

PROGRAMME DE RECHERCHE
"BIODIVERSITE, GESTION FORESTIERE ET POLITIQUES PUBLIQUES"

TITRE DU PROJET EN FRANÇAIS
« Potentiel de régénération des chênaies
dans le contexte du changement climatique:
Quel avenir pour le masting et les consommateurs de glands ? »

Acronyme : « PotenChêne »

TITRE DU PROJET EN ANGLAIS
"Oak forest regeneration in the perspective of climate change:
What's next for masting and oak acorn consumers?"

Nom du responsable de projet
SAMUEL VENNER

Université Lyon1,
Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive (LBBE), UMR CNRS 5558
43 Bd du 11 nov 1918 ; 69622 VILLEURBANNE CEDEX, France
e-mail: samuel.venner@univ-lyon1.fr
Tel: 04 72 43 29 02 ; FAX: 04 72 43 13 88

Rapport finale : Résumé & Synthèse
Date : 17/09/2018

Numéro de convention ECOFOR : 2014-14

Date d'engagement : 01/06/2014 – Durée du projet : 48 mois – Montant alloué par BGF : 105 727Euros



Résumé

Les fortes fluctuations temporelles de glandées du chêne, phénomène connu sous le nom de ‘masting’, ont un fort impact à la fois écologique et économique. Le programme ‘Potenchêne’ vise à mieux comprendre les mécanismes du masting du chêne et son impact sur la démographie des consommateurs de glands (ongulés et insectes) et sur la régénération forestière. Nos résultats révèlent que la production fructifère s’est accrue, en moyenne, au cours des 15 dernières années en France, parallèlement à l’augmentation de la température printanière. Nous avons montré que les fortes fluctuations de niveaux d’allocation de ressources dans la production pollinique ainsi que la sensibilité de la diffusion pollinique aux conditions météorologiques printanières jouent un rôle central dans la dynamique des glandées. En parallèle, nous montrons que l’intensité des glandées impacte fortement la démographie des populations de sangliers et la dynamique des communautés d’insectes qui parasitent les glands, parasitisme dont nous montrons qu’il atténue fortement le succès de germination des fruits. Dans le contexte du changement climatique, nos résultats suggèrent que les fluctuations des glandées devraient rester très fortes mais pourraient devenir beaucoup plus régulières (moins stochastiques) ce qui pourrait favoriser la croissance démographique des consommateurs et accroître les problèmes qui y sont associées (e.g. parasitisme des fruits, dégâts agricoles, maladie de Lyme, etc...). En complément à ces approches, nous avons mis au point une méthode légère d’estimation des glandées, déployée dès 2018 sur un large réseau de sites à la fois pour (i) répondre à de nouveaux enjeux scientifiques, (ii) améliorer la gestion forestière et (iii) développer une méthode d’anticipation des glandées qui devrait permettre de mieux gérer à la fois la régénération des chênaies et le contrôle des populations de sangliers.

Synthèse du programme ‘Potenchêne’

I. Adéquation des résultats avec les objectifs affichés et diagnostic des faiblesses.

I.1. Rappel de la proposition initiale

Le programme ‘Potenchêne’ vise à apporter un éclairage nouveau sur les capacités des chênaies à faire face au changement climatique en se focalisant sur le devenir du masting du chêne (défini comme le patron de reproduction caractérisé par des fructifications massives, intermittentes et synchronisées à l’échelle d’une population d’arbres) et sur le devenir des consommateurs de glands qui sont susceptibles de fortement impacter la démographie des chênes. Ce projet s’articule selon 4 axes : l’axe 1 vise à mieux comprendre les mécanismes proximaux qui sous-tendent le masting du chêne, l’axe 2 explore la dynamique « glandée-consommateurs de glands-régénération des chênaies », l’axe 3 vise à explorer différents scénarios sur le devenir du masting du chêne et de la dynamique « glandée-consommateurs de glands-régénération des chênaies » dans le contexte du changement climatique et l’axe 4 est dédié au développement d’outils et méthodes à l’intention des gestionnaires.

I.2. Les principaux résultats

Le programme dans son ensemble a permis de faire des avancées importantes dans notre compréhension des mécanismes qui sous-tendent le masting et son impact sur la démographie des consommateurs. Les avancées importantes ont été réalisées sur le plan de la modélisation (masting, démographie des insectes et des sangliers). Cependant, des travaux sont encore nécessaires pour pouvoir proposer des scénarios robustes sur le devenir du système ‘chênes-consommateurs’ dans le contexte du changement climatique. Ce programme a en outre permis de mettre en place une méthode légère d’estimation des glandées qui sera mobilisée sur un large réseau de sites dès 2018, pour répondre à des questionnements aussi bien scientifiques que relevant de la gestion forestière. Les principaux résultats sont énoncés ci-dessous et détaillés dans le rapport scientifique¹.

