

Dossier

 AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE
ANR

 Élaboration de **M**odèles pour une **E**stimation **R**obuste et **G**énérique du bois **É**nergie

Le projet de recherche EMERGE soutenu pendant 4 ans par l'ANR et coordonné par l'ONF se termine. Son objet : la refonte des outils de dendrométrie dans le contexte des nouveaux enjeux d'estimation de la ressource bois. Deux dossiers seront consacrés aux principaux résultats. Le premier, ici, présente le projet et la base de données constituée pour répondre aux objectifs, puis les premiers résultats sur les volumes : coefficients d'expansion et de houppier et taux d'écorce. Suivent deux articles sur le potentiel du laser terrestre comme instrument de mesure, avec des résultats factuels sur les applications et le portage logiciel pour une utilisation en gestion et des perspectives plus fondamentales pour la recherche.

- p. 32 Le projet EMERGE pour des tarifs cohérents de volumes et biomasses des essences forestières françaises métropolitaines
par Christine Deleuze, Thiéry Constant, Laurent Saint-André, Alain Bouvet, François Morneau, Antoine Colin, Patrick Vallet, Alice Gauthier et Marc Jaeger
- p. 37 La force de la mise en commun des données des partenaires : inventaire national, gestion et recherche
par Christine Deleuze, François Morneau, Fleur Longuetaud, Laurent Saint-André, Nina Ognouabi, Alain Bouvet
- p. 48 Les coefficients d'expansion pour déduire différents volumes de branches à partir de volumes de tige
par Fleur Longuetaud, Frédéric Mothe, Philippe Desplanches, Antoine Colin, Christine Deleuze
- p. 60 Taux d'écorce pour les principales essences forestières françaises
par Alain Bouvet, Christine Deleuze
- p. 68 Le Lidar Terrestre : une technologie prometteuse pour l'inventaire forestier
par Alexandre Piboule, Michael Krebs, Étienne Tricot, Aurélie Colin
- p. 74 Le Lidar Terrestre : vers un inventaire en volume...
par Thiéry Constant, Mathieu Dassot, Alexandre Piboule

Le projet EMERGE pour des tarifs cohérents de volumes et biomasses des essences forestières françaises métropolitaines

Dans le contexte de son « paquet énergie-climat », l'Union européenne s'est fixé un objectif de 20 % de renouvelable dans son mix énergétique à l'horizon 2020, ambition portée à 23 % par la France suite au Grenelle de l'environnement. La biomasse joue un rôle crucial dans cet objectif puisqu'elle y contribue à hauteur de plus de 50 %. La biomasse forestière est donc pour la France un atout important, la forêt française étant la quatrième d'Europe en surface de production. Si les évaluations nationales de potentiel supplémentaire de bois énergie montrent que la ressource peut répondre à cet enjeu, les évaluations locales et régionales sont souvent plus difficiles, et il en ressort une grande incertitude sur les estimations de volume et biomasse.

La première étape d'une meilleure cohérence entre ces estimations à différentes échelles est le partage des outils de base de cubage, en particulier pour que les estimations volume ou biomasse des gestionnaires puissent s'articuler avec les volumes de référence estimés par l'inventaire forestier national. Par ailleurs les enjeux de gestion durable nécessitent que soient réalisées, en parallèle, des estimations des exportations des éléments minéraux contenus dans les produits supplémentaires récoltés. Pour aller jusqu'au bout de la démarche d'évaluation, ces exportations doivent être mises en regard des gains potentiels en pouvoir calorifique.

Or si les tarifs de cubage des volumes tige sont légion, les outils manquent pour le cubage des houppiers et plus globalement pour les estimations de biomasse, de minéralomasse et de

potentiel énergétique. C'est pourquoi, en 2008, l'ONF et ses partenaires ont proposé au programme « bioénergies » de l'ANR (Agence nationale de la recherche) le projet de recherche EMERGE qui vise à l'Élaboration de Modèles pour une Estimation Robuste et Générique du bois Énergie. Cet article rappelle les principes, les enjeux et l'organisation du projet, qui s'est déroulé de début 2009 à juin 2013 et qui apporte des résultats solides bien qu'il ne puisse encore être question d'outils « clés en main ».

