



L'inventaire des ressources forestières en France : un nouveau regard sur de nouvelles forêts

Jean-Christophe Hervé, Stéphanie Wurpillot, Claude Vidal, Bernard Roman-Amat

► To cite this version:

Jean-Christophe Hervé, Stéphanie Wurpillot, Claude Vidal, Bernard Roman-Amat. L'inventaire des ressources forestières en France : un nouveau regard sur de nouvelles forêts. *Revue forestière française*, 2014, 66 (3), pp.247 - 260. <10.4267/2042/56055>. <hal-03447285>

HAL Id: hal-03447285

<https://hal.science/hal-03447285v1>

Submitted on 24 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.



HAL Authorization

L'INVENTAIRE DES RESSOURCES FORESTIÈRES EN FRANCE : UN NOUVEAU REGARD SUR DE NOUVELLES FORÊTS

JEAN-CHRISTOPHE HERVÉ – STÉPHANIE WURPILLOT – CLAUDE VIDAL – BERNARD ROMAN-AMAT

Avertissement : Il ne s'agit dans cet article que des forêts dites « métropolitaines ».

QUELQUES REPÈRES HISTORIQUES

Décidé en 1958 par ordonnance du général de Gaulle, pour assurer « l'inventaire permanent des ressources forestières nationales, indépendamment de toute question de propriété⁽¹⁾ », l'Inventaire forestier national (IFN) français a été mis en place à partir de 1960. En 1994, l'IFN est devenu un établissement public à caractère administratif sous tutelle du ministère chargé des forêts. Depuis le 1^{er} janvier 2012, l'IFN a fusionné avec l'Institut géographique national pour former l'Institut national de l'information géographique et forestière qui a conservé le sigle IGN. La mission d'inventaire forestier est désormais assurée dans le cadre de ce nouvel établissement, conformément aux articles L. 151-1 et R. 151-1 du Code forestier.

L'« ANCIENNE MÉTHODE » DE L'INVENTAIRE FORESTIER

De 1960 à 2004, l'inventaire a été réalisé par département. Les opérations ont démarré en Gironde, inventoriée en 1960-1961, puis dans les Landes l'année suivante. Du fait de la mise en place très progressive des moyens, la première couverture de l'ensemble des départements (1^{er} cycle) a pris une vingtaine d'années (décennies 1960 et 1970), mais le deuxième cycle (années 1980) et le troisième (années 1990) ont été réalisés en une dizaine d'années chacun. Ainsi, au changement de méthode fin 2004, un quatrième cycle départemental était en cours.

Le plan d'échantillonnage adopté dès le début, et qui changera très peu jusqu'en 2004, était d'emblée très élaboré : plan à deux phases statistiques avec un échantillon de première phase systématique et photo-interprété (photographies aériennes de l'IGN au départ, puis prises de vue spécifiques pour l'IFN en infrarouge) ; un sous-échantillon de deuxième phase ensuite, visité sur le terrain, et constitué selon un plan stratifié en fonction des résultats de la première phase. Le dispositif de placettes de mesure circulaires concentriques et le protocole associé, très importants pour la continuité des résultats, seront stabilisés vers 1963-1964.

(1) Selon les termes de l'ordonnance du 28 septembre 1958, repris dans le Code forestier ; ils signifient que l'inventaire des ressources forestières concerne l'ensemble des forêts publiques et privées, mais que les résultats ne sont publiés que globalement, par catégorie de propriété (Bazire, 1984).

Cette méthode, la meilleure possible à l'époque, était très bien adaptée pour décrire de manière détaillée et précise l'état, à un instant donné, des forêts dans un département. Elle présentait cependant deux faiblesses qui se sont révélées très limitantes dans le contexte d'une forêt française en très forte évolution. D'une part, l'absence de points remesurés, associée à la longueur du temps séparant deux passages dans le même département, a rendu la mesure des évolutions en surface et volume imprécise, voire impossible dans certains cas (boisements nouveaux, en particulier spontanés, par exemple), et cela même au niveau d'un département. Lucien Brénac, à qui l'on doit la mise en place de l'inventaire et qui a dirigé la réalisation de tout le premier cycle, cite ce point comme la principale difficulté non résolue (Brénac, 1979). D'autre part, les résultats aux échelons supradépartementaux (notamment régions administratives, bassins d'approvisionnement des industries, niveau national) étant obtenus par addition d'inventaires départementaux non synchrones, ils ne pouvaient avoir de sens clair et précis que dans la situation d'une forêt en état globalement stationnaire, ou tout au moins dont la dynamique serait restée négligeable sur le temps d'un cycle.

Or, à partir du deuxième cycle, les résultats mêmes de l'IFN montraient que c'était très loin d'être le cas. Lorsqu'en 1989 J.-C. Deheeger publia une synthèse nationale de l'inventaire forestier, il dut consolider des données de départements inventoriés pour la plupart deux fois, mais parfois une seule fois (18 départements), pour constater une augmentation de près de 23 % du volume sur pied en France entre les seuls deux premiers cycles d'inventaire.

Puis, inversement, les tempêtes de 1999 (environ 140 millions de mètres cubes abattus en France, record absolu à ce jour en Europe) ont rendu évidentes les limites du système, à la fois pour évaluer les dommages spécifiques liés à une perturbation majeure et pour mettre à jour après la perturbation l'état d'inventaire.

C'est pour remédier à ces inconvénients qu'à partir du début des années 2000 une nouvelle méthode a été conçue pour l'inventaire forestier national.

LA « NOUVELLE MÉTHODE » DE L'INVENTAIRE FORESTIER

Il s'agit d'un inventaire *en continu* à l'échelon du territoire métropolitain, permettant une mise à jour annuelle des résultats à ce niveau, méthode déjà adoptée par la Suède de manière très pionnière (depuis 1952), la Finlande, et les États-Unis d'Amérique (2000/2001), puis par la Suisse (2009), et qui est en train de devenir la référence internationale⁽²⁾.