- 1) **Intensification des glandées dans le contexte du changement climatique** (Caignard *et al.* 2017, **RS_Part 1.1**). Grâce au suivi pluri-annuel (1994 à 2007) de l’effort de reproduction dans 30 populations de chênes (sessiles et pédonculés), nous avons montré, au cours des deux dernières décennies, une augmentation de la production fruitière. Cette accentuation de l’effort de reproduction des chênes est positivement corrélée à l’augmentation des températures printanières mesurées durant la même période. Cette tendance a été confirmée grâce à un dispositif indépendant installé le long de gradients altitudinaux dans les Pyrénées. Ce résultat surprenant suggère que la production fruitière moyenne devrait continuer d’augmenter avec le changement climatique en cours.
- 2) **Vers un modèle mécaniste du masting** (Venner *et al.* 2016, **RS_Part 1.2**). Nous avons développé un modèle mécaniste du masting de type RBM (*Resource Budget Model*) en revisitant les modèles développés précédemment. Alors que le processus de pollinisation croisée constitue la force qui synchronise les fructifications entre les arbres d’une même population dans les RBMs, notre modèle prédit, de façon contre-intuitive, que le masting sera d’autant plus intense que l’efficacité de la pollinisation sera faible.

¹ Le rapport Scientifique (RS) est construit selon deux sections, la section qui peut être diffusées ou la section confidentielle, comportant des résultats encore non publiés.

- 3) **Le pollen au cœur du masting** (Schermer *et al.* accepté, RS_Part 1.3). Nous montrons que le processus de pollinisation constitue la pierre angulaire du masting en étant impliqué dans deux processus: (i) la dynamique des émissions polliniques locales suit un rythme biennal en accord avec l'hypothèse selon laquelle la production de pollen d'un arbre est régulièrement limitée par les ressources; (ii) la diffusion pollinique s'avère très sensible aux conditions météorologiques printanières qui elles-mêmes impactent fortement l'intensité des glandées. Nos aménagements du modèle mécaniste confirment l'importance de ces deux processus. Des analyses complémentaires renforcent cette proposition en révélant que la dynamique inter-annuelle de disponibilité de pollen dans l'air sont synchrones avec les dynamiques de fructifications des chênes et que la phénologie pollinique joue un rôle clef dans ces dynamiques.
- 4) **Adaptation locale du masting** (Caignard *et al.* soumis, RS_Part 1.4). Les suivis de la fructification des chênes *in situ* le long du gradient altitudinal combinés à des tests de provenance a permis de mettre en évidence une forte variabilité et une adaptation locale de l'effort reproducteur entre les populations. Les observations en jardin commun révèlent une différenciation génétique entre les populations du gradient altitudinal: les populations de haute altitude allouent plus de ressources à la reproduction alors que les populations de basse altitude favorisent la croissance. Toutefois, ce cline génétique ne contrebalance pas les effets environnementaux (basses températures et gels précoces) qui limitent drastiquement la production en altitude.
- 5) **Impact du masting sur la démographie des sangliers** (Gamelon *et al.* 2017, RS_Part 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5). L'impact de l'intensité des glandées sur la démographie des populations de sangliers a été étudié sur les sites de Chateauvillain et Castelporziano. Les résultats obtenus montrent que les sangliers sont très opportunistes et consomment les fructifications forestières en fonction de leur disponibilité. Le masting du chêne impacte donc la survie des marcassins et les tactiques de reproduction des femelles. Le développement de cet axe se poursuit au moyen de l'observatoire sanglier et d'une thèse en cours qui vise à établir le lien entre la dynamique pollinique et de fructification avec la démographie des populations de sangliers et les dégâts qu'ils occasionnent.
- 6) **Ongulés et régénération des chênaies** (Laurent *et al.* 2017, RS_Part 2.6) : L'impact des trois espèces d'ongulés forestières françaises (sanglier, cerf et chevreuil) sur le succès de régénération des chênaies est évalué à travers un dispositif d'enclos/exclos. Les premiers résultats suggèrent que l'accroissement des populations d'ongulés diminue la survie des jeunes plants et leur croissance en hauteur. En revanche, l'absence de cervidés pourrait favoriser l'établissement et la croissance d'autres espèces végétales en compétition avec les chênes (hêtres et ronces), ce qui pourrait alors être tout aussi défavorable à la régénération des chênaies que de fortes densités en ongulés. Ces travaux soulignent la nécessité de mieux comprendre l'interaction entre l'abrutissement et la compétition entre espèces végétales pour envisager une régulation des populations d'ongulés (de telle manière qu'il n'y en ait ni trop, ni trop peu) favorable à la régénération des chênaies.
- 7) **Co-évolution du masting et des communautés d'insectes** (RS_Part 3): Nos suivis de communautés de quatre espèces d'insectes spécialistes des glands montrent que le masting génère une diversification des stratégies des insectes et un partitionnement temporel très marqué de l'exploitation des fruits. Nous avons construit un modèle de dynamique et d'évolution des communautés visant à analyser l'impact du masting sur l'évolution divergente des traits d'histoire de vie des insectes et le partitionnement de leurs niches écologiques. Les premiers résultats, encore incomplets, montrent que le masting génère des opportunités de niches écologiques distinctes et favorise la diversité en espèces compétitrices. En parallèle, nous avons montré que le parasitisme des fruits par les insectes diminue

fortement leur potentialité de germination. Ce résultat suggère que les insectes constituent une pression sélective majeure sur les tactiques de reproduction des chênes. La modélisation de la co-évolution 'masting-insectes' est alors envisagée, en combinant le modèle mécaniste du masting (RBM) et les modèles de dynamiques des communautés d'insectes.

