

## Bilan technique de l'année 2018



Juillet 2019



Ce document est à citer sous la forme suivante :  
NICOLAS M., CECCHINI S., CROISÉ L., LAVALLEY C., MACÉ S., 2019 :  
RENECOFOR – Bilan technique de l'année 2018.  
Éditeur : Office national des forêts, Direction forêts et risques naturels, 23 p.



# RENECOFOR

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

## Bilan technique de l'année 2018

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'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie,
- l'Office national des forêts.

Juillet 2019

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
1.1.1.	Objectifs initiaux .....	1
1.1.2.	Objectifs redéfinis en 2007.....	3
1.2.	Organisation du réseau RENECOFOR .....	3
1.3.	Financement et gouvernance .....	4
1.4.	Évaluation scientifique.....	4
2.	Activités de l'année 2018.....	5
2.1.	Réalisation du programme de mesures.....	5
2.2.	Remplacement des collecteurs de pluviessivats sur les 14 sites de niveau A3 .....	6
2.3.	Support pour d'autres mesures sur le terrain : suivi du microclimat.....	6
2.4.	Réunion d'information annuelle.....	7
2.5.	Communication .....	8
3.	Lancement d'une réflexion stratégique sur l'avenir de RENECOFOR .....	9
3.1.	Des missions et des moyens à redéfinir à plus long terme .....	9
3.2.	Des défis techniques à relever .....	9
3.3.	Une réflexion relayée à l'échelle internationale .....	10
4.	Publications écrites et communications orales.....	12
4.1.	Recensement des productions documentaires .....	12
4.2.	Revue de quelques résultats marquants publiés en 2018.....	12
4.2.1.	La pollution affecte les mycorhizes dont les arbres dépendent pour se nourrir .....	12
4.2.2.	Quel effet de la baisse des dépôts acidifiants sur les solutions du sol ? .....	13
4.2.3.	Sur sols pauvres, les arbres recyclent d'autant plus leurs nutriments.....	14
4.2.4.	Les ongulés favorisent le développement des herbacées non forestières .....	14
4.3.	Contribution de l'équipe de coordination aux valorisations externes .....	15
4.4.	Travaux d'analyses de données à l'initiative du réseau RENECOFOR.....	16
5.	Conclusions.....	17
6.	Bibliographie.....	20
6.1.	Publications émanant de RENECOFOR et/ou basées sur ses données .....	20
6.2.	Communications orales émanant de RENECOFOR et/ou basées sur ses données .....	21
6.3.	Autres références citées.....	22

## 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 pouvoir 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 160 articles scientifiques et 16 thèses de doctorat. Les résultats publiés en 2018 illustrent la diversité des enjeux auxquels il contribue à répondre. Ils montrent notamment que les pollutions azotées même en-deçà des seuils tolérés affectent la diversité des mycorhizes dont les arbres dépendent pour se nourrir. Ils montrent aussi que la réduction des dépôts de soufre et d'azote est bien reflétée dans les solutions de drainage mais que les sols acidifiés ne présentent pas encore de dynamique évidente de restauration de leur fertilité. Ils mettent en évidence la capacité des arbres à recycler davantage leurs nutriments lorsque ceux-ci manquent dans les sols. Outre les effets des changements globaux, ils permettent de quantifier l'impact de facteurs biotiques tels que la densité d'ongulés sauvages sur la biodiversité végétale.

RENECOFOR approche de l'horizon des 30 ans pour lequel il avait été conçu initialement et son avenir au-delà reste à définir. À la suite du colloque organisé pour ses 25 ans, en 2017, une réflexion stratégique a été lancée pour élaborer des scénarios futurs pertinents et faisables, qui seront soumis à la négociation des bailleurs de fonds à l'automne 2019. Car le travail d'observation n'en est encore qu'à ses débuts au regard du cycle de vie des forêts, et face à l'incertitude dans laquelle nous projetent les changements incessants de l'environnement. Comprendre le fonctionnement complexe des écosystèmes reste un défi à relever pour pouvoir anticiper efficacement les effets des changements globaux.

