



HAL
open science

La force de la mise en commun des données des partenaires : inventaire national, gestion et recherche

Christine Deleuze, François Morneau, Fleur Longuetaud, Laurent Saint-André
Saint Andre, Nina Ognouabi, Alain Bouvet

► **To cite this version:**

Christine Deleuze, François Morneau, Fleur Longuetaud, Laurent Saint-André Saint Andre, Nina Ognouabi, et al.. La force de la mise en commun des données des partenaires : inventaire national, gestion et recherche. Rendez-vous Techniques de l'ONF, 2013. <hal-03009939>

HAL Id: hal-03009939

<https://hal.science/hal-03009939v1>

Submitted on 17 Nov 2020

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

La force de la mise en commun des données des partenaires : inventaire national, gestion et recherche

Le projet EMERGE a réuni en consortium les principaux acteurs forestiers ayant développé des outils d'estimation de volume et biomasse à différentes échelles. Compte tenu de l'ambition du projet, exposée dans l'article précédent, une tâche fondamentale a été de collecter les mesures de cubage plus ou moins détaillées, ainsi que les mesures plus récentes de biomasse et minéralomasse, archivées depuis des décennies par ces organismes, pour pouvoir disposer de la puissance d'analyse nécessaire. Les collecter puis les réunir sur une même plateforme de base de données paraît élémentaire, mais c'est en soi un résultat original et d'une portée considérable.

Cet article vise à présenter les différentes bases de données concernées, leurs complémentarités, ainsi que leurs limites et les mesures supplémentaires qui ont été nécessaires. Ce faisant, il donne une idée de la valeur exceptionnelle du travail accompli, bien au-delà du projet lui-même.

Méthodes de cubage : une longue tradition forestière

Le projet EMERGE a bénéficié d'une longue tradition de dendrométrie française, que l'on observe dès les années 1930 avec la mise en place par Oudin (Inspecteur principal des Eaux et Forêts, chef de la première section de la station de recherches et expériences forestières à Nancy) d'un protocole national de cubage des arbres pour les principales essences forestières gérées (figure 1).