- 8) **Méthode de quantification des glandées** (Touzot *et al.* 2018, RS_Part 4). Nous avons mis en place une méthode légère de quantification des glandées basée sur le dénombrement des glands au sol fin octobre, qui fournit une estimation relativement juste des glandées aux échelles de l'arbre et de la population d'arbres. Son utilisation à large échelle est d'ores et déjà envisagée aussi bien pour le développement scientifique que pour la gestion.
- 9) **Scénario dans le contexte du changement climatique.** Bien que nous ayons fait des avancées importantes sur le plan de la modélisation (masting ; démographie des consommateurs), le modèle mécaniste du masting actuel ne permet pas encore de générer des dynamiques de glandées fidèles aux observations. Nous ne pouvons donc pas encore l'utiliser à court terme pour proposer des projections réalistes du devenir du système 'masting – consommateurs de fruits-régénération' dans le contexte du changement climatique. Toutefois, nos résultats (RS_Part 1) suggèrent que les fluctuations des glandées devraient rester très fortes mais pourraient devenir beaucoup plus régulières (moins stochastiques compte-tenu de la hausse des températures printanières), ce qui pourrait favoriser la croissance démographique des consommateurs et accroître par là les problèmes qui y sont associés (e.g. parasitisme des fruits, dégâts agricoles, maladie de Lyme, etc...).

II- Réorientations & Ajustements

Il n'y a pas eu de réorientation majeure au cours du développement du programme. Ci-dessous sont exposées les modifications apportées au programme initial :

II.1) Certains aspects du programme ont été plus développés que ce qui était prévu initialement.

- a) L'ONCFS a pris l'initiative de développer, courant 2015, un réseau d'observation (cf RS.Part 2.4) complémentaire à ceux initialement prévus dans 'PotenChêne' et d'ores et déjà constitué de 22 sites répartis sur toute la France. Ce réseau permet de combiner le suivi de la dynamique des fructifications de chênes (mais aussi des hêtres et des châtaigniers) et la démographie des populations de sangliers dans de nombreuses localités en parallèle.
- b) L'intégration dans le consortium de personnes qui gèrent les suivis du réseau 'Graines et Plants' (ONF et IRSTEA) et de la FNC apporte des compétences complémentaires et une puissance statistique unique pour appréhender le masting du chêne et ses conséquences sur la dynamique des sangliers et les dégâts qu'ils occasionnent: nous allons conduire nos analyses en utilisant les données issues du réseau 'Graines et Plants'. Ces données, qui reposent sur une estimation des glandées dans les régions de provenance et une quantification de la collecte dans les peuplements classés, conféreront une plus forte puissance statistique que celles initialement prévues. Ce changement est consécutif à la suggestion du Conseil scientifique de BGF d'interroger la section « Arbres forestiers » du CTPS sur l'intensité des glandées sur 30 ans
- c) Le laboratoire BioGeco a analysé le déterminisme génétique de la variabilité phénotypique de la reproduction des chênes au moyen de suivis sur un large gradient altitudinal combiné à des tests de provenance situés à basse altitude.

II.2) Certains aspects du programme ont pris du retard par rapport au calendrier prévisionnel initial :

a) Compromis croissance-reproduction des chênes: La tâche consistant à tester l'hypothèse d'un compromis entre croissance et reproduction n'a pas pu aboutir à cause d'importantes contraintes administratives (autorisation de carottage des arbres), conduisant à un décalage entre le moment de l'obtention des données et l'emploi du temps de T. Caignard pendant sa thèse. Cependant, cet axe sera renforcé à court terme avec des relevés similaires réalisés le long du gradient altitudinal dans les Pyrénées et sur plusieurs populations de chênes sessiles réparties sur toute la France. Les données sont maintenant globalement acquises et leurs analyses et valorisation sont prévues courant 2018-2019.

b) Anticipations des glandées et Scénarios dans le contexte du changement climatique : comme souligné dans le point 9 des résultats principaux, notre compréhension du masting doit encore être affinée pour pouvoir proposer un modèle mécaniste capable de générer des dynamiques de fructifications similaires à celles observées. Une fois mis au point, ce modèle pourrait être mobilisé à la fois pour anticiper les glandées d'une année à l'autre mais aussi pour proposer des scénarios robustes sur le devenir du masting. Grâce aux travaux en cours, cet axe du programme devrait être finalisé durant les deux prochaines années.

