

**De l'observation des écosystèmes forestiers  
à l'information sur la forêt**

*From observation of the forest ecosystems to information  
on forest*

**Coordinateurs scientifiques :** G. Landmann, S. Landeau

**Organisateur :** Ecofor

**Comité d'organisation :** G. Landmann, C. Berwick



# Table des matières

---

## **Session 1. L'approche « ORE », Observatoire de recherche en environnement**

F-ORE-T, l'Observatoire de recherche en environnement sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers.....	7
<i>Guy Landmann, Maurice Damien, André Granier, Serge Rambal, Jacques Ranger, Claude Nys, Laurent Saint-André, Éric Dufrêne, Damien Bonal, Denis Lousteau, Luc Croisé</i>	

---

## **Session 2. La recherche basée sur les dispositifs de suivi à long terme**

Le nouvel inventaire de l'Inventaire forestier national — Un sondage systématique et annuel.....	23
<i>Thierry Bélouard, Claude Vidal, Jean-Christophe Hervé, Nicolas Robert</i>	

---

## **Session 3. Nouveaux besoins en matière de suivi à long terme des forêts**

Suivre la biodiversité en forêt : pourquoi ? Quoi ? Comment ?.....	37
<i>Frédéric Gosselin, Frédéric Archaux, Marion Gosselin</i>	

<i>Les Chemins de l'information forestière</i> revisité — Résultats d'une enquête rapide sur la situation en 2005 comparée à celle de 2000.....	45
<i>Sandrine Landeau, Guy Landmann</i>	

Suivi de la réponse de la végétation au changement climatique : approche par transects.....	49
<i>Michel Vennetier, Bruno Vila, Er-Yuan Liang, Frédéric Guibal</i>	

Un réseau d'observations phénologiques pour la gestion du changement climatique.....	61
<i>Isabelle Chuine</i>	

Mise en place d'un réseau français d'arborétums pour une valorisation coordonnée des ressources ligneuses <i>ex situ</i> .....	71
<i>Stéphanie Brachet</i>	

---

## **Session 4. Indicateurs de gestion durable de la forêt**

Indicateurs de gestion durable des forêts françaises :  
bilan 1995-2004 et perspectives.....79  
*Nabila Hamza*

FORSEE, un réseau de zones pilotes pour la mise en œuvre opérationnelle  
des indicateurs de gestion durable des forêts.....85  
*Christophe orazio, Jean-Michel Carnus*

---

## **Session 5. Systèmes d'information**

Le SIEF, un site vitrine sur le suivi et l'observation en forêt —  
Étude de faisabilité.....99  
*Sandrine Landeau, Nathalie Derrière*

Projet SINPA : système d'informations partagées pour la gestion  
forestière régionale.....103  
*Wilfried Heintz, Marie-Claire Guéro*

**Session 1. L'approche « ORE »,  
Observatoire de recherche en environnement**



# **F-ORE-T, l'Observatoire de recherche en environnement sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers**

*F-ORE-T, the environmental research observatory on the functioning of forest ecosystems*

*Landmann Guy (1) Maurice Damien (2), Granier André (3), Rambal Serge (4), Ranger Jacques (5), Nys Claude (5), Saint-André Laurent (6), Dufrêne Eric (7), Bonal Damien (8), Loustau Denis (9), Croisé Luc (10)*

(1) GIP ECOFOR, 42, rue Scheffer, 75116 Paris, [landmann@gip-ecofor.org](mailto:landmann@gip-ecofor.org)

(2) GIP ECOFOR / UMR INRA-UHP Ecologie et Ecophysiologie Forestières (EEF), 54280 Champenoux, [maurice@gip-ecofor.org](mailto:maurice@gip-ecofor.org)

(3) INRA, UMR INRA-UHP Ecologie et Ecophysiologie Forestières (EEF), 54280 Champenoux, [granier@nancy.inra.fr](mailto:granier@nancy.inra.fr)

(4) CEFÉ-CNRS DREAM, 34293 Montpellier Cedex 05, [serge.rambal@cefe.cnrs.fr](mailto:serge.rambal@cefe.cnrs.fr)

(5) INRA, Unité Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers (BEF), 54280 Champenoux, [ranger@nancy.inra.fr](mailto:ranger@nancy.inra.fr) et [nys@nancy.inra.fr](mailto:nys@nancy.inra.fr)

(6) CIRAD-PERSYST, UPR Fonctionnement et pilotage des écosystèmes tropicaux plantés, TA 10/D Campus International de Baillarguet, 34398 Montpellier, [standre@cirad.fr](mailto:standre@cirad.fr)

(7) Université Paris XI, CNRS, AgroParisTech, UMR Ecologie Systématique et Evolution, 91405 Orsay, [eric.dufrene@ese.u-psud.fr](mailto:eric.dufrene@ese.u-psud.fr)

(8) INRA, UMR Ecofog - BP 709, 97387 Kourou cedex, Guyane française, [damien.bonal@kourou.cirad.fr](mailto:damien.bonal@kourou.cirad.fr)

(9) INRA, UMR Unité Ecologie Fonctionnelle et Physique de l'Environnement (EPHYSE), INRA, Domaine de la Grande-Ferrade, BP 81, 33883 Villenave-d'Ornon Cedex [denis.loustau@pierroton.inra.fr](mailto:denis.loustau@pierroton.inra.fr)

(10) ONF Direction technique – Département Recherche et Développement, 77300 Fontainebleau, [luc.croise@onf.fr](mailto:luc.croise@onf.fr)

## Résumé

Depuis 2003, l'observatoire de recherche en environnement sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers (F-ORE-T) rassemble les huit sites-ateliers français (gérés par l'INRA, le CNRS, et le CIRAD) consacrés à l'étude des cycles des éléments minéraux, du carbone et de l'eau et le réseau RENECOFOR (géré par l'ONF). Cet article présente succinctement l'observatoire, ses objectifs, les principes adoptés pour la collecte, la gestion et la mise à disposition des données, ainsi que l'activité scientifique à laquelle F-ORE-T sert de support.

Mots clés : site-atelier, RENECOFOR, recherche, suivi continu, écosystèmes forestiers, cycles biogéochimiques, eau, éléments minéraux, carbone

### *Abstract*

*Since 2003, the Environmental Research Observatory (ORE in French) on forest ecosystem functioning encompasses eight intensive research sites (managed by INRA, CNRS and CIRAD) dedicated to the study of nutrient, carbon and water cycling, and the "Level 2" intensive monitoring network called RENECOFOR. This article briefly describes the Observatory, its main objectives, the principles followed as the collection, the management and the rule for data access, and the scientific activities developed in its frame.*

*Keywords: intensive research site, RENECOFOR, monitoring, forest ecosystems, biogeochemical cycling, water, nutrients, carbon.*

## **1. Le contexte historique des études sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers**

### **1.1. Le rôle de l'épisode « pluies acides »**

L'étude du fonctionnement des écosystèmes forestiers a connu une brusque accélération dans les années 1980, alors qu'un dépérissement forestier inédit semblait menacer la forêt européenne. La demande principale portait alors sur l'étude des cycles biogéochimiques, en raison du rôle prêté aux dépôts atmosphériques (« pluies acides ») dans ce dépérissement ainsi que dans l'acidification observée des sols et des cours d'eau. L'existence même d'un problème majeur de santé des arbres a en fait été remise en cause par la suite, mais le rôle important des dépôts atmosphériques dans divers dérèglements (acidification, enrichissement en azote) observés *in situ* a lui été confirmé par les recherches menées dans le cadre du programme interministériel DEFORPA (Landmann et Bonneau, 1995).

## 1.2. L'apparition de nouvelles problématiques

Au cours des années 1990, les préoccupations croissantes liées au *changement climatique et à l'accroissement du carbone atmosphérique* ont quelque peu relégué à l'arrière-plan les préoccupations liées aux « pluies acides » alors que la recherche européenne se mobilisait pour évaluer la contribution potentielle de la forêt au *stockage de carbone*.

Les études *in situ* visant à analyser le fonctionnement de l'écosystème et à en caractériser les différents composants et processus se sont multipliées, même si la lourdeur de l'instrumentation et les coûts élevés de ces recherches expliquent que ces observations ne sont conduites que sur quelques dizaines de sites dans toute l'Europe. Le terme de « *sites-ateliers* » utilisé en France pour désigner ces lieux d'observation définit un double caractère d'instrumentation et de rassemblement pluridisciplinaire, avec une ou plusieurs orientations dominantes sur chaque site (fonctionnement minéral, hydrique et carboné). L'INRA, le CNRS et le CIRAD ont développé cette approche sur un petit nombre de sites indépendants, ce qui nécessite une coordination interinstitutionnelle. On peut noter qu'à la même époque, les dispositifs de fumigation *in situ* – FACE (Free-Air Carbon Dioxide Enrichment) – ont été lancés pour étudier les effets de l'enrichissement en CO<sub>2</sub> *in situ*, mais que le développement de cette approche n'a été que limité en raison de son coût très élevé.

## 1.3. La création de F-ORE-T

Le développement de sites-ateliers dédiés à des recherches fondamentales et appliquées sur le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes forestiers, ainsi que sur leur évolution sous l'influence des facteurs naturels et anthropiques représentent un des objectifs de base du Groupement d'intérêt public ECOFOR<sup>1</sup>. C'est donc naturellement qu'ECOFOR a porté en 2002 un projet d'Observatoire de Recherche en Environnement (ORE) dans le domaine forestier en réponse à l'appel d'offres du Ministère de la recherche.

La conception des ORE promue par le Ministère de la recherche peut-être résumée par quelques extraits du texte de l'appel à propositions de recherche paru le 10 janvier 2002. Dans un contexte d'« *emprise croissante de l'homme sur l'environnement* » et au vu de « *l'absence d'analyses adéquates assises sur des données fiables, répétées régulièrement sur les durées longues qui sont imposées par le temps de réaction des systèmes naturels, ou par la fréquence des événements à observer (...), M. le Ministre de la Recherche a annoncé le 21 mai 2001 son souhait de renforcer ou créer des Observatoires de Recherche sur l'Environnement (ORE), afin d'assurer cette accumulation d'information dans la durée. (...) les ORE doivent remplir prioritairement le rôle de fournisseurs des données scientifiques de qualité nécessaires aux chercheurs afin de comprendre et modéliser le fonctionnement des systèmes et leur dynamique dans le long terme. Leur objectif est d'apporter des réponses à des questions scientifiques touchant à l'Environnement. Ils y contribuent par deux voies complémentaires :*

- *d'une part, l'acquisition des données de natures diverses (physiques, chimiques, biologiques) et des chroniques de longue durée nécessaires pour suivre les processus*

---

<sup>1</sup> ECOFOR représente une concrétisation de la Résolution S6 de la première conférence ministérielle sur la protection des forêts en Europe (Strasbourg, 1990) qui prévoyait la création d'un réseau européen de recherche sur les écosystèmes forestiers et la *mise en place de coordinations nationales dans ce domaine*.

*environnementaux et écologiques : ce sont là les tâches d'observation environnementale sensu stricto.*

*- d'autre part, la mise en place d'expérimentations de long terme qui complètent et valorisent les tâches de la simple observation de l'environnement. »*

F-ORE-T, l'ORE sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers, est constitué (situation en 2005<sup>2</sup>) de 8 sites-ateliers (dont seul le site guyanais ne pré-existait pas à l'ORE) – Hesse (Moselle), Breuil-Chenue (Nièvre), Fougères (Ille-et-Vilaine), Fontainebleau (Seine-et-Marne), Landes (Gironde), Puéchabon (Hérault), Paracou (Guyane) et Pointe-Noire (République du Congo) – et du réseau de suivi intensif RENECOFOR<sup>3</sup>.

La fédération de ces sites, engagée avant le lancement du projet F-ORE-T reste une priorité. Un certain niveau d'harmonisation était d'emblée acquis pour les sites dédiés à la mesure de flux de carbone au niveau européen (réseau CARBOEUROPE). Pour sa part, le réseau RENECOFOR s'est inscrit dans un contexte européen harmonisé de suivi continu (« monitoring ») des forêts.

## 2. Les objectifs de F-ORE-T

### 2.1. Objectifs scientifiques

L'étude du fonctionnement des écosystèmes forestiers développée dans le cadre de F-ORE-T repose principalement sur l'étude des flux de carbone, d'eau et d'éléments minéraux, dans leurs composantes physico-chimiques et en prenant en compte la réponse des arbres (croissance, phénologie, etc.).

Les objectifs scientifiques peuvent se décliner en trois volets :

- **Comprendre le fonctionnement des écosystèmes forestiers et leur réponse aux perturbations :**
  - identifier les **déterminants** des variations temporelles et spatiales du fonctionnement ;
  - étudier la **sensibilité** des écosystèmes forestiers aux contraintes environnementales et la réponse des écosystèmes forestiers aux événements climatiques extrêmes.
- **Comprendre, modéliser et coupler les cycles biochimiques** (carbone, eau, éléments minéraux), entre eux et avec le fonctionnement de la plante.
- **Établir des bilans** pour différents types forestiers et les comparer à ceux d'autres types de végétation (prairies, cultures) et déterminer ainsi la contribution des écosystèmes étudiés au fonctionnement global de la biosphère.

Les **perturbations** considérées peuvent être naturelles ou anthropiques, s'exercer localement (sylviculture, changement d'usage des terres) ou globalement (réchauffement), relever du court terme (aléa climatique) ou d'une dérive à long terme du climat.

---

<sup>2</sup> Un site supplémentaire, Fontblanche (peuplement mélangé de chênes vert et de pin d'Alep) situé dans les Bouches-du-Rhône est prévu.

<sup>3</sup> Le réseau RENECOFOR, constitué d'une centaine de placettes permanentes réparties dans les principaux types de forêts françaises et destinées à cerner l'évolution d'écosystèmes « représentatifs », représente la concrétisation de la Résolution S2 de Strasbourg (1990).

Les **pas de temps** considérés dans les mesures et les modélisations vont ainsi des variations infra-journalières à la révolution forestière (une centaine d'années) alors que les **échelles spatiales** concernées vont du « site » (local) au « paysage ».

L'**intensité de gestion** des écosystèmes étudiés est très variable : nulle en forêt humide guyanaise, variable dans les sites tempérés, très intensive (plantations monoclonales) au Congo.

L'amélioration des bilans obtenus localement et l'analyse des sources de variabilité quand on élargit la zone d'étude représentent les objectifs à court terme. A plus long terme, l'ORE vise à fournir des modèles de flux et bilans à différentes échelles spatio-temporelles et à « généraliser » des résultats locaux à des territoires plus vastes.

## 2.2. Objectifs opérationnels et méthodologiques

A court terme (5 ans), il s'agit surtout d'améliorer la qualité et la cohérence des données récoltées, ce qui suppose des avancées dans les domaines de l'« assurance qualité », de la gestion et de la mise à disposition des données. Il s'agit en outre de constituer un support pour des travaux d'ordre métrologique, de valider des modèles (échelles interannuelles et plus) et d'offrir un support pour des manipulations expérimentales pour tester des hypothèses spécifiques.

L'ambition à plus long terme (5-25 ans) est de développer un réseau cohérent et évolutif de sites de mesures et d'observation permettant de répondre à ces objectifs, ce qui suppose de les maintenir de l'ordre de 5 ans pour comprendre les processus de base et de l'ordre de 20 ans et plus pour analyser des dérives et prendre en compte les aléas.

## 2.3. Objectifs finalisés

Ces recherches contribuent également à des objectifs finalisés. Les sites-ateliers dédiés à l'étude des cycles biogéochimiques et le réseau RENECOFOR répondent directement à des questions sur l'impact des modes de gestion sylvicole sur l'évolution des sols et la durabilité des systèmes qui préoccupent les gestionnaires forestiers<sup>4</sup>. L'actuel regain d'intérêt pour l'exploitation de la biomasse forestière à des fins énergétiques renouvelle l'intérêt de l'étude des bilans minéraux.

Plus récemment, et de façon encore incertaine, l'influence de la sylviculture sur la fixation de carbone constitue un sujet d'intérêt croissant chez les gestionnaires forestiers qui souhaitent optimiser et valoriser cette variable dans le contexte de l'atténuation de l'effet de serre et la mise en place du « marché du carbone ».

Un autre objectif, moins évoqué mais très important dans le contexte du réchauffement climatique, est l'impact de la sylviculture sur l'économie de l'eau des peuplements.

Les contributions respectives des sites-ateliers, des placettes RENECOFOR et d'autres approches (réseaux à grande échelle) sont évidemment variables selon les questions.

## 3. Sites et dispositifs de mesure, variables et paramètres mesurés

---

<sup>4</sup> C'est ce qui a amené l'ONF à devenir le principal bailleur de fond du site-atelier de Fougères, créé en 1997.

### 3.1. Sites et dispositifs de mesure

Le dispositif comprend deux niveaux, les sites-ateliers et le réseau RENECOFOR.

Les « sites-ateliers » lourdement instrumentés sont destinés à la description, la quantification et la modélisation du fonctionnement des écosystèmes forestiers. F-ORE-T comprend 6 « sites-ateliers » en France métropolitaine et de 2 en zone intertropicale humide (figure 1, tableau 1). Les sites métropolitains couvrent des conditions pédoclimatiques variées et des types de peuplement représentatifs de la forêt française (feuillus sociaux de plaine, forêts fortement artificialisées et formations méditerranéennes). On note l'absence à l'heure actuelle de sites-ateliers en zone de montagne, ce qui s'explique au moins pour l'approche des flux de carbone par des limitations techniques (la mesure des flux de CO<sub>2</sub> par « eddy correlation » n'est pas opérationnelle en terrain accidenté). Les sites tropicaux correspondent à deux types de peuplement contrastés : la forêt tropicale humide naturelle en Guyane et les plantations industrielles d'Eucalyptus au Congo.

Le réseau RENECOFOR constitue un réseau de « suivi intensif » à long terme de l'évolution des principaux types de peuplements forestiers de France métropolitaine (partie française du réseau européen dit de « niveau 2 » du dispositif de suivi des forêts). Avec une centaine de sites en France métropolitaine, il ne couvre pas de façon statistique la diversité des conditions naturelles des forêts françaises, mais constitue un référentiel précieux qui permet de resituer les sites-ateliers dans un contexte plus large et, dans certains cas, de « généraliser » les résultats obtenus dans les sites-ateliers. Tout un ensemble de paramètres écologiques sont en effet commun à ce réseau et aux sites-ateliers. En outre RENECOFOR apporte une contribution intéressante dans le domaine de la pollution atmosphérique qui fait également l'objet de suivis plus ou moins exploratoires dans les sites-ateliers.



*Figure 1 : localisation des sites-ateliers et mention de l'espèce dominante et de la thématique principale*

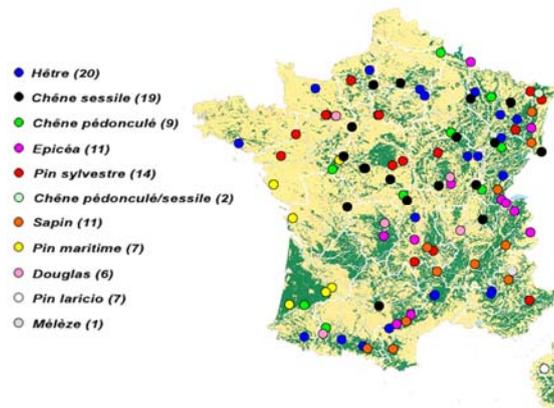


Figure 2 : localisation des placettes de RENECOFOR selon les essences

### 3.2. Les variables relevées

Les principales grandeurs mesurées peuvent être rassemblées en trois catégories de variables qui décrivent :

- l'état du système : composition faunistique (surtout microfaune du sol) et floristique, indice foliaire, teneur des feuilles en éléments chimiques majeurs, litière, biomasse et minéralomasse de la végétation, stock de carbone, réserves minérales du sol, teneur en eau du sol, etc.
- les flux : éléments chimiques et organiques dans le sol et dans l'eau, flux de carbone, d'eau et de chaleur à l'interface couvert-atmosphère ;
- l'environnement : météorologie, composés atmosphériques, apports atmosphériques.

Au total, plus de cent paramètres de base sont mesurés pour décrire ces grandes variables.

Certains paramètres (météorologie, micrométéorologie) sont mesurés en continu avec des centrales d'acquisition automatique, alors que d'autres suivent une fréquence saisonnière tels que les paramètres relatifs à l'indice foliaire. Certaines, enfin, dont l'acquisition est lourde, tels que les paramètres de biomasse et minéralomasse ou l'évaluation des réserves minérales du sol suivent une fréquence de plusieurs années.

**Tableau 1. Présentation succincte des éléments de F-ORE-T (sites-ateliers et réseau RENECOFOR)**

<i>Dispositif</i> • thème • dominant • année de	<b>Site-atelier de Fontainebleau</b> • Carbone et eau • 1993-1994	<b>Site-atelier de Puéchabon</b> • carbone et eau • 1995	<b>Sites ateliers des Landes</b> • carbone et eau • 1987/1992/1990	<b>Site-atelier de Hesse</b> • carbone et eau • 1996
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation (région/pays, altitude)</li> <li>• Espèces dominantes</li> <li>• Climat : température (T) et précipitations (P) moyennes annuelles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• forêt domaniale de Fontainebleau, Seine-et-Marne, alt. 120 m</li> <li>• chêne sessile, pin sylvestre, hêtre</li> <li>• T : 10,5°C, P : 720 mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• forêt domaniale, Héroult, 25 km au NO de Montpellier, alt. 250 m</li> <li>• chêne vert (chêne pubescent &lt; 10%)</li> <li>• T : 13,5°C, P : 880 mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gironde, à environ 25 km au SO Bordeaux, alt. 50m</li> <li>• Pin maritime (<i>Pinus pinaster</i>)</li> <li>• T : 13,5°C, P : 972 mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• forêt domaniale de Hesse, Moselle, alt. 300m</li> <li>• hêtre (espèces secondaires : chêne sessile et pédonculés, charme, bouleau, frêne)</li> <li>• T : 9,2°C, P : 820 mm</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispositifs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• une tour à flux instrumentée en forêt de <b>Barbeau</b></li> <li>• un réseau de 52 parcelles de peuplements homogènes, 500 ha au total</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• une tour à flux instrumentée dans une chênaie (63 ans en 2005)</li> <li>• un dispositif d'exclusion des pluies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 tours à flux instrumentées, sur le site de <b>Bray</b> (35 ans en 2005) et celui de <b>Bilos</b> (2 ans en 2004)</li> <li>• dispositif de fertilisation-irrigation à l'<b>Hermitage</b> (14 ans en 2005)</li> <li>• ensemble multiparcelles de <b>Nezer</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 tours à flux instrumentées dans une hêtraie pure (40 ans en 2005, <b>Hesse 1</b>) et une hêtraie mélangée d'autres feuillus (19 ans en 2005, <b>Hesse 2</b>)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesures</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mesures micrométéorologiques et dendrométriques ; télédétection (radar et optique, aéroportée et satellite)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mesures micrométéorologiques et dendrométriques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mesures micrométéorologiques, écophysiologicals et dendrométriques</li> <li>• à Nezer, suivi annuel depuis 1985 de structure et LAI pour missions télédétection; mesures de concentrations isotopiques par spectrométrie laser.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mesures micrométéorologiques, écophysiologicals, dendrométriques et minérales, biomasses, LAI<sup>+</sup>, chutes de litière, teneur en eau du sol</li> </ul>

<p><b>Dispositif</b>  •thème dominant  année de création</p>	<p><b>Site-atelier de Fougères</b>  •éléments minéraux  •1996</p>	<p><b>Site-atelier de Pointe Noire</b>  •carbone, eau, éls minéraux  •1997 puis 2000</p>	<p><b>Site-atelier de Paracou</b>  •carbone et eau  •2003</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation (région/pays, altitude)</li> <li>• Espèces dominan</li> <li>• Climat : température (T) et précipitations (P) moyennes annuelles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• forêt domaniale de Fougères (Ile-et-Vilaine), à 50 km au NO de Rennes, alt. moyenne : 190 m</li> <li>• 85 % de hêtre (espèces secondaires : chêne sessile, chêne pédonculé, épicea commun)</li> <li>• T : 11,2°C, P : 900 mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• plantation industrielle sur savane herbacée, Rép. du Congo, alt. moyenne 100 m, rotation : 7 ans</li> <li>• clones de plusieurs familles d'hybride d'eucalyptus</li> <li>• T : 25,5°C, P : 1 200 mm, humidité : 85 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• forêt tropicale humide non-perturbée, à 50 km de Kourou, zone d'emprise des flux de 100 ha, petites collines de 40 m de hauteur max</li> <li>• forêt mature, 180 esp. d'arbres différentes par ha</li> <li>• T : 28,3°C, P : 3 000 mm (fortes variations inter-annuelles)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispositifs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 peuplements de 10, 30, 80 et 145 ans (chronoséquence)</li> <li>• coupe après dégâts de tempête</li> <li>• amendement et fertilisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• une tour à flux instrumentée dans dispositif de <b>Hinda</b> puis <b>Kissoko</b></li> <li>• dispositifs d'étude des cycles d'éléments minéraux de <b>Kondi</b> puis <b>Tchizalamou</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• une tour à flux instrumentée (55m)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesures</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• récolte et analyse des pluies et pluviollessivats, et solutions du sol</li> <li>• mesures dendrométriques et minérales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mesures micrométéorologiques, écophysiologicals, dendrométriques et minérales</li> <li>• récolte et analyse des pluies et pluviollessivats, et solutions du sol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mesures micrométéorologiques, écophysiologicals et dendrométriques</li> </ul>

<p><b>Dispositif</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• thème dominant</li> <li>• année de création</li> </ul>	<p><b>Réseau RENECOFOR</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• éléments minéraux</li> <li>1992</li> </ul>	<p><b>Site-atelier de Breuil-Chenue</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• éléments minéraux</li> <li>• 2000</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation (région/pays, altitude)</li> <li>• Espèces dominan</li> <li>• Climat : température (T) et précipitations (P) moyennes annuelles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• réseau de 102 placettes réparties sur tout le territoire de la France métropolitaine</li> <li>• grande variété d'écosystèmes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• forêt domaniale du Breuil dans le Morvan (Nièvre), alt. moyenne : 650 m</li> <li>• plantations monospécifiques après coupe à blanc : hêtre, chêne sessile, épicéa commun, Douglas, sapin de Nordmann, pin laricio de Corse</li> <li>• T : 6°C, P : 1 400 mm</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispositifs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• chaque placette a une surface de 2 hectares avec une partie centrale de 0,5 hectare clôturée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• deux blocs dans les plantations, avec ou sans amendement / fertilisation et témoin forêt initiale</li> <li>• tour de collecte des apports humides</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesures</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• inventaires dendrométriques, dendrochronologie, analyses foliaires, mesures météorologiques, observations phéno-, entomo- et pathologiques, état des cimes, production de nécromasse, description et analyses de sol, mesure de O<sub>3</sub> et NH<sub>3</sub> dans l'air, observation des symptômes d'O<sub>3</sub>, mesure des dépôts atmosphériques hors et sous couvert, analyse des solutions de sol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• récolte et analyse des pluies et pluviollessivats, et solutions du sol</li> <li>• mesures écophysiologicals, dendrométriques et minérales</li> <li>• mesures sur l'évolution des sols</li> <li>• mesures biologiques du sol</li> </ul>

<sup>5</sup> LAI : leaf area index, c'est-à-dire l'indice foliaire.

## 4. Collecte, gestion et mise à disposition des données

Il s'agit d'un aspect central des observatoires de recherche tels qu'ils ont été promus par le Ministère de la recherche en particulier. Ce travail nécessitera, en raison de la complexité des thèmes et variables, un investissement important.

### 4.1 Protocoles d'acquisition des données et « contrôle qualité »

Sur les sites étudiés, la prise de données concerne les domaines physique, chimique et biologique. Cette obtention de données suit le schéma : *échantillonnage* > *mesures de base* > *vérifications / contrôles* > *construction de données élaborées*.

La démarche d'assurance et de contrôle qualité des données couvre le souci d'homogénéiser et d'uniformiser les différents composants liées à la qualité, de la stratégie d'échantillonnage jusqu'à la fourniture des données élaborées. Des échanges approfondis sont engagés entre les différents acteurs participant à la production de données (chercheurs, ingénieurs ou techniciens) pour mettre en place cette démarche.

Il est à noter que le contrôle qualité au sein de F-ORE-T est en grande partie assuré par le personnel technique, qui est essentiellement permanent, ce qui est une situation favorable à la continuité des mesures et la surveillance de bonne qualité de l'instrumentation.

### 4.2 Procédure de gestion et de mise à disposition des données

En raison de la très grande variété de domaines thématiques et de variables, certaines données étant acquises à de hautes fréquence (parfois 20 Hz), les données brutes seront stockées et sauvegardées sous forme de fichiers et seules les données élaborées, pertinentes pour la communauté scientifique, seront intégrées à la base de données, les données brutes restant accessibles en cas de demande particulière. Les données élaborées, gérées grâce à un système de gestion de base de données, constituent le cœur du système d'information adossé à un site web dédié à l'ORE. Son développement se fait en collaboration avec le GIP Médias France (qui développe plusieurs bases de données d'ORES).

