

## Bilan technique de l'année 2015



Avril 2016



Ce document est à citer sous la forme suivante :  
NICOLAS M., CECCHINI S., CROISE L., MACE S., 2016 : RENECOFOR - Bilan technique de l'année 2015.  
Éditeur : Office national des forêts, Direction forêts et risques naturels, 27 p.



# RENECOFOR

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

## Bilan technique de l'année 2015

Auteurs : Manuel NICOLAS  
Sébastien CECCHINI  
Luc CROISE  
Sébastien MACE

Programme soutenu financièrement par :

- le ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt
- le ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie
- l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
- l'Office national des forêts

Avril 2016

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

Résumé.....	ii
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. Evaluation scientifique .....	4
2. Activités de l'année 2015 .....	5
2.1. Réalisation des activités périodiques .....	5
2.1.1. Campagne quinquennale d'inventaires dendrométriques.....	7
2.1.2. Campagne quinquennale d'inventaires floristiques .....	8
2.2. Fonctionnement du réseau .....	9
2.2.1. Confortation des activités du réseau dans les orientations de l'ONF.....	9
2.2.2. Renouvellement du marché d'analyse des échantillons de pluie et de solutions du sol...9	
2.3. Communication .....	10
2.3.1. Réunion d'information annuelle du réseau.....	10
2.3.2. Mise à jour et amélioration du site Internet du réseau .....	11
2.3.3. Evénements de communication .....	11
3. Travaux de valorisation des données à l'initiative du réseau .....	12
3.1. Comparaison de l'évolution mesurée des propriétés des sols à celle bioindiquée par la flore 12	
3.2. Communications orales.....	18
4. Contribution aux travaux de valorisation d'initiative externe .....	19
4.1. Recensement des productions documentaires .....	19
4.2. Principaux résultats publiés .....	19
4.3. Contribution de l'équipe de coordination aux valorisations externes.....	21
5. Conclusions .....	22
6. Bibliographie.....	23
6.1. Publications émanant du réseau RENECOFOR et/ou basées sur ses données.....	23
6.2. Communications orales en 2015 .....	24
6.3. Autres références citées .....	26

## Résumé

Pluies acides, changements climatiques, 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 en servant de support au développement de modèles de recherche.

Les activités programmées pour l'année 2015 ont été menées à bien. Sur le terrain, deux campagnes quinquennales d'inventaires dendrométriques et floristiques ont notamment été réalisées, portant à 20 ans ou plus le recul de ces suivis sur l'ensemble des sites. Une analyse a été dirigée pour comparer l'évolution de propriétés mesurées dans les sols à celles bio-indiquées par la flore, mettant en évidence des résultats inattendus. Néanmoins la valorisation du réseau repose essentiellement sur l'initiative de chercheurs extérieurs à l'ONF, auxquels les données, échantillons et sites d'observation sont mis à disposition. Les publications et communications scientifiques produites en 2015 sont recensées dans ce rapport. Deux articles ont notamment confirmé à l'échelle européenne la dégradation de la nutrition des arbres en phosphore qui avait été détectée auparavant en France.

L'observation des écosystèmes forestiers n'en est encore qu'à ses débuts et a encore beaucoup à nous apprendre. Le recul de suivi de près de 25 ans reste limité au regard du temps d'évolution de l'environnement et de la durée de révolution d'une futaie. A court terme, la poursuite du réseau RENECOFOR est confortée par son inscription au nouveau contrat d'objectifs et de performances de l'ONF pour la période 2016-2020. Son activité nécessiterait cependant de pouvoir être prévue à plus long terme.



# 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 (les derniers en date : « Forest Focus » et LIFE+). 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.

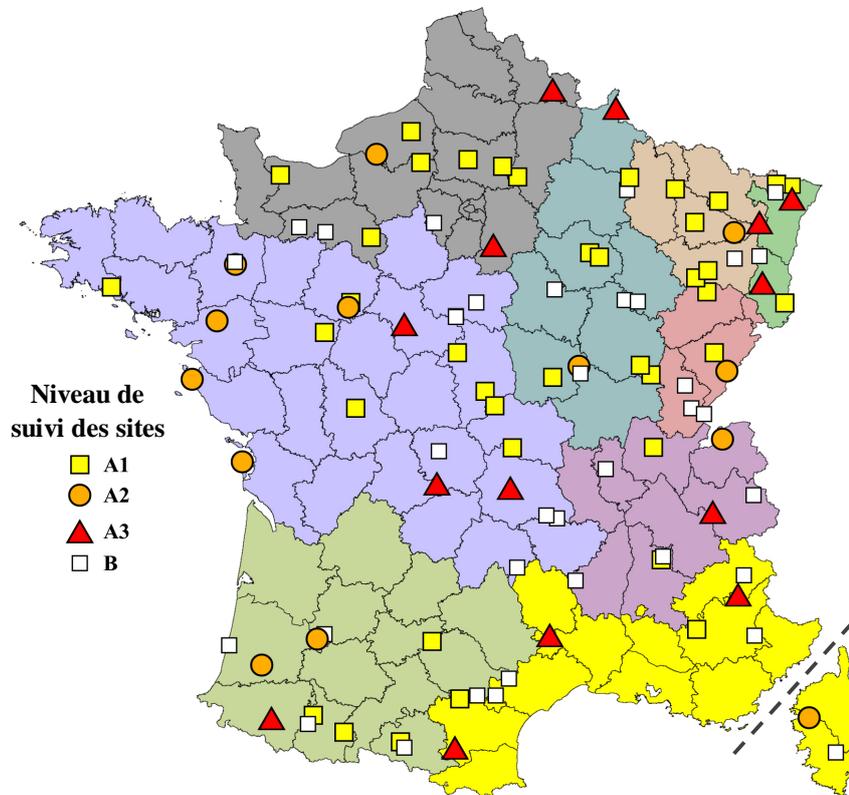
### 1.1.1. Objectifs initiaux

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 au sein du découpage territorial de l'ONF. 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

A 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 :

- 1) La réaction des écosystèmes forestiers aux évolutions du climat,
- 2) Le cycle des éléments nutritifs en forêt, notamment en relation avec les dépôts atmosphériques,
- 3) 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, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (MAAF), le ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE) 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. Evaluation 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 la fin 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.

## 2. Activités de l'année 2015

### 2.1. Réalisation des activités périodiques

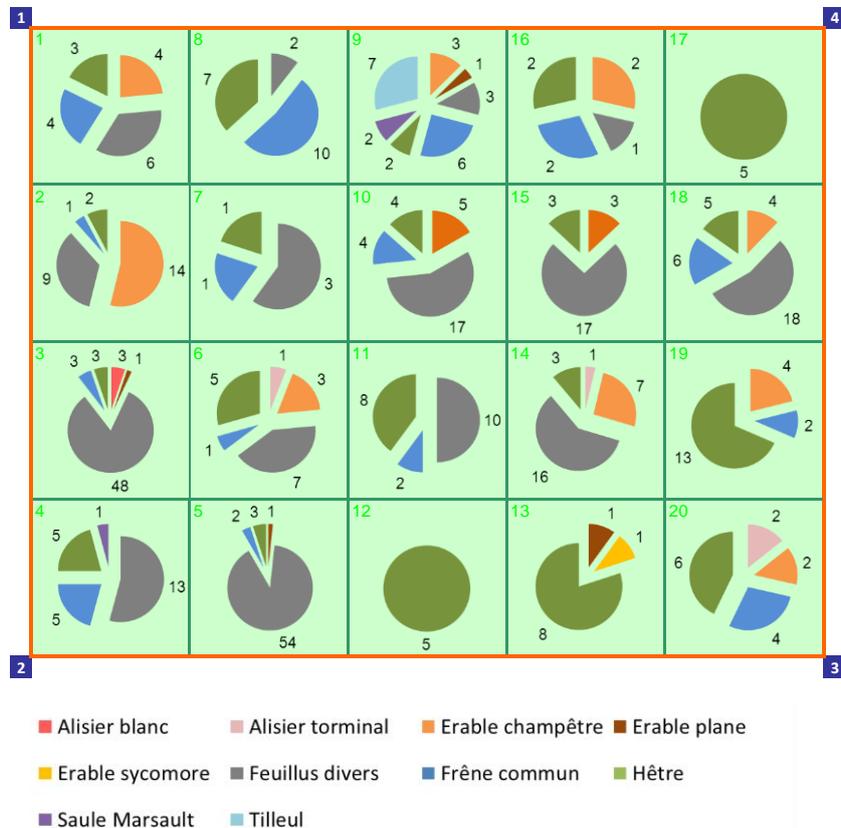
Dans l'attente d'une nouvelle négociation entre les bailleurs de fonds du réseau RENECOFOR (ONF, MAAF, MEDDE, ADEME) afin de redéfinir ses missions et moyens pour les années à venir, le programme des activités suit le calendrier défini lors de la métamorphose de 2008 (Tableau 1). L'ensemble des activités périodiques prévues en 2015 a été réalisé. La période 2014-2015 a été marquée en particulier par l'organisation des campagnes quinquennales d'inventaires dendrométriques et d'inventaires floristiques concernant l'ensemble des 102 sites du réseau. Les données collectées lors de ces deux campagnes permettent d'atteindre 20 ans de recul dans leurs domaines respectifs. Elles sont d'autant plus importantes que les précédentes sur la période 2009-2010 avaient été réduites à un sous-ensemble de sites en conséquence de l'arrêt du co-financement de l'Union Européenne en 2007. De plus, 2015 a été une année de prélèvements foliaires sur l'ensemble des 102 sites (réalisés tous les deux ans).