II.3) Certains aspects ont été abandonnés ou ne seront pas traités à court terme (besoin d'obtenir des financements supplémentaires) :

- a) Début 2016, nous avons lancé une enquête auprès des agents responsables des placettes du réseau RENECOFOR, portant sur l'historique des glandées. L'objectif était d'évaluer la fiabilité de ce type d'information, en la confrontant aux données issues du suivi des litières sur les placettes RENECOFOR (1994-2007). Les résultats de cette confrontation suggèrent que les informations issues d'enquêtes sont fortement bruitées (grande hétérogénéité de l'évaluation entre observateurs, estimation erronée, dates imprécises), et ne peuvent donc pas être exploitées à des fins rétrospectives.
- b) Site en Alsace. L'ONF, l'ONCFS et le LBBE ont mis en place (sur la base de leurs fonds propres, non financés par 'Potenchêne') un site complémentaire au réseau déjà existant de suivi des chênes en plaine (15 sites). Ce nouveau site, situé en Alsace, visait d'une part à tester l'effet de la richesse du sol sur la dynamique de la fructification (30 arbres étant suivis en plaine sur sol fertile et 30 arbres situés sur un plateau avec un sol acide, peu fertile) et d'autre part, à croiser des données précises sur la dynamique connue des populations animales (grand gibier) et sur l'intensité des glandées. A cause d'une forte exposition à des risques sanitaires, ce suivi a été abandonné : les sites sélectionnés exposent en effet les expérimentateurs (sur le terrain et pour l'analyse des échantillons en laboratoire) à des réactions aux poils urticants des chenilles processionnaires du chêne. Un suivi des fructifications avec la méthode légère (résultats point 8) a été cependant maintenu pour pouvoir croiser ces informations avec les données 'ongulés'.
- c) Communautés d'insectes et succès de régénération des chênes. L'un des objectifs du programme était d'étudier l'impact des fluctuations des glandées sur la dynamique des communautés d'insectes et en retour l'impact des insectes sur le succès de régénération des chênaies. Cette partie du programme bénéficie de suffisamment de données empiriques mais son aboutissement exige maintenant de poursuivre des travaux de modélisation qui seront conditionnés par l'obtention d'un financement de thèse.

