

PUBLICATION



STRATÉGIE SCIENTIFIQUE OBSERVATOIRE FORÊTS SENTINELLES

2022 - 2030

Conseil Scientifique et Technique



OBSERVATOIRE DES
FORÊTS SENTINELLES

Auteurs

Les membres du Conseil Scientifique et Technique (CST) de l'Observatoire des Forêts Sentinelles (OFS) et en particulier : Vincent **AUGE**, Eugénie **CATEAU**, Flavien **CHANTREAU**, Nicolas **DEBAIVE**, Virginie **GIRARD**, Nicolas **GOUIX**, Fabien **LAROCHE**, Lise **MACIEJEWSKI**, Xavier **MORIN**, Yoan **PAILLET**, Aline **SALVAUDON**, Laurent **SERVIERE**, Clara **THERVILLE**.

Relecteurs

Nous remercions Adrien **JAILLOUX**, Antoine **BRIN**, Marianne **BERNARD**, Thomas **CORDONNIER**, les membres du **COPILOTE** du **Pôle Forêt** de Réserves naturelles de France pour leur avis sur la stratégie scientifique de l'Observatoire des Forêts Sentinelles. Ces avis sont disponibles auprès du coordinateur de l'OFS.

Citation de l'ouvrage

Observatoire des Forêts Sentinelles (2022) – Stratégie scientifique de l'Observatoire des Forêts Sentinelles. Conseil Scientifique et Technique, 33 p.

Contacts

CO-ANIMATEURS DU CST

Clara THERVILLE

Géographe

clara.therville@gmail.com

Yoan PAILLET

Ingénieur de recherche

INRAE / LESSEM

yoan.paillet@inrae.fr

Xavier MORIN

Chercheur

CNRS / CEFE

Xavier.MORIN@cefe.cnrs.fr

COORDINATEUR DE L'OFS

Flavien CHANTREAU

Chargé de projet Forêts

Réserves Naturelles de France

flavien.chantreau-rnf@espaces-naturels.fr

CONTACT

Eugénie CATEAU

Chargée d'études Forêts

Réserves Naturelles de France

eugenie.cateau-rnf@espaces-naturels.fr

Marie THOMAS

Directrice

Réserves Naturelles de France

marie.thomas-rnf@espaces-naturels.fr

Ce projet a reçu le soutien des partenaires suivants



TABLE DES MATIÈRES

Auteurs	2
Relecteurs	2
Citation de l'ouvrage	2
Contacts	2
Ce projet a reçu le soutien des partenaires suivants	2
INTRODUCTION	4
PREAMBULE	5
Observatoire des forêts sentinelles	5
Place des aires protégées	6
Démarche de co-construction	6
NOTIONS CLÉS	7
Socio-écosystème forestier	7
Sentinelles	7
Observatoire	8
Stratégie scientifique	10
GRANDS CHAMPS DE L'OFS	11
Processus de priorisation	11
Trois axes de questionnement	11
Un système d'échelles emboîtées pour envisager des actions en deux temps	12
Une complémentarité souhaitée avec les dispositifs existants	13
OBJETS D'ÉTUDES	15
Climat	16
<i>Focus sur la problématique du carbone</i>	17
Perceptions, représentations et usages	18
Biodiversité	20
<i>Maturité, naturalité et fonctionnement de l'écosystème</i>	20
<i>Diversité taxinomique</i>	21
<i>Focus sur la biodiversité des sols</i>	22
MISE EN ŒUVRE AVEC LES PARTENAIRES	24
Partenaires techniques	24
Partenaires scientifiques	24
Vers l'élaboration d'une charte de participation	25
VERS UN PLAN D' ACTIONS OPÉRATIONNEL	26
BIBLIOGRAPHIE	27

INTRODUCTION

Les forêts constituent des **socio-écosystèmes complexes** soumis à des changements globaux augmentant en fréquence et en intensité, avec des **effets sur les écosystèmes de plus en plus visibles et médiatisés** (dépérissements estivaux, incendies). Ces effets entrent en résonance avec le **déclin de la biodiversité**, y compris en forêt. En parallèle, les forestiers – et plus largement l'ensemble des acteurs interagissant au sein des écosystèmes forestiers (propriétaires, élus, etc.) – s'interrogent sur la **capacité des écosystèmes à s'adapter** aux changements climatiques, et en conséquence sur les pratiques à adopter pour en **réduire la vulnérabilité** ; sujet sur lesquels ils apparaissent **de plus en plus démunis**, notamment sur les aspects de production de bois, de stockage de carbone et de préservation de la biodiversité.

Les enjeux autour des forêts ont ainsi rarement été aussi nombreux, en Europe comme dans le reste du monde ; en attestent notamment la **forte médiatisation des sujets forestiers** ces dernières années et des **attentes sociétales de plus en plus prégnantes**. En témoigne également **l'ambition des objectifs assignés par des politiques publiques nationales** (PNFB 2016-2026, PNACC 2, Plan Biodiversité, Stratégie des Aires Protégées, etc.) et **européennes** (EU Biodiversity Strategy for 2030, EU Green Deal 2020) sur des sujets croisés de protection et de gestion.

Comme défendu dans le récent rapport parlementaire d'Anne Laure Cattelot, ce contexte suppose de consolider voire de développer des **initiatives de recherche à long-terme** qui facilitent l'étude des **interactions entre les écosystèmes forestiers, le climat et l'homme**, et qui permettent la coopération et la participation des acteurs de territoire et des chercheurs dans une démarche de **recherche participative**. Un tel défi implique des **approches interdisciplinaires et transdisciplinaires** pour évaluer les multiples facettes de la gestion durable des forêts et fournir aux parties prenantes de la gestion des **solutions de gestion adaptatives**.

En réponse, **Réserves Naturelles de France** (RNF) et ses partenaires ont défini le projet d'**Observatoire des Forêts Sentinelles** (OFS). Pensé pour 4 ans dans une première phase (2018-2021), il s'inscrit néanmoins sur le long-terme au regard des champs qu'il couvre. Bénéficiant d'une gouvernance multi-partenaire (gestionnaires, chercheurs, institutionnels), l'Observatoire dévoile notamment son **caractère hybride entre gestion et recherche** au travers du **Conseil Scientifique et Technique**, créé en 2018. Composée de chercheurs et de gestionnaires présentant un large panel d'expertises, cette instance a notamment vocation à définir la **stratégie scientifique 2020-2030** de l'Observatoire, objet de la présente publication.

La stratégie scientifique vient détailler les **fondamentaux du projet**. Pensée de manière itérative, qui caractérise les dispositifs de gestion adaptative, et organisée par objets d'étude, elle vient également préciser les **principales questions scientifiques** posées et les manières d'y répondre.

Publication structurante de l'Observatoire, la stratégie s'adresse aux partenaires et aux membres de l'Observatoire mais aussi à l'ensemble des acteurs du monde forestier engagés dans des dynamiques de coopération et d'amélioration des connaissances. Elle vise à être complétée par une charte de participation courant 2022.

L'actuel document devra être, dans un second temps, complété par un **plan d'actions opérationnel** permettant d'identifier les outils (existants ou nouveaux) à déployer (protocoles, niveau de représentativité, périmètre, etc.), les partenaires à associer et le calendrier à mettre en œuvre.

PREAMBULE

Observatoire des forêts sentinelles

L'Observatoire des forêts sentinelles vise à étudier les **réponses des socio-écosystèmes forestiers** aux processus impactant leur **vulnérabilité et leur résilience** dans un contexte de changement global. Il s'inscrit dans la structuration du réseau de surveillance de la biodiversité et, en particulier, dans l'organisation des initiatives sentinelles sur l'étude des **interactions entre climat, usages et écosystèmes**.

Initié par le réseau des réserves naturelles et coordonné par Réserves Naturelles de France (RNF) et ses partenaires dans sa première phase (2018-2021), l'Observatoire se structure autour de trois grands objectifs :

- **Consolider un réseau collaboratif d'acteurs** en mobilisant gestionnaires d'espaces naturels protégés, gestionnaires forestiers, chercheurs de différentes disciplines et usagers,
- **Accompagner les territoires** en rendant accessibles des outils opérationnels d'aide à la connaissance et à la gestion (protocoles standardisés, programmes de formation, etc.)
- **Contribuer à la recherche** en fournissant des données fiables, valorisant notamment des séries longues de données, librement accessibles.



Figure 1 : Objectifs et livrables de l'Observatoire des Forêts Sentinelles

Place des aires protégées

L'Observatoire a été, en premier lieu, **construit en réponse aux besoins des gestionnaires d'aires protégées**¹, en particulier des réserves naturelles. Les **aires protégées constituent un socle intéressant** à plusieurs titres, étant considérés à la fois comme :

- (i) Un des outils les plus efficaces pour **maintenir les capacités de résilience** des écosystèmes face aux changements climatiques et pouvant servir **d'espaces d'expérimentation et de démonstration** de solutions naturelles, **réplicables dans d'autres territoires** (PNACC 2).
- (ii) Des **laboratoires de recherche à ciel ouvert** fondés sur des statuts pérennes, une stabilité des équipes dans le temps, un gradient étendu d'anthropisation, des partenariats historiques et forts avec des acteurs locaux. Par ailleurs, ce sont des dispositifs **déjà engagés dans des logiques de suivi** de trajectoires, de compréhension de la complexité du fonctionnement des écosystèmes.

Si les aires protégées peuvent être considérés comme **fers de lance** du projet, l'Observatoire n'a pas nécessairement vocation à s'y restreindre. Ainsi, à moyen terme et **en cohérence avec la logique sentinelle**, le projet est susceptible d'intégrer d'autres territoires et d'autres acteurs notamment d'autres **acteurs non académiques** - propriétaires, gestionnaires forestiers, exploitants, élus, usagers, etc. - avec pour objectif de **construire ensemble** les outils mis en place sur le terrain, à l'échelle nationale comme à l'échelle des territoires.

Démarche de co-construction

L'approche de la recherche retenue dans le cadre de l'Observatoire implique de **mobiliser des compétences et des expertises multithématiques** permettant de porter une **vision intégrée** à la fois entre gestionnaires et chercheurs mais aussi entre différentes disciplines. L'Observatoire constitue ainsi un **espace de dialogue** où sont co-construits les outils permettant de répondre aux **questionnements croisés des gestionnaires et des chercheurs**.

Ce processus – dit **d'intermédiation** – doit notamment permettre aux gestionnaires d'accéder à un centre de ressources comprenant :

- Une boîte à outils rassemblant des **outils d'aide à la connaissance et au pilotage de la gestion** (ex : protocoles standardisés, outils d'analyse, etc.) ;
- Des **programmes de formation adaptés**, réalisés sur la base d'une enquête initiale ayant permis de recueillir les besoins en formation des gestionnaires d'aires protégées ;
- Un **tableau de bord des indicateurs** permettant à chaque gestionnaire de positionner son site au regard soit d'indicateurs moyennés issus de l'Observatoire, soit d'indicateurs issus d'autres dispositifs existants voire de références extraites de la littérature scientifique ;
- Des supports de **lieu d'échanges et de retours d'expériences**.

