



RENECOFOR

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

2^{ème} Evaluation du réseau RENECOFOR Rapport d'auto-évaluation par l'équipe de coordination

Auteurs : Manuel NICOLAS (coordinateur)
Luc CROISE
Marc LANIER
Sébastien CECCHINI

20 juin 2013

Office National des Forêts - Département Recherche et Développement
Boulevard de Constance 77300 FONTAINEBLEAU

Avant-propos

Par ce rapport, l'équipe de coordination du réseau RENECOFOR fournit son analyse de l'avancement des activités en support de sa 2^{ème} évaluation scientifique.

Il s'adresse tout d'abord au comité d'évaluation, composé de 7 membres scientifiques et francophones, extérieurs au réseau RENECOFOR et à ses bailleurs de fonds. Le comité d'évaluation s'appuiera également sur une visite à l'équipe de coordination prévue les 28 et 29 août à Fontainebleau, avant de rendre ses conclusions fin septembre 2013.

Ce rapport s'adresse également aux bailleurs de fonds du réseau RENECOFOR, commanditaires de l'évaluation : le Ministère de l'Agriculture (MAAF), le Ministère de l'Ecologie (MEDDE), l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et l'Office National des Forêts (ONF). Les conclusions et les éléments de coûts serviront de base de rediscussion des objectifs et des moyens prévue à l'automne 2013.

L'analyse est construite au regard :

- des objectifs redéfinis en 2007,
- des attentes exprimées par les bailleurs de fonds dans la lettre de mission datée du 6 mai 2013 (Annexe 1),
- des conclusions et recommandations issues de la 1^{ère} évaluation scientifique en 2006 (Annexe 2).

Le plan du rapport comprend :

- I. une présentation générale du réseau, rappelant ses missions, sa conception, son organisation et ses modalités de financement,
- II. une présentation des réalisations depuis 2006, comprenant notamment des éléments chiffrés de production et de coûts,
- III. une analyse des résultats, perspectives et potentialités scientifiques, se basant sur la mise à jour de l'analyse de la 1^{ère} évaluation, détaillée domaine par domaine,
- IV. une analyse du positionnement du réseau RENECOFOR au sein du monitoring européen et national,
- V. une auto-évaluation par l'équipe de coordination, basée sur une synthèse des forces, faiblesses, opportunités et menaces (diagramme SWOT).

Des informations complémentaires sont fournies en annexes en format informatique.

Annexe 1 : Lettre de mission pour l'évaluation du réseau RENECOFOR, adressée à la présidente du comité d'évaluation, Mme Christine FARCY, et datée du 6 mai 2013

Annexe 2 : Rapport de la 1^{ère} évaluation scientifique, intitulé *Evaluation du réseau RENECOFOR. Suggestions pour l'avenir* et daté du 14 novembre 2006

Annexe 3.1 à 3.11 : Par domaine de suivi, mise à jour de l'analyse des résultats et perspectives scientifiques produite lors de la 1^{ère} évaluation en 2006

Annexe 4 : Réponses apportées aux suggestions listées par domaine par le comité de la 1^{ère} évaluation en 2006

Annexe 5 : Liste des suggestions émises par domaine par l'équipe de coordination en 2013

Annexe 6 : Circulaire adressée le 3 juillet 2008 aux personnels ONF impliqués et aux utilisateurs des données au sujet de la métamorphose du réseau RENECOFOR

Annexe 7 : Note d'information émanant de l'ONF sur les raisons du retrait du projet LIFE+ FutMon, datée du 16 juillet 2009

Chiffres clés

- **Valorisation scientifique.** Le rythme des publications dans des revues à comité de lecture basées sur des résultats RENECOFOR est passé de 2 articles par an sur la période 1995-2000, puis 4.2 articles par an sur la période 2001-2006, à 8.5 articles par an sur la période 2007-2012.
- **Efficacité technique.** Le taux d'exhaustivité des collectes de données, du terrain jusqu'à la base de données, excède 99 % dans le suivi continu des dépôts atmosphériques et solutions du sol (262 périodes de collecte de 4 semaines depuis 1992).
- **Efficacité économique.** Le coût moyen annuel du suivi d'un site de niveau le plus intensif (niveau A3) est de 27 % inférieur à la médiane européenne sur la période 2009-2012.

Sommaire

I	Présentation du réseau RENECOFOR.....	9
I.A	<i>Origines et missions.....</i>	9
I.A.1	Objectifs initiaux.....	9
I.A.2	Objectifs redéfinis en 2007.....	9
I.A.3	Positionnement initial du réseau RENECOFOR dans le monitoring français et européen de la santé des forêts.....	10
I.B	<i>Conception du dispositif.....</i>	11
I.B.1	Dimensionnement.....	11
I.B.2	Stratégie d'échantillonnage.....	11
I.B.2.1	Principes d'échantillonnage.....	11
I.B.2.2	Contraintes pratiques.....	11
I.B.2.3	Identification des sites.....	12
I.B.3	Diversité des contextes écologiques représentés.....	12
I.B.4	Domaines de suivi.....	16
I.B.5	Organisation d'un site RENECOFOR.....	16
I.B.5.1	Prévention des erreurs de repérage des objets d'étude au cours du temps.....	17
I.B.5.2	Limitation des perturbations dues aux opérations de suivi elles-mêmes.....	17
I.B.5.3	Poursuite normale des opérations sylvicoles.....	17
I.B.6	Base de données.....	18
I.B.6.1	Mise en forme et importation des données.....	18
I.B.6.2	Vérification et validation des données.....	18
I.B.6.3	Stockage sécurisé des données.....	19
I.B.6.4	Documentation des données.....	19
I.B.6.5	Mise à disposition des données.....	19
I.B.6.6	La base de données en chiffres.....	20
I.C	<i>Organisation humaine.....</i>	20
I.C.1	Organisation au sein de l'ONF.....	20
I.C.1.1	Personnels impliqués dans la coordination.....	20
I.C.1.2	Contributions en temps.....	22
I.C.2	Sous-traitances externes.....	22
I.C.3	Partenariats de recherche.....	23
I.D	<i>Financement.....</i>	24
I.D.1	Historique de financement.....	24
I.D.1.1	Evolution des contributions au budget.....	24
I.D.1.2	Echec du financement du monitoring par le règlement européen LIFE+.....	25
I.D.2	Modalités de financement.....	25
II	Réalisations depuis 2006	27
II.A	<i>Evolution des activités de suivi.....</i>	27
II.A.1	Bilan de la métamorphose de 2008.....	27
II.A.1.1	Synthèse des évolutions.....	27
II.A.1.2	Analyse des effets de la métamorphose.....	29
II.A.2	Autres efforts d'optimisation.....	29
II.A.2.1	Optimisation des outils de fonctionnement.....	29
II.A.2.2	Optimisation de la répartition des tâches.....	30
II.A.2.3	Optimisation des prestations externes.....	30
II.A.3	Réponses aux suggestions d'évolution issues de la 1 ^{ère} évaluation.....	31
II.B	<i>Evolution de l'organisation humaine.....</i>	32
II.B.1	Conséquences des réductions des effectifs de l'ONF.....	32
II.B.2	Renouvellement des personnels.....	32
II.C	<i>Efficacité de réalisation.....</i>	33
II.C.1	Réalisation des collectes de données.....	33
II.C.2	Efficacité économique.....	36

II.D	<i>Production documentaire</i>	38
II.E	<i>Communication</i>	41
II.E.1	Mise à disposition de la documentation et des données	41
II.E.2	Réponses aux demandes de données	41
II.E.3	Colloque pour les 15 ans du réseau RENECOFOR (Beaune, 2007).....	41
II.E.4	Actions de communication auprès du grand public.....	42
II.E.4.1	Refonte du site Internet en 2008	42
II.E.4.2	Participation à la réalisation de documentaires filmés	42
II.E.4.3	Actions de communication au plan local	43
III	Analyse des résultats, perspectives et potentialités	45
III.A	<i>Synthèse par type d'apport</i>	45
III.A.1	Détection de tendances temporelles et spatiales	45
III.A.1.1	Tendances temporelles à moyen terme	45
III.A.1.2	Approches statistiques spatiales et spatio-temporelles	45
III.A.2	Contribution à la détermination et à la compréhension des relations de causes à effets.....	46
III.A.2.1	Approches corrélatives	46
III.A.2.2	Alimentation et validation de modèles mécanistes	47
III.A.3	Résultats méthodologiques	48
III.A.3.1	Quantification des incertitudes	48
III.A.3.2	Support de nouvelles mesures.....	49
III.A.3.3	Validation d'outils	50
III.A.4	Fourniture d'indicateurs	51
III.B	<i>Synthèse par phénomène à observer</i>	52
III.B.1	Réaction des écosystèmes aux évolutions du climat.....	52
III.B.1.1	Vulnérabilité des arbres et des écosystèmes au climat.....	52
III.B.1.2	Evolution du climat en forêt	52
III.B.1.3	Capacité de séquestration de carbone en forêt.....	53
III.B.2	Cycle des éléments nutritifs en relation avec les dépôts atmosphériques.....	53
III.B.2.1	Suivi des dépôts atmosphériques	53
III.B.2.2	Contribution à la compréhension des cycles biogéochimiques.....	53
III.B.3	Evolution de la biodiversité.....	54
III.B.3.1	Evolution de la diversité floristique.....	54
III.B.3.2	Développement d'autres suivis taxonomiques.....	55
III.C	<i>Apports à l'ONF</i>	56
III.C.1	Contributions aux enjeux de gestion de l'ONF	56
III.C.2	Contributions connexes au portage du réseau.....	57
IV	Positionnement du réseau au sein des dispositifs de monitoring	59
IV.A	<i>Relations avec le programme ICP Forests</i>	59
IV.A.1	Apports du programme ICP Forests au réseau RENECOFOR.....	59
IV.A.2	Coût de participation du réseau RENECOFOR au programme ICP Forests	60
IV.B	<i>Relations avec les autres dispositifs nationaux</i>	61
IV.B.1	Positionnement général	61
IV.B.2	Analyse des relations avec chaque dispositif.....	62
IV.B.2.1	Département de la santé des forêts (DSF).....	62
IV.B.2.2	Inventaire Forestier National (IFN)	63
IV.B.2.3	Réseau de mesure de la qualité des sols (RMQS).....	64
IV.B.2.4	Mesure et Evaluation en zone Rurale de la pollution Atmosphérique à longue distance (MERA)	65
IV.B.2.5	Biosurveillance des retombées atmosphériques métalliques dans les mousses (BRAMM)	66
IV.B.2.6	SOERE F-ORE-T	66
IV.B.2.7	Commission des Ressources Génétiques Forestières (CRGF).....	67
IV.C	<i>Relations avec les observatoires régionaux</i>	67
V	Auto-évaluation	69

V.A	<i>Synthèse des forces, faiblesses, opportunités et menaces</i>	69
V.B	<i>Recommandations pour l'avenir du réseau RENECOFOR</i>	70
V.B.1	Maintenir la cohérence et l'ambition des objectifs de suivi	70
V.B.2	Ne pas rogner sur la qualité du suivi	70
V.B.3	Poursuivre la valorisation	71
V.B.4	Garantir les moyens en adéquation avec les objectifs	71
VI	Citations	73

I Présentation du réseau RENECOFOR

I.A Origines et missions

Le réseau RENECOFOR a été créé par l'Office National des Forêts (ONF) sous l'impulsion de son Directeur Général George Touzet en 1992, avec l'aide importante de l'INRA-Nancy (Maurice Bonneau et son équipe) et du Département de la Santé des Forêts (Christian Barthod et Guy Landmann, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales). Ce réseau complète le système de surveillance sanitaire des forêts françaises. Il constitue la partie française d'un ensemble de placettes permanentes de suivi des écosystèmes forestiers, installées dans 34 pays européens. 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 d'observations. Sa conception a bénéficié des acquis du programme de recherche DEFORPA (Dépérissement des Forêts attribué à la pollution Atmosphérique) mené de 1984 à 1991 (Landmann et Bonneau, 1995).

I.A.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 (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.

I.A.2 Objectifs redéfinis en 2007

A la suite de la 1^{ère} évaluation du réseau en 2006 (comité spécial d'évaluation) et en 2007 par le comité scientifique, de « nouveaux » objectifs ont été définis pour la période 2008 à 2013 (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.

I.A.3 Positionnement initial du réseau RENECOFOR dans le monitoring français et européen de la santé des forêts

La résolution S1 de la Conférence Ministérielle de Strasbourg (1990) décide la mise en place du monitoring forestier européen, sous l'égide du Programme International Concerté ICP Forests émanant de la Convention des Nations Unies sur les pollutions atmosphériques transfrontières à longue distance. La résolution prévoit que le monitoring forestier européen repose sur deux niveaux de placettes permanentes :

- un niveau extensif (Level I) visant la mesure de paramètres simples de conditions écologiques et de vitalité des arbres suivant un maillage systématique du territoire ;
- un niveau intensif (Level II) conçu pour des mesures plus nombreuses et plus précises relativement au peuplement et à son histoire, aux arbres et leur feuillage, à la végétation, au sol, au climat et dans un certain nombre de cas à la composition chimique de la pluie hors couvert, des pluviollessivats et des eaux de drainage.

Le réseau RENECOFOR correspond à la partie française du réseau de monitoring européen de niveau intensif (Level II).

A l'échelle de la France métropolitaine, sa mise en place complète également le dispositif de suivi de la santé des forêts (Barthod, 1994).

- Le réseau des Correspondants-Observateurs vise à détecter les fluctuations de populations pathogènes sur l'ensemble du territoire et à apporter son expertise auprès des gestionnaires forestiers dans la gestion des risques phytosanitaires.
- Le réseau systématique de suivi des dommages forestiers correspond au monitoring européen extensif (level I) : il vise à quantifier l'état de santé des arbres et à objectiver son évolution au cours du temps, sur la base de placettes permanentes réparties selon un maillage systématique de 16 km x 16 km.
- Le réseau RENECOFOR correspond au monitoring européen intensif (level II) : il vise à déceler les évolutions de fond qui affectent le fonctionnement des écosystèmes forestiers, au-delà des variations conjoncturelles interannuelles, par le suivi détaillé et

régulier d'un grand nombre de paramètres du peuplement et du milieu sur des placettes permanentes mises en place pour une trentaine d'années.

Outre la complémentarité de leurs objectifs, ces réseaux français reposent également sur des protocoles de notation sanitaire similaires et mis en œuvre par les mêmes correspondants-observateurs formés et coordonnés par le Département de la Santé des Forêts (MAAF).

I.B Conception du dispositif

I.B.1 Dimensionnement

Afin de répondre raisonnablement aux objectifs du monitoring européen, le réseau RENECOFOR a été dimensionné dès sa conception à une centaine de sites, dont 25 équipés pour le suivi des dépôts atmosphériques hors et sous couvert, et 15 d'entre eux pour le suivi de la chimie des solutions du sol. Ce sous-ensemble destiné au suivi des dépôts atmosphériques constitue le sous-réseau CATAENAT (Charges Acides Totales d'origine Atmosphérique sur les Ecosystèmes Naturels Terrestres).

En plus des 100 sites requis pour les objectifs européens, deux sites de pin maritime ont été ajoutés dès l'origine sur la dune littorale (sites PM 17 et PM 85), en réponse aux craintes de dépérissement dans ce contexte. Ils ont été équipés pour le suivi des dépôts atmosphériques et de la chimie des solutions de sol, portant le sous-réseau CATAENAT à un total de 27 sites.

I.B.2 Stratégie d'échantillonnage

La stratégie et les contraintes d'échantillonnage des sites sont décrites en détail dans le Manuel n°1 pour la sélection et l'implantation des placettes permanentes (Ulrich et al. 1994). La prospection a été réalisée par les Sections Techniques Interrégionales de l'ONF à partir de 1990, aboutissant à une présélection de 123 sites, dont 102 ont été finalement retenus.

I.B.2.1 Principes d'échantillonnage

Etant donné le nombre limité à une centaine de sites, la prospection a été orientée vers les 10 principales essences productives de France métropolitaine, et pour chacune d'elles vers les principales régions forestières de son aire de répartition naturelle ou artificielle.

La prospection a également été orientée vers des sites de station moyenne, ni trop peu ni exagérément sensibles dans leur réaction aux changements environnementaux.

Les peuplements devaient être a priori sains et préférentiellement des futaies régulières. Leur âge devait être compris entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{3}{4}$ de l'âge d'exploitabilité, en phase d'amélioration sylvicole pendant au moins les 30 années de suivi prévu.

I.B.2.2 Contraintes pratiques

En dehors de choix stratégiques, l'échantillonnage des sites a aussi été guidé par des contraintes pratiques :

- restriction aux forêts relevant du régime forestier (et donc gérées par l'ONF),
- homogénéité de sol et de peuplement à l'échelle de chaque site,
- absence de sources de pollution immédiates et situation hors lisière,
- situation en dehors de zones d'aléas (avalanche, torrent, glissement de terrain) ou particulièrement ventées,
- éloignement de centres touristiques,
- accès aisé depuis la route

- motivation des agents locaux pour participer au suivi.

Pour chaque site du sous-réseau CATAENAT, une placette hors couvert a dû également être installée dans une clairière proche et dans des conditions compatibles avec les besoins d'un suivi météorologique.

I.B.2.3 Identification des sites

Chaque placette est identifiée par un code individuel constitué de la manière suivante :

- les deux ou trois premiers caractères précisent l'essence principale (CHS = chêne sessile ; CHP = chêne pédonculé, CPS = peuplement mélangé de chênes pédonculés et sessiles, HET = hêtre, SP = sapin pectiné, EPC = épicéa commun, DOU = douglas, PM = pin maritime, PS = pin sylvestre, PL = pin laricio, MEL = mélèze d'Europe) ;
- les deux chiffres suivant ces caractères correspondent au numéro du département, dans lequel la placette se trouve ;
- si plusieurs placettes de la même essence se trouvent dans le même département, on ajoute à la fin "a", "b", "c"... (ex : PM 40a, PM 40b et PM 40c).

I.B.3 Diversité des contextes écologiques représentés

Par son extension spatiale (Figure 1), le réseau couvre une large gamme de contextes de géographie, de sol, de climat et de peuplement (Tableau 1). Cette couverture est un atout notable pour l'élaboration ou la validation de modèles.

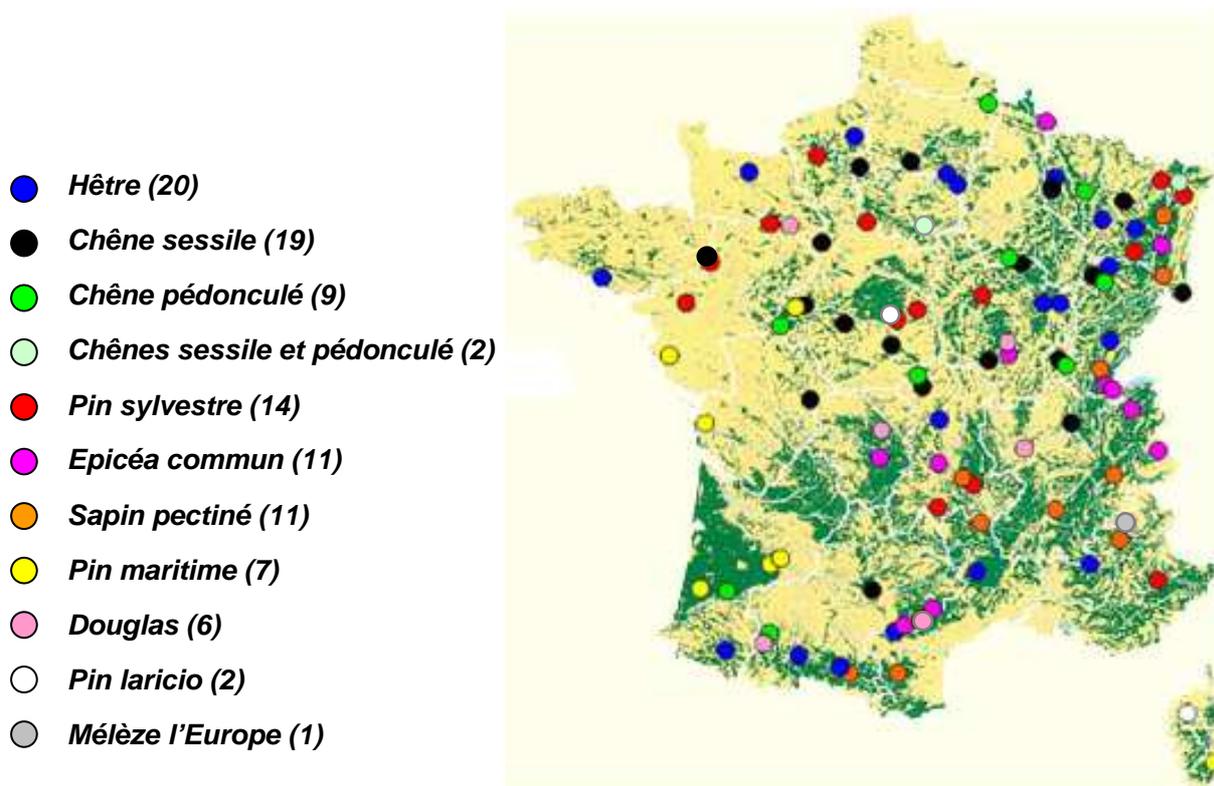


Figure 1 : Carte de répartition des sites RENECOFOR au sein des forêts de France métropolitaine et par essence principale. Le nombre de sites est indiqué entre parenthèses pour chaque essence.

Tableau 1 : Amplitude des variations de contexte (géographie, sol, climat, peuplement) des sites RENECOFOR par essence principale.

Essence principale	Nombre de sites	Altitude (m)	Pente (%)	Caractéristiques du peuplement en 1995			Chimie du sol de 0 à 40 cm de profondeur			Climat moyen 1997-2000 (AURELHY, MétéoFrance)	
				Age moyen	Surface terrière (m ² /ha)	Hauteur dominante (m)	pH _{eau}	Capacité d'échange cationique (cmolc/kg)	Taux de saturation en bases (%)	Précipitations annuelles (mm)	Température moyenne annuelle (°C)
CHP : Chêne pédonculé	9	20 - 370	0 - 12	35 - 134	18 - 32	18 - 28	4.6 - 5.1	1.1 - 21.3	27 - 90	651 - 1163	9.7 - 13.4
CHS : Chêne sessile	19	55 - 330	0 - 18	55 - 139	23 - 35	21 - 31	4.2 - 5.0	1.5 - 6.8	9 - 39	663 - 1102	9.2 - 11.7
CPS : Chênes pédonculé et sessile en mélange	2	80 - 350	0 - 10	76 - 113	25 - 31	25 - 28	4.8 - 4.8	1.0 - 1.9	16 - 45	698 - 920	9.8 - 10.8
DOU : Douglas	6	375 - 700	4 - 50	20 - 48	16 - 46	20 - 39	4.3 - 4.9	3.2 - 7.4	9 - 49	906 - 1522	9.1 - 12.2
EPC : Epicéa commun	11	480 - 1700	0 - 40	23 - 182	30 - 63	17 - 35	4.2 - 6.0	3.2 - 27.0	5 - 99	1043 - 1987	5.6 - 10.1
HET : Hêtre	20	50 - 1400	0 - 50	41 - 160	18 - 38	19 - 30	4.2 - 7.7	3.0 - 48.8	10 - 100	736 - 1894	4.9 - 13.3
MEL : Mélèze d'Europe	1	1850	20	132	28	26	6.2	10.5	98	922	6.7
PL : Pin laricio	2	140 - 1100	0 - 40	45 - 173	33 - 60	23 - 38	4.6 - 5.4	1.4 - 4.1	16 - 76	743 - 1566	9.6 - 10.9
PM : Pin maritime	7	5 - 850	0 - 10	15 - 62	20 - 76	11 - 23	4.2 - 8.6	0.5 - 6.8	19 - 100	775 - 1328	11 - 13.6
PS : Pin sylvestre	14	38 - 1670	0 - 25	39 - 94	28 - 46	17 - 27	4.0 - 5.3	1.4 - 4.8	6 - 66	699 - 1144	7.9 - 11.8
SP : Sapin pectiné	11	400 - 1360	7 - 66	41 - 168	31 - 60	22 - 29	4.2 - 6.5	2.2 - 22.6	10 - 99	925 - 1564	6.1 - 10

Tableau 2 : Synthèse des domaines de mesure et de suivi du réseau RENECOFOR.

Domaine	Objet	Paramètres	Fréquence	Opérateurs
CATAENAT	- Dépôts hors couvert : collecte totale et (sur 8 sites avant 2008) collecte wet-only - Dépôts sous couvert : pluviollessivat et (sur 3 sites) ruissellement de tronc - Solutions du sol	Volume et analyses chimiques (pH, conductivité et espèces majeures)	Collecte toutes les semaines et analyses sur composites de 4 semaines	- Prélèvement par les agents responsables des sites - Analyses sous-traitées à SGS (jusqu'en 2011) puis SOCOR
Météorologie	Météorologie sur site hors couvert (clairière)	Pluie, température, humidité de l'air ainsi que le vent (vitesse et direction) et le rayonnement global sur certains sites	Intégrations horaires et journalières	Fonctionnement et maintenance sous-traités à la société Pulsonic
Qualité de l'air	Mesures de concentrations atmosphériques sur site hors couvert par capteurs passifs	Concentrations en ozone et ammoniac	Relevés tous les 14 jours puis hebdomadaires de fin mars à début octobre.	- Capteurs fournis et analysés par IVL sauf en 2012 (Passam) - Exposition par les agents responsables des sites
Dégâts d'ozone	- Sous couvert : symptômes sur feuilles des arbres dominants de l'essence principale, par année de feuillage - Hors couvert : symptômes sur végétation de lisière (par quadrat depuis 2009)	- Sous couvert : intensité de symptômes semi-quantitative - Hors couvert : présence/absence par espèce	Une observation annuelle en été	Association GIEFS
Description des sols	Description détaillée de la litière et du sol minéral par horizon sur 2 fosses jusqu'à une profondeur maximale de 2 m	Profondeur et transition, texture, structure, pierrosité, couleur, compacité, porosité, densité de racines, traces d'hydromorphie...	Une description par fosse entre 1993 et 1995, sans répétition temporelle	Experts ONF, CEMAGREF, CRPF
Chimie des sols	- Sur 5 grappes : litière par horizon et sol minéral par profondeurs systématiques (0-10 cm, 10-20 cm et 20-40 cm) - Sur 2 fosses : sol minéral par profondeur systématique (40-80 cm et 80-100 cm) et pour 3 horizons lors des descriptions	- Masse par hectare de litière et densité apparente des couches minérales - Granulométrie, pH, C, N, P, éléments échangeables, éléments totaux majeurs et traces	Sur grappes : tous les 15 ans (1ère campagne en 1993-1995, 2ème campagne 2007-2012)	- Prélèvements par les personnels ONF (R&D, agents responsables, ouvriers) - Analyses par l'INRA Arras
Santé des arbres	Arbres dominants de l'essence principale (36 arbres observation et 16 arbres échantillon)	Déficit foliaire, colorations anormales, mortalité de branches, présence et intensité de symptômes/pathogènes	Relevés complets en été + observations de dégâts de défoliateurs et gel au printemps et de dégâts de scolytes en hiver	Correspondants-Observateurs de l'ONF formés par le DSF
Nutrition foliaire	Feuilles/aiguilles du tiers supérieur du houppier des arbres dominants de l'essence principale (échantillonnage composite de 8 des 16 arbres échantillon)	Masse foliaire et concentrations en éléments totaux : C, N, P, S, K, Ca, Mg, Na, Cl, Mn, Fe, Zn, Cu, Al	Tous les 102 sites, tous les ans de 1993 à 1997 puis tous les 2 ans depuis 1999 (sauf 2003)	- Prélèvements au fusil par les correspondants territoriaux - Analyses par l'INRA Bordeaux

Domaine	Objet	Paramètres	Fréquence	Opérateurs
Phénologie	- Arbres dominants de l'essence principale : ensemble des 36 arbres-observation (mesures par arbre depuis 2009) - Ensemble du sous-étage par essence - Anémone sylvie (depuis 2009)	- Arbres/peuplement : date de débourrement des bourgeons et date de jaunissement automnal (si feuillage caduque) - Anémone sylvie : date de floraison (depuis 2009)	Observations annuelles	Agents responsables des sites
Inventaires dendrométriques	- Zone centrale (0,5 ha) : toutes tiges de plus de 15 cm de circonférence (dont les 36 arbres-observation), avec mesures individualisées par tige depuis 2000 - Zone tampon : 16 arbres-échantillons	Essence, statut, circonférence ainsi que la hauteur sur un échantillon d'arbres	Inventaires réguliers tous les 5 ans + inventaires avant et après chaque éclaircie	Correspondants territoriaux avec appui des agents responsables de sites
Dendrochronologie	30 arbres dominants de l'essence principale en périphérie de site	Age à 1,30 m et largeur de cerne annuel	- Prélèvements sur tous les sites en 1996 - Répétition sur 34 sites en 2009	UMR INRA-AgroParisTech LERFoB
Chutes de litière	Chutes de litière échantillonnée dans 10 collecteurs répartis de manière systématique dans la zone centrale (0,5 ha)	- Masse par hectare par compartiment (feuilles, fruits et branches de l'essence principale et le reste) - Analyses chimiques par compartiment	- 4 collectes par an puis collectes mensuelles depuis 2008 - Analyses chimiques sur composites annuels et répétées de manière non systématique	- Collecte et tri par les agents responsables des sites - Séchage et pesée par les correspondants territoriaux - Analyses par l'INRA Bordeaux
Composition floristique	Strates arborée (> 7m), arbustive haute (> 2m), arbustive basse (< 2m), herbacée et muscinale sur 8 bandes de 100 m ² (4 bandes en enclos et 4 en exclos)	Abondance-dominance par espèce, recouvrement par strate	- Inventaires tous les 5 ans (printemps et été) - Inventaires annuels sur un sous-ensemble de sites	Experts botanistes (INRA, CEMAGREF, IFN, Conservatoires botaniques, Universités, privés, ONF)
Composition des champignons supérieurs	Champignons supérieurs sur l'ensemble de la zone centrale (0,5 ha)	Abondance par espèce	De 1995 à 2005 : 55 sites, inventoriés chacun pendant 3 années consécutives et au minimum 4 fois par an	Mycologues amateurs de la Société Mycologique de France
Composition de la macrofaune du sol	Macrofaune de la litière et du sol (17 ordres de macro-intervérés) sur 10 points de prélèvements répartis en zone périphérique	Présence/absence par espèce	- En 2006 : 40 sites inventoriés - Prévu 2008-2010 (en attente des résultats IRD) : 45 sites supplémentaires + inventaire répété annuellement sur 10 sites	IRD
Minéralomasse du sous-bois	Minéralomasse de la végétation de sous-bois, échantillonnée par unité de surface et par strate	Masse sèche et concentrations par strate	Mesure au printemps et en été sur 10 sites de niveau A3 en 2009 (projet FutMon)	- Prélèvement par l'équipe de coordination - Analyses par l'INRA Bordeaux

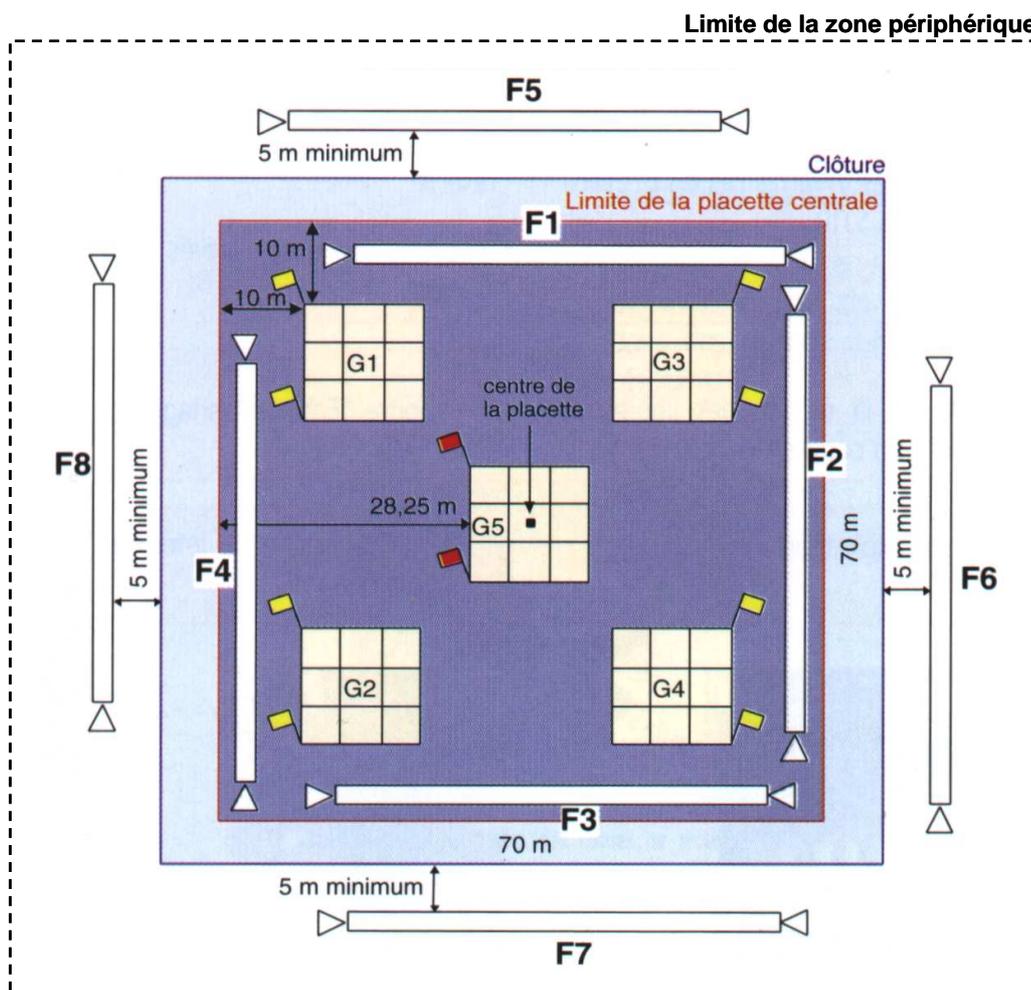
I.B.4 Domaines de suivi

Le Tableau 2 (double page précédente) dresse une synthèse des domaines de mesure et de suivi. Chaque domaine fait l'objet d'un manuel écrit, mis à jour suivant les besoins d'évolutions méthodologiques, en cohérence avec les protocoles communs du programme ICP Forests. La maintenance des sites fait également l'objet d'un manuel et d'un vade-mecum à l'attention des agents de terrain.

I.B.5 Organisation d'un site RENECOFOR

Chaque site sous couvert s'étend sur une surface de 2 ha, comprenant une zone centrale clôturée de 0.5 ha et entourée d'une zone tampon de 30 m de largeur. Suivant la conformation des lieux, elle peut être de forme carrée ou rectangulaire. La conception suit des règles communes à tous les sites et vise à répondre au mieux aux contraintes techniques du monitoring forestier.

Figure 2 : Schéma d'organisation d'un site sous couvert. Les 8 bandes floristiques de 2m x 50m (F1 à F8) sont réparties de part et d'autre de la clôture et distantes des grappes de prélèvement de sol (G1 à G5). Les extrémités des bandes ainsi que deux angles de chaque grappe sont repérés par des bornes de géomètre.



1.B.5.1 Prévention des erreurs de repérage des objets d'étude au cours du temps

La continuité à long terme des collectes de données suppose en premier lieu d'éviter les erreurs d'identification des objets d'étude au cours du temps et donc de les repérer correctement.

- Les surfaces des zones centrale et tampon sont délimitées par des piquets d'angle numérotés et des traits de peinture blanche sur les arbres en limite.
- Des bornes de géomètre permettent de positionner précisément les bandes floristiques (bornes blanches) et les grappes de prélèvement de sol (bornes rouges et bornes jaunes).
- Les 36 arbres-observation (dans la zone centrale) et les 16 arbres-échantillon (dans la zone tampon) destinés aux suivis d'état sanitaire, de phénologie et de nutrition foliaire sont repérés par des numéros de peinture visibles de loin et un bandeau bleu à 1,30 m.
- Dans la zone centrale toutes les tiges supérieures à 5 cm de diamètre sont identifiées depuis 2000 par une plaquette métallique numérotée pour individualiser les données d'inventaire par tige.
- Chaque numéro d'arbre-observation, arbre-échantillon ou tige est unique au cours du temps au sein de chaque placette. A chaque nouveau recrutement, un nouveau numéro est attribué.

1.B.5.2 Limitation des perturbations dues aux opérations de suivi elles-mêmes

Tout en veillant à la représentativité spatiale des observations, les prélèvements destructifs ne doivent pas empiéter sur les autres types d'observation :

- les prélèvements de sol sont concentrés sur 5 grappes de sol distantes en particulier des bandes floristiques ;
- les prélèvements foliaires sont restreints aux 16 arbres-échantillon, à l'extérieur de la zone centrale ;
- les prélèvements de carottes de bois pour la dendrochronologie ont été réalisés sur des arbres extérieurs à la zone centrale et différents des 16 arbres-échantillon.

Le piétinement du sol lié aux passages répétés des opérateurs doit être canalisé au maximum en dehors des zones d'étude :

- la clôture est implantée à environ 5 mètres de la bordure de la zone centrale afin d'aménager une zone de circulation périphérique à l'intérieur de l'enclos,
- la forme en bandes étroites de 2 m x 50 m des unités d'inventaire floristique permet aux botanistes de réaliser leurs relevés sans les piétiner.

Les biais liés à la présence d'une clôture, nécessaire à la pérennité des dispositifs, doivent être pris en compte dans les relevés floristiques. Aux quatre bandes floristiques réparties au sein de la zone centrale clôturée correspondent donc quatre autres bandes en vis-à-vis à l'extérieur de l'enclos.

1.B.5.3 Poursuite normale des opérations sylvicoles.

L'objectif du réseau RENECOFOR étant de suivre à long terme des écosystèmes forestiers représentatifs, il importe que la conception des sites permette la réalisation normale des opérations sylvicoles telles qu'elles sont pratiquées sur le peuplement environnant.

- Le grillage de la clôture ainsi que les dispositifs fragiles (collecteurs de litière et de pluviollessivats) peuvent être démontés et remontés rapidement à l'occasion des exploitations.
- Les surcoûts liés aux précautions particulières pour l'évitement des dégâts de tassement par les engins sont pris en charge sur le budget du réseau RENECOFOR.

I.B.6 Base de données

La base de données a été développée continuellement depuis 1992, en parallèle des dispositifs de collecte d'information et à mesure des besoins d'utilisation des données. Elle constitue une composante fondamentale du réseau, y compris dans sa gestion administrative. Elle s'adapte aux protocoles mis en œuvre, mais les influence aussi en retour par l'exigence de rigueur qu'elle impose dans le recueil des données et par les améliorations possibles qu'elle met en évidence.

Elle est gérée depuis 1992 par Marc Lanier sur le système de gestion de base de données Paradox. Ce logiciel dont le développement n'est plus assuré répond cependant toujours aux besoins du réseau et il a l'avantage de rester compatible depuis 20 ans avec tous les systèmes d'exploitation Microsoft Windows (y compris la version 7 à 64 bits). La description de la base de données a fait l'objet d'une présentation et d'un article de synthèse à l'occasion du colloque des 15 ans du réseau RENECOFOR (Lanier, 2008).

Les objectifs de gestion de la base de données sont (i) la mise en forme et l'importation des données, (ii) leur vérification/validation, (iii) leur stockage sécurisé, (iv) leur documentation et (v) leur mise à disposition.

I.B.6.1 Mise en forme et importation des données

Les données sont créées sous différentes formes et arrivent au centre de coordination par différents canaux. A chaque protocole de collecte de données est associé un processus de saisie/transmission/intégration permettant de les stocker dans une structure de la base reflétant la structure réelle des informations recueillies.

La transmission des données au centre de coordination, naguère majoritairement sur papier et par courrier postal, s'effectue maintenant très largement par voie électronique : e-mail ou téléchargement à partir d'un serveur. L'intégration dans la base s'effectue au moyen de programmes assurant en même temps la mise en forme et la réalisation de contrôles automatiques.

I.B.6.2 Vérification et validation des données

Aux différentes étapes de l'intégration des données dans la base, la détection de lacunes ou d'anomalies amène à contacter les personnes à l'origine des données pour rechercher des informations supplémentaires ou correctives. Ce travail de recherche d'informations supplémentaires prend du temps mais s'avère décisif pour assurer la cohérence des séries de données et pouvoir réaliser les contre-mesures nécessaires dans un délai suffisamment court. Par souci d'efficacité, le responsable de la base de données est lui-même chargé de la coordination technique des suivis nécessitant les importations et/ou les contrôles de données les plus fréquents, à savoir les suivis du sous-réseau CATAENAT (dépôts atmosphériques, chimie des solutions du sol, météorologie) et les inventaires dendrométriques. L'efficacité du circuit d'information est notamment cruciale pour le traitement et l'analyse rapide des échantillons liquides : le délai de validation des mesures hebdomadaires des volumes de collecte conditionne la réalisation des échantillons composites par période de 4 semaines, puis

le délai d'analyse et de validation des résultats conditionne la possibilité de réaliser des analyses de contrôle.

La vérification automatique des données a également permis de réviser la fréquence de mesure de certains paramètres au regard des imprécisions constatées, par exemple la hauteur des arbres initialement mesurée tous les 5 ans.

Une fois vérifiées, les données sont considérées validées, c'est-à-dire qu'elles reflètent au mieux la réalité du terrain telle qu'elle a pu être observée/mesurée dans le cadre du protocole concerné.

1.B.6.3 Stockage sécurisé des données

La sécurisation des dernières mises à jour est assurée face à tout risque de destruction du PC ou même du bâtiment dans lequel est gérée la base de donnée : une copie de la base de données est réalisée chaque jour sur un disque dur externe, tous les 10 jours sur une clé USB détenue par le gestionnaire de la base et tous les 15 jours sur un serveur ONF situé à Paris. D'autre part, même en cas d'impossibilité d'utilisation du logiciel Paradox, les données restent récupérables sous forme de fichiers texte.

Néanmoins, la meilleure sécurité du patrimoine de données réside dans le fait que la base est gérée et constamment mise à jour. Une mémoire figée a beaucoup plus de risques de se dégrader.

1.B.6.4 Documentation des données

Une table de données décrit l'ensemble des objets de la base et fait l'objet d'une mise à jour à chaque modification de la base. Chaque champ est répertorié et fait l'objet d'une brève description permettant de savoir quelles données y sont stockées ainsi que les unités des valeurs numériques. Cette table sert notamment à expliciter les noms des champs lors des extractions de données à usage externe.

Concernant la gestion de la base de données, les programmes écrits dans Paradox comportent des lignes de commentaire explicitant leur objet au fil des lignes de code. Des schémas d'organisation des tables et programmes sont produits et mis à jour pour chaque domaine de suivi.

1.B.6.5 Mise à disposition des données

L'extraction des données de Paradox est très simple dès lors qu'il s'agit de fournir les données d'une ou quelques tables de la base sans formatage particulier. Mais cette situation est assez rare : la plupart des utilisateurs ont besoin d'une sélection de données dans différents domaines du réseau et d'informations précises sur le contenu des champs et les protocoles de mesure. Ceci implique des préparations spécifiques des données, difficilement automatisables face à la diversité des demandes et combinaisons possibles.

Néanmoins la base de données est adaptée pour faciliter les extractions de données les plus courantes.

- En plus des données brutes, un nombre – aussi limité que possible – de tables de données synthétiques ou globalisées est produit dans Paradox pour répondre à certaines demandes fréquentes (cumuls de dépôts atmosphériques annuels, météo mensuelle, paramètres dendrométriques à l'échelle placette...).
- La transmission régulière des données au centre de coordination du Programme ICP Forests est organisée par une série de programmes, adaptés annuellement aux modifications des protocoles et aux révisions des formats correspondants.

I.B.6.6 La base de données en chiffres

La base de données est caractérisée par la diversité des domaines couverts dans le suivi du réseau RENECOFOR.

- Données scientifiques brutes : 75 millions de données réparties en 79 tables et 897 variables (correspondant à la diversité des suivis de terrain - 15 protocoles techniques).
- Données scientifiques dérivées : 88 tables et 1069 variables
- Données administratives : 15 tables et 69 variables (contacts des centaines de personnels impliqués, suivi des temps passés et autres coûts du réseau).

Le nombre de programmes associés reflète à la fois la diversité des relations entre les domaines et l'effort d'automatisation des processus de traitement et de contrôle.

- 349 programmes en langage ObjectPal (programmes d'importation et de contrôle des données brutes, de calcul de données dérivées, d'exportation)
- 170 requêtes de sélection de données
- 314 états de présentation et/ou d'impression des données

I.C Organisation humaine

I.C.1 Organisation au sein de l'ONF

La capacité de suivi du réseau RENECOFOR repose sur la couverture du territoire national par les personnels de terrain de l'ONF. Au total, le réseau implique de l'ordre de 300 personnels, la grande majorité contribuant pour une faible partie de leur temps de travail.

I.C.1.1 Personnels impliqués dans la coordination

Au plan local, chaque site est placé sous la responsabilité d'un agent patrimonial, de préférence celui en charge du triage dans lequel il est situé. Cette responsabilité comprend la maintenance du site, le suivi des exploitations, les observations de phénologie, les collectes mensuelles et le tri des chutes de litière, les relevés hebdomadaires du sous-réseau CATAENAT, ainsi que la participation aux inventaires dendrométriques, aux prélèvements foliaires et aux prélèvements de sol. Chaque agent responsable est secondé par un voire deux suppléants locaux suivant le niveau d'intensité du site, afin d'assurer la continuité temporelle du suivi face aux absences inévitables (congés, maladie, passation à l'occasion d'un départ en mutation ou en retraite). Les relevés d'état sanitaire sont confiés aux correspondants-observateurs les plus proches, en relation étroite avec les autres missions de suivi coordonnées par le Département Santé des Forêts (Ministère de l'Agriculture).

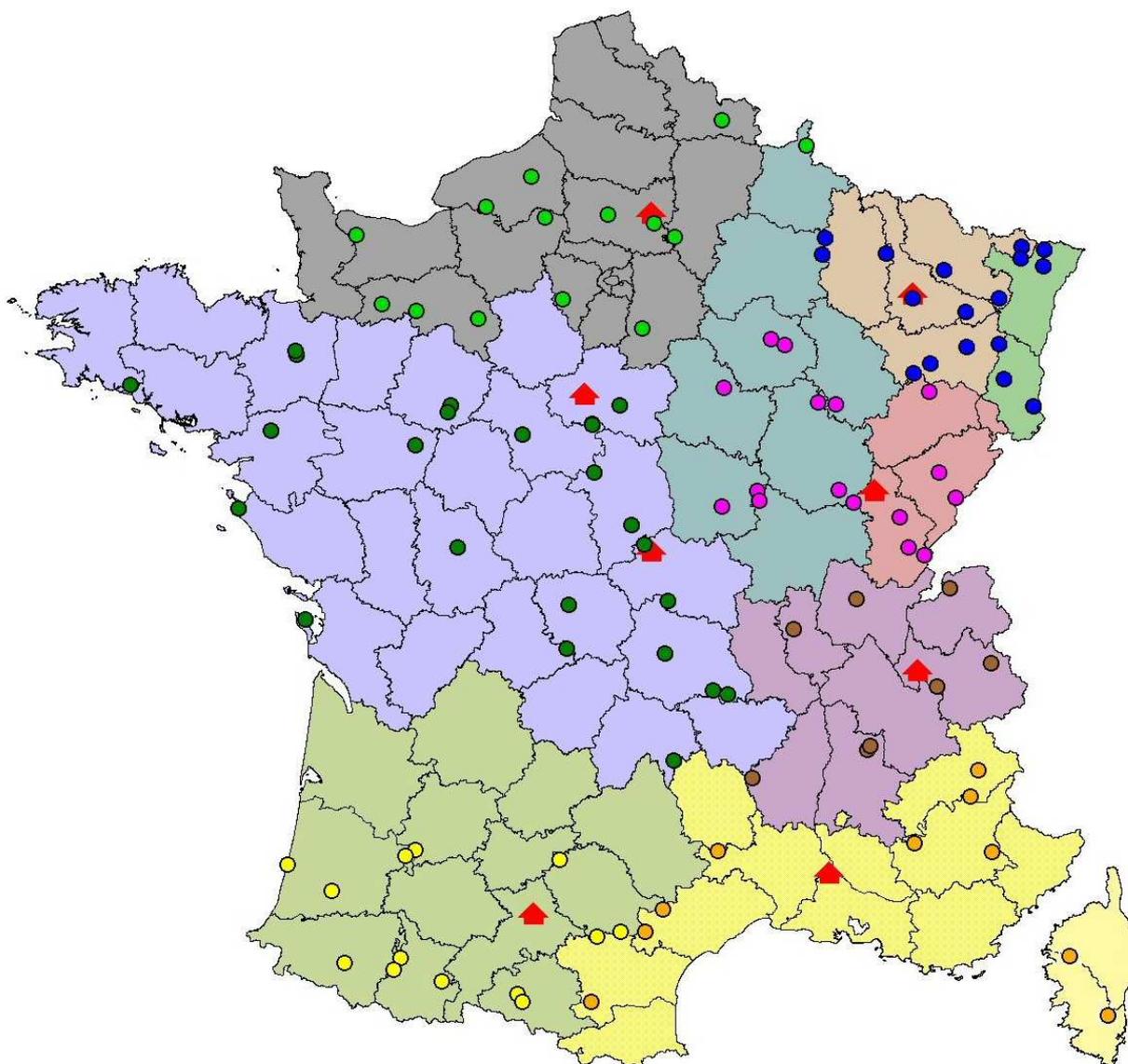
Au plan territorial, un relais de coordination est assuré par des correspondants, basés dans les pôles R&D sinon les services des Directions Territoriales qui ont succédé aux ex Sections Techniques Interrégionales. Ils suivent la maintenance des sites et assurent un support technique auprès des agents locaux, en particulier dans le suivi des exploitations et dégâts de chablis. Ils sont en charge des inventaires dendrométriques, des prélèvements foliaires et du traitement des échantillons des collectes de litière (séchage et pesée).

Au plan national, l'équipe de coordination du réseau fait partie du Département R&D, à Fontainebleau. Elle comprend 4 personnels techniques à plein temps et un appui de l'équipe administrative du Département R&D. Elle est en charge de l'organisation du réseau suivant le calendrier des travaux 2008-2018, de la rédaction des manuels de suivi, de la formation et de

l'information des personnels ONF impliqués, de la centralisation et la validation des résultats dans la base de données, de la gestion budgétaire, des conventions de financement et de la justification des coûts, des commandes et marchés de matériels et de prestations, des relations avec les partenaires de recherche et avec le programme ICP Forests, du pilotage des valorisations de données ne relevant pas de la recherche, de la communication et du site Internet.

L'efficacité de la coordination repose fortement sur la communication interne. L'équipe de coordination et les correspondants territoriaux assurent un support technique permanent auprès des agents locaux. De plus, la motivation des personnels est entretenue par un retour régulier des résultats du réseau aux agents, en particulier à l'occasion des réunions d'information annuelles du réseau. Ces réunions concernent tous les ans les agents des sites CATAENAT et tous les deux ans, en plénière, ceux des autres sites.

Figure 3 : Organisation du réseau RENECOFOR au sein du découpage territorial de l'ONF. Les ronds représentent les sites, sous la responsabilité d'agents locaux. Leur couleur varie suivant le correspondant territorial dont ils dépendent et qui sont eux-mêmes localisés au sein de pôles R&D ou Directions Territoriales symbolisés par les maisons rouges.



I.C.1.2 Contributions en temps

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Moyenne 2004-2007	Moyenne 2008-2012
Agents responsables et suppléants de sites	8.0	8.6	7.6	7.9	5.7	5.7	4.8	5.4	4.7	8.0	5.3
Correspondants territoriaux	2.4	2.2	0.7	1.3	0.6	1.1	1.0	1.1	0.6	1.7	0.9
Equipe de coordination	4.3	4.3	4.6	4.8	4.6	5.4	4.7	4.9	4.3	4.5	4.8
Total	14.6	15.2	12.9	14.0	10.8	12.2	10.6	11.3	9.6	14.2	10.9

Tableau 3 : Temps de personnels comptabilisés dans la coordination du réseau RENECOFOR de 2004 à 2012, en équivalents temps plein (ETP).

Le Tableau 3 indique les temps de personnels comptabilisés aux trois niveaux de coordination et leur évolution au cours du temps. Depuis la métamorphose de 2008, le temps total nécessaire à la coordination a été réduit d'environ 3 ETP/an par rapport à la période 2004-2007 – cf *II.A.1 Bilan de la métamorphose de 2008*. Sur la période 2008-2012, en comptant les renforts temporaires liés à la seconde campagne de prélèvement de sol et à la passation tuilée du poste de responsable national du réseau, le temps total s'établit en moyenne 10.9 ETP/an et se répartit approximativement entre 5 ETP/an d'agents locaux et correspondants-observateurs, 1 ETP/an des correspondants territoriaux et 5 ETP/an de l'équipe de coordination nationale. Les temps passés varient aussi d'une année à l'autre suivant la périodicité supra-annuelle de certaines activités (inventaires dendrométriques quinquennaux, analyses foliaires bisannuelles...).

En plus du travail de coordination du réseau, des ouvriers forestiers sont sollicités dans le cadre de prestations internes, principalement pour des travaux de maintenance des sites mais aussi parfois comme opérateurs de mesures. Des équipes d'ouvriers ont notamment été impliquées dans les prélèvements de sol de 2009 à 2012 – cf *II.A.2.2 Optimisation de la répartition des tâches*.

I.C.2 Sous-traitances externes

L'ONF a recours à des prestataires externes pour plusieurs aspects :

- les analyses chimiques, confiées à des laboratoires de prestation spécialisés chacun sur une matrice particulière (eaux douces, sol, végétaux, ozone),
- la maintenance et le fonctionnement des stations météorologiques,
- les relevés de symptômes d'ozone ou de composition floristique, confiés à des experts reconnus dont certains chercheurs très impliqués dans la valorisation des données,
- des études ne relevant pas de la recherche ou portant sur des domaines insuffisamment valorisés par la recherche,
- des travaux de maintenance non réalisables par les ouvriers forestiers de l'ONF.

Toutes les prestations externes de collecte de données ou de maintenance des dispositifs suivent les protocoles de suivi correspondants. Les prestataires sont sélectionnés sur leur

capacité à répondre aux exigences de qualité nécessaires à la comparabilité des résultats au cours du temps et à l'échelle européenne. La qualité des analyses en laboratoire et relevés de terrain est contrôlée par des exercices d'intercalibration réguliers.

D'autre part pour la continuité du suivi à long terme, l'équipe de coordination veille à entretenir des relations de prestation aussi fonctionnelles et durables que possible. Les prestations continues d'analyse des solutions du sous-réseau CATAENAT et de gestion des stations météorologiques font l'objet d'appels d'offre pour une durée de 5 ans (durée maximale autorisée).

I.C.3 Partenariats de recherche

L'analyse des données, nécessaire à la valorisation du suivi et à l'évaluation de sa pertinence, requiert une expertise et un investissement en temps dont l'équipe de coordination ne peut disposer seule. La production de publications scientifiques et techniques repose donc essentiellement sur la recherche, dans le cadre de partenariats entretenus ou de demandes ponctuelles de données. L'équipe de coordination du réseau s'efforce de favoriser et d'entretenir les partenariats de recherche par la mise à disposition gratuite des données, des échantillons archivés en pédothèque ainsi que des sites (dans la mesure où cela n'empiète pas sur les travaux de suivi).

En plus de l'analyse des données, l'implication de la recherche a donné lieu à des mesures additionnelles sur de nombreux sites et sur des thématiques variées : mesures d'indice foliaire (travaux de N. Bréda), tarifs de biomasse et de minéralomasse des arbres (Q. Ponette, J. Ranger, C. Nys), suivi isotopique d'azote à partir de litières marquées (B. Zeller, E. Dambrine), mesure des stocks et des flux en éléments traces métalliques (A. Probst, L. Gandois)... Ces mesures apportent une plus-value supplémentaire au patrimoine de suivi du réseau RENECOFOR.

I.D Financement

I.D.1 Historique de financement

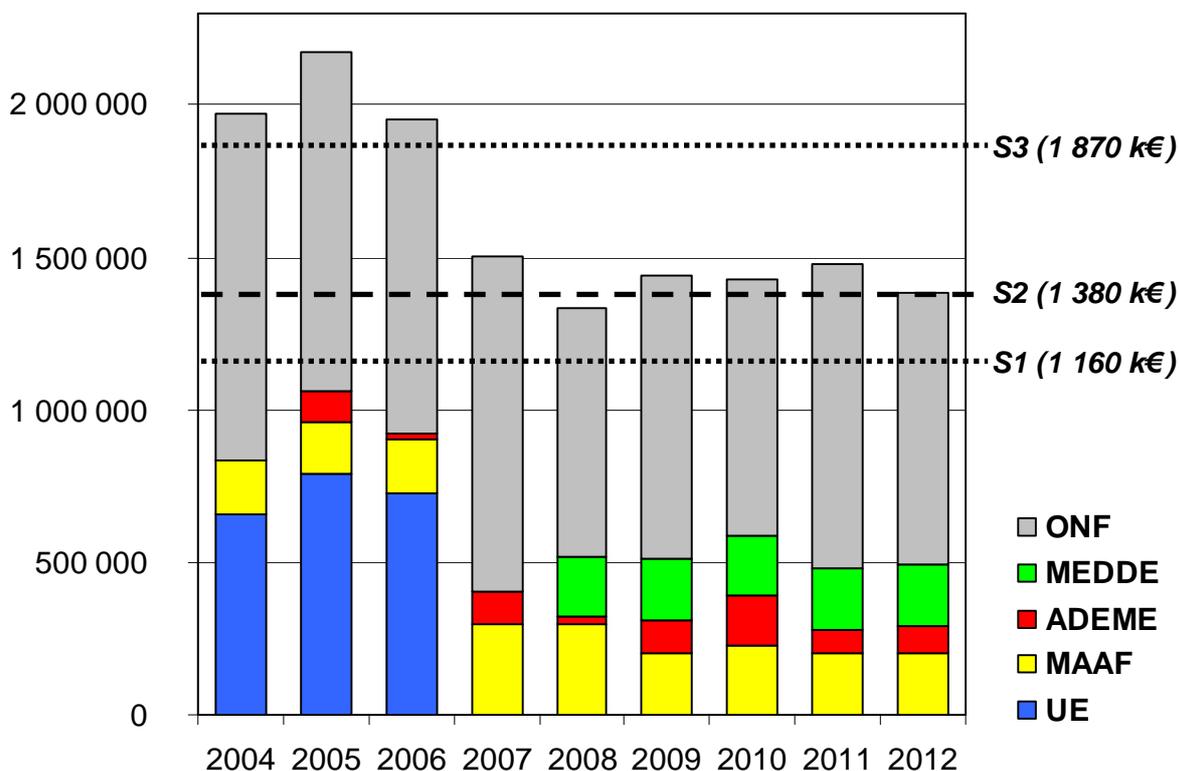
I.D.1.1 Evolution des contributions au budget

La Figure 4 montre l'évolution de la contribution des bailleurs de fonds au budget annuel du réseau RENECOFOR de 2004 à 2012.

L'Union Européenne (UE) a été le principal financeur du réseau de 1991 à 2006. Elle a imposé à ses Etats membres et co-financé la mise en place des réseaux de monitoring forestier sous l'égide du programme ICP Forests (Nations Unies). Elle n'a cependant pas donné suite au dernier règlement Forest Focus entériné en 2003 et depuis fin 2006 aucun règlement spécifique n'existe au niveau européen pour les réseaux de surveillance.

Sur la base des conclusions de la 1^{ère} évaluation du réseau RENECOFOR en 2006 et de l'avis du Comité Scientifique de l'ONF, une négociation a été organisée entre les bailleurs de fonds nationaux : l'ONF, le Ministère de l'Agriculture (MAAF), le Ministère de l'Ecologie (MEDDE), et l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME). Elle a abouti en 2007 à la poursuite du financement du réseau sur fonds uniquement nationaux et moyennant une réduction de l'effort de suivi (Scénario S2 recommandé par le Comité Scientifique de l'ONF) de l'ordre de 30 % par rapport au scénario tendanciel (Scénario S3). A cette occasion, le MEDDE a notablement accru sa participation au financement du réseau RENECOFOR.

Figure 4 : Evolution de la contribution des bailleurs de fonds au budget du réseau RENECOFOR de 2004 à 2012 (Coûts directs en Euros hors taxes). Les niveaux de financement requis par les 3 scénarios présentés aux bailleurs de fonds en 2007 sont indiqués par les droites S1 (scénario plancher), S2 (réduction modérée) et S3 (scénario tendanciel).



I.D.1.2 Echec du financement du monitoring par le règlement européen LIFE+

L'arrêt sans suite du règlement Forest Focus a conduit le programme ICP Forests à rechercher des fonds européens dans le cadre du règlement LIFE+, à l'appui d'un projet axé sur le développement et l'harmonisation des méthodes de suivi. Le projet LIFE+ FutMon a été accepté par la DG Environnement (Commission Européenne) pour une durée de deux ans (2009-2010) et un total de 34 M€ (40 partenaires, 24 pays).

Sur la demande des bailleurs de fonds nationaux, le réseau RENECOFOR a tout mis en œuvre pour que l'ONF participe au projet FutMon. Cette participation a nécessité un travail très intensif de toute l'équipe de coordination ainsi que des agents responsables et suppléants des 42 sites concernés afin de satisfaire aux exigences de traçabilité strictes des actions techniques et des dépenses (justificatifs de dépenses à fournir tous les 2 mois à la DG Environment). Cependant, malgré tous les efforts fournis, un audit du système comptable mi-2009 a permis de constater que les justificatifs de dépenses étaient encore insuffisants et que l'organisation même de l'ONF ne permettait pas d'y satisfaire. Notamment le recensement des feuilles de salaire mensuelles de tous les agents concernés – effort déjà très conséquent – ne suffisait pas : des preuves comptables des paiements des personnels étaient requises, ce dont le circuit de paiement des personnels de l'ONF via 11 Trésoreries Paieries Générales ne permettait pas la traçabilité. Face au risque de rejet des éléments justificatifs des coûts de personnels (48 % de la subvention) et aux difficultés financières accusées par l'ONF en pleine crise économique, le responsable du réseau RENECOFOR (Erwin Ulrich) a donc proposé et étayé le retrait de l'ONF du projet FutMon (Annexe 7). Ce retrait a été signé par le Directeur Général de l'ONF le 21/07/2009 et les bailleurs de fonds nationaux ont accepté de maintenir leur niveau de contribution au réseau. Sur le terrain, les investissements les plus coûteux du projet FutMon ont pu être évités mais les actions techniques déjà entamées au premier semestre 2009 ont été menées à leur terme pour ne pas perdre tout le bénéfice des efforts accomplis.

L'expérience du projet FutMon met en lumière l'inadaptation du règlement LIFE+ aux travaux de monitoring :

- par ses objectifs axés sur l'innovation et qui ne s'accommodent pas de l'application répétée à long terme de protocoles déjà éprouvés,
- par la segmentation temporelle stricte des projets par tranche de 2 ou 3 ans qui ne correspond pas aux besoins de collecte et d'analyse de séries de données longues,
- par les exigences de traçabilité comptable extrêmes qui supposent un effort de pilotage démesuré au détriment de l'attention portée aux actions de terrain et du temps investi dans l'analyse des données.

A l'échelle européenne, il faut d'ailleurs noter après FutMon que les projets LIFE+ suivants déposés par le programme ICP Forests (FutMon II, EnForMon) n'ont pas été acceptés. Qui plus est la complexité des procédures comptables du règlement LIFE+ s'est aussi traduite par un examen prolongé des justificatifs du projet FutMon bien au-delà du terme du projet et n'a toujours pas abouti, à l'heure actuelle, au paiement du projet par la Commission Européenne.

I.D.2 Modalités de financement

Les financements par les bailleurs de fonds nationaux correspondent à des engagements annuels voire bisannuels renouvelés depuis le début du réseau. Les dépenses et réalisations font l'objet de comptes rendus annuels auprès de chaque financeur suivant ses exigences propres en termes de justificatifs et de calendrier.

Les coûts du réseau RENECOFOR sont comptabilisés annuellement. D'une part les engagements et factures, imputés sur un ordre comptable propre au réseau, sont suivis de manière exhaustive. D'autre part les coûts de personnels sont évalués sur la base d'un suivi des temps passés par tâche et des indices de rémunération déclarés sur une application Internet mise en place depuis 2006. Bien qu'il soit difficile d'en quantifier précisément l'exhaustivité, les déclarations de temps ont pu être recueillies pour la grande majorité des sites ainsi que pour la grande majorité des activités du sous-réseau CATAENAT (les plus intensives).

Au total de 2007 à 2012, les dépenses comptabilisées à l'ONF en coûts directs ont représenté 84 % des budgets alloués. Elles ont été supportées à 58.4 % par l'ONF, 19.9 % par le MAAF, 13.9 % par le MEDDE et 7.9 % par l'ADEME.

Par ailleurs le Crédit d'Impôt Recherche, qui bénéficie aux activités du Département R&D de l'ONF depuis 2009, ne permet pas de réduire les dépenses du réseau RENECOFOR. Le montant des dépenses éligibles est en effet inférieur aux subventions publiques perçues pour le réseau. De plus, même dans l'hypothèse d'arrêt de subventions publiques, le Crédit d'Impôt Recherche n'aurait permis une réduction de charges maximale que de 112 000 € pour l'année 2011, montant 4,5 fois inférieur à la somme des contributions du MAAF, du MEDDE et de l'ADEME.

II Réalisations depuis 2006

II.A Evolution des activités de suivi

II.A.1 Bilan de la métamorphose de 2008

II.A.1.1 Synthèse des évolutions

A la suite de l'arrêt du financement européen du monitoring forestier, les activités du réseau RENECOFOR ont été poursuivies sur fonds uniquement nationaux, moyennant néanmoins une réduction de budget de l'ordre de 30 %. Le scénario d'évolution recommandé par le Comité Scientifique de l'ONF s'est largement inspiré des suggestions issues de la 1^{ère} évaluation (2006) afin de maintenir la pertinence générale du réseau.

La métamorphose opérée à partir de 2008 a été décrite en détail à l'attention des personnels impliqués au sein de l'ONF et des utilisateurs des données (Annexe 6). L'ensemble des sites et des domaines d'activité a été conservé mais l'étendue de certaines activités a été réduite, tout en amplifiant le gradient d'intensité de suivi sur 4 niveaux de sites.

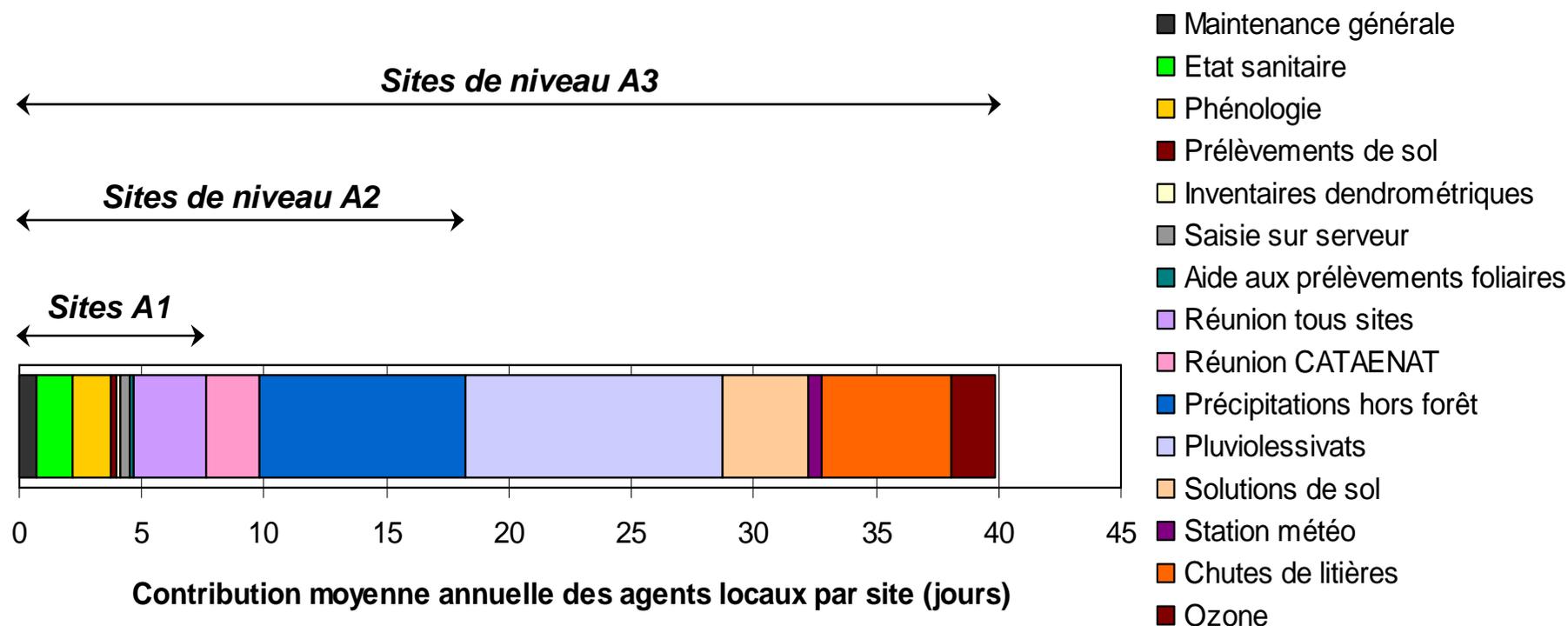
En particulier les 14 sites de suivi le plus intensif (niveau A3) ont concentré les suivis les plus coûteux, i.e. les dépôts sous couvert et la météorologie (précédemment suivis sur 27 sites) ainsi que les collectes de litière (précédemment suivies sur l'ensemble des 102 sites). Au passage, les collectes de litière y ont été affinées au pas de temps mensuel. En revanche la modalité additionnelle de collecte de dépôts hors couvert stricto sensu (wet-only) sur 8 sites a été abandonnée.

De plus, la fréquence des répétitions temporelles a été réduite pour certaines activités sur un ensemble de sites d'intensité moindre. Auparavant fixée à 5 ans, la fréquence des répétitions est passée à 10 ans sur 37 sites (niveau B) pour les inventaires dendrométriques réguliers et à 10 ans sur 75 sites (niveaux B et A1) pour les inventaires floristiques.

Enfin l'idée d'intermittence du suivi par périodes de 5 ans a été adoptée pour les suivis d'ozone (concentrations dans l'air et symptômes).

Les contrastes d'intensité de suivi entre les niveaux de site se reflètent dans la contribution moyenne annuelle demandée aux agents locaux (figure 5). En sommant les temps moyens déclarés par tâche entre 2009 et 2012, cette contribution est estimée à 7.6 jours/an pour les sites de niveaux A1, 18.3 jours/an pour les sites de niveau A2 et 39.7 jours/an pour les sites de niveau A3.

Figure 5 : Contribution moyenne annuelle des agents locaux par site sur la période 2009-2012, en jours. Pour chaque niveau de site, la contribution moyenne des agents locaux est déduite de la somme des temps moyens annuels déclarés par tâche de suivi.



II.A.1.2 Analyse des effets de la métamorphose

Dans l'ensemble, la métamorphose de 2008 a effectivement permis de réduire le budget du réseau de l'ordre de 500 000 €/an et les temps de personnels nécessaires de 3 ETP/an – cf *I.C.1.2 Contributions en temps* et *I.D.1.1 Evolution des contributions au budget*.

En pratique, certaines évolutions listées ci-dessous ont eu des effets collatéraux négatifs sur la pertinence et/ou le fonctionnement d'activités du réseau. A l'avenir il serait toutefois possible de revenir sur ces évolutions particulières ou de pallier leurs effets négatifs pour un coût faible au regard des économies de moyens réalisées depuis 2008.

- Composition floristique : 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. A l'avenir, le rétablissement de la périodicité de 5 ans sur tous les sites représenterait une hausse du budget de commandes externes de 7 000 €/an.
- Inventaires dendrométriques réguliers : le passage de la fréquence à 10 ans pour les 37 sites de niveau B accroît fortement le risque de perte d'information sur l'évolution des peuplements face aux multiples événements à prendre en compte (chute d'arbres individuels ou morts sur pieds, éclaircies, risques de dégâts de tempête rappelés en 2009 par la tempête Klaus). Il pose un problème plus général de « non surveillance », les inventaires dendrométriques réguliers jouant un rôle structurant dans le suivi des sites et la communication entre les niveaux de coordination. L'économie d'inventaire quinquennal sur les 37 sites de niveau B est estimée à 0.25 ETP en 2009, soit 0.05 ETP/an. Il est suggéré de revenir pour tous les sites à la périodicité de 5 ans, qui était déjà un compromis vis-à-vis des besoins du monitoring.
- Dépôts hors couvert : l'arrêt des suivis de dépôts sous couvert et de météorologie a privé les 13 sites de niveau A2 des répétitions de pluviométrie qui permettaient la validation des volumes de dépôts hors couvert. Un abonnement aux données pluviométriques des stations MétéoFrance les plus proches de chaque site permettrait de pallier ce problème, pour un coût évalué à 2000 €/an.

En revanche, il est à noter que la métamorphose du réseau a eu peu d'influence sur les besoins de coordination nationale, de déplacements et de gestion de la base de données, dans la mesure où l'ensemble des domaines de suivi a été maintenu à l'échelle du réseau.

II.A.2 Autres efforts d'optimisation

II.A.2.1 Optimisation des outils de fonctionnement

L'équipe de coordination a pour souci constant de faciliter le fonctionnement des opérations de suivi dont la répétition temporelle requiert déjà un effort de patience remarquable de la part des agents impliqués. Plusieurs exemples sont à noter en ce sens depuis 2006.

- A compter de 2007, la modernisation des stations météorologiques a permis de systématiser le transfert automatique des données par liaison téléphonique fixe ou GSM. Une seule station (SP 57) nécessite encore l'envoi bihebdomadaire d'une carte mémoire de la part de l'agent concerné, faute de couverture GSM.
- Des outils ont été développés pour permettre la saisie d'informations pré-formatée et contrôlée automatiquement sans transmission intermédiaire sous forme papier : outil de saisie en ligne des déclarations des temps, outil de saisie et de calcul en ligne des

masses de chutes de litière, fiche de saisie informatisée des observations phénologiques.

- Pour les relevés d'état sanitaire, après la mise en place réussie d'un outil de saisie Internet conjoint avec le DSF, de nouveaux progrès ont été apportés aux fiches d'observation en pré-remplissant la liste complète des numéros des arbres à noter et la possibilité pour les correspondants-observateurs de télécharger ces fiches directement depuis le site de saisie.

L'équipe de coordination veille également à ce que les évolutions du fonctionnement interne à l'ONF ne remettent pas en cause la continuité du fonctionnement du réseau RENECOFOR. Par exemple en 2012 elle a joué un rôle moteur pour que le déploiement du nouvel outil de commandes internes TECK maintienne la possibilité pour les services de la Direction Générale de solliciter des prestations d'ouvriers forestiers, nécessaires à la maintenance des sites et à la réalisation de la campagne de ré-échantillonnage des sols.

II.A.2.2 Optimisation de la répartition des tâches

De 2009 à 2012, la campagne de ré-échantillonnage des sols a nécessité un effort exceptionnel de 3 ETP/an. Tandis que les premiers prélèvements de 1993-1995 avaient été réalisés par les Sections Techniques Interrégionales, les personnels des pôles R&D n'étaient pas disponibles pour les rééditer. Cette seconde campagne a donc été directement prise en charge par l'équipe de coordination, en prenant appui sur cinq binômes d'ouvriers forestiers répartis sur la France et formés spécialement à Fontainebleau. Pour chaque site, les prélèvements ont nécessité une semaine de travail à 4 personnes comprenant : un membre de l'équipe de coordination assurant au passage l'acheminement du matériel et des échantillons, l'agent local responsable du site ou son suppléant, et les deux ouvriers formés sur le secteur. Le calendrier a été aménagé pour répondre aux exigences du protocole (ré-échantillonnage de chaque site à la même période de l'année qu'à la campagne précédente) tout en assurant une rotation des équipes d'une semaine à l'autre. La réception et le traitement des échantillons avant analyse ont été réalisés sur un mi-temps de technicien R&D dans un local loué pour la durée de la campagne. Au final tous les prélèvements ont été réalisés et traités suivant le calendrier prévu : le recours à des ouvriers formés à la place de techniciens de R&D a donné entière satisfaction dans la mise en œuvre du protocole, sans accroître les coûts externes du réseau.

II.A.2.3 Optimisation des prestations externes

L'équipe de coordination porte une attention particulière au choix des prestataires externes et au suivi des collaborations afin de respecter les exigences de qualité tout en maîtrisant les coûts du monitoring. Des partenariats durables sont privilégiés mais peuvent aussi être remis en cause quand les critères de qualité et/ou de coûts ne sont plus satisfaits.

Concernant les analyses des solutions collectées sur le sous-réseau CATAENAT, le renouvellement du marché pour 5 ans a conduit en 2011 à choisir un nouveau prestataire, SOCOR. La collaboration historique (18 ans) avec le laboratoire Wolff Environnement devenu SGS Multilab tendait en effet à s'essouffler, notamment dans les délais de réalisation, pour un prix élevé au regard de l'appel d'offre. Face au vide de certification dans le domaine spécifique de l'analyse des eaux de pluie (les accréditations portent sur les eaux douces en général), l'équipe de coordination a organisé un plan d'accompagnement du laboratoire SOCOR pour sa prise en main de la prestation, et ce dès l'attribution officielle du marché. Pendant les 3 derniers mois du marché précédent, des doublons de collecte du site CHP 59 ont notamment été réalisés à l'attention de SOCOR. Puis pendant les 3 premiers mois du nouveau marché, des doublons des échantillons de tous les sites ont été envoyés au laboratoire SGS pour contre-analyse. SOCOR a également rejoint l'essai interlaboratoire ICP Forests 2010-

2011 et obtenu des résultats satisfaisants à l'étape de requalification. Enfin l'examen rétrospectif des séries de mesure a permis de détecter des biais sur les faibles valeurs de Na, SO₄ et Ca, biais dont l'origine a pu être trouvée dans des pollutions liées aux filtres à 0,45 µm et qui ont pu être corrigés de manière systématique avec l'aide de Nils König (NFV Göttingen, chairman du groupe de travail ICP Forests QA/QC in labs). In fine, l'accompagnement actif du nouveau marché aura bien permis d'assurer la continuité des analyses de solution du sous-réseau CATAENAT. Au passage il aura également permis d'améliorer le fonctionnement général de la collaboration : mise en commun des fichiers de calcul de volumes des composites et de validation des résultats d'analyse, reporting systématique des masses d'échantillons par SOCOR permettant une meilleure validation des valeurs de terrain, reporting des analyses dans un délai permettant la demande d'analyses de contrôle... Enfin il convient de souligner la bonne volonté et la réactivité très appréciables du laboratoire SOCOR tout au long de ces deux premières années de collaboration.

Concernant la fourniture et l'analyse de capteurs passifs d'ozone, les prix pratiqués par le prestataire historique IVL ont augmenté de 30 % entre 2009 et 2012. Au regard de ses résultats en intercalibration ICP Forests et de ses retours d'expérience positifs en Suisse et en Italie, la société Passam semblait en mesure de réaliser une prestation équivalente à un coût 60 % moindre. Elle a été choisie comme prestataire pour la campagne de suivi d'ozone 2012, accompagnée d'une comparaison des capteurs à 2 stations de référence à Nice et Recloses. Ce test a permis de déceler un défaut de fiabilité des capteurs Passam : biais moyen de +18,5 % et corrélation des variations hebdomadaires très médiocre ($R^2 = 0.6$ à Recloses et $R^2 = 0,0$ à Nice). Par contraste, les capteurs IVL ont montré une fiabilité bien meilleure et très constante au regard des tests effectués en 2005, 2006 et 2009 (Meyer, 2010) : biais moyen de -11 % et forte corrélation des variations hebdomadaires ($R^2 = 0.9$). En 2013, il a donc été choisi de revenir aux capteurs IVL, malgré leur coût supérieur. L'expérience malheureuse des capteurs Passam en 2012 confirme l'intérêt de veiller particulièrement à la qualité des mesures et de la contrôler en contexte réel.

II.A.3 Réponses aux suggestions d'évolution issues de la 1^{ère} évaluation

L'Annexe 4 reprend le tableau des suggestions d'évolution formulées par domaine de suivi par le comité de la 1^{ère} évaluation du réseau. Une première colonne a été ajoutée pour retranscrire les réactions de l'équipe de coordination le 14/10/2006. Une seconde colonne synthétise l'état actuel de réalisation des suggestions. Certaines ont été suivies d'effet ; d'autres ont été repoussées, le plus souvent pour des raisons pratiques ; d'autres enfin restent intéressantes mais n'ont pas (encore) pu être mises en œuvre, faute de temps ou de moyens.

II.B Evolution de l'organisation humaine

II.B.1 Conséquences des réductions des effectifs de l'ONF

Les effectifs de l'ONF sont réduits continuellement. Depuis 2002, ils sont passés de 11 600 ETP à 9 500 ETP et le contrat Etat-ONF-FNCOFOR 2012-2016 prévoit une nouvelle réduction de 690 ETP.

Cette réduction affecte principalement les effectifs de terrain, entraînant des regroupements de services territoriaux et une augmentation de la taille des triages et de la charge de travail des agents patrimoniaux. Jusqu'ici néanmoins, l'ensemble des sites RENECOFOR a pu continuer à être suivi. Cette continuité a pu être favorisée par la réduction de l'effort demandé depuis la métamorphose du réseau en 2008 ; elle a en tout cas été rendue possible grâce à la motivation des agents. Malgré les difficultés rencontrées et la patience requise par la répétition des mesures, la plupart assurent cette mission sur de longues années, plusieurs même depuis le début en 1992.

La réduction des effectifs touche également le département R&D. Les services de Châlons-en-Champagne, Lempdes, Toulouse et Strasbourg qui assuraient des relais de coordination territoriaux du réseau ont disparu. Les sites de la DT Alsace ont été rattachés au pôle R&D de Nancy. Ceux de la DT Bourgogne Champagne-Ardenne ont été redistribués entre les pôles R&D de Dole, Nancy et Compiègne. Quant à la coordination territoriale en Sud-ouest et Auvergne-Limousin, elle est désormais assurée par deux personnels isolés (en dehors d'un pôle R&D), ce qui fragilise l'organisation du réseau face à un éventuel défaut de leur part.

II.B.2 Renouvellement des personnels

Face aux départs en retraite ou en mutation des agents impliqués dans le réseau RENECOFOR, l'équipe de coordination assure une formation annuelle pour les nouveaux personnels responsables de sites ou correspondants territoriaux. Ce sont 10 à 15 personnes qui sont ainsi formées chaque année à Fontainebleau.

A la tête de l'équipe de coordination, la transition a aussi été assurée entre Erwin Ulrich et Manuel Nicolas, grâce à un tuilage de 12 mois de 2009 à 2010. Un fort enjeu persiste pour le renouvellement du poste de responsable de la base de données, au centre de l'organisation du réseau : un tuilage a également été demandé pour assurer la passation avant le départ en retraite de Marc Lanier fin 2013.

II.C Efficacité de réalisation

II.C.1 Réalisation des collectes de données

Le Tableau 4 montre l'évolution depuis 1992 du nombre de sites renseignés dans la base de données pour chaque domaine de suivi. Le nombre de sites renseignés est très proche du programme de suivi, en tenant compte des réductions d'échantillonnage décidées à partir de 2008 dans le cadre de la métamorphose du réseau - cf *II.A.1 Bilan de la métamorphose de 2008* et *Annexe 6*.

Néanmoins on note quelques lacunes, imputables en premier lieu à des faits indépendants du réseau RENECOFOR.

- Les tempêtes de 1999 ont entièrement rasés les peuplements sur 4 sites et les ont endommagés à plus de 50 % (en nombre de tiges) sur 7 autres. Cela a affecté la plupart des suivis menés sous couvert à partir de 2000.
- En 2003, l'incertitude sur les financements européens (le règlement Forest Focus régissant les subventions au monitoring à partir de 2003 n'a été entériné que le 17 novembre 2003) a malheureusement conduit à suspendre les suivis d'état sanitaire, d'ozone et d'analyses foliaires.

Concernant le suivi phénologique, l'existence chaque année d'une fraction de sites non renseignés est liée au fait que les agents ne sont pas toujours en mesure d'observer les stades d'intérêt au bon moment. Par ailleurs, les domaines de la diversité des champignons supérieurs et de la macrofaune du sol restent en attente des données finalisées avant intégration dans la base de données.

Au sein des sites réellement échantillonnés, l'exhaustivité des collectes de données est également évaluée au regard du nombre d'informations enregistrées dans la base de données (Tableau 5). Le mode de calcul est adapté à chaque domaine de suivi. Il consiste le plus souvent à déduire les manquements par rapport à l'échantillonnage réalisable : par exemple un prélèvement de densité apparente non réalisé n'est pas considéré manquant s'il correspond à l'emplacement d'une dalle rocheuse. Pour d'autres domaines, il correspond à la complétude de variables à acquérir de manière systématique (ex : variables météorologiques journalières). Deux domaines de suivi n'ont pas pu faire l'objet d'estimation d'exhaustivité : dans l'absolu cette estimation serait possible pour les inventaires avant et après coupe mais nécessiterait de calculer au préalable l'ensemble des accroissements des peuplements.

Les résultats indiquent des taux d'exhaustivité généralement élevés. On remarque en particulier les taux de réalisation excédant une moyenne de 99 % quant aux analyses de solutions de sol et de dépôts atmosphériques (hormis les collectes wet-only qui ont connu des pannes d'ouverture des collecteurs). Ces suivis nécessitent en effet une grande exhaustivité pour être en mesure de calculer des dépôts annuels et ils sont les plus contraignants techniquement : au total, 262 périodes de 4 semaines ont été renseignées de fin 1992 à fin 2012. Le taux de réalisation excellent de ces suivis illustre à la fois le fonctionnement efficace du réseau et la motivation des agents impliqués, pour certains depuis 20 ans.

Tableau 4 : Evolution depuis 1992 du nombre de sites renseignés annuellement dans la base de données pour chaque domaine de suivi. Dans le cas de la dendrochronologie, les données renseignées en 1996 correspondent à des séries temporelles rétrospectives remontant à l'année d'origine de chaque peuplement (flèche). Les cellules en grisé correspondent aux données en cours d'intégration.

Domaine de suivi	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Dépôts hors couvert totaux			27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Dépôts hors couvert wet only			5	6	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8					
Dépôts sous couvert			27	27	27	27	27	27	27	25	26	26	26	26	26	26	26	14	14	14	14	14
Ruissellement des troncs				4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Solutions du sol			16	16	17	17	17	17	17	15	16	16	16	16	16	16	16	14	14	14	14	14
Météo 3 paramètres					2	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	10	10	10	10	10
Météo 6 paramètres					3	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	3	3	3	3	3
Concentrations d'ozone									11	26	26	27		27	27	30	9	4	10			14
Dégâts d'ozone												10	3	7	8	4	9	4	10			17
Concentrations d'ammoniac												27		27	27	27			10			
Inventaires dendrométriques réguliers		102			102					95				97					68			
Circonférence des arbres observation/échantillon	48	79	101	102	102	102	82	42	25	95		2		97	1	1	1		68			
Inventaires dendrométriques avant/après éclaircie	8		3	11	19	10	10	14	2	16	9	14	10	9	9	9	13	10	12	10	8	2
Dendrochronologie	←					102																
Composition floristique				26	101	16	26	38	18	88	16	7	9	28	101	10	5	4	4	49	6	5
Analyses foliaires			102	102	102	102	102	24	102		95				99		100		66		65	
Chutes de litière (masses)			32	86	101	101	102	102	102	92	94	93	96	96	96	95	94	14	14	14	14	14
Chutes de litière (analyses)						101	102	102											10	5		
Minéralomasse du sous-bois																			10			
Description des sols					102																	
Chimie des sols		1	44	41	16			98									8	2	16	35	34	7
Phénologie							92	92	93	80	87	81	88	90	88	89	90	87	93	85	91	
Santé des arbres				91	102	102	101	101	102	97	95	96		93	97	96	97	97	96	96	96	
Temps du personnel														100	101	100	100	98	96	90	102	102

Tableau 5 : Evolution depuis 1992 de l'exhaustivité des données sur les sites renseignés dans la base de données pour chaque domaine de suivi (%). Le mode de calcul est adapté par domaine de suivi : (a) Déduction des lacunes par rapport à l'échantillonnage réalisable, (b) Déduction des données journalières manquantes, (c) Déduction des observations hors protocole, (d) Déduction des récoltes annuelles incomplètes, (e) Déduction des stades phénologiques non observés, (f) Déduction des observations estivales de déficit foliaire non réalisées, (nc) non calculable. Dans le cas de la dendrochronologie et de la chimie des sols, les calculs sont réalisés par campagne pluriannuelle (flèches). Les cellules en grisé correspondent aux données en cours d'intégration.

Domaine de suivi	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Moyenne	
Dépôts hors couvert totaux (a)			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97.7	100	100	100	100	98.9	99.7	99.7	100	100	99.8	
Dépôts hors couvert wet only (a)			100	100	92	100	100	98	98	85	87.5	97	98	95	98	98	97							96.2
Dépôts sous couvert (a)			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	100	100	99.9	99.9	100	100	100	100	100	100	99.9
Ruissellement des troncs (a)				100	100	100	100	100	100	100	100	100	79	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98.9
Solutions du sol (a)			100	99.8	99.3	100	100	100	100	100	99.5	100	96	100	100	99.5	100	100	99.7	100	99.7	100	100	99.7
Météo 3 paramètres (b)					98.1	99.0	99.4	97.9	97.9	97.6	98.0	98.2	99.2	99.1	99.0	98.5	98.3	98.1	99.5	99.3	98.6	99.6		98.6
Météo 6 paramètres (b)					97.8	98.3	99.3	98.1	98.2	98.6	98.9	97.8	98.4	97.9	97.2	99.5	98.3	97.4	99.7	98.4	96.8	93.9		98.0
Concentrations d'ozone (a)									99.2	99.1	99.1	99.4		99.4	97.8	99.4	96.4	95.8	99.0			98.5		98.5
Dégâts d'ozone (c)												74	100	63	95	90	78	100	100			100		88.9
Concentrations d'ammoniac (a)												94.6		96.9	95.7	96.3			80.8					92.9
Inventaires dendrométriques réguliers (a)		100			100					100				100					100					100.0
Circonférence des arbres observation/échantillon (a)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100		100	100	100	100		100					100.0
Inventaires dendrométriques avant/après éclaircie (nc)	nc		nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	
Dendrochronologie (a)	← 99.0																						99.0	
Composition floristique (a)				100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100.0
Analyses foliaires (a)			100	100	100	100	100	96	100		100				100		100		100		100			99.7
Chutes de litière (masses) (d)				60	93	95	93	96	76	79	83	91	86	90	86	93	95	100	93	93				88.4
Chutes de litière (analyses) (a)						100	100	100											100	100				100.0
Minéralomasse du sous-bois (a)																			99					99.0
Description des sols (a)					100																			100.0
Chimie des sols (a)	← 97.5																← 100						98.8	
Phénologie (e)							84.1	92.0	94.4	93.7	93.8	93.8	93.6	94.4	96.2	93.8	92.1	94.8	88.7	95.1	94.0			93.0
Santé des arbres (f)					95.6	99.6	99.8	100.0	99.9	90.0	97.8	98.6		98.7	98.3	96.6	97.3	97.2	96.3	98.6	95.9			97.5
Temps du personnel (nc)														nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	

II.C.2 Efficacité économique

L'efficacité économique du réseau RENECOFOR est évaluée par comparaison des coûts de suivi moyens annuels par site à l'échelle européenne (Tableau 6). Les données fournies par le programme ICP Forests concernent 30 pays (ou régions) sur la période 2009-2012 et sont exprimées hors coûts de coordination et de structure. La forte amplitude des valeurs peut être pour partie liée à des contextes de coûts de main d'œuvre contrastés ; certaines valeurs minimales pourraient également correspondre à des coûts déclarés après déduction de subventions locales. En outre l'intégration des coûts de maintenance n'est pas explicite : par prudence elle est ajoutée aux coûts du réseau RENECOFOR. De manière synthétique, la somme des coûts des domaines suivis sur un site de niveau A3 (niveau le plus intensif sur RENECOFOR) est calculée pour chaque pays : 10 pays/régions présentent des données pour l'ensemble de ces domaines, 21 pays/régions pour l'ensemble de ces domaines hors les analyses de sol. Le résultat est très similaire pour ces deux modes de calcul : le réseau RENECOFOR présente un coût annuel moyen de 25 à 27 % inférieur à la médiane des 30 autres pays/régions européens pour un site de niveau A3.