III) Coordination entre les partenaires et interdisciplinarité

Partenariat

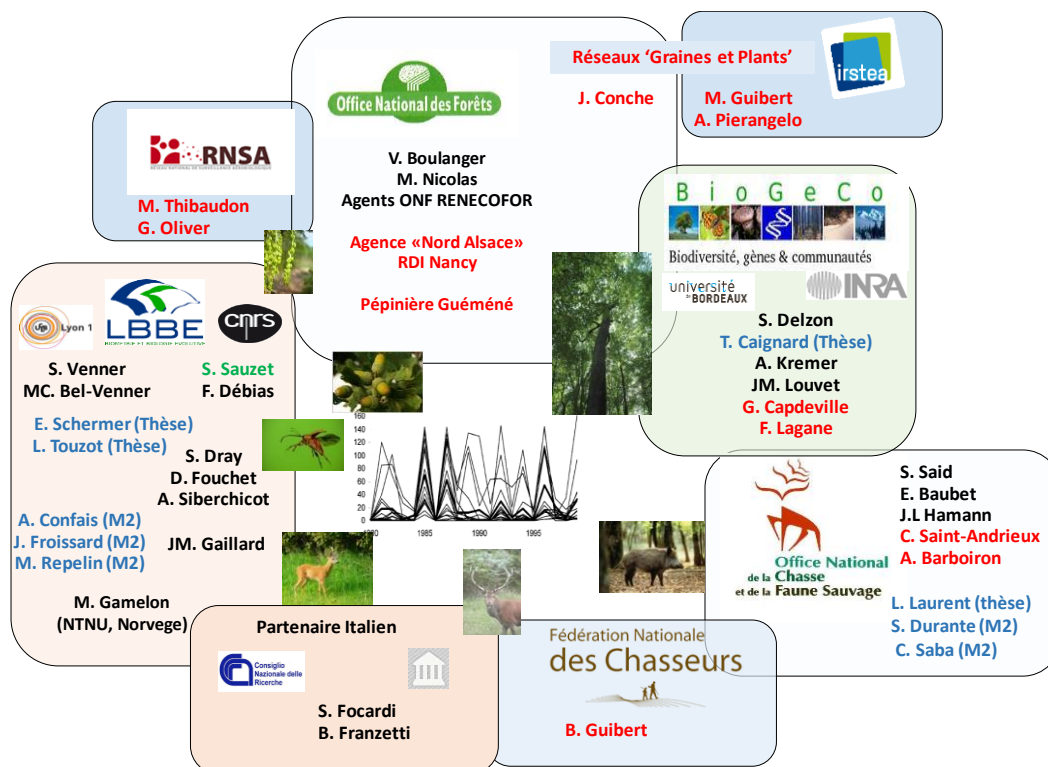


Figure 1 : Le consortium du programme « PotenChêne » est composé de 9 partenaires, dont 4 organismes de recherche ('LBBE' -Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive, UMR-CNRS 5558 de l'Université Lyon1 - ; 'BioGeCo' -UMR-INRA de l'Université de Bordeaux-, 'CNR' -Centre National de Recherche Italien (Florence, Italie)-, ISPRA -Institute for Environmental Protection and Research, Roma, Italy-) et de 5 organismes publics de la société civile ('ONF' -Office National des Forêts-, 'ONCFS' -Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage-, 'FNC' -Fédération Nationale des Chasseurs-, 'RNSA' -Réseau National de Surveillance Aérobiologique-, IRSTEA -Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture). Les nouveaux collaborateurs, depuis le début du programme, sont indiqués en caractères rouges. Les stagiaires en master 2 et doctorants sont en caractères bleus. Un personnel technique, en caractère vert, ne participe plus au programme, suite à une mutation.

Le consortium du programme 'PotenChêne' a été renforcé durant le programme (fig. 1, caractères rouges). Ce renfort a permis (i) de bénéficier de plus larges compétences pour mener à bien le programme, (ii) d'accroître les jeux de données de haute qualité et originaux à notre disposition, et (iii) de compléter notre réseau d'observation (initialement constitué de 15 sites en plaine (LBBE, ONF) et 14 sites dans les Pyrénées (BioGeCo) destiné au suivi de la floraison et la fructification des chênes sur un large gradient environnemental, et de 5 sites de suivi de la démographie des ongulés (ONCFS-LBBE-CNR- ISPRA)). De manière plus détaillée:

En 2015:

- l'ONCFS a développé un large réseau national de suivi des fructifications forestières et de la démographie des sangliers;

- l'entrée de la FNC dans le consortium permet d'évaluer l'impact indirect du masting sur les dégâts agricoles occasionnés par les ongulés forestiers dont la démographie pourrait être liée à l'intensité des glandées;
- la collaboration initiée avec le RNSA permet d'accroître nos possibilités d'analyse impliquant des mesures d'abondance pollinique;
- la participation de la pépinière nationale de Guéméné-Penfao (ONF) nous a permis d'étudier le succès de germination des glands selon leur taille et leur statut au regard du parasitisme.

En 2016-2017:

- la participation de nouveaux membres de BIOGECO a permis de réaliser les carottages de chênes, destinés à analyser le compromis entre croissance et reproduction chez les chênes;
- de nouvelles collaborations récemment mises en place avec l'IRSTEA et l'ONF nous permettront d'analyser le gros jeu de données relatif à la fructification des chênes, jeu de données reposant sur le réseau 'Graines et Plants'.

En complément du soutien financier accordé par le GIP ECOFOR 'BGF', notre groupe a fortement consolidé ce programme en obtenant le financement de 4 thèses qui constituent les piliers de ce programme: thèses de T. Caignard (2014, financée par le Labex COTE), de L. Laurent (2014-2017, financée par l'ONCFS) d'E. Schermer (2016, financée par l'ONF et la FNC), et de L. Touzot (2016, financée par la région 'Auvergne-Rhône-Alpes'). Le développement du programme a pu complémentarément être réalisé grâce aux travaux de 7 étudiants en stage de 2ème année de Master.

Ce programme, et plus particulièrement trois des quatre thèses qui ont pris place dans le cadre de ce programme, ont permis de renforcer le lien entre les différents partenaires et de favoriser le développement d'approches interdisciplinaires:

- La thèse de T. Caignard dirigée par S. Delzon et A. Kremer (BioGeco) a été l'occasion d'interaction avec l'ONF et le LBBE. Ce travail a permis d'analyser la dynamique des glandées collectées par l'ONF sur un large réseau de sites, d'analyser le déterminisme génétique de l'effort reproducteur des arbres ainsi que l'héritabilité de caractères liés à la reproduction des chênes.
- La thèse d'E. Schermer, dirigée par S. Venner et J.M. Gaillard, s'est développée en interaction étroite avec BioGeco, l'ONF et le RNSA. Elle a permis de conduire des analyses inédites des dynamiques polliniques et de fructifications, combinées au développement de modèles mécanistes du masting.
- La thèse de L. Touzot, dirigée par JM Gaillard, S. Venner (LBBE) et E. Baubet (ONCFS), est développée en partenariat avec le FNC, le CNR en Italie et l'ONF. Cette thèse combine l'analyse statistique de jeux de données conséquents (relatifs aux fructifications, à la dynamique des populations de sangliers et aux dégâts agricoles) avec la construction de modèles démographiques stochastiques.

En complément, les travaux d'A. Fontanilles (IE, CDD) ont été dirigés par le LBBE en interaction avec l'ONF, l'IRSTEA et BioGeco et la partie relative aux insectes, qui a reposé essentiellement sur des travaux de stage de recherche de Master 2, a été conduite en interaction forte entre l'ONF et le LBBE sur la base d'approches complémentaires (terrain, expérimentation en pépinière et modélisation mathématique).

