



HAL
open science

Mise en place d'un réseau de suivi des écosystèmes forestiers en limite des départements de la Meuse et de la Haute-Marne

Astrid Genet, Ingrid Seynave, Laurent Saint-André, Élisabeth Leclerc, Sébastien Conil, Serge Didier, Bruno Simon, Jean-Claude Gégout, Jean-Luc Dupouey, Claude Nys, et al.

► To cite this version:

Astrid Genet, Ingrid Seynave, Laurent Saint-André, Élisabeth Leclerc, Sébastien Conil, et al.. Mise en place d'un réseau de suivi des écosystèmes forestiers en limite des départements de la Meuse et de la Haute-Marne. *Revue forestière française*, 2011, 63 (3), pp.347-360. 10.4267/2042/45563 . hal-03449749

HAL Id: hal-03449749

<https://hal.science/hal-03449749>

Submitted on 25 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MISE EN PLACE D'UN RÉSEAU DE SUIVI DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS EN LIMITE DES DÉPARTEMENTS DE LA MEUSE ET DE LA HAUTE-MARNE

**ASTRID GENET – INGRID SEYNAVE – LAURENT SAINT-ANDRÉ – ÉLISABETH LECLERC
SÉBASTIEN CONIL – SERGE DIDIER – BRUNO SIMON – JEAN-CLAUDE GÉGOUT
JEAN-LUC DUPOUEY – CLAUDE NYS – MARIE-PIERRE TURPAULT**

Un réseau d'observation de l'évolution des écosystèmes forestiers a été mis en place à la limite de la Meuse et de la Haute-Marne dans l'observatoire pérenne de l'environnement (OPE) mis en place par l'Agence nationale des déchets radioactifs (Andra). En effet, en application de la loi du 28 juin 2006 (n° 2006-739), l'Andra mène actuellement une nouvelle phase d'études afin de préparer un dossier de demande d'autorisation de création d'un centre de stockage géologique de déchets radioactifs sur le secteur de Meuse-Haute-Marne. Ce dossier qui devra être remis en 2014 comprend une étude d'impact incluant un état de référence de l'environnement. Pour l'Andra, l'objectif premier de ce suivi est de réaliser un état de référence avant le début de ses activités industrielles. L'état initial servira de base pour la surveillance de l'environnement qui devra être mise en place par la suite, afin de contrôler d'éventuelles perturbations liées à la construction et à l'exploitation du site de stockage. Cet OPE est labellisé SOERE (système d'observation et d'expérimentation à long terme pour la recherche en environnement).

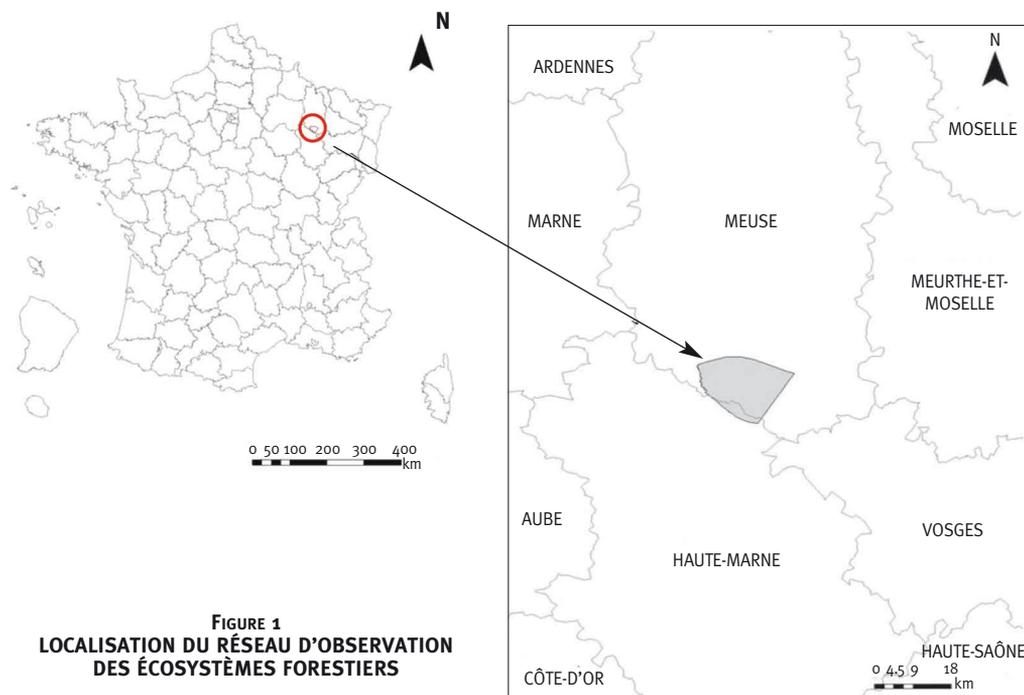
L'écosystème forestier qui représente un tiers de la zone OPE a fait l'objet de la mise en place d'un suivi à long terme. Dans un premier temps, il s'agissait de caractériser le couvert végétal actuel (strates arborées et herbacées) ainsi que les sols des massifs forestiers de l'OPE et de reconstituer l'histoire récente de l'occupation du territoire. Par la suite, ce réseau aura pour objectif de permettre l'observation de l'évolution de l'état des peuplements, de la flore et des sols forestiers. En complément des suivis réalisés dans le cadre de la présente étude, le système d'observation inclut le suivi de la qualité physico-chimique et biologique de l'eau, des stations de suivi des milieux aquatiques, des placettes expérimentales pour l'étude de la réponse des écosystèmes aux forçages (autrement dit la manipulation des écosystèmes) et des observatoires territorialisés des pratiques agricoles et sylvicoles, du paysage et du contexte socio-économique.

Les données existantes concernant la zone d'étude ont été rassemblées sous la forme d'une base de données spatialisée. À partir de ces informations, une centaine de points d'inventaire permanents ont été implantés sur le secteur. Les campagnes d'inventaire et d'échantillonnage qui s'y sont succédé en 2008 et 2009 ont permis de caractériser finement les stations forestières et de définir le réseau final. L'objectif de cet article est double. Il s'agit tout d'abord de présenter l'originalité de la mise en place du réseau, au cours de laquelle les groupes de travail impliqués pour l'étude des différents compartiments écologiques (strates arborées, herbacées et sol) ont travaillé en quasi-simultanéité. Nous commenterons ensuite les premiers résultats quantitatifs obtenus sur le site.

