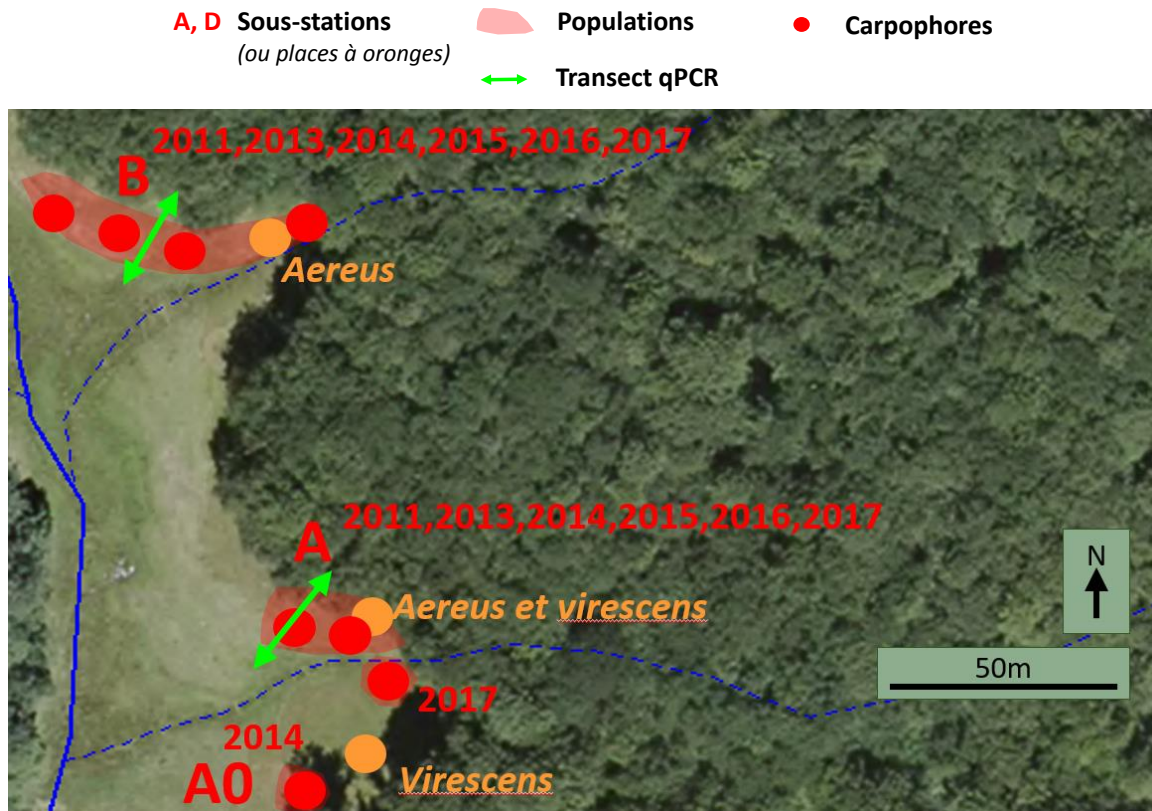


Figure 15 : Localisation des fructifications sur la station HC3

Les cercles rouges indiquent la présence de fructifications d'oranges. Les lettres majuscules indiquent les 3 sous-stations, et les années de fructifications. Les flèches vertes indiquent les transects de prélèvement de sol pour les analyses par qPCR. Les cercles orange indiquent la présence d'espèces compagnes.

II.5.4. Analyse moléculaire des carpophores

Les opérations présentées ci-après ont été réalisées au laboratoire CEFE, et assurées par Yasmin Pinuela, stagiaire dans le cadre du programme *Biolink (Linking belowground biodiversity and ecosystem function in European forests, Short Term Scientific Mission STSM, COST Action FP1305)*.

Extraction d'ADN

Au laboratoire CEFE, les extractions d'ADN des échantillons de carpophores ont été effectuées à l'aide du kit d'extraction DNeasy Plant mini kit (Qiagen) selon les recommandations du fabricant, avec les modifications suivantes : des morceaux de carpophores, soit congelés, soit secs, prélevés dans les lamelles et pesant environ 100 mg (cube de 2 mm de côté) sont broyés à l'aide d'un pilon dans le tampon AP1 additionné d'une pincée de sable de Fontainebleau

(abrasif) et de polyvinylpolypyrrolidone (fixant les tannins). L'ADN extrait est mis en suspension dans un volume final de 100 µl d'eau stérile. La qualité de l'ADN extrait a été évaluée visuellement sur gel d'agarose à 0.8%, après électrophorèse.

Typage par les marqueurs microsatellites

Treize loci microsatellites polymorphes ont été utilisés dans cette étude, tous issus d'une banque enrichie séquencée par pyroséquençage (Martin et al. 2010) et préalablement mise au point au laboratoire CEFE par M.-P. DUBOIS (mise au point des amorces, vérification du polymorphisme et de l'absence d'homozygotes nuls sur un jeu de 25 carpophores). Les caractéristiques de ces marqueurs sont résumées dans le Tableau 3. Les 13 marqueurs ont été amplifiés soit seuls, soit en multiplexage, par PCR avec le kit Multiplex Qiagen dans des thermocycleurs Mastercycler (Eppendorf).

Les produits PCR ont été dilués 50 à 100 fois dans de l'eau distillée, et 3 µl de ces dilutions ont été ajoutées à un mélange composé de 15 µl de formamide déionisée et de 0.2 µl de marqueurs de poids moléculaire LIZ 500 (Applied Biosystems). Les fragments d'ADN amplifiés ont ensuite été séparés par électrophorèse très résolutive, à l'aide d'un séquenceur automatique 16 capillaires ABI Prism 3100XL (Applied Biosystems). La taille des fragments d'ADN a été déterminée à l'aide du logiciel Genemapper V4.0 (Manuel simplifié d'utilisation, fourni par le fabricant). L'annexe 6 comporte le détail des carpophores génotypés par site et par année.

Tableau 3 : Caractéristiques des treize marqueurs microsatellites utilisés dans l'étude des populations d'*Amanita caesarea*

Locus	Motif répété	Nombre de répétitions	Nombre d'allèles	Taille des allèles
AC9	GA	11	6	171 175 179 181 185 187
AC10	CAA	8	3	81 86 89
AC13	TG	10	5	76 78 82 84 86
AC23	ACA	9	3	136 141 144
AC32	TACA	5	3	190 198 206
AC1	CT	11	5	108 114 116 118 122
AC28	GGA	7	9	108 112 116 118 120 122 124 131 133
AC4	AG	15	5	118 120 122 130 132
AC5	ATC	14	6	122 131 134 136 146 150
AC25	GGT	10	3	132 135 145
AC20	ATAG	5	9	94 102 105 108 111 114 118 122 134
AC26	TC	11	3	82 84 86
AC11	TC	11	5	102 108 110 112 114

La validation du jeu de marqueurs par saturation de l'information génotypique a été réalisée dans le cadre de l'étude de la population d'*Amanita caesarea* du Fango (Corse) en 2011. La probabilité que 2 carpophores aient la même combinaison d'allèles par chance plutôt que par ré-échantillonnage du même génotype (propagation végétative), est très faible allant de 0.0019 (plusieurs carpophores par genet) à 0.00018 (1 carpophore par genet). La saturation théorique du nombre minimal de loci nécessaire à la détection de tous les génotypes formant la population du Fango est atteinte, dans notre étude, avec 8 marqueurs (Figure 16).

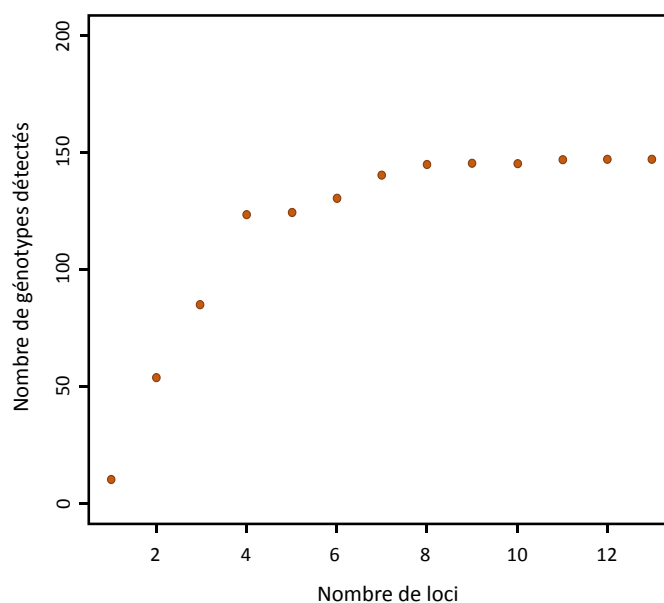


Figure 16 : Distribution du nombre moyen de génotypes d'*Amanita caesarea* détectés en fonction du nombre de loci microsatellites utilisés

Diversité génétique aux niveaux local (Haute Corrèze), régional (sud-Massif Central) et national

Tous les carpophores possédant une même combinaison d'allèles ont été considérés comme appartenant à un seul et même genet. L'analyse des profils microsatellites a été réalisée sur 266 échantillons de Haute Corrèze, 8 échantillons de basse Corrèze, 57 échantillons du Lot, 4 échantillons de l'Hérault et comparée aux résultats obtenus par Salomon (2011) dans la Réserve de Biosphère du Fango (331 échantillons).

Pour qualifier les diversités génétiques locales, le nombre de génotypes par station (ou station) a été utilisé comme premier approche « grossière ». Pour les stations de Haute-Corrèze, il n'a pas été réalisé d'analyse probabiliste avec le logiciel Genpop (tel que le test de déséquilibre génotypique et de Hardy-Weinberg), ce travail étant programmé en 2019 dans le cadre d'un stage de Master 2 de l'Université de Montpellier co-encadré avec François Rousset (CNRS, UMR ISEM) et Franck Richard.

II.6. Plan d'échantillonnage

Le Tableau 4 présente la synthèse des échantillonnages et mesures réalisés sur les stations de haute Corrèze, Basse Corrèze et du Lot et présentés dans les chapitre II.4, II.5 et II.6.

II.7. Analyses statistiques des données

Le traitement statistique des données a été réalisé à l'aide du logiciel RStudio, R version 3.2.2 (2015-08-14 ; logiciel libre). Le package GGplot2 a été utilisé pour certaines représentations graphiques.

La comparaison des caractéristiques biométriques des carpophores d'*A. caesarea* a été réalisée par analyse de variance (Wilcoxon, Kruskal-Wallis, Anova, test de Tuckey).

Les approches corrélatives par traits ont été réalisées à l'aide d'analyses multivariées (ACP) et testées statistiquement avec des tests de corrélation de Pearson.

Le déterminisme des poussées (étude de la phénologie) a été exploré à l'aide de tests de corrélation de Pearson et de modèles linéaires (avec termes quadratiques et termes d'interaction).

Pour l'ensemble du travail, toutes les significativités ont été testées avec un seuil de significativité à 0,05 (p).

III. RESULTATS

III.1. Biologie et écologie d'*Amanita caesarea*

Dans cette première partie des résultats, il sera successivement abordé **1)** les patrons spatiaux du mycélium d'amanite des Césars dans les places à oronge et les liens entre la distribution de cet appareil végétatif et les habitats, **2)** l'analyse de la variabilité morphologique de l'appareil reproducteur de cette espèce au regard de l'origine géographique (Corse vs Corrèze), puis **3)** la part des facteurs abiotiques (température, précipitations) dans le déterminisme de la fructification de cette espèce, et enfin **4)** la structuration génétique des populations à diverses échelles, de la place à oronge à la zone méditerranéenne française.

III.1.1. Distribution de l'appareil végétatif dans la place à oronges : effet de l'habitat et de la distance séparant l'hôte sur la concentration en mycélium dans le sol

La Figure 17 montre les résultats de cette analyse, réalisée sur 7 populations de Haute-Corrèze. Il ressort de cette analyse que les concentrations de mycélium d'amanite des césars dans le sol **1)** varient très fortement entre les différents habitats échantillonnés sur une même station (ou sous-station, lecture verticale et **2)** varient tout autant, pour un même habitat, entre les stations (ou sous-stations, lecture horizontale de la Figure 17).

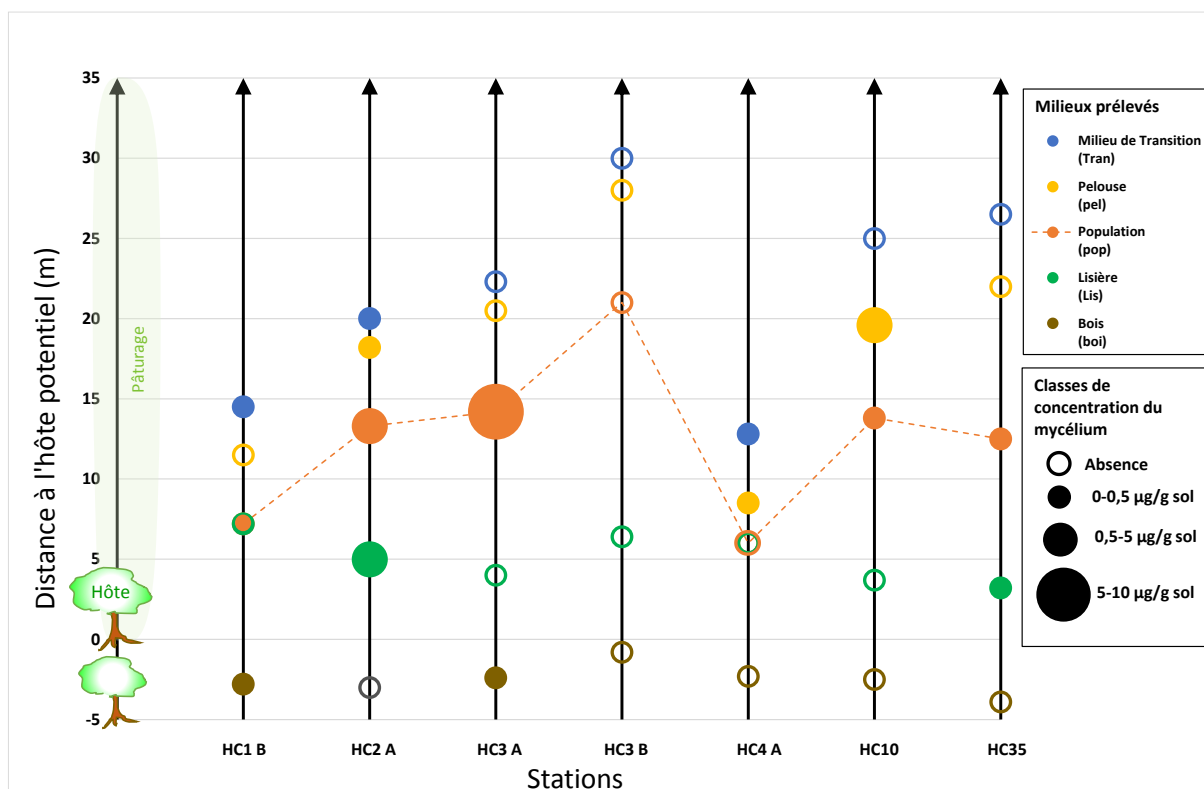


Figure 17 : Abondance de mycélium d'*Amanita caesarea* dans les transects

Au sein d'une même station, les concentrations maximales ont généralement été mesurées dans les places à oronges (zone de fructification, stations HC1, HC2, HC3A et HC35), ou dans la

pelouse attenante (HC 4A et HC10). Du mycélium en concentrations importantes a également été détecté dans les milieux de transitions, (HC2A), ainsi qu'à la lisière du bois (HC2A) et dans le boisement (HC1B et 3A). Dans ce dernier habitat, les valeurs mesurées restent modestes (de 0,015 à 0,031 $\mu\text{g/g}$ de sol), largement inférieures aux maximales enregistrées dans les habitats de transition (0,061 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de sol), les lisères (1,072 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de sol), les pelouses (1,87 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de sol) et surtout les places de fructification (9,081 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de sol). De manière convergente, les concentrations maximales enregistrées dans les boisements de Corse sont plus faibles (maximum enregistré sur place à oronge dans la forêt de chêne vert du Fango, 0,84 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de sol ; cf. [Annexe 7](#)).

La concentration de mycélium dans le sol des places à oronges, c.a.d. sur les lieux exacts de fructifications, est significativement plus élevée que dans les autres habitats ($P=0,023$ test non paramétrique de Wilcoxon ; Figure 18).

Il est à noter que dans la station HC3B, il n'a pas été détecté de mycélium d'oronge dans le sol aux emplacements des prélèvements. Ce résultat négatif pourrait refléter la distribution en mosaïque du mycélium dans le sol, déjà observée pour d'autres espèces comme la truffe noire du Périgord (Taschen et al. 2015). Ce résultat négatif invite à considérer avec prudence les valeurs mesurées.

La Figure 17 indique que l'on retrouve le mycélium de manière privilégiée dans une zone située dans la pelouse, entre 5 et 20 m de l'hôte potentiel. Ainsi, des échantillons de sol ont livré la présence de l'amanite sous forme de mycélium jusqu'à 20 m de l'hôte potentiel (HC2A). Dans quatre stations, du mycélium a été détecté au-delà de la place à oronge, au sien des sols hydromorphes de HC1B, HC2A et HC4A, mais aussi dans les pelouses situées entre les zones de fructification et ces fonds de vallons (HC 2A, HC4A et HC10, Figure 17). Cette distance est à mettre en relation avec la distance des carpophores échantillonnés au cours de l'étude, jusqu'à 30 m pour HC3B. Cette distance correspond approximativement à la hauteur dominante des chênes pédonculés qui constituent la lisière.

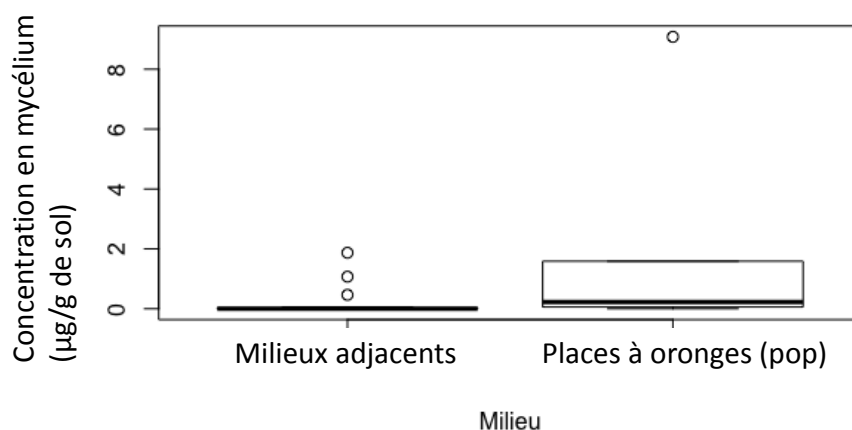


Figure 18 : Densité de mycélium d'*A. caesarea* dans le sol des places à oronge (pop) et dans les habitats adjacents (bois, lisières, pelouses et milieux de transitions)

III.1.2. Analyse quantitative de la production d'*Amanita caesarea* et approche morphométrique de l'appareil reproducteur

III.1.2.1. Variation inter-stationnelle et inter-annuelle de production de biomasse

On cherche ici à étudier les variabilités morphométriques dans le temps (entre années) et dans l'espace (à diverses échelles). Du suivi de la production de biomasse de carpophores produits sur 7 stations de 2014 à 2017 et 2 stations complémentaires de 2015 à 2017 (Annexe 8), il ressort que :

- De fortes variations en nombre de carpophores, en masse et en productivité (kg/ha) ont été observées dans toutes les stations. Il a été observé un pic de production en 2015, année au cours de laquelle les 7 stations connues ont produit (Figure 20). Cet événement a été suivi d'un creux en 2016, année au cours de laquelle seulement 2 stations ont produit des carpophores. Les stations HC1 et HC4 ont montré les plus fortes variations interannuelles. A l'opposé, HC3 a été la station la moins sujette aux variations de production avec un minimum ($3,15 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$) seulement trois fois inférieur au maximum ($9,97 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$; Figure 19). Il est à noter que cette station a montré une dynamique inter-annuelle de production clairement différente des autres stations, au cours de la période d'étude : pour elle, l'année de plus forte production fut 2016, année très faible pour les autres stations (Figure 19).
- La masse annuelle de carpophores produite a varié de 3,6 à 15,1 kg (Figure 20). Ramenée à l'hectare, cette production s'est élevée en moyenne, au niveau du territoire d'étude, à $3,98 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$. Une productivité maximale de $28,63 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ a été observée dans HC1 en 2015, et une production nulle a été rapportée pour 10 couples [stations x année] au cours de l'étude. A titre de comparaison, dans la réserve de Biosphère du Fango, la plus forte production observée au cours de 10 années de suivi s'est élevée à $20,3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$.
- Il n'y a pas de lien établis entre la productivité et la surface des stations. (corrélation de Pearson ; Productivité moyenne : $p = 0,61$ et Productivité maximale : $p = 0,78$).

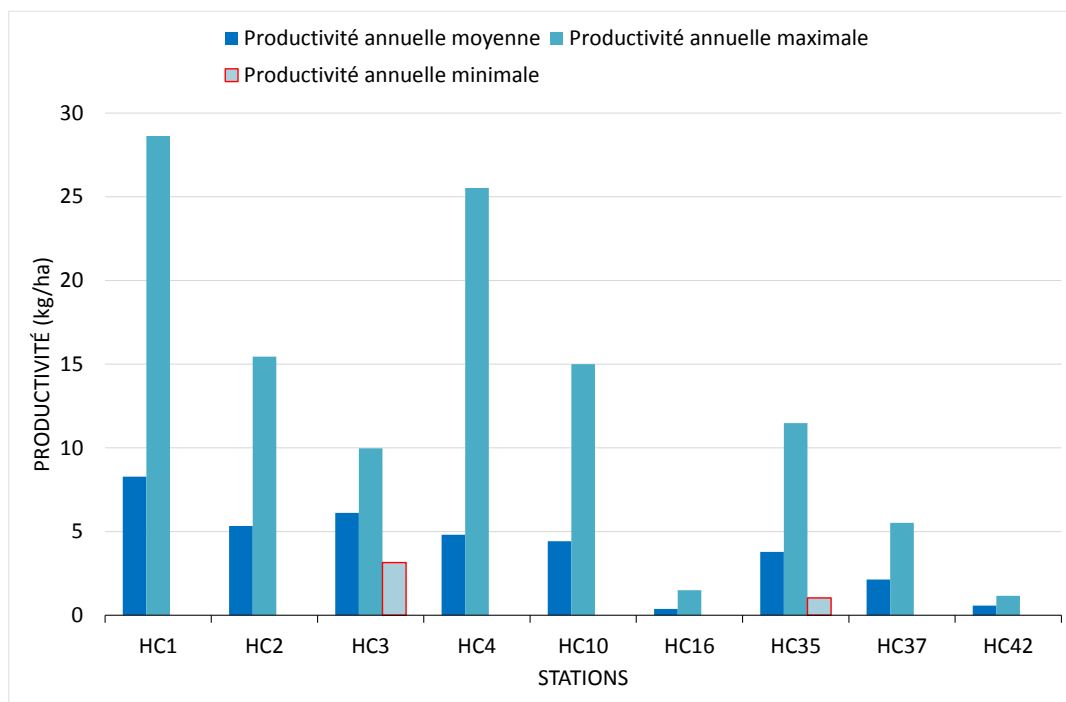


Figure 19 : Productivité des stations à *Amanita caesarea* de Haute-Corrèze mesurée entre 2011 et 2017

La masse annuelle de carpophores produits sur les 7 stations connues en 2014 est expliquée à 98% par le nombre de carpophores produits (Régression linéaire ; $p = 0,008$). Le nombre de carpophores produits a varié de 49 à 232 (Figure 20). Par ailleurs, il n'a pas été trouvé de lien entre le nombre de carpophores produits sur une station au cours d'une année et le poids moyen de ces carpophores ($p=0,44$; test de corrélations de Pearson).

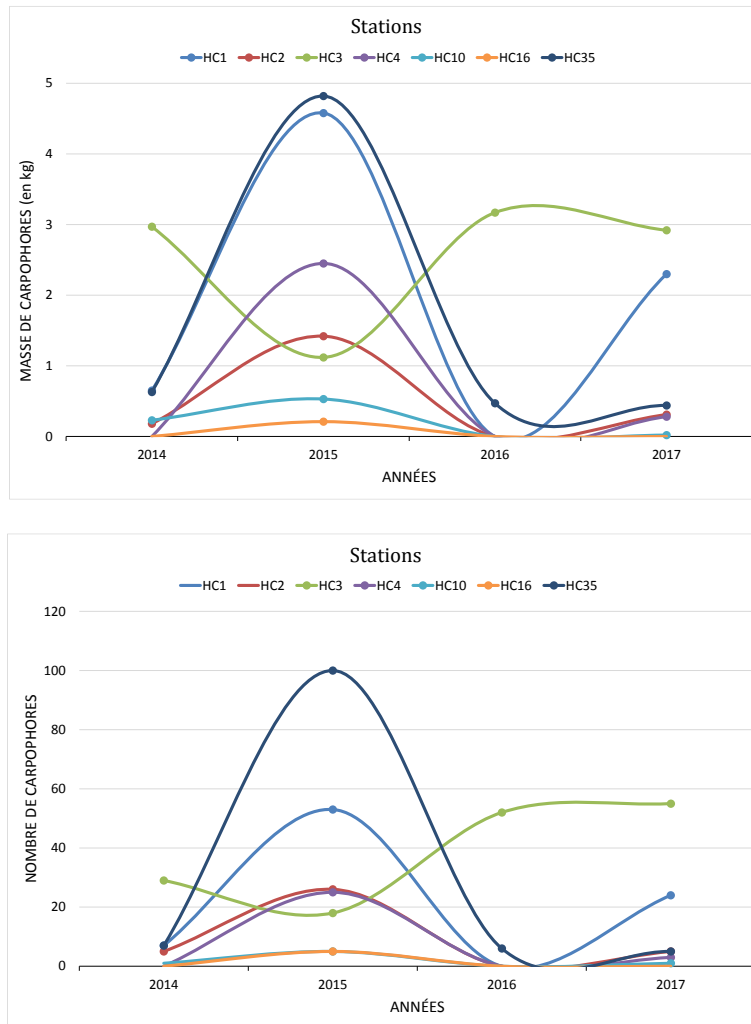


Figure 20 : Masse annuelle de carpophores (en haut) et nombre de carpophores (en bas) produits sur les 7 stations connues en 2014

III.1.2.2. Variabilité morphologique des carpophores

a) Comparaison Corse – Haute Corrèze

La variabilité morphologique a été analysée sur 94 carpophores de haute Corrèze prélevés sur la période 2013-2016 et 71 carpophores de Corse prélevés sur la période 2002-2006. Afin de limiter les différences de caractères mesurés liés à des stades de développement différents, l'analyse s'est portée sur les exemplaires récoltés au stade « mûre plan » (Figure 11 ; [Annexe 11](#)).

Les carpophores analysés ont pesé de 10 à 643 g pour les populations de Haute Corrèze, et de 20 à 296g pour la population de Corse (Tableau 5). La distribution des individus récoltés (Figure 21) ne suivait pas une loi Normale, les sporophores de faible masse étant surreprésentés.

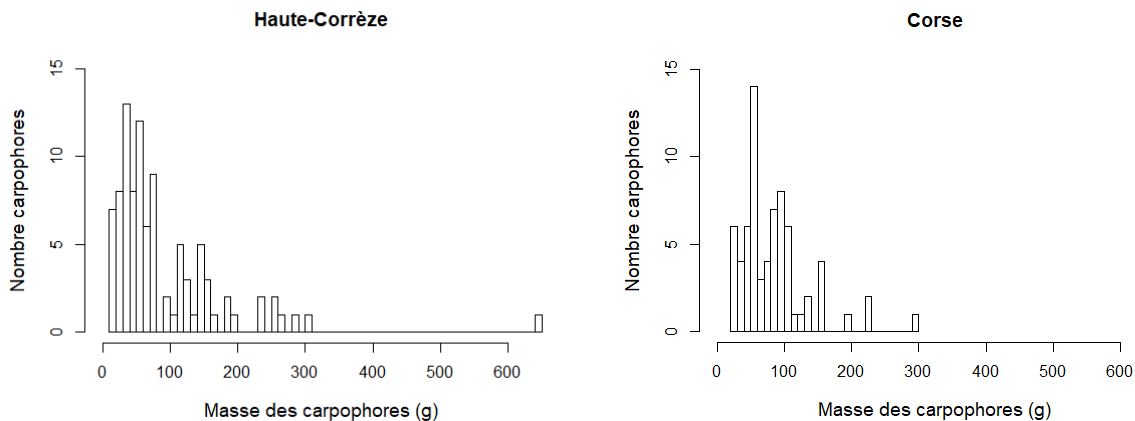


Figure 21 : Distribution de la masse totale des carpophores en Haute-Corrèze et en Corse

La masse moyenne (\pm écart-type) du sporophore des amanites au stade de développement maximum s'élevait à 92 ± 89 g en Haute Corrèze, et à 83 ± 75 g en Corse (Tableau 5). Cette différence n'était pas significative ($p=0,41$; test de Wilcoxon).

Tableau 5 : Statistiques descriptives des variables biométriques mesurées sur des carpophores au stade mûre plan

	Haute Corrèze				Corse			
	Moyenne	Ecart type	Min	Max	Moyenne	Ecart type	Min	Max
Poids total du sporophore	92 g	± 89 g	10 g	643 g	83 g	± 75 g	20 g	296 g
Poids du chapeau	72 g	± 74 g	6 g	532 g	50 g	± 61 g	12 g	183 g
Hauteur du stipe	76 mm	± 22 mm	25 mm	133 mm	103 mm	± 27 mm	14 mm	153 mm
Diamètre maximum du chapeau	111 mm	± 34 mm	42 mm	200 mm	87 mm	± 32 mm	45 mm	151 mm

En revanche, les spécimens de Haute-Corrèze apparaissent de plus faible taille et pourvus d'un chapeau plus large ($p<0,001$; test de Wilcoxon). Cf. [Annexe 9](#).

b) Variabilité stationnelle

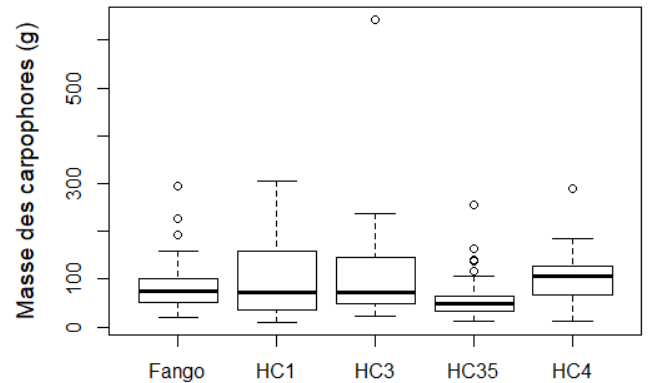
L'analyse suivante propose d'évaluer l'effet station en distinguant les 4 stations de Haute-Corrèze présentant le plus grand nombre de carpophores produits. (HC1, 10 ; HC3, 21 ; HC4, 10 et HC35, 38) et la station du Fango en Corse (71). Ainsi, un effet station significatif apparaît pour les trois variables mesurées (masse totale, diamètre du chapeau et hauteur du stipe ; Figure 22).

Les carpophores du Fango présentent un diamètre de chapeau significativement plus faible que ceux des quatre stations de Haute-Corrèze et un stipe significativement plus grand ($p < 0,001$; test anova) que les stations HC3 et HC35 ; Figure 22b et c).

Un test de Tuckey réalisé pour la variable « Hauteur du stipe » permet de distinguer deux groupes en Haute Corrèze, d'une part les stations HC1 et HC4 et d'autre part les stations HC3 et HC35 (Figure 22c).

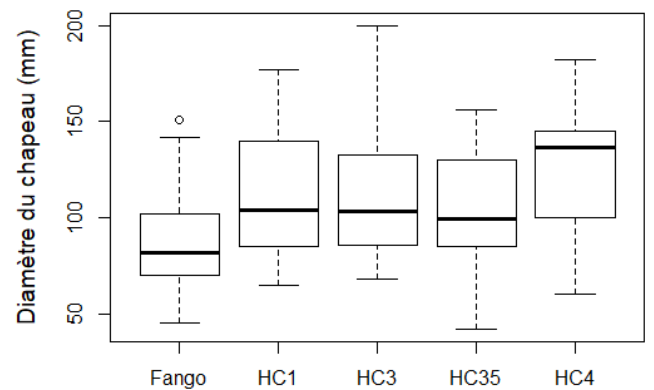
Masse des carpophores

Kruskal Wallis	Anova	Tucy
Populations différentes p value = 0,012	-	-



Diamètre du chapeau

Kruskal Wallis	Anova	Tucy
Populations différentes p value = 0,0014	Populations différentes p value = 0,00011	HC1-Fango : 0.0619033 HC3-Fango : 0.0174884 HC35-Fango : 0.0593871 HC4-Fango : 0.0023273 HC3-HC1 : 0.9974400 HC35-HC1 : 0.8448131 HC4-HC1 : 0.9274828 HC35-HC3 : 0.9071095 HC4-HC3 : 0.7094314 HC4-HC35 : 0.2522871



Hauteur du stipe

Kruskal Wallis	Anova	Tucy
Populations différentes p value = 8,54e-11	Populations différentes p value = 2,24e-11	HC1-Fango : 0.6746920 HC3-Fango : 0.0000003 HC35-Fango : 0.0000000 HC4-Fango : 0.3661548 HC3-HC1 : 0.0697566 HC35-HC1 : 0.0488836 HC4-HC1 : 0.9958804 HC35-HC3 : 0.9999788 HC4-HC3 : 0.1857219 HC4-HC35 : 0.1499107

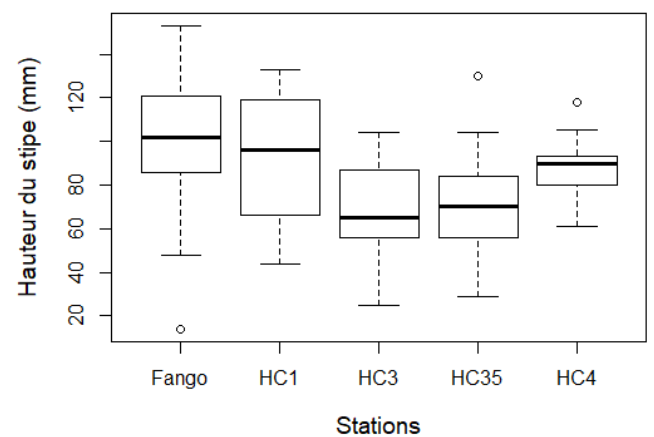


Figure 22 : Distribution et tests statistiques de comparaison a) des biomasses (en haut), b) des diamètres de chapeau (au milieu) et c) des hauteurs de stipe (en bas) d'*Amanita caesarea* au sein de cinq stations de Haute Corrèze et de Haute Corse

c) Variabilité inter-annuelle

Afin d'explorer plus avant le déterminisme de la variabilité morphologique des carpophores, l'analyse suivante s'est concentrée sur la variabilité interannuelle au sein d'une même station, une telle variabilité pouvant être associée à des paramètres climatiques. Cette analyse a été réalisée sur HC3, seule station possédant des effectifs suffisants. Le jeu de données testé montre une tendance, mais pas de différence significative entre 2014, 2015 et 2016 pour la hauteur de stipe ($p=0,16$ test de Kruskal-Wallis ; Figure 23).

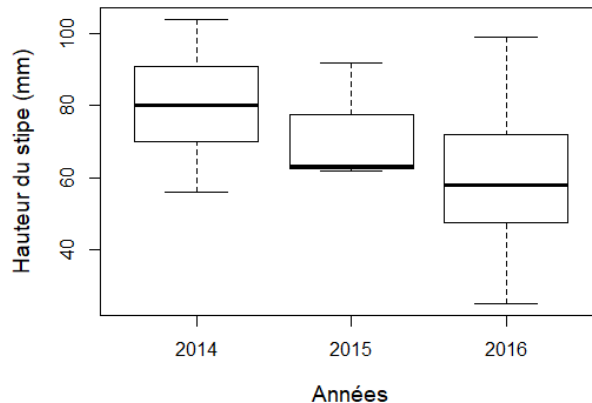


Figure 23 : Distribution des hauteurs de stipe d'*Amanita caesarea* au sein de la station HC3 de haute Corrèze, entre 2014 et 2016

Ces résultats sont à prendre avec précaution compte-tenu des faibles effectifs disponibles (2014 : 7 ; 2015 : 3 ; 2016 : 11).

d) Analyse des compromis morphométriques

Pour finir, et de manière complémentaire aux trois traits précédemment testés, deux ratios ont été utilisés comme proxys de l'investissement reproductif, et leurs valeurs comparées sur les stations à plus forts effectifs :

Investissement pour la dispersion des spores = hauteur du stipe (mm)/diamètre du chapeau (mm).

Investissement pour la production de spores = masse du chapeau (g)/masse totale(g)

Les tests ont été réalisés au niveau biogéographique pour tenter de distinguer des différences entre les populations de Haute-Corrèze et de Corse. L'analyse comparative entre 94 carpophores de haute-Corrèze prélevés sur la période 2013-2016 et 71 carpophores de Corse prélevés sur la période 2002-2006 montre une différence significative pour les deux ratios mesurés. Les populations de Haute Corrèze présentant des investissements plus faibles dans la hauteur du stipe ($p < 0,001$ test de Wilcoxon ; Figure 24) et plus importants dans la biomasse du chapeau ($p < 0,001$ test de Wilcoxon ; Figure 25). Cf. [Annexe 10](#).

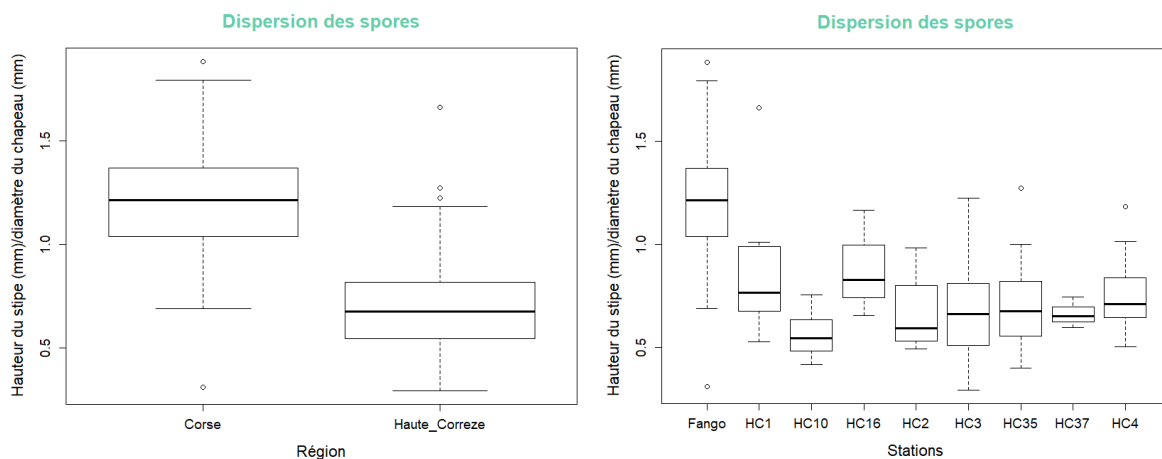


Figure 24 : Distribution du compromis morphométriques « Dispersion des spores » à l'échelle biogéographique (à gauche) et à l'échelle régionale (à droite ; Fango = Corse ; HC = Haute-Corrèze)

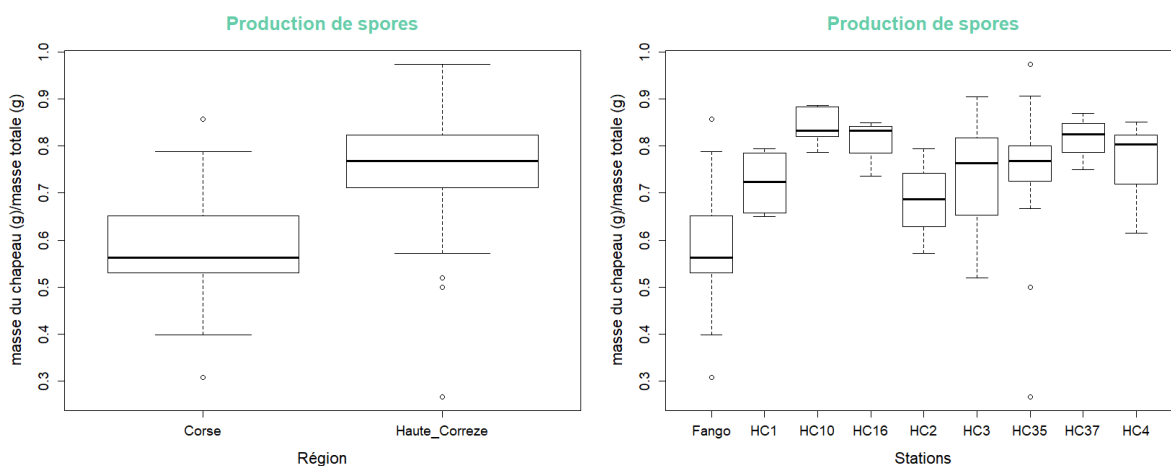


Figure 25 : Distribution du compromis morphométriques « Production de spores » à l'échelle biogéographique (à gauche) et à l'échelle régionale (à droite ; Fango = Corse ; HC = Haute-Corrèze)

Une **relation significative existe entre le trait de « dispersion des spores » et la hauteur de la végétation** de la pelouse au sein des stations de Haute-Corrèze ($p = 0,015$). Le test de corrélation de Pearson montre que ces deux variables sont corrélées à 65%. Figure 26.