IV) Qualité scientifique du projet, valorisation.

La valorisation en cours du programme est détaillée dans la partie 5 du Rapport Scientifique. Six articles scientifiques ont été publiés, 1 article a été soumis et 3 autres articles scientifiques sont en phase de rédaction et devraient être soumis courant 2018. Onze communications scientifiques et 9 communications à destination des gestionnaires ont été exposées lors de colloques. Sept rapports de stage recherche de M2 et 7 rapports de stage de licence ou IUT ont été rédigés. Au moins 6 autres articles scientifiques seront rédigés sur la base des travaux menés au cours de ce programme.

V) Appui aux politiques publiques

1) ***Assurer le monitoring des fructifications forestières*** : Au lancement du projet, un bilan s'est imposé : il n'existe pas de système de suivi des fructifications forestières en France. Le suivi des litières via le réseau Renecofor fut interrompu en 2007 sur la plupart des sites, pour une durée totale de 15 ans qui n'offre que peu de recul temporel pour apprécier la fréquence d'événements rares (périodicité pouvant aller jusqu'à 10 ans). Les estimations à dire d'expert par les personnels du réseau Graines et Plants sont plus nombreuses et offrent une meilleure antériorité, mais ne reflètent qu'un potentiel de récolte pour les semences. L'outil d'estimation simplifié des fructifications de chênes mis au point dans le cadre de ce projet vient ainsi en alternative à une méthode d'observation directe (comptage à la jumelle des glands dans les houppiers) et pourrait être repris et déployé dans des programmes de suivi des écosystèmes forestiers, notamment en lien avec le suivi du renouvellement des peuplements et de la réponse des arbres aux changements environnementaux.

2) ***Intégrer la variabilité des fructifications dans les scénarios de dynamique forestière*** : Les résultats obtenus ont permis de proposer des modèles de simulation des fructifications forestières, intégrant notamment la composante climatique. Les scénarios actuellement proposés sur l'évolution de la ressource forestière et sur l'impact des changements climatiques sur cette ressource ne modélisent pas explicitement cette variabilité dans la disponibilité en fructifications et donc dans le potentiel de régénération. Bien que nécessitant encore quelques approfondissements, les résultats obtenus et modèles mis au point pourraient contribuer à affiner ces scénarios, et mieux apprécier les incertitudes dans la réponse des arbres et des peuplements aux changements climatiques.

En second ordre, les travaux conduits alertent aussi sur l'ensemble des implications que peut avoir la dynamique de fructification des chênes sur les consommateurs de glands. La dynamique des parasites, dont on a montré qu'elle était liée aux fluctuations des glandées, conditionne en retour le potentiel de germination des glands donc de renouvellement du chêne. La place des glands dans le régime alimentaire des sangliers, mise en évidence dans ce projet, montre aussi le rôle critique des sangliers dans la dynamique de renouvellement des chênaies (et par analogie, dans les hêtraies).

3) ***Raisonnement des stratégies de gestion durable des peuplements de chênes à la lumière des fructifications*** : La qualité des fructifications (abondance, fréquence et probabilité de germination) constitue le premier filtre pour le renouvellement des peuplements, que ce soit par voie de régénération naturelle ou par plantation. Les résultats ici obtenus sont déjà porteurs d'innovation dans les stratégies de récoltes de graines : mieux les anticiper pour mieux assurer la récolte des semences et l'approvisionnement des pépinières. Plus avant, les stratégies de gestion des matériels forestiers de reproduction jusqu'alors centrées sur le potentiel de production (croissance, conformation) pourraient également intégrer des critères d'appréciation liés au potentiel de fructification (fréquence, intensité, qualité des fruits) qui pourraient s'avérer déterminants pour augmenter la résilience des peuplements via leur potentiel de régénération à l'âge adulte. La connaissance et a fortiori l'anticipation, in situ,

de l'intensité des fructifications de chênes est aussi à même d'aider le sylviculteur dans la planification de ses travaux afin de les optimiser : ne pas engager de travaux en l'absence de fructifications et inversement, assurer les travaux en temps opportun pour s'adapter aux fluctuations des glandées. Cette meilleure connaissance et anticipation du fonctionnement de l'écosystème est ainsi porteuse de pistes d'innovation pour la gestion durable des peuplements forestiers. Ceci ouvre la voie à la modernisation des stratégies sylvicoles, appuyées sur une gestion adaptative de la phase de renouvellement des peuplements.

VI) Transfert des connaissances ou de valorisation à destination des gestionnaires publics et utilisateurs

L'effort de diffusion des connaissances auprès des gestionnaires et utilisateurs est détaillé dans la partie 5 du Rapport Scientifique. Sept articles de vulgarisation et 9 communications à destination des gestionnaires ont été publiés ou exposés lors de colloques.