# 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.

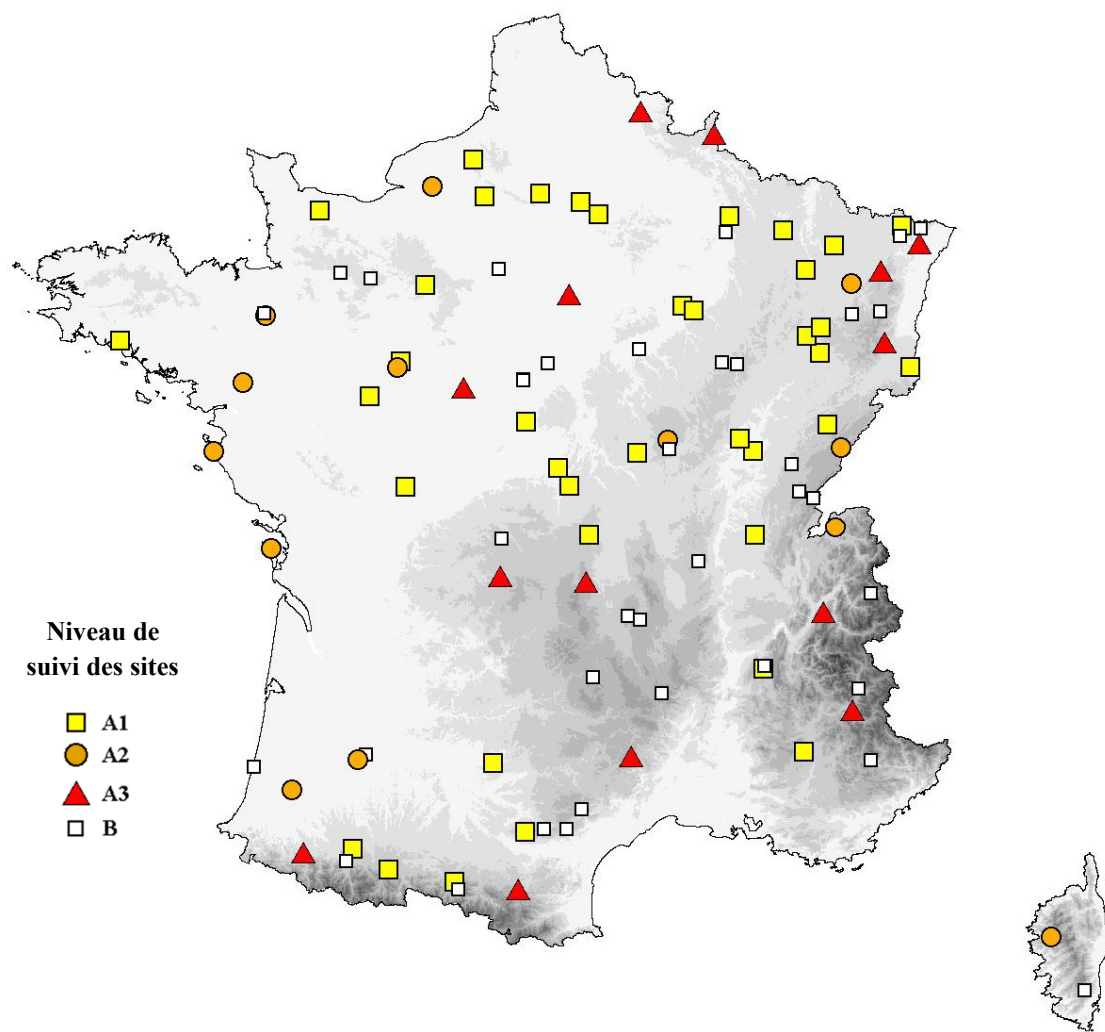
### 1.1.1. Objectifs initiaux

L'objectif 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. Les objectifs officiels suivant la résolution n° 1 de Strasbourg sont :

- Chercher à établir des corrélations entre la variation des facteurs environnementaux et la réaction des écosystèmes à l'aide de 102 peuplements étudiés intensivement sur l'ensemble du territoire français métropolitain ;
- Approfondir les connaissances sur l'évolution des écosystèmes français durant 30 ans (tendances, variations, cycle nutritif) ;
- Aider à déterminer le niveau des charges critiques en polluants susceptibles de déstabiliser les forêts ;
- Aider à mieux interpréter les observations du réseau systématique européen de niveau I (16 x 16 km).

Un cinquième objectif s'est ajouté avec le temps car il découle de l'expérience avec les utilisateurs :

- Augmenter de manière importante les connaissances scientifiques de base sur les forêts et leur hétérogénéité.



**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.



### 1.1.2. Objectifs redéfinis en 2007

À la suite de la 1ère évaluation du réseau en 2006 (Comité spécial d'évaluation) et en 2007 par le Comité scientifique de l'ONF, de nouveaux objectifs ont été définis (Birot et Landmann, 2008) :

- 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.

## 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, INRA, Irstea...) 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. Puis, de 2007 à 2018, le financement du réseau a été entièrement assuré par des bailleurs de fonds nationaux : 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) et l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME).

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](http://www.onf.fr/renecofor), à la rubrique « Qu'est-ce que RENECOFOR ? ».

## 2. Activités de l'année 2018

### 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 2018 a été réalisé. Cette année s'est distinguée par l'absence conjoncturelle de campagne de mesure de périodicité supérieure à un an : ni prélèvements foliaires (tous les 2 ans), ni inventaires floristiques ou dendrométriques réguliers (tous les 5 ans), ni prélèvements de sol (tous les 15 ans), ni suivi de l'ozone et des symptômes associés sur la végétation (période de 5 ans sans mesure suivant 5 années de mesures entre 2012 et 2016).

Sujet/année	2015	2016	2017	2018	2019	Observations
<b>Actions de fond</b>						
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						
<b>Collectes de données sur tous les sites (ensemble des niveaux A1+A2+A3+B)</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.	
<b>Collecte de données sur les 27 sites de niveau A2+A3</b>						
Mesures des dépôts atmosphériques HORS couvert uniquement						
<b>Collecte de données sur les 14 sites de niveau A3</b>						
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.

## **2.2. Remplacement des collecteurs de pluiolessivats sur les 14 sites de niveau A3**

Le choix et l'entretien des matériels sont importants pour maintenir la qualité des données mesurées au cours du temps. Les gouttières en polychlorure de vinyle (PVC) utilisées pour la collecte des pluiolessivats (dépôts de pluie sous le couvert des arbres) étaient installées pour la plupart depuis la création du réseau en 1992 et devenaient vieillissantes. Cependant les stocks de rechange étaient presque épuisés, et le modèle utilisé jusqu'alors n'avait plus d'équivalent disponible dans le commerce. Il y avait donc un enjeu à concevoir et fabriquer un nouveau modèle de collecteur pour remplacer les matériels en place sans modifier les caractéristiques de l'échantillonnage (même surface de collecte et absence d'interaction chimique avec les pluiolessivats) mais en améliorant autant que possible l'ergonomie de nettoyage (travail répété toutes les semaines).

L'étude a été confiée en 2014 à la société d'ingénierie ICARE, qui avait déjà conçu d'autres matériels pour RENECOFOR (ex : collecteurs de chutes de litière). Bien que le polyéthylène présente moins de risques d'interactions chimiques avec les échantillons, l'option la plus réaliste au vu du faible nombre d'unités à produire était d'utiliser à nouveau du PVC, moins sensible aux déformations et plus facile à usiner. La fourniture de trois prototypes a été l'occasion de réaliser des essais expérimentaux, pour vérifier leur inertie vis-à-vis du contenu chimique de l'eau prélevée (Nicolas et *al.*, 2017). Ces essais ont été menés en 2015 et 2016 en pulvérisant des solutions de qualité connue sur plusieurs exemplaires de l'ancien et du nouveau modèle de gouttière, et en récupérant chacune de ces solutions à leur exutoire pour analyse. Leurs résultats ont confirmé qu'une exposition préalable des gouttières (quel que soit leur modèle) aux intempéries pendant six mois suffisait à rendre négligeables les effets du matériau PVC sur le contenu chimique de l'eau collectée (pour les différents paramètres analysés régulièrement dans les pluiolessivats).

À la suite de ces essais, une centaine de nouvelles gouttières ont été commandées à la société ICARE puis exposées aux intempéries pendant six mois. Elles ont permis de remplacer toutes les gouttières en place sur les 14 sites de niveau A3 au cours de l'été 2018, et de reconstituer un stock de rechange pour pouvoir faire face pendant plusieurs années aux dégâts dus à des chablis, chutes de branches, ou encore à la grêle.

## **2.3. 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](mailto:manuel.nicolas@onf.fr)).

En 2018, RENECOFOR a ainsi été sollicité par l'Université de Picardie Jules Verne pour étudier la dynamique du microclimat en forêt dans le cadre du projet MORFO (MODélisation du Réchauffement microclimatique sous couvert FOrestier). 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 ?

