

# Intégration, dans le cadre de l'Accord de Paris, de données forestières pour répondre aux défis locaux et globaux que rencontrent les écosystèmes forestiers

par Sergio DE MIGUEL & Iciar ALBERDI

*Pour évaluer la capacité des écosystèmes forestiers à s'adapter aux changements climatiques et leur rôle dans leur atténuation, il est primordial de disposer de connaissances scientifiques et données solides.*

*Dans cet objectif, une approche forestière holistique est nécessaire, recueillant des données variées sur des échelles multiples. Deux exemples pertinents d'harmonisation des données forestières à l'échelle européenne et mondiale sont présentées dans cet article.*

## Les forêts et les changements globaux dans le contexte de l'Accord de Paris

L'Accord de Paris réunit les nations du monde entier autour d'un objectif partagé : atténuer les changements climatiques et s'adapter à leurs impacts actuels et à venir. Un certain nombre d'articles de l'Accord de Paris impliquent, directement ou indirectement, les écosystèmes forestiers comme variable clé pour atteindre les objectifs d'atténuation des changements climatiques, c'est-à-dire maintenir une hausse de la température mondiale au cours du siècle bien inférieure à 2 °C au-dessus des niveaux de l'époque pré-industrielle et pour poursuivre les efforts pour limiter cette hausse de température à 1,5 °C. En particulier, les articles 4 et 5 de l'Accord de Paris traitent de la nécessité de réduire le taux de croissance du CO<sub>2</sub> atmosphérique en augmentant la séquestration du carbone, alors que l'article 2 met pour sa

part l'accent sur la réduction du déséquilibre radiatif au sommet de l'atmosphère par l'augmentation de l'albédo et que l'article 7 souligne qu'il convient d'y parvenir sans augmenter la température de l'air ni diminuer les précipitations (LUYSSAERT *et al.*, 2018). En outre, l'accord vise à renforcer la capacité des pays à faire face aux impacts des changements climatiques (CCNUCC).

À cet égard, des recherches récentes ont suggéré que les gestionnaires des forêts et les décideurs politiques devraient plutôt mettre l'accent sur l'adaptation des écosystèmes forestiers aux changements climatiques pour garantir la fourniture dans le futur, de la large gamme de services écosystémiques offerts par les forêts (LUYSSAERT *et al.*, 2018), ce qui représente, en fin de compte, le principal défi qui déterminera également la capacité future des forêts à agir comme puits de carbone. En effet, cette recherche a montré que différentes alternatives forestières axées principalement sur l'atténuation des changements climatiques au niveau européen entraîneraient des effets secondaires qui, d'une manière ou d'une autre, réduiraient les effets positifs supposés sur l'atténuation des changements climatiques. En fin de compte, sans l'adaptation, le rôle d'atténuation des changements climatiques par les forêts, pourrait être compromis. Ceci est particulièrement important pour les écosystèmes forestiers du bassin méditerranéen, pour lesquels les impacts attendus des changements climatiques sont forts et où la croissance et la vitalité des forêts sont déjà fortement limitées par la rareté de l'eau, c'est-à-dire des « coûts » eau de la séquestration du carbone (BIROT, 2011), alors que l'approvisionnement en eau est un service écosystémique clé dans un contexte d'aridité croissante.

En outre, le Protocole de Kyoto oblige les pays développés à fournir le cadre politique et juridique nécessaire pour répondre aux exigences du Protocole, cet engagement étant obligatoire pour réduire la survenance des principaux aléas, tels que les glissements de terrain, les inondations, et les processus de désertification, dont la fréquence a rapidement augmenté dans les régions méditerranéennes les plus sensibles aux changements climatiques (SAVY *et al.* 2012).

Par conséquent, plutôt que de se concentrer uniquement sur la séquestration et le stockage du carbone, la foresterie intelligente face au climat dans les espaces médi-

terraneens et au-delà, doit reconnaître explicitement la quantité importante de services écosystémiques qu'ils fournissent (y compris l'atténuation des changements climatiques, mais aussi beaucoup d'autres), ainsi que les risques et menaces découlant de la fourniture de ces services écosystémiques dans un contexte de changement global. Il se doit de développer une approche globale (plutôt que seulement centrée sur le climat) de l'adaptation aux changements afin de garantir la pérennité des services. Cela s'inscrit parfaitement dans le cadre d'un certain nombre d'initiatives allant du niveau régional au niveau mondial et liées au rôle clé des écosystèmes forestiers dans la fourniture de multiples services écosystémiques.