Les estimations de volumes par les gestionnaires forestiers – État des lieux

Les forestiers savent assez bien estimer les volumes marchands, c'est-à-dire le volume de la grume principale, à forte valeur ajoutée. Cependant les estimations de volume à une échelle plus large se révèlent souvent peu cohérentes avec ces estimations fines locales, et cela pour une série de raisons, toutes assez complexes :

■ Le volume marchand n'a pas de définition unique

La définition du volume marchand, parce qu'il est justement associé à une démarche commerciale, est très variable en fonction des usages du produit, avec toute la variabilité liée à l'essence, aux régions et aux filières de transformation. La caractérisation et la définition des produits sont en général données par des découpes, inférieure (gros bout) et supérieure (fin bout), par des hauteurs, ou par des zones de qualité déficiente (« purge » de défauts refusés par un cahier des charges). Typiquement une découpe peut varier en fonction du marché, donc non seulement

d'une région à l'autre mais aussi dans le temps.

Enfin pour une même définition de l'objet mesuré (une tige jusqu'à une certaine découpe, un houppier selon certains critères), la méthode de mesure peut varier : entre un volume géométrique qui est estimé par des mesures de diamètres ou circonférences le long de la grume, et un volume commercial défini comme le volume équivalent d'un cylindre de même longueur et dont la section est celle de la grume à mi-longueur. Pour les branches et houppiers, ou pour les plus petites tiges, le volume est souvent approché par un volume d'encombrement (cubage en stères du bois empilé).

■ Les tarifs de cubage sont très variables d'une essence à l'autre et d'une zone à l'autre

Des outils d'estimation existent pour les compartiments de l'arbre les plus utilisés et pour beaucoup d'essences et de régions. Ils ont été élaborés à partir de données issues de larges campagnes de mesures : des arbres ont été abattus puis précisément cubés afin de construire des équations, ou tarifs de cubage, permettant d'estimer le volume attendu à partir d'une ou plusieurs variables. Ces variables sont le plus souvent le diamètre ou la circonférence à 1,30 m ainsi qu'une hauteur (totale ou de découpe). Les tarifs peuvent ensuite être paramétrés pour tenir compte de spécificités régionales ou sylvicoles (TSF ou futaie par exemple).

À l'ONF, un travail ancien a donné lieu, au tournant du siècle, à un recensement des tarifs archivés par le département recherche à Fontainebleau, soit 624 tarifs de

cubage établis durant les années 1970 à 2000 (figure 1). Mais cela ne reflète qu'une partie des tarifs utilisés à l'ONF, puisque beaucoup d'autres ont été développés localement : selon une estimation récente, il y en aurait plus de 1600. Ils sont souvent plus précis localement et pour un type de produit donné, mais les volumes prédits ne peuvent alors ni être comparés, ni cumulés avec d'autres estimations. Parallèlement, d'autres organismes ont effectué des travaux similaires et ont établi leurs propres tarifs de cubage.

Face à cette profusion, le professionnel a de quoi être désorienté et ne sait pas toujours comment choisir un tarif pertinent. D'autant que, finalement, seule une douzaine d'essences forestières françaises bénéficie de tarifs de cubage et souvent pour une partie de la France seulement et pour certaines structures forestières.

À noter que le volume de l'inventaire forestier national (bois fort tige) est un volume de référence au sens où les mesures et tarifs de cubage sont parfaitement cohérents sur tout le territoire.

