

Bilan technique de l'année 2017



Juin 2018



25
ANS
RENECOFOR



Ce document est à citer sous la forme suivante :
NICOLAS M., CECCHINI S., CROISÉ L., LAVALLEY C., MACÉ S., 2018 :
RENECOFOR – Bilan technique de l'année 2017.
Éditeur : Office national des forêts, Direction forêts et risques naturels, 32 p.



RENECOFOR

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

Bilan technique de l'année 2017

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.

Juin 2018

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 2017.....	5
2.1.	Réalisation du programme de mesures.....	5
2.2.	Mise en place du suivi annuel de la croissance des arbres observation.....	7
2.3.	Évaluation des incertitudes liées à la lecture des dendromètres permanents.....	9
2.4.	Support pour d'autres mesures sur le terrain.....	11
2.4.1.	Étudier la décomposition des matières organiques avec des sachets de thé.....	11
2.4.2.	Mieux comprendre le déterminisme des fructifications des chênes sessiles	12
2.4.3.	Mieux comprendre la formation du bois en étudiant sa saisonnalité.....	12
2.5.	Activités du Comité de pilotage scientifique.....	13
3.	Colloque des 25 ans du réseau RENECOFOR.....	15
4.	Publications écrites et communications orales.....	19
4.1.	Recensement des productions documentaires	19
4.2.	Principaux résultats publiés en 2017	19
4.2.1.	Effets des dépôts de polluants azotés sur la diversité floristique.....	19
4.2.2.	Bioindication et bioaccumulation des dépôts de polluants persistants	20
4.2.3.	Le réchauffement du climat favorise-t-il la reproduction des arbres ?.....	21
4.2.4.	Comprendre et modéliser la précocité des stades phénologiques.....	21
4.2.5.	Les sols forestiers jouent un rôle notable de puits de carbone	22
4.3.	Contribution à un ouvrage de vulgarisation sur la phénologie	23
4.4.	Contribution de l'équipe de coordination aux valorisations externes	24
4.5.	Travaux d'analyses de données à l'initiative du réseau RENECOFOR.....	24
5.	Conclusions.....	25
6.	Bibliographie.....	28
6.1.	Publications émanant de RENECOFOR et/ou basées sur ses données	28
6.2.	Communications orales émanant de RENECOFOR et/ou basées sur ses données	29
6.3.	Autres références citées.....	31

Résumé

Pluies acides, changement climatique, érosion de la biodiversité : depuis plusieurs décennies, les évolutions de l'environnement suscitent de vives inquiétudes pour l'avenir des forêts. Leur gestion durable nécessite de 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 150 articles scientifiques et 16 thèses de doctorat. Les résultats publiés en 2017 illustrent la diversité des enjeux auxquels il contribue à répondre. Ils montrent notamment que les sols forestiers contribuent efficacement à l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre, que la capacité de reproduction des chênes est sensible au réchauffement du climat, et que les pollutions azotés affectent toujours la diversité de la flore. Ils témoignent aussi des améliorations permises dans les modèles pour reproduire l'impact du climat sur la feuillaison des arbres, ou encore pour intégrer les effets de plusieurs composantes des changements globaux sur le fonctionnement et la biodiversité des écosystèmes forestiers.

Le colloque organisé à l'occasion de ses 25 ans a permis (i) de partager le bilan des nombreuses avancées scientifiques qu'il a permises, (ii) de rendre hommage à la contribution des centaines de personnels de l'ONF et de partenaires impliqués, et (iii) d'engager la réflexion sur les perspectives à donner à plus long terme à cette aventure scientifique et humaine, au-delà de l'horizon de 30 ans visé initialement. 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). 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.

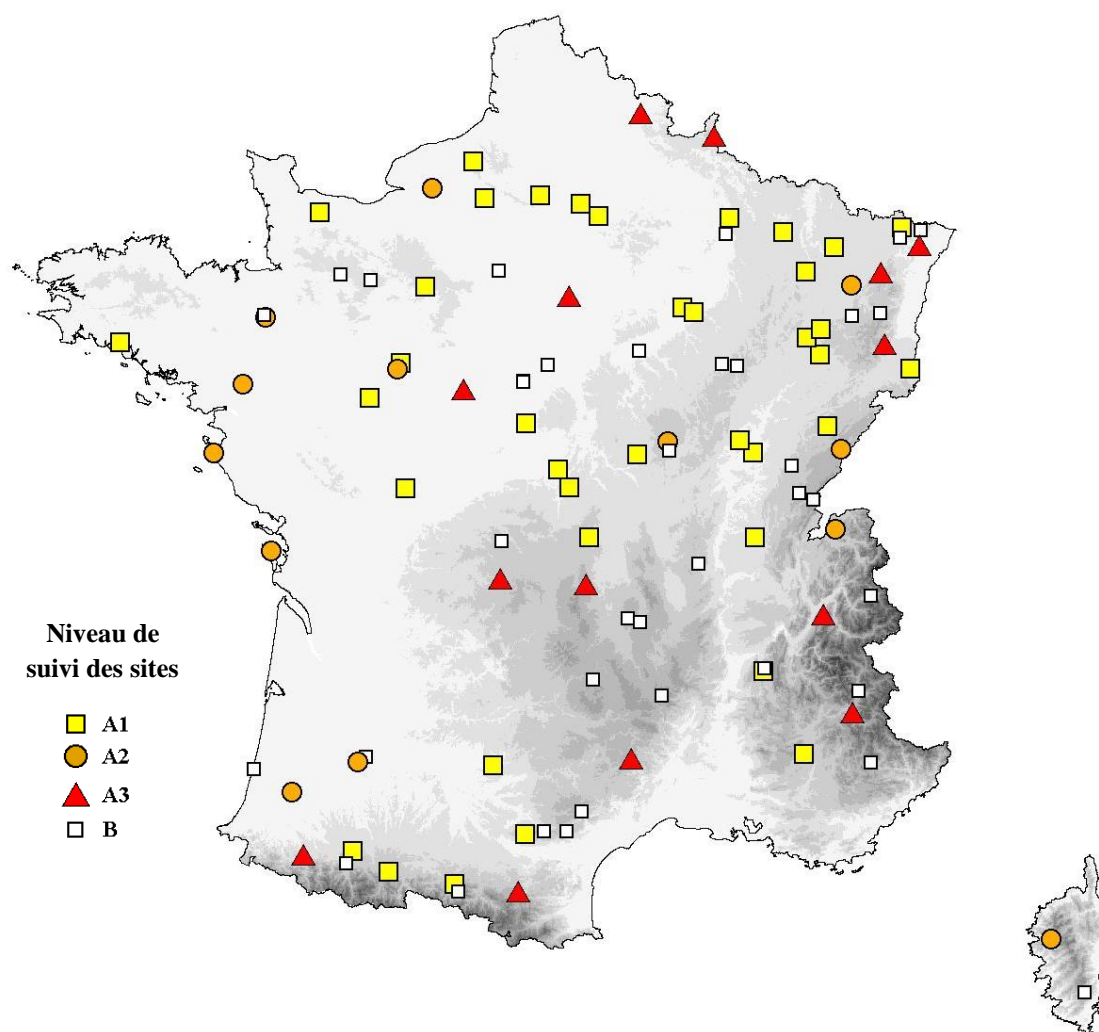


Figure 1 : Emplacement des 102 sites du réseau RENECOFOR. Le niveau des sites (4 modalités) correspond à l'intensité de leur suivi définie depuis la métamorphose du réseau en 2008. Le sous-réseau CATAENAT correspond aux sites suivis le plus intensivement, c'est-à-dire à l'ensemble des 13 sites de niveau 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 (Biro 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. Depuis 2007 jusqu'à ce jour, le financement du réseau est 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, à la rubrique « Qu'est-ce que RENECOFOR ? ».

2. Activités de l'année 2017

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 2017 a été réalisé. Outre les mesures prévues tous les ans, l'année 2017 a vu sur le terrain la réalisation de prélèvements foliaires sur l'ensemble des 102 sites (prévus tous les deux ans). Elle aura aussi vu la fin de l'installation de dendromètres permanents, initiée en 2016, et qui permet désormais de suivre annuellement la croissance des arbres observation sur l'ensemble du réseau. Enfin, à la place de la réunion d'information annuelle, 2017 aura été marquée par l'organisation d'un grand colloque pour les 25 ans du réseau (cf. chapitre 3).

Sujet/année	2014	2015	2016	2017	2018	Observations
Actions de fond						
Evaluation des données du réseau et publications						Action en continu
Développement du site Web du réseau						Action en continu
Réunions d'information plénières						
Réunions d'information CATAENAT						
Colloque						
Comité de pilotage scientifique						
Collectes de données sur tous les sites (ensemble des niveaux A1+A2+A3+B)						
Echantillonnage des sols						
Observations sanitaires						
Inventaire des placettes passant en éclaircie						Action en continu
Observations phénologiques						
Maintenance des placettes						Action en continu
Echantillonnage foliaire	14 sites A3		14 sites A3			
Suivi de croissance annuel des arbres observation			55 sites			
Inventaire dendrométrique quinquennal						
Inventaire floristique quinquennal						
Collecte de données sur les 27 sites de niveau A2+A3						
Mesures des dépôts atmosphériques HORS couvert uniquement						
Collecte de données sur les 14 sites de niveau A3						
Mesures des dépôts atmosphériques HORS et SOUS couvert forestier						
Echantillonnage des solutions de sol						
Collectes des chutes de litières						
Mesures météorologiques (sauf CPS 77)						
Mesures des concentrations et symptômes d'ozone						

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

Illustrations de la campagne d'installation de dendromètres permanents pour le suivi annuel de la croissance des arbres-observation (photographies par Luc Croisé).

En haut : pose d'un dendromètre sur le bandeau de mesure de la circonférence à 1,30 m.

Au milieu : vue sur le système de lecture d'un dendromètre (vernier). La mesure est ici de 53,52 π cm (unité équivalente au diamètre). Le protocole prévoit une décomposition en 3 étapes (au cm, au mm, puis au dixième de mm) pour éviter les erreurs de lecture et de saisie.