## Processus internationaux liés au suivi des forêts

La Conférence des Nations-Unies sur l'environnement et le développement (CNUED), connue sous le nom de Conférence de Rio ou Sommet de la Terre, était une conférence des Nations-Unies axée sur les défis environnementaux à l'échelle globale (ONU, 1992). En conséquence, des processus et des accords internationaux pertinents ont été initiés : la Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement, l'Agenda 21 et les Principes forestiers, la Convention sur la diversité biologique (CDB), la Convention-cadre sur les changements climatiques (CCNUCC) et la Convention des Nations-Unies sur la lutte contre la désertification (CNUCED).

La CDB est un traité international juridiquement contraignant visant à élaborer des stratégies nationales pour la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique. La biodiversité forestière est l'un des sept programmes thématiques établis en fonction des principaux biomes. Lors de la dixième réunion de la Conférence des Parties (Japon, 2010), un Plan stratégique révisé et actualisé pour la biodiversité, a été adopté pour la période 2011-2020, intégrant les Objectifs d'Aichi pour la biodiversité. Cela comprend l'adoption de mesures d'urgence pour mettre fin à la perte de biodiversité afin de s'assurer que d'ici 2020, les écosystèmes soient résilients et continuent de fournir des services essentiels. Pour ce faire, les pressions sur la biodiversité doivent être réduites, les écosystèmes restaurés, les res-

sources biologiques utilisées de manière durable et les avantages découlant de l'utilisation des ressources génétiques doivent être partagés de façon juste et équitable. Trois objectifs d'Aichi portent sur la forêt. L'objectif 5 précise que le taux de perte de tous les habitats naturels, y compris les forêts, doit être réduit au moins de moitié et dans la mesure du possible, doit être presque nul et que la dégradation et la fragmentation des forêts doivent être réduites de façon significative ([www.cbd.int](http://www.cbd.int)).

La CCNUCC est un traité international sur l'environnement dont l'objectif est de « *stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère à un niveau qui préviendrait les interférences anthropiques dangereuses pour le système climatique* » (CCNUCC, 2009). La convention fournit un cadre pour les traités internationaux appelés « protocoles ». Le Protocole de Kyoto a été signé en 1997, établissant des obligations juridiquement contraignantes pour les pays développés afin de réduire leurs émissions de GES (VIDAL *et al.* 2016). Dans ce cadre, le Parlement européen et le Conseil de l'Union européenne, vu les traités sur le fonctionnement de l'Union européenne, ont adopté le règlement 2018/241 relatif à l'inclusion des émissions de gaz à effet de serre et des absorptions résultant de l'utilisation des sols, des changements dans l'utilisation des sols et de la sylviculture dans le cadre du programme Climat - Energie à l'horizon 2030, modifiant ainsi le règlement (UE) n° 525/2013 et la décision n° 529/2013/UE. Il établit que, pour les périodes allant de 2021 à 2025 et de 2026 à 2030, chaque État membre veille à ce que ses émissions ne dépassent pas les absorptions, calculées comme la somme des émissions totales et des absorptions totales. Pour ce faire, les États membres déterminent leur niveau de référence forestière (FRL) comme les émissions ou absorptions annuelles nettes moyennes résultant de la gestion des surfaces forestières au cours des périodes mentionnées, en poursuivant des itinéraires techniques garantissant la gestion durable des forêts.

La Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (CNUCED) est un accord international juridiquement contraignant liant l'environnement et le développement de la gestion durable. La CNUCED concerne spécifiquement les zones arides, semi-arides et sous-humides sèches