■ Les coefficients de houppier aussi sont variables et surtout peu fiables

Au-delà du volume de bois d'œuvre, la part complémentaire de volume de l'arbre (bois d'industrie, bois énergie) est estimée avec des coefficients dits de houppier ou d'expansion, cette fois beaucoup moins précis, les mesures nécessaires pour les établir étant très laborieuses, et les facteurs de variation peu connus et hiérarchisés (essence, âge, structure de peuplement, région...). Les coefficients les plus répandus sont les rapports entre le volume total de l'arbre (houppier complet et tige) rapporté au volume bois fort de la tige, tel que donné par l'inventaire forestier national. Ces coefficients peuvent servir, par exemple, à établir des bilans de carbone ou à estimer la part de menus bois à vocation énergétique à différentes échelles (région, France entière...). À l'ONF,

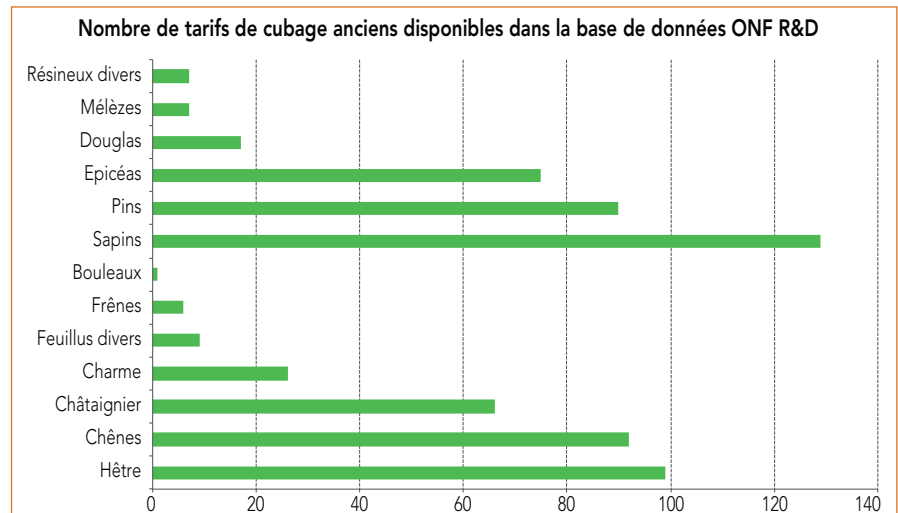


Fig. 1 : répartition par essence des tarifs de cubage répertoriés par Jacky Lipovac et Hilaire Martin dans les archives de la R&D ONF

les coefficients de houppier sont ordinairement liés aux coupes et concernent plutôt le rapport entre le volume bois fort total de l'arbre (tiges plus branches sans les menus bois) et le volume commercial principal de la grume ou volume marchand (qui dépend donc de la découpe choisie).

Ces coefficients varient ainsi selon la définition du volume de référence (figure 2), d'une part, mais aussi selon l'essence, la région, la taille de l'arbre. Dans le contexte du bois énergie, ces incertitudes sont d'autant plus problématiques que les branches représentent une grosse partie des volumes potentiels pour le bois énergie.

Besoins de conversion en biomasse, minéralomasse, pouvoir calorifique

L'estimation des volumes utilisables en bois énergie est donc sujette à un cumul d'approximations. Mais ensuite, quand on en est aux opérations de récolte/approvisionnement, le bois énergie est plutôt évalué soit en biomasse sèche, soit en biomasse fraîche (30 % d'humidité), ce qui nécessite cette fois une conversion par la densité du bois, là encore variable d'une essence à l'autre et selon les conditions de croissance et la période de récolte.

Enfin, il reste une question encore peu connue mais essentielle concernant la ressource que constituent les menus bois, le compartiment le plus fortement concentré en éléments minéraux. Dans un contexte de demande croissante en bois-énergie, il devient nécessaire de pouvoir évaluer la quantité des éléments minéraux qui seraient exportés selon différentes hypothèses de récolte afin de mesurer les risques potentiels d'appauvrissement des sols sur les sites sensibles. Il faut aussi confronter les questions induites de gestion de la fertilité au gain réel, ou bilan net, en énergie, ce qui suppose qu'on puisse aussi estimer le pouvoir calorifique (voir encadré) selon les compartiments et les coupes choisies.

