

Bilan technique de l'année 2019



Février 2020



Ce document est à citer sous la forme suivante :
NICOLAS M., CECCHINI S., CROISÉ L., LAVALLEY C., MACÉ S., 2020 :
RENECOFOR – Bilan technique de l'année 2019.
Éditeur : Office national des forêts, Direction forêts et risques naturels, 31 p.



RENECOFOR

(Réseau National de suivi à long terme des Écosystèmes Forestiers)

Bilan technique de l'année 2019

Auteurs : Manuel NICOLAS
Sébastien CECCHINI
Luc CROISÉ
Chantal LAVALLEY
Sébastien MACÉ

Programme soutenu financièrement par :
- le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation,
- le ministère de la Transition écologique et solidaire,
- l'Office national des forêts.

Février 2020

Office national des forêts - Département recherche, développement et innovation
Boulevard de Constance 77300 FONTAINEBLEAU
Tel : +33 (0) 1.60.74.92.28 / Mél : manuel.nicolas@onf.fr

Sommaire

1. Rappel des missions du réseau RENECOFOR	1
1.1. Historique et objectifs du réseau RENECOFOR.....	1
1.2. Organisation du réseau RENECOFOR	2
1.3. Financement et gouvernance	3
1.4. Évaluation scientifique	3
2. Activités de l'année 2019.....	4
2.1. Réalisation du programme de mesures.....	4
2.1.1. Campagne quinquennale d'inventaires dendrométriques.....	4
2.1.2. Campagne quinquennale d'inventaires floristiques.....	7
2.2. Support pour d'autres mesures sur le terrain : suivi du microclimat.....	7
2.3. Réunion d'information annuelle.....	8
2.4. Communication	9
3. Quelle poursuite à plus long terme du réseau RENECOFOR ?.....	10
3.1. Un intérêt à poursuivre, mais pas à l'identique	10
3.2. Une réflexion stratégique qui répond aux besoins des décideurs	11
3.3. Une proposition avec un éventail d'options	11
3.4. Une réflexion relayée à l'échelle internationale	17
4. Publications écrites et communications orales.....	19
4.1. Recensement des productions documentaires	19
4.2. Revue de quelques résultats marquants publiés en 2019.....	19
4.2.1. Le réchauffement du climat favorise-t-il la reproduction des arbres ?.....	19
4.2.2. Les sols forestiers accumuleront-ils encore du carbone à l'avenir ?	20
4.2.3. Le cycle de l'iode en forêt pour mieux évaluer les risques de pollutions radioactives .	21
4.3. Les 25 ans de RENECOFOR : en paroles et désormais en actes	21
4.4. Contribution de l'équipe de coordination aux valorisations externes	22
4.5. Travaux d'analyses de données à l'initiative du réseau RENECOFOR.....	22
5. Conclusions.....	23
6. Bibliographie.....	26
6.1. Publications émanant de RENECOFOR et/ou basées sur ses données	26
6.2. Communications orales émanant de RENECOFOR et/ou basées sur ses données	27
6.3. Actes du colloque des 25 ans du réseau	29
6.4. Autres références citées.....	31

Résumé

Pluies acides, changement climatique, érosion de la biodiversité : depuis plusieurs décennies, les évolutions de l'environnement suscitent de vives inquiétudes pour l'avenir des forêts. Leur gestion durable nécessite de détecter, comprendre et anticiper les effets de ces changements.

Depuis 1992, le réseau RENECOFOR observe l'évolution des écosystèmes forestiers sur une centaine de sites permanents répartis en France métropolitaine et faisant partie d'un réseau plus vaste à l'échelle européenne. La comparabilité des observations s'appuie sur des protocoles stables et adaptés à des contextes contrastés. Elle repose également sur une organisation fonctionnelle associant la contribution des agents de l'ONF présents localement à l'expertise de chercheurs et d'autres partenaires externes. Les données collectées :

- constituent une source d'information précieuse sur les variations de nombreux paramètres-clés, voire une source d'information unique à l'échelle nationale pour certains d'entre eux (ex : phénologie des arbres, nutrition foliaire),
- permettent de mettre en évidence des tendances, parfois inattendues,
- aident à comprendre le fonctionnement des écosystèmes forestiers et leur sensibilité aux changements environnementaux, par le recoupement des paramètres observés et l'amélioration de modèles de recherche.

Les sites et les échantillons archivés fournissent aussi un support à des recherches qui, pour beaucoup, ne seraient pas réalisables autrement.

RENECOFOR remplit pleinement ses missions, et s'avère utile même au-delà. Il constitue un patrimoine scientifique remarquable, dont la valeur croît avec l'âge. Au total, il a permis d'alimenter plus de 170 articles scientifiques et 20 thèses de doctorat. Les résultats publiés en 2019 illustrent encore une fois la diversité des enjeux auxquels il contribue à répondre. Ils permettent de mieux comprendre les différentes réponses des arbres au climat, et de mieux prédire notamment la dynamique de fructification des chênes. Ils permettent aussi de progresser dans la compréhension du fonctionnement des sols et du devenir de leur stock de carbone, même si beaucoup reste à faire pour aboutir à des outils de prédiction efficaces sur ce point. Ils illustrent aussi l'utilité de la collection d'échantillons du réseau pour explorer le comportement dans les écosystèmes d'un élément comme l'iode, qui peut devenir un vecteur de pollutions radioactives, afin d'améliorer l'évaluation des risques associés aux activités nucléaires.

RENECOFOR est en passe d'atteindre avec succès l'horizon de 30 ans initialement dessiné. Alors que les changements environnementaux se poursuivent, se surimposent les uns aux autres et font peser des incertitudes croissantes sur l'avenir des forêts, l'observation restera une approche indispensable pour évaluer, mieux comprendre et essayer d'anticiper des phénomènes inédits. Il y a donc tout intérêt à prolonger ce dispositif pour capitaliser sur les connaissances acquises, mais en l'adaptant aux défis d'un suivi à très long terme (50 ans, 100 ans ou plus) et à l'évolution des questionnements sur l'avenir des forêts. Fruits d'une réflexion collective associant experts scientifiques et représentants des ministères, des scénarios sont désormais entre les mains des décideurs pour définir le prochain horizon du réseau RENECOFOR.

1. Rappel des missions du réseau RENECOFOR

1.1. Historique et objectifs du réseau RENECOFOR

Le réseau RENECOFOR (réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers) a été créé en 1992 par l'Office national des forêts (ONF) afin de compléter le système de surveillance sanitaire des forêts françaises (Barthod, 1994). Il répond à l'engagement international de la France à la convention de Genève sur les pollutions transfrontières à longue distance, à la suite de l'épisode des « pluies acides » et des questionnements apparus en Europe sur leurs conséquences pour les forêts. Il constitue la partie française d'un ensemble européen d'environ 800 placettes permanentes installées dans une quarantaine de pays – niveau II du Programme international concerté sur l'évaluation et la surveillance des effets de la pollution atmosphérique sur les forêts (ICP Forests ou PIC Forêt). Il répond aux exigences de la résolution S1 de la Conférence ministérielle sur la protection des forêts en Europe, qui s'est tenue en 1990 à Strasbourg et aux règlements communautaires publiés depuis (le dernier ayant été « Forest Focus »). Des 3 réseaux français de surveillance, qui ont été établis de manière cohérente, RENECOFOR est celui qui collecte le plus grand nombre de mesures et d'observations. Sa conception a bénéficié des acquis du programme de recherche DEFORPA (déperissement des forêts attribué à la pollution atmosphérique) mené de 1984 à 1991 (Landmann et Bonneau, 1995). Son programme a été prévu initialement dans une perspective minimale de 30 années de suivi.

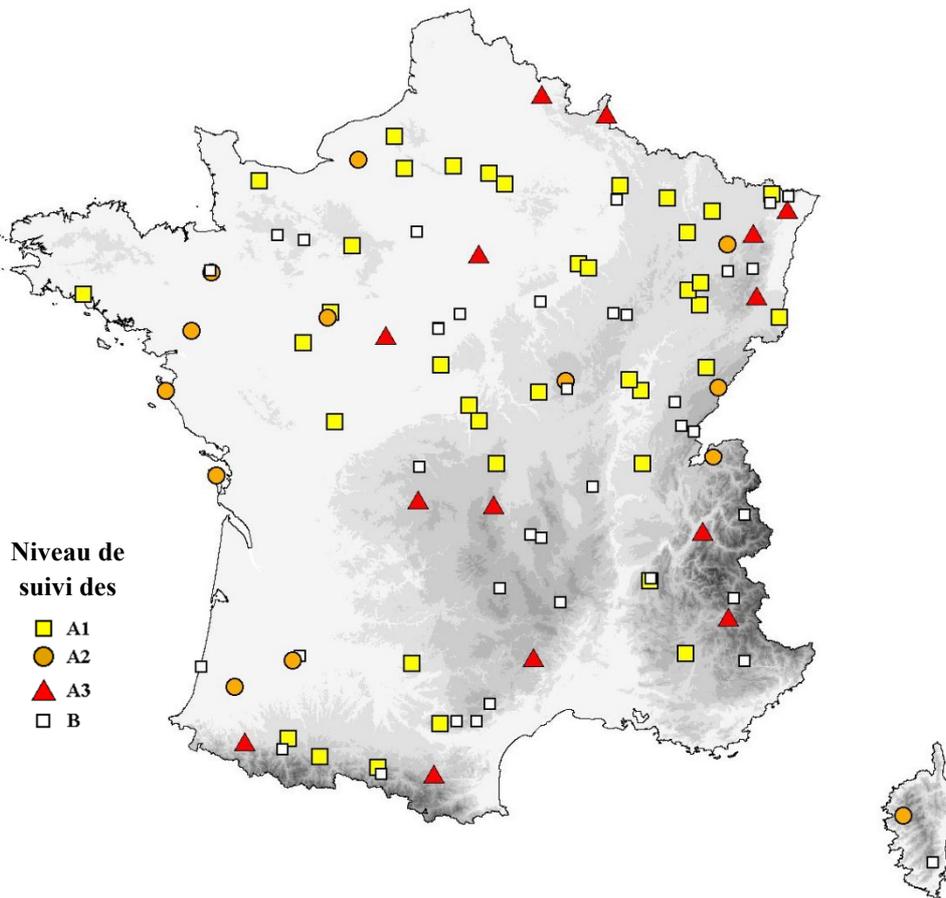
Le but principal du réseau RENECOFOR est de détecter d'éventuels changements à long terme dans le fonctionnement d'une grande variété d'écosystèmes forestiers et de caractériser les raisons de ces changements. Ses objectifs (Biro et Landmann, 2008) sont les suivants :

- Suivre avec rigueur, de façon continue et à long terme, l'évolution d'écosystèmes forestiers, principalement à vocation de production, sous l'effet de facteurs externes, en particulier le changement climatique (fonction d'observatoire) ;
- Contribuer à la détermination et à la compréhension des relations de causes à effets entre les facteurs externes et les évolutions constatées, et utiliser cette connaissance pour la prévision et l'établissement de scénarios prédictifs grâce à la modélisation ;
- S'inscrire dans le continuum des dispositifs de mesure et d'observation des écosystèmes forestiers permettant les extrapolations et généralisations nécessaires, en lien avec d'autres dispositifs ou expérimentations pertinents et en développant le partenariat ;
- Éclairer le gestionnaire sur ses choix de gestion durable dans un contexte changeant et incertain.

Les phénomènes à mesurer et à observer sont :

- i. La réaction des écosystèmes forestiers aux évolutions du climat,
- ii. Le cycle des éléments nutritifs en forêt, notamment en relation avec les dépôts atmosphériques,
- iii. L'évolution de la biodiversité.