Sujet/année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	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									
<b>Collectes de données sur tous les sites (ensemble des niveaux A1+A2+A3+B)</b>									
Echantillonnage des sols (deuxième campagne)	←			→					Campagne pluriannuelle
Observations sanitaires									
Inventaire des placettes passant en éclaircie									Action en continu
Observations phénologiques									
Maintenance des placettes									Action en continu
Echantillonnage foliaire	65 sites A		65 sites A			14 sites A3		14 sites A3	
Inventaire dendrométrique quinquennal	65 sites A en diamètre								
Inventaire floristique quinquennal		27 sites A2+A3							
<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	10 sites (FutMon)								

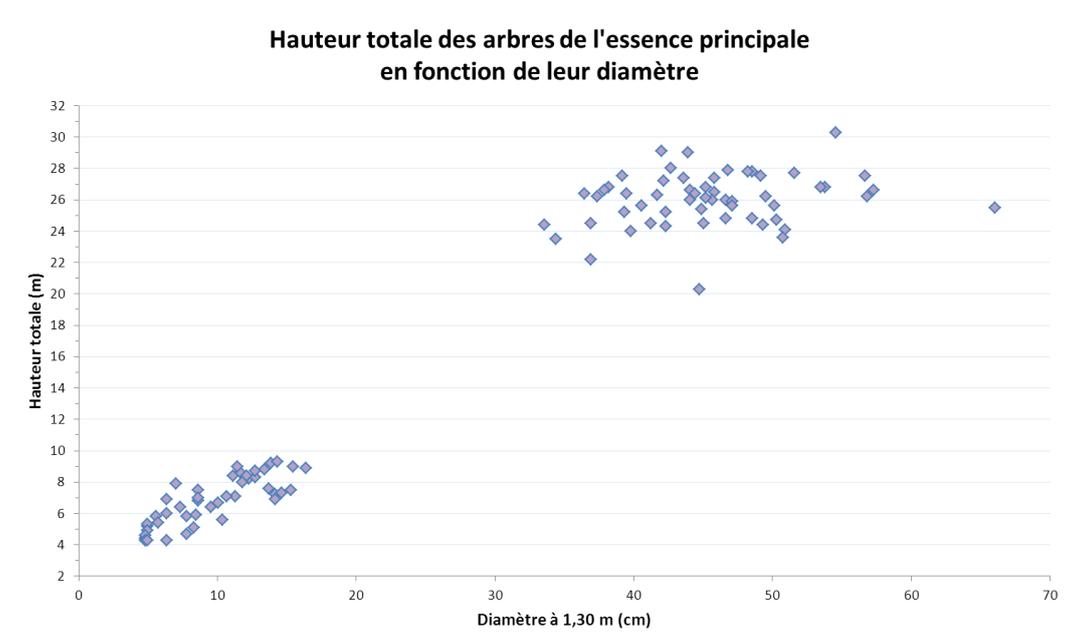
**Tableau 1 :** Programmation des activités périodiques du réseau RENECOFOR suivant le calendrier défini lors de sa métamorphose en 2008. Les cellules en gris clair indiquent les campagnes annuelles prévues sur un nombre restreint de sites.

**Figure 2 :** Deux exemples de résultats par site de l'inventaire dendrométrique de 2014-2015.

**2.a.** Variation spatiale de la composition en essences, en nombre de tiges par plateau d'inventaire statistique (rayon : 1,50 m) : cas du site HET 52 en régénération naturelle depuis les tempêtes de 1999. Amplitude de densité correspondante : de 7 000 à 85 000 tiges/ha.



**2.b.** Hauteur totale en fonction du diamètre à 1,30 m pour un échantillon d'arbres représentatif de l'essence principale : cas du site PS 76, où un recru s'est développé dans les trouées créées par les tempêtes de 1999 au sein du peuplement adulte de pins sylvestres.



### 2.1.1. Campagne quinquennale d'inventaires dendrométriques

Le suivi dendrométrique concerne le peuplement délimité par les quatre angles de la zone centrale de 0,5 ha de chaque site. Il a pour but d'évaluer l'accroissement à l'échelle du peuplement mais aussi à l'échelle de l'arbre, chaque arbre de la zone centrale supérieur à 15 cm de circonférence à 1,30 m étant numéroté par une plaquette métallique depuis 2000. Il comprend des mesures de circonférence de l'ensemble des tiges numérotées et des mesures de hauteur totale d'un sous-échantillon d'arbres.

La campagne de 2009-2010 n'avait concerné que les 65 sites de niveaux A1, A2 et A3, et n'avait compris que des mesures de circonférence. En outre, les peuplements en régénération depuis les tempêtes de 1999 et 2009 n'avaient pas fait l'objet de suivi dendrométrique par manque d'un protocole adapté.

La campagne de 2014-2015 a concerné de nouveau l'ensemble des sites, en comprenant à la fois des mesures de circonférence et de hauteur totale, et avec un protocole révisé permettant l'inventaire des peuplements en grande partie ou totalement en régénération post-tempête (Cecchini *et al.*, 2014). Dans ces cas-là, la densité des jeunes tiges pouvant être très importante, l'objectif a été d'appréhender la croissance de la régénération à l'échelle du peuplement, moyennant le cas échéant un échantillonnage statistique de la zone centrale de 0,5 ha et sans étiquetage systématique des tiges. Dans les sites où le peuplement a été fortement ouvert mais où subsiste encore une partie du peuplement initial du site, les mesures sur la régénération ont été menées de manière complémentaire au suivi dendrométrique systématique des arbres numérotés préexistants. Des fichiers de saisie de terrain ont été développés suivant le protocole appliqué à chaque cas, et en offrant des contrôles automatiques par rapport aux mesures du dernier inventaire pour les arbres numérotés.

Les inventaires dendrométriques de l'ensemble des sites ont tous été réalisés entre le 16 septembre 2014 et le 26 mars 2015, pendant la période de dormance des arbres. Cet effort a été permis grâce à la contribution des personnels de l'ONF impliqués à tous les niveaux d'organisation du réseau : les correspondants territoriaux dans les pôles RDI, les agents locaux responsables et suppléants des sites, et les 4 personnels techniques de l'équipe de coordination.

Les données ont été validées et intégrées à la base de données centrale. Une fiche de synthèse a été élaborée pour chaque site, de manière à rendre compte de l'état actuel des peuplements (exemples en Figure 2). Ces données offrent désormais un recul de plus de 20 ans sur la dendrométrie des 102 sites. Un travail important est à envisager pour calculer les accroissements (surface terrière, volume, biomasse) et rendre compte de l'évolution des peuplements et des prélèvements de bois, site par site, depuis 1992. De telles informations faciliteraient aussi la valorisation des autres données du réseau RENECOFOR (ex : analyse des réponses des arbres aux variations environnementales, évaluation de l'immobilisation de carbone et de nutriments dans le bois en comparaison des autres flux d'éléments mesurés, quantification de l'intensité des interventions sylvicoles comme facteur explicatif potentiel des variations de composition floristique, etc.).

### 2.1.2. Campagne quinquennale d'inventaires floristiques

La composition floristique est suivie sur les 102 sites du réseau RENECOFOR depuis 1995 selon une périodicité quinquennale, avec l'appui d'experts botanistes majoritairement externes à l'ONF (universités, INRA, Irstea, conservatoires botaniques, bureaux d'études). Cependant, à compter de 2008 et en conséquence de l'arrêt du cofinancement de l'Union Européenne, il a été prévu de passer à une périodicité décennale pour la majorité des sites, la périodicité quinquennale n'ayant été maintenue que pour les 27 sites du sous-réseau CATAENAT (sites de niveaux A2 et A3). En pratique, en 2010 la réalisation d'un inventaire floristique restreint à 27 sites a été jugée peu pertinente par le groupe d'experts botanistes au regard des perspectives de valorisation. Avec la contribution volontaire de plusieurs d'entre eux, cet inventaire a pu être étendu à une cinquantaine de sites.

La campagne d'inventaires floristiques de 2015 a été réalisée de nouveau sur l'ensemble des 102 sites du réseau. L'effort de terrain a été réparti entre 11 équipes de botanistes, par zonage géographique. Au sein de chaque site, les variations spatiales sont prises en compte par la répétition des inventaires sur 8 bandes floristiques de 100 m<sup>2</sup> chacune (2m x 50m), réparties de manière égale entre l'intérieur et l'extérieur de la zone centrale clôturée, et dont l'emplacement est matérialisé de manière permanente par des bornes de géomètre. De plus, les relevés sont répétés au printemps et en été pour pouvoir prendre en compte un maximum d'espèces visibles au cours de la saison de végétation.

Depuis son initiation en 1995, le suivi floristique du réseau RENECOFOR est accompagné de mesures d'assurance et de contrôle de la qualité. Ces mesures ont notamment permis de mettre en évidence des incertitudes d'observation conséquentes, même pour les botanistes les plus chevronnés : en moyenne, près d'une espèce sur cinq n'est pas repérée à l'occasion d'un relevé (Archaux *et al.*, 2009). Cela illustre bien les difficultés de suivi de la composition d'une communauté biologique et l'intérêt de maintenir un haut niveau d'exigence sur la qualité des observations. Ainsi, comme les campagnes précédentes, celle de 2015 a été accompagnée :

- d'un exercice préalable d'intercalibration organisé en juin 2014 et lors duquel l'ensemble des 11 équipes de botanistes ont été représentées ;
- et, au cours de la campagne, par la réalisation de relevés de contrôle par une seconde équipe sur 10 % des sites, et ce de manière répétée au printemps et en été.

