

Bilan technique de l'année 2021



Mai 2022



Ce document est à citer sous la forme suivante :
NICOLAS M., CECCHINI S., CROISÉ L., LAVALLEY C., MACÉ S., MERCERON Q., 2022 :
RENECOFOR – Bilan technique de l'année 2021.
Éditeur : Office national des forêts, Direction forêts et risques naturels, 26 p.



RENECOFOR

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

Bilan technique de l'année 2021

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

Programme financé par :

- le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation,
- le ministère de la Transition écologique.

Mai 2022

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 2021	4
2.1.	Impacts de la pandémie de Covid-19 et des mesures sanitaires d'urgence	4
2.2.	Réalisation du programme de mesures.....	4
2.2.1.	Campagne quinquennale d'inventaires floristiques.....	5
2.2.2.	Suivi bisannuel de la nutrition minérale des arbres	6
2.2.3.	Test de capteurs passifs d'ozone	6
2.3.	Support pour d'autres mesures sur le terrain.....	7
2.4.	Réunion d'information annuelle.....	8
2.5.	Communication	9
3.	Faire évoluer le réseau pour un suivi de très long terme.....	10
3.1.	Sécuriser l'emplacement des dispositifs.....	11
3.2.	Mener les mesures et prélèvements requis avant la récolte des peuplements	11
3.3.	Analyser au cas par cas les placettes susceptibles d'être remplacées.....	12
3.4.	Prospecter et choisir des sites de remplacement.....	13
3.5.	Mettre en sommeil les placettes à remplacer et en installer de nouvelles	13
4.	Publications écrites et communications orales.....	16
4.1.	Recensement des productions documentaires	16
4.2.	Revue de quelques résultats marquants publiés en 2021	16
4.2.1.	Le déclin de la santé des arbres reflète-t-il une perte de croissance ?	16
4.2.2.	Comparaison des dépôts atmosphériques modélisés et mesurés en Europe.....	17
4.2.3.	Quel effet du réchauffement climatique sur la flore du sous-bois ?	17
4.3.	Contribution de l'équipe de coordination aux valorisations externes	18
5.	Conclusions.....	19
6.	Bibliographie.....	22
6.1.	Publications émanant de RENECOFOR et/ou basées sur ses données	22
6.2.	Communications orales émanant de RENECOFOR et/ou basées sur ses données	24
6.3.	Autres références citées.....	25

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 102 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 200 articles scientifiques et 21 thèses de doctorat. En 2021, toutes les activités régulières ont pu être menées comme prévu, ainsi que la campagne d'inventaires floristiques qui n'avait pas pu se tenir en 2020 du fait des restrictions sanitaires liées à la pandémie de Covid-19. Les derniers résultats publiés en 2021 illustrent encore une fois la diversité des enjeux auxquels il contribue à répondre : évolution de la santé des arbres et du fonctionnement des écosystèmes forestiers, impacts des pollutions atmosphériques, effets du réchauffement climatique et évolution de la biodiversité.

RENECOFOR est en passe de franchir 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 reste une approche indispensable pour évaluer, mieux comprendre et essayer d'anticiper des phénomènes inédits. Le dispositif, désormais reconnu et financé par l'État comme une mission d'intérêt général, va pouvoir se poursuivre et capitaliser ainsi sur les connaissances déjà acquises. Cependant il a besoin d'évoluer pour répondre aux défis d'un suivi à très long terme (50 ans, 100 ans ou plus). Cela impliquera notamment le renouvellement d'une partie des placettes arrivant à échéance de leur récolte, et ce dès 2022 pour les premières d'entre elles. Depuis 2020, l'équipe de coordination s'emploie à préparer et initier les nouvelles opérations requises par cette évolution, mais des renforts humains seront nécessaires pour pouvoir les mettre en œuvre pleinement, en parallèle de la poursuite des activités régulières de suivi et de maintenance du réseau.

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 (Nations Unies, Convention Air), 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 par la suite (le dernier ayant été « Forest Focus »). Il répond aussi, depuis 2018, aux obligations faites par la Directive UE 2016/2284 sur les plafonds d'émissions nationaux (NEC) de suivre les impacts des pollutions atmosphériques sur les écosystèmes naturels. Des 3 réseaux français de surveillance des forêts, 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 (dépérissement 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.

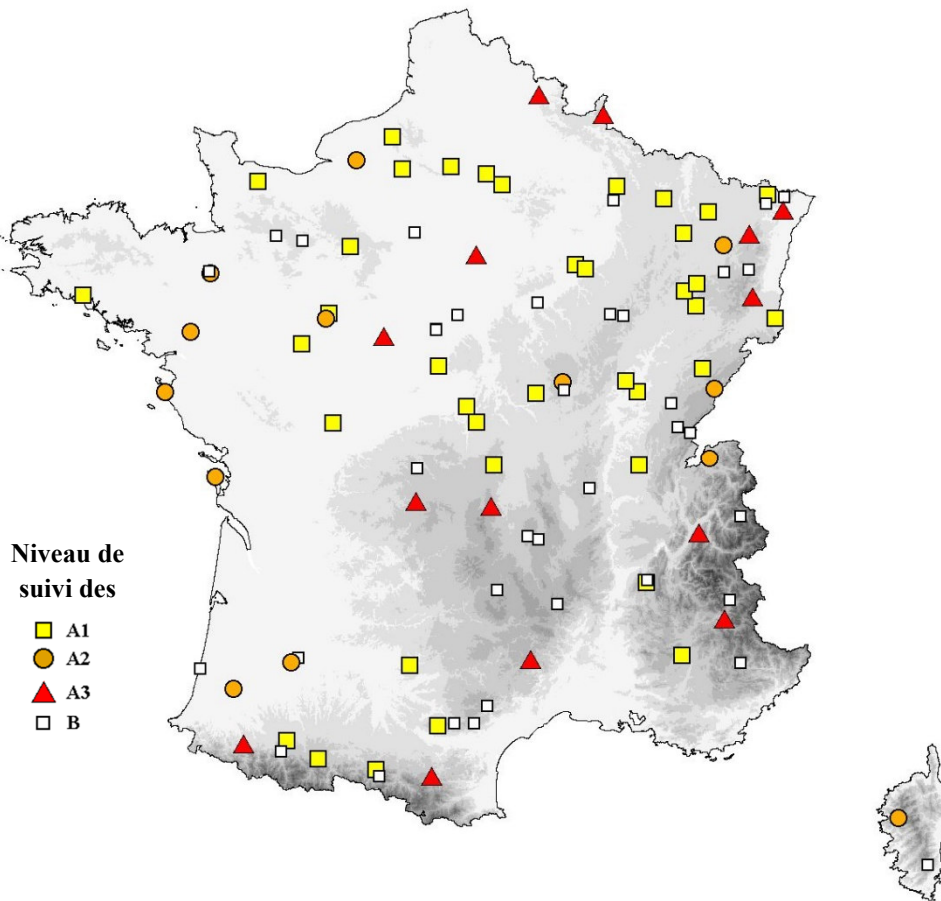
Le but principal du réseau RENECOFOR est de détecter d'éventuels changements à long terme dans le fonctionnement d'une grande variété d'écosystèmes forestiers et de caractériser les raisons de ces changements. Ses objectifs (Biro et Landmann, 2008) sont les suivants :

- 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, 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 engagements 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, dernière année du règlement Forest Focus. A partir de 2007, le financement du réseau a été entièrement assuré par des bailleurs de fonds nationaux, comprenant l'Office national des forêts (pour une part majoritaire), l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), et les ministères en charge de l'agriculture et de l'environnement. Depuis 2021, il constitue une Mission d'intérêt général, entièrement financée par l'Etat français, à savoir :

- le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (MAA),
- le ministère de la Transition écologique (MTE), à la fois par sa Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (MTE-DGALN) et par sa Direction générale de l'énergie et du climat (MTE-DGEC).

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 2021

2.1. Impacts de la pandémie de Covid-19 et des mesures sanitaires d'urgence

Les années 2020 et 2021 ont été marquées par la pandémie de Covid-19 et la mise en place par le Gouvernement de mesures d'urgence sanitaire qui ont fortement pesé sur l'activité économique. Des périodes de confinement et/ou de couvre-feu national ont notamment été décrétées, du 17 mars au 11 mai 2020, puis entre le 14 octobre 2020 et le 30 juin 2021, avec interdiction des rassemblements et incitation au télétravail, restriction des déplacements, et fermeture des commerces et activités non-essentiels.