MISE EN PLACE DU RÉSEAU

Caractéristiques de la zone d'étude

La zone d'étude est située sur la frontière de la Meuse et de la Haute-Marne (figure 1, ci-dessous). Elle couvre une surface de 252 km² dont près de 40 % de massifs forestiers (98,8 km²) avec une altitude comprise entre 228 m et 413 m. Le climat local est semi-continental. Il est caractérisé par des hivers froids et humides et des étés chauds et souvent secs. Les moyennes annuelles sont de 910 mm pour les précipitations, 710 mm pour l'ETP et de 10,5 °C pour la température (données journalières mesurées à Cirfontaines-en-Ornois sur les dix dernières années fournies par l'Andra). Les deux couches géologiques affleurantes sont les calcaires tithoniques (fin du Jurassique), majoritaires sur la zone, et les sédiments détritiques valanginiens du Crétacé inférieur, n'affleurant qu'au nord-ouest du site d'étude. L'ensemble des couches présente un pendage orienté vers le centre du Bassin parisien.



Stratification de l'échantillonnage

La stratégie de déploiement du réseau sur le territoire choisie pour le suivi à long terme repose sur un échantillonnage aléatoire stratifié, combinant une classification écologique du territoire et un tirage aléatoire des points au sein de chaque strate. Cette méthode permet de s'assurer que les principaux facteurs ayant *a priori* une influence sur l'état actuel de la végétation et des sols seront pris en compte et adéquatement représentés au sein du réseau d'observation. La zone a donc été découpée selon des critères écologiques suffisamment contrastés pour induire des modifications de l'état ou de la croissance de la végétation dans les différents contextes. Ce découpage est le résultat d'un compromis entre l'utilisation des variables disponibles (climat,

géologie, sol, etc.), la pertinence écologique de ces variables et la volonté de ne pas multiplier le nombre de classes. Après analyse des données disponibles, de leur variabilité sur la zone, de visites de terrain préliminaires, les variables finalement retenues et décrites en détail ci-après sont les suivantes : la topographie, la pédologie, le pH de surface des sols forestiers et le déficit d'évaporation du sol.

- *Critère topographique (pente)*

Il est important de prendre en compte ce critère car les peuplements sur pentes se démarquent nettement du reste des peuplements. Les pentes sont principalement occupées par des taillis-sous-futaie vieillis, qui contrastent avec les futaies et taillis dominants sur le site (d'après visite préalable sur le terrain). Le critère discriminant retenu est un seuil d'inclinaison fixé à 5,5 %. Les zones de pente ont été localisées à l'aide du modèle numérique de terrain (MNT) à 50 m (BD ALTI®, IGN).

- *pH de surface des sols forestiers*

La carte des pH des sols forestiers français a été élaborée à partir du caractère bioindicateur des plantes forestières déterminé à partir de la base EcoPlant et de la base de données de l'Inventaire forestier national (IFN) (Coudun, 2006 ; IFN, 2008). À l'échelle de la zone d'étude, les valeurs de pH s'échelonnent de 6 à 6,6, selon un gradient NE-SE. Même si ce gradient est relativement faible, il traduit bien des variations écologiques observées sur le terrain. Trois classes ont été retenues pour la stratification : de 6 à 6,2, de 6,2 à 6,4 et de 6,4 à 6,6.

- *Déficit d'évaporation total (DETOT) du sol*

Le déficit d'évaporation total est un indice synthétique spatialisé reflétant la contrainte hydrique annuelle exercée sur la végétation, calculé à partir de variables bioclimatiques [réserve utile maximale du sol (RUM), rayonnement solaire, données météorologiques (Piedallu, 2010)]. Cet indice a été retenu pour la stratification en raison de son importance écophysologique pour la végétation. Les valeurs sur la zone d'étude s'échelonnent entre 0 et 330 mm. Il s'agit d'une amplitude conséquente, l'indice variant entre 0 et 780 mm à l'échelle de la France entière. Trois classes ont été retenues au sein desquelles l'impact du stress hydrique sur la végétation est uniforme : moins de 100 mm : pas d'impact notable sur la végétation, de 100 à 300 mm : impact modéré, plus de 300 mm : impact important.

- *Critère pédologique*

Les types de sols présents ont été appréhendés grâce à la carte des sols au 1/50 000 établie spécifiquement sur la zone d'étude (Andra, 2009). Trois regroupements principaux ont été réalisés. Les brunisols et les alocrisols ont été clairement différenciés alors que les autres types de sols ont été regroupés en une catégorie, les variations internes à chaque catégorie étant prises en compte au travers du pH, du déficit hydrique et des unités topographiques individualisées par ailleurs. Ce choix permet de donner plus d'importance à des sols moins représentés mais importants puisqu'il s'agit d'isoler des sols aux propriétés contrastées sur une zone climatique restreinte.

Choix des placettes d'inventaire permanentes

Les critères écologiques spatialisés ont été croisés à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) (ESRI, 2006). Quatorze classes écologiques ont été obtenues *in fine* dans lesquelles la combinaison unique des facteurs précédents conduit à des conditions écologiques particulières susceptibles d'avoir une incidence sur les caractéristiques de la végétation et son évolution

TABLEAU I

**Caractéristiques des strates écologiques définies
 sur le réseau d'observation des écosystèmes forestiers**

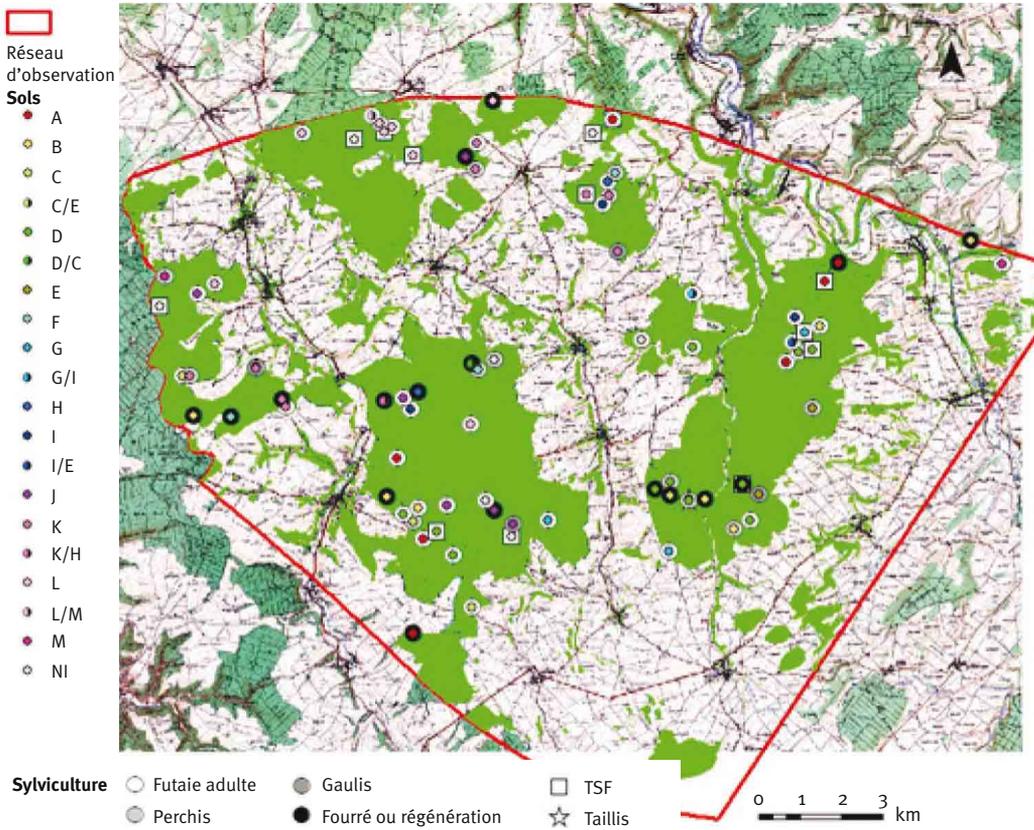
Strate	Pente	pH	Déficit hydrique total	Sol	Nombre de points terrain
1	< 5,5	6,0-6,2	non différencié	Alocrisol	4
2	< 5,5	6,0-6,2	< 100	Brunisol	4
3	< 5,5	6,0-6,2	< 100	Autre	3
4	< 5,5	6,0-6,2	100-300	Brunisol	7
5	< 5,5	6,0-6,2	100-300	Autre	10
6	< 5,5	6,2-6,4	non différencié	Brunisol	10
7	< 5,5	6,2-6,4	non différencié	Autre	26
8	< 5,5	6,2-6,4	> 300	Autre	3
9	< 5,5	6,4-6,6	non différencié	Brunisol	3
10	< 5,5	6,4-6,6	non différencié	Autre	4
11	< 5,5	6,4-6,6	> 300	Autre	16
12	> 5,5	6,0-6,2	non différencié	Autre	2
13	> 5,5	6,2-6,4	non différencié	Autre	7
14	> 5,5	6,4-6,6	non différencié	Autre	10