Plusieurs éléments peuvent être considérés pour expliquer l'efficacité économique du réseau RENECOFOR à l'échelle européenne.

- RENECOFOR est le plus grand ensemble de sites de niveau II géré d'un seul tenant, ce qui doit permettre des économies d'échelles en comparaison d'autres réseaux nationaux/régionaux. De nombreux pays disposent d'une surface forestière réduite et d'un réseau de niveau II limité à moins de 20, voire moins de 10 sites ; les sites de niveau II allemands sont aussi gérés par land et non à l'échelle nationale.
- RENECOFOR se distingue par son portage par l'ONF, mettant à contribution des agents forestiers à proximité immédiate de chaque site et réduisant ainsi les coûts de déplacement notamment pour les collectes de solutions, la phénologie et le suivi d'état sanitaire. La plupart des autres réseaux sont gérés par des organismes de recherche devant assurer des tournées régulières sur leurs sites.
- En conséquence de son portage par l'ONF et de la mise à contribution d'environ 300 agents forestiers pour une faible partie de leur temps, le réseau RENECOFOR a toujours dû s'attacher à optimiser ses protocoles et son organisation pour assurer un fonctionnement robuste et efficace.

Tableau 6 : Comparaison à l'échelle européenne du coût du suivi annuel par tâche et par site sur la période 2009-2012. Les coûts sont exprimés en Euros hors taxes, hors coûts de structure et de coordination générale. Les pourcentages en italique correspondent à l'écart relatif calculé entre chaque variable Y de distribution des coûts à l'échelle européenne et le coût correspondant sur le réseau RENECOFOR : $ER \% = (\text{Coût RENECOFOR} - Y) / Y * 100$

Domaine de suivi	Périodicité	Coûts RENECOFOR	Coûts à l'échelle européenne						
			Nombre de pays / régions	Min.	Quartile 1	Médiane	Quartile 3	Max.	Moyenne
Suivi sanitaire	Annuelle	472	30	125	414	954	1 387	3 295	1 005
Inventaires dendrométriques	Tous les 5 ans	233	27	50	110	180	400	2 810	404
Suivi d'accroissement	1 an ou continu		28	188	535	1 467	2 408	5 000	1 596
Analyses foliaires	Tous les 2 ans	475	30	166	535	1 105	1 930	3 919	1 342
Inventaires floristiques	Tous les 5 ans	274	30	42	150	234	521	4 182	506
Analyses de sol	Tous les 15 ans	816	12	81	220	282	399	1 333	382
Dépôts atmosphériques	En continu	8 781	30	1 455	5 425	8 600	13 742	22 173	10 078
Météorologie	En continu	4 260	29	50	922	2 154	4 509	18 363	3 591
Chutes de litière	En continu	2 287	28	450	1 975	2 534	3 581	9 384	2 961
Phénologie	Annuelle	417	28	50	786	1 877	2 160	5 000	1 706
Concentrations en gaz de l'air	En continu	2 111	26	550	1 964	2 794	3 777	7 500	3 011
Symptômes liés à l'ozone	En continu	997	24	88	452	672	1 065	5 000	964
Chimie des solutions du sol	En continu	2 734	28	550	4 213	8 084	11 404	13 970	7 499
Humidité du sol	En continu		24	75	1 458	2 640	4 006	10 000	3 378
Travaux de maintenance	Annuelle	845							
Somme des domaines suivis sur les sites de niveau A3		24 702	10	22 613	27 385	33 757	44 093	65 518	37 298
				9.2%	-9.8%	-26.8%	-44.0%	-62.3%	-33.8%
Somme des domaines suivis sur les sites de niveau A3, hors analyses de sol		23 886	21	5 175	27 775	32 096	43 409	65 291	35 291
				361.6%	-14.0%	-25.6%	-45.0%	-63.4%	-32.3%

II.D Production documentaire

L'équipe de coordination s'emploie au recensement des publications basées sur les résultats du réseau RENECOFOR. Outre les publications dans des revues à comité de lecture, les autres productions documentaires sont classées suivant 3 catégories.

- La catégorie « Autres productions scientifiques » comprend les mémoires d'études (Master, thèses...), rapports d'études dont ceux de la série jaune RENECOFOR, publications lors de colloques...
- La catégorie « Vulgarisation » comprend notamment les publications dans des revues sans comité de lecture et les chapitres d'ouvrage.
- La catégorie « Autres documents » comprend les protocoles, les rapports d'assurance qualité, les publications institutionnelles dont les recueils d'indicateurs, les règlements et notes d'information, des articles de presse...

De manière générale, le nombre de publications recensées depuis la 1^{ère} évaluation (en 2006 est d'ordre équivalent à celui des 15 premières années (Figure 6). On note en particulier l'augmentation tendancielle du rythme de publications dans des revues à comité de lecture : de 2 articles par an sur la période 1995-2000, puis 4.2 articles par an sur la période 2001-2006, à 8.5 articles par an sur la période 2007-2012 (Figure 7). Cela illustre le potentiel de valorisation croissant avec le recul de suivi. L'effort de vulgarisation n'est pas en reste, avec la contribution notable du colloque tenu pour les 15 ans du réseau – cf *II.E.3 Colloque pour les 15 ans du réseau RENECOFOR (Beaune, 2007)*.

Plus en détail (Figures 8 et 9), on constate que l'effort de publication de 2007 à 2013 a concerné la quasi-totalité des domaines de suivi. On note l'importance du suivi du sous-réseau CATAENAT (dépôts atmosphériques et solutions du sol) dans le nombre de publications ; qui plus est il contribue également beaucoup aux publications sur les cycles biogéochimiques. Certains domaines encore peu valorisés individuellement, comme les chutes de litière ou la dendrométrie, sont aussi indispensables aux publications sur les cycles biogéochimiques. Une seule étude a été réalisée sur l'histoire des sites : comme suggéré lors de la 1^{ère} évaluation, il serait intéressant d'approfondir les informations sur l'histoire et l'environnement des sites.

Figure 6 : Publications basées sur les données du réseau RENECOFOR : nombre par type de publication pour les périodes 1991-2006 et 2007-2013.

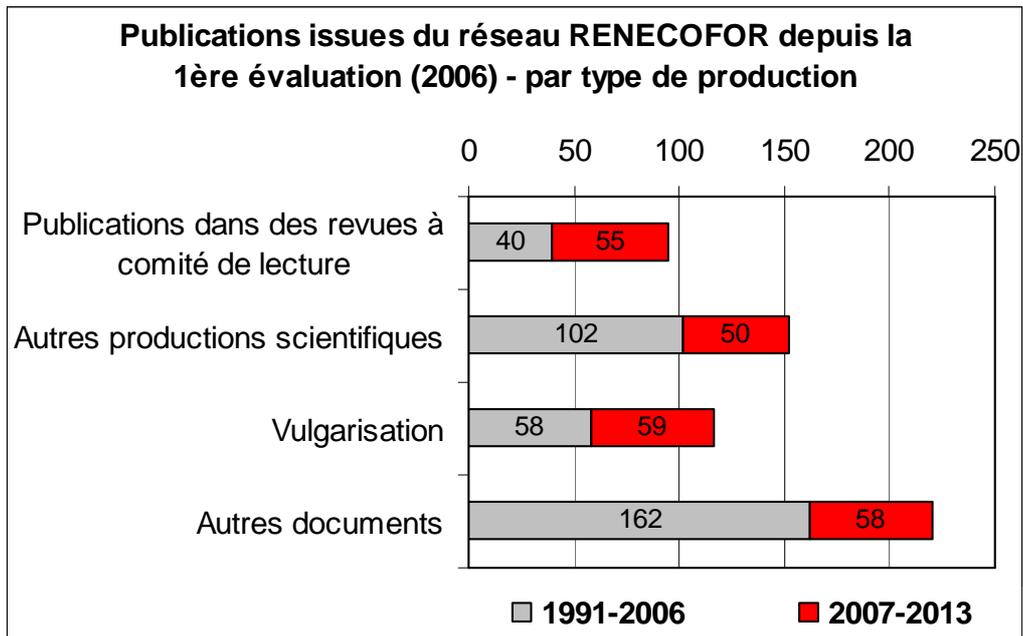
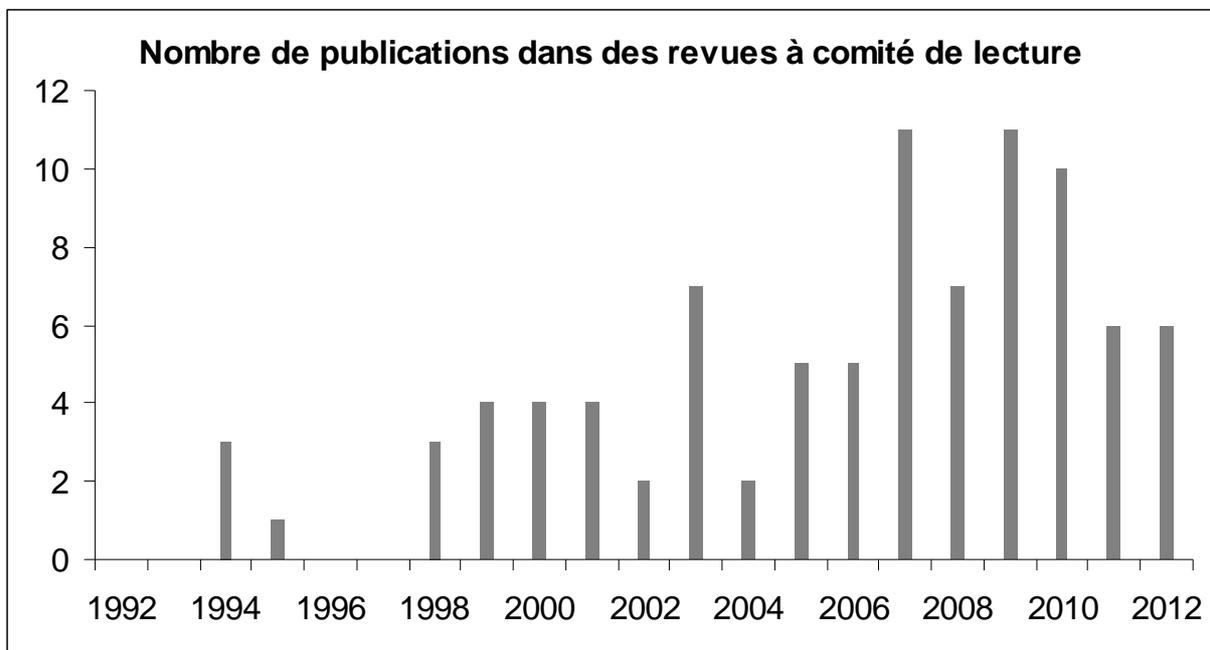
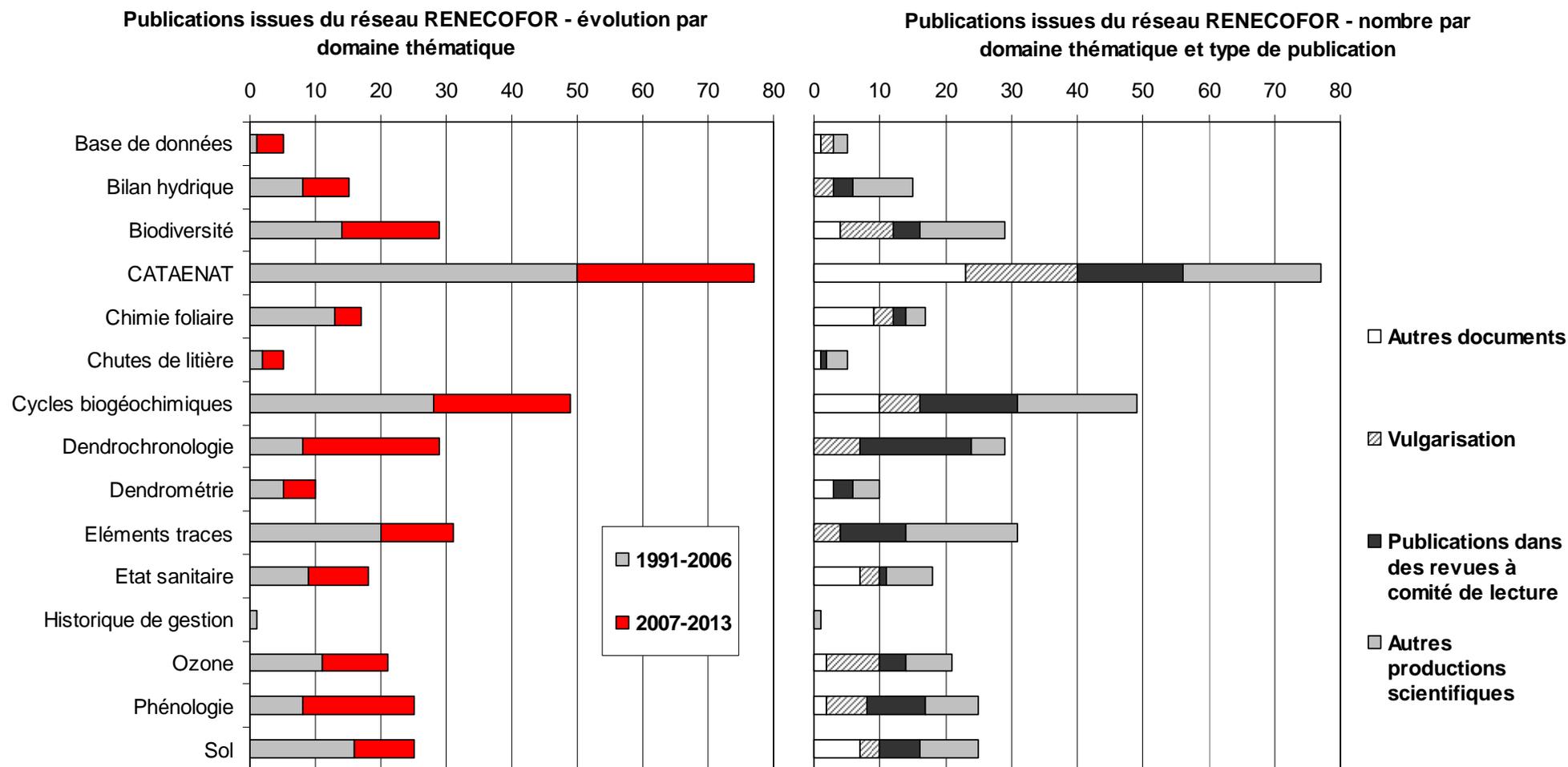


Figure 7 : Evolution du nombre annuel de publications dans des revues à comité de lecture.



Figures 8 (à gauche) et 9 (à droite) : Nombre de publications basées sur les données du réseau RENECOFOR par domaine - ventilations par période (1991-2006 et 2007-2013) et par type de publication.



II.E Communication

II.E.1 Mise à disposition de la documentation et des données

L'encouragement du comité de la 1^{ère} évaluation à développer l'accès aux ressources du réseau RENECOFOR a été suivi d'initiatives.

En 2008, le travail de recensement et de numérisation des publications basées sur les données du réseau a abouti à la diffusion d'un DVD contenant 360 documents pdf (17 000 pages) et un moteur de recherche associé (possibilité de recherche par type de publication, sujet, année, auteur ou en plein texte). Une mise à jour a été réalisée en 2011 mais sans diffusion matérielle, avec l'espoir de la mise en place prochaine d'une documentation en ligne.

Depuis 2011, un outil Internet de visualisation et téléchargement des données et de la documentation est en construction, dans le cadre d'une convention de développement passée avec l'IFN. Le projet se base sur l'outil E-Forest développé précédemment par l'IFN et ne nécessitant que des adaptations réduites pour les besoins du réseau. Une première version de l'outil a été fournie par l'IGN à l'automne 2012 et un premier essai d'importation a été effectué sur les données de dépôts atmosphériques et solutions du sol. L'obtention d'un outil complet et parfaitement opérationnel nécessitera encore des travaux de développement de la part de l'IGN et d'adaptation des jeux de données de la part de l'équipe de coordination.

Néanmoins le développement d'un outil Internet ne permettra que de diffuser les parties principales des jeux de données et ne pourra pas répondre à toute la diversité des demandes de données. Certains projets d'étude nécessiteront toujours un contact avec l'équipe de coordination.

II.E.2 Réponses aux demandes de données

En plus des transmissions de données annuelles au programme ICP Forests et au GDR Phénologie, le réseau RENECOFOR répond à des demandes ponctuelles émanant notamment de chercheurs. Un total de 115 demandes a été recensé depuis 2007, soit une moyenne de 18 demandes par an. Face à la diversité des requêtes et des données mises à disposition, un entretien téléphonique est généralement utile pour cerner les besoins et les données les plus pertinentes. Autant que possible, l'équipe de coordination cherche à fournir toutes les données utiles en une fois pour éviter de multiplier les extractions depuis la base de données.

Les domaines de suivi les plus demandés sont par ordre décroissant : la météorologie (44), les analyses de solutions (40), la dendrométrie (32), les sols (27) et les chutes de litière (22).

II.E.3 Colloque pour les 15 ans du réseau RENECOFOR (Beaune, 2007)

Faisant suite à la 1^{ère} évaluation du réseau et précédant la négociation de la poursuite des financements au-delà de 2007, l'organisation d'un colloque a été jugée nécessaire pour marquer le bilan des 15 premières années de suivi du réseau RENECOFOR. Un total de 310 personnes a été réuni du 9 au 11 mai 2007 au Palais des Congrès de Beaune, mêlant les personnels de l'ONF impliqués dans le réseau, les chercheurs et autres partenaires francophones associés au plans national et européen, ainsi que les représentants des organismes financeurs (ONF, Ministères de l'Agriculture et de l'Ecologie, ADEME et

Commission Européenne). Le programme a été constitué de présentations vulgarisées sur le bilan des différents domaines de suivi, d'une session d'ateliers sur les questions émergentes et d'un espace d'exposition de posters. Il a aussi été l'occasion de rendre compte et de discuter des pistes d'évolution envisagées pour le réseau RENECOFOR.

Les actes, comprenant 23 articles de synthèse et 19 résumés de posters, ont été publiés en 2008 sous la forme d'un hors-série (n°4) de la revue « Rendez-Vous Techniques » de l'ONF. Ils sont encore régulièrement fournis comme support de présentation du réseau.

II.E.4 Actions de communication auprès du grand public

Parmi les cibles de communication, la 1^{ère} évaluation prenait en compte un public élargi « de curieux » et suggérait d'étudier les possibilités d'actions en partenariat avec d'autres organismes producteurs d'information. En pratique, les actions de communication sont guidées par la diversité des publics et des sollicitations aux échelles nationale et locale. Il est à noter que ces actions sont souvent mises à profit pour illustrer l'implication de l'ONF dans la compréhension et le suivi des écosystèmes forestiers.

II.E.4.1 Refonte du site Internet en 2008

Le site Internet a complètement été modifié en 2008 aussi bien sur le fond que sur la forme : <http://www.onf.fr/renecofor>

Sur le fond, on retrouve une présentation générale du réseau (la création, les objectifs, l'organisation, les financeurs, les partenaires et le programme d'assurance qualité) et la présentation individuelle des sites d'observation (qui reste néanmoins à compléter). La principale nouveauté réside dans l'enrichissement de la rubrique présentant les résultats. Cette rubrique est organisée selon les trois grands domaines d'étude du réseau qui ont été redéfinis lors de la dernière évaluation :

- les réactions de la forêt aux évolutions du climat,
- l'alimentation des arbres et la pollution atmosphérique,
- les évolutions de la biodiversité.

Sur la forme, le site a été modernisé en adoptant un graphisme plus convivial et plus attractif (bandeau de haut de page se modifiant lors du changement de page), mise en place dans la colonne de droite de témoignages, de reportages, de brèves. Des supports multimédia ont été mis à la disposition des internautes (sons, galeries photographique, vidéos).

La fréquentation du site Internet est passée de 9 000 visites/an en 2003 à plus de 20 000 visites/an en 2012.

II.E.4.2 Participation à la réalisation de documentaires filmés

- En 2010, le SCEREN-CNDP (Services Culture Educations Ressources pour l'Education Nationale – Centre National de Documentation Pédagogique) a réalisé un DVD (3 heures) dans la collection « en quête du monde » intitulé « Les 4 saisons de la forêt ». Ce DVD, est à disposition des enseignants en tant que support pédagogique pour des classes de cycles 2 et 3, dans les programmes de découverte du monde, de sciences expérimentale et technologie et en géographie. L'apport du réseau RENECOFOR dans ce DVD concerne la rubrique « Surveiller la forêt » (7 minutes 50 secondes).
- En 2011, un documentaire de 52 minutes intitulé « Aux arbres citoyens » a été réalisé par la société de production ELIOCOM et a été diffusé sur la chaîne Ushuaïa TV. Ce

documentaire présente la forêt française, son organisation, ses rôles, les risques auxquels elle est confrontée, son fonctionnement, son histoire et sa gestion. L'apport du réseau RENECOFOR dans ce documentaire concerne la partie « suivi des écosystèmes forestiers » (3 minutes 30 secondes).

Les droits de diffusion de ces deux vidéos ont été obtenus pour la mise en ligne sur le site Internet du réseau. Au 23/05/2013, 6362 visionnages ont été comptabilisés pour l'extrait des « 4 saisons de la forêt » et 2137 pour l'extrait d' « Aux arbres citoyens ».

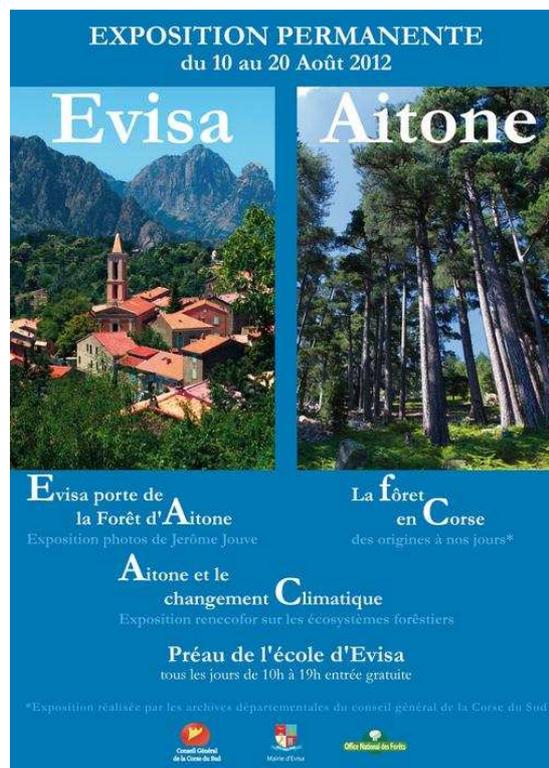
II.E.4.3 Actions de communication au plan local

Les agents responsables répondent à de multiples sollicitations locales pour présenter le réseau RENECOFOR, comme ont pu en témoigner les responsables de 3 sites à l'occasion du colloque de Beaune (Mouchot et al. 2008).

Des visites des sites RENECOFOR sont réalisées ponctuellement pour des demandes et des publics variés : étudiants, élus, personnels ONF, randonneurs, stagiaires, associations... Les sites sont notamment mis à profit comme support de référence pour des formations, aussi bien en interne ONF que dans un cadre universitaire lié aux partenariats nourris avec des enseignants-chercheurs. L'intérêt qu'il représentent aussi auprès du grand public est illustré, par exemple, par la présentation du site SP 11 en tant que « laboratoire pour la forêt » dans un livret d'accompagnement de 2 sentiers de découverte de la Forêt Domaniale de Callong Mirailles (Aude), tiré à 5 000 exemplaires.

Les agents participent également à la tenue de stands de présentation du réseau RENECOFOR au cours de manifestations publiques. L'équipe de coordination veille à leur fournir les supports dont elle dispose (maquette, posters, vidéos, diaporamas), développés notamment à l'occasion du colloque de Beaune (2008).

- Les 7 et 8 mai 2011 : participation aux « Naturiales », manifestation dédiée à la nature organisée par la municipalité de Fontainebleau (Seine-et-Marne), à l'occasion de l'année internationale de la forêt proclamée par l'ONU.
- Le 14 avril 2012 : participation à la fête du Parc Naturel Régional des Boucles de la Seine Normande (Seine Maritime), en répondant au thème de l'air par la présentation des résultats de suivi de dépôts atmosphériques en forêt de Brotonne (site PS 76).
- Du 10 au 20 août 2012 : participation à l'exposition sur la forêt Corse organisée par la municipalité d'Evisa (Corse du Sud).
- Les 27 et 28 octobre 2012 : participation à la foire agricole d'Espezel (Aude).
- A venir en août 2013 : participation à l'exposition sur l'environnement organisée par la mairie de Saint Germain l'Herm (Puy de Dôme) et présentation *in situ* des placettes RENECOFOR SP 63 et PS 63.



Enfin, les agents répondent à des sollicitations des journalistes. Outre les articles de presse écrite, deux reportages télévisés sont à noter depuis 2006.

- Le 15/02/2008, un reportage de 2 minutes sur les dépôts atmosphériques au Mont Aigoual (HET 30) à été diffusé au journal télévisé de 20 heures de TF1.
- En août 2011, un reportage de 2 minutes sur la forêt de Boscodon à été diffusé au journal télévisé de 20 heures de TF1, illustrant notamment le rôle du réseau RENECOFOR dans le suivi de la pollution atmosphérique sur le site SP 05.



Le réseau RENECOFOR mis en avant sur les stands tenus par l'ONF lors de manifestations locales.

En haut, foire agricole d'Espezet (Aude).

En bas, Naturiales de Fontainebleau (Seine-et-Marne).

Photographies de Jean-Luc Fiol et François Roy (ONF).

III Analyse des résultats, perspectives et potentialités

Cette partie III est basée sur la mise à jour de l'analyse menée domaine par domaine lors de la 1^{ère} évaluation. Le détail par domaine est fourni dans les annexes 3.1 à 3.11. Depuis 2006, on note un élargissement des potentialités du réseau, à la fois en termes de types d'apports (tendances, croisements de données, alimentation de modèles mécanistes...) et de phénomènes d'intérêt.

III.A Synthèse par type d'apport

III.A.1 Détection de tendances temporelles et spatiales

III.A.1.1 Tendances temporelles à moyen terme

Depuis la 1^{ère} évaluation (2006), l'allongement des séries de données a permis de détecter plusieurs tendances temporelles significatives à moyen terme :

- la baisse continue des dépôts atmosphériques de soufre aux échelles nationale (Coddeville et al., 2008 ; Pascaud, 2013) et européenne (Waldner et al., soumis) ;
- la baisse légère des dépôts azotés, jusqu'ici peu évidente à l'échelle nationale (Coddeville et al., 2008) mais significative à l'échelle européenne (Waldner et al., soumis) ;
- la baisse plutôt inattendue de la nutrition foliaire en phosphore (Jonard et al., 2009) ;
- la différenciation de la flore en 10 ans sous l'effet du gibier (recouvrement accru de la strate arbustive et réduction du nombre d'espèces herbacées en enclos comparé à l'exclos) (Boulangier, 2010) ;
- l'augmentation diachronique des stocks de carbone des sols entre les campagnes d'échantillonnage 1993-1995 et 2007-2012 (Jonard et al., 2013).

L'acquisition de séries d'observation de qualité permet également de mettre en évidence des évolutions temporelles parfois non conformes aux hypothèses de changement attendu. Dans le domaine sanitaire (Ferretti et al., 2010a ; 2013b, l'évolution du déficit foliaire sur la période 1997-2009 est majoritairement à la hausse (dégradation) à la suite de la sécheresse-canicule de 2003, mais une part importante de sites présente néanmoins une tendance stable voire à la baisse du déficit foliaire (amélioration). En outre, la comparaison de la réponse des essences montre une dégradation majoritaire pour les sites de chêne sessile et une amélioration majoritaire pour les sites de chêne pédonculé, remettant en doute le présumé de meilleure résistance du chêne sessile aux épisodes de sécheresse. Cette différence entre les deux espèces est confirmée par les tendances de déficit foliaire déduites des données du réseau 16 km x 16 km en forêts publiques à l'occasion de la rédaction du Bilan Patrimonial des Forêts Domaniales Métropolitaines (ONF, 2011).

D'autres paramètres n'ont pas encore présenté de tendance significative ou n'ont pas encore fait l'objet d'analyses de tendances mais sont attendus dans les perspectives prochaines : phénologie, météorologie forestière, composition floristique (enclos et exclos confondus), stocks d'éléments nutritifs des sols (azote, phosphore, cations échangeables).

III.A.1.2 Approches statistiques spatiales et spatio-temporelles

Malgré le nombre limité de sites du réseau, certains paramètres ont pu faire l'objet d'approches spatiales ou spatio-temporelles à l'échelle nationale, en relation avec des paramètres météorologiques.

Les dépôts hors couvert mesurés sur 27 sites avaient déjà pu être spatialisés sur une moyenne de 6 ans (1993-1998), grâce à leurs fortes corrélations avec les précipitations et à la disponibilité de mesures pluviométriques sur plus de 2 000 stations MétéoFrance sur le territoire métropolitain (Croisé et al. 2005). Cette approche a pu être répétée sur la période 1999-2004 et est en cours de répétition sur la période 2005-2010, afin d'aboutir à une visualisation des évolutions spatiotemporelles à comparer notamment aux résultats des modèles EMEP. En perspective, les résultats de l'étude de faisabilité préalable (AF-Consult, 2012) suggèrent des approfondissements possibles pour réduire le pas de temps de 6 ans validé précédemment, tandis que les données de dépôts wet-only des sites MERA et BAPMON pourraient être associées au moins comme jeu de validation (Pascaud, 2013).

Les observations menées sur le réseau RENECOFOR permettent également d'appréhender les variations spatiotemporelles de la phénologie des arbres. Des modèles prédictifs ont pu être développés sur la base de facteurs météorologiques puis utilisés pour simuler l'effet de 8 scénarios de changements climatiques à l'échelle nationale entre les périodes 1991-2000 et 2071-2100 (Lebourgeois et al. 2010) : en moyenne des scénarios, les simulations aboutissent à un allongement de la saison de végétation de 10,3 et 10,9 jours respectivement pour les chênes et le hêtre.

III.A.2 Contribution à la détermination et à la compréhension des relations de causes à effets

III.A.2.1 Approches corrélatives

Le suivi multi-domaine offre de larges possibilités d'approches statistiques corrélatives entre variables de réponse des écosystèmes et avec les facteurs externes (météorologie, pollutions atmosphériques, interventions humaines, effets méthodologiques).

Les premières approches corrélatives ont essentiellement concerné la modélisation des variations inter-sites de paramètres agrégés dans le temps au regard de facteurs environnementaux. Ce type d'approche est encore très utilisé et met notamment à profit l'extension européenne du monitoring, par exemple dans la recherche de relations des dépôts atmosphériques azotés avec les variations de croissance (Laubhahn et al., 2009 ; Solberg et al., 2009), la quantité de nitrates dans les solutions du sol (van der Salm et al., 2007 ; Dise et al., 2009) ou encore la composition floristique (Seidling et Fischer, 2008 ; van Dobben et de Vries, 2010). L'allongement des séries de données a permis la modélisation de variations temporelles au regard de facteurs de contexte fixes ou de facteurs agrégés au même pas de temps. En particulier la modélisation de variations interannuelles, autrefois limitée aux relations cerne-climat de la dendrochronologie, s'est étendue à d'autres variables de réponse : la phénologie des arbres (Delpierre et al., 2009 ; Lebourgeois et al., 2010), les chutes de fruits et de feuilles (Martin, 2009 ; Peaucelle, 2011), la composition floristique (Archaux et al., 2009), le déficit foliaire (Ferretti et al. 2013b).

Dernièrement, l'analyse des variations interannuelles du déficit foliaire (Ferretti et al. 2013b) a été l'occasion de mettre au point une approche statistique originale, itérative par site et permettant de hiérarchiser les effets des facteurs explicatifs annuels (météorologie, densité et phénologie du peuplement, nutrition foliaire, observations de symptômes, effets méthodologiques). Les résultats mettent en évidence (i) un effet prépondérant sur une forte majorité de sites des paramètres d'alimentation hydrique (des années n , $n-1$ et $n-2$) et de densité du peuplement, (ii) un effet limité à une minorité de sites des observations de symptômes, et (iii) la quasi-absence d'effet sur aucun site des paramètres de température, nutrition foliaire ou biais méthodologiques.

De plus, les données du réseau peuvent être utilisées pour étudier l'évolution temporelle de la sensibilité des variables de réponse aux facteurs environnementaux. Pour la chênaie

sessiliflore dans la moitié Nord de la France, Mérian et al. (2011) montrent ainsi une réduction de la corrélation entre la croissance et les pluies de juillet au cours de la période 1914-1993 et l'attribuent plutôt à la moindre variabilité interannuelle des précipitations qu'à leur diminution.

Enfin les variations inter-arbres, observées depuis le début du réseau, peuvent être utilisées pour comparer différents types de réponse. Ferretti et al. (2013a) ont ainsi vérifié l'existence d'une relation négative significative entre l'accroissement et le déficit foliaire moyen sur 10 ans. La perte relative d'accroissement est significative dès les faibles classes de déficit foliaire et suit une pente proche de -1 % accroissement / % déficit foliaire. De plus, l'individualisation sur les mêmes arbres des notations phénologiques depuis 2009 ouvre de nouvelles possibilités de relations entre variables de réponses. Plus loin la mise en place d'un suivi annuel de croissance permettrait de comparer les trois réponses phénologie/santé/croissance aux variations interannuelles de stress biotiques et abiotiques. Plus encore, la caractérisation génétique de ces arbres permettrait de mettre en relation les variations phénotypiques et génotypiques intra-peuplements dans leur réponse aux stress et au climat.

III.A.2.2 Alimentation et validation de modèles mécanistes

Le monitoring contribue également à la compréhension des relations de causes à effets par l'alimentation et la validation nécessaire au développement de modèles mécanistes. Il y apporte des données environnementales uniques, des séries longues de qualité et une extension spatiale conséquente qui fait défaut aux sites ateliers et sites expérimentaux.

Historiquement, le réseau RENECOFOR alimente chaque année la contribution française aux modèles de charge critique (programme ICP Modelling and Mapping : Probst et Leguédois, 2007, 2008 ; Probst et al., 2010 ; 2011 ; 2012), qui servent d'indicateurs aux politiques internationales de réduction des pollutions atmosphériques acidifiantes et eutrophisantes. Dans les dernières années, des modèles de cycles multi-éléments ont également été utilisés sur les données de plusieurs sites de niveau A3, en mettant à profit les séries temporelles de chimie des solutions du sol dans la validation des simulations. Dans les Ardennes l'utilisation du modèle NuCM a ainsi permis de vérifier la cohérence de l'intégration des données de monitoring et de recherches pour retracer l'évolution des dépôts acidifiants et de leurs impacts sur 30 ans (Jonard et al., 2012). Dans les Vosges gréseuses, le même modèle a permis de simuler l'évolution future de l'acidité des sols sous l'effet de modalités croisées d'évolution des dépôts atmosphériques et de récolte de biomasse (Van der Heijden et al., 2011). D'autre part, la partie française du programme ICP Modelling and Mapping participe à la validation et au développement du modèle ForSAFE à l'appui d'un maximum de sites. Les travaux en cours visent particulièrement la compréhension des effets des changements de dépôts azotés en intégrant la réponse de la flore – et validant les simulations avec les données d'inventaires floristiques – et en prenant en compte les scénarios de changements climatiques à échéance 2100 (Probst et al., 2013). En perspective, les travaux de simulation des cycles biogéochimiques bénéficieront des résultats de la campagne d'analyse des sols 2007-2012 :

- les analyses d'éléments totaux de 0 à 100 cm de profondeur permettront d'améliorer l'estimation des flux d'apport liés à l'altération des minéraux sur les 27 sites du sous-réseau CATAENAT,
- les mesures d'évolution des stocks échangeables des sols entre les périodes 1993-1995 et 2007-2012 constitueront un nouveau repère inédit pour la validation des simulations sur l'ensemble des sites.

Plus loin, la mise en place d'un suivi de l'humidité des sols sur les sites de niveau A3 aurait un intérêt certain pour améliorer la simulation des flux de drainage d'eau qui constituent un paramètre clef dans la compréhension des cycles d'éléments (Probst et al., 2012).

D'autre part, les données de phénologie des arbres du réseau RENECOFOR ont servi à implémenter le modèle PHENOFIT. Ce modèle de distribution d'espèces végétales, basé sur les processus, a été utilisé pour simuler rétrospectivement la migration postglaciaire du hêtre et vérifier la cohérence des hypothèses issues de données paléobotaniques et phylogéographiques (Saltré et al. 2013). Ses prédictions ont aussi été comparées à celles d'autres modèles dans la simulation de la distribution future des essences forestières en France et en réponse aux scénarios de changements climatiques (Cheaib et al. 2012 ; Gritti et al. 2013).

III.A.3 Résultats méthodologiques

III.A.3.1 Quantification des incertitudes

L'exigence de qualité et la quantification des incertitudes, nécessaires à l'assise du suivi temporel, bénéficient plus largement au développement des méthodes d'inventaire et de recherche. Lors de la 1^{ère} évaluation, le comité soulignait à ce titre *que sa qualité et son rôle en la matière sont tels que RENECOFOR « tire » vers le haut la qualité des suivis en France*. Cette contribution s'est prolongée depuis, comme l'illustre la diversité des publications de résultats méthodologiques recensées de 2007 à 2013 dans plusieurs domaines de suivi :

- la composition floristique (Archaux et al. 2007, 2008, 2009),
- les dépôts atmosphériques (Mosello et al., 2008 ; Marchetto et al., 2009 ; Zlindra et al., 2011 ; Pascaud, 2013 ; Waldner et al., soumis),
- la dendrochronologie (Mérian et Lebourgeois, 2011a ; 2011b ; Lebourgeois et Mérian, 2012),
- le déficit foliaire (Ferretti et al., 2010),
- la météorologie (Peiffer et al., 2008) et le calcul de bilans hydriques (Badeau et al., 2008),
- les mesures de concentration en ozone par capteurs passifs (Sanz et al., 2007 ; Gerosa et al., 2007 ; Meyer, 2010).

La quantification des incertitudes liées aux observations floristiques fait notamment exemple dans le développement des méthodes de suivi de la biodiversité. D'ailleurs l'expérience acquise en France par le groupe d'experts botanistes a motivé la tenue d'un premier exercice d'intercalibration floristique à l'échelle européenne en 2009. Les exercices d'intercalibration et des relevés de contrôle réalisés depuis le début du suivi floristique en 1995 ont permis d'étudier l'effet observateur, l'effet de la saison et la variabilité interannuelle sur l'exhaustivité des relevés et les valeurs indicatrices dérivées du cortège floristique (Archaux et al. 2009). On note ainsi que la réalisation d'un inventaire floristique par une équipe d'observateur conduit en moyenne à la non-détection d'une espèce sur cinq dans les strates basses, les erreurs d'identification étant limitées à 5 %. La répétition des relevés au printemps et en été améliore l'exhaustivité de chaque campagne jusqu'à 90 à 95 % de détection des espèces. Le suivi annuel mené par 3 équipes de botanistes sur un sous-ensemble de 14 sites (sous-réseau Oxalis) a permis d'évaluer à seulement 25 % à 50 % la proportion d'espèces présentes tous les ans. D'autres effets nécessiteraient encore d'être quantifiés : la forme des placeaux d'inventaire, variable à l'échelle européenne, a notamment été intégrée à la conception du dernier exercice d'intercalibration nationale réalisé à l'occasion de la campagne de 2010. L'expérience du groupe de botanistes a également été mise à profit dans l'harmonisation puis l'analyse des données d'inventaires mycologiques, en lien avec les compétences taxonomiques de l'Observatoire Mycologique de France.

Au-delà des méthodes de collecte des données, on note également des avancées dans les méthodes d'analyse des données de monitoring. Par exemple, Waldner et al. (soumis) ont

comparé plusieurs outils statistiques dans la détection de tendances temporelles de dépôts atmosphériques à l'échelle européenne. Ils évaluent respectivement à 10 ans et 6 ans les durées minimales de suivi nécessaires pour asseoir statistiquement les tendances observées pour l'azote (pente de -1 % à -2 %/an) et le soufre (-6 %/an).

III.A.3.2 Support de nouvelles mesures

Le rôle pionnier des réseaux de niveau II ICP Forests dans le développement des méthodes de monitoring est mis à profit dans l'exploration de nouveaux domaines de suivi. A l'échelle internationale, cela s'est notamment concrétisé par l'intégration de nouvelles méthodes dans les manuels du programme ICP-Forests à l'appui des expériences des pays participants : suivi de l'humidité des sols (2010), mesure de l'indice foliaire (2012) ou encore inventaire des espèces de lichens épiphytes (2012). A l'échelle nationale, le réseau RENECOFOR a servi de support à d'autres essais encore, dans le cadre de multiples collaborations.

Le réseau RENECOFOR a activement contribué au développement de nouveaux types d'inventaires taxonomiques, concernant les champignons supérieurs et la macrofaune du sol. En plus de leur capacité indicatrice, ces deux communautés ont un rôle central dans le fonctionnement des écosystèmes, mais les travaux d'inventaires et les experts mobilisables sont plutôt rares.

- De 1996 à 2007, les champignons supérieurs ont été inventoriés de manière tournante sur une soixantaine de sites en collaboration avec les mycologues amateurs de l'Observatoire Mycologique de France. Depuis, les inventaires ont été suspendus dans l'attente d'un long travail d'harmonisation des noms d'espèces et des données recueillies. Une analyse de ces données est maintenant en projet afin (i) d'étudier les variations temporelles et inter-sites des cortèges en relation avec les paramètres environnementaux et (ii) d'évaluer la faisabilité d'un suivi à long terme suivant les incertitudes d'observation et l'effort d'échantillonnage requis. Un second exercice d'intercalibration a aussi été organisé en octobre 2012 à l'occasion du congrès annuel de la Société Mycologique de France à Nancy. Il est à noter que le travail mené sur les champignons supérieurs bénéficie de l'expérience et de la motivation des chercheurs associés au suivi de la composition floristique.
- Depuis 2006, une collaboration a été initiée avec l'IRD pour l'étude de la densité et de la diversité de macro-invertébrés édaphiques, en relation avec les propriétés physiques et chimiques des sols. La méthode de prospection de la litière et du sol minéral a été normalisée (norme ISO 23611-5:2011) avec pour originalités le recensement de 17 ordres taxonomiques et l'identification jusqu'au niveau de l'espèce. Un premier inventaire de terrain a été mené sur 40 sites en 2006 avec le soutien financier du programme européen Forest Focus. Puis une convention a été établie entre l'ONF et l'IRD sur une période de 3 ans (2008-2011) afin d'étendre le nombre de sites inventoriés et de mettre en place un suivi temporel sur un sous-ensemble de 15 sites. L'ensemble du programme de la convention n'a cependant pas été réalisé par l'IRD. Un rapport intermédiaire a été fourni en 2010 mais le rapport final reste attendu.

Sur les thématiques de pollutions, les collectes d'échantillons d'analyse du réseau RENECOFOR sont utilisées pour des mesures d'espèces chimiques additionnelles.

- De nouveaux travaux ont concerné les éléments traces métalliques (ETM). Faisant suite à la thèse de Laura Hernandez (2003) sur la quantification et la spéciation des ETM dans les sols forestiers, la thèse de Laure Gandois (2009), financée par l'ADEME, a démontré la faisabilité du suivi des flux d'ETM sur 6 sites de niveau A3 (suivi des dépôts atmosphériques hors couvert, sous couvert et dans les solutions du

sol ; quantification dans les sols et la biomasse). A cette occasion, une attention particulière a été portée aux contaminations potentielles en ETM liées aux modes de collecte : des matériaux inertes ont été utilisés spécifiquement (bougies poreuses en téflon, flacons en polypropylène rincés à l'acide...) et/ou l'absence de contamination a été vérifiée par des tests pour l'ensemble des types d'échantillons analysés. Par ailleurs, le réseau a servi de support à l'étude écotoxicologique des ETM sur les collemboles (Bur et al., 2010 ; 2012) et dans le cadre du programme « Bioindicateurs de qualité des sols » de l'ADEME.

- Redon et al. (2011) ont utilisé les échantillons de litière et de sol minéral de 51 sites pour évaluer la dynamique du chlore dans les écosystèmes forestiers sous forme minérale et organique, dans le cadre de recherches sur les risques de contamination liés au stockage de déchets radioactifs.
- La faisabilité d'une méthode d'isotopie naturelle de quantification des apports de magnésium par l'altération minérale a fait l'objet d'une étude sur la base d'échantillons de sol, de biomasse et de dépôts atmosphériques (Bolou-Bi, in prep).
- Une thèse a démarré en 2012 à l'Université de Savoie (S. Negro) sur la dynamique des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les forêts et bassins versants, à l'appui notamment des archives d'échantillons de sol et de feuilles du réseau.
- En perspective, les échantillons foliaires du réseau pourraient également être utilisés pour étudier la faisabilité de suivis de polluants organiques dans le cadre du projet de Réseau de Mesure de la Qualité des Végétaux (RMQV).

Les sites sont aussi utilisés comme support de nouveaux types de collecte d'échantillons. Par exemple, 12 d'entre eux servent de support depuis 2012 à un dispositif de suivi des fructifications de chêne sessile conduit par l'Université de Lyon (S. Venner), en collaboration avec l'INRA Bordeaux (S. Delzon) et cofinancé par l'ONF. Ce dispositif se distingue par la mise en place d'une collecte individualisée par arbre, à raison de 10 arbres par site et vise plusieurs objectifs quant à (i) l'étude du phénomène de masting, (ii) la réponse des arbres au changement climatique, (iii) la dynamique des communautés d'insectes et d'ongulés consommatrices des fruits et leur impact sur la capacité de régénération des chênes.

III.A.3.3 Validation d'outils

A l'avenir, la télédétection offre un potentiel prometteur de monitoring mais ce type d'outil nécessite d'être calibré/validé sur la base de mesures de référence au sol. Les sites du réseau RENECOFOR ont ainsi servi à la quantification des incertitudes de télédétection des dates de débourrement dérivées des données satellitaires MODIS (Soudani et al. 2008 ; Samalens et al. 2010). Les données d'état sanitaire (déficit foliaire, coloration anormale) ont également fait l'objet d'une demande pour comparaison avec les données MODIS (V. Chéret). De manière similaire, Paillet et al. (2010) ont testé sur deux sites RENECOFOR une méthode de caractérisation non destructive des propriétés physico-chimiques des sols basée sur leur résistivité électrique.

D'autre part, les données dendrométriques s'avèrent utiles à la calibration/validation de modèles de croissance. Le recul de suivi de 20 ans, la réalisation d'inventaires en plein et la diversité des contextes couverte par ses 102 sites font du réseau RENECOFOR une source de données originale :

- calibration du modèle CASTANEA pour la prise en compte des variations de croissance intra-peuplement (Guillemot et al. 2013),

- validation des modèles de croissance de peuplement développés à partir des résultats d'essais sylvicoles (travaux de M. Fortin en cours dans le cadre de la convention de recherche Modelfor entre ONF et INRA).

III.A.4 Fourniture d'indicateurs

En retour des engagements internationaux qui ont motivé sa création, les données du monitoring ICP Forests alimentent régulièrement les indicateurs de santé des forêts et d'impacts des pollutions atmosphériques acidifiantes dans le cadre de la publication quinquennale des Indicateurs de Gestion Durable des forêts (Conférence Ministérielle de Protection des Forêts d'Europe ; FOREST EUROPE, UNECE and FAO, 2011). A la version européenne s'ajoute à la même périodicité la publication nationale des Indicateurs de Gestion Durable des forêts, à laquelle l'équipe de coordination du réseau RENECOFOR contribue directement.

En alimentant les modèles de charges critiques, les données du réseau RENECOFOR ont également servi à la révision du Protocole de Göteborg définissant les objectifs européens de réduction des émissions atmosphériques (Posch et al., 2012).

Par ailleurs, dans le cadre de ses engagements avec l'Etat, l'ONF a mis en place depuis 2006 la publication quinquennale du Bilan Patrimonial des Forêts Domaniales Métropolitaines. En 2006 et 2011, l'équipe de coordination a mené la rédaction d'indicateurs de la partie relative aux risques et à la santé des forêts, en s'appuyant sur les données du réseau RENECOFOR et du Département Santé des Forêts (MAAF).

Face à l'évolution des menaces pesant sur les écosystèmes forestiers, de nouveaux indicateurs peuvent être envisagés. La définition des nouveaux besoins relève du niveau politique et les propositions sont à discuter par la communauté scientifique. Le réseau RENECOFOR n'a pas à définir seul de nouveaux indicateurs mais il est sollicité dans les réflexions en cours comme l'un des pourvoyeurs de données.

- Le réseau RENECOFOR contribue à la réflexion sur de nouveaux indicateurs dans la perspective de la prochaine publication nationale des Indicateurs de Gestion Durable. Les données de ré-échantillonnage des sols 2007-2012 pourraient notamment offrir une première opportunité d'indication de l'évolution de leurs propriétés chimiques.
- En 2013, le projet SICFOR (« Du suivi aux indicateurs de changements climatiques en forêts »), commandité par le MAAF et l'ONERC, entame la réflexion sur les possibilités de mise en place d'indicateurs forestiers des changements climatiques. Le réseau RENECOFOR a répondu positivement à sa sollicitation et ses données pourraient être mises à profit, notamment quant à l'évolution de la phénologie des arbres forestiers.
- Quant au suivi de la biodiversité, le réseau RENECOFOR n'a pas été sollicité jusqu'ici mais se tient disponible pour apporter ses données et/ou ses savoir-faire dans la mise en place de nouveaux indicateurs. Le suivi de qualité de la composition floristique et les évolutions observées notamment sous l'effet du gibier peuvent fournir des pistes intéressantes.

III.B Synthèse par phénomène à observer

III.B.1 Réaction des écosystèmes aux évolutions du climat

III.B.1.1 Vulnérabilité des arbres et des écosystèmes au climat

L'originalité de l'apport du réseau RENECOFOR réside dans le suivi de l'ensemble des composantes de l'écosystème en réponse aux changements environnementaux. Face à la complexité des effets induits par les changements climatiques, cette approche permet d'appréhender et de comparer les évolutions de plusieurs variables pertinentes quant à la réponse des arbres, du sol et de la végétation.

RENECOFOR est la principale source de données nationale pour plusieurs paramètres-clefs de la sensibilité des arbres au climat : phénologie, production de feuilles et de fruits, nutrition, symptômes dus à l'ozone. La phénologie, dont le suivi est rendu possible par l'implication d'agents au plus près des sites, est un paramètre particulièrement intéressant du fait de son rôle central dans la réponse des arbres : elle constitue un trait sélectif vis-à-vis des stress biotiques et météorologiques. Le réseau RENECOFOR a permis de modéliser ses variations spatiales et temporelles en fonction de facteurs climatiques et de réaliser des projections futures à l'échelle nationale (Lebourgeois et al., 2010). Par ailleurs, les données de phénologie ont servi à implémenter le modèle PHENOFIT (Saltré et al., 2013), notamment utilisé dans la simulation de distribution future d'espèces forestières sous l'effet des changements climatiques (Cheaib et al., 2012 ; Gritti et al., 2013).

L'approche de l'ensemble des composantes de l'écosystème est également utile dans la hiérarchisation des facteurs externes influant sur la vitalité des arbres. L'analyse multi-variée de l'évolution temporelle du déficit foliaire a notamment permis de montrer le poids prépondérant des facteurs d'alimentation hydrique et de densité du peuplement en comparaison de ceux liés à la nutrition, à la température, aux stress biotiques et aux incertitudes méthodologiques (Ferretti et al., 2013b).

En perspective, l'allongement des séries de données devrait permettre :

- (i) de rechercher de nouvelles tendances (notamment en phénologie),
- (ii) de suivre l'évolution des fonctions de réponse aux facteurs climatiques,
- (iii) de quantifier la résistance et la résilience des arbres à la suite d'événements exceptionnels, tels que la sécheresse-canicule de 2003.

A l'échelle arbre, le suivi des réponses de croissance, de santé et de phénologie sur les mêmes arbres-observations apporte des possibilités de comparaison originales. La répétition annuelle des mesures d'accroissement et la caractérisation génétique de ces arbres complèteraient utilement le dispositif.

III.B.1.2 Evolution du climat en forêt

Le changement climatique s'est traduit par une hausse des températures moyennes de l'ordre de + 1°C au cours des 20 dernières années sur les stations MétéoFrance (Piedallu et al., 2009). La question se pose de savoir comment ce changement se traduit spécifiquement en microclimat forestier, notamment en termes d'amplitude des événements extrêmes et de dépassements des seuils physiologiques.

En France les stations suivies depuis 1995 en lisière ou clairière sur le réseau RENECOFOR constituent une source de données originale sur le climat forestier. Les premières analyses des données étayaient leur qualité (Peiffer et al., 2008) et leur spécificité vis-à-vis de celles des stations MétéoFrance les plus proches (Badeau et al., 2008). L'allongement du recul de suivi dans la comparaison avec les données des stations MétéoFrance pourrait permettre de proposer des facteurs correctifs de l'effet du microclimat forestier.

III.B.1.3 Capacité de séquestration de carbone en forêt

Les sols représentent le principal compartiment de stockage de carbone au sein des écosystèmes forestiers (Dupouey et al., 2000). L'achèvement de la seconde campagne d'analyse des sols (2007-2012), suivant des protocoles d'échantillonnage et d'analyse strictement comparables à ceux de la première campagne (1993-1995), constitue la première mesure d'évolution temporelle des stocks de carbone des sols à l'échelle nationale. L'analyse des résultats en cours (Jonard et al., 2013), avec le soutien du MAAF, doit permettre de vérifier le rôle de puits de carbone des sols en réponse aux engagements internationaux de maîtrise des émissions de gaz à effet de serre.

Concernant la capacité de séquestration de carbone dans la biomasse, le réseau RENECOFOR apporte également une contribution notable aux modèles de prédiction future face aux évolutions du climat mais aussi de la nutrition minérale. On note en particulier l'utilisation des données du réseau dans la validation et le développement du modèle de cycles biogéochimiques ForSAFE intégrant à la fois les effets des changements de dépôts azotés et les scénarios de changements climatiques à échéance 2100 (Probst et al., 2013).

III.B.2 Cycle des éléments nutritifs en relation avec les dépôts atmosphériques

III.B.2.1 Suivi des dépôts atmosphériques

Le sous-réseau CATAENAT a permis depuis 1993 de suivre l'évolution des dépôts atmosphériques et notamment la baisse de la contrainte acidifiante liée aux dépôts de soufre, significative aux deux échelles nationale et européenne. De plus il est le seul réseau permettant de spatialiser les dépôts atmosphériques hors couvert et leur évolution à l'échelle nationale. Il est également le seul réseau national à mesurer les dépôts sous couvert pour prendre en compte les apports secs.

A l'avenir, la révision du Protocole de Göteborg conclue en 2012 prévoit la poursuite des efforts de réduction des émissions d'azote et de soufre à l'horizon 2020. Le suivi des dépôts atmosphériques sera donc encore utile pour vérifier l'atteinte de ces objectifs. L'enjeu principal pour les forêts concernera les dépôts d'azote, qui ont peu évolué et dont les résultats du programme EMEP reproduisent encore médiocrement les variations spatiales et temporelles observées à l'échelle nationale. Des progrès semblent à attendre notamment dans l'estimation des émissions de NOx par le transport maritime (Pascaud, 2013). Qui plus est, les dépôts atmosphériques constituent une source majeure d'azote pour les écosystèmes forestiers, mais avec des effets multiples (fertilisation, eutrophisation, acidification) et une dynamique complexe, liée au cycle des matières organiques, dont la compréhension nécessite encore des travaux de recherche et de suivi.

III.B.2.2 Contribution à la compréhension des cycles biogéochimiques

Le suivi de l'ensemble des composantes de l'écosystème dans des conditions contrastées entre les sites constitue un apport unique dans la compréhension des cycles biogéochimiques. Les longues séries de chimie des solutions du sol permettent par exemple d'appréhender les épisodes erratiques de drainage de nitrates. Les données de la seconde campagne de prélèvement des sols 2007-2012 permettront également pour la première fois de mesurer l'évolution temporelle de leur contenu nutritif à l'échelle nationale : il s'agira entre autres d'observer si la baisse de l'acidité des dépôts atmosphériques aura permis un début de restauration de leur fertilité chimique.

La compréhension des processus passe tout d'abord par la recherche de relations statistiques au travers des variations observées, aux échelles nationale et européenne. Ces approches ont notamment permis de mettre en évidence l'influence des dépôts atmosphériques azotés sur

l'augmentation de la croissance (Laubhahn et al., 2009 ; Solberg et al., 2009 ; Bontemps et al., 2011), sur la quantité de nitrates drainés dans les solutions du sol (van der Salm et al., 2007 ; Dise et al., 2009) ou encore sur la composition floristique (Seidling et Fischer, 2008 ; Archaux et al., 2009 ; van Dobben et de Vries, 2010).

Le monitoring contribue également à la compréhension des relations de causes à effets par l'alimentation et la validation de modèles mécanistes permettant de simuler des scénarios de changements de l'environnement ou des pratiques de gestion. L'utilisation du modèle NuCM a ainsi permis la reconstitution de la dynamique d'acidification passée dans les Ardennes (Jonard et al., 2012) et, dans les Vosges gréseuses, la simulation de l'évolution future de l'acidité des sols sous l'effet de modalités croisées d'évolution des dépôts atmosphériques et de récolte de biomasse (Van der Heijden et al., 2011). Le développement continu du modèle ForSAFE vise particulièrement la compréhension des effets des changements de dépôts azotés en intégrant la réponse de la flore et en prenant en compte les scénarios de changements climatiques à échéance 2100 (Probst et al., 2013). Les données des inventaires floristiques apportent ainsi un nouveau repère de validation des simulations. L'évolution mesurée des propriétés des sols y contribuera aussi prochainement. Plus loin, la mise en place d'un suivi de l'humidité des sols sur les sites de niveau A3 aurait un intérêt certain pour améliorer la simulation des flux de drainage d'eau qui constituent un paramètre clef dans la compréhension des cycles d'éléments (Probst et al., 2012).

Par ailleurs, la mise en évidence d'une baisse tendancielle des teneurs en phosphore dans les échantillons de feuilles rappelle l'importance de cet autre élément dans la nutrition des végétaux et notamment la capacité de reproduction. La confrontation de cette évolution à celle du phosphore mesurée dernièrement dans les sols constituera une première approche explicative.

III.B.3 Evolution de la biodiversité

III.B.3.1 Evolution de la diversité floristique

Face aux fortes incertitudes qui pèsent dans l'observation floristique et qui sont généralement négligées, le réseau RENECOFOR constitue une référence de qualité. La mise en place du suivi temporel de la composition floristique depuis 1995 a été l'occasion de nombreux développements méthodologiques, notamment grâce à la réalisation à chaque campagne de relevés de contrôle et d'exercices d'intercalibration entre les experts botanistes. Le développement d'une interface Internet de saisie des relevés garantit de plus la cohérence des noms d'espèces en amont de la base de données (Camaret, 2008). L'expérience acquise en France sur la qualité du suivi a d'ailleurs motivé la tenue d'un premier exercice d'intercalibration floristique à l'échelle européenne en 2009.

De 1995 à 2005, l'analyse des séries temporelles n'a pas encore permis de déceler de tendance globale à l'échelle du réseau. Des glissements floristiques ont pu cependant être mis en évidence en fonction du type de placette (appartenance biogéographique, type de sol, type de composition floristique). L'évolution de la flore semble suivre celle du peuplement, avec des effets immédiats et différés de l'ouverture du peuplement. Concernant l'effet des dépôts atmosphériques, les variations du caractère nitrophile de la flore ne sont reliées à celles des dépôts azotés que sur la période de 1995 et 2000 et l'évolution du caractère acidiphile n'est pas liée à celle des dépôts soufrés. En outre, l'analyse du suivi annuel pratiqué sur le sous-réseau Oxalis (14 sites) montre clairement que la richesse spécifique fluctue au gré des conditions climatiques. La flore forestière supporte bien les extrêmes climatiques et la relation flore-climat dépend du contexte géographique de la placette, bien plus que de l'essence arborée principale.

D'autre part, en dix ans de suivi, un effet significatif de la pression du gibier a pu être mis en évidence par la comparaison de l'évolution de la flore entre enclos et exclos (Boulanger, 2010). La flore en enclos est marquée par un recouvrement accru de la strate arbustive et une diversité d'espèces moindre dans la strate herbacée. Le surcroît d'espèces herbacées de l'exclos correspond toutefois majoritairement à des traits de vie liés à des milieux moins forestiers et plus perturbés (Boulanger et al., In prep). Face à la tendance d'accroissement des populations d'ongulés, il est à noter que RENECOFOR constitue le seul dispositif d'enclos/exclos permettant de quantifier ces impacts sur la flore à l'échelle nationale.

III.B.3.2 Développement d'autres suivis taxonomiques

Le réseau RENECOFOR a aussi activement contribué au développement de nouveaux types d'inventaires taxonomiques, concernant les champignons supérieurs et la macrofaune du sol. Dans ces deux domaines intéressants dans le fonctionnement des écosystèmes, de nombreuses données ont été relevées mais restent à analyser pour évaluer les potentialités et la faisabilité d'inventaires suivis à long terme.

Les sites servent également de support à des recherches complémentaires sur la biodiversité.

- Des caractérisations de mycorhizes ont été réalisées sur 3 sites à partir d'échantillons de sol, dans le cadre de recherches britanniques menées sur un gradient de chênaies européennes (Souty, 2009 ; Merlin 2011).
- Un dispositif de suivi des fructifications de chêne sessile et des communautés d'insectes qu'elles abritent a été mis en place en 2012 sur 12 sites du réseau RENECOFOR dans le cadre d'une collaboration entre l'Université de Lyon (S. Venner), l'INRA Bordeaux (S. Delzon) et l'ONF. Entre autres objectifs, l'étude des communautés d'insectes inféodées à la ressource limitée et très variable d'une année à l'autre des fructifications de chênes (masting) doit apporter des résultats originaux sur la coexistence d'espèces en compétition (théorie des niches vs théorie neutre de la biodiversité).
- Concernant la pression de gibier, l'étude de la réponse de la flore entre enclos et exclos est approfondie par des mesures additionnelles menées par Irstea (A. Mârell) sur 6 sites : mesure de densité et de taille des individus, développement de défenses morphologiques...

Fort de son patrimoine de données et de savoir-faire dans de multiples domaines, le réseau RENECOFOR pourrait servir de support pour tenter d'appréhender l'ensemble de la biodiversité à l'échelle de l'écosystème forestier. Une perspective pourrait être notamment de quantifier par voie moléculaire la biodiversité microbienne des sols, de manière comparable au RMQS mais avec un intérêt supplémentaire de comparaison aux inventaires de champignons supérieurs. Le réseau a également été sollicité comme support potentiel d'un projet de suivi national des populations de tiques face aux enjeux liés aux maladies dont elles sont porteuses : la présence d'enclos pourrait notamment permettre de différencier le rôle des ongulés de celui des petits mammifères sur ces populations.

III.C Apports à l'ONF

Par sa contribution aux engagements internationaux de la France et à la fourniture d'indicateurs, par ses apports aux connaissances générales sur les forêts et les changements environnementaux, par la mise à disposition gratuite de ses données, par la diversité des acteurs impliqués et de ses utilisateurs en dehors de l'ONF, il semble clair que le réseau RENECOFOR répond à un intérêt général. Il dépasse même les seuls enjeux forestiers par le suivi et la spatialisation des dépôts atmosphériques hors couvert, par le suivi de lixiviation de nitrates dans les couches de sol profond, par la quantification de la séquestration de carbone dans les sols ou encore par les multiples développements méthodologiques liés à sa position pionnière dans le monitoring.

Pour autant, l'ONF peut aussi légitimement en tirer bénéfice dans ses propres activités.

III.C.1 Contributions aux enjeux de gestion de l'ONF

Le réseau RENECOFOR fait partie intégrante de l'organisation de Recherche et Développement de l'ONF. Ses apports scientifiques listés précédemment contribuent à répondre à plusieurs enjeux actuels identifiés dans le rapport d'activité du Département R&D (2012).

- **Adaptation au changement climatique.** Responsable de la gestion des forêts publiques (soit 7 % du territoire métropolitain) et dépendant financièrement des ventes de bois, l'ONF se préoccupe de l'avenir des forêts et notamment de leur capacité de production face au changement climatique. Le réseau RENECOFOR apporte des résultats uniques quant à l'évolution de paramètres-clefs (phénologie, déficit foliaire, fructifications, croissance) et à leur sensibilité aux variations environnementales, pour les principales essences de production actuelles.
- **Atténuation du changement climatique.** Face aux objectifs de développement des énergies renouvelables, l'ONF est sollicité par l'Etat pour accroître la fourniture de bois-énergie et s'interroge quant à la durabilité de récoltes intensifiées sur la fertilité des sols. Le réseau RENECOFOR est l'observatoire des dépôts acidifiants et de l'équilibre des éléments nutritifs des forêts, qui alimente le développement des modèles de simulation des cycles biogéochimiques.
- **Elargir et conforter les bases de la gestion multifonctionnelle.** Face à la baisse tendancielle des prix du bois, un enjeu réside dans la mise en valeur des services écosystémiques rendus par la forêt. Le réseau RENECOFOR permet notamment de mettre en évidence une augmentation des stocks de carbone des sols forestiers. Concernant le rôle d'épuration de l'eau, le réseau suit les apports atmosphériques ainsi que la dynamique de lixiviation de nitrates et contribue au développement de modèles de compréhension de la dynamique de l'azote.

Un autre exemple concerne l'équilibre forêt-gibier, thème principal du colloque interne ONF de 2013. Face à la densification des populations de gibier – multiplication d'un facteur 2 à 7 des réalisations de plans de chasse par espèce en 20 ans (Indicateurs de Gestion Durable, 2010) – l'ONF dénonce les impacts subis par la forêt. Le réseau RENECOFOR constitue un dispositif national de suivi enclos/exclos unique, qui permet une évaluation quantitative de l'impact du gibier sur l'évolution de la végétation.

D'autre part, le réseau RENECOFOR permet de mettre en évidence des phénomènes inattendus. C'est le cas de la baisse tendancielle de nutrition foliaire en phosphore, dont les

facteurs et les risques à venir restent à déterminer. C'est aussi le cas, à la suite de la sécheresse-canicule de 2003, de la réponse sanitaire meilleure pour le chêne pédonculé que pour le chêne sessile, alors que l'ONF s'emploie à favoriser ce dernier dans les régénérations comme l'indiquent plusieurs Directives Régionales d'Aménagement.

III.C.2 Contributions connexes au portage du réseau

Le portage du réseau RENECOFOR apporte également à l'ONF des bénéfices pratiques.

- Les savoir-faire, les matériels et l'organisation mis en œuvre pour le réseau servent en retour aux essais de l'ONF, en bonne entente entre l'équipe de coordination et les autres pôles ou équipes du Département R&D. Les données et les sites du réseau RENECOFOR servent aussi de support à des recherches financées par le Département R&D (ex : Convention avec l'Université de Lyon sur le suivi des fructifications de chêne sessile, validation de modèles de croissance dans le cadre de la convention de recherche Modelfor entre ONF et INRA...).
- Les données et l'équipe de coordination du réseau RENECOFOR contribuent au Bilan Patrimonial des Forêts Domaniales Métropolitaines.
- La communication de l'ONF s'appuie sur le réseau RENECOFOR pour illustrer l'implication de l'ONF dans le suivi et la compréhension des écosystèmes forestiers (cf chapitre *II.E.4 Actions de communication auprès du grand public*).
- Certains agents responsables de sites mettent à profit les données relevées dans leur travail de gestion forestière, par exemple pour mesurer le bénéfice de la sylviculture au profit sur la croissance des tiges d'avenir (Fiol, 2010). Les données du réseau RENECOFOR sont également utilisées dans l'élaboration d'aménagements forestiers. Des visites des sites sont organisées pour des besoins de formation.
- Dans un contexte social difficile, l'Audit Socio-Organisationnel mené en 2012 relève la perception positive des réseaux au sein de l'ONF : « *Enfin, dernier point qu'il convient de mentionner car il a fait l'unanimité chez les différentes catégories de personnel concernées, le fonctionnement d'experts en réseau (qui concerne des agents patrimoniaux, des membres de bureaux d'études, des aménagistes) est très apprécié par les intéressés qui y voient un enrichissement de leur mission ainsi qu'une reconnaissance de leurs compétences* » (Capital Santé, 2012).

IV Positionnement du réseau au sein des dispositifs de monitoring

IV.A Relations avec le programme ICP Forests

IV.A.1 Apports du programme ICP Forests au réseau RENECOFOR

En premier lieu, la participation au programme ICP Forests offre une extension européenne du suivi des écosystèmes forestiers : près de 800 sites de niveau II répartis sur 30 pays.

- Cela apporte une puissance d'analyse accrue, notamment valorisée par des approches statistiques des relations entre croissance et paramètres environnementaux ou encore des relations entre dépôts et lixiviation d'azote. Sur la période 2007-2013, 23 des 55 publications recensées dans des revues à comité de lecture correspondent à des utilisations des données RENECOFOR dans des analyses transfrontières.
- Cela permet plus généralement une approche continentale de phénomènes globaux. Face aux pollutions atmosphériques à longue distance, le programme ICP Forests nourrit des indicateurs européens de retombées atmosphériques et de santé des forêts et alimente les modèles d'impacts et de charges critiques en lien avec les programmes ICP Modelling and Mapping et EMEP. Face aux enjeux plus récents des changements climatiques, l'intégration européenne du monitoring présente aussi un fort potentiel de valorisation : pour la France, il s'agit notamment de partager des données de suivi comparables avec les pays disposant de sites aux extrêmes climatiques méditerranéen et boréal.

Le programme ICP Forests a également permis de capitaliser un savoir-faire international depuis 1985 en mutualisant les expertises des pays participants. Chaque domaine de suivi dispose d'un groupe d'experts, se réunissant tous les ans à tous les deux ans autour des objectifs, méthodes et analyses des résultats du monitoring. Les manuels sont mis à jour à mesure des évolutions méthodologiques et suivant un processus de concertation ordonné ; un rapport technique synthétise les réalisations communes chaque année. Le site Internet <http://icp-forests.net/> met à disposition les documents et outils produits, et offre un espace de discussion aux groupes d'experts. Un ouvrage de synthèse d'expérience a été publié récemment (Ferretti et Fischer, 2013).

Les besoins de comparabilité spatiale et temporelle des données de suivi ont conduit à la mise en place de travaux d'assurance qualité et de contrôle qualité qui bénéficient fortement de leur dimension européenne.

- La réunion des laboratoires d'analyse à l'échelle européenne a permis de suivre les performances analytiques par des exercices réguliers d'intercomparaison, statistiquement pertinents et sur des échantillons collectés en conditions réelles. Un partage d'expériences est également organisé pour permettre aux laboratoires déficients d'améliorer leurs performances. C'est notamment dans ce cadre que les performances du laboratoire SOCOR ont pu être rapidement testées et que des solutions techniques ont été trouvées aux biais constatés dans les analyses – cf II.A.2.3 *Optimisation des prestations externes*.
- Sur le terrain, le programme ICP Forests organise des exercices d'intercalibration européens de relevés d'état sanitaire, de composition floristique et de symptômes d'ozone. Les dépôts atmosphériques ont également fait l'objet d'essais d'intercomparaison, qui ont permis de quantifier les incertitudes liées aux différences

internationales de dispositifs de collecte des pluies hors couvert et des pluiolessivats (Zlindra et al. 2011).

Le centre de coordination du programme ICP Forests (vTI Hamburg) gère la base de données commune. Après plusieurs changements de prestataires imposés par l'Union Européenne, cette base de données a nécessité un effort important de reconstitution directement pris en charge par le centre de coordination. Il recueille et gère également les demandes de données internationales, mises à disposition gratuitement et après accord des pays concernés. Les discontinuités historiques de gestion de la base de données ont certainement limité les valorisations internationales mais les progrès récents sont notables, à l'image du nombre croissant de demandes de données.

Enfin le programme ICP Forests organise la recherche de financements de l'Union Européenne. Le centre de coordination (vTI Hamburg) a notamment piloté des projets LIFE+ (FutMon, EnForMon) d'une ampleur sans précédent. Il contribue aussi activement au lobbying auprès des instances européennes (DG Environment, Parlement Européen) pour la mise en place d'un nouveau règlement de financement du monitoring forestier.

IV.A.2 Coût de participation du réseau RENECOFOR au programme ICP Forests

Historiquement, les manuels du programme ICP Forests ont été élaborés à partir des expertises nationales développées notamment dans les années 1980 et sur la base d'une concertation entre les pays participants. La représentation régulière du réseau RENECOFOR aux réunions du programme ICP Forests aura permis de suivre l'évolution des protocoles internationaux et de vérifier la cohérence des propositions de nouveaux paramètres obligatoires avec les contraintes et intérêts nationaux. De ce fait, les domaines de suivi requis par le programme ICP Forests pour les sites de niveau II constituent tous également des suivis jugés utiles au plan national (cf 1^{ère} évaluation du réseau) et valorisés en tant que tels. De plus au sein de chaque domaine, les paramètres requis sont aussi valorisés pour la plupart à l'échelle nationale. La principale exception est certainement l'analyse d'éléments extraits à l'eau régale pour les sols, domaine cependant où les différences internationales de nomenclatures et de méthodes de référence sont historiquement nombreuses.

Les coûts de participation du réseau RENECOFOR au programme ICP Forests sont par ailleurs limités.

- La transmission annuelle des données au programme ICP Forests représente un effort d'environ 10 jours de travail par an.
- En termes de déplacements, la participation du réseau RENECOFOR aux instances du programme ICP Forests nécessite de l'ordre de 3 réunions internationales par an, parfois déléguées à des représentants extérieurs auxquels l'ONF rembourse les frais de mission (J.L. Dupouey, L. Bourjot, M. Jonard).
- La participation des laboratoires d'analyse prestataires du réseau RENECOFOR aux exercices d'intercomparaison requiert des frais moyens annuels de l'ordre de 600 €. Il est à noter que les laboratoires eux-mêmes trouvent leur intérêt dans la participation au programme d'assurance qualité ICP Forests et en prennent en charge les coûts. Cette implication est également illustrée par l'organisation par le laboratoire USRAVE (INRA Bordeaux) de la réunion des chefs de laboratoires européens de 2011 à Arcachon.

Il est d'ailleurs à noter que la France n'a pas accueilli de réunion de groupe d'expert ni de Task Force depuis 2002.

Dans l'ensemble, l'intégration au programme ICP Forests ne se réduit pas à la somme des contributions nationales mais apporte des bénéfices originaux à l'échelle européenne. L'effort de mutualisation aura sans doute bien plus profité collectivement aux réseaux nationaux qu'elle ne leur aura coûté individuellement.

IV.B Relations avec les autres dispositifs nationaux

IV.B.1 Positionnement général

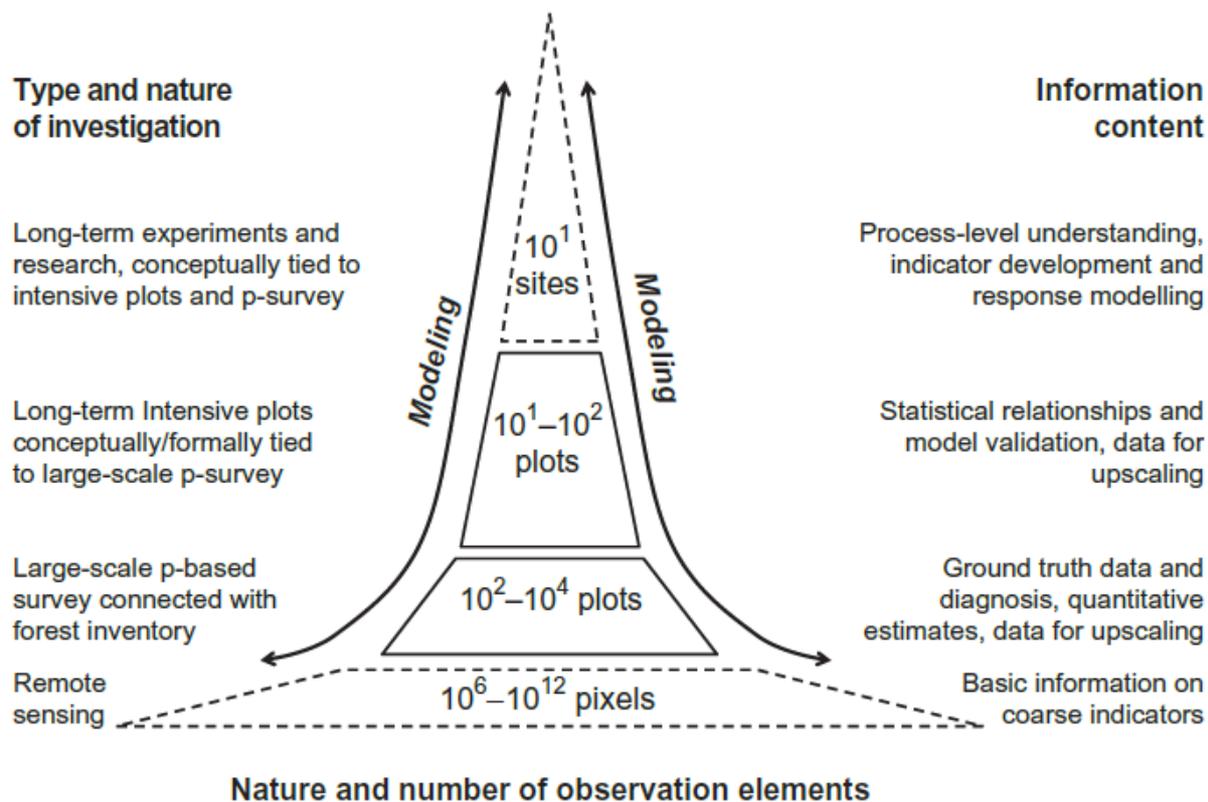


Figure 10 (extraite de Ferretti et Fischer, 2013) : Schematic representation of a four elements hierarchical monitoring system. The width of the elements is proportional to their sampling density; the height to their data intensity. Arrows represent the modeling for upscale-downscale results.

Entre la compréhension fine des processus par la recherche et l'acquisition spatialement continue de paramètres intégrateurs par la télédétection, la figure 10 illustre le rôle clé des réseaux de suivi intensifs et extensifs dans le monitoring environnemental.

A l'échelle nationale, RENECOFOR est le seul réseau de suivi intensif – i.e. multi-domaine – des écosystèmes forestiers. Ce faisant, il se distingue des autres dispositifs sur plusieurs aspects :

- il constitue le seul réseau national de suivi de nombreux paramètres (phénologie des arbres forestiers, nutrition foliaire, production de biomasse foliaire et de fruits, symptômes dus à l'ozone...), en permettant même la spatialisation nationale des dépôts atmosphériques hors couvert et des paramètres phénologiques ;

- il présente une capacité unique de mise en relation des différentes composantes de l'écosystème entre elles et avec les facteurs externes (climat, pollutions atmosphériques, gestion forestière) – cf *III.A.2.1 Approches corrélatives* ;
- il présente également une capacité unique de validation à large échelle de modèles mécanistes permettant de simuler les cycles biogéochimiques et la réponse floristique à des scénarios combinés d'évolution des dépôts atmosphériques, de changements climatiques et de pratiques de gestion – cf *III.A.2.2 Alimentation et validation de modèles mécanistes*.

Par contraste, les autres réseaux de suivi nationaux se focalisent sur une composante environnementale particulière : le DSF se focalise sur la santé des arbres, l'IFN sur le suivi dendrométrique des peuplements, le RMQS sur les propriétés des sols, MERA et BRAMM sur les pollutions atmosphériques. Ils présentent en revanche des objectifs et des apports complémentaires de RENECOFOR, par la représentation statistique des variations spatiales (IFN, DSF, RMQS) et/ou par l'élargissement des thématiques (ex : autres occupations des sols que la forêt, autres types de pollutions...) et/ou par des méthodes de collecte répondant à d'autres utilisations des données (ex : mode et fréquence de collecte de dépôts atmosphériques différents sur le réseau MERA pour répondre aux besoins spécifiques de modélisation du programme EMEP). Quant au SOERE F-ORE-T, il se situe principalement au niveau de la recherche et de la compréhension des processus. Il fédère des sites ateliers lourdement instrumentés et donc peu nombreux, auxquels le réseau RENECOFOR apporte typiquement un jeu de validation de modèles sur des sites beaucoup plus nombreux et couvrant une large gamme de conditions écologiques.

Par ailleurs, RENECOFOR se distingue par la qualité et la continuité de ses données au cours du temps, qui lui confèrent une capacité rare de détection de tendances temporelles. Il se distingue également des réseaux de suivi extensifs par sa capacité de mise en évidence de tendances et relations significatives à l'échelle de chaque site.

En corollaire, dans l'hypothèse où le réseau RENECOFOR devrait être arrêté, ce sont tous les apports spécifiques listés ci-dessus qui seraient abandonnés au détriment des connaissances forestières françaises et une lacune notable qui serait engendrée à l'échelle européenne.

IV.B.2 Analyse des relations avec chaque dispositif

IV.B.2.1 Département de la santé des forêts (DSF)

Objectifs et positionnement par rapport à RENECOFOR

Sur le fond, le positionnement du réseau RENECOFOR par rapport aux deux réseaux gérés par le DSF n'a pas changé depuis leur mise en place décrite par Barthod (1994) – cf *I.A.3 Positionnement initial du réseau RENECOFOR dans le monitoring de la santé des forêts français et européen*. Le réseau des Correspondants-Observateurs assure une veille sanitaire sur toute la France mais ne permet de mesurer des évolutions que pour certains pathogènes bénéficiant de suivis spécifiques. Le réseau de suivi systématique des dommages forestiers vise quant à lui un suivi quantifié de l'état sanitaire des arbres sur des placettes permanentes réparties un maillage systématique de 16 km x 16 km (monitoring extensif, niveau I du programme ICP Forests) ; il a bénéficié également d'une caractérisation écologique de sol et de flore mais dont le protocole et la mise en œuvre n'ont pas permis de rechercher d'évolutions temporelles avec la répétition réalisée dans le cadre du programme Biosoil. Ce programme Biosoil, financé par l'Union européenne, aura néanmoins permis de disposer d'un second inventaire extensif de la qualité des sols de meilleure qualité à l'échelle européenne (De Vos et Cools, 2011).

Le réseau RENECOFOR apporte à ces réseaux des objectifs complémentaires dans la compréhension des variations d'état sanitaire observés. L'utilisation des mêmes méthodes d'observation par arbre facilite le transfert de résultats entre suivis intensif et extensif. Ainsi les résultats du réseau RENECOFOR sur la qualité des observations de déficit foliaire, les facteurs explicatifs de ses variations temporelles (Ferretti et al. 2013b) et sa relation avec l'accroissement des arbres (Ferretti et al. 2013a) sont-ils directement utiles pour étayer les observations menées sur le réseau systématique de suivi des dommages forestiers. Réciproquement, les résultats de ce dernier permettent de confirmer les tendances temporelles de déficit foliaire mesurées sur le réseau RENECOFOR et particulièrement inattendues quant à la différence de réponse des chênes sessile et pédonculé après la sécheresse-canicule de 2003 (ONF, 2011).

Synergies avec RENECOFOR

Les synergies sont nombreuses dans la collecte des données de santé des arbres des 3 réseaux.

- Le protocole d'observation par arbre est le même (DSF, 2011).
- Les opérateurs sont les mêmes pour les forêts publiques et formés de la même manière par le DSF. Les mêmes exercices d'intercalibration servent aux notations du réseau systématique et du réseau RENECOFOR.
- La saisie bénéficie des mêmes formulaires, de la même interface Internet, et de la même validation assurée par le DSF.
- Les programmes annuels de notation sont organisés conjointement par le DSF ; l'équipe de coordination du réseau RENECOFOR complète les informations données aux correspondants-observateurs sur ses sites (liste des numéros d'arbres à noter, remarques particulières provenant des agents responsables des sites).

Redondances avec RENECOFOR

Aucune. Le Réseau systématique de suivi des dommages forestiers et RENECOFOR visent tous deux un suivi temporel de l'état sanitaire des arbres mais leurs approches extensive et intensive diffèrent et se complètent.

IV.B.2.2 Inventaire Forestier National (IFN)

Objectifs et positionnement par rapport à RENECOFOR

L'inventaire Forestier National (IFN), désormais intégré à l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN), est chargé de l'inventaire permanent des ressources forestières nationales, indépendamment de toute question de propriété (article R. 521-1 du code forestier). Il s'attache essentiellement à des paramètres de dendrométrie, les mesures ayant été complétées par des relevés floristiques et pédologiques depuis les années 1990 et de quelques paramètres phytosanitaires depuis 2005. Le principal apport de l'inventaire réside dans son caractère systématique dans l'espace à l'échelle nationale, basé sur une procédure d'échantillonnage statistique (placettes non permanentes), garante de la représentativité des différents types de forêts et des gradients environnementaux couverts. Chaque cycle d'inventaire nécessite entre 10 et 12 ans, la première couverture nationale ayant été achevée en 1980. En 2004, la méthode d'échantillonnage a été révisée pour produire des résultats actualisés plus fréquemment (en particulier suite à des événements exceptionnels) et disponibles à différentes échelles spatiales : l'échantillonnage département par département a été remplacé par un sondage systématique couvrant l'ensemble du territoire chaque année avec une plus faible densité de points.

L'utilisation des données de l'IFN dans l'analyse de tendances temporelles est limitée. De fait, les changements méthodologiques opérés pour satisfaire l'évolution des besoins nuisent à l'homogénéité temporelle des données et sont un problème majeur dans la reconstitution des

évolutions passées (Charru, 2012). Le changement de méthode d'échantillonnage de 2004 a notamment posé problème à l'actualisation des Indicateurs de Gestions Durables en 2010. La thèse de Marie Charru (2012) sur l'évolution de la productivité forestière s'est également heurtée aux changements méthodologiques de l'IFN mais a néanmoins montré des possibilités d'analyse rétrospective des mesures d'accroissement. Concernant la flore, la couverture spatiale fine des relevés IFN a notamment permis l'établissement d'une carte nationale de pH du sol au pas kilométrique par application des valeurs indicatrices de la base Ecoplant (carte disponible sur le site Internet www.inventaire-forestier.ign.fr). Cependant le protocole de relevé floristique amène aussi des limites fortes pour d'éventuelles analyses temporelles, du fait par exemple de la réalisation des relevés en toutes saisons.

L'IFN a donc un objectif essentiel d'extension spatiale, a priori tout à fait complémentaire du suivi temporel méthodique et multi-domaine du réseau RENECOFOR. Aucune étude n'a été entreprise jusqu'ici en associant les données des deux réseaux mais elles pourraient par exemple être mises à profit pour confronter les observations de réponse des arbres à la sécheresse-canicule de 2003. En revanche leur complémentarité thématique est notamment illustrée par l'alimentation des Indicateurs de Gestion Durable, l'IFN étant le principal contributeur des indicateurs de ressource forestière et RENECOFOR contribuant sur l'évolution des dépôts atmosphériques et leurs effets.

Synergies avec RENECOFOR

Aucune synergie particulière, l'IFN opérant avec ses propres méthodes et opérateurs.

Redondances avec RENECOFOR

Aucune, les objectifs et les approches sont complémentaires.

IV.B.2.3 Réseau de mesure de la qualité des sols (RMQS)

Objectifs et positionnement par rapport à RENECOFOR

Le Réseau de Mesure de la Qualité des Sols (RMQS) a été mis en place en 2000 sur le même maillage extensif de 16 km x 16 km que le Réseau systématique de suivi des dommages forestiers, en l'étendant aux autres usages des sols que la forêt. Il est piloté par l'INRA mais n'est pas intégré dans un réseau européen. Son protocole diffère de celui du Réseau systématique et de RENECOFOR dans ses modes de prélèvement et ses analyses afin de correspondre aux besoins en domaine agricole : leur comparabilité peut être étudiée sur les sites forestiers du maillage 16 km x 16 km où les deux protocoles ont été appliqués. De plus le RMQS se distingue par des paramètres liés aux enjeux plus spécifiques des milieux agricoles, tels que les pollutions organiques. Il comprend aussi des mesures de biodiversité des sols, notamment sur l'ADN microbien (champignons et bactéries), qu'il pourrait être intéressant d'appliquer sur le réseau RENECOFOR en comparaison notamment des inventaires de champignons supérieurs.

Le mode d'échantillonnage par site RMQS comprend 25 répétitions de prélèvements mais une seule répétition d'analyse par couche de profondeur. Par contraste le protocole RENECOFOR compte 5 répétitions d'analyse par couche, ce qui permet de mettre en évidence des évolutions temporelles par site, comme réalisé dans l'analyse d'évolution des stocks de carbone (Jonard et al., 2013).

La première campagne de mesure du RMQS a duré de 2000 à 2009 et a notamment alimenté un rapport sur l'état des sols de France (GISSOL, 2011). Les comparaisons des propriétés des sols entre les différents usages est particulièrement intéressante : elle illustre par exemple l'occupation quasi-systématique par la forêt des sols les plus désaturés en bases. Le début de la seconde campagne est envisagé en 2015. Actuellement RENECOFOR est donc le seul réseau disposant d'analyses de sol répétées de manière comparable dans le temps.

Synergies avec RENECOFOR

Les deux réseaux fonctionnant de manière indépendante mais leurs résultats méthodologiques pourront se compléter, notamment dans la comparaison de méthodes d'analyse et les effets du stockage des échantillons en pédothèque.

Redondances avec RENECOFOR

Aucune. Les deux réseaux visent un suivi temporel des propriétés des sols mais se complètent dans leurs objectifs ainsi que dans leurs approches (extensif vs intensif). Le dispositif RENECOFOR vise essentiellement les enjeux d'acidification qui touchent spécifiquement les sols forestiers et son approche multi-domaine de l'écosystème permet d'appréhender les paramètres nécessaires à la compréhension des relations de causes à effets.