En bas : après installation, première lecture avec intercomparaison entre opérateurs.



2.2. Mise en place du suivi annuel de la croissance des arbres observation

Suivre et comprendre la réaction des arbres aux variations environnementales est un enjeu central pour le monitoring forestier. À la fin des années 1980, la mise en place de ce monitoring a notamment été motivée par la crainte d'un dépérissement massif des arbres sous l'effet des « pluies acides ». Et aujourd'hui encore, face à l'évolution du climat, leur capacité de résistance et d'adaptation nourrit beaucoup d'interrogations et de craintes pour l'avenir de la forêt.

RENECOFOR comprend un ensemble de près de 3 400 arbres-observation, répartis dans des contextes contrastés, et dont le suivi annuel de la phénologie et de l'état de santé a déjà permis de mettre en évidence des réponses significatives aux variations climatiques. En complément, il a été décidé d'équiper ces mêmes arbres de dendromètres permanents afin de suivre chaque année aussi leur accroissement de manière fiable et suffisamment précise (Nicolas *et al.*, 2017).

Un dendromètre permanent est un dispositif fixe ceinturant le tronc d'un arbre et permettant de mesurer sa circonférence. Il est constitué d'une bande graduée maintenue sur le tronc par un ressort, qui lui permet de s'étendre à mesure que l'arbre grossit. Sa précision de mesure tient d'une part à son positionnement fixe, contrairement à un ruban qui doit être replacé sur le tronc à chaque répétition de mesure, et d'autre part à un système de vernier permettant une lecture au dixième de millimètre. Le modèle choisi (UMS/D1) a pour avantages (i) d'exprimer la mesure en équivalent diamètre (π cm), plus explicite pour les forestiers que la circonférence des arbres, et (ii) une capacité d'élongation suffisante pour une durée d'installation de cinq à plus de dix ans (selon la vitesse d'accroissement de l'arbre).

Avant d'être déployé, le suivi de la croissance des arbres à l'aide de dendromètres permanents a été testé. Dès 2012, un premier protocole et un outil de saisie des mesures ont été développés (Macé, 2012) et mis en application sur la placette CPS 77, en forêt de Fontainebleau. Le suivi mensuel des arbres-observation de cette placette a confirmé la cohérence des mesures au cours du temps, y compris pour des arbres poussant très lentement (moins d'un millimètre par an en diamètre). Cette première expérience pratique a servi à apporter quelques améliorations au protocole (Macé, 2016).

Le dispositif a ensuite été déployé à l'ensemble des placettes du réseau, à l'exception de celles où aucun arbre-observation n'est désigné (placettes encore entièrement en régénération à la suite des tempêtes de 1999 ou de dégâts de scolytes). Au total, ce sont 95 placettes qui ont été équipées, 55 d'entre elles en 2016 et pour les 40 restantes en 2017. L'installation a été menée pendant la saison de végétation, de manière à ce que la position des dendromètres puisse se stabiliser rapidement sous l'action de la croissance des arbres. La première lecture régulière de leur circonférence a été réalisée dès l'automne suivant, après la fin de la saison de végétation, par les agents forestiers en charge de chaque placette. Elle sera répétée de même chaque fin d'année, afin de calculer l'accroissement annuel. De plus, les agents forestiers doivent veiller à la maintenance des dendromètres, en notant si leur position a bougé par rapport aux repères de peinture laissés lors de leur installation, et en enlevant la mousse et les lianes (lierre principalement) qui pourraient fausser les mesures en s'étendant par-dessus ou par-dessous.

Figure 2 : Résultats des lectures comparées de tous les dendromètres lors de leur installation.
a) Distribution de la proportion de valeurs correctes, par type d'opérateur (les membres de la coordination nationale ayant participé sur 25 sites en moyenne, contre 1,2 pour les autres).
b) Pour les cas d'erreur, distribution de l'écart à la valeur correcte.

Éléments représentés par les « boîtes à moustaches » : en rouge la médiane, aux bords de chaque boîte les 1^{er} et 3^{ème} quartiles, en bleu les 1^{er} et 9^{ème} déciles, en points extrêmes les minimum et maximum.

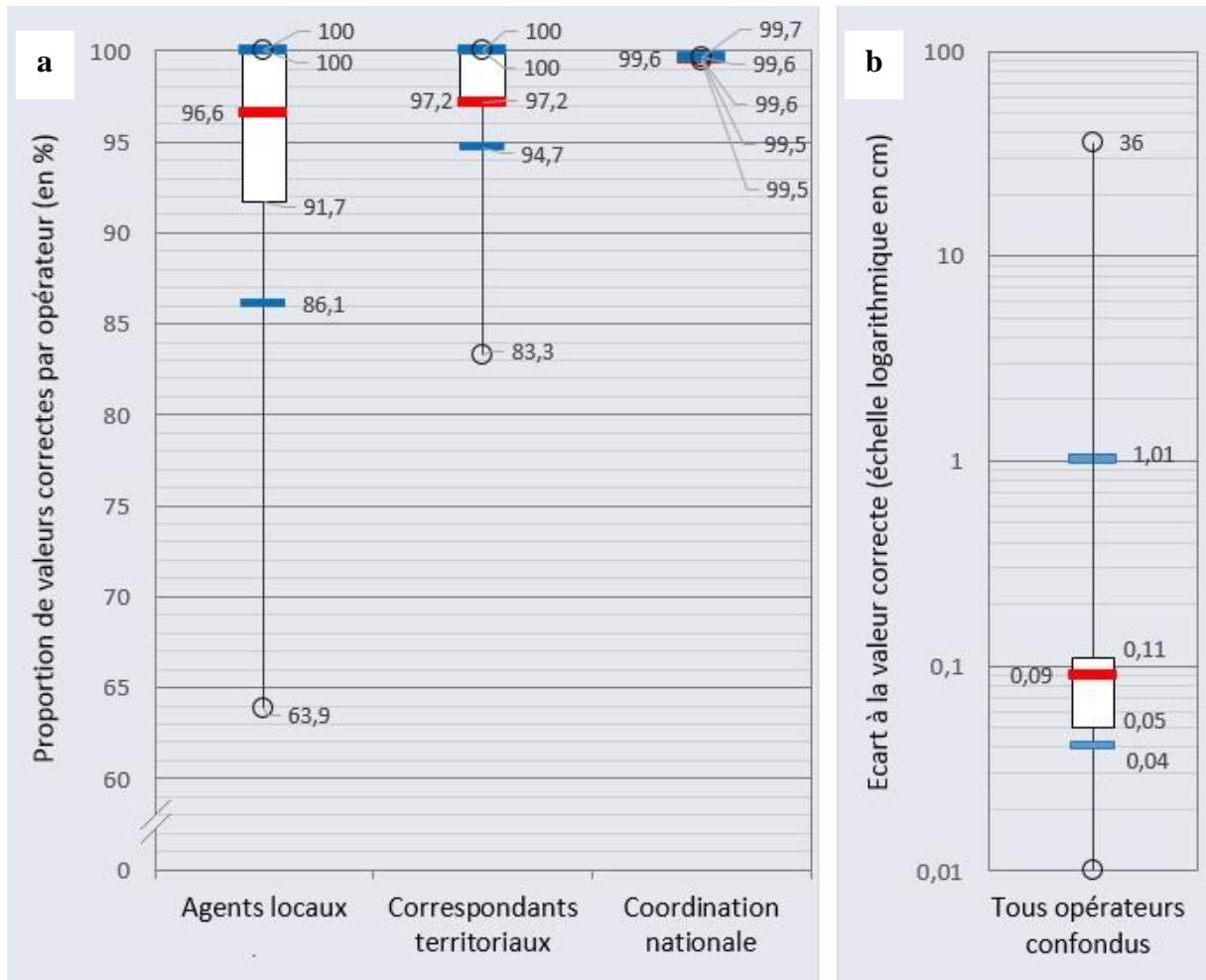
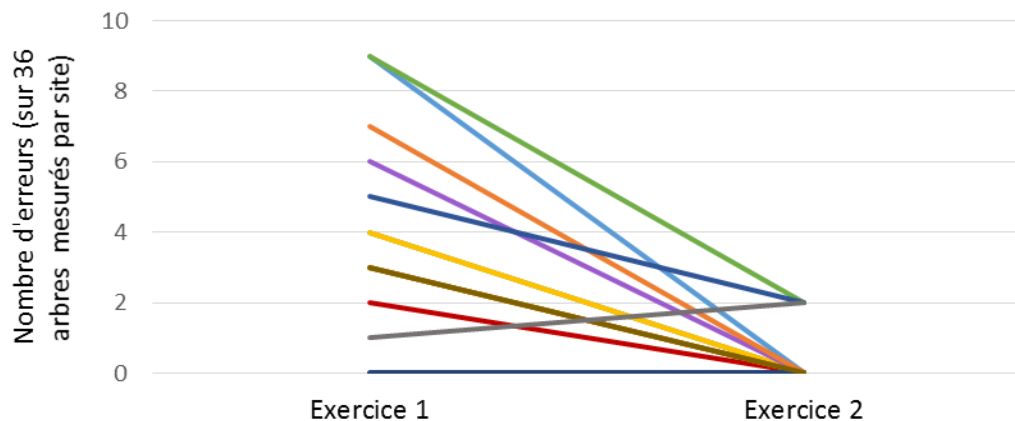


Figure 3 : Nombre d'erreurs effectuées successivement entre le premier et le second exercice de lecture comparée de dendromètres, par les 15 agents locaux en charge de plusieurs sites.