La saisie des données a été réalisée à l'aide d'outils harmonisés. La campagne de 2015 a été l'occasion de développer et de tester une nouvelle application permettant la saisie directe des relevés sur le terrain pour les équipes disposant d'ordinateurs ou de tablettes durcis. Néanmoins, la plupart des botanistes préfèrent l'utilisation de fiches papier sur le terrain et l'essentiel des relevés ont été saisis via l'interface Internet Renecoflore en place depuis 2005 (Camaret, 2008). Les données collectées sont en cours de validation. Elles offriront désormais un recul de 20 ans, ce qui reste court pour un compartiment qui a montré peu de signes d'évolution jusqu'ici (Archaux *et al.*, 2009), mais devrait commencer à permettre de détecter d'éventuelles tendances au regard de la littérature scientifique. En effet, d'après la revue de 150 publications réalisée par Vellend *et al.* (2013) au sujet de l'évolution de la richesse floristique, la période d'étude médiane est de 18 ans.

## 2.2. Fonctionnement du réseau

### 2.2.1. Confortation des activités du réseau dans les orientations de l'ONF

Le contrat d'objectifs et de performance de l'ONF a été renégocié de manière anticipée en 2015, avec l'Etat et la Fédération nationale des communes forestières. La 2<sup>ème</sup> évaluation scientifique du Département recherche, développement, innovation (RDI) a pu être menée en parallèle afin d'apporter des éléments pour la discussion de ses orientations à venir. Cette évaluation a mobilisé l'ensemble des pôles et équipes du Département, dont la coordination du réseau RENECOFOR.

La poursuite du réseau est confortée par le nouveau contrat quinquennal Etat-ONF-FNCOFOR, ainsi que le maintien de son financement par les ministères de l'Agriculture et de l'Ecologie. De plus, les activités d'observation trouvent désormais bien leur place dans un des quatre axes d'orientation du Département RDI intitulé « Suivre, imaginer et projeter les évolutions de l'environnement et de l'activité de l'ONF ». Cette évolution permet de reconnaître plus clairement l'apport du réseau RENECOFOR au sein de l'ONF, répondant ainsi à un manque soulevé lors de sa dernière évaluation (Augusto *et al.*, 2013).

### 2.2.2. Renouvellement du marché d'analyse des échantillons de pluie et de solutions du sol

Depuis 1992, les dépôts atmosphériques et les solutions du sol font l'objet de prélèvements hebdomadaires sur les sites du sous-réseau CATAENAT, qui sont ensuite groupés et analysés par périodes de 4 semaines. La fourniture des flacons, leur transport et les analyses chimiques des échantillons sont sous-traitées par l'ONF dans le cadre d'un marché pluriannuel, dont le renouvellement est soumis à une procédure d'appel d'offre ouvert. L'organisation du renouvellement du marché et le choix du laboratoire prestataire constituent un enjeu important pour la continuité et la comparabilité des mesures au cours du temps. En effet, les solutions collectées, notamment les eaux de pluie, présentent des concentrations chimiques faibles, nécessitant des techniques analytiques particulièrement sensibles et des exigences élevées d'assurance et de contrôle qualité. De plus, l'efficacité du circuit logistique est déterminante pour pouvoir analyser rapidement les échantillons et permettre, au besoin, des analyses de contrôle dans un délai total de 3 mois maximum.

En 2015, le marché a fait l'objet d'un nouvel appel d'offre ouvert pour poursuivre la prestation pour 4 ans à compter du 27 janvier 2016. Après examen des offres, le candidat retenu reste le laboratoire SOCOR. Ce laboratoire, titulaire du marché depuis 2011, a donné jusqu'ici toute satisfaction. A l'occasion du renouvellement de la prestation, de nouvelles analyses de phosphore ont été ajoutées à la liste des paramètres de mesure des dépôts atmosphériques, en réponse aux recommandations issues de la deuxième évaluation scientifique du réseau RENECOFOR (Augusto *et al.*, 2013). Il s'agit d'améliorer les connaissances sur la dynamique de cet élément majeur de la nutrition des arbres, dont le suivi dans les analyses foliaires montre une diminution tendancielle inquiétante aux échelles nationale et européenne (cf chapitre 4.2). Cependant, les quantités de phosphore dans les dépôts atmosphériques pouvant être très faibles voire souvent inférieures aux limites de quantification, le marché prévoit que ces nouvelles analyses puissent être reconduites ou non d'une année sur l'autre au vu des résultats.

## 2.3. Communication

### 2.3.1. Réunion d'information annuelle du réseau

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 2015, la réunion d'information a été organisée à Senones (Vosges). Outre les présentations préparées par l'équipe de coordination, cinq intervenants extérieurs ont été invités :

- Anaïs Saenger (Université de Louvain-la-neuve), au sujet de l'évolution des propriétés des sols mesurées sur un intervalle moyen de 15 ans sur les 102 sites du réseau,
- Benoît Richard (Université de Rouen), sur les variations des cortèges de champignons supérieurs et l'évaluation de l'effort d'échantillonnage nécessaire à leur suivi,
- Patrice Soulé (INRA Bordeaux), pour présenter le travail de traitement et d'analyse des échantillons végétaux réalisé par son laboratoire depuis 1993,
- Nicolas Delpierre (Université Paris-Sud), à propos de la variabilité de la phénologie au sein des peuplements feuillus,
- Joannès Guillemot (Université Paris-Sud), au sujet de l'évaluation de l'impact de la gestion sylvicole sur la productivité forestière par une approche de modélisation.



**Illustration** : groupe de participants de la réunion d'information du réseau RENECOFOR en 2015 à Senones (photographie par Luc Croisé)

### 2.3.2. *Mise à jour et amélioration du site Internet du réseau*

Le développement de la visibilité du réseau sur Internet est un levier identifié pour accroître sa valorisation scientifique (Augusto *et al.*, 2013). Deux actions d'amélioration ont été initiées en ce sens.

- D'une part, le réseau se présente désormais en anglais sur son site Internet. Le contenu des pages d'introduction et de description générale a été traduit par une personne anglophone d'origine. Le travail est à poursuivre pour les pages de synthèse des résultats et de présentation des sites d'observation.
- D'autre part, le développement d'un portail Internet de consultation de la documentation relative au réseau RENECOFOR a été initié, avec la société Aidel. Une première version a été présentée en novembre 2015. En arrière-plan, l'équipe de coordination du réseau et le service de documentation de l'ONF travaillent ensemble à l'intégration et à l'indexation des références recensées (plus de 600) dans la base documentaire de l'ONF, à partir de laquelle l'application Internet sera alimentée.

### 2.3.3. *Evénements de communication*

Le contexte de l'année 2015 a été marqué par la Conférence de Paris sur le climat (COP 21), lieu d'une négociation mondiale entre les représentants de 195 pays. Cet événement a suscité une forte attention médiatique et érigé le climat en sujet de communication incontournable pour les acteurs concernés, dont l'ONF.

- A l'occasion du Salon international de l'agriculture (du 21 février au 6 mars 2015), le réseau RENECOFOR a notamment contribué au stand de l'ONF pour illustrer un des axes de communication relatif à l'observation des effets du changement climatique sur les forêts françaises. Des personnels de l'équipe de coordination, des correspondants territoriaux et des agents responsables des sites du réseau se sont relayés sur le stand pour répondre aux questions sur leurs activités.
- La communication de l'ONF s'est aussi appuyée sur le réseau pour la Fête de la Nature, manifestation nationale destinée à la découverte du patrimoine naturel. Sept sites ont ouvert leurs portes pour une visite guidée sur le thème : « Etudions la forêt. RENECOFOR : un laboratoire en forêt ». Les agents responsables des sites ont présenté au grand public les observations, prélèvements, mesures qu'ils réalisent régulièrement, ainsi que plusieurs exemples de résultats obtenus après plus de 20 ans de suivi.
- Le réseau a également été sollicité pour une intervention en ouverture d'un colloque scientifique international de l'IUFRO organisé à Nice du 1<sup>er</sup> au 5 juin et consacré aux défis que représentent la pollution atmosphérique et le changement climatique pour les forêts (« Global challenges of air pollution and climate change to forests »). L'objectif a été de présenter à des chercheurs venus de tous horizons un point de vue sur ces enjeux dans le contexte de la forêt française (Nicolas, 2015b).

### **3. Travaux de valorisation des données à l'initiative du réseau**

#### **3.1. Comparaison de l'évolution mesurée des propriétés des sols à celle bioindiquée par la flore**

##### *Contexte et problématique*

La bio-indication par les communautés végétales est un outil fréquemment utilisé tant en recherche qu'en gestion forestière pour évaluer les variations de contexte environnemental (sol, climat, lumière). Les valeurs indicatrices associées à chaque espèce végétale sont estimées en s'appuyant sur le concept de niche, selon lequel l'installation et la survie d'une espèce sont relativement spécifiques au milieu. Plusieurs référentiels de valeurs indicatrices existent, basés soit sur des estimations à dire d'expert (ex : indices d'Ellenberg, informations autécologiques de la Flore forestière française), soit sur l'analyse statistique des conditions optimales pour la présence de chaque espèce (ex : base de données Ecoplant). En pratique, les conditions environnementales d'un site sont communément estimées en moyennant les valeurs indicatrices associées aux différentes espèces végétales qui y sont inventoriées.

La capacité bio-indicatrice des communautés végétales est reconnue pour l'évaluation des variations spatiales de l'environnement. Mais elle est aussi souvent transposée aux évolutions temporelles, ce qui présuppose que la corrélation entre les paramètres du milieu et les valeurs indicatrices reste valable dans le temps. Les valeurs indicatrices sont par exemple utilisées pour estimer la réponse des communautés végétales à l'eutrophisation ou à l'acidification du sol dues aux dépôts atmosphériques. Réciproquement, elles sont également utilisées pour reconstituer l'évolution temporelle de conditions environnementales à partir de relevés floristiques. Cependant, peu de travaux étayent la fiabilité de cette transposition de l'utilisation des valeurs indicatrices au domaine temporel. La répétition temporelle de mesures des propriétés physico-chimiques des sols et de relevés floristiques sur une période de 15 ans sur le réseau RENECOFOR offre un jeu de données inédit à l'échelle nationale pour vérifier la cohérence de la bioindication par la flore au cours du temps. L'existence d'évolutions temporelles significatives de propriétés du sol, telles que le pH et le rapport C/N (Saenger *et al.*, 2015), renforce d'autant plus l'intérêt du jeu de données.