future. Le tableau I (ci-dessus) donne la clé de détermination de chacune des strates. Cent points d'inventaires ont initialement été répartis entre les strates. Le nombre de points attribué à chaque strate est proportionnel à sa superficie. À l'issue de cette étape, 9 points supplémentaires ont été répartis proportionnellement entre les plus petites strates (1, 2, 3, 8, 12, d'après le tableau I). Cela permet de mieux échantillonner ces classes peu représentées. La distribution des points à l'intérieur de chaque strate a été choisie aléatoirement à l'aide d'un maillage systématique à l'hectare et de la fonction aléa d'Excel®.

Enfin, certaines demandes officielles d'autorisation de passage sur les parcelles forestières n'ont pas été accordées et 14 points ont dû être retirés du réseau. Par la suite, lors des inventaires qui se sont succédé sur les points du réseau, d'autres points ont été écartés par les différentes équipes pour des raisons d'accessibilité ou de pertinence par rapport aux critères d'inventaires fixés pour chaque strate étudiée (peuplements forestiers, sols, flore). *In fine*, le réseau compte 88 points de suivi permanent, tous matérialisés par quatre bornes (figure 2, p. 351). L'une d'entre elles est une borne active, équipée d'une puce RFID (*radio frequency identification*) noyée dans la masse et donc résistante aux agressions extérieures (météo, faune locale, etc.). Ces puces permettent de stocker les coordonnées de la borne et certaines informations utiles en référence aux inventaires réalisés (état de la parcelle à la dernière date de passage). Les données, protégées en écriture, seront accessibles sur place aux intervenants équipés. Les bornes ont été implantées selon un schéma systématique sur chaque placette (figure 3, p. 352) et doivent permettre de retrouver les points lors des passages futurs.

FIGURE 2 TYPES DE PEUPEMENT ET DE SOL DU RÉSEAU D'OBSERVATION DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS

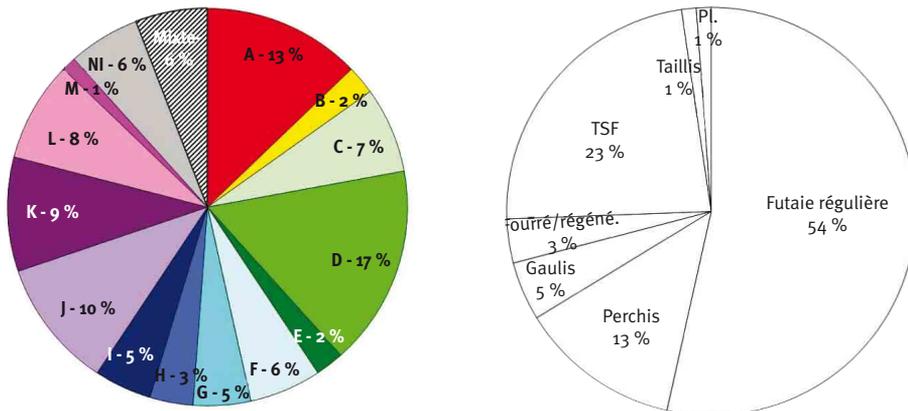
(a) Carte des types de peuplement et de sol des 88 placettes d'inventaire permanentes du réseau.



(b) Répartition, en pourcentage de placettes dans le réseau des types de peuplement et de sol. La dénomination des sols fait référence au tableau II (p. 356).

NI : Non identifié.

Mixte : deux types de sols différents ont été trouvés dans la placette.



CARACTÉRISATION DU RÉSEAU

Inventaire des écosystèmes forestiers

• Peuplements

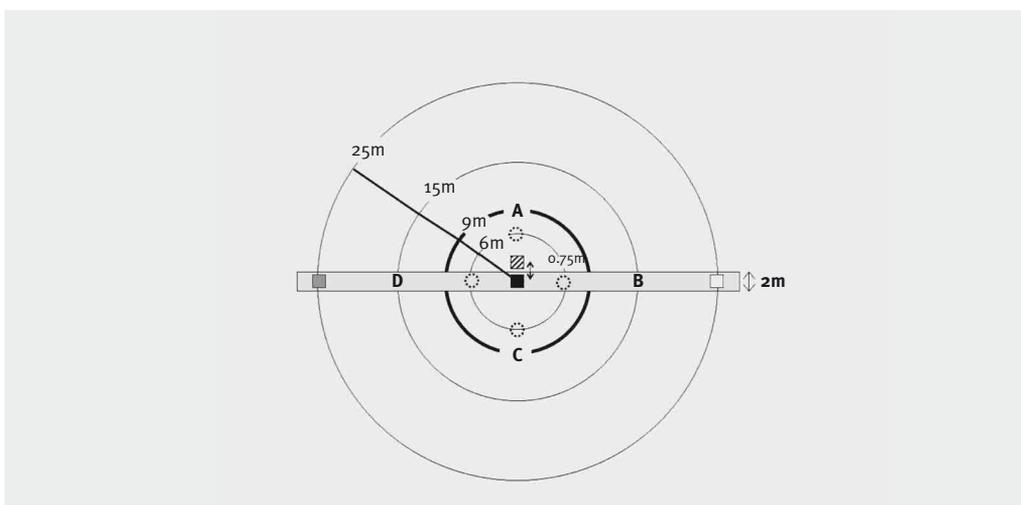
L'inventaire des peuplements forestiers du réseau a été réalisé sur la base de la méthode utilisée par l'IFN (Robert *et al.*, 2010). L'information a été collectée dans 4 cercles concentriques de diamètre 6, 9, 15 et 25 m (figure 3, ci-dessous). Dans le cercle de 25 m, la parcelle a été décrite dans sa globalité : topographie, type de peuplement, structure, composition, régénération, rémanents, comptage des arbres dominants et dominés et identification des essences représentatives. Les arbres ont été inventoriés en plein en diamètre et hauteur dans les 3 autres cercles, par classes de circonférence à 1,30 m (supérieurs à 117,5 cm dans le cercle de 15 m : classe 1 ; entre 117,5 cm et 70,5 cm dans celui de 9 m : classe 2 ; et entre 70,5 cm et 15,7 cm dans celui de 6 m : classe 3). Les trois plus gros arbres en diamètre de chaque parcelle ont été carottés à cœur lors d'un second passage pour obtenir l'âge des arbres dominants.