IV.B.2.4 Mesure et Evaluation en zone Rurale de la pollution Atmosphérique à longue distance (MERA)

Objectifs et positionnement par rapport à RENECOFOR

Le réseau MERA a pour objet le suivi des pollutions atmosphériques de fond (en zone rurale). Il se différencie cependant du suivi des pollutions hors couvert mené sur le sous-réseau CATAENAT par sa finalité d'alimentation des modèles de transport des polluants du programme européen EMEP.

- Outre les dépôts d'éléments majeurs, il suit d'autres polluants ciblés par les engagements européens de réduction d'émission (particules, suivi d'ozone en continu par des stations actives, composés organiques volatiles, éléments traces métalliques...).
- Ses méthodes et fréquences de collecte sont adaptées aux besoins des calculs de rétrotrajectoires. En particulier, le réseau MERA collecte spécifiquement les dépôts liés aux épisodes pluvieux (wet-only), dont les résultats ne sont pas corrélés de manière systématique à ceux de la collecte de dépôts hors couvert totaux (bulk) pratiquée sur le sous-réseau CATAENAT (Pascaud, 2013). En outre, le réseau MERA doit procéder à des répétitions temporelles plus fréquentes que le sous-réseau CATAENAT : collectes journalières et analyses chimiques par semaine.

Synergies avec RENECOFOR

Il n'y a pas de synergie dans la collecte des données, les deux réseaux ayant des protocoles et des modes de fonctionnement spécifiques. En revanche, la combinaison des mesures de dépôts des deux réseaux dans le cadre de la thèse d'Aude Pascaud (2013) a permis de confirmer les grandes tendances spatiales et temporelles observées hors couvert. L'apport des 14 sites MERA permet aussi de consolider la spatialisation des dépôts hors couvert réalisée sur des moyennes pluriannuelles des 27 sites CATAENAT, moyennant une conversion approximative des mesures wet-only en bulk.

Redondances avec RENECOFOR

Les deux réseaux ont en commun le suivi des pollutions atmosphériques en zone rurale, mais avec des finalités et des protocoles différents. De fait, les dépôts mesurés sur le sous-réseau CATAENAT ne peuvent satisfaire aux besoins du programme européen EMEP. Réciproquement, les sites MERA n'apportent pas les données nécessaires à proximité immédiate des sites RENECOFOR pour la compréhension des impacts des dépôts atmosphériques sur les écosystèmes forestiers.

La seule possibilité d'optimisation serait de déménager certains sites MERA à l'endroit de sites hors couvert où la signature chimique des dépôts hors couvert est similaire (Pascaud,

2013) et disposant de plus d'un suivi météorologique et d'une alimentation électrique fixe. Cette possibilité est donc limitée à un voire deux sites de niveau A3, avec une économie potentielle de suivi de météorologie et de concentrations d'ozone de l'ordre de 5 000 € par an et par site, à relativiser par rapport au coût de déménagement et à la rupture de suivi que cela représenterait pour les sites MERA correspondants.

IV.B.2.5 Biosurveillance des retombées atmosphériques métalliques dans les mousses (BRAMM)

Objectifs et positionnement par rapport à RENECOFOR

Face au déficit de suivi des dépôts d'éléments traces métalliques (une seule station en France, au sein du réseau MERA), le réseau BRAMM est le seul dispositif permettant de surveiller les pollutions atmosphériques métalliques sur l'ensemble de la France métropolitaine et au cours du temps. Cette surveillance répond aux engagements européens de réduction des pollutions atmosphériques et s'inscrit dans le cadre du programme international ICP Vegetation. Elle s'appuie sur la capacité de captage des métaux atmosphériques par les mousses, végétaux ne possédant pas de système racinaire et dont les tissus sont particulièrement perméables à l'eau et aux minéraux (y compris métalliques). Le dispositif BRAMM a réalisé 4 campagnes nationales en 1996, 2000, 2006 et 2011, chacune comprenant entre 449 et 536 sites visant à couvrir un maximum de mailles EMEP de 50 km x 50 km. Les analyses de métaux ont été complétées par quelques éléments majeurs lors de certaines campagnes (N, S).

Synergies avec RENECOFOR

En France, les mousses étant essentiellement présentes en forêt, les mesures BRAMM ont été réalisées sur des sites sous couvert et, quand cela a été possible, à proximité immédiate de sites RENECOFOR. Elles apportent donc un complément d'information au suivi des écosystèmes forestiers. Réciproquement, les analyses d'azote dans les mousses ont pu être corrélées aux mesures de dépôts du sous-réseau CATAENAT (Leblond, 2013).

Redondances avec RENECOFOR

Aucune, les objectifs et les approches sont complémentaires.

IV.B.2.6 SOERE F-ORE-T

Objectifs et positionnement par rapport à RENECOFOR

Le SOERE F-ORE-T est présenté sur le site Internet <http://www.gip-ecofor.org/f-ore-t/>.

A l'origine, F-ORE-T constitue un Observatoire de Recherche en Environnement (ORE) sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers. Animé par le GIP Ecofor depuis 2002, cet ORE a été labellisé en 2012 en tant que Système d'Observation et d'Expérimentation sur le long terme pour la Recherche en Environnement (SOERE) par l'Alliance nationale de recherches pour l'environnement (Allenvi). F-ORE-T rassemble désormais 15 sites fortement instrumentés - sites ateliers - (dix en France métropolitaine et cinq en zone intertropicale humide) et deux réseaux : RENECOFOR en France métropolitaine et GUYAFOR dans la bande côtière de Guyane, et constitue, à ce titre le réseau français de référence dans le domaine de l'analyse des cycles du carbone, de l'eau et des éléments minéraux en forêt. Précisément, l'observatoire vise à comprendre le fonctionnement de ces écosystèmes en analysant, notamment, les stocks et flux de carbone, d'eau et d'éléments minéraux et d'évaluer leur réponse à des modifications, qu'elles soient lentes ou rapides, naturelles ou anthropiques (climat, sylviculture, changement d'usage des terres).

Synergies avec RENECOFOR

La participation du réseau RENECOFOR au SOERE F-ORE-T est un exemple d'association du monitoring intensif à des sites de recherche pour la compréhension de processus – en l'occurrence les cycles d'eau, de carbone et d'éléments minéraux. Dans cette association, RENECOFOR fournit un jeu de validation de modèles sur des sites beaucoup plus nombreux que les sites de recherche et couvrant une large gamme de conditions écologiques en France métropolitaine.

Les fonds attribués au SOERE sont alloués au fonctionnement des sites de recherche et au financement d'analyses de données. Deux post-docs ont été recrutés sur 18 mois en 2012 sur des projets d'analyse transversaux associant les données du réseau RENECOFOR.

Redondances avec RENECOFOR

Aucune, les objectifs et les approches sont complémentaires entre sites ateliers et monitoring intensif.

IV.B.2.7 Commission des Ressources Génétiques Forestières (CRGF)

Objectifs et positionnement par rapport à RENECOFOR

La Commission des Ressources Génétiques Forestières (CRGF) est présentée sur le site Internet <http://agriculture.gouv.fr/conservation-des-ressources>.

Suite à la conférence de Strasbourg, le ministère de l'agriculture et de la pêche a mis en place dès 1991 une Commission des ressources génétiques forestières (CRGF), qui travaille sur la diversité génétique des principales espèces de la forêt française (chêne sessile, hêtre, sapin pectiné, épicéa commun, pin sylvestre, pin maritime...) ou sur des espèces disséminées, rares ou en disparition (pin de Salzmann, peuplier noir, orme, noyer royal...). Il s'agit de caractériser la diversité génétique et les capacités d'adaptation aux stress thermiques et hydriques des différentes espèces, tout en définissant une politique de conservation des écotypes les plus remarquables. Une base de données nationale, tenue par le Cemagref, recense des unités conservatoires situées sur le territoire métropolitain (principalement en forêt publique) pour les collections in situ, et en pépinières conservatoires de l'Etat pour les collections ex situ. Les unités conservatoires in situ doivent faire l'objet d'une sylviculture adaptée, précisée dans un manuel dont la rédaction a été confiée au Conservatoire génétique des arbres forestiers de l'ONF (unité mixte INRA Orléans/ONF).

Jusqu'à maintenant, RENECOFOR ne comporte aucune mesure de diversité génétique et n'a pas de lien direct avec la CRGF. A l'avenir, une caractérisation génétique des 52 arbres-observation et arbres-échantillon de chaque site est suggérée pour comparer les diversités génotypiques et phénotypiques (phénologie, santé, croissance) face aux changements environnementaux. Il conviendrait alors de discuter des méthodes à mettre en œuvre pour répondre à la fois aux besoins du réseau RENECOFOR et aux attentes potentielles de la CRGF.

Synergies avec RENECOFOR

Aucune.

Redondances avec RENECOFOR

Aucune.

IV.C Relations avec les observatoires régionaux

Les enjeux des changements environnementaux ont motivé récemment le développement d'observatoires régionaux dédiés au suivi d'impacts sur la forêt mais également l'agriculture, l'économie locale... Concernant la forêt, le développement de tels observatoires a notamment

été illustré lors d'un atelier du RMT Aforce en juin 2012 consacré aux observatoires des impacts du changement climatique sur les forêts. Cet atelier visait précisément à associer l'expérience des dispositifs nationaux comme RENECOFOR aux projets d'observatoires régionaux. En effet, si leur développement illustre la volonté louable des collectivités territoriales de s'investir dans le monitoring environnemental, il demande à être conçu dans la continuité des dispositifs nationaux et internationaux pour participer efficacement au suivi et à la compréhension de phénomènes globaux. Deux exemples sont donnés ci-dessous.

L'Observatoire Régional des Ecosystèmes Forestiers (OREF) animé depuis 2006 par le CRPF Nord Pas-de-Calais Picardie est un exemple pionnier. Il a pour objectif de suivre l'évolution des forêts face aux changements globaux et s'inscrit en prolongement régional des réseaux nationaux. A l'échelle régionale, il complète les 12 sites du Réseau systématique de suivi des dommages forestiers et 4 sites RENECOFOR par 22 sites localisés en forêt privée. Il se fonde sur les protocoles existants pour produire des données comparables de santé des arbres, de phénologie, de croissance et de composition floristique.

L'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique a été créé en janvier 2010. Il associe des partenaires des régions françaises et espagnoles de la chaîne pyrénéenne autour de 6 thématiques : climat, biodiversité, forêt, risques naturels, eau, télédétection. Sa conception a été initiée par une enquête sur les dispositifs existants. Le réseau RENECOFOR a été sollicité et a participé aux discussions préalables à la mise en place de sites d'observation forestiers.

V Auto-évaluation

V.A Synthèse des forces, faiblesses, opportunités et menaces

En guise de synthèse, un diagramme SWOT (Strengths - forces, Weaknesses - faiblesses, Opportunities - opportunités, Threats - menaces) est proposé ci-dessous.

FORCES	OPPORTUNITES
<ul style="list-style-type: none">▪ Un patrimoine de 20 ans de données et de savoir-faire unique dans le suivi des écosystèmes forestiers▪ Un potentiel de valorisation étayé et croissant avec le recul de suivi▪ Une intégration à l'échelle continentale face aux changements globaux▪ Des synergies développées avec d'autres dispositifs français (DSF, SOERE F-ORE-T, GDR Phénologie, BRAMM, OREF...)▪ Une motivation forte des agents impliqués et des partenariats externes durables▪ Un fonctionnement efficace techniquement et économiquement	<ul style="list-style-type: none">▪ Positionnement unique à l'échelle nationale dans le paysage du monitoring (suivi multi-domaine des écosystèmes) et dans le suivi de certains paramètres-clés (phénologie des arbres, nutrition foliaire, météorologie forestière, chutes de litière, symptômes dus à l'ozone...)▪ Des attentes de plus en plus diversifiées par les enjeux liés aux changements climatiques et à la biodiversité▪ Un réseau support pouvant accueillir de multiples mesures complémentaires
FAIBLESSES	MENACES
<ul style="list-style-type: none">▪ Un besoin fort de qualité et de continuité, seules garantes de l'utilité du suivi à long terme▪ La patience nécessaire à la répétition des observations à long terme : à défaut d'innovations de suivi, la motivation doit être entretenue par l'ambition des objectifs et la restitution régulière de résultats▪ Des protocoles à améliorer pour la prise en compte des dégâts de tempête et des impacts des interventions sylvicoles	<ul style="list-style-type: none">▪ Le renouvellement incertain du poste-clé de gestion de la base de données au sein de l'équipe de coordination▪ La diminution continue des effectifs de terrain de l'ONF : risques de défaut de contribution des agents, en particulier sur les sites les plus intensifs (niveau A3)▪ L'absence de garantie pluriannuelle des moyens budgétaires malgré un objectif de continuité à long terme

V.B Recommandations pour l'avenir du réseau RENECOFOR

A l'issue de ce travail d'auto-analyse, l'équipe de coordination formule les recommandations suivantes pour l'avenir du réseau RENECOFOR. Ses suggestions particulières par domaine de suivi sont listées dans l'Annexe 5.

V.B.1 Maintenir la cohérence et l'ambition des objectifs de suivi

Malgré la baisse des dépôts atmosphériques soufrés, l'acidification se poursuit sur les sites les plus sensibles. Les objectifs initiaux restent d'actualité quant à la restauration de la fertilité des sols acidifiés et quant au suivi et à la compréhension des effets complexes des dépôts azotés. Qui plus est, les inquiétudes sur l'avenir des forêts sont renforcées par les menaces liées aux changements climatiques et par les interrogations liées à l'évolution de la biodiversité. Face à ces enjeux qui se diversifient, RENECOFOR occupe une place unique dans le paysage du monitoring national, avec un patrimoine et un savoir-faire reconnus depuis 20 ans – cf *IV.B Relations avec les autres dispositifs nationaux*. Les besoins grandissants et les potentialités étayées du réseau incitent à recommander de manière générale le maintien du dispositif actuel, voire le développement de nouvelles mesures : mesures d'accroissement annuelles et caractérisation génétique des arbres-observation, suivi de l'humidité des sols des sites de niveau A3, élargissement des inventaires de biodiversité à de nouveaux groupes taxonomiques tels que les microorganismes du sol...

Plus loin, les objectifs doivent être projetés à long terme. Le monitoring est encore jeune, RENECOFOR est une expérience pionnière en France et sa pertinence devra être évaluée au-delà des 30 années de suivi prévues initialement, domaine par domaine. A la lumière des résultats obtenus, les perspectives futures du monitoring des écosystèmes forestiers devraient être développées et constituer un thème central de la prochaine évaluation prévue dans 5 ans.

V.B.2 Ne pas rogner sur la qualité du suivi

La métamorphose de 2008 a permis de réduire le budget annuel moyen de 500 000 € et les besoins humains de 3 ETP/an. Pour chaque domaine, l'effort d'échantillonnage a déjà été réduit au minimum pertinent : il est même suggéré de revenir sur certaines réductions excessives au regard des impacts sur le suivi et de l'économie marginale qu'elles ont engendrées (cf *II.A.1.2 Analyse des effets de la métamorphose*). De plus, l'optimisation du fonctionnement du réseau est déjà une préoccupation constante, dans un but d'efficacité technique vis-à-vis des agents impliqués. Elle se traduit par une efficacité économique notable au regard des coûts moyens de suivi à l'échelle européenne. Les marges de manœuvre pour réduire encore les coûts du dispositif actuel sont très limitées.

Rogner sur la qualité ou sur l'effort d'échantillonnage remettrait en question la pertinence même du suivi réalisé et sa capacité à répondre aux objectifs fixés. Quant aux domaines suivis, tous ont vis-à-vis des enjeux actuels une utilité étayée par l'analyse des valorisations. Seule la pertinence du suivi des concentrations en ozone et de leur impact sur la végétation semble discutable, dans la mesure où le niveau de pollution en zone rurale est stable depuis 10 ans à l'échelle européenne (EEA, 2012) et fait l'objet de prédictions futures à la baisse (Colette et al., 2012). Une option pourrait être de suspendre ce suivi et de réévaluer sa pertinence au regard des données d'impacts recueillies de 2000 à 2013, en association avec les données d'autres pays européens. Les moyens d'une année de suivi (environ 70 k€) pourraient permettre le financement d'une étude. L'arrêt et la reprise éventuelle du suivi ne poseraient pas de difficulté technique.

V.B.3 Poursuivre la valorisation

La valorisation des données est nécessaire à la satisfaction des objectifs de détection de tendances et de compréhension des relations de causes à effets. En pratique, elle l'est aussi à l'évaluation régulière de la pertinence du suivi et à l'entretien de la motivation des agents, moteur essentiel du réseau.

L'accélération de la production de publications depuis 2006 montre l'originalité de l'apport du monitoring et son potentiel de valorisation croissant à mesure du recul de suivi. Cela étant, malgré la contribution cruciale de la recherche, certaines études ou synthèses relèvent du développement appliqué ou d'un effort de documentation (ex : rédaction de rapports thématiques de la série jaune RENECOFOR). La prise en charge directe d'études par RENECOFOR a notamment été nécessaire pour assurer les premières analyses d'évolution et de corrélation de l'état sanitaire après 15 années de suivi (Ferretti et al., 2009 ; 2010 ; 2011 ; 2013a ; 2013b). Elle est nécessaire actuellement à la réalisation de cartes spatialisées des dépôts atmosphériques (AFConsult, 2012 ; in prep) et à l'analyse de l'évolution temporelle de la chimie des sols (Jonard et al., 2013 ; in prep). Et d'autres commandes d'études seront utiles dans des domaines peu valorisés par la recherche, notamment les inventaires dendrométriques (calculs d'accroissement des peuplements et des récoltes, évolutions et relations avec les paramètres environnementaux...) ou encore la recherche d'informations approfondies sur le contexte historique et paysager des sites.

La visibilité publique et européenne du réseau nécessite également le maintien de l'effort de communication, notamment via Internet.

V.B.4 Garantir les moyens en adéquation avec les objectifs

Quels que soient les objectifs fixés pour l'avenir, l'organisation du réseau nécessite une visibilité à long terme pour satisfaire les exigences de continuité spatiale et temporelle. Sa création a été permise par un engagement réglementaire européen mais depuis 2007 son financement dépend uniquement de conventions nationales annuelles ou au mieux bisannuelles. Les incertitudes pesant sur les effectifs ONF disponibles au plan local et au sein du Département R&D remettent aussi en cause la pertinence du calendrier de suivi établi jusqu'à 2018.

Si la poursuite du réseau RENECOFOR est jugée utile, elle doit se traduire par une planification des tâches et des moyens alloués – budgets et personnels – par pas de temps de 5 ans minimum, jusqu'à la tenue d'une nouvelle évaluation. De plus, à très court terme, la poursuite du réseau dépend du renouvellement et de la passation effective du poste de responsable de la base de données, qui sera vacant fin 2013. Il s'agit d'un enjeu critique, souligné par la 1^{ère} évaluation en 2006 et le renouvellement du poste a été demandé dès juillet 2012.

En revanche, si la poursuite du réseau devait être remise en cause ou si les moyens alloués n'étaient plus en adéquation avec les objectifs, la clôture du dispositif devrait être envisagée proprement. L'aboutissement des séries de données nécessiterait encore un minimum de 3 années de mesures (ex : inventaires dendrométriques, inventaires floristiques...) puis de mise en forme et de validation finale des résultats. De plus, à moins de leur trouver une autre finalité, les installations in situ – notamment les clôtures – nécessiteraient d'être démantelées et mises en déchetterie. Enfin au-delà de sa clôture physique, il resterait du réseau un grand potentiel de valorisation dont l'exploitation optimale nécessiterait de maintenir une équipe chargée d'organiser les analyses de données et d'assurer la mémoire du réseau, de ses données et de ses archives (documents et échantillons).

VI Citations

- AF-Consult, 2012 : Geostatistical modeling of the deposition of atmospheric pollutants in France using spatio-temporal methods, Zürich, 26 p + annexes
- Archaux F., Bergès L., 2008 : Optimising vegetation monitoring. A case study in a French lowland forest. *Environmental Monitoring and Assessment*, 141 : 19-25
- 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.
- Archaux F., Camaret S., Dupouey J.-L., Ulrich E., Corcket E., Bourjot L., Brêthes A., Chevalier R., Dobremez J.-F., Dumas Y., Dumé G., Forêt M., Forgeard F., Lebret-Gallet M., Picard J.-F., Richard F., Savoie J.-M., Seytre L., Timbal J., Touffet J., 2009: Can we reliably estimate species richness with large plots? An assessment through calibration training. *Plant Ecology*, 203 : 303-315.
- Badeau V., Ulrich E., 2008 : RENECOFOR - Etude critique de faisabilité sur : la comparabilité des données météorologiques « RENECOFOR » avec celles de Météo France, l'estimation de la réserve utile en eau du sol et le calcul des volumes d'eau drainée en vue du calcul de bilans minéraux sur les placettes du sous-réseau CATAENAT. Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique et Commercial Bois, ISBN 978 - 2 - 84207 - 323 - 7, 107 p. et 166 pages annexes.
- 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., 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, DOI 10.1007/s00468-010-0501-2
- Boulanger V., 2010 : Pression d'herbivorie et dynamique des communautés végétales : influence à court et moyen termes des populations de cervidés sur la diversité des communautés végétales en forêt. Thèse de Doctorat, Nancy, 288 p.
- Bur T., Crouau Y., Bianco A., Gandois L., Probst A. (2012)- Toxicity of Pb and of Pb/Cd combination on the springtail *Folsomia candida* in natural soils: reproduction, growth and bioaccumulation as indicators. *Science of the Total Environment*, 414, 187-197, 10.1016/j.scitotenv.2011.10.029.
- Bur T., Probst A., Bianco A., Gandois L., Crouau Y. 2010. Determining cadmium critical concentrations in natural soils Collembola mortality, reproduction and growth. *Ecotoxicology and Environmental Safety*; 73: 415-422
- 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.
- Capital Santé, 2012 : Synthèse de l'audit-diagnostic socio-organisationnel réalisé de janvier à avril 2012, 20 p.
- Charru M., 2012 : La productivité forestière dans un environnement changeant. Caractérisation multi-échelle de ses variations récentes à partir des données de l'Inventaire Forestier National (IFN) et interprétation environnementale. Thèse de doctorat, Nancy, AgroParisTech, 417 p.
- Cheab A., Badeau V., Boe J., Chuine I., Delire C., Dufrêne E., François C., Gritti E.S., Legay M., Pagé C., Thuiller W., Viovy N., Leadley P. 2012: Climate change impacts on tree ranges: model intercomparison facilitates understanding and quantification of uncertainty. *Ecology Letters*, doi: 10.1111/j.1461-0248.2012.01764.x
- Coddeville P., Ulrich E., Lanier M., Croisé L., 2008 : Quelles sont les tendances globales des dépôts atmosphériques humides en France ? *Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°4 "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR"* : 65-70.

- Colette A., Granier C., Hodnebrog , Jakobs H., Maurizi A., Nyiri A., Rao S., Amann M., Bessagnet B., D'Angiola A. et al. 2012 : Future air quality in Europe: a multi-model assessment of projected exposure to ozone. *Atmospheric Chemistry and Physics* 12, 21: 10613-10630 - hal-00707127
- Conférence ministérielle pour la protection des forêts en Europe (18-19 décembre 1990), 1991. Actes de la Conférence, Editeur : Ministère de l'Agriculture et de la Forêt (France), 258 p.
- Croisé L., Ulrich E., Duplat P., Jacquet O., 2005 : Two independent methods of mapping bulk deposition in France. *Atmospheric Environment*, 39 : 3923-3941.
- De Vos B., Cools N. 2011. Second European Forest Soil Condition Report. Volume I: Results of the BioSoil Soil Survey. INBO.R.2011.35. Research Institute for Nature and Forest, Brussel. 359 p.
- Delpierre N., Dufrêne E., Soudani K., Ulrich E., Cecchini S., Boé J., François C., 2009 : Modelling interannual and spatial variability of leaf senescence for three deciduous tree species in France. *Agricultural and Forest Meteorology/Elsevier*, 4017: doi:10.1016/j.agrformet.2008.11.014.
- Département de la Santé des Forêts, 2011 : Manuel de notation des dommages forestiers (symptômes, causes, état des cimes). Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire, 49 p.
- Dise N.B., Rothwell J.J., Gauci V., van der Salm C., de Vries W., 2009: Predicting dissolved inorganic nitrogen leaching in European forests using two independent databases. *Science of the Total Environment*, 407: 1798-1808
- Dupouey J.L., Pignard G., Badeau V., Thimonier A., Dhôte J.F., Nepveu G., Bergès L., Augusti L., Belkacem S., Nys C., 2000 : Stocks et flux de carbone dans les forêts françaises. *Revue Forestière Française* numéro spécial: 139-154.
- European Environment Agency 2012: Air quality in Europe – 2012 report, EEA Report No 4/2012, ISSN 1725-9177, ISBN: 978-92-9213-328-3, 104 p.
- Ferretti M., Bacaro G., Brunialti G., Calderisi M., Cozzi A., Maccherini S., Rocchini D., 2009: Evolution of forest condition indicators in the RENECOFOR plots and influence of environmental stressors. Final report of the feasibility study. *Terra Data Environmetrics*. 157 p.
- Ferretti M., Bacaro G., Brunialti G., Calderisi M., Frati L., Leone L., Marignani M., Santi E. 2010: Analysis of Forest Health data from the RENECOFOR plots. 2. Change and trend analysis, *Terra Data Environmetrics*. 86 p. + annexes
- Ferretti M., Bacaro G., Brunialti G., Calderisi M., Frati L., Leone L., Santi E. 2011. Analysis of Forest Health data from the RENECOFOR plots. Part 3. Relationship with environmental factors. *Terra Data Environmetrics*, 144 p.
- Ferretti M., Bacaro G., Brunialti G., Calderisi M., Frati L., Pollastrini M., 2013: Relationship between forest health and growth at the RENECOFOR plots. Part 2. Final Report. *Terra Data Environmetrics*, 64 p.
- Ferretti M., Fischer R. (eds) 2013: Forest monitoring. Methods for terrestrial investigation in Europe with an overview of North America and Asia. *Developments in Environmental Science*, Vol. 12, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 2013. ISBN: 978-0-08-098222-9
- Ferretti M., Nicolas M., Bacaro G., Brunialti G., Calderisi M., Croisé L., Frati L., Lanier M., Maccherini S., Santi E., Ulrich E., 2013: Plot scale modelling to detect size, extent, and correlates of changes of tree defoliation in French high forests. *Forest Ecology and Management*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.009>
- Gandois L., 2009 : Dynamique et bilan des Eléments Traces Métalliques (ETM) dans des écosystèmes forestiers français. Modélisation, Spéciation et Charges Critiques. Thèse de doctorat ès géochimie de l'environnement, Université de Toulouse, 245 p. + annexes
- Gerosa G., Ferretti M., Bussotti F., Rocchini D., 2007 : Estimates of ozone AOT40 from passive sampling in forest sites in South-Western Europe. *Environmental Pollution*, 145 : 629-635.
- Gis Sol, 2011 : L'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols, 188 p.
- Gritti E.S., Duputié A., Massol F. & Chuine I. (2013). Estimating consensus and associated uncertainty between inherently different species distribution models. *Methods in Ecology and Evolution*, In press.
- Guillemot J., Delpierre N., Vallet P., François C., Soudani K., Nicolas, M., Dufrêne E. 2013 : Modeling forest stand structure within a process-based model. 7th International Conference on Functional-Structural Plant Models, Saariselkä, Finland, June 9-14th 2013
- Hernandez L., 2003 : Dynamique des éléments traces métalliques dans les sols de différents écosystèmes forestiers français: origine, distribution physique et chimique et facteurs de contrôle. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, 266 p. +annexes
- Jonard M., André F., Dambrine E., Ponette Q., Ulrich E., 2009: Temporal trends in the foliar nutritional status of the French, Walloon and Luxembourg broad-leaved plots of forest monitoring. *Annales of Forest Science*, 66 : DOI: 10.1051/forest/2009014

- Jonard M., Caignet I., Ponette Q., Nicolas M., 2013 : Evolution du carbone des sols forestiers de France métropolitaine – Détection et quantification à partir des données mesurées sur le réseau RENECOFOR, Rapport préliminaire du 29/04/2013, 31p
- Jonard M., Legout A., Nicolas M., Dambrine E., Nys C., Ulrich E., van der Perre R., Ponette Q., 2012: Deterioration of Norway spruce vitality despite a sharp decline in acid deposition: a long-term integrated perspective. *Global Change Biology* 18 (2): 711–725 DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02550.x
- 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
- Lanier M., 2008 : La base de données RENECOFOR, mémoire du réseau et maillon de la chaîne d'assurance qualité. Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°4 "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR" : 34-37.
- Laubhann D., Sterba H., Reinds G.J., de Vries W., 2009. The impact of atmospheric deposition and climate on forest growth in European monitoring plots: An individual tree growth model. *Forest Ecology and Management* 258 : 1751-1761
- Leblond, 2013 : Le dispositif BRAMM. Biosurveillance des Retombées Atmosphériques Métalliques par les Mousses. Présentation orale, Murol, Réunion d'information annuelle du réseau RENECOFOR.
- Lebourgeois F., Mérian P., 2012. Principes et méthodes de la dendrochronologie, LERFOB, AgroParisTech, Centre de Nancy, 85 pages.
- Lebourgeois F., Pierrat J.-C., Perez V., Piedallu C., Cecchini S., Ulrich E, 2010 : Simulating phenological shifts in French temperate forests under two climatic change scenarios and four driving global circulation models. *International Journal of Biometeorology* 54:563–581
- Marchetto A., Mosello R., Tartari G., Tornimbeni O. Derome J., Derome K., Sorsa P., König N., Clarke N., Ulrich E., Kowalska A., 2009: Influence of QA/QC procedures on non-sampling error in deposition monitoring in forests. *Journal of Environmental Monitoring*. DOI: 10.1039/b818168n.
- Martin, H., 2009 : Caractérisation des fructifications des chênaies et hêtraies du réseau RENECOFOR. Mémoire Diplôme de l'École Pratique des Hautes Études, Université Montpellier 2, 163, rue A. Broussonet, 34 090 Montpellier, 131 p
- Mérian P., Bontemps J.-D., Bergès L., Lebourgeois F. 2011: Spatial variation and temporal instability in climate-growth relationships of sessile oak (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) under temperate conditions. *Plant Ecol* (2011) 212:1855–1871. DOI 10.1007/s11258-011-9959-2
- Mérian P., Lebourgeois F. 2011. Consequences of decreasing the number of cored trees per plot on chronology statistics and climate-growth relationships: a multispecies analysis in a temperate climate. *Can. J. For. Res.* 41: 2413–2422. doi:10.1139/X11-149
- Mérian P., Lebourgeois F., 2011: Size-mediated climate-growth relationships in temperate forests: a multi-species approach. *Forest Ecology and Management*, 261, 1382-1391
- Merlin M., 2011. Temporal variation of mycorrhizas in oak forests in France. Rapport de stage de 3ème année de licence de l'École Normale Supérieure, Imperial College & Royal Botanic Garden, 22 p.
- Meyer C. 2010. Stage de deuxième année d'ingénieur agronome à l'ONF Fontainebleau sur la comparaison de deux types de capteurs d'ozone. Montpellier Supagro, 42 p. + annexes
- Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire, 2011. Indicateurs de gestion durable des forêts françaises métropolitaines. Edition 2010. ISBN : 978-2-11-128697-9. 200 p.
- Mosello R., T. Amoriello, S. Benham, N. Clarke, J. Derome, K. Derome, G. Genouw, N. Koenig, A. Orru, G. Tartari, A. Thimonier, E. Ulrich, A.-J. Lindroos, 2008 : Validation of chemical analyses of atmospheric deposition on forested sites in Europe : 2. DOC concentration as an estimator of the organic ion charge. *Journal of Limnology*, 67, 1 : 1-14.
- Mouchot F., Trithardt P., Monzo G., Milhau F., Fiol J.-L., 2008 : Vulgarisation par les forestiers locaux. Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°4 "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR" : 144-149.
- Office National des Forêts, 2011 : Bilan patrimonial des forêts domaniales. 180 p.
- Office National des Forêts, 2012 : Département R&D. Rapport d'activité 2012. 48 p.
- Paillet Y., Cassagne N., Brun J.-J., 2010: Monitoring forest soil properties with electrical resistivity. *Biology and Fertility of Soils*, vol. 46, n°5, p. 451 – 460
- Pascaud A., 2013 : Déterminants des évolutions spatio-temporelles des retombées atmosphériques acidifiantes et eutrophisantes en France et élaboration d'un modèle de projection. Thèse de Doctorat, Mines Douai, Université Lille1, 291 p.

- Peaucelle M., 2011. Time trends in forest litterfall production and relationships with environmental changes: an exploratory approach on data collected from 1995 to 2007 in the RENECOFOR monitoring network. Rapport d'année pleine de recherche 2010-2011, Ecole Normale Supérieure de Cachan, 29 p.
- Peiffer M., Badeau V., Bréda N., Ulrich E., 2008 : RENECOFOR - Suivi de la météorologie forestière locale (France et Grand-Duché de Luxembourg) - Bilan de la période 1995-2004. Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique et Commercial Bois, ISBN 978 – 2 – 84207 – 325 – 1, 313 p.
- Piedallu C., Perez V., Gégout J.-C., Lebourgeois F., Bertrand R. 2009 : Impact potentiel du changement climatique sur la distribution de l'épicéa, du sapin, du hêtre et du chêne sessile en France, Revue forestière française, vol. 61, n°6 , pp. 567-59
- Posch M, Slootweg J., Hettelingh J.-P. (eds) 2012 : Modelling and mapping of atmospherically-induced ecosystem impacts in Europe, CCE Status Report 2012, Coordination Center for Effects, RIVM, Bilthoven (Netherlands), 144 p.
- Probst A., Bortoluzzi E., Mansat A. (2010)- National Focal Centre report: France. In Critical Loads, Dynamic Modelling and Impact Assessment in Europe of S and N and Dynamic Modelling. CCE Status report 2010, Hettelingh J.P., Posch M., Slootweg (Eds.).
- Probst A., Leguedois S. (2007)- National Focal Centre report: France. In Critical Loads of Nitrogen and Dynamic Modelling Results. CCE Progress report 2007, Slootweg J., Posch M., Hettelingh J.P. (Eds.), report N°500090001/2007, ISBN No. 97 8-90-6960-175-5, 139-143, 201p.
- Probst A., Leguedois S. (2008)- National Focal Centre report: France. In Critical Loads, Dynamic Modelling and Impact Assessment in Europe. of S and N and Dynamic Modelling. CCE Status report 2008, Hettelingh J.P., Posch M., Slootweg (Eds.), report N° 500090003/2008, ISBN No. 978-90-6960-211-0, 133-140, 234p.
- Probst A., Mansat A., Gaudio N. (2012)- National Focal Centre report: France. In Modelling and Mapping of Atmospherically-induced Ecosystem Impacts in Europe. CCE Status report 2012, Posch M., Slootweg J., Hettelingh J.P. (Eds.), 73-80, 144p., ISBN 978-90-6960-262-2
- Probst A., Obeidy C., Belyazid S., Gaudio N., Javaux B., Gégout, J.C., Alard D., Corket E., Party J. P., Gauquelin T., Mansat A., Leguédois S., Sverdrup H. (2013)-The use of VSD+, ForSAFE and VEG to evaluate plant-responses to nitrogen deposition in France In: *Critical loads for nitrogen, acidity and metals for terrestrial and aquatic ecosystems*. W de Vries and J-P Hettelingh (eds), Elsevier (in press)
- Probst A., Obeidy C., Javaux B., Bortoluzzi E. J.C. Gegout, J.L. Dupouey, Mansat A. (2012)- VALERIANE : VulnérAbiLiité des Écosystèmes à l'azote d'oRIgine Atmosphérique — Vers un modèle de charges critiques en N intégrant la protection de la biodiversité végétale du territoire français. Rapport scientifique synthétique final, Convention ADEME-CNRS n° 0962c0073, 49 p+ annexes.
- Probst A., Obeidy C., Mansat A. (2011)- National Focal Centre report: France. In Modelling Critical thresholds and temporal changes of geochemistry and vegetation diversity. CCE Status report 2011, Posch M., Slootweg, Hettelingh J.P. (Eds.), 99- 108, 186p. ISBN 978-90-6960-254-7
- Redon P.-O., Abdelouas A., Bastviken D., Cecchini S., Nicolas M., Thiry Y. 2011. Chloride and organic chlorine in forest soils: storage, residence times, and influence of ecological conditions. *Environmental Science & Technology*, 45 (17) : 7202-7208
- Saltré F., Saint-Amant R., Gritti E.S., Brewer S., Gaucherel C., Davis B.A.S. & Chuine I. (2013). Climate or migration: what limited European beech postglacial colonization? *Global Ecol. Biogeogr.*, in press.
- Samalens J.C., Guyon D., Bories N., Moisy C., Wigneron J.P., 2010. Spatio-temporal Dynamic of French Forests Phenology from MODIS and GLOBCARBON products. In proceedings of the III RAQRS International Symposium, Recent Advances in Quantitative Remote Sensing, Sobrino J.A. (Eds), p597-603.
- Sanz M. J., Calatayud V., Sanchez-Peña G., 2007 : Measures of ozone concentrations using passive sampling in forests of South Western Europe. *Environmental Pollution*, 145 : 620-628.
- Seidling W., Fischer R. 2008: Deviances from expected Ellenberg indicator values for nitrogen are related to N throughfall deposition in forests. *Ecological Indicators*, 639-646, doi:10.1016/j.ecolind.2007.09.004
- Solberg, S., Dobbertin, M., Reinds, G.J., Lange, H., Andreassen, K., Fernandez, P.G., Hildingsson, A., de Vries, W., 2009. Analyses of the impact of changes in atmospheric deposition and climate on forest growth in European monitoring plots: A stand growth approach. *Forest Ecology and Management* 258 : 1735-1750

- Soudani K., Le Maire G., Dufrêne E., François C., Delpierre N., Ulrich E., Cecchini S., 2008 : Evaluation of the onset of green-up in temperate deciduous broadleaf forests derived from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data. Remote Sensing of Environment, disponible sur www.sciencedirect.com
- Souty C., 2009. Identification des espèces et étude de la répartition des ectomycorhizes provenant de deux forêts de chênes françaises (Blois et Mormal). Rapport de stage, Agrocampus Ouest Centre de Rennes - Imperial College & Royal Botanic Garden, 29 p.
- Ulrich E., Vannière B., Duplat P., Demolis C, Guyon J.-P., 1994 : RENECOFOR - Manuel de référence n 1 pour la sélection et l'implantation des placettes permanentes ,  diteur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, 34 p.
- Van der Heijden G., Legout. A., Nicolas M., Ulrich E., Johnson D.W., Dambrine E., 2011 : Long-term sustainability of forest ecosystems on sandstone in the Vosges Mountains (France) facing atmospheric deposition and silvicultural change. Forest Ecology and Management, 261 (3) : 730-740
- Van der Salm C., de Vries W., Reinds G.J., Dise N.B., 2007: N leaching across European forests: derivation and validation of empirical relationships using data from intensive monitoring plots. Forest Ecology and Management, 238: 81-91
- van Dobben H., de Vries W. 2010: Relation between forest vegetation, atmospheric deposition and site conditions at regional and European scales. Environmental Pollution 158 (2010) 921–933, doi:10.1016/j.envpol.2009.09.015
- Waldner P., Marchetto A., Thimonier A., Schmitt M., Rogora M., Granke O., Mues V., Hansen K., Pihl-Karlsson G.,  lindra D., Clarke N., Verstraeten A., Lazdins A., Bardulis A., Schimming C., Iacoban C., Lindroos A.J., Vanguelova E., Benham S., Meesenburg H., Nicolas M., Kowalska A., Apuhtin V., Nappa U., Lachmanov Z., Neumann M., Bleeker A., Ingerslev M., Vesterval L., Minaya M., de la Cruz A., Molina J., Seidling W., Fischer U., Fischer R., Lorenz M. 2013 Trends of atmospheric deposition of nitrogen and sulphate to forests in Europe. Soumis
-  lindra D., Eler K., Hansen K., Clarke N., 2011: Report on the experimental installation of standardized throughfall collectors. Technical report Life+ QA-Depo10. Ljubljana, Slovenian Forestry Institute, 122 p. ISBN : 978-961-6425-56-8



RENECOFOR

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

2^{ème} Evaluation du réseau RENECOFOR Rapport d'auto-évaluation par l'équipe de coordination

ANNEXES

Auteurs : Manuel NICOLAS (coordinateur)
Luc CROISE
Marc LANIER
Sébastien CECCHINI

20 juin 2013

Office National des Forêts - Département Recherche et Développement
Boulevard de Constance 77300 FONTAINEBLEAU

Table des annexes

Annexe 1 : Lettre de mission pour l'évaluation du réseau RENECOFOR, adressée à la présidente du comité d'évaluation, Mme Christine FARCY, le 6 mai 2013

Annexe 2 : Rapport de la 1^{ère} évaluation scientifique daté du 14 novembre 2006 et intitulé *Evaluation du réseau RENECOFOR. Suggestions pour l'avenir*

Annexes 3.1 à 3.11 : Par domaine de suivi, mise à jour de l'analyse des résultats et perspectives scientifiques produite lors de la 1^{ère} évaluation en 2006

Annexe 3.1 Dendrométrie

Annexe 3.2 Dendrochronologie

Annexe 3.3 Observations phénologiques

Annexe 3.4 Suivis sanitaires

Annexe 3.5 Analyses foliaires

Annexe 3.6 Chutes de litière

Annexe 3.7 Sol

Annexe 3.8 Biodiversité

Annexe 3.9 Météorologie

Annexe 3.10 CATAENAT – Suivi des dépôts atmosphériques et solutions du sol

Annexe 3.11 Ozone

Annexe 4 : Réponses apportées aux suggestions listées par domaine par le comité de la 1^{ère} évaluation en 2006

Annexe 5 : Suggestions émises par domaine par l'équipe de coordination en 2013

Annexe 6 : Circulaire adressée le 3 juillet 2008 aux personnels ONF impliqués et aux utilisateurs des données au sujet de la métamorphose du réseau RENECOFOR

Annexe 7 : Note d'information émanant de l'ONF sur les raisons du retrait du projet LIFE+ FutMon, datée du 16 juillet 2009

Annexe 1

Lettre de mission pour l'évaluation du réseau RENECOFOR, adressée à la présidente du comité d'évaluation, Mme Christine FARCY, le 6 mai 2013

à **Mme Christine Farcy**
Professeur à l'Université Catholique de Louvain-la-Neuve
Vice-présidente du Comité Scientifique de l'ONF

Paris, le 6 mai 2013

N/Réf. : 20130506/R&D/1

Objet : Lettre de mission pour l'évaluation du réseau RENECOFOR

Dossier suivi par : Jean-François Dhôte
Téléphone : (+33) (0) 6 88 39 35 49
mail : jean-francois.dhote@onf.fr

Chère collègue

Nous vous remercions vivement d'avoir accepté de présider l'évaluation du réseau national de suivi à long-terme des écosystèmes forestiers (RENECOFOR), à la demande de ses quatre *parties prenantes* : l'Office national des forêts (ONF), le Ministère en charge des forêts (MAAF), le ministère en charge de l'écologie (MEDDE) et l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME). La présente lettre de mission précise le contexte de l'évaluation, ses attendus et conditions de réalisation.

Contexte de la mission

Le réseau RENECOFOR¹, créé en 1992, a pour objectif d'observer le fonctionnement des écosystèmes forestiers (cycles, état de santé, phénologie, biodiversité) en réponse aux changements environnementaux (pollutions atmosphériques, variations climatiques). Il constitue la partie française du réseau européen de monitoring intensif (niveau 2) du programme ICP Forests², créé sous l'égide de la Convention des Nations Unies sur les pollutions atmosphériques transfrontières à longue distance. Il répond aux exigences de la résolution S1 de la Conférence Ministérielle sur la Protection des Forêts en Europe et aux règlements communautaires qui se sont succédés à ce sujet de 1990 à 2006. Le réseau est financé par l'ONF, les Ministères en charge de l'agriculture et de l'écologie, l'ADEME, et l'a été jusqu'en 2006 par l'Union Européenne.

Les 102 placettes RENECOFOR sont situées dans des forêts publiques gérées, réparties dans les principaux écosystèmes forestiers selon l'essence dominante (Chênes sessile et pédonculé, Epicéa, Douglas, Hêtre, Pin sylvestre, Pin maritime, Pin laricio, Sapin et Mélèze). Le protocole, cohérent avec le manuel ICP Forests, comprend des observations dendrométriques, météorologiques, phénologiques, relatives aux cycles biogéochimiques, aux sols, à la nutrition foliaire, aux pollutions et dépôts atmosphériques, à l'état de santé des peuplements et à la biodiversité.

RENECOFOR est une composante du système d'observation F-ORE-T (Fonctionnement des écosystèmes forestiers soumis à des modifications naturelles et anthropiques), labellisé SOERE par le Conseil de l'alliance Allenvi en 2010, et dont le responsable est Laurent Saint-André (INRA Nancy). F-ORE-T³ a pour objectifs d'une part de comprendre le fonctionnement des écosystèmes en analysant les flux de carbone,

¹ <http://www.onf.fr/renecofor>

² <http://www.icp-forests.net/>

³ <http://www.gip-ecofor.org/f-ore-t/>

d'eau et d'éléments minéraux, ainsi que les processus biogéochimiques, biologiques, écologiques, physiologiques et démographiques ; d'autre part d'évaluer leur réponse à des changements, lents ou rapides, naturels ou anthropiques (climat, sylviculture, usage des terres).

Alors que les objectifs initiaux dérivait de la question de la pollution atmosphérique et que la création du réseau avait bénéficié d'un fort engagement financier européen, la première évaluation de RENECOFOR, réalisée en 2006 et 2007, a permis d'une part de répondre à l'importance croissante des enjeux changement climatique et biodiversité, d'autre part d'adapter l'effort de suivi à des moyens financiers en diminution (transformation effective du réseau réalisée en 2008). L'équipe RENECOFOR a cherché un relais de financement sous forme contractuelle, à travers le projet LIFE+ « FutMon » (2009-10). Les difficultés financières liées à la crise de 2009, la forte contrainte sur les effectifs disponibles à l'ONF et les exigences très pointilleuses de la Commission Européenne en matière de justification financière ont conduit l'ONF, après consultation de ses partenaires, à se retirer du projet FutMon.

La mise en œuvre de RENECOFOR mobilise une équipe de coordination rattachée au Département R&D⁴ de l'ONF, et le suivi des sites est réalisé par des agents de terrain rattachés aux Directions Territoriales. Outre RENECOFOR, dont l'ONF supporte les coûts de personnel (c'est-à-dire environ 60% du coût total, dans les conditions actuelles), l'établissement est opérateur de deux dispositifs nationaux d'observation ou conservation d'intérêt général : santé des forêts (correspondants-observateurs du Département Santé des Forêts), réseaux du Conservatoire des ressources génétiques forestières (CRGF).

Objectif de l'évaluation et attentes des différentes parties prenantes

L'évaluation de 2013 a pour objectifs de juger de la pertinence du réseau (conception, protocoles, activités) pour répondre aux enjeux actuels et à venir, portés par les différentes parties prenantes, et de proposer une évolution des missions et moyens après 20 ans de suivi, dans un contexte général de réduction des budgets (effectifs et fonctionnement) obligeant à mieux hiérarchiser les missions et éviter les redondances.

Les quatre parties prenantes partagent certaines attentes communes :

- vérifier l'intérêt scientifique et technique du réseau vis-à-vis des politiques publiques concernées
- expliciter ses relations (originalité, interfaces, coordination, redondances) avec les dispositifs d'observation nationaux connexes (IGN, DSF, SOERE FORET, CRGF, RMQS, BRAMM, MERA), et identifier les synergies ou économies de moyens qui peuvent être dégagées
- différencier, parmi les activités du réseau, celles qui constituent un service d'appui scientifique d'intérêt général (en précisant quels en sont les bénéficiaires actuels ou à venir), et celles qui contribuent spécifiquement à la gestion durable des forêts publiques (ces éléments devant éclairer les décisions ultérieures sur le financement du réseau)
- faire ressortir les possibilités d'adaptation du réseau pour la fourniture de nouveaux indicateurs.

Au-delà, les quatre parties prenantes ont des attentes qui leur sont plus spécifiques.

Pour les **deux ministères** (agriculture et écologie), l'évaluation doit porter sur l'adéquation du réseau avec leurs objectifs de définition d'indicateurs de suivi et d'évaluation, pertinents vis-à-vis des enjeux du changement climatique et de la biodiversité, et de la collecte de ces indicateurs. Par exemple, les données RENECOFOR sont actuellement utilisées dans le cadre d'études sur la connaissance des flux de carbone des sols forestiers.

Pour le **MAAF**, les données issues du réseau RENECOFOR sont utilisées pour renseigner les indicateurs de gestion durable des forêts françaises métropolitaines, publiés tous les 5 ans dans le cadre de la conférence ministérielle pour la protection des forêts en Europe (notamment critère 2, « Maintien de la santé et de la

⁴ priorités de R&D pour le contrat État-ONF-FNCOFOR 2012-16 : adapter la gestion forestière au changement climatique ; accroître la disponibilité et l'utilisation de la biomasse forestière pour les produits à base de bois et l'énergie ; élargir et conforter les bases de la gestion durable multifonctionnelle ; développer des produits et procédés innovants pour des marchés et demandes sociales en évolution

vitalité des écosystèmes forestiers »). Les nouveaux besoins sur lesquels le MAAF souhaiterait connaître les capacités de réponse du réseau portent sur

- l'alimentation en données à long terme pour renseigner des indicateurs de l'évolution des forêts sous l'effet du changement climatique, en lien avec Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (actions 2.3 et 2.4 du volet forêt), avec le projet SICFOR confié au GIP Ecofor et avec les indicateurs de gestion durable
- l'évolution de la productivité des forêts, de la fertilité des sols, des stocks de carbone dans différents compartiments de l'écosystème et leur corrélation avec les paramètres environnementaux
- quelles informations le réseau est-il capable de fournir, seul ou en synergie avec des réseaux d'observation existants, quant aux impacts sur les forêts des changements globaux, en particulier climatiques ?

Enfin, le MAAF souhaiterait que l'évaluation soit l'occasion de réfléchir sur les conditions organisationnelles qui permettraient à l'ONF de mobiliser des fonds européens dans le cadre d'un futur projet de type Life+ en complément du soutien des financeurs actuels.

Pour le **MEDDE**, les données RENECOFOR sont utilisées annuellement dans les inventaires d'émissions, par la direction générale de l'énergie et du climat. Pour l'avenir, les besoins identifiés et questions quant aux capacités du réseau à y répondre portent sur

- l'alimentation en données à long-terme des futurs indicateurs de l'Observatoire national de la biodiversité (ONB) et l'élaboration éventuelle de nouveaux protocoles d'inventaire standardisés
- l'évaluation de la viabilité d'une stratégie d'atténuation et d'adaptation aux changements globaux fondée sur l'hypothèse d'un effet d'assurance de la diversité : le réseau pourrait-il, et à quel coût, éclairer le lien entre biodiversité et résilience/stabilité/résistance des écosystèmes, notamment pour les fonctions de production primaire, stockage de carbone, recyclage des nutriments ou régénération ?
- le suivi de la régénération (quantité et/ou succès par essence) pour anticiper les effets des changements globaux en tenant compte notamment des réponses différenciées apportées par les différents stades de développement.

Pour l'**ADEME**, le réseau RENECOFOR possède des capacités très intéressantes d'observatoire des forêts les plus sensibles, vis-à-vis des effets de la pollution atmosphérique. En particulier, la connaissance des dépôts azotés hors et sous couvert permet de mieux comprendre le cycle complexe de l'azote dans les écosystèmes forestiers. Il y a aussi un intérêt plus global à acquérir des connaissances précises sur le fonctionnement des écosystèmes pour mieux les préserver, car les forêts jouent entre autre un rôle dans le bilan du carbone et contribuent à la régulation du climat.

L'**ADEME** (Service Évaluation de la Qualité de l'Air) a récemment revu son soutien à des travaux dans le domaine de la pollution atmosphérique longue distance. Les observatoires (BRAMM, MERA, RENECOFOR/CATAENAT) et les points focaux nationaux pour les charges critiques⁵ fournissent de manière pérenne des données pertinentes, de qualité et jugées fiables, qui servent à l'élaboration et à la révision des protocoles de réduction des émissions de polluants atmosphériques. Au regard d'enjeux grandissants (concentrations dans l'air ambiant pour certains polluants, croisement avec les effets du changement climatique...), l'**ADEME** estime que le réseau RENECOFOR devrait contribuer, via au moins un suivi quinquennal, au suivi des niveaux d'ozone (polluant photochimique complexe et 3^{ème} gaz à effet de serre). Il pourrait également être intéressant de renseigner la capacité des écosystèmes forestiers à émettre des Composés Organiques Biogéniques. Pour les cinq années à venir, l'**ADEME** envisage de poursuivre son soutien au sous-réseau CATAENAT, pour un montant examiné chaque année selon ses disponibilités financières. Le Service Agriculture et Forêt et le Service Climat peuvent aussi être intéressés par des résultats du réseau.

Pour l'**ADEME** enfin, il est également important de suivre annuellement les travaux réalisés par le réseau RENECOFOR au sein d'une structure de type Comité Scientifique, et de pérenniser la mise à disposition des données pour les communautés de chercheurs et l'État par un accès en ligne à la base de données.

Pour l'**ONF**, les deux objectifs spécifiques de l'évaluation sont

⁵ dépôt de polluants atmosphériques maximal admissible avant l'apparition d'effets indésirables significatifs

- d'examiner quels bénéfices sont apportés par le caractère européen du dispositif de monitoring, en regard des contraintes d'harmonisation qu'il induit
- de distinguer, autant que possible, pour les nouveaux indicateurs envisagés : dans quels cas le réseau RENECOFOR constitue l'observatoire qui fournira les indicateurs recherchés, et dans quels cas on demande seulement à l'équipe-support de tester la faisabilité et construire la méthode de recueil d'un nouvel indicateur (ce recueil étant alors confié à un autre observatoire).

Résultats attendus et conditions de réalisation de l'évaluation

L'évaluation porte d'une part sur les travaux réalisés par le réseau RENECOFOR depuis 2007 (volet rétrospectif), d'autre part sur les propositions d'évolution à partir de 2013 (volet prospectif). Elle s'appuie sur le document (Birot & Landmann, 2008⁶) redéfinissant les objectifs du réseau issu de la précédente évaluation, ainsi que sur un rapport d'activité et d'auto-analyse portant sur la période 2007-12, qui sera remis le 20 juin à la Commission d'évaluation que vous présidez.

Nous attendons plus spécialement vos avis et suggestions sur les questions suivantes, concernant l'évaluation de la période récente :

1. Evaluation scientifique et technique
 - Pertinence du suivi mené au regard des objectifs du réseau et de l'évolution des connaissances
 - Volume et qualité de la diffusion scientifique et technique des résultats du réseau
 - Suggestions d'amélioration concernant les méthodes et la valorisation des données
 - Apports originaux et plus-value du réseau
2. Analyse des apports et potentialités par phénomène
 - Réaction des écosystèmes aux évolutions climatiques
 - Cycle des éléments nutritifs en relation avec les dépôts atmosphériques
 - Evolution de la biodiversité
3. Gestion du réseau
 - Efforts d'optimisation du suivi
 - Base de données (sûreté, cohérence, « propreté »)
 - Assurance qualité / contrôle qualité
 - Acquisition des données par sous-traitance
 - Communication externe (fourniture de données, site Internet, expositions, supports de présentation...)
 - Développement des relations avec les organismes de recherche autour du réseau
4. Évaluation du rapport coûts/bénéfices du réseau, au regard notamment de l'utilisation des données actuellement constatée.

⁶ 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

Pour la partie plus prospective de l'évaluation, vos avis se baseront sur les attentes des parties prenantes, exprimées dans la présente lettre de mission ; sur les propositions de l'équipe de coordination du réseau ; enfin, sur vos propres analyses et votre connaissance du contexte scientifique et technique concernant le monitoring des écosystèmes forestiers.

Nous attendons plus spécialement vos avis et suggestions sur les questions suivantes :

- Apparaît-il, dans l'évolution de l'état de l'art scientifique et/ou de la demande des parties prenantes, des variables nouvelles à observer sur le réseau RENECOFOR (*ie* non suivies par ailleurs et pour lesquelles le réseau est particulièrement adapté) ? Symétriquement, faut-il abandonner certaines variables actuellement relevées ? Faut-il adapter des protocoles pour plus de pertinence et/ou d'efficacité ?
- Positionnement par rapport aux autres dispositifs d'observation nationaux (IGN, DSF, SOERE FORET, CRGF, RMQS, BRAMM, MERA) : la place de RENECOFOR dans le dispositif est-elle claire ? Y a-t-il des redondances ? Faudrait-il adapter les objectifs et/ou méthodes de RENECOFOR pour favoriser des synergies ou économies de moyens entre ces différents dispositifs ?
- Positionnement par rapport au monitoring européen : l'harmonisation des méthodes et la centralisation des données donnent-elles lieu à des restitutions suffisantes à destination des pays contributeurs ? Faudrait-il demander des évolutions de méthode ?
- Positionnement par rapport à l'observatoire national de la biodiversité : avec les données actuellement relevées, le réseau RENECOFOR peut-il fournir, seul ou en association avec d'autres observatoires, des indicateurs nationaux originaux et pertinents sur l'évolution à long terme des écosystèmes forestiers ? Quelles évolutions marginales pourraient être envisagées le cas échéant pour permettre ou optimiser cette fourniture d'indicateurs ?
- Certaines observations pourraient-elles être obtenues par sous-traitance sans remise en cause de la qualité et sans en alourdir le coût ?

L'adéquation entre missions et moyens sera un élément central de la discussion entre parties prenantes qui prolongera votre évaluation. À cet égard, nous attirons votre attention sur le fait que la mise en œuvre des réductions d'effectifs ONF en application du Contrat État-ONF-FNCOFOR 2012-16 prévoit la suppression d'environ 690 postes sur 9500 pour tout l'établissement ; cet objectif va se traduire par la suppression de 4 postes sur 53 pour le Département R&D dans sa configuration au 31 décembre 2012. Par conséquent, l'ensemble des propositions formulées dans la partie prospective de l'évaluation devront être évaluées au regard des coûts/bénéfices retirés.

Il vous appartient de réunir une commission rassemblant les compétences nécessaires, présider à ses travaux et définir les modalités de l'évaluation (visite, interlocuteurs à mobiliser parmi l'équipe permanente du réseau, les agents responsables de sites, les scientifiques collaborateurs réguliers...). Les parties prenantes souhaitent que vous remettiez vos conclusions le 30 septembre 2013, de manière que le Comité Scientifique ONF (où elles seront invitées) puisse en débattre lors de sa séance du 26 novembre 2013.

Le Département R&D est chargé de vous assister pour l'organisation pratique, le secrétariat, la production des documents de travail et le suivi du calendrier ; il financera les dépenses correspondantes.

En vous remerciant à nouveau par avance, je vous prie d'agréer, Madame la vice-présidente, l'expression de mes meilleurs sentiments

Le Directeur Général de l'ONF

Pascal VINÉ

Annexe 2

Rapport de la 1ère évaluation scientifique daté du 14 novembre 2006
Evaluation du réseau RENECOFOR. Suggestions pour l'avenir

EVALUATION DU RESEAU RENECOFOR

SUGGESTIONS POUR L'AVENIR.

14 novembre 2006

Sommaire :

Contexte du travail.....	6
<i>Le comité.....</i>	<i>6</i>
<i>Rappel du questionnaire initial.....</i>	<i>6</i>
Les points saillants des suggestions	8
A.1 Dendrométrie	10
<i>A11 Résultats obtenus.....</i>	<i>10</i>
Les données produites :.....	10
Méthodologie :.....	10
La valorisation des données	10
<i>A12 Perspectives.....</i>	<i>11</i>
Perspectives scientifiques	11
Suggestions méthodologiques.....	11
<i>A13 Annexe : liste bibliographique indicative.....</i>	<i>12</i>
A.2 Dendrochronologie	13
<i>A21 Résultats obtenus.....</i>	<i>13</i>
Les données produites	13
La valorisation des données	13
<i>A22 Perspectives.....</i>	<i>14</i>
Perspectives scientifiques	14
Suggestions méthodologiques.....	14
<i>Annexe : liste bibliographique indicative.....</i>	<i>14</i>
A.3 Observations phénologiques.....	16
<i>Résultats obtenus.....</i>	<i>16</i>
Les données produites	16
La valorisation des données	16
<i>Perspectives.....</i>	<i>17</i>
<i>Annexe : liste bibliographique indicative.....</i>	<i>18</i>
A.4 Suivis sanitaires	19
<i>A41 Résultats obtenus.....</i>	<i>19</i>
Les données produites	19
La valorisation des données	19
<i>A42 Perspectives.....</i>	<i>20</i>
Perspectives scientifiques	20
Suggestions méthodologiques.....	20
<i>Annexe : liste bibliographique indicative.....</i>	<i>21</i>
A.5 Analyses foliaires.....	22
<i>A51 Résultats obtenus.....</i>	<i>22</i>
Les données produites	22
La valorisation des données	22

<i>A52 Perspectives</i>	22
Perspectives scientifiques	22
Suggestions méthodologiques.....	22
<i>Annexe : liste bibliographique indicative</i>	23
A.6 Litières	24
<i>A61 Résultats obtenus</i>	24
Les données produites	24
La valorisation des données	24
<i>A62 Perspectives</i>	24
Perspectives scientifiques	24
Suggestions méthodologiques.....	25
<i>Annexe : liste bibliographique indicative</i>	25
A.7 Sols : descriptions et analyses	27
<i>A71 Résultats obtenus</i>	27
Les données produites	27
La valorisation des données	27
<i>A72 Perspectives : un dispositif unique, à renforcer</i>	28
Perspectives scientifiques	28
Suggestions méthodologiques.....	28
<i>Annexe : liste bibliographique indicative</i>	29
A.8 Inventaire de la composition floristique et inventaire mycologique	30
<i>A81 Résultats obtenus</i>	30
Les données produites	30
La valorisation des données	30
<i>A82 Perspectives</i>	30
Perspectives scientifiques	30
Suggestions méthodologiques.....	31
<i>Annexe : liste bibliographique indicative</i>	32
A.9 Météorologie	33
<i>A91 Résultats obtenus</i>	33
Les données produites	33
Méthodologie :.....	33
La valorisation des données	33
<i>A92 Perspectives</i>	33
Perspectives scientifiques	33
<i>A93 Suggestions méthodologiques</i>	34
<i>Annexe : liste bibliographique indicative</i>	34
A.10 Cataenat : Suivi des dépôts atmosphériques et solutions du sols.....	36
<i>A10 1 Résultats obtenus</i>	36
Les données produites	36
La valorisation des données	37
<i>A10 2 Perspectives</i>	38
Perspectives scientifiques	38
Suggestions méthodologiques.....	39

<i>Annexe : liste bibliographique indicative.....</i>	<i>40</i>
A.11 Concentration en ozone et dégâts d'ozone	43
<i>A11.1 Résultats obtenus.....</i>	<i>43</i>
Les données produites	43
Organisation et méthodologie :.....	43
La valorisation des données	44
<i>A11.2 Perspectives.....</i>	<i>44</i>
<i>Annexe : liste bibliographique indicative.....</i>	<i>44</i>
Manuels de référence (dernière version à jour).....	44
Rapports scientifiques dans la série RENECOFOR.....	44
Autres rapports scientifiques.....	44
Article dans des revues sans comité de lecture	45
A.12 Gestion technique, administrative et financière du réseau	46
B.1 Réexamen des questions posées au réseau.....	48
<i>B11 Evolution des questions et intérêt général de RENECOFOR dans le cadre d'un questionnaire mouvant</i>	<i>48</i>
<i>B12 Les questions posées à l'origine du réseau et leur intérêt actuel</i>	<i>49.</i>
La pollution atmosphérique et ses effets.....	49
Les autres facteurs.....	50
<i>B13 Le sens qu'un tel réseau peut avoir pour le gestionnaire.....</i>	<i>50</i>
B.2 Les apports originaux du réseau	52
<i>B21 Une base de référence et un repère en matière de qualité.....</i>	<i>52</i>
<i>B22 Les apports originaux du réseau dans les différents domainess.....</i>	<i>52</i>
Dépôts atmosphériques	52
Domaine floristique	53
Phénologie	53
Fonctionnement des sols	53
Nutrition minérale	53
Ozone	53
Météorologie	53
B.3 Propositions d'évolution du réseau	54
<i>B31 Recommandations générales.....</i>	<i>54</i>
<i>B32 Par thèmes.....</i>	<i>55</i>
Suivi sanitaire	55
Suivi dendrométrique	55
Analyses foliaires	55
Description et analyse des sols	55
Collecte et analyse des litières, et détermination de l'indice foliaire	56
Observations phénologiques	56
Dépôts atmosphériques	57
Solutions du sol.....	57
Météorologie et hydrologie forestière	58
Les métaux.....	58
Ozone	58
Suivi de la biodiversité.....	59
La question des enclos.....	59
L'opportunité de conduire des manipulations d'écosystèmes associées aux placettes	59

B.4 Couplages et interfaces avec d'autres réseaux	61
Dendrométrie	61
Sol	61
Dépôts	61
Flore	61
Phénologie	62
Suivi sanitaire	62
Suivi météorologique.....	62
 B.5 Communication, accès au données, valorisation	 63
<i>B51 Les constats</i>	<i>63</i>
Une information de qualité	63
Une valorisation en cours	63
Un accès aux données à développer.....	63
<i>B52 Les propositions.....</i>	<i>64</i>
Sécuriser la base de données.....	64
Cibler la communication.....	64
Il est nécessaire d'analyser la communication en fonction des cibles :	64
Faire connaître la valeur ajoutée.....	64
Renforcer la capacité de pilotage du réseau.....	65
 B.6 Croisement des données.....	 66
<i>B61 Les difficultés</i>	<i>66</i>
<i>B62 Quelques suggestions.....</i>	<i>66</i>
Dendrométrie	67
Dendrochronologie	67
Flore	67
Phénologie	67
Sols	67

Le comité remercie Erwin Ulrich et toute son équipe qui ont su mettre à disposition toutes les informations nécessaires à une analyse dans les meilleures conditions.

Contexte du travail

Le comité

Ce travail a été réalisé sur l'initiative de l'office national des forêts. Il est le résultat d'investigations et de débats d'un comité d'évaluation dont la composition est la suivante :

Anne Probst,	CNRS
Anne-Marie Bastrupt-Birk	Centre commun de recherches, Direction de la recherche- Commission Européenne
Myriam Legay	ONF/INRA Nancy
François Lebourgeois	ENGREF Nancy
Guy Landmann	GIP ECOFOR
Jacques Ranger	INRA Nancy
Jean-Luc Dupouey	INRA Nancy
Franck Jacobée	MEDD DNP.

Le document a été structuré à partir d'un questionnaire formalisé par l'ONF en mai 2006 et rappelé ci dessous. Une synthèse des suggestions avec la mention de leur degré d'urgence et de leur nature (*relevant davantage de projets ou relevant plus fondamentalement du monitoring*) a été dressée sous forme de tableau en annexe.

Les travaux ont été conduits essentiellement durant l'été et l'automne 2006, rythmés par trois regroupements : lancement le 19/05/06, première formalisation les 11 et 12/06/06, réunion de fin de rédaction le 19/09/06.

Rappel du questionnaire initial

Volume et qualité de la production du réseau :

- 1. Evaluer les résultats techniques et scientifiques du réseau, en relation avec les objectifs fixés à l'origine, et les besoins de la recherche (ayant conduit à la création du réseau) pour étudier l'évolution du fonctionnement des forêts. Domaine par domaine, le réseau est-il en passe de répondre aux questions posées initialement ?*
- 2. Pour chaque domaine d'observation et d'étude du réseau, en prenant en compte l'ensemble de la période de suivi, les publications et analyses de données qui existent ou sont en cours à ce jour : les résultats à mi-parcours sont-ils à la hauteur des attentes ? Sinon que doit-on faire pour améliorer la situation ?*
- 3. La base de données : seul élément de valeur à long terme, est-elle à la hauteur de l'enjeu du suivi ?*

Niveau d'efficience du réseau pour atteindre les résultats :

- 4. La gestion technique du réseau : les moyens les plus appropriés ont-ils été utilisés afin de répondre à la demande de l'UE/ICP-Forests et de la conférence ministérielle de Strasbourg en 1990 ?*

5. *La gestion administrative du réseau et son efficacité.*
6. *La gestion financière du réseau : les résultats sont-ils à la hauteur de l'investissement sur la période 1991-2005 ?*

Revisiter les questions posées au réseau :

7. *Les questions posées à l'origine sont-elles toujours d'actualité? Quelles sont les questions actuelles à fort enjeu auxquelles le réseau (seul ou couplé avec d'autres dispositifs) est susceptible d'apporter une contribution déterminante (adaptation au changement climatique, bilan de carbone, charges critiques en métaux lourds, ...) ?*

Les apports originaux du réseau :

8. *Identifier quels sont actuellement les apports originaux du réseau RENECOFOR, au plan national et européen, pour la gestion et pour la recherche, soit en tant que tel, soit couplé avec des réseaux extensifs de monitoring (IFN, réseau européen, etc.), soit avec des sites ateliers.*
9. *Même question, mais à la lumière des enjeux actuels : quels pourraient être, avec des évolutions à proposer, les apports originaux du réseau RENECOFOR ?*

Propositions éventuelles d'évolution du réseau :

10. *Quelles adaptations seraient à prévoir pour mieux répondre aux nouvelles questions posées, tout en continuant à répondre aux engagements internationaux de la France et en restant cohérent avec les longues séries de données déjà acquises? Comment pourrait-on améliorer la gouvernance du réseau ?*
11. *Quels allègements du dispositif pourraient raisonnablement être envisagés dans chaque domaine, si le financement des bailleurs de fonds devait être réduit ?*
12. *Quelles interfaces avec d'autres réseaux d'observation et les sites ateliers sont à développer, de manière à produire plus d'informations par une meilleure synergie ?*
13. *Comment améliorer la communication, la politique d'accès aux données, et finalement la valorisation des données de RENECOFOR ?*
14. *Comment les données sont-elles intégrées au sein du réseau, au sens de leurs liens dans la mise en évidence des causes à effets ?*

Les points importants et suggestions essentielles

Tout d'abord, le comité fait le constat d'une grande qualité de la gestion du réseau et des données RENECOFOR qui résultent d'un effort important en matière de qualité (*intercalibrations, traçabilité, rigueur des manuels de formation...*). Il est manifeste que ce fait contribue à améliorer la qualité des réseaux en France. Toute l'équipe de coordination du réseau, les services techniques territoriaux et les agents de terrain responsables des sites y sont incontestablement pour beaucoup.

Ce réseau est unique dans le paysage du monitoring des écosystèmes forestiers en France.

Les questions posées par la société ont effectivement évolué depuis la création initiale de ce réseau. Néanmoins, les variables suivies caractérisent les grandes lignes du fonctionnement des écosystèmes forestiers. Le re-positionnement du questionnement ne remet donc pas fondamentalement en cause le suivi qui est actuellement réalisé.

Un recalibrage éventuel pour des impératifs d'économie pourrait être conduit en s'appuyant sur plusieurs réflexions :

- Les données ont une variabilité inter-annuelle (parfois forte) avec une tendance significative ou non à plus long terme. Il est important de distinguer les variables selon cette tendance à long terme, pour optimiser la fréquence de leurs mesures ;
- Pour certaines variables, l'alternance de séries de mesures complètes 5 années durant, puis absence de mesures pendant 5 ans est quelque-fois préférable à une alternance biennale, pour mieux caractériser la variabilité annuelle et l'auto-corrélation entre années consécutives.;
- Le réseau pourrait être re-visité selon les critères d'échantillonnage « sol / essence / climat » et les doublons, situations proches ou rares, identifiés. Un « noyau dur » (cf. B.3.1) de quelques 10/12 placettes pourrait ainsi être identifié, sur lesquelles les mesures seraient effectuées de façon plus complète, en continu, tandis que la fréquence des mesures pourrait être moindre sur le reste du réseau (ou, de la même façon, sur un sous-échantillon de ces dernières). Cette distinction concerne plus particulièrement les mesures de dépôts, de solution des sols, d'analyse foliaire et de relevés de litières (*Cf tableau synthétique en caractère gras et rouge*).
- Le croisement de données de différents domaines est encore limité pour un certain nombre de raisons pratiques (échantillonnage, jeunesse relative du réseau...). Cependant, une approche systématique des possibilités de croisements, conduite par exemple au sein du comité scientifique du réseau sous la supervision du comité scientifique de l'ONF et couplant les compétences scientifiques des différents domaines, pourrait contribuer à stimuler ce type d'analyses ;
- Le support de la base de données a été développé sur PARADOX, logiciel dont la pérennité n'est pas assurée. Il se présente donc une perspective de travail important de re-écriture pour assurer la pérennité de la base de données ;
- Un accès aisé aux données est un facteur important de valorisation de la base de données. Il serait intéressant de suivre le ratio du nombre de demandes d'accès satisfaites sur le nombre de demandes d'accès et d'en analyser les résultats pour s'assurer une optimisation de ces aspects ;
- En matière de communication, le porté à connaissance des principaux résultats dans le monde professionnel pourrait être recherché par l'édition des principaux rapports récents, en mutualisant par exemple cette démarche avec d'autres organismes (IFN, GIP ECOFOR, ...).



Synthèse par thème
Approche des questions 1 à 6
Volume et qualité de la production,
Niveau d'efficiences et résultats,
Perspectives.

A.1 Dendrométrie

A.1.1 Résultats obtenus

Les données produites :

Dans le manuel de référence Dendrométrie n°1, les objectifs des données dendrométriques sont définis ainsi : « Dans le cadre du suivi intensif des écosystèmes forestiers français et européens, les données dendrométriques ont un double rôle. Elles ont pour but d'une part, d'apprécier la productivité des peuplements et d'autre part, de déterminer le niveau et les variations de deux facteurs de croissance importants que sont la concurrence (passée et actuelle) et la fertilité. A terme l'objectif est de déterminer un (ou des) indice(s) de vitalité ou de productivité ».

Méthodologie :

Mis en œuvre tous les 5 ans, le protocole comporte deux volets :

- **Inventaire en plein de la placette** (au seuil de 15 cm de circonférence, appartenance à l'étage principal vivant précisée). Réalisé également systématiquement avant et après chaque éclaircie ;
- Suivi individuel des 52 tiges numérotées :
 - statut social
 - circonférence (à partir de 15 cm et à 0,5 cm près), selon directives du réseau européen
 - hauteur totale (à 0,5 m près)
 - hauteur de la base du houppier (mesure obligatoire au plan européen)
 - hauteur d'insertion de la première grosse branche vivante ($D \geq 3$ cm)
 - rayon de l'enveloppe convexe du houppier dans 8 directions (à 0,1 m près)

Ce protocole est à mettre en relation avec des obligations réglementaires limitées, définies par le règlement CE 1091/94 (« mesures de l'accroissement ») : nombre d'arbres de la placette, âge moyen de l'étage dominant, essence principale et rendement (estimation).

La valorisation des données

La dendrométrie permet dans RENECOFOR de décrire l'une des variables de « réponse » à différentes contraintes. S'il s'agit de réaliser des études sur la croissance en tant que telle, d'autres bases de données (IFN, placettes de sylviculture) constituent des sources beaucoup plus riches et de nature à conduire à des publications scientifiques. C'est dans le croisement des variables (effets des contraintes sur la croissance) que la donnée dendrométrique prend toute son importance au sein du réseau. Ainsi, la seule publication valorisant les données dendrométriques recueillies systématiquement dans le cadre du réseau est le rapport Cluzeau

et al. (1998), consistant en une description et un examen critique des données recueillies, avec une fiche par placette et une synthèse.

Par ailleurs, des données spécifiques ont été recueillies sur 5 placettes de Douglas, dans le cadre du travail de Quentin Ponette, et ont été valorisées dans les travaux de Ponette, Ranger et coll.

Enfin, les données dendrométriques ont été utilisées dans les articles exploitant les données dendrochronologiques, pour le calcul des caractéristiques générales des peuplements (ce qui illustre typiquement leur intérêt documentaire), l'analyse de la nutrition foliaire (Croisé et al., 1999) et les synthèses individuelles par placettes disponibles sur le site Internet du réseau (n=21, S. Cecchini).

La faible utilisation des données du niveau II européen pour l'analyse des changements de productivité soulève la question de l'intérêt de ces données dendrométriques par rapport aux objectifs généraux du réseau. Des résultats ont été acquis sur les relations cerne-climat, mais à partir de l'échantillonnage dendrochronologique. De même des analyses sont en cours, à partir de ce même type de données, sur l'impact de la sécheresse 2003 (François Lebourgeois, en collaboration avec le WSL). En fait, les données dendrométriques semblent avoir un intérêt de nature documentaire (enregistrement de l'état des placettes), plutôt qu'un intérêt propre. Cependant, le faible nombre de placettes permanentes suivi en France pour la recherche leur donne une valeur intrinsèque.

A.1.2 Perspectives

Perspectives scientifiques : une valorisation plus systématique à entreprendre

Les données dendrométriques acquises mériteraient plus de valorisation :

- Mise en relation de la croissance avec les facteurs du milieu (nutrition...), ou encore avec les charges critiques.
- Confrontation du diagnostic pédologique avec la fertilité, mesurée à l'aide du couple (hauteur, âge) : certains hiatus mis en évidence dans le rapport Cluzeau, mériteraient d'être analysés de façon approfondie.
- Il conviendrait d'évaluer l'intérêt des données relatives à la mortalité, en principe bien renseignées dans RENECOFOR.

Suggestions méthodologiques

Clarification :

Ce protocole a connu un certain nombre d'évolution méthodologiques pertinentes, mais conduisant à une formulation un peu touffue, qui gagnerait à être éclaircie (risque de confusion entre « arbre-échantillon » (=pour l'échantillonnage foliaire) et « tiges-échantillons » (d'une catégorie dimensionnelle pour une essence dans une strate).

Enrichissement du protocole ?

L'intérêt de mesures en continu du diamètre au moyen de colliers a été discuté. Le coût de ces mesures est élevé (du fait de la collecte automatique d'un grand nombre de données). Un bruit important affecte ces données, qui en pratique ne sont pas valorisables à une fréquence plus élevée que l'hebdomadaire, qui a l'intérêt de pouvoir être mise en relation avec la phénologie.

Ce type d'approche pourrait être mené de façon ponctuelle (cela ne correspond pas à des problématiques centrales pour RENECOFOR).

Allègement du protocole

Le comité propose l'abaissement de la fréquence des mesures à **un passage tous les dix ans**, du moins pour les peuplements matures non ouverts.

A13 Annexe : liste bibliographique indicative

Rapports scientifiques & documents internes

- C. Cluzeau, E. Ulrich, M. Lanier, F. Garnier, 1998 : RENECOFOR - Interprétation des mesures dendrométriques de 1991 à 1995 des 102 peuplements du réseau. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 151 - 4, 309 p.
- L. Croisé, C. Cluzeau, E. Ulrich, M. Lanier, A. Gomez, 1999 : RENECOFOR - Interprétation des analyses foliaires réalisées dans les 102 peuplements du réseau entre 1993 et 1997 et premières évaluations interdisciplinaires. Editeur : Office National des Forêts, Département Recherche et Développement, ISBN 2-84207-189-1, 413 p.

A.2 Dendrochronologie

A.2.1 Résultats obtenus

Les données produites

Le volet dendrochronologique du réseau RENECOFOR a concerné la période 1995-1999. Il est donc officiellement terminé depuis environ 6 ans même si des articles sont encore actuellement en cours de publication. Le premier volet (1995-1997) a constitué en l'échantillonnage des 102 sites (26 à 30 arbres par site, plus de 3000 au total), à la constitution de la base de données de cernes (près de 226 000) et à une première analyse visant à apporter des éléments d'information quant à l'histoire des peuplements avant la constitution du réseau : âge des arbres, niveau de croissance, effet des éclaircies, années à croissances particulières (particulièrement forte ou faible), etc. Le second volet entrepris entre 1997 à 1999 sur un sous-échantillon de 40 sites a permis d'analyser le déterminisme climatique des variations de croissance radiale de quatre essences importantes du réseau : chênes, hêtre, sapin pectiné et épicéa commun.

Le réseau RENECOFOR constitue une **base de données dendrochronologiques unique** en France, aussi bien par le nombre des essences considérées que leur répartition spatiale. L'ensemble des analyses menées pendant ces dernières années ont permis de répondre d'une façon tout à fait satisfaisante aux objectifs initiaux fixés : connaissance plus approfondie des écosystèmes forestiers et de leurs réactivités vis-à-vis des facteurs du milieu. Ainsi, à partir de l'analyse des cernes, de très nombreuses informations ont été fournies aussi bien à la communauté forestière des praticiens (données sur l'anatomie du cerne, sur les niveaux de croissance radiale, sur la réactivité des arbres aux éclaircies, etc.) qu'à la communauté scientifique s'intéressant aux effets du climat sur les écosystèmes forestiers. Les données disponibles ont permis de dégager, sur une large échelle spatiale et temporelle, les facteurs climatiques prépondérants pour la croissance d'essences aux caractéristiques écologiques tranchées et de comparer leur sensibilité. Par exemple, les sensibilités différentes du hêtre et des chênes vis-à-vis du climat moyen, mais également des événements extrêmes et le rôle de la station (effet de seuil) dans cette sensibilité ont ainsi été mis clairement en évidence. Ce travail a également permis de valider à grande échelle un modèle de bilan hydrique journalier à base écophysologique caractérisant l'intensité et la durée de la sécheresse. Les apports de ce volet dendrochronologique ont donc été très importants aussi bien pour les praticiens et la gestion que pour la recherche.

La valorisation des données : un cas exemplaire

La valorisation scientifique et technique a également été très importante. Le nombre de publications s'élève à 11 (situation en novembre 2006). Elles se répartissent en 2 rapports scientifiques (dont un dans la série RENECOFOR à très large diffusion), 8 articles dans des revues à comité de lecture (5 en français, 3 en anglais) et trois articles de vulgarisation (en français). D'autres publications sont en cours de rédaction. Environ une quinzaine d'articles auront donc été publiés pour ce volet et 21 synthèses individuelles par placettes disponibles sur le site Internet du réseau. Cet exemple montre l'intérêt de constituer une équipe resserrée de chercheurs autour de RENECOFOR, et de pratiquer des échanges de personnels entre l'équipe de gestion du réseau et les équipes de recherche : maîtrisant parfaitement les protocoles, ces chercheurs sont les mieux à même de valoriser les données.

En conclusion, le volet dendrochronologique a apporté des éléments de réponse majeurs dans la meilleure compréhension des effets du climat sur la croissance des arbres (à large échelle spatiale) et sur la sensibilité différentielle des essences. Il reste totalement d'actualité et paraît encore adapté pour répondre aux préoccupations émergentes même si certaines espèces et contextes écologiques importants sont peu ou pas représentés (Charme, Châtaignier, région méditerranéenne, etc.) et certains types de gestion non abordés (peuplements irréguliers, mélangés, etc.).

A.2.2 Perspectives

Perspectives scientifiques

Il n'existe pas à l'heure actuelle **d'interface et de synergie avec d'autres dispositifs** ou d'autres bases de données en France (IFN, sites ateliers, etc.) ou en Europe. Elles pourraient cependant être envisagées dans les années futures car une meilleure connaissance de la sensibilité des essences au climat dans le cadre des changements globaux est une préoccupation majeure de la communauté forestière internationale. Le réseau apparaît donc toujours d'actualité et il est certain qu'il continuera à apporter des éléments de réponse pour ces questions émergentes. Ainsi, une étude, associant la Suisse et la France (coopération WSL-LERFOB-ONF), est actuellement en cours visant à analyser l'effet de la canicule de 2003 sur une partie des peuplements (hêtre et épicéa). Dans le futur, de **nouvelles analyses climatiques** pourraient également être entreprises (sur le pin sylvestre notamment) ainsi que des analyses croisées prenant en compte non seulement le climat mais également, par exemple, l'état sanitaire des peuplements.

Enfin, le matériel récolté dans le cadre de ces études dendrochronologiques reste disponible pour une exploitation par d'autres disciplines, comme la **dendrochimie**.

Suggestions méthodologiques

Ces prélèvements mériteraient d'être réitérés, par exemple **tous les 20 ans**. Ils présentent un réel intérêt de monitoring, même si les informations sont interprétées de façon différée (seules les données dendrochronologiques nous donnent accès aux variations de croissance interannuelles). Il serait souhaitable, par ailleurs, de prélever systématiquement des carottes sur les arbres morts.

A.2.3 Annexe : liste bibliographique indicative

Articles dans des revues à Comité de lecture

LEBOURGEOIS F., ULRICH E., PONCE R., 1998. Réactivité d'arbres âgés à l'ouverture du peuplement. Quelques exemples livrés par l'étude des placettes du réseau RENECOFOR. *Revue Forestière Française*, 50(2), 139-148.

LEBOURGEOIS F., 1999. Les chênes sessile et pédonculé (*Quercus petraea* Liebl. et *Quercus robur* L.) dans le réseau RENECOFOR : rythme de croissance radiale, anatomie du bois, de l'aubier et de l'écorce. *Revue Forestière Française*, 51(4), 522-536.

LEBOURGEOIS F., GRANIER A., BREDI N., 2001. Une analyse des changements climatiques régionaux en France entre 1956 et 1997. *Annals of Forest Science*, 58, 733-754.

- LEBOURGEOIS F., BRÉDA N., ULRICH E., GRANIER A., 2005. Climate-tree-growth relationships of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Trees*, 19 (4), 385-401.
- LEBOURGEOIS F., 2005. Approche dendroécologique de la sensibilité du hêtre (*Fagus sylvatica* L.) au climat en France et en Europe. *Revue Forestière Française*, 57 (1), 33-50.
- LEBOURGEOIS F., 2006. Sensibilité au climat des chênes sessile (*Q. petraea*) et pédonculé (*Q. robur*) dans le réseau RENECOFOR. Comparaison avec les hêtraies. *Revue Forestière Française*, 53, 1, 29-44.
- LEBOURGEOIS F., Climatic signal in annual growth variation of Silver Fir (*Abies alba* Mill.) and Spruce (*Picea abies* Karst) from the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Annals of Forest Science*, (in press)
- LEBOURGEOIS F., Réponse au climat du sapin (*Abies alba* Mill.) et de l'épicéa (*Picea abies* Karst) dans le réseau RENECOFOR. *Revue Forestière Française* (soumis)

Publications dans des revues techniques

- LEBOURGE LEBOURGEOIS F., GRANIER A., BREDA N., 1999. Une nette tendance à l'augmentation des températures en France depuis les années 1950. Les Cahiers du DSF, 1-1999 (La santé des Forêts [France] en 1998). Min. Agri., Pêche (DERF), Paris, pp. 74-77
- LEBOURGEOIS F., GRANIER A., BREDA N., 2001. Variations climatiques en France : + 1,2°C depuis 40 ans.... *Forêt-Entreprise*, 139, 3, 53-57
- LEBOURGEOIS F. Sensibilité des écosystèmes forestiers au climat : ce que nous ont appris les peuplements du RENECOFOR, Rendez-Vous-Techniques, (soumis).

Rapports scientifiques & documents internes

- LEBOURGEOIS F., 1999. Analyse du bilan hydrique et de la croissance des arbres dans le RENECOFOR, Rapport scientifique final, Union Européenne, DG VI, projet n° 9760FR0030, INRA –CEE – Unité d'Ecophysiologie Forestière, 72 pages.
- LEBOURGEOIS F., 1997. RENECOFOR - Etude dendrochronologique des 102 peuplements du réseau. Editeur : Office National de Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 075 - 5, 307 pages.

A.3 Observations phénologiques

A.3.1 Résultats obtenus

Les données produites

La phénologie désigne, au sens large, l'ensemble des particularités morphologiques du cycle de développement d'un végétal ou d'un animal, avec mention des époques de l'année correspondantes. Au sens strict, pour la végétation, c'est l'étude des relations entre les phénomènes climatiques et les caractères morphologiques externes du développement. Le champ d'étude de la phénologie consiste donc à enregistrer, dans le temps, le retour des étapes de croissance et de développement et à étudier les facteurs qui l'influencent.

Depuis ces dernières années, l'étude du cycle de développement a pris une importance croissante dans le cadre des études sur les répercussions possibles du réchauffement climatique sur la dynamique des écosystèmes forestiers. La France n'a malheureusement pas participé au réseau européen mis en place par les allemands dans les années 1960 mais dispose néanmoins d'un certain nombre de données parfois anciennes provenant de différents organismes ou d'observatoires. Au niveau des peuplements forestiers adultes en conditions naturelles, ce sont les observations réalisées depuis 1997 dans le cadre du réseau RENECOFOR qui constituent actuellement la base forestière la plus « complète » en terme de diversité d'essences (10 espèces), de répartition géographique (90 peuplements répartis sur la France entière) et du nombre d'années (1997-2006).

Cependant, la nécessité de réalisation de telles observations est apparue très vite face à notre méconnaissance des rythmes saisonniers de développement des essences forestières et au déterminisme de ces événements. Des notations « simples » de débournement et de jaunissement automnal ont donc été mises en place à partir de 1997. En 2001, une première analyse des données a été réalisée. Elle a permis de dégager les grands traits du comportement phénologique des principales essences forestières arborées. A cette période, le faible nombre d'années disponibles (1997-1999) et l'absence de données dans certains contextes n'ont pas permis une analyse fine du déterminisme climatique des différentes phases du cycle de développement des arbres. Pour répondre à ces questions, une seconde analyse a été entreprise en 2005. La variabilité spatiale et temporelle et le déterminisme climatique des cycles phénologiques ont pu être étudiés et des résultats tout à fait originaux et fondamentaux ont été obtenus.

La valorisation des données

La valorisation scientifique et technique des résultats est en cours. Le nombre de publications s'élève à 6 (situation en novembre 2006). Ils se répartissent en 2 rapports scientifiques, 1 article dans une revue à comité de lecture (en français), deux articles de vulgarisation (en français) et un chapitre d'ouvrage (projet CARBOFOR, en anglais). Deux articles scientifiques sont prévus en 2007 ainsi que l'écriture d'un rapport dans la série RENECOFOR à très large diffusion. Un poster sur les résultats de la première analyse est également disponible) et les synthèses individuelles par placettes sur le site Internet du réseau (n=21, S. Cecchini).

A.3.2 Perspectives

Les données du réseau constituent une base unique en France (et en Europe). Les résultats intéressent en premier plan la communauté scientifique nationale et internationale car la phénologie est une composante majeure des modèles globaux de fonctionnement de la végétation associés aux modèles de circulation atmosphérique. En affectant les flux d'eau et de carbone échangés avec l'atmosphère, la phénologie détermine la période d'activité photosynthétique de la végétation à feuillage. L'intérêt pour ces données est croissant et le volet phénologique va constituer dans un avenir très proche un atout majeur du réseau. **Ainsi, les mesures doivent absolument être maintenues jusqu'à 2010 (au moins) pour une meilleure compréhension des relations climat-phénologie et jusqu'en 2020 (au moins) pour une analyse des éventuelles dérives.**

L'interface avec d'autres données, d'autres bases ou d'autres réseaux est en cours avec notamment la création du Groupement de Recherche 2968 intitulé Système d'Information Phénologique pour l'Etude et la Gestion des Changements Climatiques (SIP-EGCC). Ce GDR regroupe divers organismes de recherches, de développement, d'instituts techniques, etc. Il a pour objectifs de constituer une base de données des observations phénologiques disponibles en France depuis 1880 et de poursuivre les observations. A terme, l'analyse des données devrait permettre, entre autres, de détecter des changements de comportements phénologiques et d'identifier les composantes climatiques locales, régionales et globales responsables de ces évolutions. Les protocoles mis en place pour le RENECOFOR devraient être également utilisés dans le cadre de projets plus régionaux à travers notamment les CRPF (projet pilote dans le Nord de la France).