L'étude a été confiée à Iris Le Roncé, étudiante à l'École normale supérieure de Lyon, dans le cadre d'un stage de césure de 6 mois. Le stage a été co-encadré par Vincent Boulanger (chargé de R&D, ONF Fontainebleau) et Manuel Nicolas (responsable du réseau RENECOFOR, ONF Fontainebleau), avec la participation de Jean-Luc Dupouey (INRA Nancy).

##### *Démarche d'analyse*

L'étude s'est intéressée à des paramètres fréquemment utilisés pour caractériser la fertilité chimique des sols. Ont été considérés d'un côté des paramètres mesurés dans les sols :

- le pH reflète leur état d'acidité (plus le pH est faible, plus le sol est acide),

- le rapport C/N (rapport entre les concentrations en carbone organique et en azote total) est communément considéré comme un indicateur du recyclage des matières organiques et de la fertilité azotée (plus le rapport C/N est faible, plus la dynamique de recyclage est rapide et la disponibilité en azote élevée).

A ces mesures ont été comparées des valeurs indicatrices issues de la flore, respectivement :

- les indices d'EcoPlant pH et C/N, correspondant directement aux paramètres de chimie des sols ci-dessus,
- les indices d'Ellenberg R (indice d'acidité, d'autant plus faible que le sol est acide, comme le pH) et N (indice de richesse en substances nutritives, d'autant plus élevé que le sol est riche en azote, donc suivant un sens de variation inverse au rapport C/N).

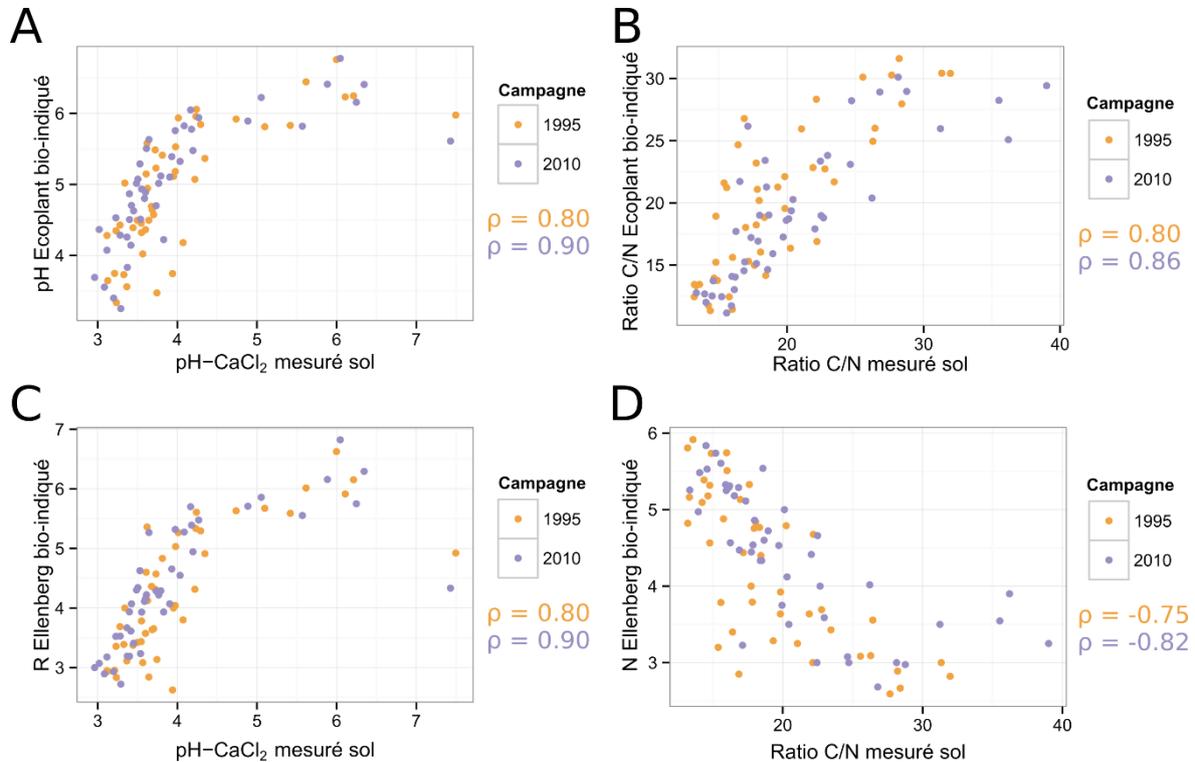
Les objectifs de la comparaison ont été :

- de tester la relation entre les variations des paramètres mesurés dans les sols et celles bio-indiquées par la flore, d'une part dans l'espace et d'autre part au cours du temps,
- d'évaluer la sensibilité de cette relation aux variantes possibles dans le calcul des valeurs indicatrices à partir des relevés floristiques et dans la considération des analyses de sol (méthode d'analyse du pH, couche de sol considérée).

Les sites étudiés sont ceux dont les données offrent un recul comparable de 15 années dans le suivi de la flore et dans celui des propriétés des sols. L'ensemble des 102 sites du réseau a fait l'objet de deux répétitions temporelles de prélèvement et d'analyse des sols, la première entre 1993 et 1995 et la deuxième entre 2007 et 2012. En revanche, le jeu de données est limité par la disponibilité des données floristiques. En effet, si les 3 premières campagnes floristiques de 1995, 2000 et 2005 ont visé l'ensemble des sites, celle de 2010 a été restreinte à un sous-ensemble, initialement de 27 sites mais finalement étendu grâce à la contribution volontaire des botanistes associés au réseau. Au final, un sous-ensemble de 45 sites a été sélectionné pour l'étude, couvrant néanmoins une large gamme de contextes écologiques.

Le traitement des données de flore a tout d'abord nécessité la réalisation d'une correspondance taxonomique entre la nomenclature *Flora europaea* utilisée pour les relevés de flore du réseau RENECOFOR et celles auxquelles se réfèrent les valeurs indicatrices d'Ellenberg et d'EcoPlant. Puis l'agrégation des valeurs indicatrices des différentes espèces à l'échelle de chaque relevé a été effectuée suivant différentes modalités de calcul. Par défaut, la méthode employée est une moyenne sans pondération des valeurs indicatrices des espèces présentes dans les strates basses (strates herbacée, muscinale et arbustive jusqu'à 2 m de hauteur). L'effet de variantes de calcul a été testé, soit en pondérant le calcul de moyenne par l'abondance/dominance des espèces, soit en faisant varier les strates de végétation considérées (réduction aux strates herbacée et muscinale uniquement ou au contraire élargissement à l'ensemble des strates dont les arbres et les arbustes hauts). Dans tous les cas, pour chaque campagne annuelle d'inventaire floristique, les relevés de printemps et d'été ont été regroupés, en considérant l'abondance/dominance maximale de chaque espèce. Concernant la chimie des sols, deux méthodes d'analyse du pH (pH H<sub>2</sub>O ou pH CaCl<sub>2</sub>) et trois couches de profondeur (litière, couche minérale 0-10 cm, ou couche minérale 10-20 cm) ont été considérées.

**Figure 3 :** Relations spatiales entre les variables mesurées dans les sols des différents sites (couche minérale 0-10 cm) et les valeurs indicatrices correspondantes déduites des relevés de flore concomitants (campagne de 1995 comparée aux mesures de sol de 1993-1995, campagne de 2010 comparée aux mesures de sol de 2007-2012).  $\rho$  désigne le coefficient de corrélation de Spearman. Toutes les corrélations présentées sont significatives ( $p < 0.001$ ).