Pour y répondre, des sondes de température ont été installées 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 résultats devraient permettre dans un premier temps d'explorer les différences du pouvoir tampon du couvert forestier sur le climat en fonction des contextes très contrastés des 13 sites d'étude.

#### **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 2018, comme tous les deux ans, la réunion d'information a été restreinte aux agents des 27 sites du sous-réseau CATAENAT. Elle s'est tenue à Angers (Maine-et-Loire). Outre les sujets préparés par l'équipe de coordination, des intervenants ont été invités :

- Laurent Augusto (INRA Bordeaux) :
  - sur la capacité des arbres à recycler les nutriments contenus dans leurs organes en fonction de la richesse du sol ;
  - puis sur les premiers retours du projet Tea bag index d'étude de la vitesse de décomposition des matières organiques en enfouissant des sachets de thé ;
- Jonathan Lenoir et Fabien Spicher (Université de Picardie Jules Verne) pour présenter le projet MORFO de suivi de la dynamique du microclimat forestier en comparaison du macroclimat mesuré dans les stations météorologiques hors couvert (voir plus haut) ;
- Sophie Cornu (ONF, Département RDI) au sujet de la documentation technique de l'ONF et des outils de recherche bibliographique à disposition des personnels.

## 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. Après la parution en 2017 de l'ouvrage « Les plantes au rythme des saisons » avec la contribution de Sébastien Cecchini, plusieurs manifestations ont été l'occasion de valoriser l'exposition éponyme pour inciter le grand public à observer la phénologie des plantes :

- Exposition « Les plantes au rythme des saisons » du 15 janvier au 2 février 2018 à la Direction générale de l'INRA à Paris ;
- Éléments d'exposition sur le stand ONF pour le 13<sup>e</sup> festival Natur'Armor au Centre des congrès de St Brieuc les 17 et 18 février 2018 ;
- Exposition « Les plantes au rythme des saisons » de mars à juin 2018 à l'École du Breuil de Paris ;
- Éléments d'exposition sur le stand ONF pour la foire Bio Génépi à Embrun les 9 et 10 octobre 2018 ;
- Exposition « Les plantes au rythme des saisons » et conférence de Sébastien Cecchini le 17 novembre 2018 à La Madeleine sur Loing (77) en partenariat avec l'association les liens du Loing.

**Illustration de l'exposition « Les plantes au rythme des saisons » qui s'est tenue de mars à juin 2018 dans les jardins de l'École du Breuil de Paris. Photographie par Sébastien Cecchini / ONF**



### **3. Lancement d'une réflexion stratégique sur l'avenir de 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 la poursuite de ce dispositif et, le cas échéant, de la définition d'une nouvelle stratégie à long terme. En octobre 2017, le colloque organisé pour les 25 ans du réseau a dressé le bilan des nombreux résultats acquis et a soulevé la question des perspectives à donner à l'observation des forêts dans les décennies voire les siècles à venir (Nicolas *et al.*, 2018). C'est à la suite de cet événement, dès le début de l'année 2018, que le Comité de pilotage scientifique du réseau s'est saisi de cette réflexion stratégique.

#### **3.1. Des missions et des moyens à redéfinir à plus long terme**

La poursuite d'un tel dispositif d'observation à long terme dépend en premier lieu de l'engagement de ses bailleurs de fonds sur les moyens alloués et au regard des intérêts publics en jeu. La réflexion lancée a donc pour but d'élaborer des scénarios d'avenir à la fois pertinents (au regard des politiques publiques et de la science) et faisables (en termes de moyens et d'orientations techniques), et de les soumettre à l'automne 2019 pour la négociation du prochain Contrat d'objectifs et de performance de l'ONF pour la période 2021-2025. Plusieurs réunions ont été tenues en 2018 en commençant par :

1. identifier, avec les représentants des bailleurs de fonds, les enjeux et questionnements généraux auxquels le réseau doit et/ou pourrait contribuer à répondre,
2. pour chacun de ces enjeux, positionner le réseau vis-à-vis des autres dispositifs existants.

De plus, outre les enjeux des politiques publiques, suivre les écosystèmes forestiers au-delà de 30 ans voire sur un siècle soulève des défis techniques. La réflexion stratégique engagée en France a été l'occasion d'en identifier plusieurs et de les partager à l'échelle internationale.

#### **3.2. Des défis techniques à relever**

Le réseau international de monitoring intensif des forêts (PIC Forêt, niveau II), dont fait partie RENECOFOR, 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. Or ces prérequis initiaux ont déjà remis en cause par les dégâts de tempêtes dans certaines placettes (peuplements prématurément mis à bas ou rendus très hétérogènes), et le seront à plus ou moins long terme dans les autres par le besoin de renouvellement des peuplements.

Des choix stratégiques doivent donc être faits pour répondre à différents défis dans les prochaines décennies. Les principales questions identifiées sont les suivantes :

- Comment gérer les placettes permanentes passant au stade de la régénération, que ce soit du fait d'une récolte finale programmée ou d'aléas (tempête, incendie, ravageurs...) ? Vaut-il mieux les suivre toujours au même endroit en intégrant les phases juvéniles aux objectifs du suivi intensif ? Ou vaut-il mieux se cantonner aux phases adultes, pour

ne pas ajouter le stade de développement dans les facteurs d'influence à prendre en compte, et remplacer ces placettes en conséquence ?

- Comment gérer les placettes permanentes devenues hétérogènes à la suite d'aléas ? Faut-il adapter les protocoles de suivi à ces situations pour essayer d'évaluer l'hétérogénéité et de la prendre en compte dans les évolutions observées ? Ou vaut-il mieux remplacer ces placettes ?
- Tout dispositif peut créer des biais sur son objet d'étude et son évolution, comme l'illustre notamment le développement différencié de la flore entre l'intérieur et l'extérieur de placettes clôturées sous l'effet du gibier (Boulanger *et al.*, 2018). Comment évaluer et réduire l'impact à long terme des biais potentiellement induits par les dispositifs sur les écosystèmes observés ?
- Il importe de pouvoir distinguer les impacts des changements environnementaux des effets potentiels de la gestion sylvicole sur les écosystèmes observés. Comment suivre l'évolution des pratiques de gestion et leurs effets ?