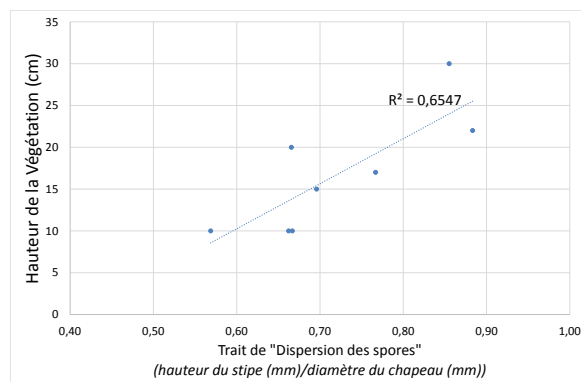


Figure 26 : Relation statistique entre le trait de « dispersion de spores » et la hauteur de la pelouse

En revanche, il n'a pas été établi de lien entre le trait « production de spores » et la hauteur de la végétation de la pelouse.

III.1.3. Phénologie de la reproduction sexuée

III.1.3.1. Une espèce à éclipses de fructifications

Pour les 7 stations inventoriées pendant 4 années consécutives, il s'est produit 8 éclipses (années sans fructification pour une station donnée), 2 en 2014, 5 en 2016 et 1 en 2017 (Figure 27). En 2015, toutes les stations ont produit. Selon les stations, les éclipses sont observées 0, 1, 2 ou 3 années sur les 4 étudiées, seules 2 sous-stations, HC3_B et HC35, n'ayant pas réalisé d'éclipse. Ces sous-stations sont également les plus étendues, avec respectivement 0,36 ha et 0,42 ha.

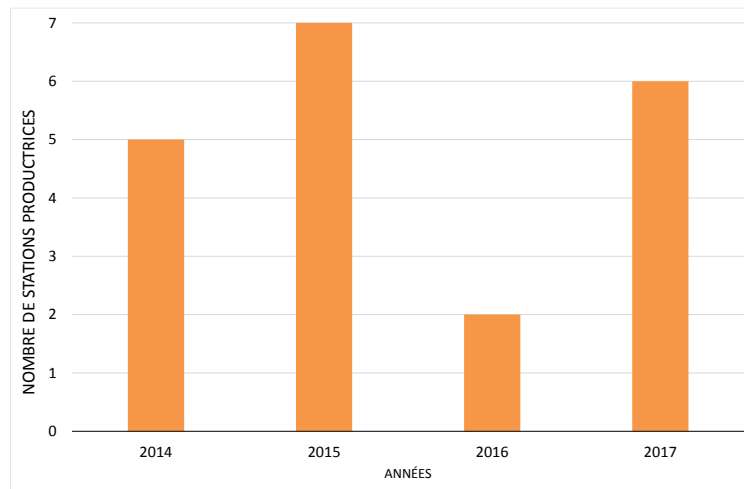


Figure 27 : Variation interannuelle du nombre de stations productrices parmi les 7 stations connues en 2014

III.1.3.2. Un champignon estival

Le suivi diachronique fin effectué sur 7 stations de Haute Corrèze a permis de définir le jour d'émergence du premier carpophore lors de 44 poussées d'amanites entre 2013 et 2017. De plus, 6 épisodes de fructification ayant eu lieu en août 2011 ont pu être intégrés dans cette analyse, bien que le jour exact d'émergence sur chaque station n'ait pas pu être déterminé. Cf. [Annexe 12](#).

Cette date de première émission était comprise entre le 15 juillet et le 1^{er} novembre, et montrait une distribution proche de la normale, avec un pic d'évènements entre le 15 août et le 15 septembre. Ce pic correspondant à une fréquence élevée d'épisodes pluvieux en été dans la zone d'étude.

Le suivi a également permis de réaliser une analyse identique sur 2 espèces comestibles de premier ordre et présentes sur les mêmes stations, *Russula virescens* et *Boletus aereus* (Figure 28).

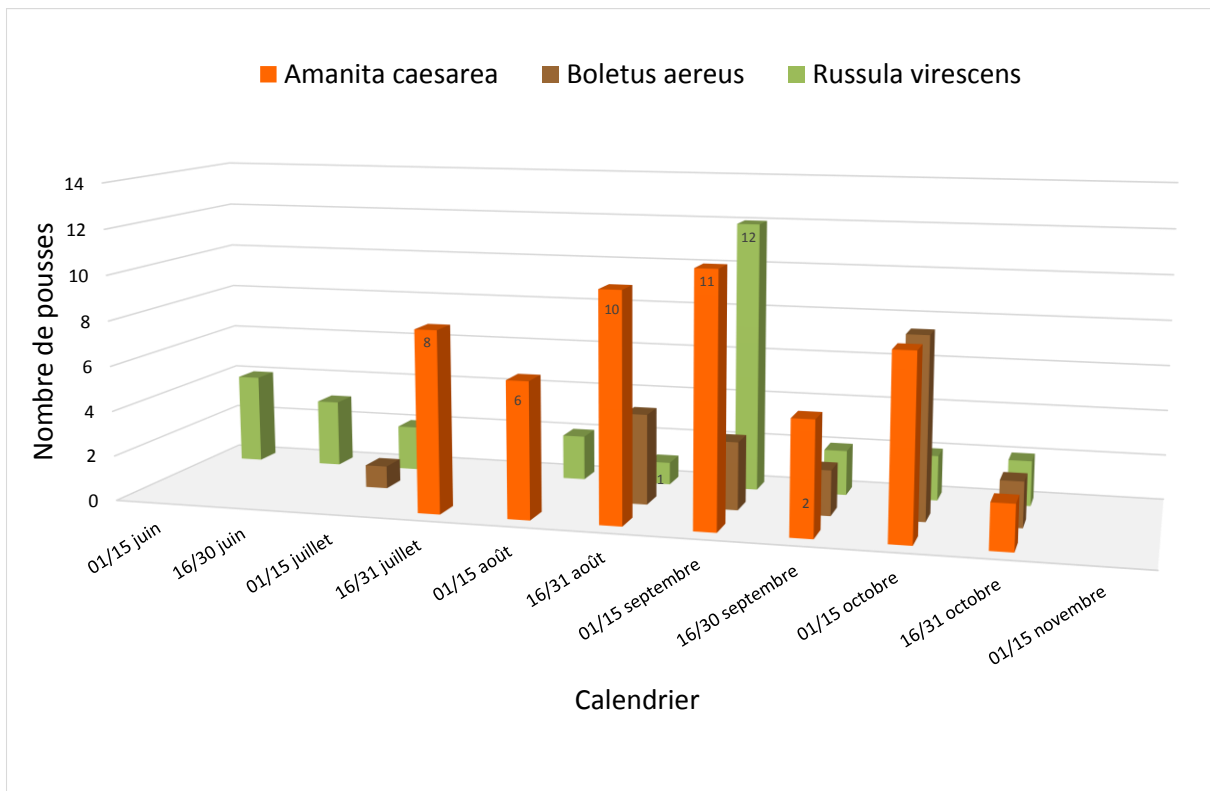


Figure 28 : Distribution saisonnière des fructifications d'*A. caesarea*, *B. aereus* et *R. virescens* sur 9 stations de Haute Corrèze entre 2011 et 2017

Température du sol lors de la fructification

Des sondes thermiques placées dans les places à orange mettent en évidence que la température dans le sol au moment de la poussée a varié entre 13 et 23°C, lors de 11 poussées enregistrées sur les stations équipées de tels dispositifs installés dans le sol (Figure 29).

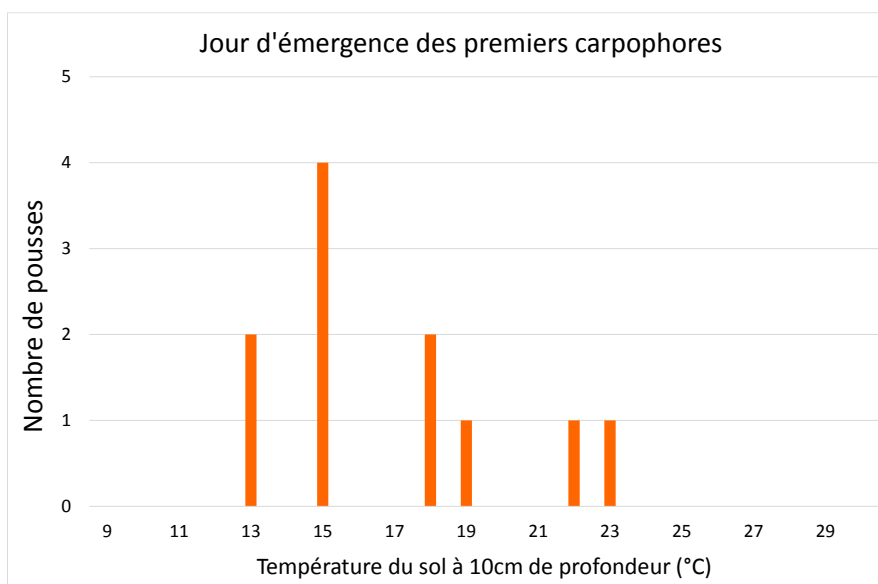


Figure 29 : Distribution de la température du sol le jour de l'émergence des premiers carpophores

III.1.3.3. Corrélations entre cycles lunaires et date de poussées d'*Amanita caesarea*

Au cours de la période 2013-2017, le jour précis d'émergence des carpophores d'*Amanita caesarea* a été déterminé à 27 reprises. Plusieurs pousses se sont déclarées le même jour sur différentes sous-stations. Au total, ce sont 44 couples [sous-stations x année] qui ont été analysés. Le Tableau 6a montre une quasi équirépartition des poussées tout au cours du cycle lunaire, et l'absence de corrélations entre la phase (âge de la lune ; Tableau 6b), le mouvement lunaire et les poussées fongiques, pour cette espèce (distance au prochain apogée lunaire ; Tableau 6c).

Age de la lune : nombre de jours depuis la nouvelle lune

Apogée lunaire : Point le plus éloigné au cours de la rotation autour de la terre

Phase et mouvement	Nombre d'occurrences
Croissante et ascendante	7
Croissante et descendante	8
Décroissante et ascendante	7
Décroissante et descendante	5

Echantillonnage **27**

Age de la lune	Occurrences
1 à 5	6
6 à 10	4
11 à 15	4
16 à 20	5
21 à 25	4
26 à 30	4

27

Prochain apogée lunaire	Occurrences
1 à 5	6
6 à 10	2
11 à 15	4
16 à 20	8
21 à 25	6
26 à 27	1

27

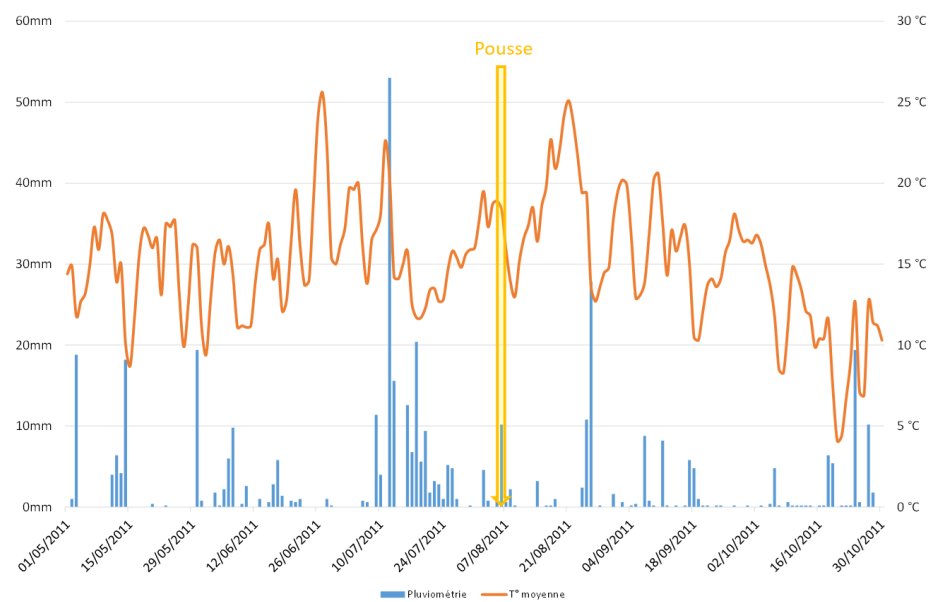
Tableau 6 : Distribution des pousses au sein des cycles lunaires

- au sein des phases et des mouvements lunaires (en haut)
- par rapport à l'âge de la lune (médián)
- par rapport à la distance au prochain apogée lunaire (en bas)

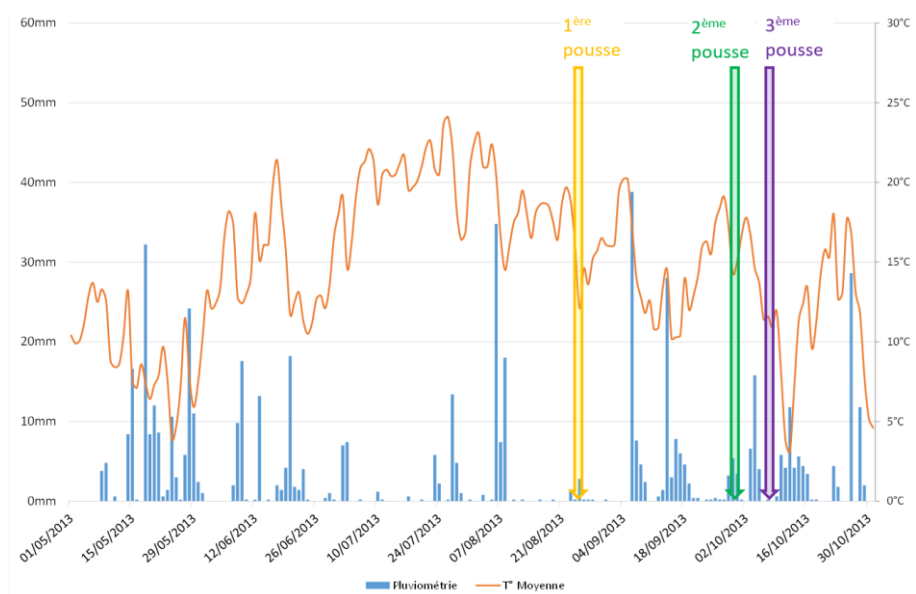
III.1.3.4. Corrélacion entre épisodes pluvieux et fructification d'*A. caesarea*

Au cours des 6 années de suivi effectuées entre 2011 et 2017, une grande variabilité dans la distribution temporelle et l'intensité des épisodes pluvieux a été observée (Figure 30).

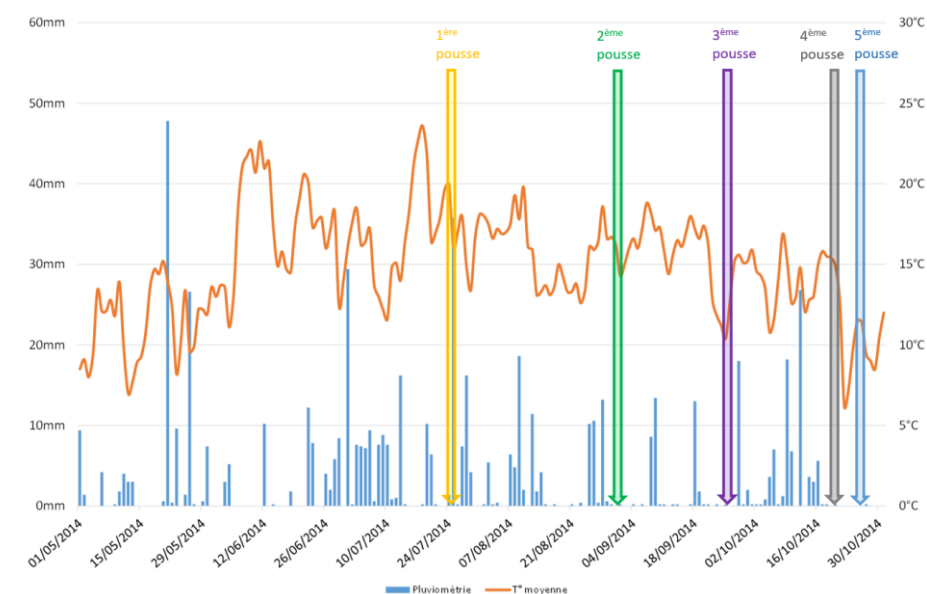
2011



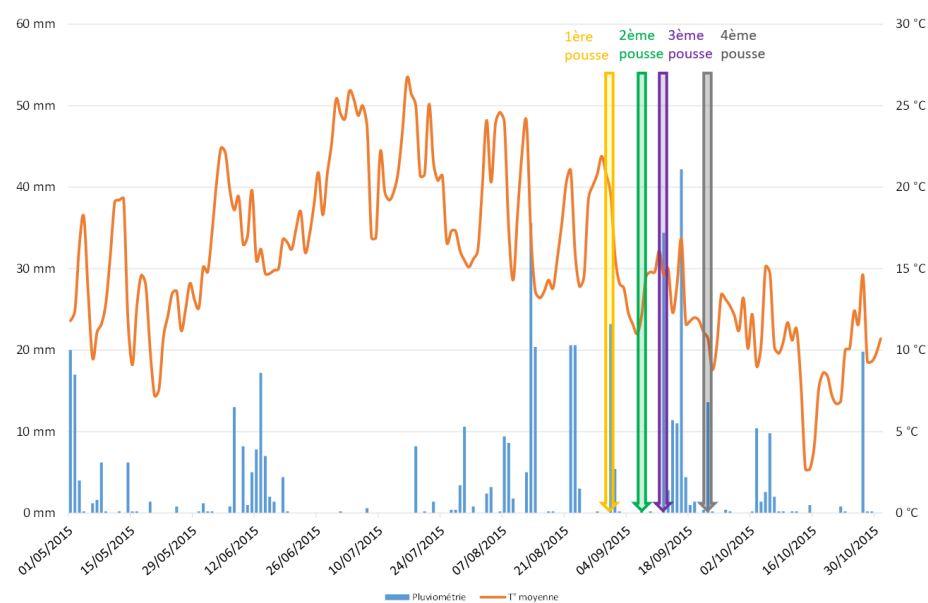
2013



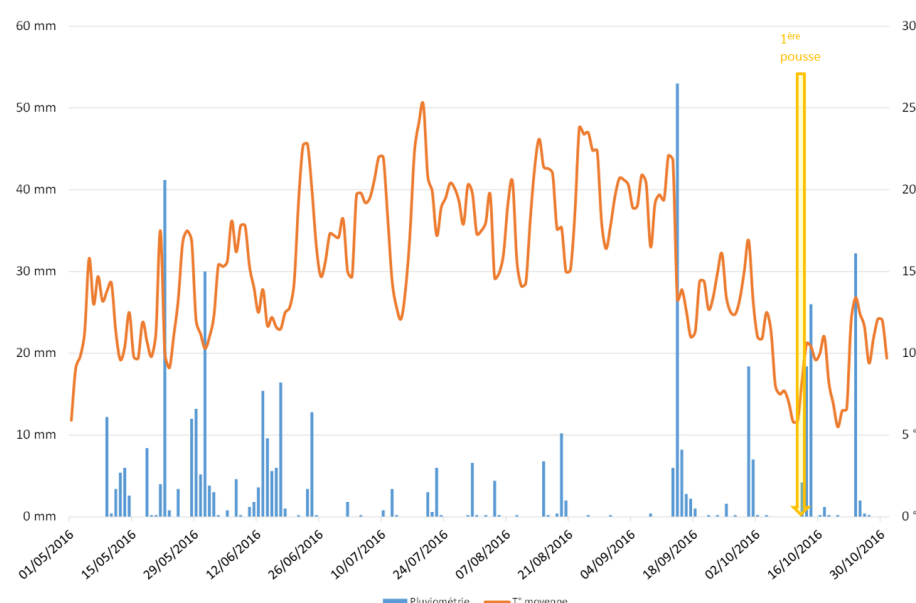
2014



2015



2016



2017

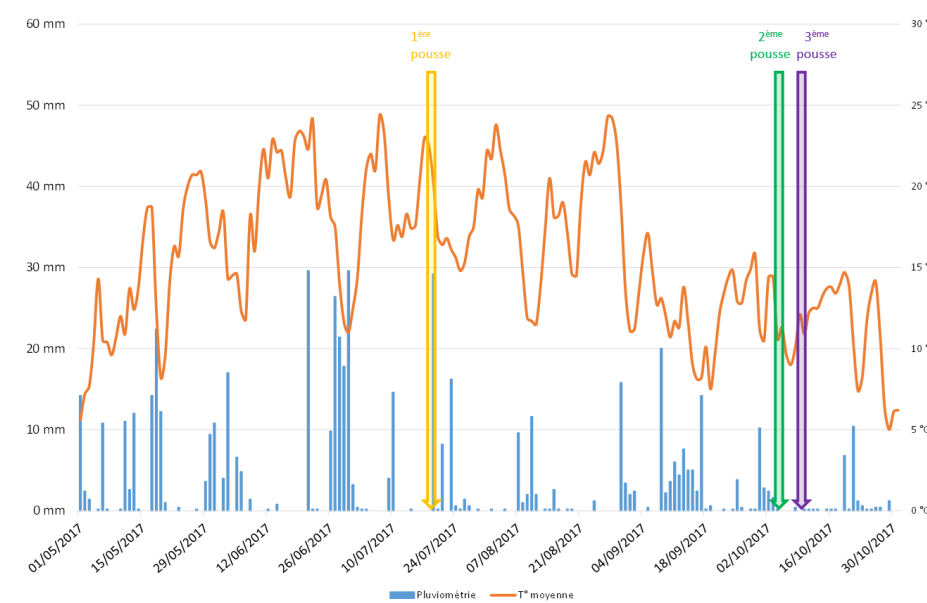


Figure 30 : Distribution temporelle des précipitations, des températures et des poussées d'Amanita caesarea au cours de la période 2011-2017

Ainsi, les 6 années d'étude montrent 6 scénarii différents, associés à 6 séquences de fructification différentes, montrant de 1 à 5 poussées par an, réparties de juillet à octobre. Le calendrier des pousses observées sur les différentes sous-stations entre 2011 et 2017 est présenté en [annexe 13](#).

- 2011 : Année très sèche. De gros cumuls de pluie, réguliers, en juillet ont permis une fructification abondante début août.
- 2012 : Trop peu de prospections pour l'intégrer dans l'étude. Été sec, sûrement trop et gelées précoces en septembre.
- 2013 : Année humide. Une période plutôt sèche en juillet suivi d'un épisode intense de pluie début août a généré une pousse fin août. Deux pousses tardives sont observées début octobre, en lien avec des températures moyennes plutôt élevées pour la saison. Elles ont été stoppées par des chutes de neige le 12 octobre.
- 2014 : Année chaude et humide. Des pluies régulières et intenses en début d'été n'ont pas laissé de place à une période de sécheresse franche. Cinq pousses très peu abondantes ont été observées. On notera que les pousses de juillet et septembre ont concerné exclusivement *Amanita caesarea*. Aucune espèce compagne n'a été observée sur les 3 stations concernées (HC2, HC3 et HC10). En automne les pousses les plus tardives ont été observées (26 octobre).
- 2015 : Année très sèche. Une période sèche de mai à juillet suivie de pluies intenses a déclenché la pousse la plus abondante de la période, fin août. Plusieurs pousses se sont succédées au mois de septembre à la faveur de pluies intenses et régulières.
- 2016 : Année la plus humide en lien avec un premier trimestre très pluvieux (900 mm fin juin), suivi d'une période sèche marquée en juillet et août. Les précipitations de mi-septembre ont permis de générer une pousse *in extremis*. Une baisse radicale des températures est observée début octobre. Des gelées matinales ont été observées la semaine précédant l'émergence des carpophores.
- 2017 : Année conformes aux normales. Les grosses pluies de juin ont généré la pousse la plus précoce (17 juillet). Des pousses tardives observées en octobre après une période sèche estivale.

a) Analyse des épisodes pluviométriques précédant la fructification d'*Amanita caesarea*

L'analyse a consisté en la mise en corrélations des séquences pluviométriques précédant les 44 événements de fructification observés entre juillet et octobre de 2013 à 2017. Les séquences analysées comprennent les 60 jours qui précèdent l'émergence des premiers carpophores (début de poussées).

L'hypothèse de travail est qu'il existe un épisode de pluie déterministe de la fructification, qui se produit dans les 60 jours précédant la poussée. Si cette hypothèse est vérifiée, alors la distribution des événements pluvieux au sein des 44 séquences devrait faire apparaître un signal temporel récurrent, et permettre ainsi de localiser une période correspondant à une probabilité maximale d'épisodes de pluie pour le jeu de données analysé. Nous dénommerons ci-après cet épisode « pluie déclencheuse » de la fructification, dont l'effet serait d'induire une poussée quelques jours après (à J-0). L'une des difficultés réside dans l'évaluation du seuil minimum au-dessus duquel un épisode pluvieux peut être pris en compte dans l'analyse. Pour ce faire, quatre seuils de précipitations journalières ont été testés : >5 mm, >10 mm, >15 mm et >20 mm. Si ces pluies interviennent dans un délai antérieur à la pousse suffisamment paramétré biologiquement, le patron doit montrer un maximum matérialisable par un point d'inflexion sur les courbes de distribution.

Pour chaque jour, l'opération a consisté à cumuler le nombre de pousses, parmi les 44, qui ont fait l'objet de précipitations. Les occurrences obtenues ont été cumulées jour après jour, depuis J-60 jusqu'à J-0 ; effectifs cumulés croissants). Ainsi, la valeur de J-50 est la somme des précipitations observées de J-60 à J-50 inclus. Cf. [Annexe 14](#).

L'effet cumulé a pour objectif de lisser la courbe des précipitations et de ne laisser apparaître que les pics atypiques. Les résultats sont présentés dans la Figure 31.

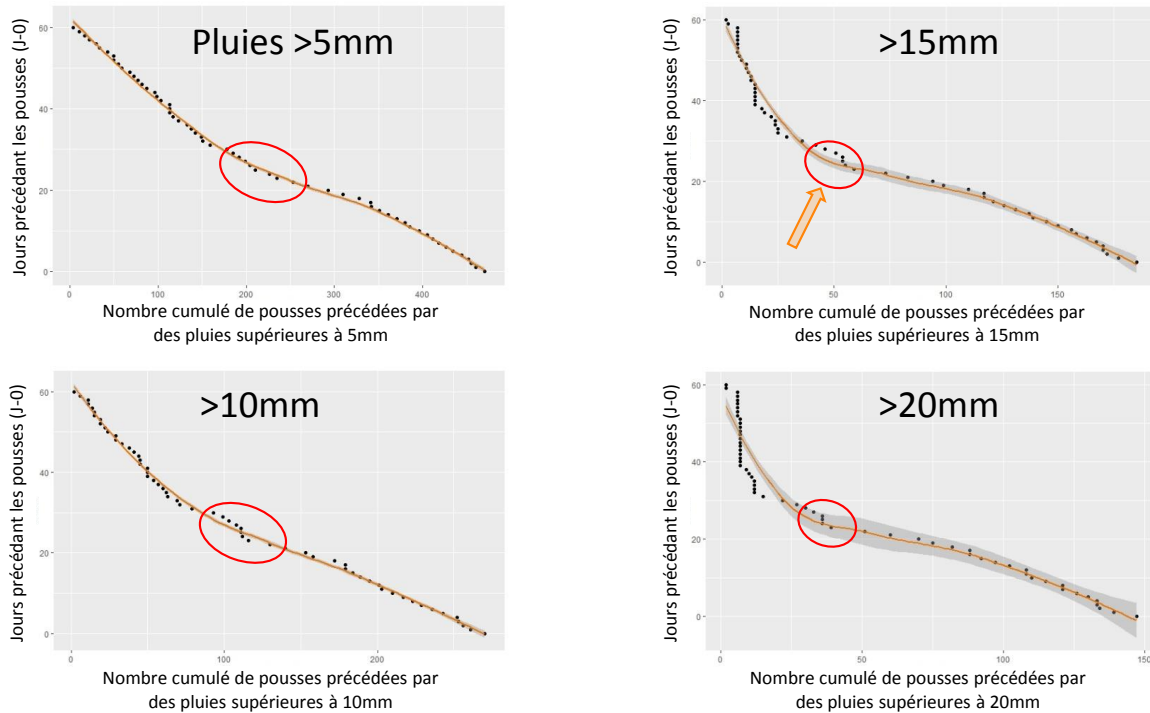


Figure 31 : Nombre cumulé de poussées d'*Amanita caesarea* précédées par des pluies supérieures à 5, 10, 15 et 20mm au cours des 60 jours qui les précèdent. Les cercles rouges indiquent de visu le moment de l'inflexion

Un point d'inflexion, visible pour la distribution des pluies supérieures à 10 mm, se forme de manière significative avec des pluies supérieures à 15 mm, et ne s'affine pas davantage avec un seuil établi à 20mm. Ce premier graphe montre un signal dans la distribution des cumuls de pluie supérieurs à 15 mm sur 24h et la distribution temporelle des poussées d'*A. caesarea*.

Pour les deux espèces comestibles associées à l'orange, la Figure 32 présente le résultat obtenu avec la même méthode d'analyse, et le point d'inflexion franc obtenu pour la russule verdoyante.

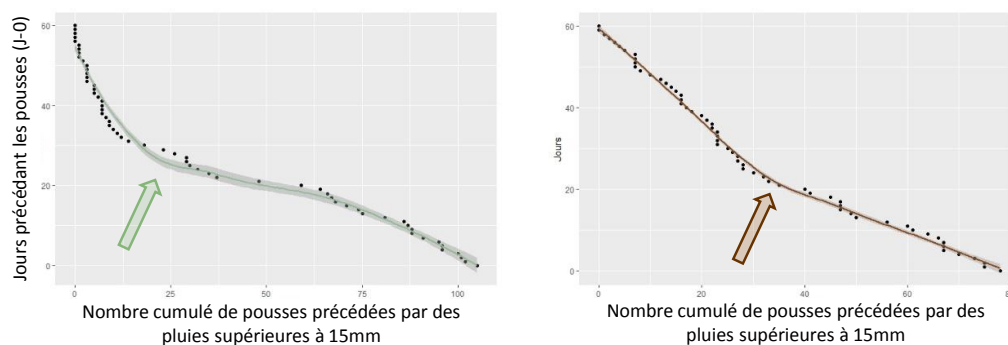


Figure 32 : Nombre cumulé de poussées de *Russula virescens* (à gauche) et *Boletus aereus* (droite) précédées par des pluies supérieures à 15mm au cours des 60 jours qui les précèdent

b) Détermination du délai entre la « pluie déclencheuse » et la poussée d'orange

Ci-après appelée « période d'incubation », le temps écoulé entre les épisodes de pluie d'une intensité supérieure à 15 mm en 24 heures et les poussées d'amanite des césars a été analysé. Le résultat de cette analyse montre une probabilité maximale de réponse de l'espèce aux pluies entre 18 et 22 jours après un épisode de plus de 15 mm (Figure 33).

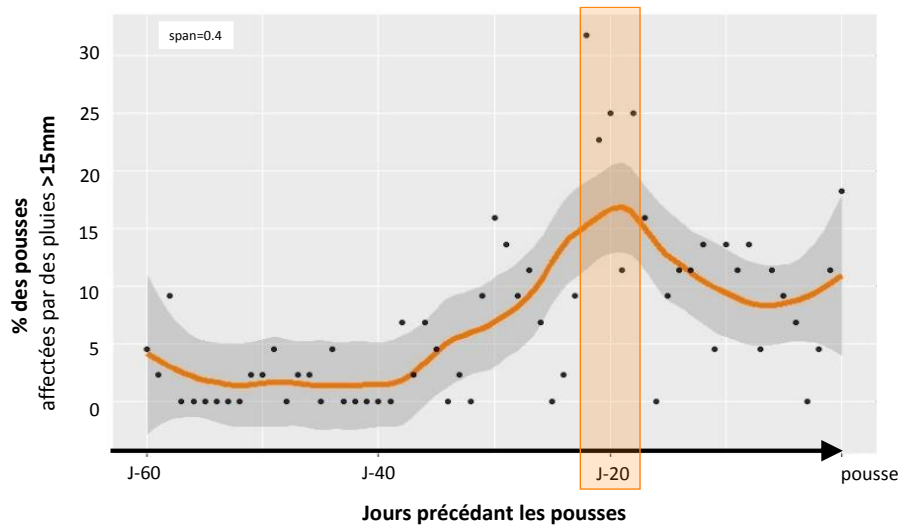
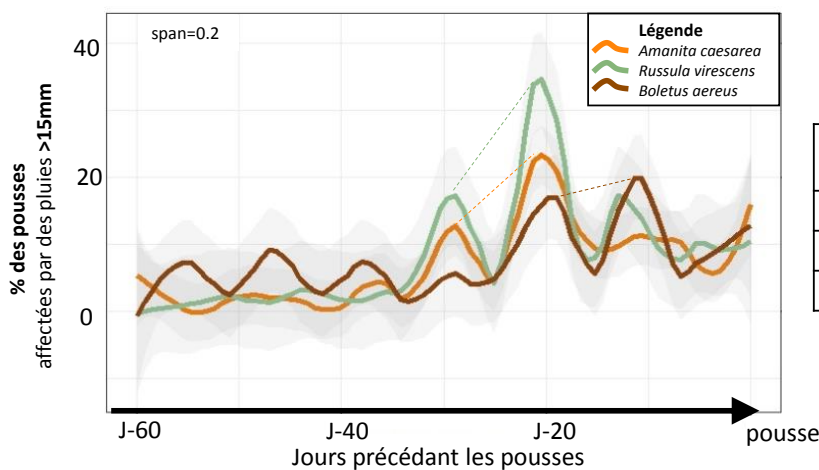


Figure 33 : Distribution temporelle des poussées d'*Amanita caesarea* en lien avec les épisodes de pluies supérieures à 15 mm au cours des 60 jours qui les précèdent. La courbe lissée a été réalisée par transformation de Fourier à l'aide de `Geom_Smooth` dans R Package `GGplot2`

c) Analyse de la distribution des épisodes de pluie entre la pluie déclencheuse et la poussée

Un lissage faible (fonction `Geom_Smooth` du package `GGplot2` avec `span=0.2`) met en évidence que les pluies déclencheuses sont précédées d'un autre maximum de précipitations environ 7 jours plus tôt. Ce maximum est lié à 90% des poussées d'*Amanita caesarea*. De telles pluies, ci-après appelées amorces pour leur possible rôle dans la fructification, ont été observées pour les trois espèces étudiées, 19 jours avant la poussée pour *B. aereus* et 28 jours avant la poussée pour *R. virescens* et *A. caesarea* (Figure 34).



Délai pluie/pousse : valeurs moyennes

	Pluie déclencheuse	Pluie amorce
<i>Amanita caesarea</i>	J-21	J-28
<i>Russula virescens</i>	J-21	J-28
<i>Boletus aereus</i>	J-12	J-19

Figure 34 : Distribution des pics d'occurrence de pluies au cours des 60 jours qui précèdent les poussées d'*Amanita caesarea*, *Russula virescens* et *Boletus aereus*

Ces épisodes ne sont pas systématiques, et n'ont pas été observés en cas d'évènement déclencheur de forte intensité et/ou de longue durée, ou lorsque des pluies régulières ont été enregistrées jusqu'à la poussée (par exemple en 2013 et 2016, Figure 30).

d) Proposition de séquence pluviométrique type précédant la poussée d'*Amanita caesarea*

In fine, l'analyse des 44 séquences pluviométriques précédant les pousses permet de mettre en évidence 5 étapes successives de la séquence type (Figure 35).

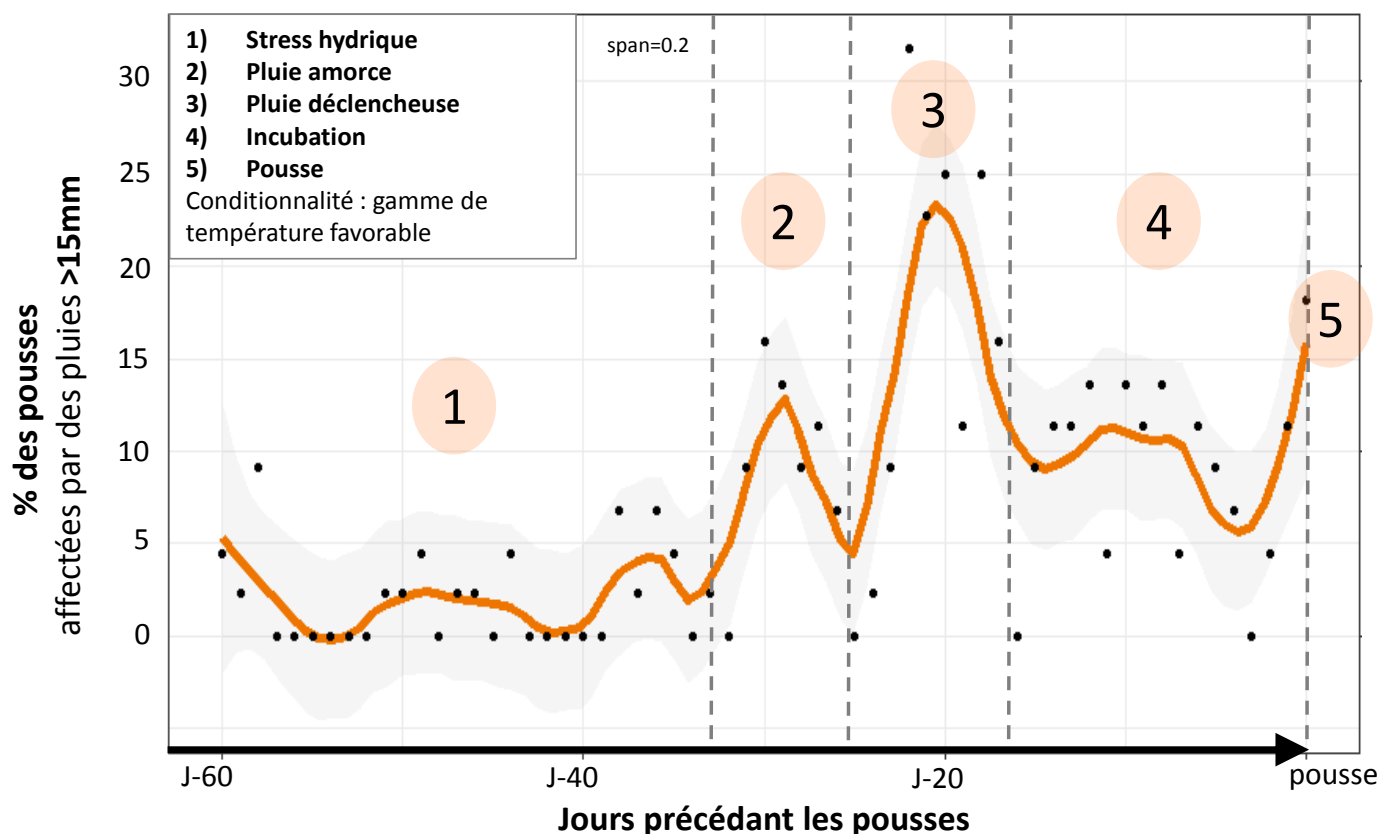


Figure 35 : Schéma type des 5 étapes de construction des pousses d'*Amanita caesarea* par la pluviométrie

III.1.3.5. Variables de contrôle du délai pluie/pousse

De l'analyse des 44 poussées, il ressort une grande variabilité de la durée de la période dite d'incubation (Figure 36), s'élevant à 9 jours pour *A. caesarea* et *R. virescens*, et 12 jours pour *B. aereus*. Afin de déterminer plus finement les facteurs climatiques jouant sur cette variabilité, une recherche de corrélation entre la durée de la séquence et les paramètres thermique et hydrique a été réalisée à partir de modèles linéaires, dont le détail figure en annexe 15.