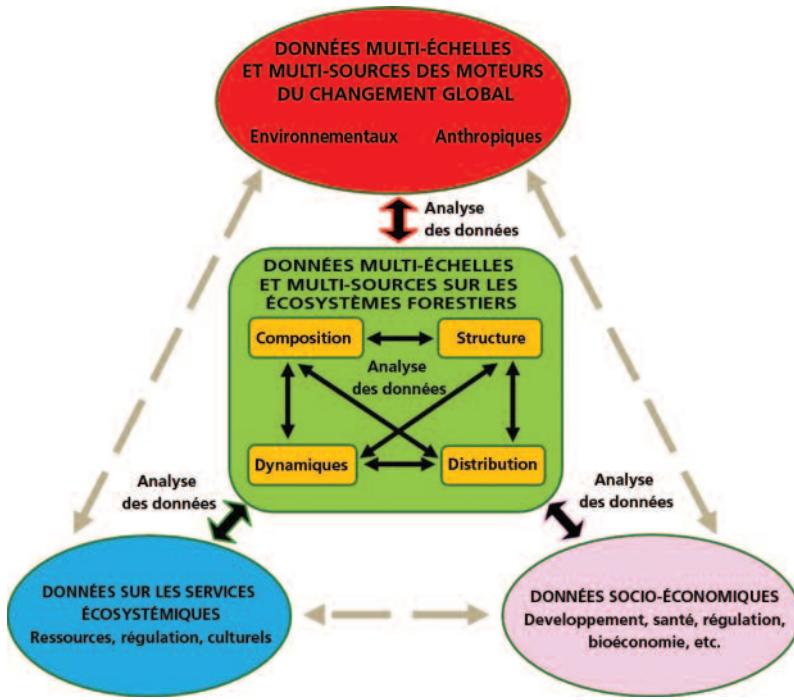
du monde, connues sous le nom de zones sèches ([www.unccd.int](http://www.unccd.int)). Les forêts sont cruciales pour la Convention, car elles sont essentielles pour lutter contre l'érosion des sols. Le boisement et le reboisement sont reconnus comme des moyens pertinents pour réhabiliter les sols dégradés. Lors de la Conférence des Parties de la CNUCED (Turquie, 2015), les Parties se sont engagées dans le programme de fixation des objectifs de neutralité en matière de dégradation des sols (LDN). Le LDN a été défini comme « *un état dans lequel la quantité et la qualité des ressources nécessaires pour rendre les services écosystémiques et améliorer la sécurité alimentaire, demeurent stables ou augmentent à l'intérieur d'écosystèmes et d'échelles spatio-temporelles précis* ». Il a été élaboré pour guider les pays dans la traduction opérationnelle de ces objectifs au travers de stratégies de lutte contre la dégradation des sols.

## Approche holistique, multi-échelle et multi-factorielle du suivi des forêts à l'ère du Big Data

### Cadre conceptuel

L'évaluation du rôle clé des forêts dans l'adaptation et l'atténuation des changements globaux exige des informations scientifiques solides (et des données) (GRASSI *et al.*, 2017). Les données sur les écosystèmes forestiers peuvent principalement être obtenues à partir des efforts de suivi des forêts, où différentes caractéristiques et paramètres forestiers peuvent être mesurés afin de présenter de manière fiable les informations sur les ressources forestières dans le but d'élaborer des politiques et des plans de gestion durable.

Pour être en mesure de relever correctement les défis liés aux changements globaux, le suivi forestier doit donc être compatible avec la nécessité de tenir compte de la complexité des inter-relations entre les écosystèmes forestiers et les hommes et intégrer l'objectif de maintien de la vaste gamme de services rendus par les écosystèmes forestiers, en plus de permettre d'appréhender la complexité de la dynamique et du fonction-



**Fig. 1 (ci-dessus) :**

Cadre conceptuel d'un système de suivi forestier holistique, multi-échelles et multi-sources avec intégration des besoins concernant le fonctionnement des écosystèmes forestiers et leur fourniture de services écosystémiques pour le bien-être de l'humanité dans un contexte de changements globaux.

nement des forêts. Dans le contexte de l'urgence des changements globaux et à l'ère des mégadonnées, un suivi intégré, holistique, multi-échelle et multi-ressources des forêts est nécessaire (Fig. 1).

### Sources de données, éléments et échelles spatio-temporelles multiples

À cet égard, d'une part le suivi forestier doit intégrer des données hétérogènes provenant de plusieurs échelles spatio-temporelles (depuis les arbres individuellement jusqu'au niveau global de l'écosystème et à partir de différentes échelles temporelles et d'outils de suivi) (Fig. 2).