La dynamique de co-construction garantit également de **mettre à disposition des chercheurs des données fiables**, en valorisant notamment des **séries longues de données**², librement accessibles.

¹ Entendus ici comme les réserves naturelles, les réserves biologiques, les parcs nationaux, les parcs naturels régionaux, les sites des conservatoires d'espaces naturels.

² Telles celles en cours de constitution via l'installation depuis 2005 du Protocole de Suivi Dendrométrique des Réserves Forestières (PSDRF) qui représente aujourd'hui 12 000 placettes remesurées sur près de 150 sites.

NOTIONS CLÉS

Socio-écosystème forestier

L'Observatoire a pour objet d'étude les interactions entre écosystèmes, biodiversité, climat et usages. En ce sens, il met en avant la notion de **socio-écosystème forestier**. **Le modèle des socio-écosystèmes, ou systèmes socio-écologiques (SES)** (Berkes et Folke 1998), est issu de la convergence dans les années 1980-1990 entre les modèles écologiques et sociaux pour tenter de dépasser les clivages entre analyse environnementale et sociale (Ollagnon 1989, Gallopín *et al.* 1989). Les SES sont définis comme : des systèmes composés d'acteurs humains et non-humains, adaptatifs, complexes, multi-scalaires, caractérisés par des processus non linéaires et incertains. Le modèle des socio-écosystèmes permet d'insister sur la nécessité d'intégrer les interactions dynamiques entre les acteurs et le milieu à de multiples échelles, et sur le fait que les hommes font partie de la nature. Cette notion se rapproche de la notion de **territoire** utilisée en géographie sociale (Barreteau *et al.* 2016).

Les forêts sont le fruit d'une coévolution de systèmes sociaux et naturels connectés spatialement, temporellement et via des boucles complexes de rétroactions. A ce titre, elles peuvent être considérées comme des **socio-écosystèmes forestiers** (Fischer *et al.* 2018). Un socio-écosystème forestier, se compose donc d'une part d'**éléments physiques et naturels** (eau, sol, climat, organismes vivants tels que arbres, xylophages ou cervidés), et d'autre part d'**acteurs humains** (forestiers, promeneurs, chasseurs) caractérisés par des valeurs, des perceptions, des représentations, des pratiques et des connaissances. Les **processus et interactions** entre les composants de ce système sont au cœur de l'analyse des socio-écosystèmes. Ils peuvent être écologiques (production végétale, recyclage de la matière organique), socio-écologiques (prélèvement de bois, promenade) ou socio-économiques (gouvernance, réseaux, marchés). Les notions de multi-usages, les pratiques, les biens et services rendus par les écosystèmes aux sociétés sont autant de manières d'aborder ces interactions entre composants humains et non-humains des socio-écosystèmes (Bretagnolle *et al.* 2019). L'analyse d'un socio-écosystème consiste à définir ses limites, identifier ses composants et leurs interactions, les règles de son fonctionnement et les variables clés qui influencent sa dynamique (Berkes et Folke 1998). La taille, la forme et les limites du système dépendent du problème abordé et des objectifs de recherche (échelle de la parcelle, du peuplement, du massif...).

Dans le cadre de l'Observatoire, parler de socio-écosystème forestier, c'est avant tout rendre compte des **interactions dynamiques entre forêt, climat et acteurs**, chercher à mobiliser **les sciences naturelles et les sciences humaines et sociales** pour comprendre ces interactions, et favoriser l'**interdisciplinarité**.

Sentinelles

Les **sentinelles** sont des êtres vivants ou appareil technique à même de fournir les **premiers signes** d'une catastrophe imminente dans un contexte « écologique anxiogène » (Lakoff et Keck 2013). A titre d'exemple, des espèces indicatrices ont servi à prévenir des pollutions chimiques depuis la révolution industrielle (ex. canaris, poissons, lichens), des contaminations épidémiologiques en référence aux démarches sanitaires en élevage (ex. brebis sentinelle) et des effets du changement climatique (ex. sentinelles du climat : papillon Apollon, marmotte...) en vue de mettre en place des recommandations politiques.

Dans le cas du **changement climatique**, alors que les réalisations des politiques incitatives vont, en particulier, dépendre du contexte politique et social et de la nature de la menace (temps de réaction, inertie du système), l'intérêt des sentinelles est de **rendre visible un potentiel danger** (volet connaissance et suivi) et **d'appréhender au mieux les mesures à prendre à la hauteur des menaces** (volet adaptation).

Un dispositif sentinelle est à la fois un espace de dialogue et de co-construction mais aussi un dispositif d'acquisition et d'analyse de connaissance. Les échanges entre sentinelles, mais aussi, selon la diversité des régions écologiques, au sein du même réseau sur les sites qui le composent, permet de répondre au mieux aux attentes d'une telle organisation.

Au même titre que les dispositifs Sentinelles dans les Alpes (cf. note conjointement écrite par l'AFB, la ZAA et RNF ; mars 2019), l'Observatoire des Forêts Sentinelles est en train de se structurer afin de satisfaire et répondre aux critères suivants :

- **Pertinence** : permet-il de distinguer les signaux des bruits ? de détecter ce qui ne peut pas s'anticiper ?
- **Légitimité** : quelle communauté d'experts ou non experts est légitime pour distinguer un signal ? valider un seuil ?
- **Acceptabilité** : comment aller de la détection vers la réponse/action ? (Sous-entendu quelle est sa capacité à interpeller le récepteur du message)

Observatoire

L'essor relativement récent des outils de rapportage et de suivi des politiques environnementales en Europe et en France, a permis de donner un **cadre à la définition des observatoires dits de l'environnement** (cf. encadré).

L'utilisation du terme « observatoire » reste très variée ; le développement des approches inter- et transdisciplinaires font que des dispositifs similaires peuvent emprunter à une autre sémantique : programme, système d'information, suivi, monitoring, réseau...

Les démarches d'observatoires se distinguent essentiellement par la **notion de suivi à long terme** et au travers de 4 critères :

- La nature et l'étendue spatio-temporelle de leur champ d'application,
- La collecte des données brutes et leur analyse,
- La contribution d'un réseau d'acteurs inter- et transdisciplinaire,
- L'échange et la valorisation des données et des résultats,

L'objectif commun des observatoires de l'environnement est de mettre en évidence et d'enregistrer les tendances d'évolution de la biodiversité face aux changements globaux et afin d'évaluer et de suivre l'impact des politiques sectorielles (politiques industrielles, agricoles, forestières, territoriales et environnementales).

L'Observatoire des Forêts Sentinelles est l'observatoire à long terme des effets des changements globaux sur les socio-écosystèmes forestiers.

OBSERVATOIRE : QUELQUES DEFINITIONS

Observer :

- « Soumettre à l'observation scientifique, examiner en surveillant, constater, remarquer par l'observation » (Le Robert 2020)
- « Examiner attentivement quelque chose afin d'analyser, de comprendre, d'étudier » (Larousse 2020)
- « *Dispositif mis en œuvre par un ou plusieurs organismes pour **suivre l'évolution d'un ou plusieurs phénomènes**, dans l'espace et dans le temps* » - (Moine 2008).
- « *Les observatoires environnementaux ont pour objectif de contribuer à la connaissance de l'environnement pour **fournir des éléments d'aides à la décision et d'évaluation des politiques publiques**. Les observatoires reposent sur une base de données ainsi que **des indicateurs et un tableau de bord** traduisant leur évolution. Ils se différencient des inventaires dans le sens où leur approche tend à intégrer un ensemble de critères dans une démarche transversale* » - Dictionnaire de la protection de la nature (Bioret et al. 2009).
- « *Un observatoire de la biodiversité, pour quoi faire ? [...] pour donner à voir, documenter, **objectiver des évolutions** extrêmement rapides mais dont la gravité, et parfois la réalité, sont encore peu été intégrées par **les opinions publiques et par les décideurs**. Pour [...] montrer les points saillants, les facteurs essentiels, sur lesquels il faudra agir, sans quoi le problème reste hors de portée, l'idée étant que **la connaissance guide l'action**. Pour suivre la prise en compte du problème, les actions en réponse, la réalité et/ou **l'efficacité des mesures**, des changements de pratiques, aux échelles pertinentes. L'observatoire national de la biodiversité est un **projet multi-partenarial** qui met à la disposition de tous des informations précises et documentées sur la biodiversité en France – son état et son évolution ainsi que les pressions qui s'exercent sur elle - et ses **interactions avec la société française**. Ses travaux sont discutés de manière **collégiale**, font l'objet d'une **évaluation scientifique indépendante**» (Observatoire National de la Biodiversité, 2021)*
- « [...] un observatoire se définit à la fois par les données de suivis bancarisées et par les membres partenaires contribuant à la collecte de données appelé « réseau » de partenaires. A travers l'implication des membres du réseau dans la recherche mise en place, **des solutions nouvelles sont abordées, co-élaborées et co-portées par le réseau et sur les territoires** ». (Girard, 2020).

Stratégie scientifique

La stratégie scientifique constitue un **fil rouge qui vise à guider les actions** mises en œuvre au sein de l'Observatoire dans les 8 prochaines années. Véritable **interface entre recherche et gestion**, elle doit permettre de déployer dans le réseau d'observation des **outils de connaissance et de gestion** répondant aux besoins anticipés de l'ensemble des acteurs interagissant au sein des socio-écosystèmes forestiers et dont la **fiabilité scientifique sur le long-terme** est garantie.

Elle assure la possibilité de réaliser des **analyses multi-échelles** et favorise l'émergence de **projets de recherche innovants**. Enfin, elle participe à positionner le projet, à le rendre visible et lisible, dans le paysage des dispositifs d'étude des écosystèmes forestiers en France et en Europe.

Pensée de manière itérative (qui caractérise les dispositifs de gestion adaptative) et organisée par objets d'étude, elle vient également préciser les **principales questions scientifiques** posées et les manières d'y répondre.

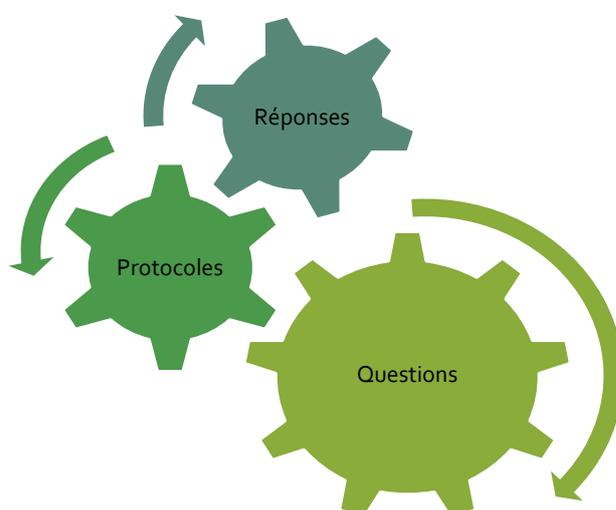


Figure 2 : Boucle itérative caractéristique des dispositifs de gestion adaptative

GRANDS CHAMPS DE L'OFS

Processus de priorisation

Afin de restreindre le champ d'action de cette stratégie, ses champs d'intervention ont été priorisés selon cinq critères :

1. Le sujet s'inscrit dans la logique « sentinelle » de l'OFB (analyse des interactions climat / usages / biodiversité ; cf. note conjointement écrite par l'AFB, la ZAA et RNF ; mars 2019) ;
2. Les aires protégées sont une plus-value pour traiter le sujet (données déjà disponibles au niveau local, moyens humains dédiés, réseaux régionaux, etc.) ;
3. Le sujet répond à des besoins locaux (gestionnaires d'aires protégées mais aussi plus largement acteurs du socio-écosystème) ;
4. Le traitement du sujet au sein de l'Observatoire vient combler une lacune de recherche ou vient en complément de dispositifs pour lesquels le sujet est peu voire mal couvert ;
5. Le traitement du sujet répond à des attentes nationales (politiques publiques : PNFB, PNACC2, SNB, SAP, etc.).