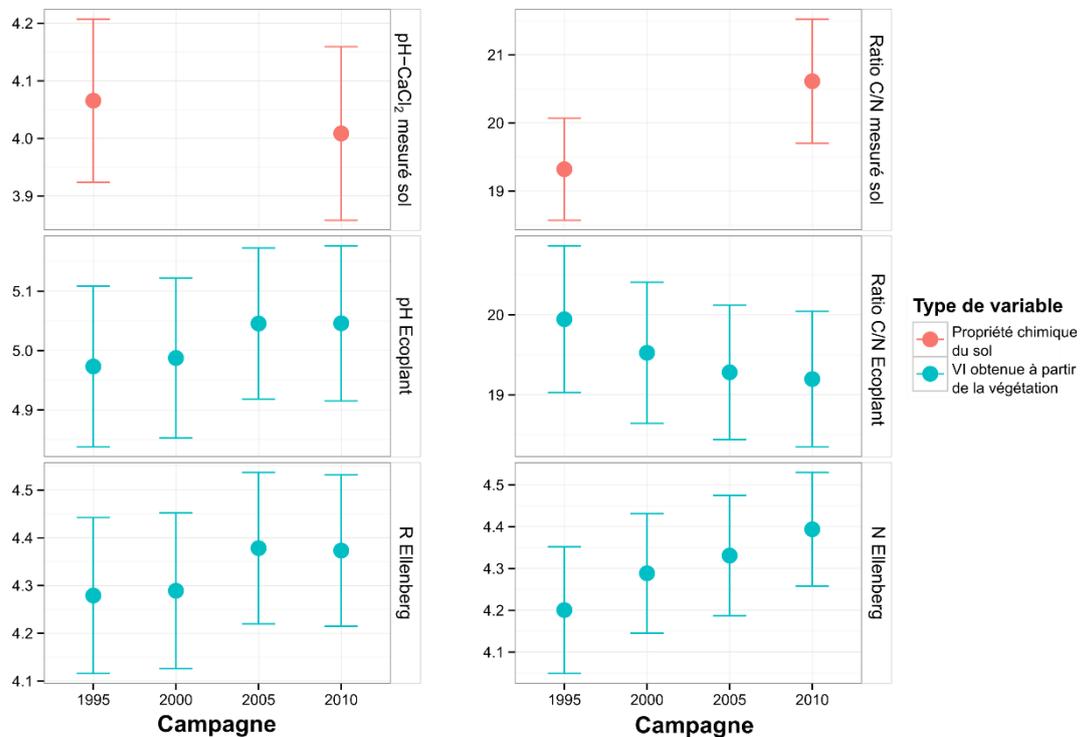
## Résultats

La comparaison des analyses de sol et des valeurs bio-indiquées par la flore confirme en premier lieu une relation cohérente dans la dimension spatiale. Les valeurs indicatrices d'Ellenberg et d'Ecoplant sont bien corrélées aux valeurs du pH et du rapport C/N du sol sur les larges gradients couverts par les 45 sites (Figure 3). Ces corrélations sont positives, hormis celle entre le rapport C/N du sol et la variable N d'Ellenberg qui est logiquement négative. Elles sont plus fortes en considérant la couche de sol minéral 0-10 cm et le pH mesuré après extraction au CaCl<sub>2</sub> ( $|\rho \text{ Spearman}| > 0,75$ ) ; elles restent néanmoins très significatives en considérant le pH H<sub>2</sub>O ou les valeurs de la litière ou de la couche 10-20 cm. De plus, les relations sont similaires :

- quelle que soit la campagne de relevés considérée (relevés floristiques de 1995 comparés aux mesures de sol de 1993-1995, ou relevés floristiques de 2010 comparés aux mesures de sol de 2007-2012),
- quel que soit le mode d'agrégation des valeurs indicatrices des différentes espèces à l'échelle du relevé floristique. Les variantes de pondération de la moyenne et de strates considérées ont en fait peu d'influence sur les valeurs indicatrices elles-mêmes.

Notons qu'il ne s'agit pas de relations linéaires : les valeurs indiquées par la flore ne correspondent pas en valeur absolue à celles mesurées dans le sol de chaque site, mais leur ordination reflète correctement le gradient spatial constaté entre les sites.

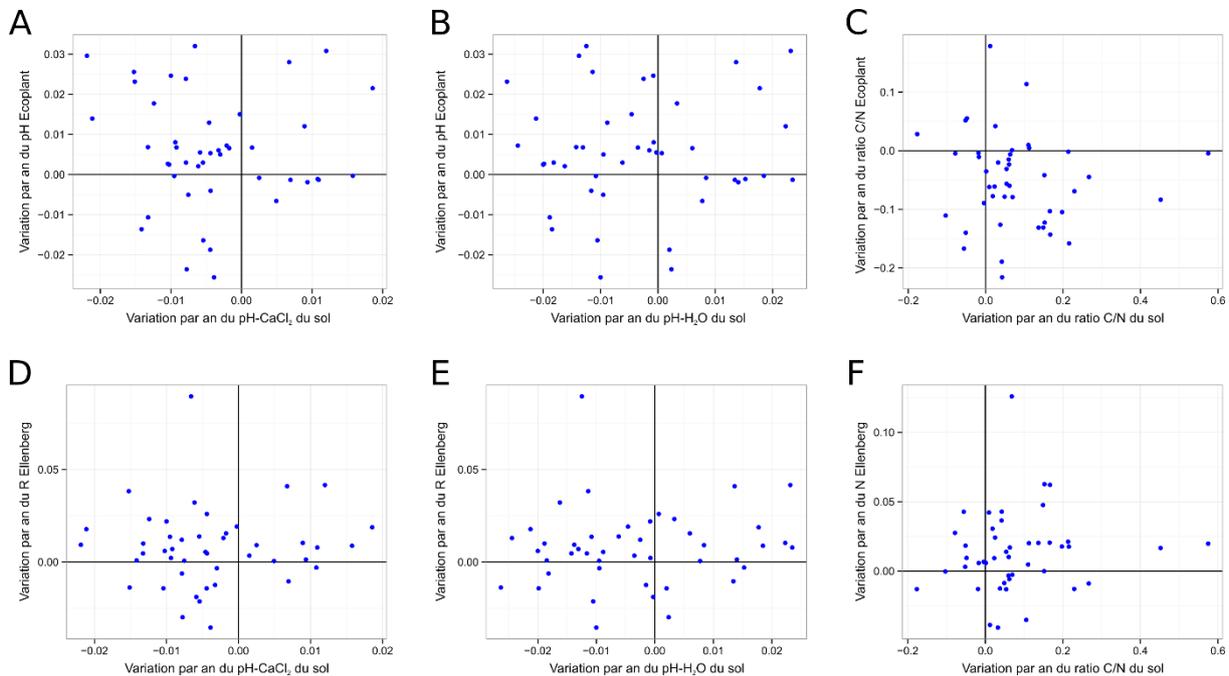
**Figure 4 :** Tendances sur 15 ans des variables mesurées dans le sol (couche minérale 0-10 cm) et des variables indicatrices (VI) déduites de la composition floristique, à l'échelle de l'ensemble des 45 sites d'étude. Les campagnes d'analyse des sols de 1993-1995 et 2007-2012 sont représentées chacune comme une seule année, respectivement 1995 et 2010. Toutes les tendances temporelles présentées sont significatives ( $p < 0.005$ , testé par régression linéaire mixte permettant de distinguer l'effet année et l'effet site).



Au cours du temps, la composition floristique présente des changements notables, qui s'observent à travers les valeurs bio-indiquées sans toutefois refléter les évolutions constatées dans les sols.

- Les tendances globales à l'échelle de l'ensemble des 45 sites d'étude sont incohérentes entre les valeurs bio-indiquées par la flore et celles mesurées dans le sol (Figure 4). En 15 ans, alors que le pH mesuré dans la couche minérale 0-10 cm a diminué, les variables pH d'Ecoplant et R d'Ellenberg présentent une tendance significative à la hausse. De même, alors que le rapport C/N mesuré dans le sol a fortement augmenté (+1,3 en moyenne), les variables C/N d'Ecoplant et N d'Ellenberg reflètent une tendance temporelle opposée (la variable N d'Ellenberg qui augmente au cours du temps devrait diminuer au contraire pour être cohérente avec la hausse du rapport C/N du sol).
- En outre, les variations entre sites de l'évolution temporelle des propriétés du sol ne présentent aucune relation avec celles des valeurs correspondantes bio-indiquées par la flore (Figure 5). On pourrait imaginer que des relations existent dans des contextes écologiques particuliers et s'annulent à l'échelle de l'ensemble des sites étudiés : cependant la segmentation du jeu de données par classe de climat (océanique, continental ou montagnard), d'essence (feuillu ou résineux) ou de niveau trophique du sol (pH H<sub>2</sub>O inférieur à 4,5, compris entre 4,5 et 5,5, ou supérieur à 5,5) n'a pas permis de mettre en évidence d'effet structurant du contexte bio-pédo-climatique.

**Figure 5 :** Relations entre l'évolution temporelle sur 15 ans des propriétés mesurées dans les sols des différents sites (couche minérale 0-10 cm) et celle des variables indicatrices déduites de la composition floristique. Aucune corrélation n'est significative.



## Discussion

La composition floristique est supposée répondre aux variations environnementales et notamment à celles des propriétés chimiques des sols. La capacité des variables indicatrices déduites des relevés floristiques à rendre compte des gradients spatiaux de propriétés des sols est bien confirmée dans cette étude. Au contraire, en considérant les mêmes sites, les mêmes variables bio-indiquées par la flore ne répondent pas de manière cohérente aux évolutions mesurées au cours du temps pour les propriétés des sols correspondantes. Plusieurs hypothèses explicatives peuvent être envisagées.

Première hypothèse : les changements temporels de la flore répondent à d'autres paramètres que le pH et le rapport C/N du sol.

- En plus des paramètres de fertilité chimique des sols, la nutrition minérale des végétaux peut directement dépendre des apports atmosphériques, notamment des dépôts d'azote. Cependant, en considérant les sites où les dépôts atmosphériques ont été suivis hors couvert, aucune corrélation significative n'a été trouvée non plus entre l'évolution des variables bio-indiquées par la flore et la moyenne ou la tendance temporelle des dépôts d'azote (dépôts sous forme de nitrates, sous forme d'ammonium, ou en cumul des deux formes). Déjà pour Archaux *et al.* (2009), la relation entre les dépôts d'azote et l'évolution de la variable N d'Ellenberg n'était pas très marquée après 10 années de suivi sur le réseau RENECOFOR (relation significative trouvée pour la période 1995-2000 mais non pour la période 2000-2005).

- Il se peut également que la relation entre la flore et les variations spatiales du pH ou du rapport C/N du sol masque des réponses réelles à d'autres paramètres de la fertilité chimique des sols. Peut-être que les variables bioindiquées pH d'Ecoplant et R d'Ellenberg ne répondent pas tant au pH du sol qu'à ses teneurs en nutriments biodisponibles par exemple. En effet, tandis que les variations spatiales du pH des sols sont globalement corrélées à leur richesse chimique, la tendance à la diminution du pH constatée en 15 ans ne s'est pas accompagnée d'un appauvrissement en nutriments échangeables, au contraire (Saenger *et al.*, 2015). Détecter et comprendre la réponse de la flore à l'évolution des propriétés des sols pourraient nécessiter d'étendre la recherche de relations à un plus grand nombre de facteurs. Les modèles à base de processus peuvent être un outil intéressant dans l'identification des principaux facteurs d'influence, car ils permettent de tester la capacité des connaissances admises à reproduire la dynamique observée de la flore (Rizzetto *et al.*, *in press*).