Dans l'avenir, il est essentiel de maintenir le niveau actuel de quantité et de qualité des données récoltées. De nouvelles pistes peuvent également être envisagées concernant notamment la question des **peuplements mélangés** (phénologie différente des essences et répercussions futures sur les conditions de compétition et la dynamique du mélange ?). Aucune observation n'est faite sur les **espèces herbacées**. Là encore, les rythmes de développement des espèces forestières sont très mal connus. En liaison avec la question de la biodiversité, des traits de vie, des adaptations possibles... des observations sur cette strate pourraient être envisagées dans le futur. La meilleure connaissance des cycles pourrait apporter des éléments de réponse aux mouvements de végétation déjà observés dans certains contextes et à ceux envisagés au cours du 21^{ème} siècle par les différents modèles. Dans les modifications des relations « hôte-parasite » envisagées dans le cas du réchauffement, une meilleure connaissance des cycles de développement pourrait apporter des éléments fondamentaux vis-à-vis de la santé des forêts.

En conclusion, la phénologie va constituer un axe très important de valorisation du réseau au cours des prochaines années. Même si certaines espèces et contextes ne sont pas pris en compte, le maintien des observations est indispensable pour répondre non seulement aux interrogations des praticiens et des chercheurs mais également de l'Europe vis-à-vis de l'émergence des questions sur le changement climatique (changement de répartition des essences, de productivité, etc.).

A.3.3 Annexe : liste bibliographique indicative

Articles dans des revues à Comité de lecture

Lebourgeois F., Differt J., Granier A., Breda N., Ulrich E., 2002. Premières observations phénologiques des peuplements du réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers (RENECOFOR). *Revue Forestière Française*, 54(5), 2002, 407-418.

Publications dans des revues techniques

Lebourgeois F, Cecchini S, Chuine I, Differt J, Lanier M, Ulrich E. 2006. Observations phénologiques des arbres forestiers : concepts, intérêts et problématiques actuelles. *Rendez-Vous Techniques*, n°13, 19-22.

Lebourgeois F, Cecchini S, GODFROY P., Lanier M, PIERRAT, J.C., Ulrich E. 2006. Phénologie des peuplements du renecofor : Variabilité entre espèces et dans l'espace, et déterminisme climatique. *Rendez-Vous Techniques*, n°13, 23-26.

Chapitres d'ouvrages

F. Lebourgeois, E. Ulrich, 2006. Forest trees phenology in the French Permanent Plot Network (Renecofor). In "Response of temperate and Mediterranean forests to climate change: effects on carbon cycling, productivity and vulnerability" Edition (CARBOFOR) (à paraître).

Rapports scientifiques & documents internes

Lebourgeois F., Godfroy P., 2006. Analyse de la variabilité spatiale et temporelle et du déterminisme climatique de la phénologie des peuplements du Réseau National de Suivi à Long Terme des Ecosystèmes Forestiers (RENECOFOR). Rapport Scientifique Final, UMR LERBOB, ENGREF, Septembre 2005, 43 pages.

Differt J. 2001. Phénologie des espèces arborées. Synthèse bibliographique. Analyse des données du Réseau National de Suivi à long terme des Ecosystèmes Forestiers (RENECOFOR). Rapport scientifique-UMR ENGREF-INRA LERBOB, 2001, 97 pages + annexes.

A.4 Suivis sanitaires

A.4.1 Résultats obtenus

Les données produites

Les objectifs fixés à l'origine étaient de « suivre très précisément pendant 30 ans l'état de santé d'une centaine de peuplements tout en observant les facteurs climatiques et autres susceptibles d'influer sur leur état sanitaire » et, ce faisant, « venir à l'appui du réseau européen (16x16 km) et du réseau des correspondants-observateurs » pour élucider les causes des fluctuations de cet état de santé.

Méthodologie

Les observations consistent d'une part en une appréciation de défoliation ou coloration anormale du feuillage, d'autre part en une description des symptômes pathologiques ou entomologiques.

L'appréciation de **l'aspect du feuillage** (défoliation/coloration anormale) est cohérente avec celle effectuée du DSF, car elle est assurée au moyen des mêmes protocoles d'observation (à l'exception du choix des arbres : parcours standardisé dans les placettes du réseau 16km X16 km, versus suivi d'individus numérotés dans RENECOFOR), mis en œuvre par les mêmes personnels (correspondants-observateurs du DSF).

La description des **symptômes pathologiques ou entomologiques** a connu des évolutions méthodologiques minimales, et toujours par ajout : introduction de l'appréciation de la visibilité des houppiers à partir de la 2^{ème} version du manuel de référence (mai 1995), puis de la notion de contact latéral du houppier avec les voisins, à partir de la version 4 (juin 1997)¹. L'introduction depuis 2004 d'un protocole standardisé sur l'identification des ravageurs dans les réseaux 16 x 16 km et RENECOFOR (en anticipation légère du protocole européen) constitue une étape vers une surveillance plus pertinente sur le plan biologique.

Sur le plan de la gestion technique, par contre, une saisie centralisée des données du réseau RENECOFOR, semble avoir nui à la confrontation des données avec celles du réseau 16 x16, du fait d'un décalage entre le traitement des données par le DSF et la disponibilité des données RENECOFOR. Ce problème semble aujourd'hui réglé avec la mise au point, sous-traitée à l'IFN, d'un outil télématique de saisie. Une structuration différente de la base de données a pu concourir également à un déficit des échanges entre les deux réseaux

La valorisation des données

Ces données de suivi de l'état sanitaire des peuplements ont été valorisées de façon très partielle, par quelques publications de nature technique :

- Un tableau descriptif de l'état sanitaire des peuplements du réseau en 1994 et 1995 (en conclusion était annoncée une série d'autres rapports, qui n'ont pas été produits).

¹ A cette occasion, on peut remarquer que cette information n'a pas été dérivée du suivi dendrométrique des houppiers (fait, il est vrai, tous les 5 ans seulement).

- Des contributions au bilan annuel du Département de la santé des forêts en 1994, 1995 et 1997
- Deux études méthodologiques

Il semblerait que ces données soient aujourd'hui considérées avant tout comme d'intérêt documentaire : il s'agirait de renseigner l'histoire individuelle des tiges en vue d'une éventuelle exploitation future. Cette appréciation semble très en retrait par rapport aux objectifs initiaux du réseau. Ce recul est-il justifié ?

Aucun véritable dépérissement n'a été constaté sur le réseau RENECOFOR, et donc aucun dépérissement n'a fait l'objet d'une recherche des causes à partir des autres données relevées. Quelques mortalités ont été enregistrées, mais aucun phénomène massif qui aurait déclenché une démarche d'analyse de la causalité.

Pour les attaques diverses d'intensité variable qui ont affecté certaines placettes, aucune analyse ne semble avoir été conduite et il serait utile d'en clarifier la raison (défaut de temps ou de moyens, défaut de paramètres nécessaires à l'analyse, échantillon considéré insuffisant ?)

Le cas d'un dépérissement constaté sur le réseau 16x16 et explicité grâce au réseau RENECOFOR ne s'est pour l'instant jamais présenté. Par contre, le réseau RENECOFOR a pu contribuer à des analyses méthodologiques, notamment par le travail de Gisèle Fanget sur les indicateurs de vitalité (qui a nécessité également le recours à des données exogènes, du fait de l'interdiction de carotter des arbres numérotés).

A.4.2 Perspectives

Perspectives scientifiques

Nous suggérons de procéder à une analyse rapide des données pour repérer les problèmes sanitaires significatifs et envisager, éventuellement, une analyse des relations entre causes (phytopathologiques) et effets.

Suggestions méthodologiques

Il conviendrait de lever les éventuels obstacles restants susceptibles d'entraver l'interrogation simultanée des données DSF et des données RENECOFOR.

Pour diminuer les coûts (et rendre le recueil des données moins fastidieux), la possibilité de réduire le nombre d'arbres faisant l'objet d'un suivi sanitaire à 20 tiges, au lieu des 52 tiges numérotées, mériterait d'être étudiée. Cette mesure entraînerait certes une perte d'information à l'échelle individuelle, dont il convient d'apprécier l'impact, mais elle permettrait de recueillir une information certainement satisfaisante à l'échelle de la placette.

Enfin, nous insistons sur l'intérêt des données de mortalité : documentation des causes de mortalité des tiges, impossible à obtenir dans les autres réseaux, et prélèvement systématique d'une rondelle ou d'une carotte sur les tiges mortes (voir synthèse relative à la dendrochronologie).

A.4.3 Annexe : liste bibliographique indicative

1. Manuels de référence (dernière version à jour)

Ulrich E., Barthod C. , Bouhot-Delduc L., 1997 (4^{ème} version) : RENECOFOR - Manuel de référence n° 7 pour les observations de l'état des cimes et des symptômes pathologiques et entomologiques, placette de niveau 1, éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, 51 p.

2. Rapports scientifiques dans la série RENECOFOR

Ulrich E., Lanier M., 1996 : RENECOFOR - Etat sanitaire des peuplements du réseau en 1994 et 1995. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2-84207-047-X, 36 p.

3. Autres rapports scientifiques

Fanget G., 1998 : Etude méthodologique d'appréciation détaillée des symptômes de dommages forestiers sur des placettes de suivi des écosystèmes forestiers, rapport de stage FIF

Guyon D., Riom J., Kicin J.-L., Courrier G., 1997 : Application de la télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude et la gestion des peuplements forestiers déperissants – Rapport final du projet 92.60.FR.002 de l'Union Européenne 75 p.

4. Articles dans des revues à comité de lecture

Néant

5. Autres articles

G. Landmann, L.-M. Nageleisen, E. Ulrich, 1998 : De nouveaux éléments en faveur d'un glissement récent d'origine méthodologique dans l'appréciation visuelle des cimes des feuillus. La Santé des Forêts (France) en 1997, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (DERF-Département de la Santé des Forêts) : 74-76.

E. Ulrich, M. Lanier, 1996 : L'évolution de l'état sanitaire des peuplements du réseau RENECOFOR, La Santé des Forêts (France) en 1995, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (DERF-Département de la Santé des Forêts) : 42-44.

E. Ulrich, M. Lanier, A. Schneider, 1995 : RENECOFOR : un premier aperçu de l'état sanitaire des peuplements du réseau, La Santé des Forêts (France) en 1994, éditeur : Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation (DERF-Département de la Santé des Forêts) : 54-56.

A.5 Analyses foliaires

A.5.1 Résultats obtenus

Les données produites

La base de données RENECOFOR constitue une base de référence pour le diagnostic foliaire. L'intérêt de ces observations est double :

- conforter la base de données élaborée par Maurice Bonneau et qui ne l'a pas été depuis une dizaine d'années.
- améliorer cet index qui demeure très intéressant mais qui mérite d'être explicité et amélioré par des recherches de base. Le réseau a effectivement le potentiel pour affiner l'outil « diagnostic foliaire » moyennant quelques mesures complémentaires réalisées dans des projets spécifiques.

Comme précédemment, la chaîne - échantillonnage, prélèvements, tri, conditionnement pour l'analyse - est parfaitement réglée et gérée. La qualité des données est certifiée.

Les mesures portent sur les éléments nutritifs totaux majeurs et mineurs

La valorisation des données

Une première valorisation des données a été faite (Croisé et al., 1999 et article E.Ulrich et M.Bonneau dans les cahiers du DSF). Le travail en cours de M. Jonard vise à mettre en relation les analyses de sols et les analyses foliaires (cf. travail M.Bonneau et al. et M.Jonard en cours).

On peut penser à des traitements plus sophistiqués de ces données, en tant que telles, ou en relation avec des indicateurs sols (solutions par exemple).

A.5.2 Perspectives

Perspectives scientifiques

Plusieurs projets pourraient être entrepris dans le domaine de l'analyse foliaire :

Mesure de la masse surfacique (très utile pour les modèles à base écophysologique), complémentaire de la mesure de la masse de 1000 feuilles ou 1000 aiguilles pour éviter les erreurs de diagnostic liées aux effets dilution/concentration.

Elargir l'analyse chimique à la mesure des éléments trace métallique (ETM), ou à des composés biochimiques indicateurs (lignines ?)

Quantification des dépôts de poussières par microscopie à balayage et micro-dosage
Caractérisation biologique de la phyllosphère.

Suggestions méthodologiques

Le carbone total n'est pas mesuré. Cette mesure devrait être envisagée compte tenu de son intérêt actuel (relation C/N feuilles, litières, sols) et à long terme (évolution du C/N des feuilles en relation avec le changement climatique et la décomposition).

Un autre objet de débat porte sur les séquences d'observation, annuelles initialement, actuellement tous les deux ans. La principale auto-corrélation temporelle étant probablement celle d'une année sur l'autre, il serait plus intéressant à coût égal de réaliser des séquences de

5 ans interrompues pendant la même durée, par rapport à une alternance de périodes de mesures de deux ans tous les deux ans.

A.5.3 Annexe : liste bibliographique indicative

1. Manuels de référence (dernière version à jour)

Croisé L., Bonneau M., Ulrich E., Adrian M. et Lanier M., 2005 (troisième version): RENECOFOR - Manuel de référence n° 6 pour l'échantillonnage foliaire, la préparation des échantillons et l'analyse, placette de niveau 1, éditeur : Office National des Forêts, Département Recherche, 47 p.

2. Rapports scientifiques dans la série RENECOFOR

Croisé L., Cluzeau C., Ulrich E., Lanier M., Gomez A., 1999 : RENECOFOR - Interprétation des analyses foliaires réalisées dans les 102 peuplements du réseau entre 1993 et 1997 et premières évaluations interdisciplinaires. Editeur : Office National des Forêts, Département Recherche et Développement, ISBN 2-84207-189-1, 413 p.

3. Autres rapports scientifiques

RAS

4. Articles dans des revues à comité de lecture

Dusquesnay, J.-L. Dupouey, A. Clément, E. Ulrich, F. Le Tacon, 2000 : Spatial and temporal variability of foliar mineral concentration in beech (*Fagus sylvatica*) stands in northeastern France. *Tree Physiology*, 20 : 13-22.

5. Autres articles

Croisé L., Cluzeau C., Ulrich E., Lanier M., Gomez A., 2000 : Bilan de cinq années d'analyses foliaires sur les placettes RENECOFOR et premières analyses croisées avec la chimie des sols, la croissance et la défoliation. La Santé des Forêts (France) en 1999, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (DERF-Département de la Santé des Forêts) : 61-64.

Ulrich E., Bonneau M., 1994 : Etat nutritionnel des peuplements du réseau RENECOFOR : brève synthèse de la première année d'échantillonnage et d'analyse (1993), La Santé des Forêts (France) en 1993, éditeur : Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (DERF-Département de la Santé des Forêts) : 51-56.

A.6 Litières

A.6.1 Résultats obtenus

Les données produites

Le réseau RENECOFOR fournit une base de données unique pour étudier ce trait écologique de manière extensive. C'est une mesure indispensable pour calculer le prélèvement au sol d'un peuplement forestier et pour les études sur la décomposition et la stabilité des matières organiques du sol.

Sur le plan méthodologique, la chaîne «échantillonnage, prélèvements, tri, conditionnement pour l'analyse » sont très bien réglés et gérés. Malgré l'excellent travail accompli, plusieurs points méthodologiques restent à régler. Les prélèvements ne sont pas réalisés sur des pas de temps courts et systématiques, ce qui conduit à plusieurs difficultés. Il est difficile de calculer des retombées saisonnières et les pas de temps trop longs entre les récoltes semblent poser des problèmes quant à la conservation des échantillons dans les bacs. Le drainage imparfait pourrait se traduire par une évolution de la masse et de la composition chimique des échantillons.

Au plan des analyses, le service minimum a été réalisé pour abaisser au maximum les coûts, en particulier seules trois années ont été analysées sur l'ensemble des récoltes réalisées depuis 13 ans. De plus, les échantillons n'ont pas été conservés, ce qui exclut une analyse *a posteriori*.

Des prélèvements et mesures additionnels (nombreux) ont été réalisés pour les mesures du LAI (étude de N.Bréda, EEF Nancy).

La base de données est accessible (cf. travail de N.Bréda ou sur les litières de Douglas, Ranger et al.).

La valorisation des données

Les données ont été valorisées dans le cadre des travaux de Nathalie Bréda sur l'évaluation de l'indice foliaire des placettes du réseau (travaux ayant donné lieu à un rapport scientifique et un article dans une revue à comité de lecture), ainsi que dans le cadre des travaux de Jacques Ranger et al. sur une chronoséquence de Douglas (soit au total un rapport scientifique et 4 articles dans des revues à comité de lecture).

A.6.2 Perspectives

Perspectives scientifiques

Il faut poursuivre ces mesures pour pouvoir mettre en relation litière, productivité, développement, essences et stress.

Suggestions méthodologiques

Des possibilités de réduction des coûts

Il est possible de réduire les coûts en se concentrant sur un nombre limité d'écosystèmes et en limitant les tris (se concentrer sur les compartiments dominants, feuilles ou aiguilles et bois, bien que par nature un tel réseau doive pouvoir réaliser quelques mesures qui pourraient avoir un intérêt potentiel pour des indicateurs inexplorés (phénologie par exemple^{2*}). Il faut toutefois se donner la possibilité de saisir la variabilité interannuelle (5 années successives semblent indispensables pour accéder aux retombées moyennes annuelles et pour étudier les corrélations temporelles), la variabilité en fonction des stades de développement. **Une approche diachronique par séquences de 5 ans espacées de 5 à 10 ans est tout à fait envisageable.**

Des améliorations méthodologiques à étudier

Il faudrait conserver les échantillons, mais se pose la question du conditionnement d'échantillons volumineux avant broyage ou la question du broyage des échantillons pour les conserver.

Enfin, il conviendrait de consacrer une étude spécifique à la question de l'évolution des échantillons dans les bacs de recueil, en faisant des prélèvements hebdomadaires dans quelques écosystèmes représentatifs, afin d'optimiser le protocole de ramassage.

A.6.3 Annexe : liste bibliographique indicative

1. Manuels de référence (dernière version à jour)

Ulrich E., Lanier M. et Rouillet P., 1994 (deuxième version) : RENECOFOR - Manuel de référence n°5 pour la collecte de la litière et le traitement des échantillons recueillis, placette de niveau 1, éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, 35 p.

2. Rapports scientifiques dans la série RENECOFOR

RAS

3. Autres rapports scientifiques

Bréda N., 1998 : Détermination de l'indice de surface foliaire de placettes permanentes de suivi des écosystèmes forestiers (RENECOFOR) et proposition de protocoles de suivi à long terme. Rapport final du projet UE, DG VI, n° 95.60.FR.0030. Editeur : INRA - Nancy, Unité d'Ecophysiologie Forestière, Equipe Phytoécologie forestière, 70 p.

² L'exploration de la base de données entreprise par Luc Croisé devrait permettre de préciser cela.

4. Articles dans des revues à comité de lecture

Bréda N.J.J., 2003 : Ground-based measurements of leaf area index : a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of experimental Botany*, 54, 392 : 2403-2417.

Ranger J., Gérard F., Lindemann M., Gelhaye D., Gelhaye L., 2003 : Dynamics of litterfall in a chronosequence of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco) stands in the Beaujolais mountains (France). *Annals of Forest Science*, 30 : 475-488.

Ponette Q., Ranger J., Ottorini J.-M., Ulrich E., 2001 : Aboveground biomass and nutrient content of five Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco) stands in France. *Forest Ecology and Management*, 142 : 109-127.

Ponette Q., Ranger J., 2000 : Biomasses et minéralomasses aériennes de cinq peuplements de Douglas du réseau RENECOFOR : quantification et implications sylvicoles. *Revue Forestière Française*, 52, 2 : 115-134.

5. Autres articles

Non répertoriés

A.7 Sols : descriptions et analyses

A.7.1 Résultats obtenus

Les données produites

Les méthodes de description, d'une part, et d'échantillonnage des sols, d'autre part, sont décrites dans deux manuels de référence (voir liste ci-annexée). Les données portent sur les principales caractéristiques classiquement mesurées en science du sol pour les aspects physiques, physico-chimiques et chimiques (aucun indice biologique n'est actuellement mesuré). Les mesures prévues par les recommandations de l'UE ont été réalisées à partir de deux échantillonnages, le premier portant sur les horizons [0-40 cm] en 1995, et le second, portant sur le niveau [40 - 100 cm], en 1998.

L'échantillonnage « en grappe » est optimal pour réaliser les objectifs, si on considère la variabilité des sols et la masse raisonnable d'analyse pouvant être réalisée (tout du moins pour les profils [0-40 cm] car la profondeur [40-100 cm] n'a fait l'objet que d'analyses sur deux profils). Cet échantillonnage permet de faire l'état des lieux des placettes d'observation (qualitatif et quantitatif) et permettra, après ré-échantillonnage en suivi diachronique, d'évaluer l'évolution récente des sols. Le sous-échantillon correspondant au niveau 3 sera particulièrement intéressant puisque de nombreux autres paramètres y sont disponibles (apports atmosphériques, évolution des peuplements, solutions du sol), autorisant une explicitation des évolutions constatées.

Aucune inter-calibration n'a eu lieu pour la description des profils comme cela a été réalisé pour les inventaires floristiques. Bien que potentiellement intéressant, cela est moins important pour les sols où l'observation ne constitue pas en soi un élément définitif de diagnostic.

Les mesures ont été réalisées dans un laboratoire spécialisé agréé avec des protocoles normalisés. L'assurance qualité est particulièrement bien documentée. Toutes les informations indispensables à la traçabilité des données existent et sont répertoriées.

Les données sont rassemblées dans une base de données opérationnelle et fiable sauvegardée comme il se doit (le seul problème concerne le futur du support de cette base de données). Ces données sont accessibles aux utilisateurs pour les projets.

Les échantillons sont stockés en pédothèque ce qui représente une plus value importante pour calibrer des nouvelles analyses, voire pour rechercher des éléments nouveaux (dans la limite de la méthode utilisée).

La valorisation des données

Les données relatives aux sols ont fait l'objet de trois rapports scientifiques de la série RENECOFOR.

Ces données sont par ailleurs exploitées au niveau européen par le FIMCI.

Enfin, différentes publications valorisant les données sols du réseau ont été produites par des organismes autres que la cellule RENECOFOR ONF, ce qui n'exclut pas que la cellule RENECOFOR soit co-auteur : 12 publications dans des revues à comité de lecture, 3 dans la revue du DSF, 2 dans des revues sans comité de lecture, 14 participations à des colloques, 8 autres rapports et les synthèses individuelles par placettes sur le site Internet du réseau (n=21, S. Cecchini).

Cette utilisation des données sols est encore **modeste**, mais outre l'état des lieux, différents domaines apparaissent : comparaisons méthodologiques, charges critiques, ETM, relations plante-sols....

A.7.2 Perspectives

Perspectives scientifiques

Ces données devraient permettre de faire le point sur l'évolution récente des sols forestiers, mais pas nécessairement de manière directe et simple :

La représentativité du réseau est biaisée, mais c'était une option initiale connue, visant à représenter les principaux écosystèmes forestiers 'simples'. Les écosystèmes les plus sensibles sont sur-représentés.

L'évolution de la fertilité des sols nécessite une double approche : i- bilans et ii- ré-échantillonnage pour un suivi diachronique. Le bilan sera possible pour chaque placette de niveau 3 moyennant une association forte avec la recherche (de fait réalisée par la création d'un poste à l'interface R & D) car les flux ne sont pas quantifiables directement. Certains peuvent l'être en utilisant les outils de modélisation (immobilisation des peuplements), d'autres nécessiteront un travail plus approfondi (flux d'altération), voire des mesures complémentaires (pierrosité, humidité du sol ?).

Les conclusions quant à l'origine des évolutions éventuelles nécessiteront la prise en compte de l'effet « vieillissement des peuplements ».

Le ré-échantillonnage des sols constituera une phase très opportune et attendue, pour identifier l'évolution récente des sols forestiers, à partir d'un échantillonnage de qualité. La valorisation des données sera une étape importante pour faire le point sur l'évolution des sols forestiers, jamais évaluée en France à partir d'un échantillonnage aussi exhaustif.

La principale difficulté est d'ordre financier pour ré-analyser totalement le réseau, d'autant que pour mettre en évidence de manière indiscutable l'évolution des sols, *il ne faudra en aucun cas sacrifier la qualité des analyses ni le nombre de répétitions*. On peut imaginer une stratégie par étape, en commençant par les 17 sites de niveau 3 où le plus grand nombre de paramètres ont été récoltés et où le calcul des bilans devrait être réalisé dans des délais raisonnables. Le programme Biosol devrait permettre de financer une tranche de 9 placettes sur le court terme. Comment financer la suite de ce projet ? Il est à cet égard fortement regrettable que l'on ait opté pour un ré-échantillonnage du réseau européen (16 x 16 km) avant le réseau RENECOFOR, compte tenu du potentiel limité du réseau européen pour mettre en évidence l'évolution des sols.

Suggestions méthodologiques

La description des sols donne des informations importantes quant au fonctionnement de l'écosystème :

- profondeur et répartition de l'**enracinement** (limite de l'écosystème pour les bilans de toute nature)
- **pierrosité** (pondération des réserves des sols tant hydriques que minérales).

Ces mesures devront être réalisées lors du ré-échantillonnage (quelques mesures seront réalisées sur des placettes de niveau III dans le cadre du poste d'interface INRA-ONF).

Pour que la base de données soit optimale, il serait intéressant de prévoir l'**analyse totale multiéléments** des sols. Il est en effet du ressort d'un réseau tel que RENECOFOR de réaliser de manière prévisionnelle, outre les éléments classiquement déterminés, un maximum de micro-éléments voire des radionucléides (*il faudra à cet égard s'assurer que l'échantillonnage permet cette caractérisation, toute méthode de prélèvement étant potentiellement polluante vis-à-vis de certains éléments en traces*).

A.7.3 Annexe : liste bibliographique indicative

1. Manuels de référence (dernière version à jour)

Brêthes, avec l'aide de M. Bonneau et B. Jabiol, 1995 (deuxième version) RENECOFOR - Manuel de référence n°9 pour la description des sols, éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, 68 p.

Brêthes, E. Ulrich, M. Bonneau, avec l'aide technique de M. Lanier, 1992 (deuxième version): RENECOFOR - Manuel de référence n°4, échantillonnage des sols et des litières en grappe et préparation des échantillons, placette de niveau 1, éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, 58 p.

2. Rapports scientifiques dans la série RENECOFOR

Probst A., Hernandez L., Février C., Prudent P., Probst J.-L., Party J.-P., 2003 : Eléments traces métalliques dans les sols des écosystèmes forestiers : distribution et facteurs de contrôle – utilisation du réseau RENECOFOR. Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique, ISBN 2-84207-260-X, 69 p.

Ponette Q., Ulrich E., Brêthes A., Bonneau M., Lanier M., 1997 : RENECOFOR - Chimie des sols dans les 102 peuplements du réseau, campagne de mesures 1993/95. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 100 - X, 427 p

Brêthes, E. Ulrich (coordinateurs), 1997 : RENECOFOR - Caractéristiques pédologiques des 102 peuplements du réseau, observations de 1994/95. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 112 - 3, 573 p.

3. Autres rapports scientifiques

Néant

4. Articles dans des revues à comité de lecture

J. Ranger, V. Badeau, E. Dambrine, J.-L. Dupouey, C. Nys, M.-P. Turpault, E. Ulrich, 2000 : Evolution constatée des sols forestiers au cours des dernières décennies. *Revue Forestière Française*, n° spécial 2000 " Conséquences des changements climatiques pour la forêt et la sylviculture : 49-70.

A.8 Inventaires de la composition floristique et mycologique

A.8.1 Résultats obtenus

Les données produites

En ce qui concerne les inventaires floristiques, l'observation a été déléguée à des spécialistes, avec un fort problème de recrutement d'équipes compétentes : le choix a été fait de faire opérer diverses équipes dans chaque région, pour avoir des spécialistes à chaque fois. Trois échantillonnages ont déjà eu lieu (1995/2000/2005), dont seuls les deux premiers ont déjà été analysés, le troisième étant en cours d'analyse. Ces données n'ont pas encore livré de gros résultats à proprement dit sur les évolutions de végétation à long terme, après les deux premiers inventaires, si ce n'est une intéressante mise en évidence des effets enclos, mais **des progrès très importants sur des aspects plus méthodologiques** : (1) étude de la variabilité inter-annuelle, via un sous-ensemble de 14 placettes sur les 101, suivi annuellement et (2) les problèmes méthodologiques posés par l'observation de la végétation, en particulier la quantification des effets observateurs (4 exercices d'intercalibration).

Pour les champignons et les lichens, une première expérience sur 14 placettes a été lancée en 1996 (11 en 1997), à raison de 10 passages par an ! Continué depuis, avec rotation des placettes et diminution du nombre de passages (40 placettes en 2004). Un premier exercice d'intercalibration a eu lieu.

Globalement, les moyens mis en œuvre pour répondre aux questions posées sont adéquats en ce qui concerne la végétation phanérogame. Pour les cryptogames, le travail réalisé se situe pour l'instant encore à l'interface entre un travail de mise au point méthodologique de la méthode de relevé et un travail de monitoring proprement dit.

La base de données floristiques est, tant par sa structure que par son accès (interface Web), complètement à la hauteur des enjeux. C'est un exemple qu'il faudrait suivre pour le reste des données RENECOFOR. Un gros travail collectif a été réalisé pour la définition de la structure des données. Il y a un traçage des modifications de la base. Il manque cependant encore un certain nombre de métadonnées dans la base, afin de mieux tracer les méthodes de relevé employées.

La valorisation des données

Le nombre de publications scientifiques (dans des revues à comité de lecture) est faible. Mais 2 ou 3 projets d'articles importants sont bien avancés. Par contre, des rapports RENECOFOR complets ont été édités à la suite des 2 premières campagnes. La situation est similaire pour les champignons.

Ces données très riches mériteraient en particulier plus d'analyses croisées avec d'autres facteurs mesurés dans les placettes (dores et déjà : dendrométrie, dépôts, analyses foliaires, sols lorsqu'ils seront disponibles).

A.8.2 Perspectives

Perspectives scientifiques

RENECOFOR est en position de force pour s'intéresser à et apporter des informations sur les composantes elles-mêmes de la biodiversité (et pas seulement des « indicateurs » de

biodiversité). La végétation phanérogamique et cryptogamique fait clairement partie de ces composantes déjà prises en compte. Une perspective d'avenir est d'étendre ces études à **d'autres composantes végétales de la biodiversité**, comme les lichens, les mousses non terricoles, voire les algues (?) et d'intensifier les observations sur les champignons, en étendant à l'ensemble du réseau ce qui a été fait sur 40 placettes. L'extension de ces inventaires à des composantes animales (certains groupes d'insectes) ou microbiennes répondrait aussi dans le futur à la forte demande concernant la caractérisation de la dynamique de la biodiversité des forêts.

Dans le même esprit, les données déjà disponibles pourraient être utilisées pour **tester la valeur de certains indicateurs indirects de biodiversité** vis-à-vis de la diversité de la végétation ou des champignons : peut-on relier les variations spatiales et temporelles de diversité végétale ou cryptogamique à des facteurs clefs plus facilement mesurables ? Là encore, on revient sur la nécessité de mieux analyser et valoriser les données déjà prélevées.

Suggestions méthodologiques

Il est proposé de **réduire la fréquence des relevés de végétation**, car les variations inter-annuelles sont faibles, mais est-ce intéressant vu le faible coût de ces données ? Le principal obstacle à cette réduction est que la qualité des observations augmente fortement avec le nombre de passages.

A coût égal, il serait peut-être préférable d'échantillonner tous les 10 ans, mais en faisant 4 passages, 2 par année et pendant 2 années successives. Cela permettrait d'améliorer la qualité des relevés par rapport à la situation actuelle. Il deviendrait alors nécessaire de bien préparer le passage dans les placettes en régénération aussi, car, à cette fréquence, on ne peut se permettre de perdre un passage. On peut d'ailleurs envisager de faire passer deux équipes différentes lors des deux années successives. Ce passage à 10 ans aurait cependant plusieurs inconvénients : moindre motivation des équipes, risque d'un turn-over plus important des équipes entre chaque passage, moins bonne visibilité externe. Ces propositions sont à discuter avec l'ensemble des experts botaniques du réseau.

Pour progresser encore sur la qualité des données, On pourrait envisager de mieux sélectionner les équipes par une « qualification » préalable. Peut-être pourrait-on envisager de ne pas payer les prestataires tant que les données ne sont pas totalement prêtes (corrigées). Il faudrait être plus strict dans la planification des exercices d'intercalibration par rapport aux dates de passage dans le réseau : les exercices devraient toujours avoir lieu avant le premier relevé de printemps de l'observation Renecofor, afin qu'ils aient leur utilité maximale.

A moyen terme, il faut engager une réflexion approfondie et prendre des **décisions sur le maintien ou non des enclos**. La végétation en enclos va rapidement diverger fortement de l'exclos, et cela n'apportera plus vraiment d'informations sur l'impact du gibier *sensu stricto* sur la diversité végétale, mais plutôt sur l'impact indirect des changements d'essence qui en découleront.

Les placettes en régénération posent un problème : il faudrait préparer des layons d'accès. Il est dommage que ces stades ne puissent, le plus souvent, pas être étudiés, alors qu'ils sont très importants en termes de gestion de la biodiversité. La placette HET54a par exemple est passée de 90 espèces végétales avant tempête à 140 espèces (la plus riche de l'ensemble du réseau RENECOFOR) après la tempête de 1999.

A.8.3 Annexe : liste bibliographique indicative

1. Manuels de référence (dernière version à jour)

Dupouey J.-L., Ulrich E., Brêthes A., Coquillard F., Dobromez J.-F., Dumé G., , Forgeard F., Gauberville C., Gueugnot J., Picard J.-F., Savoie J.-M., Schmitt A., avec l'aide technique de M. Lanier, 2005 (troisième version) : RENECOFOR - Manuel de référence n°8 pour la caractérisation de la composition floristique, éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, 28 p.

2. Rapports scientifiques dans la série RENECOFOR

Camaret S., Bourjot L., Dobremez J.-F. (coordinateurs), 2004 : Suivi de la composition floristique des placettes du réseau (1994/95-2000) et élaboration d'un programme d'assurance qualité intensif. Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique, ISBN 2-84207-290-1, 86 p.

Moreau P.-A., Daillant O., Corriol G., Gueidan C., Courtecuisse R., 2002 : RENECOFOR – Inventaire des champignons supérieurs et des lichens sur 12 placettes du réseau et dans un site atelier de l'INRA/GIP ECOFOR – résultats d'un projet pilote. Editeur : Office National des Forêts, Département Recherche et Développement, ISBN 2-84207-244-8, 146p.

Dobremez J.-F., Camaret S., Bourjot L., Ulrich E., Brêthes A., Coquillard P., Dumé G., Dupouey J.-L., Forgeard F., Gauberville C., Gueugnot J., Picard J.-F., Savoie J.-M., Schmitt A., Timbal J., Touffet J., Trémolières M., 1997 : RENECOFOR - Inventaire et interprétation de la composition floristique des 101 peuplements - campagne 1994/95. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 111 - 5, 513 p.

3. Autres rapports scientifiques

Courtecuisse R., Daillant O., 1998 : Inventaire des champignons sur 11 placettes dont 10 placettes RENECOFOR, année 1997. Rapport final du projet UE, DG VI, n°96.60.FR.007.0. Editeur : Département de Botanique, Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, Université de Lille et Observatoire Mycologique, Néronde, 110 p.

Courtecuisse R., Daillant O., Gueidan C., Boissière J.-C., 1997 : Inventaire des champignons et des lichens sur 14 placettes dont 12 placettes RENECOFOR. Rapport final du projet 96.60.FR.007.0 de l'Union Européenne, DG VI, 116 p.

A.9 Météorologie

A.9.1 Résultats obtenus

Les données produites

Il existe très peu de stations météorologiques situées en forêt ou en zone forestière. D'une part les services météorologiques nationaux se concentrent sur des sites pouvant contribuer aux observations synoptiques et n'éprouvent que trop rarement d'intérêt à suivre les conditions météorologiques en forêt. D'autre part, un suivi des conditions météorologiques en forêt est primordial pour étudier et comprendre la croissance des forêts, en surveiller l'écologie ou encore en simuler le bilan hydrologique et nutritionnel. Pour ce faire, le réseau RENECOFOR a choisi d'installer un réseau de 26 stations météorologiques sur 100 stations initialement prévues (car le budget prévu pour les 100 n'était en fait qu'assez pour 26) connecté au réseau des dépôts atmosphériques de RENECOFOR. Ces stations sont placées en clairières en zone forestière, donc non gênées par le couvert forestier.

Méthodologie

Ces stations sont automatiques, bien équipées, utilisant des instruments standardisés conformes aux recommandations du manuel européen (UNECE, 1998, 1999, 2001, 2003, 2004) et aux standards de la WMO (WMO, 1993). Techniquement, le réseau météorologique est correctement géré ; la responsabilité de la gestion quotidienne du réseau revient à une société sous-traitante qui travaille efficacement tout en prenant en compte les standards. Les données temporelles sont bien intégrées, la qualité des données est contrôlée en routine selon une procédure efficace. Ainsi, au final, la gestion technique peut être considérée comme correcte.

Cependant, il serait bon d'utiliser davantage les outils de la modélisation de faciliter l'accès aux données, et de miser davantage sur les échanges avec d'autres réseaux (IFN, centres de recherche et sites ateliers).

La valorisation des données

De prime abord, parce que reliées à de nombreux processus et parce que centrales pour beaucoup de modèles, les données météorologiques provenant du réseau RENECOFOR pourraient être mieux valorisées.

De nombreuses études concernant l'état sanitaire et la croissance des forêts utilisent les données météorologiques délivrées par un institut météorologique national (Météo France). Les données propres aux sites forestiers sont alors interpolées à partir des données provenant des stations météorologiques proches mais en plaine. Au vu des gradients horizontaux entre les sites météorologiques et les parcelles (distances atteignant parfois plusieurs kms), ces mesures ne sont pas toujours représentatives car souvent trop éloignées des zones forestières.

A.9.2 Perspectives

Perspectives scientifiques

Par souci d'amélioration de la pertinence des données, RENECOFOR a choisi d'installer un réseau en zone forestière ouverte et non en forêt pour des raisons pratiques évidentes

(accessibilité ...) et de coûts. Cependant, il n'a pas été démontré que le réseau RENECOFOR serait plus représentatif du climat des parcelles forestières et, en cela, plus recommandable que le réseau Météo France. Il est donc recommandé d'effectuer des **études comparatives** des conditions météorologiques en zones forestières délivrées à partir des stations météorologiques de proximité (RENECOFOR) et par Météo France. Quelques analyses ont été effectuées (Marianne Pfeiffer) et montrent un décalage systématique entre les deux sources de données : moins de lumière, une humidité plus forte, un rayonnement plus faible pour les stations météorologiques situées en clairière.

Les données issues du réseau RENECOFOR devraient être mieux valorisées comme **validation des indices bioclimatiques**, en reliant les variations observées dans le peuplement lors de sécheresses, gels, vents forts, concernant des processus biotiques (croissance, débourrements, dynamiques de défoliation, attaques d'insectes et maladies) aux facteurs météorologiques enregistrés. Ces observations permettraient d'en étudier les effets cumulatifs. Avec 15 années d'enregistrement des données, il devient possible d'évaluer des tendances, mais 15 années supplémentaires seront nécessaires pour pouvoir constater les effets d'un changement climatique. A plus court terme, les données disponibles permettent des analyses de synthèse.

Parce que certains thèmes dévolus au réseau RENECOFOR concernent la modélisation des processus biologiques de l'écosystème forestier intégrant le sol, il serait recommandé de mesurer la **température du sol ainsi que la teneur en eau des sols** (validation et vérification des calculs de bilans hydriques) grâce à des sondes TDR à 20 et 70 cm sur sols non extrêmes, sous couvert et sur un nombre limité de placettes (dans le « noyau dur » du réseau). Des mesures **d'indice foliaire** (LAI) permettant de caractériser les différences de rayonnement hors et sous couvert, reliées aux mesures d'humidité du sol, permettraient d'affiner les bilans hydriques.

Suggestions méthodologiques

Une autre amélioration potentielle concernerait une meilleure prise en compte de la diversité des peuplements : de nombreux types de peuplements, tels ceux à dominance de châtaigniers, frênes, aulnes, ou à essences méditerranéennes, ne sont généralement pas représentés. De ce fait, la différence de structure du couvert relative aux essences dominantes devrait induire des conditions météorologiques différentes (plus largement, le biais induit par le manque de représentativité de la diversité des peuplements se répercute sur l'ensemble des thématiques de recherche RENECOFOR et limite la représentativité de l'étude aux seuls types forestiers pris en compte au sein du réseau météo RENECOFOR ; il ne permettra pas par la suite un transfert à d'autres peuplements non étudiés).

A.9.3 Annexe : liste bibliographique indicative

1. Manuels de référence (dernière version à jour)

PULSONIC (1994). Les stations météorologiques Pulsia. Manuel d'utilisation. Edition Mars 1994.

Ulrich E., Lanier M., 1993. RENECOFOR - Manuel de référence no 3 pour le fonctionnement du réseau Cataenat (Charge Acide Totale d'origine Atmosphérique dans

les Ecosystèmes Naturels Terrestres), placettes de niveaux 2 et 3. Office National des Forêts, Départements des Recherches techniques, 2eme version, 93 p.

2. Rapports scientifiques dans la série RENECOFOR

Ponette Q., Ulrich E., Collet G., Kot J., Bruno F., Lanier M., 1996 : RENECOFOR - Sous-réseau météorologique forestier. Bilan de la phase test (1994/95) et perspectives. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2-84207-037-2, 102 p.

3. Autres articles

Ponette Q. Ulrich E., Lanier M. Collet G. Kot J., Bruno F., 1997 : Le réseau météorologique RENECOFOR - fonctionnement et conception d'indicateurs bioclimatiques. La Santé des Forêts (France) en 1996, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (DERF-Département de la Santé des Forêts), 56-60.

Ulrich E., Collet G., Kot J., Bruno F., 1995 : Quel temps fait-il en forêt ? *Arborescence*, 59 : 25-28.

A.10 CATAENAT³ : Suivi des dépôts atmosphériques et solutions du sol

A.10.1 Résultats obtenus

Les données produites

Le sous-réseau CATAENAT mesure les dépôts atmosphériques hors et sous couvert forestier dans 27 peuplements forestiers et les solutions du sol à 20 et 70 cm dans 17 placettes depuis 1993.

L'objectif affiché était l'évaluation et le suivi de l'impact sur la forêt française des dépôts atmosphériques acides. Par la suite, les données du réseau ont contribué à la détermination des charges critiques de dépôts atmosphériques (acidité, azote).

Les stations équipées dites de « niveau 2 » (mesures des dépôts) et de « niveau 3 » (mesures des dépôts et des solutions de sols) présentent, dans le contexte de la forêt française, une forte représentation de sols acides et une forte représentation des peuplements résineux. Les placettes ont été choisies pour répondre à cet objectif (d'où un nombre important de stations sur la partie Est du pays), mais en intégrant la sensibilité des espèces forestières (différente selon les stations mais avec prédominance de résineux), et des types de sols (mais avec prédominance des sols acides). **Le réseau n'est donc pas représentatif des forêts françaises, l'objectif étant surtout de cibler sur les forêts les plus sensibles à la pollution acide, mais il est clairement adapté au suivi de la gamme de peuplements et de sols sensibles à ce type de pollution.**

L'équipement mis en place dans ces stations a été parfaitement adapté aux objectifs initiaux et en adéquation avec les moyens financiers. Les 27 stations de mesure de dépôts totaux d'éléments majeurs (2 jauges Owen) sont couplées aux mesures météo (3 ou 6 paramètres, à l'exception de 2 stations). 8 stations comptent aussi des mesures de dépôts humides des éléments majeurs. Quelques stations (5) ont fait l'objet de mesures de brouillard jusqu'en 1998.

Depuis décembre 1992, la collecte s'effectue par mélange de 4 collectes hebdomadaires au prorata des volumes, ce qui permet d'assurer une bonne représentativité et conservation des échantillons et de limiter la quantité d'analyse.

Les pluiolessivats sont collectés par gouttières (3 par station) et par des collecteurs à neige (identiques à ceux utilisés hors couvert). Les ruissellements le long des troncs sont actuellement recueillis dans 3 stations (sous hêtraie et une sapinière).

Les solutions du sol sont récoltées hebdomadairement depuis 12 ans dans 17 sites du réseau et analysées pour des échantillons moyens pondérés mensuels. La collecte se fait sous légère dépression (0,5 bar) par bougies céramiques sauf au Mont Aigoual (depuis 1995, plaques lysimétriques, eau gravitaire). Sont effectuées les mesures des éléments majeurs (comme pour les dépôts avec en plus Si et COD, et Fe, Al, Mn mais seulement pour les stations à sols acides depuis 1993).

Un programme assurance qualité a été mis en place dès l'origine. Ce volet, indispensable, est remarquable (tous les réseaux sont loin d'en être dotés). Il est mené de la phase d'échantillonnage (y compris la phase entretien sur le terrain), jusqu'à la transmission des données en passant par les analyses. Une formation des « opérateurs » de terrain a été mise en

³ « CATAENAT » : Charge Acide Totale d'origine Atmosphérique dans les Ecosystèmes Naturels Terrestres.

place et formalisée par des ouvrages auxquels il est possible de se référer de façon à assurer la traçabilité et l'homogénéité des opérations.

Le réseau a participé à une évaluation collective au sein du PIC Forêts en 2001 pour les dépôts et en 2002 pour les solutions de sol. Cette évaluation a été renouvelée en 2005. La qualité analytique des analyses est attestée par la mise en place régulière de protocoles assurance qualité via des protocoles internes ou des intercalibrations dans des réseaux de programmes (ex, via le NILU ou d'autres) réalisées par le laboratoire SGS Multilab (anciennement Wolff Environnement) en charge des analyses.

Les données (en nombre important puisqu'une analyse comporte au minimum 13 données brutes) génèrent un grand nombre de métadonnées. Elles sont compilées dans une base de données très bien structurée permettant des traitements et des échanges efficaces avec la communauté scientifique avec traçabilité des protocoles et des méthodes. Bien que la gestion de cette base soit aujourd'hui à repenser, pour faciliter entre autre les échanges, elle a permis de répondre à des sollicitations concrètes de données de la part de certains chercheurs.

Participation de RENECOFOR au réseau « Mousses-métaux lourds » :

Il ne s'agit pas ici d'évaluer le réseau Mousse-Métaux, qui est piloté par l'ADEME et le MNHN et s'inscrit dans une démarche européenne au sein du PIC Végétation. Le réseau RENECOFOR a des liens privilégiés avec ce réseau calé sur la grille EMEP (50kmx50km), puisqu'il sert de support pour partie en termes de stations de relevés. Trois campagnes de prélèvements de mousses ont été réalisées jusqu'ici : en 1995, en 2000 et la dernière en 2006 est en cours.

En 2006, 536 sites ont été échantillonnés au niveau national dont 63 dans les 102 placettes de RENECOFOR. 24 des 27 placettes de CATAENAT sont concernés. 14 éléments sont prévus en analyse (il y en avait 40 en 1995 et 20 en 2000).

Ce volet est particulièrement important puisque qu'il n'existe pas de données de dépôts de métaux mesurés dans CATAENAT. Toutefois il est encore difficile de substituer des mesures directes de dépôts aux données de métaux enregistrées par les mousses.

Cette volonté de coordination entre réseaux est très bienvenue et mérite d'être soulignée. Même si elle n'est pas toujours aisée (repérage des sites, coordination entre agents ONF et « préleveurs » sur les sites, présence des mousses références à découvert etc...), elle devrait être poursuivie car elle permet d'avoir des informations complémentaires sur l'environnement des données de dépôts.

Avec les progrès scientifiques, on peut imaginer qu'il soit possible d'arriver à une quantification *a posteriori* des données de dépôts à partir des enregistrements des mousses dans les stations concernées.

La valorisation des données : un travail très important au plan scientifique sur les dépôts hors couvert, à compléter et à vulgariser

Le nombre de publications est relativement important : une soixantaine de publications et de communications à des congrès scientifiques. Parmi celles-ci, 13 publications ont été réalisées dans des revues scientifiques internationales à comité de lecture ; ces publications concernent la partie dépôts surtout et la partie sol (davantage que solutions du sol). Côté dépôts, les publications portent essentiellement sur les dépôts totaux hors couvert. Sont traités l'analyse ponctuelle de la qualité des précipitations et des dépôts d'éléments associés, l'analyse des

tendances, revisitée sur plusieurs périodes (une analyse sur 15 ans serait maintenant bienvenue), jusqu'à la **spatialisation des données**. Cette dernière étape, importante, a nécessité un investissement considérable de l'échelon de Fontainebleau. Il faut souligner la qualité des traitements statistiques effectués à partir de la base selon deux approches indépendantes. C'est une contribution significative à la recherche française dans ce domaine. Cela permet d'avoir une vision spatialisée des dépôts certes seulement hors couverts mais c'est la seule approche qui peut servir de validation à la modélisation EMEP des dépôts, et constituer une référence pour d'autres travaux spatialisés au niveau national (charges critiques, biodiversité,...).

Le réseau a permis de répondre en particulier à de nombreux aspects concernant la protection des écosystèmes forestiers en matière de dépôts acides pour déterminer les **charges critiques** (CC) d'acidité (comparaison dépôts/CC) avec spatialisation : les données de dépôts acides, azotés et de cations basiques ont été intégrés récemment dans les calculs de charges critiques, à la suite de l'évolution des méthodes de calculs de charges critiques, ce qui montre l'intérêt *a posteriori* des données enregistrées par le réseau. Le réseau a pu servir de support à la quantification de l'acidité organique (= naturelle, selon l'espèce forestière) versus l'acidité minérale (=anthropique, selon la possibilité de captation de l'espèce et la position en France). Toutefois, la majorité des publications concernant les dépôts hors couverts, les données relatives aux solutions de sol et aux pluviollessivats sont insuffisamment exploitées. En effet, les données de dépôts sous couvert et de solutions de sol ont fait l'objet surtout de parutions sous forme de « littérature grise ». Il est donc indispensable de valoriser ces données.

La valorisation des données «sol» et «solution de sol» est en cours à l'INRA de Nancy (poste d'interface INRA/ONF, Manuel Nicolas), avec une évaluation des tendances et les bilans d'éléments. Ce travail va nous faire progresser quant aux relations solutions – sols, à la quantification du drainage et à son déterminisme, ainsi qu'aux tendances à moyen terme d'évolution des concentrations. C'est typiquement un exemple de travail qui nécessite à la fois les séries d'observations réalisées dans des conditions parfaitement standardisées et rigoureuses comme celles du réseau RENECOFOR, et l'expertise acquise dans les sites ateliers où le travail approfondi permet d'accéder aux processus contrôlant la chimie des solutions. Le passage au flux drainé permettra d'aborder avec plus de précision les bilans de fertilité (le drainage est une sortie importante nécessaire au calcul du bilan).

L'ouvrage de synthèse sur les tendances de l'évolution de la qualité des pluies depuis la fin du 19^{ème} siècle est tout à fait remarquable ainsi que les divers ouvrages de valorisation des données de dépôts. Mais peut-être ces ouvrages sont-ils déjà trop scientifiques pour le public élargi visé ? Un ouvrage de vulgarisation des données du réseau semblerait nécessaire. Un effort de publication en lien avec certains réseaux (MERA) a été réalisé. Cet aspect pourrait être davantage valorisé, ainsi qu'avec les autres partenaires européens dans le cadre de PIC Forêts. Les données de CATAENAT ont également été valorisées dans les synthèses individuelles des placettes (S. Cecchini).

A.10.2 Perspectives

Perspectives scientifiques

Une analyse statistique « empirique » des données intégrant, outre les paramètres chimiques des pluies et pluviollessivats, les principaux paramètres du réseau, semble aujourd'hui nécessaire pour dégager les tendances et relations importantes, identifier les particularités éventuelles de sites, et contribuer à la réflexion sur l'évolution du réseau.

Un traitement approfondi des données de pluviollessivats et de solutions de sols est indispensable. Le travail engagé à l'INRA dans ce domaine devrait répondre à ce besoin et combler le déficit de publications de haut rang pour les aspects solutions/sols.

Suggestions méthodologiques

Evolutions techniques visant à re-qualifier les sites de mesure :

Au vu de l'évolution des connaissances, une **évolution des dispositifs de collecte** s'avère nécessaire : la surface des collecteurs de pluviollessivats est insuffisante et une évolution des dispositifs de collecte devrait être envisagée (matériau inerte et, à court terme, vérification de l'efficacité de ceux en place). Cela apparaît nécessaire pour avoir des données fiables, anticiper les mesures des éléments en traces dans l'avenir, et envisager de réaliser des bilans d'éléments minéraux sur les différents sites.

Il faudra **harmoniser les mesures Fe, Mn, Al** dans les stations concernées.

Il est suggéré **d'arrêter les mesures de retombées humides** (« wet only ») qui ne sont pas vitales par rapport aux objectifs prioritaires, et d'évaluer avec les gestionnaires du réseau MERA (qui se fonde uniquement sur des mesures de « wet only ») la complémentarité éventuelle des sites des deux réseaux, la compatibilité technique des collecteurs, et l'intérêt que les gestionnaires et financeurs de MERA pourraient y trouver pour améliorer la représentativité de certains suivis d'éléments.

Evolution de la configuration du dispositif :

L'objectif de CATAENAT pour les prochaines années est davantage de faire un suivi de fond de sites bien caractérisés que de viser l'analyse d'un nombre suffisant de sites dont les résultats pourraient être directement spatialisés. Des modèles seront nécessaires pour la généralisation des résultats sur les sols (à l'image de ce qui a été fait pour les dépôts hors couverts). Dès lors, il apparaît **possible de diminuer le nombre de sites** sans perte trop importante d'information en i) diminuant le nombre de stations « redondantes » (à caractéristiques comparables ii) limitant les sites sur sols bien tamponnés (dont on n'attend pas une évolution particulière). Après une discussion approfondie, cette solution de choix de « sites références » -dans une optique de restriction budgétaire qui serait nécessaire-, est préférée par le Comité à celle, théoriquement intéressante, consistant à garder davantage de sites, mais à les stopper pour une certaine période (5 ans) pour les reprendre ensuite. Toutefois, il est important que le choix de l'arrêt de certaines stations soit réfléchi au sein d'un comité scientifique d'évaluation afin de mesurer l'ensemble des conséquences en termes de connaissances, du point de vue du gestionnaire tout comme du scientifique. En effet, plusieurs options sont possibles (arrêt de stations de dépôts de niveau 2 et conservation des stations de niveau 3 ou inversement etc...). Toutefois, dans la philosophie des discussions du comité, la coordination des mesures de dépôts et des solutions de sols devrait être maintenue sur les stations prioritaires.

En complément de ce suivi de fond, il serait intéressant que le gestionnaire de RENECOFOR se positionne pour prospecter les régions encore mal couvertes par les mesures de dépôts atmosphériques. Ces mesures pourraient être temporaires (5 ans), mais combleraient un déficit de connaissance tout en permettant de valider les modèles de dépôts. Le financement pourrait être d'origine nationale ou régionale.

A.10.3 Annexe : liste bibliographique indicative

Manuels de référence (dernière version à jour)

- E. Ulrich, M. Lanier, 1993 (deuxième version) : RENECOFOR - Manuel de référence n°3 pour le fonctionnement du sous-réseau CATAENAT (Charge Acide Totale d'origine Atmosphérique dans les Ecosystèmes Naturels Terrestres), placette de niveau 2 et 3, éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, 98 p.

Rapports scientifiques dans la série RENECOFOR

- E. Ulrich, M. Lanier, D. Combes, 1998 : RENECOFOR - Dépôts atmosphériques, concentrations dans les brouillards et dans les solutions du sol (sous-réseau CATAENAT) - Rapport scientifique sur les années 1993 à 1996. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 134 - 4, 135 p.
- E. Ulrich, M. Lanier, A. Schneider 1995 : Dépôts atmosphériques et concentrations des solutions du sol (sous-réseau CATAENAT), rapport scientifique sur les années 1993 et 1994, éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 011 - 9, 165 p.
- E. Ulrich, M. Lanier, 1994 : Dépôts atmosphériques et concentrations des solutions du sol (sous-réseau CATAENAT), rapport scientifique sur l'année 1993, éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, 118 p.

Autres rapports scientifiques

- A. Probst, D. Moncoulon, J.P. Party, 2005 : National Focal Center report: France. In: Critical Loads of Cadmium, Lead and Mercury in Europe. J. Slootweg, J.-P. Hettelingh, M. Posch, S. Dutchak, I. Ilyin (eds.), Working Group on Effects of the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, Report 259101015/2005, ISBN: 90-6960-119-2, 97-100, 145 p.
- L. Croisé, E. Ulrich, P. Duplat, 2001 : Estimation des dépôts atmosphériques totaux hors couvert forestier sur le territoire français en vue d'établir des cartes d'excès de charge critiques d'acidité. Rapport scientifique de fin de contrat ADEME/ONF, 71 p.
- A. Probst, L. Hernandez, C. Février, P. Prudent, J.-L. Probst, J.-p. Party, 2000 : Sensibilité des sols des écosystèmes forestiers aux métaux lourds à l'échelle du territoire français – utilisation du réseau RENECOFOR. Rapport final du projet UE (DG VI) n°98.60.FR.006.0, Université Louis Pasteur Strasbourg I, Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre, Centre de géochimie de la surface (UMR 7517), 66
- J.P. Party, A.L. Thomas, A. Probst, E. Dambrine, J.M. Stussi, 1999 : Cartographie des calculs de charges critiques acides et azotées pour la France. Rapport Scientifique de fin de contrat ADEME-Sol-Conseil, juin 1999, 73 p.

- A. Probst, 1998 : Effets des précipitations atmosphériques acides sur la dynamique d'altération des roches silicatées. Conséquences sur la qualité chimique des eaux de surface. Etude de terrain, expérimentation, modélisation. Habilitation à diriger des recherches, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 23 janvier, Vol. I (54 p.) et Vol. II (publications).
- N. Fillion, J.-P. Party, A. Probst, J.-L. Probst, 1998 : Meilleure connaissance des apports atmosphériques acides et de la sensibilité des milieux forestiers à l'échelle du territoire français / utilisation du sous-réseau CATAENAT. Rapport scientifique final du projet UE, DGVI n°96.60.FR.004.0, Université Louis Pasteur, Centre de Géochimie de la Surface de Strasbourg, 83 p.
- G. Le Bricon, 1997 : Relations entre les différents paramètres physico-chimiques dans les pluies et les solutions de sol en France, étude des données mensuelles de 1992 à 1995 du réseau RENECOFOR (Office National des Forêts). Projet de recherche de Maîtrise, Université Louis Pasteur, Strasbourg 1, Centre de Géochimie de la Surface, 25 p.
- J.P. Party, A. Probst, C. Fevrier, C. Hissler, E. Dambrine, A.L. Thomas, 1997 : Calcul des charges critiques acides et azotées pour les Vosges, calibration pour les Ardennes et extension à l'échelle française. Rapport scientifique définitif ADEME, septembre 1997, 58 p.

Articles dans des revues à comité de lecture (ordre chronologique inverse)

- D. Moncoulon, A. Probst, L. Martinson, 2006 : Ecosystem response to acid deposition scenario: consequence of the Gothenburg protocole for France. *Water, Air and Soil Pollution* (in press).
- R. Mosello, M. Amoriello, T. Amoriello, S. Arisci, A. Carcano, N. Clarke, J. Derome, K. Derome, N. Koenig, G. Tartari, E. Ulrich, 2005 : Validation of chemical analyses of atmospheric deposition in forested European sites. *Journal of Limnology*, 64, 2 : 93-102.
- M. Rogora, R. Mosello, S. Arisci, M.C. Brizzio, A. Barbieri, R. Balestrini, P. Waldner, M. Schmitt, M. Stähli, A. Thimonier, M. Kalina, H. Puxbaum, U. Nickus, E. Ulrich, A. Probst, 2006 : An overview of atmospheric deposition chemistry over the Alps : present status and long-term trends. *Hydrobiologia*, 562, 1 : 17-40.
- L. Croisé, E. Ulrich, P. Duplat, O. Jacquet, 2005 : Two independent methods of mapping bulk deposition in France. *Atmospheric Environment*, 39 : 3923-3941.
- D. Moncoulon, A. Probst, J.-P. Party, 2004 : Weathering, atmospheric deposition and vegetation uptake : role for ecosystem sensitivity to acid deposition and critical load. *C.R. Geoscience*, 336 : 1417-1426.
- L. Hernandez, A. Probst, J.L. Probst, E. Ulrich, 2003 : Heavy metal distribution in some French forest soils: Evidence for atmospheric contamination. *The Science of the Total Environment*, 312/1-3, 195-219.
- A. Probst, L. Hernandez, J.L. Probst, 2003 : Heavy Metals partitioning in three French forest soils by sequential extraction procedure. *J. Phys. IV*, 107 : 1103-1106.
- A. Probst, L. Hernandez, J.L. Probst, Ulrich E., 2003 – Heavy metals in some French forest soils: distribution, origin and controlling factors. *J. Phys. IV France*, 107, 1107-1110.
- A. Probst, D. Moncoulon, Y. Godderis, L. Hernandez, J.-J. Party, 2003 : Critical loads for lead in France : first results on forest soils. *J. Phys. IV France*, 107 : 1111-1114.

- Party J.-P., Probst A., Thomas A.-L., Dambrine E., 2001 : Charges critiques d'acidité en polluants atmosphériques en France : conséquence vis-à-vis des sols et des peuplements forestiers. Article issu du séminaire ADEME "Pollution atmosphérique et charges critiques : bilan et perspectives des recherches menées en France", 15 mai 2001, Paris (MATE). Pollution atmosphérique N° 172, Octobre-Décembre 2001 : 519-527.
- Party J.-P., Probst A., Thomas A.-L., Dambrine E., 2001 : Calcul et cartographie des charges critiques azotées en France : application de la méthode empirique. Critical loads for nutrient nitrogen: calculations and mapping by empirical method for France. Article issu du séminaire ADEME "Pollution atmosphérique et charges critiques : bilan et perspectives des recherches menées en France", 15 mai 2001, Paris (MATE). Pollution atmosphérique N° 172, Octobre-Décembre 2001 : 531-544.
- E. Ulrich, M. Lanier, B. Roman-Amat, 1999 : Estimation of nitrogen deposition on 27 RENECOFOR plots (France). In : T. Karjalainen, H. Spiecker et O. Laroussinie (Ed.), EFI Proceedings No. 27 " Causes and Consequences of Accelerated Tree Growth in Europe ", Nancy 12-13 May 1998 : 139-155.
- N. Fillion, A. Probst, J.L. Probst, 1999 : Dissolved organic matter contribution to rain water, throughfall and soil solution chemistry. Analysis, 27, 5 : 409-413.
- N. Fillion, A. Probst, J.L. Probst, 1999 : Determination of organic and mineral acidity contributions to the total throughfall acidity : application to French forests. C.R. Académie des Sciences, 328 : 333-339.
- N. Fillion, A. Probst, J.L. Probst, 1998 : Natural organic matter contribution to throughfall acidity in French forests. Environment International, 24, 5-6 : 547-558.

Autres articles

- L. Croisé, E. Ulrich, P. Duplat, O. Jaquet, 2005 : Le suivi des dépôts atmosphériques dans les écosystèmes forestiers en France. Rendez-vous techniques, Office National des Forêts, 7 : 4-10.
- L. Croisé, E. Ulrich, P. Duplat, O. Jaquet, 2003 : Cartographie des dépôts atmosphériques en France : deux approches pour les premières cartes nationales. Géomatique Expert, 27 : 19-25.
- J.P. Party, A. Probst, C. Fevrier, E. Dambrine, D. King, A.L. Thomas, 1997 : Les charges critiques en France. Impacts et conséquences à long terme des polluants atmosphériques sur les écosystèmes " naturels " terrestres et aquatiques. Données et références. Publication ADEME, 1997, 59 p.
- E. Ulrich, N. Lelong, M. Lanier, A. Schneider, 1995 : Interception des pluies en forêt : facteurs déterminants - interprétation des mesures réalisées dans le sous-réseau CATAENAT de RENECOFOR, ONF - Bulletin Technique, 30 : 33-44.
- E. Ulrich, M. Lanier, 1994 : Les dépôts atmosphériques en 1993 : résultats du sous-réseau CATAENAT du réseau RENECOFOR, La Santé des Forêts (France) en 1993, éditeur : Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (DERF-Département de la Santé des Forêts) : 56-61.

A.11 Concentration en ozone et dégâts d'ozone

A.11.1 Résultats obtenus

Les données produites

L'ozone est un des polluants les plus nocifs et avec des concentrations élevées. Il est important d'en connaître les variations saisonnières, de suivre ses effets sur les arbres et la végétation forestière, de pouvoir les relier aux conditions météo et hydriques et de voir si les efforts de réduction de la pollution atmosphérique ont un effet. Bien que les problèmes occasionnés par des épisodes de hautes concentrations d'ozone soient reconnus, il existe très peu de dispositifs de surveillance de concentrations d'ozone et d'observations de symptômes d'ozone sur les arbres et sur les espèces végétales en France comme en Europe, particulièrement en milieu rural où de telles pollutions se déportent.

Le réseau RENECOFOR a lancé pendant les années 2000-2002 un projet pour mieux quantifier les effets de l'ozone sur les arbres et la végétation forestière. Le projet relie mesures de concentrations et de symptômes d'ozone sur végétation forestière détectés visuellement ou par microscopie. L'évaluation des symptômes par méthode microscopique permet d'identifier si l'ozone en est la cause. Ceci est très important aussi pour le travail de corrélation entre effet de l'ozone et facteurs météo, hydriques, état phytosanitaire, etc. L'analyse des symptômes en est d'autant plus intéressante qu'effectuée pendant une période de plusieurs années, en raison du caractère cumulatif des effets de l'ozone.

Organisation et méthodologie :

Le projet ozone géré par le réseau RENECOFOR semble bien organisé suivant les recommandations du manuel européen du PIC-Forêts. L'ozone est une mesure récente mais importante pour pouvoir comprendre et différencier les effets des facteurs stressants naturels comme anthropogènes.

Le réseau ozone coïncide avec les sous-réseaux CATAENAT et MÉTEO permettant de combiner ces données avec les données météorologiques et de dépôts atmosphériques pour l'évaluation des effets de l'ozone. D'un autre côté, ce choix implique un choix des essences qui n'est peut-être pas le choix optimal pour les mesures des effets de l'ozone (le réseau RENECOFOR a été établi pour estimer les dépôts atmosphériques dans un échantillon de peuplements d'essences choisies a priori).

Les concentrations d'ozone du réseau RENECOFOR sont mesurées en clairière par capteurs passifs, qui fournissent des moyennes intégrées sur 15 jours. Les concentrations critiques (AOT40, de plus de 40 ppb) ont été accumulées et comparées aux symptômes d'ozone observés sur des placettes à proximité des capteurs d'ozone. Les AOT40 montrent le dépassement potentiel des seuils d'ozone mais ne rendent pas compte des conditions instantanées.

Pour comprendre ces effets, il est important de pouvoir relier les effets de l'ozone au bilan hydrique de la forêt, ce que cette méthode ne permet pas. Par ailleurs, l'intégration temporelle ne permet pas de juger des pics (différence de ce point de vue entre le Nord de la France et le Sud où les épisodes de forte concentration sont plus longs).

La valorisation des données

Les concentrations d'ozone et les dégâts liés ont fait l'objet de trois rapports techniques, et de 4 articles de vulgarisation.

A.11.2 Perspectives

Les travaux sur l'ozone permettent de contrebalancer quelque peu la logique dominante (au moins initiale) largement axée sur les dépôts). Toutefois, ils n'ont pas permis de démontrer l'importance du problème qui reste difficile à évaluer.

Les concentrations d'ozone pourraient être suivies par périodes de cinq ans alternées à des périodes de même durée sans suivi, de façon à observer l'évolution de ce facteur dans le long terme en limitant le coût (déjà faible).

Il est donc recommandé de continuer ces mesures, en se concentrant éventuellement sur des sites avec des espèces sensibles à l'ozone, en élargissant éventuellement le spectre des espèces étudiées, et en approfondissant la question de la **bioindication**, avec deux questions :

- comparaison du diagnostic terrain et du diagnostic histologique, dans le but de rendre accessible et fiable le diagnostic terrain des dommages dus à l'ozone ;
- lien entre dégâts aux végétaux et niveaux de pollution (ou quantité d'ozone absorbée)

A.11.3 Annexe : liste bibliographique indicative

Manuels de référence (dernière version à jour)

- E. Ulrich, S. Cecchini, 2005 (troisième version) : RENECOFOR - Manuel de référence n°13 sur les mesures des concentrations d'ozone et d'ammoniac à l'aide de capteurs passifs, placettes de niveaux 2 et 3, troisième version éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, 10 p.

Rapports scientifiques dans la série RENECOFOR

- E. Ulrich, Dalstein L., M. S. Günthardt-Goerg, P. Vollenweider, S. Cecchini, N. Vas, Karin Sjöberg, T. Skarman, 2005 : RENECOFOR – Effets de l'ozone sur la végétation, concentrations d'ozone (2000-2002) et symptômes d'ozone sur la végétation forestière (2001-2003). Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique, ISBN 2-84207-300-2, 126 p.

Autres rapports scientifiques

- M. Ferretti, F. Bussotti, V. Calatayud, M.-J. Sanz, M. Schaub, N. Kräuchi, B. Petriccione, G. Sanchez-Peña, E. Ulrich, 2004 : O₃SWE – Ozone and the forests of South-Western Europe : an international co-operative initiative. In : Ferretti M., Sanz M.-J., Schaub M. (Eds.), 2004. O₃ SWE – Ozone and the Forests of South-Western Europe. Final Report. Jointly prepared by Corpo Forestale dello Stato, Italia ; Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General para la Biodiversidad, España ; Eidgenössische Forschungsanstalt für

Wald, Schnee und Landschaft – WSL, Schweiz ; Office National des Forêts, France : 13-51.

- M. Ferretti, F. Bussotti, V. Calatayud, M.-J. Sanz, M. Schaub, N. Kräuchi, B. Petriccione, G. Sanchez-Peña, E. Ulrich, 2004 : Ozone and the forest of South-Western Europe : a summary. In : Ferretti M., Sanz M.-J., Schaub M. (Eds.), 2004. O₃ SWE – Ozone and the Forests of South-Western Europe. Final Report. Jointly prepared by Corpo Forestale dello Stato, Italia ; Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General para la Biodiversidad, España ; Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft – WSL, Schweiz ; Office National des Forêts, France : 141-154.

Article dans des revues sans comité de lecture

- E. Ulrich, 2005 : Effets de l’ozone sur la végétation forestière - introduction générale dans la problématique. Rendez-Vous Techniques – ONF, ISSN 1763-6442, 9 : 6-12.
- E. Ulrich , 2005 : Concentrations d’ozone en zone forestière et symptômes d’ozone sur la végétation dans le réseau RENECOFOR. Rendez-Vous Techniques – ONF, ISSN 1763-6442, 10, 3-11.
- E. Ulrich, 2005 : Effets de l’ozone sur la végétation forestière - introduction générale dans la problématique. Forêt Wallonne, novembre-décembre : 34-46.
- L. Dalstein, N. Vas , E. Ulrich, S. Cecchini, 2004 : Dégradation de la forêt française en relation avec l’ozone, 2004, Environnement et Technique, 236, 42-44.

Autres articles

- K. Sjöberg, G. Lövblad, M. Ferm, E. Ulrich, S. Cecchini, L. Dalstein, 2001 : Ozone measurements at forest plots using diffusive samplers. International Conference “Measuring Air Pollutants by Diffusive Sampling”, Montpellier, 26-28 septembre 2001.

A.12 Gestion technique, administrative et financière du réseau

Les points forts de la gestion technique du réseau RENECOFOR ont été soulignés de façon unanime : **rigueur, traçabilité des méthodes, mise en place systématique d'une démarche qualité, intercalibration des observations, soin apporté à la formation**. Ces points forts, impulsés directement par le responsable du réseau, ont parfois fait progresser l'ensemble de la communauté scientifique et technique concernée.

Le fait que le réseau soit administré par le gestionnaire forestier semble aussi un point fort, notamment du fait de la **surveillance rapprochée** que la présence du forestier permet d'assurer sur les sites.

Enfin, le partenariat avec un groupe de **scientifiques-experts** associés aux choix techniques et à la valorisation du réseau, a pu montrer son efficacité : ce sont les scientifiques qui connaissent le mieux les données du réseau qui les valorisent le mieux.

Enfin, les exigences réglementaires européennes semblent avoir été correctement prises en compte.

Par contre, la **communication avec les décideurs** concernés est à développer.

Sur le plan financier, le comité d'évaluation ne s'est pas senti en mesure de juger la qualité de la gestion, dont rien ne laisse penser qu'elle ne soit pas rigoureuse. Par contre, il souhaite apporter quelques commentaires utiles à l'appréciation des moyens consentis :

- Cette première phase de la vie du réseau correspond à une phase d'investissement, dont les produits ne sont pas encore tous valorisés, et ce souvent pour des raisons intrinsèques, comme par exemple dans le cas des sols où les progrès en vue nécessitent la levée d'un certain nombre de verrous (disposer des flux pour entreprendre les bilans, des ré-échantillonnages des sols pour évaluer leur évolution).
- Toute mesure d'allègement éventuel (certaines pistes sont suggérées dans le rapport) ne peut s'envisager qu'avec un certain recul, à la lumière de l'analyse des données recueillies.
- Les résultats, importants et de qualité, justifient certainement les dépenses consenties, inférieures proportionnellement à celles de certains pays européens.

B

SYNTHESE DES SUGGESTIONS

LIEES AUX QUESTIONS

7 à 14

Questions posées initialement au réseau

Apports du réseau

Perspectives

Communication

B.1 Réexamen des questions posées au réseau

Question 7 : Quelles sont les questions actuelles à fort enjeu auxquelles le réseau (seul ou couplé avec d'autres dispositifs) est susceptible d'apporter une contribution déterminante ? Les questions posées à l'origine sont-elles toujours d'actualité ? S'agissant d'un réseau porté par un gestionnaire, quel sens un tel réseau peut-il avoir pour la gestion ?

B.1.1 Evolution des questions et intérêt général de RENECOFOR dans le cadre d'un questionnement mouvant

La création de RENECOFOR répondait, entre autres, à un *déficit de connaissances sur le fonctionnement de l'écosystème forestier* mise en évidence avec l'éruption du « dépérissement des forêts » au début des années 1980. Ce déficit est loin d'être comblé et reste d'actualité quels que soient les nouveaux « problèmes » considérés.

Il reste que les préoccupations et attentes du monde forestier et de la société évoluent, et que ces évolutions pèsent sur la façon dont des « observatoires » comme RENECOFOR est perçue. Si les questions initiales étaient principalement centrées sur les effets de la pollution atmosphérique diffuse (à longue distance) sur les forêts, on a assisté depuis une dizaine d'années à une relativisation des craintes liées à cette préoccupation et à l'émergence de nouvelles thématiques :

- les effets du changement climatique, et les stratégies d'anticipation à envisager : c'est actuellement la question qui interpelle le plus les décideurs et gestionnaires forestiers ;
- l'évolution de la biodiversité et le rôle spécifique de certaines inflexions de la gestion sylvicole (bois mort) ;
- les nouveaux services de la forêt : séquestration de carbone atmosphérique, rôle dans la qualité de l'eau, intérêt énergétique de la ressource forestière ;
- l'impact possible de certaines évolutions de la sylviculture : raccourcissement des cycles de production, prélèvement de rémanents (développement de l'utilisation du bois à des fins énergétiques), développement de la mécanisation (dégâts aux sols).

Le réseau RENECOFOR contribue de manière nécessairement variable aux besoins d'information sur ces différentes thématiques aux côtés d'autres réseaux et approches.

Ces problématiques ne peuvent être traitées qu'en associant plusieurs approches :

- enquêtes et suivis pour observer les problèmes identifiés ;
- suivis de paramètres spécifiques dans des réseaux ;
- étude approfondie d'écosystèmes modèles ;
- modélisation/simulation ;
- élaboration de systèmes experts d'aide à la décision.

L'adaptation du dispositif de suivi des forêts aux « nouvelles » questions sociétales passe par un examen attentif de chaque approche, en tenant compte des autres

approches. Cette analyse, qui dépasse le mandat du comité, n'a pas été menée dans le détail, même si un certain nombre d'opportunités en matière d'interactions avec d'autres réseaux ont été signalées.

Le réseau RENECOFOR, centré sur le recueil de paramètres spécifiques, vaut largement par les *séries homogènes à long terme, les niveaux de référence, les gammes de variabilité* qu'il constitue, pour des paramètres pour lesquels les données étaient insuffisantes auparavant. On peut considérer que le cortège de variables autour desquelles ce réseau a été construit traduit un condensé du fonctionnement de l'écosystème forestier et que, pour cette raison, il peut fournir un éclairage sur divers sujets⁴. De manière certaine, ce réseau constitue d'ores et déjà une *base de données écologiques unique en France* par la diversité des données, leur cohérence et leur qualité.

La justification d'un suivi intensif à long terme de type « observatoire du fonctionnement des écosystèmes forestiers » se trouve notamment dans l'incapacité de l'œil humain à déceler des modifications parfois lentes sans recourir à des observations et à l'analyse de données rigoureusement recueillies, seules capables de distinguer les tendances à long terme de la variabilité naturelle des phénomènes.

Dans des conditions environnementales changeantes et difficiles à prévoir, il est indispensable de combiner les suivis à long terme et la modélisation, les suivis fournissant des données pour valider les modèles, qui deviennent plus robustes et capables de prendre en compte les événements extrêmes.

B.1.2 Les questions posées à l'origine du réseau et leur intérêt actuel

Ces questions concernaient (voir les objectifs du réseau RENECOFOR, en phase avec les objectifs de la Résolution n°1 de Conférence ministérielle sur la protection des forêts en Europe, Strasbourg, 1990), outre l'établissement de tendances à long terme des écosystèmes forestiers, la contribution à la recherche des liens de « causes à effets » entre les facteurs environnementaux et l'évolution des écosystèmes, à l'établissement des charges critiques de polluants et à l'interprétation des résultats des réseaux systématiques.

La pollution atmosphérique et ses effets

Cette préoccupation était centrale au moment de la création des dispositifs de suivi continu intensif en Europe (comme le confirme la nature des paramètres pris en compte).

Si les émissions de certains polluants majeurs sont en net recul (polluants soufrés, plomb d'origine automobile), il subsiste des préoccupations importantes dans le domaine de la pollution atmosphérique ; elles concernent surtout les conséquences des

⁴ On peut citer l'exemple du fonctionnement biogéochimique des écosystèmes, qui a présenté un intérêt fort dans diverses questions conjoncturelles posées par la société depuis 30 ans : effet des plantations massives de résineux (années 1970), origine des dépérissements dont les pluies acides (années 1980), durabilité des écosystèmes ou effets des changements climatiques (années 1990).

retombées azotées (eutrophisation et acidification des milieux naturels sensibles, déséquilibre nutritif des arbres sur des sols pauvres), les effets de l'*ozone* et la contamination par les *métaux lourds* et les *polluants organiques persistants*.

La *question de la pollution azotée n'est pas réglée*. Même si la France apparaît comme moyennement polluée à l'échelle européenne, les écosystèmes forestiers continuent à évoluer (eutrophisation) sous l'influence de ces apports sur une fraction importante du territoire. Les *charges critiques en azote* constituent un chantier en cours. Grâce aux travaux engagés depuis quelques années, et qui reposent notamment sur des données issues de RENECOFOR, les experts français (National Focal Centre, Toulouse, Resp. A. Probst) commencent à fournir des estimations plus précises et réalistes dans ce domaine. Pour toute une série de travaux, les données de dépôts atmosphériques du RENECOFOR peuvent servir de paramètres d'entrée de modèles, au même titre que les données de composition floristique du réseau, (cf. Base de données ECOPLANTE, - J.-C.Gégout ENGREF Nancy). Le protocole « multi-polluants – multi-effets » de Göteborg (1999), qui fixe les réductions de pollution jusqu'en 2010, sera révisé prochainement et il importe de disposer d'une démarche scientifiquement incontestable car les négociations porteront sur des exigences fortes de réduction d'émissions polluantes en vue de protéger les milieux (dont les forêts) très sensibles. Les estimations liées à cette révision ont été notamment réalisées à partir des données du réseau. Cet exemple illustre parfaitement l'intérêt d'un tel réseau à des fins de calage de modèles.

L'ozone pourrait, selon bon nombre de spécialistes, rester un problème voire s'aggraver à l'avenir (notamment en lien avec le réchauffement climatique). A ce titre, et même si les effets actuels ne semblent pas dramatiques, il serait intéressant de rester très attentif à cette contrainte environnementale.

Les autres facteurs

Si des facteurs importants du point de vue du fonctionnement des écosystèmes forestiers, comme le climat étaient en général cités il y a 15 ans, l'importance qui leur était accordée dans les faits (la définition des actions de suivi intensif) était relativement faible, et on peut considérer que ces préoccupations sont plus « actuelles » que « historiques ».

B.1.3 Le sens qu'un tel réseau peut avoir pour le gestionnaire

On peut s'interroger sur le positionnement de l'ONF dans une action très technique ou encore faire remarquer que RENECOFOR seul ne pourra pas répondre à toutes les questions précises sur le rôle de la gestion dans le fonctionnement ou les dysfonctionnements de l'écosystème forestier. Une articulation étroite avec la recherche est certainement indispensable, de même que le recours à d'autres réseaux pour répondre à toutes les questions de gestion. Cette argumentation doit être complétée par une autre, qui adopte une optique plus large.

Du point de vue du gestionnaire, les fonctions de protection et la préservation des écosystèmes forestiers sont des préoccupations premières, et l'amélioration de la

connaissance des écosystèmes, en lien avec leur capacité à réagir aux contraintes et modifications de l'environnement, est une donnée importante. C'est ainsi que le réseau RENECOFOR, créé à une époque de fort questionnement environnemental (sur l'impact des pluies acides) a un «sens» fort pour le gestionnaire même s'il ne répond pas, au départ, à un questionnement de gestion.

Le réseau RENECOFOR répond à des questions scientifiques, à des préoccupations sociétales et a des vertus pédagogiques fortes : en amont du travail d'information du « grand public » et de décideurs, la gestion d'un tel réseau permet aux gestionnaires forestiers (dans leur ensemble, pas seulement de ceux qui sont en prise directe avec le réseau) de *s'approprier* un outil, une thématique, de réaliser pleinement l'importance du suivi de l'environnement.

En assumant la gestion directe d'un tel réseau, le gestionnaire forestier :

- affirme qu'il est concerné au premier chef par les questions poursuivies (sur les menaces environnementales)
- exprime que ce réseau est un outil nécessaire à sa gestion (fournissant des références fiables, etc.).
- s'attend à ce que les résultats escomptés l'interpellent, y compris sur sa propre gestion de l'écosystème forestier.

C'est en cela que le gestionnaire forestier fait de la gestion d'un réseau un «acte de gestion».

Ces notions ne s'imposent pas d'emblée et nécessitent une communication interne toujours renouvelée par le biais d'articles dans « Rendez-vous techniques » ou de séminaires).

B.2 Les apports originaux du réseau

Question 8: Identifier quels sont actuellement les apports originaux du réseau **RENECOFOR**, au plan national et européen, pour la gestion et pour la recherche, soit en tant que tel, soit couplé avec des réseaux extensifs de monitoring (IFN, réseau européen), soit avec des sites-ateliers.

B.2.1 Une base de référence et un repère en matière de qualité

C'est, selon les paramètres, la base principale voire la seule *base de référence de qualité*, constituée avec rigueur et méthode, avec une excellente traçabilité des données, accessible et conçue pour caractériser la variabilité écologique de certains paramètres de l'écosystème forestier (composition, fonctionnement) : litière / végétation / solutions de sol / composition du sol / nutrition minérale, phénologie, etc....

Cet outil, associé à divers réseaux (IFN, l'observatoire de recherche en environnement F-ORE-T, réseaux systématiques extensifs), représente un potentiel extrêmement important pour les travaux sur les écosystèmes, dans un registre modernisé par rapport aux anciens réseaux de type MAB-IBP (Man And Biosphere, International Biological Programme) :

- connaissance approfondie des écosystèmes ;
- identification de tendances évolutives ;
- outil à l'appui de la modélisation et de simulations
- spatialisation, au moins dans certaines conditions et pour certains paramètres.

Il joue aussi un rôle très important dans le domaine de la *qualité*, par exemple pour l'intercalibration des relevés de végétation, les analyses élémentaires. Le comité souligne à ce titre que sa qualité et son rôle en la matière sont tels que *RENECOFOR* « tire » vers le haut la qualité des suivis en France.

B.2.2 Les apports originaux du réseau dans les différents domaines

Dépôts atmosphériques

RENECOFOR a permis :

- d'évaluer les tendances station par station et globalement à l'échelle de la France, complétant ainsi les données de réseau Mesure des Retombées Acides (MERA) ;
- de calibrer les modèles de dépôts (y compris à l'échelle européenne, modèle EMEP) ;
- de servir de référence vis-à-vis des charges critiques en fournissant des données d'entrée aux calculs ;
- d'évaluer la part de l'acidité minérale anthropique relativement à l'acidité organique naturelle dans les dépôts atmosphériques.

Domaine floristique

- Le couplage végétation / données stationnelles a largement contribué à l'établissement des *valeurs indicatrices des espèces*.

Phénologie

- Les observations réalisées dans RENECOFOR sont actuellement les *seules observations françaises phénologiques sur peuplements adultes* à l'échelle nationale et sur le long terme, et sont à ce titre, particulièrement intéressantes.

Fonctionnement des sols

- L'étude descriptive approfondie des sols, indispensable pour le suivi de son évolution (et pour une grande diversité de travaux) a rarement été abordée de manière aussi fiable que le réseau RENECOFOR ;
- La prise en compte de sites des réseaux RENECOFOR, F-ORE-T et CarboEurope, a permis de progresser dans la compréhension des *processus de biodégradation des matières organiques* et d'aborder leur modélisation, indispensable pour simuler les évolutions en fonction des variables climatiques par exemple ;
- L'originalité du réseau a été de servir de référence vis-à-vis des charges critiques en fournissant des données d'entrée aux calculs.

Nutrition minérale

- Les analyses acquises, et particulièrement les données de minéralomasse des peuplements forestiers, participent au développement de systèmes experts aptes à caractériser l'effet de pratiques diverses : substitution d'essence, modification de la longueur des révolutions, exportation par les récoltes ou des rémanents, éclaircies à des fins énergétiques.
- les sols du réseau ont servi de support pour établir des connaissances de base sur le comportement des métaux en relation avec les paramètres pédologiques dans les sols solides forestiers français. Ils ont permis de déterminer l'origine de certains métaux du sol et d'identifier la part liée aux apports de pollution.

Ozone

- RENECOFOR est le *seul réseau en France suivant simultanément les niveaux d'ozone et les symptômes induits* (nonobstant les difficultés de diagnostic).

Météorologie

- RENECOFOR est le *seul réseau national mesurant les conditions météorologiques en forêt* (voir toutefois plus loin les interrogations sur la représentativité des résultats).

B.3 Propositions d'évolution du réseau

Question 9 : A la lumière des enjeux actuels, quels pourraient être, avec des évolutions à proposer, les apports originaux du réseau RENECOFOR ?

Question 10 : Quelles adaptations seraient alors à prévoir pour mieux répondre aux nouvelles questions posées, tout en continuant à répondre aux engagements internationaux de la France, et en restant cohérent avec les longues séries de données déjà acquises, quelle gouvernance du réseau ?

Question 11 : Quels allègements du dispositif pourraient raisonnablement être envisagés dans chaque domaine, si le financement des bailleurs de fonds devait être réduit ?

B.3.1 Recommandations générales

RENECOFOR constitue clairement un réseau d'observation des forêts d'un grand intérêt et à ce titre, il est difficile de remettre en cause son intérêt intrinsèque et son utilité. Il n'est pas moins clair que les attentes sociales évoluent et que l'effort, notamment financier, que la société est disposée à consacrer au suivi de l'environnement varie, notamment en fonction des questions à traiter. En tout état de cause, il paraît au comité particulièrement important de *valoriser au mieux les résultats acquis* et de proposer *des aménagements pour l'avenir* sur la base d'une analyse critique des acquis et en tenant compte des «nouvelles thématiques». Sur ce dernier point, il reste un travail important à faire qui nécessite le concours d'une expertise à la fois spécialisée et qui couvre un champ large, ce qui fait une partie de la difficulté de la question traitée ici.

Le comité a choisi de discuter l'ensemble des évolutions suggérées en synthétisant les résultats dans un tableau récapitulatif par thème présenté en annexe.

Les préconisations principales portent sur :

- le *maintien d'une gestion centralisée du réseau*, seul garant du bon fonctionnement.
- la *définition d'un nouveau «noyau dur»* de placettes au sein desquelles les prises de données seraient plus complètes et permettraient d'assurer la continuité d'un cortège de mesures jugées fondamentales/indispensables pour la compréhension du fonctionnement de l'écosystème. Selon l'importance des données et leur variabilité dans le temps, il serait intéressant de segmenter ces dernières, d'une part en données dont la variabilité est inter-annuelle mais sans tendance significative sur le plus long terme, et d'autre part en données dont la variabilité suit des tendances évolutives avec le temps. Ainsi, de façon très générale, les économies pourraient-elles porter sur les mesures des premières variables, alors qu'une attention particulière serait portée aux secondes.
- *l'allègement parallèle de la partie complémentaire du réseau*. En identifiant les placettes qui présentent une forte redondance, il devrait être possible, si nécessaire, de réduire la taille du dispositif sans perte proportionnelle d'information sur les écosystèmes.

Une réflexion approfondie devrait porter en parallèle sur l'intérêt de prendre en compte des écosystèmes peu ou non couverts actuellement (peuplements hétérogènes ou

mélangés) ou par rapport à des préoccupations nouvelles fortes (écosystèmes potentiellement déstabilisés à court terme par les changements climatiques).

Les suggestions générales d'ordre pratique portent essentiellement sur deux points :

- réévaluer les matériaux de prélèvement utilisés sur la base des connaissances actuelles et en lien avec le type d'analyses prévues (éléments traces, etc.) ;
- définir et mettre en œuvre une description de l'environnement des placettes (nature des peuplements, structure du paysage). Cette information apparaît aujourd'hui très importante pour l'interprétation de bon nombre de résultats (problèmes pathologiques, biodiversité, etc.) En outre, la situation des placettes RENECOFOR s'écarte probablement des conditions « moyennes », du fait même des critères d'implantation (zones homogènes, massifs étendus, ...) et il serait important de connaître la nature et l'importance de ces écarts. Cette analyse se ferait par voie aérienne et en lien avec les travaux de recherche en cours.

B.3.2 Par thèmes

Suivi sanitaire

Le comité suggère le *maintien du dispositif* (surtout si ces placettes peuvent être incluses dans un plan de surveillance plus général) ou une *réduction du nombre d'arbres suivis de 36 à 20*, quitte à ré-étendre en cas de problème caractérisé (voir l'expérience du DSF en la matière).