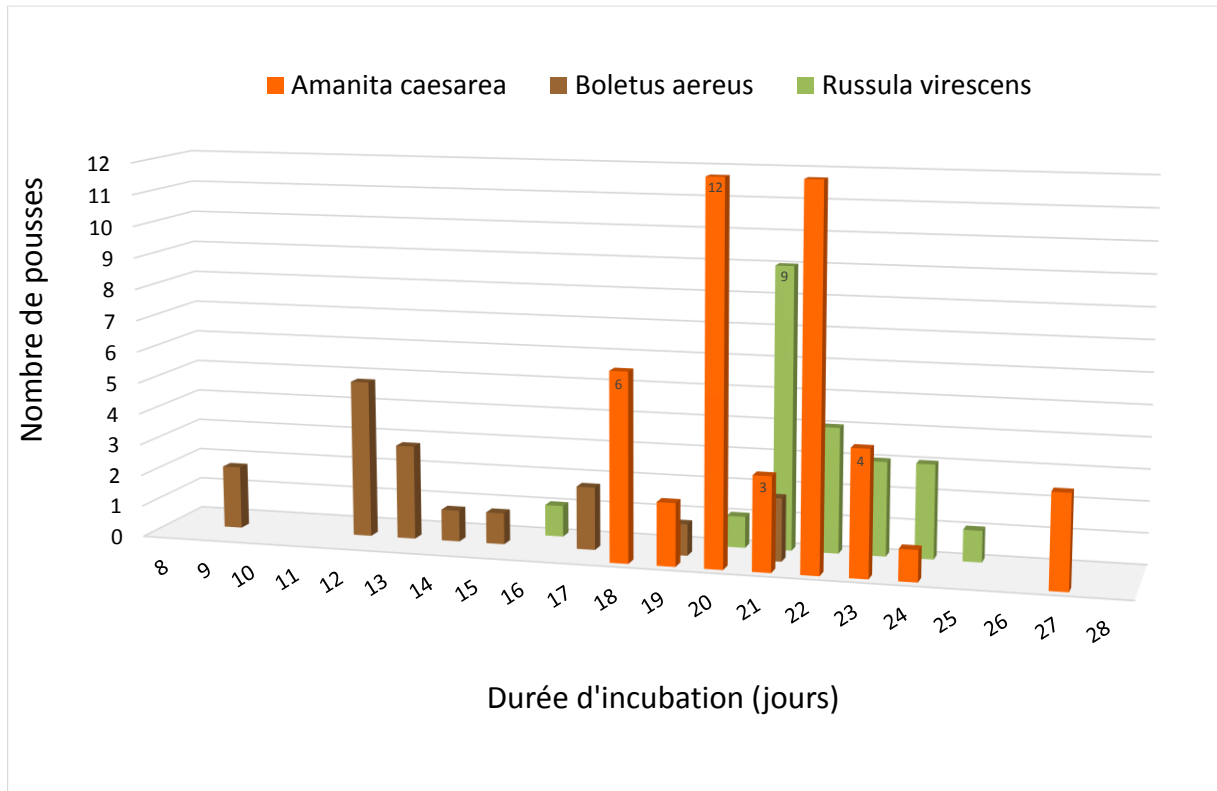


Figure 36 : Distribution des durées d'incubation d'*Amanita caesarea* et de deux espèces compagnes

a) Effet de la pluviométrie

Parmi les facteurs testés, il apparaît que le pourcentage de jours de pluie (≥ 1 mm) pendant la période d'incubation a un effet significatif sur sa durée ($p = 0,01$ test de régression linéaire), dont il explique 12% de la variabilité (R^2 ajusté). Des pluies régulières allongent la durée d'incubation (Figure 37).

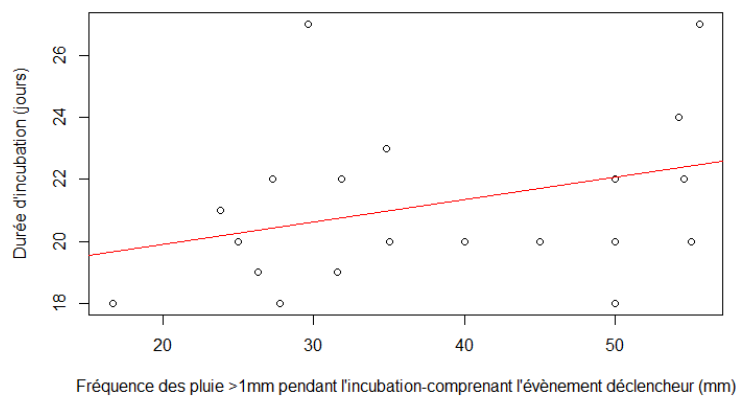


Figure 37 : Relation linéaire entre la durée d'incubation et la fréquence des pluies >1mm

En revanche, le **cumul de pluie enregistré au cours de la période dite d'incubation n'a pas d'effet significatif** sur la durée d'incubation ($p > 0,05$ par test de régression linéaire) ; (Figure 38).

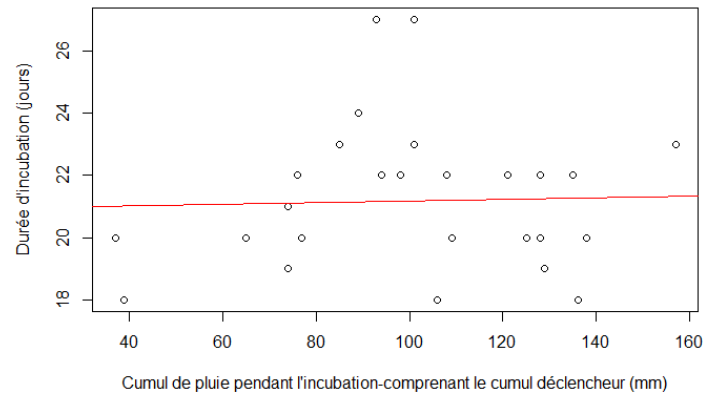


Figure 38 : Relation linéaire entre la durée d'incubation et le cumul de pluie (en mm)

b) Effet de la température

La température moyenne pendant la période dite d'incubation a un effet significatif sur la durée d'incubation ($p < 0,001$; test de régression linéaire) et en explique 33% de la variabilité de durée. Plus cette température est élevée, plus cette durée est courte (Figure 39).

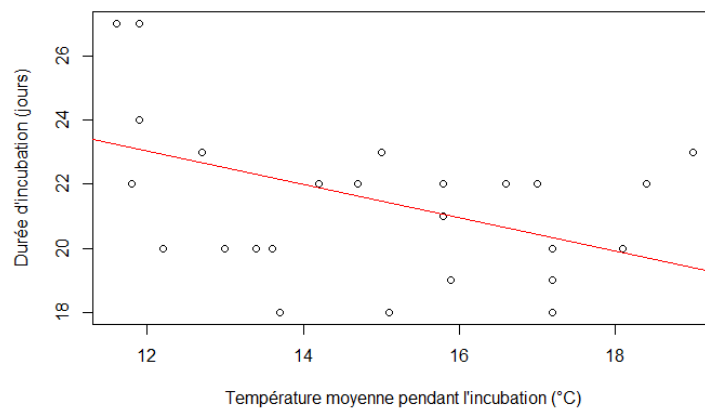


Figure 39 : Relation linéaire entre la durée d'incubation et la température moyenne (en °C)

Par ailleurs, l'influence de la température cumulée n'est pas significative ($p = 0,14$) sur la durée de la période dite d'incubation, cette durée ayant tendance à être rallongée par le cumul thermique (Figure 40).

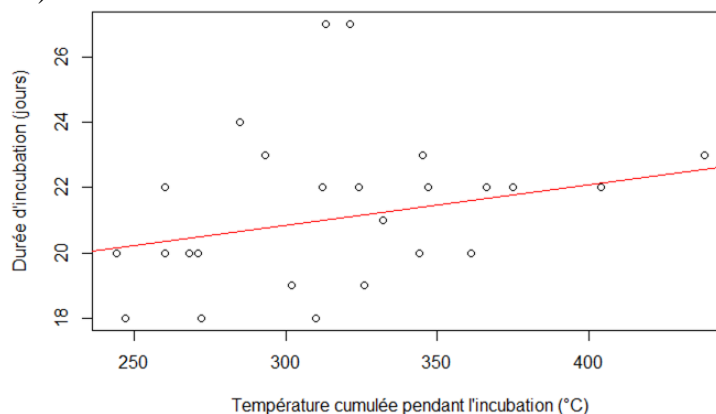


Figure 40 : Relation linéaire entre la durée d'incubation et la température cumulée (en °C)

c) Effets combinés de la pluie et de la température

Les variables pluviométriques et thermiques ayant montré des relations significatives, leurs effets combinés sur la durée d'incubation ont été testés à l'aide de modèles linéaires multiples. Variables pluviométriques utilisées :

- Pluioincub = cumul de pluie (en mm) pendant la période d'incubation, comprenant le cumul déclencheur
- PluioDECL = cumul de pluie (en mm) de l'évènement déclencheur
- Freqpluie = pourcentage de jours ayant reçu des pluies >1mm pendant la période d'incubation

Variables thermiques utilisées :

- Tmoy = température moyenne (en °C) pendant la période d'incubation
- Tcum = température cumulée (en °C) pendant la période d'incubation

Des modèles additifs et interactifs, pouvant contenir des termes quadratiques (effet seuil) ont été testés. La sélection du meilleur modèle a été réalisée en comparant les vraisemblances pénalisées par le critère d'Akaike (AIC). Les principaux résultats sont présentés dans le tableau n°7.

Tableau 7: Principaux résultats obtenus par modélisations linéaires pour expliquer la durée d'incubation par la pluviométrie et la température

	p-value	R ² ajusté	Pr(> t)	df (Nbre paramètres)	Vraisemblance (LogLik)	Critère d'Akaike (AIC)
Modele1=lm(Durincub~(Pluioincub+(Pluioincub^2))*Tmoy,Incubation)	3,60E-06	51%	Tmoy : 0.087223 Pluioincub : 0.000779 *** (Pluioincub^2) : 0.000146 *** Tmoy:Pluioincub : 0.003104 ** Tmoy:(Pluioincub^2) : 0.000458 ***	7	-79	172
Modele2=lm(Durincub~(PluioDECL+(PluioDECL^2))*Tmoy,Incubation)	7,00E-04	34%		7	-86	186
Modele3=lm(Durincub~(Freqpluie+(Freqpluie^2))*Tmoy,Incubation)	7,00E-04	34%		7	-86	186
Modele4=lm(Durincub~(Tmoy+(Tmoy^2))*Pluioincub,Incubation)	7,00E-04	34%		7	-86	185
Modele5=lm(Durincub~(Tmoy+(Tmoy^2))*PluioDECL,Incubation)	6,00E-04	35%		7	-86	185
Modele6=lm(Durincub~(Tmoy+(Tmoy^2))*Freqpluie,Incubation)	2,00E-04	39%		7	-84	182
Modele7=lm(Durincub~(Tmoy+(Tmoy^2))*(Pluioincub+(Pluioincub^2)),Incubation)	6,00E-05	49%		10	-78	177
Modele8=lm(Durincub~(Tmoy+(Tmoy^2))*(PluioDECL+(PluioDECL^2)),Incubation)	4,00E-04	42%		10	-81	182
Modele9=lm(Durincub~(Tmoy+(Tmoy^2))*(Freqpluie+(Freqpluie^2)),Incubation)	6,00E-06	56%		10	-75	170

Ainsi la variabilité de la durée d'incubation est expliquée par l'interaction entre la température moyenne pendant l'incubation et le cumul de pluie ($r^2=51\%$; $p=3,6\text{e-}06$) pendant cette période. Voir figure 41.

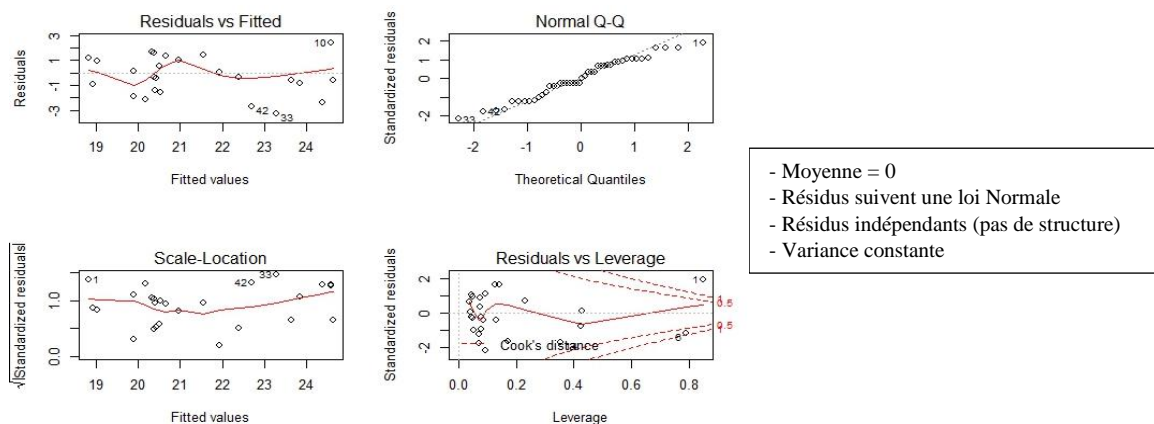


Figure 41: Validation du modèle linéaire n°1, expliquant le mieux la variabilité de durée d'incubation, par l'analyse de la distribution des résidus

Rq : le cumul pluviométrique pendant la période d'incubation a un effet significatif dans ce modèle alors que ce n'est pas le cas lorsqu'il est testé seul (Cf. § a). L'utilisation des données de la seule station Météo France de Neuvic ne nous informe pas sur les variations existant entre les différentes stations.

III.1.3.6. Variables de contrôle de la durée de pousse

a) Variabilité de la durée de pousse

Au cours de la période analysée, la durée des pousses d'*Amanita caesarea* a présenté une grande variabilité, avec une amplitude de 20 jours environ pour une durée moyenne de 8 jours (Figure 422). La méthode d'évaluation repose sur la continuité des fructifications. Dans cette approche, deux épisodes de fructification sont considérés comme distincts dès lors que l'arrêt des fructification dépasse 7 jours consécutifs.

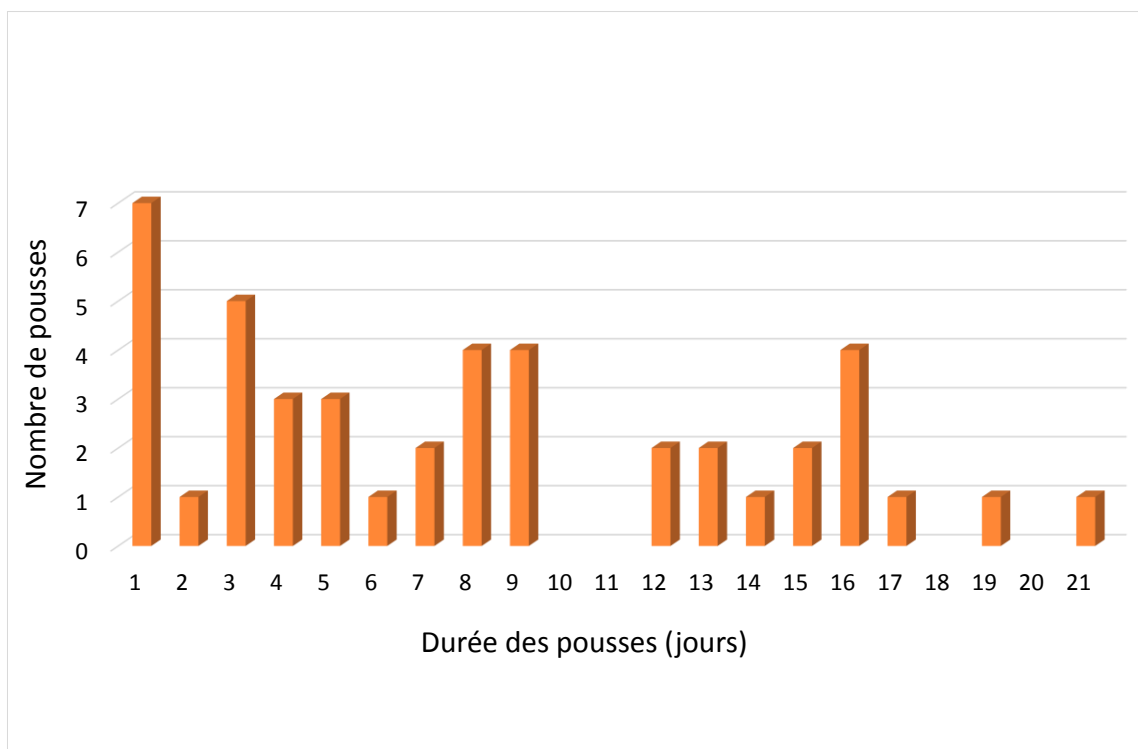


Figure 42 : Distribution des durées de pousse d'*Amanita caesarea*

b) Effet de la pluviométrie et de la température

Pour le jeu de données analysé, il n'a pas été trouvé d'effet significatif de l'intensité ($p = 0,11$) ni de la fréquence ($p = 0,09$; régressions linéaires) des pluies sur la durée des poussées. Une tendance se dégage : plus il y a de précipitations, plus la durée de pousse est longue (Figure 433).

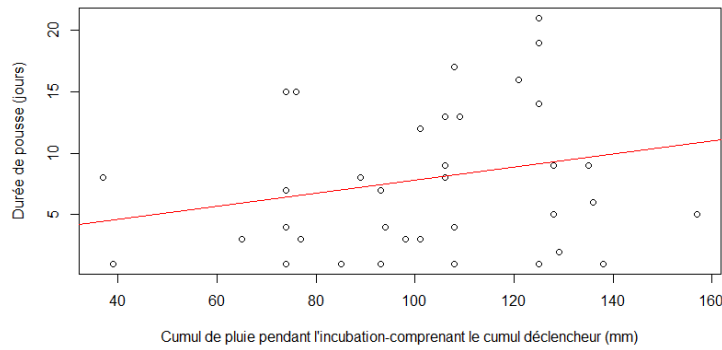


Figure 43 : Relation linéaire entre la durée de pousse et le cumul de pluie

De la même manière, des modèles simples similaires n'ont pas permis de trouver d'effet **significatif de la température moyenne pendant la période dite d'incubation** ($p = 0,31$) et de la température moyenne pendant la poussée ($p = 0,58$).

Enfin, des modèles linéaires multiples n'ont pas permis de montrer d'effet significatif de la pluviométrie et de la température, y compris dans des conditions d'interaction :

- température moyenne et pluviométrie pendant l'incubation : $p = 0,35$
- température moyenne pendant la pousse et pluviométrie pendant l'incubation : $p = 0,36$

III.1.3.7. Distribution thermique et pluviométrique des pousses d'*Amanita caesarea*

L'étude fine de la phénologie de la fructification d'amanites entre 2013 et 2017 permet de replacer les 16 évènements pluviométriques déclencheurs sur les séquences météorologiques. Ils ont induit 27 dates de pousses dont découlent 44 pousses différentes sur l'ensemble des sous-stations. La fructification de 2011 a également pu être remplacée avec 1 valeur d'incubation pour les 6 stations qui ont fructifié. La Figure 444 présente le détail des scénarii de fructifications reconstruits pour les 6 années de suivi.

Evènement pluviométrique déclencheur

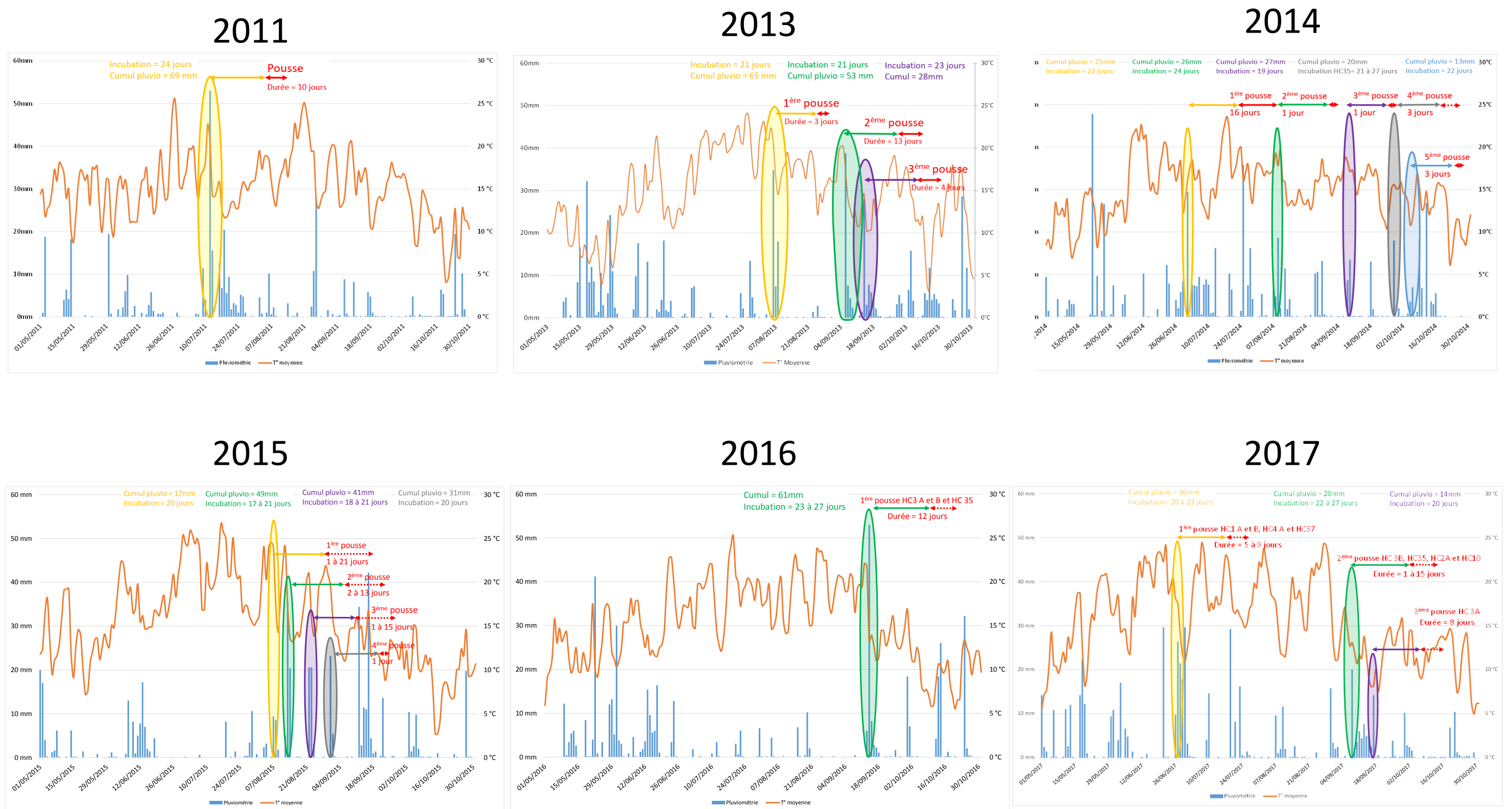


Figure 44 : Distribution temporelle des évènements pluviométriques déclencheurs et des dates de poussée d'Amanita caesarea au cours de la période 2011-2017
Donnée : station météo France à Neuvic (19160).

III.1.4. Structuration génétique multi-échelles des populations d'*A. caesarea*

III.1.4.1. Individus génétiques

L'analyse moléculaire des carpophores d'amanite des Césars a été réalisée sur 15 stations (7 en Haute Corrèze, 4 en Basse Corrèze et 4 dans le Lot), et comparée avec la population de Corse analysée par Salomon (2011). Au total, 312 des 331 carpophores en provenance de ces 15 populations continentales ont pu être caractérisés à l'aide de 11 marqueurs microsatellites polymorphes. Seuls 19 échantillons ont produits des profils incomplets malgré les repasses (Tableau 88). Ces carpophores analysés s'ajoutent ainsi aux 319 carpophores génotypés par Salomon (2011). La diversité génétique s'est élevée à 115 génotypes en haute Corrèze (pour 248 carpophores ; voir [annexe 16](#)), 29 génotypes dans le Lot (pour 56 carpophores), et 99 génotypes en Haute Corse (pour 319 carpophores génotypés).

Tableau 8 : Tableau de synthèse du génotypage par marqueurs microsatellites reprenant pour chaque station de l'étude, les années échantillonnées, le nombre d'échantillons et d'échantillons non déterminés, le nombre de génotypes différenciés, le nombre maximum de carpophores produits par un génotype la même année et le nombre d'apparitions maximum pour un même individu

Stations	Années étudiées	Nombre d'échantillons	Nombre d'échantillons Non déterminés (Locci manquants)	Nombre d'individus génétiques (11 locii)	Nombre max de carpophores pour 1 individu, sur 1 an	Individus les plus fréquents
HC1A	2013-2016	4	0	2	3	1 apparition max
HC1B	2013-2016	28	4	6	13	2 apparitions max (2013 et 2015)
HC2A	2013-2016	31	4	10	8	2 apparitions max (2014 et 2015)
HC3A	2013-2016	19	1	9	5	3 apparitions max (2013, 2014 et 2015)
HC3B	2013-2016	81	0	39	9	1 apparition max
HC35	2014-2016	86	9	46	8	1 apparition max
HC10	2013-2016	17	0	3	5	2 apparitions max (2013 et 2014 / 2013 et 2015)
BC19A	2013-2015	2	0	2	1	2 apparitions max (2013 et 2015)
BC20	2013-2015	1	0	1	1	1 apparition max
BC21A	2013-2015	3	0	3	1	1 apparition max
BC41	2013-2015	2	0	2	1	1 apparition max
L1_Est	2014	14	1	8	3	1 apparition max
L1_Ouest	2014	15	0	8	3	1 apparition max
L1_Versant	2014	23	0	10	5	1 apparition max
L2	2014	5	0	3	3	1 apparition max
Corse-Fango	1999-2010	331	12	99	24	4 apparitions max

L'analyse de la diversité génétique à l'échelle locale, réalisée en comparant les profils microsatellites des carpophores génotypés a révélé un nombre de génotypes d'une importante variabilité, en raison des différences de tailles de population (Tableau 88). Concernant les extrêmes par ensemble géographique, ces diversités ont oscillé :

- Pour la haute Corrèze, entre 2 (pour HC1A, à partir de 2 carpophores échantillonnés) et 46 (pour HC35, avec 77 carpophores échantillonnés),
- Pour la basse Corrèze, entre 1 (pour BC20, à partir d'un seul carpophore échantillonné) et 3 (pour BC21A, avec 3 carpophores échantillonnés),
- Pour le Lot, entre 8 (pour L1_Est, à partir de 14 carpophores échantillonnés) et 10 (pour L1_Versant, avec 23 carpophores échantillonnés).

a) Distribution des effectifs par génotype au sein des populations

Une comparaison de la distribution des effectifs (nombre de génotypes) en fonction du nombre de carpophores produits, au sein des différentes zones d'échantillonnage (Haute Corrèze, Lot et Corse, les effectifs de basse Corrèze s'avérant trop faibles) montre des patrons similaires. Dans ces trois zones d'échantillonnage, les génotypes ayant produit un seul carpophore dominant largement les populations, avec respectivement 59,1%, 58,6%, et 59,6% de singletons en Haute Corrèze, Lot et Corse (Figure 45). Cf. [Annexe 17](#).

D'un point de vu général, ces distributions ne diffèrent pas entre elles (test du chi2 ; Haute-Corrèze vs Corse : $p = 0,24$; Haute-Corrèze vs Lot : $p = 0,93$; Corse vs Lot : $p = 0,94$). Cette similitude de distribution est remarquable compte tenu des durées d'échantillonnage différentes entre le Corse (12 années ; 1999-2010), la haute Corrèze (4 années ; 2013-2016) et le Lot (1 année ; 2014).

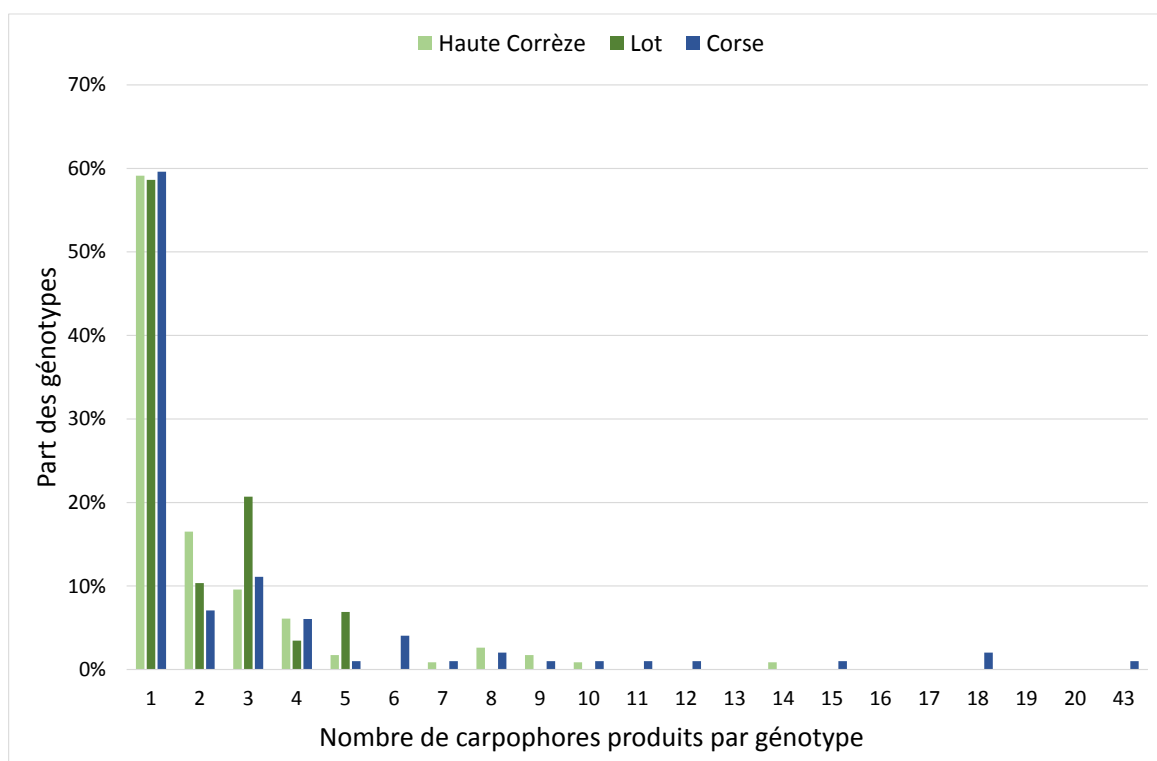


Figure 45 : Distribution des génotypes (en pourcentage) en fonction du nombre de carpophores qu'ils ont produit au sein des 3 zones d'échantillonnage : Haute Corrèze, Lot et Corse

b) Distribution temporelle des géotypes

Cette analyse ne concerne que la Haute Corrèze comparée ici à la Corse, car le Lot et la Basse Corrèze n'ont pas fait l'objet d'un échantillonnage suffisamment long (une seule année).

De manière remarquable, au terme de quatre années d'échantillonnage exhaustif, il apparaît qu'en Haute Corrèze, 109 individus génétiques sur les 115 (95%) ont produit au cours d'une seule année. Ces géotypes ont produit entre 1 et 9 carpophores. A l'opposé, aucun géotype n'a fructifié au cours des quatre années de suivi, et seulement un géotype a fructifié au cours de trois années. Enfin, cinq géotypes ont fructifié au cours de deux années différentes.

A titre comparatif, en Corse, au terme de 12 années de suivi, il apparaît que 73 individus génétiques sur 99 (74%) ont fructifié au cours d'une seule année. Ces géotypes ont produit de 1 à 8 carpophores. Aucun géotype n'a fructifié plus de quatre années (ils sont seulement 4 à avoir fructifié 4 fois), 7 géotypes ont fructifié au cours de trois années, et 15 géotypes ont été échantillonnés au cours de deux années.

Ces distributions temporelles d'expression de la diversité génétique sont identiques (test de χ^2) entre la Haute Corrèze et la Haute Corse ($p = 0,21$). Cf. tableau de données en [annexe 16](#).

c) Corrélation entre diversité génétique et production d'*A. caesarea* à l'échelle locale : approche par la biomasse produite et le nombre de poussées

Cette analyse, réalisée sur 6 stations de Haute Corrèze, montre une corrélation positive et significative entre le nombre de géotypes et la biomasse de carpophores produite à l'échelle de la station. Un test de corrélation de Pearson ($p = 6 \times 10^{-8}$) montre que ces deux variables sont corrélées à 92%. Sur ces stations, la forte variabilité inter-annuelle de production mesurée (entre 4 et 12 kg), est également fortement corrélée au nombre de géotypes correspondant (Figure 466a).

Ces deux résultats montrent que **1**) la production stationnelle de carpophores repose sur la diversité génotypique qu'elle contient car les géotypes ne fructifient pas tous les ans, et non pas sur un voire plusieurs géotypes hyper-productifs et **2**) les années prolifiques s'appuient également sur l'investissement reproductif d'une plus grande diversité, et non pas sur celui d'individus hyper-productifs. Ramenée aux épisodes de fructification, cette corrélation reste hautement significative, les épisodes de fructification abondante s'appuyant sur une diversité génotypique élevée (Figure 466b).

Cf. tableau de données en [annexe 18](#).

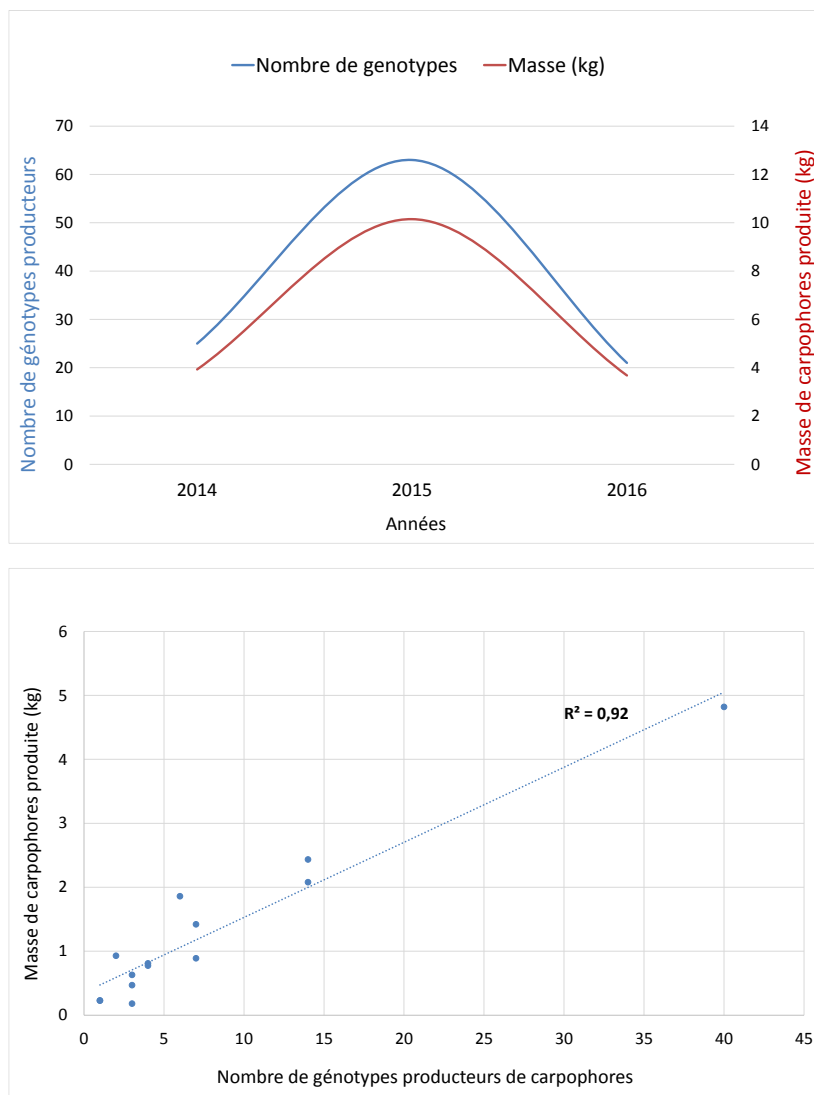
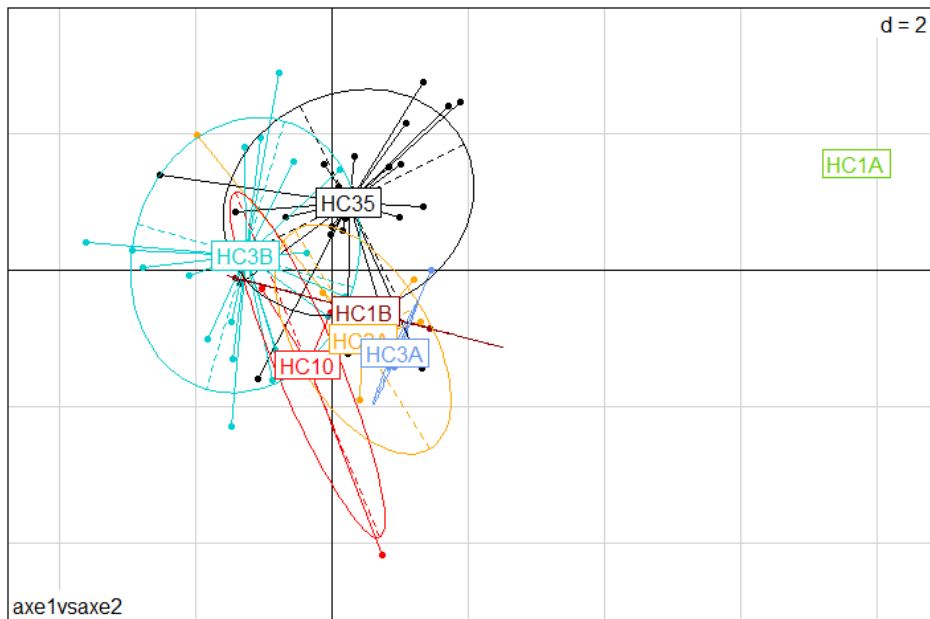


Figure 46 : a) dynamique temporelle (en haut) et b) relation statistique entre la production de carpophores d'*A. caesarea* et la diversité génotypique correspondante (en bas) au cours de 14 épisodes de fructification observés sur 6 stations entre 2014 et 2016.