Deuxième hypothèse : la flore répond bien aux mêmes facteurs au cours du temps que dans la dimension spatiale, mais la magnitude des changements sur 15 ans est trop faible pour avoir engendré une réponse cohérente et univoque.

- En effet, si les mesures de pH et de C/N ont bien évolué de manière significative en l'espace de 15 ans, l'amplitude de ces évolutions demeure faible au regard des variations spatiales entre sites. Or les relations constatées dans la dimension spatiale entre les variables bio-indiquées et les valeurs de pH et de C/N des sols sont non linéaires et relativement bruitées. Il se peut donc que la sensibilité de l'outil de bio-indication soit trop faible pour pouvoir refléter les évolutions temporelles constatées dans les sols.
- Peut-être aussi la flore répond-elle avec un délai aux évolutions temporelles des propriétés des sols ? Quinze années de suivi comparable sur les mêmes sites à l'échelle nationale constituent déjà une réalisation originale. Néanmoins, cela reste court au regard de l'évolution des écosystèmes et d'une révolution forestière. Concernant la flore, 10 ans de suivi sur l'ensemble des 102 sites du réseau RENECOFOR n'avaient déjà pas permis de détecter de tendances nettes (Archaux *et al.*, 2009). L'inclusion des observations floristiques de 2015 réalisées de nouveau sur l'ensemble des sites apportera une grande plus-value dans l'analyse de l'évolution de la flore. Cependant dans la littérature scientifique, de nombreux travaux consacrés à l'évolution de la richesse floristique se contentent d'intervalles de répétition similaires ou inférieurs à la présente étude : d'après la revue de 150 publications réalisée par Vellend *et al.* (2013), la période d'étude médiane est en effet de 18 ans.

De manière générale, les résultats obtenus soulèvent des questions importantes.

- Dans quelle mesure peut-on transposer des phénomènes établis à partir de variations spatiales à des changements dans le temps ? Les connaissances sur les relations entre flore et environnement ont été acquises récemment, au cours du XXe siècle, en explorant des gradients spatiaux, indépendamment de toute tendance temporelle, pour caractériser les espèces et aboutir à la capacité bio-indicatrice des communautés. Depuis, la problématique des changements environnementaux a émergé et c'est donc naturellement que les connaissances acquises sur l'écologie des espèces ont été

mobilisées pour interpréter les tendances temporelles (liées à l'acidification, à l'eutrophisation ou aux changements climatiques par exemple). Cela étant, il importe de garder à l'esprit que cela repose sur des hypothèses qui ne sont pas toujours vérifiées. Les résultats obtenus ici insistent sur la nécessité de contribuer à ces vérifications à mesure que les séries d'observations s'allongent.

- Quels changements temporels de la composition de communautés biologiques est-on en mesure de détecter, face notamment à la menace d'érosion de la biodiversité ? Le suivi des communautés biologiques se révèle soumis à des difficultés méthodologiques non nécessairement solubles. Encore la flore est-elle un exemple de domaine relativement bien couvert en compétences taxonomiques et son suivi sur le réseau RENECOFOR a-t-il fait l'objet d'un effort de qualité rare. D'autres communautés biologiques, comme les champignons supérieurs, sont moins connues et encore plus difficiles à suivre au cours du temps.

Cette étude illustre l'intérêt de l'observation à long terme pour pouvoir aussi le cas échéant remettre en question certaines connaissances admises ou certaines approches. Et la poursuite des observations à plus long terme sera nécessaire pour répondre aux questions soulevées.

### *Communication des résultats*

Le rapport de stage (Le Roncé, 2015) a été rédigé sous la forme d'un projet d'article en anglais dans la perspective d'une publication dans une revue scientifique internationale. Dès 2015, les résultats ont été présentés lors de colloques scientifiques sous la forme d'un poster (Le Roncé *et al.*, 2015) et de deux communications orales (Boulangier *et al.*, 2015 ; Nicolas *et al.*, 2015).

### **3.2. Communications orales**

En 2015, l'équipe de coordination a contribué à plusieurs communications à l'occasion de colloques scientifiques (cf chapitre 6.2) :

- colloque ICP Forests sur les tendances des pollutions atmosphériques et leurs effets sur les forêts, leur durabilité et les services écosystémiques (Ljubljana, Slovénie, 20 mai),
- colloque IUFRO sur les défis que représentent la pollution atmosphérique et le changement climatique pour les forêts (Nice, 1<sup>er</sup>-5 juin),
- colloque de la société internationale de recherche sur les composés aromatiques polycycliques (Bordeaux, 14-17 juin),
- colloque « Science for the Environment » sur les défis et opportunités dans l'observation et le monitoring environnemental (Aarhus, Danemark, octobre),
- colloque international sur les dépôts atmosphériques acides « Acid rain » (Rochester, NY, Etats-Unis, 19-23 octobre),
- colloque francophone de phénologie (Clermont-Ferrand, 17-19 novembre).

Elle a partagé oralement des résultats à l'occasion de réunions internes au programme paneuropéen ICP Forests ou au département RDI de l'ONF. Elle a également été sollicitée par le Comité scientifique de la Direction territoriale Méditerranée de l'ONF pour une présentation générale du réseau RENECOFOR et pour une visite du site SP 05, en Forêt domaniale du Boscodon, avec la contribution des agents responsables locaux.

## 4. Contribution aux travaux de valorisation d'initiative externe

### 4.1. Recensement des productions documentaires

Le Tableau 2 comptabilise par catégorie les publications et communications scientifiques nouvellement recensées en 2015 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. Plusieurs d'entre elles mettent en valeur des données des réseaux de différents pays, illustrant encore une fois l'intérêt de l'intégration à l'échelle européenne du monitoring forestier dans le cadre du programme ICP Forests.

	Documents portant sur des données de monitoring nationales uniquement	Documents portant sur des données de monitoring de plusieurs pays	Total
Publications dans des revues à comité de lecture	2	4	6
Présentations orales lors de colloques scientifiques	12	4	16
Thèses de doctorat	1		1
Rapports scientifiques	3	1	4
Autres documents	7		7
<i>Total</i>	25	9	34

**Tableau 2 :** Nombre de publications et communications scientifiques nouvellement recensées en 2015 comme émanant du réseau RENECOFOR et/ou basées sur ses données. Les articles scientifiques acceptés mais non encore publiés en 2015 ne sont pas comptabilisés.

### 4.2. Principaux résultats publiés

Parmi les sujets traités, on relève notamment de nouveaux résultats étayant la baisse inquiétante de la nutrition des arbres en phosphore. Cette tendance, déjà mise en évidence à l'échelle de la France, de la Wallonie et du Luxembourg (Jonard *et al.*, 2009), a été confirmée plus largement à l'échelle européenne et sur un intervalle de 20 ans par deux nouvelles publications mettant en valeur les données du programme ICP Forests. Ainsi Jonard *et al.*, (2015) l'observent dans les concentrations foliaires de cinq essences (Hêtre, Chêne sessile, Epicéa, Sapin et Pin sylvestre). Le signal est d'autant plus inquiétant que l'amplitude de la baisse est plus prononcée pour les sites où la nutrition en phosphore est la plus faible, ce qui évoque bien le développement d'une carence par manque de ressources minérales. Talkner *et al.* (2015) constatent la même tendance par une approche ciblée sur le cas du hêtre. Les causes de cette dégradation de la nutrition en phosphore restent cependant à déterminer. L'effet du vieillissement des arbres échantillonnés pourrait expliquer une certaine diminution des concentrations foliaires en phosphore mais dans une mesure bien moindre que l'évolution constatée (Braun *et al.*, 2010 ; Jonard *et al.*, 2015).

La principale hypothèse d'explication est celle d'une carence induite par une demande croissante des arbres en ressources. En effet, la productivité forestière a augmenté en un siècle (Bontemps *et al.*, 2009 ; 2011), sous l'effet probable des dépôts d'azote élevés et de la hausse de la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère, ce qui a dû s'accompagner d'une hausse de la demande des arbres vis-à-vis des autres ressources minérales dont ils dépendent. L'augmentation tendancielle du rapport N/P dans les concentrations foliaires suggère d'ailleurs une nutrition de moins en moins limitée par l'azote mais davantage par le phosphore. En outre les dépôts d'azote ont un impact négatif sur la diversité et la densité des mycorhizes (Suz *et al.*, 2014) : en moyenne les retombées de polluants azotés ont certes commencé à diminuer (Waldner *et al.*, 2014) mais leur accumulation dans les écosystèmes a pu affecter ces champignons symbiotiques qui jouent un rôle d'auxiliaire important pour l'absorption du phosphore par les arbres. Les variations des communautés mycorhiziennes sont peu connues et leur suivi initié sur les sites du programme ICP Forests pourrait contribuer à une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes forestier (Suz *et al.*, 2015). De même, les données manquent pour évaluer l'équilibre du cycle du phosphore, élément majeur de la nutrition végétale dont la caractérisation et le suivi posent des difficultés méthodologiques dans plusieurs compartiments de l'écosystème. L'analyse de ses concentrations dans les pluies et pluviollessivats collectés sur le réseau RENECOFOR (voir 2.2.2) permettra d'explorer les variations de ses apports atmosphériques. Les échantillons archivés par le réseau peuvent aussi faire l'objet de compléments d'analyses opportuns pour mieux estimer la biodisponibilité du phosphore contenu dans les sols (Achat *et al.*, *in press*) ou pour quantifier la capacité d'adaptation des arbres par le recyclage des nutriments contenus dans leur feuillage avant sa chute.