EMERGE, un projet du programme Bioénergie de l'ANR

En 2008, l'ANR a lancé le programme Bioénergies qui, chaque année, ouvre un appel d'offre pour financer des projets de recherche sur les énergies renouvelables. Ces projets visent à évaluer les ressources des différentes formes de biomasse, agricoles, forestières mais aussi dédiées, mobilisables à des fins énergétiques et à trouver les méthodes et techniques pour assurer leur développement (combustible, biocarburant sous forme gazeuse ou liquide).

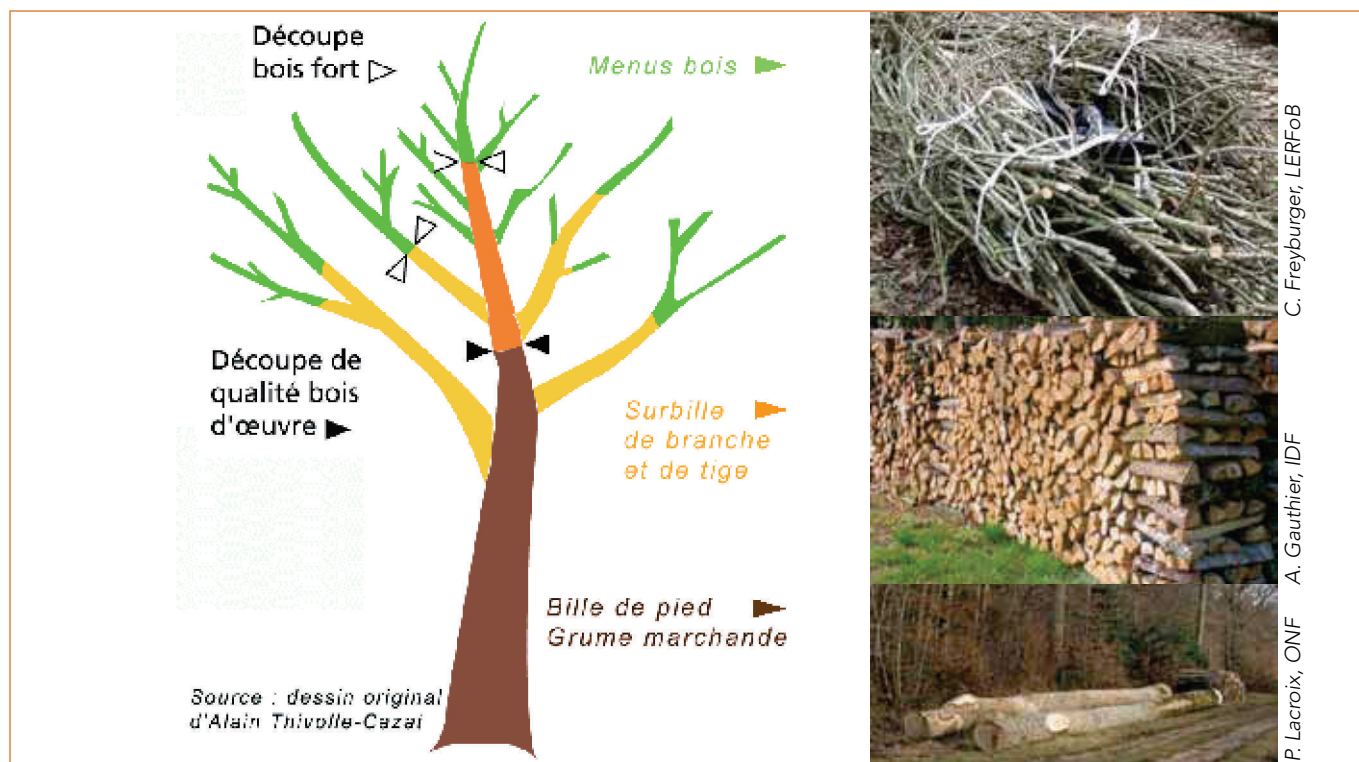


Fig. 2 : schéma des découpes et des types de volume avec illustration de leur réalité physique

Ce schéma sert de fil conducteur aux différents articles des deux dossiers.