En revanche, au niveau de la station, le nombre observé d'épisodes de fructifications au cours de 4 années d'échantillonnage (2014-2017) n'est pas corrélé à la diversité génétique de la station ($p=0,15$ par test de Pearson). Contrairement à son influence sur la production de biomasse, la diversité génétique ne sous-tendrait pas la régularité temporelle des épisodes de fructification.

III.1.4.2. Diversité génotypique inter-stations en haute Corrèze

A l'échelle du territoire de haute Corrèze, un seul des 115 génotypes détectés a été observé sur deux stations (HC3 et HC35), les 114 autres étant concentrés sur une seule. Une analyse en composantes principales (ACP) ne montre aucun gradient géographique structuré, ni gradient environnemental (altitude ou exposition par exemple). Cette absence de structuration géographique peut être illustrée par le fait que les placettes d'une même station, séparées entre elles d'au plus quelques dizaines de mètres, sont aussi différentes entre elles que des stations séparées de plusieurs dizaines de kilomètres (Figure 477).



116 séquences complètes

HC1A : 2 séquences

HC1B : 12 séquences

HC2A : 12 séquences

HC3A : 7 séquences

HC3B : 29 séquences

HC35 : 39 séquences

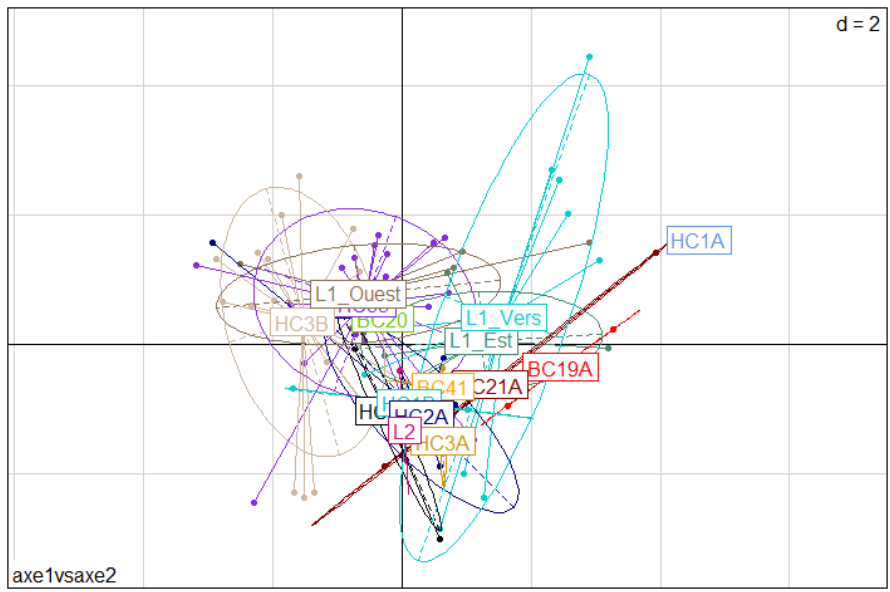
HC10 : 15 séquences

Figure 47 : Distribution spatiale par analyse en composante principale des séquences microsatellites extraites à partir des échantillons de haute-Corrèze.

III.1.4.3. Diversité génotypique régionale

a) A l'échelle de la façade ouest du massif central

Une ACP a été réalisée sur les 175 séquences complètes provenant de Haute Corrèze, de Basse Corrèze et du Lot. Cette analyse ne permet pas de mettre en évidence de structuration par la distance géographique (absence de sous-groupes régionaux), ni de révéler l'importance de gradients environnementaux (absence d'ordination sur les axes) sur la distribution de la diversité génétique d'*A. caesarea*. Figure 48.

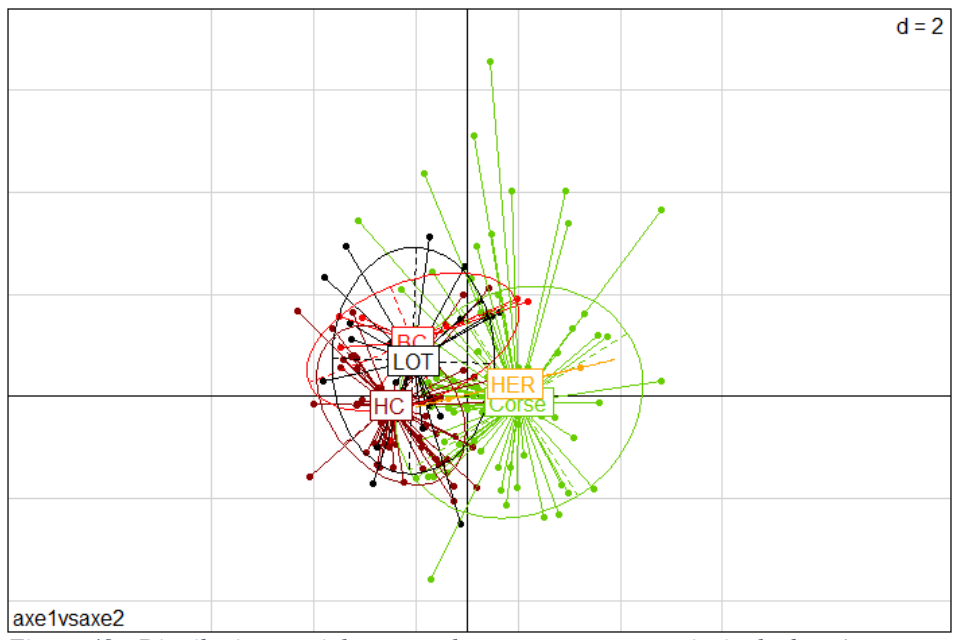


- 175 séquences complètes
- HC1A : 2 séquences
- HC1B : 12 séquences
- HC2A : 12 séquences
- HC3A : 7 séquences
- HC3B : 29 séquences
- HC35 : 39 séquences
- HC10 : 15 séquences
- BC19A : 2 séquences
- BC20 : 1 séquences
- BC21A : 3 séquences
- BC41 : 2 séquences
- L1_Est : 13 séquences
- L1_Ouest : 13 séquences
- L1_Vers : 22 séquences
- L2 : 3 séquences

Figure 48 : Distribution spatiale par analyse en composante principale des séquences microsatellites extraites à partir des échantillons de haute-Corrèze, de basse-Corrèze et du Lot

b) Comparaison zone méditerranéenne / Massif central

Une dernière analyse multivariée en composantes principales (ACP) a été réalisée avec les 405 séquences complètes provenant de Haute Corrèze (116), de Basse Corrèze (8) et du Lot (51) ajoutées à celles de Corse (228 séquences) ainsi que de deux séquences en provenance d’une population de l’Hérault.



- 405 séquences complètes
- Corse : 228 séquences
- Haute Corrèze : 116 séquences
- Lot : 51 séquences
- Basse Corrèze : 8 séquences
- Hérault : 2 séquences

Figure 49 : Distribution spatiale par analyse en composante principale des séquences microsatellites extraites à partir des échantillons de haute-Corrèze, de basse-Corrèze, du Lot, de l’Hérault et de la Corse

- Les axes 1 et 2 représentent 25% de l’information de notre jeu de données
- Contribution des variables :

Axe 1 : AC_10 contribue à 4%, AC20, AC_1 et AC5 à 3%
Axe 2 : AC26 contribue à 14%, AC23 à 13%, AC9 et AC10 à 10%
- Contributions relatives :
Axe 1 : qualité moyenne sur AC_10 (51%), faible sur AC_1 (38%)
Axe 2 : qualité faible sur AC_26 (27%), AC23 (-26%)
NB : AC_n sont les numéros de locus étudiés.

Cette analyse montre une possible structuration géographique de la diversité génétique révélée le long de l'axe 1, et distinguant les populations méditerranéennes (Corse et Hérault) des populations du massif central (Figure 499). Le résultat de cette approche préliminaire est à considérer avec prudence, l'axe 1 de l'ACP ne portant que 16% de l'information du jeu de données.

III.2. Analyse du socio-écosystème à *Amanita caesarea*

III.2.1. Histoire des pratiques et pratiques actuelles

III.2.1.1. Histoire et gestion des boisements

Les enquêtes réalisées auprès des propriétaires et des agriculteurs ont permis de récolter des informations relatives aux pratiques agricoles et forestières passées et en cours sur les stations étudiées. Ces entretiens ont également permis de recueillir des informations sur les espèces de champignons présentes sur les stations, et plus spécifiquement sur d'éventuelles récoltes d'orange.

De l'analyse des cartes anciennes des territoires concernés, il apparaît que les stations à oranges sont situées dans des contextes forestiers contrastés, à la fois en termes d'ancienneté du couvert (forêts anciennes vs forêts récentes) et en termes de sylviculture appliquée aux boisements. Si une seule station (HC14) était probablement forestière en 1740, 10 des 12 localités étudiées étaient cartographiées comme des forêts en 1866 (Tableau 99). La plupart des sites pourraient ainsi correspondre à des pelouses situées en bordures de forêts plus récentes, majoritairement apparues entre 1740 et 1850. Il ne peut néanmoins pas être exclu que le stade arborescent ait été présent sous forme de bosquets ou d'alignements avant cette date. La plupart des forêts ont été l'objet d'une sylviculture, incluant des coupes de forte intensité (HC1, HC4 et HC 15), et sont actuellement gérées en taillis coupés tous les 70 à 80 ans (Tableau 99). Quelques stations ne font l'objet d'aucune sylviculture (absence de coupe significative).

*Tableau 9 : Histoire des pratiques forestières recensées sur 12 stations de haute-Corrèze
PVA : prise de vue aérienne ; oui/non = présence/absence de forêt*

Station	Cassini 1740	Etat major 1866	Première PVA		Travaux	Largeur actuelle de la bande de forêt attenante
HC1	Non	Oui	1948	oui	1979 Le massif forestier attenant à la pelouse est exploité à 80% en 1979 (CF. 1980). Il est replanté en douglas. La bande de forêt attenante à la pelouse passe alors de 260m à 30m de large	20 à 60m
HC2	Non	Oui	1948	oui	Aucun	160m
HC3	Non	Oui	1948	oui	Aucun	300m
HC4	Non	Non	1948	oui	1974 La bande de forêt sur le coteau sud est exploitée en taillis au début des années 1970. Le massif forestier situé au dessus de la bande de forêt est exploité depuis les années 1940 au moins. La bande pérenne fait entre 15 et 30m de large	De 15 à 30m
HC10	Non	Oui	1948	oui	Le massif forestier situé au dessus de la bande de forêt est exploité depuis les années 1940 au moins. La bande de forêt pérenne fait 20 de large	20m
HC16	Non	Oui	1948	oui	Aucun	De 80 à 120m
HC35	Non	Oui	1948	oui	1948 Le massif forestier situé au dessus de la bande de forêt est exploité depuis les années 1940 au moins. La bande de forêt pérenne fait entre 20 et 45m de large	De 20 à 45m
HC37	Non	Non	1948	oui	1974 La bande de forêt attenante à la pelouse est réduite de moitié, passant de 150m à 70m de large	70m
HC42	Non	Oui	1948	oui	Aucun	120m
HC14	Probable	Oui	1948	oui	Aucun	130m
HC15	Non	Oui	1948	oui	1988 Le massif forestier attenant à la pelouse est exploité à 70% en 1987 (CF. 1988). Il est transformé en prairie. La bande de forêt attenante à la pelouse passe alors de 250m à 60m de large	40 à 80m
HC25	Non	Oui	1948	oui	Aucun	25m

III.2.1.2. Histoire des pratiques agricoles

De la même façon que pour les boisements, les pratiques culturales sont très variables sur l'ensemble des stations étudiées (Tableau 10). Dans ce chapitre, il est question des traitements appliqués aux prairies par les agriculteurs, et notamment des pratiques qui ont affecté directement les zones de pelouses sèches où fructifie l'amanite des Césars (places à orange).

Il ressort de cette analyse que les stations à orange couvrent un gradient agricole extrêmement large. En effet, l'orange fructifie dans des prairies spontanées (issues de défrichements anciens, composition floristique non contrôlées) ou artificiels (semis), pouvant faire l'objet de charges élevées en bovins (jusqu'à 2,7 animaux/jour/ha). Par ailleurs, la plupart de ces pelouses sont ou ont été le siège de fertilisations régulières par apport d'engrais minéraux ou de fumures organiques, et de travaux du sol incluant le gyrobroyage et le passage de herse rotative (Tableau 1010). Les résultats des enquêtes sont rassemblés en [annexe 19](#).

Tableau 10 : Histoire des pratiques agricoles recensées ; valeurs minima, moyenne et maxima des intensités

	Unité	Min	Max	Moyen	Remarques
Rotavator + semis prairie	Dernière opération	Jamais	1985	-	profondeur 6-8 cm
Chargement	Animaux_jours par ha	0	2,7	1,2	
Amendement-engrais (PK 10,15 CaO50)	kg / ha	0	200	-	Tous les 5 ans
Engrais (NPK : 3 x 15)	kg / ha	0	150	80	Tous les 3 à 5 ans
Engrais (PK : 20,25)	kg / ha	0	200	-	Tous les 2 ans
Gyrobroyage	Fréquence des passages	0	1 fois par an	0,53	
Herse/hémousseuse	Fréquence des passages	0	1 fois par an	0,21	

III.2.2. Caractéristiques géologiques et topographiques

III.2.2.1. Géologie

Dans la littérature, *Amanita Caesarea* est une espèce décrite comme acidiphile à neutrophile (Essartier & Roux 2011). Dans la présente étude, l'analyse des contextes géologiques des différentes stations montre une grande variation des roches mères présentes sous les pelouses sèches, les stations étudiées étant établies sur métatexites gneiss ou migmatites (Figure 5050). On notera cependant que l'ensemble des stations se trouve sur des substrats contenant de la sillimanite, un silicate d'alumine anhydre $[\text{SiO}_4] \text{Al}_2\text{O}$ pouvant contenir du fer.

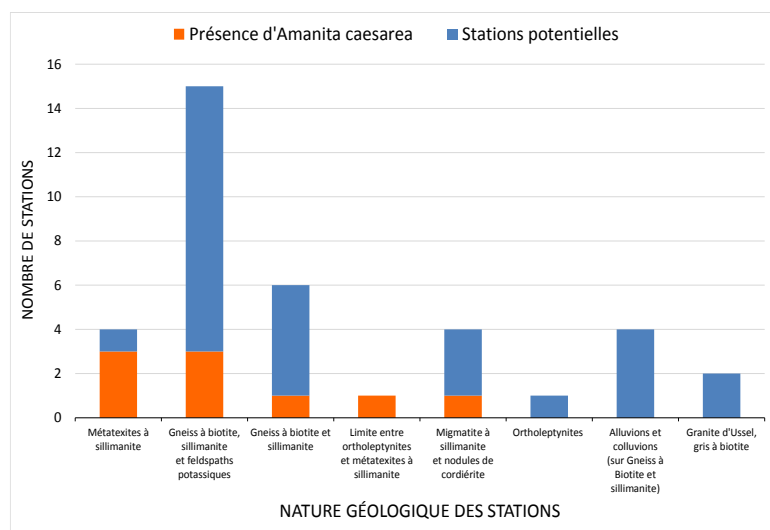


Figure 50 : Distribution des stations en fonction des différents contextes géologiques de Haute-Corrèze

III.2.2.2. Topographie des stations

Le lot de stations potentielles à *A. caesarea* étudiées couvrait un large spectre de contextes topographiques, en termes altitudinaux, clinométriques et d'exposition. L'analyse des stations avérées montre que l'amanite des césars occupe une partie de la gamme altimétrique du plateau corrézien, entre 500 et 650 mètres (Figure 51a). Ce gradient altitudinal se caractérise par une variation de température moyenne estimée à environ 2°C, supérieure au gradient habituel en raison de l'influence des flux d'air plus chauds remontant le long de la vallée de la Dordogne.

La faible proportion de stations avérées au sein de la classe 600-650m, malgré un potentiel élevé vis-à-vis des variables biotiques et anthropiques pourrait traduire la limite altitudinale de répartition en Corrèze. Outre les paramètres climatiques, l'existence de stations productrices à des altitudes supérieures est rendue complexe par la prédominance du hêtre sur le chêne, le hêtre ne semblant pas constituer un hôte pour l'orange. Ce raisonnement est conforté par l'absence de fructifications lors des prospections réalisées sur 4 stations des contreforts du Plateau de Millevaches en septembre 2015, entre 690m et 780m

De la même manière, le paramètre « pente » ne permet pas de distinguer les stations productrices des stations potentielles sur la zone d'étude. On notera la grande variabilité des stations sur ce paramètre, l'orange fructifiant sur des pentes variant de 11 à 64% (Figure 51b).

Enfin, en termes d'orientation, 6 contextes ont été observés comme favorables à la fructification, avec une prédominance des expositions ouest et sud (Figure 51c), c'est à dire les plus thermiques.

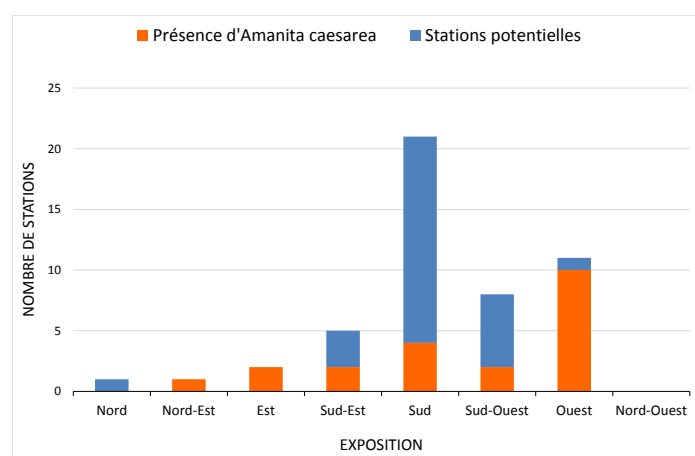
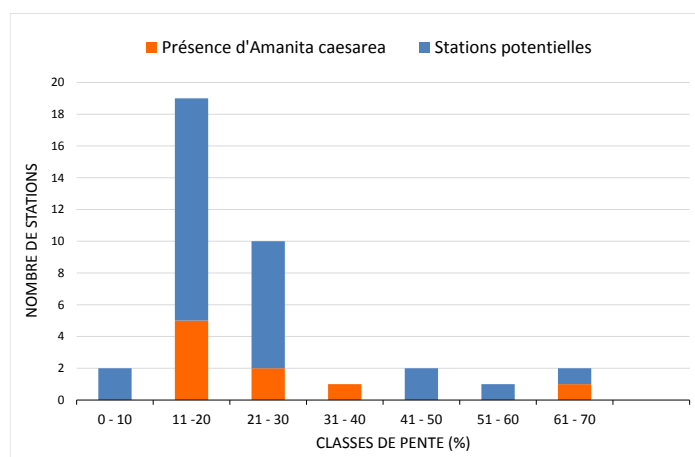
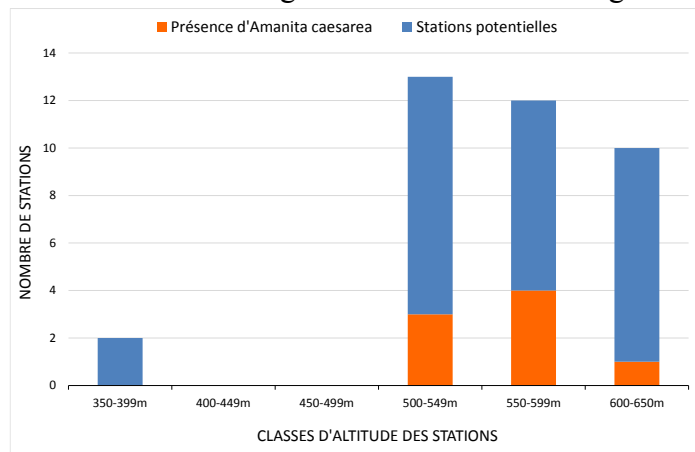


Figure 51 : Contextes topographiques en Haute Corrèze, montrant la distribution des stations à orange potentielles (en bleu) et avérées (en orange) selon leur altitude (a haut), leur pente (b milieu) et leur exposition (c bas)

III.2.3. Caractéristiques pédologiques des stations d'*A. caesarea*

III.2.3.1. Profondeur de sol

La profondeur du sol des places à oronge montre une forte variabilité, les stations se distribuant dans des sols superficiels (<30cm) à profonds (>1m ; Figure 52). L'espèce fructifie donc à la fois dans des conditions édaphiques sèches (substrats superficiels sablo-graveleux de type altérites) et sur des sols à forte réserve en eau, du fait de leur profondeur et de la présence d'horizons argileux en fond de profil.

Des tests de corrélation de Pearson n'ont pas permis de détecter de lien entre la profondeur des sols des stations et leur productivité ($p=0,78$) ou la fréquence des poussées qui s'y produisent ($p=0,17$).

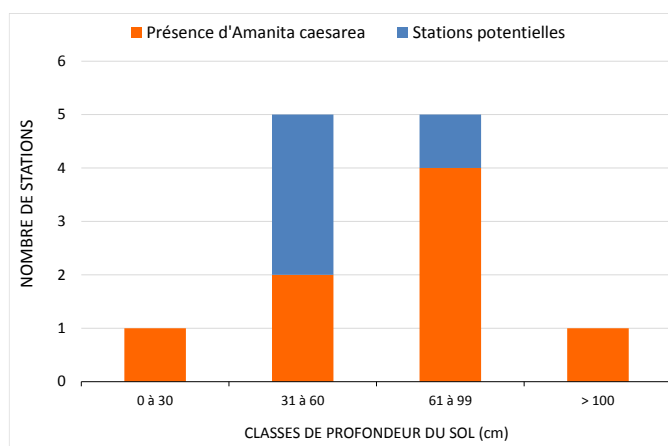


Figure 52 : Graphique présentant la distribution des stations au sein des classes de profondeur de sol

III.2.3.2. Chimie du sol

Le Tableau 111 présente les principales caractéristiques chimiques des sols appartenant aux différents habitats constituant les sites de suivi de l'amanite des Césars en haute Corrèze et en Corse. Il ressort de ce tableau que les sols des stations de haute-Corrèze sont légèrement acides, avec un pH variant entre 4,4 et 6,4 (Annexe 20). Au sein des places à oronge, le pH varie de 5,0 à 5,6, pour une valeur moyenne de 5,4.

Tableau 11 : Caractéristiques chimiques des sols dans les habitats à *Amanita caesarea* de haute Corrèze. En italique gras, les valeurs significativement différentes de celles observées au sein des populations d'*Amanita caesarea* (en orange) (p -adj de Tuckey <0,05).

Habitat	Quantité mycélium	Potassium (cmol/kg)	P2O5 (g/100g)	ph	Polseen (g/kg)	Azote total (g/kg)	C/N	Carbone organique (en g/kg)	Matière organique (g/kg)
Bois	0,007	1,320	0,184	5,1	0,056	7,514	14,857	108,70	188,00
lis	0,217	0,912	0,182	5,4	0,036	5,648	13,120	73,50	127,20
lispop	0,158	1,305	0,138	5,7	0,023	4,795	13,500	63,65	110,00
pel	0,392	0,596	0,169	5,8	0,025	5,148	10,917	55,87	96,75
pop	2,172	0,382	0,164	5,4	0,023	3,844	12,240	46,16	79,94
trans	0,019	0,578	0,179	5,8	0,029	6,040	10,740	64,88	112,14
corse	0,359	1,280	0,095	6,8	0,031	4,778	19,775	93,65	162,00

Les sols des places à oronge montrent des concentrations en phosphore assimilable, en potassium, en azote total, en carbone organique et en matière organique significativement plus faibles que celles observées dans le bois. Le rapport C/N y est également significativement plus faible que dans le boisement. Si des corrélations existent avec la présence de l'oronge, il n'existe néanmoins aucune corrélation avec les concentrations en mycélium (Tests de Pearson ; Annexe 21).

Les sols de Corse se distinguent significativement des sols de haute-Corrèze par leurs concentrations en phosphore total (P_2O_5) deux fois plus élevées et par un pH plus élevé de près d'un point et demi. (Tableau 111).

III.2.4. Caractéristiques climatiques de la zone d'étude au cours de la période d'analyse

III.2.4.1. Climat à la station de Neuvic

La station Météo France est placée à proximité du barycentre de la zone d'étude. La distance qui la sépare des stations d'étude est comprise entre 3 et 17 km. Les stations productrices d'*Amanita caesarea* lui sont distantes de 3 à 10 km. Pendant la durée de l'étude, les cumuls annuels de pluie ont varié entre 882 et 1290 mm (soit de $\pm 20\%$ autour de la moyenne). Les températures annuelles ont également fortement varié : les minima entre -6°C et $-15,3^{\circ}\text{C}$, et les maxima entre $+32,3^{\circ}\text{C}$ et $+36,2^{\circ}\text{C}$ (Tableau 12).

Tableau 12 : Statistiques descriptives des séquences thermiques et pluviométriques observées entre 2011 et 2017 à la station météo France de Neuvic (19160)

	Cumul pluie annuel	T°C moyenne annuelle	T°C Min	T°C Max
2017	1148 mm	10,32 °C	-11,9 °C	33,5 °C
2016	1290 mm	10,23 °C	-6,0 °C	36,3 °C
2015	914 mm	10,70 °C	-8,0 °C	36,6 °C
2014	1278 mm	10,55 °C	-8,4 °C	33,7 °C
2013	1264 mm	9,34 °C	-10,7 °C	32,3 °C
2012	996 mm	9,93 °C	-15,3 °C	36,2 °C
2011	882 mm	10,81 °C	-9,3 °C	35,8 °C
Moyennes	1110 mm	10,27 °C		

In fine, les diagrammes ombro-thermiques montrent que les précipitations sont distribuées toute l'année, notamment en période estivale (Figure 53). Le système est ainsi très différent du climat méditerranéen, supposé favorable à *Amanita caesarea*, et caractérisé par une longue période sèche estivale et des fortes pluies automnales.



Figure 53 : Diagrammes ombro-thermiques de la station de Météo France de Neuvic sur la période 2011-2017

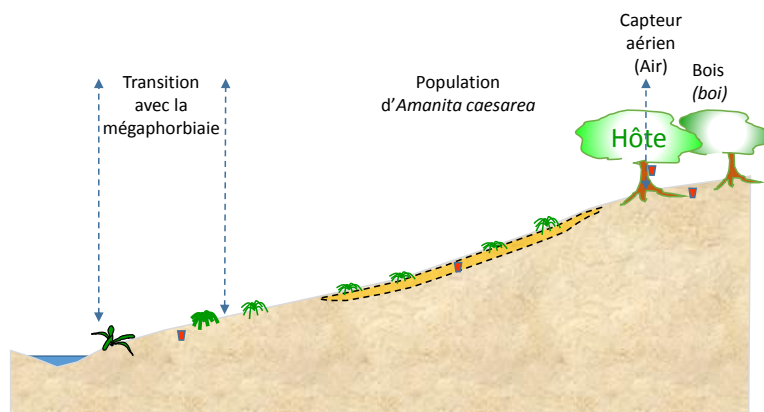
Cependant, les années de fructification abondante (2011 et 2015) ont été sèches, avec un cumul pluviométrique situé autour de 900mm, les années 2015 et 2016 montrant même un déficit hydrique estival proche de celui observé sous climat méditerranéen.

III.2.4.2. Microclimat enregistré sur les stations d'étude

Le Tableau 133 montre les conditions de température enregistrées dans le sol des sous-bois, pelouses et prairies sur trois stations de haute Corrèze pendant la période du 08 mars 2016 au 12 février 2017. Les écarts entre les différents milieux ainsi qu'entre les stations sont fortement marqués en été ($\pm 10^{\circ}\text{C}$). Les différences s'observent surtout en avril et en octobre.

Tableau 13 : Valeurs de température relevées in situ, dans quatre types de milieux

	HC3B			HC10			HC35		
	Min	Max	Moyenne	Min	Max	Moyenne	Min	Max	Moyenne
Bois	0,53	17,60	10,48	3,01	16,56	10,40	2,44	17,00	10,25
Population	0,39	29,88	13,13	-0,24	24,35	11,94	1,98	28,53	13,80
Transition avec la mégaphorbiaie	1,11	24,20	12,71	1,83	22,89	12,34	<i>données non récupérées</i>		
Air	-2,48	30,61	11,72	-6,19	31,40	10,25	-4,33	33,81	11,79



Les sols sous pelouse des places à oronge apparaissent comme les plus contrastés thermiquement, avec les températures les plus basses et les plus hautes relevées dans les différentes stations (Tableau 133). Ces sols peuvent être gélifs l'hiver et atteindre 30°C l'été. Comparativement, les sols des **sous-bois** apparaissent comme des milieux frais et tamponnés toute l'année. Dans une moindre mesure, les sols des **zones de transition** avec la mégaphorbiaie sont également tamponnés en raison des conditions d'hygromorphie. Cependant, leur pleine exposition au soleil leur permet de monter en température durant l'été.

a) Comparaison entre les températures de l'air relevées à Neuvic et sur les stations étudiées

La Figure 544 montre les températures relevées en 2016 à la station Météo France de Neuvic et sur 3 stations d'étude (HC3, HC10 et HC35) sur lesquelles des capteurs de température aériens

ont été placés. L'utilisation des données de la station Météo France pour l'ensemble du territoire d'étude ne permet pas d'intégrer la variabilité des conditions au niveau stationnel, mais décrit parfaitement les séquences thermiques enregistrées par les populations d'*A. caesarea in situ* au cours de l'étude.

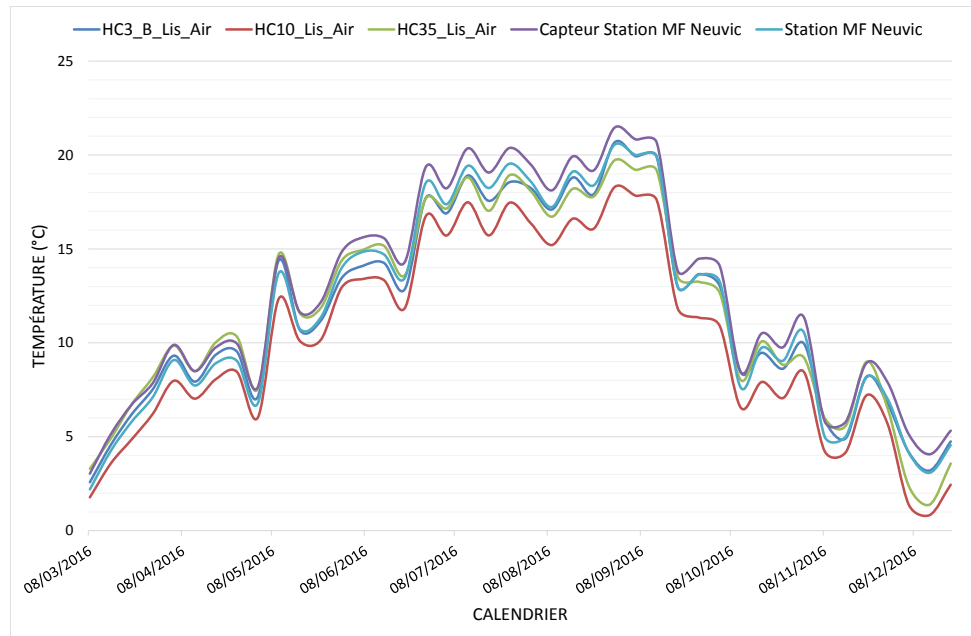


Figure 54 : Températures moyennes hebdomadaires des capteurs aériens période du 08 mars au 20 décembre 2016, inclus

b) Température du sol et présence d'*Amanita caesarea* sur la zone d'étude

La Figure 555 montre la distribution stationnelle des maxima et minima, en relation avec la production d'orange. Il apparaît que la fructification d'*Amanita caesarea* n'est pas strictement conditionnée par les conditions de température au niveau du territoire étudié car :

- La population de HC1B évolue dans des conditions fraîches, similaires aux milieux boisés des autres stations productrices (HC3B, HC10 et HC35).
- La station potentielle HC40 (en milieu totalement forestier) se trouve dans une gamme de températures similaire aux stations productrices mais n'a pas produit d'orange durant l'étude. Sa forte pente et son exposition sud lui confèrent un caractère thermophile, mais aussi xérophile en période estivale.

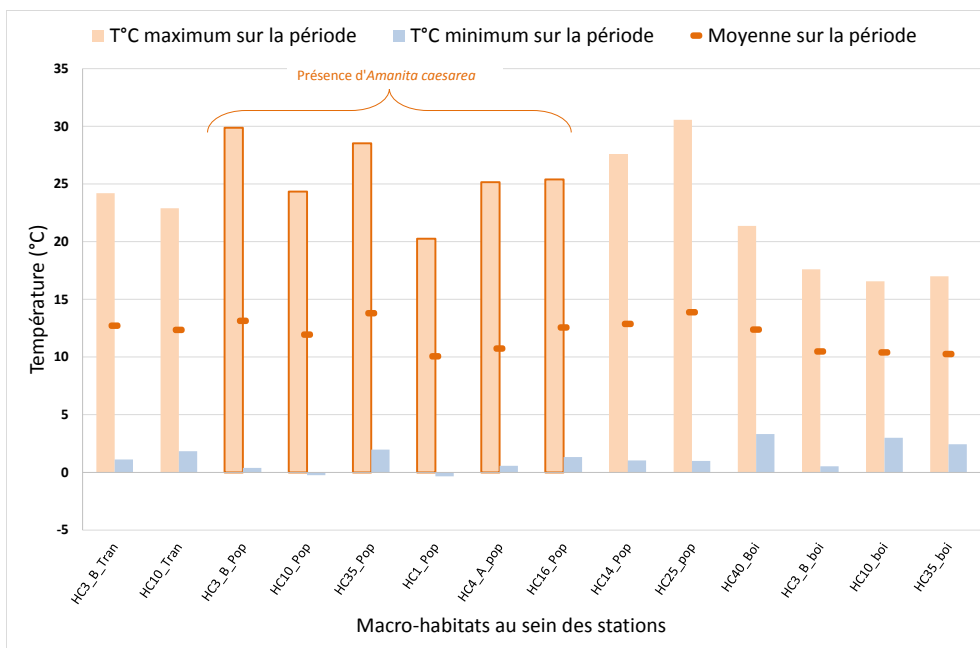


Figure 55 : Températures moyennes annuelles des capteurs placés dans le sol période du 08/03/2016 au 12/02/2017 inclus

III.2.5. Communautés fongiques ectomycorhiziennes associées à *A. caesarea*

Les inventaires réalisés au cours de l'étude ont permis de décrire les communautés fongiques ectomycorhiziennes sur 20 stations ou sous-stations de haute Corrèze, comprenant 11 stations avérées et 9 stations candidates. Ils sont présentés en annexe 22.

III.2.5.1. Distribution des familles et des espèces

Au total, 63 espèces de macromycètes, appartenant à 11 familles, ont été inventoriées (Figure 566). En moyenne, il a été rencontré 12 espèces par stations (richesse ou diversité alpha), conduisant à une diversité gamma de 63 espèces.

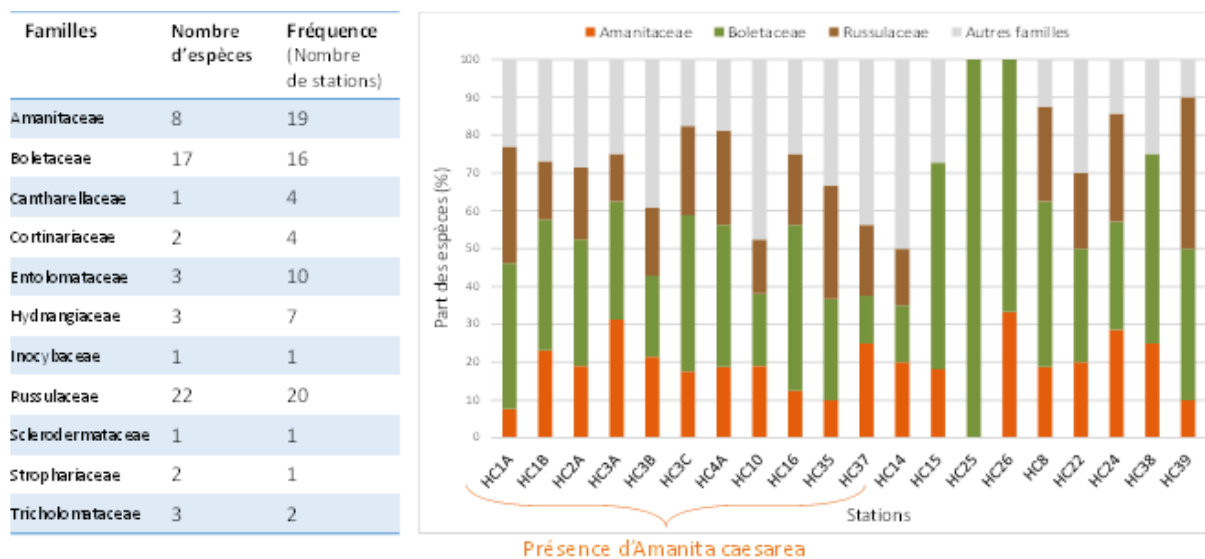


Figure 56 : Diversité fongique ectomycorhizienne et distribution des familles sur les stations à *A. caesarea*

La diversité ectomycorhizienne⁵ sur les stations à *A. caesarea* est dominée par les russules, présentes sur les 20 stations inventoriées, et représentées par 22 espèces, et dans une moindre mesure par les bolets, présents dans 16 des 20 stations, et représentés par 17 espèces.

III.2.5.2. Approche multivariée des stations avérées et potentielles

Une analyse en composantes principales permet de mettre en évidence une différence de composition entre les stations avérées et potentielles (Figure 577). Les stations potentielles comportent des communautés de diversité fongique plus faible (béta diversité, ici dénommée « Betaecto ») et davantage dominées par les russules. Cette distinction s'appuie sur une forte inertie (57%). Le tableau rassemblant les données relatives aux cortèges botaniques, fongiques et orthoptères ainsi qu'aux conditions environnementales et aux pratiques est présenté en annexe 23.