2.3. Évaluation des incertitudes liées à la lecture des dendromètres permanents

Les dendromètres installés de manière permanente sur les arbres-observation sont assez précis pour suivre leur accroissement annuel, mais les mesures qu'ils offrent ne sont pas pour autant dépourvues d'incertitudes, du fait de possibles erreurs de lecture de leur vernier. *A priori* plusieurs dispositions ont été prises pour limiter le risque d'erreur : choix de matériels gradués en équivalent diamètre (π cm), protocole détaillé prévoyant la décomposition systématique de la lecture du vernier en 3 étapes, outil de saisie détectant automatiquement un accroissement douteux (soit négatif, soit très élevé). Cependant, pour assurer la cohérence de ces mesures, il importe aussi d'en quantifier les incertitudes en conditions réelles.

L'installation des dendromètres permanents a été l'occasion de former les agents en charge de chaque placette, et de réaliser systématiquement avec eux (et avec les autres agents, correspondants territoriaux, ou stagiaires éventuellement présents) un exercice de lecture comparée de tous les dendromètres installés. Chaque opérateur a mené ses lectures de manière indépendante, avec une fiche de terrain préparée avec les numéros des arbres et avec un mémo résumant la démarche de lecture des verniers en 3 étapes. Puis les résultats des différents opérateurs ont été comparés entre eux, et tous les opérateurs sont revenus sur les arbres faisant l'objet d'un désaccord supérieur à $\pm 0,1$ mm afin d'identifier ensemble les erreurs commises.

Au total, 96,2 % des 9 714 lectures comparées se sont avérées correctes. Ce résultat est très encourageant alors que la plupart des opérateurs (hormis les coordinateurs) n'avaient aucune expérience précédente de ce type de mesure. De plus, si la proportion de valeurs correctes peut varier notablement d'un opérateur à l'autre (Figure 2a), elle augmente rapidement avec l'expérience. En effet, le cas des agents en charge de plusieurs placettes montre une baisse importante du nombre de leurs erreurs entre les exercices menés sur la première et sur la deuxième placette (Figure 3). Cependant cette progression de la performance individuelle a ses limites puisque même les opérateurs les plus expérimentés continuent à faire des erreurs, même en faible proportion. Ainsi, parmi les 4 membres de la coordination nationale, qui ont mené les installations et les exercices de lecture, aucun n'atteint 100 % de valeurs correctes (Figure 2a).

Concernant la gravité des erreurs, dans la majorité des cas, l'écart avec la valeur correcte est de 0,1 cm ou moins sur le diamètre (Figure 2b), ce qui est faible mais néanmoins non négligeable pour les arbres qui poussent lentement. De plus, ces faibles écarts rendent la plupart des erreurs indétectables par de simples contrôles de vraisemblance des valeurs.

Il convient donc de maintenir la vigilance sur la qualité des mesures au moment de leur collecte sur le terrain. Si les exercices menés à l'occasion de l'installation des dendromètres ont permis de sensibiliser les agents en place aux risques d'erreurs de lecture, il importe de faire de même lors des sessions des formations des agents nouvellement impliqués dans le réseau. De plus, la meilleure garantie vis-à-vis de possibles erreurs individuelles est d'encourager la réalisation des mesures à deux opérateurs, de manière indépendante. Cela semble d'autant plus utile et faisable que ces mesures ne sont prévues qu'une seule fois dans l'année.

Illustrations de mesures réalisées par des chercheurs sur les sites RENECOFOR.

En haut : Des sachets de thé enfouis comme matériaux de référence pour évaluer la vitesse de décomposition des matières organiques (projet *Tea bag Index*, photographie par S. Cecchini)

Au milieu : Dendromètre autonome permettant de suivre en continu la croissance d'un arbre pour en étudier la saisonnalité (projet *Sacroboque*, photographie par J-B. Mayet)

En bas : Filet et collecteurs installés sous un chêne pour suivre ses fructifications et les populations d'insectes qui les consomment (projet *PotenChêne*, photographie par F. Débias)



2.4. 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).

2.4.1. Étudier la décomposition des matières organiques avec des sachets de thé

La vitesse de décomposition des matières organiques est un paramètre important du fonctionnement des écosystèmes forestiers. Elle conditionne à la fois l'efficacité du recyclage des éléments nutritifs, le stockage de carbone dans les sols, et constitue un indicateur de l'activité biologique. Cependant elle pourrait être affectée par l'évolution des conditions environnementales, et par celle du climat en particulier.

C'est sur la suggestion de l'INRA Bordeaux (Laurent Augusto et Nicolas Fanin) et avec sa collaboration que le réseau RENECOFOR a participé en 2017 à l'expérimentation mondiale *Tea bag index* (site Internet : <http://www.teatime4science.org/>). Le principe est d'utiliser des sachets de thé de marque Lipton, un matériel standard et facilement disponible partout dans le monde, pour évaluer la vitesse de décomposition des matières organiques dans une grande diversité de contextes écologiques. À son échelle nationale, RENECOFOR a l'avantage de couvrir une large gamme de contextes forestiers, richement documentés.

Afin d'obtenir des résultats comparables entre les sites, l'idée a été de mener l'expérimentation de manière synchrone, en confiant entièrement sa mise en place aux agents ONF impliqués localement, une première pour le réseau RENECOFOR. Pour cela, il s'agissait de définir un protocole suffisamment robuste et détaillé pour pouvoir être appliqué de la même manière partout, en dépendant le moins possible de l'interprétation des opérateurs (Augusto *et al.*, 2017). Ce protocole a commencé à être élaboré dès l'été 2016, puis il a été testé à partir de l'automne (notamment sur le site CPS 77, à Fontainebleau) avant d'être déployé en 2017. Répondant aux critères du programme *Tea bag index*, il prévoyait l'enfouissement à 8 cm de profondeur de deux types de sachets de thé aux propriétés contrastées (thé vert et rooibos) pendant une durée de 3 mois. En complément, il prévoyait aussi une seconde modalité de profondeur, à la surface de la litière, et un total de 3 répétitions spatiales dans la zone centrale clôturée de chaque site.

Les agents du réseau RENECOFOR ont été sollicités à partir du printemps 2017, pour mettre en place le dispositif expérimental sur l'ensemble de ses 102 sites le premier mercredi du mois de juin, puis pour récupérer les sachets de thé le premier mercredi du mois de septembre. La préparation et l'acheminement du matériel ont été entièrement assurés par l'INRA Bordeaux, qui en a également centralisé la réception et le traitement à l'issue de l'expérimentation.

L'opération s'est déroulée avec succès. Les sachets de thé ont effectivement été installés et récupérés dans 99 des 102 sites, avec des pertes (sachets non retrouvés ou déchirés) limitées à 13 % pour ceux déposés à la surface de la litière et à moins de 2 % pour ceux enterrés à 8 cm

de profondeur. La plupart des agents sollicités ont également pris des photographies pour documenter leur installation. Au total, ce sont plus de 1 100 sachets de thé qui ont été retournés et qui ont tous été traités par l'INRA (étuvage, récupération et pesée de leur contenu) entre septembre et décembre 2017. L'analyse des résultats à l'échelle du réseau est prévue en 2018. Ceux-ci susciteront peut-être des perspectives, en répétant l'expérience sur une année entière par exemple.

2.4.2. *Mieux comprendre le déterminisme des fructifications des chênes sessiles*

La fructification des arbres est un paramètre important du fonctionnement de l'écosystème, qui conditionne la capacité de régénération de la forêt, mais aussi la dynamique de diverses populations animales consommatrices des fruits (ex : insectes, ongulés). Or elle pourrait être affectée par l'évolution du climat. En effet, l'étude des données de chutes de litière recueillies sur tous les sites RENECOFOR de 1994 à 2007 met notamment en évidence un effet de la température sur la fructification des chênes et des hêtres (Caignard *et al.*, 2017 ; Lebourgeois *et al.*, *in press*). Cependant, concernant les chênes, les glandées sont très variables, entre des années de production forte et synchrone au sein de certaines populations et des années de production faible à nulle (phénomène de « masting »). De plus, les données disponibles étant rares, les déterminants de cette dynamique irrégulière demeurent en grande partie méconnus.

C'est pour mieux les comprendre qu'a été mis en place en 2012 le dispositif « PotChêne » (voir Tableau 3), à l'initiative d'un consortium coordonné par Samuel Venner (Université Lyon-1). Le principe est de suivre la production de glands non plus à l'échelle de peuplements mais à l'échelle d'arbres individuels, afin d'évaluer le synchronisme qui existe entre eux. Au total, le dispositif est constitué d'une quinzaine de sites de chêne sessile répartis sur le territoire métropolitain, sur chacun desquels 10 arbres sont équipés. Parmi eux figurent 12 sites du réseau RENECOFOR, dont les agents locaux contribuent à la maintenance des matériels et aux collectes de données (collecte de fleurs et de glands, phénologie foliaire, croissance annuelle, et état de santé des 10 arbres échantillonnés dans la zone périphérique de chaque site). Les données recueillies ont déjà contribué au développement d'un modèle mécaniste de la fructification des chênes (Venner *et al.*, 2016).

2.4.3. *Mieux comprendre la formation du bois en étudiant sa saisonnalité*

La formation du bois est un puits de carbone majeur dans les écosystèmes forestiers, qui contribuent à atténuer l'augmentation de la teneur en CO₂ de l'atmosphère. Cependant, son déterminisme reste mal caractérisé. Par exemple, même si l'on sait que la disponibilité du carbone (photosynthèse) et les contraintes environnementales (température, statut hydrique de l'arbre) sont des facteurs déterminants en modulant l'activité des méristèmes, leur importance relative reste très largement ignorée à ce jour. Car, pour des raisons essentiellement pratiques, les processus de croissance ont majoritairement été étudiés à l'échelle annuelle. En effet, s'il est relativement aisé de carotter un arbre pour mesurer sa croissance annuelle au cours des 50 dernières années, la lecture de dendromètres permanents ou le prélèvement de tissus en cours de formation chaque semaine sont des activités laborieuses, qui n'ont à ce jour été conduites que sur de courtes fenêtres temporelles et pour un faible nombre de peuplements.