Le site Web de l'ORE (<http://www.gip-ecofor.org/f-ore-t>) constitue la vitrine et le point d'entrée au projet F-ORE-T.

En amont de la base de données à proprement parler, un travail très important de description des données et jeux de données doit être entrepris. Ces *métadonnées* sont abordées selon la distinction suivante :

- *description de jeux de données* : les fichiers de données font l'objet d'une description standardisée qui permet de décrire un jeu de données et de donner un accès vers le jeu de données décrit. Ces informations sont gérées de manière indépendante des données elles-mêmes via une base de données et une interface web dédiées. Elles constituent la base de métadonnées de l'ORE ;
- *informations connexes à chaque donnée* : il s'agit là d'un ensemble d'informations, obligatoires ou facultatives, qui accompagne chaque valeur de paramètre mesuré ou estimé et qui est intégré dans la base de données de l'ORE.

Par exemple, les listes des paramètres, des unités, des méthodes d'analyses, des types et n° de série des instruments, etc. sont considérés ici comme des métadonnées.

La conception de la *base de données* nécessite plusieurs étapes de « modélisation » (organisation des informations de l'ORE qu'il faut avant tout structurer). Elle a été engagée à partir d'un travail d'inventaire et de documentation des données produites au sein de l'ORE. Sur cette base, plusieurs étapes de modélisation de la base de données ont été menées en s'efforçant de garder un caractère suffisamment générique pour ne pas aboutir à une base trop spécialisée et trop peu évolutive. Des interfaces web dédiées à l'alimentation et à l'extraction viendront compléter, avec les adaptations requises, l'application de la base de données.

Enfin, la *politique de mise à disposition des données* est définie dans une charte de mise à disposition de données. L'extraction des données nécessite un enregistrement préalable du demandeur qui recevra un identifiant et un mot de passe et s'engagera à respecter la charte en signant le formulaire de demande d'accès aux données. L'utilisation de ces données dans une publication, après avis du responsable de l'ORE, devra impérativement mentionner F-ORE-T.

## **5. Collaborations, production scientifique et technique**

### **5.1 Collaborations scientifiques**

Au cours des dernières années, pas moins d'une quarantaine d'équipes (en plus des équipes gestionnaires des sites) ont été associées aux travaux de recherches entrepris sur les sites de recherche : 13 équipes des organismes parties prenantes à F-ORE-T, mais également une dizaine d'équipes universitaires, 6 équipes appartenant à d'autres organismes de recherche (CEA, Cemagref, ENGREF, IRD, Météo France, etc.) et 13 équipes étrangères.

### **5.2 Production scientifique et technique**

Chacun des sites-ateliers et le RENECOFOR constitue un laboratoire *in situ* à part entière qui fournit matière à des publications dans des revues scientifiques de qualité. Au cours des années 2002-2005, les travaux issus de F-ORE-T ont fourni la matière à environ une vingtaine d'articles scientifiques à comité de lecture par an, auxquels s'ajoutent thèses, présentations à des séminaires ou colloques, et supports à caractère technique ou de vulgarisation (voir [www.gjp-ecofor.org/f-ore-t/](http://www.gjp-ecofor.org/f-ore-t/)).

La proportion d'articles concernant plusieurs sites, qui est encore relativement faible, augmentera progressivement avec le développement de projets de recherche communs et la mise en fonction du système d'information de l'ORE qui facilitera les analyses communes à plusieurs sites. A ce titre, on peut noter que le réseau européen CARBOEUROPE et le réseau Fluxnet, centrés sur les flux d'eau et de carbone, sont à l'origine de nombreux articles collectifs et qu'une bonne partie des articles de F-ORE-T concernant plusieurs sites concernent des sites de ces réseaux. C'est ce type de dynamique qui est visé dans F-ORE-

T ; notre observatoire comporte certes un nombre limité de sites mais sa cohérence et l'importance des analyses de processus conduites sur les sites en feront un outil de potentiel assez rarement égalé dans d'autres régions d'Europe.

Le réseau RENECOFOR apporte une contribution intéressante dans le domaine de la pollution atmosphérique et, de façon générale, une gamme de références biologiques et physicochimiques sur des écosystèmes à laquelle les résultats des sites-ateliers pourront être comparés.

## 6. Conclusion et perspectives

F-ORE-T rassemble les sites-ateliers forestiers français actuellement consacrés à l'analyse des cycles du carbone, de l'eau et des éléments minéraux. A ce titre, il constitue le réseau français de référence dans ce domaine.

Les organismes parties prenantes y consacrent des moyens significatifs, avec plus d'une trentaine d'équivalent temps plein de personnel permanent (chercheurs, ingénieurs et techniciens) et autant de doctorants, post-doctorants et contractuels. Au soutien financier régulier d'Ecofor viennent s'ajouter des crédits incitatifs (Ministère de la recherche) ou liés à des projets (européens ou français)

L'expression optimale du potentiel de ce réseau passe notamment par la réalisation d'un système d'information performant et par un renforcement progressif des travaux d'intérêt commun.

Le champ thématique des recherches ne devrait pas changer profondément au cours des prochaines années. On peut cependant s'attendre à des inflexions, avec sans doute une attention accrue pour le fonctionnement hydrique dans le contexte du changement climatique, l'étude comparée avec d'autres types de couverts végétaux ou encore le lien entre fonctionnement biogéochimique et biodiversité microbienne.

## 7. Bibliographie

Landmann G. (coord), 2004. L'observatoire de recherche en environnement sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers. F-ORE-T. Rapport 2003. ECOFOR, Paris, 198 p.

Landmann G., Bonneau M. (coord), 1995. Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains. Springer, 459 p.

Le site F-ORE-T <http://www.gip-ecofor.org/f-ore-t> présente la littérature scientifique issue de F-ORE-T.



## **Session 2. La recherche basée sur les dispositifs de suivi à long terme**



# **Le nouvel inventaire forestier de l'IFN**

## **Un sondage systématique et annuel**

### *The new French forest inventory a systematic and annual sampling*

*Bélouard, Thierry (1) ; Vidal, Claude (2) ; Hervé, Jean-Christophe (2) ;  
Robert Nicolas (2)*

*(1) Inventaire forestier national, 62, rue de Laseppe, F-33000 Bordeaux,  
Thierry.Belouard@ifn.fr*

*(2) Inventaire forestier national, Château des Barres, F-45290 Nogent-sur-Vernisson*

### **Résumé**

L'Inventaire forestier national réalisait, jusqu'ici, des inventaires départementaux et périodiques sur un cycle moyen de 12 ans. Les statistiques forestières étaient localement précises mais la fiabilité se dégradait dès qu'on s'intéressait à des domaines supra-départementaux ou ne correspondant pas aux critères de stratification utilisés lors de l'échantillonnage. Pour répondre aux nouveaux besoins, il a été décidé de mettre en œuvre un inventaire annuel par sondage systématique. L'échantillon de base de ce nouvel inventaire peut être subdivisé plusieurs fois afin de constituer des sous-échantillons adaptés aux différentes opérations (photo-interprétation, reconnaissance et lever) et aux formations inventoriées (peupleraie, autre forêt, lande, haie, alignement). Cette méthode permet d'ajuster les coûts de mesure à la précision recherchée.

Ce nouvel inventaire permet la publication annuelle de statistiques nationales et interrégionales. Cinq années sont nécessaires pour obtenir des statistiques régionales. Un retour sur les placettes d'inventaire permet désormais d'évaluer les conséquences de grandes catastrophes. Enfin, le nouvel inventaire a nécessité une réorganisation du travail de l'établissement.

**Mots clés :** inventaire forestier, sondage systématique, sondage annuel, réseau statistique, statistique forestière, post-stratification

## *Abstract*

*National Forest Inventory conducted a forest inventory in each administrative unit called 'département' (NUTS 3) every 12 years. Thus the forest statistics was locally precise but it was not more the case for national or large area results and for area independent of the stratification of the sample. So, a new forest inventory with a systematic and annual sampling was designed and applied. The initial sample is divided several times in different sub-samples according to the phase (photointerpretation, field work), the type of vegetation (poplar stand, other forest, heath and moorland, hedge, tree row), the cost and the interest of the data.*

*Annual figures can be produced for France and large interregional areas. Five years are necessary for the regional level. The estimation of the consequences of catastrophic events can be produced by coming back on the last annual samples of plots. Finally, the organisation of the work has been strongly modified.*

*Key words: forest inventory, systematic sampling, annual sampling, statistic network, forest statistic, post-stratification.*

## **1. Pourquoi changer de méthode d'inventaire ?**

### **1.1. Des inventaires départementaux et périodiques de 1961 à 2004**

Depuis sa création en 1958, l'Inventaire forestier national a procédé à des inventaires départementaux avec une périodicité d'environ 12 ans (IFN, 1985). La méthode d'inventaire basée sur un échantillonnage stratifié de points n'a cessé de s'améliorer au fil des ans. Dans les années 80 en particulier, la méthode dite cartographique a été progressivement généralisée.

Dans cette méthode, la carte forestière constituait le premier niveau de stratification avec trois thèmes : région forestière (309 régions nationales), catégorie de propriété (domaniale, communale, privée) et type de formation végétale. Cette dernière couche était définie en tenant compte de différentes caractéristiques comme la couverture du sol (forêt, lande, pelouse d'altitude, autre), le régime sylvicole et la composition en essences et parfois de caractéristiques spécifiques comme l'essence principale, l'importance de la réserve dans les mélanges, la classe d'âge, etc. Cette carte permettait de définir 100 à 150 domaines d'étude statistique par département. Un échantillonnage stratifié à 2 phases était ensuite pratiqué dans ces domaines : d'abord une photo-interprétation d'un échantillon systématique de points sur photographies aériennes, puis des observations et mesures sur des placettes

circulaires centrées sur un sous-échantillon stratifié de points (reconnaissance des formations et lever).

Cette méthode permettait d'obtenir une estimation précise des surfaces forestières, des volumes sur pied dans les forêts de production et d'autres statistiques qui y sont corrélées (surface terrière, production, etc.). Ces statistiques étaient d'autant plus précises qu'elles concernent des domaines définis sur la base des critères de la stratification initiale : région forestière, propriété et type de formation végétale. Par ailleurs, cette méthode permettait une ventilation détaillée des résultats (structure forestière, essence, classe d'âge ou de dimension, etc.) sur ces domaines géographiques infra-départementaux.

## **1.2. De nouveaux besoins**

Progressivement toutefois, il s'est avéré que les inventaires départementaux et périodiques ne répondaient plus parfaitement à certaines attentes nouvelles des utilisateurs. Ces attentes ont en effet évolué au fil du temps :

les tempêtes de décembre 1999 et la canicule de 2003 ont révélé que cette méthode s'adaptait mal aux estimations des conséquences des phénomènes catastrophiques à grande échelle ;

le respect de certains engagements internationaux – évaluation des ressources forestières mondiales (FAO, 2005), indicateurs de gestion durable des forêts (Conférence interministérielle sur la protection des forêts en Europe, voir Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2006), stock et flux de carbone dans les forêts françaises dans le cadre de la convention sur le changement climatique et du protocole de Kyoto (IPCC, 1996, CITEPA, 2005) – nécessite des statistiques et des indicateurs nationaux ou régionaux tous les dix voire cinq ans qu'il est difficile d'établir de façon précise par une simple consolidation de résultats départementaux étalés sur douze ans ;

le rapprochement des statistiques IFN de celles d'autres réseaux statistiques ou d'observation de la forêt – réseau européen de suivi des dommages forestiers dit de niveau I (UNECE, 2004), enquête sur la couverture et l'utilisation du territoire du Service central des enquêtes et études statistiques du ministère chargé de l'agriculture et de la forêt (SCEES, 2005) – est d'autant plus aisé que ces différents réseaux d'observation ont adopté un sondage systématique comme l'ont fait également d'autres inventaires forestiers (États-Unis (McRoberts, 1999, Roesch & Reams, 1999), Suisse, Autriche...).

Une évolution de l'inventaire forestier était donc nécessaire.

## **2. Un échantillonnage systématique dans l'espace et dans le temps**

### **2.1. Un échantillonnage systématique dans l'espace**

L'échantillon de base – dit de niveau 0 – repose sur une grille systématique à maille carrée de 1 km de côté. Un sous-échantillon moitié moins grand (niveau 1) est constitué en ne

retenant qu'un point sur deux sur chaque ligne en quinconce : l'échantillon est toujours systématique à maille carrée mais celle-ci est désormais oblique et de 2 km<sup>2</sup> de surface. Cette technique de sous-échantillonnage est réitérée plusieurs fois (elle peut l'être indéfiniment en fait). L'échantillon de niveau n+1 est alors deux fois moins important que celui de niveau n et les réseaux à maille carrée de ces sous-échantillons systématiques et emboîtés sont successivement horizontaux puis obliques.

## 2.2. Un échantillonnage systématique dans le temps

La période de l'inventaire systématique a été fixée à dix ans. L'échantillon de base – et ses sous-échantillons successifs – ont donc été répartis en dix échantillons annuels. Tout d'abord, l'échantillon de base a été divisé en deux échantillons quinquennaux : le sous-échantillon de niveau 1 et son complémentaire. Chaque échantillon quinquennal est ensuite subdivisé en cinq échantillons annuels de la façon suivante : sur chaque ligne, les points sont successivement attribués aux échantillons 1 à 5. Il en est de même sur la ligne suivante mais avec un décalage de deux positions pour une raison géométrique (Figure 1).

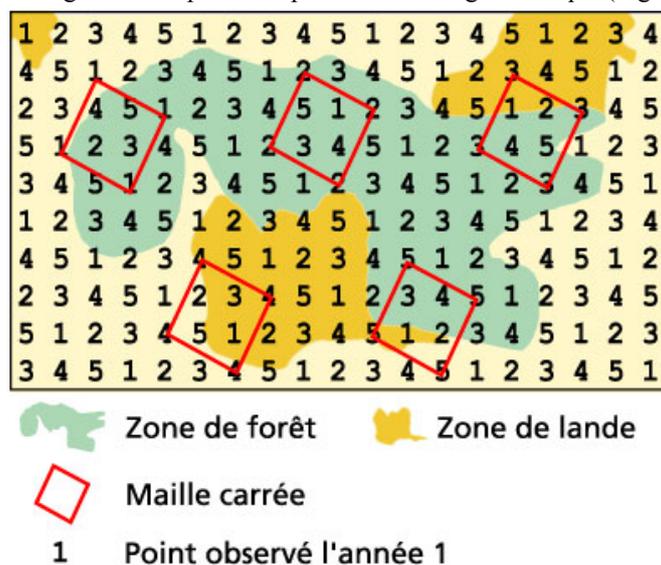


Figure 1. Echantillonnage systématique dans l'espace et dans le temps

Chaque échantillon annuel possède ainsi les mêmes propriétés que l'échantillon du cycle entier. En particulier, les échantillons annuels sont systématiques à maille carrée (surface de la maille de base : 10 km<sup>2</sup>). Chaque sous-échantillon systématique est représenté dans les mêmes proportions dans les échantillons annuels et dans l'échantillon global (diminution de moitié de la taille du sous-échantillon en augmentant d'un niveau). Ces propriétés sont mises à profit de manière à optimiser l'effort d'échantillonnage selon l'intérêt, la variabilité et le coût de la donnée : augmentation du niveau – par recours à un

sous-échantillonnage – avec le coût de la donnée et la diminution de son intérêt et de sa variabilité.

### 3. Mise en œuvre opérationnelle

#### 3.1. Photo-interprétation

Sur l'échantillon annuel de niveau 1 – un point pour 10 km<sup>2</sup> – reporté sur l'orthophotoplan de l'IGN (BD Ortho©), le photo-interprète distingue la forêt (forêt ouverte, forêt fermée, peupleraie) (Tableau 1, Figure 2) des autres couvertures (lande, autre végétation, terrain artificialisé sans végétation, terrain naturellement sans végétation, eau continentale). L'utilisation du sol (production de bois, récréation, habitat, agricole, autre) est notée lorsque sa détermination est possible.

Tableau 1. Modalité de la couverture du sol

Code	Libellé	Définition
<b>Forêt</b>		Arbres (taux de recouvrement absolu $\geq 10\%$ ) et végétaux non cultivés. Surface $\geq 5$ a (y compris enclaves de moins de 5 a) et largeur $\geq 20$ m
1	Forêt fermée	Arbres (taux de recouvrement absolu $\geq 40\%$ ) et végétaux non cultivés. Taux de recouvrement relatif des peupliers cultivés $< 75\%$ . Surface $\geq 5$ a (y compris enclaves de moins de 5 a) et largeur $\geq 20$ m
3	Forêt ouverte	Arbres ( $10\% \leq$ taux de recouvrement absolu $< 40\%$ ) et végétaux non cultivés. Taux de recouvrement relatif des peupliers cultivés $< 75\%$ . Surface $\geq 5$ a (y compris enclaves de moins de 5 a) et largeur $\geq 20$ m
5	Peupleraie	Arbres (taux de recouvrement absolu $\geq 10\%$ ) et végétaux non cultivés. Taux de recouvrement relatif des peupliers cultivés et rejets de peupliers cultivés $\geq 75\%$ . Surface $\geq 5$ a (y compris enclaves de moins de 5 a) et largeur $\geq 20$ m
<b>Non forêt</b>		
4	Lande	Végétaux non cultivés (ligneux ou autres) et arbres ( $0 \leq$ taux de recouvrement absolu des arbres $< 10\%$ ). Surface $\geq 5$ a (y compris enclaves de moins de 5 a) et largeur $\geq 20$ m
6	Autre végétation	Végétaux non ligneux cultivés, arbres fruitiers, arbres d'ornement, arbustes cultivés. Surface $\geq 5$ a (y compris enclaves de moins de 5 a) et largeur $\geq 20$ m
7	Terrain	Artificiel ou bâti. Surface $\geq 5$ a (y compris enclaves de

	artificialisé sans végétation	moins de 5 a) ou (largeur $\geq$ 5 m et longueur $\geq$ 25 m)
8	Terrain naturellement sans végétation	Glace ou roche ou sol nu. Surface $\geq$ 5 a (y compris enclaves de moins de 5 a) et largeur $\geq$ 20 m
9	Eau continentale	Eau douce ou saumâtre ou salée, courante ou stagnante. Surface $\geq$ 5 a (y compris enclaves de moins de 5 a) ou (largeur $\geq$ 5 m et longueur $\geq$ 25 m)

Du fait de leur faible étendue et de leur importance économique, les peupleraies font l'objet d'un sur-échantillonnage. Une grille (ou grappe) systématique à maille carrée de points (dont celui de l'échantillon de base) est appliquée en chaque point de l'échantillon annuel dans les zones identifiées comme populicoles. Ce zonage est établi sur la base de la localisation connue des peupleraies (anciens inventaires).

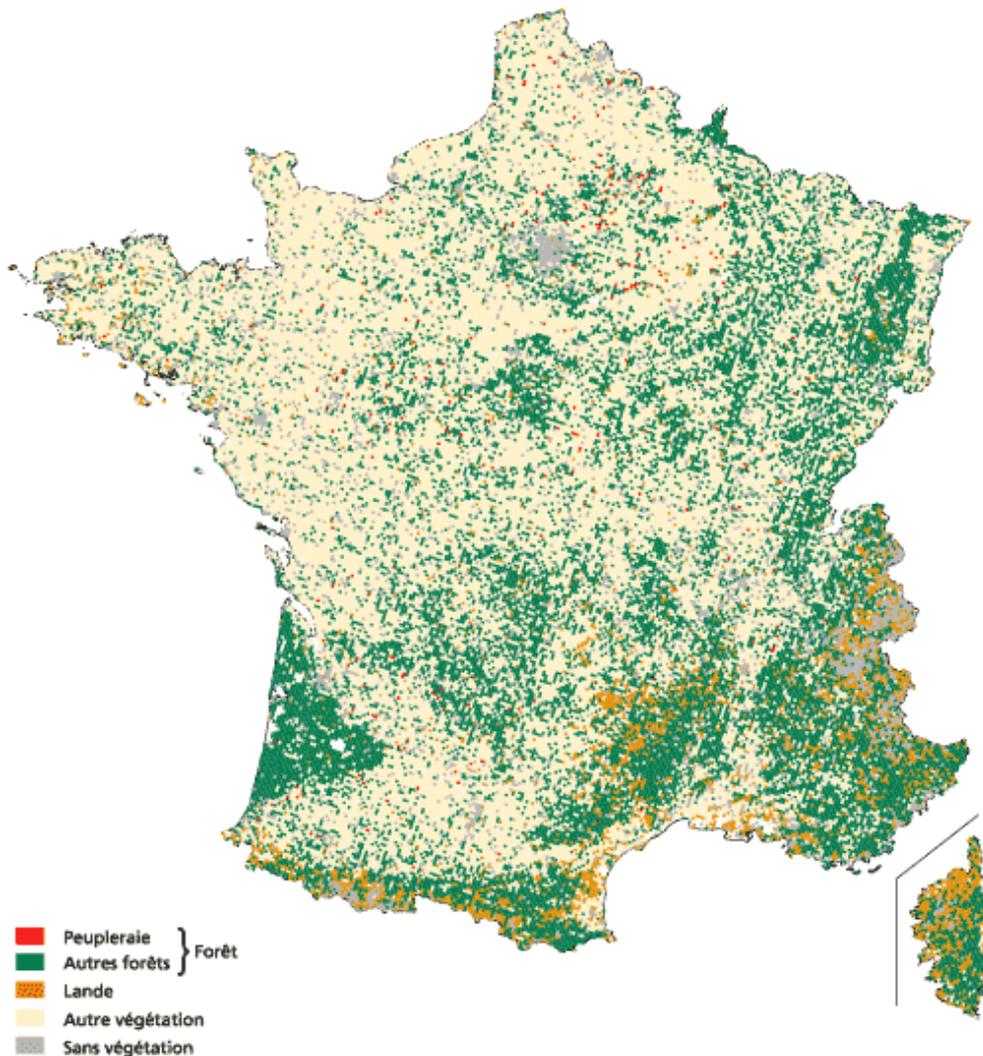


Figure 2. Photo-interprétation de l'échantillon de base de la campagne 2005

Les haies et alignements font de leur côté l'objet d'un inventaire par transects (Figure 3) bien adapté aux formations linéaires : comptage et détermination des formations interceptées (haie arborée, haie non arborée, alignement de peupliers, autre alignement) par des transects de 1 km de long, de direction aléatoire et centrés sur le point d'inventaire.



Figure 3. Inventaire des haies et des alignements par la méthode des transects

## 3.2. Levé en forêt

### 3.2.1. Un levé pour 2 000 hectares de forêt tous les ans

Dans le cas général, la moitié de l'échantillon photo-interprété comme « forêt » fait l'objet d'observations et de mesures sur le terrain (niveau 2) ce qui représente en moyenne une placette de levé pour 2 000 hectares de forêt tous les ans. Un levé comporte une description du peuplement sur une placette circulaire de 25 m de rayon (couverture et utilisation du sol, structure, couvert, conditions d'exploitation, etc.), des mesures d'arbres (circonférence à 1,30 m, hauteur totale, etc.) sur trois placettes circulaires et concentriques en fonction de la circonférence à 1,30 m de l'arbre (placettes de 6, 9 et 15 m de rayon pour les arbres dont la circonférence est respectivement supérieure à 23,5 cm, 70,5 cm et 117,5 cm), des observations écologiques (topographie, sol, humus...) et floristiques (espèces botaniques et leur recouvrement) sur la placette circulaire de 15 m (Figure 4). Les arbres recensables sont également caractérisés par leur essence, leur état de végétation, la forme de leur tige et de leur houppier. Des mesures plus complètes sur les arbres (plusieurs couples hauteur-diamètre) sont réalisées un levé sur quatre (niveau 4) afin de construire des tarifs de cubage utilisés ensuite pour l'estimation des volumes des arbres des autres placettes.

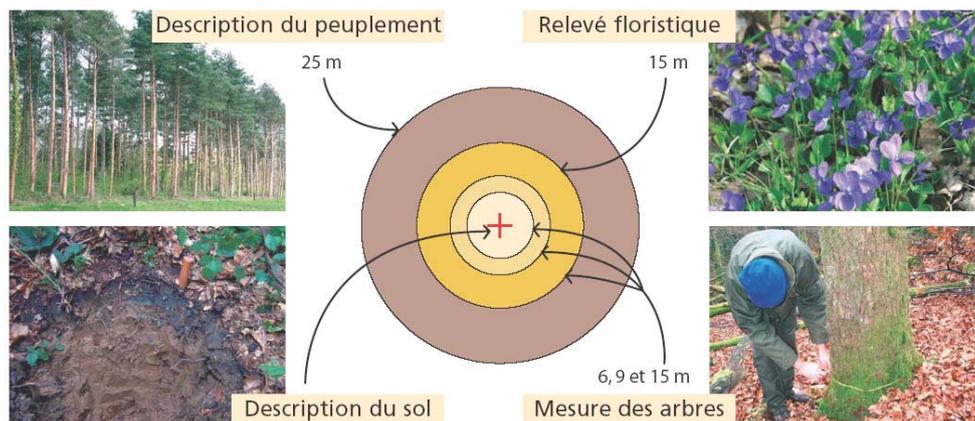


Figure 4. Observations et mesures en forêt de production

### 3.2.2. Sous-échantillonnage des forêts homogènes ou peu exploitées

La densité de sondage est adaptée dans quelques cas particuliers. La pinède du Massif des Landes de Gascogne est échantillonnée au niveau 3 – un levé pour 4 000 ha de forêt tous les ans – car sa grande homogénéité permet des résultats précis, même avec un échantillon de moindre importance. Les forêts peu exploitées (garrigues, maquis et yeuseraies dans le Sud-Est, chênaies pubescentes dans le Sud), sont sous-échantillonnées au même niveau car leur intérêt économique est moindre.

### 3.2.3. Sur-échantillonnage des peupleraies

La moitié des grappes de points peupleraie est levée (niveau 2). Les protocoles pour les peupleraies sont adaptés car il s'agit de plantation à grand espacement et de densité constante (pas d'éclaircies). Les placettes de mesure des arbres sont définies à partir des emplacements de plantation. Par ailleurs, il n'est pas effectué de relevé floristique car les espèces botaniques sont sensiblement différentes de celles rencontrées en forêt (espèces des milieux humides et agricoles).

## 3.3. Levés des landes et des autres formations arborées

Les landes sont observées au niveau 3 soit une placette pour 4 000 hectares tous les ans en moyenne. Les landes sont caractérisées par la couverture des espèces ligneuses et le type de sol.

Les haies et les alignements sont reconnus au niveau 3 puis décrits au niveau 4 : environnement (couverture du sol de part et d'autre de la formation linéaire), composition en espèces ligneuses, hauteur, couvert, perméabilité, etc. Les arbres sont mesurés au niveau 5 afin d'estimer le volume de cette ressource.

### **3.4. Calcul des résultats avec post-stratification**

Afin d'améliorer la précision statistique des résultats, la carte forestière est utilisée pour réaliser une post-stratification. Le département, la catégorie de propriété (domaniale, communale, privée) et le type de formation végétale définissent le domaine élémentaire pour les calculs d'inventaire.

Le nombre de campagnes nécessaires pour obtenir des résultats fiables diminue avec la surface forestière de la zone et augmente avec la variabilité de la grandeur statistique au sein de celle-ci. Ainsi, il est possible d'établir tous les ans des statistiques pour la France entière ainsi que pour cinq grands ensembles interrégionaux (IFN, 2006). Pour des résultats par région administrative, les données de cinq campagnes annuelles seront nécessaires et davantage encore pour des résultats infrarégionaux.

## **4. Avantage et limites de la nouvelle méthode**

### **4.1. Résultats d'inventaire**

Contrairement à l'ancienne méthode, l'inventaire systématique permet de facto l'estimation annuelle sur de grands domaines. Il permet également une évaluation plus précise des conséquences d'événements de grande ampleur tels que tempêtes, sécheresses, canicules ou incendies : il suffit de retourner sur les placettes d'un ou plusieurs échantillons annuels en fonction de l'importance de la zone touchée (placettes remesurées) et de relever les changements (chablis, dépérissement, etc.). Par ailleurs, les statistiques pour un domaine géographique quelconque (circonscription administrative, parc naturel...) sont plus précises qu'auparavant. En effet, l'estimateur du sondage systématique s'applique indifféremment à tout domaine géographique, y compris a posteriori, contrairement à l'ancienne méthode.

L'appariement avec d'autres réseaux statistiques systématiques est facilité, notamment si les différents réseaux possèdent des variables communes. Les définitions de la forêt de l'enquête TerUti-Lucas et de l'IFN sont harmonisées par exemple.

La nouvelle méthode permet d'ajouter des données à un niveau adapté en fonction du coût et de l'intérêt de celles-ci. Il est par exemple possible de rajouter des mesures concernant le bois mort ou des observations relatives à la santé des forêts (mortalité des branches par exemple).

Enfin, comme la stratégie d'échantillonnage est nationale et harmonisée, le risque de données manquantes est nettement limité et les hétérogénéités interdépartementales gommées.

### **4.2. Organisation du travail au sein de l'établissement**

Le changement d'un niveau permet, par construction, de diviser ou multiplier par deux l'échantillon et par conséquent la charge de travail ; les possibilités de modulation des taux de sondage sont donc réduites a priori. Cette difficulté peut toutefois être contournée par l'utilisation de zonage avec des taux de sondage différenciés.