• Sols

Quatre échantillons d'humus et de sol ont été prélevés systématiquement (profils A, B, C et D, figure 3, ci-dessous) dans chacune des placettes du réseau à l'exception de 5 placettes jugées trop perturbées. L'humus a été récolté sur une surface de 0,1 m² et séché en étuve ventilée à 65 °C. Le sol a été prélevé sur une épaisseur de 75 cm (0-5 cm, 5-15 cm, puis tous les 15 cm) à la tarière pédologique cylindrique jusqu'à 45 cm puis à la tarière hélicoïdale au-delà. Un prélèvement supplémentaire jusqu'à 90 cm de profondeur a été réalisé sur le profil A ou sur un autre profil (B, C ou D) s'il n'atteignait pas 90 cm de profondeur. Le sol a été décrit d'après les carottes du profil A. Dans le cas où les autres profils différaient (B, C ou D), ils ont été égale-

FIGURE 3 PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE D'UNE PLACETTE PERMANENTE D'INVENTAIRE DU PEUPEMENT FORESTIER, DU SOL ET DE LA FLORE

Les cercles concentriques de diamètres respectifs 6, 9, 15 et 25 m délimitent les différentes zones d'inventaire du peuplement ; les points A, B, C, D indiquent la position des échantillons de sol ; le transect grisé, le cercle de 9 m en noir et les cercles en pointillés (2 m de diamètre) ont servi à la caractérisation de la flore ; les bornes sont implantées de façon permanente pour assurer le suivi du réseau. La borne rayée est équipée d'une puce électronique.



ment décrits. Les échantillons ont ensuite été séchés individuellement en étuve ventilée à 35 °C, puis pesés et tamisés à 2 mm. Le pH eau a été mesuré sur tous les échantillons. La densité du sol et le taux de cailloux ont été mesurés pour les échantillons jusqu'à 45 cm de profondeur. Lorsque le sol était homogène sur les 4 points de prélèvement d'après les observations de terrain et les mesures de pH, les échantillons prélevés ont été regroupés à profondeur équivalente afin de constituer un échantillon moyen pour chaque placette. Les analyses suivantes ont été réalisées pour chaque échantillon moyen : granulométrie (5 fractions), carbone organique, azote total, phosphore Olsen, capacité d'échange cationique (CEC) et éléments échangeables (H, Ca, Mg, K, Fe, Mn, Al). Lorsque le sol était hétérogène sur un ou plusieurs points de prélèvement, les échantillons correspondants ont été analysés séparément.

- *Flore*

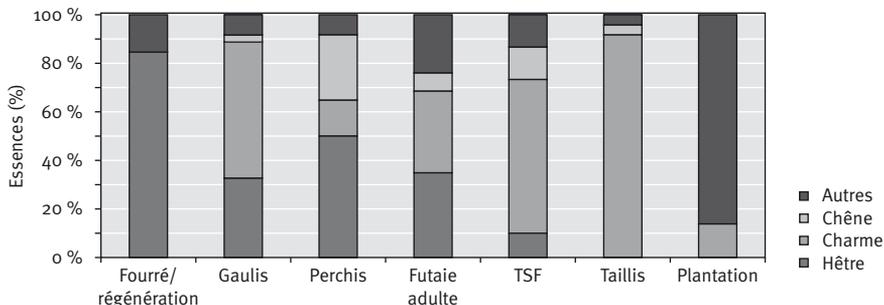
Un inventaire exhaustif des espèces vasculaires et un inventaire partiel des bryophytes terricoles ont été conduits dans une bande de 50 x 2 m et une placette circulaire de 9 m de rayon (figure 3, p. 352). Le bois mort, les troncs, les souches, les rochers affleurant, les semis de l'année et les lichens étaient exclus de l'inventaire. Les espèces présentes et leur indice d'abondance-dominance (Braun-Blanquet, 1952) ainsi que le recouvrement des strates (arborée : ligneux de plus de 8 m ; arbustive : ligneux entre 0,5 et 8 m ; arborée + arbustive : ligneux de plus de 0,5 m ; herbacée : ligneux de moins de 0,5 m et herbacées de toute taille ; et muscinale) ont été relevés. Le recouvrement correspond à la projection des végétaux sur la surface de la placette au sol. Dans chaque placette, des feuilles de ronce et de lierre ont été prélevées selon la disponibilité des espèces pour analyses en 4 points situés sur un cercle de 6 m de rayon (figure 3, p. 352). Un échantillon de mousse (*Thuidium tamariscinum*) a également été prélevé à l'endroit le plus ouvert de la placette. Cette espèce a été choisie car elle est présente dans la zone d'étude et c'est l'un des bryophytes qui a fait l'objet du plus grand nombre d'études dans le domaine du dosage des polluants d'origine atmosphérique à l'échelle de la France. Une mesure de lumière au densimètre a été effectuée à cet endroit ainsi qu'au centre de la placette et aux deux intersections entre le cercle de 9 m et la médiane de la bande. Cette mesure permet de bien contrôler le niveau de lumière arrivant au sol qui influe fortement la composition floristique des relevés et la composition chimique des plantes.