### 3.3. Une réflexion relayée à l'échelle internationale

La France est précurseur dans la réflexion sur l'adaptation de ce type de réseau au suivi de très long terme, en conséquence des dégâts des tempêtes de 1999 et de l'expérience acquise sur les placettes touchées (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 enjeux soulevés ont suscité l'intérêt du PIC Forêts dans son ensemble. Lors de sa réunion du 13 novembre 2018, le groupe de coordination du programme a donc décidé la création d'un groupe de travail dédié aux questionnements sur l'avenir et la pérennité des divers réseaux constituant le dispositif du PIC Forêts. Sa première tâche est d'identifier les informations à requérir auprès des pays membres sur l'état de l'implémentation du dispositif, afin d'évaluer la portée des défis identifiés et de pouvoir asseoir une réflexion collective à l'échelle internationale.

**Illustration d'un inventaire dendrométrique sur la placette (PS 61) passée en phase de renouvellement suite aux dégâts des tempêtes de 1999. Photographie par Luc Croisé / ONF**

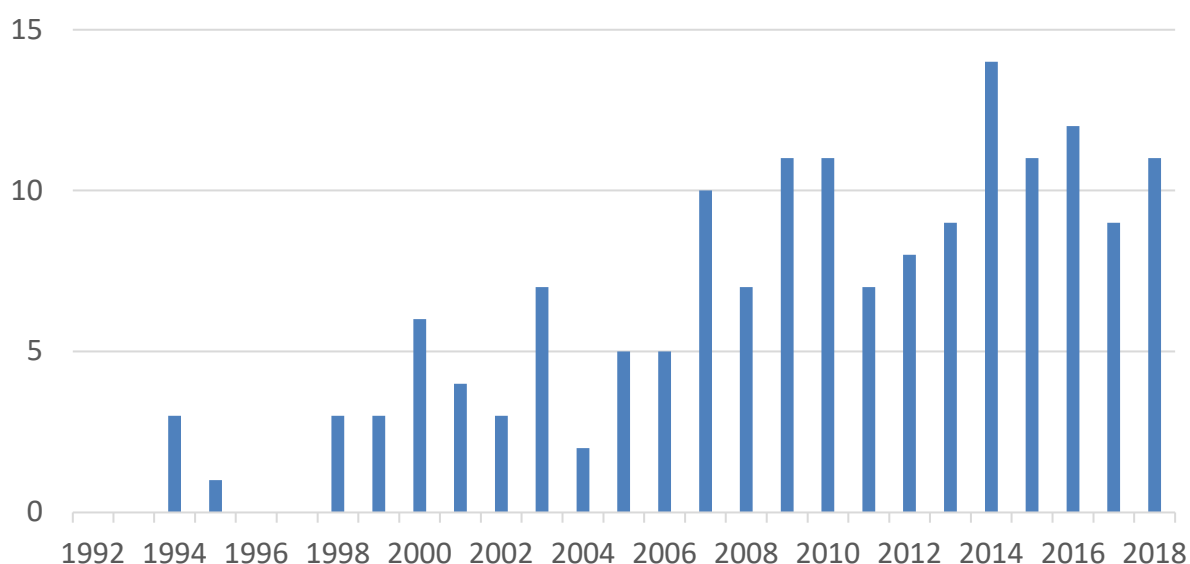




**Tableau 2 :** Nombre de publications et communications scientifiques nouvellement recensées en 2018 comme émanant du réseau RENECOFOR et/ou basées sur ses données. Les articles scientifiques acceptés en 2018 mais publiés ultérieurement ne sont pas comptabilisés.

	<b>Documents portant sur des données de monitoring nationales uniquement</b>	<b>Documents portant sur des données de monitoring de plusieurs pays</b>	<i>Total</i>
Présentations orales	7	1	8
Publications dans des revues à comité de lecture	7	4	11
Rapports scientifiques	2	1	3
Thèse de doctorat	1		1
Autres documents	1	3	4
<i>Total</i>	<i>18</i>	<i>9</i>	<i>27</i>

**Figure 4 :** Nombre d'articles publiés de 1992 à 2018 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 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 4). 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. L'année 2018 aura notamment été marquée par la publication pour la première fois d'un article dans la célèbre revue *Nature*, étude qui souligne l'impact des pollutions azotées sur la diversité des mycorhizes à l'échelle européenne (Van der Linde *et al.*, 2018).

### 4.2. Revue de quelques résultats marquants publiés en 2018

#### 4.2.1. *La pollution affecte les mycorhizes dont les arbres dépendent pour se nourrir*

Les arbres ne sont pas dotés simplement de racines, mais de racines prolongées par de longs réseaux de champignons, appelées mycorhizes. Ces associations sont basées sur l'échange entre le carbone capté par les arbres dans l'atmosphère, et l'eau et les minéraux puisés dans le sol par les champignons. La nutrition des arbres en dépend. Mais tandis que celle-ci montre d'inquiétants signaux de dégradation en Europe, la diversité des mycorhizes demeure méconnue, surtout à de vastes échelles géographiques. Difficile alors de tenir compte de ces importants auxiliaires écologiques dans la gestion forestière et dans les prévisions de réponse des écosystèmes aux changements globaux. On sait, par les inventaires de leurs parties émergées (carpophores), que la reproduction de certains champignons est sensible aux variations environnementales, mais ce qui se trame sous terre – leur croissance et leur association avec les racines – est nettement moins clair.

Grâce au support des sites du programme international ICP Forests, incluant RENECOFOR, des chercheurs de l'Imperial College de Londres et des Jardins botaniques royaux de Kew ont pu analyser la diversité des champignons mycorhiziens et ses variations dans les forêts européennes (Van der Linde *et al.*, 2018). En dix ans, ils ont analysé un total de 40 000 mycorhizes à partir de 13 000 échantillons de sol prélevés sur 137 sites répartis dans 20 pays, sous le couvert des essences les plus répandues sur le continent (hêtre, chêne, épicéa et pin sylvestre). Puis ils ont examiné les variations des communautés de champignons mycorhiziens

en fonction des conditions environnementales mesurées sur ces sites (paramètres relatifs aux arbres, au sol, au climat, aux pollutions atmosphériques et à la position géographique). Les résultats révèlent notamment un impact significatif des dépôts atmosphériques de polluants azotés. Au-delà d'un seuil de dépôt de 5-6 kg/ha/an d'azote, les communautés de champignons mycorhiziens sont modifiées au détriment d'espèces capables de mobiliser l'azote présent dans les matières organiques du sol, et au profit d'autres espèces moins avantageuses pour l'approvisionnement des arbres en nutriments. Or ce seuil de dépôt d'azote s'avère bien inférieur au seuil critique couramment admis en Europe (10-20 kg/ha/an).