La première action de transfert, et la plus signifiante auprès des gestionnaires publics et décideurs a été de *mettre en lumière l'importance du processus de fructification des arbres en tant qu'étape déterminante du renouvellement des peuplements forestiers* (que ce soit par voie de régénération naturelle mais aussi pour la récolte des semences dans une stratégie de plantation). Plus largement, c'est le caractère déterminant de l'intensité des fructifications des chênes dans le fonctionnement de l'écosystème forestier qui a été illustré ici, avec des conséquences potentiellement très fortes pour différents services écosystémiques. Les quelques publications parues dans des revues de vulgarisation ont été particulièrement remarquées chez les gestionnaires forestiers. Il s'agit donc de ne pas sous-estimer cet aspect très général du projet qui a amené les gestionnaires et décideurs à porter un regard analytique et s'impliquer dans une démarche scientifique sur un phénomène déterminant dans la dynamique des écosystèmes forestiers, mais vu jusqu'alors par le prisme de l'empirisme. Les résultats obtenus dans le cadre de ce projet sont très diversifiés dans leurs types : certains relèvent de la recherche fondamentale en écologie et nourriront, à plus ou moins brève échéance des outils de scénarisation, d'autres comportent une perspective d'application nécessitant plus ou moins de travaux pour parvenir à un outil consolidé et utilisable par les gestionnaires.

Une famille de résultats sur la fructification en elle-même, source d'innovations à court terme dans la gestion des semences et des peuplements forestiers.

Avant toute chose, la conduite de ces travaux a mis en lumière la méconnaissance de la variabilité spatio-temporelle de ces fructifications, conséquence de la disparité des informations objectives disponibles. L'un des résultats les plus avancés en termes de développement est celui de la proposition d'une méthode de quantification des glandées (Partie 4 du RS). Cette méthode répond à l'ensemble des points d'un cahier des charges fixé avec le gestionnaire : simplicité de mise en œuvre (ne requiert pas de compétences techniques pointues, ni d'effort de maintenance particulier) et capacité à détecter des grandes variations dans la production fruitière (en particulier les épisodes de fructification massive). Cette méthode, actuellement en déploiement dans les peuplements classés du réseau Graines et Plants (30 peuplements) est au stade de démonstrateur en environnement opérationnel (TRL² 7) ; une première mise en œuvre par les gestionnaires forestiers aura lieu à l'automne 2018.

² Technology Readiness Level : mesure du niveau de maturité technologique, échelle allant de 1 (principes de base observés et décrits- recherche fondamentale) à 9 (système réel prouvé à travers des opérations ou missions réussies)

Les travaux de recherche plus fondamentale sur les déterminants de la fructification des chênes (partie 1 du rapport scientifique) ont permis de mettre au point un modèle simulant assez fidèlement les dynamiques de production de fruits chez le chêne. Ce modèle s'appuie sur deux informations : la météo (particulièrement les conditions printanières) et la fructification de l'année précédente. Ainsi, l'estimation des fructifications à l'aide de la méthode mise au point, couplée à des observations météo devrait permettre d'anticiper dès le printemps l'intensité de la glandée qui aura lieu à l'automne. Cet outil de prédiction nécessite encore d'être consolidé (TRL 5), il le sera notamment grâce au suivi mis en place sur le réseau Graines et Plants. Cet outil, une fois opérationnel, devrait trouver des applications directes auprès des forestiers. Il permettra d'anticiper la logistique nécessaire à la récolte des glands et de mieux la raisonner en fonction de la disponibilité en graines. Il s'agit de ne pas manquer une forte glandée par défaut dans la mobilisation des moyens humains pour la récolte d'une part, et inversement de ne pas prévoir une récolte lors d'un épisode de fructification qui s'annonce trop faible, et engendre alors des coûts de récolte élevés. Cet outil prévisionnel pourrait également permettre aux gestionnaires de mieux anticiper les opérations sylvicoles dans les peuplements dont le renouvellement est à amorcer afin que le milieu soit propice à la germination/croissance des jeunes chênes : relevé de couvert, préparation du sol.

Une famille de résultats sur les relations entre le masting du chêne et la dynamique de la biodiversité qui nécessite d'autres investigations avant de constituer des outils opérationnels.

Ce projet a aussi permis de dégager quelques résultats sur les liens entre la fructification des chênes et (i) la dynamique des communautés d'insectes (RS_Part_3) et aussi (ii) la démographie des sangliers (RS_Part_2). Sur le premier point, les connaissances acquises mettent un point de vigilance sur le rôle clé que pourraient jouer les communautés d'insectes dans le succès reproducteur du chêne (viabilité des glands). La perspective de modélisation du système glands-insectes exposé dans le rapport scientifique pourrait permettre à terme de mieux comprendre et intégrer cette contrainte (en particulier dans le contexte du changement climatique) sur la régénération des chênaies.