Suivi dendrométrique

Il est suggéré un allègement des mesures en portant la fréquence de 5 à 10 ans.

Analyses foliaires

La discussion du comité a porté, dans une perspective d'optimisation, sur la périodicité des mesures. Il suggère la *continuité des mesures sur le « noyau dur »* de façon à améliorer l'outil que constitue le diagnostic foliaire moyennant la prise de quelques données complémentaires (masse surfacique) pour éviter la difficulté de la dilution/concentration des éléments. Les mesures pourraient être conduites annuellement sur des durées de 5 années espacées du même laps de temps. Pour un coût identique à celui du protocole actuel, la base de données serait de meilleure qualité (prise en compte des auto-corrélations annuelles).

L'analyse du *carbone*, non réalisée actuellement (mais cela peut être revu a posteriori sur la base des échantillons conservés) s'avère aujourd'hui intéressante du point de vue de l'évolution du fonctionnement carboné des écosystèmes. Elle permettrait de suivre un indice de décomposabilité des litières et le rapport C/N des feuilles.

Description et analyse des sols

Le réseau RENECOFOR n'a pas d'équivalent dans le domaine forestier pour suivre de façon fiable l'évolution des sols sur le long terme. Il paraît difficile de proposer des allègements significatifs d'autant que le réseau a vocation de fournir un inventaire d'éléments non encore pris en compte (par exemple : éléments traces métalliques, composés organiques, radioéléments). Les éléments totaux n'ont pas été mesurés pour

des raisons budgétaires. Cette donnée de base sera toutefois indispensable tôt ou tard lors de l'exploitation approfondie des résultats.

Dans tous les cas, il est impératif que les échantillons analysés le soient de manière identique au premier passage (type d'analyse, nombre d'échantillons) ; pour des raisons bien connues de variabilité inter-séries, il faudra veiller à insérer des échantillons des premiers prélèvements pour valider le caractère comparable des séries.

Le comité recommande de prévoir le ré-échantillonnage tel que prévu à l'origine en précisant la roche mère et en ajoutant des analyses totales (éléments majeurs et traces). Le travail peut éventuellement se faire en deux temps, sur le « noyau dur » de placettes (une partie est supposée réalisée dans le cadre de l'opération européenne en cours Biosoil) puis au-delà. Les analyses peuvent éventuellement être étalées sur plusieurs années, mais cela ne diminuera pas le coût global.

Collecte et analyse des litières, et détermination de l'indice foliaire

La lourdeur et le coût de l'acquisition de ce paramètre amènent à reconsidérer le dispositif. Le comité suggère une *intensité différenciée* des mesures entre un *noyau dur* sur lequel la continuité des séries est très souhaitable, et un *lot complémentaire de placettes* sur lesquelles les mesures seraient allégées. De même que pour les analyses foliaires, les allègements possibles peuvent porter sur la périodicité des mesures et sur le nombre de sites d'observation, mais aussi sur le tri en limitant le nombre de compartiments,

En outre, il serait intéressant de refaire des analyses chimiques (qui n'ont été effectuées pour les éléments majeurs que pour trois années) 10 ou 15 ans après la première série.

Les estimations d'*indice foliaire* actuellement réalisées à partir des litières de placettes feuillues (2004/2005 – 2006/2007) devront être soigneusement évaluées avant de pouvoir proposer une stratégie à long terme en la matière. Le cas des résineux, non traité actuellement, devra également être pris en compte.

Observations phénologiques

Le comité encourage vivement la *poursuite des observations phénologiques*, qui sont d'un intérêt considérable, notamment en relation avec les changements climatiques. La question du comportement des individus en peuplements mélangés reste cependant entière. Le suivi phénologique constitue en outre la meilleure observation de la fructification (meilleure que celle déduite des litières).

Si les moyens disponibles ne devaient pas permettre de continuer le programme actuel, le comité suggère de ne conserver que les espèces bien représentées (au moins 8 à 10 sites) et majeures : Hêtre, Chênes, Epicéa, Sapin, Pin sylvestre.

Dans l'hypothèse d'un renforcement des moyens consacrés à la réponse des écosystèmes aux changements climatiques, le comité recommande d'envisager la prise en compte de la *phénologie des espèces herbacées* (très peu étudiés dans les contextes forestiers). Les stratégies de reproduction/dissémination constituent un domaine important pour mieux comprendre les changements de la composition floristique des milieux (ex: remontée de la végétation en altitude). L'analyse pourrait concerner essentiellement les espèces vernaies (l'hypothèse est que le réchauffement hivernal entraîne une précocité accrue des espèces vernaies).

Dépôts atmosphériques

Il est possible d'envisager une *évolution forte* du dispositif relatif à la *mesure des dépôts humides (wet only)*, qui sont d'une faible valeur ajoutée par rapport aux mesures de dépôt hors couvert (bulk deposition). Le comité suggère de prospecter auprès des partenaires, et de vérifier auprès du réseau MERA (et de ses bailleurs de fond) si les mesures de dépôts humides réalisées en milieu forestier dans RENECOFOR peuvent avoir un intérêt pour ce réseau. La gestion des collecteurs pourrait être transférée aux organismes de surveillance de la pollution atmosphérique, ou si ce n'est pas le cas, être arrêtés.

S'agissant de la collecte et de l'analyse des pluviollessivats, les allègements envisageables sont :

- la définition d'un échantillon légèrement revu à la baisse (qui ne devrait pas être très différent de l'échantillon actuel dans la mesure où on se limiterait à l'élimination d'éventuelles placettes redondantes), de façon à garantir la continuité du dispositif actuel de suivi des dépôts atmosphériques en zone forestière (on rappelle que c'est le seul réseau structuré en milieu naturel). ,
- une réduction de la périodicité des prélèvements, l'analyse restant faite sur un rythme mensuel (limite liée à la conservation des échantillons, s'ils ne sont pas filtrés in situ).

Etant donné le rôle de veille que doit ou pourrait jouer ce réseau, il serait intéressant de mesurer des éléments autres que les éléments majeurs. Cette évolution serait cependant coûteuse sur le plan analytique et nécessiterait de vérifier la qualité (ou d'acquérir) les matériaux de collecte ad hoc. Une expertise approfondie doit être réalisée sur ce sujet.

Enfin, l'utilité de maintenir les analyses des écoulements le long des troncs serait à vérifier : l'expérience et le recul sur les données permettrait peut-être de faire un modèle, au moins pour les hêtraies où cet écoulement est important.

Solutions du sol

Des allègements d'intensité croissante sont concevables :

- l'arrêt des dispositifs redondants ou dont la représentativité ou la pertinence n'apparaissent pas clairement (sols bien tamponnés). Attention cependant, il vaut peut-être mieux à terme sacrifier quelques placettes « pseudo-redondantes » plutôt que de sacrifier une certaine diversité au niveau national ;
- l'augmentation du temps entre deux récoltes des solutions, en passant par exemple d'un ramassage hebdomadaire à un prélèvement par quinzaine (en gardant le même rythme d'analyses, et donc le même coût analytique) ;
- une analyse par saison sur la base d'un échantillon issu de récoltes mensuelles (cette option peut suffire pour un suivi de fond mais fait perdre la possibilité d'évaluation des processus).
- une approche diachronique se traduisant par des séries de mesure de 5 ans. Il s'agit de bénéficier de séries continues sur cinq années, en alternance avec des phases de repos de cinq années (on garde une bonne appréhension des variations inter-annuelles et de leurs effets sur le fonctionnement). Cette option, bien qu'intéressante en principe, est difficile à gérer sur un plan pratique.

Météorologie et hydrologie forestière

L'intérêt même de stations météorologiques de proximité situées dans des clairières, doit être réévalué avant de poursuivre ces mesures, en raison du soupçon de biais lié aux perturbations d'un voisinage plus ou moins forestier. Il s'agit de trouver un moyen d'étudier la représentativité des mesures actuelles effectuées hors couvert par apport aux phénomènes au niveau du couvert forestier. Pour cela, il conviendrait notamment de se rapprocher des sites-ateliers travaillant avec des tours permettant de mesurer les paramètres météorologiques au-dessus de la canopée et/ou d'examiner les différences de données avec des stations à proximité hors portée de couvert.

Le comité recommande, toujours dans l'optique du suivi des effets du climat (variations, extrêmes, tendances) l'ajout des *mesures de teneurs en eau des sols* qui permettrait de valider les calculs de bilan hydrique sur les sites et l'ajout de *mesures de températures du sol* pour être en mesure de réaliser un bilan d'énergie. Dans le contexte de changement climatique, il serait également intéressant de placer des placettes en *limite d'aire des grandes espèces ligneuses étudiées*.

Les métaux

Si des données ont été acquises sur les métaux dans les sols du réseau, il reste à acquérir des données sur les capacités des sols à adsorber/désorber des métaux (les modèles européens actuellement utilisés pour décrire le comportement des métaux ont été construits avec un nombre limité de sols du nord de l'Europe) et les conséquences écotoxicologiques sur les organismes des sols qui peuvent engendrer des modifications des conditions environnementales.

Compte tenu des performances techniques analytiques, on peut à présent envisager, pour pallier l'absence totale de données sur le sujet en France (mis à part une station du réseau MERA qui mesure les dépôts hors couvert humides) un suivi des dépôts de métaux dans les dépôts hors couverts, les pluviollessivats et les solutions de sols de certaines stations pilote, en modifiant les collecteurs.

Vu le coût élevé de ces analyses, un suivi éventuel ne pourrait s'envisager que sur un nombre limité de sites.

Enfin, il faut veiller à une bonne coordination au niveau du couplage de ces mesures avec les inventaires périodiques (tous les 5 ans) réalisés sur le réseau « métaux / mousses » (ce qui semble être le cas dans la nouvelle campagne en cours), ce qui permettrait d'avoir un calage de la cartographie des dépôts si des suivis analytiques étaient mis en place. Vu la difficulté d'estimer un dépôt annuel à partir des mousses, on ne peut encore envisager de remplacer l'un par l'autre.

Ozone

L'ajout (même sur un nombre limité de placettes) de mesures de teneurs en eau des sols permettrait d'avoir une information (via des modèles physiologiques) de la quantité d'ozone prélevée par les arbres. Il est également suggéré de se rapprocher des études de résistances de couvert en forêt réalisées sur des tours de flux mesurant l'ozone (dans le cadre de F-ORE-T) ou d'autres approches expérimentales (études en chambres à ciel ouvert ou semi-ouvert).

Pour définir d'une stratégie d'échantillonnage pour la suite, il serait très utile de mettre les données RENECOFOR en perspective avec les autres mesures effectuées dans le

domaine en milieu rural, particulièrement au sein du réseau MERA, et de revisiter le dispositif global en fonction des complémentarités géographiques et méthodologiques.

Si l'intérêt potentiel du suivi des symptômes attribués à l'ozone, tel que pratiqué ces dernières années dans le réseau, semble avéré, l'interprétation des résultats soulèvent encore des difficultés et la poursuite des travaux relatifs à la bioindication est recommandée.

Suivi de la biodiversité

Le maintien de la biodiversité est une préoccupation croissante. Par l'étendue des mesures qui sont conduites au sein du réseau RENECOFOR et qui permettent de bien appréhender les conditions dans lesquelles évoluent les systèmes, par le potentiel de croisement des données que constitue la base associée, RENECOFOR constitue un lieu privilégié de prospection en matière d'indicateurs nouveaux de biodiversité. Le réseau pourrait jouer un rôle moteur à ce titre.

Il serait ainsi intéressant d'avancer dans la caractérisation de la biodiversité et de sa dynamique par l'étude de nouveaux biotas : lichens, nématodes, groupes d'insectes, arachnides. L'étude des champignons engagée depuis quelques années – et à conforter – est un exemple intéressant. L'inventaire des biotas les plus rares ou les plus difficiles d'accès à l'aide d'approches nouvelles telles les méthodes moléculaires (géotypages bruts et globaux) peut s'appuyer utilement sur des dispositifs comme RENECOFOR.

Des approches à orientation plus fonctionnelle pourraient s'intéresser au suivi du volume de bois mort dans la perspective de connaître son influence sur le fonctionnement, aux liens entre biodiversité et seuils de toxicité vis-à-vis des métaux, ou encore aux collemboles du sol en tant qu'organismes cibles pour la détermination de seuils critiques de pollution (en lien avec des modèles de charges critiques).

Ces domaines devraient être traités dans le cadre d'appels d'offre, le réseau RENECOFOR étant proposé comme un terrain expérimental privilégié. Les gestionnaires du réseau pourraient être associés, notamment sur les questions d'homogénéisation de protocoles.

La question des enclos

La question du maintien (total ou partiel) des enclos doit être évaluée à court terme. En effet, la soustraction des placettes à la pression d'abrutissement conduit à des évolutions différentes (à des degrés divers selon les contextes) au sein des enclos par rapport à l'extérieur de ceux-ci. Il se pose dès lors une série de questions sur l'intensité des modifications induites et leur impact sur les écosystèmes observés, les effets de seuil probables... Des modalités assez variables de conduite des engrillagements dans le temps sont concevables et le comité n'a pu conclure sur ce point.

L'opportunité de conduire des manipulations d'écosystèmes associées aux placettes

La manipulation d'écosystème est un moyen puissant pour aborder certains aspects du fonctionnement des écosystèmes. Si RENECOFOR est axé sur le suivi et non sur ce dernier type de démarche, on pourrait songer, plus ou moins ponctuellement et sur la base de projets conduits en parallèle à la gestion courante du réseau, de coupler à certaines placettes (sans doute les plus intensivement suivies) des traitements particulier. Un exemple simple (proposé au démarrage du réseau comme partie

intégrante du réseau, ce qui n'avait pu être fait) est la manipulation de la fertilité de l'écosystème (*amendements modérés avec traceur isotopique pour étudier les aspects de remédiations*) mais il peut y en avoir d'autres. Cette opportunité doit être largement portée à connaissance.

B.4 Rappel des couplages et interfaces avec d'autres réseaux

Question 12 : Quelles interfaces avec d'autres réseaux d'observation et les sites-ateliers sont à développer, de manière à produire plus d'informations par une meilleure synergie ?

Il s'agit là d'un travail indispensable, mais complexe, qui n'a pu être conduit que partiellement. Nous présentons ci-après quelques exemples.

Dendrométrie

Les liens évidents portent sur le réseau IFN ; réseaux locaux - réseau des données de gestion ONF lorsqu'il sera structuré selon différents niveaux d'investigation (*bases à mettre en lien dans l'avenir*) ; réseau AFOCEL ; réseau de données des réserves intégrales ; réseau AFI ...

Sol

La comparaison avec les inventaires réalisés sur le réseau 16 x 16 km (surtout quand on aura les résultats des deux réseaux) et la base Infosol devrait être riche d'enseignements (et devrait confirmer l'intérêt des mesures de qualité réalisées sur RENECOFOR).

La complémentarité entre sites-ateliers et réseau a justifié l'association des deux approches dans l'ORE F-ORE-T : le réseau observe et les sites-ateliers doivent fournir les bases de connaissances pour expliquer les observations. Quelques voies de complémentarité concernent :

- l'effet de variables du milieu ou d'essences sur des processus ; la variabilité de ces paramètres est par définition réduite dans les sites-ateliers où l'on souhaite décrypter les processus de fonctionnement dans un milieu non variable ;
- la modélisation qui nécessite des sites moins contraints que les sites-ateliers mais où des observations continues peuvent permettre de valider les modèles et d'explorer l'effet de variables de forçage.

Dépôts

Un rapprochement plus important devrait être envisagé avec le réseau MERA car de nombreux paramètres sont comparables et certaines placettes complémentaires en terme de représentation géographique et vis-à-vis des climats de pollution.

Le site de Fougères comme d'autres stations de l'INRA sont des sites de recherche qui peuvent compléter par certains aspects les données de RENECOFOR du fait par exemple de leur situation géographique particulière

Flore

Intégration des données dans la base ECOPLANT (Lerfob).

Phénologie

Intégration dans la base de données générales françaises en cours de réalisation (GDR) et, dans l'avenir, intégration dans la base européenne.

Interaction avec les spécialistes des traits de vie et de la physiologie des espèces.

Suivi sanitaire

Gestion commune des données phytosanitaires des réseaux 16 x 16 km et RENECOFOR (en cours).

Suivi météorologique

Pour les mesures météorologiques, il est important de continuer à suivre les méthodes standardisées pour rester compatible avec les données de Météo France

B.5 Communication, accès aux données, valorisation

Question 13 : Comment améliorer la communication, la politique d'accès aux données et, finalement la valorisation des données de RENECOFOR ? La valorisation est-elle à la hauteur de l'enjeu ?

B.5.1 Les constats

Une information de qualité

RENECOFOR est doté d'une solide capacité d'information et de publication. Il y a un constat général et partagé d'une excellente restitution des données au plan scientifique. Un site Web bien fait, des brochures, des pages flash (dont la production a malheureusement été arrêtée) pour présenter des résultats récents, tous ces produits montrent que la valorisation semble être à la hauteur de l'enjeu.

Les publications, aussi bien scientifiques que techniques, sont nombreuses, même si l'importance de la production dépend des domaines.

Sans doute est-il possible de mieux cibler l'information en fonction des publics identifiés et au devant desquelles il est indispensable d'aller et de fournir l'information.

Une valorisation en cours

La valorisation bien que satisfaisante, n'est pas encore à la hauteur des investissements et des enjeux pour plusieurs raisons dont les suivantes :

- Les bases de connaissances sont souvent encore en cours d'acquisition ;
- Les prélèvements fournissent des séquences d'observation qui commencent seulement à donner lieu à des recherches sur les tendances évolutives (par exemple, 12 ans de solutions du sol, c'est long à acquérir mais très juste pour identifier des tendances) ;
- Le suivi diachronique des sols n'a pas été encore réalisé de sorte que la mise en relation avec les bilans (calculés à l'aide des flux d'apports atmosphériques, du prélèvement des peuplements, des pertes par drainage, et de l'altération des minéraux, stabilité du compartiment organique) n'a pas encore pu être réalisée. C'est un problème classique des observatoires.

Actuellement, ce sont d'abord les travaux portant sur les données statistiques d'observation qui valorisent la base de données.

Un accès aux données à développer

Les auteurs des publications réalisées à partir des données de RENECOFOR sont actuellement un petit nombre de scientifiques proches du réseau ou plus ou moins directement impliqués dans le réseau. Il est particulièrement important que les données de RENECOFOR soient plus largement connues et utilisées. Plus aisément les utilisateurs potentiels auront accès aux données, plus les possibilités de valorisation augmenteront, ce qui se traduira par une image favorable dans la communauté scientifique et au-delà. Inversement, si des demandes de collaboration restent sans suite, cela nuit en retour à la valorisation de la base.

Il faut donc développer un accès plus facile aux données ou, à tout le moins, à une description des données dans un premier temps. Si on pouvait accéder à l'ensemble des données existantes (RENECOFOR, DSF, IFN, ORE, RNF...) facilement, ce serait un premier grand pas vers une valorisation et une meilleure synergie des réseaux. L'important est de s'assurer de la collection de données communes à tous les niveaux, pour faciliter les comparaisons, les corrélations et l'extrapolation (Question 14). Toutes les publications doivent être accessibles facilement sur le WEB (en pdf). Le comité a noté que les responsables de RENECOFOR avaient pris une initiative dans ce sens. Il y a peu de chances que la donnée RENECOFOR soit commercialisée à terme. Par contre, il y a beaucoup à gagner en terme de valorisation par une facilitation de l'accès.

Un préalable à une meilleure valorisation est l'évolution de la base de données (PARADOX) développée par les gestionnaires du réseau (voir ci-dessous).

B.5.2 Les propositions

Sécuriser la base de données

Un premier point crucial concerne la pérennité de l'accès aux données et donc celle du logiciel utilisé en tant que gestionnaire de base de données (PARADOX). La sécurisation de ce point est un préalable indispensable à toutes les suggestions qui sont faites.

Cibler la communication

Il est nécessaire d'analyser la communication en fonction des cibles :

- pour le public scientifique, il est important de faire connaître davantage le réseau (une occasion en est donnée avec le colloque prévu en 2007), d'afficher et de mettre en œuvre une politique offensive d'accès aux données (rapports sur web, développement de meilleures méta données, données, capacité de répondre aux questions des utilisateurs sur la signification des données), de renforcer l'animation scientifique pour faire passer la recherche à une application « nationale » d'outils encore très « locaux » ;
- pour le public forestier, utiliser les supports existants (Rendez-Vous Techniques, etc) par le moyen d'articles courts ;
- pour un public élargi de « curieux » (dont enseignants, ONG, etc.), expertiser un partenariat avec d'autres organismes producteurs d'information dans les mêmes domaines la possibilité d'une information conjointe sur les points et résultats saillants du réseau.

Faire connaître la valeur ajoutée

Outre les activités classiques d'information, notamment auprès des gestionnaires sur un plan national (le colloque RENECOFOR de 2007 est un des moyens), il est devenu indispensable d'améliorer l'information des bailleurs de fond actuels ou potentiels pour obtenir que des appels d'offre sur les thématiques porteuses puissent tenir compte du potentiel offert par la base RENECOFOR. Cette dynamique est sans doute à rechercher au sein du consortium des réseaux forestiers plutôt que / ou en complément d'une approche basée uniquement sur RENECOFOR.

Une autre façon d'améliorer la visibilité du réseau serait de développer des indicateurs de suivi des modifications des écosystèmes, notamment en lien présumé avec le changement

climatique et les charges critiques. La contribution de l'ensemble des réseaux – dont RENECOFOR – à l'information sur la forêt pourrait prendre une forme qui s'inspire de l'exemple des indicateurs de gestion durable des forêts françaises.

Renforcer la capacité de pilotage du réseau

La mise en œuvre des suggestions qui viennent d'être formulées, et, au-delà, le pilotage du réseau justifierait que le gestionnaire du réseau soit assisté d'un comité de pilotage scientifique (un tel comité a existé pendant la phase de lancement du réseau). Ce comité aurait notamment comme objectif d'aider les responsables du réseau à identifier des questions transversales, à hiérarchiser les priorités, à les conseiller dans certaines démarches de relations publiques, etc.

B.6 Croisement des données

Question14 : Comment les données sont-elles intégrées au sein du réseau, au sens de leurs liens dans la mise en évidence des causes à effets (analyse croisée et perspectives d'analyses intégrées de données relevant de plusieurs domaines) ?

Le croisement des données est un domaine encore peu investi dans RENECOFOR par rapport aux possibilités qu'offre la base de données. La question des croisements de domaines pourrait être examinée de façon méthodique, croisement par croisement, en impliquant dans la démarche chacune des deux compétences scientifiques qui seraient nécessaires. Le comité suggère que le comité scientifique de l'ONF puisse constituer à ce titre une force de proposition en terme de valorisation ciblée sur le croisement.

Actuellement, les questions de la gestion du risque, des seuils de sensibilité, de l'adéquation des essences au contexte changeant est source de préoccupations majeures des chercheurs et des praticiens. Les données du réseau peuvent y contribuer mais il faut se donner les moyens de les analyser et surtout de croiser les différentes sources d'informations.

L'effet de la gestion, celui du gibier, de la régénération en lien avec le matériel et la station (*lien avec l'IFN et les autres réseaux*), les notions de seuils de sensibilité, de valeur déstabilisantes pour l'écosystème, ont été peu abordées.

B.6.1 Les difficultés

Outre la question de disposer d'un recul suffisant et de jeux de données continus et anciens, se pose celle de la nature des milieux couverts et des objectifs à privilégier (changement climatique plus que pollution atmosphérique probablement, biodiversité) ainsi que, bien entendu, les questions de coûts.

Par exemple, pour la définition des relations stations / essences forestières et résilience dans le contexte d'évolution climatique, pour la mise en évidence de seuils limite de dysfonctionnement, le réseau manque de placettes en conditions écologiques délibérément exclues initialement : « *il semble que l'on doive éliminer [...] les stations très défavorables où les changements mineurs des conditions d'environnement peuvent conduire à des fluctuations exagérément fréquentes de l'état de santé des peuplements* » (*Manuel de référence n°1 pour la sélection et l'implantation des placettes permanentes*). Ce choix est logique par rapport au questionnement initial, mais limite les gammes de variations et les possibilités de croisements de facteurs.

Néanmoins, les recherches actuelles ont porté davantage sur l'analyse de paramètres ou de processus particuliers que sur leur intégration au niveau de l'écosystème. C'est une démarche **logique** d'avancement des travaux, mais c'est bien vers l'intégration qu'il faut tendre, avec toutes les difficultés que cela recèle. Il existe des domaines particuliers où cette démarche a déjà avancé (bilans de C, bilan hydrique).

B.6.2 Quelques suggestions

Globalement, la **modélisation** est assez peu présente, et ceci à tous les niveaux ; cet aspect est donc à renforcer en terme de projets.

Dendrométrie

Nombreuses possibilités sous-exploitées, à voir en lien avec d'autres réseaux :

- production / milieu
- structure et composition floristique...
- structure, capital sur pied et régénération...
- utilisation des données pour mieux calibrer, valider, etc... les modèles de croissance, de production...

Dendrochronologie

- analyse des relations cerne/climat pour les 102 peuplements
- analyse croisée état sanitaire / croissance / climat...

Flore

- analyse de la variabilité inter-annuelle sur un même site ?
- mise en relation avec les méta-études et avec le climat ?
- La variabilité "naturelle" à court terme est-elle du même ordre de grandeur que celle observée sur le long terme ?
- Réaction de la flore après les éclaircies / interaction avec LAI

Phénologie

- L'analyse spatiale et temporelle sur la période 1997-2003 vient d'être réalisée. Une analyse plus fine reste à conduire avec intégration des données dans des modèles plus globaux de fonctionnement : bilan de carbone, modèle de répartition des essences , de survie...

Sols

- Analyse du poids de variables du milieu dans la stabilité des processus (association avec les sites-ateliers)
- Intégration par la modélisation couplée, associant plusieurs cycles d'éléments, voire les compartiments sol-plante : ce pourrait être un objectif pour les 10 ans à venir.
- Utilisation des acquis des sites et réseaux associés à des outils de spatialisation (télédétection) pour passer à des échelles spatiales plus larges (compétences à mobiliser).

ANNEXE

TABLEAU RECAPITULATIF DES PROPOSITIONS

Le tableau ci après reprend de façon synthétique les propositions du document en les regroupant thème à thème.

- *En cinquième colonne, il est spécifié si la nature de la proposition relève davantage du projet (« P ») ou du monitoring lui-même (« M »).*
- *Les trois champs suivants relèvent respectivement de l'urgence de la proposition, de son importance au plan scientifique et de son impact présumé en matière de moindre dépense.*
- *La dernière colonne signale des réseaux en lien pour la thématique traitée.*
- *Les lignes concernées la définition d'un « noyau dur » sur lequel les mesures seraient plus complètes et fréquentes, sont identifiées par un texte partiellement en format gras et rouge.*

En jaune : ce qui relève davantage de projets que du monitoring.

Thèmes	Suggestion	Argumentation synthétique	Remarques	Monitoring ou Projet ?	Urgence de 1 à 3, 3=fort.	Importance scientifique de 1 à 3, 3=fort.	Economie en % du coût de la ligne, note de 1 à 3, 3=fort.	Réseau(s) en lien	
Portée générale	Général	Décrire l'environnement plus large de la placette (pollution, fractionnement du paysage...)	Important pour l'interprétation.	M	2	3	-	IFN, réseau 16X16.	
	Général	La question du caractère inerte ou non des matériaux de collecte est à expertiser - d'une façon générale, mettre en place du matériel inerte par rapport aux objectifs d'analyses -revisiter l'échantillonnage (répétitions, nombre de bougies, types de collecteurs de pluviolissivats).	En lien avec vieillissement/améliorations du matériel et nouveau suivi de paramètres potentiels (éléments traces - carbone organique) - fiabiliser les mesures et limiter la perturbation des résultats par le matériel...	Essai préalable de calibrations qualitative et quantitative.	P	2	3	-	MERA
Dendrométrie, dendrochronologie.	Dendrochronologie	Prochaine campagne 20 ans après la première, sauf intérêt scientifique particulier.	Permet de discerner les accroissements annuels contrairement aux suivi dendrométrique, mais pas d'utilité avant cette échéance.	M	1	3	-	IFN	
	Dendrochronologie	réexaminer le soin porté à la conservation des carottes de sondage.	Pas de convention actuellement...	M	3	3	-	IFN	
	Dendrochronologie	Garder une rondelle des arbres morts à 1,30 m.		Evaluer.	M	3	2	-	DSF
	Dendrochronologie	Dendrochimie à envisager	Aspect exploratoire recherche - nutrition de l'arbre - bioindication environnement. Suivre des dynamiques anciennes acidification et nutrition azotée - radioactivité.		P	2	3	-	
	Dendrochronologie	Mesures de densité du bois	Evolutions à suivre avec les changements.		P	1	2	-	IFN
	Dendrométrie	Possibilité de passer sur certaines placettes de 5 à 10 ans	La donnée dendrométrique est ici en domaine incontournable, essentiellement à des fins descriptives et de croisements avec les autres mesures et non pas pour elle seule.	Re-visiter le protocole et chacune des mesures - et moduler en fonction de l'âge du peuplement.	M	3	1	3	IFN, GIS coopérative de données croissance, AFI, Gestion
	Dendrométrie	Mettre en place des colliers de mesure de croissance continue.	Exploratoire - Meilleure compréhension des modèles de croissance en intra annuel - recherche des paramètres de réponse.	Projet	P	1	3	-	GDR phénologie.- Lien avec les lignes traitant de Dendrochimie et densité du bois. Europe niveau 2 Pro Parte.
Dendrométrie	Croisement dendrométrie, dendrochronologie, sol, et nutrition, expertise sur l'indice de fertilité.	Identifier les écarts inattendus et perfectionner la compréhension des écarts et des points marginaux.	Projet - Analyse.	P	2	3	-	Aucun, ou sites ateliers...	
Profil des sols	Profil des sols	Acquisition de nouveaux descripteurs.	Amélioration des bilans hydriques et nutritionnels et de la sensibilité au tassement.	M	2	3	-		
	Profil des sols	Travailler à la standardisation Intercalibration. (ex : pierrosité...).	Les descriptions de sol n'ont jamais fait l'objet d'intercalibration. RENECOFOR peut jouer un rôle, compte tenu de sa capacité démontrée à le réaliser dans les autres domaines. - Domaine majeur.	P	2	3	-	Biosoil	

En jaune : ce qui relève davantage de projets que du monitoring.

Thèmes	Suggestion	Argumentation synthétique	Remarques	Monitoring ou Projet ?	Urgence de 1 à 3, 3=fort.	Importance scientifique de 1 à 3, 3=fort.	Economie en % du coût de la ligne, note de 1 à 3, 3=fort.	Réseau(x) en lien	
Sols	Chimie des sols	Rééchantillonnage comme prévu, et rapidement en grappe sur les 40 cm. Rééchantillonner les deux profils complets et spécification/caractérisation chimique "roche mère". - analyses des éléments majeurs avec pédothèque (partielle). Sur le noyau dur, ajouter des analyses totales (+éléments traces).	Visualiser l'évolution des sols/ Mieux connaître les origines /les différence d'éléments.	Faire une "vraie" analyse totale (au mieux de la technique actuelle) majeurs et traces - Lien avec les solutions de sol...	M	2	3	-	Biosoil
	Solutions des sols	Certains éléments sont suivis de façon non harmonisée entre sites - assurer la détermination harmonisée des éléments.	Ex: Al, Mn et Fe seulement mesurés sur certaines "stations acides" et tantôt l'un ou l'autre de ces éléments (avec technique ICPMS on peut descendre en sensibilité pour les analyser partout en lien avec le suivi potentiel d'autres métaux traces)	à voir en lien avec Erwin, car certaines placettes ont été éliminées car très faibles concentrations. Donc mesures moins fréquentes...	M	3	2	-	ORE FORET sites atelier
	Solutions des sols	Revisite raisonnée des mesures suivies en continu sur le noyau dur de placettes - redéfinition après examen des éventuelles redondances et en relation avec la mesure des dépôts et les inter-relations....	Mesures en continu pour éviter les approximations sur les flux... Difficile de bien voir la perspective de fenêtres temporelles de mesures (Pics, flash etc...)...	Suivi intégré des solutions - Analyse INRA en cours des solutions acquises depuis 10 ans - Analyse des tendances, liaison avec les dépôts et identification des redondances éventuelles...	P	3	2	3	ORE FORET sites atelier
	Solutions des sols	Investigations supplémentaires sur les éléments traces -	Actuellement pas de suivi des métaux lourds en France...(solutions de sol et dépôts). MERA ne compte qu'une seule station de dépôts humides (qui n'est pas représentatif de ce qui arrive au sol d'un écosystème forestier).	Projet : Une thèse a démarré sur le transfert des métaux dans les solutions de sol (oct 06)... Perspectives à développer : écotoxicologie.. Nécessité de réaliser le projet dans le contexte général du recalibrage.	P	2	3	-	MERA Moussees
Analyses foliaires	Suivi de Carbone et Hydrogène total (négocier avec les laboratoires d'analyse pour le récupérer)	Montée en puissance du domaine Carbone - Améliorer les connaissances sur le cycle du carbone - Etablir une base de données sur l'évolution du rapport C/N des litières en liaison avec les changements globaux.	Peut-être faire les mesures pendant quelques années pour tester.	M	2	3	-		
	Assurer la traçabilité des méthodes de broyage lors de la conservation des échantillons.	Etudes à long terme (cf carbone).	Tout est conservé.	M	3	3	-		

En jaune : ce qui relève davantage de projets que du monitoring.

Thèmes	Suggestion	Argumentation synthétique	Remarques	Monitoring ou Projet ?	Urgence de 1 à 3, 3=fort.	Importance scientifique de 1 à 3, 3=fort.	Economie en % du coût de la ligne, note de 1 à 3, 3=fort.	Réseau(x) en lien
Analyses foliaires	Passer de mesures tous les 2 années à un dispositif sans doute mixte : une partie dans laquelle on espace les prélèvements pontuels pour connaître à long terme (1 année sur 4), une partie "noyau dur" dans laquelle on cherche à obtenir des séries complètes (tous les ans)...	Meilleur en terme de compréhension des mécanismes sur des séries complètes, et réalisation d'économies simultanées.	Problème de phasage - Cibler les redondances éventuelles pour définir le "noyau dur" - calibrations avant les campagnes de mesure...	M	3	1	3	Aucun, ou sites ateliers...
	Ajouter la masse surfacique ou un indice de masse surfacique (épaisseurs des feuilles par exemple)	Important dans les analyses	Passe par des projets	P	2	3	-	
	Mesure d'empoussiérage des feuilles	Bioindication des niveaux de pollution, éléments nutritifs, amélioration de la connaissance dépôts secs, blocages (auscultation)	projets	P	2	2	-	lien BD charges critiques
Litières	Evaluer les économies possibles lors de la phase de tri des constituants de la litière.	Réduction des coûts (ex feuilles/aig/bois/fruits... et espèces...)	Analyse en cours à exploiter dans ce sens. Mais ne pas toucher à la fructification qui est un phénomène intéressant à suivre. - Cf Nathalie Bréda : quels sont les compartiments stratégiques....	P	3	1	3	
	Si les échantillons de litières n'ont pas été analysés (autres que la masse), surtout, les conserver...Faisabilité et intérêt de la conservation des litières - au moins sur des séquences diachroniques ciblées.			M	3	2	-	
	Procéder de façon mixte : une partie "noyau dur" dans laquelle on conserve des séries complètes , une partie dans laquelle on espace les prélèvements en séries discontinues à préciser en fonction d'investigations plus poussées.	Litière = Elément central pour effectuer des bilans, comprendre le fonctionnement, forts enjeux, difficile de trancher en optimisation... Les mesures ponctuelles ne donnent pas d'informations pertinentes.	Objectiver la définition du noyau - Test à faire sur les effets des récoltes intra-annuelles. Analyses en cours pour objectiver les choix et leur impacts en terme d'analyse. Etude préalable, et qui doit être conduite au niveau européen dans life +. Examiner la masse (RENECOFOR) sur les dix années passées pour documenter les choix.	M	3	2	-	
	Tester la dégradation des litières en fonction de la fréquence des récoltes.	Il faudrait tester l'effet réel de l'espacement des récoltes sur le résultat (ex masse surface, teneur en éléments)		P	3	1	-	
	Masse surfacique à connaître.	Idem analyse foliaire.	En lien avec ORE, détermination du LAI N Breda.	P	3	1	-	ORE

En jaune : ce qui relève davantage de projets que du monitoring.

Thèmes	Suggestion	Argumentation synthétique	Remarques	Monitoring ou Projet ?	Urgence de 1 à 3, 3=fort.	Importance scientifique de 1 à 3, 3=fort.	Economie en % du coût de la ligne, note de 1 à 3, 3=fort.	Réseau(x) en lien	
Pollutions	Mesures de dépôts	Revisiter le dispositif en maintenant un noyau dur (privilégier la coordination dépôts-solutions de sols), en arrêtant les mesures de retombées humides (8 stations) et en proposant une reprise de certaines de ces dernières par le réseau MERA	Eviter redondance dépôts total (bulk) et humide et entre ce dernier et stations MERA. Le choix d'un noyau dur "recentré" demande une expertise spécifique qui devra être attentive à la représentativité et à la fiabilité des tendances (ainsi qu'à celle de certaines régions, partie Ouest de la France...). Ex: les évolutions des dépôts (MERA) ne sont pas toujours en adéquation avec celles du paysage européen (justifie réseau dense représentatif). Evolution azote à suivre de près.	Développements en cours sur les charges critiques azotées et demandes de données de l'Europe (calibration modèles et réseau EMEP) - environnement écotoxicologique. Si pas de financements MEDD DPPR alors possible resserement sur le noyau dur. Analyse lien MERA et RENECOFOR à réaliser avant de recentrer les mesures.	M* et I	3	1	3	MERA, réseau mousses avec visite des données communes (il y en a encore peu car RENECOFOR ne mesure pas (encore) de métaux...).
	Mesures de dépôts	Analyser les tendances à moyen terme et comparer avec MERA	nécessité : Modéliser/prédire ; vérifier la représentativité du choix des stations	Nécessaire pour vérifier l'impact de la réduction de la pollution en temporel et au niveau spatial- A Coupler a Charges Critiques et réaction des écosystemes (calibration réseau EMEP) -	P	3	3	3	MERA, Base de données Charges Critiques
	Récolte des pluiolessivats	Voir s'il est possible d'utiliser la modélisation pour alléger les mesures écoulements de troncs ...	le suivi sur quelques stations où il est significatif: pourrait-il être supprimé via une modélisation, en particulier pour le cas du Hêtre.	Modélisation.	M	2	1	3	
	Mesures d'Ozone (non discuté en comité le 12/07/06)	Travailler la question de la bioindication en revisitant la sensibilité d'un cortège floristique plus complet. Examiner le degré de complémentarité par rapport au contexte des autres réseaux de mesure d'Ozone (MERA).	Caractérisation des symptômes et transferts possibles à d'autres réseaux.		M et P	2	2	-	A calibrer/visiter absolument en fonction suivi MERA
Phytosanitaire	Entomologie Pathologie	Maintien - ou decrire 20 arbres et non plus 50, quitte à étendre en cas de problème caractérisé.	à concevoir comme une partie du réseau 16X16 et non comme un réseau d'alerte en soi - Le domaine est ici incontournable, essentiellement à des fins descriptives et de croisements avec les autres mesures et non pas pour lui seul.	Préciser la limite à partir de laquelle on passe de 20 à 50 pour le Correspondant Observateur.	M	1	1	2	
	Entomologie Pathologie	Avoir une appréciation de la présence de pathogènes dans une zone environnant la placette RENECOFOR.		Evaluer préalablement l'intérêt et la méthode.	M	2	2	-	
	Entomologie Pathologie	Dans l'analyse, voir si le suivi individuel est pertinent		Projet	P	2	2	2	

En jaune : ce qui relève davantage de projets que du monitoring.

	Thèmes	Suggestion	Argumentation synthétique	Remarques	Monitoring ou Projet ?	Urgence de 1 à 3, 3=fort.	Importance scientifique de 1 à 3, 3=fort.	Economie en % du coût de la ligne, note de 1 à 3, 3=fort.	Réseau(x) en lien
	Entomologie Pathologie	Croiser l'information pathologie et les autres données et examiner quels croisements sont pertinents par rapport aux nouvelles thématiques.		Projet	P	1	2	-	
Climat	Météorologie	Expertiser le biais possible sur les mesures, lié aux perturbations supposées d'un voisinage plus ou moins forestier des postes météorologiques du réseau...	Savoir si le décalage des données météo France et stations pulso est caractéristique du climat régnant au dessus des forêts ou si l'environnement de la station pulso entraîne des biais... Fondamental car la météorologie est une donnée d'entrée pour de nombreux domaines.		P	3	3	3	
	Météorologie	Ajouter la teneur en eau du sol et la température du sol	pour améliorer les bilans hydriques. Plus généralement améliorer la question liées à l'eau. (Noyau très dur de placettes...)	Attention au coût....	P	2	3	-	
Phéno	Phénologie	Maintien			M	3	3	-	Arboreta
Biodiversité	Composition floristique	Comblent l'absence de description dans les régénérations -	Elément intéressant souvent non décrit.	Simple question d'accès...	M	3	3	-	
	Composition floristique	Possible de faire tous les 10 ans mais deux années de suite.	Se poser la question de la maintenance exclos-enclos....	Monitoring	M	-	-	-	ECOPlante et niveau 1 CEE
	Mycologie	Continuer la calibration	Développer ce type de domaines importants pour le champ de préoccupation biodiversité	Passer par des projets.	P	2	3	-	
	ADN total ou spécifiques du sol indicateur de biodiversité communautés microbiennes biodiversité fonctionnelle décomposeurs et symbiotes - lombrics	à prospecter et à faire...	Il existe un champ d'angles d'attaque de la biodiversité du sol (biodiversité fonctionnelle, taxonomique... avec un certain nombre de méthodes... (Investigations et opportunités à saisir.). Beaucoup de gens intéressés. C'est le moment de le faire.... Permet d'identifier des unités taxonomiques.	Projet thématique - Cf laboratoire de Dijon-Forces aussi dans ce domaine sur Toulouse (appel a projets et colloque RENECOFOR)	P	2	3	-	Très fort avec les autres réseaux, museum - spécialistes de la question biodiversité des sols.
Gibier	Gibier	Conduire une réflexion sur l'opportunité de maintenir (régénération), enlever certains enclos, recouper certains enclos en enclos/exclos à moyen terme... Il y a un impact de l'enclos sur le fonctionnement (dérive de la composition en enclos)...Envisager des enclos semi perméables pour protéger les installations.		Projet	P	3	2	-	CEMAGREF nogent - Etude en cours enclos exclos
	Gibier	Faire un effort sur l'entretien des enclos	Dispositif unique au niveau national		M	2	1	-	

Annexes 3.1 à 3.11

Par domaine de suivi, mise à jour de l'analyse des résultats et perspectives scientifiques produite lors de la 1ère évaluation en 2006

Annexe 3.1 Dendrométrie

Annexe 3.2 Dendrochronologie

Annexe 3.3 Observations phénologiques

Annexe 3.4 Suivis sanitaires

Annexe 3.5 Analyses foliaires

Annexe 3.6 Chutes de litière

Annexe 3.7 Sol

Annexe 3.8 Biodiversité

Annexe 3.9 Météorologie

Annexe 3.10 CATAENAT – Suivi des dépôts atmosphériques et solutions du sol

Annexe 3.11 Ozone

Annexe 3.1 : Dendrométrie

1. Analyse lors de la 1^{ère} évaluation en 2006

Les données produites :

Dans le manuel de référence Dendrométrie n°1, les objectifs des données dendrométriques sont définis ainsi : « Dans le cadre du suivi intensif des écosystèmes forestiers français et européens, les données dendrométriques ont un double rôle. Elles ont pour but d'une part, d'apprécier la productivité des peuplements et d'autre part, de déterminer le niveau et les variations de deux facteurs de croissance importants que sont la concurrence (passée et actuelle) et la fertilité. A terme l'objectif est de déterminer un (ou des) indice(s) de vitalité ou de productivité ».

Méthodologie :

Mis en œuvre tous les 5 ans, le protocole comporte deux volets :

- **Inventaire en plein de la placette** (au seuil de 15 cm de circonférence, appartenance à l'étage principal vivant précisée). Réalisé également systématiquement avant et après chaque éclaircie ;
- Suivi individuel des 52 tiges numérotées :
 - statut social
 - circonférence (à partir de 15 cm et à 0,5 cm près), selon directives du réseau européen
 - hauteur totale (à 0,5 m près)
 - hauteur de la base du houppier (mesure obligatoire au plan européen)
 - hauteur d'insertion de la première grosse branche vivante ($D \geq 3$ cm)
 - rayon de l'enveloppe convexe du houppier dans 8 directions (à 0,1 m près)

Ce protocole est à mettre en relation avec des obligations réglementaires limitées, définies par le règlement CE 1091/94 (« mesures de l'accroissement ») : nombre d'arbres de la placette, âge moyen de l'étage dominant, essence principale et rendement (estimation).

La valorisation des données

La dendrométrie permet dans RENECOFOR de décrire l'une des variables de « réponse » à différentes contraintes. S'il s'agit de réaliser des études sur la croissance en tant que telle, d'autres bases de données (IFN, placettes de sylviculture) constituent des sources beaucoup plus riches et de nature à conduire à des publications scientifiques. C'est dans le croisement des variables (effets des contraintes sur la croissance) que la donnée dendrométrique prend toute son importance au sein du réseau. Ainsi, la seule publication valorisant les données dendrométriques recueillies systématiquement dans le cadre du réseau est le rapport Cluzeau et al. (1998), consistant en une description et un examen critique des données recueillies, avec une fiche par placette et une synthèse.

Par ailleurs, des données spécifiques ont été recueillies sur 5 placettes de Douglas, dans le cadre du travail de Quentin Ponette, et ont été valorisées dans les travaux de Ponette, Ranger et coll.

Enfin, les données dendrométriques ont été utilisées dans les articles exploitant les données dendrochronologiques, pour le calcul des caractéristiques générales des peuplements (ce qui illustre typiquement leur intérêt documentaire), l'analyse de la nutrition foliaire (Croisé et al., 1999) et les synthèses individuelles par placettes disponibles sur le site Internet du réseau (n=21, S. Cecchini).

La faible utilisation des données du niveau II européen pour l'analyse des changements de productivité soulève la question de l'intérêt de ces données dendrométriques par rapport aux objectifs généraux du réseau. Des résultats ont été acquis sur les relations cerne-climat, mais à partir de l'échantillonnage dendrochronologique. De même des analyses sont en cours, à partir de ce même type de données, sur l'impact de la sécheresse 2003 (François Lebourgeois, en collaboration avec le WSL). En fait, les données dendrométriques semblent avoir un intérêt de nature documentaire (enregistrement de l'état des placettes), plutôt qu'un intérêt propre. Cependant, le faible nombre de placettes permanentes suivi en France pour la recherche leur donne une valeur intrinsèque.

Perspectives scientifiques : une valorisation plus systématique à entreprendre

Les données dendrométriques acquises mériteraient plus de valorisation :

- Mise en relation de la croissance avec les facteurs du milieu (nutrition...), ou encore avec les charges critiques.
- Confrontation du diagnostic pédologique avec la fertilité, mesurée à l'aide du couple (hauteur, âge) : certains hiatus mis en évidence dans le rapport Cluzeau, mériteraient d'être analysés de façon approfondie.
- Il conviendrait d'évaluer l'intérêt des données relatives à la mortalité, en principe bien renseignées dans RENECOFOR.

Suggestions méthodologiques

Clarification :

Ce protocole a connu un certain nombre d'évolution méthodologiques pertinentes, mais conduisant à une formulation un peu touffue, qui gagnerait à être éclaircie (risque de confusion entre « arbre-échantillon » (=pour l'échantillonnage foliaire) et « tiges-échantillons » (d'une catégorie dimensionnelle pour une essence dans une strate).

Enrichissement du protocole ?

L'intérêt de mesures en continu du diamètre au moyen de colliers a été discuté. Le coût de ces mesures est élevé (du fait de la collecte automatique d'un grand nombre de données). Un bruit important affecte ces données, qui en pratique ne sont pas valorisables à une fréquence plus élevée que l'hebdomadaire, qui a l'intérêt de pouvoir être mise en relation avec la phénologie. Ce type d'approche pourrait être mené de façon ponctuelle (cela ne correspond pas à des problématiques centrales pour RENECOFOR).

Allègement du protocole

Le comité propose l'abaissement de la fréquence des mesures à **un passage tous les dix ans**, du moins pour les peuplements matures non ouverts.

2. Evolution du suivi depuis la 1^{ère} évaluation en 2006

Depuis 2008 et faisant suite à l'arrêt des financements de l'Union Européenne, l'intensité du suivi dendrométrique a été réduite.

- Réduction de la fréquence des inventaires réguliers de 5 ans à 10 ans pour les 37 sites de niveau B.
- Réduction de la fréquence des mesures de hauteurs de 5 ans à 10 ans sur l'ensemble des sites.

3. Analyse de l'avancement des activités en 2013

Valorisations

Depuis 2006, les données dendrométriques ont fait l'objet de multiples valorisations, démontrant leur intérêt propre.

A l'échelle européenne, les données des placettes de niveau II sont utilisées dans la compréhension des effets des changements globaux sur la croissance forestière et le stockage de carbone dans la biomasse. Il s'agit notamment de déterminer si l'augmentation de la productivité forestière constatée au cours 20^{ème} siècle peut être reliée à l'augmentation du taux de CO₂ atmosphérique, à celle des températures, ou à celle des dépôts azotés. Deux approches des données dendrométriques de 1994 à 1999 ont été mises en œuvre quant à l'accroissement en diamètre des arbres (Laubhann et al. 2009) et quant à l'accroissement en volume des peuplements (Solberg et al. 2009), et visant à modéliser les variations sur la large gamme de contextes couverte à l'échelle continentale pour 4 essences (épicéa, pin sylvestre, hêtre, chêne). Distinguant les effets des facteurs locaux (sol, âge et densité du peuplement), ces deux approches concordent dans la mise en évidence une relation positive significative du surplus de croissance avec la quantité de dépôts azotés ainsi qu'avec la température. L'effet fertilisant de l'azote est évalué à 1 à 2 % d'augmentation de croissance par kg/ha de dépôt d'azote, pour une gamme de contextes variant de 1 à 60 kg/ha/an de dépôt d'azote. On notera que les variations spatiales de dépôts d'azote mesurés sur le sous-réseau CATAENAT ont également permis à Bontemps et al. (2011) d'attribuer aux retombées azotées un rôle prépondérant dans l'augmentation de croissance en hauteur des hêtres de la moitié Nord de la France sur 100 ans. Cela étant, le poids relatif des facteurs environnementaux sur la croissance est enclin à évoluer. De manière prospective, Wamelink et al. (2009) utilisent aussi les données européennes de niveau II pour simuler l'effet sur le stockage de carbone (dans la biomasse et le sol) de la diminution des dépôts azotés, de l'augmentation du taux de CO₂ atmosphérique et des températures ainsi que des changements de précipitations à l'horizon de 2070. Leurs résultats suggèrent des effets contradictoires de ces différents facteurs pris séparément mais un effet combiné dans le sens d'une hausse du stockage de carbone pour la plupart des sites.

A l'échelle nationale le réseau RENECOFOR apporte également des résultats originaux dans la comparaison de l'accroissement aux paramètres sanitaires (Ferretti et al. 2013). Les variations inter-arbres (4200 arbres-observations et arbres-échantillons) permettent de démontrer l'existence d'une relation négative significative entre l'accroissement et le déficit foliaire moyen sur 10 ans. La perte relative d'accroissement est significative dès les faibles classes de déficit foliaire et suit une pente proche de -1 % accroissement / % déficit foliaire.

Par ailleurs les données dendrométriques s'avèrent utiles à la calibration ou la validation de modèles de croissance. Le recul de suivi de 20 ans et la diversité des contextes couverte par ses 102 sites font du réseau RENECOFOR une source de données rare :

- calibration du modèle CASTANEA pour la prise en compte des variations de croissance intra-peuplement (Guillemot et al. 2013),
- validation des modèles de croissance de peuplement développés à partir des résultats d'essais sylvicoles (travaux de M. Fortin dans le cadre de la convention de recherche Modelfor entre ONF et INRA).

Enfin les données dendrométriques servent à caractériser l'intensité de la gestion forestière en tant que variable explicative de l'évolution des écosystèmes forestiers : l'évolution du peuplement apparaît comme un facteur explicatif de l'évolution du déficit foliaire (Ferretti et

al. 2011), des chutes de litières (Peaucelle, 2011) ou encore de la composition floristique (Archaux et al. 2009).

Perspectives

Le pas de temps des inventaires dendrométriques de 5 à 10 ans a limité jusqu'ici l'étude des données principalement à l'analyse des variations inter-sites de la croissance, tant à l'échelle européenne que nationale. La perspective logique sera de mettre à profit les successions d'inventaires pour étudier les variations temporelles de la croissance et de ses relations avec les facteurs environnementaux. A l'échelle européenne, les données collectées jusqu'en 2009 ont fait l'objet d'une étude préliminaire du PIC Forêts en ce sens (Fischer et Lorenz, 2011). L'analyse temporelle des accroissements devrait notamment permettre de mesurer l'effet des éclaircies parmi l'ensemble des facteurs considérés. L'effet de l'ozone, suivi depuis moins longtemps, mériterait également d'être analysé pour répondre aux craintes qu'il suscite.

D'autre part, les inventaires dendrométriques associés aux données de chute de litière et de chimie du sol pourraient constituer un jeu de données intéressant pour l'étude de la dynamique du carbone au sein des écosystèmes forestiers (cf post-doc de B. Caquet en cours dans le cadre du SOERE F-ORE-T).

Enfin les potentialités des données de mortalité mériteraient aussi toujours d'être étudiées, comme suggéré lors de la 1^{ère} évaluation.

Suggestions de modification du suivi

1. Rétablir la périodicité quinquennale des inventaires dendrométriques sur les 37 sites de niveau B.

Depuis 2008, suivant la suggestion du comité d'évaluation de 2006, la périodicité de 5 ans des inventaires dendrométriques réguliers a été portée à 10 ans pour les 37 sites de niveau B. En pratique, l'économie réalisée par cet espacement des mesures est faible (0.05 ETP/an) tandis qu'il augmente notablement les risques de perte d'information d'accroissement. En effet :

- les dégâts de tempête, dont le risque nous a été rappelé dans le Sud-Ouest en 2009, font perdre toute information d'accroissement depuis le dernier inventaire réalisé sur les sites touchés,
- certains inventaires exceptionnels (avant et après coupe) ont également pu être manqués par le passé, par défaut de communication, et avec les mêmes conséquences.

De fait, les inventaires dendrométriques jouent un rôle structurant dans l'organisation du suivi des sites. Ils assurent une communication régulière entre les responsables locaux et les correspondants territoriaux, notamment pour le suivi des exploitations et la maintenance des dispositifs.

Dans l'idéal même, une périodicité annuelle des inventaires dendrométriques mériterait d'être envisagée pour de multiples intérêts :

- en cas de tempête ou de coupe non anticipée, la perte d'information se limiterait à une année d'accroissement ;
- l'accroissement annuel du peuplement pourrait être davantage analysé comme une variable de réponse, en corrélation avec l'ensemble des autres paramètres mesurés au pas de temps annuel (phénologie, santé, météorologie, dépôts atmosphériques, chutes de litière, ozone) ou bisannuel (nutrition foliaire) ;
- la communication entre les responsables locaux et les correspondants territoriaux serait facilitée par un point d'avancement régulier (annuel) sur site.

Cela étant le passage à une périodicité annuelle augmenterait sensiblement la contribution en temps des correspondants territoriaux. La fréquence initialement fixée à 5 ans était déjà un compromis entre l'idéal d'un suivi annuel et les risques de pertes d'information d'un suivi trop lâche tous les 10 ans.

2. Mettre en place un suivi d'accroissement annuel des 36 arbres observation de chaque site.

La vulnérabilité des forêts aux changements climatiques soulève la question de la variabilité intra-peuplement de la réponse des arbres aux changements environnementaux. Dans cette optique, les données collectées à l'échelle arbre sur les quelque 5 000 arbres observation et arbres échantillon se révèlent un apport original du réseau RENECOFOR. Ces données à l'échelle arbre concernent pour le moment l'état sanitaire annuel (depuis 1994), la phénologie annuelle (notation individualisée par arbre depuis 2009) et la croissance quinquennale ou décennale. La mesure de données d'accroissement annuel sur les mêmes arbres apporterait un complément notable pour la comparaison de la sensibilité aux évolutions environnementales de ces trois aspects de santé, de phénologie et de croissance (Ferretti et al. 2009). En outre, un autre développement intéressant serait de mesurer la variabilité génétique de ces arbres, en comparaison de leur variabilité phénotypique.

L'évolution des attentes et des perspectives d'analyse a conduit à reconsidérer la faisabilité d'un suivi d'accroissement annuel depuis fin 2011. Face à l'incertitude liée à la mesure de la circonférence au ruban, l'utilisation de dendromètres à lecture directe est envisagée : un protocole a été élaboré (Macé, 2012) et testé sur chêne et pin à Fontainebleau, en collaboration avec l'Université d'Orsay. Les résultats après un an montrent :

- la faisabilité du protocole pour le suivi d'accroissement annuel des arbres-observation,
- une évolution d'accroissement sur écorce épaisse comparable à une installation sans écorce (écorce poncée),
- une incertitude de mesure satisfaisante y compris pour des arbres à faible croissance.

En revanche l'option de prélèvements de carottes de bois sur les arbres observation n'est pas envisagée car elle pourrait avoir un impact sur le suivi sanitaire.

3. Adapter le protocole d'inventaire pour suivre l'accroissement des sites en régénération post tempête.

Le protocole de suivi dendrométrique actuel prend en compte les tiges de la zone centrale de chaque site à partir d'une circonférence de 15 cm à 1,30 m de hauteur. Or plusieurs sites du réseau RENECOFOR sont marqués par des dégâts de tempête en 1999 ou 2009. Quatre d'entre eux sont entièrement en régénération : ils n'ont pas fait l'objet d'inventaire dendrométrique depuis et la prise en compte uniquement des tiges de plus de 15 cm de circonférence au prochain inventaire régulier de 2014 serait peu pertinente. En conséquence, le protocole pourrait être adapté par

- la mise en place d'un échantillonnage statistique pour les surfaces en régénération naturelle dense,
- le choix de mesures de hauteur ou de circonférence à moins de 1,30 m pour les tiges des sites replantés qui n'auraient pas encore dépassé cette hauteur.

4. Organiser le recueil systématique d'informations quant aux modalités des interventions sylvicoles.

Les inventaires dendrométriques permettent de suivre l'historique de gestion forestière à travers l'évolution de la densité et la composition des peuplements, donnée fondamentale pour la compréhension de l'évolution des écosystèmes. Cependant des informations complémentaires relatives aux modalités d'exploitation seraient aussi utiles notamment dans l'étude de l'évolution des sols et de la composition floristique : nature des produits prélevés et

caractérisation des rémanents laissés sur coupe, nombre et zones des passages d'engins. Ces informations sont de la compétence des agents forestiers responsables des sites mais nécessiteraient d'être recueillies au moment des travaux d'exploitation et mis en forme dans la base de données, éventuellement en association avec les données des inventaires après coupe.

4. Liste bibliographique indicative (en gris les références listées en 2006)

Manuels de référence

- L. Croisé, M. Lanier, 2004 (deuxième version) : Manuel de référence n°2 - méthodes de mesure des paramètres dendrométriques, éditeur : Office National des Forêts, Département Recherche, 62 p.
- 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.

Articles dans des revues à Comité de lecture

- Laubhann D., Sterba H., Reinds G.J., de Vries W., 2009. The impact of atmospheric deposition and climate on forest growth in European monitoring plots: An individual tree growth model. *Forest Ecology and Management* 258 : 1751-1761
- Solberg, S., Dobbertin, M., Reinds, G.J., Lange, H., Andreassen, K., Fernandez, P.G., Hildingsson, A., de Vries, W., 2009. Analyses of the impact of changes in atmospheric deposition and climate on forest growth in European monitoring plots: A stand growth approach. *Forest Ecology and Management* 258 : 1735-1750
- Wamelink G.W.W., Wieggers H.J.J., Reinds G.J., Kros J., Mol-Dijkstra J.P., van Oijen M., de Vries W. 2009: Modelling impacts of changes in carbon dioxide concentration, climate and nitrogen deposition on carbon sequestration by European forests and forest soils. *Forest Ecology and Management* 258: 1794-1805

Rapports scientifiques & documents internes

- C. Cluzeau, E. Ulrich, M. Lanier, F. Garnier, 1998 : RENECOFOR - Interprétation des mesures dendrométriques de 1991 à 1995 des 102 peuplements du réseau. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 151 - 4, 309 p.
- L. Croisé, C. Cluzeau, E. Ulrich, M. Lanier, A. Gomez, 1999 : RENECOFOR - Interprétation des analyses foliaires réalisées dans les 102 peuplements du réseau entre 1993 et 1997 et premières évaluations interdisciplinaires. Editeur : Office National des Forêts, Département Recherche et Développement, ISBN 2-84207-189-1, 413 p.
- Ferretti M., Bacaro G., Brunialti G., Calderisi M., Frati L., Pollastrini M., 2013: Relationship between forest health and growth at the RENECOFOR plots. Part 2. Final Report. *Terra Data Environmetrics*, 64 p.
- Fischer R, Lorenz M (eds.). 2011: Forest Condition in Europe, 2011 Technical Report of ICP Forests and FutMon. Work Report of the Institute for World Forestry 2011/1. ICP Forests, Hamburg, 2011, 212 pp.

Présentations lors de colloques scientifiques

- Guillemot J., Delpierre N., Vallet P., François C., Soudani K., Nicolas, M., Dufrière E. 2013 : Modeling forest stand structure within a process-based model. 7th International Conference on Functional-Structural Plant Models, Saariselkä, Finland, June 9-14th 2013

5. Autres citations

- Archaux F., Boulanger V., Camaret S., Corcket E., Dupouey J.-L., Forgeard F., Heuzé P., Le Bret-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.
- 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, DOI 10.1007/s00468-010-0501-2
- Ferretti M., Bacaro G., Brunialti G., Calderisi M., Cozzi A., Maccherini S., Rocchini D., 2009: Evolution of forest condition indicators in the RENECOFOR plots and influence of environmental stressors. Final report of the feasibility study. *Terra Data Environmetrics*. 157 p.
- Ferretti M., Bacaro G., Brunialti G., Calderisi M., Frati L., Leone L., Santi E. 2011. Analysis of Forest Health data from the RENECOFOR plots. Part 3. Relationship with environmental factors. *Terra Data Environmetrics*, 144 p.
- Peaucelle M., 2011. Time trends in forest litterfall production and relationships with environmental changes: an exploratory approach on data collected from 1995 to 2007 in the RENECOFOR monitoring network. Rapport d'année pleine de recherche 2010-2011, Ecole Normale Supérieure de Cachan, 29 p.

Annexe 3.2 : Dendrochronologie

1. Analyse lors de la 1^{ère} évaluation en 2006

Les données produites

Le volet dendrochronologique du réseau RENECOFOR a concerné la période 1995-1999. Il est donc officiellement terminé depuis environ 6 ans même si des articles sont encore actuellement en cours de publication. Le premier volet (1995-1997) a constitué en l'échantillonnage des 102 sites (26 à 30 arbres par site, plus de 3000 au total), à la constitution de la base de données de cernes (près de 226 000) et à une première analyse visant à apporter des éléments d'information quant à l'histoire des peuplements avant la constitution du réseau : âge des arbres, niveau de croissance, effet des éclaircies, années à croissances particulières (particulièrement forte ou faible), etc. Le second volet entrepris entre 1997 à 1999 sur un sous-échantillon de 40 sites a permis d'analyser le déterminisme climatique des variations de croissance radiale de quatre essences importantes du réseau : chênes, hêtre, sapin pectiné et épicéa commun.

Le réseau RENECOFOR constitue une **base de données dendrochronologiques unique** en France, aussi bien par le nombre des essences considérées que leur répartition spatiale. L'ensemble des analyses menées pendant ces dernières années ont permis de répondre d'une façon tout à fait satisfaisante aux objectifs initiaux fixés : connaissance plus approfondie des écosystèmes forestiers et de leurs réactivités vis-à-vis des facteurs du milieu. Ainsi, à partir de l'analyse des cernes, de très nombreuses informations ont été fournies aussi bien à la communauté forestière des praticiens (données sur l'anatomie du cerne, sur les niveaux de croissance radiale, sur la réactivité des arbres aux éclaircies, etc.) qu'à la communauté scientifique s'intéressant aux effets du climat sur les écosystèmes forestiers. Les données disponibles ont permis de dégager, sur une large échelle spatiale et temporelle, les facteurs climatiques prépondérants pour la croissance d'essences aux caractéristiques écologiques tranchées et de comparer leur sensibilité. Par exemple, les sensibilités différentes du hêtre et des chênes vis-à-vis du climat moyen, mais également des événements extrêmes et le rôle de la station (effet de seuil) dans cette sensibilité ont ainsi été mis clairement en évidence. Ce travail a également permis de valider à grande échelle un modèle de bilan hydrique journalier à base écophysologique caractérisant l'intensité et la durée de la sécheresse. Les apports de ce volet dendrochronologique ont donc été très importants aussi bien pour les praticiens et la gestion que pour la recherche.

La valorisation des données : un cas exemplaire

La valorisation scientifique et technique a également été très importante. Le nombre de publications s'élève à 11 (situation en novembre 2006). Elles se répartissent en 2 rapports scientifiques (dont un dans la série RENECOFOR à très large diffusion), 8 articles dans des revues à comité de lecture (5 en français, 3 en anglais) et trois articles de vulgarisation (en français). D'autres publications sont en cours de rédaction. Environ une quinzaine d'articles auront donc été publiés pour ce volet et 21 synthèses individuelles par placettes disponibles sur le site Internet du réseau. Cet exemple montre l'intérêt de constituer une équipe resserrée de chercheurs autour de RENECOFOR, et de pratiquer des échanges de personnels entre l'équipe de gestion du réseau et les équipes de recherche : maîtrisant parfaitement les protocoles, ces chercheurs sont les mieux à même de valoriser les données.

En conclusion, le volet dendrochronologique a apporté des éléments de réponse majeurs dans la meilleure compréhension des effets du climat sur la croissance des arbres (à large échelle

spatiale) et sur la sensibilité différentielle des essences. Il reste totalement d'actualité et paraît encore adapté pour répondre aux préoccupations émergentes même si certaines espèces et contextes écologiques importants sont peu ou pas représentés (Charme, Châtaignier, région méditerranéenne, etc.) et certains types de gestion non abordés (peuplements irréguliers, mélangés, etc.).

Perspectives scientifiques

Il n'existe pas à l'heure actuelle **d'interface et de synergie avec d'autres dispositifs** ou d'autres bases de données en France (IFN, sites ateliers, etc.) ou en Europe. Elles pourraient cependant être envisagées dans les années futures car une meilleure connaissance de la sensibilité des essences au climat dans le cadre des changements globaux est une préoccupation majeure de la communauté forestière internationale. Le réseau apparaît donc toujours d'actualité et il est certain qu'il continuera à apporter des éléments de réponse pour ces questions émergentes. Ainsi, une étude, associant la Suisse et la France (coopération WSL-LERFOB-ONF), est actuellement en cours visant à analyser l'effet de la canicule de 2003 sur une partie des peuplements (hêtre et épicéa). Dans le futur, de **nouvelles analyses climatiques** pourraient également être entreprises (sur le pin sylvestre notamment) ainsi que des analyses croisées prenant en compte non seulement le climat mais également, par exemple, l'état sanitaire des peuplements.

Enfin, le matériel récolté dans le cadre de ces études dendrochronologiques reste disponible pour une exploitation par d'autres disciplines, comme la **dendrochimie**.

Suggestions méthodologiques

Ces prélèvements mériteraient d'être réitérés, par exemple **tous les 20 ans**. Ils présentent un réel intérêt de monitoring, même si les informations sont interprétées de façon différée (seules les données dendrochronologiques nous donnent accès aux variations de croissance interannuelles). Il serait souhaitable, par ailleurs, de prélever systématiquement des carottes sur les arbres morts.

2. Evolution du suivi depuis la 1^{ère} évaluation en 2006

Sur le terrain, une seconde campagne de prélèvement a été menée en 2009 sur 34 sites de hêtre, chêne sessile et chêne pédonculé. Le traitement et l'analyse de ces prélèvements sont en cours.

En revanche, aucune suite n'a encore été donnée à la suggestion du comité d'évaluation de 2006 de carotter systématiquement les arbres morts. L'intérêt de tels prélèvements n'est pas dénié mais leur mise en application présenterait des difficultés réelles (fourniture de matériel et formation des agents au prélèvement à la tarière de Pressler, gestion de données et de d'échantillons issus de prélèvements irréguliers) et leur valorisation resterait incertaine (arbres morts globalement peu nombreux, temps non négligeable de traitement des échantillons et des données).

3. Analyse du contexte et de l'avancement des activités en 2013

Valorisations

Le domaine de la dendrochronologie, exemple déjà remarqué lors de l'évaluation de 2006, a continué depuis à produire de nombreuses publications. La valorisation remarquable des données recueillies lors de la campagne 1995-1999 mérite d'être soulignée car elles

constituent toujours la principale source de cette production. Qui plus est, l'effort de vulgarisation en français est resté important.

En premier lieu, le réseau RENECOFOR s'est avéré une source de données importante dans la caractérisation essence par essence de la sensibilité actuelle de la croissance radiale aux paramètres du climat. Les valorisations précédentes concernaient les feuillus (hêtre et chênes) et depuis la 1^{ère} évaluation les publications concernent essentiellement les essences résineuses – sapin, épicéa, pin sylvestre (Lebourgeois et al. 2006, 2007, 2010). Plus encore, les données du réseau ont permis d'étudier l'évolution temporelle de la réponse des arbres au climat. Pour la chênaie sessiliflore dans la moitié Nord de la France, Mérian et al. (2011) montrent ainsi une réduction de la corrélation entre la croissance et les pluies de juillet au cours de la période 1914-1993 et l'attribuent plutôt à la moindre variabilité interannuelle des précipitations qu'à leur diminution. Un article dans la Revue Forestière Française (Lebourgeois et Mérian, 2011) propose une synthèse des connaissances acquises sur la sensibilité au climat des principales essences forestières ainsi que des problèmes de divergence temporelle de la réponse des arbres au climat.

En outre, le grand nombre d'arbres carottés par placette ($n = 30$) a permis d'examiner l'effet de l'échantillonnage sur le signal de réponse au climat. D'une part, la significativité de la relation cerne-climat a été analysée en fonction du nombre d'arbres carottés pour 5 espèces différentes (Mérian et Lebourgeois, 2011a) : les résultats indiquent en particulier que les essences sciaphiles requièrent un échantillon d'arbres plus important que les essences héliophiles. D'autre part, la sensibilité de la croissance aux paramètres climatiques a été étudiée suivant le diamètre des arbres (Mérian et Lebourgeois, 2011b) : les résultats suggèrent pour les essences tolérantes à l'ombrage que 1) les gros arbres pourraient être plus sensibles aux changements climatiques, notamment au stress hydrique estival en contexte xérique, et que 2) les futures études sur la sensibilité au climat devraient se baser sur un échantillonnage stratifié en fonction de la taille pour fournir une estimation non biaisée de la réponse du peuplement. Ces résultats méthodologiques ainsi que les approches d'analyse développées au cours de la thèse de Pierre Mérian (2012) ont servi à l'élaboration d'un manuel de dendrochronologie (Lebourgeois et Mérian, 2012).

Perspectives

Jusqu'ici, les données ont été principalement étudiées par une approche de dendrochronologie classique consistant à standardiser les séries chronologiques de manière à ne conserver que le signal climatique. Une autre possibilité soulevée par la thèse de Pierre Mérian (2012) sera d'utiliser comme variable de réponse le signal brut d'accroissement radial annuel et de le modéliser par des approches multivariées en intégrant des facteurs autres que climatiques (âge des arbres, contexte stationnel, historique de gestion...). Une perspective originale des carottages effectués en 2009 sera notamment de pouvoir intégrer l'évolution des peuplements suivis en plein sur chaque site RENECOFOR depuis 1992.

La croissance radiale pourra également être rapprochée d'autres paramètres de réponse annuelle des peuplements (phénologie, production de feuilles et de fruits, état sanitaire). A travers ces différents paramètres il serait intéressant en particulier d'étudier leur résistance (amplitude de réponse) et leur résilience (délai de recouvrement) à la suite d'une année exceptionnelle comme la sécheresse-canicule de 2003. Ce rapprochement serait aussi utile à l'étude des stratégies d'allocation de carbone dans les différents compartiments selon les contraintes environnementales.

4. Liste bibliographique indicative (en gris les références listées en 2006)

Manuel de référence

Lebourgeois F., Mérian P., 2012. Principes et méthodes de la dendrochronologie, LERFOB, AgroParisTech, Centre de Nancy, 85 pages.

Articles dans des revues à Comité de lecture

- LEBOURGEOIS F., ULRICH E., PONCE R., 1998. Réactivité d'arbres âgés à l'ouverture du peuplement. Quelques exemples livrés par l'étude des placettes du réseau RENECOFOR. *Revue Forestière Française*, 50(2), 139-148.
- LEBOURGEOIS F., 1999. Les chênes sessile et pédonculé (*Quercus petraea* Liebl. et *Quercus robur* L.) dans le réseau RENECOFOR : rythme de croissance radiale, anatomie du bois, de l'aubier et de l'écorce. *Revue Forestière Française*, 51(4), 522-536.
- LEBOURGEOIS F., GRANIER A., BRED A N., 2001. Une analyse des changements climatiques régionaux en France entre 1956 et 1997. *Annals of Forest Science*, 58, 733-754.
- LEBOURGEOIS F., BRÉDA N., ULRICH E., GRANIER A., 2005. Climate-tree-growth relationships of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Trees*, 19 (4), 385-401.
- LEBOURGEOIS F., 2005. Approche dendroécologique de la sensibilité du hêtre (*Fagus sylvatica* L.) au climat en France et en Europe. *Revue Forestière Française*, 57 (1), 33-50.
- LEBOURGEOIS F., 2006. Sensibilité au climat des chênes sessile (*Q. petraea*) et pédonculé (*Q. robur*) dans le réseau RENECOFOR. Comparaison avec les hêtraies. *Revue Forestière Française*, 53, 1, 29-44.
- LEBOURGEOIS F., Climatic signal in annual growth variation of Silver Fir (*Abies alba* Mill.) and Spruce (*Picea abies* Karst) from the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Annals of Forest Science*, (in press)
- LEBOURGEOIS F., Réponse au climat du sapin (*Abies alba* Mill.) et de l'épicéa (*Picea abies* Karst) dans le réseau RENECOFOR. *Revue Forestière Française* (soumis)
- Lebourgeois F., 2006 : Réponse au climat du sapin (*Abies alba* MILL.) et de l'épicéa (*Picea abies* (L.) KARST.) dans le réseau RENECOFOR. *Revue Forestière Française*, 58, 5 : 419-432.
- Lebourgeois F., 2007 : Climatic signal in annual growth variation of silver fir (*Abies alba* Mill.) and spruce (*Picea abies* Karst.) from the French permanent plot network (RENECOFOR). *Annals of Forest Science*, 64 : 333-343.
- Lebourgeois F., Rathgeber C.B.K, Ulrich E., 2010: Sensitivity of French temperate coniferous forests to climate variability and extreme events (*Abies alba*, *Picea abies* and *Pinus sylvestris*). *Journal of Vegetation Science* 21: 364–376, 2010, DOI: 10.1111/j.1654-1103.2009.01148.x
- Lebourgeois F., Rathgeber C.B.K, Ulrich E., 2010 : Effet de la variabilité climatique et des événements extrêmes sur la croissance d'*Abies alba*, *Picea abies* et *Pinus sylvestris* en climat tempéré français, *Revue Forestière Française*, 62, 1 : 7-23, <http://hdl.handle.net/2042/32971>, DOI : 10.4267/2042/32971
- Lebourgeois F., Mérian P. 2011. La sensibilité au climat des arbres forestiers a-t-elle changé au cours du XXème siècle ? *Revue Forestière Française*, LXIII (1) : 17-32
- Mérian P., Bontemps J.-D., Bergès L., Lebourgeois F. 2011: Spatial variation and temporal instability in climate-growth relationships of sessile oak (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) under temperate conditions. *Plant Ecol* (2011) 212:1855–1871. DOI 10.1007/s11258-011-9959-2
- Mérian P., Lebourgeois F. 2011. Consequences of decreasing the number of cored trees per plot on chronology statistics and climate–growth relationships: a multispecies analysis in a temperate climate. *Can. J. For. Res.* 41: 2413–2422. doi:10.1139/X11-149
- Mérian P., Lebourgeois F., 2011: Size-mediated climate-growth relationships in temperate forests: a multi-species approach. *Forest Ecology and Management*, 261, 1382-1391
- Mérian P., Lebourgeois F. 2013. Le statut social d'un arbre influence-t-il sa réponse au climat ? Étude dendroécologique sur le Sapin, l'Epicéa, le Pin sylvestre, le Hêtre et le Chêne sessile. *Revue Forestière Française*, 65, 1 (sous presse).

Publications dans des revues techniques

Lebourgeois F., Granier A., Bréda N., 1999. Une nette tendance à l'augmentation des températures en France depuis les années 1950. *Les Cahiers du DSF*, 1-1999 (La santé des Forêts [France] en 1998). Min. Agri., Pêche (DERF), Paris, pp. 74-77

- Lebourgeois F., Granier A., Bréda N., 2001. Variations climatiques en France : + 1,2°C depuis 40 ans.... *Forêt-Entreprise*, 139, 3, 53-57
- Lebourgeois F., 2007 : Sensibilité des écosystèmes forestiers au climat : ce que Renécofor nous a appris. *Rendez-Vous Techniques – ONF*, ISSN 1763-6442, 15 : 64-68
- Lebourgeois F., 2008 : Interprétation climatique et bioclimatique des variations interannuelles de croissance des arbres. *Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°4 "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR"* : 115-119.

Chapitres d'ouvrages

- Lebourgeois F., Rathgeber C., Mérian P., Ulrich E. 2010. Sensibilité des écosystèmes forestiers tempérés français à la variabilité climatique et aux événements extrêmes. Exemple du réseau RENECOFOR. Actes du colloque "Panorama de la dendrochronologie en France". 8 au 10 Octobre 2009, Collection EDYTEM, Cahiers de Géographie n°11, pp. 19-26.
- Mérian P., Bontemps J.-D., Bergès L., Lebourgeois F. 2010. Déterminisme climatique des années de croissance extrême chez le chêne sessile dans la moitié nord de la France. Actes du colloque "Panorama de la dendrochronologie en France". 8 au 10 Octobre 2009, Collection EDYTEM, Cahiers de Géographie n°11, pp. 37-44.
- Lambert G., Bernard V., Dupouey J.-L., Fraiture P., Gassmann P., Girardclos O., Lebourgeois F., Ledigol Y., Perrault C., Tegel W. 2010. Dendrochronologie et dendroclimatologie du chêne en France. Questions posées par le transfert de données de bois historiques vers la dendroclimatologie. Actes du colloque "Panorama de la dendrochronologie en France". 8 au 10 Octobre 2009, Collection EDYTEM, Cahiers de Géographie n°11, pp. 19-26.

Rapports scientifiques & documents internes

- LEBOURGEOIS F., 1999. Analyse du bilan hydrique et de la croissance des arbres dans le RENECOFOR, Rapport scientifique final, Union Européenne, DG VI, projet n° 9760FR0030, INRA –CEE – Unité d'Ecophysiologie Forestière, 72 pages.
- LEBOURGEOIS F., 1997. RENECOFOR - Etude dendrochronologique des 102 peuplements du réseau. Editeur : Office National de Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 075 - 5, 307 pages.

Thèses / Mémoires

- Mérian P. 2012. Variations spatio-temporelles de la réponse au climat des essences forestières tempérées : quantification du phénomène par approche dendroécologique et influence de la stratégie d'échantillonnage. Thèse de Doctorat, Nancy, AgroParisTech, 451 p.

Annexe 3.3 : Observations phénologiques

1. Analyse lors de la 1^{ère} évaluation en 2006

Les données produites

La phénologie désigne, au sens large, l'ensemble des particularités morphologiques du cycle de développement d'un végétal ou d'un animal, avec mention des époques de l'année correspondantes. Au sens strict, pour la végétation, c'est l'étude des relations entre les phénomènes climatiques et les caractères morphologiques externes du développement. Le champ d'étude de la phénologie consiste donc à enregistrer, dans le temps, le retour des étapes de croissance et de développement et à étudier les facteurs qui l'influencent.

Depuis ces dernières années, l'étude du cycle de développement a pris une importance croissante dans le cadre des études sur les répercussions possibles du réchauffement climatique sur la dynamique des écosystèmes forestiers. La France n'a malheureusement pas participé au réseau européen mis en place par les allemands dans les années 1960 mais dispose néanmoins d'un certain nombre de données parfois anciennes provenant de différents organismes ou d'observatoires. Au niveau des peuplements forestiers adultes en conditions naturelles, ce sont les observations réalisées depuis 1997 dans le cadre du réseau RENECOFOR qui constituent actuellement la base forestière la plus « complète » en terme de diversité d'essences (10 espèces), de répartition géographique (90 peuplements répartis sur la France entière) et du nombre d'années (1997-2006).

Cependant, la nécessité de réalisation de telles observations est apparue très vite face à notre méconnaissance des rythmes saisonniers de développement des essences forestières et au déterminisme de ces événements. Des notations « simples » de débourrement et de jaunissement automnal ont donc été mises en place à partir de 1997. En 2001, une première analyse des données a été réalisée. Elle a permis de dégager les grands traits du comportement phénologique des principales essences forestières arborées. A cette période, le faible nombre d'années disponibles (1997-1999) et l'absence de données dans certains contextes n'ont pas permis une analyse fine du déterminisme climatique des différentes phases du cycle de développement des arbres. Pour répondre à ces questions, une seconde analyse a été entreprise en 2005. La variabilité spatiale et temporelle et le déterminisme climatique des cycles phénologiques ont pu être étudiés et des résultats tout à fait originaux et fondamentaux ont été obtenus.

La valorisation des données

La valorisation scientifique et technique des résultats est en cours. Le nombre de publications s'élève à 6 (situation en novembre 2006). Ils se répartissent en 2 rapports scientifiques, 1 article dans une revue à comité de lecture (en français), deux articles de vulgarisation (en français) et un chapitre d'ouvrage (projet CARBOFOR, en anglais). Deux articles scientifiques sont prévus en 2007 ainsi que l'écriture d'un rapport dans la série RENECOFOR à très large diffusion. Un poster sur les résultats de la première analyse est également disponible) et les synthèses individuelles par placettes sur le site Internet du réseau (n=21, S. Cecchini).

Perspectives

Les données du réseau constituent une base unique en France (et en Europe). Les résultats intéressent en premier plan la communauté scientifique nationale et internationale car la phénologie est une composante majeure des modèles globaux de fonctionnement de la végétation associés aux modèles de circulation atmosphérique. En affectant les flux d'eau et de carbone échangés avec l'atmosphère, la phénologie détermine la période d'activité photosynthétique de la végétation à feuillage. L'intérêt pour ces données est croissant et le volet phénologique va constituer dans un avenir très proche un atout majeur du réseau. **Ainsi, les mesures doivent absolument être maintenues jusqu'à 2010 (au moins) pour une meilleure compréhension des relations climat-phénologie et jusqu'en 2020 (au moins) pour une analyse des éventuelles dérives.**

L'interface avec d'autres données, d'autres bases ou d'autres réseaux est en cours avec notamment la création du Groupement de Recherche 2968 intitulé Système d'Information Phénologique pour l'Etude et la Gestion des Changements Climatiques (SIP-EGCC). Ce GDR regroupe divers organismes de recherches, de développement, d'instituts techniques, etc. Il a pour objectifs de constituer une base de données des observations phénologiques disponibles en France depuis 1880 et de poursuivre les observations. A terme, l'analyse des données devrait permettre, entre autres, de détecter des changements de comportements phénologiques et d'identifier les composantes climatiques locales, régionales et globales responsables de ces évolutions. Les protocoles mis en place pour le RENECOFOR devraient être également utilisés dans le cadre de projets plus régionaux à travers notamment les CRPF (projet pilote dans le Nord de la France).

Dans l'avenir, il est essentiel de maintenir le niveau actuel de quantité et de qualité des données récoltées. De nouvelles pistes peuvent également être envisagées concernant notamment la question des **peuplements mélangés** (phénologie différente des essences et répercussions futures sur les conditions de compétition et la dynamique du mélange ?). Aucune observation n'est faite sur les **espèces herbacées**. Là encore, les rythmes de développement des espèces forestières sont très mal connus. En liaison avec la question de la biodiversité, des traits de vie, des adaptations possibles... des observations sur cette strate pourraient être envisagées dans le futur. La meilleure connaissance des cycles pourrait apporter des éléments de réponse aux mouvements de végétation déjà observés dans certains contextes et à ceux envisagés au cours du 21^{ème} siècle par les différents modèles. Dans les modifications des relations « hôte-parasite » envisagées dans le cas du réchauffement, une meilleure connaissance des cycles de développement pourrait apporter des éléments fondamentaux vis-à-vis de la santé des forêts.

En conclusion, la phénologie va constituer un axe très important de valorisation du réseau au cours des prochaines années. Même si certaines espèces et contextes ne sont pas pris en compte, le maintien des observations est indispensable pour répondre non seulement aux interrogations des praticiens et des chercheurs mais également de l'Europe vis-à-vis de l'émergence des questions sur le changement climatique (changement de répartition des essences, de productivité, etc.).

2. Evolution du suivi depuis la 1^{ère} évaluation

Le manuel d'observation phénologique du réseau RENECOFOR a été amélioré (Ulrich et al. 2009) afin de répondre conjointement aux demandes scientifiques (suggestions émanant du comité d'évaluation de 2006 et de l'Université d'Orsay) et à la mise à jour du manuel du PIC Forêts. En conséquence depuis 2009 :

- l'observation de la floraison printanière d'une herbacée commune (*Anemona nemorosa*) a été ajoutée comme nouveau paramètre ;
- les observations phénologiques réalisées à l'échelle de l'ensemble des 36 arbres observation de chaque placette sont désormais individualisées pour chacun de ces arbres.

3. Avancement des activités en 2013

Valorisations

Comme envisagé lors de l'évaluation de 2006, les enjeux liés aux changements climatiques n'ont fait qu'accroître l'intérêt des données phénologiques. En effet la phénologie est un paramètre-clé de la croissance, de la santé et de la reproduction des arbres et elle constitue un trait sélectif vis-à-vis des stress biotiques et météorologiques. En France cet intérêt s'est manifesté notamment par la création en 2006 du GDR SIP-GECC (Système d'Information Phénologique pour la Gestion et l'Etude des Changements Climatiques), labellisé SOERE en 2011 dans le cadre du projet Ecoscope de la FRB. Le GDR a pour but premier de constituer une base de données commune à 27 membres (laboratoires, réseaux et associations), dont le réseau RENECOFOR. En 2006, il a également initié l'Observatoire des Saisons, programme scientifique et pédagogique visant à sensibiliser le grand public aux questions phénologiques et à collecter les données d'observateurs amateurs, via un site internet. Ce type d'outil participatif est également un support intéressant d'initiatives régionales de monitoring, à l'image du projet alpin Phénoclim.

Concernant la phénologie des arbres forestiers adultes, les sources de données restent très limitées en France et les observations réalisées depuis 1997 sur le réseau RENECOFOR constituent les séries homogènes les plus longues disponibles. Les nouvelles publications réalisées depuis l'évaluation de 2006 témoignent du fort potentiel des données collectées et de l'intérêt porté par plusieurs équipes de recherche. Une partie de ces travaux a été consacrée aux relations existant entre les variables phénologiques (débourrement printanier, jaunissement automnal, durée de la saison de végétation) et les variations de position géographique et/ou de météorologie (Delpierre et al. 2009 ; Lebourgeois et al. 2008). Des modèles prédictifs des variations spatiales et temporelles de phénologie ont ainsi pu être établis. Puis ils ont été utilisés pour simuler et cartographier l'effet de 8 scénarios de changements climatiques entre les périodes 1991-2000 et 2071-2100 (Lebourgeois et al. 2010) : en moyenne pour les 8 scénarios, les simulations aboutissent à un avancement de la date de débourrement de 5,3 et 5,9 jours respectivement pour les chênes et le hêtre, un retard de jaunissement de 10,9 et 7 jours et un rallongement de la saison de végétation de 10,3 et 10,9 jours.

Les données phénologiques ont également servi à implémenter le modèle PHENOFIT. Ce modèle de distribution d'espèces végétales, basé sur les processus, a été utilisé pour simuler rétrospectivement la migration postglaciaire du hêtre et vérifier la cohérence des hypothèses issues de données paléobotaniques et phylogéographiques (Saltre et al. 2013). Ses prédictions ont aussi été comparées à celles d'autres modèles dans la simulation de la distribution future des essences forestières en France et en réponse aux scénarios de changements climatiques (Cheaib et al. 2012 ; Gritti et al. 2013).

En outre, il est intéressant de noter l'utilisation des données RENECOFOR dans la validation de résultats phénologiques dérivés de données satellitaires (Soudani et al. 2008 ; Samalens et al. 2010). A l'échelle européenne, l'avancement des méthodes de monitoring de la phénologie des arbres forestiers a fait l'objet d'un chapitre dans un ouvrage international du programme ICP Forests (Vilhar et al. 2013).

Perspectives

Poursuite des observations et valorisation à l'échelle peuplement

Les travaux de modélisation des variations phénologiques et de projection future ont été basés jusqu'ici sur les données acquises pendant 10 ans, de 1997 à 2006. De manière logique, la prolongation des séries d'observation devrait permettre de tester l'existence de tendances temporelles significatives. Elle sera également très utile à suivre l'évolution temporelle de la réponse phénologique des peuplements au climat.

Valorisation et développement des suivis à l'échelle arbre

Les améliorations du protocole depuis 2009 ouvrent de nouvelles perspectives d'analyse, encore inexploitées. L'individualisation des observations phénologiques pour chacun des 36 arbres observation est notamment prometteuse pour l'analyse de la variabilité intrapeuplement de la réponse aux changements environnementaux, en complément des données d'état sanitaire, d'accroissement et potentiellement de génétique relevées sur les mêmes arbres (cf Annexe 1.1 Dendrométrie).

Fourniture d'indicateur de changement climatique

Les séries phénologiques constituent des indicateurs de changement climatique reconnus, à la fois en tant que traceurs de l'évolution climatique et comme indicateurs d'impact sur les écosystèmes. Plusieurs indicateurs de phénologie en contexte agricole alimentent notamment l'ONERC. Pour la forêt française, RENECOFOR est la source de données phénologiques la plus complète et la plus homogène, malgré un recul de suivi encore limité à 15 ans. Afin de palier ce manque de recul, il serait envisageable d'appliquer les modèles prédictifs développés par Lebourgeois et al. (2010) pour simuler rétrospectivement l'évolution de la phénologie et d'extraire de la base de données du GDR SIP-GECC un jeu de validation pertinent. Cet indicateur fait partie des principales pistes envisagées par le projet SicFor.