Trois axes de questionnement

Si le climat reste au centre des réflexions de l'Observatoire, d'autres types de changements - environnementaux, mais aussi sociétaux- ont une influence sur la trajectoire des écosystèmes forestiers. La stratégie scientifique identifie en particulier trois champs sur lequel l'Observatoire a vocation à intervenir :

- i. **Evaluer l'influence des changements environnementaux** – dont le changement climatique – sur les écosystèmes forestiers et la biodiversité associée ;
- ii. **Etudier les réponses des acteurs du socio-écosystème aux changements environnementaux**, notamment au travers de l'évolution des représentations de la forêt, de l'adaptation des pratiques et des mesures de gestion ;
- iii. **Etudier l'effet des pratiques et des mesures de gestion** des écosystèmes forestiers et de la biodiversité associée sur la vulnérabilité et la résilience de ces écosystèmes et les différentes fonctions et services rendus par la forêt.

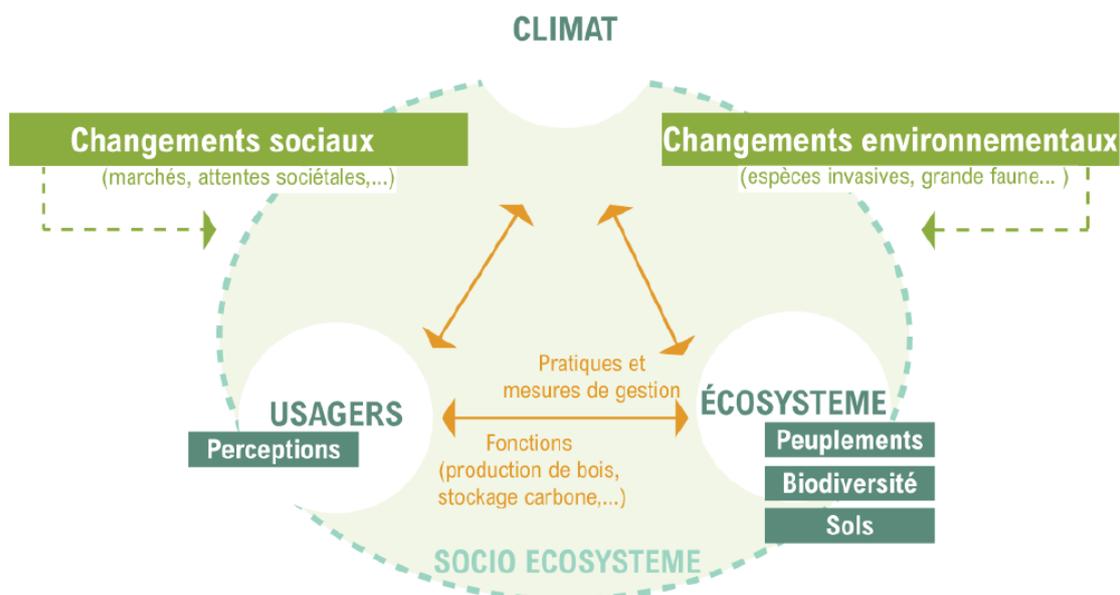


Figure 3 : Triptyque de l'Observatoire des Forêts Sentinelles

Un système d'échelles emboîtées pour envisager des actions en deux temps

Des questions plus précises ressortent pour étayer les réflexions sur ces interactions, avec une structuration en deux temps et à deux échelles - spatiale et temporelle - :

- **À court terme** en s'appuyant sur ce qui existe, en particulier le PSDRF, déployé sur un grand nombre de placettes permanentes, et en croisant les données qui en sont issues avec d'autres jeux de données existants ;

Exemples de questionnements :

- *Quelle est l'influence du changement climatique sur l'évolution de la maturité des peuplements forestiers ?*
- *Comment évolue le stock de carbone en fonction du degré de maturité du peuplement ?*

LE PSDRF : UN DES PLUS LARGE RESEAU DE PLACETTES PERMANENTES METROPOLITAIN

L'Observatoire s'appuie sur un socle existant de 15 ans d'observation sur 150 sites (principalement des réserves forestières), s'appuyant sur un large réseau de suivi par placettes permanentes sur lesquelles est appliqué le Protocole de Suivi Dendrométrique des Réserves Forestières (PSDRF).

- **À plus long terme** en se rapprochant d'une logique « sentinelle » sur un nombre plus restreint de sites (master-sites), sur lesquels les analyses seront élargies à l'ensemble des interactions climat-biodiversité-usages en jeu dans les socio-écosystèmes forestiers.

Exemples de questionnements :

- *Comment évolue la biodiversité forestière en fonction de l'intensité des prélèvements ?*
- *Comment les acteurs adaptent-ils leurs pratiques forestières au changement climatique ?*

DES MASTER-SITES COMME OUTILS DE DEMONSTRATION

Dans une deuxième phase de développement, l'Observatoire envisage la mise en place d'un nombre limité de masters-sites répondant au besoin d'élargir les analyses à l'ensemble des interactions climat-biodiversité-usages et pratiques en concentrant sur des territoires ou massifs un ensemble coordonné de dispositifs d'observation et de projets de recherche. Outils de démonstration, ils seront équipés de manière à développer une problématique particulière de l'Observatoire (trame de vieux bois, carbone et changements climatiques, outils de suivi de biodiversité, ...), et leur coordination sera déléguée à des membres de l'Observatoire.

Définitions :

Un site est la première échelle de suivi avec la mise en œuvre d'un protocole de mesures (ex PSDRF).

Un master-site est un site sur lequel l'ensemble des interactions climat-biodiversité-usages sont analysées.

Une complémentarité souhaitée avec les dispositifs existants

L'étude des interactions entre biodiversité, usages et changement climatique transcende les organisations établies et invite à une **mise en cohérence des dispositifs de suivi**, de surveillance et d'alerte, telle qu'amorcée par le **programme national de surveillance de la biodiversité terrestre** au niveau national ou par le **projet PASSIFOR 2** pour la forêt.

L'Observatoire affiche sa volonté de cohérence et de convergence avec ces démarches. Sa plus-value reposera notamment sur sa capacité à :

- Mobiliser les réseaux d'aires protégées pour répondre au double défi d'adaptation au changement climatique et de conservation de la biodiversité ;
- Fournir une vision à différentes échelles (locale, territoriale, nationale) de l'état des tendances d'évolution des systèmes forestiers ;
- Porter une dimension hybride, répondant directement aux interrogations de gestionnaires, de chercheurs et d'acteurs du territoire, réunis au sein d'une communauté apprenante ;
- Développer une approche intégrative des enjeux climatiques, socio-économiques et de biodiversité à l'échelle des socio-écosystèmes.

Complémentaire aux dispositifs de suivi des écosystèmes forestiers, notamment au travers de sa dimension « aires protégées », l'Observatoire adopte une philosophie et des principes propres aux dispositifs sentinelles, centrés sur l'étude des interactions entre climat, usages et biodiversité. Orienté vers la production de séries longues d'observation, il a vocation à s'inscrire dans le cadre général et cohérent que constitue le programme national de surveillance de la biodiversité terrestre, en cours de définition.

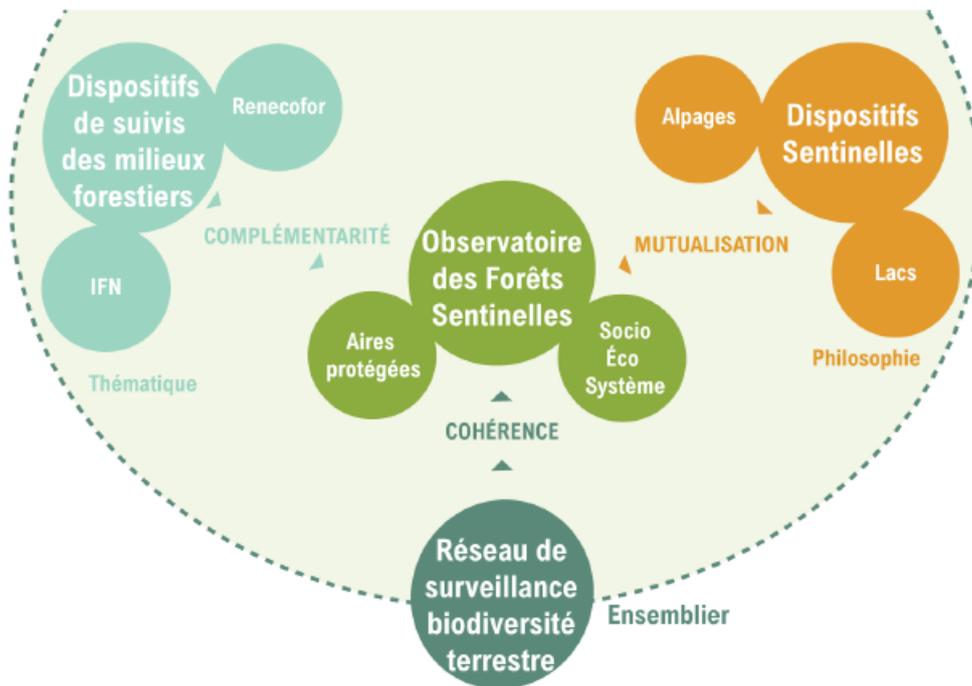


Figure 4 : Complémentarité souhaitée de l'Observatoire avec son environnement

OBJETS D'ÉTUDES

Tandis que la notion de socio-écosystème permet de définir le système d'intérêt, il s'agit ensuite de comprendre la trajectoire de ce système dans l'espace et dans le temps. Pour ce faire, les outils conceptuels associés à la **résilience** (Walker *et al.* 2004, Folke *et al.* 2010) permettent de réfléchir sur les trajectoires des socio-écosystèmes et de « naviguer vers des futurs durables »³.

Historiquement, la résilience d'un socio-écosystème est définie comme sa **capacité à absorber ou à résister aux perturbations** et autres facteurs de stress de telle sorte que ce système reste dans le même régime ou état, en conservant sa structure et ses fonctions essentielles (Holling 1973, Gunderson et Holling 2002, Walker *et al.* 2004). En écologie, la résilience d'un écosystème à une perturbation ou un stress est généralement étudiée via deux facettes complémentaires : sa capacité à maintenir sa structure et ses propriétés (résilience par résistance), et aussi sa vitesse de récupération (résilience par recouvrement).