Principe de l'inventaire continu sur échantillon glissant

Chaque année, un échantillon représentatif de l'ensemble du territoire métropolitain est visité. Chaque échantillon annuel est conçu pour pouvoir être cumulé avec ceux des années adjacentes pour produire des résultats fondés sur plusieurs échantillons annuels, selon le principe de la fenêtre glissante (Vidal *et al.*, 2005). Ainsi, les résultats standard de l'IFN, publiés annuellement aux niveaux national et régional à partir de ce nouveau dispositif, utilisent cinq échantillons annuels successifs glissants qui fournissent des estimations relatives à l'année médiane de la fenêtre (la troisième des cinq). L'inventaire est donc non seulement permanent, mais continu à l'échelon du territoire métropolitain, au niveau de la collecte des données comme de la production de résultats. L'inventaire est réalisé par campagnes annuelles (de novembre année $n - 1$ à octobre année n pour la phase terrain),

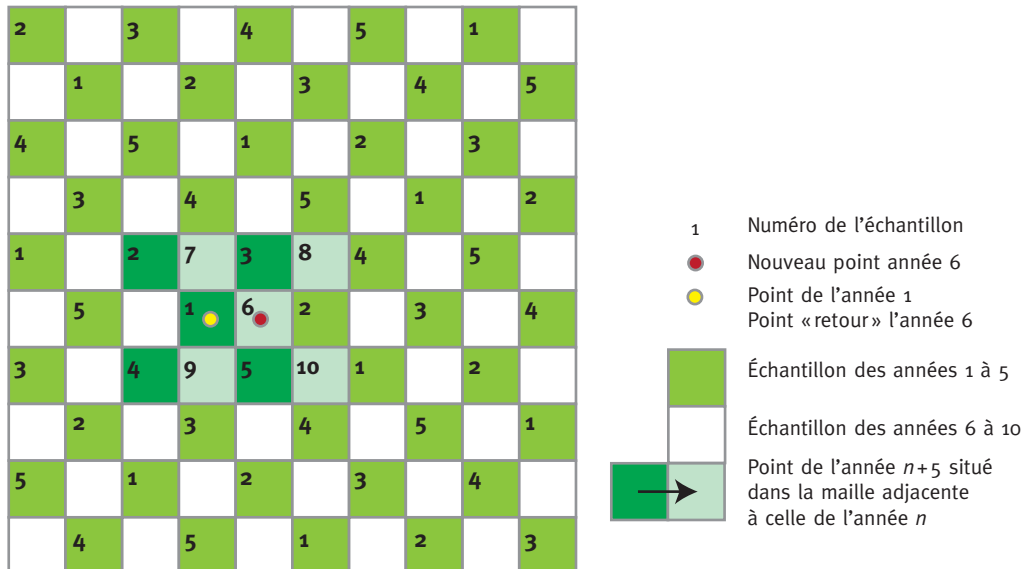
(2) Hors du domaine forestier, l'INSEE a mis en place un plan d'échantillonnage du même type pour le recensement de la population française depuis 2004, également basé sur une fenêtre glissante de cinq années.

et la première campagne organisée selon cette nouvelle méthode a commencé en novembre 2004 (« campagne 2005 »).

Le plan d'échantillonnage pluriannuel

L'inventaire est assis sur une grille à maille carrée de 1 km de côté couvrant le territoire métropolitain, mise en place pour construire dix échantillons annuels différents, tous usages du sol réunis. Chaque échantillon annuel s'appuie sur un dixième de ce réseau, de manière à former une grille annuelle systématique à maille elle-même carrée de 10 km² (1000 ha) de surface (Belouard *et al.*, 2005, et figure 1, ci-dessous).

FIGURE 1 ÉCHANTILLON COMPLET, SYSTÉMATIQUE DANS L'ESPACE ET DANS LE TEMPS, UTILISÉ PAR L'INVENTAIRE FORESTIER, « NOUVELLE MÉTHODE »
Méthode statistique IGN : grille d'échantillonnage organisant le sondage d'un point sur 10 chaque année avec retour sur les points de l'année $n - 5$



Hormis le changement radical du cadre spatiotemporel de l'enquête, les plans d'échantillonnage annuels restent voisins dans leur nature de celui pratiqué dans la méthode par département : les plans restent à 2 phases avec un échantillon de première phase systématique, constitué grâce à la grille décrite ci-dessus.

Par rapport à l'année n de la campagne terrain, la première phase est réalisée chaque année $n - 1$ par photo-interprétation sur la BD Ortho® de l'IGN (couverture photographique aérienne numérique et orthorectifiée du territoire national renouvelée en trois ans environ) et porte sur environ 80000 points. Centrée sur chaque point d'inventaire, une placette de 25 m de rayon est matérialisée, sur laquelle sont notées la couverture et l'utilisation du sol. Les haies et cordons boisés croisés par un transect aléatoire de 1 km associé à chaque point sont également repérés. Ces données de première phase sont utilisées pour tirer l'échantillon de deuxième phase mesuré sur le terrain. Elles contribuent également aux estimations finales concernant les formations boisées en améliorant la précision.

La deuxième phase n'est plus stratifiée au sens statistique strict, mais est à probabilité de tirage variable selon le résultat de la première phase. L'échantillon de deuxième phase est tiré dans celui de première phase, à raison de 1 point sur 2 pour les points *forêt*, *peupleraie* et *bosquet*, 1 point sur 4 pour les points *lande*, et 1 point sur 8 pour les formations boisées linéaires. Ces taux d'échantillonnage appliqués en standard sont diminués d'un facteur 2 sur les parties du territoire plus homogènes en matière de formations boisées (taux de boisement élevé ou faible diversité en espèces arborées), sans perte de précision relative.

Cette nouvelle méthode préserve pour l'essentiel les avantages de la stratification, en apportant la souplesse nécessaire pour assurer la compatibilité entre les échantillons annuels successifs, et offre la possibilité d'ajuster chaque année la taille des échantillons aux moyens disponibles et aux aléas intervenus. Le rythme annuel de collecte et de production d'information qui caractérise l'inventaire continu est ainsi garanti, même lorsque surviennent des aléas très significatifs comme la tempête Klaus en 2009.

On aboutit ainsi à un échantillon terrain annuel d'environ 8000 points actuellement, dont près de 7000 en forêt disponible pour la production (y compris peupleraie), lesquels font l'objet du levé d'information le plus complet.

Sur les points situés en forêt, peupleraie ou bosquet, le dispositif de levé et la nature des informations prises ont peu changé par rapport à la première méthode, si ce n'est par l'ajout de nouvelles informations comme le détail de la composition du couvert par espèce (en dixième) et l'inventaire du bois mort décrit plus loin ; et par un protocole de prise de données plus analytique, favorisant une meilleure répétabilité et offrant plus de flexibilité dans les résultats produits grâce à la combinaison *a posteriori* de ces données analytiques en variables synthétiques (IGN, 2014b).