De plus, le suivi des forêts doit intégrer des mégadonnées hétérogènes provenant de sources, de techniques de suivi et des attributs des écosystèmes forestiers multiples, aux différentes échelles spatio-temporelles ci-dessous (Fig. 3) :

– données issues d'expériences et de suivis intensifs à petite échelle ;

– données des inventaires forestiers nationaux (IFN) ;

– données des réseaux régionaux, par exemple les réseaux européens de suivi des forêts PIC sur l'état des forêts : niveau I (16 x 16 km dans toute l'Europe) et niveau II (environ 500 placettes dans des écosystèmes forestiers sélectionnés) ;

– données provenant de réseaux et d'infrastructures répartis à l'échelle mondiale, par exemple ILTER (*International Long Term Ecological Research*), intégrées par des sites de recherche à long terme, y compris pour les écosystèmes forestiers, la biodiversité, les zones critiques et la recherche socio-écologique ;

– données d'études spécifiques, mais à l'échelle mondiale, par exemple *International Tree-Ringdatabank*, qui est la plus grande base de données publique mondiale sur les cernes d'arbres ;

– données issues des techniques de télédétection, du niveau local au niveau national et mondial, par exemple Lidar (PNOA - <https://pnoa.ign.es>, GEDI - <https://gedi.umd.edu>), imagerie satellitaire, etc.

– données génomiques et génétiques, par exemple *Treegenes* ou *The Hardwood Genomics Database* ;

– données de la science participative, par ex. Alerta Forestal - <http://www.alertaforestal.com/es>, GBIF - <https://www.gbif.org>)

Par conséquent, les systèmes de suivi des forêts, l'information et les données devraient tenter de traiter et d'appréhender cette complexité forestière (du point de vue du fonctionnement des écosystèmes et de la fourniture de services écosystémiques) afin de fournir des informations solides à la science et pour aider à l'élaboration des politiques. Pour ce faire, il faut à la fois des systèmes de suivi forestier intelligents et des outils appropriés pour analyser l'information complexe provenant de sources multiples et à échelles multiples (science des données).

**Fig. 2 (ci-contre) :**

Sources de données depuis différentes échelles spatiales.

## Données intégrées et holistiques pour le suivi des forêts : approches, outils et bénéfices

### Approches et outils

Deux techniques principales permettent d'obtenir des données comparables lors de l'intégration de différents ensembles de données : l'harmonisation et la normalisation (KÖHL *et al.* 2000). La normalisation implique que toutes les parties doivent appliquer les mêmes définitions et les mêmes protocoles de terrain. L'harmonisation implique seulement que les estimations finales doivent être comparables rendant possible l'utilisation de séries de données et de définitions existantes au lieu d'établir des systèmes d'acquisition de données nouveaux ou parallèles (VIDAL *et al.* 2016).

L'harmonisation est donc pertinente pour les réseaux étendus ayant des séries de données longues (par exemple IFN) et pour adapter les données collectées à l'évolution des besoins d'information au fil du temps.

La normalisation est probablement la meilleure option lorsqu'un nouveau réseau est mis en place. Des protocoles communs peuvent alors être conçus dès l'origine (par exemple réseau ICP), ce qui est la façon la plus précise pour avoir des données et des informations comparables sur des échelles spatio-temporelles multiples.

Comme la plupart des disciplines scientifiques, le suivi des forêts est au stade de l'accélération de la disponibilité de l'information, ce qui augmente le volume de données à l'échelle mondiale (MANSUY, 2016). Les mégadonnées sont très prometteuses pour tous les secteurs, mais il y a à la fois des défis techniques et des enjeux économiques. L'acquisition, le traitement, l'intégration et le stockage de grands volumes de données sont coûteux et longs et de plus, la propriété et le partage des données doivent être pris en compte (MANSUY, 2016).

Néanmoins, la technologie des mégadonnées et la science des données (par exemple l'intelligence artificielle) connaissent un énorme développement à l'échelle mondiale permettant des analyses et des perspectives de mégadonnées sans précédent. Il y a également une nette augmentation de la collaboration internationale bien que des investissements majeurs soient nécessaires.