Figure 1 : Emplacement des 102 sites du réseau RENECOFOR. *Le niveau des sites (4 modalités) correspond à l'intensité de leur suivi définie depuis la métamorphose du réseau en 2008. Le sous-réseau CATAENAT correspond aux sites suivis le plus intensivement, c'est-à-dire à l'ensemble des 13 sites de niveau A2 et des 14 sites de niveau A3.*



1.2. Organisation du réseau RENECOFOR

Le réseau est constitué de 102 sites permanents (Figure 1), localisés à une altitude variant de 5 à 1850 mètres et répartis de manière à représenter les principaux types de forêt de production par essence dominante (Chênes, Douglas, Epicéa, Hêtre, Mélèze, Pins et Sapin). Chaque site a une surface de 2 hectares avec une partie centrale clôturée d'un demi-hectare. Le sous-réseau CATAENAT (charge acide totale d'origine atmosphérique dans les écosystèmes naturels terrestres) désigne un ensemble de 27 sites parmi les 102 sites du réseau RENECOFOR (Figure 1), pour lesquelles des activités intensives de suivi de la pollution atmosphérique sont effectuées depuis 1992 :

- sur 13 sites (niveau A2) le suivi des dépôts atmosphériques hors couvert (jusqu'à fin 2007, on y suivait également la météorologie et les dépôts sous couvert).
- sur 14 sites (niveau A3) le suivi de la météorologie, des dépôts atmosphériques hors et sous couvert, des solutions du sol, de la concentration en ozone dans l'air et des symptômes d'ozone sur la végétation.

Le réseau est géré depuis sa création par l'ONF. Il s'inscrit dans les objectifs de recherche et développement de son contrat d'objectifs et de performance. Il est coordonné au sein de son Département recherche, développement et innovation (RDI) et met à contribution environ 250 personnels techniques pour le suivi et la maintenance locale des sites. Il s'appuie également sur des partenaires extérieurs (laboratoires d'analyse, universités, INRAE...) pour une partie des mesures réalisées (météorologie, analyse des dépôts atmosphériques et de la qualité de l'air, analyse des sols, analyses végétales, inventaires floristiques et autres suivis de biodiversité).

1.3. Financement et gouvernance

Le réseau RENECOFOR a été cofinancé à hauteur de 45 % par l'Union Européenne jusqu'en 2006, qui est la dernière année du règlement Forest Focus. Depuis 2007, le financement du réseau a été entièrement assuré par des bailleurs de fonds nationaux, qui sont aujourd'hui :

- l'Office national des forêts (ONF),
- le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (MAA),
- le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES), à la fois par sa Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (MTES-DGALN) et par sa Direction générale de l'énergie et du climat (MTES-DGEC).

En 2019, il est à noter que cette dernière a pris le relais de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), contributrice historique au financement des activités du réseau en matière de suivi impacts des pollutions atmosphériques.

Depuis 2015, le réseau est accompagné dans ses orientations et dans sa valorisation par un Comité de pilotage scientifique. Ce comité comprend des représentants des bailleurs de fonds et un panel d'experts couvrant les différents domaines de compétence du réseau et représentant la diversité institutionnelle de ses partenaires scientifiques.

1.4. Évaluation scientifique

Le réseau RENECOFOR a fait l'objet de deux évaluations scientifiques :

- La première évaluation a été organisée en 2006-2007 à son initiative et a permis de dresser le bilan de ses 15 premières années d'activité. Elle a servi de support à la redéfinition de ses moyens et de ses missions à compter de 2008 (métamorphose), à la suite de l'arrêt du co-financement du monitoring forestier par l'Union Européenne.
- La deuxième évaluation s'est tenue en 2013, suivant une lettre de mission émanant des bailleurs de fonds nationaux du réseau et en s'appuyant sur un comité composé d'experts externes et indépendants.

Le point de vue extérieur et détaillé des experts sollicités a permis, lors de ces deux évaluations, de reconnaître l'originalité et l'intérêt persistant des activités du réseau, et d'apporter des idées neuves pour son orientation. Pour plus de détails, leurs rapports sont téléchargeables sur le site Internet du réseau www.onf.fr/renecofor, à la rubrique « Qu'est-ce que RENECOFOR ? ».

2. Activités de l'année 2019

2.1. Réalisation du programme de mesures

Dans l'attente d'une nouvelle négociation entre les bailleurs de fonds du réseau RENECOFOR afin de redéfinir ses missions et moyens pour les années à venir, le programme des activités suit le calendrier défini lors de la métamorphose de 2008 (Tableau 1). L'ensemble des activités périodiques prévues en 2019 a été réalisé. La période 2019-2020 est marquée en particulier par l'organisation des campagnes quinquennales d'inventaires dendrométriques et d'inventaires floristiques sur l'ensemble des 102 sites du réseau.

Sujet/année	2016	2017	2018	2019	2020	Observations
Actions de fond						
Evaluation des données du réseau et publications						Action en continu
Développement du site Web du réseau						Action en continu
Réunions d'information plénières						
Réunions d'information CATAENAT						
Colloque						
Comité de pilotage scientifique						
Collectes de données sur tous les sites (ensemble des niveaux A1+A2+A3+B)						
Echantillonnage des sols						
Observations sanitaires						
Inventaire des placettes passant en éclaircie						Action en continu
Observations phénologiques						
Maintenance des placettes						Action en continu
Echantillonnage foliaire	14 sites A3					
Suivi de croissance annuel des arbres observation	55 sites					
Inventaire dendrométrique quinquennal						
Inventaire floristique quinquennal				intercalib.		
Collecte de données sur les 27 sites de niveau A2+A3						
Mesures des dépôts atmosphériques HORS couvert uniquement						
Collecte de données sur les 14 sites de niveau A3						
Mesures des dépôts atmosphériques HORS et SOUS couvert forestier						
Echantillonnage des solutions de sol						
Collectes des chutes de litières						
Mesures météorologiques (sauf CPS 77)						
Mesures des concentrations et symptômes d'ozone						

Tableau 1 : Programmation des activités périodiques du réseau RENECOFOR suivant le calendrier défini lors de sa métamorphose en 2008. *Les cellules en gris clair indiquent les campagnes annuelles prévues sur un nombre restreint de sites.*

2.1.1. Campagne quinquennale d'inventaires dendrométriques

Le suivi dendrométrique concerne le peuplement délimité par les quatre angles de la zone centrale de 0,5 ha de chaque site. Il a pour but d'évaluer l'accroissement à l'échelle du peuplement mais aussi à l'échelle de l'arbre, chaque arbre de la zone centrale supérieur à 15 cm de circonférence à 1,30 m étant numéroté par une plaquette métallique depuis 2000.

La campagne de l'hiver 2019-2020 concerne l'ensemble des 102 sites du réseau, mais sans les mesures de hauteurs (prévues seulement tous les 10 ans). Depuis 2014, le protocole a été révisé et complété pour pouvoir aussi inventorier les peuplements juvéniles et denses qui se sont développés après les dégâts de tempêtes (Cecchini *et al.*, 2014). Cependant, une nouvelle évolution a été apportée afin de résoudre un problème de définition de l'étage des arbres et de la rendre applicable aussi dans les peuplements mités (Cecchini *et al.*, 2019). En effet, le protocole visant à l'origine à suivre des peuplements adultes et homogènes, un arbre était noté dans l'étage principal s'il avait un accès direct à la lumière ou si une partie de son houppier dépassait la limite inférieure de la canopée environnante. Sinon il était considéré comme faisant partie du sous-étage. Cependant, comment qualifier l'étage ainsi défini dans des trouées où des arbres petits bénéficient malgré tout d'un accès direct à la lumière ? Pour y remédier, il a été décidé de distinguer désormais l'étage d'un arbre sur le seul critère de la hauteur (selon qu'elle dépasse ou non la base des houppiers des arbres dominants et codominants), et d'évaluer séparément s'il bénéficie ou non d'un accès à la lumière (selon que la ligne verticale entre le ciel et son apex est intercepté ou non par l'obstacle d'aucune branche vivante) (Figure 2).

Comme lors des éditions précédentes, cette campagne a été précédée par un exercice de formation des correspondants territoriaux qui dirigent les inventaires dendrométriques des sites RENECOFOR. Le protocole à jour y a présenté en détail, puis les participants ont été regroupés en 4 équipes pour inventorier indépendamment une même placette en Forêt de Haguenau (PS 67a), présentant un sous-étage de hêtres sous des pins sylvestres et où des trouées ont été créées justement par la tempête de 1999. Comme pour tous paramètres observés, les résultats montrent des écarts entre équipes dans l'appréciation de l'étage pour des hêtres avoisinant la base des houppiers des pins, et dans celle de l'accès à la lumière de tiges du sous-étage (dont l'identification de l'apex ne fait pas toujours consensus). Cependant le sens donné à ces paramètres ne suscite plus de cas de conscience, ce qui constitue déjà une nette amélioration.

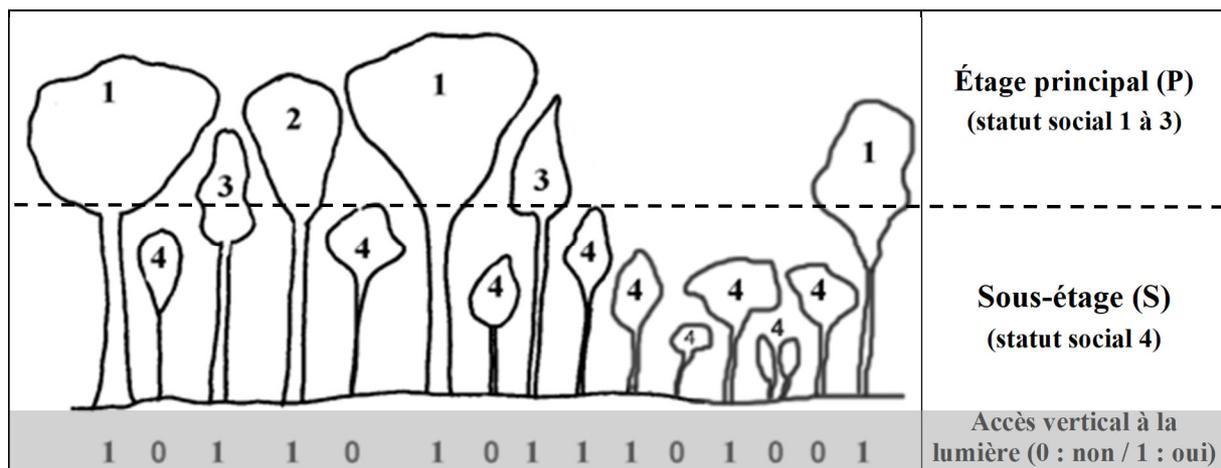


Figure 2 : Nouvelle définition de l'étage et de l'accès à la lumière des arbres. *L'étage principal* comprend les arbres de statut dominant (1), codominant (2) ou dominé (3), tandis que le sous-étage correspond à un seul statut social (4).

Illustrations d'activités de terrain particulières à l'année 2019.

En haut : relevé consensus d'une bande d'inventaire floristique lors de l'intercalibration RENECOFOR du 2 au 4 juillet à Fontainebleau (photographie par Patrick Behr)

En bas : Inventaire dendrométrique de la placette PS 04 (photographie par Luc Croisé).



2.1.2. Campagne quinquennale d'inventaires floristiques

La composition floristique est suivie sur les 102 sites du réseau RENECOFOR depuis 1995 suivant une périodicité quinquennale, avec l'appui d'experts botanistes majoritairement externes à l'ONF (universités, INRAE, conservatoires botaniques, bureaux d'études). Pour préparer la campagne de 2020, un exercice d'intercalibration a été organisé du 2 au 4 juillet 2019 à Fontainebleau. Cela fait partie des mesures d'assurance qualité mises en œuvre à chaque campagne floristique pour assurer une application homogène du protocole et quantifier les incertitudes liées aux observateurs. Toutes les équipes de botanistes ont été réunies pour réaliser les mêmes relevés de manière indépendante le premier jour, puis y revenir ensemble le deuxième jour pour établir un relevé-consensus de toutes les espèces qui y étaient effectivement présentes. Les causes des écarts entre les relevés de chaque équipe et le relevé consensus ont été déterminées autant que possible. Au final, il n'y a pas eu d'évolution notable de la qualité des observations, ni à la hausse ni à la baisse, par rapport aux éditions précédentes. Comme toujours, aucune équipe n'atteint l'exhaustivité dans ses relevés, et les espèces manquées sont essentiellement parmi celles représentées le moins abondamment sur la surface des relevés. Et la forme des relevés, comparée entre des bandes de 2 m x 50 m et des carrés de 10 m de côté, ne semble pas avoir d'influence une fois encore sur la part des erreurs.