Le réseau RENECOFOR a dû s'adapter à ces contraintes, mais a réussi malgré tout à poursuivre l'essentiel de ses activités selon le calendrier prévu. Sur le terrain, les agents forestiers ont toujours eu l'autorisation au moins de se déplacer seuls dans leur secteur de travail et ont pu continuer ainsi à assurer régulièrement les observations et prélèvements dont ils ont la charge.

En revanche, les contraintes sur les déplacements et sur le travail en équipe (même en binôme) ont empêché la tenue en 2020 de la réunion d'information annuelle programmée à la fin mars, et de la campagne d'inventaire floristique quinquennale qui devait démarrer en avril. Cette dernière a dû être reportée, et a pu finalement être menée au printemps et en été 2021.

2.2. Réalisation du programme de mesures

Le programme des activités continue de suivre le calendrier défini lors de la métamorphose de 2008 (Tableau 1). L'ensemble des activités périodiques prévues en 2021 a donc bien été réalisé. Outre les activités récurrentes d'année en année, 2021 aura été marquée par :

- la réalisation au printemps et en été, sur l'ensemble des 102 placettes du réseau, de la campagne d'inventaire floristique quinquennale initialement prévue en 2020,
- le suivi de la nutrition minérale des arbres par la réalisation de prélèvements foliaires, comme tous les deux ans, en été pour les feuillus et à l'automne pour les résineux,
- la préparation de la reprise du suivi de l'ozone troposphérique de 2022 à 2026, par le test de trois modèles de capteurs passifs exposés à côté de deux stations de mesure actives à Recloses (77) et à Monaco, chaque semaine de fin mars à début octobre,
- l'initiation de la campagne de sécurisation de l'emplacement des dispositifs face aux aléas, par le bornage des piquets d'angle et la cartographie de l'ensemble des installations et des arbres, sur un total de 18 placettes depuis novembre 2020,
- l'appui à plusieurs collaborations de recherche pour enrichir les connaissances acquises sur les placettes RENECOFOR, dont une étude par l'IRSN de la dynamique des retombées atmosphériques de césium 137 issues des essais nucléaires militaires et de l'accident de Tchernobyl.

Tableau 1 : Programmation des activités périodiques du réseau RENECOFOR suivant le calendrier défini lors de sa métamorphose en 2008.

Sujet/année	2018	2019	2020	2021	2022
Actions de fond					
Evaluation des données du réseau et publications				✓	
Développement du site Web du réseau				✓	
Réunions d'information plénières				✓	
Réunions d'information CATAENAT			Annulé	✓	
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				✓	
Observations phénologiques				✓	
Maintenance des placettes				✓	
Echantillonnage foliaire				✓	
Suivi de croissance annuel des arbres observation				✓	
Inventaire dendrométrique quinquennal					
Inventaire floristique quinquennal		intercalib.	Reporté	✓	
Cartographie des arbres et dispositifs			2 sites	16 sites	
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				Test capt.	

2.2.1. 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). Comme chaque campagne d'inventaire floristique, celle de 2020 avait été préparée un an auparavant, avec la réunion des différentes équipes de botanistes pour un exercice d'intercalibration à Fontainebleau du 2 au 4 juillet 2019, et devait débiter à partir du mois de mars pour des relevés à répéter au printemps et en été.

Les mesures sanitaires prises à partir du premier confinement décrété le 17 mars 2020 ont empêché la majorité des équipes de botanistes de se rendre comme prévu sur les placettes

RENECOFOR, du fait d'interdictions complètes de déplacement par leur établissement et/ou de contraintes pratiques liées à ce contexte exceptionnel (fermeture des hôtels et restaurants, manque de véhicules pour respecter l'interdiction de covoiturage, charge de travail supplémentaire dans les universités pour la réorganisation à distance des enseignements et examens...). Puis l'incertitude pesant sur l'évolution des mesures sanitaires dans les mois suivants a conduit à reporter l'ensemble de la campagne à 2021 (relevés de printemps et d'été), en espérant qu'elle puisse alors être menée de manière homogène par les différentes équipes sur toutes les placettes.

Cette campagne a effectivement pu être menée, dans de bonnes conditions, au printemps et en été 2021, sur l'ensemble du territoire. La saisie harmonisée des relevés dans le portail Internet Renecoflore a été finalisée au début de l'année 2022. Les données vont désormais pouvoir faire l'objet d'étapes de contrôle et de validation, avant leur intégration définitive dans la base de données du réseau.

2.2.2. Suivi bisannuel de la nutrition minérale des arbres

Le suivi de la nutrition minérale des arbres se fait tous les deux ans (les années impaires), par l'analyse du contenu d'échantillons de feuillage prélevés sur huit des seize arbres-échantillons situés dans la zone tampon de chaque placette. Ces arbres-échantillons ont été désignés parmi les arbres de l'essence principale et de statut dominant ou co-dominant. L'échantillonnage est réalisé entre le 15 juillet et le 31 août pour les feuillus et les mélèzes, et entre le 15 octobre et le 15 janvier pour les résineux à feuillage persistant. Il porte sur du feuillage de lumière, prélevé dans le tiers supérieur du houppier, le plus souvent à l'aide d'un fusil.

Les règles de sécurité à respecter sont décrites et illustrées dans le manuel n°6 (Croisé *et al.*, 2020), les fusils utilisés sont révisés régulièrement, et les correspondants territoriaux en charge de ces prélèvements sont systématiquement accompagnés dans leurs premiers relevés par l'équipe de coordination du réseau RENECOFOR. De plus, afin de renforcer encore l'encadrement de cette activité, une formation a été organisée sur le maniement du fusil en sécurité, avec deux référents armement de l'ONF, le 15 juin 2021 à Fontainebleau. Tous les correspondants territoriaux ont pu ainsi profiter d'un rappel des connaissances théoriques nécessaires, et d'une session de mise en pratique adaptée au besoin spécifique du prélèvement de feuilles. Cette formation a été appréciée aussi bien par les débutants que par les tireurs les plus expérimentés, et sera renouvelée ainsi en amont de chaque nouvelle campagne bisannuelle d'échantillonnage foliaire.

2.2.3. Test de capteurs passifs d'ozone

Le suivi annuel de la concentration en ozone de l'air et de ses impacts sur la végétation reprend en 2022, pour une période de 5 années, dans les 14 placettes de niveau A3. En amont, trois modèles de capteurs passifs d'ozone ont été testés en 2021, pour asseoir le choix du modèle à utiliser pour la reprise de ce suivi. Ce test a été mené en exposant ces différents capteurs chaque semaine, de fin mars à début octobre 2021, à côté de deux stations de mesure active de l'ozone situées dans des climats contrastés, à Recloses (AIRPARIF, Seine-et-Marne) et à Monaco (avec

le concours de la Direction de l'Aménagement Urbain et de la Direction de l'Environnement de la Principauté).

Les résultats ont pu être exploités au début de l'année 2022. Ils confirment la meilleure performance du modèle IVL, déjà utilisé depuis le début des mesures sur le réseau RENECOFOR, du fait d'une meilleure fidélité aux variations enregistrées par les deux stations de mesure active, et d'une faible incertitude entre les trois répétitions de capteurs exposées simultanément chaque semaine sur chacun des deux sites. Par contraste, les deux autres modèles testés présentent :

- un biais de régression différant notablement d'une station à l'autre, et pouvant questionner quant à la comparabilité de mesures faites sur différents sites,
- ainsi qu'un coefficient de variation environ deux fois supérieur entre les répétitions de capteurs, ce qui limite la capacité de détection d'éventuelles anomalies de mesure.

C'est donc le modèle de capteur passif IVL qui a été choisi pour poursuivre les mesures d'ozone dans l'air à partir de mars 2022.

2.3. Support pour d'autres mesures sur le terrain

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).