En explorant une composante méconnue de la biodiversité, cette étude illustre la complexité des impacts à attendre des changements globaux sur les forêts. Elle montre aussi la valeur acquise par les réseaux installés en Europe depuis 30 ans pour suivre les écosystèmes forestiers dans toutes leurs composantes (arbres, sol, atmosphère, diversité d'espèces). Une telle étude n'aurait pas vu le jour sans un tel support, et sa publication dans *Nature* est une belle reconnaissance du travail accompli dans le cadre du programme ICP Forests.

#### 4.2.2. *Quel effet de la baisse des dépôts acidifiants sur les solutions du sol ?*

Le programme international de monitoring forestier ICP Forests a été mis en place au lendemain de la crise des pluies acides afin de mesurer les pollutions atmosphériques subies par les forêts et leurs impacts sur le fonctionnement de ces écosystèmes sensibles. Les engagements internationaux de réduction des émissions polluantes ont permis d'observer une forte réduction des retombées atmosphériques de soufre et dans une moindre mesure de celles d'azote, tant à l'échelle nationale (Pascaud *et al.*, 2017) qu'à l'échelle paneuropéenne (Waldner *et al.*, 2014). Cependant les sols forestiers qui ont été les plus sensibles à l'accumulation de ces pollutions atmosphériques acidifiantes sont aussi ceux qui disposent a priori des plus faibles ressources pour recouvrer naturellement leur fertilité chimique. Les prélèvements de terre répétés à 15 ans d'intervalle sur les 102 sites du réseau RENECOFOR ont révélé des signaux ambivalents quant à l'évolution de ces sols les plus sensibles, avec une poursuite de leur acidification (diminution du pH et du taux de saturation en bases) néanmoins sans appauvrissement de leurs réserves en nutriments échangeables (Maaf & IGN, 2016). Cependant, les propriétés du sol solide évoluent lentement et n'ont pas encore été mesurées de manière répétée dans tous les sites de monitoring intensif des forêts à l'échelle paneuropéenne. Les solutions du sol sont suivies sur un nombre restreint de sites mais apportent une indication complémentaire et plus dynamique (analyses toutes les 4 semaines) des impacts des contraintes acidifiantes et eutrophisantes.

Johnson *et al.* (2018) ont mis à profit les données mises en commun à l'échelle paneuropéenne pour analyser les tendances dans ces solutions du sol sur un ensemble de 162 sites pour la période allant de 1995 à 2012. L'évolution des concentrations de ces solutions en soufre et en azote est cohérente avec celle observée dans les dépôts atmosphériques : en moyenne, les concentrations en soufre (sulfates) ont chuté très significativement, tandis que celles en azote inorganique (nitrates) ont peu diminué et uniquement dans les couches profondes du sol (entre 40 et 80 cm de profondeur). Cependant leur impact sur l'acidité et la fertilité chimique des sols n'est pas encore évident avec des signaux variables selon les contextes et la profondeur

considérée : certains sols sensibles ont vu augmenter leur pH et leur capacité à neutraliser l'acidité, tandis que ces indicateurs ont baissé dans d'autres. Ces résultats suggèrent que la dynamique lente de restauration naturelle des sols acidifiés, voire des situations où le niveau de pollution atmosphérique reste supérieur à la charge critique d'acidité que les sols peuvent supporter.

#### 4.2.3. *Sur sols pauvres, les arbres recyclent d'autant plus leurs nutriments*

Les changements globaux interrogent de manière générale sur la capacité d'adaptation des forêts aux évolutions des conditions environnementales, qui conditionne en retour leur contribution à l'atténuation du changement climatique par la séquestration de carbone. Si la productivité des peuplements a augmenté au cours du XXe siècle sous l'effet du réchauffement climatique ou de l'impact fertilisant des dépôts d'azote, elle peut aussi être confrontée à d'autres facteurs limitants tels que la disponibilité en eau et en nutriments. Le suivi du contenu foliaire a notamment révélé une baisse inquiétante de la nutrition des arbres en phosphore, aux échelles nationale (Jonard *et al.*, 2009) et européenne (Jonard *et al.*, 2015 ; Talkner *et al.*, 2015), potentiellement due à un déséquilibre croissant lié à l'accumulation de dépôts d'azote. Un mécanisme possible d'adaptation des arbres à ce type de stress tient à leur capacité à remobiliser les nutriments contenus dans leurs feuilles ou aiguilles en sénescence et à les réutiliser lors de la saison de végétation suivante (i.e. translocation). Cependant les facteurs écologiques qui régulent ce flux de translocation restent méconnus.

Achat *et al.* (2018) ont évalué le flux de translocation des nutriments des arbres par différence entre le contenu chimique des feuilles vertes et celui des feuilles mortes (chutes de litière) mesurés sur l'ensemble des 102 sites du réseau RENECOFOR entre 1996 et 1998. Puis ils ont profité du large gradient de conditions écologiques couvert par le réseau pour analyser l'influence des conditions de sol, de climat, et de durée de vie des feuilles sur les variations de ce flux. La durée de vie des feuilles et la richesse des sols en nutriments ressortent comme les déterminants les plus significatifs. La quantité totale et la disponibilité des nutriments dans les sols sont corrélés négativement au flux de translocation : autrement dit, plus les arbres ont accès à une grande quantité de nutriments dans le sol, plus leur recyclage interne est faible. D'autres études avaient déjà observé une telle corrélation pour l'azote et le phosphore, mais c'est la première fois qu'elle est mise en évidence également pour le soufre, le calcium, le magnésium et le potassium. Ce schéma écologique général est cependant modulé par certaines contraintes écophysiologiques, principalement la durée de vie des feuilles (ce qui explique des différences entre feuillus et résineux dans le flux de translocation du magnésium et du calcium) et la faible capacité des arbres à déplacer le calcium via la sève élaborée (ce qui conduit à une accumulation de calcium dans les feuilles par le flux de sève brute, d'autant plus importante que celles-ci vivent longtemps).