Cependant, il ne suffit pas de recueillir et d'analyser dénormes quantités de données sur le suivi forestier. Pour que le partage et l'analyse des données soient efficents et efficaces, des questions clés comme l'accessibilité des données, la transparence, la sécurité et la communication deviennent cruciales. À cet égard, des initiatives telles que les principes directeurs de GO FAIR (Principes d'orientation pour la gestion de données scientifiques et leur gouvernance <https://www.go-fair.org/>) visent à fournir des lignes directrices pour améliorer la détection, l'accessibilité, l'interopérabilité, et la réutilisation des actifs numériques.

Dans le même esprit, la directive INSPIRE prise dans le cadre européen, vise à créer une infrastructure homogène de données spatiales à l'échelle de l'Union européenne pour aider à l'élaboration des politiques de l'UE et pour toutes les actions qui peuvent avoir un impact sur l'environnement. Cette infrastructure européenne de données spatiales permettra le partage d'informations sur l'environnement, facilitera l'accès du public à l'information à travers l'Europe et contribuera à l'élaboration des politiques au-delà des frontières (<https://inspire.ec.europa.eu>). INSPIRE, fournit des documents d'orientation technique non contraignants décrivant les normes, les technologies et les pratiques pour différents ensembles de données en tant que systèmes de référence de coordonnées ou habitats et biotopes.

### Bénéfice de l'intégration de données de suivi forestier de sources multiples et d'échelles variées

Il y a plusieurs avantages à intégrer des données de suivi forestier provenant de multiples échelles et sources. Quelle est la valeur des données de surveillance locales

**Fig. 3 :**  
Exemples de système de suivi forestier multi-sources sur de multiples échelles spatiales.

De la gauche vers la droite :

- 1) dispositifs d'expérimentation à une échelle locale avec suivi des dynamiques fongiques et ligneuses,
- 2) Science participative (exemple de l'Alerta Forestal : ravageurs et autres menaces),
- 3) Inventaires forestiers nationaux ,
- et 4) Prise de données à distance suivant plusieurs échelles et résolutions (global: GEDI lidar, national: PNOA lidar).

par rapport aux données de surveillance plus globales, et vice versa ? Plusieurs complémentarités peuvent être décrites :

Le suivi des forêts à l'échelle locale peut fournir :

- les données expérimentales issues d'études et de suivis locaux très intensifs peuvent fournir des connaissances précieuses pour l'extrapolation à plus grande échelle ;

- les données sur les caractéristiques particulières des écosystèmes forestiers sont rarement suivies dans les écosystèmes forestiers à une plus grande échelle (par exemple la dynamique fongique) ;

- les informations précises sur la dynamique et les facteurs clés forestiers opérant à plus petite échelle.

Le suivi des espaces forestiers à une échelle globale peut fournir :

- de nouvelles données et connaissances non disponibles au niveau local (par exemple structure forestière géographiquement continue basée sur le lidar) ;

- une mise en contexte et un approfondissement des connaissances en fournissant un cadre d'observation et d'analyse plus large que les connaissances et la dynamique des forêts locales ;

- des informations sur la dynamique et les facteurs clés forestiers opérant à plus grande échelle.

être directement comparées (MC ROBERTS *et al.* 2012). Le groupe ENFIN renforce la coopération entre les organismes nationaux d'inventaire forestier, afin :

- de fournir des informations harmonisées sur l'inventaire forestier des forêts européennes ;

- de promouvoir le partage des connaissances ;

- de tenir à jour les systèmes d'information forestière ;

- d'assurer des améliorations continues ;

- de maximiser les synergies entre les IFN et les autres systèmes de collecte de données au niveau européen et international, et

- de garantir l'ouverture aux nouvelles exigences en matière de données forestières pour les nouveaux besoins politiques (CE 2013) (VIDAL *et al.* 2016).

ENFIN a mis au point un processus d'harmonisation pour la définition de références et de correspondances (ALBERDI *et al.* 2016) qui a été pris en considération dans plusieurs projets associés. Dans le cadre du projet DIABOLO (*Distributed, Integrated and Harmonised Forest Information for Bioeconomy Outlooks*) Horizon 2020 (<http://diabolo-project.eu/>), associant 33 institutions scientifiques de 25 pays européens, plusieurs variables et méthodes de développement ont été harmonisées (PACKALEN *et al.* 2019). Les principaux résultats sont les suivants :

- estimation harmonisée et améliorée de différentes variables forestières comme le volume ou la couverture arborée (GSCHWANTNER *et al.* 2016 ; ALBERDI *et al.* 2018) ;