Le rythme annuel de l'inventaire impose une planification rigoureuse des opérations à tous les niveaux (photo-interprétation ponctuelle, lever, contrôle).

Avec l'ancienne méthode, les équipes de terrain travaillaient simultanément dans le même département. Désormais, elles sont dispersées en permanence sur l'ensemble du territoire ce qui rend leur encadrement plus difficile. Alors que le risque de dérive se situait auparavant au niveau de l'échelon interrégional, il se situe désormais davantage au niveau de l'équipe qui se trouve plus isolée. Un contrôle rigoureux de la qualité des levés est donc impératif.

Chaque équipe travaille sur un secteur de trois à cinq départements contre une vingtaine auparavant. Globalement, les déplacements sont tout de même plus importants car les distances entre les placettes de lever sont plus grandes.

## Conclusion

L'inventaire départemental périodique s'appuyait sur un échantillonnage fortement stratifié qui trouvait sa justification dans la grande hétérogénéité des forêts françaises. Il permettait ainsi de produire des statistiques précises localement à un instant donné. Cette force était toutefois contrecarrée par des faiblesses auxquelles remédie le sondage systématique et annuel : estimation récente pour de grands domaines ou des domaines quelconques, couplage facilité avec d'autres réseaux statistiques. Dans la nouvelle méthode, le fait que l'échantillonnage soit annuel est une évolution au moins aussi forte que le fait qu'il soit systématique.

## Références bibliographiques

CITEPA (Centre interprofessionnel technique d'étude de la pollution atmosphérique). Inventaire des émissions de gaz à effet de serre en France au titre de la Convention cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques [en ligne], 2005. <http://www.citepa.org/publications/Inventaires.htm#inv4> (page consultée le 20/10/2006)

Food and Agriculture Organization of the United Nations. Global Forest Resources Assessment 2005 [en ligne], 2005. <http://www.fao.org/docrep/008/a0400e/a0400e00.htm> (page consultée le 20/10/2006).

Intergovernmental Panel on Climate Change [en ligne], 1996. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.htm> (page consultée le 20/10/2006).

Inventaire forestier national, 1985. *But et méthodes de l'inventaire forestier national*, Paris, 80 p.

Inventaire forestier national, 2006. *La forêt française. Les résultats de la campagne de levés 2005*, IFN, 113 p.

Inventaire forestier national. La forêt française en 2005. Résultats de la première campagne nationale annuelle [en ligne], 2006. [http://www.ifn.fr/spip/article.php?id\\_article=396](http://www.ifn.fr/spip/article.php?id_article=396) (page consultée le 18/10/2006).

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2006. *Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises 2005*, Paris, 148 p.

- McRoberts, R.E. 1999. Joint annual forest inventory and monitoring system, *Journal of Forestry*, 97(12), p. 27–31.
- Roesch, F.A.; Reams, G.A. 1999. Analytical alternatives for an annual inventory system, *Journal of Forestry*, 97(12), p. 33-37
- SCEES (Service central des enquêtes et études statistiques), 2005. *L'utilisation du territoire en 2004 - nouvelle série 1992 à 2004*, SCEES, 83 p.
- United Nations, Economic Commission for Europe, 2004. *The Condition of Forests in Europe, 2004 Executive Report*, Genève, UNECE, 51 p.
- Vidal C., Bélouard T., Hervé J.-C., Robert N., Wolsack J., 2005. A new flexible forest inventory in France in McRoberts, R.E., Reams, G.A. *et al*, *Proceedings of the 8th Annual Forest Inventory and Analysis Symposium*, Portland, ME, pp. 67-73.

## **Session 3. Nouveaux besoins en matière de suivi à long terme des forêts**



# Suivre la biodiversité en forêt : pourquoi ? Quoi ? Comment ?

*Monitoring forest biodiversity: why? What? How?*

*Gosselin, Frédéric (1), Archaux, Frédéric (1), Gosselin, Marion (1)*

*(1) Cemagref, Domaine des Barres, 45 290 Nogent-sur-Vernisson,  
[frederic.gosselin@cemagref.fr](mailto:frederic.gosselin@cemagref.fr)*

## Résumé

Nous abordons ici principalement les deux questions suivantes, auxquelles nous apportons des éléments de réponse :

- pourquoi suivre la biodiversité en forêt ? Deux raisons principales : (1) la gestion forestière exerce des pressions uniques sur la biodiversité et (2) la biodiversité en forêt est pour partie propre à ce milieu ;
- que suivre en forêt et comment ? Nous militons pour vérifier la qualité des indicateurs actuellement utilisés et pour réfléchir au suivi temporel d'espèces forestières.

Mots-clés : suivi, indicateurs, espèces, écologie, gestion forestière.

## Abstract

*We here deal with the two following questions:*

- *why should forest biodiversity be monitored? Mainly because forest management induces specific pressures on biodiversity, and because forest biodiversity is partly composed of species that re mainly present in forests;*
- *what should be monitored and how? We here propose that the quality of presently used biodiversity indicators be checked, and that a specific reflection should be done on the monitoring of species in forests.*

*Keywords: monitoring, indicators, species, ecology, forest management*

# Introduction

La gestion forestière s'est ouverte progressivement à la fin du 20<sup>ème</sup> siècle à de nouvelles demandes de la société (Badré et Décamps, 2005). Cette évolution est associée à une nouvelle vision des écosystèmes forestiers – perçus comme plus fragiles qu'on ne le pensait auparavant (Badré et Décamps, 2005) – et à de nouvelles valeurs relatives à la place de l'homme dans la nature (Barthod, 2005).

Présente dans les discours des forestiers et de leurs détracteurs, la biodiversité est une des nouvelles dimensions prises en compte pour qualifier le bon ou le mauvais "état écologique" des écosystèmes forestiers. Elle apparaît notamment au niveau européen comme un des six critères de gestion durable des forêts<sup>1</sup>, critères issus des réflexions qui ont suivi en Europe la conférence internationale de Rio de 1992. Elle fait donc l'objet de « suivis » à différentes échelles et à travers différents types d'indicateurs. Il est nécessaire de prendre du recul sur ces suivis et critères : n'ont-ils pas davantage été mis en place parce qu'il fallait combler un vide et faire consensus à un moindre coût que pour réellement évaluer l'état de la biodiversité dans nos forêts et l'efficacité de la gestion forestière pratiquée pour maintenir ou développer la biodiversité ?

Nous pensons notamment que trois points n'ont pas été assez développés ou éclaircis : (1) les raisons de préserver la biodiversité forestière ; (2) les pans de biodiversité qu'il serait pertinent de suivre ; et (3) les modalités du suivi et la qualité des données.

## 1. Pourquoi préserver la biodiversité forestière ?

Echo de la variété des définitions de la biodiversité, un certain flou règne quant aux valeurs sous-jacentes à la notion de biodiversité. Le terme « biodiversité » regroupe parfois l'ensemble du vivant et des processus associés, y compris les processus abiotiques ; il est alors synonyme de "biosphère", de règne du vivant ou d'écologie. Une dichotomie majeure sur les valeurs relatives à la biodiversité a vu le jour ces dernières années : elle oppose une vision utilitariste, à travers la notion de « services écosystémiques » rendus par la biodiversité, à une vision "éthique" et patrimoniale de la biodiversité (préservation de la biodiversité pour la valeur non-utilitaire qu'on lui accorde). Cette dichotomie se retrouve clairement dans les processus internationaux et dans les discours, notamment des décideurs.

Pour plusieurs raisons (Simberloff, 1999, Schwartz *et al.*, 2000, Gosselin & Gosselin, en préparation.), nous pensons que la seconde vision est préférable. Si l'objectif principal est d'assurer des « services écosystémiques » de qualité, il est en effet nécessaire de prendre en compte d'autres quantités que la diversité du vivant. Des écosystèmes artificialisés et simplifiés peuvent ainsi tout à fait rendre des services écosystémiques de qualité<sup>2</sup>. A l'inverse, si l'un des objectifs majeurs est d'enrayer la formidable homogénéisation des

---

<sup>1</sup> [http://www.mcpfe.org/publications/pdf/improved\\_indicators.pdf](http://www.mcpfe.org/publications/pdf/improved_indicators.pdf)

<sup>2</sup> Les boisements RTM participent à la lutte contre l'érosion, les inondations et à la fourniture de bois ; dans ce cas, c'est « simplement » le rétablissement d'un couvert arboré qui a rendu ces services.

espaces et des espèces et la perte d'espèces à un rythme accéléré, il nous semble préférable de travailler en direct sur ces quantités.

Dans la suite de ce texte, nous retenons donc une vision éthique et patrimoniale de la biodiversité et la définition de biodiversité de la convention sur la diversité biologique (2003) (Hamilton, 2005) : *"la biodiversité signifie la variabilité entre les êtres vivants, provenant de différentes sources (...), et les complexes écologiques dont ils font partie ; elle comprend la diversité intra-spécifique, la diversité interspécifique et la diversité d'écosystèmes"*. En suivant cette définition, préserver la biodiversité signifie « maintenir cette variabilité à un niveau correct » ; déterminer ce niveau est une autre question, mais on peut prendre en référence le niveau actuel de diversité – pour ce qu'on en connaît – ainsi que le rythme d'extinction naturel des espèces – pour la partie interspécifique de la biodiversité (Pimm, 2002).

## **2. Faut-il des suivis de biodiversité spécifiques à la forêt ?**

Les stratégies adoptées au niveau international (Convention sur la Diversité Biologique) aussi bien que national (Stratégie Nationale Biodiversité) combinent des approches générales, multi-secteurs, et des approches par secteur d'activité – en particulier pour les activités qui ont le plus d'impact sur les écosystèmes naturels ou anthropisés. La foresterie pouvant avoir un fort impact sur le milieu, un premier suivi de la biodiversité forestière s'est donc organisé autour d'indicateurs :

- au niveau européen à travers la série de Conférences Ministérielles pour la Protection des Forêts en Europe (CMPFE ou MCPFE en anglais) et sa stratégie de gestion durable,
- et au niveau français par l'évaluation tous les cinq ans d'indicateurs de gestion durable (ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2000).

Cette approche sectorielle est d'autant plus justifiée que :

- en termes de gestion, de politiques, des actions « essentiellement forestières » sont envisageables (politiques de choix des essences et de leurs provenances, du bois mort, du bois énergie, ...)
- en termes de biodiversité, il existe des groupes taxinomiques ou écologiques essentiellement forestiers (Gosselin et Gosselin, en préparation).

La réponse à la question « Faut-il des suivis de biodiversité spécifiques à la forêt ? » nous semble donc être "oui", sous deux conditions essentielles :

- l'articulation avec les suivis de biodiversité plus généralistes doit être bien pensée en termes de qualité des données, de variables écologiques renseignées, de lien institutionnel – de façon par exemple à pouvoir faire des analyses communes sur la réponse de la biodiversité de différents milieux à des pressions non uniquement forestières (fragmentation, changement climatique...)

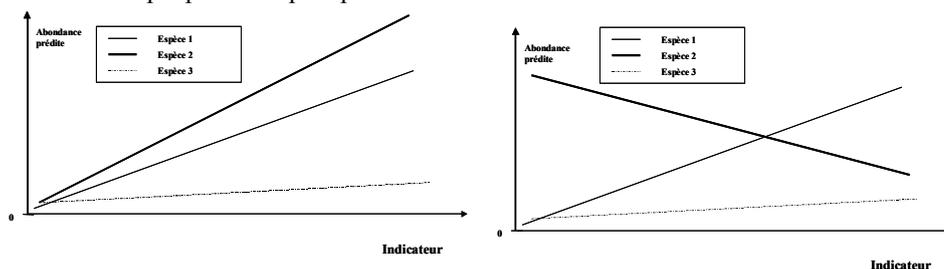
- le choix de ce qui est suivi doit être bien réfléchi. C'est ce que nous développons ci-après.

### 3. Quelle biodiversité forestière suivre et comment ?

La notion de biodiversité est extrêmement vaste, des choix sont donc nécessaires : on ne peut suivre que "des pans" de biodiversité et c'est normal, mais l'essentiel est que les choix des compartiments suivis soient bien raisonnés.

Pour l'instant, les choix d'indicateurs dans le secteur forestier – MCPFE, Eco-Certification, Indicateurs Nationaux – ont été orientés par l'utilisation des données dendrométriques et écologiques des inventaires forestiers nationaux<sup>3</sup>. On ne sait néanmoins pas très bien ce que représentent ces indicateurs dendro-écologiques car les points suivants ne sont le plus souvent pas précisés :

- les groupes taxinomiques et écologiques influencés par l'indicateur : par exemple, quels sont les groupes taxinomiques favorisés par le mélange d'essences (indicateur 4.1 du MCPFE) ?
- les conditions écologiques de validité de l'indicateur : par exemple, dans le cas de l'indicateur 4.1, le mélange d'essences a-t-il le même effet sur tous les types de stations et pour tous les types de mélanges ?
- la force, la significativité, et la constance du lien entre l'indicateur et tel ou tel compartiment de biodiversité ; les mécanismes sous-jacents ;
- la forme de la relation entre l'indicateur et la biodiversité : un indicateur est-il à interpréter en moyenne, en variance (Bergès *et al.*, 2002), voire en équité (Figure 1) ? Dans le cas de l'indicateur 4.1, cela reviendrait à savoir s'il faut privilégier des peuplements les plus mélangés partout ou s'il faut promouvoir pour partie des peuplements mélangés et pour partie des peuplements plus purs.



<sup>3</sup> [http://www.mcpfe.org/publications/pdf/improved\\_indicators.pdf](http://www.mcpfe.org/publications/pdf/improved_indicators.pdf)

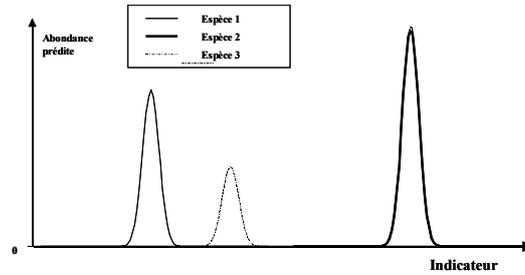


Figure 1. Formes théoriques de réponse d'espèces à un indicateur. Dans le premier cas, on cherchera à augmenter l'indicateur en moyenne, dans le second en variance – on recherche les extrêmes –, et dans le troisième en équitabilité – on recherche les valeurs extrêmes et intermédiaires de l'indicateur.

Tout cela est bien entendu en interaction avec les objectifs qu'on s'assigne : si on met l'accent sur les espèces forestières « d'intérieur », on pourrait rechercher des paysages peu fragmentés et donc des tailles de coupe assez grandes et agrégées dans l'espace et le temps ; à l'inverse, si l'on souhaite promouvoir une bonne partie des espèces de gibier, on privilégierait la quantité de lisières et la fragmentation du paysage (Wallin *et al.*, 1994) ; si l'on souhaite privilégier les deux, il faut veiller à l'existence de paysages fragmentés et de paysages peu fragmentés – donc une évaluation des indicateurs « quantité de lisière » et « degré de fragmentation » en variance ou en équitabilité et non plus en moyenne. Ce type de raisonnement peut être appliqué pour au moins une moitié des indicateurs européens ou français.

Parallèlement à la nécessaire réflexion sur le caractère indicateur des indicateurs existants, il nous semble important de réfléchir aussi à l'opportunité du suivi d'espèces en forêt, et notamment d'espèces communes, à la manière du Suivi Temporel des Oiseaux Communs (STOC) effectué par le MNHN<sup>4</sup>. En effet, l'information obtenue grâce à des suivis d'espèces permet de mieux caractériser l'état d'une partie de la biodiversité, tel qu'il résulte de toutes les pressions pesant sur ces espèces, et pas uniquement des indicateurs indirects. De plus, on ne sait pas bien si la relation entre indicateurs de biodiversité et biodiversité est constante dans le temps, surtout dans le contexte actuel de changement global.

Les suivis d'espèces actuellement conduits ne sont probablement pas les meilleurs dans le cas de la forêt : en effet, les groupes taxonomiques les plus sensibles à différents choix de gestion et notamment à la distinction entre forêt naturelle et forêt exploitée (mousses, insectes saproxyliques (Gosselin, 2004) et champignons lignicoles) ne sont suivis ni à l'échelle nationale ni à l'échelle européenne. Ce sont pourtant ces mêmes groupes taxonomiques qui contiennent apparemment, en proportion et en nombre absolu, beaucoup d'espèces menacées (Gosselin et Gosselin, en préparation), davantage que les groupes qui font déjà l'objet de suivis (flore vasculaire à l'IFN, oiseaux au MNHN, etc.). La prise en compte d'indicateurs comme la quantité de bois mort (analysée finement et relevée dans son

<sup>4</sup> <http://www.mnhn.fr/mnhn/crbpo/>

intégralité, alors que l'IFN ne relève actuellement dans ses inventaires que les arbres morts depuis moins de 5 ans) et la quantité de forêts non perturbées par l'homme permettent d'appréhender en partie les pressions pesant sur ces taxons. Il reste à évaluer la qualité de ces indicateurs par rapport à d'autres, dans différentes conditions écologiques et à différentes échelles.

Nous proposons donc de réfléchir plus à fond à l'instauration de suivis d'espèces, sur des groupes comme les mousses, les insectes saproxyliques ou les champignons, ainsi qu'à leur articulation avec des dispositifs de suivis écologiques plus généraux (placettes IFN notamment). Si de tels suivis devaient être mis en place, il faudrait au préalable développer une argumentation claire sur les objectifs poursuivis en lien avec le ou les groupes choisis, les méthodes d'analyses prévues, ainsi que le plan d'échantillonnage prévu – incluant une réflexion sur l'optimisation du plan d'échantillonnage et du protocole (Figure 2). D'autres points essentiels à évaluer sont la faisabilité de tels suivis (coût, disponibilité de personnes compétentes), la qualité des données récoltées (effets observateurs, variabilité inter-annuelle...).

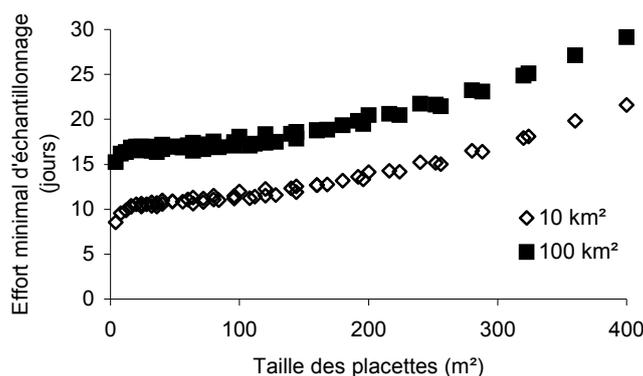


Figure 2. Relation entre l'effort minimal d'échantillonnage (EME, en jours) et la taille des placettes pour détecter un changement de richesse spécifique de la flore de 20 % sur une période de 5 ans (avec  $\alpha = \beta = 0,05$  et une fois prise en compte la relation entre l'autocorrélation temporelle de la richesse spécifique et la taille des placettes). Deux surfaces d'inventaires sont considérées (10 et 100 km<sup>2</sup>).

## Conclusion

Même si des suivis de biodiversité existent, soit à partir d'indicateurs dendro-écologiques, soit à partir de suivis d'espèces (flore vasculaire et oiseaux), des efforts restent à faire pour compléter les dispositifs existants :

- en jugeant mieux le caractère indicateur des indicateurs indirects ;
- en réfléchissant au suivi du bois mort dans son ensemble et au suivi d'autres groupes taxinomiques, davantage liés à des éléments tronqués par la gestion

courante (bois mort et autres microhabitats, stades jeunes non perturbés, forêts non perturbées depuis longtemps...).

Éluder ce travail supplémentaire, et nous nous retrouverions dans quelques décennies comme un GIECC (Groupement international d'experts sur le changement climatique) ne disposant pas des données climatiques collectées à travers le globe depuis des décennies. On peut certes appréhender la demande de biodiversité comme une demande sociale temporaire, à laquelle on peut répondre par des outils temporaires faisant (temporairement) consensus. Nous pensons au contraire que cette demande, même si son intérêt fluctue dans le temps, doit nous amener à réfléchir à la qualité et aux limites de notre action dans les écosystèmes, pour le bien-être de l'humanité.

## Références bibliographiques:

- Badré M. et Décamps H., 2005. Michel Badré : la forêt au rythme des sciences et de la société, *Natures Sciences Sociétés*, 13, p. 428-436.
- Barthod C., 2005. *L'homme, la nature et la forêt : les grands débats d'idées en cours*, .
- Bergès L., Gosselin M., Gosselin F., Dumas Y. et Laroussinie O., 2002. Prise en compte de la biodiversité dans la gestion forestière : éléments de méthode, *Ingénieries - EAT*, n° spécial, p. 45-55.
- Gosselin F., 2004. Imiter la nature, hâter son œuvre ? Quelques réflexions sur les éléments et stades tronqués par la sylviculture, in Gosselin M. et Laroussinie O. (Eds), *Gestion Forestière et Biodiversité : connaître pour préserver - synthèse bibliographique*, Antony, Coédition GIP Ecofor – Cemagref Editions, p. 217-256.
- Hamilton A.J., 2005. Species diversity or biodiversity?, *Journal of Environmental Management*, 75, 1, p. 89-92.
- Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2000. *Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises*, Paris, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, DERF, 129p.
- Pimm S.L., 2002. The dodo went extinct (and other ecological myths), *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 89, 2, p. 190-198.
- Schwartz M.W., Brigham C.A., Hoeksema J.D., Lyons K.G., Mills M.H. et vanMantgem P.J., 2000. Linking biodiversity to ecosystem function: implications for conservation ecology, *Oecologia*, 122, 3, p. 297-305.
- Simberloff D., 1999. The role of science in the preservation of forest biodiversity, *Forest Ecology and Management*, 115, 2-3, p. 101-111.
- Wallin D.O., Swanson F.J. et Marks B., 1994. Landscape pattern response to changes in pattern generation rules: land-use legacies in forestry, *Ecological Applications*, 4, p. 569-580



# ***Les chemins de l'information forestière revisité*** Résultats d'une enquête rapide sur la situation en 2005 comparée à celle de 2000

*The updating of the cd-rom Les chemins de l'information  
forestière (Paths to the forest information):*

*Results of a short survey on the 2005 situation compared with that of 2000*

*Landeau, Sandrine (1) et Landmann, Guy (2)*

*(1) ECOFOR, c/o INRA, UMR EEF, 54280 Champenoux, [landeau@gip-ecofor.org](mailto:landeau@gip-ecofor.org)*

*(2) ECOFOR, 6 rue du Général Clergerie, 75116 Paris, [landmann@gip-ecofor.org](mailto:landmann@gip-ecofor.org)*

## **Résumé**

Début 2005, une enquête rapide auprès des responsables de dispositifs d'observation des écosystèmes forestiers a permis de compiler 26 fiches nouvelles ou actualisées, premier jalon vers une mise à jour du contenu et de la forme du cd-rom « *Les chemins de l'information forestière* » édité par ECOFOR en 2001 pour améliorer l'accès de tous aux sources d'information sur la forêt.

Mots clés : forêt, information, réseau, dispositif, observation, catalogue

## **Abstract**

*At the beginning of the year 2005, an inquiry among the networks managers made it possible to partially update the cd-rom "Les chemins de l'information forestière", published in 2001 by ECOFOR with the aim to facilitate the access to forest information: 26 new or updated forms were compiled.*

*Keywords: forest, information, network, observation, catalogue*

Le CD-rom *Les chemins de l'information forestière*<sup>1</sup>, publié en 2001 par ECOFOR, est le résultat d'un travail d'enquête auprès des responsables de dispositifs d'observation de la forêt en 2000. Il présente, regroupés par thèmes (dont l'identité et la délimitation ne sont pas évidentes dans le détail), près de 70 dispositifs (sites, réseaux d'essais, bases de données, observatoires régionaux,...) fournissant des données ou informations sur la forêt :

- Certains de ces dispositifs ont avant tout un objectif statistique et visent à générer une information de base sur la forêt et ses acteurs : quelles sont les ressources disponibles ? qui les possède ? comment sont-elles gérées ? quels sont les acteurs qui interviennent en forêt ? comment sont organisées les filières socio-économiques ? etc.
- D'autres s'intéressent prioritairement à la santé des forêts : il s'agit de suivre la santé et la vitalité des forêts afin de poser un diagnostic pertinent et de mettre en œuvre le cas échéant des mesures adaptées.
- D'autres s'intéressent spécifiquement à certains aléas et risques : il s'agit de suivre la fréquence et les conséquences des avalanches, tempêtes, incendies, sécheresse.
- Certains sont plus orientés vers le fonctionnement des écosystèmes forestiers et leur gestion, avec une approche recherche ou développement. Ils visent la compréhension du fonctionnement des écosystèmes forestiers, l'analyse des interactions entre la forêt et son environnement, le développement de scénarios de l'évolution future des écosystèmes forestiers.
- D'autres enfin concernent en premier lieu la connaissance et la conservation du patrimoine naturel : ils participent à la politique de protection, de gestion ou de restauration des éléments remarquables du patrimoine naturel.

Tous ces dispositifs sont présentés dans les « *Chemins de l'information forestière* » par une fiche signalétique relativement standardisée (nom, objectifs, responsable, financements, date de création...) accompagnée de compléments plus détaillés (protocoles, résultats, références bibliographiques...) fournis par les responsables. L'objectif de ce premier recensement était de fournir à tous ceux qui ont à gérer, connaître ou étudier la forêt un outil susceptible d'améliorer l'accès aux sources d'information sur la forêt.

Quatre ans après cet état des lieux, une mise à jour partielle des « *Chemins de l'information forestière* » a été lancée à l'occasion de la préparation du séminaire « *De l'observation des écosystèmes forestiers à l'information sur la forêt* ». L'objectif était de proposer aux gestionnaires de réseaux soit d'actualiser leur fiche si leur dispositif était déjà recensé dans le cd-rom, soit, dans le cas contraire, de créer une fiche de présentation. Ce travail posait par ailleurs un jalon sur le chemin d'un projet plus ambitieux de mise à jour des *Chemins de l'information forestière*<sup>2</sup>. Au total, 26 fiches nouvelles ou actualisées (Tableau 1.) résultent de cet appel à contribution lancé dans un délai très court avant la séminaire : le taux de réponse important a confirmé l'intérêt de la communauté concernée pour une démarche qui, entre autres intérêts, accroît la visibilité de leur travail.

---

<sup>1</sup> Fort C., Bergonzini J.-C., 2001. *Les chemins de l'information forestière*, Paris, ECOFOR, CD-rom.

<sup>2</sup> Ce projet est aujourd'hui en phase de discussion et prend la forme d'un *Catalogue des sources d'information sur la forêt*. Voir la présentation de ce projet sur [www.gip-ecofor.org](http://www.gip-ecofor.org).

A l'examen de ces fiches nouvelles ou actualisées, on note quelques grandes tendances :

- Certains dispositifs déjà répertoriés dans le cd-rom ont fait peau neuve : l'IFN a modifié son plan d'échantillonnage, l'enquête Teruti du SCEES a cédé la place à Teruti-Lucas, une base de données nationale sur les incendies a été mise en place et est gérée par l'IFN.
- De nouveaux réseaux ont été mis en place : divers dispositifs post-tempête gérés par l'ENGREF et l'ONF, un dispositif sur le suivi des impacts des incendies est coordonné par le Cemagref, des dispositifs consacrés à l'impact des changements climatiques sont installés, des observatoires institutionnels ont été créés (GIS OFORA et GIS INFOSOL)...
- D'autres sont en phase d'installation (réseau des arboretums, des observations phénologiques) ou en recherche de nouveaux partenariats (bassins versants forestiers des Vosges).