Le principe de calcul des résultats

C'est au niveau du calcul des résultats que le principe de l'inventaire continu offre de nombreuses possibilités très nouvelles et d'une grande richesse de variétés.

Ceci d'abord parce qu'à l'étape classique des estimations statistiques, qui sont calculées sur chaque échantillon *annuel* et qui produisent des résultats représentatifs (au sens purement statistique) de l'année de la collecte terrain, s'ajoute une seconde étape. Dans celle-ci, plusieurs estimations annuelles sont associées pour produire une estimation plus précise. Les résultats conservent cependant une résolution annuelle sous condition d'évolution continue et non accélérée des phénomènes inventoriés sur la fenêtre temporelle considérée.

Cette seconde étape ne relève plus du principe d'échantillonnage, mais de la théorie du lissage (temporel en l'occurrence). Le souci de préserver la lisibilité des résultats et de conserver la cohérence la plus grande entre eux (cohérence entre les volumes et les surfaces auxquelles ils se rapportent, additivité spatiale : tout = somme des parties) conduit à se limiter au lissage par moyenne arithmétique mobile sur une fenêtre d'un nombre donné d'années : cinq dans le cas de l'IGN. Lisser sur un nombre différent d'années est tout à fait possible en conservant les propriétés énoncées ci-dessus moyennant de préserver une évolution continue et une tendance linéaire.

Des estimations non biaisées pour l'année centrale de la fenêtre sont ainsi obtenues pour toute grandeur à évolution continue sur le pas de temps considéré. Le lissage est bien sûr pris en défaut en cas de rupture, comme c'est le cas suite à une perturbation. Un traitement particulier consistant à mettre à jour post-perturbation toutes les années antérieures à cette perturbation doit alors être réalisé (*cf. infra* la méthode utilisée pour traiter l'accident dû à la tempête Klaus en 2009).

Le nombre d'années prises en compte peut être adapté à des études particulières : il peut par exemple être augmenté pour des surfaces plus petites que celles des régions administratives pour obtenir une précision acceptable. Toutefois, plus la période sur laquelle les données sont agrégées est longue, plus l'année de référence est reculée et plus l'hypothèse de linéarité des tendances est fragile. Une autre possibilité, récemment utilisée en Picardie (Colin, 2014), est de mettre à jour les échantillons annuels les plus anciens grâce aux revisites (*cf. infra* § “Une amélioration majeure pour l'évaluation des changements...”, p. 252) en doublant ainsi le nombre d'échantillons sans élargir la taille de la fenêtre de lissage.

Il faut enfin mentionner la possibilité, à très fort potentiel, d'adapter les estimateurs annuels à une partie quelconque du territoire métropolitain, en y incorporant des informations auxiliaires de type cartographique ou issues de télédétection, propres à améliorer la précision des estimations. Ceci est d'ailleurs mis en œuvre dans les estimateurs nationaux standard qui utilisent comme données auxiliaires, via la post-stratification, la BD Forêt® de l'IGN et les limites des propriétés publiques fournies par l'ONF, ce qui permet d'améliorer la précision des estimations des superficies forestières d'un facteur 2.

L'inventaire continu offre donc beaucoup de flexibilité en matière de mode de calcul des résultats, à condition de ne pas considérer l'estimateur comme fixé une fois pour toutes, comme c'était le cas dans la première méthode d'inventaire, mais au contraire comme à redéfinir au cas par cas en fonction de chaque objectif particulier et des données auxiliaires disponibles. Le mécanisme de redéfinition des estimateurs après l'échantillonnage est le véritable moyen d'améliorer localement la précision des résultats, beaucoup plus efficacement et à moindre coût que par une augmentation locale du nombre de points. Il en résulte évidemment un accroissement de la complexité des calculs, qui ne peuvent être menés que par les spécialistes de la méthode à l'IGN.

INNOVATIONS ASSOCIÉES À LA NOUVELLE MÉTHODE D'INVENTAIRE

Un nouveau découpage de référence du territoire en régions biogéographiques homogènes : sylvoécorégions (SER) et grandes régions écologiques (GRECO)

Le découpage mis en place par l'Inventaire forestier national dans les années 1960 comportait au total 309 « régions forestières » (qualifiées plus tard de « petites »). Définies comme des territoires « où règnent en moyenne des conditions similaires du point de vue forestier », ces régions avaient vocation à être dotées chacune d'un catalogue des stations et d'un guide pour le choix des essences. En partie en raison du grand nombre de régions, l'édition de ces documents a pris un temps considérable : au début des années 2000, plus du tiers de la France n'était pas encore couvert. D'autre part, ces petites régions adaptées à un échelon départemental ne constituaient pas des unités adéquates pour le recueil et pour la publication des résultats de l'inventaire à l'échelon national.

À la demande de la direction générale de la forêt et des affaires rurales, l'IFN a défini un nouveau cadre de référence, couvrant l'ensemble du territoire métropolitain et s'affranchissant de toute délimitation administrative et du statut de la propriété forestière. Les objectifs poursuivis étaient les suivants :

- créer un cadre géographique optimisé pour les guides de choix des essences ;
- diviser le territoire en entités à fondement écologique pouvant servir de cadre aux documents d'orientation de la gestion forestière ;
- permettre la publication des résultats de l'inventaire forestier avec une précision statistique satisfaisante ;
- fournir un cadre pertinent pour suivre l'impact du changement climatique.

Le nouveau découpage a été validé en 2011 par la communauté forestière, et constitue désormais le nouveau cadre de référence non seulement de l'inventaire mais aussi de toute la politique forestière (encadré ci-dessous tiré de : Inventaire forestier national, 2011).

Le nouveau découpage du territoire adopté en 2011 : 91 SER et 12 GRECO

La base : le territoire a été divisé en unités géographiques relativement homogènes du point de vue macroclimatique, géologique et topographique : les grandes régions écologiques (GRECO) ; 11 GRECO ont été distinguées, auxquelles une douzième, agrégeant les cinq vallées des bassins des grands fleuves, a été ajoutée ;

Le découpage fin : une sylvoécocorégion (SER) correspond à une zone géographique suffisamment vaste à l'intérieur de laquelle la combinaison des valeurs prises par les facteurs déterminant la production forestière ou la répartition des habitats forestiers est originale ; les SER ont été définies en partitionnant les GRECO sur une base écologique et en regroupant les régions forestières initiales de l'IFN ; 5 sylvoécocorégions dites azonales, d'alluvions récentes ont été ajoutées *in fine*, pour aboutir à 91 sylvoécocorégions.