La compréhension du fonctionnement des écosystèmes forestiers passe aussi par les modèles de processus développés par la recherche. Ces modèles, qui synthétisent l'état des connaissances issues de la recherche, ont besoin de données d'observation pour tester leur capacité à reproduire les phénomènes observés et pour simuler l'effet de modalités de gestion ou de facteurs environnementaux sur des contextes d'étude variés. Ainsi Gaudio *et al.* (2015) ont pu se servir des données de deux sites contrastés du réseau RENECOFOR pour évaluer les effets respectifs de plusieurs scénarios de changement climatique et de dépôts d'azote sur le cycle des éléments nutritifs en forêt, à partir du modèle ForSAFE. Les résultats suggèrent une plus forte influence d'une évolution du climat sur le taux de saturation en bases des sols, mais un rôle plus important des dépôts atmosphériques sur le flux de drainage d'azote. De son côté, Guillemot (2015) met à profit les données dendrométriques du réseau dans le développement continu du modèle Castanea, afin de mieux comprendre les déterminants de la productivité forestière. Les résultats du modèle apportent un éclairage sur la dynamique d'allocation du carbone dans le bois et sa réponse au climat (Guillemot *et al.*, 2015).

Outre le climat et les dépôts atmosphériques, la teneur en ozone dans l'air est un autre facteur environnemental pouvant affecter les forêts. Favorisé par les émissions d'oxydes d'azote, l'ozone a un effet oxydant dommageable pour les végétaux. Le suivi depuis 2000 des concentrations en ozone et des symptômes induits sur les sites du programme ICP Forests constitue une source de données unique pour évaluer l'impact réel de cette menace sur la forêt. Les résultats concernant les concentrations dans l'air rendent compte de variations spatiales

importantes, principalement suivant un gradient européen Nord-Sud. Les premières tendances temporelles évaluées sur la période 2000-2013 révèlent en moyenne une diminution d'une amplitude comprise entre -0,4 et -0,6 ppb/an (Schaub *et al.*, 2015 ; Michel et Seidling, 2015). La poursuite de l'analyse des données collectées à l'échelle européenne est également attendue pour mieux comprendre l'impact de la concentration en ozone de l'air sur la santé et la croissance des arbres. En effet, la relation entre les concentrations en ozone dans l'air et l'occurrence de symptômes associés sur la végétation forestière demeure aujourd'hui peu évidente, l'absorption de l'ozone par les stomates dépendant notamment de la disponibilité en eau pendant la saison de végétation, et la sensibilité des végétaux variant aussi fortement suivant les espèces (Lombard *et al.*, 2015).

#### **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 2015, elle a répondu à 26 demandes de données. Le programme ICP Forests a également relayé 24 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.

Elle contribue à la mise en œuvre de projets de recherche.

- Participation au projet PotenChêne (potentiel de régénération des chênaies dans le contexte du changement climatique: quel avenir pour le mastig et les consommateurs de glands ?, dans le cadre du programme « Biodiversité, gestion forestière et politiques publiques ») : mise à disposition de 12 sites et participation des agents responsables locaux au fonctionnement du dispositif (projet soutenu par le Département RDI de l'ONF).
- Participation au projet piCaSo (pilotage sylvicole et contrôle pédologique des stocks de carbone des sols forestiers, dans le cadre du programme REACTIF 2) : contribution à la modélisation de la dynamique des stocks de carbone organique des sols par la mise à disposition de données et d'échantillons de sol archivés dans la pédothèque du réseau RENECOFOR.
- Participation au projet INSENSE (Indicateurs de sensibilité des écosystèmes forestiers soumis à une récolte accrue de biomasse) dans le cadre du programme REACTIF 2 : contribution à la constitution d'une base de données de sol à partir de différentes sources de données nationales (projet soutenu par le Département RDI de l'ONF).

Elle participe à la construction d'outils et d'indicateurs de suivi.

- Participation à l'édition 2016 des Indicateurs de gestion durable des forêts françaises : contribution à la rédaction de 3 indicateurs sur les dépôts atmosphériques, les propriétés des sols et la santé des arbres, ainsi qu'à la synthèse du critère 2 regroupant les indicateurs relatifs à la santé des arbres et des écosystèmes forestiers.

## **5. Conclusions**

Le réseau RENECOFOR est un outil de suivi des écosystèmes forestiers unique en France. Son organisation basée sur la contribution d'environ 250 agents de l'ONF et de multiples partenaires externes a permis encore en 2015 de mener à bien les tâches prévues dans son calendrier d'activité. Les travaux de valorisation des données apportent des résultats inédits (ex : dégradation tendancielle de la nutrition des arbres en phosphore à l'échelle européenne, évolution de la composition floristique sans lien apparent avec celles des propriétés des sols) et contribueront à accroître les potentialités d'utilisation du réseau. L'équipe de coordination veille à apporter l'appui nécessaire aux projets de valorisation émanant d'utilisateurs externes et s'attache à améliorer progressivement la visibilité du réseau sur Internet.

L'observation des écosystèmes forestiers n'en est encore qu'à ses débuts et a encore beaucoup à nous apprendre. Le recul de suivi de près de 25 ans reste limité au regard du temps d'évolution de l'environnement et de la durée de révolution d'une futaie. A court terme, la poursuite du réseau RENECOFOR est confortée par son inscription au nouveau contrat d'objectifs et de performances de l'ONF pour la période 2016-2020. Son activité nécessiterait cependant de pouvoir être prévue à plus long terme.

## 6. Bibliographie

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

#### *Publications recensées en 2015*

- CITEPA, 2015 : 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. Octobre 2015, 320 p. + annexes
- Gaudio N., Belyazid S., Gendre X., Mansat A., **Nicolas M.**, Rizzetto S., Sverdrup H., Probst A., 2015 : Combined effect of atmospheric nitrogen deposition and climate change on temperate forest soil biogeochemistry: A modeling approach. *Ecological Modelling*, 306: 24-34
- Guillemot J., 2015 : Etude de la productivité et de l'allocation du carbone des forêts européennes : une approche basée sur la modélisation des processus. Thèse de doctorat, Université Paris Sud, 214 p.
- Guillemot J., Martin-StPaul N. K., Dufrière E., François C., Soudani K., Ourcival J. M., Delpierre N., 2015 : The dynamic of the annual carbon allocation to wood in European tree species is consistent with a combined source–sink limitation of growth: implications for modelling, *Biogeosciences*, 12, 2773-2790, doi:10.5194/bg-12-2773-2015, 2015.
- Hennebelle A., 2015 : Déterminisme climatique de la phénologie des forêts de feuillus et de résineux françaises à partir des données du réseau RENECOFOR : analyse rétrospective et prédiction des changements futurs. Rapport de stage de Master 2. AgroparisTech, 68 p + annexes
- 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
- Le Roncé I.**, 2015 : Testing space-for-time hypothesis in plant bio-indication using long-term monitoring of forest ecosystems. Rapport de stage de césure, Ecole Normale Supérieure de Lyon, Office national des forêts, 40 p.
- Meyer M., Schröder W., Nickel S., Leblond S., Lindroos A.J., Mohr K., Poikolainen J., Santamaria J.M., Skudnik M., Thöni L., Beudert B., Dieffenbach-Freis H., Sculte-Bisping H., Zechmeister H.G., 2015: Relevance of canopy drip for the accumulation of nitrogen in moss used as biomonitors for atmospheric nitrogen deposition in Europe. *Science of the total environment*, 538:600-610
- Michel A., Seidling W. (eds.) 2015 : Forest Condition in Europe, 2015 Technical Report of ICP Forests. Report under the UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (CLRTAP), BFW-Dokumentation 21/2015, Vienna, 182 p.
- Nicolas M.**, 2015 : RENECOFOR – Bilan technique de l'année 2014. Éditeur : Office national des forêts, Direction forêts et risques naturels, 35 p.
- Said Allaoui A. B., 2015 : Etude de la variabilité de la fructification et de la croissance des forêts feuillues françaises. Rapport de stage. Master 2 Evolution, Patrimoine naturel et Société. Université Paris Sud, AgroparisTech, 36 p.

SOCOR, 2015 : Bilan analyses ONF - Rapport qualité - Performances laboratoire SOCOR 2014, 49 p.

Suz L.M., Barsoum N., Benham S., Cheffings C., Cox F., Kackett L., Jones A.G., Mueller G.M., Orme D., Seidling W., Van Der Linde S., Bidartondo M.I., 2015 : Monitoring ectomycorrhizal fungi at large scales for science, forest management, fungal conservation and environmental policy. *Annals of Forest Science*, 72:877-885

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*.

#### *Articles scientifiques acceptés, en attente de publication*

Achat D.L., Pousse N., Nicolas M., Brédoire F., Augusto L., *in press* : Soil properties controlling inorganic phosphorus availability - Generic results from a national forest network and a global compilation of the literature. Accepted in *Biogeochemistry*.

Pascaud A., Sauvage S., Pagé C., Roustant O., Probst A., Nicolas M., Croisé L., Mezdour A., Coddeville P., *in press* : Influence de l'évolution du climat et de la pollution atmosphérique sur la composition chimique des retombées atmosphériques à l'horizon 2020-2040. Accepté dans *La Météorologie*.

Rizzetto S., Belyazid S., Gégout J.C., Nicolas M., Alard D., Corcket E., Gaudio N., Sverdrup H., Probst A., *in press* : Modelling the impact of climate change and atmospheric N deposition on French forests biodiversity. Accepted in *Environmental Pollution*.