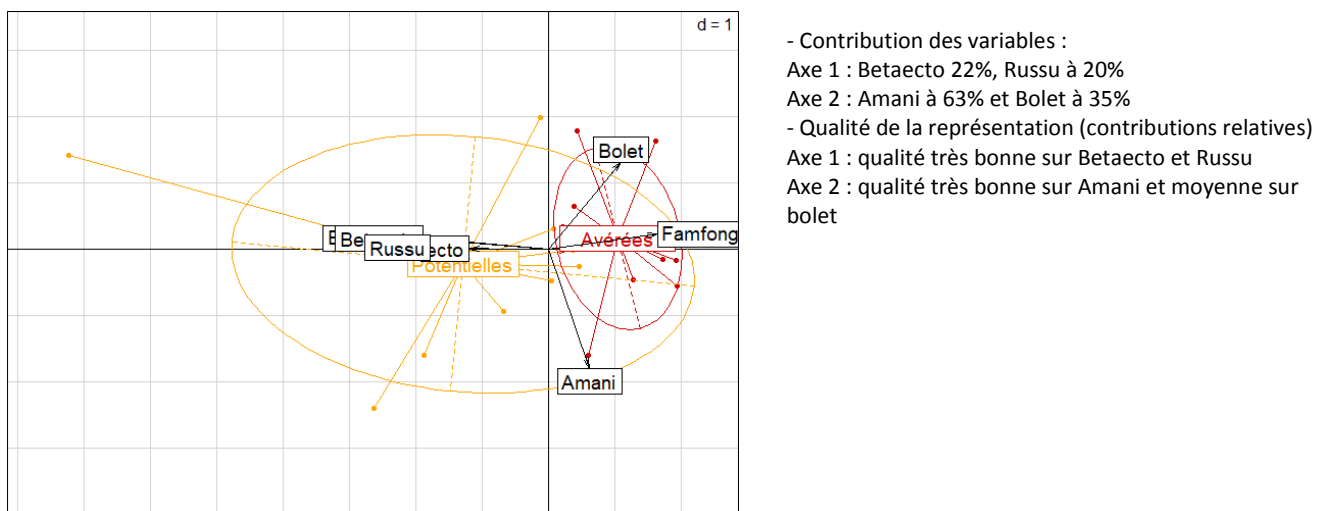


Figure 57 : Représentation en composantes principales des communautés ectomycorhiziennes au sein des stations productrices d'*Amanita caesarea* (avérées) et des stations candidates (potentielles)

III.2.5.3. Distributions d'*A. caesarea* et de deux espèces comestibles de premier ordre, *Russula virescens* et *Boletus aereus*

Le diagramme de Venn détaillant les stations de présence des trois espèces (Figure 588) montre qu'*Amanita caesarea* est plus souvent en association avec *Russula virescens* (présence combinée dans 11 stations) qu'avec *B. aereus* (présence combinée dans 7 stations). Dans 58% des situations (13 stations), les 3 espèces se retrouvent en association (Figure 588).

⁵ L'inventaire non exhaustif des champignons saprophytes a permis d'observer 9 familles. Les données ne sont pas exploitées dans le cadre de cette étude.

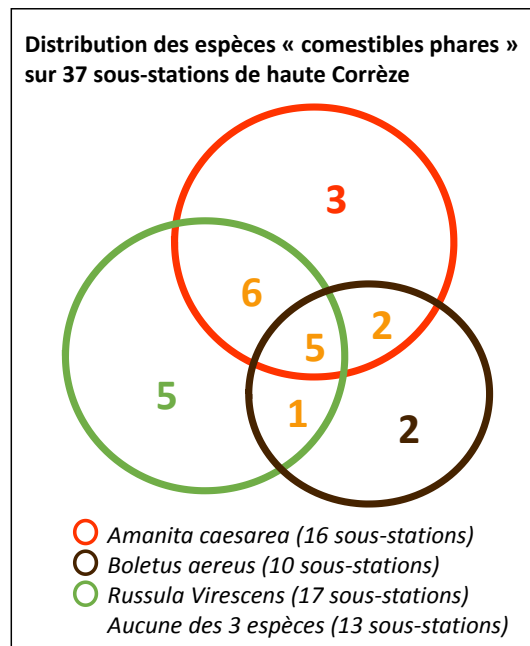


Figure 58 : Diagramme de Venn montrant les distributions d'*A. caesarea*, *Russula virescens* et *Boletus aereus* dans les stations de Haute Corrèze

De manière intéressante, *Amanita caesarea* est présente avec *Boletus aereus* ou *Russula virescens* dans 81% des cas (13 cas sur 16).

III.2.6. Communautés végétales

A l'aide de relevés phytosociologiques, réalisés sur 12 placettes de 15 m² chacun situées sur des stations avérées (8 placettes) et potentielles (4 placettes), 71 espèces ont pu être déterminées. La diversité alpha moyenne est de 27 espèces par placette. Les données sont rassemblées dans un tableau présenté en [annexe 24](#).

Sur les stations avérées, les relevés de terrain ont permis de mettre en évidence la présence d'espèces présentes dans la liste rouge de la flore vasculaire du Limousin dont notamment : *Thesium pyrenaicum* (Cotation : vulnérable) et *brachypodium rupestre*, *Luzula campestris*, *Nardus stricta*, *Stachys officinalis*, *Danthonia decumbens*, *Hypochaeris radicata*, *Helianthemum nummularium*, *Genista sagittalis*, *Pimpinella saxifraga* et *Carlina vulgaris* (Cotation : préoccupation mineure).

III.2.6.1. Distribution des traits d'habitat et de durée de vie

La comparaison de distribution des types biologiques entre les stations avérées et potentielles met en évidence une dominance plus franche des espèces de pelouse dans les stations avérées (Figure 599b). Ce trait des communautés végétales des places à oronge reflète sans doute « l'effet brûlé » observé dans les stations à oronge, dont le mécanisme reste mal expliqué. Dans ces communautés végétales, les espèces vivaces constituent 76% de la diversité, contre seulement 17% d'annuelles (Figure 599a). Les relevés montrent une communauté végétale, dominée par les espèces vivaces.

	Diversité gamma	71
Durée de vie	Annuelles	17%
	Bisannuelles	7%
	Vivaces	76%
Habitat	Pelousaires	42%
	Prairiales	15%
	Lisières ("Ourlets")	31%
	Prés humides	1%
	Forestière	1%
	Non déterminées	8%

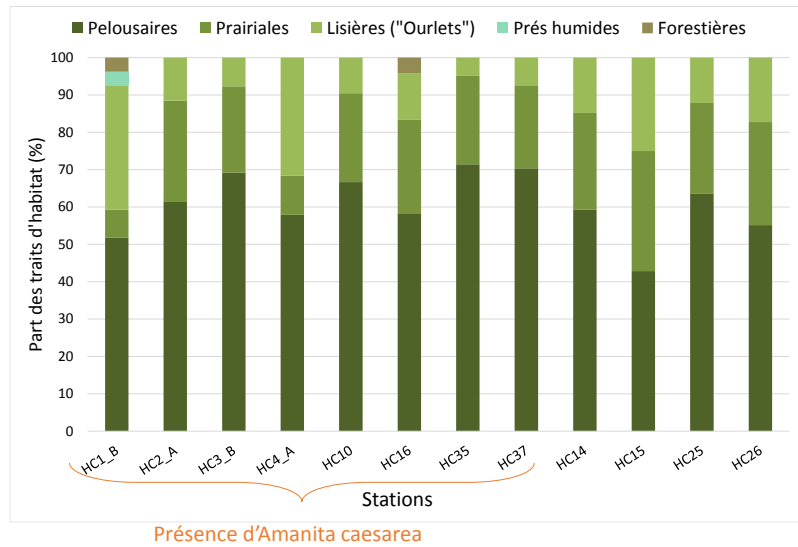
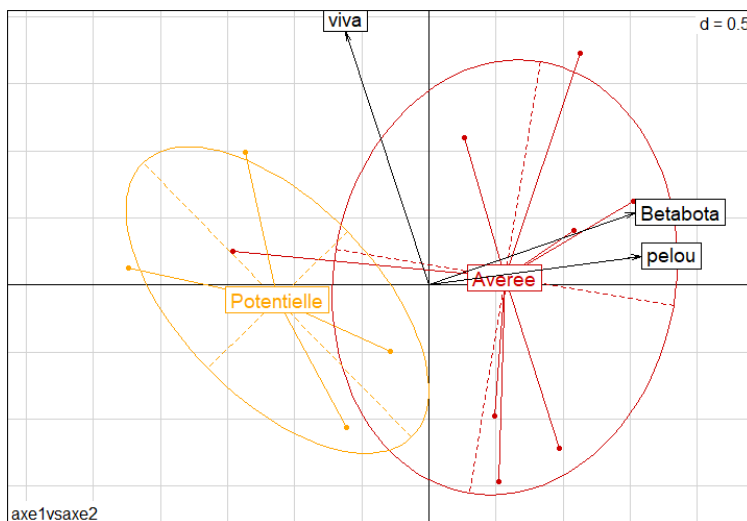


Figure 59 : (a) Tableau de présentation des principaux traits d'habitats et de durée de vie attachés aux espèces et (b) distribution des traits d'habitat au sein des stations étudiées

III.2.6.2. Analyse comparative des végétations des stations avérées et potentielles par approche multivariée

Dans l'analyse effectuée, les stations avérées et potentielles se discriminent le long de l'axe 1 qui porte 44% de l'information du jeu de données (Figure 6060). La différence se traduit par une proportion d'espèces de pelouse plus forte et une diversité botanique plus faible sur les stations avérées à orange.



- Contribution des variables
Axe 1 : pelou 48% et betabota 45%
- Axe 2 : viva 91%
- Qualité de la représentation (contributions relatives)
Axe 1 : qualité bonne sur betabota et pelou
- Axe 2 : qualité très bonne sur viva

Figure 60 : Représentation en composantes principales des cortèges botaniques au sein des stations productrices d'Amanita caesarea (avérées) et des stations candidates (potentielles)

III.2.7.1. Fréquence, diversité et niveaux de protection

Dans cette étude, 18 espèces⁶ de criquets et sauterelles ont été déterminées sur les stations d'échantillonnage, dont la liste est fournie en [annexe 25](#). Parmi le cortège analysé, on retrouve une espèce atypique, *Macastethus parapleurus*, inféodée aux prairies humides et dont la découverte en bordure de pelouse est sans doute liée à la proximité de talwegs. Sur les places à oronge, il a été contacté entre 5 (HC_1) et 12 (HC_2 et HC_3) espèces d'orthoptères pour des placettes d'une surface de 550 m². Sur les stations potentielles, cette diversité a varié entre 4 et 8 espèces (Figure 611).

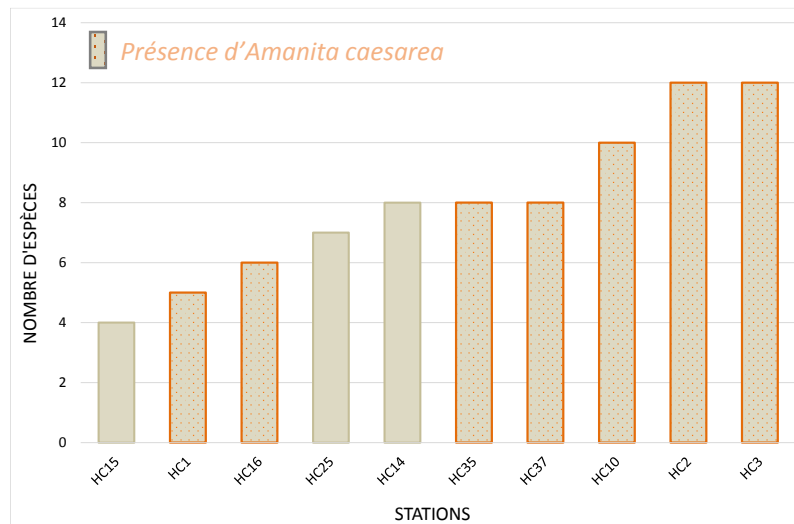


Figure 61 : Diversité spécifique en orthoptères des stations

La diversité alpha moyenne des places à oronge s'élève à 8,7 espèces, pour une diversité gamma de 18 espèces sur les 7 stations d'inventaires. L'analyse par ACP de la composition des communautés ne permet pas de distinguer les stations avérées des stations potentielles en termes d'enjeu de conservation ([Annexe 26](#)). Cependant, des espèces à enjeu en matière de conservation sont présentes sur les stations à *Amanita caesarea*.

Parmi les espèces inféodées aux pelouses sèches, on remarque la présence de deux espèces menacées (*Calliptamus barbarus* et *Omocestus viridulus*), ainsi que celle de *Stenobothrus stigmaticus*, espèce fortement menacée d'extinction dans la zone némorale ; (Figure 622 b).

⁶ La description des *Chorthippus biguttulus* s'est arrêtée au groupe compte-tenu des difficultés de détermination des espèces cryptiques le constituant

Sous-Ordre	Famille	Genre et espèce	Nom vernaculaire
Ensifères	Tettigoniidae	Ruspolia nitidula	Ruspolie à tête de cône
		Conocephalus fuscus	Conocephale commun
		Platycleis albopunctata	Decticelle chagrinée
Caelifères	Tetrigidae	Tetrix undulata	Tetrix forestier
	Acrididae	Calliptamus barbarus	Caloptène de barbarie
		Calliptamus italicus	Caloptène d'Italie
		Oedipoda caerulescens	Oedipode turquoise
		Mecostethus parapleurus	Cricket des roseaux
		Aiolopus strepens	Aiolope automnale
		Gomphocerippus rufus	Gomphocère roux
		Omocestus rufipes	Cricket noir-ébène
		Omocestus viridulus	Cricket verdelet
		Stenobothrus lineatus	Sténobothre commun
		Stenobothrus stigmaticus	Sténobothre nain
		Pseudochorthippus parallelus	Cricket des pâtures
		Chorthippus dorsatus	Cricket vert-échine
		Chorthippus brunneus	Cricket duettiste
		Chorthippus biguttulus	Cricket mélodieux

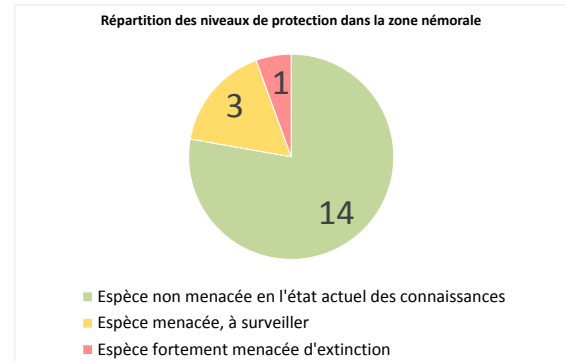


Figure 62 : (a) Tableau de classification des espèces d'orthoptères observées et (b) distribution des niveaux de protection de la zone némorale au sein du cortège

III.2.7.2. Analyse de la distribution des espèces d'orthoptères en fonction des caractéristiques microclimatiques des habitats

Une ACP mettant en lien les espèces d'orthoptères et les paramètres microclimatiques des habitats met en évidence qu'un groupe d'espèces thermophiles constitué de *Calliptamus barbarus*, *Chorthippus dorsatus*, *Aiolopus strepens* et *Oedipoda caerulescens*, se distingue du reste de la communauté (Figure 633).

Par ailleurs, l'analyse révèle que 2 espèces (*Calliptamus barbarus*, *Stenobothrus stigmaticus*) sont associées à une diversité botanique élevée ; Enfin, 2 espèces, *Chorthippus Biguttulus* et *Pseudochorthippus parallelus*, apparaissent à large amplitude au regard des paramètres mesurés.

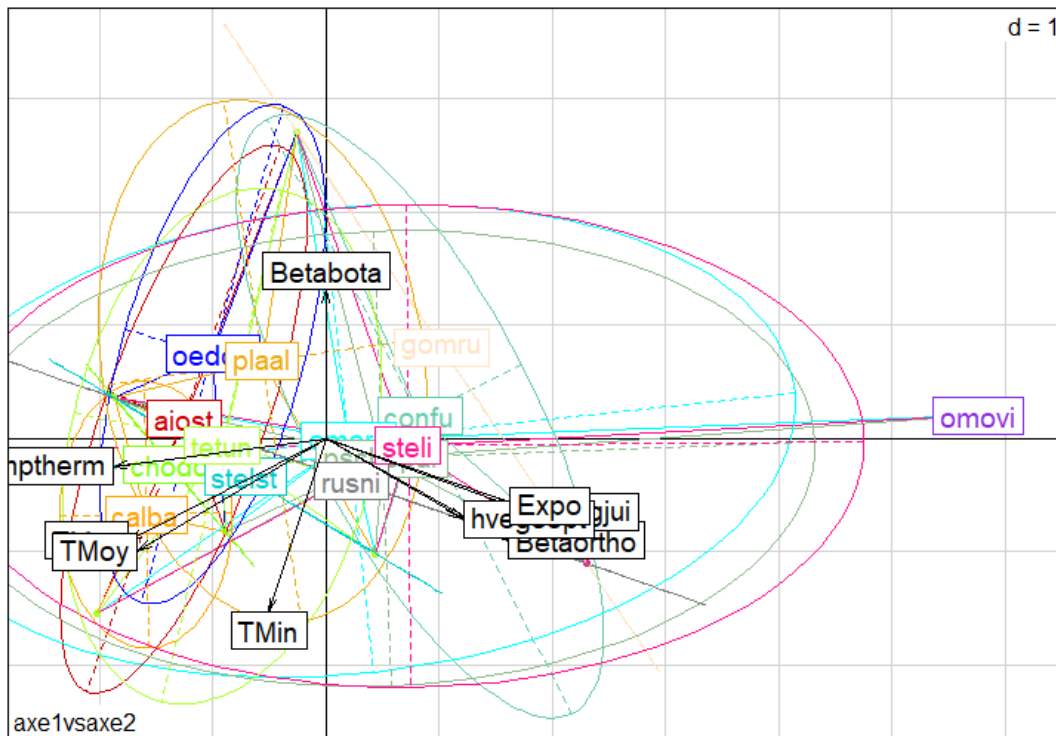


Figure 63 : Représentation en composantes principales de la distribution des espèces d'orthoptères en fonction des caractéristiques microclimatiques des habitats

- Contribution des variables
- Axe 1 : Ampttherm 18%, Hvegjui 17%, Tmax 16%, Tmoy 14%, Betaortho et expo 13%
- Axe 2 : Tmin 29%, Betabota 21%, Tmoy 12%
- Qualité de la représentation (contributions relatives)
- Axe 1 : qualité très bonne sur Ampttherm et Hvegjui, bonne sur Tmax et Tmoy
- Axe 2 : qualité moyenne sur Tmin, médiocre sur betabota

III.2.7.3. Analyse de la distribution des espèces d'orthoptères en fonction des caractéristiques topographiques des habitats et de la végétation

Cette analyse révèle une corrélation entre la diversité en espèce d'orthoptères et la hauteur de végétation à l'échelle de la station (corrélation le long de l'axe 1 ; 73% de l'information du jeu de données ; Figure 644). Le test de corrélation de Pearson indique que plus la végétation dans la strate herbacée est basse, et plus la diversité de la station en espèces d'orthoptères est élevée ($r^2 = 84\%$; $P = 0,002$).

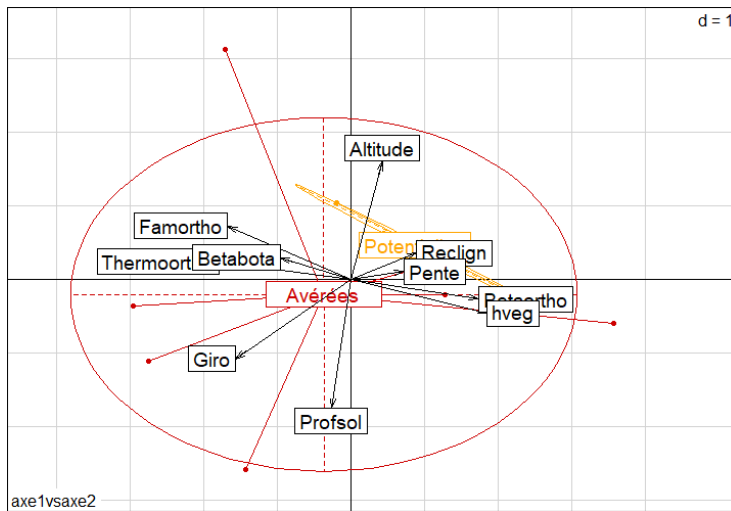


Figure 64 : Représentation en composantes principales de la distribution des stations en fonction des caractéristiques topographiques, botaniques et des habitats

- Contribution des variables

Axe 1 : Hveg et betaortho à 24%, thermoortho à 23% et Famortho à 21%

Axe 2 : Betabota à 91%

- Qualité de la représentation (contributions relatives)

Axe 1 : très bonne pour Hveg et thermoortho, bonne pour Betaortho et Famortho,

Axe 2 : bonne pour altitude et très bonne pour profsol

III.2.8. Analyse de la biodiversité observée au sein des 3 phylum

Pour les trois groupes d'organismes étudiés (champignons ectomycorhiziens, végétaux vasculaires et orthoptères), une liste hiérarchisée des 10 taxons les plus fréquents a été réalisée (Figure 655) et montre que les espèces les plus fréquemment observées en compagnie de l'orange sont :

- pour les macromycètes, *Amanita rubescens*, *Russula virescens* et *Russula subfoetens*,
- pour les végétaux, *Stachys betonica*, *Hypochaeris radicata* et *Festuca sp.*,
- pour les orthoptères, *Pseudo-chorthippus parallelus*, *Chorthippus gp biguttulus*, et *Stenobothrus lineatus*.

Fonge ectomycorhizienne			
	Espèces	Noms vernaculaires	Occurrences
Rang 1	<i>Amanita caesarea</i>	Amanite des césars (Orange)	10
Rang 2	<i>Amanita rubescens</i>	Amanite rougissante (Golmotte)	8
Rang 2	<i>Russula virescens</i>	Russule verdoyante (Palomet)	8
Rang 2	<i>Russula Subfoetens</i>	Russule fausse-fétide	8
Rang 2	<i>Russula Heterophylla</i>	Russule à lames fourchues	8
Rang 3	<i>Amanita spissa</i>	Amanite épaisse	7
Rang 3	<i>Boletus aereus</i>	Cèpe bronzé	7
Rang 4	<i>Boletus aestivalis</i>	Cèpe d'été	6
Rang 4	<i>Amanita vaginata</i>	Amanite vaginée	6
Rang 4	<i>Clitopilus prunulus</i>	Clitopile petite-prune (Meunier)	6

Sur 10 sous-stations productrices d'AC :
HC 1A et B, 2, 3A et B, 4, 10, 16, 35, 37

Botanique (placettes phytosocio)				Orthoptères			
	Espèces	Noms vernaculaires	Occurrences		Espèces	Noms vernaculaires	Occurrences
Rang 1	Festuca sp	Fétuque sp	8	Rang 1	Pseudo-chorthippus parallelus	Criquet des pâtures	7
Rang 1	Stachys betonica	Epiaire officinale	8	Rang 1	Chorthippus gp biguttulus	Criquet mélodieux, duettiste, etc.	7
Rang 1	Hypochaeris radicata	Porcelle enracinée	8	Rang 2	Stenobothrus lineatus	Sténobothre commun	6
Rang 2	Agrostis	Agrostide sp	7	Rang 3	Omocestus rufipes	Criquet noir-ébène	5
Rang 2	Plantago lanceolata	Plantain lancéolé	7	Rang 4	Tetrix undulata	Tetrix forestier	4
Rang 2	Potentilla erecta	Potentille dressée	7	Rang 4	Platycleis albopunctata	Decticelle chagrinée	4
Rang 2	Danthonia decumbens	Danthonie retombante	7	Rang 4	Aiolopus strepens	Aïolope automnale	4
Rang 2	Viola canina	Violette des chiens	7	Rang 4	Ruspolia nitidula	Ruspolie à tête de cône	4
Rang 2	Brachypodium rupestre	Brachypode des rochers	7	Rang 4	Oedipoda caerulea	Oedipode turquoise	4
Rang 3	Luzula campestris	Luzule des champs	6	Rang 5	Calliptamus barbarus	Caloptène de barbarie	3

Sur 8 sous-stations productrices d'AC :
HC 1B, 2, 3B, 4, 10, 16, 35, 37

Sur 7 stations productrices d'AC :
HC 1, 2, 3, 10, 16, 35, 37

Figure 65 : Liste hiérarchisée des 10 taxons les plus fréquents chez les champignons ectomycorhiziens, les végétaux vasculaires et les orthoptères sur les stations à *Amanita caesarea*

La distribution des diversités alpha et gamma pour les trois groupes d'organismes montre qu'à l'échelle de la station, en moyenne 24, 38 et 51% des enjeux de diversité fongique, botanique et entomologique sont couverts (Figure 66). En d'autres termes, le *turnover* des communautés fongiques d'une station à une autre est élevé, alors qu'il est plus faible pour les deux autres groupes.

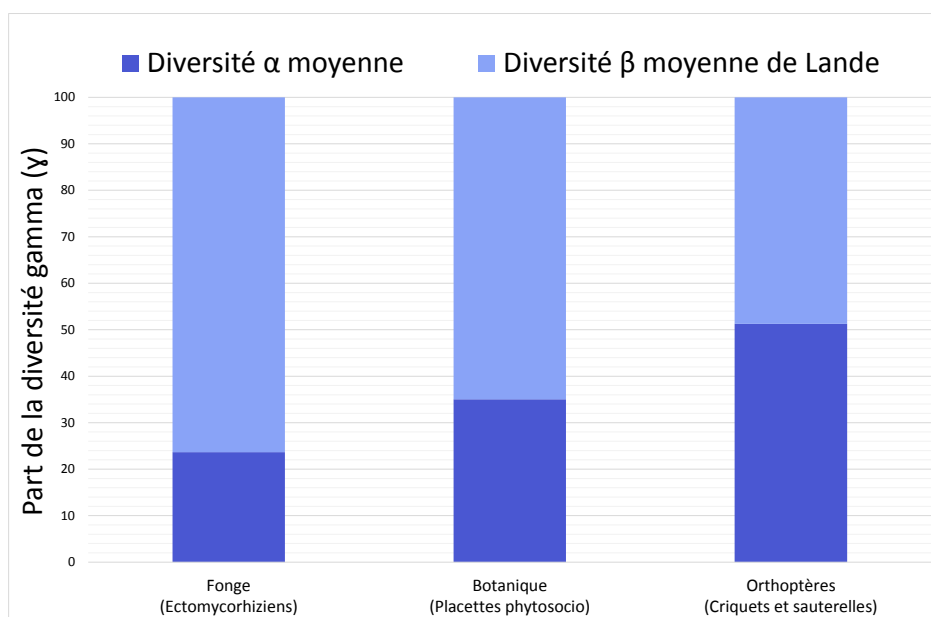


Figure 66 : Indices de diversité des 3 phylum sur les stations à *Amanita caesarea* calculés selon le modèle additif de Lande, 1996. ($\alpha + \beta =$ diversité locale γ)

Diversité Gamma : Nombre d'espèces observées à l'échelle locale (Haute-Corrèze).

Diversité α moyenne : Nombre moyen d'espèces observées par station.

Diversité β moyenne de Lande : Nombre moyen d'espèces non observées à l'échelle de la station.

IV. DISCUSSION

Cette étude avait pour objectif de mieux comprendre la biologie et l'écologie de l'amanite des césars, espèce paradoxalement peu connue malgré une réputation de comestibilité de tout premier ordre. La mise en œuvre d'une vaste gamme d'outils, couplée à une approche complexe s'est appuyée sur deux territoires utilisés comme sources de données, la Corse d'une part (considéré comme un territoire de présence ancienne de l'espèce) et la haute Corrèze par ailleurs (considéré par hypothèse comme un territoire en possible colonisation dans le contexte du réchauffement climatique). La totalité des travaux ont été réalisés sur le terrain, l'orange ne pouvant être cultivée au laboratoire, à l'aide de relevés diachroniques permettant de recueillir une vaste gamme de traits biologiques (biométrie, génotype, etc.) et écologique (caractérisation stationnelle, phénologie de fructification, etc.).

De l'ensemble de ce travail, il ressort que l'orange :

- **Fructifie de manière erratique en Corrèze, mais moins qu'en Corse**, en intensité comme en temporalité d'une année sur l'autre (Figure 20), mais de manière déterministe en réponse à une succession de plusieurs épisodes de pluie dont l'effet est modulé par le facteur thermique,
- **Montre une plasticité écologique remarquable**, en s'établissant, se développant et se reproduisant au sein d'une large gamme d'habitats marqués par un vaste gradient de pratiques anthropiques (Tableau 9),
- **Indique la présence d'espèces thermophiles à enjeux**, aussi bien chez les champignons (comestibles de tout premier ordre), les insectes (espèces sensibles) que les plantes (espèces d'intérêt communautaire), en raison de ses exigences au regard des conditions environnementales.

Dans la discussion qui suit, je développe successivement ces trois grands axes de mon questionnement.

IV.1. L'amanite des Césars, une espèce dont la phénologie de fructification est déterminée par les séquences de précipitations

Une phénologie de fructification non corrélée aux cycles lunaires - Parmi les nombreuses croyances encore largement répandues parmi la population (Durand-Tullou 1972), mais aussi dans des cercles naturalistes plus restreints (Mourgues & Blanc 2011), l'influence déterminante de la nouvelle lune sur les poussées fongiques tient une place importante dans les discours. Bien que cette hypothétique influence ait été testée et rejetée, nous avons tout de même confronté la temporalité des poussées d'*Amanita caesarea* et le calendrier lunaire (Figure/Tableau). Ce parti pris se justifie notamment par la volonté d'inscrire ce travail dans une démarche de vulgarisation de la connaissance, et comme sous-produit d'une analyse critique de savoirs empiriques. De manière convergente avec les travaux précédents conduits sur les communautés, l'analyse des résultats de cette étude montre une probabilité de fructification d'oranges tout à fait constante au cours du cycle lunaire (Tableau 6). Bien sûr, ce travail ne permet pas d'exclure une influence indirecte de l'astre, d'une manière générale, sur le développement végétatif des individus, mais permet à minima d'exclure toute causalité dans les étapes finales du

développement de leurs structures reproductrices. L'intérêt de cette analyse réside essentiellement sur le plan opérationnel, des chercheurs d'oronges se contentant de calquer leur effort de prospection sur les nouvelles lunes (comme souvent entendu dans les discours) manquant 21 des 27 occurrences de pousse ayant eu lieu au cours de la période d'étude. Une recherche optimale de l'orange, pour être pleinement efficace, nécessite donc un effort de prospection régulier, détaché des cycles lunaires.

Une succession de plusieurs épisodes pluvieux détermine la fructification d'*A. caesarea* - La reconstruction des séquences météorologiques précédant les poussées d'amanite des Césars a été réalisée pour les 44 évènements de fructification enregistrés par la station Météo France de Neuvic sur la période 2011 – 2017. L'analyse de la distribution temporelle des précipitations au cours des mois précédant ces poussées a permis d'identifier deux évènements pluvieux dont la fréquence est hautement corrélée avec la fructification (Figure 35) : un épisode pluvieux dit « amorce », se produisant en moyenne 28 ± 2 jours avant la poussée, et un évènement dit « déclencheur », se produisant en moyenne 21 ± 2 jours avant la poussée, initiant une période dite « d'incubation ». La nature des processus biologiques induits par ces pluies dans le sol est peu claire, de même que les raisons de leur complémentarité au regard du cycle de reproduction de l'amanite des Césars. Ces pluies pourraient stimuler la croissance du mycélium, et/ou induire le développement de *promordia*, plusieurs semaines avant la phase finale de la croissance des carpophores. Ces interprétations pourront faire l'objet de futurs développements expérimentaux.

De tels mécanismes pourraient être décryptés grâce aux outils moléculaires récemment développés et permettant de tracer le mycélium dans le sol (Parladé & De la Varga. 2016). L'influence de la pluie amorce sur l'amanite pourrait par exemple être mieux comprise grâce à un suivi temporel fin des concentrations de mycéliums présents dans les sols des places à oronges au cours des semaines précédant les poussées, afin de mieux comprendre la dynamique temporelle du développement végétatif de l'amanite au regard de la dynamique temporelle des précipitations. De tels travaux sont désormais réalisables et peu destructifs, car les quantités de sol (quelques grammes) nécessaires au dosage du mycélium d'espèces cibles dans le sol s'avèrent infimes (Parladé & De la Varga. 2016). De la même manière, la période dite « d'incubation » reste à comprendre en termes biologiques : s'agit-il d'une période au cours de laquelle les individus édifient leurs *primordia* ? Ou bien cette période correspond-elle à une phase de latence, par exemple dans le cadre d'un dialogue avec l'hôte ?

Fait remarquable, la russule verdoyante (*Russula virescens*) répond aux mêmes évènements inducteurs, avec la même temporalité. Pour cette espèce, un évènement déclencheur a été identifié en moyenne 22 ± 2 jours avant la fructification de cette espèce. En revanche, le cèpe bronzé (*Boletus aereus*) se distingue des deux premières espèces par une réponse plus rapide à l'évènement déclencheur, celui-ci se produisant en moyenne 14 ± 4 jours avant sa fructification. Ces différences marquées de phénologie des fructifications signent des autécologies distinctes pour ces espèces thermophiles, et confèrent à la fructification de *Boletus aereus* une valeur prédictive potentielle d'une poussée d'orange et de russule verdoyante, laquelle est attendue en moyenne 8 ± 3 jours après celle du cèpe bronzé. Dans une perspective de valorisation de la ressource fongique sylvestre (restauration haut de gamme ou de terroir, mycotourisme), un tel

décalage phénologique présente un intérêt non négligeable pour une récolte à valoriser commercialement, les carpophores d'amanite des césars étant connus pour leur faible durée de vie (Guzman 2008). Comme limite à cette approche, la présence couplée de ces deux espèces sur les sites échantillonnés n'est pas systématique, 44% des stations à oronge n'ayant pas été le siège d'une poussée de cèpe bronzé (cette espèce pourrait y être absente, ou en éclipse de poussée), et de manière symétrique 30% des stations à cèpe bronzé n'ayant pas été le siège d'une fructification d'orange pendant la durée de l'étude (Figure 58).

La russule verdoyante, pour sa part, est une espèce comestible de tout premier ordre (Courtecuisse & Duhem 1994) faisant l'objet de développements prometteurs en termes de potentiel biomédical (Sun et al. 2009). Sur le plan de son écologie, cette espèce thermophile présente un préférendum marqué de fructification en été (Chacon & Guzman 1995). Les résultats obtenus dans ce travail suggèrent que cette russule peut être considérée comme une véritable espèce compagne de l'orange. En effet, *R. virescens* occupe le même type d'habitats ouverts (lisières, bords de pistes), associée aux mêmes hôtes (essentiellement chênes) et y fructifie au même moment (principalement en été et au début de l'automne) en réponse aux événements pluvieux de manière synchrone avec l'amanite (Figure 34).

Une période d'incubation fortement influencée par les facteurs climatiques – Dans ce travail, nous avons mis en évidence que la durée de la période dite « d'incubation » est significativement augmentée **1**) par le nombre d'épisodes de pluie, notamment au-delà d'une pluie tous les trois jours (Figure 37) et **2**) par des températures atmosphériques journalières moyennes basses (inférieures à 14°C). Au cours de cette période, plus la température moyenne est élevée, plus le temps nécessaire à l'incubation est court. Par ailleurs, plus la durée de cette période d'incubation est longue, plus la température cumulée est importante.

Le modèle le plus significatif traduit une interaction⁷ entre la température moyenne et l'abondance des précipitations pendant la période d'incubation. Un effet seuil indique qu'au-delà d'un certain cumul pluviométrique, la durée d'incubation n'augmente plus.

L'analyse des 16 événements pluviométriques déclencheurs de 44 poussées (sur différentes sous-stations) enregistrés entre 2013 et 2017 permet de distinguer deux types de scénarios climatiques :

- des périodes d'incubations longues (22 à 27 jours), au cours desquelles a régné une température moyenne basse, sous l'effet de plusieurs épisodes pluvieux, et caractérisées par un cumul thermique élevé. De telles séquences ont été observées en 2016 et 2017 (Figure 44),
- des périodes d'incubations courtes (18 à 21 jours) et sèches, au cours desquelles règne une température moyenne élevée. De telles séquences ont été observées en 2017 (Figure 44).

⁷ Les précipitations abaissent la Température atmosphérique et la température atmosphérique influence l'évaporation des précipitations tombées au sol

Une durée et une intensité de poussée d'une grande variabilité – Dans cette étude réalisée au niveau des populations, les périodes de fructifications ont présenté une grande variabilité de durée, de 1 à 21 jours, en fonction des poussées. Les analyses réalisées sur le jeu de données de la station Météo France de Neuvic n'ont pas permis d'établir de corrélation significative entre la durée des épisodes de fructification et les différents paramètres climatiques caractérisant la période d'incubation (cumul de pluie et température moyenne), l'ensemble de ces paramètres semblant faiblement influencer la durée de pousse.

Comme limite à cette approche, on soulignera ici l'incertitude liée à la durée effective des pousses. En effet, il est difficile de définir cette durée lorsque plusieurs épisodes se succèdent, comme pour les 4 pousses observées entre le 08 et le 31 août 2015. La superposition des 4 événements pluviométriques déclencheurs rendant impossible l'éventuelle distinction des pousses entre elles. A défaut, la pousse sur HC35 a ainsi été considérée comme unique, de manière arbitraire, parce que dépourvue d'interruption supérieure à 7 jours, entre le 08 et le 28 août.

D'autre part, on espérait que les analyses génétiques (microsatellites) nous éclairent sur d'éventuelles successions d'individus et ainsi sur des réponses déphasées dans le temps. Malheureusement, le turn over des individus est tel (95%) qu'il rend ce travail très complexe. Une telle analyse n'a pas pu être réalisée au cours de ce travail.

Au niveau de l'individu, on notera qu'un même génotype a produit des carpophores pendant une période maximum de 14 jours (HC2A en 2015 ; données non présentées).

Enfin, ce résultat suggère que d'autres paramètres biotiques (dialogue avec l'hôte, compétition avec d'autres espèces en cooccurrence, etc.) ou abiotiques (conditions climatiques enregistrées sur une période plus longue, épisode de vent, etc.) pourraient déterminer la durée des fructifications de l'orange.

Concernant l'intensité de ces poussées, mesurée en nombre de carpophores ou bien en biomasse produite, il n'a été trouvé aucune corrélation significative avec les paramètres de la séquence climatique précédant la poussée, y compris en analysant les épisodes pluvieux printaniers. Cette absence de lien suggère un déterminisme plus complexe, faisant possiblement intervenir la physiologie de l'arbre hôte ou d'autres interactions biotiques.

IV.2. Une espèce dont les carpophores présentent des caractéristiques biométriques variables aux niveaux local et régional

Les comparaisons de traits morphométriques permettent de différencier de manière claire les sporophores de Corse de ceux de Haute-Corrèze ; ces derniers sont plus élancés et présentent un chapeau moins développé. En d'autres termes, à diamètre égal de chapeau, les sporophores d'*A. caesarea* de Corse présentent un stipe plus grand, et dispersent donc leurs spores depuis des basides situées à des distances du sol plus élevée que les carpophores de haute Corrèze. Par ailleurs, à masse égale de carpophore, les amanites de Corse présentent des chapeaux moins lourds que les amanites de haute Corrèze.

Ces résultats questionnent à la fois sur les moteurs de la variabilité de tels traits, et sur les conséquences de cette variabilité entre des populations issues d'habitats aussi contrastés que ceux de notre étude (forêt fermée de chêne vert en Corse vs pelouses sèches de haute Corrèze). Ces traits sont-ils sous sélection ? Utilisés comme proxy des investissements reproductifs pour la dispersion (hauteur de stipe à diamètre égal de chapeau) ou la production de spores sexuée (masse relative du chapeau), ces traits peuvent être interprétés, de manière spéculative en l'absence de tests expérimentaux et de véritables mesures de fitness (nombre et viabilité des spores produites par exemple). Dans les boisements fermés du Fango, une dispersion des spores à plus grande distance pourrait permettre d'optimiser les chances de gagner de nouvelles lisières pour ce champignon pionnier expansionniste et donc de coloniser de nouveaux habitats. Mais comment interpréter cet avantage à la lumière d'un plus faible nombre de spores produites ? De manière alternative, une silhouette plus ou moins trapue, à savoir plus « ramassée » dans les pelouses de haute Corrèze et plus élancée dans les boisements fermés de Corse, pourrait constituer une réponse adaptée aux différences d'exposition aux contraintes aérologiques dans ces deux types de milieux, le caractère élancé pouvant s'avérer délétère au cours du développement du carpophore en milieu ouvert.