Le développement récent de dendromètres autonomes offre de nouvelles possibilités pour étudier la saisonnalité de la croissance du bois et l'impact des variations environnementales au cours de sa formation. Le principe est le même que celui des dendromètres permanents installés sur tout le réseau RENECOFOR (cf. chapitre 2.2), mais avec un enregistrement automatique de l'accroissement en circonférence au pas de temps horaire, et ce avec une autonomie de fonctionnement (mémoire et batteries) supérieure à une année. Mené par Nicolas Delpierre (Université Paris Sud), le projet Sacroboque (voir Tableau 3) a permis d'installer ce type de dendromètres sur 11 sites de chêne sessile couvrant un large gradient de conditions climatiques, dont 6 sites RENECOFOR. Dix arbres ont été équipés sur chaque site, parmi ceux observés par ailleurs pour d'autres paramètres (phénologie foliaire, état de santé). L'équipe de coordination du réseau a contribué au déploiement et à la maintenance de ce dispositif. Les premiers résultats pourront être analysés à partir de 2018.

2.5. Activités du Comité de pilotage scientifique

Comme indiqué plus haut (cf. chapitre 1.3), le Comité de pilotage scientifique accompagne le réseau dans ses orientations et dans sa valorisation scientifique. Il se réunit annuellement pour discuter de ses activités, et il mène aussi une réflexion sur des sujets stratégiques, avec la contribution de l'équipe de coordination.

En 2017, le Comité a notamment apporté son avis sur le programme du colloque organisé pour les 25 ans du réseau (cf. chapitre 3).

Il a aussi été à l'initiative d'un atelier de réflexion sur le réseau RENECOFOR comme support d'étude et de suivi de la biodiversité forestière. Cet atelier s'est tenu le 7 mars 2017 et a réuni une vingtaine de participants : chercheurs, naturalistes, représentants de l'ONF, mais aussi de l'IGN et du CNPF. Il a dressé un état des lieux des questions de recherche et développement, et de la manière dont le réseau peut contribuer à y répondre, selon les thématiques suivantes :

- Réponses de la biodiversité aux perturbations et changements environnementaux ou dynamiques propres. Identification et hiérarchie des moteurs de changement ;
- Liens entre traits fonctionnels et fonctionnement ou processus ;
- Développement et évaluation des méthodologies d'observation de la biodiversité ;
- Production d'indicateurs de biodiversité.

Il a permis également d'échanger les avis sur les suivis qu'il serait pertinent et réaliste de mettre en place pour compléter les observations déjà réalisées sur le réseau et qui ont concerné jusqu'ici essentiellement la flore.

Illustrations du colloque (Beaune, 11-13 Octobre 2017). Photographies par Luc Croisé (en haut et en bas) et Sébastien Macé (au milieu)



3. Colloque des 25 ans du réseau RENECOFOR

Quels sont les impacts des pollutions atmosphériques sur les forêts ? L'acidification est-elle toujours une menace ? Les forêts pourront-elles s'adapter au réchauffement du climat et contribuer à l'atténuer ? Comment évolue la biodiversité qu'elles abritent ? Depuis plusieurs décennies, leur devenir inquiète les forestiers mais concerne, au-delà, l'ensemble de la société. Les gérer de manière durable nécessite de les observer pour pouvoir détecter, comprendre voire anticiper les impacts d'un environnement changeant. C'est la raison d'être du réseau RENECOFOR, depuis sa création en 1992 au lendemain de la crise des pluies acides.

Objectifs et principes du colloque

Le colloque organisé à l'occasion du 25^{ème} anniversaire du réseau a eu pour objectifs :

1. de rendre compte des résultats acquis depuis 25 ans, et notamment de ceux obtenus depuis le dernier colloque organisé pour les 15 ans du réseau en 2007,
2. d'initier la réflexion sur le devenir de l'observation des forêts, en prenant appui sur l'expérience acquise par les principaux dispositifs existants,
3. de reconnaître le travail accompli jusque-là.

Le principe a été celui d'un colloque de vulgarisation scientifique, en français, et ouvert gratuitement à un public diversifié au-delà de l'ONF et des partenaires impliqués dans RENECOFOR. Il s'est déroulé du 11 au 13 octobre 2017, autour de 38 présentations orales en plénière, structurées en sessions thématiques :

- Session 1 : Ouverture du colloque
- Session 2 : Comment les arbres répondent-ils aux variations du climat ?
- Session 3 : Quel rôle joue la forêt dans la séquestration de carbone atmosphérique ?
- Session 4 : Acidification et cycle des éléments nutritifs dans les écosystèmes forestiers
- Session 5 : Dynamique des polluants persistants en forêt
- Session 6 : Étude et suivi de la biodiversité forestière
- Session 7 : L'observation des forêts à l'échelle pan-européenne
- Session 8 : Quelles perspectives pour le suivi des forêts ?
- Session 9 : Synthèse et clôture du colloque

En parallèle, un espace et des plages de temps ont été dédiés aux échanges autour des posters apportés par les participants et d'autres éléments d'exposition :

- Exposition *Les plantes au rythme des saisons* qui fait suite à la publication de l'ouvrage éponyme dédié à la phénologie (cf. chapitre 4.3),
- Film *À l'écoute de la forêt* sur le réseau suisse de suivi des écosystèmes forestiers (dispositif LWF géré par le WSL),
- Portraits et témoignages de personnes impliquées à divers titres dans le réseau (cf. journal *RENECOFOR : un observatoire scientifique, une aventure humaine*).

Des faits marquants

- Le colloque a accueilli un public nombreux (320 participants) et diversifié : personnels de l'ONF et gestionnaires de la forêt privée, chercheurs de France et d'autres pays, enseignants et étudiants, représentants institutionnels et associations, entreprises et journalistes.
- Tous les intervenants sollicités ont répondu présent et ont fait preuve d'un réel effort de vulgarisation du contenu de leur présentation, ce qui a permis des discussions nourries avec l'ensemble du public (y compris les participants non-scientifiques).
- Une remise de prix a été l'occasion d'explicitier l'effort accompli par les nombreux contributeurs du réseau. Par exemple, en 25 ans, la collecte hebdomadaire des dépôts atmosphériques aura représenté près de 1 300 relevés cumulés sur chacun des 27 sites concernés, dont une très faible part (0,5 %) seulement aura été manquée grâce au travail inlassable des agents locaux (impliqués pour certains encore depuis le début).
- À cinq ans de l'échéance minimale initialement dessinée pour le réseau RENECOFOR, le colloque a permis d'attirer l'attention des décideurs et des scientifiques sur l'importance de la poursuite de l'observation des écosystèmes forestiers à plus long terme. Principal bailleur de fonds et établissement porteur du dispositif, l'ONF, représenté par le Directeur forêts et risques naturels, a notamment exprimé sa volonté que le réseau RENECOFOR soit prolongé au-delà de ses 30 ans.

Quelques remarques de fond tirées de la synthèse du colloque par Yves Birot

- L'invariance n'existe pas en écologie, comme le confirment les évolutions observées pour de nombreux paramètres. Cela conduit à un profond changement de paradigme dans la gestion forestière. Mais il faut pour cela connaître plus finement encore les mécanismes sous-jacents.
- Les avancées scientifiques permises par RENECOFOR ont été nombreuses (plus de 150 articles dans des revues à comité de lecture) et parfois inattendues (ex : hausse des stocks de carbone des sols). Ce dispositif a montré son originalité et la pertinence toujours actuelle de son approche multi-domaine.
- Les résultats présentés montrent aussi que RENECOFOR, malgré ses 25 ans d'âge, est encore en situation d'exploration. Toute recherche génère de nouvelles questions et parfois des résultats contradictoires, et fait surgir des incertitudes. Ceci fait ressortir le besoin d'acquisition de données sur des pas de temps plus longs.
- Les questionnements vis-à-vis du monitoring forestier ont aussi évolué en 25 ans. Comment peut-on répondre à ces nouvelles attentes tout en maintenant la continuité des observations sur le long terme ? Cela implique de revisiter la conception de RENECOFOR, mais aussi d'élaborer un plan stratégique concerté pour améliorer les synergies avec les autres dispositifs de suivi des forêts en France.
- Face à l'importance croissante du rôle de la forêt dans les questions climatiques, et plus généralement dans une économie fondée sur le vivant, face aux incertitudes des

évolutions futures, le besoin de données provenant du suivi dans des domaines multiples des écosystèmes forestiers est toujours actuel.

- En conclusion : « 25e anniversaire oblige, je terminerai par quelques mots sur RENECOFOR. Il faut redire son caractère unique et non substituable pour le suivi général à long terme du fonctionnement des écosystèmes forestiers en France. Certains de ses objectifs devront être revisités, des critères nouveaux pris en compte, des améliorations apportées à son fonctionnement et à la valorisation de ses données. Mais la poursuite du suivi au-delà des 30 ans initialement prévus, me paraît imposée par la longévité des cycles forestiers, et le contexte des changements environnementaux en cours. Pour y parvenir, la voilure du réseau actuel ne devrait pas être réduite davantage, ni dans sa taille, ni dans les effectifs de son équipe de coordination, ni dans l'ambition de la collecte de données multi-domaines de qualité. Bon vent à RENECOFOR ! »

Perspectives

La restitution du contenu du colloque est en cours. Une nouvelle rubrique a été intégrée en avril 2018 aux pages Internet du réseau RENECOFOR : elle permet de revivre le colloque à travers les vidéos et résumés des présentations orales, les éléments exposés et documents distribués pendant l'événement, ainsi que des photographies de son déroulement. Par ailleurs, l'édition d'actes est prévue dans un numéro spécial de la revue de l'ONF *Rendez-vous techniques*.

De son côté, le Comité de pilotage scientifique du réseau a engagé une réflexion stratégique afin d'élaborer des scénarios de prolongement d'activité à plus long terme, à soumettre aux décideurs en 2019, en amont de la renégociation du contrat d'objectifs et de performance qui lie l'ONF à ses tutelles.

Enfin, une enquête a été lancée pour recueillir l'avis des participants à la fois sur le colloque et sur les perspectives à donner au réseau au-delà de 30 ans. Elle sera clôturée le 15 juin 2018.