Les fiches de description détaillée des sylvoécocorégions sont disponibles sur le site de l'IGN (<http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/spip.php?rubrique211>).

Une amélioration majeure pour l'évaluation des changements : les diverses possibilités de retour sur les points d'inventaire

Une caractéristique du nouveau dispositif est qu'il y a chaque année partout en France des points à inventorier, tandis que d'autres points dans le voisinage l'ont été une ou plusieurs années avant. Dans ces conditions, pourvu que les points antérieurs soient facilement retrouvables, il est aisé et peu coûteux de profiter du passage sur les nouveaux points pour retourner sur les anciens pour y relever divers types de changements, sans nécessairement refaire un levé complet.

La possibilité de retrouver les points et les arbres inventoriés quelques années avant a été testée lors des campagnes 2008 et 2009, sur les échantillons terrain des campagnes 2005 et 2006. Les points d'inventaire se sont révélés parfaitement retrouvables quelques années après, et la plupart du temps facilement. Ici l'assistance du GPS équipant les opérateurs depuis 2005 s'est révélée essentielle⁽³⁾.

• Mise en œuvre pour l'estimation des prélèvements de bois en forêt

En 2007, en fixant l'objectif de récolter davantage de bois, le Grenelle de l'environnement et les assises de la forêt ont fait émerger le besoin d'indicateurs précis de suivi de cette récolte, afin de s'assurer que la gestion reste bien « durable ». Dans le même temps, l'IFN recevait dans le cadre de son contrat d'objectifs la mission d'estimer les prélèvements de bois en forêt.

Pour la première fois en 2010, l'Inventaire forestier a réalisé un retour sur les points de la première campagne « nouvelle méthode » de 2005. Le volume des arbres coupés a été estimé comme indiqué à l'encadré ci-dessous. L'Inventaire forestier a ainsi pu produire une toute première estimation

(3) Non pas tant dans le placement précis du point qui doit être fait d'après la photographie chaque fois que possible et pour lequel le GPS n'est pas assez précis, mais en ce qu'il évite les erreurs grossières de l'ordre de la centaine de mètres ou plus. La précision des placements réalisés en forêt par les opérateurs a par ailleurs été vérifiée par le contrôle national mis en place en 2008. Son ordre de grandeur est de 2 à 3 mètres.

directe du prélèvement annuel de bois dans les forêts françaises sur la période 2005-2010 : 44 millions de m³ bois fort tige par an (avec un intervalle de confiance assez large : ± 4 millions de m³). L'utilisation de tarifs fournissant le volume total de bois au lieu du bois fort tige a abouti au chiffre de 64 millions de m³ (IFN, 2011). Cette dernière valeur est très proche de celle issue de l'enquête annuelle de branche du ministère de l'Agriculture pour la même période, complétée de l'estimation du bois de feu autoconsommée, toutes deux obtenues par des voies complètement indépendantes : 62 millions de m³. La méthode mise en place par l'Inventaire forestier pour estimer les prélèvements de bois en forêt s'en est trouvée ainsi très bien confortée. Toutes les estimations annuelles réalisées depuis ont confirmé à l'échelon national le niveau de la première estimation.

Comment estimer les prélèvements de bois en forêt ?

- Lors d'un retour sur toutes les placettes inventoriées cinq ans auparavant, tous les arbres coupés pendant la période de 5 ans étudiée sont identifiés.
- Le volume de chaque arbre coupé est estimé :
 - en utilisant son volume estimé au premier passage quand il était vivant,
 - en considérant qu'il a continué à croître en volume au même rythme qu'au cours des 5 années précédant ce premier passage,
 - en calculant son accroissement supplémentaire sur 2,5 années, en considérant qu'en moyenne les arbres ont été coupés au milieu de la période de 5 ans (hypothèse d'un taux de coupe sensiblement constant sur la période).

NB : il s'agit de volume bois fort tige sur écorce.

Depuis ces travaux, le retour sur les points précédents lors des campagnes suivantes s'est poursuivi de façon à améliorer la précision des résultats de prélèvement, notamment au niveau régional.

• Mise en œuvre pour l'estimation des chablis de Klaus

Le samedi 24 janvier 2009, la tempête Klaus ravageait le Sud-Ouest et en particulier le massif des Landes de Gascogne. Le ministre de l'Agriculture ayant confié à l'IFN la mission exceptionnelle d'inventorier les dégâts forestiers, toutes les équipes de terrain de l'IFN, et tous les personnels volontaires et disponibles, furent immédiatement dirigés vers la zone concernée. La mission était de retourner sur les trois milliers de points forêt des 4 premières campagnes de la nouvelle méthode (2005 à 2008) compris dans la zone pour y inventorier les dégâts, si possible arbre par arbre. L'opération fut conclue trois semaines jour pour jour après le passage de l'ouragan, un temps remarquablement court permis par la configuration très particulière des dégâts, très concentrés dans le massif landais. L'estimation des dégâts — 43 millions de m³ abattus, dont 38 millions pour le seul Pin maritime (IFN, 2009) — a pu être produite immédiatement à la suite, la base de données d'inventaire étant mise à jour en temps réel.

Cette opération a également permis de s'apercevoir que cette méthode d'évaluation des dégâts par retour sur les points d'inventaire permettait aussi de maintenir sans interruption le principe de calcul de résultats sur une fenêtre de plusieurs années, malgré la présence d'une rupture. Pour les 4 années précédant l'événement, les campagnes d'inventaire sont, en base de données, dans un double état : leur état d'origine avant la perturbation, et l'état mis à jour après la perturbation

(les arbres accidentés étant retirés). Il est ainsi possible de calculer des résultats concernant un état avant perturbation en utilisant les états d'origine, et une estimation post-perturbation en utilisant les états mis à jour combinés avec les années ultérieures.