#### 4.2.4. *Les ongulés favorisent le développement des herbacées non forestières*

Si les pollutions atmosphériques et le changement climatique ont été considérés comme des menaces environnementales majeures pour les écosystèmes forestiers, ceux-ci peuvent aussi être affectés par des facteurs biologiques tels que la densité d'ongulés sauvage, qui a fortement

augmenté en quelques décennies (Maaf & IGN, 2016). Ces populations animales ont notamment une influence sur les plantes (par l'herbivorie, dispersion de graines, perturbation du sol...), mais leur impact sur la diversité et la dynamique des communautés végétales en forêt reste peu documenté. RENECOFOR, du fait de l'enrillagement de la partie centrale de ses sites et grâce aux relevés de flore répétés depuis 1995 à l'intérieur et à l'extérieur de ces enclos, offre une opportunité inédite de comparer l'évolution des communautés végétales en l'absence et en présence des ongulés sauvages, à l'échelle nationale.

Boulanger et al. (2018) ont réalisé cette comparaison et mis en évidence des différences significatives après seulement 10 ans de suivi, entre 1995 et 2005. À l'extérieur des clôtures, la présence d'ongulés a conduit à une richesse en espèces plus élevée dans la strate herbacée (+15 %) mais plus réduite dans la strate arbustive (-17 %), et à une évolution des communautés vers un caractère plus héliophile. À l'intérieur des clôtures, le recouvrement de la strate arbustive a augmenté, notamment celle des ronces (*Rubus fruticosus agg.*). Les ongulés tendent à favoriser des espèces de milieux perturbées et non forestières. De plus l'amplitude des différences observées dans la flore d'un site à l'autre s'avère proportionnelle à l'abondance des populations de cervidés estimée à partir des prélèvements de chasse. En contrôlant le recouvrement arbustif, les ongulés paraissent donc favoriser l'arrivée de lumière au sol et augmenter ainsi de manière indirecte la diversité des espèces herbacées. Cependant cette augmentation de la richesse en espèces se fait au détriment de la singularité des communautés forestières et contribue à l'homogénéisation de la composition végétale à l'échelle du paysage. Même à des niveaux de densité considérés comme sans danger pour la richesse globale en espèces végétales, la régulation des populations d'ongulés se révèle donc être un enjeu de conservation au regard de la composition des communautés floristiques.

#### **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 2018, elle a répondu à 32 demandes de données (contre 18 en 2017). Le programme ICP Forests a également relayé 18 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 2.3).

Le Tableau 3 liste les projets de recherche en cours en 2018 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.

#### 4.4. 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 pour aboutir effectivement à la soumission d'un article dans une revue internationale.

**Illustration d'un inventaire floristique réalisé par Yann Dumas, botaniste à l'INRAE.  
*Photographie par Frédéric Glon et Giada Connestari / ONF***



## 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.

Dans l'attente d'une nouvelle négociation entre les bailleurs de fonds du réseau RENECOFOR visant à redéfinir ses missions et moyens pour les années à venir, le programme des activités a continué de suivre le calendrier prévu lors de la métamorphose de 2008.

La valorisation du réseau RENECOFOR s'accroît au fil du temps. La production d'articles scientifiques n'a cessé d'accélérer : on en recense plus de 160, couvrant une large gamme de domaines d'étude jusqu'au-delà des missions du réseau. De plus, certains de ces articles atteignent désormais les revues à l'impact le plus fort dans le domaine de l'écologie, notamment celui publié dans *Nature* par van der Linde *et al.* (2018) et qui met en évidence un impact de la pollution atmosphérique azotée sur la diversité des espèces de champignons mycorhiziens dans les forêts européennes.

Au-delà de ces réalisations, il importe de construire l'avenir. RENECOFOR approche de l'horizon des 30 ans pour lequel il avait été conçu initialement. En octobre 2017, le colloque organisé pour ses 25 ans avait permis d'attirer l'attention d'un large public (plus de 300 participants) sur l'importance du travail réalisé, sur la richesse des acquis scientifiques, et sur l'intérêt de poursuivre l'observation des écosystèmes forestiers à plus long terme. Le Comité de pilotage scientifique s'est saisi dès le début de l'année 2018 d'une réflexion stratégique visant à élaborer des scénarios futurs pertinents et faisables, qui seront soumis à la négociation des bailleurs de fonds à l'automne 2019. Car c'est sur le long terme que le monitoring prend tout son sens. En l'occurrence, le suivi des écosystèmes forestiers devrait s'envisager selon des perspectives, d'une part cohérente avec la durée du cycle de vie des forêts et, d'autre part suffisante pour pouvoir observer les effets des changements environnementaux (ex : changement du climat).

**Tableau 3 :** Projets de recherche en cours en 2018 et auxquels l'équipe de coordination a apporté une contribution particulière

Intitulé	Financier(s)	Période	Contributions du réseau RENECOFOR
<b>Projet PotenChêne :</b> 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
<b>Projet Sacroboque :</b> SAisonnalité de la CROissance du BOis chez les Chênes (QUercus) décidus	SOERE F-ORE-T	2016-2018	- 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)
<b>Projet Nitriphyll :</b> Étude de la nitrification dans la phyllosphère des forêts européennes (pin sylvestre et hêtre) par des approches isotopique et protéogénomique	Union européenne (H2020)	2016-2018	- Support d'étude : collecte ad hoc d'échantillons de pluie, de pluviollessivat, de sol et d'aiguilles de pin sur la placette PS 67a (Haguenau)
<b>Projet Mottles :</b> 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
<b>Thèse de Marine Roulier :</b> Cycle biogéochimique de l'iode en écosystème forestier (projet ANR Amorad : Amélioration des MOdèles de prévision de la dispersion et l'évaluation de l'impact des RADionucléides au sein de l'environnement)	ANR, IRSN, Université de Pau, ANDRA, région Aquitaine	2016-2018	- Fourniture d'échantillons de sol archivés - Mise à disposition de reliquats de l'ensemble des échantillons de pluie, de pluviollessivats et de solutions du sol collectés sur une année
<b>Étude</b> du cycle biogéochimique du <sup>36</sup> 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



**Tableau 3 (suite) :** Projets de recherche en cours en 2018 et auxquels l'équipe de coordination a apporté une contribution particulière

<b>Intitulé</b>	<b>Financier(s)</b>	<b>Période</b>	<b>Contributions du réseau RENECOFOR</b>
<b>Étude</b> des variations temporelles du déficit foliaire sur les placettes RENECOFOR	ONF, INRA	2017-2018	- Fourniture de données - Participation au comité de pilotage - Financement
<b>Projet MORFO :</b> MODélisation du Réchauffement microclimatique sous couvert FOrestier	Université de Picardie	2018-2019	- Support d'étude : 13 placettes équipées de niveau A3 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
<b>Thèse de Lena Wohlgemuth :</b> Impact saisonnier de la végétation sur le dépôt atmosphérique de mercure	Université de Bâle	2018-2020	- Fourniture de données et d'échantillons
<b>Étude</b> 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
<b>Étude</b> de la glomaline comme indicateur de la stabilité du carbone organique des sols	INRA	2018	- Fourniture de données et d'échantillons