ÉTABLISSEMENT DE LA CARTE DE L'UTILISATION ANCIENNE DES SOLS DANS LA PREMIÈRE MOITIÉ DU XIX^e SIÈCLE

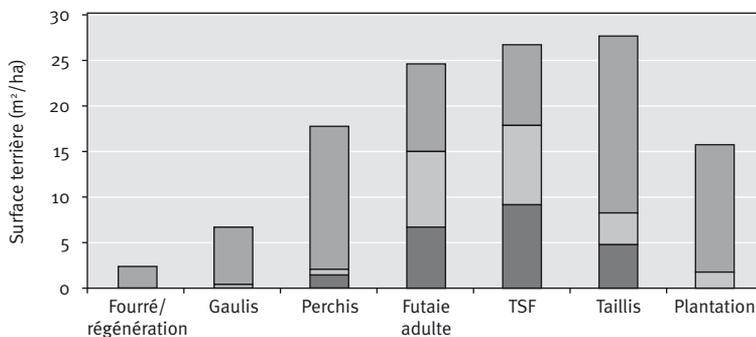
L'étude des changements d'usage des sols depuis la première moitié du XIX^e siècle dans la zone couverte par le réseau s'est appuyée sur les minutes de la carte d'état-major au 1/40 000 (Dupouey, 2007). Le réseau est situé à l'intersection de 4 feuilles de la carte d'état-major, levées entre 1819 et 1835. Les minutes de cette carte permettent de distinguer les principaux types d'occupation des sols : bâti, vergers, vignes, prairies, cultures, friches et forêts. Ces feuilles ont été vectorisées et géoréférencées afin d'obtenir une carte des usages anciens du sol sous SIG. Le géoréférencement a été effectué en deux phases. Dans un premier temps, un nombre limité de points d'amer très fiables a permis de replacer les cartes anciennes dans les systèmes de projection géographique actuels (WGS84, Lambert II, etc.) par une déformation mathématique adéquate. Dans un second temps, l'étude de 1 000 à 1 500 points par feuille a permis de corriger plus finement les erreurs de positionnement des limites entre types d'utilisation ancienne des sols. Ce travail a permis de faire passer l'erreur moyenne de positionnement sur la carte d'état-major de 86 m en moyenne sur la feuille initiale (535 m au maximum) à 32 m en moyenne (189 m au maximum) dans l'image finale corrigée. La carte numérique obtenue est alors superposable avec les couches d'informations environnementales actuelles.

FIGURE 4 DONNÉES DENDROMÉTRIQUES PAR TYPES DE PEUPELEMENTS FORESTIERS
 MESURÉES SUR LES PLACETTES DU RÉSEAU D'OBSERVATION

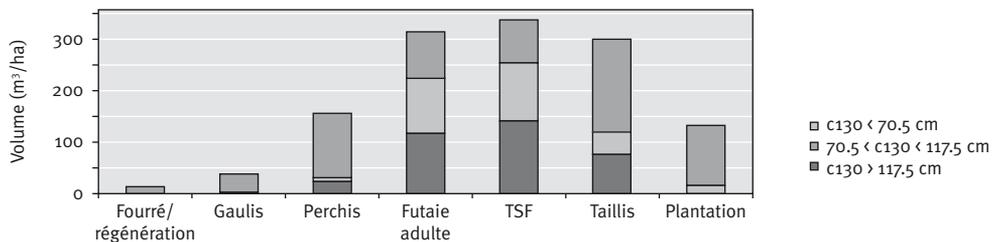
(a) : proportion des essences forestières en nombre de tiges



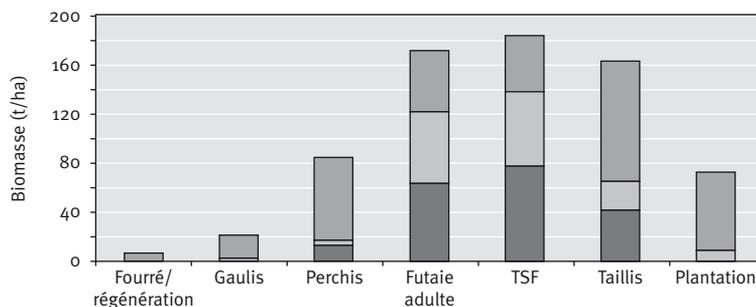
(b) : surfaces terrières



(c) : volumes à découpe o



(d) : biomasse par catégorie de circonférence



Caractéristiques du réseau au moment de sa mise en place

• Peuplements forestiers

Les massifs forestiers du réseau sont composés à 75 % de futaies à différents stades de développement, la moitié d'entre elles étant des peuplements adultes (figure 2 a et b, p. 351). Il est probable qu'une forte proportion des vieilles futaies soit des taillis-sous-futaie (TSF) convertis. Ce point pourra être vérifié en explorant les distributions des dimensions des arbres, les essences en présence et l'âge des arbres carottés, mais en première approximation, nous conserverons cette dénomination. Les TSF vieillissés représentent 23 % des formations. Une parcelle en taillis ainsi qu'une plantation font également partie du réseau. On compte 3 % de peuplements au stade régénération sur le réseau. À l'échelle de l'ensemble du massif, ce chiffre atteint toutefois 16 % (mesurés sur l'ensemble des 109 points initialement choisis ; cf. § "choix des placettes d'inventaire permanentes"). Ces parcelles étant très denses et peu accessibles pour échantillonner les sols et la flore, une bonne partie des points initiaux recouverts par un peuplement au stade fourré n'ont pas été retenus au sein du réseau définitif. Leur proportion étant très importante à l'échelle du massif, il faudra envisager pour rétablir l'équilibre d'aller échantillonner ces points et de les inclure dans le réseau d'ici quelques années, lorsque les peuplements seront moins denses. Cette proportion importante de peuplements en régénération est une conséquence du passage de la tempête Lothar. Les essences feuillues représentent plus de 90 % de la ressource en nombre de tiges et les plus fréquentes sont le Hêtre (*Fagus sylvatica*), le Charme (*Carpinus betulus*) et le Chêne pédonculé (*Quercus robur*) (figure 4a, ci-contre). Ces essences représentent respectivement 35, 34 et 7 % des peuplements en futaie adulte. Les parcelles au stade perchis témoignent du travail actuel du sylviculteur au profit du Chêne au détriment notamment du Frêne, relativement abondant en régénération sous peuplement (10 %), mais quasiment absent au stade adulte. Les TSF sont largement dominés par le Charme (63 %). Le Hêtre et le Chêne y sont également présents (10 et 13 %). On note une forte proportion d'essences « diverses » (Bouleau, Saule, Merisier, Noisetier, Frêne, Aubépine, Orme, Tilleul, Alisier, Robinier, résineux divers) parmi la régénération sous peuplement, traduisant une diversité importante des ligneux dans la zone étudiée. Ces essences diverses représentent 40 % des essences en régénération sous peuplement alors qu'au stade adulte, elles ne représentent plus que 20 % du nombre de tiges. La hauteur maximale des arbres mesurée est de 46,7 m en futaie adulte (parcelle exceptionnelle de Hêtre), 30,8 m au stade perchis, 12,5 m au stade gaulis et 9,15 m au stade fourré. En TSF, la hauteur maximale observée est de 29,4 m. La surface terrière à 1,30 m moyenne des futaies adultes est de 25 m²/ha. La répartition par classes de circonférence est assez homogène : 27 % dans la classe 1, 34 % dans la classe 2 et 39 % dans la classe 3. Sur les parcelles en TSF, la surface terrière moyenne est similaire (27 m²/ha) et la répartition par classe de circonférences varie peu : 34 %, 33 %, 33 % pour les classes 1, 2 et 3 respectivement (figure 4b, ci-contre). Pour passer des dimensions des arbres (diamètres, hauteurs) aux volumes et aux biomasses, en première approximation et en attendant d'avoir des tarifs valides pour chaque essence (travail en cours dans le cadre du projet EMERGE⁽¹⁾), nous avons utilisé les tarifs « hêtre » (pour le bois fort : Bouchon, 1982), et pour la découpe zéro : Vallet *et al.* (2006), et une densité du bois moyenne de 550 kg/m³. Le volume de menu bois est déduit des deux tarifs. À découpe 0, on obtient un volume moyen de 315 m³/ha en futaie régulière, dont 38 % dans la classe 1, 34 % dans la classe 2 et 29 % dans la classe 3. En TSF, le volume moyen est légèrement supérieur (340 m³/ha), dont 42 %, 33 % et 25 % dans les classes 1, 2 et 3 respectivement (figure 4c, ci-contre). Le menu bois (découpes inférieures à la découpe bois fort) représente 27 % du volume en futaie régulière et 28 % en TSF. Ces volumes représentent une biomasse de 172 t/ha en futaie et de 185 t/ha en TSF (figure 4d, p. 354).