Suggestions de modification du suivi

Maintien du suivi actuel à l'identique.

A noter : la faisabilité du suivi phénologique repose sur la répartition nationale des agents forestiers de l'ONF pour prendre en charge au plan local les observations de chaque site.

4. Liste bibliographique indicative (en gris les références listées en 2006)

Manuel de référence

Ulrich E., Bréda N., Dupouey J.-L., Nageleisen L.-M., 1997 : RENECOFOR - Manuel de référence n°12 pour les observations phénologiques, placettes de niveau 1, éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, 20 p.

Ulrich E., Cecchini S., Lebourgeois F., Bréda N., Dupouey J.-L., Nageleisen L.-M., 2009 : RENECOFOR - Manuel de référence n° 12 pour les observations phénologiques, 2ème version, Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique et Commerciale Bois, Département Recherche, 27 p.

Articles dans des revues à Comité de lecture

Lebourgeois F., Differt J., Granier A., Bréda N., Ulrich E., 2002. Premières observations phénologiques des peuplements du réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers (RENECOFOR). *Revue Forestière Française*, 54(5), 2002, 407-418.

Chebib A., Badeau V., Boe J., Chuine I., Delire C., Dufrêne E., François C., Gritti E.S., Legay M., Pagé C., Thuiller W., Viovy N., Leadley P. 2012: Climate change impacts on tree ranges: model intercomparison facilitates understanding and quantification of uncertainty. *Ecology Letters*, doi: 10.1111/j.1461-0248.2012.01764.x

- Delpierre N., Dufrêne E., Soudani K., Ulrich E., Cecchini S., Boé J., François C., 2009 : Modelling interannual and spatial variability of leaf senescence for three deciduous tree species in France. *Agricultural and Forest Meteorology/Elsevier*, 4017: doi:10.1016/j.agrformet.2008.11.014.
- Gritti E.S., Duputié A., Massol F. & Chuine I. (2013). Estimating consensus and associated uncertainty between inherently different species distribution models. *Methods in Ecology and Evolution*, In press.
- Lebourgeois F., Pierrat J.-C., Perez V., Piédallu C., Cecchini S., Ulrich E., 2008 : Déterminisme de la phénologie des forêts tempérées françaises : étude sur les peuplements du réseau RENECOFOR. *Revue Forestière Française*, 60, 3 : 323-343.
- Lebourgeois F., Pierrat J.-C., Perez V., Piedallu C., Cecchini S., Ulrich E., 2010 : Simulating phenological shifts in French temperate forests under two climatic change scenarios and four driving global circulation models. *International Journal of Biometeorology* 54:563–581
- Lebourgeois F., Pierrat J.C., Perez V., Piedallu C., Cecchini S., Ulrich E. 2010. Changement des dates de débournement et de jaunissement des chênaies et des hêtraies françaises au cours du XXI^e siècle. *Revue Forestière Française* LXII - 6-2010 : 607-624
- Saltré F., Saint-Amant R., Gritti E.S., Brewer S., Gaucherel C., Davis B.A.S. & Chuine I. (2013). Climate or migration: what limited European beech postglacial colonization? *Global Ecol. Biogeogr.*, in press.
- Soudani K., Le Maire G., Dufrêne E., François C., Delpierre N., Ulrich E., Cecchini S., 2008 : Evaluation of the onset of green-up in temperate deciduous broadleaf forests derived from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data. *Remote Sensing of Environment*, disponible sur www.sciencedirect.com

Publications dans des revues techniques

- Lebourgeois F, Cecchini S, Chuine I, Differt J, Lanier M, Ulrich E. 2006. Observations phénologiques des arbres forestiers : concepts, intérêts et problématiques actuelles. *Rendez-Vous Techniques*, n°13, 19-22.
- Lebourgeois F, Cecchini S, GODFROY P., Lanier M, PIERRAT, J.C., Ulrich E. 2006. Phénologie des peuplements du renecofor : Variabilité entre espèces et dans l'espace, et déterminisme climatique. *Rendez-Vous Techniques*, n°13, 23-26.
- Cecchini S., Lebourgeois F., 2008 : RENECOFOR - Phénologie des peuplements du réseau RENECOFOR : variations entre les espèces et entre les zones bioclimatiques. *Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°4 "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR"* : 168.
- Lebourgeois F., Pierrat J.-C., Godfroy P., Ulrich E., Cecchini S., Lanier M. 2008 : Relation entre les stades phénologiques et les variables climatique. *Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°4 "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR"* : 127-130.
- Lebourgeois F., Pierrat J.-C., Perez V., Cecchini S., Ulrich E., 2011 : Rallongement de la saison de végétation des hêtraies et des chênaies françaises dans les prochaines décennies. *Rendez-vous techniques de l'ONF, n°33-34 - été-automne 2011*, pp . 39-46

Chapitres d'ouvrages

- Lebourgeois F., Ulrich E., 2006. Forest trees phenology in the French Permanent Plot Network (Renecofor). In "Response of temperate and Mediterranean forests to climate change: effects on carbon cycling, productivity and vulnerability" Edition (CARBOFOR)
- Lebourgeois F., Ulrich E. 2010. Forest tree phenology in the French Permanent Plot Network (Renecofor, ICP Forest Network). In "Forests, Carbon Cycle and Climate Change" Eds Loustau Denis. Editions Quae?Collection Update Sciences and Technologies, March 2010, 158-171, 328 pages.
- Samalens J.C., Guyon D., Bories N., Moisy C., Wigneron J.P., 2010. Spatio-temporal Dynamic of French Forests Phenology from MODIS and GLOBCARBON products. In proceedings of the III RAQRS International Symposium, Recent Advances in Quantitative Remote Sensing, Sobrino J.A. (Eds), p597-603.
- Vilhar Urša, Beuker Egbert, Mizunuma Toshie, Skudnik Mitja, Lebourgeois François, Soudani Kamel, Wilkinson Matthew 2013: Tree Phenology, pp. 169-182. In Ferretti M. and Fischer R. (ed) 2013: Forest monitoring. Methods for terrestrial investigations in Europe with an overview of North America and Asia. *Developments in Environmental Science*, Vol. 12, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 2013. ISBN: 978-0-08-098222-9

Rapports scientifiques & documents internes

- Lebourgeois F., Godfroy P., 2006. Analyse de la variabilité spatiale et temporelle et du déterminisme climatique de la phénologie des peuplements du Réseau National de Suivi à Long Terme des Ecosystèmes Forestiers (RENECOFOR). Rapport Scientifique Final, UMR LERBOB, ENGREF, Septembre 2005, 43 pages.
- Differt J. 2001. Phénologie des espèces arborées. Synthèse bibliographique. Analyse des données du Réseau National de Suivi à long terme des Ecosystèmes Forestiers (RENECOFOR). Rapport scientifique-UMR ENGREF-INRA LERBOB, 2001, 97 pages + annexes.
- Chuine I., Seguin B., 2007 : Rapport annuel d'activité GDR 2968 – SIP-GECC – Système d'information phénologique pour l'étude et la gestion des changements climatiques 2006-2009, rapport CNRS-Montpellier/INRA-Avignon, 38 p

Annexe 3.4 : Suivis sanitaires

1. Analyse lors de la 1^{ère} évaluation en 2006

Les données produites

Les objectifs fixés à l'origine étaient de « suivre très précisément pendant 30 ans l'état de santé d'une centaine de peuplements tout en observant les facteurs climatiques et autres susceptibles d'influer sur leur état sanitaire » et, ce faisant, « venir à l'appui du réseau européen (16x16 km) et du réseau des correspondants-observateurs » pour élucider les causes des fluctuations de cet état de santé.

Méthodologie

Les observations consistent d'une part en une appréciation de défoliation ou coloration anormale du feuillage, d'autre part en une description des symptômes pathologiques ou entomologiques.

L'appréciation de l'**aspect du feuillage** (défoliation/coloration anormale) est cohérente avec celle effectuée du DSF, car elle est assurée au moyen des mêmes protocoles d'observation (à l'exception du choix des arbres : parcours standardisé dans les placettes du réseau 16km X16 km, versus suivi d'individus numérotés dans RENECOFOR), mis en œuvre par les mêmes personnels (correspondants-observateurs du DSF).

La description des **symptômes pathologiques ou entomologiques** a connu des évolutions méthodologiques minimales, et toujours par ajout : introduction de l'appréciation de la visibilité des houppiers à partir de la 2^{ème} version du manuel de référence (mai 1995), puis de la notion de contact latéral du houppier avec les voisins, à partir de la version 4 (juin 1997)¹. L'introduction depuis 2004 d'un protocole standardisé sur l'identification des ravageurs dans les réseaux 16 x 16 km et RENECOFOR (en anticipation légère du protocole européen) constitue une étape vers une surveillance plus pertinente sur le plan biologique.

Sur le plan de la gestion technique, par contre, une saisie centralisée des données du réseau RENECOFOR, semble avoir nui à la confrontation des données avec celles du réseau 16 x16, du fait d'un décalage entre le traitement des données par le DSF et la disponibilité des données RENECOFOR. Ce problème semble aujourd'hui réglé avec la mise au point, soustraite à l'IFN, d'un outil télématique de saisie. Une structuration différente de la base de données a pu concourir également à un déficit des échanges entre les deux réseaux

La valorisation des données

Ces données de suivi de l'état sanitaire des peuplements ont été valorisées de façon très partielle, par quelques publications de nature technique :

- Un tableau descriptif de l'état sanitaire des peuplements du réseau en 1994 et 1995 (en conclusion était annoncée une série d'autres rapports, qui n'ont pas été produits).
- Des contributions au bilan annuel du Département de la santé des forêts en 1994, 1995 et 1997
- Deux études méthodologiques

Il semblerait que ces données soient aujourd'hui considérées avant tout comme d'intérêt documentaire : il s'agirait de renseigner l'histoire individuelle des tiges en vue d'une

¹ A cette occasion, on peut remarquer que cette information n'a pas été dérivée du suivi dendrométrique des houppiers (fait, il est vrai, tous les 5 ans seulement).

éventuelle exploitation future. Cette appréciation semble très en retrait par rapport aux objectifs initiaux du réseau. Ce recul est-il justifié ?

Aucun véritable dépérissement n'a été constaté sur le réseau RENECOFOR, et donc aucun dépérissement n'a fait l'objet d'une recherche des causes à partir des autres données relevées. Quelques mortalités ont été enregistrées, mais aucun phénomène massif qui aurait déclenché une démarche d'analyse de la causalité.

Pour les attaques diverses d'intensité variable qui ont affecté certaines placettes, aucune analyse ne semble avoir été conduite et il serait utile d'en clarifier la raison (défaut de temps ou de moyens, défaut de paramètres nécessaires à l'analyse, échantillon considéré insuffisant ?)

Le cas d'un dépérissement constaté sur le réseau 16x16 et explicité grâce au réseau RENECOFOR ne s'est pour l'instant jamais présenté. Par contre, le réseau RENECOFOR a pu contribuer à des analyses méthodologiques, notamment par le travail de Gisèle Fanget sur les indicateurs de vitalité (qui a nécessité également le recours à des données exogènes, du fait de l'interdiction de carotter des arbres numérotés).

Perspectives scientifiques

Nous suggérons de procéder à une analyse rapide des données pour repérer les problèmes sanitaires significatifs et envisager, éventuellement, une analyse des relations entre causes (phytopathologiques) et effets.

Suggestions méthodologiques

Il conviendrait de lever les éventuels obstacles restants susceptibles d'entraver l'interrogation simultanée des données DSF et des données RENECOFOR.

Pour diminuer les coûts (et rendre le recueil des données moins fastidieux), la possibilité de réduire le nombre d'arbres faisant l'objet d'un suivi sanitaire à 20 tiges, au lieu des 52 tiges numérotées, mériterait d'être étudiée. Cette mesure entraînerait certes une perte d'information à l'échelle individuelle, dont il convient d'apprécier l'impact, mais elle permettrait de recueillir une information certainement satisfaisante à l'échelle de la placette.

Enfin, nous insistons sur l'intérêt des données de mortalité : documentation des causes de mortalité des tiges, impossible à obtenir dans les autres réseaux, et prélèvement systématique d'une rondelle ou d'une carotte sur les tiges mortes (voir synthèse relative à la dendrochronologie).

2. Evolution du suivi depuis la 1^{ère} évaluation

Le suivi a été maintenu sans modification.

3. Avancement des activités en 2013

Contexte

Le constat dressé lors de l'évaluation de 2006 semble devoir être nuancé par l'évolution du contexte depuis 2006. En effet, face à la menace liée au changement climatique, l'intérêt porté à l'évolution de l'état sanitaire des forêts ne semble pas faiblir, au contraire. En témoigne notamment le développement récent de multiples observatoires régionaux des changements climatiques visant en premier lieu l'acquisition de nouvelles données d'état sanitaire (ateliers du RMT AFORCE, juin 2012). Et sur le plan scientifique, l'exemple récent des travaux de Carnicer et al. (2011) montre que le suivi de la santé des arbres en réponse aux changements environnementaux peut être valorisé dans de bonnes revues d'écologie. Cela étant, malgré les

fortes attentes et malgré le potentiel de séries de données longues, les recherches menées dans le domaine demeurent peu nombreuses.

Valorisation

Valorisation scientifique

Face au déficit de valorisation par la recherche, le réseau RENECOFOR a entrepris de mener l'analyse de ses données en sollicitant l'appui de l'entreprise Terradata Environmetrics. Une première étude de faisabilité (Ferretti et al. 2009) a permis de définir les possibilités d'analyse statistique pour trois domaines de réponse (santé des arbres, croissance, nutrition foliaire) à différentes échelles (arbre ou placette) et suivant la résolution et la continuité des données disponibles.

Puis sur cette base technique et avec le soutien financier du Ministère de l'Agriculture, a été commanditée une seconde étude, portant sur l'évolution du déficit foliaire des placettes RENECOFOR de 1994 à 2009. Cette analyse a été réalisée en trois phases :

- (i) préparation du jeu de données consolidé (Ferretti et al. 2010a),
- (ii) analyse des tendances et des variations interannuelles du déficit foliaire (Ferretti et al. 2010b),
- (iii) analyse des relations entre l'évolution temporelle du déficit foliaire et celle des facteurs environnementaux (Ferretti et al. 2011).

L'approche utilisée se caractérise par la prise en compte des incertitudes d'observation et de l'historique spécifique à chaque peuplement : les tendances (corrélations de Spearman) et relations environnementales (par régression PLS) sont analysées site par site avant synthèse des résultats à l'échelle du réseau. Les résultats mettent en évidence des variations interannuelles et des tendances significatives, dépassant le niveau d'incertitude lié à l'observateur. Sur la fenêtre temporelle 1994-2009 marquée par la sécheresse et canicule de 2003, une majorité de sites présente une tendance à la hausse du déficit foliaire (dégradation) mais des tendances à la baisse (amélioration) sont notables sur une minorité non négligeable. En synthèse (méta-analyse), les variations de tendances à l'échelle du réseau s'expliquent partiellement par la position géographique et l'essence principale des sites. De manière inattendue, les sites de chêne pédonculé montrent une tendance significativement meilleure que les autres essences, et en particulier que le chêne sessile pourtant réputé plus résistant à la sécheresse. Ce résultat est confirmé par les tendances générales observées pour ces deux essences sur les sites de forêt publique du réseau 16 x 16 km (Bilan patrimonial de l'ONF, 2011). Concernant les relations entre l'évolution du déficit foliaire et celle des facteurs environnementaux, les régressions PLS par site mettent en évidence une hiérarchie entre :

- des facteurs sans effet sur aucun site (température, nutrition foliaire, équipe de notateurs),
- des facteurs importants sur certains sites (variables de fréquence de symptômes),
- et enfin des facteurs prépondérants pour une majorité de sites (variables d'alimentation hydrique avec arrières effets jusqu'à l'année N-2 et densité de tiges du peuplement).

Cette seconde étude confiée à TerraData répond ainsi directement aux attentes de l'évaluation de 2006 en démontrant la capacité du réseau RENECOFOR à « venir à l'appui du réseau européen (16x16 km) et du réseau des correspondants-observateurs pour élucider les causes des fluctuations de cet état de santé ». Elle fait l'objet d'une valorisation internationale dans la revue *Forest Ecology and Management* (Ferretti et al., 2013a).

Enfin une troisième étude a été confiée à TerraData afin de comparer le déficit foliaire à la croissance des arbres mesurée sur 10 ans (Ferretti et al. 2013b). Les variations inter-arbres (4200 arbres-observations et arbres-échantillons) permettent de démontrer l'existence d'une

relation négative significative entre l'accroissement et le déficit foliaire moyen sur 10 ans. La perte relative d'accroissement est significative dès les faibles classes de déficit foliaire et suit une pente proche de -1 % accroissement / % déficit foliaire.

Fourniture d'indicateurs : Bilan patrimonial de l'ONF

Les données de déficit foliaire alimentent l'indicateur 4.2 du Bilan patrimonial de l'ONF dans ses deux éditions de 2006 et 2011. Cet indicateur d'état sanitaire des forêts publiques met en parallèle les évolutions constatées sur les réseaux RENECOFOR et 16 x 16 km, essence par essence. Les résultats des 2 réseaux tempèrent les craintes de dépérissement généralisé dans le contexte de changements environnementaux.

Perspectives

Valorisation

Le travail réalisé par Terradata marque une première étape dans la valorisation des données sanitaires du réseau RENECOFOR avec de nombreux résultats originaux. La priorité actuelle est de le vulgariser à destination des gestionnaires forestiers, par l'édition d'un prochain rapport dans la série jaune et/ou la rédaction d'articles techniques.

Scientifiquement, ces travaux ouvrent aussi un vaste champ de perspectives, notamment sur :

- la comparaison de l'évolution du déficit foliaire observée sur le réseau RENECOFOR avec celle des sites du réseau systématique 16 km x 16 km et les possibilités de changements d'échelle ;
- la comparaison à l'échelle arbre de l'évolution sanitaire avec la précocité phénologique ou avec des données d'accroissement annuel (amélioration de suivi dendrométrique suggéré sur les 36 arbres-observation), notamment en réponse à des stress exceptionnels biotiques (symptômes) ou abiotiques (ex : sécheresse-canicule de 2003) ;
- l'analyse croisée des différentes réponses des peuplements à la sécheresse de 2003 (en particulier comparaison des réponses des chênes sessile et pédonculé) en association avec les données du réseau 16 km x 16 km et de l'Inventaire Forestier National ;
- la validation de modèles d'impact des changements climatiques sur les forêts.

Par ailleurs, les inventaires dendrométriques en plein pourraient également être utilisés pour suivre la mortalité des arbres de la zone centrale de chaque placette RENECOFOR (0,5 ha).

Enfin, les données du réseau RENECOFOR pourraient servir à la calibration d'outils de télédétection de l'état sanitaire (demande de données en 2013 de V. Chéret pour comparaison avec images satellites MODIS).

Fourniture d'indicateur de changement climatique

Initialement suivi comme indicateur de santé des arbres en réponse aux dépôts acidifiants, le déficit foliaire pourrait aussi s'avérer pertinent dans le suivi des effets des changements climatiques. Il fait partie des indicateurs à l'étude dans le cadre du projet SicFor, sur la base des résultats récents :

- (i) la capacité de détection d'évolutions temporelles significatives du déficit foliaire dès le moyen terme et au-delà des incertitudes d'observation quantifiées lors des exercices d'intercalibration et relevés de contrôle,
- (ii) un rôle prédominant de l'alimentation hydrique parmi les causes des variations interannuelles du déficit foliaire,
- (iii) un enjeu pour la croissance des arbres, négativement corrélée au déficit foliaire.

Suggestions

- Maintien du suivi annuel de l'état sanitaire des 36 arbres observation et 16 arbres échantillon par site. Réduire le nombre d'arbres suivis diminuerait la puissance de détection statistique et la capacité du dispositif à répondre à certaines questions.
- Poursuite de l'effort de valorisation scientifique et technique des données sanitaires.

4. Liste bibliographique indicative (en gris les références listées en 2006)

Manuels de référence (dernière version à jour)

Ulrich E., Barthod C., Bouhot-Delduc L., 1997 (4^{ème} version) : RENECOFOR - Manuel de référence n° 7 pour les observations de l'état des cimes et des symptômes pathologiques et entomologiques, placette de niveau 1, éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, 51 p.

Département de la Santé des Forêts, 2011 : Manuel de notation des dommages forestiers (symptômes, causes, état des cimes). Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire, 49 p.

Articles dans des revues à Comité de lecture

Ferretti M., Nicolas M., Bacaro G., Brunialti G., Calderisi M., Croisé L., Frati L., Lanier M., Maccherini S., Santi E., Ulrich E., 2013: Plot scale modelling to detect size, extent, and correlates of changes of tree defoliation in French high forests. *Forest Ecology and Management*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.009>

Rapports scientifiques dans la série RENECOFOR

Ulrich E., Lanier M., 1996 : RENECOFOR - Etat sanitaire des peuplements du réseau en 1994 et 1995. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2-84207-047-X, 36 p.

Autres rapports scientifiques

Fanget G., 1998 : Etude méthodologique d'appréciation détaillée des symptômes de dommages forestiers sur des placettes de suivi des écosystèmes forestiers, rapport de stage FIF

Guyon D., Riom J., Kicin J.-L., Courrier G., 1997 : Application de la télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude et la gestion des peuplements forestiers déperissants – Rapport final du projet 92.60.FR.002 de l'Union Européenne 75 p.

Ferretti M., Bacaro G., Brunialti G., Calderisi M., Cozzi A., Maccherini S., Rocchini D., 2009: Evolution of forest condition indicators in the RENECOFOR plots and influence of environmental stressors. Final report of the feasibility study. *Terra Data Environmetrics*. 157 p.

Ferretti M., Brunialti G., Frati L. 2010: Analysis of Forest Health data from the RENECOFOR plots. 1. Set-up of the consolidated database, *Terra Data Environmetrics*. 32 p.

Ferretti M., Bacaro G., Brunialti G., Calderisi M., Frati L., Leone L., Marignani M., Santi E. 2010: Analysis of Forest Health data from the RENECOFOR plots. 2. Change and trend analysis, *Terra Data Environmetrics*. 86 p. + annexes

Ferretti M., Bacaro G., Brunialti G., Calderisi M., Frati L., Leone L., Santi E. 2011. Analysis of Forest Health data from the RENECOFOR plots. Part 3. Relationship with environmental factors. *Terra Data Environmetrics*, 144 p.

Ferretti M., Bacaro G., Brunialti G., Calderisi M., Frati L., Pollastrini M., 2013: Relationship between forest health and growth at the RENECOFOR plots. Part 2. Final Report. *Terra Data Environmetrics*, 64 p.

Autres articles

G. Landmann, L.-M. Nageleisen, E. Ulrich, 1998 : De nouveaux éléments en faveur d'un glissement récent d'origine méthodologique dans l'appréciation visuelle des cimes des feuillus. *La Santé des Forêts (France) en 1997*, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (DERF-Département de la Santé des Forêts) : 74-76.

- E. Ulrich, M. Lanier, 1996 : L'évolution de l'état sanitaire des peuplements du réseau RENECOFOR, La Santé des Forêts (France) en 1995, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (DERF-Département de la Santé des Forêts) : 42-44.
- E. Ulrich, M. Lanier, A. Schneider, 1995 : RENECOFOR : un premier aperçu de l'état sanitaire des peuplements du réseau, La Santé des Forêts (France) en 1994, éditeur : Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation (DERF-Département de la Santé des Forêts) : 54-56.

Recueils d'indicateurs

Office National des Forêts, 2011 : Bilan patrimonial des forêts domaniales. 180 p.

5. Autres citations

Carnicer, J., Coll, M., Ninyerola, M., Pons, X., Sánchez, G., Peñuelas, J., 2011. Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. P. Natl. Acad. Sci. USA, 108, 1474–1478.

Annexe 3.5 : Analyses foliaires

1. Analyse lors de la 1^{ère} évaluation en 2006

Les données produites

La base de données RENECOFOR constitue une base de référence pour le diagnostic foliaire. L'intérêt de ces observations est double :

conforter la base de données élaborée par Maurice Bonneau et qui ne l'a pas été depuis une dizaine d'années.

améliorer cet index qui demeure très intéressant mais qui mérite d'être explicité et amélioré par des recherches de base. Le réseau a effectivement le potentiel pour affiner l'outil « diagnostic foliaire » moyennant quelques mesures complémentaires réalisées dans des projets spécifiques.

Comme précédemment, la chaîne - échantillonnage, prélèvements, tri, conditionnement pour l'analyse - est parfaitement réglée et gérée. La qualité des données est certifiée.

Les mesures portent sur les éléments nutritifs totaux majeurs et mineurs

La valorisation des données

Une première valorisation des données a été faite (Croisé et al., 1999 et article E.Ulrich et M.Bonneau dans les cahiers du DSF). Le travail en cours de M. Jonard vise à mettre en relation les analyses de sols et les analyses foliaires (cf. travail M.Bonneau et al. et M.Jonard en cours).

On peut penser à des traitements plus sophistiqués de ces données, en tant que telles, ou en relation avec des indicateurs sols (solutions par exemple).

Perspectives scientifiques

Plusieurs projets pourraient être entrepris dans le domaine de l'analyse foliaire :

Mesure de la masse surfacique (très utile pour les modèles à base écophysologique), complémentaire de la mesure de la masse de 1000 feuilles ou 1000 aiguilles pour éviter les erreurs de diagnostic liées aux effets dilution/concentration.

Elargir l'analyse chimique à la mesure des éléments trace métallique (ETM), ou à des composés biochimiques indicateurs (lignines ?)

Quantification des dépôts de poussières par microscopie à balayage et micro-dosage

Caractérisation biologique de la phyllosphère.

Suggestions méthodologiques

Le carbone total n'est pas mesuré. Cette mesure devrait être envisagée compte tenu de son intérêt actuel (relation C/N feuilles, litières, sols) et à long terme (évolution du C/N des feuilles en relation avec le changement climatique et la décomposition).

Un autre objet de débat porte sur les séquences d'observation, annuelles initialement, actuellement tous les deux ans. La principale auto-corrélation temporelle étant probablement celle d'une année sur l'autre, il serait plus intéressant à coût égal de réaliser des séquences de 5 ans interrompues pendant la même durée, par rapport à une alternance de périodes de mesures de deux ans tous les deux ans.

2. Evolution du suivi depuis la 1^{ère} évaluation en 2006

La périodicité des mesures jusqu'en 2007 était de 2 ans pour l'ensemble des 102 sites. Depuis 2008 et faisant suite aux suggestions de la 1^{ère} évaluation du réseau, la fréquence de suivi de la nutrition foliaire a été modulée suivant les sites :

- pour les 37 sites de niveau B, arrêt des prélèvements de 2008 à 2012 puis reprise des prélèvements tous les 2 ans à partir de 2013 ;
- pour les 51 sites de niveaux A1 et A2, maintien de la périodicité de 2 ans ;
- pour les 14 sites A3, maintien de la périodicité de 2 ans sauf pendant la période 2013-2017 où l'on prévoit des prélèvements annuels.

De plus, en réponse à la suggestion émise lors de la 1^{ère} évaluation, le carbone a été intégré à partir de 2007 au panel d'analyses chimiques. Plusieurs éléments traces métalliques ont également été ajoutés aux analyses menées en 2009, dans le cadre du projet LIFE+ FutMon.

3. Analyse de l'avancement des activités en 2013

Données produites depuis 2006

Les analyses foliaires ont été poursuivies selon le calendrier prévu. Les analyses chimiques sont toujours réalisées par l'USRAVE (INRA Bordeaux), accrédité pour l'ensemble des paramètres, et leur qualité est étayée par les résultats des essais inter-laboratoires annuels du PIC Forêts.

Valorisations depuis 2006

Comme attendu au moment de l'évaluation de 2006, les travaux de Mathieu Jonard ont porté leurs fruits dans la valorisation scientifique et technique des analyses foliaires RENECOFOR (Croisé et Jonard, 2007 ; Jonard et al. 2008 ; Jonard et al. 2009). L'objectif était d'étudier la variabilité du jeu de données acquis de 1993 à 2005 sur les 102 sites du réseau complété de 2 sites luxembourgeois et de 9 sites wallons. L'approche combinait :

- l'exploration par ACP des effets liés à l'essence, au contexte édaphique, au niveau de dépôts atmosphériques et à la variabilité interannuelle ;
- la modélisation de l'évolution temporelle des concentrations foliaires en distinguant la tendance linéaire de la variabilité interannuelle et de la variabilité inter-placette (régressions linéaires mixtes).

Parmi les résultats on note principalement la mise en évidence d'une tendance baissière significative des teneurs en phosphore (P) concernant les sites feuillus (chênaie et hêtraie) ainsi que les sites de pin sylvestre et pin maritime sur sol acide. Des résultats similaires semblent se dessiner dans le cadre d'une analyse des données foliaires de hêtre à l'échelle européenne (Talkner et al., communication ICP-Forests 2012). Les hypothèses d'explication de cette baisse sont multiples pour un élément chimique dont la dynamique reste difficile à étudier au sein des écosystèmes. L'analyse de l'évolution de la chimie des sols apportera peut-être un complément d'information utile (cf § A.7.3).

Les impacts potentiels de la baisse de la nutrition phosphorée sont aussi difficiles à prédire. Concernant les relations avec l'état de santé des arbres, Ferretti et al. (2011) montrent pour le moment que l'évolution temporelle de la nutrition foliaire ne constitue pour aucun site un facteur explicatif d'importance de l'évolution temporelle du déficit foliaire sur la période 1994-2009. Cela confirme les premiers résultats observés sur la période 1994-1997 (Croisé et al. 1999), mais le faible impact de l'évolution de la nutrition foliaire contraste de plus cette fois-ci avec l'impact prépondérant d'autres facteurs, notamment d'alimentation hydrique. Un impact futur ne peut cependant être exclu, les teneurs en phosphore foliaire s'approchant des seuils de carence pour de nombreux sites.

Perspectives

En pratique, la détection de tendances à moyen terme (12 ans), liée à la faible variabilité interannuelle constatée pour plusieurs éléments d'intérêt (N, P, Ca, Mg, Mn), était la pertinence du suivi de la nutrition foliaire des arbres. Ces tendances méritent d'être réexaminées à plus long terme (20 ans de suivi en 2013), et en comparaison aux évolutions temporelles des sols et de la vigueur des arbres (déficit foliaire, croissance). Et peut-être ces évolutions temporelles permettront-elles de valider ou infirmer les seuils de diagnostic foliaire issus des travaux de M. Bonneau.

En outre, les analyses foliaires menées sur les peuplements en régénération depuis la tempête de 1999 pourront apporter une information complémentaire sur l'effet de l'âge des arbres.

Suggestions du centre de coordination

Poursuivre l'activité d'analyses foliaires suivant la périodicité en place depuis 2008.

4. Liste bibliographique indicative (en gris les références listées en 2006)

Manuels de référence (dernière version à jour)

Croisé L., Bonneau M., Ulrich E., Adrian M. et Lanier M., 2005 (troisième version): RENECOFOR - Manuel de référence n° 6 pour l'échantillonnage foliaire, la préparation des échantillons et l'analyse, placette de niveau 1, éditeur : Office National des Forêts, Département Recherche, 47 p.

Rapports scientifiques dans la série RENECOFOR

Croisé L., Cluzeau C., Ulrich E., Lanier M., Gomez A., 1999 : RENECOFOR - Interprétation des analyses foliaires réalisées dans les 102 peuplements du réseau entre 1993 et 1997 et premières évaluations interdisciplinaires. Editeur : Office National des Forêts, Département Recherche et Développement, ISBN 2-84207-189-1, 413 p.

Jonard M., Ulrich E., Giot-Wirgot P., Dambrine E., 2008 : RENECOFOR - Facteurs explicatifs de la variabilité et évolution temporelle de la nutrition foliaire dans les réseaux de suivi à long terme des écosystèmes forestiers de France (RENECOFOR), de Belgique (Wallonie) et du Grand-Duché de Luxembourg (période 1993 - 2005). Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique et Commercial Bois, ISBN 978 - 2 - 84207 - 324 - 4, 67 p

Articles dans des revues à comité de lecture

Dusquesnay, J.-L. Dupouey, A. Clément, E. Ulrich, F. Le Tacon, 2000 : Spatial and temporal variability of foliar mineral concentration in beech (*Fagus sylvatica*) stands in northeastern France. *Tree Physiology*, 20 : 13-22.

Jonard M., André F., Dambrine E., Ponette Q., Ulrich E., 2009: Temporal trends in the foliar nutritional status of the French, Walloon and Luxembourg broad-leaved plots of forest monitoring. *Annales of Forest Science*, 66 : DOI: 10.1051/forest/2009014.

Publications dans des revues techniques

Croisé L., Cluzeau C., Ulrich E., Lanier M., Gomez A., 2000 : Bilan de cinq années d'analyses foliaires sur les placettes RENECOFOR et premières analyses croisées avec la chimie des sols, la croissance et la défoliation. *La Santé des Forêts (France) en 1999, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (DERF-Département de la Santé des Forêts) : 61-64.*

Croisé L., Jonard M., 2008 : Evolution de la nutrition des peuplements : vers une carence générale en phosphore ? Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°4 "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR" : 120-126.

Ulrich E., Bonneau M., 1994 : Etat nutritionnel des peuplements du réseau RENECOFOR : brève synthèse de la première année d'échantillonnage et d'analyse (1993), *La Santé des Forêts (France) en 1993, éditeur : Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (DERF-Département de la Santé des Forêts) : 51-56.*

5. Autres citations

Ferretti M., Bacaro G., Brunialti G., Calderisi M., Frati L., Leone L., Santi E. 2011. Analysis of Forest Health data from the RENECOFOR plots. Part 3. Relationship with environmental factors. Terra Data Environmetrics, 144 p.

Annexe 3.6 : Chutes de litière

1. Analyse lors de la 1^{ère} évaluation en 2006

Les données produites

Le réseau RENECOFOR fournit une base de données unique pour étudier ce trait écologique de manière extensive. C'est une mesure indispensable pour calculer le prélèvement au sol d'un peuplement forestier et pour les études sur la décomposition et la stabilité des matières organiques du sol.

Sur le plan méthodologique, la chaîne « échantillonnage, prélèvements, tri, conditionnement pour l'analyse » sont très bien réglés et gérés. Malgré l'excellent travail accompli, plusieurs points méthodologiques restent à régler. Les prélèvements ne sont pas réalisés sur des pas de temps courts et systématiques, ce qui conduit à plusieurs difficultés. Il est difficile de calculer des retombées saisonnières et les pas de temps trop longs entre les récoltes semblent poser des problèmes quant à la conservation des échantillons dans les bacs. Le drainage imparfait pourrait se traduire par une évolution de la masse et de la composition chimique des échantillons.

Au plan des analyses, le service minimum a été réalisé pour abaisser au maximum les coûts, en particulier seules trois années ont été analysées sur l'ensemble des récoltes réalisées depuis 13 ans. De plus, les échantillons n'ont pas été conservés, ce qui exclut une analyse *a posteriori*.

Des prélèvements et mesures additionnels (nombreux) ont été réalisés pour les mesures du LAI (étude de N.Bréda, EEF Nancy).

La base de données est accessible (cf. travail de N.Bréda ou sur les litières de Douglas, Ranger et al.).

La valorisation des données

Les données ont été valorisées dans le cadre des travaux de Nathalie Bréda sur l'évaluation de l'indice foliaire des placettes du réseau (travaux ayant donné lieu à un rapport scientifique et un article dans une revue à comité de lecture), ainsi que dans le cadre des travaux de Jacques Ranger et al. sur une chronoséquence de Douglas (soit au total un rapport scientifique et 4 articles dans des revues à comité de lecture).

Perspectives scientifiques

Il faut poursuivre ces mesures pour pouvoir mettre en relation litière, productivité, développement, essences et stress.

Suggestions méthodologiques

Des possibilités de réduction des coûts

Il est possible de réduire les coûts en se concentrant sur un nombre limité d'écosystèmes et en limitant les tris (se concentrer sur les compartiments dominants, feuilles ou aiguilles et bois, bien que par nature un tel réseau doive pouvoir réaliser quelques mesures qui pourraient avoir un intérêt potentiel pour des indicateurs inexplorés (phénologie par exemple^{1*}). Il faut toutefois se donner la possibilité de saisir la variabilité interannuelle (5 années successives

¹ L'exploration de la base de données entreprise par Luc Croisé devrait permettre de préciser cela.

semblent indispensables pour accéder aux retombées moyennes annuelles et pour étudier les corrélations temporelles), la variabilité en fonction des stades de développement. **Une approche diachronique par séquences de 5 ans espacées de 5 à 10 ans est tout à fait envisageable.**

Des améliorations méthodologiques à étudier

Il faudrait conserver les échantillons, mais se pose la question du conditionnement d'échantillons volumineux avant broyage ou la question du broyage des échantillons pour les conserver.

Enfin, il conviendrait de consacrer une étude spécifique à la question de l'évolution des échantillons dans les bacs de recueil, en faisant des prélèvements hebdomadaires dans quelques écosystèmes représentatifs, afin d'optimiser le protocole de ramassage.

2. Evolution du suivi depuis la 1^{ère} évaluation en 2006

La périodicité des mesures jusqu'en 2007 était saisonnière (3 à 5 collectes par an mais non synchrones) pour l'ensemble des 102 sites. Depuis 2008 et faisant suite à l'arrêt des financements de l'Union Européenne, il a été décidé que les chutes de litière ne seraient plus collectées que sur les 14 sites de niveau A3 mais suivant une périodicité mensuelle synchrone.

- Pour les 88 sites où ce suivi a été arrêté, les piquets des collecteurs ont été maintenus pour garder la possibilité de reprise future de ce suivi aux mêmes emplacements de collecte. Cependant ces piquets en bois se dégradent et la mémoire à long terme de ces emplacements serait mieux assurée par des repères stables (bornes) et/ou leur cartographie précise à l'échelle de chaque placette.
- Pour les 14 sites de niveau A3, le passage à la périodicité mensuelle synchrone améliore effectivement la qualité des données, même si la neige oblige le groupement de certains mois de collecte hivernale pour les placettes d'altitude. De plus, sous l'impulsion du projet LIFE+ FutMon, des échantillons bimensuels ont été conditionnés depuis 2009 en vue de possibles analyses chimiques. Des analyses ont été effectuées sur des composites annuels de ces échantillons pour les années 2009 et 2010. Elles ont été confiées à l'USRAVE (INRA Bordeaux), en charge par ailleurs des analyses foliaires.

Par ailleurs, contrairement à ce qui avait été indiqué lors de la 1^{ère} évaluation de 2006, les échantillons ayant servi aux analyses chimiques des chutes de litière annuelle de 1996 à 1998 ont bien été conservés pour archive à la pédothèque de Vitry-aux-Loges.

Enfin depuis 2012, le réseau RENECOFOR sert de support à un dispositif de suivi des fructifications de chêne sessile conduit par l'Université de Lyon (S. Venner), en collaboration avec l'INRA Bordeaux (S. Delzon) et cofinancé par l'ONF. Ce dispositif se distingue par la mise en place d'une collecte individualisée par arbre, à raison de 10 arbres par site. Il concerne 12 sites RENECOFOR dont l'organisation de suivi et le patrimoine de données sont mis à profit. Il vise plusieurs objectifs quant à (i) l'étude du phénomène de masting, (ii) la réponse des arbres au changement climatique, (iii) la dynamique des communautés d'insectes et d'ongulés consommatrices des fruits et leur impact sur la capacité de régénération des chênes.

3. Analyse de l'avancement des activités en 2013

Valorisations depuis 2006

Comme indiqué lors de l'évaluation de 2006, le suivi des chutes de litière est un premier lieu un paramètre indispensable à la connaissance des flux de nutriments (prélèvement par le peuplement et recyclage au sein de l'écosystème). Dans ce but, ces données alimentent en effet les travaux de modélisation des cycles biogéochimiques sur les sites de suivi intensif (Van der Heijden et al., 2011 ; Jonard et al., 2012) : la concentration de ces collectes depuis 2008 sur les 14 sites de niveau A3 a été un choix logique au regard de cet objectif premier.

Cela étant, le contexte de changements climatiques élargit les intérêts liés au suivi des chutes de litière, au-delà de la connaissance des flux de nutriments. Deux études menées depuis 2006 illustrent les potentialités des données de chutes de litière acquises de 1995 à 2007 sur l'ensemble des 102 sites.

- Le mémoire de l'École Pratique des Hautes Études d'Hilaire Martin (2009) concerne l'analyse des variations interplacette et temporelle des fructifications annuelles de chêne (sessile et pédonculé) et de hêtre, sur la période 1995-2004. Cette étude met en évidence des facteurs explicatifs des variations interplacette différents suivant les espèces : pour les chênes ces variations s'expliquent principalement par les conditions édaphiques et les températures hivernales tandis qu'elles répondent au gradient longitudinal et à la surface des houppiers pour les hêtres. Concernant les variations temporelles, les principaux facteurs explicatifs sont les fructifications des années antérieures (avec une fréquence biennale marquée pour le hêtre), la sécheresse estivale de l'année n-1 et la phénologie de l'année n. On note également dans cette étude la similitude inattendue entre chênes et hêtres des masses de fructification moyennes annuelles.
- Le rapport de stage de l'École Normale Supérieure de Marc Peaucelle (2011) est consacré à l'analyse des variations temporelles des chutes de litière de l'ensemble des sites RENECOFOR sur la période 1995-2007. Il décrit les variations des masses annuelles de l'ensemble des compartiments (feuilles, fruits et branches de l'essence principale et reste), teste leurs tendances puis explore les relations entre les variations des masses annuelles de feuilles et plusieurs paramètres environnementaux considérés séparément (déficit foliaire, surface terrière, météorologie). Les résultats ne montrent aucune tendance générale mais quelques tendances isolées de certains compartiments sur certains sites, pour partie imputables aux perturbations du peuplement (ex : dégâts de tempête dans l'étage dominant profitant à la production de litière des essences de sous-étage). Ils montrent également la quasi-absence de relations entre la masse des chutes de feuilles et le déficit foliaire. En revanche, un effet négatif général des perturbations supérieures à 10 % de surface terrière est notable. Enfin des relations significatives sont mises en évidence avec le niveau de la surface terrière et/ou avec la météorologie annuelle, avec de forts contrastes entre essences : par exemple les chutes d'aiguilles du sapin pectiné ne réagissent à aucun de ces paramètres tandis que des relations fortes sont calculées pour celles de pin maritime à la fois avec la surface terrière ($R^2=0.59$) et avec les paramètres météorologiques ($R^2 = 0.49$).

Perspectives

Les travaux d'étude réalisés depuis 2006 ont fourni de premiers résultats encourageants quant aux variations des chutes de litière annuelles. Face aux enjeux liés aux changements climatiques, le maintien de ce suivi sur l'ensemble des 102 sites après 2007 aurait été un atout indéniable pour le réseau RENECOFOR. Il n'en demeure pas moins que les données collectées sur un tel nombre de sites de 1995 à 2007 constituent déjà une ressource rare, y

compris à l'échelle internationale. La poursuite de leur valorisation est souhaitable pour l'aboutissement à des publications scientifiques et techniques. Il conviendrait également de poursuivre la maintenance des emplacements de collecte pour garder la possibilité d'une reprise future de ce suivi. En outre, les données acquises mensuellement depuis 2008 offrent des possibilités d'analyse accrues sur les 14 sites de niveau A3, avec un recul temporel croissant, l'intégration d'effets saisonniers et l'évolution du contenu chimique des litières depuis la période 1996-1998.

Les demandes de données et collaborations récentes témoignent également de l'originalité du suivi des chutes de litière et des différentes problématiques auxquelles elles pourraient être utiles prochainement :

- Evolution des fructifications en réponse au changement climatique (S. Delzon, R. Bertrand).
- Etude de la stratégie de fructifications pulsées (masting), en relation avec la dynamique des communautés animales consommatrices des fruits (insectes parasites des fruits, ongulés) (S. Venner, Université Lyon I). A l'échelle européenne, les données de chutes de litière ont également fait l'objet d'une demande de l'Université d'Anvers (Katrien Tersago) pour des recherches concernant la dynamique de rongeurs vecteurs de maladies à hantavirus.
- Allocation du carbone entre production de bois, de feuilles et de fruits et en lien avec les stocks de carbone du sol et de la litière (cf post-doc de B. Caquet en cours dans le cadre du SOERE F-ORE-T). L'augmentation des stocks de carbone mesurée dernièrement dans les compartiments du sol et de la litière (Jonard et al. 2013) apporte un intérêt supplémentaire à cette thématique.

Suggestions du centre de coordination

- Poursuivre le suivi des chutes de litière sur les 14 sites de niveau A3, complété d'un suivi de leur contenu chimique ainsi que de la masse surfacique des feuilles pour le calcul de l'indice foliaire sur les 5 sites feuillus (cf Annexe 1.9 Météorologie).
- Poursuivre la maintenance des emplacements de collecte sur l'ensemble des 102 sites.
- Enfin la forte diminution depuis 2008 du nombre de sites concernés par le suivi des chutes de litière amène une possibilité d'optimisation du traitement des collectes. Ce traitement reste actuellement dispersé entre 6 correspondants territoriaux en charge chacun des échantillons provenant d'un à trois sites. L'enjeu serait de trouver un site disposé à concentrer le traitement de l'ensemble des échantillons des 14 sites A3 : plusieurs possibilités sont à l'étude au sein de l'ONF ou en sous-traitance externe.

4. Liste bibliographique indicative (en gris les références listées en 2006)

Manuels de référence (dernière version à jour)

Ulrich E., Lanier M. et Rouillet P., 1994 (deuxième version) : RENECOFOR - Manuel de référence n°5 pour la collecte de la litière et le traitement des échantillons recueillis, placette de niveau 1, éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, 35 p.

Autres rapports scientifiques

Bréda N., 1998 : Détermination de l'indice de surface foliaire de placettes permanentes de suivi des écosystèmes forestiers (RENECOFOR) et proposition de protocoles de suivi à long terme. Rapport final du projet UE, DG VI, n° 95.60.FR.0030. Editeur : INRA - Nancy, Unité d'Ecophysologie Forestière, Equipe Phytoécologie forestière, 70 p.

Bréda N., 2007 : Rapport technique final contrat SIB36 – GIP ECOFOR 2006-13

- Martin, H., 2009 : Caractérisation des fructifications des chênaies et hêtraies du réseau RENECOFOR. Mémoire Diplôme de l'École Pratique des Hautes Études, Université Montpellier 2, 163, rue A. Broussonet, 34 090 Montpellier, 131 p
- Peaucelle M., 2011. Time trends in forest litterfall production and relationships with environmental changes: an exploratory approach on data collected from 1995 to 2007 in the RENECOFOR monitoring network. Rapport d'année pleine de recherche 2010-2011, Ecole Normale Supérieure de Cachan, 29 p.

Articles dans des revues à comité de lecture

- Bréda N.J.J., 2003 : Ground-based measurements of leaf area index : a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of experimental Botany*, 54, 392 : 2403-2417.
- Ranger J., Gérard F., Lindemann M., Gelhaye D., Gelhaye L., 2003 : Dynamics of litterfall in a chronosequence of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco) stands in the Beaujolais mountains (France). *Annals of Forest Science*, 30 : 475-488.
- Ponette Q., Ranger J., Ottorini J.-M., Ulrich E., 2001 : Aboveground biomass and nutrient content of five Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco) stands in France. *Forest Ecology and Management*, 142 : 109-127.
- Ponette Q., Ranger J., 2000 : Biomasses et minéralomasses aériennes de cinq peuplements de Douglas du réseau RENECOFOR : quantification et implications sylvicoles. *Revue Forestière Française*, 52, 2 : 115-134.

5. Autres citations

- Jonard M., Caignet I., Ponette Q., Nicolas M., 2013 : Evolution du carbone des sols forestiers de France métropolitaine – Détection et quantification à partir des données mesurées sur le réseau RENECOFOR, Rapport préliminaire du 29/04/2013, 31p
- Jonard M., Legout A., Nicolas M., Dambrine E., Nys C., Ulrich E., van der Perre R., Ponette Q., 2012: Deterioration of Norway spruce vitality despite a sharp decline in acid deposition: a long-term integrated perspective. *Global Change Biology* 18 (2): 711–725 DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02550.x
- Van der Heijden G., Legout. A., Nicolas M., Ulrich E., Johnson D.W., Dambrine E., 2011 : Long-term sustainability of forest ecosystems on sandstone in the Vosges Mountains (France) facing atmospheric deposition and silvicultural change. *Forest Ecology and Management*, 261 (3) : 730-740

Annexe 3.7 : Sol

1. Analyse lors de la 1^{ère} évaluation en 2006

Les données produites

Les méthodes de description, d'une part, et d'échantillonnage des sols, d'autre part, sont décrites dans deux manuels de référence (voir liste ci-annexée). Les données portent sur les principales caractéristiques classiquement mesurées en science du sol pour les aspects physiques, physico-chimiques et chimiques (aucun indice biologique n'est actuellement mesuré). Les mesures prévues par les recommandations de l'UE ont été réalisées à partir de deux échantillonnages, le premier portant sur les horizons [0-40 cm] en 1995, et le second, portant sur le niveau [40 - 100 cm], en 1998.

L'échantillonnage « en grappe » est optimal pour réaliser les objectifs, si on considère la variabilité des sols et la masse raisonnable d'analyse pouvant être réalisée (tout du moins pour les profils [0-40 cm] car la profondeur [40-100 cm] n'a fait l'objet que d'analyses sur deux profils). Cet échantillonnage permet de faire l'état des lieux des placettes d'observation (qualitatif et quantitatif) et permettra, après ré-échantillonnage en suivi diachronique, d'évaluer l'évolution récente des sols. Le sous-échantillon correspondant au niveau 3 sera particulièrement intéressant puisque de nombreux autres paramètres y sont disponibles (apports atmosphériques, évolution des peuplements, solutions du sol), autorisant une explicitation des évolutions constatées.

Aucune inter-calibration n'a eu lieu pour la description des profils comme cela a été réalisé pour les inventaires floristiques. Bien que potentiellement intéressant, cela est moins important pour les sols où l'observation ne constitue pas en soi un élément définitif de diagnostic.

Les mesures ont été réalisées dans un laboratoire spécialisé agréé avec des protocoles normalisés. L'assurance qualité est particulièrement bien documentée. Toutes les informations indispensables à la traçabilité des données existent et sont répertoriées.

Les données sont rassemblées dans une base de données opérationnelle et fiable sauvegardée comme il se doit (le seul problème concerne le futur du support de cette base de données). Ces données sont accessibles aux utilisateurs pour les projets.

Les échantillons sont stockés en pédothèque ce qui représente une plus value importante pour calibrer des nouvelles analyses, voire pour rechercher des éléments nouveaux (dans la limite de la méthode utilisée).

La valorisation des données

Les données relatives aux sols ont fait l'objet de trois rapports scientifiques de la série RENECOFOR.

Ces données sont par ailleurs exploitées au niveau européen par le FIMCI.

Enfin, différentes publications valorisant les données sols du réseau ont été produites par des organismes autres que la cellule RENECOFOR ONF, ce qui n'exclut pas que la cellule RENECOFOR soit co-auteur : 12 publications dans des revues à comité de lecture, 3 dans la revue du DSF, 2 dans des revues sans comité de lecture, 14 participations à des colloques, 8 autres rapports et les synthèses individuelles par placettes sur le site Internet du réseau (n=21, S. Cecchini).

Cette utilisation des données sols est encore **modeste**, mais outre l'état des lieux, différents domaines apparaissent : comparaisons méthodologiques, charges critiques, ETM, relations plante-sols....

Perspectives scientifiques

Ces données devraient permettre de faire le point sur l'évolution récente des sols forestiers, mais pas nécessairement de manière directe et simple :

La représentativité du réseau est biaisée, mais c'était une option initiale connue, visant à représenter les principaux écosystèmes forestiers 'simples'. Les écosystèmes les plus sensibles sont sur-représentés.

L'évolution de la fertilité des sols nécessite une double approche i- bilans et ii- ré-échantillonnage pour un suivi diachronique. Le bilan sera possible pour chaque placette de niveau 3 moyennant une association forte avec la recherche (de fait réalisée par la création d'un poste à l'interface R & D) car les flux ne sont pas quantifiables directement. Certains peuvent l'être en utilisant les outils de modélisation (immobilisation des peuplements), d'autres nécessiteront un travail plus approfondi (flux d'altération), voire des mesures complémentaires (pierrosité, humidité du sol ?).

Les conclusions quant à l'origine des évolutions éventuelles nécessiteront la prise en compte de l'effet « vieillissement des peuplements ».

Le ré-échantillonnage des sols constituera une phase très opportune et attendue, pour identifier l'évolution récente des sols forestiers, à partir d'un échantillonnage de qualité. La valorisation des données sera une étape importante pour faire le point sur l'évolution des sols forestiers, jamais évaluée en France à partir d'un échantillonnage aussi exhaustif.

La principale difficulté est d'ordre financier pour ré-analyser totalement le réseau, d'autant que pour mettre en évidence de manière indiscutable l'évolution des sols, *il ne faudra en aucun cas sacrifier la qualité des analyses ni le nombre de répétitions*. On peut imaginer une stratégie par étape, en commençant par les 17 sites de niveau 3 où le plus grand nombre de paramètres ont été récoltés et où le calcul des bilans devrait être réalisé dans des délais raisonnables. Le programme Biosol devrait permettre de financer une tranche de 9 placettes sur le court terme. Comment financer la suite de ce projet ? Il est à cet égard fortement regrettable que l'on ait opté pour un ré-échantillonnage du réseau européen (16 x 16 km) avant le réseau RENECOFOR, compte tenu du potentiel limité du réseau européen pour mettre en évidence l'évolution des sols.

Suggestions méthodologiques

La description des sols donne des informations importantes quant au fonctionnement de l'écosystème :

- profondeur et répartition de l'**enracinement** (limite de l'écosystème pour les bilans de toute nature)
- **pierrosité** (pondération des réserves des sols tant hydriques que minérales).

Ces mesures devront être réalisées lors du ré-échantillonnage (quelques mesures seront réalisées sur des placettes de niveau III dans le cadre du poste d'interface INRA-ONF).

Pour que la base de données soit optimale, il serait intéressant de prévoir l'**analyse totale multiéléments** des sols. Il est en effet du ressort d'un réseau tel que RENECOFOR de réaliser de manière prévisionnelle, outre les éléments classiquement déterminés, un maximum de micro-éléments voire des radionucléides (*il faudra à cet égard s'assurer que l'échantillonnage permet cette caractérisation, toute méthode de prélèvement étant potentiellement polluante vis-à-vis de certains éléments en traces*).

2. Evolution du suivi depuis la 1^{ère} évaluation en 2006

Le ré-échantillonnage de l'ensemble des 102 sites a été décidé à la suite de la 1^{ère} évaluation. Le manuel a été révisé pour inclure les paramètres supplémentaires requis par le programme européen Biosoil, notamment le prélèvement distinct des horizons de litière OL et OF, la granulométrie 3 fractions des couches minérales ainsi que des analyses d'éléments extraits à l'eau régale.

En outre, comme suggéré lors de l'évaluation de 2006, des analyses de fond géochimique ont été réalisées à l'occasion de la campagne de ré-échantillonnage des sols. Ces analyses portent sur un composite de terre fine par couche systématique de 0 à 100 cm de profondeur des 27 sites CATAENAT, sites concernés par le suivi des dépôts atmosphériques et les modèles de charge critique. Elles comprennent 54 éléments totaux extraits par fusion alcaline et ont été confiées au Centre de Recherche Pétrographique et Géologique (CNRS Nancy).

En revanche, la campagne de ré-échantillonnage des sols de 2007 à 2012 n'a pas été complétée de mesures d'enracinement ni de pierrosité. Cela aurait nécessité un supplément de travail important, en dehors des grappes de sol, sur les fosses de description pédologique. Des mesures d'enracinement et de réserve en eau ont été réalisées par ailleurs dans le cadre du poste de transfert R&D de Manuel Nicolas sur 6 sites de niveau A3 ; elles ont servi à plusieurs études de bilans minéraux et de modélisation des flux d'éléments (Gandois, 2009 ; Van der Heijden et al., 2011, Jonard et al., 2012).

3. Analyse de l'avancement des activités en 2013

Données produites depuis 2006

Conformément au programme d'activités, les analyses de sol par grappe jusqu'à 40 cm de profondeur ont été répétées sur l'ensemble des 102 sites entre 2007 et 2012. En premier lieu, 10 placettes de niveau A3 ou A2 ont été ré-échantillonnées entre 2007 et 2008 dans le cadre du programme européen Biosoil. Les prélèvements et les analyses de sol des 92 autres sites ont été réalisés sur 3 ans entre 2009 et 2012. A cette occasion, le manuel de prélèvement des sols par grappe a été mis à jour en 2007 puis 2009 dans le but d'intégrer des paramètres supplémentaires exigés par le programme Biosoil, tout en garantissant la comparabilité des mesures par rapport à la campagne initiale tenue entre 1993 et 1995. En particulier :

- le protocole de prélèvement par couche, le nombre et la répartition des répétitions sont restés inchangés (25 répétitions de prélèvement répartis sur 5 grappes d'analyse) ;
- les analyses ont été réalisées suivant les mêmes méthodes et par le même laboratoire (INRA Arras) – seules les analyses de carbone Anne et d'azote Kjeldahl des couches minérales 10-20 cm et 20-40 cm ont dû être confiées à un autre laboratoire, le LDAR de l'Aisne, accrédité pour ces méthodes ;
- l'ensemble des échantillons de cette nouvelle campagne a été archivé à la pédothèque de Vitry-aux-Loges en plus de ceux de la campagne initiale 1993-1995.

La qualité des analyses est assurée par l'emploi de méthodes normalisées et l'accréditation COFRAC des laboratoires pour l'ensemble de ces méthodes. Cette qualité est également contrôlée par la participation de l'INRA Arras aux essais interlaboratoires du PIC Forêts (ringtests 2005, 2007, 2009 et 2012) et la réalisation de répétitions d'analyses en aveugle sur 27 échantillons provenant de 6 sites contrastés. Il est à noter d'ailleurs que l'INRA Arras est reconnu laboratoire de référence européen pour l'analyse des sols et qu'il était demandé, dans le cadre du programme Biosoil, que chaque pays participant envoie un doublon de 10 % de ses échantillons de sol à l'INRA Arras pour vérification de la qualité générale des analyses à l'échelle européenne.

Valorisations depuis 2006

Une première étude est en cours sur les résultats du ré-échantillonnage des grappes de sol 2007-2012, concernant l'évolution temporelle du stock de carbone de la litière et du sol minéral à l'échelle nationale. Menée en collaboration avec l'Université Catholique de Louvain et avec le soutien du MAAF, elle vise à étayer le rôle de puits de carbone des sols mis en avant dans les engagements internationaux de maîtrise des émissions de gaz à effet de serre. Un rapport préliminaire a été rendu en avril (Jonard et al., 2013) et l'échéance pour le rapport final est en juillet. La comparaison des deux campagnes d'échantillonnage met en évidence des évolutions significatives par site, dont une forte majorité dans le sens d'une hausse des stocks de carbone organique de la litière et du sol minéral. En moyenne sur le réseau, cette hausse est évaluée à +0.36 tC/ha/an. Les sites dont le peuplement a été majoritairement voire totalement détruit par les tempêtes de 1999 ne dérogent pas à cette évolution. Entre autres facteurs explicatifs, un effet de l'essence semble significatif avec une hausse plus importante pour les résineux (hormis le douglas) que pour les feuillus. Enfin on note également la contribution des données de ré-échantillonnage de 2007 et 2008 sur 10 sites à l'ensemble du programme Biosoil et à la publication du second rapport sur l'état des sols forestiers européens établi dans le cadre du PIC Forêts (De Vos et Cools, 2011).

De plus les données pédologiques ont servi à divers autres travaux :

- comme variables explicatives d'études corrélatives de plusieurs domaines tels que la chimie foliaire (Jonard et al., 2008), la flore (Archaux et al., 2009), la fructification des chênes et des hêtres (Martin, 2009) ;
- comme paramètres entrants de bilans minéraux (Gandois, 2009), de modèles de flux biogéochimiques (Van der Heijden et al., 2011, Jonard et al., 2012) et de calcul de charges critiques (Moncoulon et al., 2007) ;
- ou encore pour la calibration d'un outil de prospection électrique non destructive (Paillet et al. 2010).

Les échantillons archivés à la pédothèque ont également été utilisés pour des analyses complémentaires :

- Van der Heijden et al. (2011) ont mesuré l'évolution de la quantité de sulfates adsorbés dans le sol du site SP 57, pour comparaison à l'évolution du bilan de soufre calculé sur ce site ;
- Redon et al. (2011) ont utilisé les échantillons de litière et de sol minéral de 51 sites pour l'étude de la dynamique du chlore dans les écosystèmes forestiers sous forme minérale et organique ;
- La thèse de Sara Negro (Université de Savoie) s'appuie sur les échantillons de sol et prélèvements foliaires de dix sites pour examiner les stocks et l'évolution temporelle des HAP (hydrocarbures polycycliques aromatiques) dans les écosystèmes forestiers.

Perspectives

Les principales perspectives concernent l'analyse des résultats du ré-échantillonnage des grappes de sol mené de 2007 à 2012. Leur comparaison aux données acquises entre 1993 et 1995 doit permettre de quantifier l'évolution de l'acidité des sols (pH, éléments échangeables) en réponse aux tendances des dépôts atmosphériques acidifiants et de vérifier les bilans minéraux et simulations de cycles réalisés sur plusieurs sites de niveau A3. En lien avec l'évolution des stocks de carbone organique, il sera également intéressant d'examiner l'évolution de l'azote total et du rapport C/N et de la mettre en relation avec les variations de dépôts azotés et de la composition floristique. De plus on pourra comparer l'évolution

temporelle des teneurs en phosphore extractible des sols à celle constatée dans les analyses foliaires (Jonard et al. 2008).

Par ailleurs concernant l'activité biologique des sols, il pourrait être intéressant d'utiliser les échantillons stockés en pédothèque pour analyser la quantité et la diversité d'ADN microbien de manière comparable au RMQS et/ou pour confrontation à la diversité de champignons supérieurs inventoriés sur une majorité des sites. Plus loin, outre la diversité microbienne, le développement des analyses d'ADN du sol devraient permettre prochainement de caractériser la diversité des communautés de faune du sol, notamment les lombriciens : le métagénome du sol pourrait devenir accessible dans un avenir relativement proche. Les molécules d'ADN se dégradant lentement, de telles analyses intègrent une période longue et serviraient essentiellement à caractériser les variations spatiales de la diversité biologique.

Suggestions du centre de coordination

- Favoriser l'analyse des résultats du ré-échantillonnage des grappes de sol par le financement de travaux de recherche (post-doc, thèse).
- Reprendre l'analyse des variations verticales des propriétés chimiques jusqu'à 100 cm, après le rendu non satisfaisant de l'entreprise RITTMO.

4. Liste bibliographique indicative (en gris les références listées en 2006)

Manuels de référence (dernière version à jour)

Brêthes, avec l'aide de M. Bonneau et B. Jabiol, 1995 (deuxième version) RENECOFOR - Manuel de référence n°9 pour la description des sols, éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, 68 p.

Brêthes, E. Ulrich, M. Bonneau, avec l'aide technique de M. Lanier, 1992 (deuxième version): RENECOFOR - Manuel de référence n°4, échantillonnage des sols et des litières en grappe et préparation des échantillons, placette de niveau 1, éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, 58 p.

Ulrich E., Croisé L, Lanier A., Brêthes A., Cecchini S., 2009 : RENECOFOR - Manuel de référence n° 4 pour l'échantillonnage des sols et des litières en grappes et la préparation des échantillons, 3ème version. Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique et Commerciale Bois, Département Recherche, 41 p.

Rapports scientifiques dans la série RENECOFOR

Probst A., Hernandez L., Février C., Prudent P., Probst J.-L., Party J.-P., 2003 : Eléments traces métalliques dans les sols des écosystèmes forestiers : distribution et facteurs de contrôle – utilisation du réseau RENECOFOR. Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique, ISBN 2-84207-260-X, 69 p.

Ponette Q., Ulrich E., Brêthes A., Bonneau M., Lanier M., 1997 : RENECOFOR - Chimie des sols dans les 102 peuplements du réseau, campagne de mesures 1993/95. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 100 - X, 427 p

Brêthes, E. Ulrich (coordinateurs), 1997 : RENECOFOR - Caractéristiques pédologiques des 102 peuplements du réseau, observations de 1994/95. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 112 - 3, 573 p.

Autres rapports scientifiques

De Vos B., Cools N. 2011. Second European Forest Soil Condition Report. Volume I: Results of the BioSoil Soil Survey. INBO.R.2011.35. Research Institute for Nature and Forest, Brussel. 359 p.

Jonard M., Caignet I., Ponette Q., Nicolas M., 2013 : Evolution du carbone des sols forestiers de France métropolitaine – Détection et quantification à partir des données mesurées sur le réseau RENECOFOR, Rapport préliminaire du 29/04/2013, 31p

Articles dans des revues à comité de lecture

- J. Ranger, V. Badeau, E. Dambrine, J.-L. Dupouey, C. Nys, M.-P. Turpault, E. Ulrich, 2000 : Evolution constatée des sols forestiers au cours des dernières décennies. *Revue Forestière Française*, n° spécial 2000 " Conséquences des changements climatiques pour la forêt et la sylviculture : 49-70.
- Paillet Y., Cassagne N., Brun J.-J., 2010: Monitoring forest soil properties with electrical resistivity. *Biology and Fertility of Soils*, vol. 46, n°5, p. 451 – 460
- Redon P.-O., Abdelouas A., Bastviken D., Cecchini S., Nicolas M., Thiry Y. 2011. Chloride and organic chlorine in forest soils: storage, residence times, and influence of ecological conditions. *Environmental Science & Technology*, 45 (17) : 7202-7208
- Annunzio R. d', Zeller B., Nicolas M., Dhôte J.-F., Saint-André L., 2008 : Decomposition of European beech (*Fagus sylvatica*) litter: Combining quality theory and 15N labelling experiments. *Soil Biology and Biogeochemistry*, 40 : 322-333

5. Autres citations

- Archaux F., Boulanger V., Camaret S., Corcket E., Dupouey J.-L., Forgeard F., Heuzé P., Le Bret-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.
- Gandois L., 2009 : Dynamique et bilan des Eléments Traces Métalliques (ETM) dans des écosystèmes forestiers français. Modélisation, Spéciation et Charges Critiques. Thèse de doctorat ès géochimie de l'environnement, Université de Toulouse, 245 p. + annexes
- Jonard M., Ulrich E., Giot-Wirgot P., Dambrine E., 2008 : RENECOFOR - Facteurs explicatifs de la variabilité et évolution temporelle de la nutrition foliaire dans les réseaux de suivi à long terme des écosystèmes forestiers de France (RENECOFOR), de Belgique (Wallonie) et du Grand-Duché de Luxembourg (période 1993 - 2005). Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique et Commercial Bois, ISBN 978 – 2 – 84207 – 324 – 4, 67 p
- Jonard M., Legout A., Nicolas M., Dambrine E., Nys C., Ulrich E., van der Perre R., Ponette Q., 2012: Deterioration of Norway spruce vitality despite a sharp decline in acid deposition: a long-term integrated perspective. *Global Change Biology* 18 (2): 711–725 DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02550.x
- Martin, H., 2009 : Caractérisation des fructifications des chênaies et hêtraies du réseau RENECOFOR. Mémoire Diplôme de l'École Pratique des Hautes Études, Université Montpellier 2, 163, rue A. Brousseau, 34 090 Montpellier, 131 p
- Moncoulon D., Probst A., Martinson L., 2007 : Modeling acidification recovery on threatened ecosystems : application to the evaluation of the Gothenburg protocol in France. *Water, Air and Soil Pollution*, 7 : 307-316
- Van der Heijden G., Legout A., Nicolas M., Ulrich E., Johnson D.W., Dambrine E., 2011 : Long-term sustainability of forest ecosystems on sandstone in the Vosges Mountains (France) facing atmospheric deposition and silvicultural change. *Forest Ecology and Management*, 261 (3) : 730-740

Annexe 3.8 : Biodiversité

1. Analyse lors de la 1^{ère} évaluation en 2006

Les données produites

En ce qui concerne les inventaires floristiques, l'observation a été déléguée à des spécialistes, avec un fort problème de recrutement d'équipes compétentes : le choix a été fait de faire opérer diverses équipes dans chaque région, pour avoir des spécialistes à chaque fois. Trois échantillonnages ont déjà eu lieu (1995/2000/2005), dont seuls les deux premiers ont déjà été analysés, le troisième étant en cours d'analyse. Ces données n'ont pas encore livré de gros résultats à proprement dit sur les évolutions de végétation à long terme, après les deux premiers inventaires, si ce n'est une intéressante mise en évidence des effets enclos, mais **des progrès très importants sur des aspects plus méthodologiques** : (1) étude de la variabilité inter-annuelle, via un sous-ensemble de 14 placettes sur les 101, suivi annuellement et (2) les problèmes méthodologiques posés par l'observation de la végétation, en particulier la quantification des effets observateurs (4 exercices d'intercalibration).

Pour les champignons et les lichens, une première expérience sur 14 placettes a été lancée en 1996 (11 en 1997), à raison de 10 passages par an ! Continué depuis, avec rotation des placettes et diminution du nombre de passages (40 placettes en 2004). Un premier exercice d'intercalibration a eu lieu.

Globalement, les moyens mis en œuvre pour répondre aux questions posées sont adéquats en ce qui concerne la végétation phanérogame. Pour les cryptogames, le travail réalisé se situe pour l'instant encore à l'interface entre un travail de mise au point méthodologique de la méthode de relevé et un travail de monitoring proprement dit.

La base de données floristiques est, tant par sa structure que par son accès (interface Web), complètement à la hauteur des enjeux. C'est un exemple qu'il faudrait suivre pour le reste des données RENECOFOR. Un gros travail collectif a été réalisé pour la définition de la structure des données. Il y a un traçage des modifications de la base. Il manque cependant encore un certain nombre de métadonnées dans la base, afin de mieux tracer les méthodes de relevé employées.

La valorisation des données

Le nombre de publications scientifiques (dans des revues à comité de lecture) est faible. Mais 2 ou 3 projets d'articles importants sont bien avancés. Par contre, des rapports RENECOFOR complets ont été édités à la suite des 2 premières campagnes. La situation est similaire pour les champignons.

Ces données très riches mériteraient en particulier plus d'analyses croisées avec d'autres facteurs mesurés dans les placettes (d'ores et déjà : dendrométrie, dépôts, analyses foliaires, sols lorsqu'ils seront disponibles).

Perspectives scientifiques

RENECOFOR est en position de force pour s'intéresser à et apporter des informations sur les composantes elles-mêmes de la biodiversité (et pas seulement des « indicateurs » de biodiversité). La végétation phanérogame et cryptogame fait clairement partie de ces composantes déjà prises en compte. Une perspective d'avenir est d'étendre ces études à **d'autres composantes végétales de la biodiversité**, comme les lichens, les mousses non terricoles, voire les algues (?) et d'intensifier les observations sur les champignons, en

étendant à l'ensemble du réseau ce qui a été fait sur 40 placettes. L'extension de ces inventaires à des composantes animales (certains groupes d'insectes) ou microbiennes répondrait aussi dans le futur à la forte demande concernant la caractérisation de la dynamique de la biodiversité des forêts.

Dans le même esprit, les données déjà disponibles pourraient être utilisées pour **tester la valeur de certains indicateurs indirects de biodiversité** vis-à-vis de la diversité de la végétation ou des champignons : peut-on relier les variations spatiales et temporelles de diversité végétale ou cryptogamique à des facteurs clefs plus facilement mesurables ? Là encore, on revient sur la nécessité de mieux analyser et valoriser les données déjà prélevées.

Suggestions méthodologiques

Il est proposé de **réduire la fréquence des relevés de végétation**, car les variations inter-annuelles sont faibles, mais est-ce intéressant vu le faible coût de ces données ? Le principal obstacle à cette réduction est que la qualité des observations augmente fortement avec le nombre de passages.

A coût égal, il serait peut-être préférable d'échantillonner tous les 10 ans, mais en faisant 4 passages, 2 par année et pendant 2 années successives. Cela permettrait d'améliorer la qualité des relevés par rapport à la situation actuelle. Il deviendrait alors nécessaire de bien préparer le passage dans les placettes en régénération aussi, car, à cette fréquence, on ne peut se permettre de perdre un passage. On peut d'ailleurs envisager de faire passer deux équipes différentes lors des deux années successives. Ce passage à 10 ans aurait cependant plusieurs inconvénients : moindre motivation des équipes, risque d'un turn-over plus important des équipes entre chaque passage, moins bonne visibilité externe. Ces propositions sont à discuter avec l'ensemble des experts botaniques du réseau.

Pour progresser encore sur la qualité des données, On pourrait envisager de mieux sélectionner les équipes par une « qualification » préalable. Peut-être pourrait-on envisager de ne pas payer les prestataires tant que les données ne sont pas totalement prêtes (corrigées). Il faudrait être plus strict dans la planification des exercices d'intercalibration par rapport aux dates de passage dans le réseau : les exercices devraient toujours avoir lieu avant le premier relevé de printemps de l'observation Renecofor, afin qu'ils aient leur utilité maximale.

A moyen terme, il faut engager une réflexion approfondie et prendre des **décisions sur le maintien ou non des enclos**. La végétation en enclos va rapidement diverger fortement de l'exclos, et cela n'apportera plus vraiment d'informations sur l'impact du gibier *sensu stricto* sur la diversité végétale, mais plutôt sur l'impact indirect des changements d'essence qui en découleront.

Les placettes en régénération posent un problème : il faudrait préparer des layons d'accès. Il est dommage que ces stades ne puissent, le plus souvent, pas être étudiés, alors qu'ils sont très importants en termes de gestion de la biodiversité. La placette HET54a par exemple est passée de 90 espèces végétales avant tempête à 140 espèces (la plus riche de l'ensemble du réseau RENECOFOR) après la tempête de 1999.

2. Evolution du suivi depuis la 1^{ère} évaluation en 2006

Flore

Depuis 2008 et faisant suite à l'arrêt des financements de l'Union Européenne, la fréquence des inventaires floristiques a été redéfinie suivant les sites.

- Pour les 75 sites de niveaux B et A1 : réduction de la fréquence des inventaires de 5 ans à 10 ans.

- Pour les 27 sites de niveaux A2 et A3 : maintien de la périodicité de 5 ans.

Le maintien d'un inventaire, même réduit, tous les 5 ans a donc été préféré à une périodicité générale de 10 ans afin d'entretenir la motivation et l'entraînement de la dizaine d'équipes de botanistes impliquée. En pratique toutefois, en 2010, les experts botanistes ont estimé peu pertinente l'organisation d'un inventaire floristique restreint à 27 sites au regard des perspectives de valorisation. L'inventaire floristique de 2010 a donc été étendu à une cinquantaine de sites au total, avec l'appui volontaire notable de plusieurs experts. A cette occasion, suivant une suggestion de la 1^{ère} évaluation, des layons d'accès ont été préparés sur plusieurs placettes en régénération depuis la tempête de 1999 (dont la placette HET 54a). Comme précédemment, les relevés ont été saisis de manière uniforme via l'outil en ligne Renecoflore, développé par l'Université de Savoie.

Champignons supérieurs

De 1996 à 2007, les champignons supérieurs ont été inventoriés de manière tournante sur une soixantaine de sites en collaboration avec les mycologues amateurs de l'Observatoire Mycologique de France. Chaque site aura fait l'objet d'inventaires pendant 3 années de suite avec un minimum de 4 répétitions intra-annuelles. Les inventaires n'ont pas été repris depuis 2007, dans l'attente de la mise en forme des données recueillies puis d'une première analyse des variations observées et de la pertinence de la méthode d'inventaire. Il sera également nécessaire qu'un outil de saisie informatisé soit développé, à l'image de Renecoflore, avant que de nouveaux relevés puissent être entrepris.

En effet un long travail de mise en forme des données a été nécessaire depuis 2005, afin principalement d'harmoniser les noms d'espèces dont la saisie par les mycologues n'était pas uniformisée. Cette harmonisation a bénéficié de la publication en 2009 du référentiel taxonomique des basidiomycètes de France métropolitaine (Courtecuisse, 2009) et a abouti à une première version utilisable des données en 2012. Puis une convention a été passée entre l'ONF et l'Université de Rouen pour l'accueil en 2012 de Michaël Aubert dans le cadre d'un congé pour recherche ou conversion thématique de 6 mois consacré à l'analyse de ces données : la collaboration a malheureusement échoué pour des raisons internes à l'Université de Rouen. Le recrutement d'un post-doc de 6 mois est envisagé dans le cadre d'une convention avec l'INRA Nancy.

Un second exercice d'intercalibration a été organisé en octobre 2012 à l'occasion du congrès annuel de la Société Mycologique de France à Nancy. Outre la quantification des biais liés aux observateurs, cet exercice a permis d'apprécier la motivation continue des mycologues amateurs pour des observations organisées dans le cadre du réseau RENECOFOR.

Macro-invertébrés du sol (non abordés lors de la 1^{ère} évaluation)

Depuis 2006, une collaboration a été initiée avec l'IRD pour l'étude de la densité et de la diversité de macro-invertébrés édaphiques, en relation avec les propriétés physiques et chimiques des sols. La méthode de prospection de la litière et du sol minéral a été normalisée (norme ISO 23611-5:2011). Elle prévoit le recensement de 17 ordres taxonomiques et l'identification jusqu'au niveau de l'espèce.

Un premier inventaire de terrain a été mené sur 40 sites en 2006 avec le soutien financier du programme européen Forest Focus. Puis une convention a été établie entre l'ONF et l'IRD sur une période de 3 ans (2008-2011) afin d'étendre le nombre de sites inventoriés et de mettre en place un suivi temporel sur un sous-ensemble de 15 sites. L'ensemble du programme de la convention n'a cependant pas été réalisé par l'IRD. Un rapport intermédiaire a été fourni en 2010 mais le rapport final n'a toujours pas été rendu, malgré plusieurs relances.

3. Analyse de l'avancement des activités en 2013

Valorisations depuis 2006 (flore)

Les données des campagnes floristiques de 1995, 2000 et 2005 ont fait l'objet de multiples analyses rassemblées dans un rapport de la série jaune RENECOFOR (Archaux et al. 2009). Sur dix ans, l'analyse des séries temporelles n'a pas décelé de tendance globale à l'échelle du réseau et de nombreux facteurs de variabilité sont susceptibles de masquer un signal commun (effet opérateur, vieillissement des peuplements, gestion sylvicoles, fluctuations et événements climatiques). Des glissements floristiques ont pu cependant être mis en évidence en fonction du type de placette (appartenance biogéographique, type de sol, type de composition floristique). L'évolution de la flore semble suivre celle du peuplement, avec des effets immédiats et différés de l'ouverture du peuplement. Concernant l'effet des dépôts atmosphériques, les variations du caractère nitrophile de la flore ne sont reliées à celles des dépôts azotés que sur la période de 1995 et 2000 et l'évolution du caractère acidiphile n'est pas liée à celle des dépôts soufrés. En outre, l'analyse du suivi annuel pratiqué sur le sous-réseau Oxalis (14 sites) montre clairement que la richesse spécifique fluctue au gré des conditions climatiques. La flore forestière supporte bien les extrêmes climatiques et la relation flore-climat dépend du contexte géographique de la placette, bien plus que de l'essence arborée principale.

En outre en dix ans, un effet significatif de la pression du gibier est mis en évidence par la comparaison de l'évolution de la flore entre enclos et exclos (Boulangier, 2010). La flore en enclos est marquée par un recouvrement accru de la strate arbustive et une diversité d'espèces moindre dans la strate herbacée. Le surcroît d'espèces herbacées de l'exclos correspond toutefois majoritairement à des traits de vie liés à des milieux moins forestiers et plus perturbés. Face à la tendance d'accroissement des populations d'ongulés, ces impacts directs et quantifiés sur la flore à l'échelle nationale constituent des résultats originaux.

De plus, de nombreux résultats méthodologiques ont été produits et ont donné lieu à deux publications scientifiques (Archaux et al. 2007, 2008). On notera d'ailleurs que l'expérience acquise en France a motivé la tenue d'un premier exercice d'intercalibration européen par le PIC Forêts en 2009.

- Effet observateur : en moyenne près d'une espèce sur cinq n'est pas détectée dans les strates basses (résultat des exercices d'intercalibration, confirmé ceux des relevés de contrôle). La probabilité de non détection diminue notamment avec le taux de recouvrement et la familiarité de l'équipe opérante pour l'espèce. L'effet observateur est moindre sur les valeurs indicatrices d'Ellenberg résultantes.
- Effet saisonnier : la répétition des relevés au printemps et en été met en évidence une proportion non négligeable d'espèces saisonnières (i.e. dont la probabilité de présence est plus importante à l'une des deux saisons). Elle permet également de confirmer le fait qu'un relevé seul ne permet de détecter en moyenne que 80 % des espèces présentes. La réalisation systématique des relevés au printemps et en été améliore l'exhaustivité de chaque campagne jusqu'à 90 à 95 % de détection des espèces.
- Variabilité interannuelle : sur 11 ans, le suivi annuel mené par 3 équipes de botanistes sur un sous-ensemble de 14 sites (sous-réseau Oxalis) permet d'évaluer entre 25 % et 50 % la proportion d'espèces présentes tous les ans. Elle permet également d'évaluer à 80 % le nombre moyen d'espèces observées avec une fréquence de relevé quinquennale. Le passage à une fréquence décennale sur la majorité des sites ne peut encore que diminuer l'exhaustivité d'échantillonnage.

A l'échelle européenne, deux publications scientifiques sont à noter, au sujet des relations entre le niveau de dépôts atmosphériques et les valeurs indicatrices de la flore sur les sites de

niveau II. L'analyse multivariée des données de flore par van Dobben et de Vries (2010) met en évidence un effet prépondérant des facteurs liés au sol, au climat et au peuplement, mais aussi un léger effet des dépôts atmosphériques dans le sens d'une flore plus nitrophile sous l'effet des dépôts azotés et plus acidiphile sous l'effet des dépôts soufrés. Seidling et Fischer (2008), quant à eux, s'attachent à décorrélérer l'indication par la flore de la nutrition azotée (indice N d'Ellenberg) de l'acidité du sol (pH de l'humus ou indice R d'Ellenberg). Ils mettent ainsi en évidence une corrélation plus forte des dépôts azotés sous couvert avec les résidus de la régression de l'indice N par le pH de l'humus qu'avec l'indice N lui-même.

Perspectives

Valorisation

Concernant la flore il s'agit en premier lieu d'analyser les données de l'inventaire de 2010 sur 50 sites pour observer si davantage de tendances se dégagent sur 15 ans. De plus, les travaux réalisés sur les données de 1995 à 2005 suggèrent de nouvelles analyses, notamment pour essayer d'intégrer les biais d'observation quantifiés dans l'étude des variations de la flore. Par ailleurs, des mesures additionnelles sont réalisées par Irstea (A. Mørrell) sur 6 sites au sujet de la réponse de la flore à la pression du gibier (mesure de densité et de taille des individus, développement de défenses morphologiques...).

Concernant les champignons supérieurs, les inventaires réalisés sur le réseau RENECOFOR constituent un jeu de données original dans la compréhension des variations des communautés fongiques, à la fois plus abondantes en espèces que la flore et différenciables suivant leur rôle dans l'écosystème (parasite, saprotrophe ou symbiotique). En relation avec les variables environnementales, plusieurs approches sont envisagées, par présence/absence de chaque espèce (peut-on mettre en évidence des espèces indicatrices ?), par trait de vie ou par cortège (projet de post-doc de 6 mois avec l'INRA Nancy).

Plus loin, le réseau RENECOFOR pourrait servir de support de correspondance taxonomique des inventaires mycologiques ou des macro-invertébrés du sol avec des analyses moléculaires de diversité biologique d'échantillons de sols et/ou d'humus. Des méthodes de routine sont déjà mises en œuvre sur le RMQS pour la caractérisation de la diversité d'ADN microbien et de nouveaux développements sont en cours sur des groupes de faune du sol : le métagénome du sol pourrait devenir accessible dans un avenir relativement proche. Les molécules d'ADN se dégradant lentement, de telles analyses intègrent une période longue et serviraient essentiellement à caractériser les variations spatiales de la diversité biologique.

Fourniture d'indicateur d'impact du gibier

Les suivis des impacts du gibier sur la forêt manquent et les résultats d'évolution de la flore entre enclos et exclos pourraient alimenter un indicateur national. Certes, la différenciation de la flore entre enclos et exclos peut devenir non réversible à partir du moment où le développement de la strate arbustive atteint une hauteur hors de portée du gibier. Cependant, on pourrait baser un indicateur d'impact sur la vitesse de l'évolution observée, par exemple suivant la proportion de sites présentant une différence significative de recouvrement de la strate arbustive entre enclos et exclos après 5 ans, 10 ans, etc.

Support de nouveaux suivis

Le réseau RENECOFOR fait l'objet de demandes pour accueillir de nouvelles mesures ou de nouveaux suivis biologiques :

- 3 sites ont fait l'objet d'une caractérisation de mycorhizes dans le cadre de recherches britanniques menées sur un gradient de chênaies européennes (Souty, 2009 ; Merlin 2011) : selon les résultats, un suivi temporel pourrait être envisagé.

- 12 sites du réseau RENECOFOR servent de support depuis 2012 à un dispositif de suivi des fructifications de chêne sessile conduit par l'Université de Lyon (S. Venner), en collaboration avec l'INRA Bordeaux (S. Delzon) et cofinancé par l'ONF. Entre autres objectifs, l'étude des communautés d'insectes inféodées à la ressource limitée et très variable d'une année à l'autre des fructifications de chênes (masting) doit apporter des résultats originaux sur la coexistence d'espèces en compétition (théorie des niches vs théorie neutre de la biodiversité).
- La mise en place d'un suivi national des populations de tiques est envisagée face aux enjeux liés aux maladies dont elles sont porteuses. Le réseau RENECOFOR a été sollicité comme support potentiel de ce suivi : la présence d'enclos pourrait notamment permettre de différencier le rôle des ongulés de celui des petits mammifères sur les populations de tiques.

Suggestions du centre de coordination

1. Flore : rétablir la périodicité quinquennale des inventaires sur les 75 sites de niveaux B et A1

- Retour à une périodicité quinquennale pour tous les sites. Cela représenterait une hausse du budget de commandes externes estimée à 7 000 €/an.
- Maintenir le niveau d'assurance/contrôle qualité nécessaire à la comparabilité des données à long terme et qui constitue un apport remarquable du réseau RENECOFOR.

2. Champignons supérieurs et macro-invertébrés du sol : valoriser les résultats et étudier la pertinence d'un suivi à long terme

Le réseau RENECOFOR a activement contribué au développement de nouveaux types d'inventaires taxonomiques, concernant les champignons supérieurs et la macrofaune du sol. Il s'agit maintenant de valoriser les résultats de ces expériences pionnières et étudier la pertinence de suivis à long terme. La longue harmonisation des données mycologiques permet enfin d'envisager une analyse approfondie. Les relances de l'IRD méritent aussi d'être répétées pour l'obtention et l'analyse des données de macrofaune du sol.

3. Caractériser les variations génétiques entre arbres-observation

La vulnérabilité des forêts aux changements climatiques soulève la question de la variabilité intra-peuplement de la réponse des arbres aux changements environnementaux. Dans cette optique, les données collectées à l'échelle arbre sur les quelque 5 000 arbres observation et arbres échantillon se révèlent un apport original du réseau RENECOFOR. Ces données à l'échelle arbre concernent l'état sanitaire annuel (depuis 1994), la phénologie annuelle (notation individualisée par arbre depuis 2009) et la croissance quinquennale à décennale. Dans l'annexe 1.1, il est suggéré d'une part d'intensifier le suivi de la croissance des arbres-observation au pas de temps annuel, à l'aide de dendromètres fixes à lecture directe. D'autre part, il serait utile de caractériser la variabilité génétique existant entre ces arbres comme facteur explicatif potentiel des variations de leurs réponses. Le protocole d'analyse génétique resterait à définir, si possible en lien avec les besoins de la CRGF, puis à évaluer économiquement.

4. Liste bibliographique indicative (en gris les références listées en 2006)

Manuels de référence (dernière version à jour)

Dupouey J.-L., Ulrich E., Brêthes A., Coquillard F., Dobromez J.-F., Dumé G., , Forgeard F., Gauberville C., Gueugnot J., Picard J.-F., Savoie J.-M., Schmitt A., avec l'aide technique de M. Lanier, 2005 (troisième version) : RENECOFOR - Manuel de référence n°8 pour la

caractérisation de la composition floristique, éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, 28 p.

Rapports scientifiques dans la série RENECOFOR

- Archaux F., Boulanger V., Camaret S., Corcket E., Dupouey J.-L., Forgeard F., Heuzé P., Leuret-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.
- Camaret S., Bourjot L., Dobremez J.-F. (coordinateurs), 2004 : Suivi de la composition floristique des placettes du réseau (1994/95-2000) et élaboration d'un programme d'assurance qualité intensif. Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique, ISBN 2-84207-290-1, 86 p.
- Dobremez J.-F., Camaret S., Bourjot L., Ulrich E., Brêthes A., Coquillard P., Dumé G., Dupouey J.-L., Forgeard F., Gauberville C., Gueugnot J., Picard J.-F., Savoie J.-M., Schmitt A., Timbal J., Touffet J., Trémolières M., 1997 : RENECOFOR - Inventaire et interprétation de la composition floristique des 101 peuplements - campagne 1994/95. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 111 - 5, 513 p.
- Moreau P.-A., Daillant O., Corriol G., Gueidan C., Courtecuisse R., 2002 : RENECOFOR – Inventaire des champignons supérieurs et des lichens sur 12 placettes du réseau et dans un site atelier de l'INRA/GIP ECOFOR – résultats d'un projet pilote. Editeur : Office National des Forêts, Département Recherche et Développement, ISBN 2-84207-244-8, 146p.

Autres rapports scientifiques

- Courtecuisse R., Daillant O., 1998 : Inventaire des champignons sur 11 placettes dont 10 placettes RENECOFOR, année 1997. Rapport final du projet UE, DG VI, n°96.60.FR.007.0. Editeur : Département de Botanique, Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, Université de Lille et Observatoire Mycologique, Néronde, 110 p.
- Courtecuisse R., Daillant O., Gueidan C., Boissière J.-C., 1997 : Inventaire des champignons et des lichens sur 14 placettes dont 12 placettes RENECOFOR. Rapport final du projet 96.60.FR.007.0 de l'Union Européenne, DG VI, 116 p.
- Boulanger V., 2010 : Pression d'herbivorie et dynamique des communautés végétales : influence à court et moyen termes des populations de cervidés sur la diversité des communautés végétales en forêt. Thèse de Doctorat, Nancy, 288 p.
- Merlin M., 2011. Temporal variation of mycorrhizas in oak forests in France. Rapport de stage de 3ème année de licence de l'Ecole Normale Supérieure, Imperial College & Royal Botanic Garden, 22 p.
- Souty C., 2009. Identification des espèces et étude de la répartition des ectomycorhizes provenant de deux forêts de chênes françaises (Blois et Mormal). Rapport de stage, Agrocampus Ouest Centre de Rennes - Imperial College & Royal Botanic Garden, 29 p.