Par ailleurs, dans le cadre de l'accord de partenariat entre l'ONF et l'IGN, le réseau RENECOFOR a été sollicité pour partager son expérience et épauler l'organisation d'un premier exercice d'intercalibration floristique des observateurs de l'inventaire forestier national. Après avoir défini ensemble un protocole adapté aux besoins de l'IFN, l'exercice a été organisé en Lorraine, avec l'appui essentiel de l'équipe de Jean-Luc Dupouey (INRA Nancy). Les résultats montrent en moyenne de bonnes performances des observateurs de l'IFN (Montpied *et al.*, 2019). Face aux enjeux de suivi de la biodiversité et à l'intérêt des données floristiques de l'IFN, cette première expérience encourageante mériterait d'être répétée pour systématiser peu à peu l'évaluation quantitative de la qualité des relevés. Des relevés de contrôle seraient aussi utiles en complément pour évaluer cette qualité dans les conditions réelles d'une campagne d'inventaire.

2.2. Support pour d'autres mesures sur le terrain : suivi du microclimat

En plus de ses activités planifiées, le réseau RENECOFOR prête ses sites aux chercheurs qui le souhaitent pour y faire d'autres mesures, à la condition que celles-ci ne perturbent ni ses propres dispositifs ni son organisation. Les chercheurs intéressés peuvent prendre contact par email pour soumettre un projet de collaboration (manuel.nicolas@onf.fr).

RENECOFOR sert notamment de support à l'Université de Picardie Jules Verne, depuis 2018, pour étudier la dynamique du microclimat en forêt et son impact sur la biodiversité. En effet, le réchauffement climatique mesuré par les stations météorologiques à découvert (c.-à-d. macroclimat) ne correspond pas nécessairement au réchauffement ressenti par les organismes vivant au sein de leur habitat naturel (c.-à-d. microclimat), car le microclimat y est bien souvent découplé des fluctuations du macroclimat extérieur, ce qui est particulièrement le cas des

écosystèmes forestiers tempérés (effet tampon du couvert). La question se pose donc de savoir si la tendance au réchauffement observée pour le macroclimat est également perceptible sous couvert forestier ? Si oui, cette tendance s'opère-t-elle à la même vitesse et suivant la même amplitude ? Quel impact ce pouvoir tampon du couvert forestier peut-il avoir sur l'évolution de la biodiversité ?

Pour y répondre, le projet MORFO (MOdélisation du Réchauffement microclimatique sous couvert FOrestier) a permis d'installer des sondes de température sous le couvert des arbres dans 13 sites de niveau A3, pour en comparer les mesures avec celles des stations météorologiques mises en place depuis 1995 dans une clairière proche de chacun de ces sites. Le déploiement du dispositif a été assuré de manière synchrone sur les 13 sites, en avril 2018, grâce à la contribution efficace des agents responsables à qui ont été envoyés les sondes et un protocole d'installation précis. Six sondes ont été positionnées sur chaque site, cinq fixées sur des arbres répartis de manière sur les côtés et au centre de la placette en forêt, et une autre à proximité de la station météorologique hors couvert pour contrôler la cohérence des températures indiquées par les deux types d'instrument. Ces sondes collectent automatiquement la température toutes les heures. Leur maintenance est assurée par les agents : elle nécessite simplement le changement de leur pile une fois par an et le déchargement tous les six mois des données vers une navette à renvoyer par colis à l'Université de Picardie. Les premiers résultats ont montré des différences notables du pouvoir tampon du couvert forestier sur les extrêmes de température en fonction des contextes très contrastés des 13 sites d'étude.

En 2019, l'équipe de l'Université de Picardie a obtenu le financement par l'ANR pour un nouveau projet intitulé IMPRINT (Impacts du microclimat sur la redistribution de la biodiversité forestière en contexte de réchauffement du macroclimat), prenant également support sur RENECOFOR. Une doctorante a pu être embauchée fin 2019 pour étoffer l'équipe de recherche, et il est prévu d'étendre l'étude à presque la moitié du réseau, en mettant en œuvre de nouvelles sondes de température disposant d'une autonomie de 10 ans.

2.3. Réunion d'information annuelle

Chaque année, le réseau RENECOFOR organise une réunion d'information à destination des agents de l'ONF responsables locaux de sites et correspondants territoriaux. Cette réunion a pour but de restituer les résultats récents issus des prélèvements et observations réalisés par les agents et de discuter des aspects de fonctionnement. Elle est également l'occasion de distribuer les matériels spécifiques acquis au plan national suivant les besoins de maintenance des sites.

En 2019, la réunion d'information a été organisée à Millau (Aveyron). Outre les sujets préparés par l'équipe de coordination, des intervenants ont été invités :

- Jonathan Lenoir et Fabien Spicher (Université de Picardie Jules Verne) au sujet du projet MORFO de suivi de la dynamique du microclimat forestier en comparaison du macroclimat mesuré dans les stations météorologiques hors couvert (cf. chapitre 2.2) ;
- Benoît Richard (Université de Picardie Jules Verne) pour restituer les résultats d'observation de la réponse de la flore au réchauffement entre 1995 et 2015 ;

- Maude Toïgo (CNRS, Montpellier) à propos des effets combinés des stress biotiques et abiotiques sur l'évolution de l'état de santé des arbres ;
- Xavier Morin (CNRS, Montpellier) quant à l'utilisation des mesures de croissance des peuplements du réseau RENECOFOR pour tester et améliorer un modèle (FORCEEPS) utile à la simulation des impacts du changement climatique sur la productivité forestière.

2.4. Communication

L'équipe de coordination RENECOFOR et les agents impliqués dans le suivi du réseau apportent régulièrement leur soutien à des actions de communication de l'ONF.

Depuis la parution en 2017 de l'ouvrage « Les plantes au rythme des saisons », et la création d'une exposition associée, la phénologie des arbres a été le thème de plusieurs manifestations auprès du grand public, encore en 2019 :

- Exposition avec visite commentée par Isabelle Chuine (CNRS) au Jardin des plantes de Montpellier, le 13 avril 2019 ;
- Conférence de Sébastien Cecchini et animation pratique sur le protocole de science participative de l'Observatoire des saisons, au Parc Floral de Paris le 15 mai 2019.

Un appui a également été fourni aux agents en charge des placettes EPC 74 et HET 29, en réponse à leur demande pour organiser des visites destinées au grand public, en septembre 2019.

Enfin, Manuel Nicolas a participé à « La Terre au Carré », une émission radiophonique de grande écoute sur France Inter, le 21 novembre 2019, pour une interview consacrée aux menaces qui pèsent sur les forêts.



Illustration : participants de la réunion d'information annuelle, à Millau (photo : Luc Croisé).

3. Quelle poursuite à plus long terme du réseau RENECOFOR ?

RENECOFOR a été créé en 1992 pour une durée d'activité minimale de 30 ans. À l'approche de cet horizon, en 2022, se pose la question de sa poursuite à plus long terme. Pour éclairer l'ONF et ses tutelles dans leur décision, une proposition de scénarios leur a été soumise fin 2019, avec un éventail d'options chiffrées et répondant à des besoins établis.

3.1. Un intérêt à poursuivre, mais pas à l'identique

RENECOFOR répond à ses objectifs, et même au-delà. La durée et la cohérence de ses séries de mesures ont permis de mettre en évidence des résultats inédits et de plus en plus nombreux. De plus, son approche d'observation des écosystèmes est plus que jamais d'actualité face à la diversité des menaces environnementales qui se surimposent et font peser des incertitudes croissantes sur l'avenir des forêts. Il y a donc un intérêt manifeste à capitaliser sur les connaissances et le fonctionnement acquis depuis 28 ans pour suivre des dynamiques de très long terme (50 ans, 100 ans ou plus).

Pour autant RENECOFOR ne peut continuer à l'identique : des adaptations techniques sont nécessaires dans une perspective de suivi à plus long terme. En effet, le réseau a été initialement conçu sur la base de placettes permanentes choisies à des emplacements les plus homogènes possibles pour la représentativité des mesures, et dans des peuplements adultes en phase d'amélioration sylvicole pour au moins 30 ans. Or ces prérequis initiaux, qui ont déjà été remis en cause par les dégâts de tempêtes dans certaines placettes, le seront à plus ou moins long terme dans les autres. Selon les documents d'aménagement, près de la moitié d'entre elles pourrait être mise en régénération à l'issue des 30 prochaines années (Figure 3).

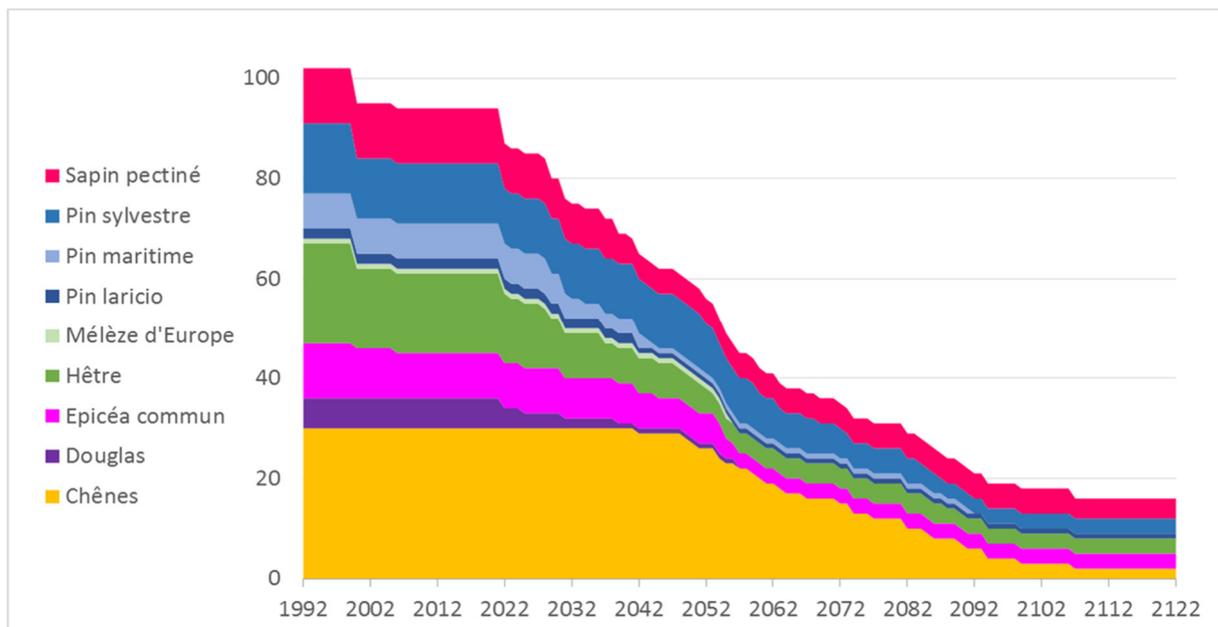


Figure 3 : Évolution du nombre de sites RENECOFOR avec maintien / continuité du couvert initial. Cette estimation fait l'hypothèse d'une continuité permanente du couvert dans les sites gérés en futaie irrégulière ou prévus pour passer en futaie irrégulière

De plus, la définition d'un nouvel horizon est l'occasion de faire évoluer le dispositif pour mieux répondre aux questionnements qui ont pris de l'importance depuis 28 ans : les impacts du réchauffement climatique, le suivi de la biodiversité, et l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre par la séquestration de carbone.