Tableau 1. Liste des fiches nouvelles ou actualisées en 2005. Les réseaux nouveaux ou ayant vécu une modification importante figurent en gras

	Nom	Responsable 2005
<b>Statistiques Forestières</b>	<b>IFN</b>	Claude VIDAL
	<b>TERUTI SCEES</b>	Michel-Paul MOREL
<b>Bases phytoécologique</b>	SOPHY	Henry BRISSE
	EcoPlant	Jean-Claude GEGOUT
<b>Santé et évolution des forêts</b>	Réseau européen de suivi des dommages forestiers	Jean-luc FLOT
	Réseau de suivi phytosanitaire des forêts	Jean-luc FLOT
	Observatoire de la Hardt	Cécile DUBOIS
	<b>Observatoire dynamique forestière post tempête</b>	Eric LACOMBE
	<b>Observation des peuplements mités par les tempêtes</b>	Eric LACOMBE
	<b>Limite pin d'Alep - pin sylvestre</b>	Michel VENNETIER
	<b>Réseau pin d'Alep – bilan hydrique</b>	Michel VENNETIER
<b>Incendies</b>	<b>OFORA</b>	Jean-Michel CARNUS
	<b>Données nationales feux de forêt</b>	Jean-Pierre RENAUD
	<b>Suivi de l'impact de la répétition des incendies sur la biodiversité et les sols</b>	Michel VENNETIER
<b>Croissance et</b>	GIS Coopérative des données	Max BEDENEAU

<b>gestion des peuplements</b>	Réseau et sites expérimentaux du Cemagref	Thomas CURT, Michel DENIS, Christian GINISTY, Benoît COURBAUD, Frédéric GOSSELIN, Emmanuelle RICHARD, Laurent BERGES, Antoine GAMA, Philippe BALANDIER
<b>Fonctionnement des écosystèmes</b>	RENECOFOR	Erwin Ulrich
	<b>F-ORE-T</b>	Guy Landmann
<b>Bassins Versants</b>	<b>Site-atelier Bassins versants vosgiens acides</b>	Etienne Dambrine
	Bassin versant du Strengbach (OHGE)	Marie-Claire PIERRET
<b>Sélection et amélio génétique</b>	Réseau amélio Cemagref	Bernard HEOIS
	Réseau expérimental génome INRA	Catherine BASTIEN
<b>Gestion et fonctionnement (gestion)</b>	Réseau d'essais de l'AFOCEL	Alain BOUVET
	<b>Pôle forêt privée</b>	Eric PAILLASSA
<b>Surveillance et conservation du milieu naturel</b>	Réseau d'Arboretums	Stéphanie BRACHET

Ces évolutions montrent que le secteur du suivi et de l'observation des forêts connaît des évolutions rapides, notamment du fait d'une demande croissante de données et d'information solides pour appuyer les recherches, la définition de plans de gestion ou de politiques publiques. Ce tableau partiel ne rend évidemment pas compte de l'ensemble des évolutions ; certains réseaux ou dispositifs peuvent au contraire connaître des difficultés plus ou moins importantes. Un outil actualisé de référence sur les dispositifs existants – dont l'élaboration est prévue dans un avenir proche – est un élément modeste mais utile pour améliorer la gestion de ce patrimoine.

# Suivi de la réponse de la végétation au changement climatique : approche par transects

*Assessing climate change impact on vegetation with transects*

Vennetier, Michel (1)\* ; Vila, Bruno (2) ; Liang Er-Yuan (3) ; Guibal Frederic (2)

(1)\* Cemagref, UR Ecosystèmes Méditerranéens et Risques, Aix en Provence; [michel.vennetier@cemagref.fr](mailto:michel.vennetier@cemagref.fr) (auteur correspondant)

(2) Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie, CNRS UMR 6116, Aix en Provence et Marseille ;

(3) Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences Beijing, Chine

## Résumé

Le suivi des variations de la réponse des essences forestières aux changements climatiques peut se concevoir à l'échelle de leur aire de répartition, mais cette approche globale se heurte à plusieurs obstacles : la faible mobilité et la variabilité génétique de ces essences, la forte variabilité spatiale du climat, les variations relatives de régime entre pluies et températures, et l'interaction forte entre climat et fertilité des sites (particulièrement le bilan hydrique) dans la réponse des essences aux changements climatiques. Pour tenter de résoudre ces questions, au moins par rapport au réchauffement du climat, nous avons mis en place des dispositifs d'analyse et de suivi de plusieurs espèces en transect sur des courtes distances le long de grands versants présentant un dénivelé important. Ils permettent d'analyser les variations de productivité et d'état sanitaire des essences en éliminant en grande partie les variations de régime de pluies et température, et la variabilité stationnelle. Cette communication présente le principe méthodologique et ses premières applications dans la région méditerranéenne française.

Mots-clefs : changement climatique ; transect ; pin d'Alep ; pin sylvestre ; productivité ; aire de répartition

## Abstract

*Monitoring the response of forest trees to climate change can be done at the scale of their distribution area, but this global approach is hampered by several constraints: the weak mobility and the genetic variability of these*

*species, the spatial variability of the climate, the relative variations of precipitation and temperature patterns and the strong interaction between climate and site fertility (particularly water balance) in the response of trees to climate change. To solve these problems, at least with regard to climate warming, we set up special experimental designs on transects along regular mountain slopes presenting a wide elevation span on short distances. They allow analyzing the variations of productivity and health status with homogeneous rain and temperature patterns and low site condition variability. In this presentation, we introduce the method and give an example of its first development in the French Mediterranean region.*

*Keys-words: climate change; transect; Pinus halepensis; Pinus silvestris; productivity; distribution area*

## 1. Contexte de l'étude

L'accélération de la croissance des arbres au cours du XX<sup>ème</sup> siècle, en hauteur ou diamètre, fait l'objet de résultats concordants dans tout l'hémisphère Nord (Diaz *et al.*, 1997). Becker *et al.* (1994) à l'échelle de la France, ainsi que Spiecker *et al.* (1996) pour l'Europe l'ont démontré chez les feuillus comme chez les résineux, tous types de traitements sylvicoles confondus. Selon les espèces et les régions, l'origine de cette accélération remonte de quelques dizaines d'années à un peu plus d'un siècle. Quelques études montrent que les réactions les plus significatives de la croissance radiale, notamment lorsqu'elles vont à l'encontre de la tendance générale, se produisent dans les peuplements localisés en limite d'aire de répartition (Keller *et al.*, 1997; Rathgeber *et al.*, 2000a; 2000b).

La communauté scientifique s'accorde pour interpréter ces variations de croissance comme une combinaison de plusieurs changements majeurs dans l'environnement : sont mis en cause notamment les changements climatiques dus à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre, un effet direct fertilisant du CO<sub>2</sub> atmosphérique, un enrichissement des sols en matières azotées issues de la pollution atmosphérique et la reconstitution de sols dégradés après abandon de pratiques de surexploitation.

Mais la plupart de ces travaux couvrent des aires géographiques restreintes et une partie seulement de l'aire de répartition des espèces concernées. Car l'analyse des conséquences des changements climatiques sur les essences forestières dans l'ensemble de leur aire de répartition ou sur de longs transects se heurte à plusieurs contraintes :

- la lenteur du cycle de reproduction et la faible mobilité des essences forestières à l'échelle de temps humaine,
- la variabilité spatiale du climat,
- la variabilité génétique des essences,
- l'interaction forte entre climat et fertilité des sites (particulièrement le bilan hydrique) dans la réponse des essences aux changements climatiques.

Pour contourner ces difficultés, au moins par rapport au réchauffement du climat, nous avons conçu un dispositif spécifique (Vila and Vennetier, 2003). Celui-ci a été installé pour

l'instant dans la région méditerranéenne, où les années très chaudes qui se sont succédées depuis 1998, avec leur paroxysme en 2003, semblent avoir mis à mal la végétation.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Les transects

L'objectif est de pouvoir analyser les variations de productivité et d'état sanitaire d'une ou plusieurs essences en relation avec les changements de température, en éliminant en grande partie les variations de régime de pluies et de variabilité stationnelle susceptibles d'intervenir sur des aires trop étendues. Nous avons donc conçu un modèle de dispositif répondant aux critères suivants :

- transect<sup>1</sup> situé sur un versant présentant un fort dénivelé sur une courte distance, ce qui limite la variabilité du régime des pluies, même si la pluviométrie annuelle peut varier légèrement entre le haut et le bas du versant,
- homogénéité des substrats, des sols et de la topographie le long du transect altitudinal,
- transect recoupant si possible la limite entre les aires de répartition de deux essences,
- multiplication de petites placettes traitées en groupes glissants pour lisser les variations aléatoires non liées au climat,
- combinaison de ces dispositifs avec des suivis à plus vaste échelle (régionale à nationale ou plus).
- comparaison de différentes classes de bilan hydrique en rajoutant, à plusieurs niveaux d'un transect, des placettes supplémentaires aux sols nettement plus ou nettement moins favorables.

Pour l'étude de la productivité des peuplements, notre approche est basée en partie sur la dendroécologie<sup>2</sup> (Fritts, 1976). Pour limiter les travaux de terrain et de laboratoire très coûteux en temps, tout en assurant une bonne représentativité statistique et en améliorant la résolution spatiale du dispositif, les transects comprennent :

- quelques grandes placettes (15 à 20 arbres, la norme en dendroécologie), situées aux altitudes où l'on a ajouté au transect des placettes de plusieurs niveaux de bilan hydrique stationnel,
- des placettes intermédiaires plus petites (5 à 7 arbres) mais nombreuses, traitées en moyenne glissante avec les grandes. A travail équivalent, cette conception facilite

---

<sup>1</sup> Un transect est une succession plus ou moins régulière de sites ou points de mesures dans le gradient d'une variable dont on souhaite mesurer l'effet (ici la température moyenne annuelle liée à l'altitude).

<sup>2</sup> La dendroécologie est l'étude des cernes de croissance des arbres et des relations entre ces cernes, l'environnement et le climat. Elle permet, grâce à une analyse au pas de temps annuel et à la longévité des arbres, de « remonter le temps » de plusieurs dizaines à plusieurs milliers d'années.

le choix de sites très homogènes, permet de lisser une partie des variations aléatoires non liées au climat et donne plus de chance d'évaluer la progressivité des phénomènes et les effets de seuil qu'avec un nombre plus limité de grandes placettes. Le choix particulièrement soigné des placettes pour le bilan hydrique stationnel permet de rendre les petites placettes successives très comparables et donc assimilables 3 par 3 à une grande placette. La moyenne glissante des petites placettes est validée par comparaison avec les grandes.

Le premier dispositif suivant ces principes (figure 1), a été installé en 2001 dans le massif de la Sainte-Baume (Bouches du Rhône). L'analyse des données qui en sont issues valide l'intérêt et la pertinence de la méthode. Il est destiné à étudier le déplacement de la limite entre les aires du pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) et du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.), l'évolution de leur productivité depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle, et l'impact de la canicule 2003.

Ces deux pins sont les conifères dominants de la zone Méditerranéenne française, respectivement dans l'arrière-pays et le secteur côtier (Barbéro *et al.*, 1998). Le pin sylvestre a une immense aire de répartition pan-européenne, le pin d'Alep un aire circum-méditerranéenne. Sur ce site, pin sylvestre et pin d'Alep sont mélangés dans une bande étroite (quelques km de large), à l'extrême limite de leur aire de répartition respective.

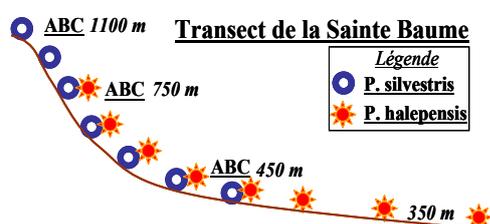


Figure 1. Coupe transversale sur le versant Nord de la Sainte-Baume. Les placettes du transect sont homogènes pour la fertilité et le bilan hydrique. A trois altitudes différentes, des placettes complémentaires sont choisies à 3 niveaux contrastés de bilan hydrique (notés ABC).

## 2.2. Les mesures

Chaque arbre par placette fait l'objet de 3 carottages à coeur à la tarière de Pressler. Les largeurs de cernes de ces carottes, après séchage, ponçage et interdatation<sup>3</sup>, sont mesurés au 1/100<sup>ème</sup> de mm avec un mesureur microscopique Eklund (ADDO®).

Pour calculer l'évolution de la productivité des placettes en relation avec le climat, et comparer les différentes placettes entre elles, nous avons éliminé au préalable les variations liées à l'évolution normale de cette productivité avec l'âge. Pour cela, un modèle général a été calculé pour chaque espèce<sup>4</sup>, et soustrait aux valeurs mesurées.

<sup>3</sup> L'interdatation est la mise en correspondance des cernes de croissance avec leur année de formation ou, lorsqu'on ne dispose pas de dates précises (archéologie, paléoécologie), la mise en correspondance d'un ensemble d'échantillons.

<sup>4</sup> Ces modèles ont été calculés en moyennant les courbes de productivité de l'ensemble des arbres enregistrés dans les bases de données de l'IMEP et du Cemagref sur la région méditerranéenne, soit plus de 700 arbres de tous âges.

### 3. Les possibilités d'analyse offertes par le dispositif : principaux résultats

L'essai de la Sainte-Baume a permis de mettre en évidence l'intérêt de ce type de dispositif pour évaluer la variabilité fine de la réponse des espèces et leur adaptabilité en fonction du gradient thermique et du bilan hydrique.

#### 3.1. L'importance de la station

Le choix d'un type de roche homogène sur l'ensemble du transect nous a affranchis d'un contrôle détaillé de la richesse trophique, qui serait nécessaire dans d'autres contextes. En revanche, pour la zone méditerranéenne, où l'eau est le facteur limitant durant la saison de végétation (Daget, 1977), la connaissance du bilan hydrique est primordial.

A altitude identique, la réactivité au climat et aux changements d'environnement pour une espèce donnée dépend beaucoup du bilan hydrique local (figure 2).

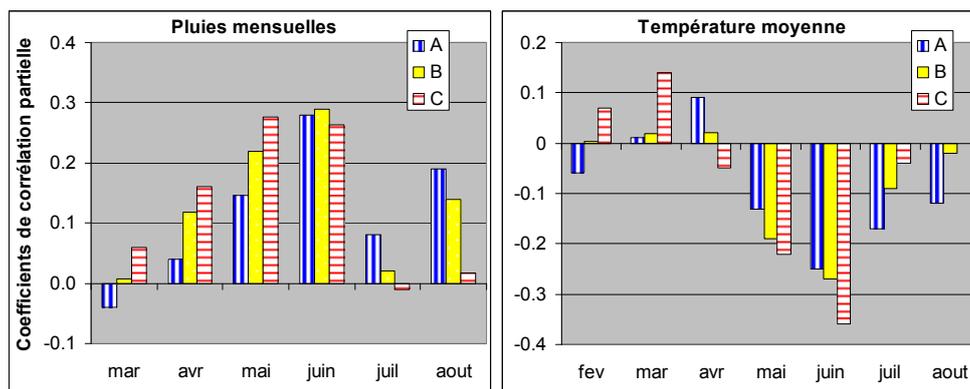


Figure 2. Variations de la réponse du pin sylvestre (accroissement en diamètre) au climat à moyenne altitude en fonction du bilan hydrique du site : A = favorable, B = moyen, C = défavorable. (En ordonnée : coefficients de corrélation partielle<sup>5</sup> des paramètres climatiques mensuels dans la régression PLS<sup>6</sup> qui sert de base au modèle climat/largeur de cernes).

Plus le bilan hydrique est défavorable, plus les arbres sont sensibles aux pluies du début du printemps car ils ne bénéficient pas longtemps des réserves de l'hiver. D'autre part, des températures très élevées sont systématiquement néfastes au pin sylvestre dans sa période de croissance, et ce d'autant plus que le bilan hydrique de la station est défavorable.

<sup>5</sup> Plus la valeur absolue de ce coefficient est élevée, plus l'arbre est sensible aux valeurs du paramètre climatique concerné. Le signe du coefficient indique si des valeurs fortes du paramètre (par ex. températures élevées ou pluies abondantes) sont favorables (coef. positif) ou défavorables (coef. négatif).

<sup>6</sup> Régression PLS = Partial Least Square regression. Méthode de régression multivariée dédiée à l'analyse de jeux de données dont les variables explicatives sont nombreuses ou corrélées et dont les observations sont peu nombreuses.

Sur les plus mauvaises stations, (figure 2 : stations C), les pins sylvestres arrêtent leur croissance dès le début de l'été et s'installent dans une phase de forte dormance, ce qui les rend peu sensibles au climat de l'été et de l'automne. Sur les bonnes stations (figure 2 : stations A), où le sol et la topographie permettent de conserver longtemps les réserves en eau constituées en hiver, la croissance des arbres dépend moins des premières pluies de printemps. Elle peut se poursuivre en début d'été et reprendre après une pause estivale lorsque la fin d'été est favorable. De ce fait, les arbres sont sensibles aux températures élevées de l'été.

### 3.2. Le principe des moyennes glissantes

L'analyse par moyenne glissante des petites placettes a été validée par comparaison avec les résultats des grandes placettes correspondantes. Elle permet de visualiser les variations de réponse des arbres au climat en fonction du gradient thermique le long du versant.

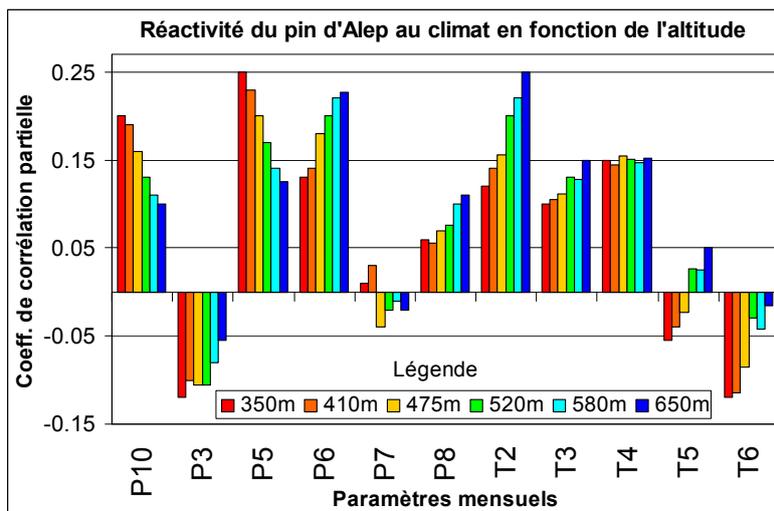


Figure 3. Réactivité de la croissance radiale du pin d'Alep aux paramètres climatiques mensuels (pluie = P, température moyenne = T, nombre = n° du mois - ex.: P6= pluies de juin) en fonction de l'altitude, pour un bilan hydrique stationnel moyen (placettes B). La classe d'altitude représente la moyenne glissante de 3 placettes successives. En ordonnées : coefficients de corrélation partielle des paramètres climatiques mensuels significatifs dans la régression PLS qui sert de base au modèle.

Sur la figure 3, on observe que, pour le pin d'Alep, la réponse aux précipitations et températures mensuelles varie régulièrement avec l'altitude. On note surtout que les variations sont significatives pour des faibles différences d'altitude : l'écart entre les groupes extrêmes n'est que de 300 m, correspondant à 1.8°C de température moyenne annuelle. Il y a moins de 100 m d'altitude moyenne entre groupes voisins.

### 3.3. Variations de productivité

Comme le montre la figure 4, la croissance du Pin d'Alep s'est accélérée au cours du 20<sup>ème</sup> siècle, indépendamment de l'altitude et du bilan hydrique stationnel, tandis que celle du Pin

sylvestre a diminué fortement dans sa zone de prédilection, au dessus de 800 m d'altitude (Vila et al., 2008).

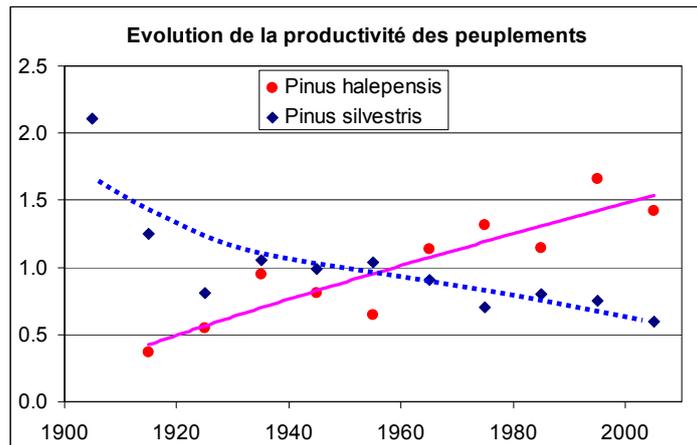


Figure 4. Evolution de la productivité de *P. halepensis* (toutes classes d'altitude confondue) et *P. silvestris* (au dessus de 800m) pendant le 20<sup>ème</sup> siècle. La valeur 1 est relative à la moyenne sur la Sainte-Baume pour chaque espèce et pour la période considérée. En valeur absolue, la productivité du pin d'Alep est ici, à altitude égale, 2 à 3 fois supérieure à celle du pin sylvestre.

Cependant, le transect avec ses nombreuses placettes a permis, dans l'extrême limite de l'aire du pin sylvestre, de déceler un phénomène opposé à la tendance majoritaire : étonnamment, la productivité des rares peuplements de pins sylvestres situés en dessous de 500 m a augmenté au cours du 20<sup>ème</sup> siècle, cette tendance s'affaiblissant avec l'altitude pour être stable vers 700 m et inverse à partir de 800 m (figure 5). La progressivité de ce phénomène sur l'ensemble des placettes élimine l'hypothèse d'un cas particulier isolé.

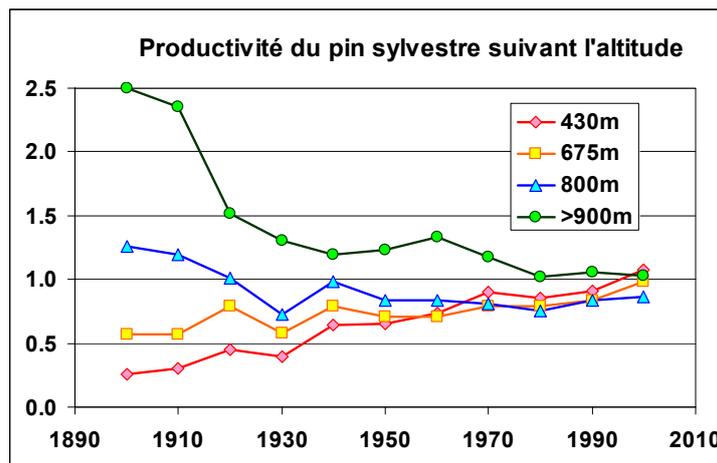


Figure 5. Evolution relative de la productivité du pin sylvestre en fonction de l'altitude. La base 1 correspond à la moyenne de l'espèce sur le site de la Sainte Baume.

## 4. Discussion

### 4.1. Aspects méthodologiques

Les différences de réactivité des espèces observées entre placettes ayant des niveaux de bilan hydrique contrastés sont du même ordre de grandeur que celles entre placettes d'altitudes extrêmes de notre dispositif. La prise en compte du bilan hydrique stationnel est donc obligatoire pour une analyse fiable de l'influence de gradients climatiques, quelle que soit l'échelle du gradient. Elle l'est d'autant plus si d'autres paramètres comme le régime de pluie ou de température varient entre placettes.

En observant la variabilité de la réaction des arbres aux faibles différences actuelles de températures liées au gradient altitudinal, on peut émettre l'hypothèse que le réchauffement du climat est susceptible de modifier très rapidement le comportement des arbres. L'augmentation d'environ 1°C sur la zone d'étude au cours du 20<sup>ème</sup> siècle pourrait ainsi expliquer partiellement les fortes modifications des rythmes de croissance mesurées sur nos placettes (figure 4), et un réchauffement encore plus important est annoncé pour le 21<sup>ème</sup> siècle (I.P.C.C., 2007). Ce réchauffement global, ainsi que les accidents qui l'accompagnent, pourront avoir des effets très différenciés sur les peuplements en fonction de leur position relative dans l'aire de répartition des espèces concernées (Jolly *et al.*, 2005). Pour observer les variations sur la totalité de la tranche altitudinale d'une ou plusieurs espèces, et les suivre sur une longue période, les dispositifs en transect doivent donc couvrir des gradients aussi larges que possibles. Des phénomènes particuliers pouvant se produire aux limites des aires de répartition, il est judicieux de prévoir une densité de placettes supérieures au niveau de ces limites. Les transects recoupant la limite de plusieurs espèces, avec des peuplements mélangés ou voisins, sont particulièrement intéressants. Ils permettent de mieux comprendre ce qui différencie les espèces, et comment les changements climatiques et environnementaux observés modifient les avantages compétitifs relatifs de chacune.

### 4.2. L'avenir des pins méditerranéens

Le comportement particulier du pin sylvestre à très basse altitude, pratiquement en dehors de son aire potentielle, a probablement, au moins pour partie, une origine génétique. Les arbres de très basse altitude représentent des faibles surfaces, en petits peuplements parfois très isolés. Ils ont été naturellement sélectionnés depuis plusieurs générations dans un contexte de fortes sécheresses récurrentes et de températures élevées. Leur morphologie a été façonnée, dès le début de leur croissance, par ces conditions extrêmes pour l'espèce : ratio biomasse racinaire / biomasse aérienne élevé, faible hauteur (Larcher, 1995). Ces adaptations pourraient expliquer qu'ils aient mieux supporté le réchauffement climatique que les arbres de plus haute altitude, installés depuis de nombreuses générations dans des conditions climatiques plus fraîches et moins arides. Par contre, les arbres de très basse altitude ont particulièrement souffert des températures extrêmes de l'année 2003, après lesquelles une rapide et forte mortalité a été enregistrée. Cela démontre que lors de cet événement, un seuil critique de température a été dépassé malgré la relative adaptation locale de l'espèce.

Le changement de climat met clairement le pin sylvestre en difficulté depuis quelques dizaines d'années dans la partie méditerranéenne de son aire, et lui enlève toute compétitivité par rapport au pin d'Alep dans les zones où les deux espèces se côtoient. La limite théorique entre les deux espèces devrait varier en altitude et en latitude avec l'élévation de la température et les sécheresses répétées, comme le suggèrent Quézel et Médail (2003). A l'aide d'un modèle bioclimatique basé sur l'analyse floristique (Vennetier et al., 2008b), nous avons cartographié l'aire potentielle du pin sylvestre dans la région de la Sainte-Baume à la fin du 20<sup>ème</sup> siècle (figures 6.a). En appliquant à ce modèle un changement climatique modérément optimiste pour la fin 21<sup>ème</sup> siècle (+2.5°C, -10% pluies de printemps), on constate la disparition complète de cet aire potentielle et la remontée significative de celle du pin d'Alep (figure 6.b). Cette simulation se trouve confirmée par les observations de terrain : des pins d'Alep âgés d'environ 20 ans se rencontrent maintenant à près de 1000 m d'altitude sur la Sainte-Baume, soit 200 m plus haut que les peuplements âgés et que la limite de l'espèce donnée par la littérature. La tendance à la baisse de productivité du pin sylvestre, observée sur la Sainte Baume jusqu'à 1100 m d'altitude, se poursuit au-delà de cette limite, jusqu'à 1500 m d'altitude (Thabeet, 2008). Au ralentissement de la croissance, s'ajoute le dépérissement de cette espèce amorcé en 2003 et qui s'accroît depuis dans la partie basse et méridionale de son aire (Vennetier et al., 2008a).

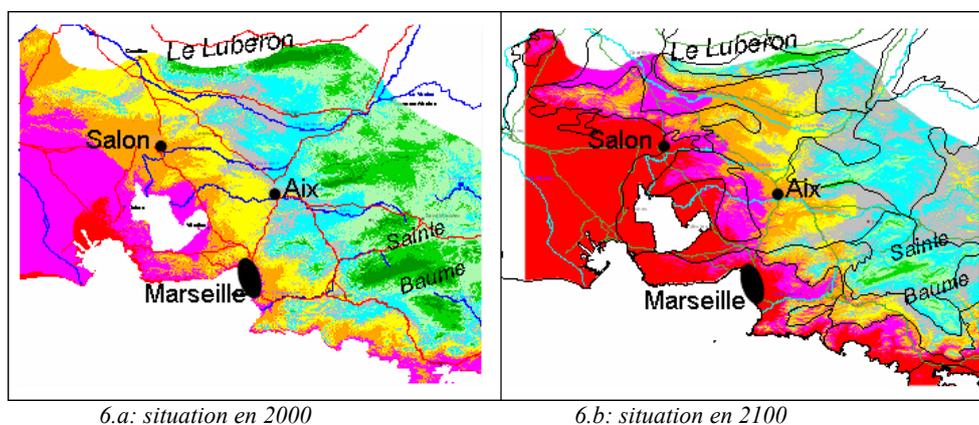


Figure 6 : Evolution simulée au 21<sup>ème</sup> siècle des aires potentielles du pin sylvestre (vert foncé de 6.a) et du pin d'Alep (du rouge au jaune: faible productivité, du gris au vert moyen: forte productivité). Scénario +2.5°C et -10% pluies de printemps.

Afin de compléter notre dispositif pour couvrir la totalité de l'aire potentielle du pin d'Alep, une étude similaire a été réalisée en Tunisie. Elle va du nord du pays en région côtière, avec un climat proche de la zone côtière française, jusqu'aux derniers peuplements en limite du désert au sud. Elle comprend des transects à l'échelle du pays et des transects locaux sur le modèle de la Sainte-Baume. Des dépérissements et réductions de productivité du pin d'Alep sont observés au sud de la Tunisie, en lien avec des séries récentes d'années chaudes et très sèches, phénomène similaire à celui observé sur le pin sylvestre dans les conditions de limite inférieure d'aire (El Korchani, 2006).

### **4.3. Extrapolation à l'écosystème forestier méditerranéen**

On peut considérer ces deux pins comme des modèles, représentant respectivement les bioclimats supra et méso-méditerranéen, dont toutes les espèces sont soumises au bouleversement de leurs conditions de survie et de croissance (Root *et al.*, 2003). Certaines relations peuvent aussi être établies entre la croissance des arbres et la production de biomasse herbacée (Liang *et al.*, 2003). Conformément à ces observations, en 2003, de nombreuses espèces arbustives, semi-ligneuses et herbacées ont connu des taux de mortalité importants en région méditerranéenne. L'éclaircissement du houppier des arbres et les dépérissements observés ouvrent la porte à un nouvel équilibre entre les strates basses et hautes de la végétation, et à une modification du microclimat forestier.