Un meilleur calcul de la production biologique

Après avoir mis en place l'estimation des prélèvements de bois en forêt, les services de l'Inventaire forestier disposaient de trois grandeurs globales, le volume sur pied, la production et le prélèvement, liées entre elles par la relation simple suivante :

$$\text{Variation du volume sur pied} = \text{Production} - (\text{Prélèvements} + \text{Mortalité})$$

La recherche de cohérence entre ces trois termes a conduit à mettre en question l'estimation de la production. Un nouveau calcul, s'appuyant sur la seule mesure disponible d'accroissement des arbres qui soit fiable, celle de l'accroissement radial à 1,30 m (mesuré sur une carotte prélevée à 1,30 mètre du sol), a été mis au point et validé en 2010 par le comité scientifique et technique de l'IFN (IFN, 2011).

Ce nouveau calcul a conduit à une estimation de la production en volume des forêts françaises pour la période 2001-2009 de 85 millions de m³ par an, avec une bonne précision ($\pm 1,2$ million de m³). Ce chiffre est inférieur de 16 % aux estimations antérieures de la production. Cette variation importante a suscité beaucoup d'interrogations. Cela souligne en vérité la difficulté intrinsèque à mesurer l'accroissement en volume sans placette permanente (*cf.* encadré ci-dessous), et alors que les fluctuations climatiques d'une année sur l'autre peuvent entraîner une variation de cet accroissement du même ordre.

Origine de la surestimation de la production depuis les années 1980 jusqu'à 2010

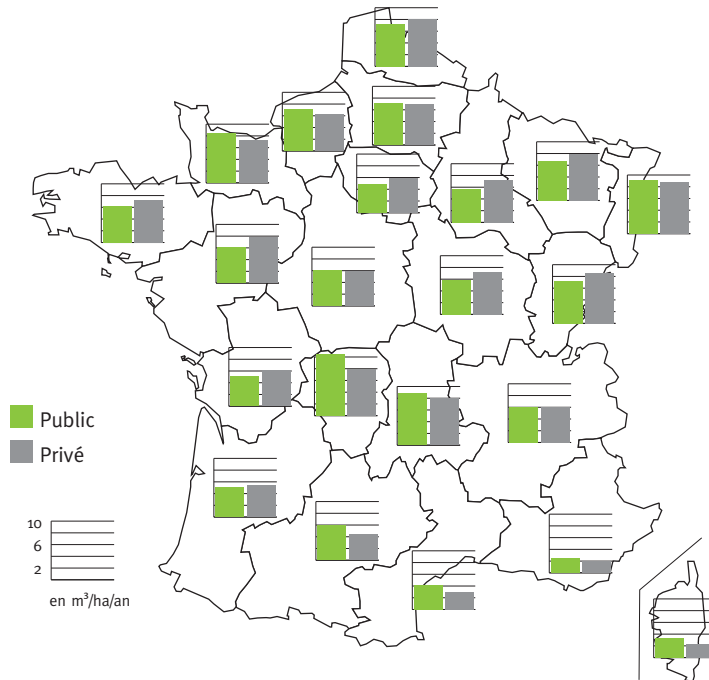
- La formule de l'accroissement en volume des arbres vivants utilisait le coefficient de forme de la tige (rapport du volume de la tige à celui du cylindre de même hauteur et même diamètre à 1,30 m).
- L'hypothèse était faite que ce coefficient de forme était constant au cours de la croissance de l'arbre.
- En réalité, chez toutes les espèces, le coefficient de forme décroît régulièrement quand la tige grossit, notamment en raison de l'allocation croissante de la biomasse dans les branches.

La réalisation d'inventaires par départements et placettes temporaires ne permettait pas d'estimer l'ensemble des flux avec suffisamment de précision pour que ce biais soit détecté.

Ce nouveau calcul est désormais admis, car il est fiable et cohérent avec ceux de la variation du volume sur pied et du prélèvement, tout en reposant sur des bases — échantillon et données — différentes. Il est également cohérent avec l'évolution du stock à plus long terme, telle qu'elle ressort de la cinquantaine d'années d'inventaire en France. Il peut être appliqué rétroactivement aux inventaires antérieurs. Des valeurs de la production biologique peuvent être régulièrement publiées, par exemple à l'échelon des régions et par classe de propriété comme illustré par la figure 2 (p. 255).

FIGURE 2

PRODUCTION BIOLOGIQUE BRUTE PAR HECTARE, EN VOLUME BOIS FORT TIGE, CALCULÉE POUR LA PÉRIODE 2004-2012, « NOUVELLE MÉTHODE »
(Source : IGN, 2014a)



L'augmentation de la fourniture de données écologiques

Aux débuts de l'inventaire, l'intérêt se portait surtout sur le bois vif, destiné à fournir un produit commercialisable. Désormais, les équipes de l'inventaire forestier relèvent aussi sur les placettes d'inventaire de nombreuses autres informations (relevé floristique, topographique et pédologique depuis la fin des années 1980) qui permettent une connaissance précise, globale et dynamique, des forêts françaises. Parmi les dernières données ajoutées (2008) figure le bois mort présent en forêt, jugé essentiel pour le maintien de la biodiversité dans les écosystèmes. L'abondance du bois mort est de plus un indicateur de la réaction de la forêt à diverses adversités (tempêtes, ravageurs, périodes de sécheresse...). Deux catégories sont distinguées : les arbres d'une part, morts sur pied et chablis (arbres qui ne sont plus sur pied) ; et le bois mort éparé au sol d'autre part. Ce dernier représente la plus large part (69 %) du bois mort en forêt, conduisant à une quantité totale de bois mort plus importante qu'imaginée avant ces mesures : 24 m³/ha en moyenne d'après les derniers résultats publiés en 2014.

LA NOUVELLE MÉTHODE ATTEINT SON « RÉGIME DE CROISIÈRE »

Pour passer des inventaires par département à l'inventaire continu à l'échelon du territoire national, une réorganisation interne complète de l'IFN a été nécessaire. Celle-ci a impliqué d'importants efforts de la part des personnels de tous niveaux, qu'il convient de saluer. Les principales évolutions d'organisation figurent à l'encadré (p. 256).