3.2. Une réflexion stratégique qui répond aux besoins des décideurs

La poursuite d'un tel observatoire à long terme dépend de l'engagement de ses bailleurs de fonds sur les moyens alloués et au regard des intérêts publics en jeu. Le but était donc d'élaborer des scénarios d'avenir à la fois pertinents (au regard des politiques publiques et de la science) et faisables (en termes d'orientations techniques et de moyens financiers et humains). Cette réflexion stratégique a été lancée à la suite du colloque tenu pour les 25 ans du réseau en octobre 2017. Elle a été menée par son Comité de pilotage scientifique, qui a pour avantage d'associer à la fois des experts scientifiques et des représentants des bailleurs de fonds. Partant des besoins des politiques publiques, elle a suivi la démarche suivante :

1. identification des enjeux et questionnements auxquels le réseau doit et/ou pourrait contribuer à répondre, de manière complémentaire aux autres dispositifs existants,
2. détermination des forces du réseau à conserver, et des faiblesses à corriger (ex : manque de sites en climat méditerranéen),
3. identification et prise en compte des défis techniques à relever pour adapter le réseau à un suivi à plus long terme (ex : comment gérer les sites lors du renouvellement de leur peuplement),
4. examen de scénarios sur la base de critères de pertinence et de faisabilité, étape à partir de laquelle ont réellement émergé des choix d'orientations.

La proposition finale a été rendue le 4 novembre 2019, donc à temps pour servir de support à la négociation du contrat d'objectifs de l'ONF pour la période 2021-2025, période qui dépassera l'horizon de 2022 initialement donné au réseau.

3.3. Une proposition avec un éventail d'options

En l'absence d'une enveloppe de moyens prédéfinie, il s'agissait de proposer et de chiffrer un scénario de base, visant à apporter les adaptations techniques minimales pour permettre la poursuite à plus long terme des mêmes objectifs d'observation, assorti d'une gamme d'options complémentaires pouvant améliorer la réponse apportée par le réseau à un ou plusieurs des enjeux de politiques publiques (Tableau 2).

Tableau 2 : Scénario et options proposés pour la poursuite à plus long terme du réseau RENECOFOR

	Description	Apports
Scénario Base	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de changement dans le dimensionnement du réseau : 102 sites avec même effort de suivi. • Remplacement des sites devenus très hétérogènes après tempête ou arrivant à la récolte par de nouveaux sites, avec fermeture propre des sites remplacés (cartographie des dispositifs, finalisation des séries de mesure). • Renfort de l'équipe de coordination avec un poste permanent pour faire face aux besoins d'évolution du réseau : installations/désinstallations de sites, amélioration des outils de gestion et de mise à disposition des données. 	<ul style="list-style-type: none"> • Effort minimum pour continuer de répondre aux objectifs du réseau en faisant face au renouvellement nécessaire des peuplements. • Mémoire des sites fermés pour pouvoir y revenir plus tard ou les utiliser comme supports d'autres recherches. • Enrichissement des compétences de l'équipe de coordination pour nouveaux développements
Option Méditerranée	<p>Extension aux avant-postes du changement climatique : + 12 sites pour représenter une essence méditerranéenne (ex : chêne pubescent ou chêne vert) dans toute sa répartition actuelle (y compris hors Méditerranée), + 3 sites aux marges sèches d'essences déjà représentées (ex : chênes sessile et pédonculé, hêtre). Ces 15 sites seraient de niveau A1 (suivi limité au sol, aux arbres et à la flore) et 6 viendraient en remplacement de sites existants.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Élargissement de la couverture écologique du réseau (comblement du principal manque de représentativité par rapport à la forêt métropolitaine) • Positionnement dans des contextes où sont attendus les effets négatifs les plus précoces du réchauffement climatique
Option NEC	<p>Compléments pour mieux répondre à la Directive NEC :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Passage à une périodicité annuelle du suivi de l'ozone troposphérique et des symptômes associés sur les 14 sites de niveau A3, • Création d'un 15^e site de niveau A3 en contexte méditerranéen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Élargissement des contextes écologiques de suivi des impacts des pollutions atmosphériques (acidification, eutrophisation, ozone) • Garantie de pérennité de la compétence rare du suivi des symptômes d'ozone sur les végétaux (association GIEFS)

Option Régénération	<p>Évaluation de l'effet de la régénération sur le fonctionnement des écosystèmes : maintien du suivi des sites en régénération après tempête ou arrivés à la récolte (sauf cas de régénération déjà échouée ou biaisée par la présence d'une clôture), en doublon de nouveaux sites créés en peuplement adulte et homogène à proximité. Le panel des paramètres mesurables redevient complet après régénération effective du peuplement.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Intégration des facteurs de récolte et de stade de développement dans le suivi des écosystèmes forestiers • Suivi continu de l'historique de gestion d'une génération à l'autre
Option Eau du sol	<p>Ajout du suivi de l'humidité du sol dans les 14 sites de niveau A3 : acquisition, maintenance et fonctionnement de sondes pour le suivi continu de l'humidité du sol à 3 profondeurs</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration pour l'utilisation de modèles de bilan hydrique (possibilité de calibration des modèles sur des données mesurées) • Évaluation des sécheresses subies par les écosystèmes, • Calcul de flux de drainage (eau, nitrates et nutriments, carbone) et de bilans entrées-sorties
Option Carbone	<p>Ré-extension du suivi des chutes de litière (initialement réalisé sur tous les 102 sites et maintenu depuis 2008 uniquement sur les 14 sites de niveau A3) à 50 sites : réinstallation de collecteurs, et reprise du suivi mensuel (collecte, séchage, tri, pesée) sur 36 sites supplémentaires</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Suivi des apports de matière organique pour mieux comprendre et modéliser la dynamique du carbone des sols • Suivi quantitatif des fructifications des arbres en réponse au climat • Conservation d'échantillons pouvant être analysés pour suivre la capacité de recyclage des nutriments (translocation interne aux arbres et flux de retour au sol)
Option Biodiversité	<p>Ajout de nouvelles mesures de la diversité des espèces : caractérisation des cortèges de champignons et de faune du sol par analyse métagénomique sur tous les sites à l'occasion de chaque campagne de prélèvement de sol</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Élargissement des groupes taxonomiques considérés dans le suivi de la biodiversité • Mise en relation avec les conditions et les fonctions écologiques mesurées dans les écosystèmes

	Description	Apports
Scénario Base	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de changement dans le dimensionnement du réseau : 102 sites avec même effort de suivi. • Remplacement des sites devenus très hétérogènes après tempête ou arrivant à la récolte par de nouveaux sites, avec fermeture propre des sites remplacés (cartographie des dispositifs, finalisation des séries de mesure). • Renfort de l'équipe de coordination avec un poste permanent pour faire face aux besoins d'évolution du réseau : installations/désinstallations de sites, amélioration des outils de gestion et de mise à disposition des données. 	<ul style="list-style-type: none"> • Effort minimum pour continuer de répondre aux objectifs du réseau en face au renouvellement nécessaire des peuplements. • Mémoire des sites fermés pour pouvoir y revenir plus tard ou les utiliser en supports d'autres recherches. • Enrichissement des compétences de l'équipe de coordination pour nouveaux développements
Option Méditerranée	<p>Extension aux avant-postes du changement climatique :</p> <p>+ 12 sites pour représenter une essence méditerranéenne (ex : chêne pubescent ou chêne vert) dans toute sa répartition actuelle (y compris hors Méditerranée),</p> <p>+ 3 sites aux marges sèches d'essences déjà représentées (ex : chênes sessile et pédonculé, hêtre).</p> <p>Ces 15 sites seraient de niveau A1 (suivi limité au sol, aux arbres et à la flore) et 6 viendraient en remplacement de sites existants.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Élargissement de la couverture écologique du réseau (comblement du manque de représentativité par rapport à la forêt métropolitaine) • Positionnement dans des contextes où sont attendus les effets négatifs précoces du réchauffement climatique
Option NEC	<p>Compléments pour mieux répondre à la Directive NEC :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Passage à une périodicité annuelle du suivi de l'ozone troposphérique et des symptômes associés sur les 14 sites de niveau A3, • Création d'un 15e site de niveau A3 en contexte méditerranéen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Élargissement des contextes écologiques de suivi des impacts des polluants atmosphériques (acidification, eutrophisation, ozone) • Garantie de pérennité de la compétence rare du suivi des symptômes de stress des végétaux (association GIEFS)
Option Régénération	<p>Évaluation de l'effet de la régénération sur le fonctionnement des écosystèmes : maintien du suivi des sites en régénération après tempête ou arrivés à la récolte (sauf cas de régénération déjà échouée ou biaisée par la présence d'une clôture), en doublon de nouveaux sites créés en peuplement adulte et homogène à proximité. Le panel des paramètres mesurables redevient complet après régénération effective du peuplement.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Intégration des facteurs de récolte et de stade de développement dans le suivi des écosystèmes forestiers • Suivi continu de l'historique de gestion d'une génération à l'autre
Option Eau du sol	<p>Ajout du suivi de l'humidité du sol dans les 14 sites de niveau A3 : acquisition, maintenance et fonctionnement de sondes pour le suivi continu de l'humidité du sol à 3 profondeurs</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration pour l'utilisation de modèles de bilan hydrique (possibilité de calibration des modèles sur des données mesurées) • Évaluation des sécheresses subies par les écosystèmes, • Calcul de flux de drainage (eau, nitrates et nutriments, carbone) et de bilans entrées-sorties

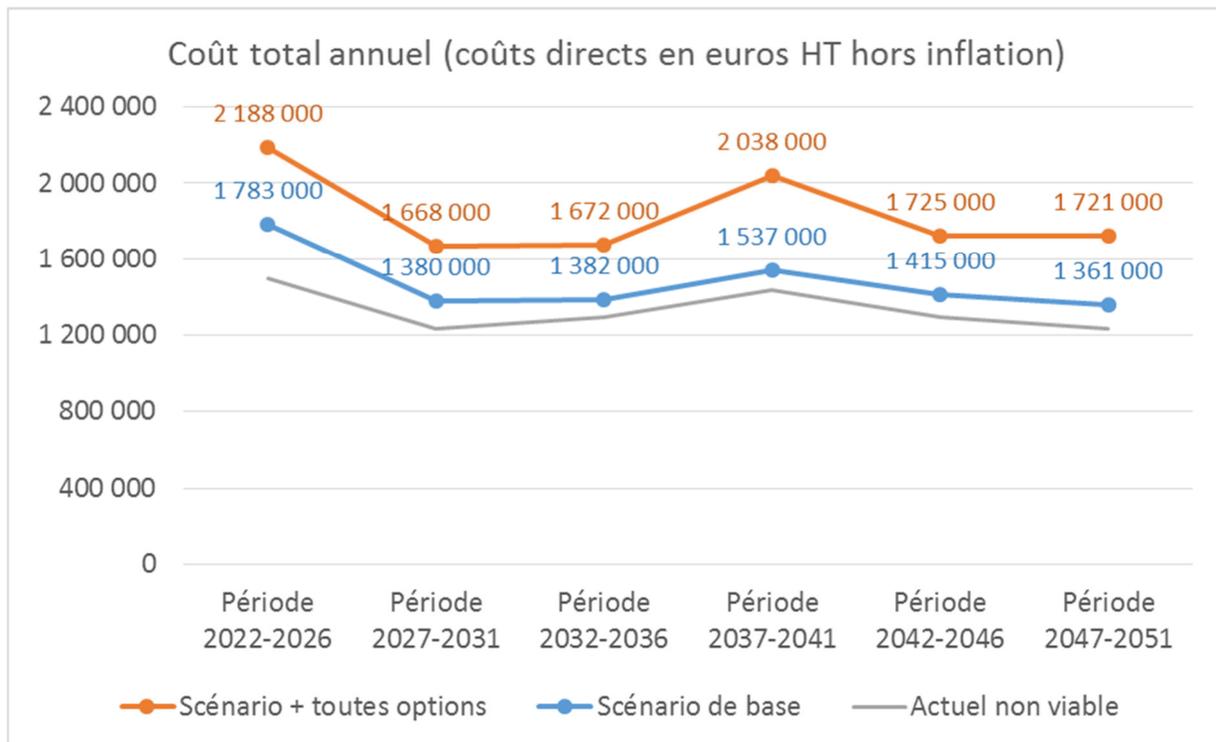
Option Carbone	<p>Ré-extension du suivi des chutes de litière (initialement réalisé sur tous les 102 sites et maintenu depuis 2008 uniquement sur les 14 sites de niveau A3) à 50 sites : réinstallation de collecteurs, et reprise du suivi mensuel (collecte, séchage, tri, pesée) sur 36 sites supplémentaires</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Suivi des apports de matière organique pour mieux comprendre et modéliser la dynamique du carbone des sols • Suivi quantitatif des fructifications des arbres en réponse au climat • Conservation d'échantillons pouvant être analysés pour suivre la capacité de recyclage des nutriments (translocation interne aux arbres et flux de retour)
Option Biodiversité	<p>Ajout de nouvelles mesures de la diversité des espèces : caractérisation des cortèges de champignons et de faune du sol par analyse métagénomique sur tous les sites à l'occasion de chaque campagne de prélèvement de sol</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Élargissement des groupes taxonomiques considérés dans le suivi de la biodiversité • Mise en relation avec les conditions et les fonctions écologiques mesurées sur les écosystèmes