Concernant le second point, le sanglier est une espèce très prolifique dont la reproduction dépend principalement de la disponibilité des ressources alimentaires automnales qui influencent directement la maturité sexuelle des jeunes femelles, sur le cycle de reproduction (modification de la période d'anoestrus), sur le nombre de jeunes produit par laie, ainsi que leur qualité phénotypique avec potentiellement des effets sur la croissance et la survie des jeunes. Ainsi bien connaître et décrire le régime alimentaire du sanglier en fonction des disponibilités en fruits forestiers est primordial afin de pouvoir anticiper sa gestion et proposer des mesures adéquates, aussi bien pour la prévention des dégâts, que pour la maîtrise de son évolution démographique et plus généralement pour l'aménagement du territoire. Si la consommation de fruits forestiers n'est plus à démontrer, le lien entre disponibilités en fruits forestiers et leur consommation par le sanglier n'a pas été encore formellement établi sur la base d'une disponibilité de la ressource quantifiée précisément. Ainsi à travers le consortium et la collaboration établie dans le programme 'Potenchêne' la démarche engagée pour mettre au point une méthode légère de quantification des glandées s'est trouvée accélérée et permettra de développer des études quantitatives puissantes et faciles à mettre en œuvre. Cet outil sera utile pour la gestion même si le travail doit être poursuivi car le besoin pour les gestionnaires de la faune est d'obtenir une mesure de la fructification si possible avant le démarrage de la période de chasse pour pouvoir anticiper et adapter les prélèvements en fonction des conséquences connues d'une fructification plus ou moins abondante sur la démographie des espèces consommatrices. A la lumière des travaux menés dans 'Potenchêne' qui établissent un lien entre les dynamiques polliniques et les dynamiques des glandées ainsi que l'impact des conditions météorologiques printanières sur les glandées, il apparaît probable qu'une méthode d'anticipation des glandées puisse être développée à

relativement court terme par le même consortium de chercheurs et gestionnaires, en particulier en nous appuyant sur le réseau ‘graines et plants’ de l’ONF. L’objectif à moyen terme pourra aussi être celui d’obtenir un outil puissant, facilement utilisable par les gestionnaires et qui puisse le cas échéant être adapté à d’autre type d fructification forestières (faînes, châtaignes par exemple). C’est également pour atteindre cet objectif qu’un observatoire sur le lien entre la reproduction du sanglier et la fructification forestière est déployé par l’ONCFS. L’ensemble des résultats de ‘Potenchêne’ très prometteurs restent pour l’heure encore en amont dans le champ de la recherche d’outils de gestion des ongulés forestiers (TRL 1-2). Les conséquences des dynamiques des glandées pour l’ensemble de la cascade trophique, notamment pour les tiques et les maladies vectorielles associées, ouvre aussi des perspectives très intéressantes, avec des applications non seulement dans le domaine de la gestion des écosystèmes mais aussi des services écosystémiques et la santé humaine.

Nous envisageons de produire différentes notes de synthèse, courant 2019, à destination des gestionnaires et des politiques publiques. La première serait dédiée à la méthode légère de quantification des glandées et aux différents contextes dans lesquels elle pourrait être utilisée. La seconde viendrait faire écho à l’article publié dans les Rendez-Vous Techniques de l’ONF en 2016³, présentant les mécanismes-clés du masting identifiés dans ce programme.

VII) Prolongements au projet

Dans le prolongement du programme ‘Potenchêne’, nous avons développé un projet (soumis à l’ANR en automne 2017) qui vise (i) à établir le lien entre les causes proximales et évolutives du masting, (ii) à évaluer les conséquences écologiques du masting (effet en cascade sur la dynamique des communautés animales –rongeurs, oiseaux, ongulés, insectes-), ainsi que ses conséquences économiques et sociétales (*e.g.* maladie de Lyme) et (iii) à proposer des scénarios relatifs au devenir du masting et de ses conséquences dans le contexte du changement climatique. Ce projet s’organise autour des chênes de région tempérée (comme dans le programme ‘Potenchêne’) mais traite aussi du cas des chênes méditerranéens. Son développement a nécessité d’élargir le consortium de ‘Potenchêne’ avec notamment la participation complémentaire du Centre d’Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CEFE, Montpellier), du Centre d’Etudes Biologique de Chizé (CEBC), du laboratoire d’Ecologie, Systematique et Evolution (ESE, Paris) et du laboratoire d’Epidémiologie des maladies animales et zoonotiques (EPIA INRA/VetAgro, Lyon/Clermont). Le projet proposé n’a pas été retenu par l’ANR mais reste d’actualité et fera l’objet de nouvelles propositions en réponse à d’autres appels.

³ Schermer, E., Boulanger, V., Delzon, S., Said, S., Focardi, S., Guibert, B., Gaillard, J.-M., Venner, S., 2016. Fluctuations des glandées chez les chênes : mieux les comprendre pour mieux gérer la régénération des chênaies. Rendez-vous Techniques de l’ONF 21–29.