Principales évolutions causées au service de l'inventaire par le changement de méthode

- des équipes de terrain moins nombreuses, plus autonomes, fixées sur un même secteur de 3 à 4 départements ;
- une tâche plus complexe pour les techniciens d'encadrement (suivi de 5 à 6 équipes en parallèle réparties sur une vingtaine de départements) ;
- un rôle accru et plus exigeant pour les personnels chargés des contrôles de qualité (vérificateurs écologiques, contrôle national d'homogénéité) ;
- des contraintes de calendrier importantes pour l'encadrement dirigeant, liées à la succession des campagnes annuelles (préparation, réalisation, analyse et publication des résultats).

Il convient également de souligner que la mise en œuvre de cette nouvelle méthode mobilise toutes les nouvelles technologies de l'information, des télécommunications et de la métrologie disponibles en ce début de XXI^e siècle. De même le traitement des données s'appuie sur les progrès les plus récents en matière de méthodes statistiques et de modélisation. Ceci à un point tel que cette méthode n'aurait probablement pas pu être mise en œuvre seulement 10 ans plus tôt.

Même si cela n'a pas été perceptible tout de suite du fait de la période transitoire d'accumulation d'échantillons annuels de 2005 à 2010, la nouvelle méthode d'inventaire continu à l'échelon national constitue un progrès important pour les utilisateurs, à tous les points de vue, y compris au niveau départemental. En effet, avec maintenant 10 campagnes annuelles couvrant l'ensemble des départements et qui s'incrémentent chaque année, il est possible d'actualiser les plus anciennes grâce aux revisites et de retrouver ainsi une précision pratiquement équivalente à celle des inventaires départementaux (moyennant il est vrai une étude statistique spécifique à chaque département), mais avec des résultats pouvant être mis à jour annuellement et comportant l'estimation des flux.

Très nombreuses sont les informations fournies par l'Inventaire forestier sous de multiples formes grâce à sa nouvelle méthode. Nous renvoyons le lecteur vers le site internet de l'inventaire forestier (<http://inventaire-forestier.ign.fr/>) où il pourra trouver et télécharger l'ensemble des publications régulièrement mises à jour (publications annuelles, mémento, tous les numéros de *L'IF*, études spécifiques, etc.). Ces informations sont également valorisées dans la brochure nationale des indicateurs de gestion durable des forêts françaises, d'ailleurs publiée conjointement par le ministère de l'Agriculture et l'IGN (dernière version parue : édition 2010).

LA VISION DES FORÊTS FRANÇAISES QUE PROCURE ACTUELLEMENT L'INVENTAIRE FORESTIER

Certains des résultats fournis récemment par l'IGN sont exploités dans l'introduction du présent numéro thématique (Roman-Amat). Aussi nous limiterons-nous ici à souligner ce qui est sans doute l'apport principal de la nouvelle méthode d'inventaire à la vision des forêts françaises aujourd'hui : la mise en pleine lumière de leur très forte dynamique de croissance, non seulement en surface, mais surtout maintenant en volume sur pied, et les profondes transformations de ces forêts associées à cette évolution. Si le phénomène était certes connu, la pleine mesure de son importance n'avait pas été prise.

Le premier constat de plus de cinquante ans d'inventaire permanent, c'est une augmentation très forte du capital sur pied, qui est passé de 1,5 milliard de m³ en 1973 à plus de 2,5 milliards

aujourd'hui. Le stock de bois a ainsi certainement doublé depuis les débuts de l'inventaire en 1960, malgré les dégâts, sans précédent mesuré, occasionnés par les tempêtes Lothar et Martin en 1999 et Klaus en 2009. Les derniers résultats d'inventaire montrent que cette augmentation, loin de ralentir, est au contraire en accélération : de l'ordre de 40 millions de m³ d'accroissement net par an sur les dix dernières années (hors tempête Klaus), pour 30 millions de m³ par an dans les années 1990 d'après les inventaires départementaux, et plutôt 20 millions de m³ par an dans les années 1960-70⁽⁴⁾.

Ce phénomène de fond, inverse de ce qui se passe majoritairement dans le monde, est général en Europe ; par exemple, d'après les résultats de l'inventaire forestier suédois, le stock sur pied en Suède a pratiquement doublé en un siècle. Bien que l'absence de recul équivalent dans la plupart des pays ne permette pas beaucoup de comparaisons⁽⁵⁾, le phénomène paraît quand même particulièrement fort en France.

Il apparaît comme la conséquence de la transition de l'ère préindustrielle à l'ère post-révolution industrielle. En effet, la révolution industrielle et la déprise agricole qui l'a accompagnée ont eu deux effets :

- la progression de la surface de la forêt, qui est passée de 8 millions d'hectares en 1850 à 16 millions aujourd'hui (cette progression en surface est maintenant stoppée sur les trois quarts du territoire, mais elle continue dans le sud du Massif central et en Bretagne) ;
- et la diminution, dans les forêts en place, des coupes de taillis pour le chauffage par une population rurale moins nombreuse.

Ces processus n'affectent significativement les volumes qu'après plusieurs décennies. C'est pourquoi, sauf phénomène majeur nouveau, l'augmentation du stock sur pied en France devrait se poursuivre encore plusieurs dizaines d'années. C'est pourquoi aussi cette augmentation du stock est et sera principalement une augmentation du stock de bois feuillus.

Cette expansion transforme en profondeur la forêt française, car elle ne s'applique pas partout homothétiquement. Elle est variable selon les essences — la part en volume des feuillus, déjà majoritaires, augmentant encore — et aussi selon la zone géographique. La dynamique d'expansion se combine ici avec les conséquences des tempêtes de 1999 et 2009 pour déplacer les zones de forte augmentation des ressources en bois des régions forestières traditionnelles du Nord-Est et du Sud-Ouest⁽⁶⁾ vers d'autres régions : Bourgogne, Centre, Massif central notamment (figure 3, p. 258).

Enfin, le doublement de la surface de la forêt s'est fait surtout sur des terrains privés, souvent découpés en petites parcelles auparavant agricoles. Deux spécificités de la forêt française apparaissent ainsi nettement. D'une part, elle est jeune, puisque la moitié de sa superficie actuelle n'était pas forestière il y a 150 ans. D'autre part, elle est maintenant aux trois-quarts privée, alors qu'elle était à moitié publique au XIX^e siècle, et cette nouvelle forêt privée est pour une large part morcelée en très petites propriétés.

