

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>	40
A.11 Concentration en ozone et dégâts d'ozone	43
<i>A11.1 Résultats obtenus</i>	43
Les données produites	43
Organisation et méthodologie :.....	43
La valorisation des données	44
<i>A11.2 Perspectives</i>	44
<i>Annexe : liste bibliographique indicative</i>	44
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>	48
<i>B12 Les questions posées à l'origine du réseau et leur intérêt actuel</i>	49.
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>	50
B.2 Les apports originaux du réseau	52
<i>B21 Une base de référence et un repère en matière de qualité</i>	52
<i>B22 Les apports originaux du réseau dans les différents domainess</i>	52
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>	54
<i>B32 Par thèmes</i>	55
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'effcience 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., BREDA 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 dépérissants – 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 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.

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 vernalles (l'hypothèse est que le réchauffement hivernal entraîne une précocité accrue des espèces vernalles).

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 (répétitions, nombre de bougies, types de collecteurs de pluviollessivats).	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 et quantitative.	P	2	3	-	MERA
Dendrométrie, dendrochronologie.	Dendrochronologie	Prochaine campagne 20 ans après la première, sauf intérêt scientifique particulier.	Permet de discerner les accroissement 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	Urgence de 1 à 3,	3=fort.	Importance	Economie en %	Réseau(x) en lien
					Projet ?			scientifique de 1	du coût de la	
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 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.	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 Mousses	
	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	-		
	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	-		

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	Analyses foliaires	Passer de mesures tous les 2 années 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...
	Analyses foliaires	Ajouter la masse surfacique ou un indice de masse surfacique (épaisseurs des feuilles par exemple)	Important dans les analyses	Passer par des projets	P	2	3	-	
	Analyses foliaires	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	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	
	Litières	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	-	
	Litières	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	-	
	Litières	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	-	
	Litières	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(s) 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 (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 et 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...).
	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 pluviotelevés	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	
	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	-	

En jaune : ce qui relève davantage de projets que du monitoring.

	Thèmes	Suggestion	Argumentation synthétique	Remarques	Monitoring ou	Urgence de 1 à 3,	Importance	Economie en %	Réseau(x) en lien
					Projet ?	3=fort.	scientifique de 1	du coût de la	
							à 3, 3=fort.	ligne, note de 1 à	3, 3=fort.
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 cf 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	-	