Par extension, il s'agit d'étudier les conditions dans lesquelles ce système franchit un **seuil** et évolue vers un autre état, selon un régime de stabilité différent : par exemple, pour une forêt, l'influence de l'âge des peuplements sur la capacité d'un papillon ravageur, la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*), à se développer et à dévaster des forêts d'épinettes et de sapins (Holling 1973). Favoriser la résilience des socio-écosystèmes, ce serait donc soutenir leur capacité à tolérer les perturbations, et éviter le franchissement de seuils vers des états alternatifs. Par exemple, dans le cas de la tordeuse, ne pas laisser vieillir la forêt pour éviter l'explosion de la population de ce ravageur. La **vulnérabilité** est parfois présentée comme le revers de la résilience (Miller *et al.* 2010). La vulnérabilité est communément définie comme la susceptibilité d'un système de subir des dommages du fait d'une exposition à des stress liés aux changements environnementaux et sociaux, et de l'absence de capacité d'adaptation (Adger 2006). Elle est souvent présentée comme fonction de **l'exposition aux stress**, de la **sensibilité du système** et de sa **capacité d'adaptation**.

Depuis les années 70, les théories sur la résilience ont largement évoluées (Mathevet et Bousquet 2014). Elles sont passées de la considération d'un état d'équilibre unique, le climax, à celle de multiples états stables possibles des écosystèmes. Puis la notion de changement d'état a été complétée par une analyse des transitions entre états et des **trajectoires**, avec le concept de **cycle adaptatif** (Gunderson et Holling 2002). Les études sur la résilience se sont étendues des écosystèmes aux socio-écosystèmes. Vers la fin des années 1990, sous l'influence des sciences de la complexité et des sciences sociales, la résilience fait également référence à la capacité d'un système **à s'auto-organiser, à apprendre et à s'adapter**. Plus récemment, la notion d'**adaptation**, définie comme une réaction à une perturbation ne remettant pas en cause l'état du système, est mise dos à dos avec la notion de **transformation**, qui indique que le fonctionnement du système n'est plus acceptable et qu'il faut en changer (Folke *et al.* 2010). Aujourd'hui, parler de résilience, c'est donc penser les dynamiques des socio-écosystèmes à l'aide d'un certain nombre d'outils conceptuels (état du système, seuil, cycle adaptatif, adaptation ou transformation), et les accompagner vers plus de durabilité. Les définitions de ces concepts et leurs relations sont largement débattues dans la littérature (Adger 2006, Gallopin 2006, Smit et Wandel 2006, Folke *et al.* 2010). Les avancées théoriques de ces dernières années comprennent un ensemble de **plusieurs principes** qui ont été identifiés pour renforcer la résilience des socio-écosystèmes, par exemple la prise en compte des variables **lentes** ou encore l'élargissement de la **participation** des acteurs à plusieurs échelles (Biggs *et al.* 2012).

³ « Navigating towards sustainable futures » en anglais, comme suggéré sur www.wayfinder.earth dans la dernière version du guide pour la résilience proposé par la Resilience Alliance.

Dans le cadre de l'Observatoire, nous retenons l'intérêt de la résilience pour : i) penser la **dynamique du système** face au changement, les **réponses apportées et les conséquences de ces réponses**; ii) réfléchir à **l'imbrication entre variables lentes et rapides** et leur expression à différentes échelles spatiales imbriquées ; iii) passer d'un modèle centré sur un état d'équilibre optimum à une vision introduisant la notion de seuil et la possibilité de **multiples équilibres et trajectoires**; iv) introduire l'idée que **les trajectoires de ces systèmes peuvent être accompagnées** face aux changements. Il s'agit dès lors de comprendre le fonctionnement des socio-écosystèmes forestiers, de définir leurs états, d'évaluer la probabilité de franchir des seuils qui conduiraient à plus de vulnérabilité, et de penser collectivement les trajectoires des forêts françaises.

Climat

De quoi parle-t-on ? Parmi les différentes pressions auxquelles font ou devront faire face les socio-écosystèmes forestiers, le changement climatique est certainement une de celles qui cristallise le plus d'inquiétudes. En effet, les changements de température observés suivent les prédictions des scénarios climatiques les plus pessimistes, et il est fort probable que les changements soient de plus en plus forts dans les années et décennies à venir (IPCC 2019). Ceux-ci se traduisent en particulier par des événements tels que des vagues de chaleurs et des sécheresses dont l'intensité et la fréquence augmentent depuis 20 ans.

Constats. Les changements climatiques affectent ainsi la diversité et les processus écosystémiques des forêts et les usages qui en sont faits. En effet, **nombre des impacts de ce changement sont déjà visibles**, que ce soit sur la **physiologie** des organismes, notamment la **photosynthèse** et la **respiration** (Saxe *et al.* 2001) ou la **phénologie** (Parmesan 2006), jusqu'à leur **répartition géographique** (Parmesan et Yohe 2003, Breshears *et al.* 2008). Ces modifications altèrent *in fine* la composition des communautés, et des impacts conséquents sur la flore forestière française ont été démontrés (Lenoir *et al.* 2008, Bertrand *et al.* 2011). Pour les forêts métropolitaines, les questionnements se multiplient quant au devenir des peuplements actuels du fait de la **vulnérabilité** des essences, notamment face aux forts dépérissements observés récemment (Senf *et al.* 2020).

En effet, des prédictions faites aussi bien à l'aide de modèles statistiques que de modèles basés sur les processus biologiques et écologiques ont confirmé que des changements importants de **diversité des communautés** forestières (que ce soit en nombre d'espèces ou en composition) sont très probables sous l'effet du réchauffement climatique. De tels changements de biodiversité sont susceptibles d'affecter le **fonctionnement des écosystèmes** forestiers – défini comme le flux d'énergie et le recyclage de matière résultants de l'activité des êtres vivants dans l'écosystème (Ghilarov 2000). En effet les processus écosystémiques – productivité, décomposition et recyclage des nutriments, et les services qui en découlent (MEA 2005, UN 2015) – sont particulièrement sensibles à la diversité en espèces de l'écosystème (Hooper *et al.* 2012). Les changements globaux affectent donc directement les processus écosystémiques en modifiant les conditions environnementales (climat, sol, Chapin *et al.* 2002), comme par exemple la productivité forestière (Bontemps *et al.* 2009). Mais ils influent également indirectement sur les écosystèmes forestiers en modifiant la composition des communautés (perte/gain d'espèces, changement d'abondance). De plus, une caractéristique particulière aux forêts est la discordance temporelle entre la rapidité des changements en cours et la longévité des arbres, qui accentue le besoin de dispositifs pensés pour le temps long.

Questions scientifiques associées. Il est difficile d'appréhender les impacts du changement climatique de façon globale ou nationale, étant donné la variabilité de sa déclinaison selon les territoires. Pourtant il est primordial de pouvoir estimer comment les essences réagissent aux changements de climat *in situ*, que ce

soit au niveau de leur **physiologie** (croissance, phénologie) mais aussi de leur **démographie** (mortalité, régénération). Plus précisément, les principales questions ciblées par l'Observatoire vis-à-vis du climat seront :

1. Comment le changement climatique impacte la croissance des arbres, en interactions avec d'autres modalités comme la composition en essences, le type de peuplement (pur ou mélangé) et la gestion (incluant la libre évolution) ?
2. Comment le changement climatique impacte le recrutement des semis et la mortalité des arbres ?
3. Comment le microclimat forestier tamponne-t-il le changement de température ?

Plus-value de l'Observatoire à traiter le sujet. L'OFS permet à la fois de suivre ce changement et ses impacts, en proposant de se **placer dans l'observation à long terme** et à l'échelle locale tout en couvrant une large partie du territoire national. En ce sens, il représente un **complément essentiel aux réseaux d'observations existants** – qui sont généralement plus pointus en termes de mesures d'impacts mais avec une couverture spatiale moindre, et apporte la **prise en compte de la dimension de socio-écosystème**.

Démarche envisagée. Un suivi d'impacts climatiques devrait être proposé, via une série d'indicateurs, selon les objets suivis. La croissance sera estimée via la comparaison d'inventaires. Un protocole de suivi sanitaire (par exemple inspiré de celui du DSF) sera mis en place. Des suivis démographiques sur les semis seront intensifiés par rapport au PSDRF (avec une plus haute fréquence), pour un sous-échantillon de placettes choisies préalablement. Pour le suivi du microclimat, des capteurs de températures seront installés selon les moyens disponibles sur une série de placettes. Avant d'envisager un suivi sur le long terme, des tests pourront être réalisés sur des sous-échantillons de placettes représentatives.

Focus sur la problématique du carbone

Il est important de souligner qu'une des forces de l'OFS tient à la considération de l'ensemble des facettes (fonctions, services...) des forêts. Parmi celles-ci, une caractéristique importante des forêts est leur **rôle de puits de carbone** terrestre, susceptible d'atténuer le changement climatique. Au cours des dernières décennies, la séquestration de carbone a d'abord augmenté, en raison de l'augmentation des températures et de l'allongement de la saison de végétation (phénologie), et de l'augmentation de la concentration en CO₂ atmosphérique et des dépôts d'azote (Boisvenue et Running 2006). Cette tendance a aussi été accentuée par les **changements d'utilisation des terres**, avec un processus d'afforestation important depuis le milieu du XX^{ème} siècle. Toutefois, l'augmentation des températures et de la fréquence et intensité des sécheresses, associées à une augmentation de la fréquence et de l'intensité des perturbations (Seidl *et al.* 2017) conduisent à des défoliations accrues, des événements de mortalité qui altèrent la structure et la composition des forêts (McDowell *et al.* 2020). Ainsi la forêt peut avoir joué un rôle important dans l'atténuation des effets liés aux émissions anthropiques de gaz à effet de serre, mais **l'accélération du changement climatique les rend aussi de fait de plus en plus vulnérables**.

Récemment, un **foisonnement de rapports** réalisés à l'échelle nationale (Valade *et al.* 2018 ; Roux *et al.* 2017 ; Dubus et Angerand 2020) ont cherché à évaluer comment la forêt et la filière bois pourrait contribuer à l'atténuation du changement climatique, via des mesures dites "d'adaptation". En permettant de suivre dans la durée une gamme de socio-écosystèmes forestiers (par exemple gérés ou non, peuplements mixtes ou monospécifiques, périurbains ou en montagne...) **l'OFS constitue un outil important d'évaluation de ces mesures d'adaptation**.