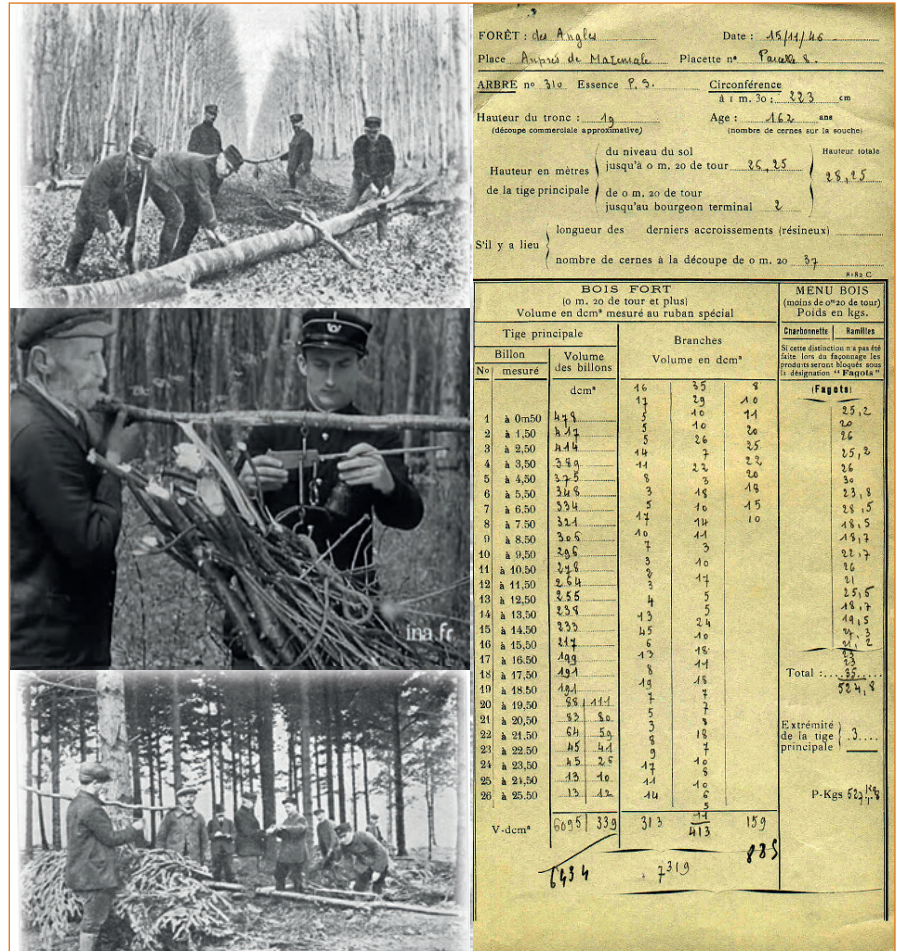


Fig. 1 : photos d'archives sur le protocole Oudin de cubage complet des arbres en 1930, avec les pesées de menus bois ainsi que l'exemple d'une fiche papier scannée

des manipulations minutieuses et fastidieuses, mais indispensables pour ménager une ressource fragile et préserver son organisation.



Fig. 2 :

classement des fiches des archives INRA, pour scannage avant saisie...

Travaux anciens de cubage initiés en 1930 par Oudin

Le protocole Oudin avait pour objectif d'obtenir des tarifs de cubage pour toutes les parcelles expérimentales suivies par la station de recherche à l'occasion d'exploitation d'éclaircies ou de coupes finales. La méthode était graphique, selon l'approche du professeur Hüffel (1919), pour donner une courbe moyenne, tracée à la main, entre des volumes et des circonférences. Dès cette époque, le volume était séparé entre le volume de tige ou de branche découpé bois fort et le volume de menus bois (figure 1).

Le dispositif expérimental général - et donc ces mesures de cubage - concernaient les principales essences forestières utilisées en gestion, réparties sur les grands massifs forestiers représentatifs pour ces essences, souvent en forêt publique. Les arbres étaient choisis au moment du martelage pour représenter toutes les classes de diamètre du peuplement initial et des arbres abattus. Le volume de la tige était mesuré par un cubage systématique de billons de un mètre, avec un ruban spécial donnant le volume en dm^3 à partir de la circonférence à mi-hauteur du billon (mesures à 0,50 m, 1,50 m, etc.). Ces mesures permettent de reconstituer le profil des troncs mètre par mètre. Les branches étaient cubées de la même manière et l'ensemble des menus bois (en deçà de la découpe 7 cm) était estimé par pesée. Un échantillon de menus bois permettait d'établir pour la coupe le lien poids-volume de ces menus bois. Une partie des tiges pouvait être ensuite écorcée pour donner des profils d'écorce le long des troncs.

Une fiche standard associée à ce protocole a ensuite été construite et l'ensemble, déployé sur toute la France, est resté en vigueur jusque dans les années 80 ! Toutes ces fiches papier ont été conservées dans les archives INRA à Champenoux et leur nombre a été estimé à environ 80 000. Les menus bois n'ont cependant

été mesurés que jusque dans les années 50 (soit finalement environ 13 000 arbres avec les branches et menus bois).

Le protocole de cubage de l'Inventaire forestier national dans les années 60

De son côté, l'Inventaire forestier national a mis en place dans les années 60 un protocole de cubage d'une partie des arbres mesurés afin d'obtenir des tarifs de cubage pour l'ensemble des arbres inventoriés. Jusque fin 1983, l'IFN a réalisé des mesures de cubage sur les tiges et sur les surbilles de branches (découpe marchande) avant de s'en tenir à la seule tige principale.

Ces données anciennes de cubage couvrent 99 couples département-cycle IFN. Seuls 4 départements ne possèdent pas de tels cubages (17, 64, 70 et 85) et 12 seulement ont été mesurés sur 2 cycles à une dizaine d'années d'intervalle (05, 07, 12, 21, 25, 26, 30, 49, 53, 57, 69 et 88). Au total 1 106 099 arbres ont pu être rassemblés venant de cette base de données.