Par exemple, depuis plusieurs années, et notamment depuis la catastrophe de Fukushima (2011), le réseau RENECOFOR a servi de support à plusieurs études visant à mieux évaluer les risques de dissémination de polluants radioactifs dans l'environnement en cas d'accident nucléaire. La mise à disposition de ses échantillons a ainsi permis d'explorer la dynamique dans les écosystèmes de plusieurs éléments susceptibles de devenir radioactifs en cas d'accident et de propager cette radioactivité, tels que le chlore (Redon *et al.*, 2011), l'iode (Roulier, 2018) et le sélénium (Pisarek *et al.*, 2021). En 2021, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) à son tour a pris appui sur le réseau RENECOFOR pour étudier la dynamique dans les forêts françaises du césium 137. Cet isotope du césium a été propagé par les essais nucléaires atmosphériques (de 1945 à 1980) et par l'accident de Tchernobyl (1986), et sa radioactivité persiste dans l'environnement puisqu'il lui faut 30 années pour réduire de moitié.

L'étude est menée au moyen d'une thèse de doctorat (Dina Okhrimchuk) et d'un post-doctorat (Marine Roulier). Les quantités de césium stable et de césium radioactif ont pu être mesurées dans l'humus et dans le sol minéral des 27 placettes du sous-réseau CATAENAT, grâce aux échantillons archivés à la pédothèque du réseau. En revanche, les carottages dendrochronologiques (Lebourgeois, 1997) et les échantillons foliaires disponibles n'ont pas représenté une masse suffisante pour mesurer la radioactivité du césium 137 dans les arbres. Une campagne de terrain a donc été organisée par les chercheurs de l'IRSN, avec l'aide des agents responsables de plusieurs placettes, pour réaliser des prélèvements additionnels pour

évaluer les teneurs en césium radioactif dans la biomasse des arbres. S'agissant du bois et de l'écorce du tronc, ils ont pu être échantillonnés en quantité suffisante sur des souches récentes à proximité immédiate de 15 placettes du sous-réseau CATAENAT. De plus, des coupes programmées à proximité des 3 placettes CPS 77, HET 64 et PS 67a, ont pu être mises à profit pour échantillonner plus complètement les différents compartiments de la biomasse sur 6 arbres par placette, avec au minimum 17 kg de bois, 3 kg d'écorce, 7 kg de branches, 2 kg de ramifications de l'année, 2 kg de feuillage, et 5 kg de racines. Environ une semaine a été nécessaire à l'équipe de chercheurs sur chacune des placettes pour prélever proprement de telles quantités par compartiment de biomasse, sans compter ensuite le long travail de traitement en laboratoire : nettoyage, tri, séchage, pesée, broyage, et calcination des échantillons (pour concentrer leur contenu minéral et optimiser la mesure du césium 137). Cet effort a effectivement permis de quantifier les faibles teneurs en césium 137 dans les premiers échantillons des différents compartiments. Les résultats doivent ensuite être intégrés dans les approches de modélisation du cycle biogéochimique du césium.

2.4. 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 2020, la réunion d'information prévue les 31 mars et 1^{er} avril avait dû être annulée du fait du confinement national mis en place le 17 mars et restreignant au strict minimum les déplacements et rassemblements, tant professionnels que privés. Il était donc d'autant plus important que les agents du réseau puissent être à nouveau réunis en 2021. Les restrictions liées au Covid-19 se sont prolongées jusqu'au mois de juin, mais la réunion d'information a pu être finalement organisée les 5 et 6 octobre 2021 à Annecy (Haute-Savoie).

Outre les sujets préparés par l'équipe de coordination, plusieurs intervenants ont été invités :

- Dina Okhrimchuk, Marine Roulier et Marie Simon-Cornu (IRSN Cadarache) sur le devenir à long-terme des dépôts atmosphériques de radio-césium sur les forêts françaises (cf. chapitre 2.3) ;
- Jonathan Lenoir et Eva Gril (Université de Picardie Jules Verne) sur l'avancement du projet IMPRINT pour l'étude du microclimat forestier, à l'aide notamment de capteurs autonomes installés sous le couvert et dans une clairière proche de 60 placettes du réseau (Nicolas *et al.*, 2021a) ;
- Samuel Venner (Université de Lyon) sur la dynamique de la fructification des chênes, et les dernières connaissances apportées par le suivi d'arbres individuels notamment sur 12 placettes du réseau RENECOFOR.

Cela a été aussi l'occasion de projeter un film historique de 30 minutes sur l'Ecole nationale forestière de Nancy, commenté par Hervé Dubois, agent responsable de la placette DOU 23.

2.5. 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.

- En 2021, le réseau a notamment contribué à l'élaboration d'un jeu de piste « Coup de chaud sur les forêts ! », qui a été diffusé pour l'organisation d'animations grand public par les services de l'ONF, partout en France, du 13 au 21 mars, à l'occasion de la « Journée internationale des forêts ».
- Une visite de la placette de hêtre du Mont Aigoual (HET 30), a été menée le 2 juin par Valère Marsaudon (suppléant de la placette, et responsable de l'unité territoriale Aigoual) à l'occasion d'une journée de formation destinée à des professeurs de sciences et vie de la Terre en collège et en lycée.
- Enfin, deux reportages ont été réalisés coup sur coup pour les journaux des chaînes de télévision France 3 (le 2 août) et de TF1 (le 5 août), au sujet des prélèvements foliaires menés sur la placette de chêne pédonculé de la forêt de Mormal (CHP 59), la curiosité suscitée par l'utilisation d'un fusil ayant ici servi d'accroche pour expliquer l'intérêt de suivre l'état de nutrition des arbres et l'implication des agents de l'ONF dans ce suivi.

Illustration d'une rondelle de hêtre provenant de la placette RENECOFOR HET 21, utilisée lors du jeu de piste « Coup de chaud sur les forêts ! ». Photographie par Sébastien Cecchini / ONF



3. Faire évoluer le réseau pour un suivi de très long terme

RENECOFOR a été créé en 1992 pour une durée d'activité minimale de 30 ans. La poursuite de ses activités à plus long terme suppose de faire face, dès à présent, au renouvellement d'un nombre croissant de peuplements :

- en prévoyant de remplacer, quand cela est nécessaire, les placettes qui ne répondent plus aux prérequis du réseau par de nouvelles placettes situées dans des conditions de peuplement adulte et homogène sur 2 ha ;
- et en veillant toujours à préserver la mémoire du patrimoine acquis à un emplacement précis, pour pouvoir reprendre le suivi au même emplacement, que ce soit juste après de forts dommages causés par un aléa ou après des décennies de mise en sommeil d'une placette après son remplacement.

Quatorze placettes sont déjà en régénération, ou fortement endommagées par des tempêtes ou des attaques de scolytes depuis 1999. D'autres arrivent à échéance de récolte déjà entre 2022 et 2025, sans compter les pessières sous la menace de scolytes déjà présents dans leur voisinage. Il s'agit donc de pouvoir faire face rapidement à des situations locales qui n'avaient pas été anticipées lors de la conception du réseau, ce qui nécessite de développer des méthodologies pour de nouvelles actions de suivi et de gestion des dispositifs à mettre en œuvre dans ces situations particulières. Cependant, il s'agit d'inscrire la gestion de ces situations particulières dans la constitution d'une stratégie d'évolution cohérente à l'échelle nationale, pour adapter progressivement l'échantillon de forêts observé au sein du réseau selon l'évolution des enjeux de suivi des impacts des changements environnementaux.

En pratique, selon les capacités de l'équipe de coordination, cet effort additionnel nécessite d'être organisé suivant un ordre de priorité d'action :

	2020	2021	2022	2023	2024	2025
1. Sécuriser l'emplacement des dispositifs face aux aléas et aux récoltes, par le bornage des angles et la cartographie des installations et des arbres (dans les placettes perturbées ou arrivant à échéance de récolte, puis sur l'ensemble du réseau)						
2. Organiser les mesures et prélèvements nécessaires avant la récolte des peuplements (dès 2022 pour les premières placettes arrivant échéance de récolte)						
3. Analyser au cas par cas la situation des placettes en régénération ou perturbées ou arrivant à échéance de récolte , pour préciser celles nécessitant d'être remplacées et celles pouvant être maintenues à leur emplacement						
4. Prospecter et choisir des sites de remplacement , soit dans un contexte proche des placettes remplacées, soit dans un autre contexte d'intérêt (ex : marges écologiques manquant dans la représentation d'essences déjà suivies par le réseau)						
5. Mettre en sommeil proprement les placettes à remplacer, et installer de nouvelles placettes en remplacement						

3.1. Sécuriser l'emplacement des dispositifs

La possibilité de cartographier précisément les dispositifs et les arbres suivis au sein de chaque placette a été étudiée et initiée sur deux placettes dès 2020. L'objectif principal est de pouvoir retrouver l'emplacement des dispositifs même après la destruction soudaine des piquets de repérage par une tempête, ou après des décennies de mise en sommeil d'une placette. En même temps, la réalisation de plans de localisation précis permettra de faciliter les activités courantes de maintenance et de suivi des placettes (ex : pour retrouver les tiges manquées lors d'un inventaire dendrométrique), et augmentera le potentiel de valorisation des données déjà collectées par la prise en compte de la répartition spatiale des arbres (ex : effets de la compétition entre les arbres, de l'hétérogénéité de répartition du peuplement).