Perceptions, représentations et usages

De quoi parle-t-on ? Au sein des socio-écosystèmes forestiers, un des axes particuliers d'étude de l'Observatoire concerne la partie "sociale" du système, c'est-à-dire l'ensemble des acteurs de la forêt, leurs caractéristiques et leurs interactions, entre eux et avec les milieux forestiers. Les acteurs, individus ou organisations concerné.e.s par les forêts sont divers et multiples : gestionnaires forestiers, exploitants et entrepreneurs forestiers, propriétaires forestiers, collectivités, institutions, gestionnaires d'espaces naturels, mais également chasseurs, cueilleurs, promeneurs, acteurs du tourisme ainsi que la société en général qui s'empare de plus en plus des questions de gestion forestière. La forêt est un espace éminemment important pour la société, qui en tire de nombreux bénéfices : production et consommation de matière première, que ce soit pour le bois, le papier, l'ameublement ou l'énergie, d'autres produits forestiers non ligneux tels que gibier, champignons ou miel, espace de vie d'une biodiversité particulière, lutte contre l'érosion, paysages emblématiques, lieux de loisirs, de cueillette ou de recueillement spirituel, les forêts contribuent au bien-être des populations et au développement des territoires ruraux (MAAF et IGN, 2016). De fait, les forêts représentent un milieu clé pour répondre à plusieurs objectifs pour le développement durable (Baumgartner 2019). Ces multiples fonctions ne sont pas toujours compatibles et peuvent entraîner des conflits et des tensions entre les multiples acteurs qui portent des regards et des intérêts variés sur les forêts (Niemelä *et al.* 2005), soit en tant que propriétaire ou gestionnaire, soit en tant qu'utilisateur et visiteur.

Constats. Du fait des changements globaux, ces fonctions sont susceptibles d'évoluer, de même que les perceptions, attentes et actions de cette diversité d'acteurs vis-à-vis des milieux forestiers. Les forêts sont soumises à des menaces croissantes (surexploitation, espèces envahissantes, sécheresses...) qui peuvent entraîner des changements à large échelle des régimes de perturbation et de reconstitution des forêts (McDowell *et al.* 2020). Ces changements sont susceptibles de renouveler les vulnérabilités écologiques, mais également sociales, et d'induire l'apparition de nouvelles tensions entre acteurs. Il s'agit donc de prendre en compte la capacité d'adaptation des arbres, des forêts et des acteurs (Lindner *et al.* 2010), pour une gestion forestière adaptative qui intègre les changements en cours, et le changement climatique en particulier. Un tel renouvellement implique de **considérer les connaissances, les perceptions, les représentations et les actions** des acteurs forestiers. En particulier, il est essentiel de comprendre les perceptions des impacts du changement climatique pour soutenir l'utilisation de stratégies d'adaptation et informer les recherches futures (Blennow *et al.* 2012, Soucy *et al.* 2020). Et puisque percevoir et croire ne signifie pas nécessairement agir, il convient de prendre en compte les principales opportunités et contraintes qui ont un impact sur l'action, comme le manque de connaissances techniques ou le manque de moyens financiers (Sousa-Silva *et al.* 2018). De telles études peuvent favoriser les processus de prises de décision collectives qui incluent l'incertitude, les nouvelles informations sur l'état des systèmes en évolution et l'exploration proactive de décisions de gestion alternatives (Yousefpour *et al.* 2017). Dans ce contexte, il est essentiel de disposer de plateformes de surveillance socio-écologique à long terme qui intègrent à la fois les sciences naturelles et sociales et qui favorisent le dialogue social. Cependant, les sciences sociales sont bien trop souvent négligées lors de l'étude de problèmes environnementaux tels que la conservation de la biodiversité ou le suivi des effets des changements mondiaux sur les écosystèmes, y compris dans le domaine de la foresterie (Fouqueray et Frascaria-Lacoste 2020).

Questions scientifiques associées. Le panel des questions possibles à traiter au sein de l'Observatoire du point de vue des sciences sociales est extrêmement large. A long-terme, l'Observatoire a vocation à s'intéresser à l'ensemble des acteurs identifiés précédemment, et à étudier l'évolution de trois éléments en particulier: 1) les **perceptions des changements** impactant les forêts (qu'ils soient sociaux ou environnementaux), de leurs conséquences et des possibilités d'y répondre; 2) les **représentations**

associées à la forêt, traduites sous formes d'attentes et termes de fonctions, services ou bénéfices rendus par les forêts; 3) les **pratiques et usages** en forêt, et notamment **l'évolution des pratiques sylvicoles face aux changements**, leur impact sur la résilience et la vulnérabilité des écosystèmes forestiers et leur influence sur la rupture entre la vocation technique et économique de ces pratiques et les attentes, perceptions sociétales. A plus court terme et dans le cadre de la stratégie scientifique en cours, l'Observatoire propose de se concentrer sur les questions suivantes :

1. Comment évoluent les représentations des forêts, notamment de la part du grand public et de ceux qui fréquentent les forêts, et plus particulièrement leurs attentes en termes de fonctions, services ou bénéfices rendus ?
2. Comment évoluent les perceptions de l'impact des changements globaux en forêts, en particulier le changement climatique ?
3. Comment la prise en compte du changement climatique fait-elle évoluer les pratiques de gestion forestière, y compris dans les aires protégées ?
4. Comment la mise en œuvre de différentes mesures de gestion, notamment de gestion adaptative ou la création d'aires protégées, est-elle perçue et modifie-elle les perceptions, représentations et comportements des acteurs (visiteurs, habitants, gestionnaires) ?

L'Observatoire portera une attention particulière à l'influence des politiques de conservation de la biodiversité et à l'état de la biodiversité, dont les différents degrés de naturalité des forêts concernées, sur ces perceptions et représentations. En renseignant les attentes des acteurs des territoires forestiers, l'Observatoire garantit que le réseau des forêts sentinelles restera au plus proche des besoins des territoires, en adaptant en partie ses questionnements scientifiques aux priorités identifiées à l'échelle nationale et sur les différents territoires.

Plus-value de l'Observatoire à traiter le sujet. L'Observatoire repose d'ores et déjà sur un réseau étendu de partenariats avec des gestionnaires forestiers à l'échelle nationale. Ce réseau assure la possibilité d'un portage territorial à long terme des enquêtes sociologiques, dans une diversité de contextes et à travers toute la France. Cette vaste emprise géographique permet d'envisager des travaux sur les perceptions du changement climatique et sur l'adaptation des mesures de gestion dans une large diversité de contextes. Également, la constitution interdisciplinaire de l'Observatoire avec l'inclusion des chercheurs en sciences sociales, et son attachement à déployer des partenariats avec des structures telles que le Forest Inn Lab, garantissent de sa pertinence sur le sujet du suivi des perceptions, représentations et usages, et de sa complémentarité avec l'existant.

Démarche envisagée. Il s'agira dans un premier temps de faire un état des lieux de l'existant, que ce soit à l'échelle nationale (exemple de l'enquête nationale forêts-sociétés porté par l'ONF et l'université de Caen) ou internationale. Si des outils préexistent et répondent aux questionnements scientifiques de l'Observatoire, ce dernier s'en fera le relais. Si des manquements sont identifiés, l'Observatoire y répondra par le développement d'outils d'enquêtes sociologiques complémentaires dont il supportera le déploiement à large échelle et à long terme. Également, des projets plus ancrés territorialement pourront être soutenus par l'Observatoire au cas par cas, en fonction des besoins et attentes des territoires partenaires, et en fonction des différents projets mis en place dans le cadre de l'observatoire. L'OFS pourra également apporter des outils (outils méthodologiques, de communication et de sensibilisation) pour soutenir les initiatives locales d'intégration sociologique et comme support d'aide à la décision auprès des décideurs politiques.

Biodiversité

Maturité, naturalité et fonctionnement de l'écosystème

De quoi parle-t-on ?

- La **maturité** désigne l'avancement biologique d'une forêt dans son cycle de vie (Cateau *et al.* 2015). Elle se caractérise par le développement de structures spécifiques au cours de la dynamique naturelle (notamment des arbres de grandes dimensions, morts ou vivants, porteurs de microhabitats... e.g. Bauhus *et al.* 2009, Larrieu *et al.* 2014). La maturité s'exprime davantage dans les forêts en libre évolution depuis longtemps, mais peut être partiellement préservée par des modes de gestion adaptés dans la matrice forestière exploitée.
- La **naturalité** caractérise le degré d'éloignement par rapport à un état de référence – souvent hypothétique – qui n'aurait jamais connu d'intervention humaine ; on parle ainsi maintenant de **gradient de naturalité**, par opposition au gradient d'anthropisation. Pour caractériser le degré de naturalité, il est nécessaire de prendre en compte plusieurs facteurs dont la maturité de l'écosystème, l'ancienneté de l'état boisé, mais aussi d'autres facteurs – notamment écologiques, historiques et paysagers – qui varient suivant les auteurs (Guetté *et al.* 2018).

Ces deux notions sont étroitement imbriquées et peuvent faire l'objet de questions scientifiques communes, dont les objectifs appliqués varient.

Constats. Les recherches sur la maturité, la naturalité et de manière plus générale le fonctionnement des écosystèmes forestiers en France métropolitaine restent localisées (e.g. Paillet *et al.* 2010), sans doute du fait que les forêts à fort degré de naturalité sont minoritaires et les réserves intégrales, à quelques rares exceptions, de désignation récente (Gouix *et al.* 2019, Thompson *et al.* 2021). Les travaux récents ont permis d'initier un corpus de connaissances ancré dans le contexte métropolitain (e.g. Paillet *et al.* 2015, 2017, Lassauce *et al.* 2013). Il s'agit donc, dans le cadre de l'Observatoire, de compléter ce corpus en élargissant les problématiques à des conditions environnementales et d'usages variés, pour permettre *in fine* une meilleure adaptation des outils aux besoins des gestionnaires.

Questions scientifiques associées. Nous nous restreignons ici à la structure forestière et aux éléments qui peuvent caractériser le degré de naturalité. Il est cependant clair que les aspects de diversité spécifique sont très liés à ces gradients et que des questions conjointes, mêlant réponses de l'écosystème et de la biodiversité associée sont à coordonner (voir ci-dessus) :

1. Comment se caractérise et évolue la structure forestière en l'absence d'exploitation ? Dans quelle mesure et sur quels indices la structure diffère-t-elle de celle des forêts exploitées ?
2. Quels rôles ont les aires protégées et des mesures de conservation intégrée dans la connectivité de la trame de vieux bois et plus généralement dans la trame verte ?
3. Quelles sont les perceptions de la naturalité et de la maturité par les usagers de la forêt ? Y-a-t-il plusieurs acceptions du terme en fonction des publics concernés ?
4. Comment le fonctionnement des forêts matures est-il modifié dans un contexte de changement global, notamment climatique ? En particulier, les forêts matures préservent-elles leurs capacités de régénération et de stockage de carbone ?

Diversité taxinomique

De quoi parle-t-on ? Par diversité taxinomique on entend la variété des espèces qui utilisent l'écosystème forestier durant tout ou partie de leur cycle de vie. Si des espèces ou groupes d'espèces fréquentent occasionnellement la forêt, certains taxons y sont tout particulièrement inféodés et constituent des groupes d'espèces à enjeux en termes de préservation de la biodiversité et de maintien du fonctionnement des écosystèmes forestiers, notamment dans un contexte de changements environnementaux. Il s'agit par exemple des champignons lignicoles, des lichens, des mousses ou de certains groupes d'insectes (coléoptères, diptères), mais aussi des espèces plus mobiles comme des oiseaux ou des chauves-souris (e.g. Gosselin *et al.* 2012).