Les scénarios actuels d'évolution du climat, qui évoquent des accroissements de températures oscillant entre + 2°C et + 6 °C, font craindre des changements majeurs dans le fonctionnement des écosystèmes méditerranéens. Mais à cause des interactions complexes entre climat et sol, à cause de la lenteur de dissémination et de croissance des espèces arborées, parce qu'on ne maîtrise pas les effets de la compétition entre espèces dans ces formations naturelles, et qu'on ne connaît pas la capacité d'adaptation génétique naturelle des arbres (2 à 3 générations maximum par siècle), ces changements restent encore imprévisibles. Leur observation fiable dans des conditions comparables entre sites est donc plus que jamais nécessaire.

## **Conclusion et perspectives**

D'un point de vue méthodologique, notre approche par transects locaux, donnant des indications fines sur le comportement des espèces en limites de leur aire, pourrait être étendue à de nombreuses espèces et régions en complément des gros dispositifs d'observation nationaux ou européens. Elle pourrait être étendue à la régénération de ces essences forestières.

Sur le plan écologique, des travaux complémentaires sont nécessaires sur le comportement des espèces arbustives et herbacées (inventaires floristique, analyse de la structure de végétation, ...). La mise en place de placettes permanentes pour ces aspects sur les placettes de dendroécologie serait un des meilleurs moyens de suivre simultanément les modifications de la croissance et de la santé des arbres, et les modifications de l'ensemble de l'écosystème.

## **Remerciements**

Les auteurs remercient les nombreux propriétaires forestiers, publics et privés, qui ont facilité cette étude en autorisant l'accès des chercheurs, l'installation de placettes et les récoltes d'échantillons sur leurs propriétés.

Les travaux de recherche ont été financés par le GIP ECOFOR, la région Provence-Alpes-Côte d'Azur et le Cemagref.

## Références bibliographique

- Barbéro M., Loisel R., Quézel P., Richardson D.M., Romane F., 1998<; Pines of the mediterranean basin. In: *Ecology and biogeography of Pinus*, (ed. Richardson D.M.), Cambridge University Press, Cambridge, p. 153-170.
- Becker M., Bert G.-D., Bouchon J., Picard J.-F., Ulrich E., 1994. Tendances à long terme observées dans la croissance de divers feuillus et résineux du Nord-Est de la France depuis le milieu du 19e siècle. *Revue forestière française*, vol. XLVI, n° 4, p. 335-341.
- Daget P., 1977. Le bioclimat méditerranéen : caractères généraux, modes de caractérisation. *Vegetatio*, n° 34 p. 1-20.
- Diaz H.F., Beniston M., Bradley R.S., 1997. *Climatic change at high elevation sites*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 530 p.
- El Korchani A., 2006. *Impact des changements climatiques récents sur la croissance radiale de trois pins méditerranéen (Pin d'Alep, Pin pignon et Pin maritime) en Tunisie.*, IMEP, Aix-Marseille III, Marseille, 170 p.
- Fritts H.C., 1976. *Tree ring and climate*. Academic Press, New York, 567 p.
- I.P.C.C., 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. eds. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.
- Jolly W.M., Dobbertin M., Zimmermann N.E., Reichstein M., 2005 Divergent vegetation growth responses to the 2003 heat wave in the Swiss Alps. *Geophysical Research Letters*, vol. 32, n° 18.
- Keller T. ; Tessier L., 1997. Climatic effect of atmospheric CO2 doubling on radial tree-growth in southeastern France. *Journal of Biogeography*, n° 24, p. 857-864.
- Larcher W., 1995. *Physiological Plant Ecology*, 3rd edition., Springer-Verlag, Berlin, 602 p.
- Liang E., Vennetier M., Lin J., Shao X., 2003. Relationships between tree increment, climate and above-ground biomass of grass: a case study in the typical steppe, north China. *Acta Oecologica*, vol. 24, n° 2, p. 87-94.
- Quézel P., Médail F., 2003. *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Elsevier, Paris, 571 p.
- Rathgeber C. ; Guiot J. ; Edouard J.L. (2000a) Using a biochemical model in Dendroecology. Application to *Pinus cembra*. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, série III, vol. 323, n° 5, p. 489-497.
- Rathgeber C. ; Nicault A. ; Guiot J. ; Keller T. ; Guibal F. ; Roche P. (2000b) Simulated responses of *Pinus halepensis* forest productivity to climatic change and CO2 increase using a statistical model. *Global and Planetary Change*, vol. 26, n° 4, p. 405-421.
- Root T.L. ; Price J.T. ; Hall K.R. ; Schneider S.H. ; Rosenzweig C. ; Pounds J.A. (2003) Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, vol. 421, n° 6918, p. 57-60.

Spiecker H. ; Mielikäinen K. ; Köhl M. ; Skovsgaard J.P. (1996) *Growth trends in European forests : studies from 12 countries*. Springer-Verlag, Heidelberg, 372 p.

Thabeet A. (2008) *Réponse du pin sylvestre (Pinus sylvestris L.) aux changements climatiques récents en région méditerranéenne française: spatialisation et quantification par la télédétection et la dendrochronologie*. Thèse de doctorat, IMEP, Cemagref Aix en Provence, Université Paul Cézanne, Marseille, 261 p.

Vennetier M. ; Borgniet L. ; Thabeet A. ; Gadbin-Henry C. ; Ripert C. ; Vila B. ; Prévosto B. ; Estève R. ; Martin W. ; N'diaye A. (2008a) *Impact de la canicule 2003 sur les peuplements résineux de la région PACA. Rapport final*. Cemagref, Aix en Provence, 22 p.

Vennetier M. ; Ripert C. ; Maillé E. ; Blanc L. ; Torre F. ; Roche P. ; Tatoni T. ; Brun J.-J. (2008b) A new bioclimatic model calibrated with flora for Mediterranean forested areas. *Annals of Forest Science*, vol. 65, n° (sous-press).

Vila B. ; Vennetier M. ; Ripert C. ; Chandiooux O. ; Liang E. ; Guibal F. ; Franck T. (2008) Has global change induced opposite trends in radial growth of *Pinus sylvestris* and *Pinus halepensis* at their bioclimatic limit? The example of the Sainte-Baume forest (south-east France). *Annals of Forest Science*, vol. 65, n° 7 (under press).

# Un réseau d'observations phénologiques pour la gestion du changement climatique

*A network of phenological observations for climate change impacts management*

Chuine, Isabelle (1)

(1) Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive, 1919 route de Mende, 34293 Montpellier cedex 05, [isabelle.chuine@cefe.cnrs.fr](mailto:isabelle.chuine@cefe.cnrs.fr)

## Résumé

La phénologie est l'étude de l'occurrence d'événements périodiques de la vie animale et végétale en relation avec les variations du climat. Ces événements sont par exemple la floraison des plantes, la coloration des feuilles des arbres, l'arrivée des oiseaux migrateurs etc. L'apparition des nouvelles feuilles au printemps et l'apparition de la coloration des feuilles à l'automne déterminent la période d'activité photosynthétique de la végétation à feuillage caduque, et donc les flux d'eau et de carbone échangés avec l'atmosphère, et affecte la croissance, la survie et la productivité des peuplements forestiers et des cultures. L'occurrence de ces événements est fortement dépendante de facteurs de la photopériode, et de la température. La phénologie est donc un élément clé dans la compréhension de la répartition géographique des espèces et du fonctionnement des écosystèmes, et un marqueur du climat.

Les événements phénologiques étant des caractères qui permettent aux organismes de s'adapter aux variations climatiques, les chercheurs s'y intéressent de plus en plus dans le contexte actuel de changement climatique ; sa modélisation et sa sélection génétique peuvent en effet permettre une gestion des cultures et des peuplements intégrant, par anticipation, le changement climatique.

De nombreuses études, réseaux d'observations, bases de données, programmes éducatifs et programmes de recherches sur la phénologie ont vu le jour ces dernières années dans de nombreux pays, mais la France connaît dans ce domaine un certain retard qu'elle se doit de rattraper.

Le réseau national d'observation de la phénologie qui vient d'être créé a pour objectifs :

- La constitution d'une base de données des observations phénologiques réalisées en France depuis 1880 jusqu'à nos jours ;
- La poursuite les observations sur des espèces et en des sites choisis à partir des données existantes et de l'importance sociétale et économique de ces espèces ;
  - L'utilisation les observations phénologiques à des fins de recherches fondamentales et appliquées.

Mots clés : Phénologie, réseau, changement climatique

*Abstract*

*Phenology is a climate proxy and also a key adaptive trait to changing climate conditions. In the present context of climate change, this trait takes an increasing importance in various research fields either fundamental or applied. Phenological observations allow for example to reconstruct precisely the temperature conditions of the last millennium using process-based phenological models. Vegetation phenology also affects water, carbon and energy fluxes exchanged between the biosphere and the atmosphere because it determines the period of photosynthetic activity of deciduous species. Phenology thereby affects the growth, survival and productivity of forests and crops. Modelling phenology and genetic selection of phenology may allow an anticipated management of forest stands and crops taking into account climate change. Phenology is also a key for understanding species distributions because it affects survival and reproductive success depending on the climate conditions.*

*Several studies, networks, databases, research and educative programs on phenology have emerged the last few years in several countries. France has missed several opportunities to develop this research field and has now to put a large effort to catch up his European homologues.*

*In this context, a national network of phenological observations has been created. The goals of this network are*

- *to create a national database of phenological observations realised in France since 1880,*
- *to pursue phenological observations of a set of species selected on the basis of existing historical data as well as their socio-economic importance*
- *to use the phenological data for fundamental an applied research*

*Keywords: Phenology, network, climate change*

# Introduction

Le rythme saisonnier des plantes et animaux, (principalement des régions tempérées et boréales) est un marqueur du climat (Beaubien & Freeland 2000 ; Osborne *et al.* 2000 ; Menzel 2003 ; Aasa *et al.* 2004; Chuine & Belmonte 2004 ; Chuine *et al.* 2004) mais aussi un élément clé de l'adaptation des êtres vivants aux variations climatiques (Chuine & Beaubien 2001). Dans le contexte actuel de changement climatique, ce caractère adaptatif revêt donc une importance croissante dans de nombreux domaines de recherche fondamentale et appliquée (Figure 1).

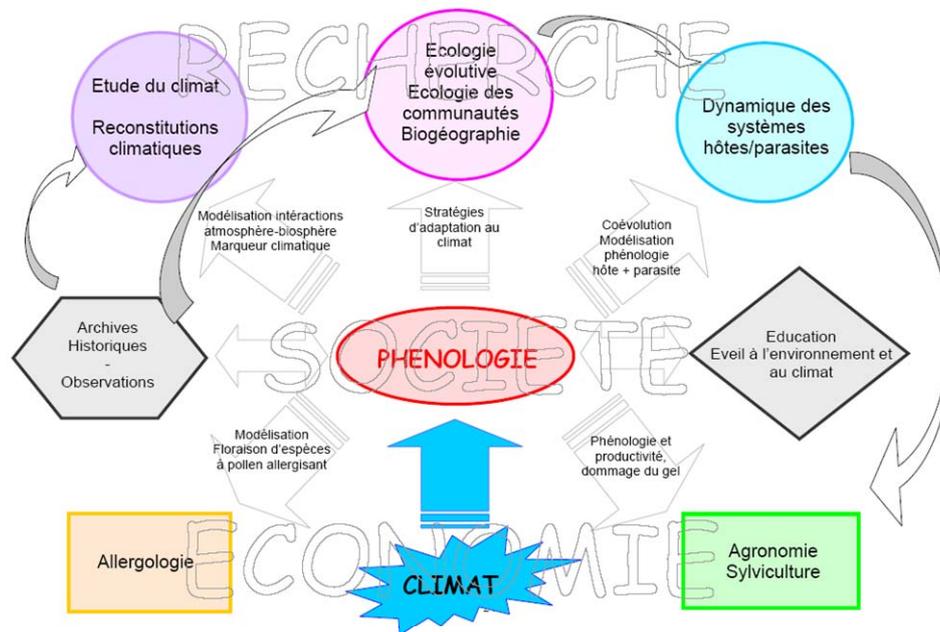


Figure 1. La phénologie, un élément intégrateur des enjeux du changement climatique

Les observations phénologiques permettent de retracer finement l'évolution du climat des derniers millénaires (Chuine *et al.* 2004) grâce à des modèles phénologiques basés sur les processus. La phénologie de la végétation affecte les flux d'eau et de carbone échangés avec l'atmosphère car elle détermine la période d'activité photosynthétique de la végétation à feuillage caduque ; elle est de ce fait une composante majeure des modèles globaux de fonctionnement de la végétation associés aux modèles de circulation générale atmosphérique (Cumming *et al.* 1996 ; Lüdeke *et al.* 1996 ; Neilson & Running 1996 ; White *et al.* 1997 ; Potter & Klooster 1999 ; Botta *et al.* 2000 ; Sitch *et al.* 2003). La phénologie affecte la croissance, la survie et la productivité des peuplements forestiers (Potter & Klooster 1999 ; Sitch *et al.* 2003 ; Jolly *et al.* 2004 ; Rotzer *et al.* 2004) et des cultures (Brisson *et al.* 2002). Sa modélisation et sa sélection génétique peuvent permettre une gestion des cultures et des peuplements intégrant, par anticipation, le changement climatique. La phénologie est un élément clé dans la compréhension de la répartition géographique des espèces et écosystèmes (Chuine & Beaubien 2001) car elle affecte la

survie, le succès reproducteur et les interactions biotiques en fonction des conditions climatiques.

De nombreuses activités humaines sont dépendantes du rythme saisonnier de la végétation et de la faune. Si dans le domaine agronomique les progrès techniques ont permis dans certaines situations de s'affranchir ou de minimiser les contraintes climatiques, le climat rythme toujours le cycle de vie de la plupart des espèces (hors zone tropicale), en particuliers des espèces végétales. Le contexte du changement climatique fait aujourd'hui prendre conscience de l'importance de ces phénomènes, alors que leur observation et leur compréhension étaient, en France, tombées en désuétude malgré un héritage historique important. L'observation des événements biologiques saisonniers tels que la floraison, l'arrivée des oiseaux migrateurs, etc., revêt en outre un intérêt pédagogique certain.

C'est pourquoi de nombreuses études scientifiques, réseaux d'observations, bases de données, programmes éducatifs et programmes de recherches sur la phénologie ont vu le jour ces dernières années dans de nombreux pays.

## 1. Historique des observations phénologiques

### 1.1. La situation nationale

En 1880 sous l'impulsion d'Angot, Météo France initia un grand programme d'observation des événements phénologiques dans l'ensemble de ses stations météorologiques. Ainsi étaient observées chaque année la feuillaison, la floraison, la maturation et la coloration des feuilles de dizaines de taxons sauvages et cultivés, ainsi que l'apparition d'oiseaux migrateurs ou autres animaux. Ces observations ont perduré jusqu'en 1950 dans tous les départements, quelques départements les ont poursuivies jusque dans les années 1970 et un seul jusqu'à aujourd'hui. Ces observations avaient pour but d'utiliser la phénologie comme marqueur des conditions météorologiques en vue d'applications pour la recherche météorologique. Parallèlement à ces observations, le service des forêts a également réalisé les mêmes observations sur des placettes forestières entre 1880 et 1932. A la même époque d'autres observations étaient réalisées dans des jardins botaniques, le jardin de St Maur (1875 à 1947), les jardins de Versailles, ou dans des arboreta, tel l'arboretum des Barres.

D'autres organismes ont également réalisé ce genre d'observations dans les dernières décennies (1970 à nos jours) mais de façon indépendante et pour différentes applications. C'est le cas de l'INRA, qui a collecté des observations sur les arbres fruitiers et la vigne. Ces observations sont maintenant intégrées à la base de données PhénoClim, qui rassemble également les observations provenant d'instituts techniques (CTIFL<sup>1</sup>, ITV<sup>2</sup>) et de différentes structures professionnelles. L'INRA collecte aussi des données sur des espèces forestières cultivées dans des unités expérimentales ou des tests de provenances ou de descendance à des fins de sélection. L'ONF, qui au travers du réseau RENECOFOR<sup>3</sup>, réalise quant à lui depuis 1997 des observations phénologiques (débourrement et/ou sénescence) sur 12 essences forestières dans 86 stations forestières.

---

<sup>1</sup> Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes

<sup>2</sup> Institut technique de la vigne et du vin

<sup>3</sup> Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers

## 1.2. La situation internationale

Il existe dans le monde quelques séries d'observations phénologiques remarquables soit par leur longueur, soit par leur qualité. Ces séries sont soit l'œuvre de l'histoire et de la culture d'un pays – comme par exemple la série des dates de vendange de Bourgogne (1370 à l'actuel) ou la série des dates de floraison du Prunus à Kyoto au Japon (9<sup>e</sup> siècle à l'actuel) –, soit l'œuvre de naturalistes des 18<sup>e</sup> et 19<sup>e</sup> siècles – telles la série de Thomas Mikesell en Ohio (1883-1912) ou la série de la famille Marsham en Angleterre (1736-1925). Il existe beaucoup d'autres séries d'observations qui ont été l'initiative d'organismes nationaux, en général les instituts météorologiques ou les instituts agronomiques. Si l'on se limite à l'Europe, l'Allemagne, l'Autriche, la Suisse, l'Espagne, l'Angleterre, l'Irlande, le Danemark, la Slovaquie, la Roumanie, la Grèce, la Norvège, la Suède, la Pologne, la Finlande, les Pays Bas, l'Estonie, la Lituanie et la Lettonie réalisent des observations phénologiques depuis plusieurs décennies. L'Allemagne à elle seule possède 6 423 stations d'observations phénologiques gérées depuis 1951 par l'institut météorologique allemand.

Etant donné l'importance de ces observations pour les recherches dans le domaine des Sciences de la Vie et de l'Univers, la commission européenne a mis en place en 2004 l'Action COST 725 dont le but est la création d'une base de données et d'un réseau d'observations à l'échelle européenne par homogénéisation des bases de données nationales et des réseaux nationaux d'observations.

## 2. Présentation du réseau d'observations phénologiques pour la gestion du changement climatique

Le réseau national d'observation de la phénologie est né en février 2006 sous la forme du Groupement de recherche (GDR) 2968 « Système d'Information Phénologiques pour la Gestion et l'Etude du Changement Climatique (SIP-GECC) ». Sa création procède de la conjonction de deux éléments :

- la prise de conscience de l'importance des observations phénologiques pour les recherches fondamentales et appliquées visant à étudier et à gérer les impacts des changements climatiques et, parallèlement, du manque de données à l'échelle de la France ;
- l'Action COST 725, dans laquelle la France jouait un rôle jusqu'ici limité (à l'exception de PhénoClim) du fait de l'absence de bases de données et de réseau d'observation dédié à la phénologie sur son territoire.

Les membres du GDR<sup>4</sup> ont donc décidé, pour remédier à cette situation, de mobiliser toutes les observations qui avaient été réalisées en France jusqu'à nos jours et de structurer un réseau d'observation.

---

<sup>4</sup> Voir la liste sur le site web du GDR : [www.obs-saisons.fr/gdr](http://www.obs-saisons.fr/gdr)

## Les objectifs

Les objectifs du GDR sont :

- La constitution d'une base de données des observations phénologiques réalisées en France par divers organismes depuis 1880 jusqu'à nos jours ;
- La poursuite des observations sur des espèces et en des sites choisis à partir des données existantes et de l'importance sociétale et économique de ces espèces ;
- L'utilisation des observations dans des activités de recherche : étude de l'évolution du climat, développement des modèles de fonctionnement de la végétation, développement des modèles de fonctionnement des cultures, développement des modèles de biogéographie basés sur les processus, gestion des peuplements forestiers dans un contexte de changement climatique, étude des relations phénologie, croissance, qualité du bois, prévision de la floraison des plantes allergisantes ;
- L'initiation d'un projet pédagogique d'éveil à l'environnement pour les classes du primaire en proposant l'observation de la phénologie de certaines espèces et l'intégration de ces observations dans la base de données.

## 2.1. Base de données

### 2.2.1. *Etat des lieux*

La France, bien qu'absente à l'heure actuelle sur la scène internationale dans ce domaine, possède un grand nombre d'informations sur la phénologie de sa faune et sa flore sauvages et domestiquées. Néanmoins les sources d'information sont extrêmement hétérogènes et en partie non informatisées. Un réel effort d'acquisition, d'homogénéisation et de synthèse doit donc être fait. Ces observations, qui remontent au 19<sup>e</sup> siècle (mis à part les dates de vendange qui remontent au 14<sup>e</sup> siècle), proviennent d'organismes aussi différents que Météo France, l'INRA, l'ONF, le CIRAD, le CNRS ou les jardins botaniques, et elles concernent essentiellement la flore sauvage et cultivée et plus rarement la faune sauvage. Le GDR a rassemblé une grande partie de ces différentes données, mais certaines restent à numériser et homogénéiser. Une base de données a été créée, est gérée par Medias France et sera accessible sur le site internet du GDR à l'adresse [www.obs-saisons.fr/gdr](http://www.obs-saisons.fr/gdr). Les différentes données rassemblées dans la base sont hétérogènes et concernent différentes périodes de temps. En revanche, elles remontent au début de la période industrielle, elles concernent de très nombreux sites en France ainsi que de nombreuses espèces. Ceci est assez unique par rapport à ce qui a été réalisé dans d'autres pays bien que ce potentiel ne soit connu de la communauté scientifique que depuis très peu de temps.

### 2.2.2. *Nature et utilisation des données*

Un premier type d'observation concerne les observations sur le terrain en milieu naturel. Une masse très importante de ce type de données provient des observations réalisées par Météo-France à partir de 1880 dans tous les sites abritant une station météorologique ainsi que quelques stations forestières. Seule une petite partie de ces données a été numérisée. Une autre partie vient du réseau RENECOFOR et des données historiques telles que les dates de vendange ou de moisson consignées dans les archives depuis des siècles. Ce

premier type de données permet de calibrer des modèles prédictifs de la phénologie, utilisés dans les modèles de fonctionnement de la végétation et les modèles de biogéographie. Il permet également, lorsque les séries sont suffisamment longues, d'étudier l'impact du changement climatique sur la phénologie des espèces et parfois même de reconstituer le climat des périodes passées.

Un deuxième type de données concerne les observations réalisées dans les sites-ateliers de divers organismes de recherche (INRA, CNRS, Universités, CIRAD, ...) visant le plus souvent à calibrer des modèles de fonctionnement de la végétation ou à sélectionner des espèces fruitières et des essences forestières. Ces observations sont souvent réalisées dans des tests de provenances ou descendances sur plusieurs années et/ou sur plusieurs sites tests sur lesquels sont implantées de nombreuses provenances géographiques de l'espèce à des fins de comparaison et de sélection. Les données qui en sont issues permettent de calibrer finement des modèles phénologiques et donnent accès à la variabilité génétique de la phénologie présente au sein de l'aire de répartition des espèces.

Un troisième type d'observations concerne les observations réalisées dans des jardins d'agrément tels que les jardins botaniques ou les arboreta (e.g. jardin des plantes de Paris, parc de St Maur, parc de Versailles, arboretum national des Barres). Ces observations concernent très souvent des individus isolés d'une espèce. Les données du parc de St Maur et de Versailles couvrent la période 1884-1950. Plus récemment, des observations ont été faites au jardin des plantes de Paris depuis 2000 et dans les jardins botaniques de Troyes, Tours, Cholet, Lyon, Bordeaux et Antibes. Ces données permettent de suivre sur le long terme l'évolution du climat à travers la réponse de la végétation et permettent également de suivre la phénologie dans des conditions que l'espèce ne rencontre pas actuellement mais qu'elle rencontrera dans les décennies à venir du fait du réchauffement du climat.

Enfin, d'autres types de données phénologiques sont les observations satellitaires et les concentrations polliniques atmosphériques. Les données satellitaires permettent de suivre les dates de « verdissement » (*green-wave*) de la surface terrestre, qui reflètent le démarrage de la végétation au printemps en analysant le signal NDVI<sup>5</sup>. Le CESBIO et le LSCE possèdent de telles données à basse résolution depuis 1998 et à haute résolution depuis 2002. Le RNSA fournit les concentrations polliniques atmosphériques de 58 sites en France, utilisées à des fins essentiellement médicales. Ces suivis de concentration pollinique permettent de déterminer pour un taxon donné les dates de début et de pleine floraison (pic de pollen) qui varient d'une région à l'autre et d'une année sur l'autre. Ces deux types de données donnent, à une échelle globale, une information moyennée de la phénologie qui s'affranchit du biais de l'observateur, de la variabilité génétique au sein des populations et de la variabilité microclimatique des sites d'observation au sein d'une région. Ils sont donc très complémentaires des observations réalisées au sol dans les peuplements.

## 2.2. Réseau d'observations

Deux réseaux d'observation de la phénologie ont été créés au cours de l'année 2006 : un réseau scientifique et un réseau amateur appelé L'Observatoire Des Saisons. Ces deux réseaux alimentent la base de données nationale.

---

<sup>5</sup> Normalized Difference Vegetation Index : c'est l'indice de végétation le plus couramment utilisé pour estimer la quantité de végétation présente sur une zone et suivre son évolution.

### 2.2.1. Réseau scientifique [www.obs-saisons.fr/gdr](http://www.obs-saisons.fr/gdr)

Il est primordial que les observations soient poursuivies dans plusieurs sites couvrant le territoire national afin de documenter l'évolution de la réponse des organismes au réchauffement qui va croissant. A cette fin, un réseau d'observation (Figure 2) a été créé sur la base des réseaux et sites d'observation existants – RENECOFOR, PhénoClim, le RNSA – complétés par certains jardins botaniques et arboreta publics ainsi que les unités expérimentales INRA 570 (Cestas), 995 (Olivet), 378 (Avignon) et 347 (Champenois).

Les observations sont réalisées uniquement sur la flore et selon un protocole établi en commun utilisant le code BBCH<sup>6</sup> (adopté pour le réseau européen COST 725) et disponible sur le site internet du GDR.

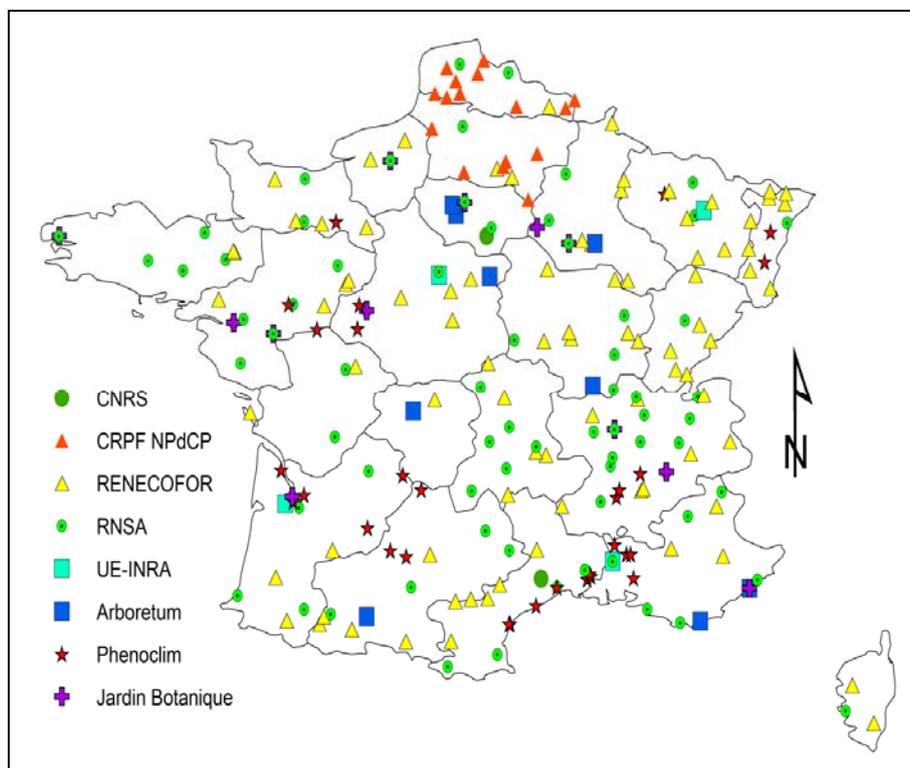


Figure 2. Répartition des sites d'observation du réseau professionnel

### 2.2.2. Réseau amateur : L'Observatoire Des Saisons [www.obs-saisons.fr](http://www.obs-saisons.fr)

L'Observatoire Des Saisons et L'Observatoire Des Saisons Junior sont deux programmes de sensibilisation du public à la problématique du changement climatique et de

<sup>6</sup> Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt et Chemische Industrie. Cette échelle décimale sert à la codification des stades phénologiques des mono- et dicotylédones. Elle est divisée en stades de développement principaux et secondaires.

participation citoyenne à la recherche. Le premier s'adresse aux particuliers, le second aux élèves des écoles primaires et collèges. Le réseau amateur vient compléter le réseau géré par les organismes scientifiques. Ce réseau est à ce jour piloté par le GDR et est relayé auprès du grand public par plusieurs associations dont Planètes Sciences, Le Centre de Recherche sur les Ecosystèmes d'Altitude et Tela Botanica. Une liste de plantes et animaux est proposée à l'observation et des protocoles d'observation sont mis à disposition sur les sites [www.obs-saisons.fr](http://www.obs-saisons.fr) et [www.obs-saisons.fr/junior](http://www.obs-saisons.fr/junior). Les observations sont ensuite saisies sur les sites internet et intégrées dans la base de données. Une expertise des observations et une validation des données est effectuée chaque fin d'année par un scientifique du GDR. Les participants peuvent visualiser leurs observations en temps réel sur des cartes de France et analyser selon des méthodes proposées par les scientifiques sur les sites leurs observations. Enfin, des dossiers en ligne sur le changement climatique et de biodiversité sont proposés.