Pour répondre à ces objectifs, une incertitude de localisation inférieure à 50 cm est visée, alors que les systèmes de positionnement par satellite permettent au mieux une précision de l'ordre de 2 m (Malabeux & Munoz, 2021). L'approche a donc été orientée vers l'acquisition de matériel Field-Map permettant, par des mesures d'angle et de distance, de positionner chaque arbre ou dispositif relativement aux autres arbres et dispositifs présents au sein d'une placette. L'incertitude moyenne constatée dans les relevés est de 15 cm seulement, en comparaison de distances mesurées au ruban entre plusieurs couples de points (Nicolas *et al.*, 2021a).

En 2021, 16 placettes supplémentaires ont pu être cartographiées, d'abord parmi les placettes les plus proches de Fontainebleau pour parfaire la méthode, puis en visant en priorité les placettes fortement perturbées par des aléas, afin d'objectiver l'analyse de leur situation (cf. chapitre 3.3). Par la suite, l'objectif sera de cartographier ainsi l'ensemble des placettes du réseau. Ce chantier nécessitera plusieurs années car, en moyenne pour chaque placette, cela requiert 2 jours de travail d'une équipe de 3 personnes, sans compter les délais de route ni les temps nécessaires à la préparation de chaque mission et au traitement des données.

3.2. Mener les mesures et prélèvements requis avant la récolte des peuplements

En plus de garder la trace de l'emplacement des dispositifs, il importe, avant la récolte définitive de chaque peuplement, de finaliser les séries de mesures collectées depuis 1992 et de réaliser les derniers prélèvements possibles sur les arbres qui auront été le plus intensément suivis. Cela comprend l'organisation des opérations suivantes :

- inventaire dendrométrique en plein, avec mesures de hauteur,
- inventaire floristique,
- rééchantillonnage de l'humus et du sol jusqu'à 40 cm de profondeur,
- prélèvement de carottes de bois sur les 52 arbres-observation et arbres-échantillon pour mesurer rétrospectivement leur croissance annuelle,
- prélèvement de feuilles ou de bourgeons sur ces mêmes arbres, pour analyser leur variabilité génétique,
- si possible aussi, imagerie du couvert végétal par Lidar terrestre et/ou aéroporté,
- et poursuite des collectes de solutions du sol pendant 3 années après la récolte du peuplement, dans le cas d'une placette de niveau A3.

En 2021, il s'agissait en premier lieu de définir la méthodologie à suivre sur le terrain pour celles de ces opérations qui n'étaient pas encore décrites, afin de pouvoir faire face aux premières échéances de récolte prévues dès l'automne 2022. Un nouveau manuel a pu être développé pour la caractérisation génétique des arbres (Merceron *et al.*, 2021), et testé sur la placette PS 45. Un autre manuel a été initié pour le carottage dendrochronologique (Merceron *et al.*, in prep), mais dont la mise en œuvre pratique reste à prendre en main.

3.3. Analyser au cas par cas les placettes susceptibles d'être remplacées

Les placettes du réseau RENECOFOR ont été initialement installées dans des sites choisis selon des prérequis définis dans son manuel n°1 (Ulrich *et al.*, 1994), pour pouvoir répondre aux objectifs de suivi des impacts de changements environnementaux sur les écosystèmes forestiers. Il s'agissait, entre autres, de trouver des sites représentatifs d'écosystèmes dominés par une essence ciblée, en peuplement adulte, et avec des conditions de sol et de peuplement homogènes pour assurer des observations représentatives à l'échelle de 2 ha.

Lorsque des placettes ne répondent plus à ces prérequis, que ce soit à la suite de fortes perturbations naturelles ou de la récolte du peuplement, il importe logiquement qu'elles puissent être remplacées par de nouvelles placettes répondant aux prérequis de la conception scientifique du réseau. D'un autre côté, cependant, l'installation d'une nouvelle placette représente un effort important et qui ne pourra révéler de premières tendances qu'après une quinzaine d'années d'observation au minimum. En conséquence, si des placettes perturbées et/ou en régénération présentent une dynamique leur permettant de recouvrer des conditions adéquates d'ici quinze ans, il peut être préférable de continuer à les suivre au même endroit.

Afin d'appuyer ces arbitrages sur des informations objectives, une analyse particulière de la situation des placettes concernées a pu être initiée en juillet 2021 grâce à l'appui d'un ingénieur recruté en CDD. Pour chacune de ces placettes, il s'agit, à partir des données disponibles (dendrométrie, flore, relevé cartographique), d'évaluer si elle remplit les différentes conditions identifiées pour qu'il puisse être préférable de la maintenir au même endroit.

- Dans le cas d'une placette passée en phase de peuplement juvénile, ces conditions sont :
 - i. que la régénération soit déjà acquise et répartie de manière homogène (ou promise à le devenir d'ici moins de 5 ans),
 - ii. qu'elle soit dominée par une essence principale d'intérêt, déjà représentée dans le réseau, et adaptée aux conditions stationnelles,
 - iii. que sa composition dans la zone centrale de la placette n'ait pas été biaisée par la présence d'une clôture par rapport à la régénération environnante,
 - iv. et qu'elle soit susceptible d'atteindre d'ici 15 ans un stade de perchis permettant la reprise normale de toutes les mesures (avec l'étiquetage en plein des tiges de plus de 5 cm, et la désignation d'arbres d'avenir comme arbres-observation).
- Dans le cas d'une placette perturbée mais toujours dominée par un peuplement adulte, la condition à évaluer est que celui-ci soit resté ou redevenu suffisamment homogène pour la représentativité des observations.

Les résultats de ces analyses seront ensuite discutés avec le Comité de pilotage scientifique, pour statuer sur le choix des placettes à remplacer et de celles à maintenir à leur emplacement.

3.4. Prospector et choisir des sites de remplacement

Une fois identifiées les placettes à remplacer, il s'agira de définir où installer d'autres placettes en remplacement. Selon les cas, il pourra être préférable de trouver un site similaire à proximité, ou au contraire de rechercher un autre contexte stationnel d'intérêt pour faire évoluer la gamme des écosystèmes forestiers représentés au sein du réseau. Chaque repositionnement constituera donc un choix stratégique pour l'avenir du réseau dans son ensemble, afin de lui permettre de répondre au mieux aux besoins d'observation selon l'évolution des enjeux, aujourd'hui dominés par le changement climatique. Cependant ces réflexions et arbitrages stratégiques devront pouvoir se faire en connaissance des choix possibles. Il importe pour cela de mener un travail de prospection.

En premier lieu, quelles sont les possibilités de trouver un site de remplacement à proximité de chacune des placettes susceptibles de devoir être remplacées prochainement ? Des premières réponses ont été obtenues en sollicitant les agents locaux impliqués dans le réseau, même si elles nécessiteront d'être examinées plus en détail sur le terrain. Les possibilités peuvent être assez simples si l'on vise à retrouver un site proche dominé par la même essence que la placette actuelle. Toutefois, dans le cas de placettes initialement installées dans des pessières, il importe d'élargir les recherches locales à des écosystèmes dominés par d'autres essences déjà représentées ailleurs dans le réseau et moins vulnérables aux attaques biotiques que l'épicéa. Au final, toutes les placettes susceptibles de devoir être remplacées ne présenteront pas forcément dans leur voisinage de sites pertinents où installer une nouvelle placette en remplacement.