Le pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique est la mesure standardisée de la quantité d'énergie contenue dans une unité de masse sèche. Elle s'exprime normalement en joules par grammes (J/g), mais en matière de bois énergie, l'unité est plus souvent kcal/kg, voire kWh/tonne (étude CRITT Bois pour l'ADEME et FIBOIS en 2002).

Il se mesure en assurant une combustion complète dans des conditions standardisées de pression, de température, de quantité d'oxygène et sur un échantillon pesé et séché à 103 °C. Le PCS ou **pouvoir calorifique supérieur** est la quantité de chaleur dégagée lorsque toute l'eau résultant de la combustion est ramenée à l'état liquide. Le PCI, ou **pouvoir calorifique inférieur**, au contraire n'intègre pas la chaleur latente de vaporisation de l'eau qui cette fois reste à l'état de vapeur en fin de combustion (PCS > PCI, la différence étant l'énergie nécessaire à la vaporisation de l'eau contenue à la fin de l'oxydation). Sauf pour les chaudières à condensation, le PCI est plus proche de la chaleur réellement récupérée par combustion dans une chaudière et est donc plus largement utilisé dans la qualification des combustibles.

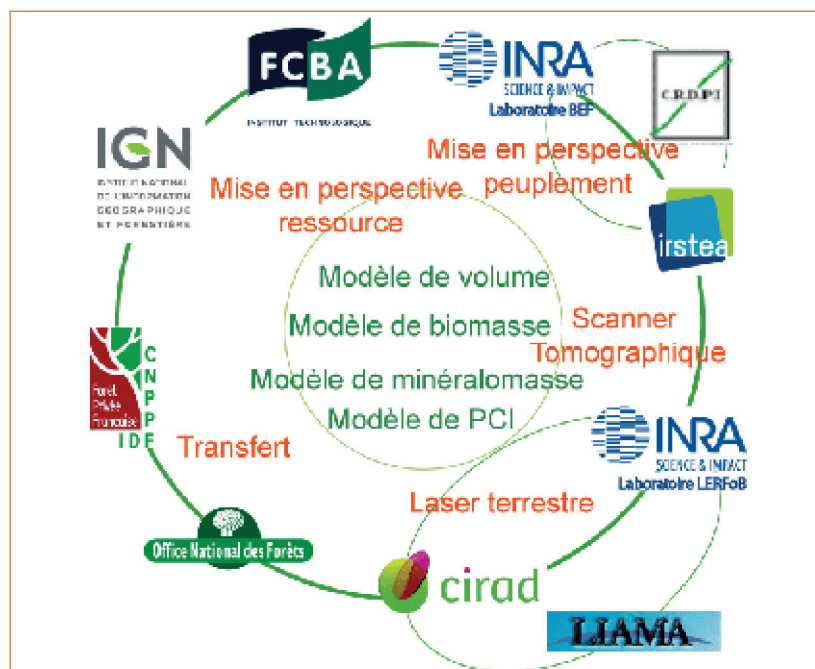


Fig. 3 : organisation des partenariats du projet EMERGE

Tous les partenaires détenteurs de données anciennes ont contribué à la base de données, au cœur de la démarche de modélisation du projet, avec une sous-traitance confiée au CRDPI (Centre de Recherches sur la Durabilité des Plantations Industrielles, au Congo). La modélisation sur les 4 variables clés a ensuite été conduite par les partenaires recherche (INRA-BEF et INRA-LERFoB, FCBA, Irstea, Département R&D ONF). Le LERFoB a assuré l'animation des tâches sur le laser terrestre et le scanner, en collaboration avec l'ONF, le CIRAD et le laboratoire chinois associé, le LIAMA. Les réflexions sur les applications à l'échelle de la ressource ou du peuplement sont menées par l'IGN, FCBA, l'INRA, Irstea et l'ONF. Enfin le transfert, notamment via les revues techniques est assuré par le CNPPF et l'ONF.