## Conclusion — Perspectives

Les deux réseaux d'observation, professionnel et amateur, sont maintenant en place. Les nombreux programmes de recherche en cours et publications faisant appel aux données accumulées témoignent de l'importance de disposer au niveau national d'un tel réseau. L'apport du réseau amateur en termes scientifiques est loin d'être négligeable et un effort doit être porté pour assurer le succès de ce réseau qui est précaire du fait d'un manque de potentiel humain et de crédits. L'apport des associations dans le projet est pour cela capital.

## Références bibliographiques

- Aasa A., J. Jaagus, R. Ahas et Sepp M., 2004. The influence of atmospheric circulation on plant phenological phases in central and eastern Europe, *International Journal of Climatology*, 24, p. 1551-1564.
- Beaubien E.G. et Freeland H.J., 2000. Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature, *International Journal of Biometeorology*, 44, p. 53-59.
- Botta A., Viovy N., Ciais P., Friedlingstein P. et Monfray P., 2000. A global prognostic scheme of vegetation growth onset using satellite data, *Global Change Biology*, 6, p. 709-725.
- Brisson N., Gary C., Justes E., Roche R., Mary B., Ripoche D., Zimmer D., Sierra J., Bertuzzi P., Burger P., Bussièrre F., Cabidoche Y.M., Cellier P., Debaeke P., Gaudillère J.P., Hérault C., Maraux F., Seguin F.B. et Sinoquet H., 2002. An overview of the crop model STICS, *European Journal of Agronomy*, 18, p. 309-332.
- Chuine I. et Beaubien E., 2001. Phenology is a major determinant of temperate tree range, *Ecology Letters*, 4, p. 500-510.
- Chuine I. et Belmonte J., 2004. Improving prophylaxis for pollen allergies: predicting the time course of the pollen load of the atmosphere of major allergenic plants in France and Spain, *GRANA*, 43, p. 1-17.
- Chuine I., Yiou P., Viovy N., Seguin B., Daux V. et Ladurie E.L.R., 2004. Grape ripening as an indicator of past climate, *Nature*, 432, p. 289-290.
- Cumming S.G., Burton P.J. et Smith T.M., 1996. Phenology-mediated effects of climatic change on some simulated British Columbia forests, *Climatic Change*, 34, p. 213-222.

- Jolly W.M., Nemani R. et Running S.W., 2004. Enhancement of understory productivity by asynchronous phenology with overstory competitors in a temperate deciduous forest, *Tree Physiology*, 24, p. 1069-1071.
- Lüdeke M.B.K., Ramage P.H. et Kohlmaier G.H., 1996. The use of satellite NDVI data for the validation of global vegetation phenology models. Application to the Frankfurt biosphere model, *Ecological Modelling*, 91, p. 255-270.
- Menzel A., 2003. Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO, *Climatic Change*, 57, p. 243-263.
- Neilson R.P. et Running S.W., 1996. Global dynamics vegetation modelling coupling biogeochemistry and biogeography models, in: Walker B. et Steffen W., *Global change and terrestrial ecosystems*. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 451-465.
- Osborne C.P., Chuine I., Viner D. et Woodward F.I., 2000. Olive phenology as a sensitive indicator of future climatic warming in the Mediterranean, *Plant, Cell & Environment*, 23, p. 701-710.
- Potter C.S. et Klooster S.A., 1999. Dynamic global vegetation modelling for prediction of plant functional types and biogenic trace gas fluxes, *Global Ecology and Biogeography*, 8, p. 473-488.
- Rotzer T., Grote R. et Pretzsch H., 2004. The timing of bud burst and its effect on tree growth, *International Journal of Biometeorology*, 48, p. 109-118.
- Sitch S., Smith B., Prentice I.C., Arneth A., Bondeau A., Cramer W., Kaplan J.O., Levis S., Lucht W., Sykes M.T., Thonicke K. et Venevsky S., 2003. Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ dynamic global vegetation model, *Global Change Biology*, 9, p. 161-185.
- White M.A., Thornton P.E. et Running S.W., 1997. A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability, *Global Biogeochemistry Cycles*, 11, p. 217-234.

# Mise en place d'un réseau français d'arboretums pour une valorisation coordonnée des ressources ligneuses *ex situ*

*Creation of a French network of Arboreta to improve the  
coordination of ex situ resources management and studies*

*Brachet Stéphanie (1)*

*(1) AgroParis Tech ENGREF Centre de Nogent, Arboretum national des Barres - 45290  
Nogent sur Vernisson ; brachet@engref.fr*

## Résumé

Les arboretums français rassemblent en un même lieu de nombreuses espèces ligneuses vivantes originaires du monde entier. Parmi ces espèces, on recense souvent des espèces rares en voie de disparition de leur aire naturelle. Ces arboretums forment aussi des écosystèmes artificiels très particuliers pour la faune et la flore associée. Cependant, en France, les ressources des arboretums sont mal connues et peu valorisées. Cet article montre en quoi la création d'un réseau d'arboretums permettra d'apporter des connaissances sur les ligneux dans de nombreux domaines et de développer une gestion raisonnée des collections ligneuses *ex situ* à l'échelle nationale.

Mots clés : arboretum, réseau, valorisation, gestion.

## Abstract

*French arboreta collect in a same place a lot of living trees from all of the world. They often contain rare species which are endangered in their natural area. They are also artificial and very particular ecosystems for the associated fauna and flora. However, in France, they are little known and not really used to support knowledge. This paper shows how the creation of a French network of arboreta allows to enhance their research and technical use in several fields and to improve collection management at the national scale.*

*Keywords: arboretum, network, use, management.*

# Introduction

Les arboretums en France, malgré leur existence parfois centenaire ont été jusqu'à présent peu valorisés en terme d'apport de connaissance, même si cet objectif était à l'origine de leur création (de Vilmorin, 1863 ; Pourtet et Duchaufour, 1944 ; Fady et Thévenet, 2006). Dans cet article, nous montrerons comment, à travers la mise en place d'un réseau d'arboretums, une action coordonnée de gestion et d'étude des ressources ligneuses présentes dans chaque arboretum pourra permettre de combler ce manque de valorisation.

## 1. Présentation des arboretums

Nous présenterons dans cette première partie ce que sont les arboretums, leurs potentiels et leurs limites.

### 1.1. Définition et type d'arboretums

La définition la plus simple d'un arboretum est un lieu planté d'arbres. De manière plus détaillée, c'est un parc consacré à la culture expérimentale en pleine terre d'arbres ou d'arbustes appartenant à des espèces différentes, généralement exotiques en vue d'étudier leur comportement (Encyclopédie Universalis, 2005). L'apport de connaissances par les arboretums est ainsi souligné dans la définition. Deux types d'arboretums sont généralement distingués : les arboretums de collection qui rassemblent des espèces du monde entier, représentées par un très petit nombre d'individus et dont l'objectif premier est d'étudier l'acclimatation des essences exotiques ; les arboretums forestiers qui rassemblent un nombre limité d'espèces, représentées par un grand nombre de sujets et dont l'objectif est l'étude du comportement des espèces à des fins de reboisements.

### 1.2. Potentiels des arboretums publics français

Les principaux arboretums publics français renferment une très grande diversité de ligneux des régions tempérées et méditerranéennes (Tableau 1).

Noms des arboretums (organismes gestionnaires)	Nombre de taxons	Nombre d'individus
Arboretum national des Barres (ENGREF)	≈ 2500	≈ 8000
Arboretums de Pézanin, La Jonchère et Cardeilhac (ONF)	≈ 500	≈ 5000
Arboretums de Roumare et de Lozère (INRA – ONF)	≈ 150	> 20000
Arboretums d'Amance et de la Villa Thuret (INRA)	≈ 2000	≈ 5000
Arboretum de Chèvreloup (MNHN)	≈ 2700	≈ 12000

Arboretum de Launay (univ. Paris-Sud 11)	≈ 2200	≈ 4500
--	--------	--------

Tableau 1. Diversité taxonomique et nombre d'individus présents dans les principaux arboretums français publics

Parmi ces espèces se trouvent des espèces en danger critique d'extinction, comme *Abies nebrodensis*, dont il ne reste plus qu'une seule population relictuelle en Sicile ; des espèces en danger, comme *Picea chihuahuana*, *Cupressus dupreziana*, *Ginkgo biloba* (d'après la nomenclature IUCN, 2003). On compte aussi des espèces symboliques comme *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana* dont l'individu présent à l'Arboretum national des Barres a été le support de la première description botanique. Les arboretums constituent également des écosystèmes artificiels très particuliers dans lesquels se trouvent une faune et une flore associées très diversifiées.

### 1.3. Limites rencontrées

Malgré leur fort potentiel, la mise en valeur des arboretums publics français rencontre des limites. D'une part, les inventaires de leurs ressources ligneuses, souvent confidentiels et peu informatisés, sont propres à chaque arboretum, ce qui entraîne une forte dispersion de l'information. D'autre part, les espèces sont généralement représentées que par un petit nombre d'individus (en moyenne 3 à l'Arboretum national des Barres), ce qui implique une faible ressource génétique intraspécifique. Enfin, il n'y a pas de véritable gestion dynamique des ressources en particulier pour la conservation des espèces rares.

## 2. D'un arboretum à un réseau d'arboretums

### 2.1. Éléments

De nombreux travaux récents ont montré que des mesures de conservation considérant non pas une seule population mais plusieurs populations garantissaient de manière significative une meilleure survie des espèces (Hanski et Gilpin, 1997). La politique de conservation ex situ d'espèces animales rares est ainsi menée au niveau d'un ensemble de zoos regroupés en réseau (Hutchins et Conway, 1995). Considérer un ensemble de collections permet aussi de récolter un ensemble de données sur de mêmes espèces dans des conditions écologiques contrastées. Ces deux points montrent l'importance de considérer non pas un seul arboretum mais un ensemble d'arboretums pour mettre en place une politique dynamique et raisonnée de leurs ressources.

### 2.2. Mise en place d'un réseau français d'arboretums

À l'initiative de l'Arboretum national des Barres géré par l'ENGREF, un réseau français d'arboretums publics s'est constitué en 2005 : il regroupe une quinzaine d'arboretums (figure 1), rattachés à cinq grands organismes publics (ENGREF, INRA, ONF, MNHN, univ. Paris-Sud 11). Ses objectifs principaux sont :

- l'évaluation globale des ressources ligneuses des arboretums ;
- la mise en place d'une gestion dynamique et raisonnée à travers l'élaboration de plans de gestion communs et un programme de renouvellement et d'enrichissement coordonné ;
- une meilleure valorisation scientifique, technique et pédagogique.

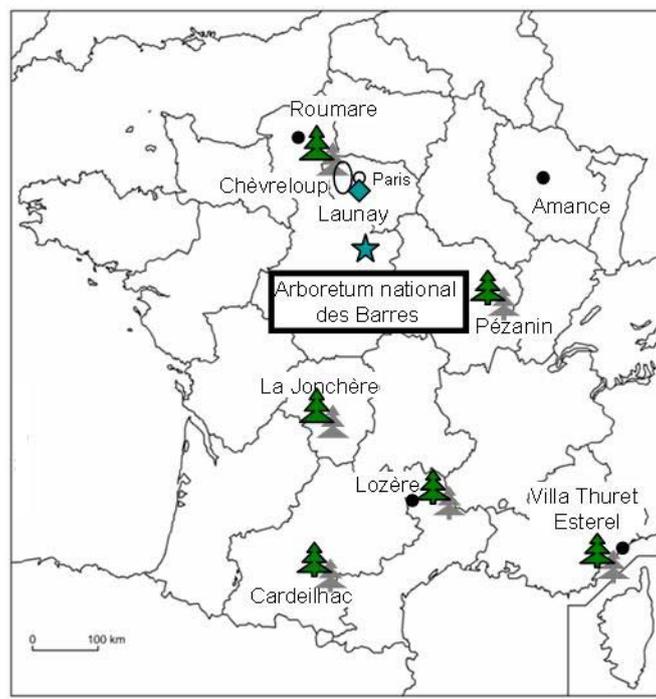


Figure 1. Répartition des arboretums du réseau en France  
(les différents symboles indiquent l'organisme gestionnaire:  
AgroParis Tech ENGREF ; ONF, INRA, MNHN, UPS – cf. tableau 1)

Ce réseau s'appuie sur le développement d'une base de données par l'ENGREF – Arboretum national des Barres et le Centre de Ressources Informatiques de l'Université Paris-Sud 11. Cette base de données, puissant outil informatique accessible via Internet permettra à terme de rassembler et d'homogénéiser toutes les données existantes sur chaque ligneux ou groupe de ligneux de chacun des arboretums du réseau (noms taxonomiques, chorologie, degré de protection, âge, origine, particularités, localisation, etc.).

### **3. Le réseau d'arboretums : un dispositif expérimental à grande échelle**

Ce réseau d'arboretums constitué, il s'agit alors de considérer l'ensemble de ses collections comme dispositif expérimental à grande échelle qu'il convient d'analyser et de relancer.

#### **3.1. A analyser**

Selon nous, l'étude et l'analyse des ressources ligneuses du réseau d'arboretums pourront alimenter trois domaines.

D'une part, la problématique de la conservation ex situ pourra être abordée à travers l'étude des ressources génétiques présentes dans le réseau pour certaines des espèces rares en milieu naturel. Cette étude pourra nous permettre de mieux orienter la gestion conservatoire de ces espèces.

D'autre part, le comportement des espèces pourra être mieux étudié grâce à la mise en place d'observations communes sur de mêmes espèces dans les divers arboretums. En outre, l'analyse des facteurs d'adaptation des espèces dans le réseau pourra permettre de mieux comprendre comment les ligneux s'adaptent à des conditions environnementales variées. Ceci pourra mieux alimenter deux demandes concrètes : l'introduction d'espèces variées en milieu urbain et l'utilisation de nouvelles espèces à des fins de reboisement et de diversification de la forêt française.

Enfin les interactions avec le ligneux comme plante hôte pourront être abordées à travers l'étude de la distribution de certaines espèces associées (insectes, champignons, parasites, etc.).

#### **3.2. A relancer**

Le réseau d'arboretums pourra également être utilisé pour développer une nouvelle approche de la gestion des ressources ex situ à travers l'intégration du caractère multi-site. L'échelle de gestion ne se situerait plus au niveau de la seule collection mais bien à celui de l'ensemble des collections du réseau. Un autre intérêt du réseau d'arboretums sera d'en faire le lieu de nouvelles expériences d'acclimatation face au changement climatique annoncé, en mettant par exemple l'accent sur les espèces méditerranéennes (au sens large).

## **Conclusion**

Il s'agit bien ici de passer de l'observation à l'information :

- d'une observation mutualisée à travers la mise en place du réseau d'arboretums et l'évaluation de ses ressources grâce à une puissante base de données
- à une information améliorée pour alimenter la connaissance et mieux gérer ces collections vivantes de ligneux.

## Remerciements

Nous tenons à remercier M.R. Fleisch (ENGREF) pour la concrétisation du contrat de partenariat portant création du réseau d'arboretums, N. Perrette (ENGREF) pour l'énorme travail en cours de rassemblement des données sur les arboretums, tous les partenaires du réseau d'arboretums, en particulier C. Ducatillion (INRA Villa Thuret), V. Badeau (INRA Amance) J.-C. Bastien (INRA), T. Lamant (ONF) et enfin le Centre de ressources informatiques de l'université Paris-Sud 11 (D. Will et S. Laubenberger).

## Références bibliographiques

- de Vilmorin P.A., 1863 - Exposé historique et descriptif de l'Ecole forestière des Barres, p.
- Fady B. et J. Thévenet, 2006. Les arboretums : un outil de recherche et d'éducation sur la biodiversité forestière - Le cas de l'arboretum du Ruscas (Var), Forêt méditerranéenne, XXVII, 3, p. 235-246.
- Hanski I. et M.E. Gilpin, 1997 - Metapopulation Biology - Ecology, Genetics and Evolution, Academic Press, 512 p.
- Hutchins M. et W. Conway, 1995. Beyond Noah's Ark: the evolving role of modern zoological parks and aquariums in field conservation, International Zoo Yearbook, 34, p. 117-130.
- Pourtet J. et P.H. Duchaufour, 1944. Catalogue des espèces cultivées dans l'Arboretum des Barres, Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts et de la station de recherches et expériences, IX, 1, p. 1-235.

## **Session 4. Indicateurs de gestion durable de la forêt**



# Indicateurs de gestion durable des forêts françaises : bilan 1995-2004 et perspectives

*Indicators for the sustainable management of French forests:  
1995-2004 assessment and future prospects*

*Hamza, Nabila (1)*

*(1) Inventaire forestier national, 152, rue de Cantaben, BP 1001, Maurin, 34972 Lattes  
Cedex, nabila.hamza@ifn.fr*

## Résumé

L'Inventaire forestier national est impliqué dans la réalisation de la publication « Les Indicateurs de gestion durable des forêts françaises » depuis 1995. Son rôle est passé au fil des ans de celui de simple fournisseur de données à celui de coordinateur de cette publication. La réalisation de l'édition 2005, actuellement en cours, a mis en évidence différents problèmes concernant la récupération des données, la méthodologie et certaines lacunes. Ce constat nous conduit à proposer plusieurs axes de travail pour l'avenir. Les résultats attendus sont notamment la constitution d'une force de proposition française au sein du processus paneuropéen de gestion forestière durable, en lien avec le Programme Forestier National en cours d'élaboration.

Mots-clés : Gestion forestière durable, CMPFE, indicateur, IFN, méthodologie

## Abstract

*Since 1995, the National Forest Inventory (NFI) has been involved in the publication entitled "Indicators for the Sustainable Management of French Forests". Over the years, the role of the NFI has evolved from simply providing the data to coordinating the publication. The 2005 edition, currently ongoing, highlights some of the difficulties met such as information retrieval, methodological issues, missing data, etc. Solutions are proposed to tackle these problems in the future, particularly the composition of a French task force able to make proposals to the Paneuropean process for sustainable forest management interfacing with the ongoing National forest program.*

*Keywords: Sustainable forest management, MCPFE, indicator, NFI, methodology*

## Introduction

La troisième édition des indicateurs de gestion durable des forêts françaises est en cours d'élaboration par l'Inventaire forestier national (IFN). C'est l'occasion d'évaluer à mi-parcours les difficultés rencontrées dans le renseignement des indicateurs et de proposer quelques axes de travail en vue d'une amélioration continue de cette publication.

## 1. Historique

Quelques dates clés permettent de retracer un bref historique des indicateurs de gestion forestière durable en Europe et en France (tableau 1).

### 1.1. Au niveau européen

En 1987, le rapport Brundtland définit la notion de « développement durable », repris et développé par la Conférence des Nations-Unies sur l'Environnement et le Développement (Rio de Janeiro, 1992). Au niveau européen, une première Conférence pour la protection des forêts en Europe (CMPFE) est organisée à Strasbourg en 1990, avec pour résultat le lancement d'une coopération à large échelle pour la protection transnationale des forêts. La deuxième Conférence (Helsinki, 1993) et le processus paneuropéen qui s'ensuit conduit à la définition de 6 critères de gestion durable<sup>1</sup> applicables à la forêt européenne. En 1998, la troisième Conférence définit une liste d'indicateurs quantitatifs et qualitatifs de suivi de ces six critères que les pays signataires s'engagent à renseigner régulièrement. Cette liste est remaniée et étoffée à la quatrième Conférence de Vienne en 2003.

### 1.2. En France

En 1995, la Direction de l'Espace rural et de la Forêt (DERF) publie le Plan national de mise en œuvre de la déclaration de principes forestiers adoptée par la Conférence de Rio (1992). La réalisation de ce document est confiée à un groupe de travail interministériel. C'est également en 1995 que la première publication française intitulée « Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises » est éditée par la DERF (ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 1995). Elle contient 50 indicateurs quantitatifs dont 40% environ

---

<sup>1</sup> 1) Conservation et amélioration appropriée des ressources forestières et de leur contribution aux cycles mondiaux du carbone. 2) Maintien de la santé et de la vitalité des écosystèmes forestiers. 3) Maintien et encouragement des fonctions de production des forêts (bois et non bois). 4) Maintien, conservation et amélioration appropriée de la diversité biologique dans les écosystèmes forestiers. 5) Maintien et amélioration appropriée des fonctions de protection dans la gestion des forêts (notamment sols et eaux). 6) Maintien d'autres bénéfices et conditions socio-économiques.

proviennent de l'IFN. La deuxième publication française qui paraît en 2000 (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2000) comporte 51 indicateurs quantitatifs : cette liste reprend celle validée par la Conférence de Lisbonne en 1998 (27 indicateurs) et y ajoute 24 indicateurs jugés pertinents pour la forêt française. La réalisation de cette publication est confiée à l'IFN.

En 2001-02, l'IFN, le Département santé des forêts et le Cemagref participent activement aux ateliers d'amélioration des indicateurs paneuropéens. Ces réunions sont l'occasion de confronter les difficultés rencontrées par les différents pays européens dans le renseignement des 27 indicateurs.

Les questions sur les indicateurs quantitatifs portent sur la pertinence, la disponibilité, le rapport coût/efficacité, la faisabilité, la fiabilité et la précision des indicateurs. Chaque indicateur est ainsi évalué à partir d'un questionnaire national qui propose une note de 1 à 5 pour chaque critère d'évaluation. Les discussions aboutissent à l'adaptation de certains indicateurs et à l'ajout d'indicateurs, surtout dans le domaine socio-économique. Quant aux indicateurs qualitatifs, ils sont remaniés et désormais destinés à évaluer les progrès accomplis dans les domaines institutionnel, juridique, économique, financier et informationnel entre deux Conférences. La nouvelle liste, qui compte 35 indicateurs quantitatifs, a été adoptée à la Conférence de Vienne en 2003 (MCPFE Liaison Unit Vienna, 2003).

La préparation de la troisième publication française (édition 2005) par l'IFN débute fin 2004 à la demande de la Direction générale de la Forêt et des Affaires Rurales. Une liste de 53 indicateurs quantitatifs est définie par le comité de pilotage à partir des indicateurs de la Conférence de Vienne de 2003 (35 indicateurs) et d'une liste de 18 indicateurs spécifiquement français. La rédaction des commentaires est prévue pour fin 2005, en lien avec les groupes de travail du Programme forestier national.

*Tableau 1. Gestion forestière durable : quelques repères chronologiques.*

<b>Dates</b>	<b>Evènements</b>
1987	Publication du rapport Brundtland
1990	Première Conférence pour la protection des forêts en Europe – Strasbourg
1992	Conférence des Nations-Unies sur l'environnement et le développement – Rio de Janeiro (Sommet de la Terre)
1993	Deuxième Conférence pour la protection des forêts en Europe – Helsinki
1995	Première édition de la publication : « Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises »
1998	Troisième Conférence pour la protection des forêts en Europe – Lisbonne
2000	Deuxième édition de la publication : « Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises »
2001-02	Ateliers d'amélioration des indicateurs de gestion durable organisés par la Conférence pour la protection des forêts en Europe
2003	Quatrième Conférence pour la protection des forêts en Europe – Vienne

## 2. Problèmes rencontrés

Le renseignement des indicateurs de gestion durable des forêts françaises a rencontré certaines difficultés parmi lesquelles, on peut citer : la pertinence de certains indicateurs et leur cohérence d'ensemble, la difficulté de récupération ou l'absence des données, les questions méthodologiques.

### 2.1. Pertinence et cohérence d'ensemble

La pertinence de certains indicateurs au regard du critère de gestion durable abordé paraît parfois sujette à caution, notamment parmi la liste proposée à la Conférence de Vienne (ex : le nombre d'essences forestières comme indicateur de biodiversité). Par ailleurs, la cohérence d'ensemble du système d'indicateurs nationaux mériterait d'être améliorée ainsi que l'articulation entre la liste de la dernière Conférence et le choix d'indicateurs spécifiques au contexte français.

### 2.2. Récupération des données

La récupération des données peut parfois être problématique.

Certaines demandes d'information restent sans réponse de la part d'organismes indépendants du Ministère chargé des forêts.

Les délais de réponse augmentent, compte tenu du contexte de surcharge de travail dans la plupart des organismes fournisseurs de données.

Le format des données est parfois incompatible avec un traitement informatisé (ex : absence de limites numérisées des forêts de protection au sens du code forestier).

### 2.3. Problèmes méthodologiques

De nombreuses difficultés d'ordre méthodologique sont apparues lors du renseignement des indicateurs.

La notion étudiée est parfois délicate à définir avec précision : forêt non perturbée par l'homme, espèce « forestière » menacée, âge limite d'une essence, secteur économique « forêt-bois », site à valeur culturelle ou spirituelle.

La périodicité des recueils de données forestières est variable et ne correspond pas nécessairement à celle de la mise à jour des indicateurs nationaux :

- mise à jour annuelle (enquête « Utilisation du territoire » du Service central des Enquêtes et Études statistiques – SCEES) ou décennale dans chaque département – IFN) ;
- enquêtes à périodicité non définie (enquête sur la structure de la propriété forestière privée du SCEES, enquête sur la récolte des champignons sylvestres de la Fédération nationale des producteurs de champignons) ;

- enquêtes ponctuelles (Ministère chargé des forêts : régénérations protégées contre le grand gibier ; Institut national de la recherche agronomique : contribution de la recherche forestière à la gestion durable).

La mise à jour proposée peut alors n'être que partielle et entraîner des difficultés d'interprétation.

Le renseignement d'un indicateur peut conduire à l'utilisation de nombreux coefficients de passage parfois sujets à controverse. C'est le cas pour les facteurs d'expansion des branches et des racines, les pertes en exploitation, le taux d'écorce ou encore la conversion des stères et tonnes en m<sup>3</sup> équivalents-bois-ronds.

Il est parfois difficile de choisir une méthodologie lorsque celle-ci n'est pas encore stabilisée par les organismes compétents, notamment dans le cas des indicateurs socio-économiques (consommation de bois et produits dérivés du bois, valeur ajoutée du secteur forêt-bois, revenu net des entreprises forestières).

## 2.4. Lacunes

Un certain nombre de lacunes dans les données ont pu être observées. Elles correspondent à différents cas de figure.

On constate parfois l'absence de mesures/observations dans une enquête ou un réseau existant qui est souvent liée à un problème de coût ou de confidentialité :

- IFN : données dendrométriques sur les landes (« autres terres boisées » de la FAO), bois mort de plus de 5 ans et distinction sur pied/au sol, dégâts de gibier, dégâts d'exploitation ;
- SCEES/Enquête sur la structure de la propriété forestière privée : propriétés de moins de 1 hectare, valeur des services commercialisés.

L'absence de données peut être liée à l'inexistence de réseaux de mesures/observations. C'est le cas pour la quantité et la valeur des produits non ligneux récoltés en forêt (champignons, plantes de cueillette, miel).

Enfin, les connaissances sur le thème abordé sont parfois insuffisantes : espèces menacées (pas d'éléments sur les plantes inférieures, les invertébrés et les microorganismes), affectation d'une liste d'espèces introduites ou/et invasives à chaque région forestière.

## 3. Axes de travail proposés

Divers axes de travail peuvent être dégagés de ces constatations.

Il convient tout d'abord d'améliorer la pertinence et la cohérence d'ensemble des indicateurs nationaux. Ceci suppose de réaliser une analyse approfondie de chaque critère de gestion durable et de préciser la façon dont ce critère peut être décliné dans le contexte de la forêt française. Des travaux de recherche devraient être développés, notamment sur les critères 4 « biodiversité » et 6 « aspects socio-économiques » qui posent actuellement de nombreuses questions. Il s'agirait d'affiner les connaissances sur les notions abordées, de préciser les définitions utilisées et d'élaborer des méthodologies de calcul pertinentes.

Il conviendrait également d'étudier l'opportunité de mettre en place des réseaux complémentaires concernant les lacunes observées. Pour cela, une analyse du rapport coût/efficacité des données manquantes dans les réseaux existants s'avère nécessaire.

Un travail important de coordination des réseaux et enquêtes existants serait indispensable afin d'éviter les redondances et les incohérences dans la fourniture de données aux processus internationaux (conférences pour la protection des forêts en Europe, évaluation des ressources forestières mondiales, protocole de Kyoto, convention pour la diversité biologique). Cette coordination suppose de renforcer la mise à disposition mutuelle des données dans un format adéquat.

Enfin, il paraît indispensable de mobiliser l'ensemble des partenaires concernés afin que la mise à jour des indicateurs de gestion durable soit considérée comme l'affaire de tous.

## **Conclusion**

Les difficultés rencontrées dans le renseignement des indicateurs de gestion durable des forêts françaises ont conduit à dégager quelques axes de travail. Divers résultats peuvent être attendus de ces propositions.

Tout d'abord, celles-ci pourraient permettre d'élaborer un outil de suivi rigoureux du Programme forestier national en cours de réalisation. La coordination des réponses françaises aux questionnaires internationaux devrait également s'en trouver améliorée. Enfin, il s'agirait de constituer une véritable force de proposition au sein du processus CMPFE en vue de la prochaine Conférence qui doit se tenir à Varsovie en 2008.