Dans la perspective prochaine du renouvellement des peuplements, poursuivre l'observation des sites concernés au même endroit ferait courir le risque de suivre éventuellement des situations peu intéressantes (en cas de régénération en échec ou dont la composition aurait été biaisée par la présence d'une clôture), et dans tous les cas marquées par l'effet de la récolte, qui masquerait ceux des changements environnementaux. Pour maintenir l'objectif premier d'observer les effets de ces derniers, le scénario de base fait le choix inverse de changer l'emplacement des sites arrivés en régénération, ou rendus fortement hétérogènes par des aléas, par de nouveaux sites soit à proximité immédiate soit dans un contexte différent (selon l'évolution des enjeux prioritaires). Cela doit permettre de rester dans des conditions favorables à des mesures les plus complètes et les plus représentatives des deux hectares de chaque site, de garder la maîtrise de l'échantillon de forêts inclus dans le réseau (notamment en termes d'essences principales), et de remettre à zéro les biais potentiellement induits par le dispositif sur les écosystèmes observés. L'échelonnement du renouvellement des peuplements au sein du réseau (Figure 3) devrait permettre de pouvoir compter toujours sur le recul acquis sur au moins une partie des sites pour mettre en évidence des tendances à long terme.

En revanche, il est proposé entre autres options un effort supplémentaire pour continuer à suivre en parallèle la dynamique des sites ainsi remplacés, afin d'évaluer l'effet de la régénération sur le fonctionnement de l'écosystème, comme un objectif secondaire, là où cela peut avoir un sens (sites sans forte hétérogénéité créée par une tempête, et où la régénération n'est pas déjà en échec ou biaisée par la présence d'une clôture). De manière générale, les différentes options proposent des compléments utiles et à coût marginal par rapport au réseau actuel, en étoffant soit l'échantillon de forêts observées (ex : extension à une essence méditerranéenne), soit les paramètres mesurés (ex : humidité du sol, biodiversité du sol, chutes de litière, ozone...).

Dans tous les cas, les adaptations techniques nécessaires à la poursuite à plus long terme impliquent une certaine augmentation des coûts par rapport à la situation actuelle. Cela correspond à l'effort supplémentaire requis (i) pour mettre en sommeil « proprement » et garder trace des sites remplacés afin de pouvoir les réinvestir à l'avenir (finalisation des séries de mesures et derniers prélèvements, bornage et cartographie précise de l'emplacement des dispositifs), et (ii) pour prospecter et installer de nouveaux sites en remplacement. Cela étant, le budget requis resterait mesuré, même dans le cas où on additionnerait l'ensemble des options proposées (Figure 4). Par ailleurs, l'avenir du réseau dépendant non seulement des moyens financiers mais humains, ces derniers sont également chiffrés dans la proposition.

Figure 4 : Coût moyen annuel du scénario de base et du scénario de base avec toutes options, par rapport à la poursuite du réseau dans sa conception actuelle (non viable à plus long terme).



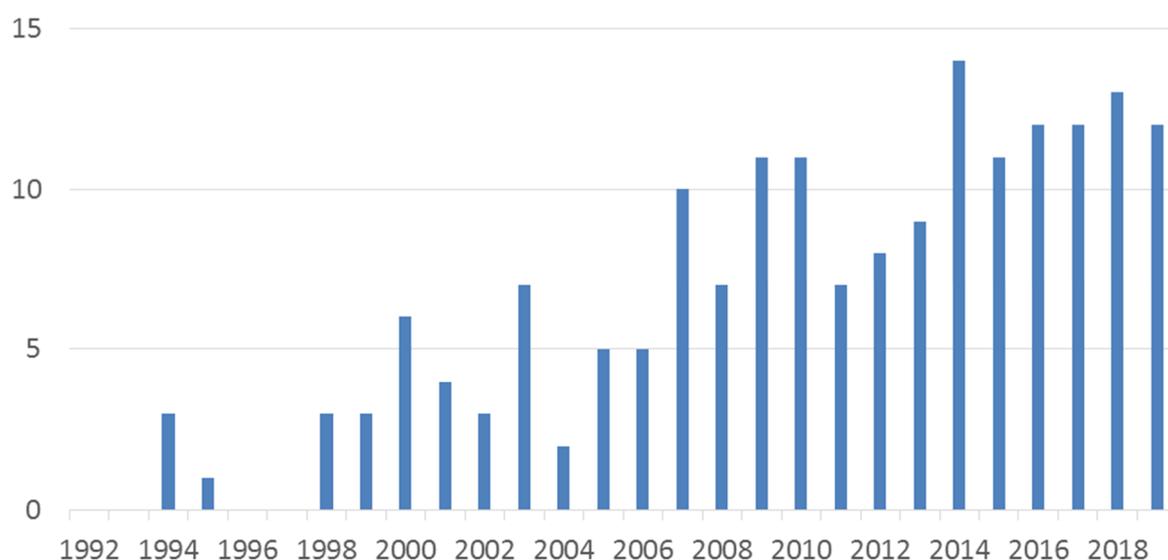
3.4. Une réflexion relayée à l'échelle internationale

Les besoins d'adaptation technique pour un suivi à plus long terme (50-100 ans) concernent plus largement le programme de monitoring paneuropéen ICP Forests. RENECOFOR se révèle précurseur dans cette réflexion, sans doute du fait de l'impact plus prégnant des tempêtes de 1999 en France et de l'expérience acquise depuis 20 ans sur les placettes qu'elles ont touchées (et qui ont toutes été maintenues jusqu'ici). Néanmoins, d'autres pays apparaissent devoir faire face aux mêmes questions, avec le renouvellement de peuplements déjà arrivés à l'âge de leur récolte finale. Les défis soulevés ont donc motivé la constitution d'un groupe de travail pour mutualiser la réflexion à l'échelle internationale. L'un des premiers besoins est de compléter la base de données internationale par de informations de base sur la conception des placettes et leur gestion pratique dans les différents pays. En mai 2019, un questionnaire a tout d'abord été élaboré pour recueillir des informations générales à l'échelle de chaque pays membre, concernant la gestion de ses placettes, mais aussi son avis sur l'importance des défis identifiés et sur les besoins pour y répondre (Nicolas & Michel, 2019). Puis une proposition a été préparée pour mettre à jour le Manuel ICP Forests, afin de compléter les données requises à l'échelle de chaque placette et de mutualiser les avantages et inconvénients à considérer entre le maintien au même endroit ou le remplacement des sites arrivant en régénération (Nicolas, 2019).

Tableau 3 : Nombre de publications et communications scientifiques nouvellement recensées en 2019 comme émanant du réseau RENECOFOR et/ou basées sur ses données. *Les articles scientifiques acceptés en 2019 mais publiés ultérieurement ne sont pas comptabilisés. Ceux dans des revues techniques correspondent essentiellement aux actes du colloque organisé pour les 25 ans du réseau (Rendez-vous techniques, numéro spécial daté de 2018 mais paru en 2019).*

	Documents portant sur des données de monitoring nationales uniquement	Documents portant sur des données de monitoring de plusieurs pays	Total
Présentations orales	14	2	16
Publications dans des revues à comité de lecture	10	2	12
Publications dans des revues techniques	32	5	37
Manuels de référence	1		1
Rapports scientifiques	1		1
Thèses de doctorat	1		1
Autres documents	1		1
Total	60	9	69

Figure 5 : Nombre d'articles publiés de 1992 à 2019 dans des revues scientifiques à comité de lecture, émanant du réseau RENECOFOR et/ou basés sur ses données.



4. Publications écrites et communications orales

4.1. Recensement des productions documentaires

Le Tableau 3 comptabilise par catégorie les publications et communications scientifiques nouvellement recensées en 2018 comme émanant du réseau RENECOFOR et/ou basées sur ses données. La valorisation du réseau repose en grande partie sur l'initiative d'utilisateurs externes, comme le montre la liste des références au chapitre 6. Certaines d'entre elles mettent en valeur des données des réseaux de différents pays, illustrant l'intérêt de l'intégration à l'échelle européenne du monitoring forestier dans le cadre du PIC Forêt (ICP Forests).

Le nombre d'articles publiés, d'année en année, dans des revues à comité de lecture est un indicateur de l'évolution de la valorisation scientifique du réseau (Figure 5). Il illustre les potentialités croissantes d'un tel dispositif avec le temps : tandis qu'aucun article scientifique n'a été publié les premières années, leur nombre a augmenté progressivement pendant une quinzaine d'années avant d'atteindre un rythme soutenu. Qui plus est, les articles publiés atteignent désormais les revues scientifiques les plus cotées.

4.2. Revue de quelques résultats marquants publiés en 2019

4.2.1. *Le réchauffement du climat favorise-t-il la reproduction des arbres ?*

La reproduction des arbres forestiers est un paramètre important à considérer pour comprendre et anticiper l'impact des changements environnementaux sur les peuplements et plus largement sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers. Les chutes de litière collectées de 1994 à 2007 sur l'ensemble des 102 sites du réseau RENECOFOR constituent une source de données rare et donc très sollicitée pour étudier la fructification des arbres de manière quantitative. Plusieurs équipes les ont mises à profit pour analyser les corrélations entre la production de fruits et le climat. Caignard et al. (2017) avaient déjà mis en évidence une tendance à la hausse de la production de glands, attribuée à l'augmentation des températures printanières sur la même période. Bogdziewicz et al. (2019) comparent la fructification du chêne et du hêtre : elle est influencée dans les deux cas par le climat, mais pas par les mêmes paramètres (température de printemps pour le chêne, température de l'été précédent pour le hêtre) et selon une relation assez uniforme entre les hêtraies mais bien plus variable d'une chênaie à l'autre. De fait, en comparaison de fainées très régulières tous les deux ans, la fréquence erratique des glandées et leur faible synchronisme entre sites suggèrent un déterminisme plus complexe chez le chêne. C'est à la compréhension de ce déterminisme que s'est attachée Eliane Schermer (2019) dans sa thèse de doctorat. Elle a d'abord constaté que les quantités de pollen de chêne mesurées par le Réseau national de surveillance aérobiologique (RNSA) suivent comme les glandées une dynamique très erratique au fil des ans, et une réponse également très similaire aux variations de température de printemps. Ce constat pouvant suggérer un effet limitant de la diffusion de pollen sur la fructification des chênes, elle a testé cette hypothèse en intégrant ce processus dans un modèle mécaniste (Venner et al., 2016) et en montrant la capacité de ce modèle ainsi amélioré à reproduire correctement les variations de quantités de fruits observées sur les sites

du réseau RENECOFOR (Schermer et al., 2019). Ainsi, pour que les chênes fructifient massivement, il faut non seulement qu'ils aient accumulé suffisamment de réserves pour fleurir au début du printemps, mais aussi que les conditions météorologiques soient assez chaudes et sèches à cette période pour permettre la diffusion du pollen dans l'air et la fécondation des fleurs femelles. Les conditions météorologiques du début du printemps pouvant beaucoup varier d'un site à l'autre, cela permet d'expliquer le faible synchronisme des glandées à l'échelle nationale. A l'avenir, le réchauffement du climat est susceptible de créer des conditions plus souvent favorables à la pollinisation et donc de rendre les glandées plus régulières et synchrones, ce qui pourrait cependant aussi bénéficier aux populations de consommateurs de glands et réduire finalement la capacité de régénération des chênes.