## **6.2. Communications orales en 2015**

### *Colloques scientifiques : communications émanant du réseau RENECOFOR et/ou basées sur ses données*

Boulanger V., **Nicolas M.**, Richard B., **Le Roncé I.**, Aubert M., Dupouey J.-L., 2015 : Monitoring forest species diversity: feedback from 15 years of experience in France. Oral communication. 26 slides. Science for the Environment, 3rd conference, 2nd october 2015, Aarhus.

Caignard T., Venner S., Kremer A., Louvet J.-M., Dencause B., Parmentier J., Delzon S., 2015 : La reproduction des chênes dans le contexte de changement climatique. Communication orale. 17 diapositives. Colloque francophone phénologie, 17-19 novembre 2015, Clermont-Ferrand.

Ferretti M., Calderisi M., Gottardini E., **Nicolas M.**, 2015 : Defoliation reconsidered? Oral communication. 23 slides. ICP Forests, 4th scientific conference, 20th may 2015, Ljubljana.

Ferretti M., Hansen K., Calatayud V., Camino-Serrano M., Cools N., De Vos B., Nieminen T.M., Potocic N., Rautio P., Schaub M., Timmermann V., Ukonmaanaho L., Waldner P., 2015 : Monitoring and modeling the long-term impact of air pollution on forest health and growth in Europe. Oral communication. 18 slides. IUFRO international congress, June 2nd-4th 2015, Nice.

- Gaüzère J., Davi H., Jean F., Delzon S., Chuine I., 2015 : Comment intégrer les effets combinés de la température et de la photopériode dans les modèles de débournement végétatif ? Communication orale. 20 diapositives. Colloque francophone de phénologie, 17-19 novembre 2015, Clermont-Ferrand.
- Le Roncé I.**, Boulanger B., **Nicolas M.**, Dupouey J.-L., 2015 : Do plant bio-indicators reflect changes in forest soil chemical properties over time? Poster, 2nd Young Natural History scientists' Meeting, 4-6 Feb 2015, Paris
- Lebourgeois F., Hennebelle A., **Cecchini S.**, **Nicolas M.**, 2015 : Suivi de la phénologie des arbres sur le réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers (RENECOFOR). Communication orale. 18 diapositives. Colloque francophone de phénologie, 17-19 novembre 2015, Clermont-Ferrand.
- Lombard M., Dalstein L., Sicard P., 2015 : Impact of ozone and climatic conditions on forest trees. Oral communication. 20 slides. IUFRO international congress, June 2nd-4th 2015, Nice.
- Naffrechoux E., Negro S., Carteret M., Besse-Deleaval J., David B., Poulenard J., **Nicolas M.**, 2015 : Temporal trend of background atmospheric PAH concentration in France derived from archived leaves. Oral communication. 16 slides. International Society for Polycyclic Aromatic Compounds, 25th scientific meeting, June 14th-17th 2015, Bordeaux.
- Nicolas M.**, 2015 : Global challenges of air pollution and climate change to the public forest management in France. Oral communication. 14 slides. IUFRO international congress, June 2nd-4th 2015, Nice.
- Nicolas M.**, **Le Roncé I.**, Boulanger V., Pousse N., Dupouey J.-L., 2015 : Plant bio-indicators do not reflect temporal changes measured in forest soil pH and C/N ratio over 15 years. Oral communication. 12 slides. ICP Forests, 4th scientific conference, 20th may 2015, Ljubljana.
- Pascaud A., Probst A., **Nicolas M.**, Mansat A., Sauvage S., **Croisé L.**, Coddeville P., 2015 : Impact of base cation deposition trends on exceedances of critical load of acidity in French forests. Oral communication. 19 slides. IUFRO international congress, June 2nd-4th 2015, Nice.
- Pascaud A., Sauvage S., Coddeville P., Probst A., Mansat A., **Nicolas M.**, **Croisé L.**, Mezdour A., 2015 : Long term trends in atmospheric deposition across France: drivers, forecasts and impacts. Oral communication. 19 slides. Acid Rain 2015 - 9th International Conference on Acid Deposition, October 19th-23th 2015, Rochester, NY.
- Rizzetto S., Belyazid S., Gégout J.C., **Nicolas M.**, Alard D., Corcket E., Gaudio N., Sverdrup H., Probst A., 2015 : Modelling the impact of climate change and atmospheric N deposition on french forests biodiversity. Oral communication. 18 slides. IUFRO international congress, June 2nd-4th 2015, Nice.
- Saenger A., Jonard M., Ponette Q., **Nicolas M.**, 2015 : Changes in nutrient and carbon stocks in French forest soils under decreasing atmospheric deposition. Oral communication. ? slides. IUFRO international congress, June 2nd-4th 2015, Nice.
- Saenger A., Jonard M., Ponette Q., **Nicolas M.**, 2015 : Changes in nutrient and carbon stocks in French forest soils under decreasing atmospheric deposition. Oral communication. 26 slides. ICP Forests, 4th scientific conference, 20th may 2015, Ljubljana.

Schaub M., Haeni M., Ferretti M., Gottardini E., Simpson D., Calatayud V., 2015 : Ozone risk assessment for European forests: a ten-year study on permanent monitoring plots. Oral communication. 18 slides. IUFRO international congress, June 2nd-4th 2015, Nice.

#### *Autres communications orales*

**Nicolas M.**, 2015 : Le réseau RENECOFOR : présentation du dispositif, exemple de résultats, perspectives. Présentation orale. 22 diapositives. ONF, Comité scientifique de la Direction territoriale Méditerranée, 7 octobre 2015, Abbaye du Boscodon.

**Nicolas M.**, Jonard M., Caignet I., Saenger A., Ponette Q. 2015 : Suivi des stocks de carbone organique des sols du réseau RENECOFOR. Présentation orale, 42 diapositives. Kfé R&D ONF, 19 juin 2015.

Saenger A., Jonard M., Ponette Q., **Nicolas M.**, 2015 : Changes in nutrient and carbon stocks in French forest soils under decreasing atmospheric deposition. Oral communication. 26 slides. ICP Forests, 18th Forest soil expert panel meeting, 23th april 2015, Göttingen.

### **6.3. Autres références citées**

Archaux F., Boulanger V., Camaret S., Corcket E., Dupouey J.-L., Forgeard F., Heuzé P., Lebret-Gallet M., Mârell A., Payet K., Ulrich E., Behr P., Bourjot L., Brêthes A., Chevalier R., Dobremez J.-F., Dumas Y., Dumé G., Forêt M., Kieffer C., Mirlyaz W., Picard J.-F., Richard F., Savoie J.-M., Seytre L., Timbal J., Touffet J., Triesch S., 2009 : RENECOFOR - Dix ans de suivi de la végétation forestière : avancées méthodologiques et évolution temporelle de la flore (1994/95-2005). Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique et Commerciale Bois, ISBN 978 - 2 - 84207 - 339 - 8, 456p.

Augusto L., Bastien C., Dufrêne E., Farcy C., Hervé J.-C., Jactel H., Pannatier E., 2013 : 2ème Evaluation du Réseau National de suivi à long terme des ÉCOsystèmes 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.

Bontemps J.-D., Hervé J.-C., Dhôte J.-F., 2009 : Long-term changes in forest productivity: a consistent assessment in even-aged stands. Forest Science 55(6):549-564 2009

Bontemps J.-D., Hervé J.-C., Leban J.-M., Dhôte J.-F. 2011 : Nitrogen footprint in a long-term observation of forest growth over the twentieth century. Trees 25: 237-251

Braun S., Thomas V.F.D., Quiring R., Flückiger W., 2010 : Does nitrogen deposition increase forest production? The role of phosphorus. Environmental Pollution 158 (6), 2043–2052

Camaret S., 2008 : Innovation en matière d'assurance qualité : la base de saisie en ligne "RenecoFlore". Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°4 "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR" : 38.

- Cecchini S., Croisé L., Macé S., Nicolas M., 2014 : Manuel de référence n°2 - méthodes de mesure des paramètres dendrométriques, 3ème version. Editeur : Office national des forêts, Direction forêts et risques naturels, Département recherche, développement et Innovation, 83 p.
- 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. *Annals of Forest Science*, 66(4):412-412
- Landmann G., Bonneau M. (Eds.) 1995 : Forest decline and atmospheric deposition effects in the French Mountains. Berlin (Allemagne), Springer - pp. 233-258 - ISBN 3-540-58874-4
- Suz L.M., Barsoum N., Benham S., Dietrich H.P., Fetzer K.D., Fischer R., Garcia P., Gehrman J., Kristöfel F., Manninger M., Neagu S., **Nicolas M.**, Oldenburg J., Raspe S., Sanchez G., Schröck H.W., Schubert A., Verheyen K., Verstraeten A., Bidartondo M.I., 2014 : Environmental drivers of ectomycorrhizal communities in Europe's temperate oak forests. *Molecular Ecology*, 23 (22): 5628-5644
- Vellend M., Baeten L.C., Myers-Smith I.D., Elmendorf S., Beauséjour R., Brown C., De Frenne P., Verheyen K., Wipf S., 2013 : Global meta-analysis reveals no net change in local-scale plant biodiversity over time. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110(48):19,456–19,459
- 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., Iacoban 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



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

François Mouchot (en haut à gauche), Hilaire Martin (en haut à droite), Luc Croisé (en bas)

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

En haut à gauche : Identification d'espèce par M. Patrick Behr (INRA Nancy)  
à l'occasion de l'inventaire floristique de la placette SP 57, au printemps 2015  
En haut à droite : Matérialisation avec un ruban de la bande d'observation floristique F2  
de la placette CHP 18, au printemps 2015  
En bas : Crocus de Corse (*Crocus corsicus* Vanucci ex Maw)

**Exemplaires imprimés : 450**

**Imprimerie ONF – Fontainebleau**



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