## **Références bibliographiques**

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 1995. *Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises*, DERF, 49 p.

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2000. *Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises, Edition 2000*, DERF, 129 p.

MCPFE Liaison Unit Vienna, 2003. *Improved pan-european indicators for sustainable forest management*, Fourth ministerial conference on the protection of forests in Europe, Vienna, 45 p.

# **FORSEE, un réseau de zones pilotes pour la mise en œuvre opérationnelle des indicateurs de gestion durable des forêts**

*FORSEE: a network of pilot zones for operational implementation of indicators for sustainable forest management*

*Orazio, Christophe (1), Carnus, Jean-Michel (2)*

*(1) Institut européen de la forêt cultivée (IEFC), 69 route d'Arcachon, 33612 Cestas, [christophe.orazio@iefc.net](mailto:christophe.orazio@iefc.net), [www.iefc.net](http://www.iefc.net).*

*(2) INRA, 69 route d'Arcachon, 33612 Cestas*

## **Résumé**

Avec le concept de gestion durable, s'est généralisée l'utilisation de critères et indicateurs, permettant d'observer l'évolution des forêts. Cette évaluation se fait généralement à l'échelle nationale, sur la base d'inventaires et de listes d'indicateurs constituées lors de processus inter-gouvernementaux. En parallèle, des processus de certifications se sont mis en place nécessitant des approches plus régionales ou locales. C'est ainsi qu'apparaît la nécessité de développer des outils plus proche du terrain pour répondre aux questions des gestionnaires et du public avec des références objectives et validées scientifiquement.

Pour ce faire, nous décrivons la démarche du projet FORSEE qui se décompose comme suit : (i) définition de zones pilotes homogènes d'un point de vue bioclimatique et socio économique, (ii) élaboration d'indicateurs et évaluation de leur pertinence par des études scientifiques (iii) études comparatives basées sur des protocoles communs (iv) communication et transfert des résultats aux acteurs locaux et nationaux. Une partie du protocole des indicateurs clefs du projet est présentée.

Mots-clés : Suivi écosystème forestier, santé des forêts, biodiversité, carbone, sol, observation sectorielle

## **Abstract**

*The sustainable forest management concept generates tools such as criteria and indicators for Sustainable Forest Management (SFM). Evaluation of SFM indicators has been generally conducted at national levels on the basis of forest inventories data and agreed list of indicators from inter-governmental processes. In parallel, certification processes have*

*been developed and are generally conducted at smaller scales such as regional or management unit levels. Increasingly, SFM indicators will need to be evaluated at those local scales to answer forest managers and public questions and facilitate societal dialogue on the basis of scientifically sound and pertinent information.*

*To undertake this type of evaluation within homogeneous bio-geographic zones and socio-economic context, we describe the FORSEE project approach : (i) use of reference pilot zones, (ii) elaboration of indicators and evaluation of their pertinence through scientific studies for priority domains (carbon sequestration, forest damages, soil disturbances, landscape patterns and biodiversity, global value of products and services) , (iii) comparative test of common protocols, and (iv) organisation and sharing of forest information at regional levels with stakeholders and public. Methods and costs are presented for key indicators corresponding to priority issues for planted forests of European Atlantic regions.*

*Keywords: Forest ecosystem, monitoring, forest health, biodiversity, soil, sectorial approach*

## **1. Contexte, intérêt et objectifs du projet FORSEE**

### **Contexte**

Au cours de la dernière décennie, les concepts de gestion durable et de développement durable se sont diffusés, prenant une place de plus en plus importante dans les préoccupations des décideurs comme du grand public. Parallèlement à ce mouvement, ces concepts ont été précisés notamment par plusieurs processus intergouvernementaux (9 dénombrés par la FAO en 2001) ou issus d'organisations non gouvernementales qui ont abouti à plusieurs définitions de ces concepts, appuyés sur des grilles de critères associant les aspects écologiques et sociaux à l'économie. Pour assurer le suivi de la durabilité, ces grilles s'accompagnent d'indicateurs d'état et de suivi. Même si la plupart des principes et des critères se retrouvent d'un processus à l'autre, il y a de nombreuses variations quant au nombre, au contenu des indicateurs et aux méthodes d'évaluations

La gestion forestière est concernée au même titre que les autres milieux par ces nouvelles exigences.

Au nombre des processus intergouvernementaux figure ainsi le processus paneuropéen MCPFE (Ministerial conference on the protection of forests in Europe) qui implique 45 pays. La MCPFE a ainsi défini en 1993 lors de la conférence d'Helsinki six critères définissant la gestion durable des forêts<sup>1</sup>. 35 indicateurs quantitatifs et 17 indicateurs

---

<sup>1</sup> Les six critères : C1-La conservation et l'amélioration des ressources forestières et leur contribution aux cycles mondiaux du carbone ; C2-le maintien de la santé et de la vitalité des écosystèmes

qualitatifs ont par la suite été définis pour évaluer et suivre l'application de ces critères (MCPFE, 2003) ; ils font l'objet de rapports nationaux largement fondés sur les données des inventaires forestiers nationaux (ex : MAP, 2000).

Outre ces actions gouvernementales, des initiatives non gouvernementales concernant la forêt se sont également développées dans plusieurs pays (Hickey, 2004). C'est ainsi que des schémas de certification définissent par l'intermédiaire de tiers indépendants si la gestion d'une forêt donnée est conforme à des standards pré-établis. Ces systèmes sont généralement mis en place à des échelles opérationnelles comme la région ou l'unité de gestion.

Toutes ces démarches se mettent en place actuellement, s'imbriquent plus ou moins bien et toutes exigent le suivi d'indicateurs divers pour s'assurer que les critères de gestion durable sont bien appliqués. Les indicateurs sont difficiles à définir, à mesurer et chacun tâtonne pour « avancer en marchant ». Il est donc nécessaire, que ce soit à des fins commerciales ou pour la mise en œuvre de politiques régionales ou nationales, d'améliorer les méthodes de suivi et les indicateurs sur des bases scientifiques de manière à aider les forestiers, les aménageurs de l'espace rural et les décideurs à ajuster leurs pratiques et leurs décisions. Cela permettra aussi de faciliter le dialogue avec la société.

### **Intérêt et objectifs de la démarche**

L'évaluation de la gestion durable des forêts par à l'aide d'indicateurs de gestion durable est une tâche difficile car elle suppose l'implication d'un grand nombre de disciplines et l'utilisation de nombreux dispositifs de mesures ou de suivi dont l'importance et la maturité sont très variables. Jusqu'ici l'élaboration et la sélection des indicateurs semblent avoir été davantage guidées par la simplicité et la disponibilité des données que par la pertinence scientifique ou l'effort d'échantillonnage. Le jeu d'indicateurs actuellement utilisés présente ainsi des faiblesses importantes :

- Certains indicateurs sont basés sur des concepts totalement empiriques (ex : relevé du type de régénération, alors qu'on ne sait pas vraiment son impact sur la biodiversité).
- Les indicateurs disponibles n'ont souvent qu'une pertinence limitée, notamment car ils ne sont pas liés directement à l'état réel de la forêt (ex : la quantité de personnel affectée à la surveillance de l'état sanitaire des forêts, la part de la foresterie dans le produit national brut, ...).
- La disponibilité et la représentativité des données sont souvent limitées, en particulier à l'échelle régionale et pour les indicateurs environnementaux ou sociaux (produits non ligneux, biodiversité, protection de l'eau, valeur sociale ou culturelle, accessibilité pour le public, ...).

---

forestiers ; C3-le maintien et l'encouragement des fonctions de production des forêts (bois et hors bois) ; C4-le maintien, la conservation et l'amélioration appropriée de la diversité biologique dans les écosystèmes forestiers ; C5-le maintien, la conservation et l'amélioration appropriée des fonctions de protection de la gestion des forêts (notamment sols et eau) ; C6-le maintien d'autres bénéfiques et conditions socio-économiques.

Tout ceci fait peser une menace sur l'ensemble du concept d'indicateurs, car au lieu d'introduire de l'objectivité dans le débat, le flou introduit transforme un outil objectif en un processus subjectif.

C'est pour améliorer la pertinence tout en conservant l'opérationnalité des indicateurs de gestion durable que le projet FORSEE a été conçu et lancé en 2003. Il mobilise quatre pays (Espagne, France, Irlande et Portugal) autour des objectifs suivants :

- Identifier et tester des indicateurs ayant une signification en terme de gestion durable à l'échelle subrégionale sur un grand nombre de sites représentatifs : pertinence, faisabilité, coût ;
- Améliorer ou valider des indicateurs à travers des études scientifiques thématiques ;
- Structurer un réseau d'experts et d'organismes ;
- Contribuer, grâce aux organismes de développement, à la vulgarisation de la notion d'indicateurs dans les régions forestières participantes.

Pour atteindre ces objectifs, le projet coordonné par l'IEFC est doté de 3M d'euros<sup>2</sup> et mobilise une centaine de collaborateurs, dont une vingtaine à plein temps, appartenant à 24 organisations.

## 2. Matériel et méthode

La figure 1 résume les principales étapes du projet qui sont développées ci-après : sélection des zones pilotes et des indicateurs par des groupes d'experts, élaboration de protocoles commun harmonisés et collecte des données, analyse des données, estimation des coûts et dissémination.

---

<sup>2</sup> Le projet FORSEE est financé à 68% par le programme interreg IIIB espace atlantique et est soutenu par les régions Aquitaine, Navarra, Euskadi, Castille y Leon et Galicia

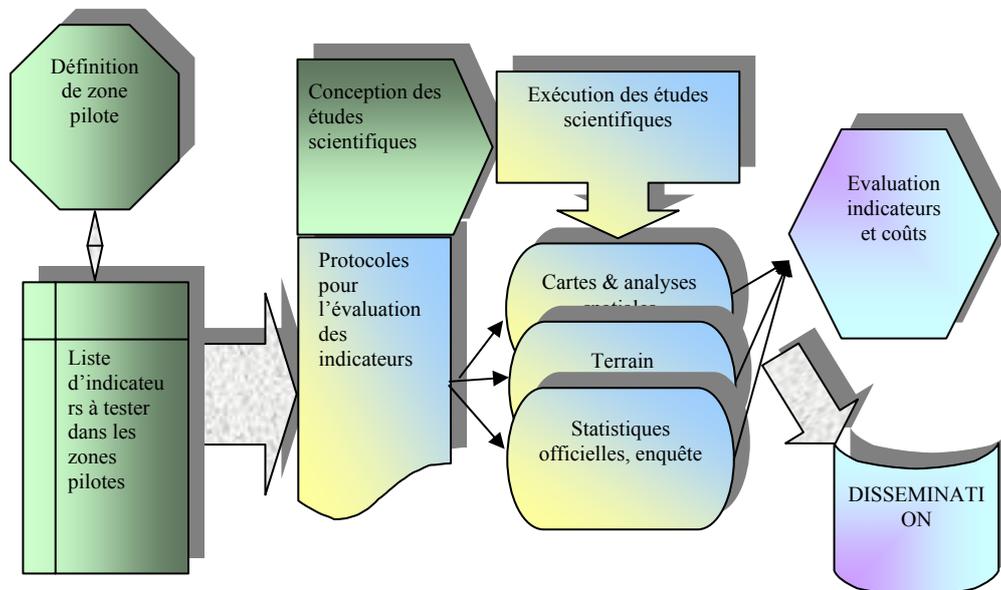


Figure 1. Principales étapes du projet

## Le choix de zones pilotes représentatives

Huit zones pilotes ont été définies dans les quatre pays participants (Tableau 1). Le choix a été réalisé sur la base d'une confrontation entre des scientifiques spécialisés dans chacun des critères et des associations forestières régionales participant au projet. Les principaux critères qui ont guidé le choix ont été :

- La taille : suffisamment vaste pour appréhender la difficulté d'évaluer des indicateurs de type régionaux, mais pas trop pour limiter le coût. A l'inverse, les indicateurs pour lesquels l'évaluation régionale est plus simple que l'évaluation sur la zone pilote, sont directement traités à l'échelle de la région.
- Localisation : choisir un endroit représentatif de la région tant pour les aspects biogéographiques (climat, sol, altitude, hydrographie, etc.) que pour les aspects socio-économiques (production, emplois, entreprises, etc.)
- Données : préférer un site disposant de séries de données à long terme, sans pour autant favoriser les sites lourdement instrumentés qui seraient trop coûteux à reproduire à l'échelle régionale,
- Interfaces : favoriser les sites où l'on trouve des associations ou des collectivités favorables à la communication sur les aspects gestion durable de la forêt,
- Limites : la majorité des zones pilotes s'appuient préférentiellement sur des limites administratives (cantons, ensemble de communes, ..) de manière à faciliter la récolte des données socio-économiques et à intégrer des ensembles homogènes d'un point de vue géographique.

Tableau 1 : résumé des principales caractéristiques des zones pilotes pour l'évaluation des indicateurs de gestion durable des forêts du projet FORSEE

Zone pilote (région et pays)	Localité	Espèces arborées dominantes	Surface (ha)	Forêt (%)	Altitude (m)	Limites	Propriété
<b>Irlande de l'Ouest</b>	Mayo	Epicéa de Sitka Pin contorta	25000	10%	20-100	administrative (pays)	Forêt agricole
<b>Aquitaine (France)</b>	Pontenx	Pin Maritime	100000	83%	0-50	Bassin versant dans des limites administratives	90 % forêts privées
<b>Euskadi (Espagne)</b>	Río Ibaizabal	Pin Radiata	50000	65%	100-600	Bassin versant	Forêts privées
<b>Navarre (Espagne)</b>	Roncesvalles	Hêtre, Chêne	18000	73.5%	600-1200	Municipalités	Forêts publiques
<b>Léon (Espagne)</b>	Rio Carrion	Peuplier, Pin Laricio, Pin Sylvestre	18600	26%	800-1000	Bassin versant dans des limites administratives	Forêt privée dans un milieu agricole
<b>Galice (Espagne)</b>	Guitirriz	Pin maritime Eucalyptus globulus Pin Radiata, Chêne	45000	75 %	400-700	Municipalités	Forêts privées et forêts publiques
<b>Portugal Nord</b>	Sousa Valley	Pin maritime Eucalyptus	77000	38%	100-600	Association propriétaires dans limites administratives	Petites forêts privées
<b>Portugal centre</b>	Pinhal Interior Norte	Eucalyptus globulus Pin Maritime	272000	55%	600-1200	Zone administrative (pays)	Forêt privée en zone rurale

## Sélection des indicateurs par un panel d'expert

Le choix des indicateurs à tester et à améliorer s'est fondé en premier lieu sur la liste établie dans le cadre du processus pan européen MCPFE et notamment sur la liste améliorée des indicateurs quantitatifs arrêtée lors de la quatrième conférence ministérielle de Vienne (MCPFE, 2003). Un large ensemble d'indicateurs extraits d'autres sources (processus de Montréal, IPCC, PEFC, FSC...<sup>3</sup>) ont aussi été considérés par les groupes d'experts pour chacun des critères C1 à C6 (voir note page 2). Les groupes d'experts étaient composés de représentants de chaque région (propriétaires forestiers publics ou privés, autorités nationales et territoriales) et d'experts scientifiques. 42 indicateurs à évaluer sur l'ensemble des zones pilotes ont finalement été retenus (Tableau 2).

Un des aspects les plus importants pris en compte pour le choix des indicateurs a été leur **pertinence**, vis-à-vis du contexte environnemental et économique des régions concernées : l'indicateur doit avoir un rapport avec la durabilité de la gestion forestière telle que perçue dans la zone pilote, et donc que tout changement de sa valeur estimé reflète un changement dans le système forestier. Les indicateurs pertinents uniquement au niveau national ou de l'unité de gestion, mais pas au niveau de la zone pilote ou régional, n'ont pas été retenus.

<sup>3</sup> Processus de Montréal : équivalent pour le continent américain des MCPFE, 7 critères et 67 indicateurs. IPCC : International panel on climate change (Groupe international d'expert sur le changement climatique). PEFC : Programme for Endorsement of Forest Certification scheme (programme de reconnaissance des certifications forestières). FSC : Forest stewardship council (conseil international de gestion forestière).

Le deuxième aspect a été la **faisabilité**, contrainte liée à la période de réalisation du projet et à ses ressources. Les experts ont été invités à ne sélectionner que des indicateurs qui pourraient être évalués dans les trois ans et avec le budget du projet.

Le troisième aspect a été de concentrer les efforts scientifiques sur des indicateurs qui nécessitent une amélioration ou un développement des méthodes de mesures ou d'inventaire.

Tableau 2: liste des indicateurs sélectionnés pour l'évaluation sur toutes les zones pilotes.

Critère	Description	Source	Type de travail requis		
			Carto	Terrain	Stats
1	Superficie forestière – superficies de forêts et autres espaces boisés classées par type de forêt et par disponibilité pour la production de bois, et pourcentage de la superficie de forêt et autres espaces boisés par rapport à la superficie totale	MCPFE Vienne	X		
1	Accroissement – Accroissement en forêt et dans les autres espaces boisés, classé par type de forêt et disponibilité pour la production de bois	MCPFE Vienne	X		
1	Stock de Carbone (d'après facteurs d'expansion)	MCPFE Vienne	X		
1	Stock de carbone dans la biomasse ligneuse (tiges et racines)	MCPFE Vienne	X	X	X
1	Stock de carbone dans le sol	MCPFE Vienne		X	
1	Stock de carbone dans le bois mort	IPCC		X	
1	Stock de carbone dans la litière	IPCC		X	
1	Stock de carbone dans le sous bois	IPCC	X	X	
2	Dégâts	MCPFE Vienne		X	
2	Facteur clés associés aux dégâts	Proposition FORSEE		X	
3	Accroissement et exploitation	MCPFE Vienne	X		
3	Bois rond exploité (volume et valeur)	MCPFE Vienne		X	X
3	Produits non-bois	MCPFE Vienne			X
3	Forêts avec plan de gestion	MCPFE Vienne	X		X
3	Accessibilité	MCPFE Lisbonne	X		X
3	Exploitabilité	MCPFE Lisbonne	X		
4	Composition spécifique en arbres	MCPFE Vienne	X		
4	Diversité des plantes vasculaires	Proposition FORSEE		v	
4	Diversité des carabes	Proposition FORSEE		v	
4	Diversité des oiseaux	Proposition FORSEE		v	
4	Paramètres clés de l'habitat	Proposition FORSEE		X	
4	Régénération	MCPFE Vienne	X		
4	Naturalité	MCPFE Vienne	X		
4	Espèces exotiques	MCPFE Vienne	X		
4	Bois mort	MCPFE Vienne		X	
4	Organisation du paysage	MCPFE Vienne	X		
5	% de rive avec une ripisylve appropriée	Proposition FORSEE	X		
5	Risque d'érosion potentielle	Proposition FORSEE	X		
5	Densité de pistes à proximité des rivières	Proposition FORSEE	X		

5	Carbone du sol et réserve utile	MCPFE Vienne		X	
5	Profondeur de sol et de la nappe phréatique	MCPFE Vienne		X	
5	Stock et flux de nutriments	Proposition FORSEE		X	
5	Estimation visuelle des perturbations du sol	Proposition FORSEE		X	
5	Perturbations du sol en fonction des modes de gestion type	Proposition FORSEE		v	
5	Caractérisation physique des perturbations en fonction des types	Proposition FORSEE		v	
6	Propriété forestière	MCPFE Vienne			X
6	Revenu net	MCPFE Vienne			X
6	Dépenses pour services	MCPFE Vienne			X
6	Emplois du secteur forestier	MCPFE Vienne			X
6	Santé et accidents du travail	MCPFE Vienne			X
6	Accessibilité pour tourisme	MCPFE Vienne			X
6	Valeur économique totale	Proposition FORSEE			X

Les vérificateurs sont marqués d'un « v ». Il s'agit de mesures qui servent à valider les indicateurs sans être considérées comme tels, car trop compliqués à généraliser de façon rigoureuse et économe.

## **Élaboration de protocoles communs harmonisés pour l'évaluation des indicateurs**

La seconde phase de cette approche intégrée a nécessité de passer en revue pour les différents indicateurs retenus, les méthodes (mesure, calcul, analyse) actuellement utilisées dans les 4 pays concernés et à développer un protocole commun plus satisfaisant. Les protocoles ont été évalués dans un premier temps au sein des groupes d'experts de chacun des critères puis ont été harmonisés en réunissant les coordinateurs de chacun des groupes<sup>4</sup> de manière à organiser les travaux sous forme de trois grandes tâches :

- Cartographie : définition de la liste de cartes de base nécessaires à l'élaboration des indicateurs, et définition des analyses spatiales à effectuer. Parmi les cartes de base se trouvent : relief, desserte, peuplement, climat, hydrographie, ...
- Travail de terrain : définition du protocole d'échantillonnage de terrain sur les points d'inventaires. Ces points d'inventaires sont composés de 4 parcelles satellites dont une est échantillonnée selon le protocole de l'inventaire forestier de la région concernée. Sur les trois autres, 20 arbres font l'objet de notations indépendamment de leur taille et de leur âge. Ces 4 satellites sont reliés entre eux par deux transects de 25m utilisés pour échantillonner le bois mort au sol. (Figure 2).
- Enquêtes et analyses statistiques : définition des thématiques à introduire dans une enquête à destination des propriétaires forestiers, et amélioration des définitions pour l'analyse et la réorganisation des statistiques officielles.

---

<sup>4</sup> Margarida Tomé, Julio Diez, Roque Rodriguez, Hervé Jactel, Inazio Martinez, Américo Mendes

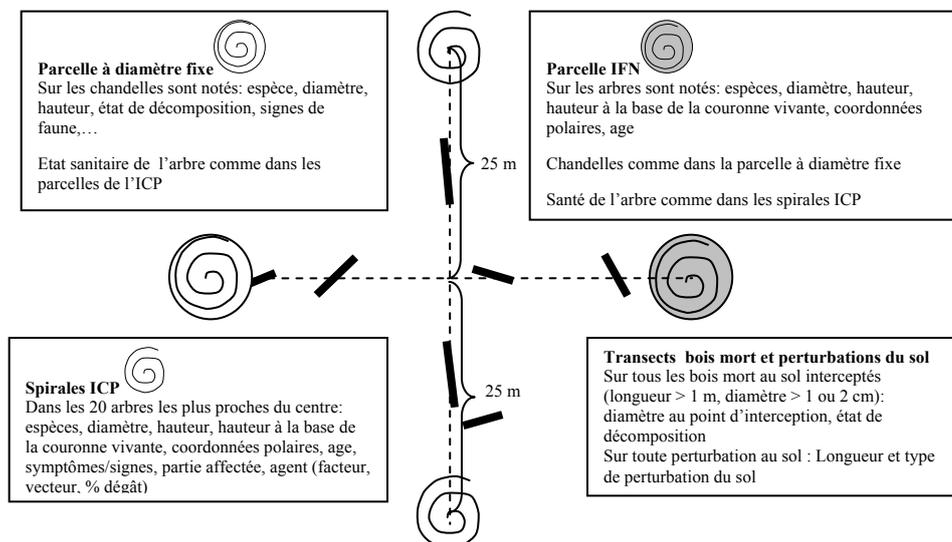


Figure 2 : Dispositif d'échantillonnage standard du projet FORSEE

## Études scientifiques spécifiques relatives à l'évaluation de la pertinence ou au développement de nouvelles méthodes d'évaluation des indicateurs de gestion durable

En parallèle à l'évaluation directe d'indicateurs de gestion durable sur les zones pilotes, le projet inclut des études scientifiques pour l'évaluation et l'amélioration des indicateurs. Ces études scientifiques poussées devraient combler une partie des lacunes en connaissances fondamentales dans certains domaines comme la biodiversité (Marchetti, 2004) qui rendent difficile la sélection, l'évaluation et le suivi d'indicateurs pertinents (Tableau 3).

Tableau 3 : Critères faisant l'objet d'étude spécifique dans chacune des régions du projet FORSEE

Région	Critère concerné	Objectif poursuivi
Irlande de l'Ouest	C1 : stock de carbone	Développement d'équations allométriques pour des espèces régionales, amélioration de l'estimation des compartiments méconnus comme le sol, la litière, le sous-bois, le bois mort...
Aquitaine	C4 : biodiversité	Construction d'un indicateur indirect en confrontant des paramètres clés du paysage et des peuplements forestiers à des inventaires multi-taxa.
Euskadi	C5 : protection du sol	Suivi de la durabilité des sols forestiers en région montagneuse et fournir des fonctions de pédo-transfert précises.
Navarre	C1 : stock de carbone	Développement d'équations allométriques

		pour des espèces régionales, amélioration de l'estimation des compartiments méconnus comme le sol, la litière, le sous-bois, le bois mort...
Castille y Léon	C2 : santé des forêts	Evaluer la santé du peuplier en utilisant l'imagerie numérique
Galice	C1 : stock de carbone	Développement d'équations allométriques pour des espèces régionales, amélioration de l'estimation des compartiments méconnus comme le sol, la litière, le sous-bois, le bois mort...
Portugal Nord	C6 : socio-économie	Evaluation de la valeur économique totale de la forêt en prenant en compte de nouveaux paramètres tels que la biodiversité et le carbone.
Portugal Centre	C1 : stock de carbone	Développement d'équations allométriques pour des espèces régionales, amélioration de l'estimation des compartiments méconnus comme le sol, la litière, le sous-bois, le bois mort...

Si, comme le montre le tableau 3, la majorité des critères de la MCPFE ont fait l'objet d'études scientifiques dans le cadre du projet, on peut noter que les engagements et possibilités liées au protocole de Kyoto suscitent un intérêt particulier chez les forestiers (Carle et al., 2002).

## Conclusion

Le traitement des données acquises en 2005 sera fait pour l'essentiel en 2006. Les résultats du projet seront présentés début 2007 dans le cadre d'une conférence internationale et seront disponibles sur le site Internet de l'IEFC ([www.iefc.net](http://www.iefc.net)).

A ce stade plusieurs conclusions s'imposent néanmoins :

- Le suivi continu (« monitoring ») forestier à l'échelle régionale présente de nombreux avantages par rapport aux autres échelles. Il permet d'aborder des problèmes complexes qui dépassent le niveau de la parcelle forestière, tout en justifiant d'une précision et d'une proximité qui permettent de comprendre les phénomènes et d'influencer la gestion de manière adaptée. C'est une échelle appropriée pour faciliter le dialogue entre forêt et société et lier l'aspect opérationnel aux politiques forestière et à la certification.
- L'utilisation de vastes zones pilotes cohérentes d'un point de vue biogéographique et socio économique, définies en lien avec les priorités régionales fournit un cadre idéal pour tester et améliorer les indicateurs de gestion durable des forêts

- Les travaux en cours, avant même d’être arrivés à leur terme, ont infléchi les protocoles des institutions en charge du suivi du secteur forêt bois comme les inventaires forestier nationaux, l’INSEE, démontrant d’ores et déjà leur intérêt.

## Références bibliographiques

- Carle, J, Vuorinen, P, Del Lungo, A, 2002. Status and trends in Global Forest Plantation Development, *Forest Products Journal*, vol 52, N°7, p 3-13.
- FAO, 2000. *Geneva Timber and Forest Study Papers, No. 17*, 467 pages, ISBN 92-1-116735-3 ISSN 1020-2269.
- FAO, 2003. *Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management: a compendium. Forest Management working paper 5*, Forest Resources Division.
- FAO, 2004. *Expert Consultation on Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management*, Discussion paper 3.
- Hickey, G.M., 2004. Regulatory approaches to monitoring sustainable forest management, *International Forestry Review* 6 (2): p 89 – 98.
- ICP Forest, 2004. *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. United Nations Economic Commission For Europe: Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests*, 77 p.
- IEFC , 2000. *Forest Atlas of the South Atlantic European Arc*. ISBN 2-9519296-0-9, 78 p.
- IPCC, 2000. *IPCC Special Report on Land Use, Land-Use Change And Forestry*. International Panel on Climate Change (IPCC) special report. ISBN : 92-9169-214-X, 30 p.
- Marchetti, M (ed.) , 2004. *Monitoring and indicators of biodiversity in Europe – from ideas to operationality*. EFI proceedings N° 51, 526 p. ISBN: 952-5453-04-9, ISSN: 1237-8801 ;
- Ministère de l’agriculture et de la pêche, 2000. *Indicateurs de gestion durable des forêts françaises*. Ministère de l’agriculture et de la pêche, 2000, Paris, p 1-129.
- MCPFE, 2003. *Improved Pan European Indicators for Sustainable Forest Management*. Liaison unit Vienna document, 2003.
- Mendes, A, Carvalho, M.S., 2005. Portugal; in Merlo M., Croitoru L. (eds), *Valuing Mediterranean Forests: Towards Total Economy Value*. Wallingford, Oxon (UK). CAB International. p. 331-352.
- Stanford, M.G., Coops, N.C., Dudzinski, M., Old, K., Culvenor, D.C. & Stone, C. 2003. Testing generic capabilities of a condition indicator for forest health and vitality. *Forest & Wood*.