Les données sur les placettes sont celles disponibles dans le protocole IFN de l'ancienne méthode : structure, propriété, département, année du relevé. Les données arbres sont les données du protocole inventaire (voir encadré), qui permettent de

La référence nationale du volume bois-fort tige de l'IFN : protocole et méthode de calcul

Le volume bois fort de la tige est estimé par l'IFN avec un protocole de mesure et de calcul standardisé depuis les années 60 ce qui en fait un volume de référence pour la ressource française.

Le protocole « inventaire » schématisé sur la figure ci-contre indique les variables mesurées sur le terrain : l'essence de l'arbre, D_{13} le diamètre à 1,30 m, H_{tot} la hauteur totale, D_{26} le diamètre à 2,60 m, c'est-à-dire à la hauteur supérieure du premier billon, H_{dec} la hauteur de fort décrochement ou de défaut et hauteur supérieure du second billon, avec D_d le diamètre à cette hauteur, et enfin D_m le diamètre médian du second billon. Le volume de la surbille de la tige au-delà de H_{dec} est ensuite estimé par cubage de billons réguliers jusqu'à la découpe bois fort. S'y ajoutaient jusque fin 1983 des mesures de surbilles de branches jusqu'à une découpe marchande.

Sur ces mesures standardisées, le volume de référence IFN est calculé par la somme de 3 volumes :

- le volume commercial du premier billon jusqu'à la hauteur de 2,60 m, avec la formule de Huber,
- le volume géométrique du second billon jusqu'à la hauteur de H_{dec} avec la formule de Simpson,
- la somme des volumes commerciaux des billons de tige pour la surbille.

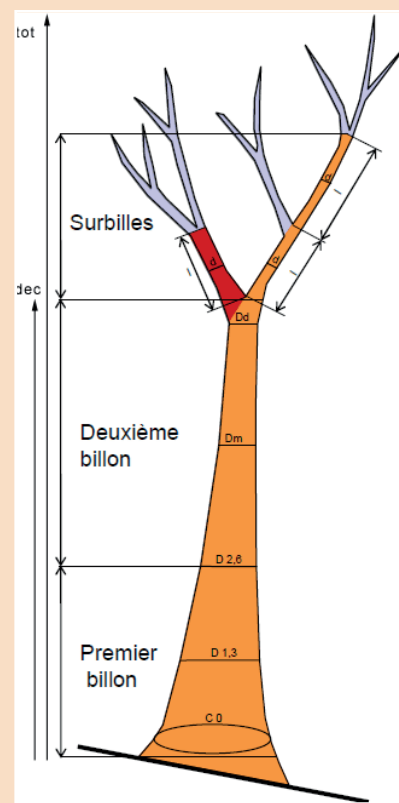


Schéma des mesures du protocole cubage de l'IFN

En orange la tige jusqu'à la découpe 7 avec une partie de surbille au-delà de H_{dec} ; en rouge la surbille de branche.

reconstituer le volume de tige découpe bois fort (diamètre de 7 cm) et de surbilles de branches de chaque arbre (Meurillon, 2009). Ce protocole utilise une variable particulièrement informative sur la forme de l'arbre et donc pour son volume : Hdec, la hauteur de découpe de la tige, correspondant à une découpe 7 cm lorsque la tige ne présente aucun décrochement ni défaut, mais qui rend compte de la découpe bûche-ron sinon.

La force de ces données, d'ailleurs échantillonnées dans ce but précis, est leur représentativité nationale en terme d'essences (plus de 60 répertoriées dans la ressource française), de couverture géographique, de conditions de gestion (ou de non-gestion d'ailleurs), et sur une période de plus de 50 ans maintenant.

Un recensement complémentaire des volumes demandé au Centre Technique Forestier Tropical

À la même époque, l'État et des industriels ont confié au CTFT des mesures sur des chantiers d'exploitation afin d'acquiescer des estimations de cubage dans les régions non couvertes les premières années par l'inventaire forestier. Ont donc été exclues de cette campagne les 4 régions déjà mesurées à l'époque par l'IFN : Aquitaine, Auvergne, Corse et Nord-Pas-de-Calais.