Articles dans des revues à comité de lecture

- Archaux F., Bergès L., 2008 : Optimising vegetation monitoring. A case study in a French lowland forest. *Environmental Monitoring and Assessment*, 141 : 19-25
- Archaux F., Camaret S., Dupouey J.-L., Ulrich E., Corcket E., Bourjot L., Brêthes A., Chevalier R., Dobremez J.-F., Dumas Y., Dumé G., Forêt M., Forgeard F., Leuret-Gallet M., Picard J.-F., Richard F., Savoie J.-M., Seytre L., Timbal J., Touffet J., 2009: Can we reliably estimate species richness with large plots? An assessment through calibration training. *Plant Ecology*, 203 : 303-315.
- Seidling W., Fischer R. 2008: Deviances from expected Ellenberg indicator values for nitrogen are related to N throughfall deposition in forests. *Ecological Indicators*, 639-646, doi:10.1016/j.ecolind.2007.09.004
- van Dobben H., de Vries W. 2010: Relation between forest vegetation, atmospheric deposition and site conditions at regional and European scales. *Environmental Pollution* 158 (2010) 921–933, doi:10.1016/j.envpol.2009.09.015

Publications dans des revues techniques

- Archaux F., Dupouey J.-L., Heuzé P., 2008 : La flore dans le réseau RENECOFOR : avancées méthodologiques et premières tendances sur 10 ans. Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°4 "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR" : 95-98.
- Boulangier V., Baltzinger C., Saïd S., Dupouey J. L., 2011 : Relations cervidés - végétation forestière : Apports des suivis temporels. Forêt Wallonne 110:22-32.
- S. Camaret, 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.
- Courtecuisse R., Moreau P.-A., Daillant O., 2008 : Suivi de la flore fongique : une énorme diversité difficile à mesurer, partenariat avec les sociétés mycologiques de France. Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°4 "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR" : 99-102.
- Ruiz Camacho N., Velasquez E., Lavelle P., 2008 : Evaluation de la biodiversité et de l'état sanitaire des sols forestiers dans le réseau RENECOFOR. Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°4 "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR" : 103-108.

5. Autres citations

- Courtecuisse R., 2009 : Référentiel taxonomique des Basidiomycètes de France métropolitaine. Office National des Forêts (réseau naturaliste mycologie), Société Mycologique de France.

Annexe 3.9 : Météorologie

1. Analyse lors de la 1^{ère} évaluation en 2006

Les données produites

Il existe très peu de stations météorologiques situées en forêt ou en zone forestière. D'une part les services météorologiques nationaux se concentrent sur des sites pouvant contribuer aux observations synoptiques et n'éprouvent que trop rarement d'intérêt à suivre les conditions météorologiques en forêt. D'autre part, un suivi des conditions météorologiques en forêt est primordial pour étudier et comprendre la croissance des forêts, en surveiller l'écologie ou encore en simuler le bilan hydrologique et nutritionnel. Pour ce faire, le réseau RENECOFOR a choisi d'installer un réseau de 26 stations météorologiques sur 100 stations initialement prévues (car le budget prévu pour les 100 n'était in fine qu'assez pour 26) connecté au réseau des dépôts atmosphériques de RENECOFOR. Ces stations sont placées en clairières en zone forestière, donc non gênées par le couvert forestier.

Méthodologie

Ces stations sont automatiques, bien équipées, utilisant des instruments standardisés conformes aux recommandations du manuel européen (UNECE, 1998, 1999, 2001, 2003, 2004) et aux standards de la WMO (WMO, 1993). Techniquement, le réseau météorologique est correctement géré ; la responsabilité de la gestion quotidienne du réseau revient à une société sous-traitante qui travaille efficacement tout en prenant en compte les standards. Les données temporelles sont bien intégrées, la qualité des données est contrôlée en routine selon une procédure efficace. Ainsi, au final, la gestion technique peut être considérée comme correcte.

Cependant, il serait bon d'utiliser davantage les outils de la modélisation de faciliter l'accès aux données, et de miser davantage sur les échanges avec d'autres réseaux (IFN, centres de recherche et sites ateliers).

La valorisation des données

De prime abord, parce que reliées à de nombreux processus et parce que centrales pour beaucoup de modèles, les données météorologiques provenant du réseau RENECOFOR pourraient être mieux valorisées.

De nombreuses études concernant l'état sanitaire et la croissance des forêts utilisent les données météorologiques délivrées par un institut météorologique national (Météo France). Les données propres aux sites forestiers sont alors interpolées à partir des données provenant des stations météorologiques proches mais en plaine. Au vu des gradients horizontaux entre les sites météorologiques et les parcelles (distances atteignant parfois plusieurs kms), ces mesures ne sont pas toujours représentatives car souvent trop éloignées des zones forestières.

Perspectives scientifiques

Par souci d'amélioration de la pertinence des données, RENECOFOR a choisi d'installer un réseau en zone forestière ouverte et non en forêt pour des raisons pratiques évidentes (accessibilité ...) et de coûts. Cependant, il n'a pas été démontré que le réseau RENECOFOR serait plus représentatif du climat des parcelles forestières et, en cela, plus recommandable que le réseau Météo France. Il est donc recommandé d'effectuer des études comparatives des conditions météorologiques en zones forestières délivrées à partir des stations

météorologiques de proximité (RENECOFOR) et par Météo France. Quelques analyses ont été effectuées (Marianne Peiffer) et montrent un décalage systématique entre les deux sources de données : moins de lumière, une humidité plus forte, un rayonnement plus faible pour les stations météorologiques situées en clairière.

Les données issues du réseau RENECOFOR devraient être mieux valorisées comme validation des indices bioclimatiques, en reliant les variations observées dans le peuplement lors de sécheresses, gels, vents forts, concernant des processus biotiques (croissance, débourrements, dynamiques de défoliation, attaques d'insectes et maladies) aux facteurs météorologiques enregistrés. Ces observations permettraient d'en étudier les effets cumulatifs. Avec 15 années d'enregistrement des données, il devient possible d'évaluer des tendances, mais 15 années supplémentaires seront nécessaires pour pouvoir constater les effets d'un changement climatique. A plus court terme, les données disponibles permettent des analyses de synthèse.

Parce que certains thèmes dévolus au réseau RENECOFOR concernent la modélisation des processus biologiques de l'écosystème forestier intégrant le sol, il serait recommandé de mesurer la température du sol ainsi que la teneur en eau des sols (validation et vérification des calculs de bilans hydriques) grâce à des sondes TDR à 20 et 70 cm sur sols non extrêmes, sous couvert et sur un nombre limité de placettes (dans le « noyau dur » du réseau). Des mesures d'indice foliaire (LAI) permettant de caractériser les différences de rayonnement hors et sous couvert, reliées aux mesures d'humidité du sol, permettraient d'affiner les bilans hydriques.

Suggestions méthodologiques

Une autre amélioration potentielle concernerait une meilleure prise en compte de la diversité des peuplements : de nombreux types de peuplements, tels ceux à dominance de châtaigniers, frênes, aulnes, ou à essences méditerranéennes, ne sont généralement pas représentés. De ce fait, la différence de structure du couvert relative aux essences dominantes devrait induire des conditions météorologiques différentes (plus largement, le biais induit par le manque de représentativité de la diversité des peuplements se répercute sur l'ensemble des thématiques de recherche RENECOFOR et limite la représentativité de l'étude aux seuls types forestiers pris en compte au sein du réseau météo RENECOFOR ; il ne permettra pas par la suite un transfert à d'autres peuplements non étudiés).

2. Evolution du suivi depuis la 1^{ère} évaluation en 2006

Depuis 2008 et faisant suite à l'arrêt des financements de l'Union Européenne, l'intensité du suivi météorologique a été réduite. Comme préconisé par la 1^{ère} évaluation, le suivi a été divisé de moitié, en concentrant l'effort sur les sites de niveau le plus intensif (niveau A3).

- Arrêt du suivi météorologique sur les 13 sites de niveau A2.
- Maintien à l'identique du suivi météorologique sur 13 des 14 sites de niveau A3 (le site CPS 77 n'a jamais été équipé de station météo).

Outre la météorologie, les suivis des dépôts atmosphériques sous couvert et des chutes de litière ont également été restreints aux 14 sites de niveau A3. Une conséquence pour les 13 sites de niveau A2 est la perte des possibilités de validation des mesures hebdomadaires de volume de dépôts hors couvert par comparaison aux données de pluviométrie automatique : un abonnement aux données pluviométriques des 3 stations MétéoFrance les plus proches de chaque site est une alternative envisagée et peu coûteuse (environ 1 000 €/an).

A l'occasion du début du marché actuel en 2007, une modernisation des stations a été programmée : les unités centrales ont été changées pour correspondre au développement de

capteurs numériques et généraliser la transmission automatique des données par ligne fixe ou GSM. Une seule station n'a pas pu être modernisée, en raison de l'absence de ligne téléphonique ou GSM sur le site hors couvert SP 57.

3. Analyse de l'avancement des activités en 2013

Valorisations depuis 2006

Deux nouveaux rapports ont été publiés en 2008 dans la série jaune RENECOFOR.

- Peiffer et al. (2008) évaluent la qualité du suivi des données recueillies de 1995 à 2004 : exhaustivité des données, recensement des causes de défauts, résultats d'étalonnage des sondes. Les principaux défauts sont le fait de quelques incidents majeurs touchant alors l'ensemble des de la station (foudroiement à 2 reprises de la station HET 30, défauts de transmission téléphonique généralement palliés par des échanges de cartes mémoire des stations...). Au final, plus de 98 % des données ont été effectivement acquises et recueillies dans la base. En outre une synthèse du climat et des événements extrêmes est dressée pour chaque station sur les 10 années.
- Badeau et al. (2008) se sont attachés à la comparaison des données journalières et mensuelles des stations RENECOFOR à celles des stations MétéoFrance les plus proches, puis à l'estimation des flux de drainage d'eau, sur une période de 5 ans (1995-1999). La comparaison aux données MétéoFrance fait apparaître certains biais attribuables à l'empreinte du microclimat forestier : l'humidité relative de l'air est notamment plus élevée et l'évapotranspiration potentielle plus faible sur les stations RENECOFOR. Elle montre également des relations statistiques étroites et de bonnes possibilités de gap-filling entre les deux types de station pour les paramètres de température et de rayonnement. Les relations sont moins étroites pour les autres paramètres et illustrent en particulier les variations des événements pluvieux à de faibles distances (de 1 à 15 km), y compris en plaine. Quant aux flux de drainage, malgré de fortes amplitudes d'estimation des paramètres édaphiques pour chaque site, leur incertitude repose principalement sur les sources de données météorologiques.

D'autre part, les données des stations météorologiques ont été utiles à différents travaux de valorisation.

- Elles ont permis l'estimation des flux d'eau nécessaires aux calculs de bilans minéraux et en entrée des modèles de cycles biogéochimiques (Gandois 2009 ; van der Heijden et al., 2011 ; Jonard et al. 2012 ; Gaudio et al. In prep.) – cf Annexe 1.10 CATAENAT.
- Elles ont servi entre autres facteurs explicatifs dans la modélisation des variations temporelles de phénologie (Lebourgeois et al., 2010), des chutes de litière feuillée (Peaucelle, 2011), ou du déficit foliaire (Ferretti et al., 2013). Dans ces études portant sur l'ensemble du réseau, les données météorologiques en propre ont pu être complétées par celles des stations MétéoFrance les plus proches des sites non instrumentés : la pertinence de l'utilisation de ces mesures distantes repose sur la considération des seules variations relatives des paramètres météorologiques.

Perspectives

La qualité et l'originalité des données étayées par Peiffer et al. (2008) et Badeau et al. (2008) sur les premières années de suivi ouvrent des perspectives quant à la caractérisation du climat en forêt et de son évolution dans le contexte de changements climatiques. L'originalité du réseau météorologique RENECOFOR est renforcée par le recul de 18 ans déjà acquis. Il serait notamment intéressant d'évaluer l'amplitude des événements extrêmes (ex : sécheresse-

canicule de 2003) et des dépassements de seuils physiologiques sur ces stations forestières : la comparaison avec les données des stations MétéoFrance les plus proches pourrait permettre de proposer des facteurs correctifs pour intégrer l'effet du microclimat forestier. A cet égard, il faut noter que des informations avaient été relevées en 2003 sur l'environnement de chaque site hors couvert (plans et photographies des obstacles) : il pourrait être intéressant de répéter cette opération pour documenter l'évolution de cet environnement.

Concernant les enjeux liés à l'acidification et à l'accumulation d'azote atmosphérique dans les écosystèmes forestiers, les recherches sur les cycles biogéochimiques continueront de nécessiter des données permettant le calcul de flux d'eau journaliers. Etant données les incertitudes liées à l'utilisation de données de stations MétéoFrance sur les flux de drainage (Badeau et al., 2008), la poursuite des mesures de dépôts sous couvert et de chimie des solutions du sol sur les sites de niveau A3 doit être associée à la poursuite du fonctionnement des stations météorologiques.

Plus loin, la mise en place d'un suivi de l'humidité du sol sur les sites de niveau A3, suspendue après le retrait du projet FutMon, apporterait également une forte plus-value à la quantification des flux de drainage, y compris de manière rétrospective depuis le début du suivi CATAENAT (cf. annexe 1.10 CATAENAT). Le matériel a été acquis pour un site : il n'a pu être installé pour le moment mais le projet demeure de tester sa mise en œuvre à Fontainebleau avant d'envisager un projet d'installation à plus large échelle.

Une autre amélioration des calculs de drainage pourrait reposer sur le suivi de l'indice foliaire (LAI). Pour les sites feuillus la mesure de la masse surfacique (planimétrie) couplée aux masses de chutes de litière a déjà été testée (travaux de N. Bréda) son suivi donnerait une mesure fiable annuelle de LAI. En revanche le suivi du LAI sous résineux nécessiterait des mesures indirectes, qui s'avèrent moins fiables et difficilement planifiables sur des sites distants de Fontainebleau.

Enfin, l'étude des réponses des écosystèmes forestiers aux changements climatiques nécessitera de nouvelles analyses statistiques à l'appui des facteurs météorologiques. Les stations météorologiques RENECOFOR resteront les sources de données les plus pertinentes pour les sites qui en sont équipés.

Suggestions du centre de coordination

- Maintenir le suivi météorologique sur les 13 sites A3 : la prochaine échéance concerne le renouvellement du marché de prestation après le 14/07/2014 et pourrait être l'occasion d'adaptations aux principaux enjeux de mesure (ex : renouveler les pluviomètres maintenant âgés de presque 20 ans, ajouter un second pluviomètre par station pour pouvoir détecter les fausses valeurs nulles).
- Tester la mise en place du suivi d'humidité en vue d'un déploiement potentiel sur les sites de niveau A3.
- Suivre le LAI des 5 placettes feuillues de niveau A3 par la mesure annuelle de la masse surfacique des feuilles en complément du suivi des chutes de litière.
- S'abonner aux données pluviométriques des 3 stations MétéoFrance les plus proches de chaque site pour améliorer la validation des mesures de dépôts hors couvert.

4. Liste bibliographique indicative (en gris les références listées en 2006)

Manuels de référence (dernière version à jour)

PULSONIC (1994). Les stations météorologiques Pulsia. Manuel d'utilisation. Edition Mars 1994.

Ulrich E., Lanier M., 1993. RENECOFOR - Manuel de référence no 3 pour le fonctionnement du réseau Cataenat (Charge Acide Totale d'origine Atmosphérique dans les Ecosystèmes Naturels Terrestres), placettes de niveaux 2 et 3. Office National des Forêts, Départements des Recherches techniques, 2eme version, 93 p.

Rapports scientifiques dans la série RENECOFOR

Badeau V., Ulrich E., 2008 : RENECOFOR - Etude critique de faisabilité sur : la comparabilité des données météorologiques « RENECOFOR » avec celles de Météo France, l'estimation de la réserve utile en eau du sol et le calcul des volumes d'eau drainée en vue du calcul de bilans minéraux sur les placettes du sous-réseau CATAENAT. Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique et Commercial Bois, ISBN 978 – 2 – 84207 – 323 – 7, 107 p. et 166 pages annexes.

Peiffer M., Badeau V., Bréda N., Ulrich E., 2008 : RENECOFOR - Suivi de la météorologie forestière locale (France et Grand-Duché de Luxembourg) - Bilan de la période 1995-2004. Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique et Commercial Bois, ISBN 978 – 2 – 84207 – 325 – 1, 313 p.

Ponette Q., Ulrich E., Collet G., Kot J., Bruno F., Lanier M., 1996 : RENECOFOR - Sous-réseau météorologique forestier. Bilan de la phase test (1994/95) et perspectives. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2-84207-037-2, 102 p.

Autres articles

Badeau V., Bréda N., 2008 : Modélisation du bilan hydrique : l'étape clé de la détermination des paramètres et des variables d'entrée. Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n° "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR" : 111-114.

Ponette Q. Ulrich E., Lanier M. Collet G. Kot J., Bruno F., 1997 : Le réseau météorologique RENECOFOR - fonctionnement et conception d'indicateurs bioclimatiques. La Santé des Forêts (France) en 1996, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (DERF-Département de la Santé des Forêts), 56-60.

Ulrich E., Collet G., Kot J., Bruno F., 1995 : Quel temps fait-il en forêt ? *Arborescence*, 59 : 25-28.

5. Autres citations

Ferretti M., Nicolas M., Bacaro G., Brunialti G., Calderisi M., Croisé L., Frati L., Lanier M., Maccherini S., Santi E., Ulrich E., 2013: Plot scale modelling to detect size, extent, and correlates of changes of tree defoliation in French high forests. *Forest Ecology and Management*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.009>

Gandois L., 2009 : Dynamique et bilan des Eléments Traces Métalliques (ETM) dans des écosystèmes forestiers français. Modélisation, Spéciation et Charges Critiques. Thèse de doctorat ès géochimie de l'environnement, Université de Toulouse, 245 p. + annexes

Jonard M., Legout A., Nicolas M., Dambrine E., Nys C., Ulrich E., van der Perre R., Ponette Q., 2012: Deterioration of Norway spruce vitality despite a sharp decline in acid deposition: a long-term integrated perspective. *Global Change Biology* 18 (2): 711–725 DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02550.x

Lebourgeois F., Pierrat J.-C., Perez V., Piedallu C., Cecchini S., Ulrich E., 2010 : Simulating phenological shifts in French temperate forests under two climatic change scenarios and four driving global circulation models. *International Journal of Biometeorology* 54:563–581

Peaucelle M., 2011. Time trends in forest litterfall production and relationships with environmental changes: an exploratory approach on data collected from 1995 to 2007 in the RENECOFOR monitoring network. Rapport d'année pleine de recherche 2010-2011, Ecole Normale Supérieure de Cachan, 29 p.

Van der Heijden G., Legout A., Nicolas M., Ulrich E., Johnson D.W., Dambrine E., 2011 : Long-term sustainability of forest ecosystems on sandstone in the Vosges Mountains (France) facing atmospheric deposition and silvicultural change. *Forest Ecology and Management*, 261 (3) : 730-740

Annexe 3.10 : CATAENAT – Suivi des dépôts atmosphériques et solutions du sol

1. Analyse lors de la 1^{ère} évaluation en 2006

Les données produites

Le sous-réseau CATAENAT mesure les dépôts atmosphériques hors et sous couvert forestier dans 27 peuplements forestiers et les solutions du sol à 20 et 70 cm dans 17 placettes depuis 1993.

L'objectif affiché était l'évaluation et le suivi de l'impact sur la forêt française des dépôts atmosphériques acides. Par la suite, les données du réseau ont contribué à la détermination des charges critiques de dépôts atmosphériques (acidité, azote).

Les stations équipées dites de « niveau 2 » (mesures des dépôts) et de « niveau 3 » (mesures des dépôts et des solutions de sols) présentent, dans le contexte de la forêt française, une forte représentation de sols acides et une forte représentation des peuplements résineux. Les placettes ont été choisies pour répondre à cet objectif (d'où un nombre important de stations sur la partie Est du pays), mais en intégrant la sensibilité des espèces forestières (différente selon les stations mais avec prédominance de résineux), et des types de sols (mais avec prédominance des sols acides). **Le réseau n'est donc pas représentatif des forêts françaises, l'objectif étant surtout de cibler sur les forêts les plus sensibles à la pollution acide, mais il est clairement adapté au suivi de la gamme de peuplements et de sols sensibles à ce type de pollution.**

L'équipement mis en place dans ces stations a été parfaitement adapté aux objectifs initiaux et en adéquation avec les moyens financiers. Les 27 stations de mesure de dépôts totaux d'éléments majeurs (2 jauges Owen) sont couplées aux mesures météo (3 ou 6 paramètres, à l'exception de 2 stations). 8 stations comptent aussi des mesures de dépôts humides des éléments majeurs. Quelques stations (5) ont fait l'objet de mesures de brouillard jusqu'en 1998.

Depuis décembre 1992, la collecte s'effectue par mélange de 4 collectes hebdomadaires au prorata des volumes, ce qui permet d'assurer une bonne représentativité et conservation des échantillons et de limiter la quantité d'analyse.

Les pluviolessivats sont collectés par gouttières (3 par station) et par des collecteurs à neige (identiques à ceux utilisés hors couvert). Les ruissellements le long des troncs sont actuellement recueillis dans 3 stations (sous hêtraie et une sapinière).

Les solutions du sol sont récoltées hebdomadairement depuis 12 ans dans 17 sites du réseau et analysées pour des échantillons moyens pondérés mensuels. La collecte se fait sous légère dépression (0,5 bar) par bougies céramiques sauf au Mont Aigoual (depuis 1995, plaques lysimétriques, eau gravitaire). Sont effectuées les mesures des éléments majeurs (comme pour les dépôts avec en plus Si et COD, et Fe, Al, Mn mais seulement pour les stations à sols acides depuis 1993).

Un programme assurance qualité a été mis en place dès l'origine. Ce volet, indispensable, est remarquable (tous les réseaux sont loin d'en être dotés). Il est mené de la phase d'échantillonnage (y compris la phase entretien sur le terrain), jusqu'à la transmission des données en passant par les analyses. Une formation des « opérateurs » de terrain a été mise en place et formalisée par des ouvrages auxquels il est possible de se référer de façon à assurer la traçabilité et l'homogénéité des opérations.

Le réseau a participé à une évaluation collective au sein du PIC Forêts en 2001 pour les dépôts et en 2002 pour les solutions de sol. Cette évaluation a été renouvelée en 2005. La qualité analytique des analyses est attestée par la mise en place régulière de protocoles assurance qualité via des protocoles internes ou des intercalibrations dans des réseaux de programmes (ex, via le NILU ou d'autres) réalisées par le laboratoire SGS Multilab (anciennement Wolff Environnement) en charge des analyses.

Les données (en nombre important puisqu'une analyse comporte au minimum 13 données brutes) génèrent un grand nombre de métadonnées. Elles sont compilées dans une base de données très bien structurée permettant des traitements et des échanges efficaces avec la communauté scientifique avec traçabilité des protocoles et des méthodes. Bien que la gestion de cette base soit aujourd'hui à repenser, pour faciliter entre autre les échanges, elle a permis de répondre à des sollicitations concrètes de données de la part de certains chercheurs.

Participation de RENECOFOR au réseau « Mousses-métaux lourds » :

Il ne s'agit pas ici d'évaluer le réseau Mousse-Métaux, qui est piloté par l'ADEME et le MNHN et s'inscrit dans une démarche européenne au sein du PIC Végétation. Le réseau RENECOFOR a des liens privilégiés avec ce réseau calé sur la grille EMEP (50kmx50km), puisqu'il sert de support pour partie en termes de stations de relevés. Trois campagnes de prélèvements de mousses ont été réalisées jusqu'ici : en 1995, en 2000 et la dernière en 2006 est en cours.

En 2006, 536 sites ont été échantillonnés au niveau national dont 63 dans les 102 placettes de RENECOFOR. 24 des 27 placettes de CATAENAT sont concernés. 14 éléments sont prévus en analyse (il y en avait 40 en 1995 et 20 en 2000).

Ce volet est particulièrement important puisque qu'il n'existe pas de données de dépôts de métaux mesurés dans CATAENAT. Toutefois il est encore difficile de substituer des mesures directes de dépôts aux données de métaux enregistrées par les mousses.

Cette volonté de coordination entre réseaux est très bienvenue et mérite d'être soulignée. Même si elle n'est pas toujours aisée (repérage des sites, coordination entre agents ONF et « préleveurs » sur les sites, présence des mousses références à découvert etc...), elle devrait être poursuivie car elle permet d'avoir des informations complémentaires sur l'environnement des données de dépôts.

Avec les progrès scientifiques, on peut imaginer qu'il soit possible d'arriver à une quantification *a posteriori* des données de dépôts à partir des enregistrements des mousses dans les stations concernées.

La valorisation des données : un travail très important au plan scientifique sur les dépôts hors couvert, à compléter et à vulgariser

Le nombre de publications est relativement important : une soixantaine de publications et de communications à des congrès scientifiques. Parmi celles-ci, 13 publications ont été réalisées dans des revues scientifiques internationales à comité de lecture ; ces publications concernent la partie dépôts surtout et la partie sol (davantage que solutions du sol). Côté dépôts, les publications portent essentiellement sur les dépôts totaux hors couvert. Sont traités l'analyse ponctuelle de la qualité des précipitations et des dépôts d'éléments associés, l'analyse des tendances, revisitée sur plusieurs périodes (une analyse sur 15 ans serait maintenant bienvenue), jusqu'à la **spatialisation des données**. Cette dernière étape, importante, a nécessité un investissement considérable de l'échelon de Fontainebleau. Il faut souligner la qualité des traitements statistiques effectués à partir de la base selon deux approches indépendantes. C'est une contribution significative à la recherche française dans ce domaine. Cela permet d'avoir une vision spatialisée des dépôts certes seulement hors couverts mais

c'est la seule approche qui peut servir de validation à la modélisation EMEP des dépôts, et constituer une référence pour d'autres travaux spatialisés au niveau national (charges critiques, biodiversité,...).

Le réseau a permis de répondre en particulier à de nombreux aspects concernant la protection des écosystèmes forestiers en matière de dépôts acides pour déterminer les **charges critiques** (CC) d'acidité (comparaison dépôts/CC) avec spatialisation : les données de dépôts acides, azotés et de cations basiques ont été intégrés récemment dans les calculs de charges critiques, à la suite de l'évolution des méthodes de calculs de charges critiques, ce qui montre l'intérêt *a posteriori* des données enregistrées par le réseau. Le réseau a pu servir de support à la quantification de l'acidité organique (= naturelle, selon l'espèce forestière) versus l'acidité minérale (=anthropique, selon la possibilité de captation de l'espèce et la position en France). Toutefois, la majorité des publications concernant les dépôts hors couverts, les données relatives aux solutions de sol et aux pluviollessivats sont insuffisamment exploitées. En effet, les données de dépôts sous couvert et de solutions de sol ont fait l'objet surtout de parutions sous forme de « littérature grise ». Il est donc indispensable de valoriser ces données.

La valorisation des données « sol » et « solution de sol » est en cours à l'INRA de Nancy (poste d'interface INRA/ONF, Manuel Nicolas), avec une évaluation des tendances et les bilans d'éléments. Ce travail va nous faire progresser quant aux relations solutions – sols, à la quantification du drainage et à son déterminisme, ainsi qu'aux tendances à moyen terme d'évolution des concentrations. C'est typiquement un exemple de travail qui nécessite à la fois les séries d'observations réalisées dans des conditions parfaitement standardisées et rigoureuses comme celles du réseau RENECOFOR, et l'expertise acquise dans les sites ateliers où le travail approfondi permet d'accéder aux processus contrôlant la chimie des solutions. Le passage au flux drainé permettra d'aborder avec plus de précision les bilans de fertilité (le drainage est une sortie importante nécessaire au calcul du bilan).

L'ouvrage de synthèse sur les tendances de l'évolution de la qualité des pluies depuis la fin du 19^{ème} siècle est tout à fait remarquable ainsi que les divers ouvrages de valorisation des données de dépôts. Mais peut-être ces ouvrages sont-ils déjà trop scientifiques pour le public élargi visé ? Un ouvrage de vulgarisation des données du réseau semblerait nécessaire. Un effort de publication en lien avec certains réseaux (MERA) a été réalisé. Cet aspect pourrait être davantage valorisé, ainsi qu'avec les autres partenaires européens dans le cadre de PIC Forêts. Les données de CATAENAT ont également été valorisées dans les synthèses individuelles des placettes (S. Cecchini).

Perspectives scientifiques

Une analyse statistique « empirique » des données intégrant, outre les paramètres chimiques des pluies et pluviollessivats, les principaux paramètres du réseau, semble aujourd'hui nécessaire pour dégager les tendances et relations importantes, identifier les particularités éventuelles de sites, et contribuer à la réflexion sur l'évolution du réseau.

Un traitement approfondi des données de pluviollessivats et de solutions de sols est indispensable. Le travail engagé à l'INRA dans ce domaine devrait répondre à ce besoin et combler le déficit de publications de haut rang pour les aspects solutions/sols.

Suggestions méthodologiques

Evolutions techniques visant à re-qualifier les sites de mesure :

Au vu de l'évolution des connaissances, une **évolution des dispositifs de collecte** s'avère nécessaire : la surface des collecteurs de pluviollessivats est insuffisante et une évolution des dispositifs de collecte devrait être envisagée (matériau inerte et, à court terme, vérification de l'efficacité de ceux en place). Cela apparaît nécessaire pour avoir des données fiables,

anticiper les mesures des éléments en traces dans l'avenir, et envisager de réaliser des bilans d'éléments minéraux sur les différents sites.

Il faudra **harmoniser les mesures Fe, Mn, Al** dans les stations concernées.

Il est suggéré **d'arrêter les mesures de retombées humides** (« wet only ») qui ne sont pas vitales par rapport aux objectifs prioritaires, et d'évaluer avec les gestionnaires du réseau MERA (qui se fonde uniquement sur des mesures de « wet only ») la complémentarité éventuelle des sites des deux réseaux, la compatibilité technique des collecteurs, et l'intérêt que les gestionnaires et financeurs de MERA pourraient y trouver pour améliorer la représentativité de certains suivis d'éléments.

Evolution de la configuration du dispositif :

L'objectif de CATAENAT pour les prochaines années est davantage de faire un suivi de fond de sites bien caractérisés que de viser l'analyse d'un nombre suffisant de sites dont les résultats pourraient être directement spatialisés. Des modèles seront nécessaires pour la généralisation des résultats sur les sols (à l'image de ce qui a été fait pour les dépôts hors couverts). Dès lors, il apparaît **possible de diminuer le nombre de sites** sans perte trop importante d'information en i) diminuant le nombre de stations « redondantes » (à caractéristiques comparables ii) limitant les sites sur sols bien tamponnés (dont on n'attend pas une évolution particulière). Après une discussion approfondie, cette solution de choix de « sites références » -dans une optique de restriction budgétaire qui serait nécessaire-, est préférée par le Comité à celle, théoriquement intéressante, consistant à garder davantage de sites, mais à les stopper pour une certaine période (5 ans) pour les reprendre ensuite. Toutefois, il est important que le choix de l'arrêt de certaines stations soit réfléchi au sein d'un comité scientifique d'évaluation afin de mesurer l'ensemble des conséquences en termes de connaissances, du point de vue du gestionnaire tout comme du scientifique. En effet, plusieurs options sont possibles (arrêt de stations de dépôts de niveau 2 et conservation des stations de niveau 3 ou inversement etc...). Toutefois, dans la philosophie des discussions du comité, la coordination des mesures de dépôts et des solutions de sols devrait être maintenue sur les stations prioritaires.

En complément de ce suivi de fond, il serait intéressant que le gestionnaire de RENECOFOR se positionne pour prospecter les régions encore mal couvertes par les mesures de dépôts atmosphériques. Ces mesures pourraient être temporaires (5 ans), mais combleraient un déficit de connaissance tout en permettant de valider les modèles de dépôts. Le financement pourrait être d'origine nationale ou régionale.

2. Evolution du suivi depuis la 1^{ère} évaluation en 2006

Depuis 2008 et faisant suite à l'arrêt des financements de l'Union Européenne, l'intensité du suivi du sous-réseau CATAENAT a été réduite. Comme préconisé par la 1^{ère} évaluation, l'effort de suivi a été concentré sur le niveau le plus intensif (14 sites de niveau A3).

- Arrêt du suivi des dépôts wet only.
- Maintien du suivi des dépôts hors couvert sur les 27 sites (niveaux A2 et A3) mais restriction du suivi des dépôts sous couvert aux 14 sites de niveau A3.
- Reclassement au niveau A2 de 3 des 17 sites anciennement de niveau 3 (HET 54a, PM 17, PM 85).

Outre les dépôts atmosphériques, les suivis de la météorologie et des chutes de litière ont également été restreints aux 14 sites de niveau A3.

Sur le terrain, les méthodes d'échantillonnage sont restées les mêmes. En particulier la pertinence du dispositif de collecte des pluviollessivats a été appuyée par une comparaison

menée à l'échelle européenne dans le cadre du projet LIFE+ FutMon (Zlindra et al. 2011). Il s'agissait de comparer la représentativité des méthodes de collecte nationales à celle d'un dispositif optimal de 30 collecteurs pendant un an sur 17 sites de 17 pays différents (dont le site CPS 77 de Fontainebleau). Les résultats ont démontré une cohérence suffisante pour privilégier la continuité temporelle du suivi à l'aide des dispositifs nationaux.

Concernant les analyses en laboratoire, un changement de prestataire a été opéré à l'occasion du renouvellement du marché au 26 janvier 2011. Après 18 années de collaboration avec le laboratoire Wolff Environnement devenu SGS Multilab, le marché comprenant le transport et l'analyse des échantillons a été confié à l'entreprise SOCOR, située à Douai. Ce choix a été motivé par une offre moins chère que SGS mais répondant néanmoins à l'ensemble des exigences requises (normes d'analyses, accréditations, délais de traitement et réalisme du circuit d'échantillons). La transition a nécessité un proche accompagnement par l'équipe de coordination du réseau RENECOFOR :

- la collaboration avec SOCOR a été planifiée dès l'attribution du marché en octobre 2010 ;
- pendant les 3 dernières périodes de collecte du marché précédent, des doublons prélevés sur le site CHP 59 ont permis la prise en main du cahier des charges sur des échantillons réels ;
- pendant les 3 premières périodes de collecte du nouveau marché, des doublons des échantillons de tous les sites ont été envoyés au laboratoire SGS pour comparaison ;
- SOCOR a rejoint l'essai interlaboratoire ICP Forests 2010-2011 et obtenu des résultats satisfaisants à l'étape de requalification.

A posteriori des biais sur les faibles valeurs de Na, SO₄ et Ca ont été détectés lors du contrôle de l'historique des séries de mesure. SOCOR en a trouvé l'origine dans des pollutions liées aux filtres à 0,45 µm utilisés jusqu'alors. Avec l'aide de Niels König (NFV Göttingen, chairman du groupe de travail ICP Forests QA/QC in labs), une méthode de filtration propre a été mise en place et testée sur tous les échantillons de la dernière période de collecte de 2012. Les résultats du test montrent (i) une bonne cohérence des analyses opérées par SOCOR avec les nouveaux filtres en comparaison des doublons analysés par NFV Göttingen et (ii) que les biais sur Na, SO₄ et Ca liés aux filtres précédents peuvent être corrigés rétrospectivement par régression linéaire simple ($R^2 = 0.99$).

Finalement l'accompagnement du nouveau marché aura bien permis d'assurer la continuité des analyses de solution du sous-réseau CATAENAT. Il aura également permis d'améliorer le fonctionnement général de la collaboration : mise en commun des fichiers de calcul de volumes des composites et de validation des résultats d'analyse, reporting systématique des masses d'échantillons par SOCOR permettant une meilleure validation des valeurs de terrain, reporting des analyses dans un délai permettant la demande d'analyses de contrôle... Enfin il convient de souligner la bonne volonté et la réactivité très appréciables du laboratoire SOCOR tout au long de ces deux premières années de collaboration.

3. Analyse de l'avancement des activités en 2013

Valorisations

Evolution des dépôts atmosphériques

A l'échelle nationale le suivi CATAENAT depuis 1993 révèle une baisse continue des dépôts atmosphériques de soufre et de l'acidité directe (protons). En revanche, la baisse des dépôts d'azote inorganique (NO₃ et NH₄) reste peu évidente, avec une évolution significative faible hors couvert mais une stabilité sous couvert (Coddeville et al. 2008). Les dépôts de calcium montrent localement une baisse notable, jouant en défaveur de la restauration naturelle des

sols les plus acides (van der Heijden, 2011 ; Jonard et al. 2012). Les tendances de dépôts totaux hors couvert CATAENAT s'avèrent très comparables à celles des dépôts wet-only des réseaux MERA et BAPMON (Pascaud 2013). A l'échelle européenne, l'analyse des tendances depuis 1998 sur les sites ICP Forests de niveau II, montre une baisse significative à la fois des dépôts de sulfates et d'azote inorganique (N-NO₃ + N-NH₄) et de manière similaire entre les collectes hors couvert et pluviollessivats. La baisse est néanmoins nettement plus marquée pour les sulfates (-6 %/an) que pour l'azote (-1 % à -2 %/an) (Lorenz et Becher, 2012 ; Waldner et al., soumis).

Concernant la spatialisation des dépôts hors couvert à l'échelle nationale, une nouvelle étude a été commanditée en 2012 à l'entreprise AF-Consult afin d'étendre les travaux menés sur les périodes 1993-1998 et 1999-2004 à la période 2005-2010. Après une première phase de faisabilité (AF-Consult, 2012), une méthodologie comparable est en cours d'application sur les 3 périodes de 6 ans afin de constituer une première représentation spatio-temporelle cohérente des dépôts hors couvert sur 18 ans.

Les résultats de dépôts atmosphériques hors et sous couvert continuent d'alimenter les indicateurs de gestion durables des forêts aux échelles nationale et européenne. Concernant la publication nationale, l'indicateur d'évolution temporelle des dépôts a été enrichi par l'illustration des variations spatiales des dépôts hors couvert modélisées pour la période 1999-2004. Il est à noter que les tendances spatiales et temporelles des dépôts mesurés hors couvert, notamment sur CATAENAT, remettent en question certains résultats modélisés par le programme EMEP à partir des estimations des émissions polluantes (Pascaud, 2013). En particulier pour l'azote, la forte diminution des dépôts prédite par EMEP n'est pas observée sur le terrain, pas plus que le fort niveau de retombées prédit sur l'Ouest de la France et notamment la Bretagne.

Evolution de la chimie des solutions du sol

Comme attendu lors de la 1^{ère} évaluation, les concentrations dans les solutions du sol ont fait l'objet d'une première approche analytique (Nicolas et al. 2008).

La seule tendance globale mise en évidence concerne la baisse des concentrations en sulfates, tant dans les solutions du sol prélevés à 20 cm qu'à 70 cm de profondeur. Environ la moitié des sites est particulièrement concernée, la plupart au Nord et à l'Est de la France où les dépôts de soufre ont pu être importants par le passé. Dans certains sols on assiste cependant à une réponse retardée, probablement due à une désorption d'ions sulfates anciennement accumulés dans le sol qui prolonge la contrainte de désaturation du sol (Dambrine et al., 1995 ; Probst et al., 1992). Pour le site SP 57, cette désorption est vérifiée à la fois par l'évaluation d'un flux de drainage presque 3 fois supérieur aux dépôts atmosphériques et par la diminution du sulfate échangeable entre des échantillons de sol de 1994 et 2009 (van der Heijden et al. 2011).

Aucune tendance n'est observable en revanche dans les concentrations d'azote inorganique, presque exclusivement sous forme de nitrates et sujettes à une dynamique temporelle très erratique. Un seul site (EPC 08) présente des concentrations en nitrates régulièrement non-nulles ; pour les autres sites, les concentrations sont généralement nulles sauf ponctuellement lors de pics pouvant atteindre des valeurs très élevées et rarement liés aux éclaircies. Cette dynamique erratique est vraisemblablement due à la forte intégration de l'azote au cycle des matières organiques mais s'avère difficile à comprendre à l'échelle de chaque site. Dans le contexte de faible diminution des dépôts d'azote atmosphériques, une question est notamment de savoir si l'occurrence de pics de nitrates dans les solutions du sol reflète un relargage épisodique d'azote accumulé dans l'écosystème. A l'échelle européenne, le nombre de sites permet de mettre en évidence une corrélation entre la quantité de dépôts azotés sous couvert et la fréquence de concentrations d'azote inorganique dépassant 1mg/l dans les solutions du sol

des couches profondes (Lorenz et Becher, 2012). Plus avant, l'estimation des flux de drainage permet de quantifier l'effet des dépôts sur la lixiviation d'azote sur le réseau de niveau II ICP Forests (van der Salm et al. 2007a ; 2007b) et de valider les relations mesurées en conditions contrôlées sur les dispositifs NITREX (Dise et al. 2009). Elle illustre également la forte rétention de l'azote dans l'écosystème en comparaison du comportement plutôt drainant du soufre (de Vries et al. 2007).

Enfin l'évolution de l'acidité des solutions du sol fait apparaître des réponses très contrastées entre les 17 sites suivis. Une restauration de fertilité semble se dessiner par exemple sur le site CHP 59 (Nord), où le pH des solutions du sol augmente tendanciellement tandis que les sulfates baissent fortement. En revanche l'acidification semble se poursuivre sur le site EPC 08 (Ardennes), où les charges de sulfates diminuent mais celles de nitrates s'accroissent davantage, et où le pH déjà très faible (4,5) continue de baisser tendanciellement. De manière plus générale, la large gamme des contextes étudiés apporte des éléments intéressants sur la valeur indicatrice de la chimie des solutions du sol. En particulier, en dehors des contextes extrêmes hyperacides ou carbonatés, le pH des solutions est supérieur à celui mesuré sur la phase solide du sol, jusqu'à des écarts de 2 unités pour des sols plutôt acides. Cela correspond également à un taux de saturation en bases plus élevé dans les solutions que sur la phase solide. La chimie des solutions du sol pourrait donc refléter un état d'équilibre entre la capacité de neutralisation du sol et la contrainte acidifiante qu'il subit. Cependant les conséquences sur la fertilité du sol pourraient être très différentes selon que cette neutralisation relève entièrement de l'apport par l'altération minérale ou bien s'impute à une lixiviation des réserves échangeables.

Charges critiques et modélisation des cycles des éléments majeurs

Face à la complexité des équilibres biogéochimiques, l'analyse du suivi des solutions du sol a été complétée par le calcul de bilans minéraux et l'utilisation de modèles de cycles. Afin d'évaluer les flux de drainage, des mesures additionnelles (profil d'enracinement, mesures de rétention d'eau à pF 2.5 et 4.2, suivi d'humidité du sol sur un an) ont été collectées sur 6 sites dans le cadre du poste d'interface ONF-INRA de M. Nicolas. Des mesures de biomasse et minéralomasse ont également été réalisées à l'occasion d'éclaircies sur 2 sites de sapin pour évaluer les flux d'exportation minérale. Deux publications internationales ont été produites en utilisant le modèle de cycles NuCM dans deux contextes où l'acidification demeure une préoccupation majeure. Dans les Vosges gréseuses, van der Heijden et al. (2011) calibrent le modèle NuCM sur les données de suivi du site SP 57 puis simulent les effets croisés de 2 scénarios futurs de dépôts atmosphériques et d'exportation de biomasse sur la vitesse de restauration du sol. Ils remarquent notamment que la baisse des pollutions atmosphériques induit aussi une baisse des apports externes de calcium, principal élément limitant, tandis que le bilan d'azote nettement positif pourrait induire un excès et de nouveaux épisodes de lixiviation des réserves échangeables. Dans les Ardennes, le modèle NuCM permet de faire la synthèse des données françaises et wallonnes de monitoring et de recherches antérieures pour évaluer l'impact des dépôts acidifiants sur l'équilibre nutritif de l'écosystème depuis une trentaine d'années (Jonard et al. 2012). Malgré la baisse des dépôts acidifiants, la contrainte liée à l'azote y reste élevée et l'écosystème de pessière présente des signes de saturation : hausse du pH et baisse des cations nutritifs dans les solutions du sol, déséquilibres de nutrition foliaire croissants entre l'azote et les autres nutriments, augmentation du déficit foliaire après 2003 sur la placette de suivi wallonne.

D'autres travaux de simulation des cycles biogéochimiques sont en cours sur les sites CATAENAT, en lien avec le développement du modèle ForSAFE. Ils visent à évaluer la charge critique en azote en intégrant la réponse de la flore aux changements de dépôts d'azote et en prenant en compte les scénarios de changements climatiques à échéance 2100. Des

premiers résultats ont fait l'objet d'un chapitre de livre en cours de publication (Probst et al., 2013) montrant la faisabilité de la prédiction des changements de végétation. Une autre publication des résultats obtenus sur les sites CHS 41 et EPC 87 est en préparation (Gaudio et al., in prep).

Par ailleurs, les données du sous-réseau CATAENAT servent toujours de référence en France pour la modélisation des charges critiques et leur cartographie dans le cadre du programme ICP Modelling and Mapping (Posch et al., 2012). Ces travaux ont fait l'objet de nombreux rapports dans le cadre de l'ICP (Probst et Leguédois, 2007, 2008 ; Probst et al., 2010 ; 2011 ; 2012).

Flux et charges critiques des éléments traces métalliques

Outre les questions de nutriments, le réseau RENECOFOR a servi de support aux recherches menées par le laboratoire Ecolab (Toulouse) sur l'impact des pollutions atmosphériques en éléments traces métalliques (ETM) en forêt. Faisant suite à la thèse de Laura Hernandez (2003) sur la quantification et la spéciation des ETM dans les sols forestiers, la thèse de Laure Gandois (2009), financée par l'ADEME, a été consacrée à la quantification des flux d'ETM sur 6 sites CATAENAT. Leurs teneurs ont été mesurées dans les dépôts atmosphériques hors couvert, sous couvert et dans les solutions du sol, en mettant à profit le suivi courant des sites CATENAT. Des mesures ont également été réalisées sur les sols et la biomasse en association avec la campagne de terrain menée dans le cadre du poste d'interface ONF-INRA de M. Nicolas. Une attention particulière a été portée aux contaminations potentielles en ETM liés aux modes de collecte : des matériaux inertes ont été utilisés (bougies poreuses en téflon, flacons en polypropylène rincés à l'acide...) et/ou l'absence de contamination a été vérifiée par des tests pour l'ensemble des types d'échantillons analysés. La faisabilité du suivi des flux d'ETM a ainsi été démontrée sur les sites CATENAT. Les résultats révèlent des comportements différents suivant les métaux ainsi que le rôle important de la végétation dans les flux : captage de dépôts secs (Gandois et al., 2010c), importance du flux d'immobilisation dans les bilans entrées-sorties (Gandois et al., 2010a). Le rôle du pH dans la solubilisation des ETM est vérifié en contexte acide mais celui des fractions colloïdales est aussi mis en évidence en contexte basique (Gandois et al., 2010b). Au final, les écosystèmes étudiés sont faiblement pollués en ETM mais la définition des charges critiques pose question dans la mesure où elle ne tient compte que des ETM sous forme d'ions libres. Par ailleurs l'étude de Bur et al. (2010 ; 2012) sur l'effet de Cd, Pb et de la combinaison Cd/Pb sur les collemboles dans des contextes de sol contrastés montre la complexité des processus impliqués dans la toxicité d'un ETM et la difficulté à définir des seuils pertinents à partir des seules propriétés des sols. Dans les sols sous épicéas, la matière organique a un rôle protecteur car elle complexe les métaux mais ces travaux ont montré qu'elle peut être aussi source de toxicité auprès des invertébrés des sols en raison de son ingestion et de la libération des métaux dans les organismes. Contrairement à ce qui pourrait être supposé, la toxicité des métaux ajoutés en combinaison est réduite.

Utilisation comme facteur explicatif

Les données de dépôts atmosphériques ont été utilisées comme facteurs explicatifs dans l'approche statistique de plusieurs paramètres de réponse de la végétation.

- Flore : Archaux et al. (2009) montrent que les variations du caractère nitrophile de la flore ne sont reliées à celles des dépôts azotés que sur la période de 1995 et 2000 et que l'évolution du caractère acidiphile n'est pas liée à celle des dépôts soufrés.
- Croissance : Bontemps et al. (2011) s'appuient sur les variations spatiales mesurées sur le sous-réseau CATAENAT pour déduire le rôle probable des dépôts d'azote dans l'augmentation de croissance en hauteur des hêtres constatée au cours du 20^{ème} siècle.

Méthodologie

A l'échelle européenne, plusieurs études ont été menées afin d'améliorer la qualité du suivi des solutions.

- Concernant la qualité des résultats des laboratoires, le suivi des pluviollessivats et des ruissellements de tronc ont servi à évaluer la charge anionique liée au carbone organique dissous et ainsi à améliorer les calculs de balance ionique utilisés dans les contrôles de cohérence des analyses (Mosello et al. 2008). De plus, les résultats des essais interlaboratoires ont permis de démontrer l'effet positif des règles de qualité ICP Forests sur la proportion de tests de cohérence valides (Marchetto et al. 2009).
- Concernant l'échantillonnage sur le terrain, le projet LIFE+ FutMon a été l'occasion de vérifier dans 17 pays l'efficacité et la cohérence des dispositifs nationaux de collecte de pluviollessivats en comparaison d'un dispositif standardisé (Zlindra et al. 2011).

Concernant les méthodes d'analyse des données, Waldner et al. (soumis) ont comparé plusieurs outils statistiques dans la détection de tendances temporelles de dépôts atmosphériques. Ils évaluent respectivement à 10 ans et 6 ans les durées minimales de suivi nécessaire pour asseoir statistiquement les tendances observées pour l'azote (pente de -1 % à -2 %/an) et le soufre (-6 %/an).

A l'échelle nationale, la thèse d'Aude Pascaud (2013) apporte des résultats utiles sur la comparabilité des données de dépôts hors couvert des réseaux MERA, BAPMON et CATAENAT. Elle montre la qualité statistique des données recueillies, les faibles incertitudes liées particulièrement au prélèvement par jauge d'Owen (bulk), ainsi que la cohérence des variations spatiales et temporelles des résultats des 3 réseaux. En revanche sur les 8 sites CATAENAT où ils ont été mis en œuvre en parallèle de 1993 à 2007, les différences entre les deux types de collecte wet-only et bulk s'avèrent dépendantes des sites : une fonction de correction systématique ne semble donc pas envisageable pour faire l'économie de l'un des modes de collecte sans perte pour le suivi national des dépôts atmosphériques.

Perspectives

Les dépôts atmosphériques d'azote ayant peu évolué depuis 20 ans, ils sont devenus le principal enjeu de suivi des équilibres nutritifs, sur les deux aspects d'acidification et d'eutrophisation. Toutefois contrairement au soufre, l'azote présente une dynamique complexe, fortement liée au cycle des matières organiques, et l'occurrence d'excès dépend de la capacité d'assimilation par la biomasse, soumise elle-même aux effets d'autres facteurs externes (notamment les changements climatiques). L'amélioration de la prise en compte de l'azote dans les modèles de cycles nécessitera des recherches approfondies. L'acquisition de séries longues sur la chimie des solutions et sur les relevés de végétation, s'avère déjà précieuse dans la validation des modèles actuels mais sa poursuite après 20 ans reste nécessaire à la compréhension des variations de drainage de nitrates.

La mise en place d'un suivi de l'humidité du sol sur les sites A3, suspendue après le retrait du projet FutMon, apporterait également une forte plus-value à la quantification des flux de drainage, y compris de manière rétrospective depuis le début du suivi CATAENAT (cf. annexe 1.9 Suivi météorologique). En effet, dans une étude de sensibilité des modèles couplés biogéochimique-écologique simulant la réponse de la végétation aux dépôts azotés, il a été démontré que l'humidité du sol est un paramètre clef (Probst et al., 2012).

Outre les travaux de recherche sur les modèles de cycles, l'analyse des données de solutions de sol est une priorité actuelle de valorisation au sein du programme ICP-Forests. Une synthèse des travaux réalisés aux échelles nationales est en cours et plusieurs analyses sont

envisagées sur les variations temporelles des solutions du sol à l'échelle européenne et à l'appui des méthodes déjà mises en œuvre pour les tendances de dépôts (Waldner et al., soumis). Le nombre de sites suivis à l'échelle européenne devrait aider à comprendre les patterns de réaction des solutions des sols aux pollutions atmosphériques. De plus pour 17 sites CATAENAT, les résultats de la seconde campagne d'échantillonnage des sols permettront de clarifier le rôle indicateur des solutions du sol en comparaison des évolutions mesurées sur la phase solide.

D'autre part, la modélisation spatio-temporelle des dépôts hors couvert à l'échelle nationale sur 18 ans ouvre de nouvelles perspectives d'analyse.

- Les tendances spatialisées pourront être comparées à celles modélisées par le programme EMEP et aux concentrations de soufre et d'azote relevées dans les mousses par le réseau BRAMM ou encore à d'autres travaux sur les lichens dans des stations du réseau (Agnan et al., 2012).
- Elles pourront également servir à élargir l'utilisation des dépôts comme facteurs explicatifs à l'ensemble des sites RENECOFOR ou dans le cadre de demandes de données externes. A titre d'exemple, dans le cadre de la modélisation des charges critiques azotées au sein du programme ICP Modelling and Mapping, il est prévu de dégrader le modèle ForSafe-Veg pour une spatialisation à l'échelle nationale sur la base des 102 sites du réseau RENECOFOR, à partir des travaux de calage sur les sites CATAENAT.

Suggestions de modification du suivi

Maintenir le suivi CATAENAT dans sa configuration actuelle et déjà optimisée en 2008, permettant à la fois le suivi des dépôts atmosphériques sur 27 sites (hors couvert) et la compréhension de leurs effets sur les cycles biogéochimiques sur les 14 sites A3 (dépôts hors et sous couvert et solutions du sol).

4. Liste bibliographique indicative (en gris les références listées en 2006)

Manuels de référence (dernière version à jour)

- Clarke N., Zlindra D., Ulrich E., Mosello R., Derome J., Derome K., König N., Lövblad G., Draaijers GPJ., Hansen K., Thimonier A., Waldner P., 2010: Sampling and Analysis of Deposition. 66 pp. Part XIV. In: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE, ICP Forests, Hamburg, [<http://www.icpforests.org/Manual.htm>]
- E. Ulrich, M. Lanier, 1993 (deuxième version) : RENECOFOR - Manuel de référence n°3 pour le fonctionnement du sous-réseau CATAENAT (Charge Acide Totale d'origine Atmosphérique dans les Ecosystèmes Naturels Terrestres), placette de niveau 2 et 3, éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, 98 p.

Rapports scientifiques dans la série RENECOFOR

- E. Ulrich, M. Lanier, D. Combes, 1998 : RENECOFOR - Dépôts atmosphériques, concentrations dans les brouillards et dans les solutions du sol (sous-réseau CATAENAT) - Rapport scientifique sur les années 1993 à 1996. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 134 - 4, 135 p.
- E. Ulrich, M. Lanier, A. Schneider 1995 : Dépôts atmosphériques et concentrations des solutions du sol (sous-réseau CATAENAT), rapport scientifique sur les années 1993 et 1994, éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 011 - 9, 165 p.
- E. Ulrich, M. Lanier, 1994 : Dépôts atmosphériques et concentrations des solutions du sol (sous-réseau CATAENAT), rapport scientifique sur l'année 1993, éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, 118 p.

Autres rapports scientifiques

- AF-Consult 2012 : Geostatistical modeling of the deposition of atmospheric pollutants in France using spatio-temporal methods, Zürich, 26 p + annexes
- Lorenz, M., Becher, G. (eds.). 2012: Forest Condition in Europe, 2012 Technical Report of ICP Forests. Work Report of the Thünen Institute for World Forestry 2012/1. ICP Forests, Hamburg, 2012.
- Posch M, Slootweg J., Hettelingh J.-P. (eds) 2012 : Modelling and mapping of atmospherically-induced ecosystem impacts in Europe, CCE Status Report 2012, Coordination Center for Effects, RIVM, Bilthoven (Netherlands), 144 p.
- Probst A., Bortoluzzi E., Mansat A. (2010)- National Focal Centre report: France. *In* Critical Loads, Dynamic Modelling and Impact Assessment in Europe of S and N and Dynamic Modelling. CCE Status report 2010, Hettelingh J.P., Posch M., Slootweg (Eds.).
- Probst A., Leguedois S. (2007)- National Focal Centre report: France. *In* Critical Loads of Nitrogen and Dynamic Modelling Results. CCE Progress report 2007, Slootweg J., Posch M., Hettelingh J.P. (Eds.), report N° 500090001/2007, ISBN No. 978-90-69 60-175-5, 139-143, 201p.
- Probst A., Leguedois S. (2008)- National Focal Centre report: France. *In* Critical Loads, Dynamic Modelling and Impact Assessment in Europe. of S and N and Dynamic Modelling. CCE Status report 2008, Hettelingh J.P., Posch M., Slootweg (Eds.), report N° 500090003/2008, ISBN No. 978-90-6960-211-0, 133-140, 234p.
- Probst A., Mansat A., Gaudio N. (2012)- National Focal Centre report: France. *In* Modelling and Mapping of Atmospherically-induced Ecosystem Impacts in Europe. CCE Status report 2012, Posch M., Slootweg J., Hettelingh J.P. (Eds.), 73-80, 144p., ISBN 978-90-6960-262-2
- Probst A., Obeidy C., Javaux B., Bortoluzzi E. J.C. Gegout, J.L. Dupouey, Mansat A. (2012)- VALERIANE : VulnérAbiLité des Écosystèmes à l'azote d'oRIgine Atmosphérique — Vers un modèle de charges critiques en N intégrant la protection de la biodiversité végétALE du territoire français. Rapport scientifique synthétique final, Convention ADEME-CNRS n° 0962c0073, 49 p+ annexes.
- Probst A., Obeidy C., Mansat A. (2011)- National Focal Centre report: France. *In* Modelling Critical thresholds and temporal changes of geochemistry and vegetation diversity. CCE Status report 2011, Posch M., Slootweg, Hettelingh J.P. (Eds.), 99- 108, 186p. ISBN 978-90-6960-254-7
- Žlindra D., Eler K., Hansen K., Clarke N., 2011: Report on the experimental installation of standardized throughfall collectors. Technical report Life+ QA-Depo10. Ljubljana, Slovenian Forestry Institute, 122 p. ISBN : 978-961-6425-56-8
- A. Probst, D. Moncoulon, J.P. Party, 2005 : National Focal Center report: France. *In*: Critical Loads of Cadmium, Lead and Mercury in Europe. J. Slootweg, J.-P. Hettelingh, M. Posch, S. Dutchak, I. Ilyin (eds.), Working Group on Effects of the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, Report 259101015/2005, ISBN: 90-6960-119-2, 97-100, 145 p.
- L. Croisé, E. Ulrich, P. Duplat, 2001 : Estimation des dépôts atmosphériques totaux hors couvert forestier sur le territoire français en vue d'établir des cartes d'excès de charge critiques d'acidité. Rapport scientifique de fin de contrat ADEME/ONF, 71 p.
- A. Probst, L. Hernandez, C. Février, P. Prudent, J.-L. Probst, J.-p. Party, 2000 : Sensibilité des sols des écosystèmes forestiers aux métaux lourds à l'échelle du territoire français – utilisation du réseau RENECOFOR. Rapport final du projet UE (DG VI) n°98.60.FR.006.0, Université Louis Pasteur Strasbourg I, Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre, Centre de géochimie de la surface (UMR 7517), 66
- J.P. Party, A.L. Thomas, A. Probst, E. Dambrine, J.M. Stussi, 1999 : Cartographie des calculs de charges critiques acides et azotées pour la France. Rapport Scientifique de fin de contrat ADEME-Sol-Conseil, juin 1999, 73 p.
- A. Probst, 1998 : Effets des précipitations atmosphériques acides sur la dynamique d'altération des roches silicatées. Conséquences sur la qualité chimique des eaux de surface. Etude de terrain, expérimentation, modélisation. Habilitation à diriger des recherches, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 23 janvier, Vol. I (54 p.) et Vol. II (publications).
- N. Fillion, J.-P. Party, A. Probst, J.-L. Probst, 1998 : Meilleure connaissance des apports atmosphériques acides et de la sensibilité des milieux forestiers à l'échelle du territoire français / utilisation du sous-réseau CATAENAT. Rapport scientifique final du projet UE, DGVI n°96.60.FR.004.0, Université Louis Pasteur, Centre de Géochimie de la Surface de Strasbourg, 83 p.
- G. Le Bricon, 1997 : Relations entre les différents paramètres physico-chimiques dans les pluies et les solutions de sol en France, étude des données mensuelles de 1992 à 1995 du réseau

RENECOFOR (Office National des Forêts). Projet de recherche de Maîtrise, Université Louis Pasteur, Strasbourg 1, Centre de Géochimie de la Surface, 25 p.

J.P. Party, A. Probst, C. Fevrier, C. Hissler, E. Dambrine, A.L. Thomas, 1997 : Calcul des charges critiques acides et azotées pour les Vosges, calibration pour les Ardennes et extension à l'échelle française. Rapport scientifique définitif ADEME, septembre 1997, 58 p.

Thèses de doctorat

Gandois L., 2009 : Dynamique et bilan des Eléments Traces Métalliques (ETM) dans des écosystèmes forestiers français. Modélisation, Spéciation et Charges Critiques. Thèse de doctorat ès géochimie de l'environnement, Université de Toulouse, 245 p. + annexes

Lequy E., 2012 : Dépôts atmosphériques particulaires sur les écosystèmes forestiers de la moitié Nord de la France : influence sur les cycles biogéochimiques. Thèse de Doctorat, Nancy, Université de Lorraine

Pascaud A., 2013 : Déterminants des évolutions spatio-temporelles des retombées atmosphériques acidifiantes et eutrophisantes en France et élaboration d'un modèle de projection. Thèse de Doctorat, Mines Douai, Université Lille1, 291 p.

Agan Y. (en cours) Biosurveillance des métaux et de l'azote par les lichens : évolution historique et comparaison avec les mousses et les écorces. Soutenance prévue octobre 2013.

Articles dans des revues à comité de lecture

Agan Y., Sejalon-Delmas N., Probst A. (2013)- Origin, distribution and time trend evolution of rare earth elements in several lichen and moss species at the French country scale (soumis Geochim. Cosmochim. Acta)

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, DOI 10.1007/s00468-010-0501-2

Bur T., Crouau Y., Bianco A., Gandois L., Probst A. (2012)- Toxicity of Pb and of Pb/Cd combination on the springtail *Folsomia candida* in natural soils: reproduction, growth and bioaccumulation as indicators. *Science of the Total Environment*, 414, 187-197, 10.1016/j.scitotenv.2011.10.029.

Bur T., Probst A., Bianco A., Gandois L., Crouau Y. 2010. Determining cadmium critical concentrations in natural soils Collembola mortality, reproduction and growth. *Ecotoxicology and Environmental Safety*; 73: 415-422

De Vries W., van des Salm C., Reinds G.J., Erisman J.W., 2007: Element fluxes through European forest ecosystems and their relationships with stand and site characteristics. *Environmental Pollution*, 148(2):501-513

Dise N.B, Rothwell J.J., Gauci V., van der Salm C., de Vries W., 2009: Predicting dissolved inorganic nitrogen leaching in European forests using two independent databases. *Science of the Total Environment*, 407: 1798-1808

Fischer R, Mues V., Ulrich E., Becher G., Lorenz M., 2007 : Monitoring of atmospheric deposition in European forests and an overview on its implication on forest condition. *Applied Geochemistry*, 22 : 1129-1139.

Gandois L., Nicolas M., Van Der Heijden G., Probst A., 2010 : Importance of biomass net uptake for a trace metal budget in a forest stand (north-eastern part of France). *Science of the Total Environment* 2010, 408 (23) : 5870-5877

Gandois L., Probst A., 2012: Localisation and mobility of trace metals in silver fir needles. *Chemosphere*, 87, 2, 204-210.

Gandois L., Probst A., Dumat, C., 2010 : Modelling trace metal extractability and solubility in French forest soils by using soil properties. *European Journal of Soil Science*, 6 (2) : 271-286

Gandois L., Tipping E., Dumat C., Probst A., 2010 - Canopy influence on Trace Metal atmospheric inputs on forest ecosystems : speciation in throughfall. *Atmospheric Environment*, 44 (6) : 824-833

Gaudio N., Belyazid S., Sverdrup H., Mansat A., Nicolas M., Gendre X., Probst A. -Combined effect of atmospheric nitrogen deposition and climate change on temperate forest soil biogeochemistry: a modelling approach. In prep pour *Science of the Total Environment*

Iost S., Rautio P. & Lindroos A.-J. 2012. Spatio-temporal trends in soil solution Bc/Al and N in relation to critical limits in European forest soils. *Water, Air, and Soil Pollution* 223: 1467-1479.

Jonard M., Legout A., Nicolas M., Dambrine E., Nys C., Ulrich E., van der Perre R., Ponette Q., 2012: Deterioration of Norway spruce vitality despite a sharp decline in acid deposition: a long-term

- integrated perspective. *Global Change Biology* 18 (2): 711–725 DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02550.x
- Marchetto A., Mosello R., Tartari G., Tornimbeni O., Derome J., Derome K., Sorsa P., König N., Clarke N., Ulrich E., Kowalska A., 2009: Influence of QA/QC procedures on non-sampling error in deposition monitoring in forests. *Journal of Environmental Monitoring*. DOI: 10.1039/b818168n.
- Mosello R., T. Amoriello, S. Benham, N. Clarke, J. Derome, K. Derome, G. Genouw, N. Koenig, A. Orru, G. Tartari, A. Thimonier, E. Ulrich, A.-J. Lindroos, 2008 : Validation of chemical analyses of atmospheric deposition on forested sites in Europe : 2. DOC concentration as an estimator of the organic ion charge. *Journal of Limnology*, 67, 1 : 1-14.
- Reinds G.J., de Vries W., 2010: Uncertainties in critical loads and target loads of sulphur and nitrogen for European forests: Analysis and quantification. *Science of the total Environment*, 408: 1960-1970
- Reinds G.J., Posch M., de Vries W., 2009: Modelling the long-term soil response to atmospheric deposition at intensively monitored forest plots in Europe. *Environmental Pollution*, 157(4): 1258-1269
- Van der Heijden G., Legout. A., Nicolas M., Ulrich E., Johnson D.W., Dambrine E., 2011 : Long-term sustainability of forest ecosystems on sandstone in the Vosges Mountains (France) facing atmospheric deposition and silvicultural change. *Forest Ecology and Management*, 261 (3) : 730-740
- Van der Salm C., de Vries W., Reinds G.J., Dise N.B., 2007: N leaching across European forests: derivation and validation of empirical relationships using data from intensive monitoring plots. *Forest Ecology and Management*, 238: 81-91
- Van der Salm C., Reinds G.J., de Vries W., 2007: Water balances in intensively monitored forest ecosystems in Europe. *Environmental Pollution*, 148: 201-212
- 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., Bardulis A., Schimming C., Iacoban C., Lindroos A.J., Vanguelova E., Benham S., Meesenburg H., Nicolas M., Kowalska A., Apuhtin V., Nappa U., Lachmanová Z., Neumann M., Bleeker A., Ingerslev M., Vesterval L., Minaya M., de la Cruz A., Molina J., Seidling W., Fischer U., Fischer R., Lorenz M. 2013 Trends of atmospheric deposition of nitrogen and sulphate to forests in Europe. *Soumis*
- D. Moncoulon, A. Probst, L. Martinson, 2007 : Modeling acidification recovery on threatened ecosystems : application to the evaluation of the Gothenburg protocol in France. *Water, Air and Soil Pollution*, 7 : 307-316
- R. Mosello, M. Amoriello, T. Amoriello, S. Arisci, A. Carcano, N. Clarke, J. Derome, K. Derome, N. Koenig, G. Tartari, E. Ulrich, 2005 : Validation of chemical analyses of atmospheric deposition in forested European sites. *Journal of Limnology*, 64, 2 : 93-102.
- Rogora M., Mosello R., Arisci S., Brizzio M.C., Carcano A., Barbieri A., Balestrini R., Waldner P., Schmitt M., Stähli M., Thimonier A., Kalina M., Puxbaum H., Nickus U., Ulrich E., Probst A. (2006)- Atmospheric deposition on the Alps: effects on the functioning of the alpine and subalpine ecosystems. *Hydrobiologia*, A. Lami & A. Boggero (eds), "Ecology of High Altitude Aquatic Systems in the Alps" 562, 17-40.
- L. Croisé, E. Ulrich, P. Duplat, O. Jacquet, 2005 : Two independent methods of mapping bulk deposition in France. *Atmospheric Environment*, 39 : 3923-3941.
- D. Moncoulon, A. Probst, J.-P. Party, 2004 : Weathering, atmospheric deposition and vegetation uptake : role for ecosystem sensitivity to acid deposition and critical load. *C.R. Geoscience*, 336 : 1417-1426.
- L. Hernandez, A. Probst, J.L. Probst, E. Ulrich, 2003 : Heavy metal distribution in some French forest soils: Evidence for atmospheric contamination. *The Science of the Total Environment*, 312/1-3, 195-219.
- A. Probst, L. Hernandez, J.L. Probst, 2003 : Heavy Metals partitioning in three French forest soils by sequential extraction procedure. *J. Phys. IV*, 107 : 1103-1106.
- A. Probst, L. Hernandez, J.L. Probst, Ulrich E., 2003 – Heavy metals in some French forest soils: distribution, origin and controlling factors. *J. Phys. IV France*, 107, 1107-1110.
- A. Probst, D. Moncoulon, Y. Godderis, L. Hernandez, J.-J. Party, 2003 : Critical loads for lead in France : first results on forest soils. *J. Phys. IV France*, 107 : 1111-1114.
- Party J.-P., Probst A., Thomas A.-L., Dambrine E., 2001 : Charges critiques d'acidité en polluants atmosphériques en France : conséquence vis-à-vis des sols et des peuplements forestiers. Article issu du séminaire ADEME "Pollution atmosphérique et charges critiques : bilan et perspectives des recherches menées en France", 15 mai 2001, Paris (MATE). *Pollution atmosphérique* N°172, Octobre-Décembre 2001 : 519-527.

- Party J.-P., Probst A., Thomas A.-L., Dambrine E., 2001 : Calcul et cartographie des charges critiques azotées en France : application de la méthode empirique. Critical loads for nutrient nitrogen: calculations and mapping by empirical method for France. Article issu du séminaire ADEME "Pollution atmosphérique et charges critiques : bilan et perspectives des recherches menées en France", 15 mai 2001, Paris (MATE). Pollution atmosphérique N° 172, Octobre-Décembre 2001 : 531-544.
- E. Ulrich, M. Lanier, B. Roman-Amat, 1999 : Estimation of nitrogen deposition on 27 RENECOFOR plots (France). In : T. Karjalainen, H. Spiecker et O. Laroussinie (Ed.), EFI Proceedings No. 27 " Causes and Consequences of Accelerated Tree Growth in Europe ", Nancy 12-13 May 1998 : 139-155.
- N. Fillion, A. Probst, J.L. Probst, 1999 : Dissolved organic matter contribution to rain water, throughfall and soil solution chemistry. Analysis, 27, 5 : 409-413.
- N. Fillion, A. Probst, J.L. Probst, 1999 : Determination of organic and mineral acidity contributions to the total throughfall acidity : application to French forests. C.R. Académie des Sciences, 328 : 333-339.
- N. Fillion, A. Probst, J.L. Probst, 1998 : Natural organic matter contribution to throughfall acidity in French forests. Environment International, 24, 5-6 : 547-558.

Autres articles

- Coddeville P., E. Ulrich, M. Lanier, L. Croisé, 2008 : Quelles sont les tendances globales des dépôts atmosphériques humides en France ? Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°4 "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR" : 65-70.
- Jonard M., Legout A., Nicolas M., Dambrine E., Nys C., Ulrich E., Van der Perre R., Ponette Q., 2012. Perte de vitalité des pessières ardennaises : impact des dépôts acidifiants et eutrophisants. Forêt Wallonne (mai/juin 2012), p. 43-51.
- Leblond S., C. Rausch, S. Gombert, L. Galsomies, 2008 : Collaboration entre les dispositifs BRAMM et RENECOFOR. Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°4 "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR" : 139-143.
- Le Moullec A., Mezdour A. 2011 : La qualité des eaux de pluie : acidité en baisse mais pas de progrès pour les dépôts d'azote, Le point sur... Numéro 88 - Juin 2011, Ministère de l'Ecologie, du développement Durable, des Transports et du Logement, 4 p
- Nicolas M., E. Dambrine, E. Ulrich, 2008 : Evolution de l'acidité et dynamique des éléments nutritifs en forêt, premiers bilans. Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°4 "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR" : 71-76.
- Probst A., L. Hernandez, J.-L. Probst, 2008 : Les écosystèmes forestiers sont-ils contaminés en métaux lourds ? Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°4 "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR" : 82-86.
- Probst A., D. Montcoulon, S. Leguedois, J.-P. Party, E. Dambrine, 2008 : Qu'a apporté le réseau pour le calcul des charges critiques en polluants atmosphériques en France ? Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°4 "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR" : 77-81.
- Ulrich E., M. Lanier, L. Croisé, 2007 : Evolution de l'acidité, des concentrations de soufre et de l'azote dans les précipitations analysées dans le réseau RENECOFOR (période 1993 à 2005). Rendez-Vous Techniques – ONF, ISSN 1763-6442, 15 : 3-8.
- L. Croisé, E. Ulrich, P. Duplat, O. Jaquet, 2005 : Le suivi des dépôts atmosphériques dans les écosystèmes forestiers en France. Rendez-vous techniques, Office National des Forêts, 7 : 4-10.
- L. Croisé, E. Ulrich, P. Duplat, O. Jaquet, 2003 : Cartographie des dépôts atmosphériques en France : deux approches pour les premières cartes nationales. Géomatique Expert, 27 : 19-25.
- J.P. Party, A. Probst, C. Février, E. Dambrine, D. King, A.L. Thomas, 1997 : Les charges critiques en France. Impacts et conséquences à long terme des polluants atmosphériques sur les écosystèmes " naturels " terrestres et aquatiques. Données et références. Publication ADEME, 1997, 59 p.
- E. Ulrich, N. Lelong, M. Lanier, A. Schneider, 1995 : Interception des pluies en forêt : facteurs déterminants - interprétation des mesures réalisées dans le sous-réseau CATAENAT de RENECOFOR, ONF - Bulletin Technique, 30 : 33-44.
- E. Ulrich, M. Lanier, 1994 : Les dépôts atmosphériques en 1993 : résultats du sous-réseau CATAENAT du réseau RENECOFOR, La Santé des Forêts (France) en 1993, éditeur : Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (DERF-Département de la Santé des Forêts) : 56-61.

Présentations lors de colloques et chapitres d'ouvrages

- Agnan Y., Séjalon-Delmas N., Claustres A., Probst A. (2013)- Large scale atmospheric contribution of trace elements registered in foliose lichens in remote French areas. 16th International Conference on Heavy Metals in the Environment, ICHMET, 23-27 september, Rome Italy, 4p. E3S Web of Conferences 1, 29001(2013) DOI: 10.1051/e3sconf/20130129001; published by EDP Sciences, 2013 ; <http://www.e3s-conferences.org> or <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/20130129001>
- Moncoulon D., Leguëdois S., Martinson L., Probst A. (2007)- Modélisation de la réhabilitation de sols forestiers suite à l'acidification atmosphérique. Actes du 9èmes Journées Nationales d'Etude des Sols, 3-5/4/2007, J.P. Rossignol (ed) Angers, Extended abstract, pp. 409–410.
- Probst A., Obeidy C., Belyazid S., Gaudio N., Javaux B., Gégout, J.C., Alard D., Corket E., Party J. P., Gauquelin T., Mansat A., Leguëdois S., Sverdrup H. (2013)-The use of VSD+, ForSAFE and VEG to evaluate plant-responses to nitrogen deposition in France In: *Critical loads for nitrogen, acidity and metals for terrestrial and aquatic ecosystems*. W de Vries and J-P Hettelingh (eds), Elsevier (in press)

Recueils d'indicateurs

- Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire, France, 2011 : Dépôts de polluants atmosphériques dans les forêts et autres terres boisées classés par éléments : azote (N), soufre (S) et cations basiques. In : Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises métropolitaines, édition 2010 : 46-50.
- FOREST EUROPE, UNECE and FAO 2011: State of Europe's Forests 2011. Status and Trends in Sustainable Forest. 337 p.

5. Autres citations

- Archaux F., Boulanger V., Camaret S., Corcket E., Dupouey J.-L., Forgeard F., Heuzé P., Lebreton G., 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.
- Dambrine E., Bonneau M., Ranger J., Mohamed A.D., Nys C., Gras F., 1995 : Cycling and budgets of acidity and nutrients in Norway spruce stands in Northeastern France and the Erzgebirge (Czech Republic). In : Forest decline and atmospheric deposition effects in the French Mountains, Guy Landmann, Maurice, Bonneau - Berlin (Allemagne) : Springer - pp. 233-258 - ISBN 3-540-58874-4
- Probst A., Viville D., Fritz B., Ambroise B., Dambrine E., 1992 : Hydrochemical budgets of a small granitic catchment exposed to acid deposition : the Strengbach catchment case study (Vosges massif, France). *Water Air Soil Pollution* 62:337-347

Annexe 3.11 : Ozone

1. Analyse lors de la 1^{ère} évaluation en 2006

Les données produites

L'ozone est un des polluants les plus nocifs et avec des concentrations élevées. Il est important d'en connaître les variations saisonnières, de suivre ses effets sur les arbres et la végétation forestière, de pouvoir les relier aux conditions météo et hydriques et de voir si les efforts de réduction de la pollution atmosphérique ont un effet. Bien que les problèmes occasionnés par des épisodes de hautes concentrations d'ozone soient reconnus, il existe très peu de dispositifs de surveillance de concentrations d'ozone et d'observations de symptômes d'ozone sur les arbres et sur les espèces végétales en France comme en Europe, particulièrement en milieu rural où de telles pollutions se déplacent.

Le réseau RENECOFOR a lancé pendant les années 2000-2002 un projet pour mieux quantifier les effets de l'ozone sur les arbres et la végétation forestière. Le projet relie mesures de concentrations et de symptômes d'ozone sur végétation forestière détectés visuellement ou par microscopie. L'évaluation des symptômes par méthode microscopique permet d'identifier si l'ozone en est la cause. Ceci est très important aussi pour le travail de corrélation entre effet de l'ozone et facteurs météo, hydriques, état phytosanitaire, etc. L'analyse des symptômes en est d'autant plus intéressante qu'effectuée pendant une période de plusieurs années, en raison du caractère cumulatif des effets de l'ozone.

Organisation et méthodologie :

Le projet ozone géré par le réseau RENECOFOR semble bien organisé suivant les recommandations du manuel européen du PIC-Forêts. L'ozone est une mesure récente mais importante pour pouvoir comprendre et différencier les effets des facteurs stressants naturels comme anthropogènes.

Le réseau ozone coïncide avec les sous-réseaux CATAENAT et MÉTEO permettant de combiner ces données avec les données météorologiques et de dépôts atmosphériques pour l'évaluation des effets de l'ozone. D'un autre côté, ce choix implique un choix des essences qui n'est peut-être pas le choix optimal pour les mesures des effets de l'ozone (le réseau RENECOFOR a été établi pour estimer les dépôts atmosphériques dans un échantillon de peuplements d'essences choisies a priori).

Les concentrations d'ozone du réseau RENECOFOR sont mesurées en clairière par capteurs passifs, qui fournissent des moyennes intégrées sur 15 jours. Les concentrations critiques (AOT40, de plus de 40 ppb) ont été accumulées et comparées aux symptômes d'ozone observés sur des placettes à proximité des capteurs d'ozone. Les AOT40 montrent le dépassement potentiel des seuils d'ozone mais ne rendent pas compte des conditions instantanées.

Pour comprendre ces effets, il est important de pouvoir relier les effets de l'ozone au bilan hydrique de la forêt, ce que cette méthode ne permet pas. Par ailleurs, l'intégration temporelle ne permet pas de juger des pics (différence de ce point de vue entre le Nord de la France et le Sud où les épisodes de forte concentration sont plus longs).

La valorisation des données

Les concentrations d'ozone et les dégâts liés ont fait l'objet de trois rapports techniques, et de 4 articles de vulgarisation.

Perspectives

Les travaux sur l'ozone permettent de contrebalancer quelque peu la logique dominante (au moins initiale) largement axée sur les dépôts. Toutefois, ils n'ont pas permis de démontrer l'importance du problème qui reste difficile à évaluer.

Les concentrations d'ozone pourraient être suivies par périodes de cinq ans alternées à des périodes de même durée sans suivi, de façon à observer l'évolution de ce facteur dans le long terme en limitant le coût (déjà faible).

Il est donc recommandé de continuer ces mesures, en se concentrant éventuellement sur des sites avec des espèces sensibles à l'ozone, en élargissant éventuellement le spectre des espèces étudiées, et en approfondissant la question de la bioindication, avec deux questions :

- comparaison du diagnostic terrain et du diagnostic histologique, dans le but de rendre accessible et fiable le diagnostic terrain des dommages dus à l'ozone ;
- lien entre dégâts aux végétaux et niveaux de pollution (ou quantité d'ozone absorbée)

2. Evolution du suivi depuis la 1^{ère} évaluation en 2006

Depuis 2008 et faisant suite à l'arrêt des financements de l'Union Européenne, l'intensité du suivi la qualité de l'air et des symptômes liés à l'ozone a été réduite.

- Le suivi des concentrations en ammoniac a été arrêté.
- Le suivi des concentrations en ozone et des symptômes liés à l'ozone a été réduit aux 14 sites de niveau A3. De plus, comme préconisé lors de la 1^{ère} évaluation, une alternance de périodes d'arrêt et de mesure de 5 ans a été mise en place : la période de mesure actuelle s'étend de 2012 à 2016. L'année 2009 a fait exception du fait du projet LIFE+ FutMon : 10 sites de niveau A3 ont été suivis dans ce cadre.

Dans le même temps, la qualité des mesures a été améliorée suivant les recommandations issues de l'analyse des premières données de 2000 à 2002 à l'échelle de 5 pays (Projet O3-SWE : Ferretti et al. 2004) :

- les concentrations en ozone sont réalisées toutes les semaines de fin mars à début octobre, avec 3 répétitions ;
- la qualité des capteurs passifs est contrôlée chaque année de mesure par comparaison avec deux stations actives à Nice (ATMOPACA) et Recloses (AIRPARIF) ;
- les symptômes d'ozone sur la végétation de lisière sont quantifiés selon un échantillonnage statistique par quadrat de 2 x 1 m² (Schaub et al. 2010).

La qualité des capteurs passifs IVL, utilisés depuis 1999, a ainsi été étayée par la comparaison avec les mesures des stations actives de Nice et Recloses : biais moyen de -11 % et forte corrélation des variations hebdomadaires ($R^2 = 0.9$) (Meyer, 2010). En revanche, les capteurs Passam utilisés en 2012 se sont révélés nettement moins fiables en comparaison des mêmes stations actives : biais moyen de +18,5 % et corrélation des variations hebdomadaires très médiocre ($R^2 = 0.6$ à Recloses et $R^2 = 0,0$ à Nice). En 2013, il a donc été choisi de revenir aux capteurs IVL, malgré leur coût supérieur.

3. Analyse de l'avancement des activités en 2013

Valorisations depuis 2006

Dans l'attente de pouvoir étudier des tendances temporelles à l'issue de la seconde phase de mesure 2012-2016, peu de valorisations ont été réalisées. Les résultats du projet O3-SWE (Ferretti et al. 2004) ont fait l'objet de publications dans le journal Environmental Pollution : Ferretti et al. (2007a, 2007 b), Gerosa et al. (2007), Sanz et al. (2007). Deux articles de

vulgarisation ont également été publiés quant aux effets de l'ozone sur les arbres forestiers (Dalstein et al. 2008 ; Günthardt-Goerg et al. 2008).

Perspectives

L'importance de la menace que représente l'ozone troposphérique pour la forêt reste difficile à étayer.

D'une part, les concentrations en ozone troposphériques ne montrent pas d'augmentation tendancielle à l'heure actuelle. L'Agence Européenne de l'Environnement (2012) ne fait état d'aucune tendance significative sur 10 ans (2001-2010) à l'appui des réseaux de stations de suivi de la qualité de l'air à l'échelle européenne : cela vaut notamment pour le milieu rural et tant pour les concentrations moyennes que pour les valeurs journalières d'ozone les plus élevées (percentile 93.2). Qui plus est, les concentrations en ozone ne semblent pas devoir augmenter en Europe dans les années à venir : les prévisions futures issues des modèles de transport de polluants indiqueraient plutôt une baisse d'ici 2030, en conséquence notamment de la réduction attendue des émissions d'oxydes d'azote, précurseurs d'ozone (Colette et al. 2012).

D'autre part, l'impact des concentrations en ozone sur la santé des végétaux semble toujours difficilement quantifiable, car dépendant notamment de facteurs de sensibilité des espèces (voire des provenances) et de l'ouverture des stomates conditionnée par la disponibilité en eau. En contexte méditerranéen, le projet LIFE+ FO3REST a précisément pour objectif d'évaluer les flux d'absorption d'ozone sur des sites de suivi en Italie et en France et de raffiner les critères de toxicité de l'ozone troposphérique en relation avec les symptômes observés sur la végétation : le rapport final est attendu fin 2014. A l'échelle européenne, il serait également intéressant de mettre à jour les analyses réalisées dans le cadre du projet O3-SWE et de les approfondir notamment quant aux variations de symptômes observés depuis 12 ans.

Suggestions du centre de coordination

Dans un contexte de contrainte budgétaire et si des priorités devaient être définies dans les activités du réseau RENECOFOR, une option pourrait être de suspendre le suivi de l'ozone et de réévaluer sa pertinence au regard des données déjà recueillies de 2000 à 2013. Les moyens d'une année de suivi (environ 70 k€) pourraient permettre le financement d'une étude, en associant si possible les données des autres pays européens. Puis si cette étude permettait d'en étayer l'intérêt et la pertinence, le suivi pourrait aisément être repris.

4. Liste bibliographique indicative (en gris les références listées en 2006)

Manuels de référence (dernière version à jour)

- E. Ulrich, S. Cecchini, 2005 (troisième version) : RENECOFOR - Manuel de référence n°13 sur les mesures des concentrations d'ozone et d'ammoniac à l'aide de capteurs passifs, placettes de niveaux 2 et 3, troisième version éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, 10 p.
- Schaub M, Calatayud V, Ferretti M, Brunialti G, Lövblad G, Krause G, Sanz MJ, 2010: Monitoring of Ozone Injury. Manual Part X, 22 pp. In: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre, Hamburg. ISBN: 978-3-926301-03-1. [<http://www.icpforests.org/Manual.htm>]
- Ulrich E., Cecchini S., 2009 : RENECOFOR - Manuel de référence n° 13 sur les mesures des concentrations d'ozone et d'ammoniac a l'aide de capteurs passifs, 4ème version. Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique et Commerciale Bois, Département Recherche, 41 p.

Rapports scientifiques dans la série RENECOFOR

- E. Ulrich, Dalstein L., M. S. Günthardt-Goerg, P. Vollenweider, S. Cecchini, N. Vas, Karin Sjöberg, T. Skarman, 2005 : RENECOFOR – Effets de l’ozone sur la végétation, concentrations d’ozone (2000-2002) et symptômes d’ozone sur la végétation forestière (2001-2003). Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique, ISBN 2-84207-300-2, 126 p.

Autres rapports scientifiques

- M. Ferretti, F. Bussotti, V. Calatayud, M.-J. Sanz, M. Schaub, N. Kräuchi, B. Petriccione, G. Sanchez-Peña, E. Ulrich, 2004 : O3SWE – Ozone and the forests of South-Western Europe : an international co-operative initiative. In : Ferretti M., Sanz M.-J., Schaub M. (Eds.), 2004. O 3 SWE – Ozone and the Forests of South-Western Europe. Final Report. Jointly prepared by Corpo Forestale dello Stato, Italia ; Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General para la Biodiversidad, España ; Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft – WSL, Schweiz ; Office National des Forêts, France : 13-51.
- M. Ferretti, F. Bussotti, V. Calatayud, M.-J. Sanz, M. Schaub, N. Kräuchi, B. Petriccione, G. Sanchez-Peña, E. Ulrich, 2004 : Ozone and the forest of South-Western Europe : a summary. In : Ferretti M., Sanz M.-J., Schaub M. (Eds.), 2004. O 3 SWE – Ozone and the Forests of South-Western Europe. Final Report. Jointly prepared by Corpo Forestale dello Stato, Italia ; Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General para la Biodiversidad, España ; Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft – WSL, Schweiz ; Office National des Forêts, France : 141-154.
- Meyer C. 2010. Stage de deuxième année d’ingénieur agronome à l’ONF Fontainebleau sur la comparaison de deux types de capteurs d’ozone. Montpellier Supagro, 42 p. + annexes

Article dans des revues à comité de lecture

- M. Ferretti, F. Bussotti, V. Calatayud, M.-J. Sanz, M. Schaub, N. Kräuchi, B. Petriccione, G. Sanchez-Peña, E. Ulrich, 2007 : Ozone and forests in South-Western Europe. *Environmental Pollution*, 145 : 617-619.
- M. Ferretti, F. Bussotti, V. Calatayud, M. Schaub, N. Kräuchi, B. Petriccione, G. Sanchez-Peña, M.-J. Sanz, E. Ulrich, 2007 : Ozone and forests in South-Western Europe – What have we learned ? *Environmental Pollution*, 145 : 652-655.
- G. Gerosa, M. Ferretti, F. Bussotti, D. Rocchini, 2007 : Estimates of ozone AOT40 from passive sampling in forest sites in South-Western Europe. *Environmental Pollution*, 145 : 629-635.
- M. J. Sanz, V. Calatayud, , G. Sanchez-Peña, 2007 : Measures of ozone concentrations using passive sampling in forests of South Western Europe. *Environmental Pollution*, 145 : 620-628.

Article dans des revues sans comité de lecture

- E. Ulrich, 2005 : Effets de l’ozone sur la végétation forestière - introduction générale dans la problématique. *Rendez-Vous Techniques – ONF*, ISSN 1763-6442, 9 : 6-12.
- E. Ulrich , 2005 : Concentrations d’ozone en zone forestière et symptômes d’ozone sur la végétation dans le réseau RENECOFOR. *Rendez-Vous Techniques – ONF*, ISSN 1763-6442, 10, 3-11.
- E. Ulrich, 2005 : Effets de l’ozone sur la végétation forestière - introduction générale dans la problématique. *Forêt Wallonne*, novembre-décembre : 34-46.
- L. Dalstein, N. Vas , E. Ulrich, S. Cecchini, 2004 : Dégradation de la forêt française en relation avec l’ozone, 2004, *Environnement et Technique*, 236, 42-44.
- L. Dalstein, E. Ulrich, N. Vas, S. Cecchini, 2008 : Effets de l’ozone sur quelques peuplements forestiers du réseau RENECOFOR (Office national des forêts). *Forêt méditerranéenne*, 29, 3 : 329-336.
- M.-S. Günthardt-Goerg, P. Vollenweider, T. Ménard, L. Dalstein, N. Vas, 2008 : Contribution du réseau à la compréhension de l’impact de l’ozone sur la forêt et la végétation de clairière. *Rendez-vous techniques de l’ONF, hors-série n°4 "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR"* : 87-93.

Autres articles

- K. Sjöberg, G. Lövblad, M. Ferm, E . Ulrich, S. Cecchini, L. Dalstein, 2001 : Ozone measurements at forest plots using diffusive samplers. *International Conference “ Measuring Air Pollutants by Diffusive Sampling ”*, Montpellier, 26-28 septembre 2001.