Par ailleurs, quelles sont donc les possibilités de trouver des sites d'intérêt dans d'autres contextes écologiques qui pourraient compléter judicieusement la gamme des écosystèmes forestiers représentée dans le réseau ? En particulier, aux avant-postes des impacts du réchauffement climatique, peut-on trouver des sites de remplacement potentiels dans des marges plus chaudes et/ou plus sèches que la gamme écologique actuellement couverte pour chaque essence déjà représentée dans le réseau ? Une première étude est prévue en 2022, dans le cadre d'un sujet d'apprentissage, pour explorer les marges chaudes et sèches du chêne sessile, en recoupant les points de présence de cette essence dans l'inventaire forestier national avec les cartes de climat simulées avec le modèle IKS. Là encore, les forêts qui pourront être identifiées par cette première approche demanderont à être examinées plus en détail, à travers les informations des documents d'aménagement puis des visites de terrain, jusqu'à pouvoir délimiter des sites de 2 ha répondant aux différents prérequis pour l'installation de placettes.

3.5. Mettre en sommeil les placettes à remplacer et en installer de nouvelles

Enfin, une fois identifiés les placettes à remplacer et les sites où les repositionner, il restera alors à réaliser concrètement ces opérations de remplacement.

La mise en sommeil de chaque placette à remplacer supposera :

- de veiller à garder la mémoire de son emplacement précis pour pouvoir y revenir ultérieurement (cf. chapitre 3.1),
- de finaliser les séries de mesure collectées depuis 1992 (inventaires dendrométrique et floristique, rééchantillonnage des sols, carottage dendrochronologique et prélèvement génétique sur les arbres-observation restants) de la même manière qu'avant la récolte d'un peuplement (cf. chapitre 3.2),
- de démonter et récupérer les matériels de suivi,
- et de maintenir un état de veille sur le devenir du peuplement pour garder le bénéfice de l'historique enregistré depuis 1992, en organisant une remontée d'information régulière sur les opérations sylvicoles et en prévoyant un inventaire dendrométrique tous les 10 ans par échantillonnage statistique.

L'installation de chaque nouvelle placette en remplacement nécessitera :

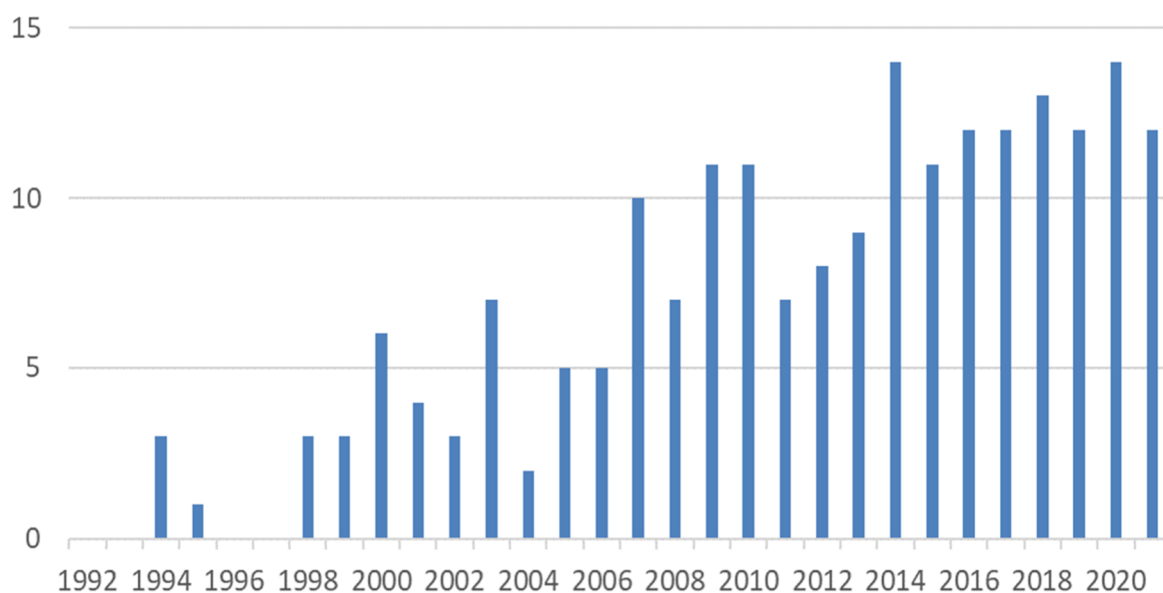
- de vérifier l'adéquation du site choisi (ex : homogénéité des conditions édaphiques) et la disponibilité et la motivation des agents locaux pour s'impliquer dans le réseau et les opérations de suivi prévues à long terme,
- de définir et matérialiser le périmètre de 2 ha et la zone centrale de 0,5 ha, selon le schéma d'implantation en vigueur depuis l'installation du réseau,
- d'étiqueter en plein toutes les tiges de plus de 5 cm de diamètre au sein de la zone centrale de 0,5 ha, et de désigner 52 arbres-observation et échantillon parmi les arbres d'avenir de l'essence principale,
- d'installer les dispositifs de suivi (grappes de prélèvement de sol, bandes d'inventaires floristiques, dendromètres, collecteurs selon le niveau de suivi de la placette),
- de réaliser une première caractérisation du contexte écologique (ouverture et description de fosses pédologiques) et d'initier les séries de mesures et de prélèvements réguliers (inventaire dendrométrique, inventaire floristique, échantillonnage du sol, prélèvements foliaires, observations annuelles des arbres-observation...),
- de cartographier l'ensemble des dispositifs et des arbres,
- de rechercher les informations disponibles sur l'historique de gestion de la parcelle forestière et l'occupation ancienne du terrain,
- d'intégrer toutes ces nouvelles informations dans la base de données du réseau.

L'équipe de coordination s'est employée, selon ses moyens, à lancer les actions nécessaires à l'évolution du réseau RENECOFOR, mais beaucoup reste à faire. Sa reconnaissance comme une Mission d'intérêt général à partir de 2021 est un soutien fort de l'Etat pour le financement de sa poursuite à long terme. Cependant, la mise en œuvre des opérations nécessaires à sa pérennité dépendra aussi des moyens humains qui pourront être mobilisés pour renforcer les capacités de sa coordination.

Tableau 2 : Nombre de publications et communications scientifiques nouvellement recensées en 2021 comme émanant du réseau RENECOFOR et/ou basées sur ses données. *Les articles scientifiques acceptés en 2021 mais publiés ultérieurement ne sont pas comptabilisés.*

	Documents portant sur des données de monitoring nationales uniquement	Documents portant sur des données de monitoring de plusieurs pays	Total
Présentations orales	12	2	14
Publications dans des revues à comité de lecture	7	5	12
Manuels de référence	1	1	2
Rapports scientifiques		1	1
Autres documents	5	1	6
<i>Total</i>	<i>25</i>	<i>10</i>	<i>35</i>

Figure 5 : Nombre d'articles publiés de 1992 à 2021 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 2 comptabilise par catégorie les publications et communications scientifiques nouvellement recensées en 2021 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. Près de la moitié 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 programme 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 de 10 à 15 publications par an.

4.2. Revue de quelques résultats marquants publiés en 2021

4.2.1. *Le déclin de la santé des arbres reflète-t-il une perte de croissance ?*

La santé des arbres forestiers est menacée par les changements globaux. Le déficit foliaire, principal indicateur suivi dans le cadre du programme ICP Forests, s'est accru significativement au cours des vingt dernières années pour la plupart des essences, en Europe (Potočić *et al.*, 2021) et en France (IGN, 2021). Sans impliquer jusqu'ici de phénomène de mortalité massive, cette tendance progressive de dégradation de l'état de santé des arbres forestiers peut-elle être l'indicateur d'une réduction de leur productivité et de leur capacité à séquestrer du carbone de l'atmosphère ? C'est la question à laquelle se sont attachés Ferretti *et al.* (2021) dans un article publié dans *Ecological Indicators*, en analysant la corrélation entre le déficit foliaire et la croissance mesurée sur 10 ans sur les plus de 3 000 arbres-observation, au sein du réseau RENECOFOR. L'analyse a été conduite à la fois à l'échelle de chaque placette, et à l'échelle de l'ensemble du réseau pour chaque essence dominante. Comparativement aux arbres sains (déficit foliaire ≤ 10 %), une réduction significative de la croissance des arbres apparaît dès les premiers incréments de déficit foliaire (15 %). Cette perte de croissance relative suit une pente moyenne de -0,7 à -0,9 % par 1 % d'augmentation du déficit foliaire. Pour les placettes qui ont pu être examinées sur deux périodes différentes de dix ans (1995-2004 et 2000-2009), on observe aussi que la croissance moyenne des arbres tend à diminuer quand leur déficit foliaire moyen augmente au cours du temps. Le déficit foliaire se comporte donc effectivement comme un indicateur de perte de croissance relative des arbres. Le niveau qu'il a atteint progressivement à l'échelle nationale et européenne pourrait donc bien refléter un manque de séquestration de carbone substantiel par rapport à la pleine capacité d'atténuation du réchauffement climatique que la forêt aurait si elle était en bonne santé.