Le protocole, assorti d'une fiche standard, était un peu différent de celui de l'IFN, avec des mesures jusqu'à la découpe 4 cm, et il a été appliqué à :

- 15 000 arbres de futaie (profil de tige sur et sous écorce jusqu'à découpe 4 cm et profil de branches jusqu'à découpe 4 cm);
- 15 000 arbres de taillis (uniquement profil de tige sur écorce jusqu'à la découpe 4 cm).

Les travaux partagés de cubage en gestion : protocoles 1972 et 1983

Enfin différents acteurs forestiers se sont par ailleurs coordonnés et ont

mis en place dès les années 70 un protocole commun pour construire des tarifs de cubages utilisés ensuite en gestion. Ce protocole, rédigé en 1972 par l'Office National des Forêts (département R&D à Fontainebleau), était commun avec l'Association Forêt-Cellulose (intégrée dans FCBA en 2007), le Centre National de la Recherche Forestière (INRA), les Centres Régionaux de la Propriété Forestière, le Centre Technique Forestier Tropical (devenu CIRAD-Forêt en 1984), le Centre Technique du GREF (devenu Cemagref, puis Irstea en 2011), l'École Nationale des Ingénieurs des Travaux des Eaux et Forêts, (intégrée à l'ENGREF, puis AgroParisTech en 2007), l'Institut pour le Développement Forestier (intégré au CNPPF, devenu CNPF en 2010), l'Inventaire Forestier National (intégré à l'IGN en 2012). Annexées à ce protocole national, des fiches standardisées étaient disponibles, ainsi qu'une codification homogénéisée (codes essences, codes structures, codes régions, etc.).

Plus simple que le protocole Oudin cité précédemment, la méthode s'attachait principalement au cubage de la tige par dixièmes de hauteur, avec en plus des mesures de circonférence à certains niveaux caractéristiques; pouvait s'y ajouter, dans certains cas, le cubage des branches jusqu'à la découpe 7 cm, mais aucune mesure de menus bois. En revanche l'objectif était plus large que les quelques essences étudiées en recherche sylvicole par Nancy et concernait toutes les essences utilisées en gestion et commercialisées. En 1983 ce protocole national a été repris et consolidé par le même groupe d'organismes afin de mieux préciser la nature et la définition des mesures à réaliser, ainsi que l'échantillonnage.

Au département R&D de l'ONF, les mesures fournies pour la construction de tarifs (pour une essence et une région) ont été systématiquement saisies et conservées, si bien qu'une base de données a pu être construite

au démarrage du projet EMERGE : environ 28 113 profils d'arbres dont 286 avec des branches (charme et hêtre) avec le protocole de 1972 et 14 759 profils d'arbres dont 1 635 avec des branches (chêne et hêtre surtout) pour le protocole 1983. Ces données ont été récoltées dans les forêts de l'État et des Collectivités. En parallèle, FCBA a conservé de son côté les données issues de ces mêmes protocoles, soient 12 851 profils d'arbres supplémentaires concernant plutôt des forêts privées.

D'autres études avec des protocoles dédiés

Par ailleurs, des données d'études réalisées selon des protocoles un peu différents ont été archivées par exemple à l'IDF et Irstea; elles donnent des mesures complémentaires sur quelques essences (par exemple des mesures de châtaignier venant de l'IDF).

Les données de biomasse et minéralomasse : une origine INRA

En parallèle de cet ensemble de données concernant les volumes, des mesures de biomasse et minéralomasse ont aussi été rassemblées, mais l'historique en a été plus rapide puisqu'il s'agissait de données de recherche sur une trentaine d'années, émanant principalement du laboratoire de BEF-INRA, avec un protocole standardisé. D'autres établissements, notamment FCBA (ou plutôt à l'époque l'AFOCEL), ont aussi réalisé ce type de mesures, mais en collaboration avec BEF-INRA et selon le même protocole, elles étaient donc aussi conservées au laboratoire BEF-INRA.

Au démarrage du projet, des mesures de biomasse et minéralomasse (concentrations en C, N, P, K, Ca, Mg, S, Na, Mn et Al) étaient disponibles par compartiments, c'est-à-dire par découpes et tige/branche, avec une séparation de l'écorce au-delà de la découpe 7 cm, pour environ 1 367 arbres.