Cela a donné à l'ONF l'opportunité de réunir dans un projet commun différents organismes techniques et de recherche afin de travailler sur l'évaluation quantitative et qualitative de la biomasse forestière au niveau de l'arbre : des partenaires recherche (INRA, FCBA, Cemagref devenu Irstea, CIRAD), un institut technique (IFN fusionné depuis avec l'IGN) et des représentants des gestionnaires, CNPPF pour la forêt privée et ONF pour la forêt publique (figure 3). Ce projet, baptisé Emerge, a bénéficié sur 4 années et pour les 7 partenaires impliqués, d'une subvention de 731 k€ de l'ANR sur un coût total évalué à 2,3 M€. Mais au cours de ces années, plusieurs autres projets ont vu le jour et ont pu être financés grâce au partenariat né dans Emerge. Ce projet a été coordonné par le département R&D de l'ONF.

Enjeux du projet

Face au constat de disparité, hétérogénéité et insuffisance des outils existants, l'objectif du projet Emerge a donc été de construire des tarifs de volume, biomasse ou minéralomasse assez robustes pour être utilisés dans différentes régions et pour les principales essences forestières métropolitaines.

Quatre exigences sur les outils d'estimation

L'enjeu du projet est donc avant tout de rassembler le savoir-faire de tous les partenaires forestiers concernés par cet objectif (l'Inventaire forestier national de l'IGN, les organismes de gestion et les organismes de recherche) afin de développer des modèles d'estimation « intégrés » répondant à 4 contraintes :

- compatibilité entre les grandeurs utilisées : volume, biomasse, minéralomasse et pouvoir calorifique ;
- généricité pour les différentes essences forestières tempérées, sachant que l'inventaire forestier national en recense plus de 60 ;
- robustesse quelles que soient l'origine

des peuplements, leur structure, leur fertilité, leur taille ;
- cohérence quel que soit ensuite le niveau de découpe pour la tige et/ou le houppier.

Finalement l'ambition est de pouvoir quantifier le bois énergie selon des procédures claires, stables, opérationnelles, à vocations multiples. Pouvoir par exemple estimer la biomasse de menus-bois d'une coupe, de manière cohérente et compatible avec le volume de bois d'œuvre associé, et en déduire l'impact potentiel sur la fertilité des sols en terme d'exportation d'éléments minéraux.

Il existe déjà pour tous ces aspects ou presque des outils, des tarifs, des facteurs de conversion, mais plus on s'écarte du cas standard (l'essence bien connue, le volume commercial le plus classique, le type de peuplement, la technique d'exploitation...), plus les données et les outils sont rares. Avec la difficulté supplémentaire qu'ils ont souvent été développés séparément, sans souci de cohérence entre eux. L'ambition est donc de revisiter toutes ces estimations simultanément, en rassemblant les données disponibles chez chacun des partenaires, et en cohérence afin de développer des outils plus robustes. C'est aussi de se donner des outils pour des essences « grises », c'est-à-dire des essences non couvertes par les données/outils disponibles dans une région, voire en France. C'est enfin de partager, les données, les méthodes de modélisation et les outils générés entre les différents organismes.

Une volonté de tester le potentiel des technologies modernes en dendrométrie

L'arrivée en métrologie des lasers a révolutionné les méthodes de mesures en travaux publics et en géomatique. De même, elle ouvre des horizons nouveaux en dendrométrie. Aussi, en parallèle des travaux de modélisation, le projet intègre des études plus prospectives sur les outils modernes : le laser terrestre

pour estimer des grandeurs 3D des arbres en condition de terrain et le scanner tomographique à rayon X pour explorer la variabilité de densité interne des bois (figure 4).