Au sein des stations de Corrèze, notre jeu de donnée n'a pas permis de mettre en évidence de différences morphométriques inter-annuelles au sein d'une même station (une seule station testée). En revanche, entre stations corréziennes, les sporophores d'*A. caesarea* montrent des diamètres de chapeau similaires, mais les hauteurs diffèrent entre deux groupes de stations, HC3 et HC35 d'une part, stations plutôt ouvertes et montrant des carpophores plus ramassés, et HC1 et HC4 d'autre part, stations en cours de fermeture et présentant des sporophores plus élancés. Ces résultats ouvrent des perspectives de travaux plus ambitieux sur le déterminisme de cette variabilité de traits. Par exemple, des dispositifs d'adjonction d'ombrage artificiel/simulateur de strate herbacée, ou bien des travaux de réouverture manuelle pourraient permettre de tester la réponse de l'espèce aux paramètres microclimatiques, et surtout de dégager ce qui, dans cette réponse, est d'ordre adaptatif ou de l'ordre de la plasticité de l'individu.

IV.3. L'amanite des Césars, une espèce dont la distribution est liée à l'agriculture et aux perturbations ?

Une espèce ectomycorhizienne établie végétativement au-delà de la lisière forestière- Dans ce travail, il a été mis en évidence que l'amanite des Césars produit ses fructifications dans des habitats contrastés, des forêts fermées de chêne vert en Corse, avec une préférence pour les trouées naturelles de la canopée induites par des chablis ou des volis (Richard et al. 2004, 2010), jusqu'aux pelouses de Haute-Corrèze. Dans ces derniers habitats ouverts, des fructifications ont été observées jusqu'à une distance de 30 mètres de l'hôte. L'utilisation des techniques de biologie moléculaire a confirmé la présence de mycélium d'amanite des Césars dans le sol de ces habitats, jusqu'à une distance de 20 m de la lisière forestière (Figure 17). Ces résultats suggèrent que dans les sols des pelouses analysées, les racines de l'arbre hôte parviennent sans doute à une telle distance, distance correspondant à la hauteur dominante du boisement.

Dans les stations de Haute-Corrèze, l'amanite des césars ne développe pas son mycélium dans les seules places à oronge, mais présente également une distribution végétative, quoique plus diffuse, dans les habitats attenants, de la forêt à canopée fermée (où elle est peu présente) jusqu'aux groupements à joncs et renoncules des fonds de talweg (Figure 17). Ces résultats montrent la plasticité écologique de cette espèce, mais aussi son affinité claire pour les milieux de transitions, ouvert à semi-ouverts. Grâce à l'usage de la qPCR, outil particulièrement performant pour décrire la distribution souterraine des espèces (Taschen et al. 2015), il a ainsi été établi qu'une bande d'une vingtaine de mètres au-delà de la lisière forestière constitue la zone à enjeu pour cette espèce, bien qu'une concentration plus élevée ait été détectée dans le sol des places à oronge. Ce résultat permet de penser les modalités d'une possible gestion des milieux compatible avec le maintien de cette espèce dans les stations où elle est présente. Ainsi, le maintien voire l'implantation de l'amanite des césars pourrait être favorisé par **1**) toute sylviculture permettant de maintenir l'hôte **2**) toute pratique agricole permettant de maintenir l'ouverture des habitats, de la lisière à la mégaphorbiaie et **3**) d'une attention particulière portée aux pelouses rases.

Une espèce établie dans des habitats profondément modifiés socialement – L'analyse des pratiques forestières et agricoles associées aux stations d'*A. caesarea* de haute Corrèze a révélé que cette espèce est présente dans des milieux contrastés au regard de leur degré d'anthropisation. En effet, l'oronge s'est établie aussi bien dans des pelouses spontanées (c'est-à-dire résultant de défrichements anciens) que dans des prairies artificielles, issues d'un semi après retournement des 6 à 8 premiers centimètres du sol. Par ailleurs, dans ces milieux ouverts, l'oronge semble en mesure de se maintenir face à une vaste gamme de pratiques agricoles en lien avec le pâturage bovin.

En général, les places à oronges concernées ne sont pas facilement accessibles en tracteur, ce qui limite la fréquence des interventions et l'emploi de lourdes machines. Elles reçoivent une partie des apports organique ou minéraux mais probablement des concentrations plus réduites que sur les parties plates et portantes des parcelles. Au regard de l'historique des pratiques d'amendement, le chaulage ne semble pas incompatible avec le développement et la fructification d'*A. caesarea*. Ce résultat peut paraître surprenant au premier abord, cette espèce étant connue pour son affinité pour les sols à pH acide (Eyssartier et Roux 2011). Cependant, les mesures réalisées sur les places à oronge indiquent un pH légèrement acide dans les premiers centimètres, et suggèrent donc que les apports de chaux n'ont pas véritablement induit des conditions édaphiques délétères pour cette espèce. D'ailleurs, après chaulage, ces pH restent un point inférieur à ceux mesurés dans la forêt du Fango en Corse (Tableau 11). De la même manière, des amendements réguliers en NPK, jusqu'à 150 kg.ha⁻¹ tous les dix ans, semblent compatibles avec le maintien de l'oronge. Il faut regarder plus finement le parcours des engins pour évaluer les quantités apportées. Ce résultat pose également question, les champignons ectomycorhiziens étant connus pour leur réponse négative aux apports azotés (Lilleskov et al. 2002 ; Van Diepen et al. 2010). L'amanite des césars pourrait montrer une affinité pour les sols à fertilité ponctuellement élevée au regard de leur teneur en azote disponible, comme cela a été montré pour une partie de la diversité ectomycorhizienne dans les forêts de Colombie Britannique par Kranabetter et al. (2009).

L'entretien de la parcelle (gyrobroyage, passage répété de la herse rotative), mais aussi le piétinement par un pâturage bovin pouvant atteindre 2,7 animaux/jour/ha par an constituent autant de contraintes enregistrées par les premiers centimètres du sol, lieu de vie du mycélium d'amanite des Césars. Cette espèce semble donc posséder une tolérance importante vis-à-vis des perturbations ou des contraintes, comme le démontre également son affinité pour les trouées naturelles en Corse (Richard et al. 2004), scène d'un intense pâturage et pacage par les porcins sauvages. Dans les pelouses de haute Corrèze, l'orange montre donc une remarquable adaptabilité à des contextes écologiques variables, à la fois en termes de condition pédologiques, mais aussi au regard des régimes de perturbations ou des contraintes d'origine socio-culturelle.

IV.4. Les places à orange : un micro-habitat où converge la diversité de l'espèce

Dans ce travail, il a été montré qu'à l'échelle de la place à orange (c.à.d. celle de la sous-station en haute Corrèze, correspondant à une surface de quelques ares, et celle de la trouée naturelle en Corse, correspondant à une surface de 1 à 3 ares), **une diversité élevée de génotypes cooccurrents** (jusqu'à 46 dans HC35 ; Tableau 8) **fructifie de manière erratique, pour la plupart d'entre eux au cours d'une seule année (95% des génotypes de haute Corrèze, et 74% des génotypes de Corse)**. Il résulte de cette diversité stationnelle un ensemble génétique diversifié au niveau de l'ensemble du territoire (115 et 99 génotypes identifiés pour 248 et 319 carpophores génotypés en haute Corrèze et en Corse, respectivement).

Ainsi, une place à orange, qu'elle soit située dans les boisements fermés de la forêt du Fango en Corse ou dans les pelouses sèches limousines, montre une structure de population similaire, formée d'individus végétatifs pérennes, réalisant de nombreuses éclipses de fructifications. Ces places présentent des variations fortes de production sous l'effet d'importantes variations inter-annuelles du nombre de génotypes réalisant leur investissement reproducteur. En d'autres termes, **la production des places à orange repose sur la diversité génotypique qu'elles contiennent, les années prolifiques reflétant l'investissement reproductif d'une grande diversité, et non pas celui d'un ou plusieurs individus hyper-productifs**.

L'analyse temporelle des génotypes pendant plusieurs années, en Corse comme dans le Limousin, montre qu'une part minoritaire des individus fructifie régulièrement, la grande majorité des génotypes n'ayant été contacté qu'une seule année. L'utilisation de modèles de capture-recapture, prévue dans le cadre d'un travail co-encadré au printemps 2019, permettra de réfléchir aux déterminants biologiques de ces patrons, qu'ils soient liés à des éclipses de fructification ou à un véritable turnover dans le sol.

Contrairement aux forêts Méditerranéennes de Corse, où une poussée unique et brève d'orange se produit chaque année (Richard et al. 2004 ; Richard et al. 2011), plusieurs poussées se sont produites une même année dans la plupart des stations de haute Corrèze ([Annexe 13](#)). L'analyse de la succession temporelle des génotypes correspondants montre que ces places à orange ont été le siège de successions d'investissements reproductifs de la part d'individus génétiques

différents, au cours des différentes poussées d'une même saison de fructification. Dans une seule station (HC3B), un individu a fructifié à deux reprises au cours d'une même saison, le 23/07/2014 et le 26/10/2014 (données non présentées). Dans tous les cas des autres poussées multiples, une succession de génotypes s'est produite. Ce résultat interroge sur les causes d'un tel turnover, se produisant malgré des conditions favorables à la fructification de l'espèce. En effet, le maintien manifeste des conditions favorables de poussées, pendant plusieurs semaines, ne donne pas lieu à une fructification répétée des mêmes génotypes, mais induit la reproduction de nouveaux génotypes, présents dans des populations souterraines de taille non connue. Les mécanismes biologiques ou les filtres environnementaux à l'origine de ces séquences sont méconnus, et pourraient inclure une régulation par l'hôte, des distributions souterraines des mycéliums contrastées, générant des décalages phénologiques de développement, ou encore un déphasage des cycles végétatifs et reproducteurs des individus cooccurrents comme mécanisme permettant leurs coexistences.

L'importante diversité génétique constatée sur les stations de Corrèze (2 à 46 génotypes sur des surfaces de l'ordre de l'are) et en Corse (15 génotypes par are), couplée au caractère asynchrone des fructifications des individus, **atteste du fait qu'une place à oronge est avant tout un micro-habitat favorable à l'installation et la reproduction d'une population de cette espèce, et non pas le site de l'établissement d'un individu particulièrement longévif.** En cela, cette espèce montre une biologie de la reproduction assez proche d'un autre basidiomycète, *Tricholoma matsutake*, dont les ronds de sorcières associés aux boisements de *Pinus densiflora* sont constitués de 1 à 4 génotypes, aux mycéliums et mycorhizes sont entrelacés, en lien avec un collectif d'hôtes environnants (Lian et al. 2006).

Le nombre important de génotypes à très faible productivité, dominant en Corse comme en haute Corrèze (Figure 45), est un résultat en accord avec la plupart des travaux précédents, notamment ceux consacrés à d'autres basidiomycètes tels que *Laccaria amethystina* (Gherbi et al. 1999 ; Roy et al. 2008) ou encore *Cantharellus formosus* (Dunham et al. 2003). Cette structure de population, basée sur les seules fructifications, pourrait traduire la taille réduite des individus végétatifs ou la faible longévité de la plupart d'entre eux. Néanmoins, d'autres recherches consacrées à la distribution du mycélium dans le sol, basées sur l'emploi des NGS (Next Generation Sequencing), sont nécessaires avant de conclure sur la nature végétative souterraine de ce signal reproductif aérien.

Au cours des dernières décennies, il a été constaté une augmentation des épisodes de fructifications d'amanite des Césars en France, particulièrement remarquables en dehors de la région méditerranéenne. Cette tendance, basée sur les témoignages de mycologues référents au sein des diverses sociétés mycologiques, a été attribuée de manière empirique au réchauffement climatique en cours. Celui-ci favoriserait une expansion vers le nord de cette espèce connue pour ses affinités méditerranéennes. En comparant la structure génétique de populations issues du cœur de son aire méditerranéenne (Corse) avec des populations situées dans des territoires en limite septentrionale d'aire (haute Corrèze), notre étude visait à étayer ou infirmer cette hypothèse. En effet, des populations récemment établies sont attendues avec une plus faible diversité, dépourvues d'allèles endémiques, par rapport des populations situées au cœur de

l'aire de distribution (voir Pringle et al. 2009 pour l'exemple d'*Amanita phalloides*, espèce introduite au cours du 20^{ème} siècle en Californie). Le premier examen du jeu de marqueurs microsatellites montre une diversité génétique comparable au sein des populations corses et limousines. Ce résultat, qui doit être affiné par une analyse statistique de la distribution des allèles au sein des populations à l'aide d'outils d'analyses adaptés (ce sera l'objet d'un travail de recherche à réaliser au printemps 2019), supporte davantage l'hypothèse d'une présence ancienne de cette espèce dans les pelouses de Haute Corrèze, et non pas celle d'un front de colonisation en cours dans ces territoires. Selon ce scénario, le réchauffement climatique actuel pourrait favoriser cette espèce thermophile, et rendre ces épisodes de fructifications plus fréquents qu'ils ne l'étaient au cours du siècle dernier dans les écosystèmes de Haute Corrèze sans pour autant expliquer une extension des marges septentrionales de l'aire de distribution.

Le microclimat des places à oronge, relevé par des sondes thermiques placées dans trois stations, a été comparé à celui des habitats attenants (sous-bois, prairie) équipés de dispositifs similaires. Il apparaît que les pelouses sèches où fructifie cette espèce présentent des régimes thermiques particulièrement contrastés. Fraîches en hiver et chaudes en été. De telles températures estivales pourraient accentuer le caractère méditerranéen des pelouses sèches concernées, et contribuer au maintien de cette espèce, et au développement de son mycélium dont les concentrations les plus élevées ont été relevées dans ces habitats (Figure 18). Il résulte de ces écarts importants que les places à oronges ne bénéficient pas des températures moyennes les plus élevées, certaines pelouses productives (HC1) s'avérant plus fraîches que les sous-bois d'autres stations (HC40 ; Figure 55). La température des pelouses sèches n'apparaît donc pas comme le facteur déterminant la distribution végétative et la fructification de l'oronge, et l'absence de récoltes dans les boisements fermés de Haute Corrèze ne peut être attribuée à une seule différence de température moyenne, mais à d'autres paramètres.

IV.5. Les pelouses sèches de haute Corrèze, des écosystèmes dans lesquels convergent des enjeux de conservation de la biodiversité

Quelle diversité fongique ectomycorhizienne dans les stations à oronge ? – Une première évaluation des enjeux mycologiques associés aux places à oronge des pelouses sèches de Haute Corrèze a permis de dénombrer la présence de 63 espèces. Bien entendu, les inventaires réalisés ne permettent pas d'atteindre l'exhaustivité, des passages répétés pendant plusieurs années, couplés à des analyses moléculaires dans les sols (*cf.* Richard et al. 2005 pour une illustration de la complémentarité de ces approches), étant nécessaires pour fournir une image plus précise de la diversité présente dans ces milieux. Les relevés effectués démontrent néanmoins que les stations à oronge présentent des communautés diversifiées, dominées par les espèces de russules et de bolets, et que leur composition varie sans doute en raison de la grande variabilité des conditions environnementales en haute Corrèze. De manière intéressante, dans 81% des stations, la présence de l'oronge s'est avérée prédictive de celle de deux autres espèces comestibles de tout premier ordre (la russule verte et le cèpe bronzé). Ce résultat souligne la haute valeur myco-gastronomique potentielle des stations à oronge, ces trois espèces étant d'identification aisée, et pouvant faire l'objet d'une valorisation personnelle sans risque de la part des propriétaires.

Quels enjeux de diversité botanique et entomologique dans les stations à oronge ? – L'analyse floristique des places à oronge a révélé que les 71 espèces inventoriées font partie de la liste rouge de la flore vasculaire du Limousin. Ces espèces ont également été rencontrées dans les stations potentielles, et leur distribution ne permet donc pas d'assigner aux places à oronge un enjeu de conservation particulier sur le plan botanique, comparativement à d'autres pelouses de Haute Corrèze n'ayant pas été le siège de fructifications d'*A. caesarea*. Si la végétation particulièrement rase des places à oronge (« effet brûlé » observé dans la plupart d'entre elles) se traduit par une diversité plus faible en espèces végétales, elle s'accompagne aussi d'une diversité en orthoptères qui semble être favorisée par le caractère ras des groupements de pelouses (corrélation significative, §2.7.4). Dans ces pelouses sèches, il a ainsi été trouvé de 5 à 12 espèces d'orthoptères, dont trois espèces à enjeu, en plus des 71 espèces végétales précédentes, et en particulier *Stenobothrus stigmaticus*, fortement menacée d'extinction dans la zone némorale (Sardet et Defaut 2004). Cette espèce n'a été répertoriée que dans une seule station, où une population d'oronge a été détectée.

Dans cette étude, les espèces d'orthoptères ont révélé leur sensibilité aux conditions environnementales des places à oronge. Ainsi, la variabilité microclimatique des places à oronge (générée par les gradients de température, d'exposition, de pente, etc...), déjà reflétée par le *turnover* végétal qu'elle induit entre les stations, est également responsable de variations significatives de composition des communautés d'orthoptères (§2.7.8). Le facteur déterminant ces patrons pourrait être thermique, la diversité en familles d'orthoptères semblant positivement corrélée aux températures relevées in situ, et les stations les plus thermophiles accumulant à la fois les espèces à « large amplitude » et les espèces thermophiles.

En termes de conservation, les différences de composition des communautés entre les stations génèrent une intéressante complémentarité des places à oronge sur le plan des enjeux de conservation botanique et entomologique qu'elles portent.

V. CONCLUSION

Malgré une distribution centrée sur la zone méditerranéenne, l'amanite des césars arrive à trouver des conditions écologiques favorables à son implantation et à son développement dans la moitié nord de la France. En Haute Corrèze, elle parvient à trouver un optimum écologique à la faveur de conditions particulières et marginales.

Leur développement au sein des pelouses sèches, à une distance de 10 à 20 mètres de leur hôte, leur permet de bénéficier d'un climat plus chaud qu'en sous-bois, son habitat originel en région méditerranéenne. Elle bénéficie dans la pelouse de conditions optimales de développement, facilitées par les pluies régulières du climat tempéré océanique local. Cela se traduit par des pousses régulières année après année, parfois multiples au sein d'une même année. L'espèce reste malgré tout confidentielle car la productivité moyenne des stations observée pendant l'étude n'est que de $4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$. Son développement dans la pelouse se traduit également par une morphologie courte et massive (masse moyenne 92 g, hauteur moyenne du stipe 76 mm) corrélée à la hauteur de la végétation environnante, très différente des individus des sous-bois corses plus élevés et grêles.

Ces milieux propices sont artificiels et ne doivent leur existence qu'à une activité agricole et forestière ancienne et relativement extensive. L'étude a cependant permis de montrer sa plasticité écologique vis-à-vis de nombreuses variables environnementales (topographie, sol, etc.) et culturels (engrais, amendements, etc). L'espèce développe une stratégie adaptative, « S-R » (sensu Grime 1977), de tolérance au stress subi par son habitat.

Les communautés qui s'y développent sont parfaitement comparables à celles observées en Corse, en termes de diversité génétique, mais aussi d'intensité et de rythme de production de carpophores par les géotypes. Compte-tenu du fort turnover des individus fructifiants (95% ; observé entre 2013 et 2016), il n'est pas possible, par ce travail, d'estimer la taille des populations sur les places à oronges. Une étude plus spécifique sera menée à ce sujet à partir de 2019 et cherchera à contribuer à une meilleure connaissance de l'âge, de la structure et des modalités de reproduction des populations.

L'amanite des césars a investi des habitats qui abritent une diversité fongique, botanique et orthoptère remarquable. Cependant, ces îlots de biodiversité sont menacés par la déprise agricole et la fermeture de la canopée, en lien avec leur faible productivité fourragère décrite par les agriculteurs. Une approche conservatoire se traduirait de manière opérationnelle par le maintien du pastoralisme, associé à un entretien régulier et à des apports d'intrants peu intenses et peu fréquents.

Au-delà d'éventuelles mesures de gestion conservatoires institutionnalisées, la meilleure garantie de durabilité des places à oronges réside sûrement dans la sensibilisation des propriétaires et dans la transmission de leur localisation, de génération en génération. Elle pourrait être motivée par la compréhension des mécanismes de développement et de fructification, associée au privilège d'accéder à des ressources rares et très recherchées. La conservation de ces pelouses sèches permettrait 1) la poursuite des inventaires et des prélèvements biologiques pour comprendre la structure génétique et la dynamique des populations d'orange, et 2) l'observation du changement climatique au sein d'habitats thermophiles favorables à l'accueil d'espèces méridionales et dont il est possible d'établir une cartographie à grande échelle à partir des enseignements de cette étude.

VI. BIBLIOGRAPHIE

- Boddy, L., Büntgen, U., Egli, S., Gange, A. C., Heegaard, E., Kirk, P. M., Mohammad A. & Kauserud, H. (2014). Climate variation effects on fungal fruiting. *Fungal Ecology*, 10, 20-33.
- Chauchard S., Carcaillet C. & Guibal F. (2007) Patterns of land-use abandonment control tree-recruitment and forest dynamics in Mediterranean mountains. *Ecosystems*, 10, 936-948, DOI: 10.1007/s10021-007-9065-4
- Courtecuisse, R., & Duhem, B. (1994). *Guide des champignons de France et d'Europe: 1752 espèces décrites et illustrées*. Delachaux & Néstlé.
- Douhan, G. W., & Rizzo, D. M. (2005). Phylogenetic divergence in a local population of the ectomycorrhizal fungus *Cenococcum geophilum*. *New Phytologist*, 166(1), 263-271.
- Dunham, S. M., Kretzer, A., & Pfrender, M. E. (2003). Characterization of Pacific golden chanterelle (*Cantharellus formosus*) genet size using co-dominant microsatellite markers. *Molecular Ecology*, 12(6), 1607-1618.
- Durand-Tullou, A. (1972). Rôle des végétaux dans la vie de l'homme au temps de la civilisation traditionnelle. (Etude ethnobotanique sur le Causse de Blandas, Gard). *Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliquée*, 19(6), 222-248.
- Endo, N., Gisusi, S., Fukuda, M., & Yamada, A. (2013). In vitro mycorrhization and acclimatization of *Amanita caesareoides* and its relatives on *Pinus densiflora*. *Mycorrhiza*, 23(4), 303-315.
- Eyssartier, G., & Roux, P. (2011). *Le guide des champignons: France et Europe*. Belin.
- Genney, Ian C. Anderson, Ian J. Alexander. (2006). Fine-scale distribution of pine ectomycorrhizas and their extramatrical mycelium. *New Phytologist*, 170, 381–390.
- Gherbi, H., Delaruelle, C., Selosse, M. A., & Martin, F. (1999). High genetic diversity in a population of the ectomycorrhizal basidiomycete *Laccaria amethystina* in a 150-year-old beech forest. *Molecular Ecology*, 8(12), 2003-2013.
- Grime, J. P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist* 111, 1169-1194 (1977).
- Guzmán, G. (2008). Diversity and use of traditional Mexican medicinal fungi. A review. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 10(3).
- Hawksworth, D. L. (2001). Mushrooms: the extent of the unexplored potential. *International journal of medicinal mushrooms*, 3(4).
- Kauserud, H., Heegaard, E., Büntgen, U., Halvorsen, R., Egli, S., Senn-Irlet, B., ... & Høiland, K. (2012). Warming-induced shift in European mushroom fruiting phenology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201200789.
- Kranabetter, J. M., Friesen, J., Gamiet, S., & Kroeger, P. (2009). Epigeous fruiting bodies of ectomycorrhizal fungi as indicators of soil fertility and associated nitrogen status of boreal forests. *Mycorrhiza*, 19(8), 535-548.

- Le Tacon, F., Zeller, B., Plain, C., Hossann, C., Bréchet, C., & Robin, C. (2013). Carbon transfer from the host to *Tuber melanosporum* mycorrhizas and ascocarps followed using a ¹³C pulse-labeling technique. *PLoS One*, *8*(5), e64626.
- Lian, C., Narimatsu, M., Nara, K., & Hogetsu, T. (2006). *Tricholoma matsutake* in a natural *Pinus densiflora* forest: correspondence between above-and below-ground genets, association with multiple host trees and alteration of existing ectomycorrhizal communities. *New Phytologist*, *171*(4), 825-836.
- Lilleskov, E. A., Hobbie, E. A., & Fahey, T. J. (2002). Ectomycorrhizal fungal taxa differing in response to nitrogen deposition also differ in pure culture organic nitrogen use and natural abundance of nitrogen isotopes. *New Phytologist*, *154*(1), 219-231.
- Mourgues Y. & Blanc G. (2011). Des champignons par temps de pleine lune. *Bull. FAMM* *39*(1) : 39-43.
- Olivera, A., Fischer, C. R., Bonet, J. A., De Aragón, J. M., Oliach, D., & Colinas, C. (2011). Weed management and irrigation are key treatments in emerging black truffle (*Tuber melanosporum*) cultivation. *New forests*, *42*(2), 227-239.
- Parladé, J., De la Varga, H., & Pera, J. (2016). Tools to trace truffles in soil. In *True Truffle (Tuber spp.) in the World* (pp. 249-266). Springer, Cham.
- Pringle, A., Adams, R. I., Cross, H. B., & Bruns, T. D. (2009). The ectomycorrhizal fungus *Amanita phalloides* was introduced and is expanding its range on the west coast of North America. *Molecular Ecology*, *18*(5), 817-833.
- Raynal, C. (1996). Promenade étymologique (Pharmacie et étymologie)[Question LXXXVIII, Pharmacie et littérature]. *Revue d'Histoire de la Pharmacie*, *84*(311), 450-451.
- Roy, M., DUBOIS, M. P., Proffit, M., Vincenot, L., Desmarais, E., & SELOSSE, M. A. (2008). Evidence from population genetics that the ectomycorrhizal basidiomycete *Laccaria amethystina* is an actual multihost symbiont. *Molecular Ecology*, *17*(12), 2825-2838.
- SARDET E. & B. DEFAUT (coordinateurs), 2004. Les Orthoptères menacés en France. Liste rouge nationale et listes rouges par domaines biogéographiques. *Matériaux Orthoptériques et Entomocénétiques*, *9* : 125-137.
- Selosse M.—A., Schneider-Maunoury L., Martos F. (2018). Time to re-think fungal ecology? Fungal ecological niches are often Prejudged. *New Phytologist* *217*: 968-972.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2010). *Mycorrhizal symbiosis*. Academic press.
- Sun, Z., He, Y., Liang, Z., Zhou, W., & Niu, T. (2009). Sulfation of (1→3)-β-D-glucan from the fruiting bodies of *Russula virescens* and antitumor activities of the modifiers. *Carbohydrate polymers*, *77*(3), 628-633.
- Van Diepen, L. T., Lilleskov, E. A., Pregitzer, K. S., & Miller, R. M. (2010). Simulated nitrogen deposition causes a decline of intra-and extraradical abundance of arbuscular mycorrhizal fungi and changes in microbial community structure in northern hardwood forests. *Ecosystems*, *13*(5), 683-695.
- Wolfe, B. E., Richard, F., Cross, H. B., & Pringle, A. (2010). Distribution and abundance of the introduced ectomycorrhizal fungus *Amanita phalloides* in North America. *New Phytologist*, *185*(3), 803-816.

Tulle ➔ Pays d'Egletons et Xaintrie

■ ARGENTAT

Lydie Mielvaque ouvre son salon



■ Coiffure Création est le nom du salon de coiffure situé au 18 de l'avenue Henri-IV. Lydie Mielvaque est la fille de Richard Mielvaque, cordonnier à Argentat. À 27 ans et après 9 années d'expérience, Lydie a décidé de voler de ses propres ailes dans un métier qu'elle connaît bien et qu'elle souhaite exercer dans les règles de l'art en proposant des couleurs sans ammoniacque par exemple.

Le roi des champignons s'est montré aux alentours d'Argentat



■ GASTRONOMIE. À la poêle en fines lamelles pour le plus grand plaisir des gourmets.

Vendredi 5 août, Josette Bancharel a trouvé près de 4 kg d'oranges appelées amanites des césars, car très prisé des empereurs romains. L'orange est considérée comme le roi des champignons. ■

NETTOYAGE DE LA VOIRIE. La municipalité d'Argentat a confié à l'entreprise Viatch (installée zone artisanale de l'hôpital) le nettoyage de la principale artère du centre-ville. Un lavage sera ainsi réalisé du 16 au 18 août.

Le stationnement et la circulation seront modifiés si besoin, avec mise en place d'une signalisation temporaire.

Le planning des interventions est le suivant : mardi 16 août à partir de 6 heures : avenue Pasteur et place Gambetta ; du mercredi 17 au 18 août : avenue des Xaintries, avenue Henri-IV.

Il est recommandé aux commerçants de ne réaliser le nettoyage des vitrines qu'après le passage des engins. Viatch effectuera également un balayage des principales rues autour du centre-ville. ■

■ MONCEAUX-SUR-DORDOGNE

CONCOURS DE PÉTANQUE. Dimanche 14 août, le Football club de Monceaux organise son traditionnel concours de pétanque en doublettes. Les inscriptions débiteront à 14 heures au terrain de tambourin. Les participants disposeront d'une buvette et de grillades sur place. Des trophées sont à gagner et les inscriptions seront remises en jeu. ■

■ HAUTEFAGE

FÊTE DU VILLAGE. Le Comité des fêtes propose pour la traditionnelle fête du 15 août, un repas choucroute sous chapiteau animé par un orchestre, le dimanche 14 août et lundi 15 août, vide-greniers toute la journée, concours de pêche le matin et l'après-midi jeux gonflables pour les grands et les petits et jeux en bois. ■

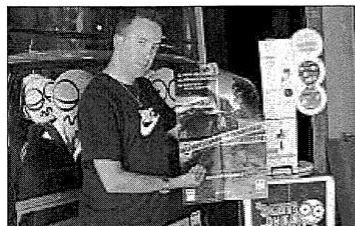
VIDE-GRENIERS DU 15 AOÛT. Pour le vide-greniers du 15 août, à Hauteage, il est souhaitable de s'inscrire auprès de la mairie au 05.55.28.08.43 ou à Paul Eyrgnoux à Labroquerie au 05.55.28.8778. ■

■ CLERGOUX

Sécurité routière pendant la fête votive

Onze ans que Loran Naldo est le président du Comité des fêtes de Clergoux. S'investissant pleinement pour sa commune, il ne ménage ni son temps, ni son énergie, et organise tout au long de l'année, un certain nombre de manifestations diverses et variées. Trois mois de préparation ont été nécessaires, pour présenter le programme intégral de la fête votive avec une centaine de commerçants, artisans et hôteliers démarchés, afin qu'un livret rappelant des rêves « people » puisse voir le jour. Pour la quatrième année consécutive ont pu ainsi apprécier des artistes comme DJ Manu, DJ Florum, DJ Pascal, DJ Cyril, Mr. Lulu, Dee-G Ton's, et Open Mind.

Alors que les animations remportent toujours un vif succès, M. Naldo a déploré les soirées qui se terminent parfois tragiquement pour certains. C'est pourquoi, il a décidé d'agir en



■ SENSIBILISATION. Loran et les bénévoles du Comité des fêtes veulent sensibiliser les gens aux dangers de la conduite en état d'ébriété.

organisant une campagne de prévention sur le SIDA et la sécurité routière durant les trois soirs de la fête votive.

Afin de sensibiliser les automobilistes et l'alcool au volant, Loran Naldo avec la collaboration de M. Lachaud, coordinateur adjoint à la Sécurité routière de la Corrèze, met à disposition un éthylotest avec des embouts jetables. En cas de doute, le con-

ducteur qui le souhaite pourra contrôler s'il est apte à reprendre le volant. « Sam, c'est celui qui conduit et ne boit pas ». Le président du Comité des fêtes aimerait que chaque voiture ait un Sam. D'ailleurs, M. Lachaud a salué cette initiative trop rare dans les fêtes locales.

Dimanche 14 août, pour la soirée sexy, en partenariat avec l'association Aides en Limousin (55, rue

Bobillot, à Limoges 05.55.06.18.19) des préservatifs masculins et féminins seront distribués gratuitement. Loran Naldo touche près de 900 personnes par soir, puisse-t-il avoir un impact sur la responsabilité individuelle et (ou) collective et que d'autres associations aient la même volonté. ■

■ INFO PLUS

Il est bon de savoir que les spectacles proposés sont gratuits afin que tous aient accès aux festivités, sans discrimination. Ainsi, afin d'assurer la pérennité de ces associations de bénévoles, qui donnent leur temps sans compter pour la vie de leur commune, il ne faut pas oublier que seule la buvette permet de récolter les fonds qui paient les artistes et les spectacles.

➔ À savoir. Déjà en préparation pour la prochaine fête votive, Loran Naldo prévoit le sosie d'un très grand nom de la chanson française.

■ LAPLEAU

SOCIÉTÉ DE CHASSE. La société de chasse tiendra son assemblée générale, le dimanche 14 août, à 10 heures, à la salle des fêtes. ■

TOURNOI DE SIXTE. Il aura lieu, le dimanche 14 août, au stade de Couly, à partir de 14 heures. Le soir, à partir de 20 heures, place de la Mairie, une soirée barbecue sera organisée. Tarif : 10 €. Inscriptions auprès de Geneviève Aires au 05.55.27.52.06 avant le vendredi 12 août. ■

■ SAINT-SYLVAIN

COMICE AGRICOLE SAMEDI. Le comice agricole du canton d'Argentat aura lieu à Saint-Sylvain samedi 13 août. De nombreuses bêtes, des prix en augmentation, de la tête de veau, avec un repas préparé par Patrick Estrade de La Bitarelle de Gros-Chastang, mais aussi de nombreuses activités le matin comme l'après-midi : démonstration d'attelages de bœufs, expo-vente de matériel, produits de pays, défilé de vélos fleuris, exposition de vieilles voitures, promenade en colèche, groupe folklorique.

Le soir : feu d'artifice et bal avec orchestre. ■

■ SAINT-JULIEN-LE-PÈLERIN

FÊTE DU 15 AOÛT. À partir de 9 heures vide-greniers (emplacement gratuit), tripoux casse-croûte, buvette. À 11 heures, messe avec les Sonneurs de Trompes (cors de chasse), suivie d'un concert au vide-greniers ; 20 heures, repas suivi d'un bal animé par un orchestre. Réservations avant le 12 août au 05.55.28.73.16 ou 06.81.12.00.87. ■

■ LAMAZIÈRE-BASSE

MUSIQU'À DEUX EN CONCERT. Jeudi 11 août, à Lamazière-Basse, Espace Culturel Adèle-Davoine, à 21 h 30, concert avec Musiqu'À Deux (Myriam et Jean-Yves Lameyre). Musiques et chants traditionnels : un voyage musical du Québec à la Louisiane, de l'Espagne à l'Irlande, de la Suède au Limousin. Instruments : accordéons diatoniques, violons, guitare, vielle à roue, nyckelharpa suédois, cornemuses gaïta, galicienne, chabrette limousine, cobrette auvergnote, musette béchonnait, musettes 14,16, 20 pouces du Centre France, boha landaise.

Renseignements et organisation : association Rhapsode, tél. 05.55.94.21.88, 19250 Moussac ; mairie de Lamazière-Basse : 05.55.95.88.79.

Contacts Musiqu'À deux : 05.55.95.94.49 ou 06.88.82.03.32. ■

■ ÉGLETONS

FEU D'ARTIFICE SAMEDI 13 AOÛT. Samedi 13 août à 22 h 30 sur l'esplanade du collège Albert-Thomas, La Ville d'Egletons veut offrir un magnifique spectacle son et lumière. Les intempéries qui ont marqué les festivités de juillet ont contraint la mairie à différer son traditionnel feu d'artifice du 14. Chorégraphie fascinante pour tous, ce dernier reste une attraction estivale incontournable avec le ciel comme grandiose toile de fond. Aussi le maire, Michel Pailloussou et son équipe, ont décidé de le reporter et d'offrir cette exhibition pyrotechnique à leurs concitoyens, mais aussi aux nombreux touristes venus visiter la Cité des Ventadour, ce samedi 13 août prochain. Un feu d'artifice qui sera en outre sonorisé pour le plus grand plaisir des habitants et visiteurs de la Ville ! ■

■ SAINT-HILAIRE-FOISSAC

La satisfaction d'une fête réussie



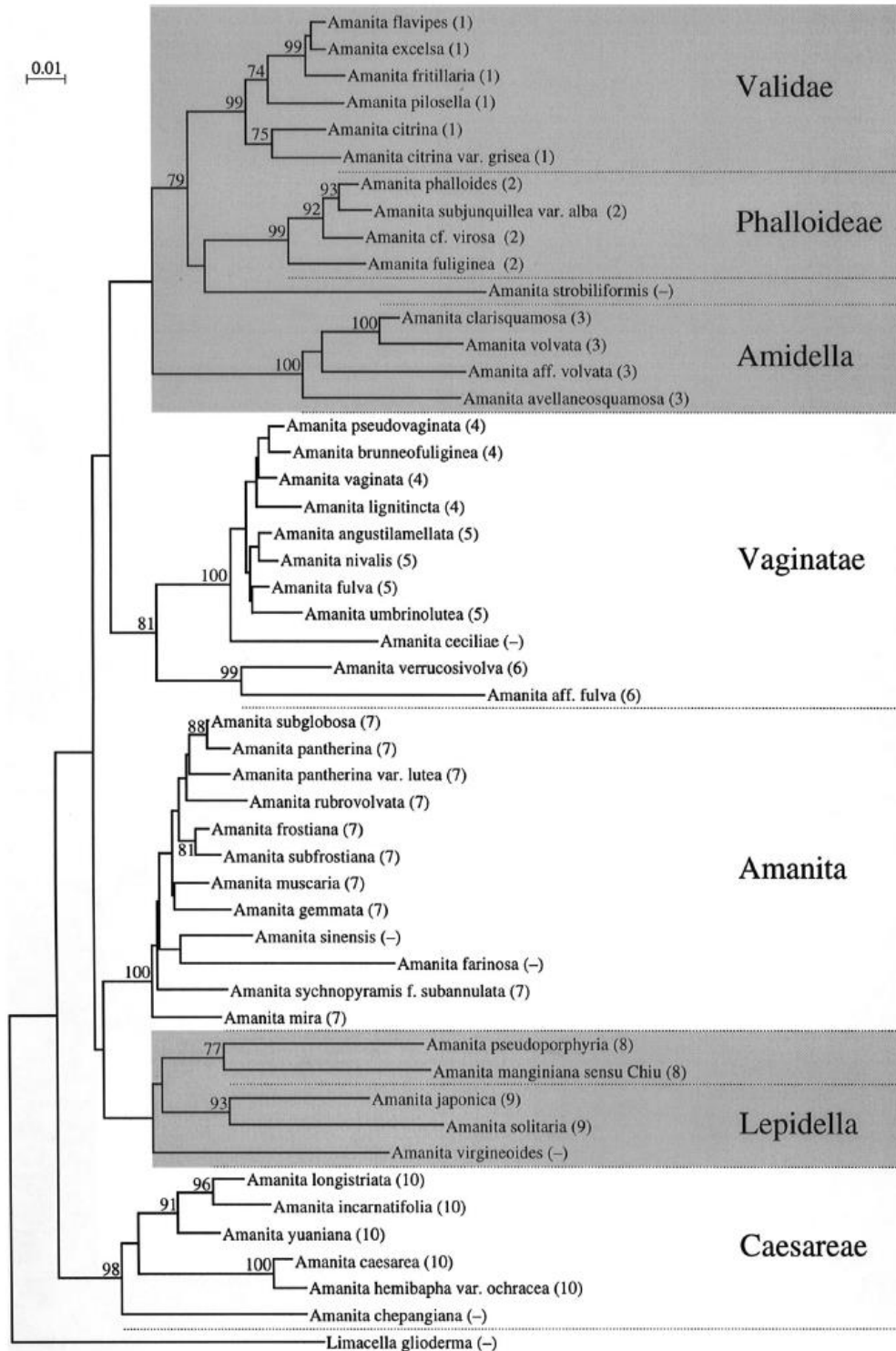
■ RAVIS. Le public a été conquis par le talent du groupe Los Frescalaires.