4.2.2. *Les sols forestiers accumuleront-ils encore du carbone à l'avenir ?*

Les sols jouent un rôle important dans la régulation du climat. Ils constituent une réserve considérable de carbone, sous forme de matières organiques, dont une augmentation minime (4/1000 par an) pourrait suffire à stopper l'augmentation de la teneur en CO₂ de l'atmosphère. Grâce aux prélèvements répétés de manière comparable sur tout le réseau RENECOFOR, on sait que les sols forestiers se sont comportés comme un puits de carbone significatif sur un intervalle de 15 ans (entre 1993-1995 et 2007-2012), avec un rythme d'accumulation mesuré en moyenne à 0,35 tonnes de carbone par hectare et par an, ce qui représente justement un accroissement annuel de l'ordre de 4/1000 (Jonard *et al.*, 2017 ; 2019). Mais cette dynamique positive perdurera-t-elle à l'avenir, ou bien risque-t-elle de s'atténuer, voire de s'inverser et de contribuer alors au contraire à accélérer le réchauffement du climat ?

Plusieurs études ont utilisé le support inédit offert par le réseau RENECOFOR pour faire progresser notre compréhension de la dynamique du carbone contenu dans les sols. Profitant des autres paramètres disponibles sur le réseau pour évaluer les flux d'apport et de perte de carbone, Mao *et al.* (2019) ont testé la capacité de prédiction du modèle Yasso, considéré dans plusieurs pays comme une référence pour justifier du rôle de puits de carbone des sols forestiers. Les simulations peinent cependant à reproduire les évolutions observées, notamment les variations du taux de séquestration mesuré d'un site à un autre. Ce modèle développé en Scandinavie ne semble pas calibré pour être utilisé dans les conditions écologiques françaises, mais une piste d'amélioration pourrait être de réaliser des analyses complémentaires de la qualité des matières organiques pour optimiser son paramétrage. De leur côté, Soucémariadin et al. (2019a, 2019b) ont utilisé les échantillons archivés par le réseau pour analyser plus en détail la composition chimique et la stabilité des matières organiques qu'ils contiennent. La couverture d'une vaste gamme de contextes écologiques permet d'observer des variations dépendant à la fois du type de sol, du type d'essence principale et de la profondeur considérée. La fraction des matières organiques particulières, généralement considérée comme labile, l'est en fait plus ou moins selon les conditions. Ces travaux illustrent la complexité de la composition des matières organiques des sols et l'étendue des besoins de recherche restants pour être en capacité de modéliser et de prédire leur dynamique sous l'effet du réchauffement climatique notamment.

4.2.3. *Le cycle de l'iode en forêt pour mieux évaluer les risques de pollutions radioactives*

Les activités nucléaires nécessitent une forte maîtrise des risques de pollutions radioactives. Les catastrophes de Tchernobyl (1986) et de Fukushima (2011) ont donné lieu à de très fortes contaminations de l'environnement par des formes radioactives de différents éléments chimiques (chlore, iode, césium, sélénium...) dont le comportement conditionne les impacts possibles, selon leur durée de demi-vie et selon leur dynamique de dispersion dans les écosystèmes. Pourtant bien peu de connaissances existent sur le cycle naturel de ces éléments, notamment dans les écosystèmes forestiers, très présents dans les environs de Fukushima. Les échantillons de sol, de végétaux, d'eaux (pluies, pluviollessivats, solutions du sol) collectés sur le réseau RENECOFOR constituent donc un support régulièrement sollicité depuis plusieurs années pour mesurer les stocks et les flux en forêt de ces différents éléments susceptibles de devenir des vecteurs pollutions radioactives en cas d'accident.

Marine Roulier a notamment mené une thèse de doctorat (Roulier, 2018) et publié un premier article scientifique (Roulier *et al.*, 2019) sur l'iode dans les écosystèmes forestiers, en s'appuyant sur les échantillons provenant de la moitié des sites du réseau RENECOFOR. Le sol ressort comme le principal réservoir de cet élément dans les forêts (~99,9 %), les arbres contenant moins de 0.03 % du stock total de l'écosystème. Le réservoir du sol est approvisionné très majoritairement par la pluie (83 %), par contraste avec le flux de chute de litière (17 %). Toutefois, la capacité de rétention de l'iode varie beaucoup selon les sols : elle croît avec la teneur en matière organique et en oxydes de fer et d'aluminium, qui constituent des surfaces d'échanges pour les anions. Au final, le temps de résidence calculé de l'iode varie entre 419 et 1756 ans selon les sites. Cela illustre le rôle de filtre que la forêt peut notamment jouer vis-à-vis de la qualité des eaux de surface. Une nouvelle thèse a débuté en 2019 à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), s'appuyant elle aussi sur les échantillons du réseau RENECOFOR pour étudier cette fois-ci l'impact des retombées atmosphériques de césium 137 (Tableau 4).

4.3. **Les 25 ans de RENECOFOR : en paroles et désormais en actes**

Les actes du colloque « RENECOFOR : 25 ans de suivi des écosystèmes forestiers, bilan et perspectives » ont été édités sous la forme d'un numéro spécial des Rendez-vous techniques de l'ONF (n°58-59-60), millésimé 2018 mais paru effectivement en 2019.

Pour rappel, ce colloque, tenu à Beaune du 11 au 13 octobre 2017, a été l'occasion d'affirmer tout l'apport de l'observation à long terme des écosystèmes forestiers et tout l'enjeu de poursuivre cet effort face aux incertitudes que continuent de faire peser les changements environnementaux. Il a permis :

- de montrer la richesse et l'intérêt des résultats obtenus par le suivi de RENECOFOR,
- de souligner la qualité du travail des personnels ONF et autres partenaires impliqués,
- de lancer, avec tous ces acteurs réunis, la réflexion sur les perspectives à donner au réseau au-delà de l'horizon initialement prévu de 30 ans (en 2022).

Cet événement a marqué une étape scientifique et stratégique, dont il importait de conserver rigoureusement et de diffuser plus largement les enseignements. C'est désormais chose faite avec la parution de ces actes qui retranscrivent tout le contenu des présentations orales et des discussions tenues avec les quelque 320 participants, en veillant particulièrement à le rendre accessible. Un grand merci à Christine Micheneau, la rédactrice en chef des Rendez-vous techniques, pour ce travail remarquable.

4.4. Contribution de l'équipe de coordination aux valorisations externes

L'équipe de coordination soutient les projets de valorisation émanant d'utilisateurs externes.

- Elle met ses données à disposition gratuitement sur demande et apporte son expertise pour leur utilisation. En 2019, elle a répondu à 20 demandes de données. Le programme ICP Forests a également relayé 21 demandes faites auprès de sa base de données centralisée et concernant des données émanant du réseau RENECOFOR.
- Elle met aussi gratuitement à disposition ses échantillons archivés (ex : thèse de Marine Roulier) et ses sites (ex : projet MORFO), à condition que les mesures envisagées ne portent pas atteinte aux missions de suivi du réseau RENECOFOR (cf. chapitre 2.2).

Le Tableau 4 liste les projets de recherche en cours en 2019 et auxquels l'équipe de coordination a apporté une contribution particulière, soit par la mise à disposition de sites ou d'échantillons archivés, soit par un apport d'expertise (ex : participation à un comité de suivi). Il illustre une nouvelle fois la diversité des thématiques auxquelles le réseau fournit un support intéressant, jusque bien au-delà des objectifs scientifiques pour lesquels il a été initialement conçu.

4.5. Travaux d'analyses de données à l'initiative du réseau RENECOFOR

Si la valorisation des données acquises repose essentiellement sur la contribution volontaire de chercheurs, le réseau RENECOFOR finance aussi parfois des travaux d'analyse pour répondre à des besoins non pourvus par les moyens de la recherche.

En 2018, une convention a été passée avec l'Université de Picardie Jules Verne pour conduire une étude sur l'évolution de la flore de 1995 à 2015 sur le réseau RENECOFOR. Le but est de stimuler la valorisation des données floristiques qui, malgré leur originalité et leur qualité, ont fait l'objet de peu d'articles scientifiques, du fait du manque de recul jusqu'ici dans les séries de données pour mettre en évidence des changements significatifs dans les communautés d'espèces mais aussi par manque de disponibilité des chercheurs pour traiter ces données. Un post-doctorat a donc été financé par l'ONF pour :

- mener une étude sur un aspect ciblé de l'évolution de la flore (en l'occurrence, les déterminants de la réponse des communautés d'espèces au réchauffement du climat) jusqu'à la soumission d'un article dans une revue scientifique internationale,
- fédérer les botanistes associés au réseau autour de l'enjeu de valorisation des données recueillies, en les associant au pilotage de l'étude et en mettant en commun les résultats

des travaux de consolidation du jeu de données 1995-2015 réalisés par le post-doctorat (scripts, tables de données secondaires) au profit d'autres projets d'étude potentiels. La première convention de 9 mois ayant abouti à des résultats positifs et valorisables scientifiquement, elle a été prolongée jusqu'à fin 2019, ce qui a permis d'aboutir à la finalisation d'un article pour soumission dans une revue internationale début 2020.

5. Conclusions

Le réseau RENECOFOR constitue un patrimoine d'information inédit et actif depuis 1992 pour observer les changements globaux, d'une part, et constater leurs effets sur les écosystèmes forestiers, d'autre part. Sa valeur s'accroît au fil du temps. La production d'articles scientifiques n'a cessé d'accélérer : on en recense plus de 170, ainsi que 20 thèses de doctorat, couvrant une large gamme de domaines d'étude jusqu'au-delà des missions du réseau.

RENECOFOR est en passe d'atteindre avec succès l'horizon de 30 ans initialement dessiné. Alors que les changements environnementaux se poursuivent, se surimposent les uns aux autres et font peser des incertitudes croissantes sur l'avenir des forêts, l'observation restera une approche indispensable pour évaluer, mieux comprendre et essayer d'anticiper des phénomènes inédits. Il y a donc tout intérêt à prolonger ce dispositif pour capitaliser sur les connaissances acquises, mais en l'adaptant aux défis d'un suivi à très long terme (50 ans, 100 ans ou plus) et à l'évolution des questionnements sur l'avenir des forêts. Fruits d'une réflexion collective associant experts scientifiques et représentants des ministères, des scénarios sont désormais entre les mains des décideurs pour définir le prochain horizon du réseau RENECOFOR.