## 6. Bibliographie

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

- Achat D.L., Pousse N., **Nicolas M.**, Augusto L., 2018. Nutrient remobilization in tree foliage as affected by soil nutrients and leaf life span. *Ecological Monographs*, 88(3):408-428, DOI: 10.1002/ecm.1300
- Boulanger V., Dupouey J.L., Archaux F., Badeau V., Balyzinger C., Chevalier R., Corcket E., Dumas Y., Forgeard F., Marell A., Montpied P., Paillet Y., Picard J.F., Saïd S., **Ulrich E.**, 2018. Ungulates increase forest plant species richness to the benefit of non-forest specialists. *Global Change Biology*, 24(2):e485-e495, DOI: 10.1111/gcb.13899
- Ciriani M.L., Dalstein L., 2018. Forest health monitoring highlights progress in forest deterioration in France. *Water Air Soil Pollution*, 229:311, DOI: 10.1007/s11270-018-3922-y
- Dambrine E., Arthaud F., Avriillier J.N., Millery A., **Nicolas M.**, 2018. Altitudinal and latitudinal variations of snowpack N concentration over the French Alps. *Water Air Soil Pollution* 229: 250, DOI: 10.1007/s11270-018-3853-7
- Hacket-Pain A.J., Ascoli D., Vacchiano G., Biondi F., Cavin L., Conedera M., Drobyshev I., Liñán I.D., Friend A.D., Grabner M., Hartl C., Kreyling J., Lebourgeois F., Levanič T., Menzel A., van der Maaten E., van der Maaten-Theunissen M., Muffler L., Motta R., Roibu C.C., Popa I., Scharnweber T., Weigel R., Wilmking M., Zang C.S., 2018. Climatically controlled reproduction drives interannual growth variability in a temperate tree species. *Ecology Letters*, 21(12):1833-1844, DOI: 10.1111/ele.13158
- Johnson J., Pannatier E.G., Carnicelli S., Cecchini G., Clarke N., Cools N., Hansen K., Meesenburg H., Nieminen T.M., Pihl-Karlsson G., Titeux H., Vanguelova E., Verstraeten A., Vesterdal L., Waldner P., Jonard M., 2018. The response of soil solution chemistry in European forests to decreasing acid deposition. *Global Change Biology*, 24(8):3603-3619, DOI: 10.1111/gcb.14156
- Lebourgeois F., Delpierre N., Dufrêne E., **Cecchini S.**, **Macé S.**, **Croisé L.**, **Nicolas M.**, 2018. Assessing the roles of temperature, carbon inputs and airborne pollen as drivers of fructification in European temperate deciduous forests. *European Journal of Forest Research*, 137(3):349-365, DOI: 10.1007/s10342-018-1108-1
- Michel A., Seidling W. (eds.), Prescher A.K., Ferretti M., 2018. A policy-relevant infrastructure for long-term, large-scale assessment and monitoring of forest ecosystems. ICP Forests Brief #1. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, 6 p.
- Michel A., Seidling W. (eds.), Schaub M., Haeni M., Calatayud V., Ferretti M., Gottardini E., 2018. Ozone concentrations are decreasing but exposure remains high in European forests. ICP Forests Brief #3. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, 6 p.
- Michel A., Seidling W. (eds.), Schmitz A., Sanders T.G.M., Verstraeten A., Hansen K., Waldner P., Prescher A.K., Žlindra D., 2018. Status and trends of inorganic nitrogen deposition to forests in Europe. ICP Forests Brief #2. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, 6 p.

- Michel A., Seidling W., Prescher A.K. (eds.), 2018. Forest Condition in Europe, 2018 Technical Report of ICP Forests. Report under the UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (Air Convention). BFW-Dokumentation 25/2018, Vienna, 92 p.
- Neumann M., Ukonmaanaho L., Johnson J., Benham S., Vesterdal L., Novotný R., Verstraeten A., Lundin L., Thimonier A., Michopoulos P., Hasenauer H., 2018: Quantifying carbon and nutrient input from litterfall in European forests using field observations and modeling. *Global Biogeochemical Cycles*, 32(5):784-798, DOI: 10.1029/2017GB005825
- Nicolas M.**, 2018. RENECOFOR : 25 ans de suivi national des sols et des écosystèmes forestiers. Communication orale. 19 diapositives. Enjeux sur le sol : les dispositifs de longue durée pour répondre aux questions d'aujourd'hui et de demain. INRA, 14-15 novembre 2018, Versailles.
- Nicolas M., Cecchini S., Croisé L., Lavalley C., Macé S.**, 2018. RENECOFOR : bilan technique de l'année 2017. Fontainebleau : ONF. Département recherche, développement et innovation. 32 p.
- Nivet C., Aubert M., Chauvat M., 2018. Gestion durable et biodiversité des sols forestiers. Paris : GIP Ecofor. 20 p.
- Probst A., Pasturel M., 2018. Modélisation et cartographie des charges critiques en France - CRITICARTO (Lot n°8) : Sélection des sites rapportables en réponse à la Directive NEC. Rapport intermédiaire, ADEME, 69 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.
- Soucémariadin L., Cécillon L., Chenu C., Baudin F., **Nicolas M.**, Girardin C., Barré P., 2018. Is Rock-Eval 6 thermal analysis a good indicator of soil organic carbon lability? – A method-comparison study in forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 117:108-116, DOI: 10.1016/j.soilbio.2017.10.025
- Soucémariadin L., Cécillon L., Guenet B., Chenu C., Baudin F., **Nicolas M.**, Girardin C., Barré P., 2018. Environmental factors controlling soil organic carbon stability in French forest soils. *Plant and Soil*, 426(1-2):267-286, DOI: 10.1007/s11104-018-3613-x
- van der Linde S., Suz L. M., Orme C.D.L. , Cox F., Andreae H., Asi E., Atkinson B., Benham S., Carroll C., Cools N., De Vos B., Dietrich H.P., Eichhorn J., Gehrman J., Grebenc T., Gweon H.S., Hansen K., Jacob F., Kristöfel F., Lech P., Manninger M., Martin J., Meesenburg H., Merilä P., **Nicolas M.**, Pavlenda P., Rautio P., Schaub M., Schröck H.W., Seidling W., Šrámek V., Thimonier A., Thomsen I.M., Titeux H., Vanguelova E., Verstraeten A., Vesterdal L., Waldner P., Wijk S., Zhang Y., Žlindra D., Bidartondo M.I. 2018. Environment and host as large-scale controls of ectomycorrhizal fungi. *Nature*, vol. 558 , n° 7709 , pp. 243-248. DOI: 10.1038/s41586-018-0189-9