- procédures d'estimation qui combinent les données d'information des inventaires et celles provenant de la télédétection et des cartes (KIRCHOHOEFER *et al.* 2017) ;

- nouveaux modèles ou protocoles fondés sur les inventaires, par exemple pour les produits forestiers non ligneux (PASALODOS-TATO *et al.* 2017) ou attributs liés à la biodiversité forestière (DE LA FUENTE *et al.* 2018) ;

- approche de détection rapide des perturbations (HIRSCHMUGL *et al.* 2017) ;

- scénarios harmonisés du secteur forestier (VAUHKONEN et PACKALEN 2017).

Il y a également eu des contrats-cadres avec le Centre commun de recherche, pour la fourniture de données et de services forestiers avec un consortium de membres du ENFIN. Pour satisfaire les objectifs du programme, une plateforme de données a été

### **Exemples d'intégration et d'harmonisation des données de suivi forestier**

#### **Le réseau européen des inventaires forestiers nationaux (ENFIN) et exemples d'intégration et d'harmonisation des données**

Les inventaires forestiers nationaux sont la principale source d'information sur les forêts pour la plupart des pays. Ils fournissent des informations nationales et internationales. L'information qu'ils enregistrent est guidée par les attributs, les écosystèmes et les classifications des forêts en fonction de l'histoire nationale, de la localisation géographique, des conditions climatiques et des caractéristiques biophysiques (VIDAL *et al.* 2016). Par conséquent, les données recueillies dans les différents pays ne peuvent pas

mise au point en intégrant des données de placettes harmonisées à l'échelle européenne et en fournissant des estimations harmonisées. Il convient de mentionner, par exemple, la fourniture de données harmonisées sur la répartition des espèces d'arbres sur une grille INSPIRE de 1 km x 1 km (SAN MIGUEL AYANZ *et al.* 2016).

## L'Initiative mondiale pour la biodiversité forestière : harmonisation mondiale des données de suivi des forêts multi-échelles et multi-sources

L'Initiative mondiale pour la biodiversité forestière (GFBI – <http://www.gfbinitiative.org/>) est un réseau international de praticiens et de scientifiques forestiers, créé en 2016 dans le but de mieux évaluer la biodiversité forestière, le fonctionnement et les services écosystémiques fondés sur les données mondiales provenant des inventaires forestiers des peuplements, ainsi que sur les questions scientifiques de premier plan sur l'écologie et la gestion des forêts dans le monde (LIANG & DE-IGUEL, 2018). La base de données GFBI couvre actuellement plus de 75 pays avec environ 1,3 million de placettes d'inventaire forestier avec des données au niveau des peuplements comme la composition des espèces et la taille des arbres, ce qui en fait probablement la plus grande base de données mondiale sur les peuplements et les arbres individuels. Les données GFBI sont gérées au centre de données GFBI établi et développé par la plateforme GFBI située à l'université de Lleida (Espagne), en étroite collaboration avec les autres plateformes GFBI. Le système de gestion des données GFBI permet d'intégrer les données locales et mondiales de suivi forestier provenant de sources multiples, et de partager les données conformément aux règlements et aux normes des données GFBI. Cette initiative d'intégration et d'harmonisation des données de suivi forestier mène à des résultats de recherche sans précédent sur la diversité forestière et le fonctionnement des écosystèmes à l'échelle mondiale, par exemple sur la relation entre la diversité forestière et la productivité (LIANG *et al.* 2016) ou sur la biogéographie mondiale des symbioses des arbres forestiers (STEIDINGER *et al.* 2019), contribuant à une percée dans nos connaissances sur les écosystèmes forestiers dans le monde entier.