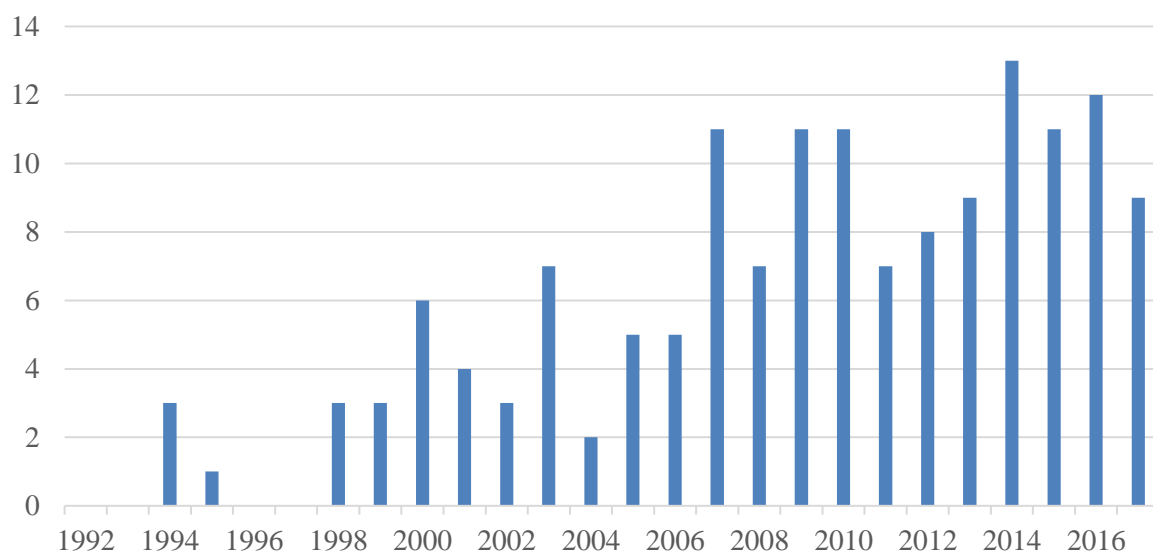
Photographie des participants au colloque (par Luc Croisé)



Tableau 2 : Nombre de publications et communications scientifiques nouvellement recensées en 2017 comme émanant du réseau RENECOFOR et/ou basées sur ses données. Les articles scientifiques acceptés en 2017 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
Contributions à des indicateurs écologiques	2		2
Manuels de référence	1		1
Présentations orales	19	3	22
Publications dans des revues à comité de lecture	6	3	9
Rapports scientifiques	2	1	3
Thèses de doctorat	2		2
Autres documents	6		6
<i>Total</i>	38	7	45

Figure 4 : Nombre d'articles publiés de 1992 à 2017 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 2017 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 programme ICP Forests. Concernant les présentations orales, toutes les communications tenues lors du colloque organisé pour les 25 ans de RENECOFOR (cf. chapitre 3) ne sont pas comptées dans le Tableau 2, mais uniquement celles portant sur le réseau ou sur des résultats obtenus avec son support.

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. Sur les 151 articles publiés en 25 ans dans des revues à comité de lecture, 53 l'ont été pendant les quinze premières années (1992-2007) et 98 pendant les dix années suivantes jusqu'en 2017.

4.2. Principaux résultats publiés en 2017

4.2.1. Effets des dépôts de polluants azotés sur la diversité floristique

Si aujourd'hui le changement climatique a pris le devant de la scène, les retombées de polluants azotés dans les pluies se sont maintenues à un niveau significatif, et leur impact mérite tout autant notre attention. Plus encore, ces deux contraintes environnementales dues à l'activité humaine peuvent agir en interaction sur les écosystèmes forestiers et leur biodiversité. Dans sa thèse de doctorat, Simon Rizzetto (2017) s'est appuyé sur les données du réseau RENECOFOR pour adapter, calibrer et articuler différents modèles de fonctionnement de l'écosystème forestier. Puis, il a utilisé ces modèles pour simuler l'évolution future d'une chênaie de l'Ouest (CHS 41), d'une sapinière de l'Est (SP 57) et d'une pessière du Massif central (EPC 87), sous l'effet de scénarios combinés de dépôts atmosphériques et de changement climatique. Il a ainsi pu estimer les effets de ces scénarios sur les propriétés du sol (acidité, teneurs en azote et en nutriments échangeables), sur la composition de l'eau qui le traverse (mêmes paramètres), et sur la diversité de la flore (composition en espèces du sous-bois), à l'échéance de l'an 2100. Les résultats des simulations suggèrent que le changement climatique aurait un impact plus important sur les propriétés du sol (notamment sur le taux de saturation en nutriments échangeables), tandis que les dépôts d'azote auraient une influence prépondérante sur la concentration en azote de l'eau qui le traverse. Les effets sur la dynamique à long terme de la flore dépendent du site : l'influence du changement climatique serait de même importance que celle des dépôts d'azote dans la chênaie de l'Ouest, mais elle serait prépondérante pour les deux

autres sites. Ce remarquable travail de thèse fournit des outils nouveaux et un recul précieux sur les indicateurs de suivi des effets des changements globaux sur forêts. Il a été récompensé par le prix Léopold Escande de l'Institut National Polytechnique de Toulouse.

Par ailleurs, à l'échelle européenne, van Dobben & de Vries (2017) ont réalisé une analyse statistique des inventaires floristiques menés entre 1995 et 2006 sur les sites de niveau II du PIC Forêts, pour y rechercher un effet potentiel de la pollution azotée. Il ressort sans surprise que les variations spatiales de la composition floristique dépendent principalement des propriétés chimiques du sol, du type de couvert et du climat, mais aussi, dans une moindre mesure, des dépôts d'azote sous forme de nitrates. De plus ces dépôts de nitrates apparaissent parmi les facteurs significatifs des changements observés dans la flore après environ 10 ans de suivi (intervalle d'observation de 7 à 11 ans selon les sites) : de manière cohérente ils favorisent le développement des espèces nitrophiles.

4.2.2. *Bioindication et bioaccumulation des dépôts de polluants persistants*

Créé au lendemain de la crise des pluies acides, le réseau RENECOFOR a suivi continuellement les quantités de dépôts atmosphériques acidifiants et eutrophisants en forêt et leurs impacts. Cependant il s'est aussi révélé comme un support utile pour l'étude de polluants persistants, également transportés à longue distance par l'atmosphère. Si leur très faible concentration rend leur mesure difficile et rare dans les retombées atmosphériques, leur toxicité permet en revanche d'utiliser certains organismes naturels comme de véritables sentinelles de ces types de pollution. Leur accumulation dans les tissus organiques peut même servir à reconstituer l'évolution de leurs apports atmosphériques à partir de collections historiques d'échantillons.

Longévifs et dépourvus de racines et de cuticule, les lichens accumulent particulièrement les métaux transportés par l'atmosphère. Dans sa thèse, Yannick Agnan (2013) avait notamment analysé des échantillons de lichens pour retracer l'évolution des pollutions atmosphériques en métaux lourds en comparant dans plusieurs secteurs géographiques le contenu de spécimens conservés dans des herbiers (jusqu'à un siècle en arrière) à celui de spécimens qu'il avait prélevés sur des sites RENECOFOR. Cependant il avait aussi inventorié les différentes espèces de lichens, avec leur abondance, permettant ainsi de mettre en relation la composition de ces communautés d'espèces avec la quantité de métaux accumulée dans leurs tissus (Agnan *et al.*, 2017). Les résultats révèlent que les lichens sont plus ou moins sensibles à l'accumulation de métaux, mettant en lumière des espèces indicatrices de conditions plus ou moins polluées.

De son côté, dans le cadre de sa thèse soutenue en 2017, Sara Negro s'est intéressée aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) accumulés dans les écosystèmes forestiers. Ces polluants organiques persistants sont émis dans l'atmosphère lors de combustions incomplètes. Ils sont reconnus comme substances prioritaires par l'Union européenne en raison de leur toxicité et de leur omniprésence dans l'environnement, due à leurs retombées à longue distance. L'étude s'est appuyée sur des échantillons archivés dans la pédothèque du réseau RENECOFOR. Les HAP ont été dosés dans des échantillons de feuilles ou d'aiguilles d'arbres, d'humus et de sol collectés sur 14 sites, de 1993 à 2011. Les résultats montrent que l'évolution

de la pollution atmosphérique en HAP peut être retracée par le contenu des feuilles ou aiguilles d'arbres collectionnées depuis 1993. En effet la signature mesurée dans ces échantillons (i.e. la proportion entre les différentes espèces de HAP) est très similaire à celle connue dans les retombées atmosphériques. De plus, en écartant certaines valeurs exceptionnelles attribuables à des feux de forêts, le contenu des prélèvements foliaires successifs montre une tendance à la baisse, de manière tout à fait cohérente avec l'évolution estimée des émissions nationales de HAP pendant la même période (CITEPA, www.citepa.org). Pour autant la forêt ne semble jouer qu'un rôle de filtre modéré : la part de HAP fixés dans les feuilles des forêts françaises est ici estimée entre 2 et 5% du total de HAP émis, loin d'une estimation précédente de $44 \pm 18\%$ en Indiana (Simonich et Hites, 1994). Cependant cela n'empêche pas les HAP de s'accumuler dans l'écosystème. En effet, les stocks mesurés dans les sols des 14 sites RENECOFOR s'avèrent très importants par rapport au flux d'apport estimé par la chute des feuilles, ce qui implique un temps de résidence très élevé et suggère une dynamique d'accumulation sur des temps très longs (plusieurs centaines d'années).