Par ailleurs des mesures de biomasse seule existaient pour 6 500 arbres dont plus de 4 000 peupliers (données FCBA).

L'ensemble des échantillons manipulés pendant 30 ans par l'équipe BEF-INRA puis enrichi par les campagnes de terrain EMERGE a été conservé sous forme de poudre de bois sèche et représente une véritable xylothèque pour des analyses complémentaires (autres mesures physiques ou chimiques, autres protocoles de laboratoire).

Organisation des données

Les données « historiques » que nous venons de présenter existaient au démarrage du projet, sous forme

papier (fiches INRA et CTFT), sous forme de fichiers informatiques (en format texte par exemple pour les données ONF, avec un fichier par lot d'arbres), et même parfois sous forme de base de données (données IFN et FCBA), mais elles pouvaient être aussi éparpillées dans différents fichiers numériques (Excel ou autre format). Il a fallu, pour les rendre réellement disponibles et utilisables, un énorme effort de saisie et de compilation.

Échantillonnage, scan et numérisation des fiches papier

Le plus rude a évidemment été de traiter les fiches papier : les 80 000 fiches INRA et les 30 000 fiches CTFT. Finalement 53 000 fiches INRA seulement et

toutes les fiches CTFT ont été scannées sur une période de plus de 8 mois (figure 2). Ensuite, il a fallu numériser (saisir) les entêtes de ces fiches, à savoir les données générales sur le peuplement et l'arbre échantillonné (forêt, place, date, C130, différentes hauteurs) ainsi que les données calculées (volumes de la tige, des branches et parfois des menus bois), que l'on appelle « méta-données » ; ce qui a demandé près de 14 mois. Sur ces premières données générales, un second échantillon d'environ 18 000 fiches a été intégralement numérisé, avec les profils détaillés des tiges, de l'écorce et des branches. Cette dernière tâche a duré 8 mois et s'est terminée par une consolidation générale des données, si bien que des tests