5. Autres citations

Colette A., Granier C., Hodnebrog , Jakobs H., Maurizi A., Nyiri A., Rao S., Amann M., Bessagnet B., D'Angiola A. et al. 2012 : Future air quality in Europe: a multi-model assessment of projected exposure to ozone. Atmospheric Chemistry and Physics 12, 21: 10613-10630 - hal-00707127
European Environment Agency 2012: Air quality in Europe – 2012 report, EEA Report No 4/2012, ISSN 1725-9177, ISBN: 978-92-9213-328-3, 104 p.

Annexe 4

**Réponses apportées aux suggestions listées par domaine par le comité de la
1ère évaluation en 2006**

En jaune : ce qui relève davantage de projets que du monitoring.

Thèmes	Suggestion	Argumentation synthétique	Remarques	Monitoring ou Projet ?	Urgence de 1 à 3, 3=fort.	Importance scientifique de 1 à 3, 3=fort.	Economie en % du coût de la ligne, note de 1 à 3, 3=fort.	Réseau(x) en lien	Réponse du Centre de Coordination au Comité d'évaluation - 14/11/2006	M. Nicolas : Réalisations effectives entre la 1ère (2006) et la 2ème évaluation (2013) du réseau RENECOFOR	
Portée générale	Général	Décrire l'environnement plus large de la placette (pollution, fractionnement du paysage...)	Important pour l'interprétation.	M	2	3	-	IFN, réseau 16X16.		Non fait. Mais l'idée reste intéressante, de même qu'une caractérisation approfondie de l'histoire de chaque site.	
	Général	La question du caractère inerte ou non des matériaux de collecte est à expertiser - d'une façon générale, mettre en place du matériel inerte par rapport aux objectifs d'analyses -revisiter l'échantillonnage (répétitions, nombre de bougies, types de collecteurs de pluviolissivats).	En lien avec vieillissement/améliorations du matériel et nouveau suivi de paramètres potentiels (éléments traces - carbone organique) - fiabiliser les mesures et limiter la perturbation des résultats par le matériel... Essai préalable de calibrations qualitative et quantitative.	P	2	3	-	MERA		- La thèse de Laure Gandois (2009) a montré la faisabilité d'un suivi des ETM sur 6 sites de niveau A3, en prévenant certains risques de contamination (installation de bougies poreuses en téflon, entonnoirs de jauges d'Owen rincés à l'acide...) mais aussi en vérifiant l'inertie des dispositifs difficilement modifiables (gouttières de collecte des pluviolissivats et des ruissellements de troncs, échantillons de biomasse broyés dans un broyeur inox...). - La représentativité du dispositif d'échantillonnage des pluviolissivats par 3 gouttières a été vérifiée dans le cadre d'un essai mené sur 17 sites européens pendant un an en comparaison d'un dispositif harmonisé de 30 entonnoirs répartis sur chaque placette sous couvert.	
Dendrochronologie.	Dendrochronologie	Prochaine campagne 20 ans après la première, sans intérêt scientifique particulier.	Permet de discerner les accroissements annuels contrairement aux suivi dendrométrique, mais pas d'utilité avant cette échéance.	M	1	3	-	IFN		Fait : ré-échantillonnage de 10 arbres mené en 2010-2011 par le LERFoB pour les sites feuillus. Analyse en cours.	
	Dendrochronologie	réexaminer le soin porté à la conservation des carottes de sondage.	Pas de convention actuellement...	M	3	3	-	IFN		Non fait.	
	Dendrochronologie	Garder une rondelle des arbres morts à 1,30 m.		Evaluer.	M	3	2	-	DSF	Désaccord : La suggestion portant sur le prélèvement de carottes sur tous les arbres morts implique un surcoût d'organisation incompatible avec les possibilités actuelles du réseau. L'utilité de ces mesures ne nous apparaît pas de manière évidente. Cela coûtera très cher par rapport au résultat obtenu ; il faut savoir que les forestiers de terrain ne disposent pas du matériel adéquat pour faire des prélèvements et qu'il faudrait pratiquement une personne qui travaille là-dessus à 20% de son temps (40 jours/an) sinon cela ne fonctionnerait pas. Ne vaudrait-t-il pas mieux prélever des carottes ou rondelles (à une hauteur à définir, différente de 1,3 m, car c'est la bille de pied, donc la plus chère de l'arbre) lors des éclaircies ? Ces prélèvements permettront d'échantillonner beaucoup de catégories de diamètres. Ceci aura l'avantage de pouvoir s'organiser, mais aura également un surcoût évident par rapport au fonctionnement actuel. Questions au comité : Que fait-on avec une à 5 carottes prélevées tous les 3-6 ans dans un peuplement ? Où et comment stocker les carottes, qui lit les carottes, vérifie les erreurs de mesures etc., qui met à jour la b	Non fait.
	Dendrochronologie	Dendrochimie à envisager	Aspect exploratoire recherche - nutrition de l'arbre - bioindication environnement. Suivre des dynamiques anciennes acidification et nutrition azotée - radioactivité.	P	2	3	-			Non fait. Mais l'idée reste intéressante, à étudier néanmoins suivant les possibilités techniques actuelles de la dendrochimie.	
	Dendrochronologie	Mesures de densité du bois	Evolutions à suivre avec les changements.	P	1	2	-	IFN		Non fait. Mais l'idée reste intéressante.	

En jaune : ce qui relève davantage de projets que du monitoring.

Thèmes	Suggestion	Argumentation synthétique	Remarques	Monitoring ou Projet ?	Urgence de 1 à 3, 3=fort.	Importance scientifique de 1 à 3, 3=fort.	Economie en % du coût de la ligne, note de 1 à 3, 3=fort.	Réseau(x) en lien	Réponse du Centre de Coordination au Comité d'évaluation - 14/11/2006	M. Nicolas : Réalisations effectives entre la 1ère (2006) et la 2ème évaluation (2013) du réseau RENECOFOR	
Dendrométrie, de	Dendrométrie	Possibilité de passer sur certaines placettes de 5 à 10 ans	La donnée dendrométrique est ici en domaine incontournable, essentiellement à des fins descriptives et de croisements avec les autres mesures et non pas pour elle seule.	Re-visiter le protocole et chacune des mesures et moduler en fonction de l'âge du peuplement.	M	3	1	3	IFN, GIS de coopérative de données croissance, AFJ, Gestion	<p>Précision apportée : Le passage des mesures à 10 ans pose un grand problème de « non-surveillance ». En 10 ans bien trop d'événements se produisent (chute d'arbres individuels ou morts sur pieds, attaques parasitaires, nécessitant leur enlèvement, éclaircies, etc.) et changent la composition d'un peuplement. Un passage à 10 ans nous semble donc mettre en péril les informations sur l'évolution du peuplement en tant que tel. De plus, l'analyse des données dans d'autres domaines nécessite souvent une fréquence de mesure plus fine de cette évolution (chutes de litière, analyse foliaire, état sanitaire, dendrochronologie, phénologie, flore, solutions de sol). Une fréquence de 5 ans est déjà un compromis dans ce sens...</p> <p>Proposition : Pour nous le passage à 10 ans aurait beaucoup de « side-effects » : perte d'arbres sans information transmises, vols des plaquettes de numérotation sans que personne s'en aperçoive, avec toutes les difficultés qui suivraient d'un point de vue du suivi des mesures, etc. Par contre, nous proposons d'arrêter la mesure de la hauteur dans tous les peuplements âgés qui ont pratiquement atteints une</p>	Depuis 2008 : réduction de la fréquence des inventaires réguliers à 10 ans pour les 37 sites de niveau B. Cependant le risque est réel de perte d'information sur ces 37 sites liée - comme rappelé par la tempête Klaus de 2009 - et pour une économie très limitée.
	Dendrométrie	Mettre en place des colliers de mesure de croissance continue.	Exploratoire - Meilleure compréhension des modèles de croissance en intra annuel - recherche des paramètres de réponse.	Projet	P	1	3	-	GDR phénologie. Lien avec les lignes traitant de Dendrochimie et densité du bois. Europe niveau 2 Pro Parte.	<p>Désaccord : La mise en œuvre de colliers pour la mesure en continu est peu compatible avec la configuration actuelle des placettes. Elle demanderait une installation électrique ou une gestion d'un système de batteries ou photovoltaïque au-dessus de la canopée. C'est assez complexe et demanderait une maintenance régulière et pointue et un savoir-faire que les forestiers de terrain n'ont pas (l'expérience de longue date avec les stations météo et l'alimentation de certains wet-only par panneau solaire ou système de batterie nous a montré que l'énergie investie est complètement disproportionnée par rapport au résultats parfois médiocres (cela concerne les wet-only et non les stations météo))</p>	2012 : le suivi continu avec des colliers automatiques demeure exclus. En revanche, l'acquisition d'accroissements annuels sur les 36 arbres-observation de chaque site compléterait utilement les séries de données annuelles de phénologie et d'état sanitaire. Etant donnée l'incertitude des mesures de circonférence au ruban, des lectures annuelles sur dendromètres manuels sont envisagées. Un protocole et un outil de saisie ont été développés (Macé 2012) et testés sur chênes et pins sylvestres à Fontainebleau, en collaboration avec l'Université d'Orsay.
	Dendrométrie	Croisement dendrométrie, dendrochronologie, sol, et nutrition, expertise sur l'indice de fertilité.	Identifier les écarts inattendus et perfectionner la compréhension des écarts et des points marginaux.	Projet - Analyse.	P	2	3	-	Aucun, ou sites ateliers...	Non fait. Mais l'idée reste intéressante et pourrait se nourrir des perspectives de la thèse de Pierre Mérian (2012) quant à l'analyse multivariée du signal brut d'accroissement radial des carottes de bois.	
Profil des sols	Acquisition de nouveaux descripteurs.	Amélioration des bilans hydriques et nutritionnels et de la sensibilité au tassement.		M	2	3	-		Des mesures ont été conduites en ce sens sur 6 sites de niveau A3 dans le cadre du poste d'interface ONF-INRA de M. Nicolas : densité d'enracinement jusqu'à 2 mètres, rétention d'eau par horizon à pF 2.5 et 4.2, humidité des sols jusqu'à 60 cm toutes les 4 semaines pendant 1 an. Ces mesures ont été utilisées pour l'estimation des flux de drainage d'eau (modèle Biljou) et des cycles d'éléments (modèles NuCM) dans les travaux publiés de Van der Heijden et al. (2011) sur le site SP 57, Jonard et al. (2012) sur le site EPC 08, Gandois (2009) sur les flux d'ETM.		

En jaune : ce qui relève davantage de projets que du monitoring.

Thèmes	Suggestion	Argumentation synthétique	Remarques	Monitoring ou Projet ?	Urgence de 1 à 3, 3=fort.	Importance scientifique de 1 à 3, 3=fort.	Economie en % du coût de la ligne, note de 1 à 3, 3=fort.	Réseau(s) en lien	Réponse du Centre de Coordination au Comité d'évaluation - 14/11/2006	M. Nicolas : Réalisations effectives entre la 1ère (2006) et la 2ème évaluation (2013) du réseau RENECOFOR	
Sols	Profil des sols	Travailler à la standardisation et à l'intercalibration. (ex : pierrosité...).	Les descriptions de sol n'ont jamais fait l'objet d'intercalibration. RENECOFOR peut jouer un rôle, compte tenu de sa capacité démontrée à le réaliser dans les autres domaines. - Domaine majeur.	P	2	3	-	Biosoil	Précision apportée : "Aucune inter-calibration n'a eu lieu pour la description des profils". C'est inexact, mais le comité d'évaluation ne pouvait pas le savoir, car ce n'est écrit nulle part... Alain Brêthes et Erwin Ulrich ont organisé un stage pour toutes les personnes faisant des descriptions des sols dans le réseau avant le lancement des opérations, afin de leur apprendre comment utiliser le manuel en pratique. De plus, Alain Brêthes est allé avec beaucoup d'entre eux sur les placettes lors des descriptions. Avant d'entamer la synthèse et lors de la phase de contrôle des descriptions transmises, Alain Brêthes s'est rendu au moins sur une vingtaine de placettes pour vérifier le bien fondé des descriptions qui ne lui semblaient pas cohérentes sur le papier. Donc Alain Brêthes a joué en quelque sorte le rôle " d'étalon national " pour toutes les équipes de description des sols. Il faudrait encore l'étalonner contre un " étalon européen "...		
	Chimie des sols	Rééchantillonnage comme prévu, et rapidement en grappe sur les 40 cm. Rééchantillonner les deux profils complets et spécification/caractérisation chimique "roche mère". analyses des éléments majeurs avec pédotothèque (partielle). Sur le noyau dur, ajouter des analyses totales (+éléments traces).	Visualiser l'évolution des sols/ Mieux connaître les origines /les différence d'éléments.	M	2	3	-	Biosoil	Fait : - Rééchantillonnage des sols par grappes réalisés sur les 102 sites en deux temps 2007-2008 (programme Biosoil) puis 2009-2012 - Analyse des éléments totaux (majeurs et traces) de la terre fine de 0 à 100 cm sur les 27 sites CATAENAT		
	Solutions des sols	Certains éléments sont suivis de façon non harmonisée entre sites assurer la détermination harmonisée des éléments.	Ex: Al, Mn et Fe seulement mesurés sur certaines "stations acides" et tantôt l'un ou l'autre de ces éléments (avec technique ICPMS on peut descendre en sensibilité pour les analyser partout en lien avec le suivi potentiel d'autres métaux traces)	à voir en lien avec Erwin, car certaines placettes ont été diminuées car très faibles concentrations. Donc mesures moins fréquentes...	M	3	2	-	ORE FORET sites atelier	Fait : depuis 2007, mesure systématique des paramètres Al, Mn et Fe sur les 14 sites A3. La mesure d'azote total a été également ajoutée à partir de 2012, suivant l'évolution du manuel ICP Forests.	
	Solutions des sols	Revisite raisonnée des mesures suivies en continu sur le noyau dur de placettes - redéfinition après examen des éventuelles redondances et en relation avec la mesure des dépôts et les inter-relations....	Mesures en continu pour éviter les approximations sur les flux... Difficile de bien voir la perspective de fenêtres temporelles de mesures (Pics, flash etc....)	Suivi intégré des solutions - Analyse INRA en cours des solutions acquises depuis 10 ans - Analyse des tendances, liaison avec les dépôts et identification des redondances éventuelles...	P	3	2	3	ORE FORET sites atelier	Désaccord : Une analyse saisonnière ne semble pas vraiment intéressante, par contre un suivi diachronique mériterait réflexion. La récolte mensuelle ou par quinzaine avec le dispositif actuel n'est pas possible. En effet, selon les sols et leurs teneurs en eau, les flacons de 2 litres se remplissent dans certains cas en quelques jours. Le maintien d'une dépression sur une si longue durée n'est pas non plus possible avec le système actuel. Proposition : A notre avis il serait mieux d'arrêter des stations que de retenir différentes options sur des lots de placettes, ce qui sera ingérable d'un point de vue pratique, étant donné le nombre important d'opérations à maîtriser pour l'ensemble des domaines	Depuis 2008 : réduction du suivi des solutions du sol de 16 sites aux 14 sites A3 et maintien de la fréquence de suivi

En jaune : ce qui relève davantage de projets que du monitoring.

Thèmes	Suggestion	Argumentation synthétique	Remarques	Monitoring ou Projet ?	Urgence de 1 à 3, 3=fort.	Importance scientifique de 1 à 3, 3=fort.	Economie en % du coût de la ligne, note de 1 à 3, 3=fort.	Réseau(x) en lien	Réponse du Centre de Coordination au Comité d'évaluation - 14/11/2006	M. Nicolas : Réalisations effectives entre la 1ère (2006) et la 2ème évaluation (2013) du réseau RENECOFOR	
	Solutions des sols	Investigations supplémentaires sur les éléments traces - Actuellement pas de suivi des métaux lourds en France...(solutions de sol et dépôts). MERA ne compte qu'une seule station de dépôts humides (qui n'est pas représentatif de ce qui arrive au sol d'un écosystème forestier).	Projet : Une thèse a démarré sur le transfert des métaux dans les solutions de sol (oct 06)... - Perspectives à développer : écotoxicologie.. Nécessité de réaliser le projet dans le contexte général du recalibrage.	P	2	3	-	MERA Mousses		Thèse de Laure Gandois (2009) : Bilan entrées-sorties des ETM sur 6 sites de niveau A3 comprenant un suivi sur une année des concentrations dans les dépôts et les solutions du sol	
Analyses foliaires	Analyses foliaires	Suivi de Carbone et Hydrogène total (négocier avec les laboratoires d'analyse pour le récupérer)	Montée en puissance du domaine Carbone - Améliorer les connaissances sur le cycle du carbone Établir une base de données sur l'évolution du rapport C/N des litières en liaison avec les changements globaux.	Peut-être faire les mesures pendant quelques années pour tester.	M	2	3	-	Accord : Nous proposons d'ajouter dès les analyses foliaires de 2007 le carbone total.	Ajout effectif du Carbone aux analyses foliaires depuis 2007	
	Analyses foliaires	Assurer la traçabilité des méthodes de broyage lors de la conservation des échantillons.	Etudes à long terme (cf carbone).	Tout est conservé.	M	3	3	-		Non fait. Mais l'idée reste intéressante.	
	Analyses foliaires	Passer de mesures tous les 2 ans à un dispositif sans doute mixte : une partie dans laquelle on espace les prélèvements ponctuels pour connaître à long terme (1 année sur 4); une partie "noyau dur" dans laquelle on cherche à obtenir des séries complètes (tous les ans)...	Meilleur en terme de compréhension des mécanismes sur des séries complètes, et réalisation d'économies simultanées.	Problème de phasage - Cibler les redondances éventuelles pour définir le "noyau dur" - calibrations avant les campagnes de mesure...	M	3	1	3	Aucun, ou sites ateliers...		Depuis 2008, modification de la fréquence d'échantillonnage - 37 sites B : pause jusqu'en 2013 puis fréquence de 2 ans - 51 sites A1+A2 : fréquence inchangée de 2 ans - 14 sites A3 : fréquence de 2 ans + fréquence annuelle entre 2013 et 2017
	Analyses foliaires	Ajouter la masse surfacique ou un indice de masse surfacique (épaisseurs des feuilles par exemple)	Important dans les analyses	Passe par des projets	P	2	3	-		Non fait.	
	Analyses foliaires	Mesure d'empoussièrement des feuilles	Bioindication des niveaux de pollution, éléments nutritifs, amélioration de la connaissance dépôts secs, blocages (auscultation)	projets	P	2	2	-	lien BD charges critiques		Non fait.

En jaune : ce qui relève davantage de projets que du monitoring.

Thèmes	Suggestion	Argumentation synthétique	Remarques	Monitoring ou Projet ?	Urgence de 1 à 3, 3=fort.	Importance scientifique de 1 à 3, 3=fort.	Economie en % du coût de la ligne, note de 1 à 3, 3=fort.	Réseau(x) en lien	Réponse du Centre de Coordination au Comité d'évaluation - 14/11/2006	M. Nicolas : Réalisations effectives entre la 1ère (2006) et la 2ème évaluation (2013) du réseau RENECOFOR
Litières	Evaluer les économies possibles lors de la phase de tri des constituants de la litière.	Réduction des coûts (ex feuilles/aig/bois/fruits... et espèces...)	Analyse en cours à exploiter dans ce sens. Mais ne pas toucher à la fructification qui est un phénomène intéressant à suivre. - CF Nathalie Bréda : quels sont les compartiments stratégiques....	P	3	1	3			Non fait. Mais une telle étude semble difficilement réalisable. En outre, elle présenterait peu d'intérêt, le suivi des chutes de litière ayant été arrêté en 2008 sur 88 des 102 sites.
	Si les échantillons de litières n'ont pas été analysés (autres que la masse), surtout, les conserver...Faisabilité et intérêt de la conservation des litières - au moins sur des séquences diachroniques ciblées.				M	3	2	-	Précision apportée : La conservation d'échantillons broyés, qui est une bonne idée et tout à fait faisable sur le plan technique (déjà pratiquée auparavant), demandera aussi un financement régulier supplémentaire, car il faut constituer les 1600 échantillons par an venant de 100 lieux différents, les rassembler dans un lieu central, les sécher, les broyer (sans les contaminer !) et les mettre en flacon. Si le nombre de sites est réduit cela réduira en proportion le nombre d'échantillons à traiter, mais cela restera à financer. Proposition : Une étude sur l'évolution des échantillons pourrait faire l'objet d'un DEA. Nous y serions très intéressé et pourrions peut-être contribuer financièrement en 2007 (moins sûr en 2008...)	L'analyse chimique des échantillons de chutes de litière reste à définir : - de nouvelles analyses ont été réalisées pour 10 sites A3 pour les années 2009 et 2010 sous l'impulsion de FutMon - d'autres échantillons sont conservés dans l'espoir d'une analyse future mais dans des conditions non durables
	Procéder de façon mixte : une partie "noyau dur" dans laquelle on conserve des séries complètes, une partie dans laquelle on espace les prélèvements en séries discontinues à préciser en fonction d'investigations plus poussées.	Litière = Elément central pour effectuer des bilans, comprendre le fonctionnement, forts enjeux, difficile de trancher en optimisation... Les mesures ponctuelles ne donnent pas d'informations pertinentes.	Objectiver la définition du noyau - Test à faire sur les effets des récoltes intra-annuelles. Analyses en cours pour objectiver les choix et leur impacts en terme d'analyse. Etude préalable, et qui doit être conduite au niveau européen dans life +. Examiner la masse (RENECOFOR) sur les dix années passées pour documenter les choix.		M	3	2	-	Désaccord et contre-proposition : Approche diachronique par séquences de 5 ans espacées de 5 à 10 ans : bien qu'effectivement scientifiquement intéressant, cela nous semble impossible à mettre en œuvre en pratique : l'arrêt puis la relance tous les 5 ans d'une opération lourde aurait des "side-effects" indésirables : (i) détérioration des collecteurs dans les placettes par manque d'entretien régulier (les forestiers n'ont pas toujours des lieux de stockage dans leur maison...) (ii) inertie du départ des mesures et erreurs initiales par le personnel (100 personnes minimum...) et (iii) inertie de l'arrêt des mesures qui feront que seul 4 des 5 années seront exploitables, donc on paye 5 ans, mais on ne profite que de 4 ans. (iv) De plus, le coût de la formation serait assez important : tous les 5 ans tout le personnel : 200 personnes, étant donné que le turnover en 5 ans (mobilité du personnel) est actuellement de l'ordre de 60-80 personnes ; (v) un aspect supplémentaire est la démotivation du personnel de terrain pour des mesures arrêtées puis relancées, ce qui aurait un effet sur la qualité du tr	Depuis 2008, réduction du suivi de l'ensemble des 102 sites aux seuls 14 sites A3 avec fréquence améliorée jusque là saisonnière et depuis mensuelle
	Tester la dégradation des litières en fonction de la fréquence des récoltes.	Il faudrait tester l'effet réel de l'espacement des récoltes sur le résultat (ex masse surface, teneur en éléments)			P	3	1	-		Non fait.
	Masse surfacique à connaître.	Idem analyse foliaire.	En lien avec ORE, détermination du LAI - N Breda.		P	3	1	-	ORE	Des mesures planimétriques ont été réalisées en plus des pesées sur les feuilles des chutes de litière afin de calculer le LAImax des sites feuillus. Cette mesure pourrait être renouvelée sur les 5 sites feuillus de niveau A3 pour améliorer l'estimation des bilans hydriques notamment. En revanche, l'intérêt de la mesure de masse surfacique des aiguilles persistantes serait moindre car sans possibilité de déduction du LAI.

En jaune : ce qui relève davantage de projets que du monitoring.

Thèmes	Suggestion	Argumentation synthétique	Remarques	Monitoring ou Projet ?	Urgence de 1 à 3, 3=fort.	Importance scientifique de 1 à 3, 3=fort.	Economie en % du coût de la ligne, note de 1 à 3, 3=fort.	Réseau(x) en lien	Réponse du Centre de Coordination au Comité d'évaluation - 14/11/2006	M. Nicolas : Réalisations effectives entre la 1ère (2006) et la 2ème évaluation (2013) du réseau RENECOFOR
Pollutions	Mesures de dépôts	Revisiter le dispositif en maintenant un noyau dur (privilégier la coordination dépôts solutions de sols), en arrêtant les mesures des retombées humides (stations) et en proposant une reprise de certaines de ces dernières par le réseau MERA	Eviter redondance dépôts total (bulk) et humide, et entre ce dernier et stations MERA. Le choix d'un noyau dur "recentré" demande une expertise spécifique qui devra être attentive à la représentativité et à la fiabilité des tendances (ainsi qu'à celle de certaines régions, partie Ouest de la France...). Ex: les évolutions des dépôts (MERA) ne sont pas toujours en adéquation avec celles du paysage européen (justifie réseau dense représentatif). Evolution azote a suivre de près.	Développements en cours sur les charges critiques azotées et demandes de données de l'Europe (calibration modèles et réseau EMEP) - environnement écotoxicologique. Si pas de financements MEDD DPPR alors possible resserement sur le noyau dur. Analyse lien MERA RENECOFOR à réaliser avant de recentrer les mesures.	M* et P	3	1	3	MERA, réseau mousses avec visite des données communes (il y en a encore peu car RENECOFOR ne mesure pas (encore) de métaux...).	Depuis 2008, réduction du suivi des dépôts atmosphériques : - Hors couvert : maintien du suivi des dépôts bulk sur les 27 sites CATAENAT mais arrêt des collecteurs wet-only - Sous couvert : réduction des mesures de pluviessivats et ruissellements aux 14 sites A3
	Mesures de dépôts	Analyser les tendances à moyen terme et compare avec MERA	nécessité : Modéliser/prédire ; vérifier la représentativité du choix des stations	Nécessaire pour vérifier l'impact de la réduction de la pollution en temporel et au niveau spatial- A Coupler a Charges Critiques et réaction des écosystèmes (calibration réseau EMEP) -	P	3	3	3	MERA. Base de données Charges Critiques	La thèse d'Aude Pascaud (2013) a permis de vérifier la cohérence spatiale et temporelle des séries de dépôts hors couvert des réseaux BAPMON, MERA et CATAENAT, bien que la relation entre les valeurs absolues de dépôts totaux (bulk) et wet-only soit dépendante des sites. Les tendances spatiales et temporelles des dépôts observés mettent en défaut les résultats de simulation EMEP notamment sur les dépôts azotés.
	Récolte des pluviessivats	Voir s'il est possible d'utiliser la modélisation pour alléger les mesures, écoulements de troncs ...	le suivi sur quelques stations où il est significatif: pourrait-il être supprimé via une modélisation, en particulier pour le cas du Hêtre.	Modélisation.	M	2	1	3		Non fait.
	Mesures d'Ozone (non discuté en comité le 12/07/06)	Travailler la question de la bioindication en revisitant la sensibilité d'un cortège floristique plus complet. Examiner le degré de complémentarité par rapport au contexte des autres réseaux de mesure d'Ozone (MERA).	Caractérisation des symptômes et transferts possibles à d'autres réseaux.		M et P	2	2	-	A calibrer/visiter absolument en fonction suivi MERA	Non fait.
Entomologie Pathologie	Maintien - ou décrire 20 arbres et non plus 50, quitte à étendre en cas de problème caractérisé.	à concevoir comme une partie du réseau 16X16 et non comme un réseau d'alerte en soi - Le domaine est ici incontournable, essentiellement à des fins descriptives et de croisements avec les autres mesures et non pas pour lui seul.	Préciser la limite à partir de laquelle on passe de 20 à 50 pour le Correspondant Observateur.	M	1	1	2		Désaccord : Une chose est sûre : ces données n'ont pas avant tout un intérêt documentaire : il faudra apprendre à les analyser comme des données quantitatives. Précision apportée : Avant le passage de 52 à 20 tiges (en fait c'est de 36 à 20, car les 16 arbres en plus sont les arbres échantillons pour l'analyse foliaire), nous proposons de simuler avec nos données sur 12 ans un tirage au sort de 20 arbres de manière répétitive sur les 36, pour voir si la réponse obtenue est la même que pour les 36.	Suivi maintenu avec la même intensité. Les études de tendances et corrélations du déficit foliaire réalisées par TerraData (Ferretti et al. 2010-2013) ont produit des résultats originaux et montré le potentiel de valorisation du suivi sanitaire en relation avec les évolutions environnementales. Les répétitions sur 36 arbres-observation et 16 arbres-échantillon ont fortement contribué à l'obtention de résultats statistiquement significatifs.

En jaune : ce qui relève davantage de projets que du monitoring.

		En jaune : ce qui relève davantage de projets que du monitoring.										
		Thèmes	Suggestion	Argumentation synthétique	Remarques	Monitoring ou Projet ?	Urgence de 1 à 3, 3=fort.	Importance scientifique de 1 à 3, 3=fort.	Economie en % du coût de la ligne, note de 1 à 3, 3=fort.	Réseau(s) en lien	Réponse du Centre de Coordination au Comité d'évaluation - 14/11/2006	M. Nicolas : Réalisations effectives entre la 1ère (2006) et la 2ème évaluation (2013) du réseau RENECOFOR
Phytosanitaire	Entomologie Pathologie		Avoir une appréciation de la présence de pathogènes dans une zone environnant la placette RENECOFOR.		Evaluer préalablement l'intérêt et la méthode.	M	2	2	-			Non fait.
	Entomologie Pathologie		Dans l'analyse, voir si le suivi individuel est pertinent		Projet	P	2	2	2			Fait : la répétition des observations par arbre a permis (i) de quantifier les variations de notation entre observateurs, (ii) d'étayer statistiquement la détection de tendances temporelles du déficit foliaire, (iii) de quantifier la relation entre le déficit foliaire et l'accroissement des arbres sur 10 ans (Ferretti et al. 2010-2013)
	Entomologie Pathologie		Croiser l'information pathologie et les autres données et examiner quels croisements sont pertinents par rapport aux nouvelles thématiques.		Projet	P	1	2	-			Fait : analyse de l'évolution temporelle du déficit foliaire 1994-2009 réalisée par Terradata - tendances et relations avec les changements environnementaux (Ferretti et al. 2010-2013). Puis analyse des relations entre le déficit foliaire moyen et l'accroissement sur 10 ans à l'échelle arbre (Ferretti et al. 2013).
Climat	Météorologie		Expertiser le biais possible sur les mesures, lié aux perturbations supposées d'un voisinage plus ou moins forestier des postes météorologiques du réseau...	Savoir si le décalage des données météo France et stations pulso est caractéristique du climat régnant au dessus des forêts ou si l'environnement de la station pulso entraîne des biais... Fondamental car la météorologie est une donnée d'entrée pour de nombreux domaines.		P	3	3	3			Fait : La qualité des données issues des stations Pulsonic a été étayée par l'analyse de Peiffer et al. (2008). La comparaison des valeurs avec les stations MétéoFrance les plus proches montre des différences systématiques attribuées au microclimat forestier, notamment pour l'humidité de l'air (Badeau et al. 2008).
	Météorologie		Ajouter la teneur en eau du sol et la température du sol	pour améliorer les bilans hydriques. Plus généralement améliorer la question liées à l'eau. (Noyau très dur de placettes...)	Attention au coût....	P	2	3	-			A l'étude : matériel acquis pour essai sur un premier site
Phéno	Phénologie		Maintien			M	3	3	-	Arboreta		Depuis 2009, protocole amélioré : - notation des stades détaillée par arbre observation - ajout de la notation de la floraison de l'herbacée <i>Anemona nemorosa</i>
Biodiversité	Composition floristique		Comblent l'absence de description dans les régénérations -	Elément intéressant souvent non décrit.	Simple question d'accès...	M	3	3	-			Fait lors de l'inventaire 2010 sur plusieurs placettes en régénération A poursuivre lors des inventaires suivants
	Composition floristique		Possible de faire tous les 10 ans mais deux années de suite.	Se poser la question de la maintenance ex-clos-clos....	Monitoring	M	-	-	-	ECOPlante et niveau 1 CEE		Depuis 2008 : réduction de la fréquence des inventaires réguliers à 10 ans pour les 75 sites de niveau B et A1. Cependant un inventaire quinquennal réduit à 27 sites A2+A3 est trop limité en termes de valorisation. En 2010, la contribution volontaire des botanistes a permis d'étendre l'inventaire à 50 sites.
	Mycologie		Continuer la calibration	Développer ce type de domaines importants pour le champ de préoccupation biodiversité	Passer par des projets.	P	2	3	-			Nouvelle intercalibration menée en octobre 2012 à Nancy

En jaune : ce qui relève davantage de projets que du monitoring.

Thèmes	Suggestion	Argumentation synthétique	Remarques	Monitoring ou Projet ?	Urgence de 1 à 3, 3=fort.	Importance scientifique de 1 à 3, 3=fort.	Economie en % du coût de la ligne, note de 1 à 3, 3=fort.	Réseau(x) en lien	Réponse du Centre de Coordination au Comité d'évaluation - 14/11/2006	M. Nicolas : Réalisations effectives entre la 1ère (2006) et la 2ème évaluation (2013) du réseau RENECOFOR
ADN total ou spécifiques du sol - indicateur de biodiversité de communautés microbiennes - biodiversité fonctionnelle - décomposeurs et symbiotes - lombrics - enchitréides....	à prospecter et à faire...	Il existe un champ d'angles d'attaque de la biodiversité du sol (biodiversité fonctionnelle, taxonomique... avec un certain nombre de méthodes... (Investigations et opportunités à saisir). Beaucoup de gens intéressés. C'est le moment de le faire.... Permet d'identifier des unités taxonomiques.	Projet thématique - Cf laboratoire de Dijon - Forces aussi dans ce domaine sur Toulouse (appel a projets cf colloque RENECOFOR)	P	2	3	-	Très fort avec les autres réseaux, museum - spécialistes de la question biodiversité des sols.	Désaccord : Les ajouts proposés, auxquels nous adhérons, se heurtent toutefois à deux problèmes : le manque d'experts mobilisables pour la surveillance des champignons, lichens, mousses et algues (ce sont des domaines peu fournis en experts, exception faite des amateurs...), et le manque manifeste d'argent. Si nous considérons qu'il s'agit d'une mesure importante, le seul moyen pour la faire bien fonctionner c'est d'y mettre les moyens. Les associations mycologiques ont déjà du mal à assurer 30-40 sites chaque année, car ce sont des amateurs qui font les observations...	Non fait. Mais l'idée reste intéressante.
Gibier	Conduire une réflexion sur l'opportunité de maintenir (régénération), enlever certains enclos, recouper certains enclos en enclos/exclos à moyen terme... Il y a un impact de l'enclos sur le fonctionnement (dérive de la composition en enclos)...Envisager des enclos semi perméables pour protéger les installations.		Projet	P	3	2	-	CEMAGREF - Etude en cours - enclos exclos	Proposition : Décisions sur le maintien ou non des clôtures : c'est crucial et cela a un impact financier évident (coût annuel de la maintenance : environ 50-70 K€). Nous proposons d'arrêter la maintenance sur les sites où les collectes de litères sont arrêtées, sans enlever la clôture. Elle durera ainsi encore certainement environ 10 ans, même en ayant de plus en plus de trous. C'est un élément important de repérage visible dans les peuplements pour beaucoup de domaines et surtout dans les peuplements à forte régénération naturelle. Il faudrait également réfléchir sur l'impact du vandalisme dans les forêts très fréquentées.	Clôture maintenue et entretenue sur l'ensemble des sites. Remarque : l'abandon de l'entretien de la clôture pourrait être interprété comme une perte d'intérêt du suivi du site.
Gibier	Faire un effort sur l'entretien des enclos	Dispositif unique au niveau national		M	2	1	-			Clôture maintenue et entretenue sur l'ensemble des sites. La campagne de ré-échantillonnage des sols a notamment permis à l'équipe de coordination de contrôler les clôtures de tous les sites et de faire procéder aux travaux d'entretien nécessaires.

Annexe 5

Suggestions émises par domaine par l'équipe de coordination en 2013

En jaune : ce qui relève davantage de projets que du monitoring.

	Thèmes	Suggestion	Argumentation synthétique	Remarques	Origine de la suggestion	Monitoring ou Projet ?	Urgence de 1 à 3, 3= fort.	Importance scientifique de 1 à 3, 3= fort.
Portée générale	Général	Décrire l'environnement plus large de la placette (pollution, fractionnement du paysage...) et approfondir les informations sur l'histoire de gestion forestière et autres usage des sols	Important pour l'interprétation.	Compétences à mobiliser : paysage et archéologie	Suggestion de 2006 amendée	P	2	3
	Général	Poursuivre les études d'inertie des matériaux de collecte - d'une façon générale, mettre en place du matériel inerte par rapport aux objectifs d'analyses -revisiter l'échantillonnage (répétitions, nombre de bougies, types de collecteurs de pluviessivats).	En lien avec vieillissement/améliorations du matériel et nouveau suivi de paramètres potentiels (éléments traces - carbone organique) - fiabiliser les mesures et limiter la perturbation des résultats par le matériel...	Essai préalable de calibrations qualitative et quantitative.	Suggestion de 2006 amendée	P	2	3
	Général	Améliorer et sécuriser le repérage des dispositifs.	Le réseau ne dispose pas de plan réel de chaque site permettant de situer tous les dispositifs entre eux et en lien avec les zones de trouée ou de passage d'engins. En outre, les angles des placettes sont matérialisés par des piquets vulnérables aux dégâts de tempête et dont la sécurisation nécessiterait le doublement par des bornes de géomètre.	Ne pas négliger les moyens que cela nécessite	Nouvelle suggestion 2013	M	3	2
	Général	Structurer en base de données les informations jusqu'ici stockées indépendamment et peu classées.	Le réseau dispose d'informations éparées qui gagneraient à être structurées et mises en relation avec la base de données : résultats de qualité des laboratoires (docs papier), archives photographiques (numérisées mais peu documentées), résultats de mesures additionnelles réalisées dans le cadre de travaux de recherche (ex : ETM, LAI, Biomasse/minéralomasse...)...	Ne pas négliger les moyens que cela nécessite	Nouvelle suggestion 2013	M	3	2
	Général	Organiser le recueil systématique d'informations quant aux modalités des interventions sylvicoles.	En complément des inventaires dendrométriques, des informations relatives aux modalités d'exploitation seraient utiles, notamment dans l'étude de l'évolution des sols et de la composition floristique : nature des produits prélevés et caractérisation des rémanents laissés sur coupe, nombre et zones des passages d'engins. Ces informations sont de la compétence des agents forestiers responsables des sites mais nécessiteraient d'être recueillies au moment des travaux d'exploitation et mis en forme dans la base de données, éventuellement en association avec les données des inventaires après coupe.	Ne pas négliger les moyens que cela nécessite	Nouvelle suggestion 2013	M	3	3
Dendrométrie, dendrochronologie.	Dendrochronologie	Réexaminer le soin porté à la conservation des carottes de sondage.	Pas de convention actuellement...		Suggestion de 2006 reprise telle quelle	M	3	2
	Dendrochronologie	Dendrochimie à envisager	Aspect exploratoire recherche - nutrition de l'arbre - bioindication environnement. Suivre des dynamiques anciennes acidification et nutrition azotée - radioactivité.		Suggestion de 2006 reprise telle quelle	P	1	3
	Dendrochronologie	Mesures de densité du bois	Evolutions à suivre avec les changements.		Suggestion de 2006 reprise telle quelle	P	1	2
	Dendrométrie	Revenir à une périodicité d'inventaire dendrométrique de 5 ans pour tous les sites	Le passage de la fréquence à 10 ans pour les 37 sites de niveau B a fortement accru le risque de perte d'information sur l'évolution des peuplements face aux multiples événements à prendre en compte (chute d'arbres individuels ou morts sur pieds, éclaircies, risques de dégâts de tempête rappelés en 2009 par la tempête Klaus). Il pose un problème plus général de « non surveillance », les inventaires dendrométriques réguliers jouant un rôle structurant dans le suivi des sites et la communication entre les niveaux de coordination. L'économie d'inventaire quinquennal sur les 37 sites de niveau B est estimée à 0.25 ETP en 2009, soit 0.05 ETP/an. La périodicité de 5 ans était déjà un compromis entre les besoins du monitoring et l'effort de suivi.		Nouvelle suggestion 2013	M	3	3
	Dendrométrie	Mettre en place un suivi d'accroissement annuel des arbres-observations à l'aide de dendromètres à lecture directe.	Meilleure compréhension de la réponse de croissance des arbres aux événements interannuels (biotiques et abiotiques), en comparaison de la phénologie et de l'état sanitaire déjà observés annuellement.	Matériel, protocole et outil de saisie définis et testés à Fontainebleau (Macé, 2012).	Nouvelle suggestion 2013	M	2	3

En jaune : ce qui relève davantage de projets que du monitoring.

Thèmes	Suggestion	Argumentation synthétique	Remarques	Origine de la suggestion	Monitoring ou Projet ?	Urgence de 1 à 3, 3=fort.	Importance scientifique de 1 à 3, 3=fort.
Dendrométrie	Croisement dendrométrie, dendrochronologie, sol, et nutrition, expertise sur l'indice de fertilité.	Identifier les écarts inattendus et perfectionner la compréhension des écarts et des points marginaux.	Projet - Analyse.	Suggestion de 2006 reprise telle quelle	P	2	3
	Adapter le protocole d'inventaire pour suivre l'évolution des régénérations post-tempête.	La tempête de 1999 a créé sur plusieurs sites des zones de régénération qui n'ont pas été mesurées depuis. Dans certains cas, la régénération arrive au diamètre précomptable (5 cm) mais éventuellement avec une densité de tiges très forte dont la mesure et numérotation individuelle en plein serait discutable. D'autres cas présentent des régénérations encore très inférieures au diamètre précomptable : il serait néanmoins intéressant de disposer d'un suivi de croissance et de composition spécifique du peuplement.		Nouvelle suggestion 2013	M	3	2
Sols	Caractériser les propriétés hydriques des sols (pF-humidité, profil d'enracinement) et mettre en place un suivi d'humidité et de température des sols sur les sites de niveau A3.	Amélioration des bilans hydriques et des simulations de cycles des éléments nutritifs. Plus généralement améliorer les question liées à l'eau.	Matériel de suivi acquis pour test sur un premier site.	Suggestion de 2006 amendée	M	2	3
	Assurer l'analyse des résultats du ré-échantillonnage des grappes de sol 2007-2012 par le financement de travaux de recherche (post-doc).	L'analyse de l'évolution des propriétés des sols entre les deux campagnes 1993-95 et 2007-12 nécessite une étude dédiée qui ne relève pas que d'intérêts de recherche (validation des résultats, analyse systématique site par site et rédaction d'un nouveau rapport dans la série jaune RENECOFOR).		Nouvelle suggestion 2013	P	3	3
	Reprendre l'analyse des variations verticales de chimie avec les données additionnelles collectées sur les couches 40-80 et 80-100 cm	Les couches 40-80 et 80-100 cm ont été caractérisées chimiquement à partir de prélèvements sur fosses sur l'ensemble des sites en 1998. L'analyse des données confiée à la société RITMO n'a pas abouti à un résultat satisfaisant et nécessite d'être reprise du début pour valorisation dans un rapport de la série jaune RENECOFOR.		Nouvelle suggestion 2013	P	2	2
Analyses foliaires	Maintenir le suivi tel que défini depuis 2008	Suivi des tendances de nutrition, notamment phosphorée.		Nouvelle suggestion 2013	M	3	3
	Assurer la traçabilité des méthodes de broyage lors de la conservation des échantillons.	Etudes à long terme (cf carbone).	Tout est conservé.	Suggestion de 2006 reprise telle quelle	M	3	2
Chutes de litière	Maintenir le suivi des chutes de litière sur les 14 sites de niveau A3 et poursuivre la maintenance des points de collecte sur l'ensemble des sites.	En plus des objectifs initiaux sur les cycles d'éléments, les chutes de litières répondent à de nouvelles demandes vis-à-vis des changements climatiques et de la biodiversité. Il s'agit d'un suivi unique à l'échelle nationale et il serait dommage de perdre la possibilité de sa reprise sur un plus grand nombre de sites.		Nouvelle suggestion 2013	M	3	3
	Poursuivre la recherche d'une solution d'optimisation des traitements des échantillons de chutes de litière sur un seul site, éventuellement en sous-traitance.	Malgré la forte diminution depuis 2008 du nombre de sites concernés par le suivi des chutes de litière, le traitement des échantillons reste actuellement dispersé entre 6 correspondants territoriaux en charge chacun des échantillons provenant d'un à trois sites		Nouvelle suggestion 2013	M	2	1
	Analyser les échantillons de chutes de litière des sites A3 de manière annuelle sur 5 ans pour tester l'existence de variations temporelles significatives par rapport aux analyses réalisées en 1996-1998.	Amélioration des connaissances sur la capacité de recyclage interne des éléments nutritifs par les arbres et sur les variations d'allocation d'éléments liés aux années de fructification.	Analyses réalisées en 2009 et 2010 dans le cadre de FutMon et échantillons conservés par la suite.	Suggestion de 2006 amendée	M	2	3
	Mesurer annuellement les masses surfaciques des feuilles des 5 sites A3 feuillus pour calcul du LAImax.	Amélioration des bilans hydriques et des simulations de cycles des éléments nutritifs.	En lien avec ORE, suite des travaux de N. Bréda.	Suggestion de 2006 amendée	P	2	3

En jaune : ce qui relève davantage de projets que du monitoring.								
	Thèmes	Suggestion	Argumentation synthétique	Remarques	Origine de la suggestion	Monitoring ou Projet ?	Urgence de 1 à 3, 3=fort	Importance scientifique de 1 à 3, 3=fort.
Pollutions atmosphériques	Mesure des dépôts et solutions du sol	Maintenir le suivi à l'identique	Le suivi CATAENAT a déjà été optimisé en 2008, et répond aux besoins à la fois de suivi des dépôts atmosphériques sur 27 sites (hors couvert) et de compréhension de leurs effets sur les cycles biogéochimiques sur les 14 sites A3 (dépôts hors et sous couvert et solutions du sol).		Nouvelle suggestion 2013	M	3	3
	Ozone	Suspendre le suivi de l'ozone le temps de réévaluer sa pertinence au regard des données déjà recueillies de 2000 à 2013	Les concentrations en ozone de l'air en zone rurale sont restées stables ces 10 dernières années. Le principal intérêt du réseau est de suivre les symptômes liés à l'ozone : il s'agit d'étudier la capacité de détection de variations temporelles et de corrélation avec d'autres paramètres de vigueur des arbres, si possible en intégrant les données d'autres pays.	Le suivi d'ozone peut facilement être arrêté puis repris, sans peser sur le fonctionnement général du réseau.	Nouvelle suggestion 2013	M et P	2	3
Etat sanitaire, phénologie	Etat sanitaire	Maintenir le suivi annuel de l'état sanitaire des 36 arbres observation et 16 arbres échantillon par site.	Réduire le nombre d'arbres suivis diminuerait la puissance de détection statistique et la capacité du dispositif à répondre à certaines questions.		Nouvelle suggestion 2013	M	3	3
	Phénologie	Maintien du suivi à l'identique	La phénologie est un paramètre-clé vis-à-vis des changements climatiques et dans les calculs de bilan hydrique nécessaires aux études des cycles.		Suggestion de 2006 amendée	M	3	3
Climat	Météorologie	Poursuivre avec le recul actuel (18 ans) les analyses d'évolution temporelle et de comparaison avec les stations MétéoFrance, notamment sur les événements extrêmes	Le changement climatique s'est traduit par une hausse des températures moyennes de l'ordre de +1°C au cours des 20 dernières années sur les stations MétéoFrance (Piedallu et al., 2009). La question se pose de savoir comment cela se traduit sur le microclimat forestier, notamment en termes d'amplitude des événements extrêmes et de dépassements des seuils physiologiques.		Nouvelle suggestion 2013	P	2	3
	Météorologie	S'abonner aux données pluviométriques des 3 stations MétéoFrance les plus proches de chaque site pour améliorer la validation des mesures de dépôts hors couvert.	Depuis 2008, l'arrêt des suivis de dépôts sous couvert et de météorologie a privé les 13 sites de niveau A2 des répétitions de pluviométrie qui permettaient la validation des volumes de dépôts hors couvert. Un abonnement aux données pluviométriques des stations MétéoFrance les plus proches de chaque site permettrait de pallier ce problème, pour un coût évalué à 2000 €/an.		Nouvelle suggestion 2013	M	2	2
Biodiversité	Composition floristique	Revenir à une périodicité d'inventaire floristique de 5 ans pour tous les sites	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 un total de 50 sites. Le rétablissement de la périodicité de 5 ans sur tous les sites représenterait une hausse du budget de commandes externes à 7 000 €/an (dépense faible au regard du budget du réseau).	Monitoring	Nouvelle suggestion 2013	M	2	3
	Mycologie	Continuer la calibration et envisager la reprise des inventaires selon les résultats d'analyse des données.	Développer ce type de domaines importants pour le champ de préoccupation biodiversité	Passer par des projets.	Suggestion de 2006 amendée	M et P	2	3
	Diversité génétique des arbres	Etudier les possibilités de caractérisation génétique des arbres-observation et échantillon de chaque site.	La caractérisation génétique des arbres-observation et échantillon permettrait de mettre en relation les variations phénotypiques (croissance, santé, phénologie) et génotypiques intra-peuplements dans leur réponse aux stress biotiques et abiotiques.		Nouvelle suggestion 2013	P	2	3
	ADN total ou spécifiques du sol indicateur de biodiversité - communautés microbiennes - biodiversité fonctionnelle - décomposeurs et symbiotes - lombrics - enchitréides...	à prospecter et à faire...	Il existe un champ d'angles d'attaque de la biodiversité du sol (biodiversité fonctionnelle, taxonomique... avec un certain nombre de méthodes... Investigations et opportunités à saisir). En complément des mesures d'ADN du RMQS, RENEFOFOR permettrait de comparer ce type de mesure aux inventaires mycologiques voire aux inventaires de macrofaune du sol réalisés sur une partie des sites.	Projet thématique - Cf laboratoire de Dijon-Forces aussi dans ce domaine sur Toulouse (appel à projets cf colloque RENEFOFOR)	Suggestion de 2006 amendée	P	2	3

Annexe 6

Circulaire adressée le 3 juillet 2008 aux personnels ONF impliqués et aux utilisateurs des données au sujet de la métamorphose du réseau RENECOFOR

Destinataires :

Utilisateurs des résultats du réseau
Personnels ONF impliqués dans le réseau

Direction

Technique

Département
Recherche

Fontainebleau, le 3 juillet 2008

Boulevard de Constance

77300 Fontainebleau

Tél : 33 (0) 1 60 74 92 25

Fax : 33 (0) 1 64 22 49 73

Mél : dtech-recherche@onf.fr

Objet : **Métamorphose du réseau RENECOFOR en 2008**

Chèr(e)s collègues,

RENECOFOR I devient RENECOFOR II en 2008.

RENECOFOR II a quatre nouveaux objectifs pour la période 2008 à 2013 :

- 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.

Après 15 ans, RENECOFOR I a profité d'une double évaluation en 2006 et 2007. Il a été tout d'abord évalué par un comité spécialement mis en place et présidé par Monsieur Franck Jacobée (autres membres : Anne-Marie Bastrup-Birk, Myriam Legay, Anne Probst, Jean-Luc Dupouey, Guy Landmann, François Lebourgeois, Jacques Ranger), puis par le conseil scientifique de l'Office National des Forêts, présidé par Monsieur Yves Birot. Le résultat de ces évaluations a été présenté lors du colloque sur les 15 ans du réseau à Beaune (9-11 mai 2007). Le rapport sera disponible vers la fin 2008 sur le nouveau site Internet du réseau et sera édité dans la série « Les Dossiers Forestiers » de l'ONF. Ces évaluations ont permis de juger de l'atteinte des anciens objectifs et de réorienter les objectifs du réseau pour l'avenir (voir ci-dessus), afin qu'il soit plus en lien avec les besoins futurs. Plusieurs options d'évolutions technico-scientifiques ont été proposées, accompagnées de scénarios financiers.

Le scénario retenu prévoit, comme décrit dans les tableaux en annexe, une réduction de certaines activités, sans les abandonner. Afin de garder l'ensemble des sites et afin de pouvoir profiter au maximum des investissements faits entre 1991 et 2007 ainsi que des nombreuses connaissances acquises, il fallait optimiser les coûts en lien avec les nouvelles orientations.

L'ensemble des sites du réseau est maintenu, mais avec un classement modifié : deux ensembles, A (suivi plus intensif) et B (suivi moins intensif), l'ensemble A étant divisé en 3 niveaux d'observation d'intensité croissante. L'ensemble A comporte 65 sites (niveau 1 : 38 sites, niveau 2 : 13 sites, niveau 3 : 14 sites) et l'ensemble B comporte 37 sites. Selon le classement, les fréquences d'observation varient. Vous trouverez en annexe plusieurs tableaux qui vous permettront de découvrir le nouveau classement des

sites, les fréquences des mesures en fonction des domaines et le calendrier prévisionnel des travaux 2008-2018, les 5 dernières années de cette période pouvant être soumises à de nouvelles adaptations.

Depuis fin 2006, RENECOFOR n'est plus co-financé par la Commission Européenne, ce qui représente une diminution de 40 à 50% des co-financements. Les financeurs français traditionnels (Office National des Forêts, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche et l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) ont augmenté de manière importante leurs apports. Le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire est arrivé en force estimant que les nouvelles orientations du réseau entrent dans le champs de ses missions. Ce ministère devient ainsi un co-financeur important du réseau. Malgré ces augmentations substantielles, il n'a pas été possible d'atteindre le niveau de financement national nécessaire pour continuer le suivi comme dans le passé. Il a donc été nécessaire d'adapter le programme de suivi aux financements disponibles. Tout financement supplémentaire sera lié à des projets ponctuels ou si possible pluriannuels, comme par exemple un projet soumis dans le cadre du règlement LIFE+, nommé « FutMon » (Further Development and Implementation of an EU-level Forest Monitoring System), qui réunit 41 partenaires et 24 pays européens.

Le budget moyen annuel de la période se situera autour de 1,38 millions d'Euros pour le fonctionnement « de base » et sera financé entièrement au niveau national.

Les changements les plus importants sont :

- réduction de la collecte des chutes de litière de 96 à 14 sites, déjà en place à la mi-2008,
- réduction des mesures de dépôts atmosphériques sous le couvert forestier de 27 à 14 sites (hors couvert ces mesure sont conservées dans 27 sites), déjà fait en janvier 2008,
- réduction des stations météorologiques automatiques de 26 à 14 sites et renouvellement complet des 14 stations, qui sera fait entre juillet et novembre 2008,
- suivi de la composition floristique tous les 5 ans uniquement dans les sites de niveau A2 et A3 (27 sites) et tous les 10 ans dans l'ensemble du réseau,
- les observations de la macro-faune du sol, ayant fait l'objet d'un projet pilote, sont intégrées sur une sélection de sites (25 sites par an) de manière régulière, afin d'étoffer le volet « biodiversité »
- l'évaluation du réseau tous les 5 ans, afin d'améliorer l'ajustement des domaines à suivre aux questions émergentes.

Ont été confirmées :

- la réalisation de la deuxième campagne d'échantillonnage des sols dans l'ensemble du réseau entre 2007 et 2011, pour comparer avec les résultats de la campagne 1993/95,
- les observations sanitaires et phénologiques ; le suivi de la nutrition foliaire et des concentrations/symptômes d'ozone est maintenu avec une fréquence différente,
- les observations de la composition fongique, qui feront également l'objet d'un suivi régulier sur une sélection de sites (environ 30 sites par an).

La participation française au projet « FutMon » (réponse à l'appel d'offre 2007 fait dans le cadre du règlement LIFE+) devrait permettre au réseau de mieux contribuer à répondre aux questions en lien avec le changement climatique en intégrant des mesures en continu de l'humidité du sol dans 10 sites, permettant ainsi de calculer de manière pluriannuelle au plus juste les bilans hydriques dans des conditions stationnelles variées.

Comme vous le voyez, notre « absence sur la scène » depuis environ un an était en réalité un travail très intensif « dans l'ombre » afin de garantir à RENECOFOR un vrai avenir durable. Dans peu de temps, notre activité de publication reprendra, notamment avec les actes du colloque « 15 ans de suivi des écosystèmes forestiers – résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR (Beaune, 9-11 mai 2007) » et avec plusieurs documents dans la série jaune « RENECOFOR ».

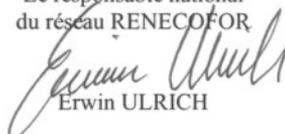
Pour toutes questions vous pouvez vous adresser, comme toujours, à l'équipe de coordination :

Prénom, nom	Téléphone	Fax	Courriel
Erwin ULRICH	01 60 74 92 21	01 64 22 49 73	erwin.ulrich@onf.fr
Luc CROISE	01 60 74 92 32	01 64 22 49 73	luc.croise@onf.fr
Marc LANIER	01 60 74 92 20	01 64 22 49 73	marc.lanier@onf.fr
Sébastien CECCHINI	01 60 74 92 13	01 64 22 49 73	sebastien.cecchini@onf.fr
Valérie TREVEDY-BENARD	01 60 74 92 22	01 64 22 49 73	valerie.trevedy@onf.fr

Adresse commune : ONF, DTCB, Département recherche, Boulevard de Constance, 77300 Fontainebleau

Bien cordialement,

Le responsable national
du réseau RENECOFOR



Erwin ULRICH

Annexe 7

**Note d'information émanant de l'ONF sur les raisons du retrait du projet LIFE+
FutMon, datée du 16 juillet 2009**

RETRAIT DU PROJET LIFE + « FUTMON » IMPLIQUANT SURTOUT LE RESEAU RENECOFOR ET L'IFN

NOTE D'INFORMATION EMANANT DE L'ONF SUR LES RAISONS DU RETRAIT

Une des règles du bon management consiste à être capable de faire un grand pas en arrière, si la situation le nécessite, afin de mieux avancer après...

1) Point de départ

Le réseau RENECOFOR (Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers) est le fruit de la résolution n°1 de la première conférence ministérielle sur la protection des forêts en Europe (Strasbourg, 1990).

Depuis son origine, ce réseau fait partie d'un ensemble européen d'environ 800 sites, dont il en comprend 102. Deux règlements européens ont permis depuis 1991 de le cofinancer à hauteur de 45% jusqu'en 2006 inclus : le règlement « pollution atmosphérique » (3528/86) puis le règlement « Forest Focus » (2152/2003). Depuis la fin 2006, aucun règlement spécifique n'existe au niveau européen pour les réseaux de surveillance. Ce fait a obligé plusieurs états à réduire l'étendue de leurs réseaux par manque de moyens.

En France, RENECOFOR a pu profiter d'une double évaluation qui a abouti à un scénario modéré jusqu'en 2013, incluant une baisse des coûts de près de 30%. Le 19 septembre 2007, une réunion décisive sur l'avenir du réseau RENECOFOR (comprenant la présentation des résultats de l'évaluation et des scénarios) s'est tenue à la DG ONF avec tous les bailleurs de fond français (MAP, J.-L. Flot, MEEDDAT, L. Mauchamp, ADEME, L. Galsomies et ONF, J. Valeix, P. Mengin-Lecreux et E. Ulrich). Les représentants du MAP et du MEEDDAT ont alors émis une condition pour leur contribution majorée de co-financement : l'ONF doit tout faire pour participer au projet LIFE+ FutMon et obtenir un co-financement européen.

L'ONF ayant compris ce message, j'ai mis tout en œuvre moyennant environ 2 mois-hommes complet de travail pour préparer le projet et suivre la soumission et toutes les étapes d'adaptation entre septembre 2007 et décembre 2008. Le projet FutMon initial avait un budget de 80 M€ et une durée de 5 ans. Les négociations du coordinateur du projet au niveau européen (vTI – Hambourg = cellule PIC Forêt) avec la DG Environnement ont conduit à scinder ce projet en deux : FutMon I = 2009-2010, avec 34 M€ (40 partenaires, 24 pays), puis FutMon II à soumettre lors de l'appel d'offre 2009 pour les années 2011-2013, comprenant le projet complémentaire. Cette soumission devrait se faire d'ici le 15 septembre 2009...

2) Démarrage du projet FutMon en France et problèmes rencontrés

Le budget initial de la partie française a été de 3,4 millions d'Euros et comportait 4 actions, dont surtout 3 actions « novatrices ». Les coûts encourus avant le démarrage officiel du projet et qui ne peuvent pas être déclarés correspondent à 2 mois d'ingénieur.

a) Travail sur la traçabilité des dépenses et actions techniques :

Les dispositions communes (common provisions) du règlement LIFE+ étant extrêmement strictes sur la traçabilité de toute activité et sur la traçabilité parfaite de toutes les dépenses, le démarrage a été surtout un travail très important d'adaptation de toutes les procédures internes de suivi. Malgré l'importante énergie déployée par toute l'équipe de coordination du réseau RENECOFOR entre

janvier et début juillet 2009, nous sommes contraints de constater que l'ONF aura beaucoup de mal à apporter les preuves réelles de toutes les dépenses qui pourraient être déclarées. Cela concerne :

- (1) les dépenses directes (marchés, tout type de factures externes) faites au centre de coordination ;
- (2) encore plus les dépenses directes faites dans les régions pour lesquelles il faut apporter les justificatifs des dépenses (la facturation interne est un mode de fonctionnement interne et n'est pas considérée éligible par LIFE+) ;
- (3) les dépenses de personnel qui peuvent représenter au maximum 48% de toutes les dépenses : l'ONF a 19 centres de paie (9 pour les ouvriers forestiers, 9 centres de préparation de la paie des fonctionnaires effectuée via les Trésoreries Générales régionales et un centre de paie à la DG à Paris). Les seuls bulletins de paie ne suffisent visiblement pas mais représentent déjà un grand travail de collecte (200 personnes*12 mois*2ans) puis de saisie des coûts directs (salaire brut et charges employeur). La preuve du débit des comptes bancaires ONF doit être apportée en plus pour chaque personne (apparemment les fraudes de déclaration d'emplois fictifs ont dû être importantes...), ce qui est pratiquement impossible à obtenir car les bases de données des TPG ne seront certainement pas mises à disposition à notre petite équipe de coordination (6 personnes actuellement, 5 personnes à partir de début 2010) pour extraire les preuves des transferts d'argent. En effet pour les fonctionnaires des directions territoriales (statut de la majorité des personnels impliqués dans FutMon), l'ONF rembourse en bloc chaque mois les TPG des salaires payés, ce qui rend impossible la traçabilité comptable des dépenses de personnel.

b) Travail technique sur les actions

Ce travail a démarré dès le 2 janvier 2009. Les dates limites imposées pour chaque action et par la foule des sous-actions de ce projet a rapidement provoqué une surcharge complète de notre équipe. Nous sommes à peu près à jour avec la plupart des actions mais avec un léger retard. Toute l'équipe ne fait que courir depuis des mois sans y arriver vraiment...

La surcharge resterait constante tout au long du projet en cas de poursuite. A long terme ce mode de fonctionnement est invivable pour une équipe qui a toujours travaillé à une fréquence élevée mais qui doit franchir là un vrai seuil. Les agents sur le terrain ont également fait part de leur incapacité grandissante (bien qu'ils soient de bonne volonté) à tenir ce rythme, notamment dans les 10 sites centraux du projet. La raison principale est la raréfaction de plus en plus forte du personnel de terrain et l'augmentation du nombre et de la diversité des tâches de chacun : c'est une tendance enregistrée depuis 2002 mais qui a commencé dès 2007/2008 à nous poser de grands problèmes de management du réseau avec des répercussions négatives sur la récolte des données, c'est-à-dire notre cœur de métier...

Depuis mars 2009, l'équipe de coordination du réseau n'est quasiment plus disponible pour autre chose que FutMon, ni en interne ni en externe. Après 7 mois de travail sur ce projet et en projetant ce mode de fonctionnement d'ici fin 2010 et dans l'éventualité d'un projet FutMon II d'ici fin 2013, aucun autre travail nécessaire sur le réseau ne pourrait être fait. Par exemple, aucune analyse de données ne pourra être faite, aucune publication, aucune contribution à des petits projets se greffant sur les sites du réseau et qui ont apporté une valeur ajoutée importante ces dernières années, une participation très réduite aux réunions ou séminaires thématiques français pouvant avoir une importance pour le réseau et montrer son utilité pour les utilisateurs potentiels des données, etc... Le mode de fonctionnement imposé par FutMon est donc néfaste à long terme pour le réseau et la perception de son utilité par le public. Il ne tournera qu'en interne et pour une « cause » européenne que personne d'autre que les gestionnaires n'est en mesure de comprendre. Donc la déconnexion des besoins français en matière de suivi intensif des forêts sera inévitable.

c) Preuves comptables de toutes les dépenses à transmettre tous les deux mois à vTI

Un élément qui n'a pas été connu avant le démarrage du projet (pas écrit dans les « common provisions » de LIFE+) est l'exigence par la DG Environnement de recevoir tous les deux mois un

état de toutes les dépenses faites depuis le démarrage du projet FutMon, accompagné des suivis des temps de toutes les personnes participantes (environ 200 personnes à l'ONF). C'est une lourde tâche en plus.

3) Audits technique et comptable

Quatre jours d'audit ont concerné le projet FutMon (la répartition montre déjà où est l'accent...) :

- 1 journée d'audit technique (Madame Marion Pinatel, ASTRALE) qui s'est déroulée correctement ;
- 3 jours d'audit du système comptable du projet et de l'ONF (consultant d'experts comptables de MOORE STEPHENS, Londres, MM. Karl Hui et Julien Rachula) : cet audit a concerné aussi bien les dépenses externes (matériel, services, marchés, etc.) que les dépenses de personnel ; le résultat est moyen à mauvais, malgré une comptabilité analytique renforcée par nous et que nous considérons en quelque sorte être de « l'épicerie fine, fine, fine ». Le problème principal réside dans la preuve du débit bancaire des dépenses. Pour chacune des factures déclarées, nous devrions disposer de la ligne bancaire sur les relevés bancaires de l'ONF. Vu les dizaines de milliers de factures payées par l'ONF en une année, vu la codification très ésotérique générée par le système SAP adopté par l'ONF depuis 2007, vu que FutMon concernera au mieux quelques 600 factures sur deux ans (donc une aiguille dans une botte de foin...) apporter cette preuve sera pratiquement impossible, en tout cas pour une petite équipe comme la nôtre. Même la visite de plusieurs parties du circuit de la préparation du paiement des factures et de l'agence comptable principale et les réponses apportées par les différents représentants à la DG Paris de l'ONF n'ont visiblement pas satisfait les auditeurs : manque de vision globale, manque de preuve, manque de procédures bien figées et documentées...

Le risque de non acceptation (déclaration de non éligibilité) de nos dépenses de personnel est donc réel et concerne au mieux 48% des dépenses, donc potentiellement 1,3 MEuros et 0,65 MEuros de co-financement UE.

Durant la durée du projet, au moins deux nouveaux audits aurait lieu : un audit technique (une journée) et un audit financier très strict (annoncé comme tel par Moore Stephens) sur toutes les dépenses de 2009 et ceci début 2010. Nous savons déjà maintenant que les points sensibles évoqués par Moore Stephens ne changeront, car nous n'avons aucune influence sur eux.

4) Impact de la crise sur l'ONF, retrait de l'action D3 et les dépenses importantes à faire dans le cadre de FutMon

a) Retrait de l'action D3

A cause de la crise et de son impact prévisible sur le chiffre d'affaire et déficit de l'ONF (100 millions d'Euros sont très probable en 2009), un moratoire a été déclaré sur les embauches en mars 2009. L'action D3 (bilan hydrique) et la sous-action « soil sampling and analysis » de l'action IM1 prévoyaient l'embauche de deux techniciens pour leur mise en oeuvre. Ces embauches n'ont donc pas été possibles. De plus, l'action D3 prévoyait l'achat d'équipement à hauteur de 500 KEuros pour équiper 10 sites avec des appareils de mesure automatique de l'humidité du sol. Seuls 50% de la partie amortie aurait pu être co-financé par FutMon, c'est-à-dire au mieux 65 KEuros. La différence (435 KEuros) aurait été à la charge de l'ONF. En fait dans le projet initial de FutMon sur 5 ans, presque tout le coût de cet équipement aurait pu être amorti. Un report de l'amortissement sur FutMon II a officiellement été exclu par la DG Environnement sur demande expresse de plusieurs partenaires.

La demande interne de réduire au maximum toutes les dépenses externes pour ne pas aggraver le déficit de l'ONF nous a conduits à nous retirer de l'action D3 afin de sécuriser les emplois.

b) Réorganisation complète de la campagne d'échantillonnage des sols, dont une partie affecte l'action IMI, sous-action « soil sampling and analysis »

L'opération consiste à re-échantillonner les 92 sites restants (10 sites déjà fait en 2007/8), dont 34 dans le cadre de FutMon. Initialement l'essentiel de ce travail aurait dû être sous-traité (4 ETP sur 3 ans) et un technicien aurait dû être embauché. A cause de la crise, j'ai proposé d'internaliser ce travail afin de garantir les emplois à nos ouvriers forestiers. Le retrait de l'action D3 permet à l'équipe de coordination de mieux s'investir dans cette opération. Nous avons donc identifié 10 ouvriers volontaires dans 5 directions territoriales et les avons formés pendant une semaine (29 juin au 3 juillet). A partir du 20 juillet 2009 et ceci jusqu'à fin 2011, presque chaque semaine une placette du réseau sera échantillonnée. Afin de venir à bout des milliers d'échantillons à récolter et afin de pouvoir les sécher, peser et conditionner pour 3 destinations différentes nous avons loué un local de 110 m² près du centre de coordination.

Cette opération pèsera très lourd sur le quotidien de l'équipe de coordination, car chaque membre (n=5) et M. Alain Brêthes (pédologue de l'ONF) participeront à tour de rôle à l'échantillonnage et l'encadreront. La marge de manœuvre pour d'autres activités est donc très réduite d'ici fin 2011/début 2012.

c) Réduction des budgets en interne

Afin de mieux maîtriser les dépenses, les budgets de toutes les directions de la DG ont été revus à la baisse. Dans ce contexte démarrer des actions novatrices nécessitant des achats et des sous-traitances conséquents devient impossible.

d) Plafonnement des dépenses par mois

Des plafonds mensuels de dépenses seront mis en place à partir de maintenant par direction à l'ONF. Dès atteinte du plafond, peu importe qui l'aura provoqué, plus aucune autre dépense ne peut être engagée. Bien que compréhensible dans le contexte financier général de l'ONF, ceci ajoute une grande difficulté à notre gestion de toutes les sous-actions du projet, dont les besoins sont irréguliers et parfois liées à des sommes élevées (> 20 KEuros). Ces nouvelles règles resteront certainement en place d'ici au moins fin 2011 et sont donc à ajouter à tout le travail administratif déjà à assumer en plus par notre petite cellule.

e) Durcissement à venir

Il est très probable que dans les mois à venir de nouvelles réductions des dépenses seront imposées en interne, sinon au plus tard en 2010.

5) Conclusions pour FutMon I et perspectives pour FutMon II

- Avant que l'ONF ait été obligé de participer au projet LIFE+, l'ordre interne au niveau national pour tout autre éventuel projet LIFE+ a été de ne pas y participer ; l'ONF a en effet une bonne expérience avec divers projets (voir : http://www.onf.fr/projets-europeens/sommaire/en_cours); dans l'ensemble les projets ont toujours coûtés plus chers que ce qui a réellement pu être déclaré comme dépense (coûts importants pour préparer et soumettre le projet, coûts importants après la date finale du projet, surtout concernant le reporting et l'assemblage de tous les justificatifs des dépenses).
- Dans la période du projet il sera impossible de faire une analyse des données récoltées ou des publications. La logique des projets LIFE+ veut que toute analyse des données et toute publication se reporte uniquement aux données récoltées dans le cadre du projet. Deux audits récents sur les dépenses des années 2003/04 et de 2006 du règlement Forest Focus ont conduit la DG Environnement à considérer comme inéligibles dans la déclaration de nos dépenses de l'année 2006 les dépenses de sous-traitance de l'analyse des données sur la composition floristique de la période 1994/95 à 2005. LIFE ne sera donc pas différent ce qui montre à quel

point la logique purement comptable de ces projets européens est en contradiction avec la logique normale d'un réseau qui mesure, puis analyse régulièrement ses données puis les publie. L'analyse des données et la publication des rapports de la période LIFE+ seront donc de toute façon à financer à 100% au niveau français ;

- Le contexte financier général à l'ONF est en contradiction avec un projet coûteux dont on ne voit pas réellement la valeur ajoutée au moins pour le suivi intensif des forêts. Ce contexte ne changera certainement pas avant 2011, peut-être même 2012 ;
- LIFE+ n'est pas fait pour les réseaux de surveillance, même si le règlement le prétend ; LIFE+ est fait pour des petites structures ou pour les associations qui ont fonctionnement très simple et peuvent ouvrir facilement au démarrage du projet un compte bancaire spécifique à travers lequel tous les flux financiers liés au projets sont transparents. D'ailleurs la cellule LIFE+ de la DG Environnement suggèrent aux soumissionnaires potentiels de ne soumettre que des projets d'un montant situés entre 0,5 et 1 MEuros et au maximum 5 partenaires. Nous voici donc embarqués dans un projet de 34 MEuros et 40 partenaires et d'une bien trop grande complexité comparée à la durée de ces projets ;
- Le fonctionnement qu'imposent les projets LIFE+ montre la faiblesse de l'organisation du réseau en France comparée à l'organisation des autres pays : une seule équipe de coordination est en charge d'organiser toutes les actions et sous-actions. A moyen et long terme c'est une force d'unité et de cohérence, mais dans des projets de faible durée et très exigeants c'est une faiblesse. Dans les autres pays chaque domaine de FutMon et chaque sous-action est pris en charge par des laboratoires de recherche différents, ce qui dilue le poids total de ce qui est à faire sur beaucoup de personnes compétentes. Dans RENECOFOR toutes les actions sont à organiser, par un seul centre de coordination de petite taille. Cela devient encore plus difficile si le nombre d'actions nouvelles est important en plus du fonctionnement de fond d'un réseau ;
- Les projets LIFE+ obligent d'être toujours novateur. Ceci est en parfaite contradiction avec le cœur de métier d'un réseau de surveillance qui est censé faire des mesures avec une méthodologie stable pour au moins 80-90% de son activité, même si une évolution vers des sujets plus en lien avec les préoccupations actuelles (changement climatique par exemple) est souhaitée et nécessaire. Mais cette évolution peut se faire à un rythme différent et adapté aux capacités à moyen terme d'un réseau (en terme financier et de disponibilité du personnel).
- FutMon I a proposé quelques activités soit disant « novatrices », sans que celles-ci puissent être correctement défendues comme telles. Pour le projet FutMon II théoriquement à soumettre au plus tard le 15 septembre 2009, il serait de nouveau nécessaire d'être « novateur » pour attirer l'intérêt de la commission. Donc nous devrions faire encore de nouvelles choses. Si cette logique persiste pendant 10 ans, tout aurait été fait pour détruire le cœur de métier de RENECOFOR. Ce serait la déstabilisation garantie des acquis depuis 17 ans. Ce réseau n'est pas une association, ni un laboratoire de recherche qui peut tous les 2-3 ans changer de cap et je suis sûr que les initiateurs de ce réseau sont du même avis. La question de fond est : qu'apporte FutMon vraiment à la surveillance intensive comme le comprennent les intéressés et bailleurs de fond français ? Pour nous la réponse est simple : pas grand-chose comparé à l'énergie nécessaire et aux dépenses générées...
- L'objectif d'un réseau de surveillance est bien technique ou scientifique. L'objectif d'un réseau ne peut être de passer 60% de son temps à satisfaire les règles strictes de comptabilités analytiques d'un règlement pour toutes ses dépenses et à user l'énergie des personnes impliquées sur des tâches non productives. Le travail technique et scientifique devrait représenter 80%. Si nous sommes obligés de poursuivre notre participation à FutMon, je suis sûr qu'il nous sera reproché dans quelques années que nous n'aurons rien produit d'intéressant pour les bailleurs de fond et les utilisateurs potentiels français. Notre seul mérite aurait été de participer à FutMon et de recevoir peut-être quelques fonds européens.
- Réponse à l'éventuel argument « nous faisons ces dépenses de toute façon, donc il vaut mieux essayer de les faire co-financer par l'UE » : la différence entre le budget de base résultant de l'évaluation 2006/2007 du réseau (annexe 2) et le budget total avec FutMon (annexe 1) est de

4-500 KEuros/an ; même si cette différence peut paraître faible (avec l'action D3 elle aurait été de 7-800 KEuros/an) une différence essentielle est que toute l'activité nécessaire pour produire les justificatifs selon les exigences de l'UE (dans le réseau plutôt considéré comme une activité non productive), a augmenté à peu près d'un facteur 3, sans garantie que ces dépenses soient acceptées comme éligibles dans leur ensemble.

- Plusieurs échanges téléphoniques avec l'auditrice interne de l'ONF sur les grands programmes, surtout LIFE+ et Interreg, Madame Michèle Bruneau, confirment la tendance actuelle des contraintes de plus en plus dures venant de la part de la DG Environnement, contraintes qui amèneront l'ONF à ne plus participer aux projets Interreg. En plus, ces projets n'accepteront à l'avenir plus que 10 % de coûts de personnel fonctionnaire, ce qui n'a plus aucun intérêt pour l'ONF et pour bon nombre d'institutions d'état.
- J'ai pu rencontrer en tête-à-tête le directeur (depuis il a été remplacé) de la protection de l'environnement naturel de la DG Environnement, Monsieur Ladislav MIKO, en été 2008 pendant 1,5 heures à Paris et je lui ai présenté ce que nous faisons dans RENECOFOR et les perspectives du projet FutMon. Il a été catégorique : de son point de vue LIFE+ n'est pas fait pour les réseaux de surveillance forestiers.

6) Décision sur le retrait du projet avec retour au scénario modéré proposé à l'issue de l'évaluation des premières 15 années d'existence du réseau

Au vu de ce qui a été exposé dans les points 1 à 5 nous avons décidé le 16 juillet 2009 de nous retirer du projet FutMon. A notre avis, les coûts encourus jusqu'à ce jour sont encore acceptables même sans co-financement de la CE, car certains engagements (commandes) peuvent être arrêtés.

Au 8 juillet 2009 le total des engagements RENECOFOR+FutMon (environ 165 lignes de dépense) s'élève à 557 KEuros, dont 117 KEuros (21 %) peuvent être retirés très rapidement (accord du prestataire reçu).

Rester dans FutMon ne fera qu'augmenter les dépenses aussi en 2010, ce qui est incompatible avec les restrictions budgétaires de plus en plus sévères à l'ONF.

Revenir au budget du scénario recommandé pour 2009 (voir en annexe 2 et 3) et mis au point à l'issue des deux évaluations du réseau permettra non seulement de faire une vraie économie de 4-500 KEuros par an comparé au budget FutMon+Renécofor, mais en plus permettra de bien mieux valoriser le réseau et surtout de mener à bien la campagne d'échantillonnage des sols sur les 94 sites restants, domaine pilier de la création du réseau.

Le budget du scénario recommandé est en même temps bien plus en phase avec les capacités financières actuelles de l'ONF.

Quatre points importants seraient à considérer :

- 1) Le retrait de FutMon est un signal français fort pour la CE/DG Environnement et pour tous les autres partenaires du projet ; ce retrait est à accompagner au niveau français par des messages clairs (peut-être : LIFE+ n'est pas fait pour les réseaux, trop forte exigence comptable et crise économique impactant l'ONF fortement) ;
- 2) La France continuera à participer au niveau européen aux activités des réseaux de surveillance forestiers à travers le PIC-Forêt de la convention de Genève sur la pollution transfrontière à longue distance ;
- 3) L'ONF ne devrait pas être en plus pénalisé par un retrait des cofinancements du MAP (300 KEuros/an), du MEEDDAT (200 KEuros/an) et de l'ADEME (100 KEuros/an). Nous souhaiterions que les trois maintiennent leur niveau de co-financement, comme avant.

- 4) Le retrait pénalisera l'IFN qui est toujours intéressé dans son action L2 (400 KEuros), consistant à essayer d'établir un lien entre les sites du réseau européen/systematique (16*16 km) sur 540 sites et le réseau IFN sur un sous-ensemble de 1500 points. Il faudrait réfléchir si une solution « bis » peut être envisagée.

Annexe 1

BUDGET prévisionnel du réseau RENECOFOR y compris le projet LIFE+ « FUTMON » pour l'année civile 2009

(montants en Euros Hors Taxes, sauf pour la sous-traitance faite dans le cadre du projet LIFE+ « FutMon », qui est budgétisé en TTC)

Budget prévisionnel du réseau RENECOFOR pour l'année civile 2009 (montants en Euros Hors Taxes, sauf pour les coûts de sous-traitance FutMon, en TTC)							
N°	Tâches	Dépenses DT (personnel STT)	Dépenses DT (responsables locaux et matériel)	Dépenses DG (centre de coordination)	Dépenses totales pour tout le réseau	Sous-total pour la partie FutMon	Sous-total pour tout le réseau
1		2	3	4	5=2+3+4		
Coût de l'action FutMon M7 et M8 sur 42 des 102 sites						272 261	
Centre de coordination							574 522
	1 Chef de projet (E. Ulrich, Manuel Nicolas)			88 166	88 166		
	2 Secrétariat (Valérie Trevedy-Bénart)			25 756	25 756		
	3 Comptabilité (Christine Szymanski)			9 272	9 272		
	4 Assistant scientifique (L. Croisé)			55 396	55 396		
	5 Techniciens d'appui (M. Lanier + S. Cecchini+nouvelle personne)			129 808	129 808		
	6 Animation-encadrement (formations, réunions de niveau 1 et autres, mailings, coûts voitures etc.)	10 000	80 000	70 000	160 000		
	7 Evaluation des données du réseau (sous-traitance)			60 900	60 900		
	8 Edition, impression			15 225	15 225		
	9 Projet de mise en ligne de la base de données du réseau			30 000	30 000		
Coût de l'action FutMon IM 1 sur 42/10 sites des 102 sites						521 718	
Tout le réseau=102 placettes = A+B							474 576
	11 Echantillonnage et analyse des sols	62 000	62 000	62 000	186 000		
	12 Inventaire des placettes passant en éclaircie	12 363	3 091		15 453		
	13 Maintenance générale des placettes, y compris clôtures	5 151	51 511	126 875	183 537		
	14 Observations phytosanitaires		32 480	7 105	39 585		
	15 Observations phénologiques		20 000		20 000		
	16 Observations mycologiques		30 000		30 000		
	17 Observations de la macrofaune du sol (25 placettes concernées)		15 000		15 000		
Partie A1 du réseau = 60 placettes							111 488
	18 Inventaire dendrométrique quinquennal	28 125	37 500	9 375	75 000		
	19 Echantillonnage et analyse foliaire (coût analytique des feuillus)	7 308	12 180	17 000	36 488		
Partie A2 du réseau = 27 placettes							94 395
	21 Echantillonnage et analyse des dépôts atmosphériques totaux uniquement HORS couvert forestier		65 975	28 420	94 395		
Partie A3 du réseau = 14 placettes dont 10 core plots FutMon							224 895
	23 Mesures des concentrations d'ozone et d'ammoniac et des symptômes d'ozone sur 10 sites seulement	4 200	11 000	50 000	65 200		
	24 Echantillonnage et analyse des dépôts atmosphériques SOUS couvert forestier		20 300	53 795	74 095		
	25 Evolution méthode échantillonnage dépôts sous forêt		30 000	15 000	45 000		
	26 Réseau météorologique : fonctionnement et maintenance			40 600	40 600		
Coût de l'action FutMon D2 sur 10 sites A3						196 316	
Partie A3 du réseau = 14 placettes dont 10 core plots FutMon							196 316
	27 Echantillonnage de litière, séchage et pesée	1 705	11 368	1 523	14 596		
	29 Analyse chimique des échantillons de litière (360 échantillons potentiels à analyser sur 10 sites)			83 000	83 000		
	30 Echantillonnage et analyse des solutions de sol		5 075	43 645	48 720		
	31 More intensive foliar surveys (all leaf age classes, estimation of foliage mass, leaf mass per area and LAI)			10 000	10 000		
	32 Bilan nutritif de la végétation herbacée (140 échantillons potentiels à analyser)			40 000	40 000		
Coût de l'action FutMon L2 sur les placettes du réseau européen 16x16 km						150 000	
	33 Sous-traitance à l'IFN			150 000	150 000		150 000
	Sous-total	130 852	487 480	1 222 860	1 841 192	1 140 295	1 826 192
	Overheads 7% du total				128 883	79 821	127 833
	TOTAL du programme				1 970 075	1 220 115	1 954 025

STT = 10 services techniques territoriaux des départements « forêt » des 9 directions territoriales de l'ONF

Annexe 2 : Budget 2008 établi selon les recommandations des deux évaluations du réseau (2006/07)

RENECOFOR - Scénario recommandé - 2009					
Tâches	Dépenses DT (personnel STT)	Dépenses DT (responsables locaux et matériel)	Dépenses DG (centre de coordination)	Dépenses totales	Sous-total
1	2	3	4	5=2+3+4	
Noyau dur sans changement					493 688
Chef de projet (E. Ulrich, Patrice Mengin-Lercreux)			77 267	77 267	
Secrétariat (Valérie Trevedy-Bénart)			25 756	25 756	
Comptabilité (Christine Szymanski)			9 272	9 272	
Assistant scientifique (L. Croisé)			46 360	46 360	
Techniciens d'appui (M. Lanier + S. Cecchini+nouvelle personne)			129 808	129 808	
Animation-encadrement (formations, réunions de niveau 1 et autres, mailings, coûts voitures etc.)	10 000	80 000	70 000	160 000	
Edition, impression			15 225	15 225	
Migration de la base de données			30 000	30 000	
Tout le réseau=102 placettes = A+B					536 911
Echantillonnage et analyse des sols	62 000	62 000	62 000	186 000	
Observations de la composition floristique décennales				0	
Dendrochronologie				0	
Inventaire des placettes passant en éclaircie	12 363	3 091		15 453	
Observations phénologiques		15 453		15 453	
Observations mycologiques			30 907	30 907	
Evaluation des données du réseau (sous-traitance)			60 900	60 900	
Développement du site Web du réseau			5 075	5 075	
Maintenance générale des placettes, y compris clôtures	5 151	51 511	126 875	183 537	
Observations phytosanitaires		32 480	7 105	39 585	
Partie A1 du réseau = 60 placettes					106 668
Inventaire dendrométrique quinquennal partiel	28 125	37 500	9 375	75 000	
Echantillonnage et analyse foliaire	7 308	12 180	12 180	31 668	
Maintien des clôtures				0	
Partie A2 du réseau = 27 placettes					94 395
Observations de la composition floristique quinquennales				0	
Echantillonnage et analyse des dépôts atmosphériques totaux uniquement HORS couvert forestier		65 975	28 420	94 395	
Mesures des concentrations et symptômes d'ozone				0	
Partie A3 du réseau = 14 placettes					208 461
Echantillonnage et analyse foliaire				0	
Echantillonnage de litière, séchage et pesée	1 705	11 368	1 523	14 596	
Echantillonnage et analyse des dépôts atmosphériques SOUS couvert forestier		20 300	53 795	74 095	
Echantillonnage et analyse des solutions de sol		5 075	43 645	48 720	
Réseau météorologique : fonctionnement et maintenance			40 600	40 600	
Observations de la macrofaune du sol			30 450	30 450	
Partie B=40 placettes					
Inventaire dendrométrique décennal				0	
Observations phytosanitaires				0	
Enlever clôtures				0	
Opérations nouvelles					45 000
Evolution méthode échantillonnage dépôts sous forêt		30 000	15 000	45 000	
Adaptation mesures météorologiques automatiques dans les 13 stations (de l'analogique vers le numérique)				0	
Sous-total	126 652	426 933	931 537	1 485 123	
Overheads 7% du total				103 959	
TOTAL du programme				1 589 081	

Annexe 3 : Planning 2008-2018 des suivis établi selon les recommandations des deux évaluations du réseau

Actions/ensembles	Niveaux d'observation de l'ensemble A	Sujet/année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Actions de fond		Evaluation des données du réseau et publication dans la série RENECOFOR, RDVT, journaux scientifiques etc.											
		Développement du site Web du réseau											
		Développement de l'accès à la base de données via Internet											
		Réunions d'information pour les ensemble A et B											
		Réunions d'information pour les niveaux A2 et A3											
Ensemble A avec un suivi intensif (65 placettes)													
Niveau A1 = 38 placettes													
		Echantillonnage des sols (deuxième campagne)											
		Echantillonnage foliaire											
		Inventaire dendrométrique		diamètre					diamètre et hauteurs				Faire entre 2022 et 2024 tous les ans
		Observations de la composition floristique											
		Observations sanitaires											
		Inventaire des placettes passant en éclaircie											
		Observations phénologiques											
		Observations mycologiques (dans une sélection de sites)											
		Observations de la macrofaune du sol (dans une sélection de sites)											
		Maintenance des placettes											
		Réunions d'information											
Niveau A2 = 13 placettes													
		Echantillonnage des sols (deuxième campagne)											
		Echantillonnage foliaire											
		Inventaire dendrométrique		diamètre					diamètre et hauteurs				Faire entre 2022 et 2024 tous les ans
		Observations de la composition floristique											
		Observations sanitaires											
		Inventaire des placettes passant en éclaircie											
		Observations phénologiques											
		Observations mycologiques (dans une sélection de sites)											
		Observations de la macrofaune du sol (dans une sélection de sites)											
		Maintenance des placettes											
		Réunions d'information pour les niveaux A2 et A3											
		Mesures des dépôts atmosphériques HORS couvert uniquement											
		Mesures des concentrations et symptômes d'ozone											
		Projet LIFE+ "FutMon" (si accepté) : mesures des concentrations et symptômes d'ozone											
Niveau A3 = 14 placettes													
		Echantillonnage des sols (deuxième campagne)											
		Echantillonnage foliaire											
		Inventaire dendrométrique		diamètre					diamètre et hauteurs				Faire entre 2022 et 2024 tous les ans
		Observations de la composition floristique											
		Observations sanitaires											
		Inventaire des placettes passant en éclaircie											
		Observations phénologiques											
		Observations mycologiques (dans une sélection de sites)											
		Observations de la macrofaune du sol (dans une sélection de sites)											
		Maintenance des placettes											
		Réunions d'information pour les niveaux A2 et A3											
		Mesures des dépôts atmosphériques HORS et SOUS couvert forestier											
		Mesures des concentrations et symptômes d'ozone											
		Projet LIFE+ "FutMon" : mesures des concentrations et symptômes d'ozone											
		Collectes des chutes de litières											
		Echantillonnage des solutions de sol											
		Mesures météorologiques (sauf CPS 77)											
		Projet LIFE+ "FutMon" (si accepté) : mesure en continu de l'humidité dans le sol											
		Projet LIFE+ "FutMon" (si accepté) : analyse minérale des chutes de litière											
		Projet LIFE+ "FutMon" (si accepté) : analyse de la minéralomasse de la flore du sol											
Ensemble B avec un suivi moins intensif (37 placettes)													
		Echantillonnage des sols (deuxième campagne)											
		Echantillonnage foliaire											
		Inventaire dendrométrique							diamètre et hauteurs				Faire entre 2022 et 2024 tous les ans
		Observations de la composition floristique											
		Observations sanitaires											
		Inventaire des placettes passant en éclaircie											
		Observations phénologiques											
		Observations mycologiques (dans une sélection de sites)											
		Observations de la macrofaune du sol (dans une sélection de sites)											
		Maintenance des placettes											
		Réunions d'information											