Constats. Sans en être la cible exclusive, ces taxons constituent des sujets d'études privilégiés en forêt par les relations étroites qu'ils entretiennent avec les attributs structurants de l'écosystème. Les connaissances sur les facteurs qui expliquent cette diversité spécifique restent toutefois lacunaires ou limitées à certains attributs (e.g. la relation bois morts - biodiversité fait l'objet de nombreuses études) (Thorn *et al* 2020, Bouget *et al.* 2014, Percel *et al.* 2018, Larrieu *et al.* 2019). En l'absence de suivi national s'intéressant à ces espèces forestières, il est difficile d'obtenir des réponses claires et contextualisées sur l'influence des facteurs environnementaux et des usages sur ces groupes. L'émergence de techniques d'ADN environnemental (metabarcoding) ouvre en ce sens des perspectives de recherches assez larges qui pourraient à la fois généraliser et homogénéiser les données disponibles en forêt, et contribuer à une meilleure connaissance de son état et de sa dynamique.

Questions scientifiques associées. De nombreuses questions scientifiques concernent la dynamique de la biodiversité au sens large. Dans le cadre de l'Observatoire et sans exclure d'autres problématiques, nous nous restreignons à un ensemble de questions qui pourraient faire l'objet d'un traitement spécifique lié aux objectifs et aux spécificités de l'Observatoire (cf. également le chapitre « maturité, naturalité et fonctionnement de l'écosystème » dont les problématiques sont très liées à la biodiversité) :

1. Quelle est la dynamique de la biodiversité forestière sous l'effet du changement climatique ? Cette dynamique varie-t-elle le long du gradient de naturalité ?
2. Quelle est la dynamique de la biodiversité forestière sous l'effet de différents usages de la forêt (exploitation du bois, tourisme, chasse) ? Cette dynamique varie-t-elle le long du gradient de naturalité ?
3. Quels sont les effets de la création – plus ou moins ancienne - d'aires protégées forestières sur la biodiversité qu'elles abritent ?

Pour les deux objets d'étude précédents

Plus-value de l'Observatoire. La part importante d'aires protégées que comprend l'observatoire permet de travailler sur un gradient étendu d'usages de la forêt (notamment d'exploitation) qui comprend à la fois des forêts exploitées classiquement pour le bois, et des réserves intégrales qui ne sont plus exploitées depuis plusieurs décennies, ces dernières étant très rarement concernées par les dispositifs d'inventaires statistiques forestiers. De même, de part une vaste emprise géographique, l'implantation actuelle des sites de l'observatoire (en lien avec le PSDRF) permet d'ores et déjà d'envisager des travaux sur les effets du changement climatique. Enfin, dans la logique de réseau qui anime l'observatoire, il est possible de construire, ou à l'avenir de compléter, des protocoles d'échantillonnage robustes permettant de répondre aux questions posées, notamment au sein de master-sites.

Démarche envisagée. Il s'agira dans un premier temps de se baser sur l'existant, notamment le PSDRF, qui pourra servir de base descriptive pour le déploiement de protocoles de relevé de biodiversité. Par la suite, des protocoles ad-hocs pourront être déployés en fonction des différents projets mis en place dans le cadre de l'observatoire.

Focus sur la biodiversité des sols

De quoi parle-t-on ? La biodiversité des sols forestiers comprend l'ensemble des organismes vivants dont au moins une partie du cycle biologique se déroule dans les horizons pédologiques enrichis en matière organique. Les animaux vivant en dehors du sol mais creusant des terriers ou s'y abritant (taupes, blaireaux, lapins...) font aussi partie de la faune du sol. Les racines des végétaux sont étroitement associées à la biodiversité des sols avec laquelle elles interagissent de multiples façons, notamment en s'associant à des champignons mycorhiziens (Nivet *et al.* 2018). Les espèces des sols sont généralement classées selon leur taille : la mégafaune (amphibiens, reptiles, mammifères), la macrofaune (fourmis, vers de terre, cloportes etc.), la mésofaune (acariens, collemboles etc.) et enfin la microfaune et la microflore (nématodes, algues, champignons, bactéries etc). Elles peuvent aussi reliées à des groupes fonctionnels : les fragmenteurs (ex. certains arthropodes), les décomposeurs (ex. les archées), les prédateurs (ex. certains nématodes), les ingénieurs du sol (ex. vers de terre) etc. d'après leur rôle essentiel dans la réalisation des principales fonctions du sol qui peuvent être regroupées selon 7 grandes catégories : le support pour la végétation, la rétention et fourniture des nutriments, l'habitat et régulation de la biodiversité des sols, l'influence sur la composition chimique de l'atmosphère, la transformation et stockage de la matière organique, la filtration et la dégradation des polluants, la rétention et infiltration de l'eau (Calvaruso *et al.* 2019).

Constats. La biodiversité des sols représente environ 25% de la biodiversité mondiale actuellement décrite ce qui ne prendrait en compte toutefois qu'à peine 1/1000^{ème} des espèces pour certains groupes taxonomiques comme les bactéries des sols (Decaëns *et al.* 2006). La biodiversité des sols participe à la transformation de la matière organique mais aussi aux différents cycles biogéochimiques des sols. Elle va influencer les mouvements de l'eau dans le sol et le développement des plantes, et intervient dans la dégradation de certains polluants. Malgré les nombreuses implications de la biodiversité des sols, celle-ci reste encore largement méconnue et de nombreux sujets doivent encore faire l'objet d'acquisition de connaissances y compris pour les sols forestiers. On peut citer, entre autres, l'impact de certaines activités humaines sur la biodiversité des sols tels les changements de pratiques sylvicoles, le rôle des organismes des sols sur les fonctions et services rendus par les sols comme la rétention d'eau particulièrement importante en situation de sécheresses répétées pour certains sols forestiers, etc. (Pillorget 2020).

Questions scientifiques associées. Mieux connaître les conséquences des pratiques sylvicoles et de l'intensification de l'exploitation des forêts, telle que préconisée par le PNFB sur la biodiversité des sols est indispensable pour adapter la gestion forestière dans le contexte de changement climatique, en particulier en cas de changement de pratiques sylvicoles.

1. Quels rôles jouent les sols et la biodiversité associée dans les processus de résilience des écosystèmes forestiers ?
2. Comment les sols forestiers contribuent-ils au puits de carbone que représentent les forêts et en quoi la biodiversité des sols y joue-t-elle un rôle ? Les sols des forêts anciennes ou matures ont-ils une meilleure capacité de stockage de carbone que les autres sols forestiers ?
3. Quels sont les modes d'exploitation forestière les moins impactant sur la biodiversité des sols ? Quels sont les impacts potentiels des apports de fertilisants, y compris de cendres, sur la biodiversité des sols forestiers ?

Plus-value de l'Observatoire à traiter le sujet. À l'échelle nationale, malgré un intérêt marqué des gestionnaires d'aires protégées pour l'acquisition de connaissances sur le sujet, aucun réseau n'est spécifiquement dédié à l'évaluation et au suivi de la biodiversité des sols forestiers. L'Observatoire des Forêts Sentinelles pourrait être un outil, en lien avec l'initiative lancée par l'OFB avec le RMQS, pour mobiliser les gestionnaires d'aires protégées sur cette thématique, en y associant les nombreuses données disponibles concernant le bois mort. Ces données pourraient également être valorisées pour améliorer les connaissances sur l'interface sol / peuplement, ainsi que l'étude de la décomposition de la matière organique et de la fertilité des sols forestiers.

De même, très peu d'études permettent actuellement d'apprécier l'impact du changement de pratiques sylvicoles sur les sols forestiers sur le temps long, le réseau des forêts sentinelles avec les connaissances accumulées par le PSDRF sur les dates d'arrêt d'exploitation pourrait constituer un outil unique pour mettre en évidence l'existence de liens avérés entre l'ancienneté de l'état boisé, le changement de pratiques sylvicoles (y compris l'arrêt d'exploitation) et la biodiversité des sols forestiers.

Démarche envisagée. Il s'agira dans un premier temps de définir la complémentarité à établir avec le RMQS-Biodiv en cours de développement (GIS-Sol et OFB). Puis d'évaluer la pertinence d'utiliser les protocoles développés par le RMQS-Biodiv pour répondre aux besoins des membres de l'Observatoire.

MISE EN ŒUVRE AVEC LES PARTENAIRES

Philosophie. L'Observatoire des Forêts Sentinelles est un projet multi-acteurs. S'il a été initié et porté par Réserves Naturelles de France depuis 2016, les conditions de mise en œuvre partenariale nécessitent d'être davantage précisées puis confortées dans les prochaines années. De même que la responsabilité de la mise en œuvre de la présente stratégie devra être partagée par l'ensemble des partenaires intentionnels, techniques et scientifiques.

Partenaires techniques

Les partenaires techniques sont représentés ou participent à différentes instances de l'Observatoire : Comité Consultatif d'Orientatif (CCO), Conseil Scientifique et Technique (CST) et Ateliers techniques (AT). La gouvernance ainsi constituée permet aux partenaires de doser leur engagement selon leurs centres d'intérêts, leurs besoins ou leurs profils. Les Ateliers techniques sont par exemple initiés dans le but de mener des réflexions sur notamment, l'évolution des protocoles, le choix d'indicateurs de suivi, etc. Ces ateliers sont la plupart du temps animés par les partenaires, dont les chercheurs associés au projet.

La mobilisation des partenaires n'est pas restreinte aux instances de gouvernance propres à l'Observatoire. L'engagement peut ainsi se traduire de différentes manières : coopération en tant que « site pilote » pour l'expérimentation et le test de méthodologies ou protocoles, accueil de stagiaires, de réunions ou séminaires voire même maîtrise d'œuvre de certaines activités techniques, pilotage de la réalisation de certaines prestations. L'engagement peut par ailleurs être regardé à toutes les échelles d'action. Dans les années à venir, la dynamique autour des masters-sites devrait renforcer l'engagement de certains acteurs ou territoires sur des thématiques particulières de la stratégie scientifique.

Les modalités de coopérations ne sont, a priori, pas limitées même si le conventionnement (pour l'accueil d'un stagiaire, pour le reversement de subventions spécifiques) constitue certainement la disposition la plus pratique, garantissant les intérêts des deux parties, tant sur la forme, que sur le fond ou sur les délais. En particulier, il paraît intéressant de développer les résidences et accueils de chercheurs dans des organismes de gestion et d'animation territoriale, et, réciproquement, des accueils de gestionnaires au sein de laboratoires de recherche. Il sera ainsi possible de développer une acculturation des partenaires du projet. Dans tous les cas, les collaborations devront faire l'objet de la transparence la plus totale et être basées sur des principes d'équité partagés. La charte de participation de l'Observatoire (voir ci-après), dont la publication est attendue courant 2022 développera ce point en particulier.

Partenaires scientifiques

Les partenaires scientifiques participent aux mêmes instances que les partenaires techniques. Néanmoins, leur participation est évidemment prédominante au sein du Conseil Scientifique et Technique (CST). La mission de rédaction de la présente stratégie leur a notamment été confiée. La philosophie de l'Observatoire, basée sur la libre accessibilité aux données produites (open-data), doit cependant permettre d'ouvrir les collaborations à tout chercheur ou organisme de recherche intéressé. La réalisation de data-paper pour chacun des protocoles d'étude coordonnés dans le cadre de l'Observatoire doit être systématique.