4.2.2. Comparaison des dépôts atmosphériques modélisés et mesurés en Europe

Malgré leur réduction notable depuis plusieurs décennies, les retombées atmosphériques de polluants soufrés et azotés demeurent encore aujourd'hui un facteur d'influence important pour le fonctionnement des écosystèmes forestiers, et un enjeu international. Pour asseoir la définition de plafonds d'émissions de polluants, la Convention Air dispose de différents organes scientifiques à l'échelle paneuropéenne. D'une part, le programme EMEP dispose d'une soixantaine de stations de suivi en zone ouverte, et fournit une cartographie européenne des dépôts atmosphériques basée sur des inventaires d'émissions de polluants et une modélisation de leur transport à longue distance. D'autre part, les effets de ces pollutions atmosphériques sont évalués par d'autres programmes, dont ICP Forests qui mesure également les retombées de polluants atmosphériques en zone ouverte et sous le couvert des arbres, à l'endroit des écosystèmes forestiers qu'il suit dans le cadre de son réseau de monitoring intensif, composé de plusieurs centaines de placettes. Cependant, bien que sous l'égide de la même Convention Air, les résultats de ces deux programmes ont rarement été analysés conjointement. Marchetto *et al.* (2021) se sont donc attachés à comparer les valeurs de dépôts annuels d'azote inorganique (nitrates et ammonium) et de sulfates prédites par les cartes du programme EMEP, à l'endroit des stations EMEP et ICP Forests, avec les valeurs mesurées par ces mêmes stations, entre 2010 et 2014. En dehors du couvert forestier, les résultats montrent une bonne cohérence globale des valeurs prédites avec les valeurs mesurées pour les dépôts de sulfates et de nitrates, avec un biais moyen inférieur à 25 %, mais avec des écarts plus importants pour l'ammonium, qui pourrait être davantage influencé par des sources d'émission locales. Concernant les dépôts totaux prédits par le modèle, ils se révèlent assez cohérents avec les valeurs mesurées sous le couvert forestier pour ce qui concerne les sulfates, qui sont peu sujets à des flux d'absorption ou de relargage par le feuillage des arbres. En revanche, les nitrates et l'ammonium, qui subissent de forts échanges au niveau de la canopée, présentent logiquement une faible concordance entre les prédictions du modèle et les dépôts mesurés sous le couvert forestier. Ces résultats sont donc plutôt rassurants quant à la cohérence globale des modèles EMEP avec les valeurs mesurées *in situ* à l'échelle européenne. Les écarts notables qui peuvent être observés à l'endroit de certains sites, ou globalement pour l'ammonium ou pour les dépôts totaux, montrent néanmoins les progrès restant à faire pour évaluer correctement tous types de retombées polluantes en tout point du continent, et l'intérêt de disposer de mesures directes à l'endroit où l'on suit les impacts de ces pollutions sur les écosystèmes.

4.2.3. Quel effet du réchauffement climatique sur la flore du sous-bois ?

Le réchauffement du climat est un facteur de pression mondial qui pèse sur la répartition des espèces, les poussant à migrer en direction des pôles et en altitude. Cela modifie les assemblages de communautés dans le sens d'une réduction de la part d'espèces adaptées au froid et d'une augmentation de la part d'espèces thermophiles : c'est ce que l'on nomme la thermophilisation. Cependant, ce processus d'adaptation des communautés biologiques est limité par la vitesse de migration des espèces et il suit le réchauffement avec de plus en plus de retard, ce que l'on appelle la « dette climatique ». Concernant la flore forestière française, ce retard d'adaptation a déjà été constaté par Bertrand *et al.* (2011), en particulier dans les forêts de plaine, à partir de

dizaines de milliers de relevés ponctuels compilés depuis 1965. Toutefois, il y a un enjeu à mieux comprendre la dynamique et les facteurs de ce retard. Grâce au recul acquis depuis 1995 dans le suivi de la flore de ces 102 placettes, à l'effort investi dans la qualité de ces relevés, et aux nombreux paramètres observés à l'échelle de chaque écosystème, le réseau RENECOFOR apporte aujourd'hui un jeu de données utile pour analyser les tendances à l'œuvre dans les communautés végétales et le rôle de différents facteurs sur cette dynamique. C'est l'objet du travail de post-doctorat financé en 2018-2019 par l'ONF au sein de l'Université de Picardie, et dont les résultats ont été publiés dans le journal *Global Ecology and Biogeography* (Richard *et al.*, 2021). Ces résultats confirment une évolution significative des communautés végétales vers une plus grande thermophilie de 1995 à 2015, avec une augmentation de +0,08°C/décennie la température bioindiquée par ces communautés, mais avec là-aussi un retard croissant par rapport au réchauffement du climat (compris entre +0,22 et +0,28 °C par décennie). Il ressort de plus que ce retard est relativement plus important sous les peuplements les plus âgés et denses en surface terrière, et qu'il est plus réduit dans les placettes avec la plus grande fréquence d'éclaircies. Cela montre un effet de facteurs locaux sur la vitesse d'adaptation de la flore au réchauffement du climat, et suggère en particulier l'effet d'un microclimat plus ou moins important selon la densité du couvert arboré. Les projets de recherche menés par l'Université de Picardie sur le microclimat, également sur le support du réseau RENECOFOR, devraient permettre de mieux évaluer l'effet d'atténuation des variations de température subies par le sous-bois en fonction des caractéristiques du couvert arboré. Déjà ils ont contribué à une caractérisation du microclimat forestier à l'échelle européenne (Haesen *et al.*, 2021).

4.3. 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 2021, elle a répondu à 15 demandes de données. Le programme ICP Forests a également relayé 19 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 et ses sites, à condition que les mesures envisagées ne portent pas atteinte aux missions de suivi du réseau RENECOFOR (cf. chapitre 2.4).

Le Tableau 3 liste les projets de recherche en cours en 2021 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.

5. Conclusions

Le réseau RENECOFOR constitue un patrimoine d'informations inédit et actif depuis 1992 pour observer les changements globaux, d'une part, et constater leurs effets sur les écosystèmes forestiers, d'autre part. Les activités régulières programmées en 2021 ont bien été réalisées, ainsi que la campagne d'inventaires floristiques initialement empêchée en 2020 par les restrictions liées à l'épidémie de Covid-19. En 2021, malgré les difficultés dues à la pandémie de Covid-19, il a pu poursuivre l'essentiel de ses activités comme prévu. Sa valeur continue de s'accroître au fil du temps. La production d'articles scientifiques se poursuit à un rythme soutenu : on en recense plus de 200, ainsi que 21 thèses de doctorat, couvrant une large gamme de domaines d'étude jusqu'au-delà de ses missions.

RENECOFOR est en passe de franchir 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 reste une approche indispensable pour évaluer, mieux comprendre et essayer d'anticiper des phénomènes inédits. Sa reconnaissance comme une Mission d'intérêt général à compter de 2021 est un soutien fort de l'Etat pour le financement de sa poursuite à plus long terme. Cependant le réseau nécessite des adaptations pour répondre 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. Cela impliquera notamment le renouvellement d'une partie des placettes arrivant à échéance de leur récolte, dès à partir de 2022 pour les premières. Les opérations nécessaires à cette évolution ont commencé à être préparées dès 2020, mais leur mise en œuvre pratique s'ajoute aux activités régulières et ne peut progresser que dans la limite des moyens humains actuellement disponibles. Une montée en capacité est nécessaire pour pouvoir absorber tout l'effort que ces opérations d'adaptation supposent à partir de 2022.