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

La reproduction des arbres forestiers est un paramètre important à considérer pour comprendre et anticiper l'impact des changements environnementaux sur les peuplements et plus largement sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers. Les chutes de litière collectées de 1994 à 2007 sur l'ensemble des 102 sites du réseau RENECOFOR constituent une précieuse source de données pour étudier la fructification des arbres de manière quantitative. C'est à partir de ce jeu de données que Caignard *et al.* (2017) ont mis en évidence une tendance à la hausse de la production de glands, qu'ils attribuent à l'augmentation de température observée sur la même période. En effet, l'analyse des données révèle une nette relation positive entre la production de glands et la température de printemps (avril-mai), à la fois pour les chênes sessiles (19 sites) et pour les chênes pédonculés (9 sites). De plus, une relation similaire apparaît sur un dispositif de l'INRA composé de cinq sites de chêne sessile suivi le long d'un gradient de 130 m à 1630 m d'altitude dans les Pyrénées. Ces résultats suggèrent que la fructification des chênes augmente avec le réchauffement climatique. Néanmoins, si les glandées devaient devenir plus régulières au cours du temps, elles pourraient aussi favoriser le développement des espèces consommatrices des glands (insectes, ongulés) et aboutir paradoxalement à un effet négatif sur la capacité de reproduction des chênes. Il apparaît d'autant plus important de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents et les interactions avec les populations consommatrices pour pouvoir prédire l'impact de l'évolution du climat (cf. dispositif PotenChêne, partie 2.4.2).

4.2.4. *Comprendre et modéliser la précocité des stades phénologiques*

Les dates de débourrement et de sénescence des feuilles, qui conditionnent la durée de la saison de végétation, sont aussi des paramètres de réponse des arbres qu'il importe de comprendre pour pouvoir anticiper les impacts du changement climatique. Cependant le suivi phénologique nécessite de revenir au même endroit de manière répétée au bon moment de l'année. Grâce à la contribution des agents ONF à proximité de chacun de ses 102 sites, RENECOFOR a constitué depuis 1997 un jeu de données inédit à l'échelle nationale pour étudier et modéliser la phénologie foliaire des arbres forestiers.

Dans leur étude, Gaüzère *et al.* (2017) ont cherché à améliorer la modélisation du processus de débournement des bourgeons. Quel effet pourrait avoir le réchauffement du climat sur la levée de leur dormance, qui dépend à la fois de la chaleur du printemps et de l'accumulation de froid pendant l'hiver ? Selon plusieurs études, une longue photopériode pourrait aussi jouer un rôle susceptible de compenser le manque de froid hivernal, selon les espèces. L'enjeu est donc de quantifier l'effet et les interactions de ces différents facteurs. Ici, plusieurs modèles ont été testés sur les observations du réseau RENECOFOR : ceux qui intègrent un effet de la photopériode reproduisent mieux le débournement des feuilles de chêne et de hêtre. Après quoi, des simulations ont été menées pour estimer l'effet du réchauffement du climat d'ici la fin du siècle : elles suggèrent que la compensation du manque de froid hivernal par la photopériode permettrait aux dates de débournement de devenir de plus en plus précoces tendanciellement.

De leur côté, Delpierre *et al.* (2017) se sont intéressés aux variations de précocité des arbres au sein des chênaies et des hêtraies du réseau RENECOFOR, en profitant de l'amélioration apportée au protocole en 2009. En effet, les dates de débournement et de senescence des feuilles, initialement relevées à l'échelle de la population des 36 arbres-observation de chaque site, sont détaillées arbre par arbre depuis cette année-là. Confirmant les impressions sur le terrain, les résultats montrent que les arbres qui débourrent le plus précocement au sein d'un peuplement tendent à rester les mêmes d'une année sur l'autre. Dans une moindre mesure, les arbres dont les feuilles meurent le plus tôt tendent aussi à rester les mêmes au sein d'un peuplement. D'autre part, les différences de précocité entre les arbres apparaissent en relation avec leur croissance : les arbres qui croissent le plus tendent à correspondre à ceux qui débourrent le plus tôt chez le hêtre, et à ceux dont les feuilles meurent le plus tard chez les chênes.

4.2.5. *Les sols forestiers jouent un rôle notable de puits de carbone*

Les sols ont un rôle important à jouer dans la régulation du climat. Ils constituent une réserve considérable de carbone, sous forme de matières organiques, dont une augmentation minimale (4/1000 par an) pourrait suffire à stopper l'augmentation de la teneur en CO₂ de l'atmosphère. À l'inverse une diminution de cette réserve pourrait contribuer à accélérer le changement du climat. C'est à partir de ce constat que la France a lancé l'initiative « 4 pour 1000 », lors de la Conférence de Paris sur le climat (COP 21) en 2016, afin de promouvoir des pratiques de nature à préserver, voire à développer les stocks de carbone des sols. En outre ses engagements internationaux dans le cadre du protocole de Kyoto et de l'Union européenne requièrent désormais de comptabiliser l'évolution des stocks de carbone de ses sols forestiers et agricoles.

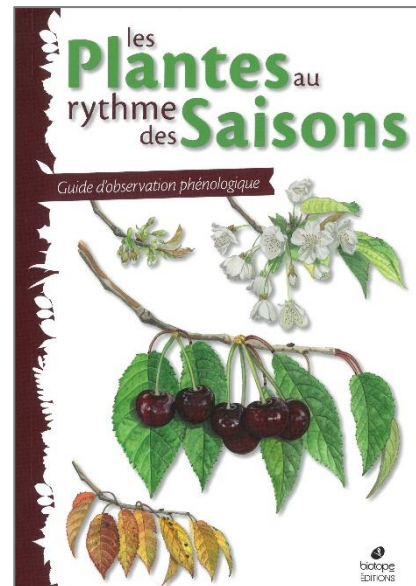
Dans ce contexte, le suivi du réseau RENECOFOR apporte des résultats de mesure originaux et désormais publiés dans la revue *Science of the Total Environment* (Jonard *et al.*, 2017). En effet, les prélèvements répétés de manière comparable dans les sols des 102 placettes du réseau ont permis de mettre en évidence une hausse significative de leur stock de carbone organique sur un intervalle de 15 ans. En moyenne la vitesse de séquestration s'élève à 0,35 tonnes de carbone par hectare et par an, ce qui représente justement un accroissement annuel de l'ordre de 4/1000. La France est ainsi l'un des rares pays à pouvoir justifier par des données mesurées le rôle de puits de carbone joué par ses sols forestiers (CITEPA, 2014). Cependant, il reste

beaucoup à faire pour comprendre la dynamique du carbone des sols et essayer de l'anticiper. On ne sait pas notamment si la séquestration constatée sera amenée à se poursuivre dans le temps, ni à quel rythme, ni jusqu'à quelle limite. On ne sait pas non plus de quels leviers les gestionnaires forestiers pourraient disposer pour favoriser ce puits de carbone. La recherche doit se poursuivre. Les données et les échantillons du réseau RENECOFOR constituent un support d'étude inédit, par la diversité des contextes écologiques représentés, et par la richesse des informations collectées à l'échelle de l'ensemble de l'écosystème forestier. En décembre 2016, un atelier avait d'ailleurs été organisé à l'initiative de chercheurs pour partager les différents travaux de recherche en cours ou en projet « autour du carbone des sols du réseau RENECOFOR » (Nicolas *et al.*, 2017).

4.3. Contribution à un ouvrage de vulgarisation sur la phénologie

L'expérience de l'observation à long terme de l'environnement mérite d'être partagée en tant que telle, y compris auprès du grand public. La phénologie des arbres est un indicateur accessible à tous pour suivre le rythme des saisons, avec un intérêt particulier dans le contexte actuel de réchauffement global du climat.

Depuis plus de dix ans, RENECOFOR participe à l'Observatoire des saisons, un groupe de recherche qui visait déjà non seulement à rassembler les données collectées par les scientifiques, mais aussi à y impliquer le grand public à travers une démarche de sciences participatives. Pour aller plus loin, la rédaction collective d'un ouvrage de vulgarisation sur la phénologie des végétaux a été initiée en 2013, avec notamment la contribution de Sébastien Cecchini, technicien au sein de l'équipe de coordination du réseau RENECOFOR. Ce long travail a abouti à la publication en 2017 du guide *Les plantes au rythme des saisons* aux éditions Biotope (Badeau *et al.*, 2017).



Dans sa première partie, l'ouvrage introduit des notions générales et vulgarise des résultats de recherche sur les phases de développement au cours d'un cycle annuel, le mode de contrôle de ce cycle par les plantes, les facteurs qui l'influencent, les champs d'application de l'étude de la phénologie, les conséquences attendues de l'évolution du climat, etc. Puis, en seconde partie, il fournit au lecteur les indications pour suivre par lui-même les stades de 79 espèces retenus comme « marqueurs phénologiques ». Chaque espèce fait l'objet d'une fiche pratique d'observation illustrée par des photographies et des aquarelles.

Ce travail de vulgarisation a servi de support à l'élaboration d'une exposition éponyme, qui a été présentée pour la première fois à l'occasion du colloque des 25 ans du réseau RENECOFOR (cf. chapitre 3). Un exemplaire de l'ouvrage a également été remis à chaque participant.

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

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

- Elle met ses données à disposition gratuitement sur demande et apporte son expertise pour leur utilisation. En 2017, elle a répondu à 18 demandes de données. Le programme ICP Forests a également relayé 13 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 : projet piCaSo) et ses sites (ex : projet PotenChêne), à condition que les mesures envisagées ne portent pas atteinte aux missions de suivi du réseau RENECOFOR (cf. chapitre 2.4.2).

Le Tableau 3 liste les projets de recherche en cours en 2017 et auxquels l'équipe de coordination a apporté une contribution particulière, soit par la mise à disposition de sites ou d'échantillons archivés, soit par un apport d'expertise (ex : participation à un comité de suivi). Il illustre une nouvelle fois la diversité des thématiques auxquelles le réseau fournit un support intéressant, jusque bien au-delà des objectifs scientifiques pour lesquels il a été initialement conçu.