(1) Projet soutenu par l'Agence nationale de la recherche dans le cadre du programme Bioénergies 2008-2012 : « Élaboration de modèles pour une estimation robuste et générique du bois énergie au niveau arbre et pour différents compartiments ».

Les classes d'âge ont été évaluées à partir de l'âge de l'arbre le plus vieux carotté sur la parcelle, sachant qu'un travail plus poussé sera nécessaire pour déterminer correctement l'âge moyen des placettes (analyse de la variabilité des âges en correspondance avec les structures forestières). En futaie, 40 % des placettes ont moins de 70 ans, 30 % entre 70 et 150 ans et 30 % au-delà. Les placettes en TSF sont plus âgées : 12 % d'entre elles ont moins de 70 ans, 35 % ont entre 70 et 150 ans et 53 % au-delà.

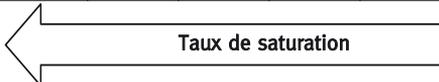
• Sols

Cinq grands types de sols ont été individualisés sur le réseau d'observation (Baize et Gérard, 2008) : rendosol, rendisol, calcisol, brunisol et aloccisol. Des colluviosols et des fluvisols ont également été repérés, mais de façon plus marginale. Les calcisols et les brunisols comptent

TABLEAU II

**Classification des sols
rencontrés sur les points d'inventaire du réseau**

Textures : AL = argilo-limoneux ; LAS = limon argilo-sableux ; LSA = limon sablo-argileux ; SL = sablo-limoneux. Les lettres de A à M indiquent les 13 types de sol distingués après inventaire et analyse des sols du réseau. Le chiffre entre parenthèses est le nombre de placettes où ce type de sol a été rencontré.

Profondeur du sol	Rendosol	Rendisol	Calcisol	Calcisol à brunisol		Brunisol		Aloccisol	
				saturé	méso- saturé	méso- saturé	oligo- saturé		
	AL	AL	AL	AL/A	AL/A LAS/A	LAS/A	LSA/A	LS/LSA	SL
0-5 cm	A(8)								
5-15 cm		B(5)							
15-30 cm			C(9)	D(13)	E(5)				
30-45 cm									
45-60 cm			F(4)	G(5)					
60-75 cm							I(5)	J(7)	
> 75 cm									
> 75 cm (sans calcaire)					H(4)		K(11)	L(9)	M(3)
									

9 sous-catégories, qui dépendent de leur texture, de leur taux de saturation et de la profondeur du sol. Il existe également 2 types d'alocrisols qui diffèrent par leur texture (tableau II).

Au total, 13 classes de sols coexistent sur le réseau, ce qui révèle une variabilité importante (figures 2a et 2b, p. 351). Les classes A et B sont développées sur calcaire en situation topographique de pente plus ou moins accentuée et correspondent respectivement à des rendosols et des rendisols. Les classes C, D et F sont des calcisols à brunisols d'une profondeur de 15 à 75 cm où aucun nodule de fer n'a été observé. Les classes E à M sont développées sur une ou plusieurs strates valanginiennes avec des nodules de fer dans les faciès argile et limon. Les classes E, G et H ont été distinguées des classes I et J car elles ne présentent pas de faciès plus argileux en surface qu'en profondeur. Les classes I à K correspondent à des sols développés sur un empilement de deux strates valanginiennes (limon en surface et argile en profondeur). Les sols profonds sont souvent acides à oligosaturés. Les classes L et M sont des alocrisols souvent acides développés sur sable éventuellement limoneux.