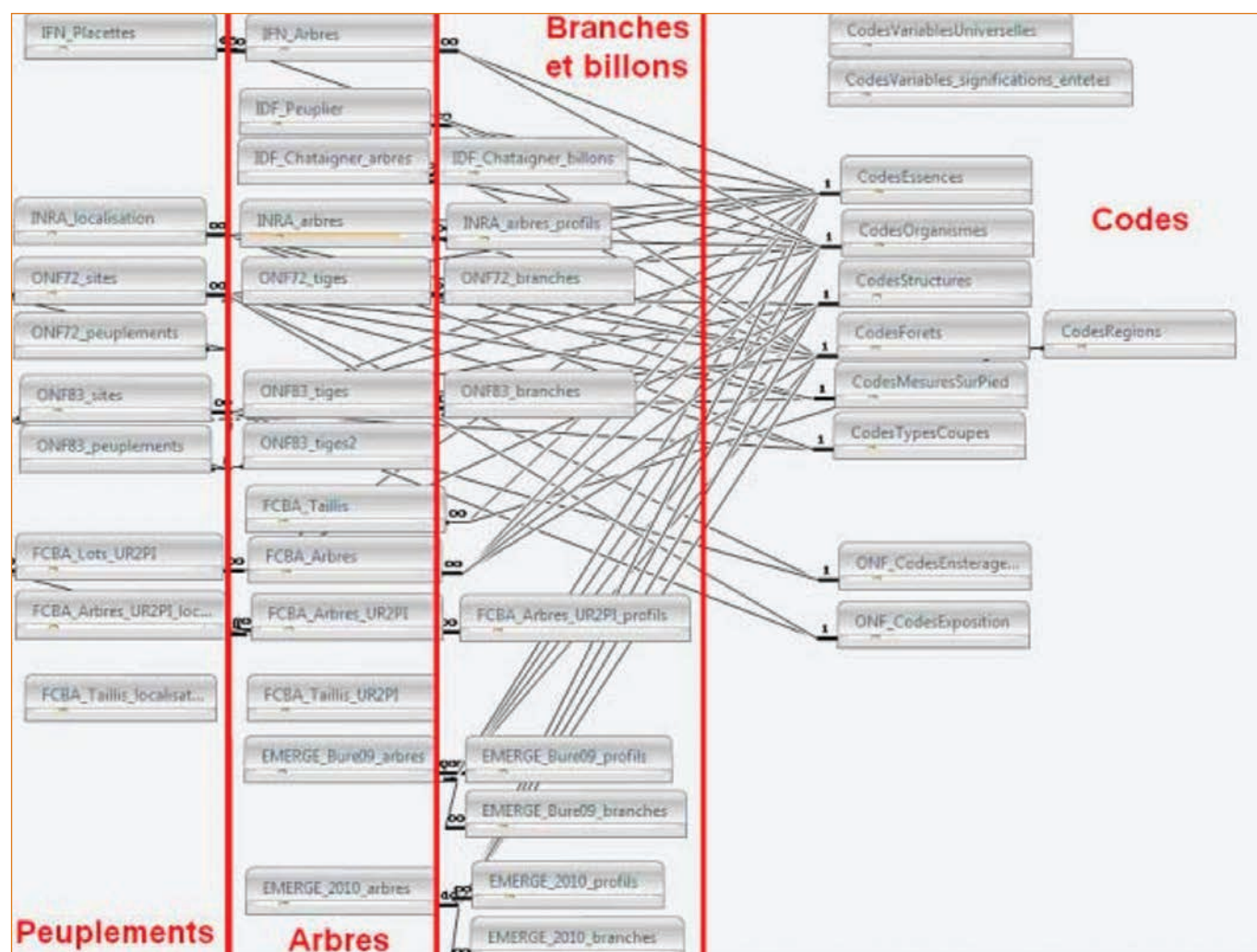


Fig. 3 : schéma relationnel des bases de données EMERGE, avec 3 échelles : peuplement, arbre et intra-arbre (branches ou profils), ainsi que les tables documentaires (codes partagés)

Chaque table est nommée avec une indication de l'organisme propriétaire (ifn_, inra_, fcba_, onf_, emerge_, idf_).

effectués ensuite ont montré un taux d'erreur de saisie de 0,03 %, ce qui est extrêmement faible compte tenu de la masse des fiches numérisées et parfois de leur qualité de conservation. À noter que, pour les 18 000 fiches complètes, des vérifications de calculs (cumuls des cubages par billons ou des pesées par fagots) ont révélé un taux d'erreur sur les fiches papier elles-mêmes d'environ 1,5 % dont une partie a pu être corrigée lors de la saisie (les calculs de longues colonnes de chiffres comme sur la fiche de la figure 1 se faisaient à la main!).

Même si les différentes étapes se sont en partie chevauchées, l'ensemble de ces données anciennes n'a été complètement disponible à la modélisation qu'à l'été 2011, avec des vérifications jusqu'en été 2012.

Des bases de données indépendantes, mais homogènes, dans une plateforme commune

L'ensemble des données numérisées, ainsi que les bases de données préexistantes ont été vérifiées et homogénéisées puis versées sur une plateforme commune de base de données de près de 500 Mo hébergée sur un serveur à l'INRA de Champenoux et administrée par le partenaire INRA. Depuis février 2012, chaque partenaire peut y accéder à distance avec un accès sécurisé. Cette plateforme EMERGE (figure 3) contient plusieurs tables que l'on peut regrouper en différentes catégories :

- tables générales, d'information; elles ne sont pas nécessaires à la récupération ou l'exploitation des données;
- tables de codes (CodesEssences, CodesOrganismes, CodesVariables); elles sont nécessaires pour faire correspondre des variables parfois codées (exemple : numéros d'essences) entre différents organismes de façon homogène;
- tables de cubage au niveau arbre; elles contiennent par exemple le

genre, l'espèce, la hauteur, la circonférence à 1,30 m...

- tables aux échelles supérieures (lot, peuplement); elles contiennent par exemple le type d'exploitation, l'exposition, l'altitude...
- tables aux échelles inférieures (branche, billons); elles contiennent par exemple des données de circonférence de la tige sur et parfois sous écorce à différentes hauteurs (profils) et des mesures de branches. Un fichier des tables est disponible pour décrire les différentes variables, leur définition, leur unité.