## **Session 5. Systèmes d'information**



# Le SIEF, un site vitrine sur le suivi et l'observation en forêt — Étude de faisabilité

*SIEF, a demonstration web site about forest monitoring. – Faisability study*

*Sandrine Landeau(1), Nathalie Derrière (2)*

*(1) ECOFOR, c/o INRA, UMR EEF, 54290 Champenoux, [landeau@gip-ecofor.org](mailto:landeau@gip-ecofor.org)*

*(2) IFN, Château des Barres, 45290 Nogent-sur-Vernisson*

## Résumé

Les dispositifs d'observation, de suivi et d'expérimentation en forêt sont nombreux mais, pour partie, peu visibles et peu connus. De ce constat est née l'idée d'une "vitrine" web pour ces dispositifs et leurs résultats. Les fournisseurs d'information sont intéressés par ce projet, qui devrait favoriser l'accès à l'information et la valorisation de leurs travaux.

Le SIEF doit donc à la fois informer sur les dispositifs et présenter de façon thématique des résultats exemplaires qui en sont issus. Le contenu du site doit être accessible à des non-spécialistes, tout en offrant des passerelles pour une information plus spécialisée.

Un prototype a été développé et mis en ligne pendant plusieurs mois pour recueillir des avis. Les marques d'intérêt reçues amènent à envisager une suite concrète à ce projet, en tenant compte des évolutions en cours dans le domaine de l'information, et en articulation avec le projet de Catalogue des sources d'information sur la forêt (Ca-SIF).

Mots clés : forêt, système d'information, suivi continu, diffusion des connaissances, vulgarisation

## Abstract

*The monitoring, experimentation or research networks and sites are numerous, but partly bad-know. That is why ECOFOR proposed to build a web site to promote these networks and sites and their results. The information producers are interested in this project to facilitate the access to the information on forest and to promote their work.*

*The SIEF should both inform about sites and networks and present their results. The site content has to be readable by a large public and to propose links to further information.*

*A prototype was submitted to the concerned web surfers during the year 2005. The reactions and the new projects developed lead today to envisage a concretisation of this project.*

*Keywords: forest, information system, monitoring, knowledge management, popularisation*

## **Introduction**

Les dispositifs d'expérimentation, d'observation et de suivi en forêt sont inégalement connus et surtout ces opérations continues et coûteuses ne sont pas très visibles par leurs formes habituelles de valorisation (rapports sectoriels généralement très techniques), ceci d'autant plus que les opérations de suivi sont menées par une diversité d'organismes (IFN, ONF, DSF, IDF, organismes de recherche). Il y a donc un besoin d'informer sur l'utilité, la finalité et les résultats des travaux qui sont menés dans ces dispositifs.

ECOFOR s'intéresse depuis plusieurs années à l'information sur la forêt et le groupe de travail « fonctionnement des écosystèmes forestiers » avait souligné l'intérêt potentiel une vitrine web commune aux dispositifs de surveillance et de recherche pour remplir ce rôle d'information auprès d'un public plus large que la communauté technique directement impliquée.

Le projet SIEF – initialement pour *Système* d'information sur les écosystèmes forestiers, puis pour *Site* d'information sur les écosystèmes forestiers – avait pour objectif de tester l'intérêt et la faisabilité d'une telle vitrine. La coordination technique et la réalisation du projet ont été confiées à l'Inventaire forestier national, en étroite collaboration avec le GIP ECOFOR. Le projet a été co-financé par ECOFOR et le ministère chargé des forêts,

## **1. Définition de l'information déjà disponible, positionnements possibles pour le SIEF**

Avant de créer un nouveau support d'information, il était important d'avoir un tableau d'ensemble de l'information disponible sur les écosystèmes forestiers de façon générale et sur les dispositifs de suivi et d'observation de ces écosystèmes en particulier.

Le support analysé prioritairement a été le web : on trouve beaucoup de sites s'intéressant de près ou de loin à la forêt (sites des organismes de recherche, portails professionnels). Cependant l'information présentée est souvent générale et relativement disparate, on trouve peu de résultats de recherche facilement accessibles à un public non scientifique et les réseaux et sites de recherche sont peu visibles.

Dans les autres supports, en particulier les revues, on trouve une information plus détaillée, plus solide, mais filtrée par type de public et à faible diffusion.

Globalement, on note une réelle difficulté générale d'accès à l'information : on la trouve assez difficilement et le niveau de lecture est souvent mal adapté à un public « intermédiaire », ni totalement néophyte, ni scientifique et technique pointu.

Sur la base de cette analyse rapide, on a conclu qu'il y avait la place sur le web pour un site d'information sur les écosystèmes forestiers qui pourrait prendre diverses formes, en fonction des axes privilégiés :

- Un site portail s'intéressant aux écosystèmes forestiers en général, qui regrouperait et classerait de façon thématique l'information disponible sur d'autres sites et en renverrait vers les sites concernés pour l'accès réel à l'information ;
- Un site vitrine centré sur les dispositifs d'expérimentation, de suivi et d'observation, qui permettrait aux réseaux et sites ateliers de se présenter et de valoriser des résultats issus de leurs travaux.
- Un site à la fois vitrine et portail, consacré aux dispositifs de suivi et d'observation, présentant de façon thématique ces dispositifs et des résultats qui en sont issus, sur le site même ou en renvoyant vers les sites de présentation quand ils existent.

Dans tous les cas de figure, l'objectif serait de fournir une information fiable, gratuite, facilement disponible et d'un niveau lexical abordable, pour un public à identifier au départ (sans trop se limiter : on ne contrôle pas qui arrive sur un site internet et comment) : communauté directement concernée par le suivi et l'observation des écosystèmes forestier, scientifiques, forestiers, enseignants et étudiants, public « averti » (dont les ONG), public « curieux » (qui recrute dans le « grand public ») ?

## **2. Attentes des acteurs de la communauté forestière**

Des entretiens ont été menés avec les fournisseurs potentiels d'information<sup>1</sup> pour cerner leur attentes et intérêts vis-à-vis d'un outil de type SIEF. Après analyse, trois grands pôles peuvent se dégager :

- Un intérêt pour un travail sur l'information disponible : faciliter l'accès à l'information et orienter le public dans sa recherche d'informations sur la forêt.
- Un intérêt pour l'aspect « publicité » : monter les capacités des sites et réseaux, les résultats existants auprès d'un public français et étranger.
- Un intérêt pour l'aspect « vitrine » : information plus visible, présentée sur un site de référence qui lui donne un certain poids, une certaine reconnaissance.
- Les partenaires pressentis ont également fait part de leurs craintes et interrogations :
- La rédaction du contenu des articles du site : il n'est pas toujours facile d'obtenir la « matière » nécessaire et la rédaction nécessite des compétences spécifiques que

---

<sup>1</sup> ONF, Cemagref, CNRS, INRA, IFN, IDF, CRPF, UCCF, ENGREF

ne possèdent pas toujours ceux qui produisent l'information (qui n'ont généralement que peu de temps à consacrer à cette tâche).

- La maintenance du site : pour que le SIEF soit crédible, l'information qui y est présentée, notamment sur les dispositifs, doit être maintenue à jour. Il y a donc, au-delà du travail au démarrage d'un tel site, un suivi et une animation à assurer dans le temps, ce qui pose la question des moyens humains et financiers de fonctionnement du SIEF.

### **3. Orientations envisagées pour le SIEF**

A partir de ces deux volets de l'étude de faisabilité, le comité de pilotage du projet a validé l'intérêt du SIEF pour la communauté forestière, avec comme orientation un site vitrine-portail dédié à la présentation des sites et réseaux d'observation et de suivi et des résultats qui en sont issus. Ce site serait « vitrine » en mettant en avant l'important travail des réseaux et des sites ateliers et « portail » en dirigeant autant que possible vers les informations déjà en ligne ailleurs, tant sur les résultats que sur les fournisseurs d'information eux-mêmes.

Le public visé est plus large que la simple communauté technique directement concernée par ces dispositifs : étudiants, professeurs, milieu associatif, chercheurs, gestionnaires. Il faut donc présenter des informations synthétiques, scientifiquement fondées et simples dans leur présentation, avec la possibilité pour ceux qui le souhaitent d'aller chercher une information plus fine.

Il y a sans conteste un fort besoin dans le domaine d'un site abordant un champ d'informations plus large sur les forêts (domaine connaissance et gestion, plus qu'à l'aval de la filière qui est à présent relativement bien couvert) mais les conditions de mobilisation des moyens ne semblent pas réunies à ce jour. Un tel travail dépasserait par ailleurs les missions dévolues à ECOFOR.

### **4. Proposition de fonctionnement pour le SIEF**

Un prototype a été construit et mis en ligne pour présenter un fonctionnement possible, illustré par des exemples d'articles proposés par les fournisseurs de données. Ce prototype est resté en ligne toute l'année 2005, le temps de recueillir avis et réactions. Les marques d'intérêt reçues et l'évolution du contexte nous amènent aujourd'hui (2007) à envisager une suite concrète à ce projet, en tenant compte des évolutions en cours dans le domaine de l'information, et en articulation avec le projet de Catalogue des sources d'information sur la forêt (Ca-SIF<sup>2</sup>)

Le prototype reste néanmoins en téléchargement sur le site web d'ECOFOR : [www.gip-ecofor.org](http://www.gip-ecofor.org)

---

<sup>2</sup> Plus d'informations sur ce projet sur [www.gip-ecofor.org](http://www.gip-ecofor.org).

# Projet SInPa : Systèmes d'Informations Partagées pour la gestion forestière régionale

*The SINPA project: a shared information system for forest management at regional level*

Heintz Wilfried<sup>1</sup> (1), Guéro Marie-Claire<sup>2</sup> (2)

(1) UMR 1201 DYNAMFOR INRA-INPT/ENSAT, BP 52627, 31326 Castanet Tolosan Cedex, [wilfried.heintz@toulouse.inra.fr](mailto:wilfried.heintz@toulouse.inra.fr)

(2) DRAF Cité administrative, Bât.E, Bd Armand Duportal, 31074 Toulouse Cedex, [marie-claire.guero@agriculture.gouv.fr](mailto:marie-claire.guero@agriculture.gouv.fr)

## Résumé

Le projet SInPa a été initié en janvier 2003 par le GIP Ecofor à la suite d'une pré-analyse concernant l'utilisation des systèmes d'informations géographiques et le partage de données dans le milieu forestier. Celle-ci a mis en évidence les difficultés que rencontrent les forestiers pour mettre en œuvre un échange d'informations multipartenarial. L'objectif du projet SInPa était donc la production d'un outil sous licence libre, facilitant la mise en partage de données et l'accès à l'information géographique.

L'IFN a pris en charge la partie technique du projet, à savoir l'élaboration d'une méthode et d'un outil pour faciliter la mise en commun des données de travail entre les acteurs forestiers, dans trois régions pilotes (Bretagne, Lorraine et Rhône-Alpes). Grâce à un serveur de métadonnées, chaque partenaire a pu dans un premier temps organiser et décrire ses données partageables. En parallèle, une plate-forme d'échange, sous la forme d'un serveur cartographique, a été développée. Celle-ci, couplée au serveur de métadonnées, permet dès lors à chacun d'identifier, de visualiser et de télécharger un grand nombre d'informations. La réussite du projet et la mise en place du prototype étaient étroitement liées à la définition d'un cadre juridique précis et accepté par tous les partenaires pour les échanges d'information : les acteurs de la région Lorraine ont passé le pas, au moyen d'une convention d'échange mutuel. Un site Internet a assuré la communication du projet : <http://www.sinpa.ifn.fr>

---

<sup>1</sup> En 2005 : chargé de mission géomatique à l'Inventaire Forestier National – Cellule Evaluation de la Ressource. Place des Arcades – Maurin - BP 1001- 34972 Lattes cedex

<sup>2</sup> En 2005 : chargée d'études à l'Inventaire Forestier National – Cellule Evaluation de la Ressource. Place des Arcades – Maurin - BP 1001 - 34972 Lattes cedex

Mots-clés : Gestion forestière, systèmes d'information partagés, données-métier, données de référence, cartographie dynamique, géoportails.

### *Abstract*

*Following a first investigation on the use of GIS and shared information in forestry at local levels, a project was launched in 2003. Its aims consisted in building shared information systems for the forest management. For it appeared that the foresters and public institutions have various difficulties in sharing the information, due to both administrative and technical reasons. The aim was to propose methodological and technical solutions for making easier the access to shared spatial information at a local level. The French National Forest Inventory was in charge of this technical part. A prototype system was experimented in partnership with pilot users in three regions: Bretagne, Lorraine, Rhône-Alpes. The contractual aspects of sharing the information on the net were of first importance: they were successfully settled in Lorraine. So that a final product was experimented : it interfaces a metadata server with a map server. These tools are easy to use and under free licence. You can access to the server at the following address: <http://www.sinpa.ifn.fr>*

*Keywords: Shared Information Systems, webmapping, geoportails, reference data, forest management, professional data.*

## **1. Rappel des objectifs**

Depuis leur création, les Systèmes d'Informations Géographiques connaissent un essor constant. Leur usage laisse miroiter des possibilités d'accès et de traitement aisés des informations à références spatiales, en appui à l'action. Or, le constat général est toujours le même : accumulation de données non décrites, non référencées, sans origine, difficultés d'accès à des données mises à jour ... On ne sait plus qui fait quoi ni où se trouve l'information que l'on cherche. Le temps et le nombre de personnes intermédiaires nécessaires à la recherche d'une donnée sont un frein à la circulation de l'information. Ceci se vérifie dans tous les domaines, y compris le milieu forestier.

Par ailleurs, la gestion et l'aménagement forestier, envisagés à l'échelle régionale, sont l'aboutissement d'actions coordonnées entre de nombreux acteurs institutionnels : Serfb<sup>3</sup>, DDAF, CRPF, ONF, syndicats de propriétaires, coopératives forestières, industriels, collectivités, parcs naturels, Diren, etc.. La mise en partage d'une information spatialisée constitue un enjeu primordial.

Le projet SInPa (Système d'Informations Partagées pour la gestion forestière régionale) est né de ces constats. L'objectif du projet est de contribuer à l'amélioration du partage de

---

<sup>3</sup> Service régional de la forêt et du bois. Renommé depuis Service régional de l'économie agricole, de la forêt et de l'environnement

l'information, notamment géographique, entre acteurs forestiers, pour une gestion forestière optimisée.

## 2. Déroulement du projet

Il s'agissait d'initier une dynamique de partage de l'information autour de thématiques et d'objectifs communs dont tous perçoivent l'intérêt, la difficulté restant la mise en pratique.

Sur la base de l'état des lieux établi en première phase du projet par le GIP ECOFOR (Jean-Claude Bergonzini) et le Cemagref (Eric André, Christophe Chauvin), l'équipe du projet SInPa à l'IFN (Wilfried Heintz, Marie-Claire Guéro) s'est fixé pour objectif de proposer aux partenaires une méthode et des outils simples d'usage pour un partage concret de leurs données.

### 2.1. La mise en œuvre

La phase technique a porté sur la rédaction d'un cahier des charges fonctionnel puis sur la réalisation d'un prototype et sa mise en œuvre dans les trois régions, à l'issue d'une réflexion commune conduite en étroite collaboration avec les différents acteurs des sites pilotes. La diversité des situations rencontrées au sein des trois régions pilotes a pointé l'importance de l'adaptabilité de l'outil proposé : autour d'un noyau commun, nous avons développé des applications personnalisées en fonction des thématiques dominantes.

Nous avons articulé le projet autour de quatre étapes stratégiques :

1. une diffusion large du projet via un site Internet documenté et désormais bien référencé (<http://www.sinpa.ifn.fr>)
2. un accompagnement des partenaires forestiers dans l'organisation interne et la description de leurs données partageables (métadonnées construites selon le modèle de l'initiative Dublin-Core) ;
3. la définition d'un cadre juridique rigoureux, au travers d'une convention d'échange mutuel de données, signée par tous les partenaires ;
4. une mise en partage concrète via une plate-forme cartographique en ligne permettant aux usagers de rechercher, pré-visualiser et télécharger une ou des information(s).

Les logiciels et langages utilisés pour le développement de nos applications sont tous sous licences Open Source Software.

### 2.2. Principes sous-jacents

Deux lignes directrices ont sous-tendu tout le travail :

- permettre à tout un chacun, avec des outils simples, de “mettre en partage - chercher - trouver - voir - manipuler - récupérer” l'information utile à l'exercice de ses missions ;
- favoriser une large diffusion de l'outil par la réalisation des développements informatiques sous licence open source.

### 3. Le serveur SInPa

Les acteurs forestiers des régions pilotes disposent désormais de deux outils en ligne (fig. 1) et interfacés : un **serveur de métadonnées** couplé à un **outil de cartographie dynamique**. Ces deux outils permettent la mise en partage de référentiels communs et d'informations-métier<sup>4</sup> collectées par les uns et les autres, particulièrement utiles aux institutions locales dans l'exercice de leurs missions en lien avec les forêts, leur environnement naturel et les territoires. Leur accès est régulé par des droits d'accès attribués à chaque membre reconnu du réseau d'échange de données (droits d'accès administrés par l'administrateur du serveur).



Figure 1 : serveur SInPa.MetaCarto accessible à l'adresse <http://www.sinpa.ifn.fr>

#### 3.1. Le serveur de métadonnées

Il permet aux utilisateurs de décrire précisément les données qu'ils souhaitent partager.

La métadonnée décrit la donnée. Elle est le bon moyen pour décrire de façon structurée et normalisée l'information dont on dispose : par un titre, un sujet, une description de son contenu, la référence à ses sources, son auteur, les dates de création et mise(s) à jour passées et prévues, des précisions sur la propriété intellectuelle et les droits/restrictions

<sup>4</sup> Données spécifiques à la thématique / la filière

d'utilisation, sur le type de document, son (ses) format(s), sa précision et son emprise géographique ...

L'adoption d'une norme descriptive (en l'occurrence Dublin-Core) assure une compréhension mutuelle et garantit la possibilité d'échanges ultérieurs avec d'autres systèmes.

Les métadonnées présentent un double intérêt : c'est pour le possesseur de l'information une manière de pérenniser sa donnée, et pour le chercheur d'information un accès facilité aux données existantes.

Le serveur de métadonnées (Fig. 2) permet d'administrer un catalogue de métadonnées abondé par les utilisateurs du système, qui en sont également les fournisseurs puisque le serveur est un serveur de mise en partage. Il permet aussi la recherche d'informations par mots-clés.

Le cas échéant, après contrôle des autorisations de mise en partage associées aux fichiers, et contrôle des droits d'accès associés aux utilisateurs, le serveur permet également de télécharger les fichiers cartographiques sous un format exploitable dans un système d'information géographique (pour les initiés aux SIG).

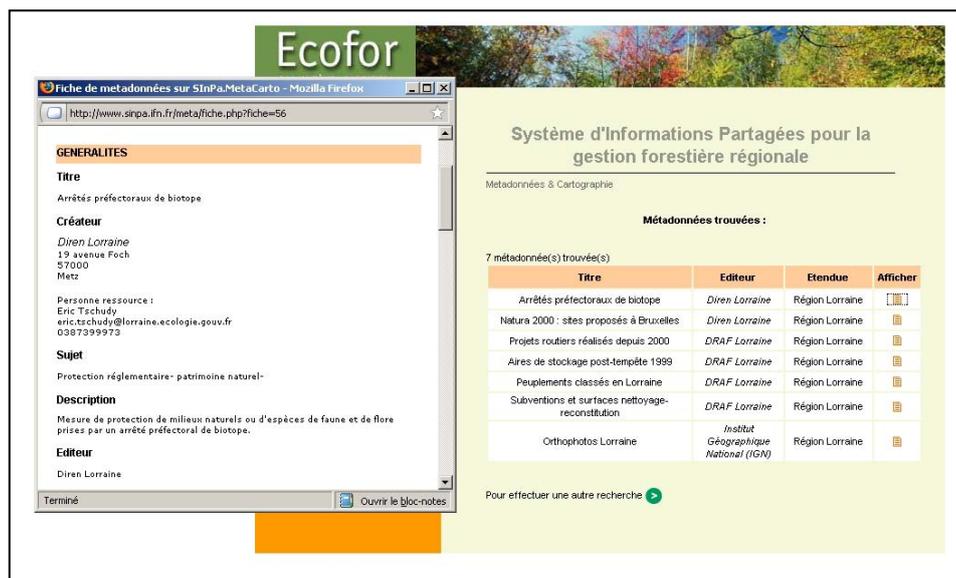


Figure 2 : Module de gestion des métadonnées – Recherche et affichage de fiches descriptives.

### 3.2. Le serveur cartographique

Ce module (Fig. 3) permet de visualiser les informations spatiales mises en partage, d'afficher les légendes, d'explorer les cartes à l'écran en utilisant des outils simples de navigation et d'édition.

Il permet aussi d'interroger : connaître par simple clic et en tout endroit les attributs associés à un point, un réseau ou un polygone sur la carte, mais aussi calculer rapidement une distance ou une surface sur des éléments tracés à la volée. Il permet enfin de composer des cartes et de les exporter sous forme d'images.

Le serveur fournit ainsi les outils élémentaires d'un SIG pour exploiter et valoriser l'information géographique, sans demander de compétences spécifiques.

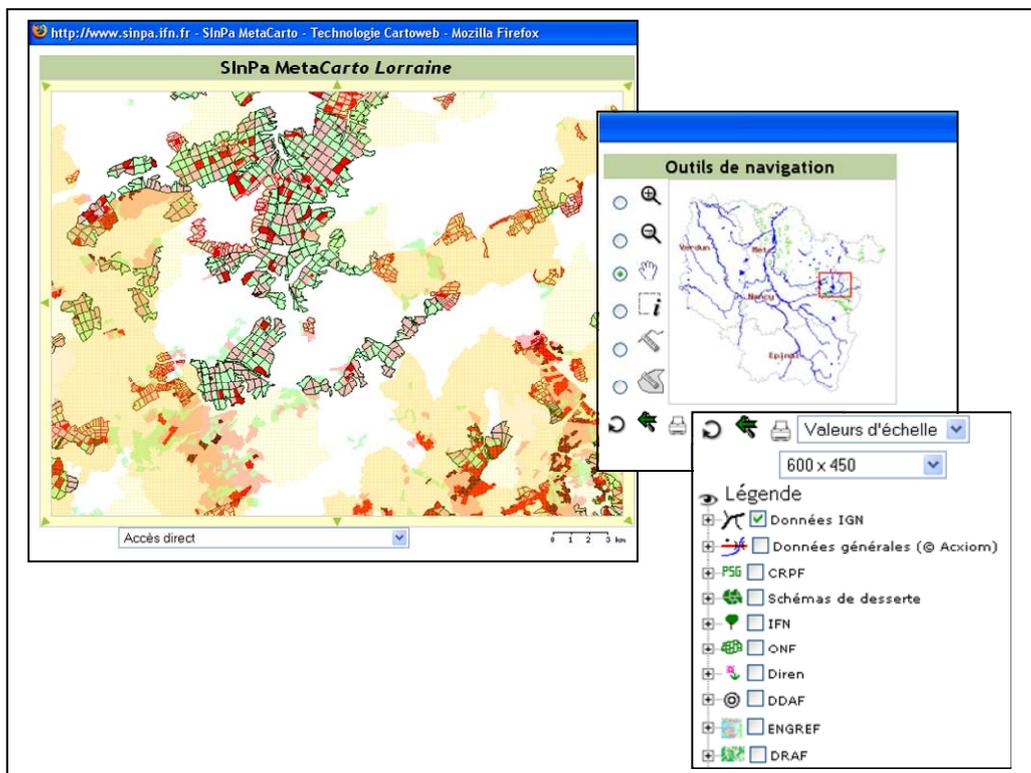


Figure 3 : Module de manipulations cartographiques

## 4. Considérations sur les conditions de bon fonctionnement du serveur

Pour un tel projet, qui ne relève pas d'un système d'information public mais d'un système de mise en partage de données-métier essentiellement, la première condition de réussite ne

réside pas dans la technologie. Elle réside dans l'aboutissement des volontés de mise en partage d'information. Cette démarche relève entièrement des acteurs locaux, elle doit aboutir à la signature d'une convention d'échange mutuel de données : c'est le préliminaire indispensable à la mise en œuvre d'un système opérationnel d'informations partagées.

L'outil développé par l'IFN peut être de grande utilité dans cette première démarche, car se déclarer favorable au principe de mise en partage d'informations nécessite de faire l'inventaire de ce que l'on peut/veut mettre en partage. Le serveur de métadonnées facilite la réalisation de cet inventaire : comme évoqué plus haut, vous avez ici la possibilité de décrire de façon structurée et normalisée les informations que vous détenez sans encore vous en séparer, en prenant notamment le temps de vérifier les règles de confidentialité ou de mise en partage (est-ce une information confidentielle ? quels sont les droits d'auteur ? les droits d'usage ? si l'information peut être partagée, sous quelles conditions éventuelles ?). De plus cet outil facilite les saisies et mises à jour.

La mise en partage suppose également un minimum d'animation et de coordination, d'où l'idée d'un correspondant local, qui a été adoptée en Lorraine notamment. Son rôle couvre l'animation du réseau d'échange local et l'interface avec l'administrateur du serveur. Il est particulièrement important lorsqu'il s'agit de garantir la validité des documents mis en partage (par exemple battre le rappel pour que les informations mises en partage relèvent bien de la dernière version disponible, et que les métadonnées associées soient également bien mises à jour...). Le correspondant local relaie également l'expression de nouveaux besoins auprès de l'administrateur du serveur, ce qui permet d'envisager une évolution du produit en adéquation avec les besoins des utilisateurs.

D'un point de vue technique, l'infrastructure nécessaire au fonctionnement du produit SInPa est limitée à un serveur informatique, où sont centralisées les données, et auquel sont reliés les utilisateurs par simple accès Internet. Le système nécessite également un minimum de tâches d'administration, d'où la désignation d'un administrateur informatique : pour l'administration du site, l'insertion et la « mise en couleur » de nouvelles cartes, et pour l'administration des droits d'accès et de téléchargement des données. L'hébergement et l'administration informatique du serveur peuvent être assurés, par convention, par l'IFN.

## **5. L'avenir du projet vu en 2005**

Le projet SInPa peut être considéré comme une étude de faisabilité, qui a abouti à des résultats positifs : outil d'usage facile et répondant à un besoin réel (et crucial en cette époque d'économie de moyens) de mise en partage de l'information entre services publics. Cette expérience a été volontairement conduite à l'échelle de la région, qui constitue un niveau d'action et d'échange privilégié pour la gestion forestière. De par son principe, ce prototype peut cependant être utilisé à d'autres échelles : départementale par exemple, ou nationale.

Bien que d'autres aspects, non techniques, méritent encore réflexion, la dynamique mise en place dans les régions pilotes perdurera après la fin de ce projet, sauf courants contraires. Le produit a de plus reçu un accueil favorable du Conseil Supérieur de l'Information du Ministère chargé de l'agriculture, de la pêche et de la ruralité en décembre 2004.

Les acteurs d'autres régions sont potentiellement intéressés par cette démarche : l'outil peut être diffusé largement, moyennant un accompagnement léger en phase de démarrage,

l'objectif étant une prise de relais rapide en région. Un compte de démonstration peut être demandé auprès de l'IFN pour explorer les fonctionnalités de ce serveur SInPa (sur simple demande par messagerie électronique à l'adresse suivante : [administration.sinpa@ifn.fr](mailto:administration.sinpa@ifn.fr)). Au Ministère chargé de l'agriculture, de la pêche et de la ruralité, la DGA s'est par ailleurs fortement investie dans la structuration des systèmes d'information et des applications métiers propres aux missions des services déconcentrés, ce qui a permis aux systèmes GeoMap et GeoLib de voir le jour récemment, en tant qu'ossature du système d'information général du Ministère. La compatibilité entre ces deux types de démarche a été soulignée au comité de pilotage du 25 novembre 2004. Il y a une opportunité à saisir, d'accompagner les indispensables dynamiques d'échange d'information au niveau régional, et notamment dans le domaine forestier, en cohérence avec son propre système d'information.

## **6. Suites données à ce projet depuis 2005**

L'IFN de son côté s'est engagé vers la pérennisation des premiers acquis, pour répondre au mieux à un comité d'utilisateurs de plus en plus large. Une offre d'hébergement de serveurs d'informations métier partagées a été mise en place.

L'établissement s'engagera au deuxième semestre 2006 vers un renforcement de la compatibilité de ce service avec le concept des Géoportails. Un grand atout des géoportails est de permettre l'accès aux données à travers un réseau de serveurs. L'interopérabilité est le maître mot : cela induit nécessairement par exemple un passage aux normes ISO 19115 pour les métadonnées, et aux normes WMS et WFS pour les formats d'échanges des fichiers et images sur le web. Des développements informatiques sont également prévus pour favoriser l'administration à distance des différents thèmes cartographiés. Du point de vue conceptuel, d'autres pistes sont à explorer : il paraît naturel par exemple d'imaginer coupler le dispositif de cartographie dynamique à un dispositif d'analyse et de suivi des ressources forestières et de leur environnement, dans un concept plus large d'observatoire. Tout comme dans le cadre de SInPa, ces expérimentations ont tout à gagner à être conduites en étroite partenariat avec les principaux acteurs concernés, c'est à dire l'ensemble des acteurs dont les missions relèvent de la gestion ou du suivi des forêts et de leur environnement.