Des résultats à différents niveaux

Ce projet se termine en juin 2013. Il a permis tout d'abord de mettre en commun les archives de données de cubage et de biomasses à différentes échelles, véritable socle d'un travail de construction transversale de nouveaux outils d'estimations de volume, biomasse, minéralomasse, PCI (voir l'article suivant). Les travaux de recherche ont donné lieu à plus d'une trentaine de publications dans des revues scientifiques ou des colloques de chercheurs, et d'autres sont encore en phase de rédaction.

Nos RenDez-Vous techniques vont retracer dans deux dossiers les grandes lignes des résultats acquis pendant ce projet, prioritairement ceux qui peuvent être intéressants pour les gestionnaires. Après la présente introduction générale, le premier consacre un article aux données réunies pour le projet, puis s'intéresse aux travaux de modélisation : ceux de l'INRA sur les coefficients d'expansion et de houppiers, puis ceux de FCBA sur les pourcentages d'écorce. Il se termine sur deux articles autour du Lidar terrestre, car le projet Emerge a été l'occasion pour l'ONF d'explorer le potentiel de cet outil et ses apports pour la gestion : l'un porte sur les aspects opérationnels, tandis que l'autre traite des perspectives plus larges en recherche issues des travaux du LERFoB. Le second dossier concernera le cœur du projet autour de la modélisation des volumes, de la biomasse, de la minéralomasse et du PCI par l'INRA et l'ONF, les avancées sur l'outil scanner tomographique pour comprendre la structure interne des arbres, et enfin des exemples de mise en perspective de ces nouveaux outils pour les applications aux peuplements ou à la ressource.



Fig. 4 : les nouveaux outils : le laser (ou Lidar) terrestre et le scanner tomographique

En haut, la prise de scans Lidar en forêt de Pélicier et, à droite, l'exemple d'un scan en forêt de Champenoux; en bas, le scanner tomographique du LERFoB et, à droite, les scans d'une rondelle fraîche puis séchée.

M. Dassot, LERFoB

C. Freyburger, LERFoB

Les lecteurs constateront que ce projet a permis de mettre en réseau un certain nombre de chercheurs et gestionnaires, de rassembler les données, les questions, les approches de différentes disciplines, et de bâtir un socle commun pour répondre à l'ambition initiale. Aussi bien en terme de modélisation que sur les développements méthodologiques autour des scanners, le cercle déjà large des partenaires du projet s'est étendu à l'étranger avec d'autres organismes de recherche ou techniques, des universités et des instituts étrangers, afin de confronter et partager nos résultats.

Quelques outils généraux ont été construits et peuvent être utilisés dès à présent, d'autres sont à venir en fonction des besoins des gestionnaires, des chercheurs et de l'Inventaire forestier national. La phase d'assimilation des résultats et de déploiement des outils devra être prise en charge en interne par les différents organismes mais le partage du socle initial permettra d'assurer la cohérence entre les estimations.

Au travers des différents articles plus techniques qui suivront nous essaierons de vous présenter ce socle : les résultats acquis, les possibilités de développement en fonction des besoins et des priorités, mais aussi les perspectives ouvertes pour la recherche.

Christine DELEUZE

François MORNEAU

ONF, Département R&D

Thierry CONSTANT

Laurent SAINT-ANDRÉ

INRA, Laboratoires LERFoB et BEF

Alain BOUVET

FCBA, Direction Innovation Recherche

Antoine COLIN

IGN, Département expertise forestière et environnementale

Patrick VALLET

Irstea UR EFNO, Écosystèmes forestiers

Alice GAUTHIER

IDF-CNPPF

Marc JAEGER

CIRAD, UMR Amap

Remerciements

Le pilotage technique de ce projet de recherche a été assuré par les représentants des partenaires, co-auteurs de cet article, mais aussi par Alexandre Piboule, Fleur Longuetaud, Frédéric Mothe : merci à eux.