C'était vraiment un week-end de fête à Saint-Hilaire. Le dimanche après-midi il y avait du monde partout. Sur la place, avec les Cabas de Beynat en démonstration de leur savoir-faire, beaucoup de curieux ont été intéressés. Dans la salle des fêtes à côté, le spectacle folklorique avec Los Frescalaires de Lanteuil a fait le plein, au milieu Bernard Dino du haut de ses trois mètres sur ses échasses animait et faisait l'ambiance. À la buvette, la bière et

autres boissons, avec la chaleur, étaient servis sans discontinuer, mais avec modération. Et puis il y avait la pétanque avec 62 doublettes. Les joueurs se sont installés partout dans le bourg où ils pouvaient jouer. Au-dessus d'eux un soleil radieux qui s'était fait rare jusqu'ici. Le soir, près de 200 personnes au repas barbecue, avant le feu d'artifice. Quel travail pour les organisateurs mais aussi quelle belle satisfaction d'une fête réussie. ■

Annexe 2 : Arbre phylogénétique du genre *Amanita* obtenu par neighbour-joining

(Distances Kimura 2 paramètres) sur un alignement de 587 paires de bases de LSU. La longueur des branches représente le nombre attendu de substitutions de nucléotide par site. La topologie a été racinée avec *Limacella glioderma*. Les valeurs sur les branches sont les valeurs de bootstrap (1000 répliquats, nombres arrondis au prochain entier, valeurs moindres à 70 % non montrées). Les valeurs entre parenthèses indiquent les différents groupes obtenus par clustering conditionnel ; les groupes comprenant une seule espèce sont désignées par (-). Les Zones ombrées correspondent à l'ancien sub genre *lepidella*. (Weiß 1998).



Annexe 3 : Méthode d'analyse des populations de champignons ectomycorhiziens

Il existe trois sources de matériel biologique pour accéder aux informations permettant de caractériser le régime de reproduction, la dispersion et la longévité des individus chez les champignons ectomycorhiziens.

La première source est constituée par les **appareils reproducteurs** de l'espèce cible (carpophores). Le typage moléculaire de ce matériel permet d'accéder à la partie aérienne de la population (pour les espèces épigées), dont il est connu qu'elle ne représente qu'un reflet imparfait des individus végétatifs souterrains (Richard et al. 2005). Cette méthode a largement été utilisée car non destructrice (à l'exception des espèces hypogées comme la truffe ; Taschen et al. 2016), et se prêtant parfaitement à des suivis diachroniques.

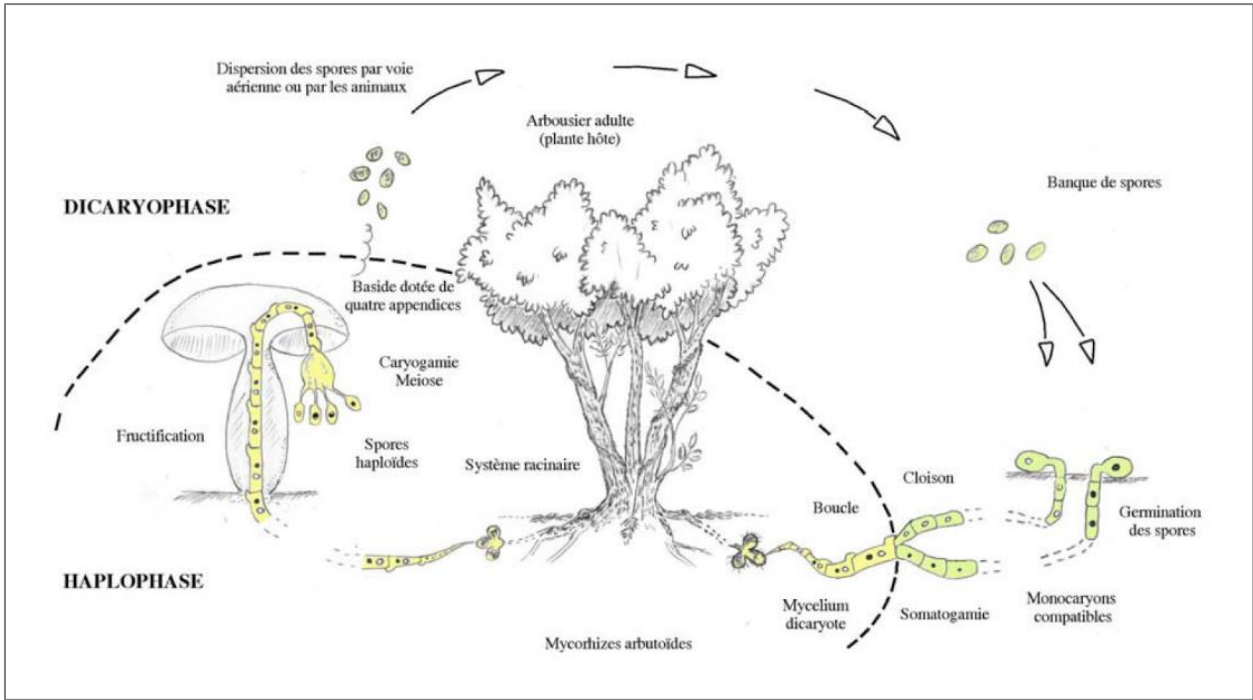
La seconde source est constituée par la partie macroscopique de l'appareil végétatif souterrain, **l'ectomycorhize**. Pour les espèces sans stade sexué connu présentant des ectomycorhizes facilement identifiables (comme l'ascomycète *Cenococcum geophilum* ; Douhan et al. 2005) ou à carpophore invisible à l'œil nu (micromycètes) ou de détermination impossible sans recours à la microscopie (Corticées du genre *Tomentella*), ce matériel constitue la seule alternative, mais son analyse est destructrice. En revanche, c'est un moyen efficace pour accéder à des informations souterraines, donc à la distribution végétative des espèces.

La troisième source de matériel est le **mycélium** extra-matriciel (c'est-à-dire la partie proliférant dans le sol au-delà de la mycorhize). Le principal outil pour l'étudier est la quantification d'ADN par PCR quantitative, méthode utilisée par exemple dans une étude diachronique (sur deux années consécutives) chez *Hebeloma cylindrosporium* (Guidot et al. 2002 ; Guidot et al. 2004) ou encore chez la truffe noire *Tuber melanosporum* (Taschen et al. 2016). Les méthodes de séquençage haut débit (NGS pour Next Generation Sequencing, telles que Illumina) offrent des perspectives nouvelles pour appréhender la structure des populations ectomycorhiziennes. Il est par exemple possible de détecter et quantifier par ces méthodes la distribution des types sexuels de *Tuber melanosporum* (F. Richard, comm pers.).

Sur le plan des méthodes, il est classiquement utilisé des mesures de génotypage comme le Fst utilisant des marqueurs microsatellites (Dentinger 2010 ; Horton et Bruns 2001 ; Lian et al. 2006) pour mesurer les flux de gènes au sein et entre les populations. Plus récemment, les mycologues ont utilisé des méthodes basées sur l'individu, comme les analyses d'auto-corrélation spatiales (e.g ; Carriconde et al. 2008). Elles sont utilisées pour explorer à une échelle fine, les patrons de distribution spatiale et la structure génétique, desquelles on infère par exemple, sur l'adaptation locale, les flux de gènes restreints et la reproduction clonale (Carriconde et al. 2008). Il existe enfin des méthodes d'analyse de la distribution spatiale des individus grâce aux fonctions de Ripley et Besag (Richard et al. 2004).

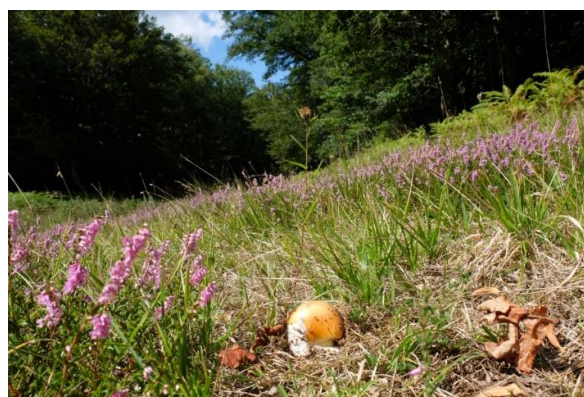
Annexe 4 : Schéma du cycle haplodiplophasique des champignons ectomycorhiziens

La fructification est formellement diploïde (d'après Richard, 2005)



Amanita caesarea dans son milieu n°1

Pousses dans la pelouse



Amanita caesarea dans son milieu n°2

Pousses en lisière



Récoltes



Vitesse de pousse d'*Amanita caesarea* n°1

Pelouse à *brachypodium* le 29 juin 2015



Formation du « brûlé » estival - le 18 août 2015



Pousse en cours en périphérie du « brûlé » le 03 septembre 2015



Volve conique en croissance le 06 septembre 2015 (845g)



Début de pousse le 01 septembre 2015



Avancement le 03 septembre 2015



Vitesse de pousse d'*Amanita caesarea* n°2

Pousse en cours le 14 septembre 2015



Avancement le 18 septembre 2015



Début de pousse le 15 octobre 2016



Avancement le 19 octobre 2016



Début de pousse le 02 septembre 2015



Avancement le 04 septembre 2015



Annexe 7 : Quantité de mycélium d'*A. caesarea* dans le sol mesurée par qPCR

Site	Echantillon attachant	Localisation	Code final	Quantité mycélium
Fango	Amanite 1	prélevée en P3	L12	0,628943945
Fango	Amanite 11	Gros chêne	L9	0,519547566
Fango	Amanite 12	3 arbousiers prés trouée	L8	0,229436273
Fango	Amanite 13	Place à orange piste	L21	0
Fango	Amanite 2	droite M1, ébouli cortinaire b	L17	0,049821609
Fango	Amanite 3	arbousiers	L13	0,285535782
Fango	Amanite 4	trouée jeune K3	L20	0,039673113
Fango	Amanite 5	grande trouée jeune	L15	0,040014239
Fango	Amanite 5	Trouée 2001 3 m droite I2	L14	0,082980278
Fango	Amanite 6	près K4	L16	0,048588319
Fango	Amanite 7	Trouée... sur F2	L18	0
Fango	Amanite 8	grande trouée jeune /XK	L24	0,040429593
Fango	Amanite 9 et 10	près du chêne 2 à droiter C2	L11	0,840087198
Limousin	HC1 B	Bois	L30	0,031
Limousin	HC1 B	lispop	L31	0,316
Limousin	HC1 B	pel	L29	0
Limousin	HC1 B	trans	L25	0,061
Limousin	HC10	Bois	L33	0
Limousin	HC10	lis	L45	0
Limousin	HC10	pel	L23	0,016
Limousin	HC10	pop	L43	1,587
Limousin	HC10	trans	L42	0
Limousin	HC2 A	Bois	L34	0
Limousin	HC2 A	lis	L27	1,072
Limousin	HC2 A	pel	L7	1,870
Limousin	HC2 A	pop	L1	0,134
Limousin	HC2 A	trans	L37	0,012
Limousin	HC3 A	Bois	L39	0,015
Limousin	HC3 A	lis	L4	0
Limousin	HC3 A	pel	L40	0
Limousin	HC3 A	pop	L6	9,081247766
Limousin	HC3 A	trans	L47	0
Limousin	HC3 B	Bois	L19	0
Limousin	HC3 B	lis	L3	0
Limousin	HC3 B	pel	L44	0
Limousin	HC3 B	pop	L5	0
Limousin	HC3 B	trans	L2	0
Limousin	HC35	lis	L46	0,015
Limousin	HC35	pel	L26	0
Limousin	HC35	pop	L28	0,058
Limousin	HC35	trans	L35	0
Limousin	HC35	Bois	L41	0
Limousin	HC4 A	Bois	L32	0
Limousin	HC4 A	lispop	L38	0
Limousin	HC4 A	pel	L22	0,464
Limousin	HC4 A	trans	L36	0,038
Soil samples received: 30/06/2015				

Annexe 8 : Production et productivité des stations à Amanita caesarea

Production de carpophores d' <i>Amanita caesarea</i> par station et par année											
Année	Production	HC1	HC2	HC3	HC4	HC10	HC16	HC35	HC37	HC42	Totaux par année
2017	Poids	2,30 kg	0,31 kg	2,92 kg	0,28 kg	0,02 kg	0,00 kg	0,44 kg	0,20 kg	NP	6,46 kg
	Nb de carpophores pesés ou estimés	24	5	55	3	1	0	5	5	NP	98
	<i>Nb de carpophores non pesés ni estimés</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	NP	0
2016	Poids	0,00 kg	0,00 kg	3,17 kg	0,00 kg	0,00 kg	0,00 kg	0,47 kg	0,00 kg	0,00 kg	3,64 kg
	Nb de carpophores pesés ou estimés	0	0	52	0	0	0	6	0	0	58
	<i>Nb de carpophores non pesés ni estimés</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	Poids	4,58 kg	1,42 kg	1,12 kg	2,45 kg	0,53 kg	0,21 kg	4,82 kg	1,27 kg	0,07 kg	16,47 kg
	Nb de carpophores pesés ou estimés	50	26	16	21	5	5	85	15	1	224
	<i>Nb de carpophores non pesés ni estimés</i>	3	0	2	4	0	0	15	3	0	27
2014	Poids	0,65 kg	0,18 kg	2,97 kg	0,00 kg	0,23 kg	0,00 kg	0,63 kg	NP (trop tard)	NP	4,66 kg
	Nb de carpophores pesés ou estimés	7	5	29	0	1	0	6	NP	NP	48
	<i>Nb de carpophores non pesés ni estimés</i>	0	0	0	0	0	0	1	NP	NP	1
2013	Poids	0,75 kg	0,50 kg	1,51 kg	0,00 kg	1,65 kg	NP	NP	NP	NP	4,41 kg
	Nb de carpophores pesés ou estimés	NR	NR	NR	NR	NR	NP	NP	NP	NP	0
	<i>Nb de carpophores non pesés ni estimés</i>	NR	NR	NR	NR	NR	NP	NP	NP	NP	0
2012	<i>Pas de récolte, conditions défavorables et effort de prospection limité</i>										
2011	Poids	1,00 kg	1,70 kg	3,55 kg	0,50 kg	NP	NP	NP	NP	NP	6,75 kg
	Nb de carpophores pesés ou estimés	NR	NR	NR	NR	NP	NP	NP	NP	NP	0
	<i>Nb de carpophores non pesés ni estimés</i>	NR	NR	NR	NR	NP	NP	NP	NP	NP	0

NR = non renseigné
NP = non prospecté

Productivité des stations d' <i>Amanita caesarea</i>									
	HC1	HC2	HC3	HC4	HC10	HC16	HC35	HC37	HC42
Surface productrice*	0,16 ha	0,11 ha	0,36 ha	0,10 ha	0,11 ha	0,14 ha	0,42 ha	0,23 ha	0,06 ha
Productivité moyenne à l'ha	8,29 kg/ha	5,33 kg/ha	6,11 kg/ha	4,81 kg/ha	4,42 kg/ha	0,38 kg/ha	3,78 kg/ha	2,13 kg/ha	0,58 kg/ha
Productivité annuelle max	28,63 kg/ha	15,45 kg/ha	9,97 kg/ha	25,52 kg/ha	15,00 kg/ha	1,50 kg/ha	11,48 kg/ha	5,52 kg/ha	1,17 kg/ha
Productivité annuelle min**	0,00 kg/ha	0,00 kg/ha	3,15 kg/ha	0,00 kg/ha	0,00 kg/ha	0,00 kg/ha	1,04 kg/ha	0,00 kg/ha	0,00 kg/ha

* la surface productrice comprend la surface au sol des houppiers de la première rangée d'hotes ainsi que la zone de pelouse sur laquelle des carpophores ont été trouvés. La zone de pelouse est élargie au-delà des carpophores dans la mesure où elle reste homogène. Elle est calculée sous SIG.

** L'année 2012 n'est pas comprise compte tenu des efforts de prospection limités

Annexe 9 : Tableau des résultats d'analyses statistiques portées sur les variables morphométriques

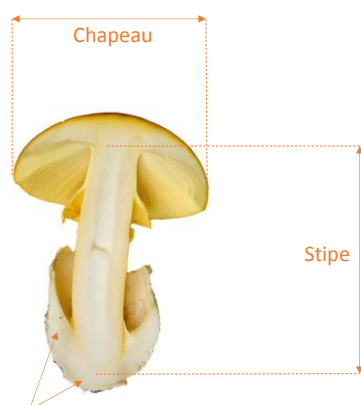
Variabilité Corse-haute Corrèze						
Matures Plans de Haute Corrèze (toutes stations) et de Corse (Fango)						
Période d'échantillonnage	Région	Effectifs	Tests réalisés	Poids_total	Diamètre maximum du chapeau	Hauteur du stipe
2013-2016	Haute Corrèze (Toutes stations)	94	Tests de Normalité	Non	Oui	Oui
2001-2010	Corse (Fango)	71	Tests de Normalité	Non	Oui	Oui
Comparaison des populations de Haute-Corrèze et de Corse			Tests de Wilcoxon	Populations identiques p value = 0,4096	Populations différentes p value = 4,057e-06	Populations différentes p value = 7,22e-12
Matures Plans de masse totale comprise entre 50 et 200g des populations Haute Corrèze (toutes stations) et de Corse (Fango)						
Période d'échantillonnage	Région	Effectifs	Tests réalisés	Poids_total	Diamètre maximum du chapeau	Hauteur du stipe
2013-2016	Haute Corrèze (Toutes stations)	52	Tests de Normalité	Non	Oui	Oui
2001-2010	Corse (Fango)	52	Tests de Normalité	Non	Oui	Oui
Comparaison des populations de Haute-Corrèze et de Corse			Tests de Wilcoxon	Populations identiques p value = 0,4585	Populations différentes p value = 9,69e-09	Populations différentes p value = 3,95e-10
Variabilité interannuelle (Effet rythme)						
Matures Plans de Haute Corrèze (HC3)						
Année	Station	Effectifs	Tests réalisés	Poids_total	Diamètre maximum du chapeau	Hauteur du stipe avec HC3
2014	HC3	7	Tests de Normalité			Oui
2015	HC3	3	Tests de Normalité			Oui
2016	HC3	11	Tests de Normalité			Oui
Comparaison interannuelle			Kruskal Wallis			Populations identiques p value = 0,16
			Anova			Populations identiques p value = 0,15
Variabilité stationnelle (Effet station)						
Matures Plans de Haute Corrèze (toutes stations)						
Période d'échantillonnage	Station	Effectifs	Tests réalisés	Poids_total	Diamètre maximum du chapeau	Hauteur du stipe
2013/2016	HC1	10	Tests de Normalité	Non	Oui	Oui
	HC3	21	Tests de Normalité	Non	Oui	Oui
	HC4	10	Tests de Normalité	Oui	Oui	Oui
	HC35	38	Tests de Normalité	Non	Oui	Oui
Comparaison des stations entre elles			Kruskal Wallis	Populations différentes p value = 0,028	Populations identiques p value = 0,44	Populations différentes p value = 0,0078
			Anova	-	Populations identiques p value = 0,33	Populations différentes p value = 0,0036
			Tuckey	-	-	HC3-HC1 : 0.0281075 HC35-HC1 : 0.0187062 HC4-HC1 : 0.9776985 HC35-HC3 : 0.9995664 HC4-HC3 : 0.0892045 HC4-HC35 : 0.0689316
Matures Plans de Haute Corrèze (4 stations) et de Corse (Fango)						
Période d'échantillonnage	Station	Effectifs	Tests réalisés	Poids_total	Diamètre maximum du chapeau	Hauteur du stipe
2013/2016	HC1	10	Tests de Normalité	Non	Oui	Oui
	HC3	21	Tests de Normalité	Non	Oui	Oui
	HC4	10	Tests de Normalité	Oui	Oui	Oui
	HC35	38	Tests de Normalité	Non	Oui	Oui
	Fango	71	Tests de Normalité	Non	Oui	Oui
Comparaison des stations entre elles			Kruskal Wallis	Populations différentes p value = 0,012	Populations différentes p value = 0,0014	Populations différentes p value = 8,54e-11
			Anova	-	Populations différentes p value = 0,00011	Populations différentes p value = 2,24e-11
			Tuckey	-	HC1-Fango : 0.0619033 HC3-Fango : 0.0174884 HC35-Fango : 0.0593871 HC4-Fango : 0.0023273 HC3-HC1 : 0.9974400 HC35-HC1 : 0.8448131 HC4-HC1 : 0.9274828 HC35-HC3 : 0.9071095 HC4-HC3 : 0.7094314 HC4-HC35 : 0.2522871	HC1-Fango : 0.6746920 HC3-Fango : 0.0000003 HC35-Fango : 0.0000000 HC4-Fango : 0.3661548 HC3-HC1 : 0.0697566 HC35-HC1 : 0.0488836 HC4-HC1 : 0.9958804 HC35-HC3 : 0.9999788 HC4-HC3 : 0.1857219 HC4-HC35 : 0.1499107

Annexe 10 : Tableau des résultats d'analyses statistiques portées sur les compromis morphométriques

Variabilité Corse-haute Corrèze						
Matures Plans de Haute Corrèze (toutes stations) et de Corse (Fango)						
Période d'échantillonnage	Région	Effectifs	Tests réalisés	Densité (Masse totale/hauteur du stipe)	Dispersion (Diamètre du chapeau/hauteur du stipe)	Production de spores (Masse totale/masse du chapeau)
2013-2016	Haute Corrèze (Toutes stations)	94	Tests de Normalité	Non	Non	Non
2001-2010	Corse	71	Tests de Normalité	Non	Oui	Oui
Comparaison des populations de Haute-Corrèze et de Corse			Tests de Wilcoxon	Populations différentes p value = 0,02839	Populations différentes p value = 2,2e-16	Populations différentes p value = 2,2e-16

Variabilité stationnelle						
Matures Plans de Haute Corrèze (HC1, 2,3,4,10,16,35,37) et de Corse (Fango)						
Période d'échantillonnage	Région	Effectifs	Tests réalisés	Densité (Masse totale/hauteur du stipe)	Dispersion (Diamètre du chapeau/hauteur du stipe)	Production de spores (Masse totale/masse du chapeau)
2013-2016	Haute Corrèze	94	Tests de Normalité	Non	Non	Non
2001-2010	Corse	71	Tests de Normalité	Non	Oui	Oui
Comparaison des stations entre elles			Kruskal Wallis		Populations différentes p value = 2,2e-16	Populations différentes p value = 5,1e-15
			Tuckey		HC1-Fango : 0.0008837 HC10-Fango : 0.0000018 HC16-Fango : 0.3354131 HC2-Fango : 0.0007189 HC3-Fango : 0.0000000 HC35-Fango : 0.0000000 HC37-Fango : 0.0057405 HC4-Fango : 0.0000066 HC10-HC1 : 0.4574736 HC16-HC1 : 1.0000000 HC2-HC1 : 0.9310642 HC3-HC1 : 0.5161239 HC35-HC1 : 0.6664843 HC37-HC1 : 0.9611645 HC4-HC1 : 0.9966064 HC16-HC10 : 0.7120934 HC2-HC10 : 0.9996125 HC3-HC10 : 0.9975844 HC35-HC10 : 0.9750666 HC37-HC10 : 0.9998115 HC4-HC10 : 0.8665875 HC2-HC16 : 0.9645403 HC3-HC16 : 0.8731411 HC35-HC16 : 0.9380041 HC37-HC16 : 0.9755786 HC4-HC16 : 1.0000000 HC35-HC2 : 0.9999998 HC37-HC2 : 1.0000000 HC4-HC2 : 0.9988748 HC35-HC3 : 0.9998901 HC37-HC3 : 1.0000000 HC4-HC3 : 0.9724959 HC37-HC35 : 0.9999999 HC4-HC35 : 0.9963953 HC37-HC35 : 0.9999999	HC1-Fango : 0.0019439 HC10-Fango : 0.0000018 HC16-Fango : 0.0047411 HC2-Fango : 0.5076001 HC3-Fango : 0.0000000 HC35-Fango : 0.0000000 HC37-Fango : 0.0027166 HC4-Fango : 0.0000022 HC10-HC1 : 0.3807424 HC16-HC1 : 0.9253089 HC2-HC1 : 0.9994995 HC3-HC1 : 0.9998602 HC35-HC1 : 0.9869301 HC37-HC1 : 0.8750207 HC4-HC1 : 0.9704879 HC16-HC10 : 0.9998956 HC2-HC10 : 0.3032981 HC3-HC10 : 0.4956294 HC35-HC10 : 0.6467004 HC37-HC10 : 0.9998883 HC4-HC10 : 0.9197386 HC2-HC16 : 0.7973884 HC3-HC16 : 0.9763163 HC35-HC16 : 0.9945595 HC37-HC16 : 1.0000000 HC4-HC16 : 0.9997691 HC3-HC2 : 0.9819757 HC35-HC2 : 0.9115169 HC37-HC2 : 0.7274644 HC4-HC2 : 0.8709959 HC35-HC3 : 0.9997810 HC37-HC3 : 0.9495089 HC4-HC3 : 0.9971686 HC37-HC35 : 0.9842350 HC4-HC35 : 0.9999999

Annexe 11 : Variables et traits morphométriques mesurés au stade « mature plan »



Volve retirée avant mesures

Photo : champignons.moselle.free.fr

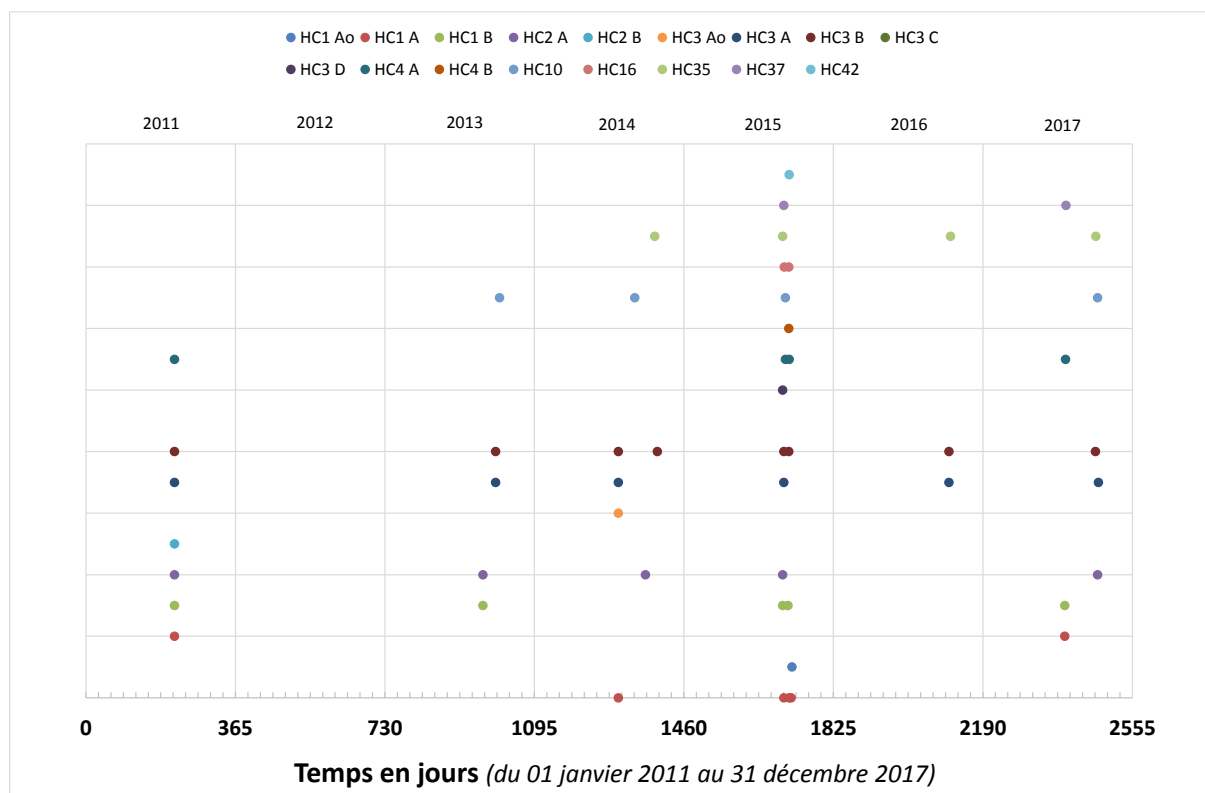
Variables

- Mesures de masse (g) :
 - Poids total de l'individu
 - Poids du chapeau
- Mesures de taille (mm) :
 - Diamètre maximum du chapeau
 - Hauteur du stipe

Traits

- Capacité de dispersion des spores
= Diamètre max du chapeau / hauteur du stipe
- Capacité de production de spores
= Masse totale / masse du chapeau

Annexe 13 : Chronologie des pousses sur les sous-stations de haute-Corrèze



Annexe 14 : Tableau des effectifs cumulés croissants du nombre de pousses affectées par des pluies (4 valeurs de cumul : 5, 10, 15 et 20mm) au cours des 60 jours précédant l'émergence des carpophores

Jours	Cumul20	Cumul15	Cumul10	Cumul5
60 (J-60)	2	2	2	4
59	2	3	6	11
58	6	7	11	17
57	6	7	11	22
56	6	7	14	30
55	6	7	15	34
54	6	7	15	43
53	6	7	19	50
52	6	7	19	50
51	7	8	22	55
50	7	9	24	59
49	7	11	29	68
48	7	11	29	73
47	7	12	33	77
46	7	13	38	82
45	7	13	41	87
44	7	15	44	96
43	7	15	45	99
42	7	15	45	103
41	7	15	50	113
40	7	15	50	113
39	7	15	50	113
38	9	18	54	117
37	10	19	57	123
36	11	22	60	133
35	12	24	62	138
34	12	24	63	142
33	12	25	69	149
32	12	25	71	151
31	15	29	79	159
30	22	36	93	178
29	27	42	99	185
28	30	46	103	192
27	33	51	108	199
26	36	54	111	204
25	36	54	111	210
24	36	55	112	226
23	39	59	116	235
22	51	73	130	253
21	60	83	140	270
20	70	94	153	293
19	75	99	158	310
18	82	110	172	328
17	88	117	179	341
16	88	117	179	342
15	92	121	184	351
14	97	126	189	361
13	102	131	195	371
12	108	137	201	380
11	108	139	203	385
10	110	145	210	396
9	115	150	217	405
8	121	156	223	411
7	121	158	229	418
6	126	163	236	427
5	130	167	243	434
4	133	170	252	444
3	133	170	253	452
2	134	172	256	455
1	139	177	261	460
0 (Jour de pousse)	147	185	270	470

Annexe 15 : Tableau de synthèse des résultats obtenus par modélisations linéaires pour expliquer la durée d'incubation et la durée de pousse par la pluviométrie et la température

Modélisations pour expliquer la durée d'incubation et la durée de pousse par la pluviométrie et la température									
Période 2013-2017 - (44 pousses)									
A) La durée d'incubation (Inc)									
Effets de la pluie									
Incubation	Abréviations	p-value	R ² ajusté	Remarques					
Inc ~ Pluviodecl	Pluviodecl = cumul de pluie de la pluie déclencheuse	0,59		le terme quadratique améliore les modèles sans démontrer l'effet des pluies. Cela milite pour un effet seuil des précipitations. Plus il pleut, plus l'incubation est longue					
Inc ~ Pluviodecl+Pluviodecl ²		0,11							
Inc ~ Pluioinc	Pluioincub = cumul de pluie pendant l'incubation	0,86							
Inc ~ Pluioinc + Pluioinc ²		0,24							
Inc ~ Freqpluie	Freqpluie = pourcentage de jours de pluie (≥1mm) pendant la période d'incubation	1,40E-02	12%						
Inc ~ Freqpluie ²		4,70E-02	10%						
Inc ~ Jourspluie	Jourspluie = nombre de jours de pluie (≥1mm) pendant la période d'incubation	9,00E-06	36%						
Inc ~ Jourspluie ²		3,75E-05	36%						
Effets de la température									
Inc ~ Tmoy_inc	Tmoy_inc = Température moyenne pendant l'incubation	p-value	R ² ajusté	Température de l'air (MF Neuvic)		Température du sol			
Inc ~ Tmoy_inc		0,0007	22%	p-value	R ² ajusté	Variables significatives		Remarques	
Inc ~ Tmoy_inc+Tmoy_inc ²		1,00E-04	33%	0,31		Tmoy : 0.0104 * Tmoy,1^2 : 0.9309		La température moyenne favorable semble faire l'objet d'un effet seuil	
Inc ~ Tcum_inc	Tcum_inc = Température cumulée pendant l'incubation	0,14		0,026	12%				
Inc ~ Tcum_inc+Tcum_inc ²		0,33		0,16					
Effets de la pluie et de la température									
Inc ~ Tmoy_inc + Pluioinc		5,00E-04	28%	Tmoy : 0.000102 *** Pluioincub : 0.044294 *		0,62			
Inc ~ Tmoy_inc + Pluviodecl		0,002	22%	Tmoy : 0.000635 *** Pluviodecl : 0.350917 Tmoy : 0.000696 **		0,11			
Inc ~ Tmoy_inc + Freqpluie		1,00E-03	24%	Freqpluie : 0.14476 Tmoy : 0.062014					
Inc ~ Tmoy_inc + Jourspluie		1,00E-05	40%	Jourspluie : 0.000642 ***					
Terme quadratique (effet plafond de la pluie et plancher de la température)									
Inc ~ Tmoy_inc + Pluioinc + Pluioinc ²		0,001	28%	Tmoy : 0.000288 *** Pluioincub : 0.150314 Pluioincub^2 : 0.281716				Le terme quadratique porté sur la pluviométrie n'améliore pas le modèle	
Inc ~ Tmoy_inc + Pluviodecl + Pluviodecl ²		0,008	20%	Tmoy : 0.00643 ** Pluviodecl : 0.79021 Pluviodecl^2 : 0.90113					
Inc ~ Tmoy_inc + Tmoy_inc ² + Pluioinc		0,0001	35%	Tmoy : 0.011805 * Tmoy^2 : 0.023642 * Pluioincub : 0.150166				Le terme quadratique porté sur la température moyenne améliore les modèles. A la vue du plot, la rapidité de l'incubation trouve un optimum lorsque la température moyenne se situe entre 13 et 18°C	
Inc ~ Tmoy_inc + Tmoy_inc ² + Pluviodecl		0,0004	32%	Tmoy : 0.007061 ** Tmoy^2 : 0.012492 * Pluviodecl : 0.767796					
Inc ~ Tmoy_inc + Tmoy_inc ² + Freqpluie		2,00E-04	33%	Tmoy : 0.000081 ** Tmoy^2 : 0.014437 * Freqpluie : 0.302638					
Inc ~ Tmoy_inc + Tmoy_inc ² + Jourspluie		7,00E-06	44%	Tmoy : 0.00083 * Tmoy^2 : 0.0050 Jourspluie : 0.00421 **					
Inc ~ Tmoy_inc + Tmoy_inc ² + Pluioinc + Pluioinc ²		0,0001	39%	Tmoy : 0.003749 ** Tmoy^2 : 0.007554 ** Pluioincub : 0.040624 * Pluioincub^2 : 0.070373				Le terme quadratique porté sur la pluie n'améliore pas ou peu les modèles contenant déjà un terme sur la température	
Inc ~ Tmoy_inc + Tmoy_inc ² + Pluviodecl + Pluviodecl ²		0,001	30%	Tmoy : 0.00752 ** Tmoy^2 : 0.013328 * Pluviodecl : 0.774452 Pluviodecl^2 : 0.809134					
Terme d'interaction (température et ressource en eau constituent une ambiance)									
Inc ~ Tmoy_inc + Pluioinc + Tmoy_inc*Pluioincub		0,0009	29%	Tmoy : 0.0283 * Pluioincub : 0.3880 Tmoy*Pluioincub : 0.2451		0,77		Le terme d'interaction n'améliore quasiment pas le modèle additif	
Inc ~ Tmoy_inc + Pluviodecl + Tmoy_inc*Pluviodecl		0,005	22%	Tmoy : 0.727904 Pluioincub : 0.253616 Tmoy*Pluioincub : 0.311097		0,09			
Inc ~ Tmoy_inc + Jourspluie + Tmoy_inc*Jourspluie		9,00E-05	39%					le terme d'interaction n'améliore pas le modèle additif	
Terme d'interaction et terme quadratique									
Inc ~ (Pluioinc + Pluioinc ²)*Tmoy_inc		3,60E-06	51%	Tmoy : 0.007223 Pluioincub : 0.000779 *** Pluioincub^2 : 0.000146 *** Tmoy*Pluioincub : 0.003104 ** Tmoy* Pluioincub^2 : 0.000458 *** Tmoy : 0.009483 **				Le terme quadratique porté sur la pluviométrie (plafond de pluie) améliore significativement le modèle avec terme d'interaction	
Inc ~ (Pluviodecl + Pluviodecl ²)*Tmoy_inc		7,00E-04	34%	Pluviodecl : 0.043404 Pluviodecl^2 : 0.010537 * Tmoy*Pluviodecl : 0.013145 * Tmoy* Pluviodecl^2 : 0.006602 **					
Inc ~ (Jourspluie + Jourspluie ²)*Tmoy_inc		3,00E-06	52%	Jourspluie : 0.002095 ** Jourspluie^2 : 0.001276 ** Tmoy : 0.001703 ** Jourspluie*Tmoy : 0.001764 ** Jourspluie^2 *Tmoy : 0.001437 **					
Inc ~ (Tmoy_inc+ Tmoy_inc ²)*Pluioinc		7,00E-04	34%	Tmoy : 0.642 Tmoy^2 : 0.614 Pluioincub : 0.212 Tmoy*Pluioincub : 0.226 Tmoy^2 *Pluioincub : 0.233					
Inc ~ (Tmoy_inc+ Tmoy_inc ²)*Pluviodecl		6,00E-04	35%	Tmoy : 0.406 Tmoy^2 : 0.407 Pluviodecl : 0.821 Tmoy*Pluviodecl : 0.889 Tmoy^2 *Pluviodecl : 0.959					
Inc ~ (Tmoy_inc+ Tmoy_inc ²)*Freqpluie		2,00E-04	39%	Tmoy : 0.4488 Tmoy^2 : 0.3515 Freqpluie : 0.1273 Tmoy*Freqpluie : 0.1047 Tmoy^2 *Freqpluie : 0.0863					
Inc ~ (Tmoy_inc+ Tmoy_inc ²)*Jourspluie		1,00E-06	65%						
Inc ~ (Tmoy_inc+ Tmoy_inc ²)*Jourspluie		8,90E-06	49%	Tmoy : 0.1305 Tmoy^2 : 0.1113 Jourspluie : 0.0251 * Tmoy*Jourspluie : 0.0268 * Tmoy^2 *Jourspluie : 0.0262 *					
Inc ~ (Tmoy_inc+ Tmoy_inc ²)*(Freqpluie+ Freqpluie ²)		6,00E-06	56%	Tmoy : 0.001270 ** Tmoy^2 : 0.00162 ** Freqpluie : 0.000835 *** Freqpluie^2 : 0.000577 *** Tmoy*Freqpluie : 0.001299 ** Tmoy* Freqpluie^2 : 0.000866 *** Tmoy^2 *Freqpluie : 0.002026 ** Tmoy^2 * Freqpluie^2 : 0.001312 **					
Inc ~ (Tmoy_inc+ Tmoy_inc ²)*(Pluioinc + Pluioinc ²)		6,00E-05	49%						
Inc ~ (Tmoy_inc+ Tmoy_inc ²)*(Pluviodecl + Pluviodecl ²)		4,00E-04	42%	Tmoy : 0.799 Tmoy^2 : 0.707 Pluviodecl : 0.601 Pluviodecl^2 : 0.617 Tmoy*Pluviodecl : 0.540 Tmoy* Pluviodecl^2 : 0.521 Tmoy^2 *Pluviodecl : 0.444 Tmoy^2 * Pluviodecl^2 : 0.395					
B) Durée de la pousse (Pous)									
Effets de la pluie									
Modèles simples									
Pous ~ Pluiohebd		0,89		Une tendance					
Pous ~ Pluioincub		0,11							
Pous ~ Pluviodecl		0,99							
Pous ~ Jourspluie		0,20							
Pous ~ Freqpluie		0,09							
Terme quadratique (effet plafond de la pluie)									
Pous ~ Pluiohebd + Pluiohebd ²		0,44							
Pous ~ Pluioincub + Pluioincub ²		0,18							
Pous ~ Pluviodecl + Pluviodecl ²		0,97							
Pous ~ Freqpluie + Freqpluie ²		0,19							
Pous ~ Jourspluie + Jourspluie ²		0,16							
Effets de la température									
Modèles simples									
Pous ~ Tmoy		0,31							
Pous ~ Tmoypous		0,58							
Terme quadratique (effet seuil de la température)									
Pous ~ Tmoy + Tmoy ²		0,58							
Pous ~ Tmoypous + Tmoypous ²		0,60							
Effets de la pluie et de la température									
Termes d'interaction									
Pous ~ Tmoy_incub + Pluioinc + Tmoy_incub*Pluioincub		0,35		Température de l'air (MF Neuvic)		Température du sol			
Pous ~ Tmoy_pous + Pluioinc + Tmoy_pous*Pluioinc		0,36		p-value	R ² ajusté	Variables significatives		Remarques	
Pous ~ Tmoy_pous + Pluviodecl + Tmoy_pous*Pluviodecl		0,90		0,23					
Pous ~ Tmoy_pous + Pluiohebd + Tmoy_pous*Pluiohebd		0,95		0,17					
Pous ~ Tmoy_pous + Pluiohebd + Tmoy_pous*Pluiohebd		0,95		0,08					