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

- Boulanger V., Dupouey J.L., Archaux F., Badeau V., Balyzinger C., Chevalier R., Corcket E., Dumas Y., Forgeard F., Marell A., Montpied P., Paillet Y., Picard J.F., Saïd S., **Ulrich**

- E., Nicolas M.**, 2018. Ungulates increase forest plant species richness to the benefit of non-forest specialists. Communication orale. 16 diapositives. PIC Forêt, 7e conférence scientifique, 21-23 mai 2018, Riga.
- Nicolas M.**, 2018. Designing a complementary protocol for surveying growth in young forest stands. Communication orale. 15 diapositives. PIC Forêt, réunion du groupe d'experts sur la croissance, 2 octobre 2018, Zvolen.
- Nicolas M.**, 2018. Level 2 monitoring will face practical challenges within next decades. How to adapt it? What information from NFCs will be needed? Communication orale. 10 diapositives. PIC Forêt, réunions du Comité scientifique et du groupe de coordination, 13 novembre 2018, Berlin.
- Nicolas M.**, 2018. RENECOFOR : 25 ans de suivi national des sols et des écosystèmes forestiers. Communication orale. 19 diapositives. Enjeux sur le sol : les dispositifs de longue durée pour répondre aux questions d'aujourd'hui et de demain. INRA, 14-15 novembre 2018, Versailles.
- Nicolas M.**, 2018. Uncertainties in reading UMS girth bands. Communication orale. 12 diapositives. PIC Forêt, réunion du groupe d'experts sur la croissance, 2 octobre 2018, Zvolen.
- Nicolas M.**, Dupouey J.L., 2018. Vers de nouvelles utilisations des données écologiques de l'inventaire. Les relevés floristiques : améliorations et usages. Communication orale. 22 diapositives. 60 ans d'inventaire forestier pour éclairer l'avenir, IGN, 16 octobre 2018, Paris.
- Pasturel M., Rizzetto S., Gégout J.C., **Nicolas M.**, Probst A., 2018. Evolution of HSI response to a combination of climatic and nitrogen deposition scenarios at French ICP forest sites - ForSAFE-EcoPlant. Communication orale. 30 diapositives. PIC Forêt, 34e réunion de la Task Force, 24-25 mai 2018, Riga.
- 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., 2018. Pollen limitation as a main driver of fruiting dynamics in oak populations. Communication orale. 21 diapositives. Colloque sfécologie, 22-25 octobre 2018, Rennes.

### 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.
- 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.
- Jonard M., André F., Dambrine E., Ponette Q., Ulrich E., 2009: Temporal trends in the foliar nutritional status of the French, Walloon and Luxembourg broad-leaved plots of forest monitoring. *Annales of Forest Science*, 66(4):412-412, DOI: 10.1051/forest/2009014
- 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., Matteucci G., Decinti B., Bascietto M., Rautio P., 2015 : Tree

- mineral nutrition is deteriorating in Europe. *Global Change Biology*, 21(1):418-430, DOI: 10.1111/gcb.12657
- Ministère de l'agriculture, de l'alimentaire et de la forêt, IGN 2016 : Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises métropolitaines, édition 2015. Résultats. MAAF-IGN, Paris, 343 p.
- Nicolas M., Cecchini S., Croisé L., Macé S., 2017. RENECOFOR : bilan technique de l'année 2016. Fontainebleau : ONF. Département recherche, développement et innovation. 35 p.
- Pascaud A., Sauvage S., Coddeville P., Nicolas M., Croisé L., Mezdoor A., Probst A., 2016. Contrasted spatial and long-term trends in precipitation chemistry and deposition fluxes at rural stations in France. *Atmospheric Environment*, 146:28-43, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.05.019
- Talkner U., Meiwes K.J., Potočić N., Seletković I., Cools N., De Vos B., Rautio P., 2015: Phosphorus nutrition of beech (*Fagus sylvatica* L.) is decreasing in Europe. *Annals of Forest Science*, 72(7):919-928, DOI 10.1007/s13595-015-0459-8
- Waldner P., Marchetto A., Thimonier A., Schmitt M., Rogora M., Granke O., Mues V., Hansen K., Pihl Karlsson G., Žlindra D., Clarke N., Verstraeten A., Lazdins A., Schimming C., Jacoban C., Lindroos A.J., Vanguelova E., Benham S., Meesenburg H., Nicolas M., Kowalska A., Apuhtin V., Napas U., Lachmanová Z., Kristoefel F., Bleeker A., Ingerslev M., Vesterdal L., Molina J., Fischer U., 2014 : Detection of temporal trends in atmospheric deposition of inorganic nitrogen and sulphate to forests in Europe. *Atmospheric Environment*, 95: 363-374, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2014.06.054

### **Crédit photographique (couverture)**

Matthieu Derame (en haut à gauche), Pierre Cailleux (en haut à droite), Sébastien Cecchini (en bas)

### **Légendes des photos de la couverture**

En haut à gauche : Sonde de température de type Hobo installée sur la placette CHP 59 dans le cadre du projet MORFO « MOdélisation du Réchauffement microclimatique sous couvert FOrestier »

En haut à droite : Mesure des précipitations après un épisode neigeux en mars 2018 sur la placette SP 11

En bas : Nouveau dispositif de collecte des pluviollessivats installé sur la placette SP 68 en septembre 2018

**Maquette DCOM**



**Office National des Forêts**

Direction forêts et risques naturels

Réseau RENECOFOR

Site WEB : [onf.fr/renecofor](http://onf.fr/renecofor)

Boulevard de Constance - 77300 Fontainebleau

Méls : [manuel.nicolas@onf.fr](mailto:manuel.nicolas@onf.fr) ; [sebastien.cecchini@onf.fr](mailto:sebastien.cecchini@onf.fr) ; [luc.croise@onf.fr](mailto:luc.croise@onf.fr) ;  
[chantal.lavalley@onf.fr](mailto:chantal.lavalley@onf.fr) ; [sebastien.mace@onf.fr](mailto:sebastien.mace@onf.fr)