Tableau 3 : Projets de recherche en cours en 2021 et auxquels l'équipe de coordination a apporté une contribution particulière

Intitulé	Financier(s)	Période	Contributions du réseau RENECOFOR
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 : ~56 placettes 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 à l'installation et au fonctionnement du dispositif
Projet AMORAD II : Thèse + post-doctorat sur le comportement à long terme des retombées atmosphériques ¹³⁷ Cs dans les forêts françaises	IRSN	2019-2022	- Fourniture de données et d'échantillons archivés - Appui à l'organisation de prélèvements d'échantillons de biomasse sur les placettes CATAENAT
Projet FoRepro : Impact du changement climatique sur la reproduction et la régénération des arbres forestiers (suite du projet PotenChêne)	ANR	2019-2023	- Support d'étude : 12 placettes équipées pour la collecte de fleurs et de fruits sur des arbres individuels (10 chênes sessiles par placette), et installation de dendromètres électroniques - Participation des agents locaux au fonctionnement du dispositif - Test d'un protocole de suivi simplifié de fructification et de germination
Essai de caractérisation des couleurs de référence de la sénescence foliaire	SOERE TEMPO	2020-2021	- Prélèvements et observations en forêt de Fontainebleau
Observatoire des saisons : guide d'observation phénologique "Les plantes au rythme des saisons"	Labex OTMed	2020-2022	- Participation aux adaptations pour des éditions en allemand puis en anglais

Tableau 3 (suite) : Projets de recherche en cours en 2021 et auxquels l'équipe de coordination a apporté une contribution particulière

Intitulé	Financier(s)	Période	Contributions du réseau RENECOFOR
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 de Lena Wohlgemuth : Impact saisonnier de la végétation sur le dépôt atmosphérique de mercure	Université de Bâle	2018-2021	- Fourniture de données et d'échantillons
Thèse de Margaux Clesse : Étude multi-site de la réponse et résilience de la fertilité chimique des écosystèmes forestiers dans un contexte de changement	INRAE, ONF	2019-2022	- Fourniture de données et d'échantillons - Participation au pilotage de la thèse
Projet GENSPIR : Caractérisation Génétique et Ecologique des provenances de chênes du LimousiN au sein de leur complexe d'espèces, application à la gestion et à la conservation des Ressources forestières du futur.	Rémy Martin	2021-2024	- Fourniture de données et sites d'étude
Projet ROCOCO : Rendre les modèles de dynamique du Carbone du sol prédictifs dans les forêts françaises	ADEME	2021-2024	- Fourniture de données et sites d'étude

6. Bibliographie

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

- Bose A.K., Scherrer D., Camarero J.J., Ziche D., Babst F., Bigler C., Bolte A., Dorado-Liñán I., Etzold S., Fonti P., Forrester D.I., Gavinet J., Gazol A., González de Andrés E., Karger D.N., Lebourgeois F., Lévesque M., Martínez-Sancho E., Menzel A., Neuwirth B., **Nicolas M.**, Sanders T.G.M., Scharnweber T., Schröder J., Zweifel R., Gessler A., Rigling A., 2021. Climate sensitivity and drought seasonality determine post-drought growth recovery of *Quercus petraea* and *Quercus robur* in Europe. *Science of the Total Environment*, 784:147222, doi:10.1016/j.scitotenv.2021.147222
- Ferretti M., König N., Granke O., **Nicolas M.**, 2021: Part III: Quality Assurance within the ICP Forests monitoring programme. In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, 14 p. + Annex
- Ferretti M., Bacaro G., Brunialti G., Calderisi M., **Croisé L.**, Frati L., **Nicolas M.**, 2021. Tree canopy defoliation can reveal growth decline in mid-latitude temperate forests. *Ecological Indicators* 127:107749, doi:10.1016/j.ecolind.2021.107749
- Haesen S., Lembrechts J.J., De Frenne P., Lenoir J., Aalto J., Ashcroft M.B., Kopecký M., Luoto M., Maclean I., Nijs I., Niittynen P., van den Hoogen J., Arriga N., Br?na J., Buchmann N., ?iliak M., Collalti A., De Lombaerde E., Descombes P., Gharun M., Goded I., Govaert S., Greiser C., Grelle A., Gruening C., Hederová L., Hylander K., Kreyling J., Kruijt B., Macek M., Máliš F., Man M., Manca G., Matula R., Meeussen C., Merinero S., Minerbi S., Montagnani L., Muffler L., Ogaya R., Penuelas J., Plichta R., Portillo-Estrada M., Schmeddes J., Shekhar A., Spicher F., Ujházyová M., Vangansbeke P., Weigel R., Wild J., Zellweger F., Van Meerbeek K., 2021. ForestTemp - Sub-canopy microclimate temperatures of European forests. *Global Change Biology*, 27(23): 6307-6319, doi: 10.1111/gcb.15892
- Journé V., Caignard T., Hacket-Pain A., Bogdziewicz M., 2021. Leaf phenology correlates with fruit production in European beech (*Fagus sylvatica*) and in temperate oaks (*Quercus robur* and *Quercus petraea*). *European Journal of Forest Research*, doi:10.1007/s10342-021-01363-2
- Marchetto A., Simpson D., Aas W., Fagerli H., Hansen K., Pihl-Karlsson G., Karlsson P.E., Rogora M., Sanders T.G. M., Schmitz A., Seidling W., Thimonier A., Tsyro S., de Vries W., Waldner P., 2021. Good agreement between modeled and measured Sulfur and Nitrogen deposition in Europe, in spite of marked differences in some sites. *Frontiers in Environmental Science*, doi: 10.3389/fenvs.2021.734556
- Merceron Q., Cecchini S., Croisé L., Le-Guerroué B., Namèche-Le Dilhuit M., Macé S., Nicolas M.**, 2021. RENECOFOR : Manuel de référence n°16 pour la caractérisation génétique des arbres, première version. Fontainebleau, Office national des Forêts, 14 p.
- Michel A., Kirchner T., Prescher A.K., Schwärzel K. (ed.), 2021. Forest Condition in Europe: The 2021 Assessment. ICP Forests Technical Report under the UNECE Convention on

- Long-range Transboundary Air Pollution (Air Convention). Eberswalde: Thünen Institute, 103 p, doi:10.3220/ICPTR1624952851000
- Morin X., de Coligny F., Martin-StPaul N., Bugmann, H., Cailleret M., Limousin J.M., Ourcival J.M., Prevosto B., Simioni G., Vennetier M., Guillemot J., 2021. Beyond forest succession: a gap model to study ecosystem functioning and tree community composition under climate change. *Functional Ecology*, 35(4):955-975, doi:10.1111/1365-2435.13760
- Nicolas M., Cecchini S., Croisé L., Lavalley C., Macé S.**, 2021. RENECOFOR : bilan technique de l'année 2020. Fontainebleau : ONF. Département recherche, développement et innovation. 26 p.
- Nicolas M.**, Delpont F., 2021. Activities related to forest health and biodiversity monitoring in the frame of the ICP Forests programme, report of the mission in France from 31 August until 3 September 2021. Rapport de mission, partenariat AFD-OGM-ONFI. Fontainebleau : ONF. Département recherche, développement et innovation. 14 p.
- Nicolas M.**, Mathias E., 2021 : Dépôts atmosphériques en forêt. In : Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises, édition 2020. IGN, <https://foret.ign.fr/IGD/>
- Nicolas M.**, Rocquencourt A., Carouille F., 2021 : Synthèse du critère 2 - santé et vitalité des forêts. In : Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises, édition 2020. IGN, <https://foret.ign.fr/IGD/>
- Nicolas M.**, Saenger A., Jonard M, Caignet I., Ponette Q., Pousse N., 2021 : Propriétés chimiques des sols forestiers. In : Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises, édition 2020. IGN, <https://foret.ign.fr/IGD/>
- Nussbaumer A., Gessler A., Benham S., de Cinti B., Etzold S., Ingerslev M., Jacob F., Lebourgeois F., Levanic T., Marjanovic H., **Nicolas M.**, Ostrogovic Sever M.Z., Privitzer T., Rautio P., Roskams P., Sanders T.G.M., Schmitt M., Sramek V., Thimonier A., Ukonmaanaho L., Verstraeten A., Vesterdal L., Wagner M., Waldner P., Rigling A., 2021. European beech and oak species show contrasting resource dynamics in mast years - a continental scale analysis. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4:689836, doi:10.3389/ffgc.2021.689836
- Pisarek P., Bueno M., Thiry Y., **Nicolas M.**, Gallard H., Le Hécho I., 2021. Selenium distribution in French forests: Influence of environmental conditions. *Science of the Total Environment*, 774:144962, doi:10.1016/j.scitotenv.2021.144962
- Potočić N., Timmermann V., Ognjenović M., Kirchner T., Prescher A.K., Ferretti M., 2021. Tree health is deteriorating in the European forests (ICP Forests Brief No. 5). Programme Co-ordinating Centre of ICP Forests, Thünen Institute of Forest Ecosystems. DOI:10.3220/ICP1638780772000
- Richard B., Dupouey J.-L., Corcket E., Alard D., Archaux F., Aubert M., Boulanger V., Gillet F., Langlois E., **Macé S.**, Montpied P., Beaufils T., Begeot C., Behr P., Boissier J.-M., Camaret S., Chevalier R., Decocq G., Dumas Y., Eynard-Machet R., Gégout J.-C., Huet S., Malécot V., Margerie P., Mouly A., Paul T., Renaux B., Spicher F., Thirion E., **Ulrich E., Nicolas M.**, Lenoir J., 2021. The climatic debt is growing in the understorey of temperate forests: Stand characteristics matter. *Global Ecology and Biogeography* 2021; 00:1–14, doi: 10.1111/geb.13312