- *Flore*

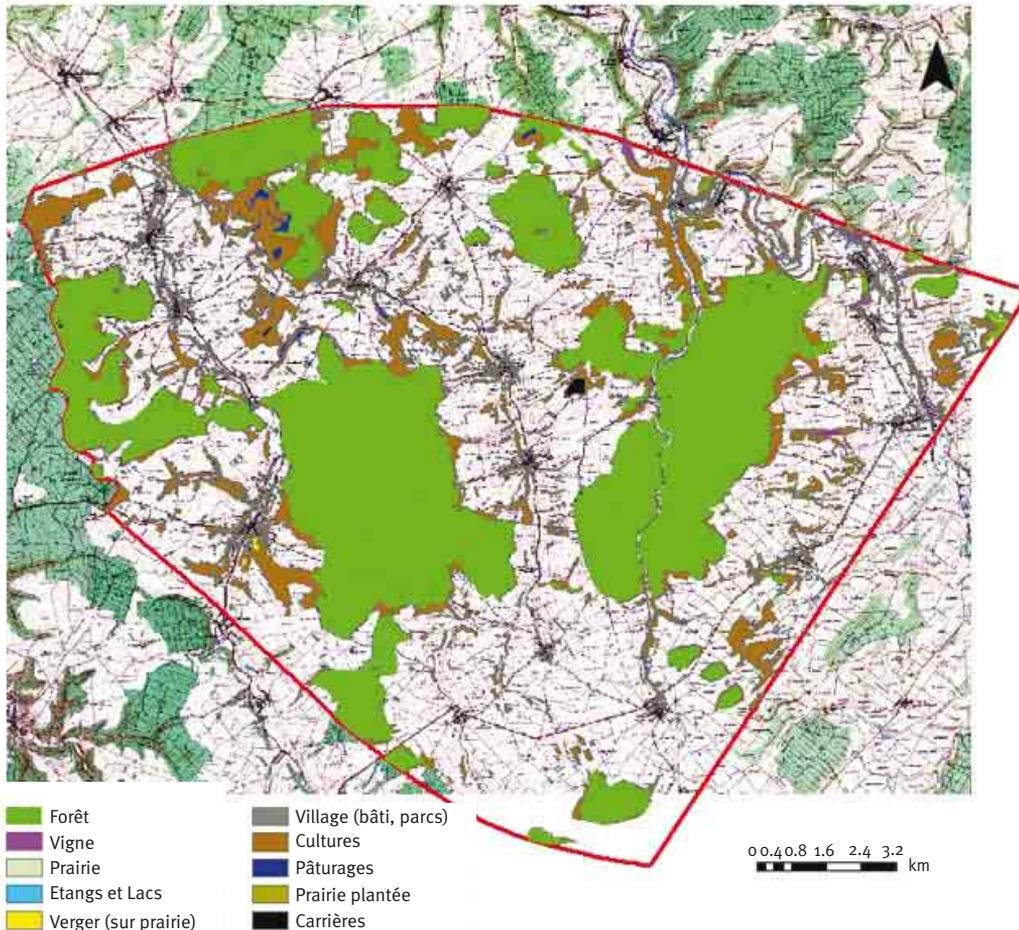
Les stations forestières sont très riches en espèces, avec 54 taxons en moyenne par placette (en considérant la réunion des deux relevés effectués dans chaque placette, soit 319 m² explorés). Mais on n'observe au total que 216 espèces dans l'ensemble du réseau. La variabilité des milieux entre placettes est donc relativement limitée. La région étudiée se caractérise par contre par une grande diversité d'espèces ligneuses (arbres et arbustes) : 17 en moyenne dans chaque relevé, jusqu'à 25 au maximum, 54 au total dans l'ensemble de la zone. Elle se classe, pour ce critère, au même niveau que la région méditerranéenne. Les types de communautés sont typiques des milieux sédimentaires de l'est du Bassin parisien, répandus mais néanmoins d'intérêt communautaire (selon la directive européenne 92/43). Le principal gradient floristique oppose la hêtraie à Aspérule odorante présente sur milieux calcaires à la Hêtraie à Canche cespiteuse souvent présente sur des couvertures limoneuses épaisses à pH plus faible et niveau d'engorgement supérieur à celui rencontré sur les milieux calcaires. Plus ponctuellement, on rencontre dans les vallons la chênaie pédonculée à Primevère élevée. Dans les stations les plus acides, on trouve un type de végétation plus rare pour la région, avec présence de Fougère aigle, Chèvrefeuille rampant, Germandrée scorodoine, Maianthème à deux feuilles, etc. qui se rattache aux chênaies acidiphiles. Curieusement, le Chêne pédonculé est largement dominant (présent dans 85 % des placettes) par rapport au Chêne sessile (24 %) dans toute la région, suggérant une histoire sylvi-cole peut-être marquée par des perturbations anthropiques anciennes.

- *Utilisation historique des sols*

Au début du XIX^e siècle, le territoire comptait 65,5 % de cultures, 28,6 % de forêts, 4 % de prairies, 0,2 % de vignes et 1,7 % d'autres occupations (figure 5, p. 358). La vigne a, depuis, quasiment disparu. On observe, comme partout en France, une progression des forêts : 27 % des surfaces forestières actuelles n'étaient pas boisées dans la première moitié du XIX^e siècle. À l'inverse, seul 1,5 % de la surface forestière du XIX^e siècle est aujourd'hui déboisée. Sur le réseau d'observation, 5 points sont situés dans des forêts dites jeunes, qui ont recolonisé les terroirs agricoles abandonnés depuis moins de deux siècles. Au-delà de ces changements, d'époque contemporaine, une enquête de terrain a montré la présence en forêt de murets et terrasses caractéristiques d'une mise en valeur agricole antérieure à la carte d'état-major. Le survol au lidar⁽²⁾ de la zone permettra de mieux appréhender ces changements plus anciens de l'usage des sols.

(2) Le lidar est un laser qui, aéroporté, permet l'acquisition de données altimétriques.

FIGURE 5 USAGE DES SOLS EN 1830 DES ZONES ACTUELLEMENT OCCUPÉES PAR DES FORÊTS



CONCLUSIONS

À partir de l'état initial des écosystèmes décrit sur le réseau permanent, il sera possible de suivre l'évolution des écosystèmes forestiers au cours du temps. Les indicateurs biologiques feront l'objet d'un suivi dans le temps. Leur évolution sous l'effet de possibles changements affectant la gestion sylvicole, le climat, les émissions atmosphériques ou encore la gestion du territoire permettra de quantifier l'impact des activités humaines sur l'écosystème.

Par ses objectifs, ce réseau d'une centaine de points installé sur un petit territoire de 250 km² vient compléter ceux déjà existants (Fort, 2001) aux niveaux régionaux (hêtraies du Nord-Est de la France) ou nationaux (réseaux Renecofor ou de la santé des forêts).

Au sein de cette zone, un site expérimental constitué de dispositifs lourds de suivi et de recherche (de type dispositif lysimétrique, tour à flux, etc.) sera prochainement installé. Ces installations permettront d'affiner la compréhension des mécanismes d'évolution du fonctionne-

ment biogéochimique et biologique de l'écosystème forestier. L'emplacement retenu est situé au sud de la forêt domaniale de Montiers qui correspond à l'un des deux principaux massifs forestiers de la zone. Le choix de cette localisation géographique a été motivé par le fait que cette forêt réunit sur une surface de 74 ha plus de 85 % de la variabilité pédologique du réseau sous un peuplement relativement homogène.

**Astrid GENET – Serge DIDIER – Claude NYS
Bruno SIMON – Marie-Pierre TURPAULT**
Unité Biogéochimie des écosystèmes forestiers
INRA – Centre de Nancy
F-54280 CHAMPENOUX
(astrid.genet.1@ulaval.ca)
(didier@nancy.inra.fr) (nys@nancy.inra.fr)
(simon@nancy.inra.fr) (turpault@nancy.inra.fr)

Ingrid SEYNAVE – Jean-Claude GÉGOUT
Laboratoire d'étude des ressources forêt-bois
UMR AgroParisTech - INRA 1092
AgroParisTech
14 rue Girardet – CS 14216
F-54042 NANCY Cedex
(seynave@nancy.inra.fr)
(jean-claude.gegout@agroparistech.fr)

Laurent SAINT-ANDRÉ
Unité Biogéochimie des écosystèmes forestiers
INRA – Centre de Nancy
F-54280 CHAMPENOUX
et
UMR Eco&Sols
Écologie Fonctionnelle & Biogéochimie des Sols
& Agroécosystèmes
CIRAD
2 Place Viala - Bâtiment 1
F-34060 MONTPELLIER
(standre@cirad.fr)