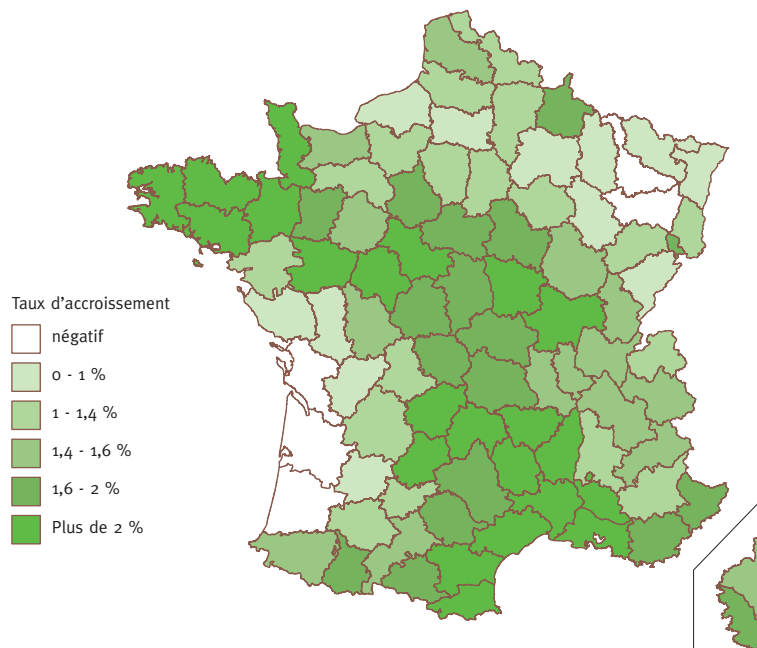
C'est donc l'image d'une forêt française en forte expansion et en forte transformation que fait apparaître l'inventaire forestier national, avec une abondance de ressources forestières en grande partie non anticipée. C'est pourtant une chance à saisir pour le pays, qui a et qui aura besoin de plus de bois pour son développement économique, ceci d'autant plus que ce développement sera plus « vert ». Mais à saisir vite maintenant, avant que ce capital accumulé ne parte, dans la fumée de grands incendies, sous l'action de ravageurs ou bien sous l'effet de conséquences néfastes du changement climatique.

(4) Soulignons que dans le même temps, les récoltes ne baissent pas, mais augmentent (même si elles ont tendance à stagner depuis 2000, hors tempêtes exceptionnelles).

(5) Si aujourd'hui la plupart des pays de l'Union européenne disposent d'un inventaire forestier national, c'est relativement récent : en Europe, seuls des pays nordiques (Norvège, Suède et Finlande) ont un inventaire permanent plus ancien (1920) que la France.

(6) On notera au passage que dans ces deux dernières régions, les derniers résultats d'inventaire montrent que les prélèvements atteignent 90 % à 100 % de la production nette de mortalité, c'est-à-dire l'optimum « durable ».

FIGURE 3 **Taux d'accroissement annuel du volume sur pied par département**
SUR LE DERNIER QUART DE SIÈCLE
(cumul des résultats des deux méthodes d'inventaire ;
les valeurs négatives sont dues aux tempêtes de 1999 et 2009).
 (Source : Inventaire forestier national, 2011)



L'outil de connaissance des ressources forestières est en tout cas en place et adapté pour suivre toute évolution dans quelque sens que ce soit. Surtout, il est d'ores et déjà parfaitement à même d'aider et d'accompagner le développement de l'exploitation de ces ressources forestières nouvelles dont il indique la localisation régionale, la nature et la qualité. Et dès lors que ce développement aurait effectivement lieu, il sera aussi en mesure d'en évaluer le caractère durable, aussi bien du point de vue de la production de bois que du maintien du bon fonctionnement des écosystèmes forestiers.

PERSPECTIVES

Un inventaire forestier national est un outil scientifique et technique très élaboré, qu'il faut concevoir comme en constante évolution pour qu'il reste performant et réponde aux nouveaux besoins, tout en préservant la continuité des résultats, absolument indispensable sur la longue durée eu égard à son objet.

Ainsi la fusion de l'IFN et de l'IGN a été l'occasion de mettre en place, au sein de l'IGN, et en association avec AgroParisTech et l'INRA, un laboratoire de recherche sur les méthodes d'inventaire forestier, le laboratoire de l'inventaire forestier (LIF), dans le but de préparer et d'accompagner ces évolutions. À court terme, le LIF est d'ores et déjà engagé dans trois directions, qui concernent l'optimisation du dispositif d'inventaire, l'enrichissement de ses sorties pour répondre aux nouveaux besoins, et le développement de la méthodologie d'« inventaire multisource » pour affiner les échelles de

restitution, notamment au niveau régional, grâce à l'utilisation d'informations cartographiques et de télédétection, comme données auxiliaires aux données de terrain.

Au titre de l'optimisation, une évolution du dispositif est engagée depuis un an pour aboutir lors de la campagne 2016 à un échantillon terrain annuel augmenté en taille et comportant des points inventoriés 5 ans auparavant et qui seront remesurés pour tous les changements y compris l'accroissement des arbres. Des points nouveaux seront également maintenus, comme lors des 10 premières campagnes pour assurer un renouvellement continu de la base d'inventaire et estimer les augmentations de surface. En parallèle, pour répondre au besoin de connaissance plus complète des volumes de bois et de la biomasse (bois énergie, comptabilité carbone), l'IGN a engagé un programme ambitieux d'acquisition de données sur la géométrie des parties aériennes des arbres par numérisation 3D grâce au lidar terrestre : cela représente plusieurs milliers de placettes forestières à numériser d'ici quelques années. Le LIF est chargé de mettre en place les méthodes de traitement de ces données et de construire les tarifs de cubage ou de biomasse correspondants. Enfin, l'état très loin de l'équilibre des forêts françaises décrit ci-dessus et le changement climatique qui n'est déjà plus seulement une perspective nécessitent de développer de nouveaux indicateurs, dégagés de l'effet dynamique très fort aujourd'hui et qui masque la réaction individuelle des arbres au changement climatique, de façon à faire aussi de l'inventaire forestier national un outil de suivi rapproché de l'impact de ce changement sur les forêts.