Tableau 4 : Projets de recherche en cours en 2019 et auxquels l'équipe de coordination a apporté une contribution particulière

Intitulé	Financier(s)	Période	Contributions du réseau RENECOFOR
Projet PotenChêne : Potentiel de régénération des chênaies dans le contexte du changement climatique	Université Lyon 1, ONF	2013-2022	- Support d'étude : 12 placettes équipées pour la collecte de fleurs et de fruits sur des arbres individuels (10 chênes sessiles par placette) - Participation des agents locaux au fonctionnement du dispositif
Projet Sacroboque : SAisonnalité de la CROissance du BOis chez les Chênes (QUercus) décidus	SOERE F-ORE-T	2016-	- Support d'étude : 6 placettes équipées de microdendromètres automatiques pour étudier la phénologie de la croissance du bois des chênes sessiles (10 arbres par placette)
Étude du microbiome des sols des sites de monitoring ICP Forests	WSL	2019-	- Support d'étude : collecte ad hoc d'échantillons de sols
Projet Mottles : Détermination de nouveaux seuils d'impact de l'ozone sur la végétation forestière	Union européenne (LIFE Environment)	2016-2020	- Support d'étude : 4 placettes avec historique de suivi des concentrations en ozone dans l'air et de ses impacts sur la végétation - Fourniture de données pour l'estimation du flux d'ozone stomatal
Étude du cycle biogéochimique du ³⁶ Cl : variations dans les dépôts atmosphériques, stocks et spéciation dans les sols d'écosystèmes naturels terrestres	EDF, ANDRA, CNRS, Université Aix Marseille	2017-2021	- Fourniture de données et d'échantillons
Thèse : Comportement à long terme des retombées atmosphériques ¹³⁷ Cs dans les forêts françaises	IRSN	2019-2022	- Fourniture de données et d'échantillons

Tableau 4 (suite) : Projets de recherche en cours en 2019 et auxquels l'équipe de coordination a apporté une contribution particulière

Intitulé	Financier(s)	Période	Contributions du réseau RENECOFOR
Projet MORFO : MOdélisation du Réchauffement microclimatique sous couvert FOrestier	CNRS, Université de Picardie	2018-2019	- Support d'étude : 13 placettes de niveau A3 équipées pour suivre la température de l'air sous le couvert des arbres en comparaison du suivi de leur station météorologique hors couvert - Participation des agents locaux au fonctionnement du dispositif
Projet IMPRINT : Impacts du microclimat sur la redistribution de la biodiversité forestière en contexte de réchauffement du macroclimat	ANR, Université de Picardie	2019-2023	- Support d'étude : ~45 placettes feuillues équipées de sondes autonomes pour suivre le microclimat sous le couvert des arbres et le macroclimat hors couvert, données de suivi floristique - Participation des agents locaux au fonctionnement du dispositif
Thèse de Lena Wohlgemuth : Impact saisonnier de la végétation sur le dépôt atmosphérique de mercure	Université de Bâle	2018-2020	- Fourniture de données et d'échantillons
Étude de l'évolution de la flore de 1995 à 2015 sur le réseau RENECOFOR : quels sont les déterminants de la réponse des communautés au réchauffement du climat ?	ONF, Université de Picardie	2018-2019	- Fourniture de données - Participation au comité de pilotage - Financement
Accord de partenariat ONF-IGN	ONF, IGN	2018-2019	Expertise pour la mise en place d'un premier exercice d'intercalibration floristique des observateurs de l'Inventaire forestier national
Étude de la glomaline comme indicateur de la stabilité du carbone organique des sols	INRA	2018-2019	- Fourniture de données et d'échantillons

6. Bibliographie

6.1. Publications émanant de RENECOFOR et/ou basées sur ses données

- Bogdziewicz M., Szymkowiak J., Fernández-Martínez M., Peñuelas J., Espelta J.M., 2019. The effects of local climate on the correlation between weather and seed production differ in two species with contrasting masting habit. *Agricultural and Forest Meteorology*, 268:109–115, DOI: 10.1016/j.agrformet.2019.01.01
- Cecchini S., Macé S., Nicolas M., Croisé L.**, 2019. RENECOFOR - Manuel de référence n°3 pour le fonctionnement du sous-réseau CATAENAT, placettes de niveau A2 et A3, 3ème version, éditeur : Office National des Forêts, Département Recherche Développement Innovation, 59 p.
- Durante S., Augusto L., Achat D.L., Legout A., Brédoire F., Ranger J., Seynave I., Jabiol B., Pousse N., 2019. Diagnosis of forest soil sensitivity to harvesting residues removal – A transfer study of soil science knowledge to forestry practitioners. *Ecological Indicators*, 104:512–523, DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.05.035
- Han Q., Wang T., Jiange Y., Fischer R., Li C., 2018 Phenological variation decreased carbon uptake in European forests during 1999–2013. *Forest ecology and management*, 427:45-51, DOI 10.1016/j.foreco.2018.05.062
- Jonard M., **Nicolas M.**, Coomes D., Caignet I., Saenger A., Ponette Q., 2019 : Les sols des forêts du réseau RENECOFOR séquestrent le carbone. *Forêt-entreprise*, n° 245 spécial "Le carbone forestier au cœur de notre société", pp. 67-71
- Lebourgeois F., Delpierre N., Dufrêne E., **Cecchini S., Macé S., Croisé L., Nicolas M.**, 2019. Fructification du Hêtre et des Chênes en France : rôle des températures, du pollen et du bilan de carbone et relation avec la croissance des peuplements. *Revue Forestière Française*, 71(1):29-60
- Mao Z., Derrien D., Didion M., Liski J., Eglin T., **Nicolas M.**, Jonard M., Saint-André L., 2019. Modeling soil organic carbon dynamics in temperate forests with Yasso07. *Biogeosciences*, 16:1955–1973, DOI: 10.5194/bg-16-1955-2019
- Montpied P., Dalmaso M., Benest F., Drapier J., Dupouey J.L., **Nicolas M.**, Pihou O., Defontaine V., 2019. Intercalibration de relevés floristiques IGN-IFN et INRA. Analyse des résultats de l'exercice 2019 en Meurthe-et-Moselle. INRA, Nancy, 20 p + annexes.
- Nicolas M.**, Aubert M., Bastianelli C., **Croisé L.**, Delpont F., Derrien D., Dufrêne E., Dupouey J.L., Ehrhart H.P., Feix I., Gentils M., Giraud O., Holin H., Jactel H., Jonard M., Korboulevsky N., Landmann G., Legay M., Macé S., Maillet A., Morneau F., Ponette Q., Probst A., Richter C., Van de Maele E., 2019. Quel avenir pour le réseau RENECOFOR ? Propositions pour une nouvelle stratégie à long terme. Office national des forêts, 26 p.
- Peaucelle M., Ciais P., Maignan F., **Nicolas M., Cecchini S.**, Viovy N., 2019. Representing explicit budburst and senescence processes for evergreen conifers in global models. *Agricultural and Forest Meteorology* 266-267:97-108, DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.12.008

- Perot T., Balandier P., Couteau C., Perret S., Seigner V., Korboulewsky N., 2019. Transmitted light as a tool to monitor tree leaf phenology and development applied to *Quercus petraea*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 275:37–46, DOI: 10.1016/j.agrformet.2019.05.010
- Roulier M., Coppin F., Bueno M., **Nicolas M.**, Thiry Y., Della Vedova C., Février L., Pannier F., Le Hécho I., 2019. Iodine budget in forest soils: influence of environmental conditions and soil physicochemical properties. *Chemosphere*, 224:20-28, DOI 10.1016/j.chemosphere.2019.02.060
- Schermer E., 2019. La pollinisation, un élément central du masting chez les chênes de régions tempérées. Thèse de doctorat, Université de Lyon, 165 p.
- Schermer E., Bel-Venner M.C., Fouchet D., Siberchicot A., Boulanger V., Caignard T., Thibaudon M., Oliver G., **Nicolas M.**, Gaillard J.M., Delzon S., Venner S., 2019. Pollen limitation as a main driver of fruiting dynamics in oak populations. *Ecology Letters*, 22(1):98-107, DOI: 10.1111/ele.13171
- Schmitz A., Sanders T.G.M., Bolte A., Bussotti F., Dirnböck T., Johnson J., Peñuelas J., Pollastrini M., Prescher A.K., Sardans J., Verstraeten A., de Vries W., 2019. Responses of forest ecosystems in Europe to decreasing nitrogen deposition. *Environmental Pollution*, 244:980-994. DOI 10.1016/j.envpol.2018.09.101.
- Soucémariadin L., Cécillon L., Chenu C., Baudin F., **Nicolas M.**, Girardin C., Delahaie A., Barré P., 2019. Heterogeneity of the chemical composition and thermal stability of particulate organic matter in French forest soils. *Geoderma*, 342:65-74, DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.02.008
- Soucémariadin L., Reisser M., Cécillon L., Barré P., **Nicolas M.**, Abiven S., 2019. Pyrogenic carbon content and dynamics in top and subsoil of French forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 133:12-15, DOI 10.1016/j.soilbio.2019.02.013

6.2. Communications orales émanant de RENECOFOR et/ou basées sur ses données

- Dupouey J.L., **Nicolas M.**, 2019. Le suivi de la biodiversité floristique dans les dispositifs nationaux : les conditions de la réussite. Communication orale. 8 diapositives. Séminaire "Améliorer le suivi de la biodiversité des forêts métropolitaines : pourquoi, comment ?", 3 Décembre 2019, Paris.
- Jonard M., **Nicolas M.**, Coomes D., Caignet I., Saenger A., Ponette Q., 2019. Les sols forestiers du réseau RENECOFOR se comportent-ils comme des puits de carbone ? Communication orale. 31 diapositives. Journées d'information et de débat "Carbone et forêt méditerranéenne", 17 Octobre 2019, Montferrier-sur-Lez.
- Journé V., Petit C., Oddou-Muratorio S., Davy H., 2019. Risk of fruit production failure. How extreme events can limit fruit production of forest trees at the rangewide scale? Communication orale. 40 diapositives. Conférence European Geosciences Union, 7-12 Avril 2019, Vienne.
- Morin X., Guillemot J., 2019. Un modèle pour étudier les forêts monospécifiques et mélangées en France. Communication orale. 59 diapositives. Réunion d'information du réseau RENECOFOR, 19-20 Mars 2019, Millau.