## Conclusions

Pour conclure, nous entendons souligner que le suivi forestier lui-même (c'est-à-dire la collecte de données) ne suffit pas à approfondir nos connaissances à de multiples échelles sur la dynamique forestière, ses variables clés, la fourniture de services écosystémiques et les répercussions socioéconomiques qui en résultent. Combiner de manière intelligente et utile des informations aussi complexes sur les écosystèmes forestiers à partir d'un large éventail et d'une diversité de systèmes et d'objectifs représentera une percée et un point de basculement vers de nouvelles connaissances scientifiques permettant une prise de décision à plusieurs échelles. Les grands défis à venir sont donc les suivants :

- intégrer des mégadonnées de suivi forestier à plusieurs niveaux, d'origines multiples grâce à des initiatives d'harmonisation et de normalisation, à des capacités de calcul renforcées et à l'aide de l'intelligence artificielle qui permettra de mettre en forme des données utiles pour la prise de décisions, et

- rendre toutes ces mégadonnées, connaissances et dispositifs accessibles non seulement à la communauté scientifique, mais aussi aux responsables politiques et aux décideurs.

Si l'information ne peut être atteinte ou utilisée par un large éventail d'acteurs clés de la société pour éclairer les défis nationaux et mondiaux en matière de forêts et de changements globaux, alors nous ne tirerons pas le meilleur parti de tant d'informations précieuses. En effet, le bien-être humain futur dépend en grande partie de nos connaissances partagées sur les impacts des changements globaux sur les écosystèmes forestiers.

**Sergio DE-MIGUEL**  
Department of Crop and Forest Sciences, University of Lleida, Av. Alcalde Rovira Roure 191, E25198 Lleida, ESPAGNE  
&  
Joint Research Unit CTFC - AGROTECNIO Av. Alcalde Rovira Roure 191, E25198 Lleida, ESPAGNE  
sergio.demiguel@pvcf.udl.cat

## Références

- Alberdi *et al.* 2018. Mean Species Cover: a harmonized indicator of shrub cover for forest inventories. *Eur J Forest Res* (2018).
- Alberdi I, Gschwantner T, Bosela M, Redmond J, Riedel T, Snorrason A, Gasparini P, Braendli UB, Friedman J, Tomter S, Kulbokas G, Lanz A and Vidal C (2016). 3. Harmonisation of Data and Information on the Potential Supply of Wood Resources. In Claude Vidal, Iciar Alberdi, Laura Hernández, John J (Eds). Redmond. National Forest Inventories - Assessment of Wood Availability and Use. Springer
- Birot Y (2011) Water Footprint and our Daily Life: How Much Water do we Use? In: Birot Y, Gracia C, Palahí M (eds.) Water for Forests and People in
- Iciar ALBERDI  
National Institute for Agricultural and Food Research and Technology (INIA)  
Dpto. de Selvicultura y Gestión de Sistemas Forestales. Ctra. La Coruña, Km. 7,5.  
28040 Madrid  
ESPAGNE