- Roulier M., Bueno M., Coppin F., **Nicolas M.**, Thiry Y., Rigal F., Pannier F., Le Hécho I., 2021. Atmospheric iodine, selenium and caesium depositions in France: I. Spatial and seasonal variations. *Chemosphere*, 273:128971, doi:10.1016/j.chemosphere.2020.128971
- Roulier M., Bueno M., Coppin F., **Nicolas M.**, Thiry Y., Rigal F., Pannier F., Le Hécho I., 2021. Atmospheric iodine, selenium and caesium depositions in France: II. Influence of forest canopies. *Chemosphere*, 273:128952, doi:10.1016/j.chemosphere.2020.128952
- Suz L.M., Bidartondo M.I., van der Linde S., Kuyper T.W., 2021. Ectomycorrhizas and tipping points in forest ecosystems. *New Phytologist*, 231: 1700–1707, doi: 10.1111/nph.17547

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

- Arrouays D., Bispo A., Lemerrier B., Jolivet C., Jonard M., Martin M.P., **Nicolas M.**, Saby N.P.A., Walter C., 2021. Les dispositifs nationaux de surveillance à long-terme de l'évolution des propriétés des sols de France. Communication orale. 22 diapositives. Session de l'Académie d'agriculture de France "Les essais à long terme : observation et manipulation, outils indispensables pour la connaissance des écosystèmes", 6 octobre 2021, Paris.
- Croisé L.**, 2021. Début des travaux de cartographie des arbres et des dispositifs au sein des placettes RENECOFOR. Communication orale. 19 diapositives. Réunion d'information du réseau RENECOFOR, 5-6 octobre 2021, Annecy.
- Gril E., Lenoir J., 2021. Projet IMPRINT. Communication orale. 25 diapositives. Réunion d'information du réseau RENECOFOR, 5-6 octobre 2021, Annecy.
- Gril E., Spicher F., Lenoir J., 2021. Projet MORFO : le microclimat sous couvert forestier. Communication orale. 21 diapositives. Réunion d'information du réseau RENECOFOR, 5-6 octobre 2021, Annecy.
- Jonard M., **Nicolas M.**, Coomes D., Caignet I., Saenger A., Ponette Q., 2021. RENECOFOR : un outil précieux pour suivre et mieux comprendre la dynamique du carbone des sols forestiers. Communication orale. 25 diapositives. Comité des sciences de l'environnement de l'Académie des sciences, 13 décembre 2021.
- Landmann G., **Nicolas M.**, Saint-André L., 2021. Suivi intensif et réseaux expérimentaux à long terme des écosystèmes forestiers, en particulier du compartiment sol. Communication orale. 19 diapositives. Session de l'Académie d'agriculture de France "Les essais à long terme : observation et manipulation, outils indispensables pour la connaissance des écosystèmes", 6 octobre 2021, Paris.
- Nicolas M.**, 2021. General design and principles of the French LII monitoring network (RENECOFOR). Communication orale. 15 diapositives. Partenariat AFD-OGM-ONFI, 31 août 2021, Fontainebleau.
- Nicolas M.**, 2021. Les retombées de polluants atmosphériques en forêt ont-elles été marquées par le ralentissement économique dû à la crise du Covid-19 en 2020 ? Communication orale. 10 diapositives. Réunion d'information du réseau RENECOFOR, 5-6 octobre 2021, Annecy.

- Nicolas M.**, 2021. Quality Assurance Committee: 2021 revision of the Manual part III about Quality Assurance within the Programme. Communication orale, 10 diapositives. ICP Forests, Joint Expert Panel meeting, 8 mars 2021.
- Nicolas M.**, 2021. RENECOFOR : Mesure de l'évolution du stock de carbone du sol. Communication orale. 22 diapositives. Agence française de développement, séminaire virtuel « Systèmes de suivi du carbone des sols », 7-8 juillet 2021.
- Nicolas M.**, 2021. RENECOFOR va se poursuivre au-delà de ses 30 ans, mais comment ? Avancement de la stratégie d'adaptation du réseau RENECOFOR à un suivi de très long terme. Communication orale. 23 diapositives. Réunion d'information du réseau RENECOFOR, 5-6 octobre 2021, Annecy.
- Nicolas M.**, 2021. Report of the activity of the Quality Assurance Committee. Communication orale, 6 diapositives. ICP Forests, Programme Coordinating Group meeting, 9 nov 2021.
- Roulier M., Okhrimchuk D., Coppin F., Hurtevent P., Simon-Cornu M., Gonze M.A., Calmon P., Probst A., 2021. Devenir à long terme des dépôts atmosphériques du césium-137 sur les forêts françaises. Communication orale. 24 diapositives. Réunion d'information du réseau RENECOFOR, 5-6 octobre 2021, Annecy.
- Venner S., 2021. Dynamique de la fructification des chênes. Communication orale. 31 diapositives. Réunion d'information du réseau RENECOFOR, 5-6 octobre 2021, Annecy.

6.3. 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.
- Bertrand R., Lenoir J., Piedallu C., Riofrío-Dillon G., de Ruffray P., Vidal C., Pierrat J.-C., Gégout J.-C., 2011: Changes in plant community composition lag behind climate warming in lowland forests. *Nature*, 479, 517–520. <https://doi.org/10.1038/nature10548>
- 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.
- IGN, 2021 : Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises métropolitaines, édition 2020. IGN, <https://foret.ign.fr/IGD/>
- 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.
- Malabeux L., Munoz A., 2021 : Tests de récepteurs GNSS sous couvert forestier. Chambéry, ONF, 38 p.
- Redon P.-O., Abdelouas A., Bastviken D., Cecchini S., Nicolas M., Thiry Y. 2011. Chloride and organic chlorine in forest soils: storage, residence times, and influence of ecological conditions. *Environmental Science & Technology*, 45 (17) : 7202-7208 [dx.doi.org/10.1021/es2011918](https://doi.org/10.1021/es2011918)
- 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.

Ulrich E., Vannière B., Duplat P., Demolis C., Guyon J.-P., 1994 : RENECOFOR - Manuel de référence n°1 pour la sélection et l'implantation des placettes permanentes, éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, 34 p.

Crédit photographique (couverture)

Sébastien Cecchini (en haut à gauche et en bas), Luc Croisé (en haut à droite)

Légendes des photos de la couverture

En haut à gauche : Prise de mesure à l'occasion de la cartographie de la placette CHP 10 en février 2021.

En haut à droite : Prélèvements foliaires au fusil sur la placette CPS 77, à l'occasion de la campagne de suivi nutritif des peuplements

En bas : Dénombrement de glands sur la placette CPS 77 en octobre 2020, dans la cadre du projet FOREPRO qui a pour objectif le suivi de la dynamique des glandées et du succès de régénération des peuplements de chêne

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