Annexe 16 : Tableau présentant la production des génotypes en haute-Corrèze sur la période 2013-2016

Haute corrèze								
Genotype	2013	2014	2015	2016	Somme	1 année	2 années	3 années
HC1A_G1			1		248	1		
HC1A_G2			3			1		
HC1B_G3			2			1		
HC1B_G4	1		13				1	
HC1B_G5			4			1		
HC1B_G6			2			1		
HC1B_G7			1			1		
HC1B_G8			1			1		
HC2A_G9		1				1		
HC2A_G10		1				1		
HC2A_G11	2					1		
HC2A_G12			1			1		
HC2A_G13			4			1		
HC2A_G14			1			1		
HC2A_G15			1			1		
HC2A_G16		2	5				1	
HC2A_G17			1			1		
HC2A_G18			8			1		
HC3A_G19	1	5	2					1
HC3A_G20	1					1		
HC3A_G21		1				1		
HC3A_G22		1				1		
HC3A_G23		1				1		
HC3A_G24				3		1		
HC3A_G25				1		1		
HC3A_G26				1		1		
HC3A_G27				1		1		
HC3B_G28		1				1		
HC3B_G29	1					1		
HC3B_G30				1		1		
HC3B_G31		1				1		
HC3B_G32	2					1		
HC3B_G33				3		1		
HC3B_G34	1					1		
HC3B_G35	1					1		
HC3B_G36			1			1		
HC3B_G37		1				1		
HC3B_G38		1				1		
HC3B_G39		1				1		
HC3B_G40		2				1		
HC3B_G41				1		1		
HC3B_G42		3				1		
HC3B_G43		1				1		
HC3B_G44		1				1		
HC3B_G45				4		1		
HC3B_G46				1		1		
HC3B_G47		2				1		
HC3B_G48		1				1		
HC3B_G48			1			1		
HC3B_G49				5		1		
HC3B_G50		2				1		
HC3B_G51				7		1		
HC3B_G52			2			1		
HC3B_G53		2				1		
HC3B_G54			3			1		

Haute corrèze								
Genotype	2013	2014	2015	2016	Somme	1 année	2 années	3 années
HC3B_G55				1		1		
HC3B_G56			1			1		
HC3B_G57		1				1		
HC3B_G58			2			1		
HC3B_G59				4		1		
HC3B_G60			4			1		
HC3B_G61				3		1		
HC3B_G62				1		1		
HC3B_G63				1		1		
HC3B_G64				9		1		
HC3B_G65				1		1		
HC35_G66			1			1		
HC35_G67			1			1		
HC35_G68			1			1		
HC35_G69			1			1		
HC35_G70		2				1		
HC35_G71			3			1		
HC35_G72			1			1		
HC35_G73			2			1		
HC35_G74		3				1		
HC35_G75			1			1		
HC35_G76			1			1		
HC35_G77			1			1		
HC35_G78			1			1		
HC35_G79			1			1		
HC35_G80			1			1		
HC35_G81			3			1		
HC35_G82			2			1		
HC35_G83			1			1		
HC35_G84			1			1		
HC35_G85			1			1		
HC35_G86		1				1		
HC35_G87			8			1		
HC35_G88			2			1		
HC35_G89			2			1		
HC35_G90			1			1		
HC35_G91			1			1		
HC35_G92			1			1		
HC35_G93			1			1		
HC35_G94			1			1		
HC35_G95			1			1		
HC35_G96			2			1		
HC35_G97			1			1		
HC35_G98			1			1		
HC35_G99			3			1		
HC35_G100			2			1		
HC35_G101			1			1		
HC35_G102			1			1		
HC35_G103			5			1		
HC35_G104			1			1		
HC35_G105			1			1		
HC35_G106			1			1		
HC35_G107			4			1		
HC35_G108			1			1		
HC35_G109				1		1		
HC35_G110				2		1		
HC35_G111				2		1		
HC10_G112	1		3					1
HC10_G113	2	1						1
HC10_G114	5		5					1

Annexe 17 : Tableau présentant la proportion d'individus ayant produit 1 ou plusieurs années en Haute-Corrèze sur la période 2013-2016 et en Corse sur la période 1999-2010

Nb d'annees de production d'un meme genotype	Part en Haute Correze (en % du nombre total)	Part en Corse (en % du nombre total)
1	0,947826087	0,737373737
2	0,043478261	0,151515152
3	0,008695652	0,070707071
4	0	0,04040404
5	NA	0
6	NA	0
7	NA	0
8	NA	0
9	NA	0
10	NA	0
11	NA	0
12	NA	0

Annexe 18 : Tableau présentant le lien entre la diversité génétique et 1) La productivité en masse de carpophores et 2) la régularité des pousses

Date début poussée	Station	Nbechantillons	Nbgenotypes	Masse	Regularite_pousses (Fréquence)
28/08/2015	HC1 B	28	6	1,86	0,6
04/09/2015	HC10	17	2	0,93	0,8
01/09/2014	HC10	17	1	0,23	0,8
28/08/2015	HC2 A	31	7	1,42	0,8
27/09/2014	HC2 A	31	3	0,18	0,8
07/10/2016	HC3 A	18	4	0,775	1
31/08/2015	HC3 A	18	1	0,23	1
23/07/2014	HC3 A	18	4	0,81	1
07/10/2016	HC3 B	82	14	2,435	1
31/08/2015	HC3 B	82	7	0,89	1
23/07/2014	HC3 B	82	14	2,08	1
11/10/2016	HC35	77	3	0,47	1
28/08/2015	HC35	77	40	4,82	1
20/10/2014	HC35	77	3	0,63	1

Annexe 19 : Tableau présentant l'histoire des pratiques agricoles recensées à partir des entretiens avec les propriétaires

	Travail du sol et entretien de la parcelle						Semis et cultures					Egrais et amendements							Pression pâturage					
	Labour	Rotavator		Herse / émaillage		Giratoire		Dactyle	Ble / pomme de terre	NPK : 3-1-15		PK20,25		Scories et fanel		Clau vive		PK 10,15 Ca250		Eleage bovin				
	Fréquence	Dernière opération	Fréquence	Dernière opération	Fréquence	Dernière opération	Dernière opération	Dernière opération	Dernière opération	Fréquence	Dernière opération	Fréquence	Dernière opération	Fréquence	Dernière opération	Fréquence	Dernière opération	Fréquence	Dernière opération	Quantité / ha	Surface de passage	Nombre de bêtes	Nombre de semaines par an	Animaux / jours par ha
HC1																					1,1 ha	25	0	0,0
HC2				2015 et 2016																	3,5 ha	70	2	0,8
HC3		1985	1 ans	2015	1 ans	2014, 2015, 2016, 2017	1985		10 ans	1995	150 kg/ha										8,3 ha	25	17	1,0
HC4			2 ans	2014	2 ans	2014 et 2018			5 ans	2005	50 kg/ha			5 ans	1972						9 ha	50	10	1,1
HC10			1 ans	2013	1 ans	2013															1 ha	30	2	1,2
HC35		1976	3 ans	2013	1 ans	2014	107%														0,7 ha	50	1	1,4
HC14			3 ans	2013	3 ans	2013			1 ans	1985											2,5 ha	35	5	1,3
HC16			faible	Avril 2011 et 2017																	2,2 ha	0	0	0,0
HC37			2 ans	2014	2 ans	2014			2 ans	2014	200 kg/ha	3 ans	1950								12,1 ha	100	13	2,1
HC38	1965							1985													3,5 ha	70	2	0,8
HC39	1991		1 ans	2015	1 ans	2015	Autonne 2015	1991	1 ans	2015	40 kg/ha	1 ans	2013	200 kg/ha							1 ha	70	2	2,7
HC35			4 ans	2013	3 ans	2013															1,2 ha	15	2	0,5
HC25																					4 ha	15	10	0,7
HC26																					4,8 ha	15	10	0,6

Espèces observées

HC16 Mme Billot précise qu'elle venait ramasser les oranges avec sa grand-mère lorsqu'elle avait 10-15 ans, soit dans les années 60

HC4 Daniel Monteil croisé à Leclerc le 26/09/2015 m'a confié qu'il trouvait et ramassait des "fausses oranges" lorsqu'il faisait les foins étant jeune, soit dans les années 60. Sa description du champignon correspond bien à celle de l'orange. Il dit qu'elles ne sortent plus. Rq : il ne m'en avait pas parlé lors de l'entretien en mai 2015.

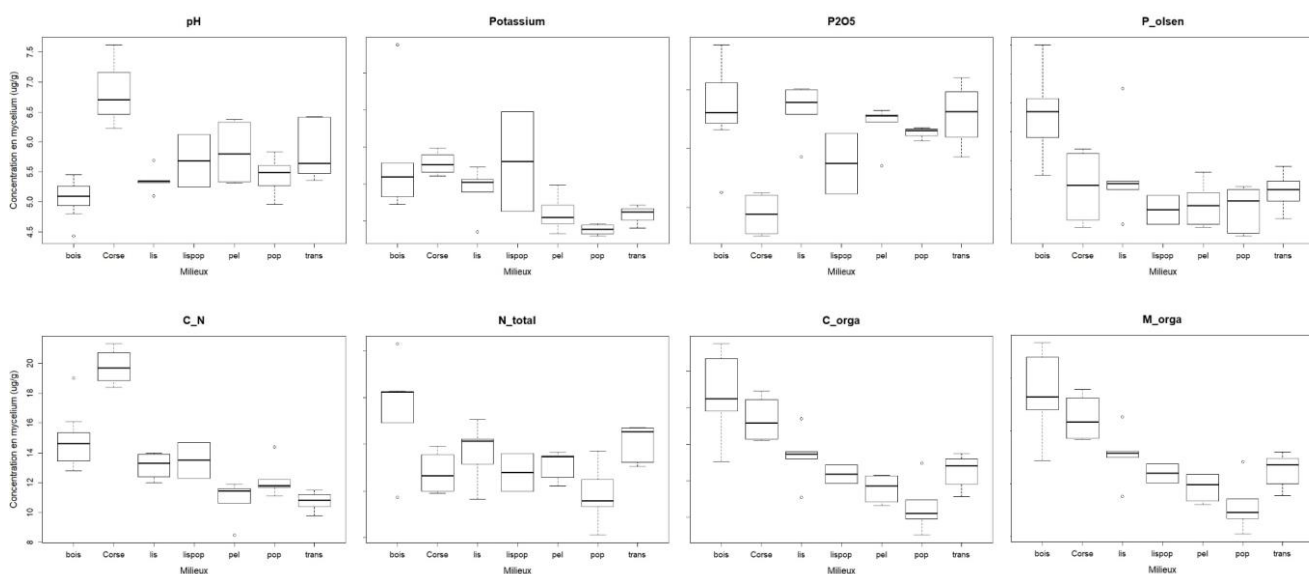
HC14 Didier Chastagner dit y voir des champignons roses sans trop de pied. Champignons que certains recherchent et vendent

Annexe 20 : Tableau de présentation des résultats des analyses de la chimie du sol

Sample code	SITE	Echantillon attendant	Localisation	Quantité mycélium	Potassium (cmol/kg)	P205 (g/100g)	ph	Polsen (g/kg)	Azote total (g/kg)	C/N	Carbone organique (en g/kg)	Matière organique (g/kg)
L19	Limousin	HC3 B	Bois	0	1,288	0,1807	5,23	0,058	8,29	14,6	121	210
L30	Limousin	HC1 B	Bois	0,031	0,8283	0,1129	4,43	0,035	3,72	19	70,6	122
L32	Limousin	HC4 A	Bois	0	0,9588	0,1857	5,07	0,057	6,91	13,8	95,3	165
L33	Limousin	HC10	Bois	0	NA	0,2377	5,45	0,065	10,3	13,1	135	233
L34	Limousin	HC2 A	Bois	0	1,257	0,1659	4,8	0,049	8,24	16,1	133	229
L39	Limousin	HC3 A	Bois	0,015	2,884	0,2256	5,29	0,08	8,23	12,8	105	182
L41	Limousin	HC35	Bois	0	0,7214	0,1775	5,09	0,047	6,91	14,6	101	175
L27	Limousin	HC2 A	lis	1,072	1,06	0,189	5,32	0,03	5,16	14	72,1	125
L3	Limousin	HC3 B	lis	0	1,024	0,2	5,69	0,065	6,23	12	74,5	129
L4	Limousin	HC3 A	lis	0	0,3529	0,1429	5,1	0,018	3,65	13,9	50,9	88
L45	Limousin	HC10	lis	0	1,231	0,2005	5,35	0,032	6,14	12,4	75,9	131
L46	Limousin	HC35	lis	0,015	0,8932	0,1793	5,34	0,033	7,06	13,3	94,1	163
L31	Limousin	HC1 B	lispop	0,316	0,628	0,1119	5,25	0,018	3,98	14,7	58,5	101
L38	Limousin	HC4 A	lispop	0	1,982	0,1631	6,12	0,028	5,61	12,3	68,8	119
L22	Limousin	HC4 A	pel	0,464	0,987	0,1726	6,33	0,021	5,47	8,5	46,5	80,5
L23	Limousin	HC10	pel	0,016	0,6158	0,1789	5,31	0,036	5,51	11,4	62,8	109
L26	Limousin	HC35	pel	0	0,3268	0,1776	6,18	0,017	5,45	11,6	63	109
L29	Limousin	HC1 B	pel	0	0,7152	0,1356	6,38	0,018	4,58	11,9	54,5	94,3
L40	Limousin	HC3 A	pel	0	0,4755	NA	5,33	0,029	4,21	11,5	48,4	83,7
L7	Limousin	HC2 A	pel	1,870	0,4581	0,1824	5,41	0,028	5,67	10,6	60	104
L1	Limousin	HC2 A	pop	0,134	NA	NA	4,96	0,014	4,48	11,1	49,5	85,7
L28	Limousin	HC35	pop	0,058	0,4286	0,1678	5,83	0,026	2,12	14,4	30,4	52,7
L43	Limousin	HC10	pop	1,587	0,4589	0,1651	5,27	0,03	5,72	12,2	69,8	121
L5	Limousin	HC3 B	pop	0	0,3449	0,1652	5,61	0,031	3,58	11,8	42,1	72,9
L6	Limousin	HC3 A	pop	9,081	0,2968	0,1566	5,49	0,015	3,32	11,7	39	67,4
L2	Limousin	HC3 B	trans	0	NA	NA	6,41	NA	5,23	9,8	51,3	88,7
L25	Limousin	HC1 B	trans	0,061	0,6205	0,1431	6,42	0,02	5,04	11,5	58	100
L35	Limousin	HC35	trans	0	0,4019	0,2098	5,51	0,03	6,71	11,2	75	130
L36	Limousin	HC4 A	trans	0,038	NA	0,1762	5,77	0,026	6,53	10,4	68,2	118
L37	Limousin	HC2 A	trans	0,012	NA	NA	5,36	0,038	NA	NA	NA	NA
L42	Limousin	HC10	trans	0	0,7125	0,1862	5,47	0,033	6,69	10,8	71,9	124
L13	Fango	arbousiers	corse	0,285535782	1,215	0,0763	6,71	0,017	4,1	20,1	82,3	142
L9	Fango	Gros chêne	corse	0,519547566	1,309	0,1091	6,7	0,022	5,19	19,3	100	173
L21	Fango	face à orange puis	corse	0	1,486	0,1125	6,23	0,044	5,91	18,4	109	189
L12	Fango	prélevée en P3	corse	0,628943945	1,108	0,0804	7,62	0,041	3,91	21,3	83,3	144

Annexe 21 : Résultats des tests statistiques réalisés sur la chimie des sols

a) Boxplots et tableaux de comparaison au sein des différents milieux échantillonnés



Variable 1 (Groupes comparés)	Types de milieux	Types de milieux	Types de milieux	Types de milieux	Types de milieux	Types de milieux	Types de milieux	Types de milieux
Variable 2	ph	Potassium	P2O5	P_olsen	N_total	C_N	C_orga	M_orga
p-value du test de Kruskal-Wallis	0,016	0,006	0,016	0,01	0,024	0,0001	0,0004	0,0004
Résultat	Milieux différents	Milieux différents	Milieux différents	Milieux différents	Milieux différents	Milieux différents	Milieux différents	Milieux différents
p-adj du test de Tuckey (Milieux différents en rouge)	Corse-bois : 0.000089 lis-bois : 0.8804862 lispop-bois : 0.5406043 pel-bois : 0.0457268 pop-bois : 0.7398423 trans-bois : 0.0004706 lispop-Corse : 0.0698493 pel-Corse : 0.0204288 pop-Corse : 0.0009111 trans-Corse : 0.0204288 lispop-lis : 0.9696636 pop-lis : 0.5769020 pel-lis : 0.9999668 trans-lis : 0.5769020 pel-lispop : 0.9996624 pop-lispop : 0.9915134 trans-lispop : 0.9996624 pop-pel : 0.7447200 trans-pel : 1.0000000 trans-pop : 0.7447200	Corse-bois : 0.9999994 lis-bois : 0.7721101 lispop-bois : 1.0000000 pel-bois : 0.1452728 pop-bois : 0.0621139 trans-bois : 0.3076378 lis-Corse : 0.8958566 lispop-Corse : 1.0000000 pel-Corse : 0.2976511 pop-Corse : 0.1360759 trans-Corse : 0.4567478 lispop-lis : 0.9467609 pop-lis : 0.9151341 trans-lis : 0.6242424 trans-lis : 0.9528452 pel-lispop : 0.5212236 pop-lispop : 0.2905488 trans-lispop : 0.6161655 pop-pel : 0.9904020 trans-pel : 1.0000000 trans-pop : 0.9975936	Corse-bois : 0.0005393 lis-bois : 1.0000000 lispop-bois : 0.3979719 pel-bois : 0.9724485 pop-bois : 0.9053793 trans-bois : 0.9999504 lis-Corse : 0.0014777 lispop-Corse : 0.5705309 pel-Corse : 0.0079479 pop-Corse : 0.0254034 trans-Corse : 0.0041257 lispop-lis : 0.4819326 pop-lis : 0.9887891 trans-lis : 0.9487494 trans-lis : 0.999953 pel-lispop : 0.8102475 pop-lispop : 0.9256956 trans-lispop : 0.6117455 pop-pel : 0.9999143 trans-pel : 0.9985440 trans-pop : 0.9856655	Corse-bois : 0.0340586 lis-bois : 0.0872486 lispop-bois : 0.0262801 pel-bois : 0.0011533 pop-bois : 0.0011509 trans-bois : 0.0111927 lis-Corse : 0.9969263 lispop-Corse : 0.9849881 pel-Corse : 0.9821881 pop-Corse : 0.9536148 trans-Corse : 0.9999932 lispop-lis : 0.8583658 pop-lis : 0.7411419 trans-lis : 0.6488877 trans-lis : 0.9797158 pel-lispop : 0.9999952 pop-lispop : 1.0000000 trans-lispop : 0.9944293 pop-pel : 0.9998859 trans-pel : 0.9948395 trans-pop : 0.9797158	Corse-bois : 0.0378166 lis-bois : 0.2320861 lispop-bois : 0.1760427 pel-bois : 0.0459444 pop-bois : 0.0010581 trans-bois : 0.4939124 lis-Corse : 0.9536551 lispop-Corse : 1.0000000 pel-Corse : 0.9993859 pop-Corse : 0.9361900 trans-Corse : 0.7841770 lispop-lis : 0.9858341 pop-lis : 0.9953678 trans-lis : 0.3493417 trans-lis : 0.9990543 pel-lispop : 0.9998805 pop-lispop : 0.9754870 trans-lispop : 0.9143085 pop-pel : 0.6649427 trans-pel : 0.9181035 trans-pop : 0.1570439	Corse-bois : 0.0001306 lis-bois : 0.3829491 lispop-bois : 0.8896170 pel-bois : 0.0005365 pop-bois : 0.0525882 trans-bois : 0.0005899 lis-Corse : 0.0000030 lispop-Corse : 0.0003968 pel-Corse : 0.0000000 pop-Corse : 0.0000003 trans-Corse : 0.0000000 lispop-lis : 0.9998940 pop-lis : 0.1747460 trans-lis : 0.9534463 trans-lis : 0.1480729 pel-lispop : 0.3106335 pop-lispop : 0.9332011 trans-lispop : 0.2663827 pop-pel : 0.7168006 trans-pel : 0.9999922 trans-pop : 0.6369051	Corse-bois : 0.6918414 lis-bois : 0.0076539 lispop-bois : 0.0144979 pel-bois : 0.0000196 pop-bois : 0.0000027 trans-bois : 0.0006294 lis-Corse : 0.4468337 lispop-Corse : 0.2856333 pel-Corse : 0.0099196 pop-Corse : 0.0012628 trans-Corse : 0.1049946 lispop-lis : 0.9852598 pop-lis : 0.4830567 trans-lis : 0.1002868 trans-lis : 0.9693778 pel-lispop : 0.9951585 pop-lispop : 0.8069300 trans-lispop : 0.9999999 pop-pel : 0.9342492 trans-pel : 0.9534230 trans-pop : 0.4640405	Corse-bois : 0.6928535 lis-bois : 0.0077481 lispop-bois : 0.0143476 pel-bois : 0.0000200 pop-bois : 0.0000027 trans-bois : 0.0006212 lis-Corse : 0.4484315 lispop-Corse : 0.2832418 pel-Corse : 0.0100550 pop-Corse : 0.0012759 trans-Corse : 0.1037267 lispop-lis : 0.9845134 pop-lis : 0.4847864 trans-lis : 0.1005603 trans-lis : 0.9678306 pel-lispop : 0.9955549 pop-lispop : 0.8112611 trans-lispop : 0.9999999 pop-pel : 0.9342492 trans-pel : 0.9561214 trans-pop : 0.4703547

b) corrélations avec la concentration en mycélium

Variable 1	Concentration en mycélium dans le sol	Concentration en mycélium dans le sol	Concentration en mycélium dans le sol	Concentration en mycélium dans le sol	Concentration en mycélium dans le sol	Concentration en mycélium dans le sol	Concentration en mycélium dans le sol	Concentration en mycélium dans le sol
Variable 2	ph	Potassium	P2O5	P_olsen	N_total	C_N	C_orga	M_orga
p-value du test de corrélation de Pearson (avec toutes les données)	0,91	0,2	0,75	0,15	0,13	0,61	0,14	0,14
p-value du test de corrélation de Pearson (avec données sans valeurs nulles de qPCR)	0,81	0,22	0,21	0,29	0,29	0,52	0,17	0,17

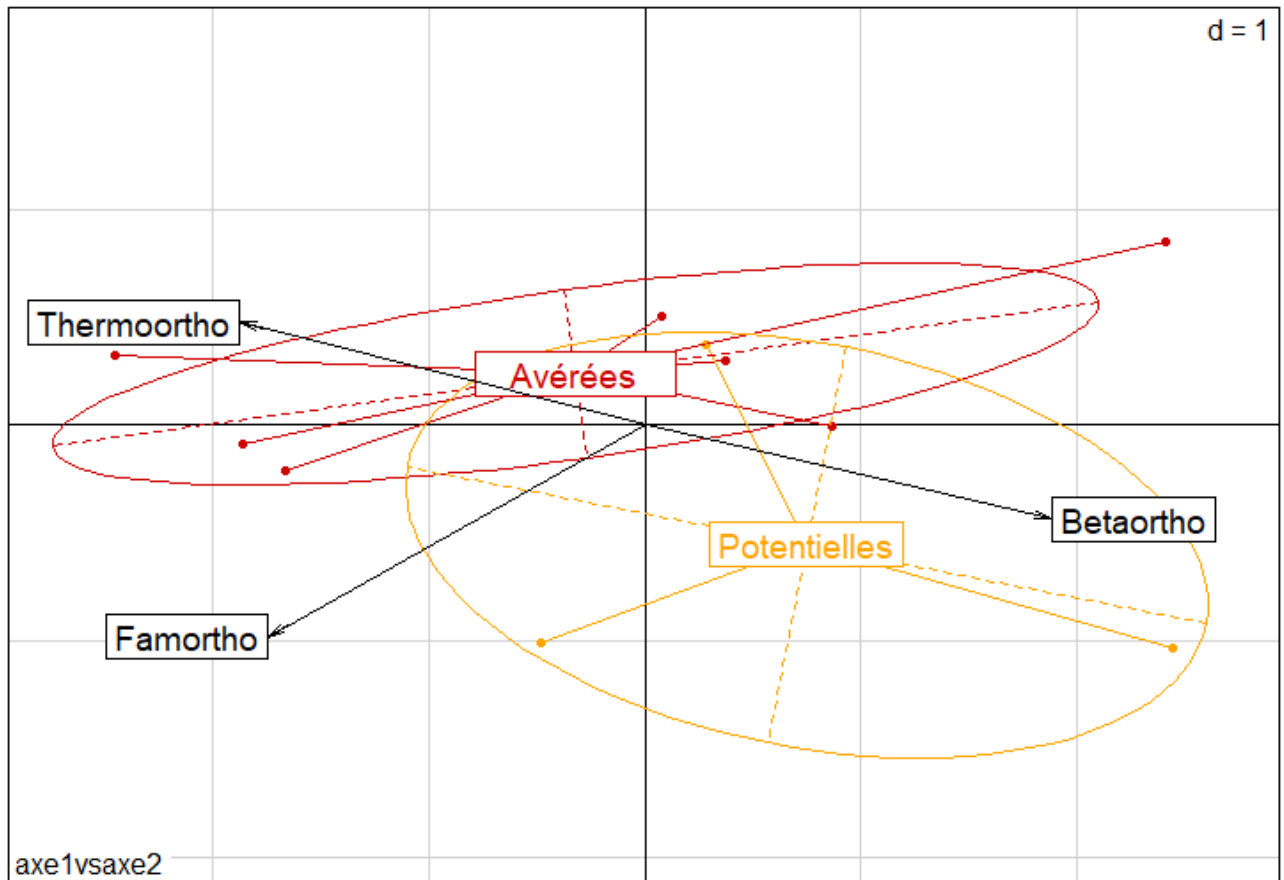
Annexe 23 : tableau rassemblant les données relatives aux cortèges botaniques, fongiques et orthoptères ainsi qu'aux conditions environnementales et aux pratiques

Station	Orthoptères			Pelouse			Fonge				Boisement			Stress/Pratiques			Environnement			Thermie							
	Diversité Beta station	Nombre de familles thermophilés	Thermophilés	Diversité Beta surplacette phytosocio	Recouvrement spécies vivaces	Part espèces pelousaire	Hauteur végétation (0/07/2016)	Diversité Beta station	Diversité Beta surplacette	Diversité Beta surplacette	Part des familles Ascomycota	Part des familles Basidiomycota	Part des familles Zygomycota	Essence	Recueil	Forêt/B&S	Grubage	Mère	Pression de pasturage	Exposition	Pente	Altitude	profondeur du sol	Température annuelle minimum	Température annuelle maximum	Température annuelle moyenne	Bémise annuelle
HC2A	1,42	3	7	2,769	4	0,231	11	4,143	3,206	0,810	8	0,190	0,833	0,190	0,1	1	1,0	0,0	280	7	38	540	82	6,342	20,823	10,258	1,981
HC3A	1,42	3	5	2,697	4	0,741	10	3,707	3,15	0,714	10	0,214	0,179	300	5	0	1,0	1,00	389	5	19	580	95	0,385	29,877	13,126	3,998
HC4A	1,42	3	5	3,6	4	0,8	17	5,438	4,5	0,875	5	0,188	0,375	25	11	0	1,0	0,33	389	3	19	580	67	0,567	25,854	10,729	2,755
HC10	1,7	3	5	3,429	4	0,81	10	4,143	4,5	0,6667	9	0,190	0,143	20	7	0	1,0	0,33	420	4	16	630	15	0,241	24,845	11,935	3,024
HC35	2,13	2	3	3,130	4	0,870	15	2,9	2,52	0,883	10	0,1	0,267	30	8	0,05	1,0	0,33	500	5	11	530	130	1,327	25,884	12,560	2,499
HC35	2,13	2	3	3,130	4	0,870	15	2,9	2,52	0,883	10	0,1	0,267	30	8	0,05	1,0	0,33	500	5	11	530	130	1,327	25,884	12,560	2,499
HC14	2,13	2	3	2,571	4	0,882	15	3,3	3,85	0,625	7	0,25	0,467	130	9	0,1	1,0	0,0	420	5	19	630	86	1,979	28,831	13,796	3,089
HC15	2,25	2	3	2,571	4	0,882	15	3,3	3,85	0,625	7	0,25	0,467	130	9	0,1	1,0	0,0	420	5	19	630	86	1,979	28,831	13,796	3,089
HC25	2,423	2	3	2,057	5	0,771	25	7,909	7,0	0,818	5	0,182	0,545	60	6	0,05	1,0	0,25	175	4	26	590	57	1,038	27,890	12,856	3,089
HC26	2,423	2	3	2,057	5	0,771	25	7,909	7,0	0,818	5	0,182	0,545	60	6	0,05	1,0	0,25	175	4	26	590	57	1,038	27,890	12,856	3,089
HC3A	1,42	3	7	2,769	4	0,231	11	4,143	3,206	0,810	8	0,190	0,833	0,190	0,1	1	1,0	0,0	280	7	38	540	82	6,342	20,823	10,258	1,981
HC3C	1,42	3	5	2,697	4	0,741	10	3,707	3,15	0,714	10	0,214	0,179	300	5	0	1,0	1,0	389	5	19	580	95	0,385	29,877	13,126	3,998
HC22	1,42	3	5	2,697	4	0,741	10	3,707	3,15	0,714	10	0,214	0,179	300	5	0	1,0	1,0	389	5	19	580	95	0,385	29,877	13,126	3,998
HC24	1,42	3	5	2,697	4	0,741	10	3,707	3,15	0,714	10	0,214	0,179	300	5	0	1,0	1,0	389	5	19	580	95	0,385	29,877	13,126	3,998
HC38	1,42	3	5	2,697	4	0,741	10	3,707	3,15	0,714	10	0,214	0,179	300	5	0	1,0	1,0	389	5	19	580	95	0,385	29,877	13,126	3,998
HC39	1,42	3	5	2,697	4	0,741	10	3,707	3,15	0,714	10	0,214	0,179	300	5	0	1,0	1,0	389	5	19	580	95	0,385	29,877	13,126	3,998

Annexe 25 : Tableau présentant la liste des espèces d'orthoptères observées lors des inventaires réalisés sur 10 stations de haute-Corrèze

Sous-Ordre	Famille	Genre et espèce	Nom vernaculaire	HC1	HC2	HC3	HC10	HC14	HC15	HC16	HC25	HC35	HC37	Fréquence spécifique		
Ensifères	Tettigoniidae	<i>Ruspolia nitidula</i>	Ruspolie à tête de cône		1	1				1			1	4	Milieux herbacés ou arbusculifères thermo-hygrophiles, mais parfois dans des strates herbacées plus sèches mais hautes et denses	
		<i>Conocephalus fuscus</i>	Conocephale commun				1	1		1				3	Végétation mésohygrophile herbacée et arbusculaire basse (fourrés), milieux parfois plus secs mais à hygrométrie assez élevée (pelouses denses)	
Caelifères	Tettigoniidae	<i>Platycleis albopunctata</i>	Decticelle chagninée		1	1	1	1					1	5	Pelouses sèches à herbes denses, talus, landes basses et pâturages	
		<i>Tetrix undulata</i>	Tetrix forestier		1	1	1	1	1			1	1	7	Milieux humides acides, dairières, chemins forestiers, abords des tourbières, prairies et pâturages	
		<i>Calliptamus barbarus</i>	Caloptène de barbarie		1	1						1	1	4	Milieux chauds et secs, souvent rocailleux ou pierreux	
		<i>Calliptamus italicus</i>	Caloptène d'Italie		1									1	Large gamme de milieux dans le sud (pelouses, friches, cultures...), milieux chauds et secs dans le nord	
		<i>Oedipoda caenulescens</i>	Oedipode turquoise		1	1	1	1					1	4	Milieux pionniers secs avec végétation lacunaire	
		<i>Mecostethus parapleurus</i>	Criquet des roseaux							1					1	Milieux herbacés plus ou moins humides
		<i>Aiolopus strepens</i>	Aïolope automale		1	1	1	1				1	1	5	Milieux chauds avec un faible recouvrement herbacé, surtout les milieux secs	
		<i>Gomphocerippus rufus</i>	Gomphocère roux		1	1	1	1			1				3	Végétation haute : ronciers, lisiers, dairières et coupes forestières
		<i>Omocestus rufipes</i>	Criquet noir-ébéne		1	1	1	1	1				1	1	7	Milieux secs dans le nord et plus humides dans le sud
		<i>Omocestus viridulus</i>	Criquet verdelet		1									1	2	Prairies, pâturages gras, tourbières et alpages. Espèce d'affinité montagnarde, rare à basse altitude
		<i>Stenobothrus lineatus</i>	Sténobothre commun		1	1	1	1	1		1	1		1	8	Milieux secs à mésotrophes : pelouses, pâturages, landes et alpages
		<i>Stenobothrus stigmaticus</i>	Sténobothre nain				1		1					1	3	Pâturages et pelouses avec une préférence pour les sols acides, apprécie une végétation rase avec beaucoup de plantes en rosette
		<i>Pseudochorthippus parallelus</i>	Criquet des pâtures		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	Large gamme de milieux herbacés avec une préférence pour les milieux mésotrophes à humides
		<i>Chorthippus dorsatus</i>	Criquet vert-échine				1							1	3	Large gamme de milieux herbacés avec une préférence pour les milieux mésotrophes à humides
<i>Chorthippus groupe biguttulus</i>	Criquet mélodieux		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	Large gamme de milieux herbacés secs à méso-humides		
Nb d'espèces par station				5	12	12	10	8	4	6	7	8	8			
Nb de familles par station				1	3	3	3	3	2	2	2	2	2			
Nb d'espèces thermophiles				1	7	5	5	2	0	2	3	3	2			
Surface prospectée				800 m²	770 m²	700 m²	370 m²	400 m²	280 m²	250 m²	930 m²	670 m²	310 m²			
Nb moyen d'espèces par station				8												

Annexe 26 : Analyse en composante principale des cortèges d'orthoptères des stations productrices d'*Amanita caesarea* (avérées) et des stations candidates (potentielles)



- # Qualité de la représentation (contributions relatives)
- # Axe 1 qualité très bonne sur 3 les variables
- # Axe 2 qualité mauvaise pour les 3 variables

Betaortho : diversité beta des stations
 Famortho : nb de familles
 Thermoortho : nb d'espèces dites thermophiles

ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES ÉTUDES
SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

Ecologie d'une espèce fongique emblématique : distribution, phénologie des fructifications et structure génétique des populations d'amanite des Césars ((*Amanita caesarea* (Scop.: Fr.) Pers.) dans les pelouses sèches limousines

MENNESSIER Vincent
07 décembre 2018
RÉSUMÉ

L'amanite des Césars, ou oronge, est une espèce méditerranéenne qui fructifie de manière fidèle sur des micro-stations de quelques ares appelées « places à oronges ». En Haute Corrèze, des populations de cette espèce sont uniquement connues de pelouses sèches, habitats sous l'influence d'activités agricoles et forestières parfois, qui abritent des biodiversités végétale, fongique et entomologique remarquables.

Pour décrypter la biologie (régime de reproduction) et l'écologie (phénologie des poussées) de cette espèce, mais aussi pour comprendre quelles sont les conditions propices au développement ou au maintien de l'espèce dans ces écosystèmes particuliers que sont les places à oronge, une recherche systématique des stations potentielles d'oronge a été initiée en 2011 sur le territoire de la Communauté de Communes des Gorges de la Haute Dordogne.

Entre 2014 et 2017, près de 700 prospections sur le terrain ont permis de réaliser un suivi fin de la fructification de l'amanite des Césars sur 48 stations de Haute Corrèze, de Basse Corrèze et du Lot. Ce travail a été couplé à 1) des inventaires des biodiversités fongiques, botaniques et entomologiques associées, 2) un suivi des paramètres microclimatiques et une analyse de la distribution du mycélium dans les places à oronge et dans les habitats attenants et 3) une analyse de l'historique des itinéraires agricoles et forestiers appliquées à ces socio-écosystèmes à l'aide d'entretien avec les propriétaires. Après récolte et mesure des traits biométriques, les fructifications d'oronge ont été systématiquement génotypées à l'aide de marqueurs microsatellites développés au Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive.

Les résultats montrent l'affinité de cette espèce pour les pelouses sèches, dans lesquelles se concentre le mycélium et les fructifications, mais aussi un riche cortège d'espèces végétales et entomologiques. L'analyse de 50 poussées atteste du caractère erratique des régimes de fructifications d'oronge, dans le temps et dans l'espace, la chronique des poussées semblant être déterminée par une séquence de deux épisodes pluvieux interagissant avec le cumul thermique au moment des pluies. Sur le plan génétique, les places à oronge sont constituées d'un ensemble diversifié d'individus, comptant jusqu'à 46 génotypes différents. Ces génotypes produisent généralement un faible nombre de carpophores, et réalisent de nombreuses éclipses de fructification. Cette structure de population est identique en Haute Corrèze (limite d'aire) et en Corse (cœur d'aire), suggérant une présence ancienne de l'espèce dans les écosystèmes du Limousin. A l'échelle de la place à oronge, la biomasse de carpophores produite est corrélée à la diversité génétique qu'elle recèle. La structuration génétique de l'espèce est peu lisible au niveau local et régional mais semble néanmoins se dessiner au niveau de l'aire de distribution.

L'ensemble de ces résultats montre la grande plasticité écologique de l'oronge, comme espèce se maintenant dans une vaste gamme d'habitats au regard des pratiques humaines et des conditions environnementales. Les places à oronges apparaissent comme des sites favorables à l'installation et à la reproduction de cette espèce, qui y établit de nombreux individus génétiques co-occurents. Les pelouses sèches de Haute Corrèze, habitats extrêmement localisés, peuvent être considérés comme des socio-écosystèmes où convergent les enjeux de biodiversité, aussi bien fongique, botanique, qu'entomologique, et présentent un intérêt pour la conservation et la valorisation du patrimoine naturel local.

MOTS-CLÉS : Amanite des césars, morphométrie, phénologie des fructifications, structuration génétique, pelouses sèches, perturbations, conservation.