- the Mediterranean Region – A Challenging Balance. *What Science Can Tell Us* 1, 114-120, EFI.
- Breidenbach et al. 2016. Empirical coverage of model-based variance estimators for remote sensing assisted estimation of stand-level timber volume. *Remote Sensing of Environment* 173. s. 274-281
- De la Fuente et al. 2018. Natura 2000 sites, public forests and riparian corridors: the connectivity backbone of forest green infrastructure. *Land Use Policy*.
- Grassi G, House J, Dentener F, Federici S, den Elzen M, Penman J (2017) The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. *Nature Climate Change* 7: 220-226.
- Gschwantner, T., Lanz, A., Vidal, C., Bosela, M., Di Cosmo, L., Fridman, J. & Schadauer, K. (2016). Comparison of methods used in European National Forest Inventories for the estimation of volume increment: towards harmonisation. *Annals of forest science*, 73(4), 807-821.
- Hirschmugl et al. 2017. Methods for mapping forest disturbance and degradation from optical earth observation data. *Current Forestry Reports*, 2017, p. 1-14, DOI 10.1007/s40725-017-0047-2.
- Kirchhoefer et al. 2017. Considerations towards a Novel Approach for Integrating Angle-Count Sampling Data in Remote Sensing Based Forest Inventories. *Forests* 8:239. doi: 10.3390/f8070239
- Köhl M, Traub B, Päivinen R (2000) Harmonisation and standardisation in multi-national environmental statistics—mission impossible? *Environ. Monit Assess* 63(2): 361-380.
- Liang J, de-Miguel S (2018) Did you know? The Global Forest Biodiversity Initiative. *Silva Mediterranea Newsletter* 28: 7-8. FAO.
- Liang J et al. (2016) Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. *Science* 354 (6309), aaf8957: 1-12.
- Luyssaert S, Marie G, Valade A, Chen YY, Njakou Djomo S, Ryder J, Otto J, Naudts K, Lansø AS, Ghattas J, McGrath MJ (2018) Trade-offs in using European forests to meet climate objectives. *Nature* 562: 259-262.
- Mansuy, N. (2016). Big data in forest bioeconomy: The good, the bad and the ugly.
- McRoberts RE, Tomppo E, Schadauer K, and Ståhl G (2012) Harmonising National Forest Inventories. *For Sci* 58(3), 189-190
- Packalen T; Lier M; Korhonen KT; Ruusila A; Lind T; Saint-Andre L; Vega C; Hervé JC, Alberdi I, Dees M; Datta P, Harper C , Freudenschuss A; Schadauer K 2019. DIABOLO POLICY BRIEF. Responding to European, national and regional challenges with harmonised forest information. [http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/54380/6/Diabolo\\_policybrief\\_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/54380/6/Diabolo_policybrief_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pasalodos-Tato et al. 2017. Towards assessment of cork production through National Forest Inventories. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 91(1), 110-120.
- San Miguel Ayanz J. et al (2016). European Atlas of Forest Tree Species.-Eds. Publication Office of the European Union, Luxembourg. ISBN: 978-92-79-36740-3.
- Savy D, Nebbioso A, Condor RD, Vitullo M, (2012). The Kyoto Protocol and European and Italian Regulations in Agriculture. Carbon Sequestration in Agricultural Soils: A Multidisciplinary Approach to Innovative Methods 10: 21-37.
- Steidinger BS et al. (2019) Climatic controls of decomposition drive the global biogeography of forest-tree symbioses. *Nature* 569: 404–408.
- UN 1992. Convention on biological diversity <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en> Accessed 10 September 2015.
- UNFCCC (2009) United Nations Framework Convention on Climate Change. [http://unfccc.int/657\\_2860.php](http://unfccc.int/657_2860.php). Accessed 10 September 2015.
- Vauhkonen & Packalen 2017, A Markov Chain Model for Simulating Wood Supply from Any-Aged Forest Management Based on National Forest Inventory (NFI) Data, *Forests*
- Vidal, C., Alberdi, I., Hernández, L., & Redmond, J. J. (2016). National forest inventories. Springer.
- Vidal, C., Alberdi, I., Redmond, J., Vestman, M., Lanz, A., & Schadauer, K. (2016). The role of European National Forest Inventories for international forestry reporting. *Annals of Forest Science*, 73(4), 793-806.

## Résumé

---

**Intégration, dans le cadre de l'Accord de Paris, de données forestières multi-sources et multi-échelles pour répondre aux défis locaux et globaux que rencontrent les écosystèmes forestiers**  
L'Accord de Paris implique, directement ou indirectement, les écosystèmes forestiers comme variable clé pour atteindre les objectifs d'atténuation des changements climatiques. Des recherches récentes suggèrent que les gestionnaires forestiers et les décideurs politiques devraient plutôt mettre l'accent sur l'adaptation des écosystèmes forestiers aux changements climatiques (comme d'autres démarches internationales le demandent), ce qui représente le principal défi qui déterminera également la capacité des forêts à agir comme puits de carbone.

Ceci est particulièrement important pour les écosystèmes forestiers du bassin méditerranéen, pour lesquels les impacts attendus des changements climatiques sont massifs et où la croissance et la vitalité des forêts sont fortement limitées par l'économie en eau. L'évaluation de la capacité des écosystèmes forestiers à s'adapter aux changements climatiques et leur rôle clé dans l'atténuation des changements climatiques exigeant des connaissances scientifiques solides (et des données).

Dans ce but, à l'ère du Big Data, une approche forestière holistique est nécessaire, recueillant des données variées sur des échelles multiples, en utilisant la science des données, pour intégrer des données hétérogènes : i) échelles spatio-temporelles multiples ; ii) sources multiples et techniques variées de pilotage.

Deux exemples pertinents d'harmonisation des données forestières à l'échelle européenne et mondiale sont mis en évidence. Le grand enjeu ensuite consiste à mettre les données à la disposition de la communauté scientifique, des gestionnaires et des décideurs afin qu'ils soient en mesure de relever, à partir de points de vue variés, les défis globaux liés aux forêts.