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

Si la valorisation des données acquises repose essentiellement sur la contribution volontaire de chercheurs, le réseau RENECOFOR finance aussi parfois des travaux d'analyse pour répondre à des besoins non pourvus par les moyens de la recherche. En 2017, une convention a été passée avec l'INRA de Bordeaux pour conduire une nouvelle étude sur l'évolution du déficit foliaire des arbres en réponse aux variations environnementales.

En effet, bien que le déficit foliaire ait été l'un des principaux indicateurs suivis depuis la mise en place des réseaux de surveillance de la santé des forêts (en France, réseaux systématique 16 km x 16 km et RENECOFOR), très peu d'études ont été publiées pour analyser ses variations en réponse aux facteurs environnementaux. Face au manque de retour sur le suivi de cet indicateur sanitaire, une première initiative avait été prise pour explorer les données collectées de 1994 à 2009. Elle avait permis de mettre en évidence une tendance significative à la dégradation de la santé des arbres, et d'identifier les principaux facteurs associés à cette dynamique temporelle : en l'occurrence les précipitations, la densité du peuplement et le nombre d'arbres présentant un problème sanitaire (Ferretti *et al.*, 2014).

Il s'agit maintenant d'approfondir cette première étude, en profitant d'un jeu de données prolongé jusqu'en 2015. Le travail est mené par Maude Toïgo, dans le cadre d'un contrat de post-doctorat. Les premiers résultats mettent en évidence des interactions l'effet de facteurs biotiques et climatiques sur le déficit foliaire des arbres (Toïgo, 2017). Ils ont fait l'objet d'un poster présenté à l'occasion du colloque organisé pour les 25 ans de RENECOFOR. L'étude se poursuit en 2018 et vise la soumission d'un article dans une revue scientifique internationale.

5. Conclusions

Le réseau RENECOFOR est un outil de suivi des écosystèmes forestiers unique en France, riche déjà de 25 ans d'expérience, et qui atteindra bientôt l'horizon de 30 ans visé à sa création. Le colloque organisé à l'occasion de cet anniversaire, a permis :

- de partager le bilan des nombreuses avancées scientifiques qu'il a permises (plus de 150 articles et 15 thèses de doctorat publiés),
- de rendre hommage à la contribution des centaines de personnels de l'ONF et de partenaires impliqués à travers la France,
- et d'engager la réflexion sur les perspectives à donner à plus long terme à cette aventure scientifique et humaine.

Une réflexion stratégique doit suivre désormais afin d'élaborer des scénarios futurs à soumettre en 2019 au choix des bailleurs de fonds publics du réseau, pour définir un nouvel horizon d'observation à long terme des écosystèmes forestiers.

Tableau 3 : Projets de recherche en cours en 2017 et auxquels l'équipe de coordination a apporté une contribution particulière

Intitulé	Financeur(s)	Période	Contributions du réseau RENECOFOR
Projet PotenChêne : Potentiel de régénération des chênaies dans le contexte du changement climatique	Ministère de l'environnement (Appel BGF)	2013-2017	- Support d'étude : 12 placettes équipées pour la collecte de fleurs et de fruits sur des arbres individuels (10 chênes sessiles par placette) - Participation des agents locaux au fonctionnement du dispositif
Projet piCaSo : Pilotage sylvicole et contrôle pédologique des stocks de carbone des sols forestiers	ADEME (Appel REACTIF)	2014-2017	- Fourniture d'échantillons archivés, pour analyser la stabilité du carbone organique des sols de toutes les placettes - Fourniture de données pour tester la capacité de reproduction de la dynamique du carbone des sols avec le modèle Century
Projet Insensé : Indicateurs de sensibilité des écosystèmes forestiers soumis à une récolte accrue de biomasse	ADEME (Appel REACTIF)	2013-2017	- Fourniture de l'ensemble des données de sol du réseau (chimie et descriptions) pour la constitution d'une base de données regroupant un maximum de données existantes sur les sols forestiers
Projet Sacroboque : 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)
Projet Nitriphyll : 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)
Projet Mottles : Détermination de nouveaux seuils d'impact de l'ozone sur la végétation forestière	Union européenne (LIFE Environment)	2016-2020	- Support d'étude : 4 placettes avec historique de suivi des concentrations en ozone dans l'air et de ses impacts sur la végétation - Fourniture de données pour l'estimation du flux d'ozone stomatal

Tableau 3 (suite) : Projets de recherche en cours en 2017 et auxquels l'équipe de coordination a apporté une contribution particulière

Intitulé	Financier(s)	Période	Contributions du réseau RENECOFOR
Expérience mondiale "Tea bag index" : Étude du processus de décomposition des matières organiques en forêt à l'aide de sachets de thé	INRA (autofinancement)	2016-2017	- Relecture, test, puis déploiement d'un protocole expérimental de science participative - Support d'étude : mise en œuvre de l'expérimentation de manière synchrone sur toutes les placettes par les agents locaux
Thèse de Marine Roulier : 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	2016-2019	- 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
Thèse de Sara Negro : Rôle des forêts dans le transfert des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) depuis l'atmosphère jusque dans les eaux souterraines	ADEME, Université de Savoie	2013-2016 (soutenue en 2017)	- Fourniture d'échantillons archivés de feuillage vert (1993-2011), d'humus et de sol de 14 placettes pour analyse des HAP (polluants organiques persistants, produits de combustion) - Participation au comité de thèse
Thèse de Simon Rizzetto : Modélisation dynamique de la réponse de la biodiversité végétale aux charges critiques azotées pour les forêts françaises dans un contexte de changement global	ADEME	2014-2017	- Fourniture de données pour le paramétrage et la calibration de modèles à base de processus - Participation au comité de thèse
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
Étude des variations temporelles du déficit foliaire sur les placettes RENECOFOR	ONF, INRA	2017-2018	- Fourniture de données - Participation au comité de pilotage - Financement

6. Bibliographie

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

- Agnan Y., Probst A., Séjalon-Delmas N., 2017. Evaluation of lichen species resistance to atmospheric metal pollution by coupling diversity and bioaccumulation approaches: A new bioindication scale for French forested areas. *Ecological Indicators* 72:99–110, doi 10.1016/j.ecolind.2016.08.006
- Ascoli D., Maringer J., Hacket-Pain A., Conedera M., Drobyshev I., Motta R., Cirolli M., Kantorowicz W., Zang C., Schueler S., **Croisé L.**, Piussi P., Berretti R., Palaghianu C., Westergren M., Lageard J.G.A., Burkart A., Gehrig Bichsel R., Thomas P.A., Beudert B., Övergaard R., Vacchiano G., 2017. Two centuries of masting data for European beech and Norway spruce across the European continent (data paper). *Ecology*, vol. 98, n° 5, p. 1473, doi:10.1002/ecy.1785
- Augusto L., Bakker M.R., **Nicolas M.**, **Cecchini S.**, 2017. Protocole expérimental : étude du processus de décomposition des matières organiques dans le réseau RENECOFOR. Version 2.8 du 27 avril 2017. INRA-ONF, 16 p.
- Badeau V., Bonhomme M., Bonne F., Carré J., **Cecchini S.**, Chuine I., Ducatillion C., Jean F., Lebourgeois F., 2017 : Les plantes au rythme des saisons : guide d'observation phénologique. Mèze, Biotope, ISBN : 978-2-36662-196-9, 336 p.
- Caignard T., Kremer A., Firmat C., **Nicolas M.**, Venner S., Delzon S., 2017. Increasing spring temperatures favor oak seed production in temperate areas. *Scientific Reports*, vol. 7, n° 1, pp. 1-8, doi:10.1038/s41598-017-09172-7
- Cécillon L., Soucémarianadin L., Berthelot A., Duverger M., De Boissesson J.-M., Gosselin F., Guenet B., Barthès B., De Danieli S., Barrier R., Abiven S., Chenu C., Girardin C., Baudin F., Savignac F., **Nicolas M.**, Mériguet J., Barré P., 2017. piCaSo : pilotage sylvicole et contrôle pédologique des stocks de carbone des sols forestiers. ADEME. 103 p.
- Delpierre N., Guillemot J., Dufrêne E., **Cecchini S.**, **Nicolas M.**, 2017. Tree phenological ranks repeat from year to year and correlate with growth in temperate deciduous forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 234-235:1-10, DOI: 10.1016/j.agrformet.2016.12.008
- Fernandez-Martinez M., Vicca S., Janssens I.A., Espelta J.P., Peñuelas J., 2017. The role of nutrients, productivity and climate in determining tree fruit production in European forests. *New Phytologist*, 213(2):669-679, doi: 10.1111/nph.14193 (online 08/09/2016)
- Gaüzere J., Delzon S., Davi H., Bonhomme M., Garcia de Cortazar-Atauri I., Chuine I., 2017. Integrating interactive effects of chilling and photoperiod in phenological process-based models: A case study with two European tree species: *Fagus sylvatica* and *Quercus petraea*. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 244, pp. 9-20, doi:10.1016/j.agrformet.2017.05.011
- Guillemot J., François C., Hmimina G., Dufrêne E., Martin-StPaul N.K., Soudani K. Marie G., Ourcival J.-M., Delpierre N., 2017 : Environmental control of carbon allocation matters