Jean-Christophe HERVÉ

IGN

Directeur du Laboratoire de l'inventaire forestier

11 rue de l'Île de Corse

F-54000 NANCY

(Jean-Christophe.Herve@ign.fr)

Stéphanie WURPILLOT

IGN

Chef du service de l'inventaire forestier

et environnemental

Domaine des Barres

F-45290 NOGENT-SUR-VERNISSON

(Stephanie.Wurpillot@ign.fr)

Claude VIDAL

JOINT RESEARCH CENTER

Centro comune di ricerca

Via Enrico Fermi 2749

I-21027 ISPRA (ITALIE)

(claude.vidal@jrc.ec.europa.eu)

Bernard ROMAN-AMAT

Ingénieur général des ponts, des eaux et des forêts

CONSEIL GÉNÉRAL DE L'ALIMENTATION,

DE L'AGRICULTURE ET DES ESPACES RURAUX

76 avenue André Malraux

F-57000 METZ

(bernard.roman-amat@agriculture.gouv.fr)

BIBLIOGRAPHIE

BALLEYDIER (R.), HUGUET (L.). — La Naissance d'un service public : l'Inventaire forestier national (1960-1963). — *Revue forestière française*, vol. LIV, n° 3, 2002, pp. 289-294.

BAZIRE (P.). — L'Inventaire forestier national français. — *Revue forestière française*, vol. XXXVI, n° spécial « Dialogue forestier par dessus le Rhin », 1984, pp. 14-24.

BELOUARD (T.), VIDAL (C.), HERVÉ (J.-C.), ROBERT (N.). — Le nouvel inventaire forestier de l'IFN par sondage systématique et annuel. De l'observatoire des écosystèmes forestiers à l'information sur la forêt. — Paris : ECOFOR, 2005.

BRENAC (L.). — L'Inventaire forestier national français. — *Revue forestière française*, vol. XXXI, n° 3, 1979, pp. 253-266.

- COLIN (A.). — Analyse de la ressource forestière et populiicole en Picardie et des disponibilités en bois à l'horizon 2030. Rapport d'étude. — Nancy : IGN, 2014. — 192 p.
- DEHEEGER (J.-C.). — Une synthèse partielle des données de l'inventaire forestier national. 1^{re} partie : résultats par essence. — *Revue forestière française*, vol. XLI, n° 1, 1989, pp. 51-59.
- INSTITUT NATIONAL DE L'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE ET FORESTIÈRE (IGN). — Inventaire forestier : le memento, édition 2014. — IGN, 2014a. — 30 p. [En ligne] : disponible sur : http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/IMG/pdf/BD_memento_2014.pdf
- INSTITUT NATIONAL DE L'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE ET FORESTIÈRE (IGN). — Les données de l'inventaire forestier : état des lieux et évolution — *L'IF*, n° 34, 2014b.
- INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL. — Une nouvelle partition écologique et forestière du territoire métropolitain : les sylvoécorégions (SER). — *L'IF*, n° 26, premier trimestre 2011, 8 p.
- INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL. — Prélèvements de bois en forêt et production biologique : des estimations directes et compatibles. — *L'IF*, n° 28, troisième et quatrième trimestre 2011, 16 p.
- INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL. — Tempête Klaus du 24 janvier 2009. — *L'IF*, n° 21, 2009, 12 p.
- INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL. — Observer la forêt française : mission première de l'IFN. — *L'IF*, n° 12, juin 2006, 12 p.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL. — Indicateurs de gestion durable des forêts métropolitaines françaises. Édition 2010. — Paris : Ministère de l'Agriculture, Inventaire forestier national, 2011. — 202 p.
- Les 40 ans de l'inventaire forestier national : utilisation et valorisation des données recueillies. — *Revue forestière française*, vol. LIII, n° 3-4, 2001, pp. 233-488.
- ROBERT (N.), VIDAL (C.), COLIN (A.), HERVÉ (J.-C.), HAMZA (N.), CLUZEAU (C.). — Development of France's National Forest Inventory. In : National Forest Inventories : pathways for common reporting. — Springer, 2009.
- VIDAL (C.), BELOUARD (T.), HERVÉ (J.-C.), ROBERT (N.), WOLSACK (J.). — A new flexible forest inventory in France. In : Proceedings, 7th annual forest inventory and analysis symposium, Portland. — 2005. — pp. 67-73.

L'INVENTAIRE DES RESSOURCES FORESTIÈRES EN FRANCE : UN NOUVEAU REGARD SUR DE NOUVELLES FORÊTS (Résumé)

Les auteurs passent en revue les raisons qui ont conduit l'inventaire forestier français à abandonner en 2004 sa méthode appliquée à l'échelon départemental. Ils exposent les caractéristiques de la nouvelle méthode d'inventaire continu mise en place à l'échelon national : échantillonnage, calcul des résultats. Ils présentent les résultats standard issus de cette nouvelle méthode, calculés au niveau national sur une « fenêtre glissante » de cinq ans. Ils montrent aussi que la nouvelle méthode permet désormais d'obtenir des informations sur un large éventail d'échelles spatiales et temporelles, par exemple après perturbation. Ils présentent plusieurs évolutions importantes consécutives à l'adoption de cette nouvelle méthode d'inventaire : un nouveau découpage biogéographique du territoire, la possibilité de mesurer directement en forêt les volumes de bois récoltés, l'adoption d'un nouveau mode de calcul plus satisfaisant de la production biologique, le recueil de données écologiques plus variées. L'article souligne la forte dynamique d'accroissement du volume sur pied, principalement de bois feuillu, en cours dans les forêts françaises. La conclusion trace les pistes d'évolution de l'inventaire forestier français pour les années à venir.

THE FOREST RESOURCES INVENTORY IN FRANCE - A FRESH VIEW ON CHANGED FORESTS (Abstract)

The authors examine the reasons that led, in 2004, the French National Forest Inventory to abandon its regular method, which was applied at departemental level. They describe the features of the new, continuous, inventory method applied at the national level: sampling, calculation of results. Standard results obtained with this new method applied at the national scale using a 5-year "sliding window" are presented. The authors also show that this method now enables information to be gathered across a broad spatial and temporal range, for instance following a disturbance. They detail several important developments in this new inventory method that have since been introduced: a new biogeographic breakdown, a direct, on-site method for measuring wood volumes logged, adoption of a new and more satisfactory method for computing biological production, collection of more varied ecological data. The article underscores the strong upward trend in standing timber volumes, essentially deciduous species, in French forests. The conclusion provides some indications as to what future developments in the French Forest Inventory might be in coming years.