Élisabeth LECLERC – Sébastien CONIL
ANDRA
1/7 rue Jean Monnet
F-92298 CHATENAY-MALABRY
(elisabeth.leclerc@andra.fr)
(Sebastien.Conil@andra.fr)

Jean-Luc DUPOUEY
Unité Écologie et Écophysiologie forestières
UMR INRA-Nancy Université
INRA – Centre de Nancy
F-54280 CHAMPENOUX
(dupouey@nancy.inra.fr)

Remerciements

Nous remercions l'Andra pour le support financier qui a permis au réseau de voir le jour. Nous sommes également très reconnaissants envers tous ceux qui ont permis sa mise en place en acceptant l'implantation de placettes d'inventaires sur leur territoire : l'ONF de Bar-le-Duc pour les forêts domaniales, et en particulier Jean-Marc Fillon, Sébastien Varnier ainsi que toute l'équipe de Montiers-sur-Saulx ; Mesdames Jeanson, Renard et Chevallier et Messieurs Antoine, André, Varnier, Fernbach, Levet, Gerard, Linard, François et Stolf, respectivement maires des communes de Baudignécourt, Biencourt-sur-Orge, Morley, Bure, Demange-aux-Eaux, Effincourt, Houdelaincourt, Mandres-en-Barrois, Naix-aux-Forges, Saint-Jeoire, Saudron et Treveray pour les forêts communales ; la Caisse départementale des incendies de la Meuse, Madame Favier, Messieurs Pionnier, Burnel, Nicolle, Blandin, Petin et Biot pour les forêts privées. Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à ceux et celles qui nous ont prêté main forte sur le terrain lors de la phase active de mise en place du réseau. De façon nominale, ces remerciements s'adressent à tous les membres courageux de Forêt Service Nancy, l'entreprise étudiante d'AgroParisTech-ENGREF Nancy ainsi qu'à Mao Zhun, Fabien Thomas, Jean-François Picard et Noémie Goutal pour la partie inventaires forestiers ; à Benoît Renaux, Jonathan Lenoir, Sébastien Daviller, Patrick Behr, Romain Bertrand et Fabien Spicher pour les inventaires floristiques ; et à Serge Didier, Jonathan Mangin et Margot Chomard pour les inventaires pédologiques. Nous sommes également reconnaissants envers ceux qui ont assuré le traitement des échantillons de sol en laboratoire : Jérémy et Alexandre Didier, Barbara et Léo Catania, Pascale Battung et Nadine Bouxierot.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDRA. — Carte pédologique de la zone d'observation de l'OPE du Site Meuse/Haute-Marne. — C.PL.ASTE.09.0177. — Andra, 2009.
- BAIZE (D.), GÉRARD (M.-C.). — Référentiel pédologique 2008. — Savoir faire Association française pour l'étude du sol, 2008.
- BOUCHON (J.). — Tarifs de cubages à deux entrées pour le Hêtre (*Fagus sylvatica*) en France. — *Revue forestière française*, vol. XXXIV, n° 3, 1982, pp. 225-236.
- BRAUN-BLANQUET (J.), ROUSSINE (N.), NÈGRE (R.), EMBERGER (L.). — Les groupements végétaux de la France méditerranéenne. — Paris, 1952.
- COUDUN (C.), GÉGOUT (J.-C.), PIEDALLU (C.), RAMEAU (J.-C.). — Soil nutritional factors improve models of plant species distribution: an illustration with *Acer campestre* (L.) in France. — *Journal of Biogeography*, 33, 2006, pp. 1750-1763.
- DUPOUEY (J.-L.), BACHACOU (J.), COSSERAT (R.), ABERDAM (S.), VALLAURI (D.), CHAPPART (G.), CORVISIER DE VILLELE (M.A.). — Vers la réalisation d'une carte géoréférencée des forêts anciennes de France. — *Le Monde des Cartes*, 191, 2007, pp. 85-98.
- ESRI. — ArcMap. — 2006.
- FORT (C.), BERGONZINI (J.-C.). — Les chemins de l'information forestière. — Paris : ECOFOR, 2001.
- IFN. — Carte du pH de surface des sols forestiers français. — IFN - AgroParisTech-ENGREF, 2008.
- PIEDALLU (C.), GÉGOUT (J.-C.), BRUAND (A.), SEYNAVE (I.). — Mapping soil water holding capacity over large areas to predict potential production of forest stands. — *Geoderma*, 160, 2011, pp. 355-366.
- ROBERT (N.), VIDAL (C.), COLIN (A.), HERVÉ (J.-C.), HAMZA (N.), CLUZEAU (C.). — National Forest Inventories Reports, chapter 10. In : National forest inventories - Pathways for common reporting / E.G. Th. Tomppo, M. Lawrence, R.E. McRoberts (Ed.). — France, 2010. — 612 p.
- VALLET (P.), DHÔTE (J.-F.), LE MOGUEDEC (G.), RAVART (M.), PIGNARD (G.). — Development of total above-ground volume equations for seven important forest tree species in France. — *Forest Ecology and Management*, 229, 2006, pp. 98-110.

MISE EN PLACE D'UN RÉSEAU DE SUIVI DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS EN LIMITE DES DÉPARTEMENTS DE LA MEUSE ET DE LA HAUTE-MARNE (Résumé)

Un réseau d'observation de l'évolution à long terme des écosystèmes forestiers a été mis en place dans l'Observatoire pérenne de l'environnement institué par l'Agence nationale des déchets radioactifs. Situé à la limite des départements de la Meuse et de la Haute-Marne, le réseau est constitué d'une centaine de points d'inventaires permanents. Les massifs forestiers du réseau sont composés à 75 % de futaies à différents stades de développement, la moitié d'entre elles étant des peuplements adultes. Cinq grands types de sols ont été individualisés sur le réseau d'observation et les stations forestières sont très riches en espèces, même si la variabilité des milieux reste limitée à l'échelle de l'ensemble du réseau. L'utilisation des sols a évolué depuis le début du XIX^e siècle. On note principalement le recul des zones cultivées au profit des surfaces boisées.

ESTABLISHMENT OF A NETWORK FOR MONITORING FOREST ECOSYSTEMS AT THE BOUNDARY BETWEEN THE MEUSE AND HAUTE MARNE DÉPARTEMENTS (Abstract)

A network for the long term observation of forest ecosystems has been established in the *Observatoire pérenne de l'environnement* (Permanent Environmental Observatory) created by the National Agency for Radioactive Wastes. The network is located at the boundary between the Meuse and Haute-Marne départements and comprises some hundred permanent inventory points. The forests in the network consist in 75% of high forests at various stages of development, half of which are adult stands. Five major soil types were identified in the observation network and the forest sites accommodate a rich variety of species, although the variability of the environment is limited on the scale of the network as a whole. Land utilisation has changed since the beginning of the 19th century, with the contraction of cultivated areas that tend to be taken over by forests.