- for modelling forest growth. *New Phytologist*. 214(1):180-193, DOI: 10.1111/nph.14320
- Jonard M., **Nicolas M.**, Coomes D.A., Caignet I., Saenger A., Ponette Q., 2017. Forest soils in France are sequestering substantial amounts of carbon. *Science of the Total Environment*, 574:616-628, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.028
- Michel A., Seidling W. (eds.) 2017: Forest Condition in Europe, 2017 Technical Report of ICP Forests. Report under the UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (CLRTAP), BFW-Dokumentation 24/2017, Vienna, 132p.
- Negro S., 2017. Rôle des écosystèmes forestiers dans le transfert des HAP de l'atmosphère aux sols : étude des placettes du réseau RENECOFOR. Thèse de doctorat, Université Grenoble Alpes, 270 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.
- ONF, 2017. État du feuillage des peuplements (indicateur 4.2). In "Bilan patrimonial des forêts domaniales hors DOM. Edition 2015", Paris : ONF Office national des forêts, pp. 173-178
- ONF, 2017. État physico-chimique des sols (indicateur 4.3). In "Bilan patrimonial des forêts domaniales hors DOM. Edition 2015", Paris : ONF Office national des forêts, pp. 179-182
- ONF, 2017. Rapport d'activité 2016. Paris, 49 p.
- ONF. Réseau RENECOFOR, 2017. RENECOFOR : 25 ans de suivi des écosystèmes, bilan et perspectives : résumés des présentations et liste des posters. Colloque du 11 au 13 octobre 2017, Beaune. Fontainebleau : ONF. Département recherche, développement et innovation. 43 p.
- ONF. Réseau RENECOFOR, 2017. RENECOFOR : un observatoire scientifique, une aventure humaine. Paris : ONF Office national des forêts. 7 p.
- ONF. Réseau RENECOFOR, 2017. RENECOFOR : un observatoire des écosystèmes forestiers. Paris : ONF Office national des forêts. 10 p.
- Rizzetto S., 2017 : Prédiction de la sensibilité biogéochimique et écologique des écosystèmes forestiers français aux dépôts atmosphériques azotés dans un contexte de changement global. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 374 p.
- Toïgo, M., 2017. La vitalité des arbres à l'épreuve des variations environnementales. Analyse des tendances à long terme et des variations interannuelles du déficit foliaire sur les placettes RENECOFOR. Rapport de convention ONF-INRA. INRA, Bordeaux, 34 p.
- Van Dobben H.F., De Vries W., 2017. The contribution of nitrogen deposition to the eutrophication signal in understorey plant communities of European forests. *Ecology and Evolution*, 7: 214–227, DOI: 10.1002/ece3.2485

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

Communications à l'occasion du colloque des 25 ans du réseau RENECOFOR, du 11 au 13 octobre 2017 à Beaune.

- Barthod C., Landmann G., 2017. Mise en perspective historique du suivi continu des forêts et du réseau RENECOFOR. Communication orale. 14 diapositives.
- Birot Y., 2017. 25 ans de suivi des écosystèmes forestiers : remarques conclusives. Communication orale. 7 diapositives.
- Bourin A., Sauvage S., Coddeville P., Nicolas M., Croisé L., Probst A., 2017 : La réduction des émissions polluantes se répercute-t-elle pleinement dans les retombées atmosphériques de soufre et d'azote en France ? Communication orale. 19 diapositives.
- Derrien D., Barré P., Basile-Doelsch I., Dignac M.F., 2017 : Comprendre la dynamique des matières organiques des sols, un compartiment-clé dans l'équilibre des écosystèmes forestiers. Communication orale. 21 diapositives.
- Dufrêne E., François C., Delpierre N., Davi H., Genet H., Guillemot J., Le Maire G., Le Dantec V., Marie G., Vincent-Barbaroux C., 2017 : Comment associer différents réseaux d'observation pour mieux comprendre le cycle du carbone en forêt ? Exemple du modèle CASTANEA. Communication orale. 24 diapositives.
- Dupouey J.L., Boulanger V., 2017 : Vingt ans de suivi de la flore : quels enseignements écologiques et méthodologiques ? Communication orale. 13 diapositives.
- Gandois L., Agnan Y., Probst A., 2017 : Quel impact et quel devenir des pollutions en métaux lourds en forêt ? Communication orale. 23 diapositives.
- 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., 2017 : Dégradation de la nutrition des arbres en phosphore : un signal confirmé à l'échelle européenne. Communication orale. 24 diapositives.
- Jonard M., Nicolas M., Coomes D., Caignet I., Saenger A., Ponette Q., 2017 : Le rôle de puits de carbone des sols forestiers : résultats de mesures et hypothèses explicatives. Communication orale. 28 diapositives.
- König N., 2017 : PIC Forêts : une longue expérience de contrôle et d'amélioration continue de la qualité des mesures, pour un suivi des forêts comparable à l'échelle européenne. Communication orale. 20 diapositives.
- Lebourgeois F., Delpierre N., Dufrêne E., Cecchini S., Macé S., Croisé L., Nicolas M., 2017 : Les réponses observées des arbres aux variations du climat (croissance, phénologie foliaire et fructification). Communication orale. 15 diapositives.
- Morin X., Chuine I., 2017 : Mieux comprendre les processus d'influence du climat sur les arbres pour anticiper les effets de son évolution sur la composition et le fonctionnement des forêts. Communication orale. 52 diapositives.
- Negro S., Nicolas M., Naffrechoux E., Poulenard J., 2017 : La forêt comme indicateur des polluants organiques persistants de l'atmosphère et de leur accumulation dans l'environnement : l'exemple des hydrocarbures aromatiques polycycliques. Communication orale. 14 diapositives.
- Nicolas M., 2017 : Quelles pistes d'évolution à envisager pour le monitoring des forêts ? Le point de vue de la coordination du réseau RENECOFOR. Communication orale. 8 diapositives.

- Ponette Q., Saenger A., Jonard M., Nicolas M., 2017 : Acidification et eutrophisation : vers une restauration de la fertilité chimique des sols forestiers ? Communication orale. 34 diapositives.
- Probst A., Rizzetto S., Belyazid S., Gégout J.C., Gaudio N., Nicolas M., Sverdrup H., 2017 : Simuler les effets combinés de la pollution atmosphérique et du changement climatique sur les écosystèmes forestiers. Communication orale. 29 diapositives.
- Richard B., 2017 : Variations des communautés de champignons dans le réseau RENECOFOR : résultats d'une initiative pionnière. Communication orale. 22 diapositives.
- Schaub M., Haeni M., Ferretti M., Gottardini E., Cailleret M., 2017 : Quelle contrainte la pollution à l'ozone fait-elle peser sur les forêts européennes ? Communication orale. 15 diapositives.
- Soudani K., Delpierre N., Dufrêne E., 2017 : Utiliser les données d'observation pour tester des outils de télédétection : exemple de la détection satellitaire du débouffement et de la senescence des feuilles. Communication orale. 15 diapositives.
- Thiry Y., 2017 : Comment l'observation des écosystèmes forestiers sert aussi à la prévention des risques de pollutions radioactives. Communication orale. 13 diapositives.
- Venner S., Caignard T., Schermer E., Gamelon M., Venner M.C., Débias F., Saint-Andrieux C., Guibert B., Siberchicot A., Boulanger V., Touzot L., Baubet E., Saïd S., Gaillard J.M., Focardi S., Delzon S., 2017 : Mieux comprendre les fortes variations des glandées et leurs effets sur la biodiversité associée. Contribution du réseau RENECOFOR. Communication orale. 27 diapositives.

Autres communications orales en 2017

- Nicolas M., 2017. Les sols forestiers sont-ils des puits ou des sources de carbone, en France métropolitaine ? Résultats de mesure sur le réseau RENECOFOR et identification de facteurs d'influence environnementaux. Communication orale. 36 diapositives. Réunion de la section 4 "Forêts, eaux, territoires" du Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux, 6 juin 2017, Paris.

6.3. Autres références citées

- Agnan Y., 2013 : Bioaccumulation et bioindication par les lichens de la pollution atmosphérique actuelle et passée en métaux et en azote en France : sources, mécanismes et facteurs d'influence. Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse, 306 p.
- Augusto L., Bastien C., Dufrêne E., Farcy C., Hervé J.-C., Jactel H., Pannatier E., 2013 : 2ème Evaluation du REseau National de suivi à long terme des ECOsystèmes FORestiers (RENECOFOR), 40 p.
- 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.

- CITEPA, 2014 : Rapport National d'Inventaire pour la France au titre de la Convention cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques et du Protocole de Kyoto. 294 p. + annexes
- Ferretti M., Nicolas M., Bacaro G., Brunialti G., Calderisi M., Croisé L., Frati L., Lanier M., Maccherini S., Santi E., Ulrich E., 2014: Plot-scale modelling to detect size, extent, and correlates of changes in tree defoliation in French high forests. *Forest Ecology and management*, 311: 56-69, DOI: 10.1016/j.foreco.2013.05.009
- 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.
- Lebourgeois F., Delpierre N., Dufrêne E., Cecchini S., Macé S., Croisé L., Nicolas M., *in press*: Assessing the roles of temperature, carbon inputs and airborne pollen as drivers of fructification in European temperate deciduous forests. *European Journal of Forest Research*. DOI: 10.1007/s10342-018-1108-1
- Macé S., 2012 : RENECOFOR - Manuel de référence n° 15: Installation et utilisation des dendromètres permanents, 1ère version. Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique et Commerciale Bois, Département Recherche et Développement, 23 p.
- Macé S., 2016 : RENECOFOR - Manuel de référence n° 15: Installation et utilisation des dendromètres permanents, 2ème version. Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique et Commerciale Bois, Département Recherche et Développement, 24 p.
- Simonich S.L., Hites R.A., 1994. Vegetation-atmosphere partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environmental science & technology*, 28(5), 939-943.
- Venner S., Siberchicot A., Pélisson P.F., Schermer E., Bel-Venner M.C., **Nicolas M.**, Débias F., Miele V., Sauzet S., Boulanger V., Delzon S., 2016. Fruiting strategies of perennial plants: a resource budget model to couple mast seeding to pollination efficiency and resource allocation strategies. *The American Naturalist*, 188(1):66-75, DOI: 10.1086/686684

Crédit photographique (couverture)

Luc Croisé

Légendes des photos de la couverture

En haut : Lecture d'un dendromètre permanent pour suivre l'accroissement annuel des arbres sur le site CPS 77

En bas : Participants au colloque des 25 ans du réseau RENECOFOR (Beaune, 11-13 octobre 2017)

Exemplaires imprimés : 450

Maquette DCOM



Office National des Forêts

Direction forêts et risques naturels

Réseau RENECOFOR

Site WEB : <http://www.onf.fr/renecofor>

Boulevard de Constance - 77300 Fontainebleau

Tél. : +33 (0) 1 60 74 92 28

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