- Nicolas M.**, 2019. Considering challenges for future level II monitoring into design principles: Draft proposal for updating Manuel Part II. Communication orale. 5 diapositives. ICP Forests, Programme Coordinating Group meeting, 12-13 Novembre 2019, Berlin.
- Nicolas M.**, 2019. Quels scénarios pour la poursuite du réseau RENECOFOR à plus long terme ? Communication orale. 18 diapositives. Réunion d'information du réseau RENECOFOR, 19-20 Mars 2019, Millau.
- Nicolas M.**, 2019. RENECOFOR – Résultats d'intercomparaison dendrométrique sur le site PS 67a. Communication orale. 12 diapositives. Réunion de préparation à la campagne dendrométrique RENECOFOR 2019-2020, 3 Octobre 2019, Haguenau.
- Nicolas M.**, Landmann G., 2019. Quel avenir pour le réseau RENECOFOR ? Propositions pour une nouvelle stratégie à long terme. Communication orale. 28 diapositives. Comité scientifique de l'ONF, 19 juin 2019, Paris.
- Nicolas M.**, Michel A., 2019. Future of forest monitoring: questionnaire and responses about Level II. Communication orale. 29 diapositives. ICP Forests, 35th Task Force meeting, 13-14 Juin 2019, Ankara.
- Richard B., 2019. Observe-t-on une réponse de la flore au réchauffement du climat ? Communication orale. 52 diapositives. Réunion d'information du réseau RENECOFOR, 19-20 Mars 2019, Millau.
- Richard B., Archaux F., Aubert M., Boulanger V., Corcket E., Dupouey J-L., Gillet F., Langlois E., **Macé S.**, Montpied P., **Nicolas M.**, Lenoir J., 2019. The main determinants of the climatic debt in understory forest plant communities Communication orale. 20 diapositives. ICP Forests, 8th Scientific conference, 11-13 Juin 2019, Ankara.
- Schermer E., Bel-Venner M.C., Fouchet D., Siberchicot A., Boulanger V., Caignard T., Thibaudon M., Oliver G., **Nicolas M.**, Gaillard J.M., Delzon S., Venner S., 2019. Pollen limitation as a main driver of fruiting dynamics in oak populations. Communication orale. 21 diapositives. ICP Forests, 8th Scientific conference, 11-13 Juin 2019, Ankara.
- Soucémariadin L., Reisser M., Abiven S., Chenu C., Baudin F., **Nicolas M.**, Cécillon L., Barré P., 2019. Origin and dynamics of some labile and stable carbon fractions in the subsoil of French forests: the case of particulate organic matter and pyrogenic carbon. Communication orale. 20 diapositives. Conférence European Geosciences Union, 7-12 Avril 2019, Vienne.
- Toïgo M., **Nicolas M.**, **Croisé L.**, Delpont F., Nageleisen L.M., Landmann G., Jonard M., Jactel H., 2019. Évolution de l'état de santé des arbres depuis 20 ans : quels effets des stress biotiques et abiotiques ? Communication orale. 29 diapositives. Réunion d'information du réseau RENECOFOR, 19-20 Mars 2019, Millau.
- Toïgo M., **Nicolas M.**, **Croisé L.**, Delpont F., Nageleisen L.M., Landmann G., Jonard M., Jactel H., 2019. Temporal trends in tree defoliation and response to multiple biotic and abiotic stresses. Communication orale. 28 diapositives. ICP Forests, 8th Scientific conference, 11-13 Juin 2019, Ankara.
- Venner S., 2019. PotChêne : Potentiel de régénération des chênaies dans le contexte du changement climatique. Quel avenir pour le masting et les consommateurs de glands ? Communication orale. 23 diapositives. Réunion d'information du réseau RENECOFOR, 19-20 Mars 2019, Millau.

6.3. Actes du colloque des 25 ans du réseau

Les références suivantes sont toutes publiées dans le n° 58-59-60 spécial des Rendez-vous techniques de l'ONF, « RENECOFOR 25 ans de suivi des éco-systèmes forestiers, bilan et perspectives. Colloque des 11-13 octobre 2017 à Beaune », millésimé 2018 mais paru en 2019.

- Barthod C., Landmann G., 2018. Mise en perspective historique du monitoring forestier et du réseau RENECOFOR. pp. 10-13
- Bastrup-Birk, 2018. Questionnements et enjeux actuels pour le monitoring forestier à l'échelle européenne. pp. 14-18
- Birot Y., 2018. Synthèse et remarques conclusives. pp. 182-184
- Bourin A., Sauvage S., Coddeville P., Nicolas M., Croisé L., Probst A., 2018. La réduction des émissions polluantes se répercute-t-elle pleinement dans les retombées atmosphériques de soufre et d'azote en France ? pp. 72-76
- Cumunel C., 2018. Regards et attentes des bailleurs de fonds du réseau RENECOFOR - Ministère de la Transition écologique et solidaire. pp. 7-8
- Deleuze C., 2018. Quel rôle joue la forêt dans la séquestration de carbone atmosphérique ? Introduction à la session 3. pp. 43-45
- Delpont F., 2018. Quelles pistes d'évolution à envisager pour le monitoring des forêts ? Le point de vue du Département de la Santé des Forêts. pp. 166-168
- Derrien D., Barré P., Basile-Doelsch I., Dignac M.F., 2018. Comprendre la dynamique des matières organiques des sols, un compartiment-clé dans l'équilibre des écosystèmes forestiers. pp. 59-64
- Dufrêne E., François C., Delpierre N., Davi H., Genet H., Guillemot J., Le Maire G., Le Dantec V., Marie G., Vincent-Barbaroux C., 2018. Comment associer différents réseaux d'observation pour mieux comprendre le cycle du carbone en forêt ? Exemple du modèle CASTANEA. pp. 45-52
- Dupouey J.L., Boulanger V., 2018. Vingt ans de suivi de la flore : quels enseignements écologiques et méthodologiques ? pp. 118-122
- Ferretti M., 2018. L'observation des forêts à l'échelle pan-européenne. Introduction de la session 7. pp. 137-141
- Ferretti M., 2018. Quelles pistes d'évolution à envisager pour le monitoring des forêts ? Le point de vue du PIC Forêt. pp. 176-177
- Galsomies L., 2018. Regards et attentes des bailleurs de fonds du réseau RENECOFOR - Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. pp. 8-9
- Gandois L., Agnan Y., Probst A., 2018. Quel impact et quel devenir des pollutions en métaux lourds en forêt ? pp. 98-102
- Jactel H., 2018. Etude et suivi de la biodiversité forestière. Introduction de la session 6. pp. 115-117
- Jonard M., Fürst A., Verstraeten A., Thimonier A., Timmermann V., Potočić N., Waldner P., Benham S., Hansen K., Merilä P., Ponette Q., de la Cruz A.C., Roskams P., Nicolas M., Croisé L., Ingerslev M., Mat-teucci G., Decinti B., Bascietto M., Rautio P., 2018. Dégradation de la nutrition des arbres en phosphore : un signal confirmé à l'échelle européenne. pp. 148-152

- Jonard M., Nicolas M., Coomes D., Caignet I., Saenger A., Ponette Q., 2018. Le rôle de puits de carbone des sols forestiers : résultats de mesures et hypothèses explicatives. pp. 53-58
- König N., 2018. PIC Forêts : une longue expérience de contrôle et d'amélioration continue de la qualité des mesures, pour un suivi des forêts comparable à l'échelle européenne. pp. 142-147
- Landmann G., 2018. Quelles perspectives pour le suivi des forêts ? Introduction de la session 8. pp. 160-161
- Lebourgeois F., Delpierre N., Dufrêne E., Cecchini S., Macé S., Croisé L., Nicolas M., 2018. Les réponses observées des arbres aux variations du climat (croissance, phénologie foliaire et fructification). pp. 23-27
- Legay M., 2018. Comment les arbres répondent-ils aux variations du climat ? Introduction de la session 2. pp. 20-22
- Maillet A., 2018. Regards et attentes des bailleurs de fonds du réseau RENECOFOR - Office national des forêts. pp. 5-6
- Morin X., Chuine I., 2018. Mieux comprendre les processus d'influence du climat sur les arbres pour anticiper les effets de son évolution sur la composition et le fonctionnement des forêts. pp. 28-34
- Morneau F., 2018. Quelles pistes d'évolution à envisager pour le monitoring des forêts ? Le point de vue de l'inventaire forestier national français. pp. 162-165
- Negro S., Nicolas M., Naffrechoux E., Poulenard J., 2018. La forêt comme indicateur des polluants organiques persistants de l'atmosphère et de leur accumulation dans l'environnement : l'exemple des hydrocarbures aromatiques polycycliques. pp. 108-112
- Nicolas M., 2018. Quelles pistes d'évolution à envisager pour le monitoring des forêts ? Le point de vue de la coordination du réseau RENECOFOR. pp. 169-171
- Ponette Q., Saenger A., Jonard M., Nicolas M., 2018. Acidification et eutrophisation : vers une restauration de la fertilité chimique des sols forestiers ? pp. 77-83
- Probst A., Rizzetto S., Belyazid S., Gégout J.C., Gaudio N., Nicolas M., Sverdrup H., 2019. Simuler les effets combinés de la pollution atmosphérique et du changement climatique sur les écosystèmes forestiers. pp. 84-90
- Richard B., 2018. Variations des communautés de champignons dans le réseau RENECOFOR : résultats d'une initiative pionnière. pp. 123-127
- Schaub M., Haeni M., Ferretti M., Gottardini E., Cailleret M., 2018. Quelle contrainte la pollution à l'ozone fait-elle peser sur les forêts européennes ? pp. 153-157
- Saint-André L., 2018. Acidification et cycle des éléments nutritifs dans les écosystèmes forestiers. Introduction de la session 4. pp. 68-71
- Saint-André L., 2018. Quelles pistes d'évolution à envisager pour le monitoring des forêts ? Le point de vue du SOERE F-ORE-T. pp. 172-175
- Soudani K., Delpierre N., Dufrêne E., 2018. Utiliser les données d'observation pour tester des outils de télédétection : exemple de la détection satellitaire du débournement et de la senescence des feuilles. pp. 35-39
- Thiry Y., 2018. Comment l'observation des écosystèmes forestiers sert aussi à la prévention des risques de pollutions radioactives. pp. 103-107

- Van de Maele E., 2018. Regards et attentes des bailleurs de fonds du réseau RENECOFOR - Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. p. 7
- Venner S., Caignard T., Schermer E., Gamelon M., Venner M.C., Débias F., Saint-Andrieux C., Guibert B., Siberchicot A., Boulanger V., Touzot L., Baubet E., Saïd S., Gaillard J.M., Focardi S., Delzon S., 2018. Mieux comprendre les fortes variations des glandées et leurs effets sur la biodiversité associée. Contribution du réseau RENECOFOR. pp. 128-134

6.4. Autres références citées

- Barthod C., 1994 : Le système de surveillance de l'état sanitaire de la forêt en France. *Revue Forestière Française*, 46, 5 : 564-571.
- Birot Y., Landmann G. 2008 : Quelles évolutions possibles pour RENECOFOR ? Une analyse basée sur les résultats d'une évaluation scientifique. *Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°4 "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR"* : 154-158.
- Caignard T., Kremer A., Firmat C., **Nicolas M.**, Venner S., Delzon S., 2017. Increasing spring temperatures favor oak seed production in temperate areas. *Scientific Reports*, vol. 7, n° 1, pp. 1-8, doi:10.1038/s41598-017-09172-7
- Cecchini S., Croisé L., Macé S., Nicolas M., 2014 : Manuel de référence n°2 - méthodes de mesure des paramètres dendrométriques, 3ème version. Éditeur : Office national des forêts, Direction forêts et risques naturels, Département recherche, développement et Innovation, 83 p.
- Jonard M., Nicolas M., Coomes D.A., Caignet I., Saenger A., Ponette Q., 2017. Forest soils in France are sequestering substantial amounts of carbon. *Science of the Total Environment*, 574:616-628, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.028
- Landmann G., Bonneau M. (Eds.) 1995 : Forest decline and atmospheric deposition effects in the French Mountains. Berlin (Allemagne), Springer, ISBN 3-540-58874-4, 461 p.
- Roulier M., 2018. Cycle biogéochimique de l'iode en écosystèmes forestiers. Thèse de doctorat. Université de Pau et des Pays de l'Adour. 234 p.
- Venner S., Siberchicot A., Pélisson P.F., Schermer E., Bel-Venner M.C., Nicolas M., Débias F., Miele V., Sauzet S., Boulanger V., Delzon S., 2016. Fruiting strategies of perennial plants: a resource budget model to couple mast seeding to pollination efficiency and resource allocation strategies. *The American Naturalist*, 188(1):66-75, DOI: 10.1086/686684

Crédit photographique (couverture)

Luc Croisé

Légendes des photos de la couverture

En haut à gauche : Géolocalisation d'un arbre à l'occasion de la cartographie de la placette PS 76
en mars 2021

En haut à droite : Mesure de hauteur à l'occasion de l'inventaire dendrométrique de la placette PS 61
en février 2020

En bas : Marquage d'un nouvel arbre « observation » à l'occasion de l'inventaire dendrométrique
de la placette CHP 18 en février 2020

Maquette DCOM



Office National des Forêts

Direction forêts et risques naturels

Réseau RENECOFOR

Site WEB : onf.fr/renecofor

Boulevard de Constance - 77300 Fontainebleau

Méls : manuel.nicolas@onf.fr ; sebastien.cecchini@onf.fr ; luc.croise@onf.fr ;
chantal.lavalley@onf.fr ; sebastien.mace@onf.fr