L'engagement des partenaires scientifiques doit – au-delà des missions qui leur sont confiées au CST – permettre d'accompagner les travaux de valorisation relatifs aux données collectées et se traduit aussi bien

par la participation à des études spécifiques que par la rédaction d'articles scientifiques ou de vulgarisation. Leur engagement se traduit également par l'apport d'éclairage sur les questions exprimées par les gestionnaires, contributeurs de l'observatoire. Que ce soit au travers de participations fortuites, de sollicitations directes ou d'interventions à l'occasion de séminaires, leur expertise légitime les travaux de l'Observatoire et garantit une prise de recul en réponse aux questionnements des gestionnaires.

Là aussi, les coopérations peuvent se traduire par la réalisation de conventions (échanges de données, recherche-développement, accueil de stagiaires). Comme pour les partenaires techniques, les collaborations devront faire l'objet de la transparence la plus totale et être basée sur des principes d'équité partagés.

Vers l'élaboration d'une charte de participation

A terme, les règles de fonctionnement de l'Observatoire devront être définies dans une Charte de participation qui précisera les conditions de contribution des partenaires selon des principes éthiques prévenant toute situation de conflits d'intérêt.

La charte devra permettre de donner du corps à l'Observatoire et de faciliter sa lisibilité-visibilité à toutes les échelles. Elle définira en particulier les rôles et responsabilités ainsi que les modalités de fonctionnement et de gouvernance pour chacun des partenaires de l'observatoire.

Cette charte constituera le « cahier des charges » à partir duquel les acteurs décident de s'impliquer dans le réseau d'observation : principes d'utilisation des outils, règles de mise à disposition et d'utilisation des données, etc.

La rédaction sera réalisée par les membres du CCO et associera étroitement les membres du CST ainsi que l'équipe coordinatrice de RNF. La publication est attendue courant 2022.

VERS UN PLAN D' ACTIONS OPÉRATIONNEL

Une des premières étapes pour définir cette stratégie a été de s'inspirer d'autres stratégies scientifiques, telles que celles du réseau des parcs nationaux français ou du Parc national du Mercantour. Ont été retenus deux éléments clés :

- Le cadre général d'une **stratégie d'acquisition de connaissances** (le présent document) qui nécessite de définir les champs de recherche et les questions auxquelles on va répondre autour du triptyque climat-biodiversité-usages ;
- Décliné sous forme de **plan d'actions opérationnel** (à venir), qui détermine donc les outils qui seront déployés, à savoir quels protocoles, quelle représentativité, quelle échelles spatio-temporelles ?

Ainsi, le plan d'actions opérationnel, construit sur une période relativement courte (3, 4 ans), constitue-t-il une déclinaison de la stratégie scientifique, elle-même construite sur une longue période (ici 10 ans). L'intérêt de scinder la stratégie en deux est notamment de ne pas limiter le cadre scientifique, de ne pas se fermer aux autres questionnements ou problématiques de partenaires qui pourraient s'associer au projet en cours de route.

Si le présent document a permis d'exposer, pour chaque objet d'étude, le contexte, les constats, les questions scientifiques associées, la plus-value de l'Observatoire à traiter le sujet et la démarche envisagée, le plan d'actions doit, pour chaque question et au travers de fiches dédiées :

- Fixer l'objectif à atteindre
- Evaluer la capacité des outils existants ou déterminer les nouveaux outils à développer
- Identifier les échelles d'action et la représentativité souhaitée
- Identifier les principaux partenaires à associer (techniques, de recherche ou non-académiques)
- Estimer le budget et identifier les meilleures stratégies de financements
- Proposer un calendrier de mise en œuvre.

Selon le contexte ou les opportunités, ces fiches pourront soit être présentées à des partenaires techniques et financiers, soit être adaptées au règlement de futurs appels à projet.

BIBLIOGRAPHIE

- Adger, W.N., 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change* 16, 268–281. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>
- Barreteau, O., Giband, D., Schoon, M., Cerceau, J., DeClerck, F., Ghiotti, S., James, T., Masterson, V.A., Mathevet, R., Rode, S., Ricci, F., Therville, C., 2016. Bringing together social-ecological system and territoire concepts to explore nature-society dynamics. *Ecology and Society* 21(4), 42. <https://doi.org/10.5751/ES-08834-210442>
- Bauhus, J., Puettmann, K., Messier, C., 2009. Silviculture for old-growth attributes. *Forest Ecology and Management* 258, 525-537.
- Baumgartner, R. J., 2019. Sustainable Development Goals and the Forest Sector—A Complex Relationship. *Forests* 10(2), 152.
- Berkes, F., Folke, C., 1998. Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience. Cambridge University Press. ed. Cambridge (UK), 284p.
- Bertrand, R., Lenoir, J., Piedallu, C., Riofrio-Dillon, G., de Ruffray, P., Vidal, C., Pierrat, J. C., Gegout, J. C., 2011. Changes in plant community composition lag behind climate warming in low land forests. *Nature* 479:517–520.
- Biggs, R., Schlüter, M., Biggs, D., Bohensky, E.L., BurnSilver, S., Cundill, G., Dakos, V., Daw, T.M., Evans, L.S., Kotschy, K., Leitch, A.M., Meek, C., Quinlan, A., Raudsepp-Hearne, C., Robards, M.D., Schoon, M.L., Schultz, L., West, P.C., 2012. Toward Principles for Enhancing the Resilience of Ecosystem Services. *Annual Review of Environment and Resources* 37, 421–448. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-051211-123836>
- Bioret, F., Estève, R., Sturbois, A., 2009. Dictionnaire de la protection de la nature. Presses universitaires de Rennes, 537 p.
- Blennow, K., Persson, J., Tomé, M., Hanewinkel, M., 2012. Climate Change: Believing and Seeing Implies Adapting. *PLOS ONE* 7(11):e50182.
- Bontemps, J.D., Hervé, J.C., Dhôte, J.F., 2009. Long-term changes in forest productivity: a consistent assessment in even-aged stands. *Forest Science* 55 (6), 549-564.
- Bouget, C., Larrieu, L., Brin, A. 2014. Key features for saproxylic beetle diversity derived from rapid habitat assessment in temperate forests. *Ecological Indicators* 36, 656-664.
- Boisvenue, C., Running, S. W., 2006. Impacts of climate change on natural forest productivity – evidence since the middle of the 20th century. *Global Change Biology* 12, 862–882.
- Bretagnolle, V., Benoit, M., Bonnefond, M., Breton, V., Church, J., Gaba, S., Gilbert, D., Gillet, F., Glatron, S., Guerbois, C., Lamouroux, N., Lebouvier, M., Mazé, C., Mouchel, J.-M., Ouin, A., Pays, O., Piscart, C., Raguenau, O., Servain, S., Spiegelberger, T., Fritz, H., 2019. Action-orientated research and framework:

- insights from the French long-term social-ecological research network. *Ecology and Society* 24 (3), [10.https://doi.org/10.5751/ES-10989-240310](https://doi.org/10.5751/ES-10989-240310)
- Breshears, D. D., Huxman, T. E., Adams, H. D., Zou, C. B., Davison, J. E., 2008. Vegetation synchronously leans upslope as climate warms. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105:11591-11592.
- Cateau, E., Larrieu, L., Vallauri, D., Savoie, J. M., Touroult, J., Brustel, H., 2015. Ancienneté et maturité: Deux qualités complémentaires d'un écosystème forestier. *Comptes Rendus - Biologies*, 338, 58-73.
- Chapin, F. S., Matson, P. A., Mooney, H. A., 2002. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer, New York, 529 p.
- Calvaruso, C., Blanchart, A., Bertin, S., 2019. Diagnostic de la qualité des sols agricoles et forestiers : indicateurs de suivi et stratégies de déploiement. ADEME, 80 p.
- Du Bus, G., Angerand, S., 2020. Gestion Forestière et changement climatique – une nouvelle approche de la stratégie nationale d'atténuation. Rapport, 84 p. https://www.canopee-asso.org/wp-content/uploads/2020/02/Rapport-WEBfor%C3%AAt-climat-Fern-Canop%C3%A9e-AT_Optimizer.pdf
- Decaëns, T., Jiménez, J. J., Gioia, C., Measey, G. J., Lavelle, P., 2006. The values of soil animals for conservation biology. *European Journal of Soil Biology*, 42, S23-S38.
- Fischer, A.P., 2018. Forest landscapes as social-ecological systems and implications for management. *Landscape and Urban Planning* 177, 138–147. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.05.001>
- Folke, C., Carpenter, S.R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., Rockstrom, J., 2010. Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. *Ecology and Society* 15, 9. [https://doi.org/\[online\] URL: http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art20/](https://doi.org/[online] URL: http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art20/)
- Fouqueray, T., Frascaria-Lacoste N., 2020. Social sciences have so much more to bring to climate studies in forest research: a French case study. *Annals of Forest Science* 77(3):81.
- Gallopín, G.C., Gutman, P., Maletta, H., 1989. Global impoverishment, sustainable development and the environment - a conceptual approach. *International Social Science Journal* 41, 375–397.
- Gallopín, G.C., 2006. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change* 16, 293–303. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004>
- Ghilarov, A. M., 2000. Ecosystem functioning and intrinsic value of biodiversity. *Oikos* 90, 408-412.
- Girard, V., 2020. Livre Blanc - Les dispositifs sentinelles des Alpes : des observatoires à long terme des effets des changements globaux sur les socio-écosystèmes de montagne à l'interface recherche-gestion. Projet Sentinelles des Alpes, 94p + Annexes.
- Gosselin, F., Gosselin, M., Paillet, Y., 2012. Suivre l'état de la biodiversité forestière: pourquoi? Comment? *Revue forestière française*, 64(5), 683-700.

- Gouix, N., Savoie, J.M., Bouteloup, R., Corriol, G., Cuypers, T., Hannoire, C., Infante Sanchez, M., Maillé, S., Marc, D., 2019. Inventaire et caractérisation des noyaux de « vieilles forêts de plaine » Pour une continuité de la trame forestière entre Pyrénées et Massif-Central. Rapport final, Conservatoire d'espaces naturels Midi-Pyrénées, Ecole d'ingénieurs de Purpan, 64 p + Annexes.
- Guetté, A., Carruthers-Jones, J., Godet, L., Robin, M., 2018. « Naturalité » : concepts et méthodes appliqués à la conservation de la nature Cybergeo. *European Journal of Geography*, 856.
- Gunderson, L.H., Holling, C.S. (Eds.), 2002. Panarchy: understanding transformations in human and natural systems. Island press, Washington DC, USA, 507p.
- Holling, C.S., 1973. Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4, 1–23.
- Hooper, D. U., Adair, E. C., Cardinale, B. J., Byrnes, J. E. K., Hungate, B. A., Matulich, K. L., Gonzalez, A., Duffy, J. E., Gamfeldt, L., O'Connor, M. I., 2012. A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. *Nature* 486:105-U129.
- IPCC, 2018. Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- Lakoff, A., Keck, F., 2013. Preface: Sentinel Devices. *Limn*, 3.
- Larrieu, L., Cabanettes, A., Gonin, P., Lachat, T., Paillet, Y., Winter, S., Bouget, C., Deconchat, M., 2014. Deadwood and tree microhabitat dynamics in unharvested temperate mountain mixed forests: a life-cycle approach to biodiversity. *Forest Ecol. Manage.* 334, 163-173.
- Larrieu, L., Gosselin, F., Archaux, F., Chevalier, R., Corriol, G., Dauffy-Richard, E., Deconchat, M., Gosselin, M., Ladet, S., Savoie, J.-M., Tillon, L., Bouget, C. (2019) Assessing the potential of routine stand variables from multi-taxon data as habitat surrogates in European temperate forests. *Ecological Indicators* 104, 116-126.
- Lassauce, A., Larrieu, L., Paillet, Y., Lieutier, F., Bouget, C., Leather, S.R., Quicke, D. (2013) The effects of forest age on saproxylic beetle biodiversity: implications of shortened and extended rotation lengths in a French oak high forest. *Insect Conservation and Diversity*, 6, 396-410.
- Lenoir, J., Gegout, J. C., Marquet, P. A., de Ruffray, P., Brisse, H., 2008. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science* 320, 1768–1771.

- Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolström, M., Lexer, M. J., Marchetti, M., 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 259(4), 698–709.
- MAAF, IGN, 2016. Indicateurs de gestion durable des forêts françaises métropolitaines. MAAF, IGN, Paris, France, 348 p.
- Mathevet, R., Bousquet, F., 2014. Résilience & environnement: penser les changements socio-écologiques. Buchet Chastel, 169 p.
- MEA, 2005. Ecosystems and humanwell-being: Biodiversity synthesis. World Resources Institute, Washington, DC, 155 p.
- McDowell, N. G., Allen, C. D., Anderson-Teixeira, K., Aukema, B. H., Bond-Lamberty, B., Chini, L., Clark, J. S., Dietze, M., Grossiord, C., Hanbury-Brown, A., Hurtt, G. C., Jackson, R. B., Johnson, D. J., Kueppers, L., Lichstein, J. W., Ogle, K., Poulter, B., Pugh, T. A. M., Seidl, R., Turner, M. G., Uriarte, M., Walker, A. P., Xu, C., 2020. Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. *Science* 368(6494).
- Miller, F., Osbahr, H., Boyd, E., Thomalla, F., Bharawani, S., Ziervogel, G., Walker, B., Birkmann, J., van der Leeuw, S., Rockström, J., others, 2010. Resilience and vulnerability: complementary or conflicting concepts? *Ecology and Society* 15(3).
- Moine, A., 2008. Le territoire : comment observer un système complexe. L'Harmattan, 176 p.
- Niemelä, J., Young, J., Alard, D., Askasibar, M., Henle, K., Johnson, R., Kurttila, M., Larsson, T.B., Matouch, S., Nowicki, P., Paiva, R., Portoghesi, L., Smulders, R., Stevenson, A., Tartes, U., Watt, A., 2005. Identifying, managing and monitoring conflicts between forest biodiversity conservation and other human interests in Europe. *Forest Policy and Economics* 7(6), 877–890.
- Nivet, C., Aubert, M., Chauvat, M., 2018. Gestion durable et biodiversité des sols forestiers. Synthèse réalisée dans le cadre du programme "Biodiversité et Gestion Forestière" du Ministère en charge de l'Environnement. Paris, GIP Ecofor, 20 p.
- Observatoire National de la Biodiversité, 2021. https://naturefrance.fr/observatoire-national-de-la-biodiversite#paragraph_340 – Office Français de la Biodiversité, UMS Patrinat, Ministère de la Transition écologique.
- Ollagnon, H., 1989. Une approche patrimoniale de la qualité du milieu naturel, in: In Mathieu N., M. Jollivet (Dir.) Du Rural à l'environnement. L'Harmattan, Paris, France, pp. 258–268.
- Paillet, Y., Bergès, L., Hjalten, J., Odor, P., Avon, C., Bernhardt-Romermann, M., Bijlsma, R. J., De Bruyn, L., Fuhr, M., Grandin, U., Kanka, R., Lundin, L., Luque, S., Magura, T., Matesanz, S., Meszaros, I., Sebastia, M. T., Schmidt, W., Standovar, T., Tothmeresz, B., Uotila, A., Valladares, F., Vellak, K., Virtanen, R., 2010. Biodiversity Differences between Managed and Unmanaged Forests: Meta-Analysis of Species Richness in Europe. *Conservation Biology*, 24, 101-112.

- Paillet, Y., Pernot, C., Boulanger, V., Debaive, N., Fuhr, M., Gilg, O., Gosselin, F., 2015. Quantifying the recovery of old-growth attributes in forest reserves: A first reference for France. *Forest Ecology and Management*, 346, 51-64.
- Paillet, Y., Archaux, F., Boulanger, V., Debaive, N., Fuhr, M., Gilg, O., Gosselin, F., Guilbert, E., 2017. Snags and large trees drive higher tree microhabitat densities in strict forest reserves. *Forest Ecology and Management*, 389, 176-186.
- Parmesan, C., Yohe, G., 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918), 37-42.
- Parmesan, C., 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 37, 637-669.
- Percel, G., Parmain, G., Laroche, F., Bouget, C., 2018. The larger, the better? Effects of delayed diameter-limit cutting on old-growth attributes and saproxylic beetle diversity in temperate oak forests. *European Journal of Forest Research* 137, 237-249.
- Pillorget, B., 2020. Identification des besoins de connaissance sur la biodiversité des sols dans les politiques publiques. Rapport non publié, MTE-CEREMA, 104 p. + Annexes.
- Roux, A., Dhôte, J.F. (Coordinateurs), Achat, D., Bastick, C., Colin, A., Bailly, A., Bastien, J.-C., Berthelot, A., Bréda, N., Caurila, S., Carnus, J.-M., Gardiner, B., Jactel, H., Leban, J.-M., Lobianco, A., Loustau, D., Meredieu, C., Marçais, B., Martel, S., Moisy, C., Pâques, L., Picart-Deshors, D., Rigolot, E., Saint-André, L., Schmitt, B., 2017. Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique? Une étude des freins et leviers forestiers à l'horizon 2050. Rapport d'étude pour le Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, INRA et IGN, 101 p. + Annexes.
- Saxe, H., Cannell, M.G.R., Johnsen, O., Ryan, M.G., Vourlitis, G., 2001. Tree and forest functioning in response to global warming. *New Phytologist* 149, 369-400.
- Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J.A., Folke, C., Walker, B., 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* 413, 591-596. <https://doi.org/10.1038/35098000>
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M.J., Trotsiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M. Nagel, T.A., Reyer, C.P.O, 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature climate change* 7 (6), 395-402.
- Senf, C., Buras, A., Zang, C.S., Rammig, A., Seidl, R., 2020. Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe. *Nat Commun* 11, 6200. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19924-1>
- Smit, B., Wandel, J., 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change* 16, 282-292. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008>
- Soucy, A., Urioste-Stone, S. D., Rahimzadeh-Bajgiran, P., Weiskittel, A., McGreavy, B., 2020. Forestry Professionals' Perceptions of Climate Change Impacts on the Forest Industry in Maine, USA. *Journal of Sustainable Forestry*, 1-26.

- Sousa-Silva, R., Verbist, B., Lomba, Â., Valent, P., Suškevičs, M., Picard, O., Hoogstra-Klein, M. A., Cosofret, V.-C., Bouriaud, L., Ponette, Q., Verheyen, K., Muys, B., 2018. Adapting forest management to climate change in Europe: Linking perceptions to adaptive responses. *Forest Policy and Economics* 90, 22–30.
- Thompson, L., Cateau, E., Debaive, N., Bray, F., Torre, A., Vallet, P., Paillet, Y., 2021. How much does it take to be old? Modelling the time since the last harvesting to infer the distribution of overmature forests in France. *Diversity and Distributions*, 00, 1-14, <https://doi.org/10.1111/ddi.13436>
- Thorn, S., Seibold, S., Leverkus, A. B., Michler, T., Müller, J., Noss, R. F., Stork, N., Vogel, S., Lindenmayer, D. B., 2020. The living dead: acknowledging life after tree death to stop forest degradation. *Frontiers in Ecology and the Environment* 18, 505-512.
- Taccoen, A., Piedallu, C., Seynave, I., Perez, V., Gégout-Petit, A., Nageleisen, L.M., Bontemps, J.D., Gégout, J.C., 2019. Background mortality drivers of European tree species: climate change matters. *Proceedings of the Royal Society B*: 286 (1900), pp.20190386. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.0386>
- United Nations, 2015. Sustainable Development Goals: 17 Goals to transform our world. <https://sdgs.un.org/goals>
- Valade, A., Luysaert, S., Vallet, P., Djomo, S. N., Van Der Kellen, I. J., Bellassen, V., 2018. Carbon costs and benefits of France's biomass energy production targets. *Carbon balance and management*, 13(1), 1-22. <https://doi.org/10.1186/s13021-018-0113-5>
- Walker, B., Holling, C.S., Carpenter, S.R., Kinzig, A., 2004. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society* 9 (2), 5.
- Yousefpour, R., C. Temperli, J. B., Jacobsen, B. J., Thorsen, H., Meilby, M. J., Lexer, M., Lindner, H., Bugmann, J. G., Borges, J. H., Palma, N., Ray, D., Zimmermann, N. E., Delzon, S., Kremer, A., Kramer, K., Reyer, P. Lasch-Born, C. P. O. , Garcia-Gonzalo, J., Hanewinkel. M., 2017. A framework for modeling adaptive forest management and decision making under climate change. *Ecology and Society* 22 (4)

Le projet Observatoire des forêts sentinelles (OFS)

Le projet Observatoire des forêts sentinelles (OFS) vise à étudier les réponses des socio-écosystèmes forestiers aux processus impactant leur vulnérabilité et leur résilience dans un contexte de changement global. Il s'inscrit dans la structuration du réseau de surveillance de la biodiversité et, en particulier, dans l'organisation des initiatives sentinelles sur l'étude des interactions entre climat, usages et écosystèmes. Initié par le réseau des réserves naturelles et coordonné par Réserves Naturelles de France (RNF) et ses partenaires dans sa première phase (2018-2021), l'Observatoire se structure autour de trois grands objectifs : (i) consolider un réseau collaboratif d'acteurs en mobilisant gestionnaires d'aies protégées, chercheurs de différentes disciplines et usagers, (ii) accompagner les territoires en rendant accessibles des outils opérationnels d'aide à la connaissance et à la gestion (protocoles standardisés, programmes de formation, etc.) et (iii) contribuer à la recherche en fournissant des données fiables, valorisant notamment des séries longues de données, librement accessibles. L'Observatoire capitalise sur un socle existant de 15 ans d'observation des réserves forestières françaises, s'appuyant sur un large réseau de suivi par placettes permanentes sur lesquelles est appliqué le Protocole de Suivi Dendrométrique des Réserves Forestières (PSDRF).

Coordinateur



Flavien Chantreau
Flavien.chantreau-rmf@espaces-naturels.fr
03 80 48 94 75

Financiers



Soutiens



Collaboration