Cette plateforme a été créée comme outil de travail du projet, mais l'ensemble des partenaires s'est accordé pour souscrire une nouvelle convention de consortium de façon à continuer à partager ces données au-delà de la fin du projet EMERGE.

Deux campagnes de mesures complémentaires réalisées pendant le projet

Les données ainsi rassemblées sont la force des partenaires pour construire les tarifs « intégratifs » prévus. Il fallait cependant des mesures supplémentaires pour garantir la cohérence entre les protocoles d'origine et entre les différentes variables, et pour compléter les données sur les aspects mal couverts par cette ressource « historique ». Ainsi deux campagnes de terrain ont été menées les deux premiers hivers du projet sur plus de 200 arbres supplémentaires. L'ensemble des données citées précédemment ont été acquises simultanément sur ces arbres : cubage, pesées, échantillonnages de minéralomasse et scans à rayon X sur un échantillon de rondelles. Le second hiver, l'acquisition d'un Lidar terrestre a permis de rajouter les scans Lidar sur pied (avant abattage) des arbres échantillonnés.

Un échantillonnage choisi pour combler quelques lacunes

Les essences ont été choisies pour combler les lacunes les plus impor-



EMERGE

Fig. 4 : coupe de branches avant abattage sur chêne pubescent (Jérôme Desviaux, ONF) pour éviter les casses qui compromettraient les mesures

tantes des données anciennes, en particulier en fonction des manques sur les données en biomasse et minéralomasse : essences peu représentées, avec une faible couverture géographique ou de conditions de croissance (comme la structure forestière), ainsi que des essences potentiellement intéressantes à des fins énergétiques. Par exemple des hêtres et des chênes de réserve de taillis-sous-futaie ont été choisis pour évaluer les différences de répartition de biomasse et de concentration en minéralomasse pour ces arbres aux houppiers particulièrement développés.

Dès le premier hiver, l'INRA-BEF a piloté, sur le site d'étude de Bure en forêt domaniale de Montiers (55), une campagne de mesures concernant 32 hêtres et 23 érables pour tester l'effet d'un gradient de sol, mais aussi 5 hêtres et 5 chênes de réserve de TSF ainsi que 8 bouleaux, 10 charmes, 9 érables champêtres et 7 trembles parmi les arbres de taillis du TSF.

Suite à ces premières données, un second échantillonnage a été décidé en décembre 2009 par le comité de pilotage pour élargir le spectre en essences, domaine géographique et conditions de croissance. La seconde

campagne de terrain a été pilotée par l'INRA-LERFoB et l'ONF sur 4 régions contrastées avec des questions complémentaires :

- près de Nancy (54), en forêt de Champenoux, un gradient de sylviculture et d'âge a été testé sur chêne sessile avec 6 arbres d'une expérimentation IDF dans un perchis (3 arbres détourés et 3 témoins) ainsi que 12 arbres d'un dispositif d'éclaircies INRA pour deux densités contrastées, avec ou sans fourche, et 3 gros arbres de réserve de TSF;
- près de Manosque (04), en forêt de Pélicier, 3 stades de développement du chêne vert ainsi qu'un vieux peuplement de pins d'Alep ont été ciblés. Pour ces essences à feuillage persistant, le protocole a été adapté afin de mesurer la biomasse et la minéralomasse des feuilles et aiguilles;
- près d'Eauze (32), 4 sites ont été sélectionnés pour les essences : aulne, robinier et chêne pubescent (8 arbres chacun) en forêt communale d'Estang et en forêt privée sur la commune de Montréal, mais aussi des eucalyptus en deuxième rotation d'un TCR en forêt privée sur la commune de Castelnau d'Auzan (3 brins par cépée, pour 6 cépées);
- enfin en forêt domaniale de Saint Gobain (02), d'autres essences ont été choisies : tilleul, bouleau, frêne, aulne (toujours 8 arbres par essence).

Ces campagnes de terrain ont été les premières occasions d'échanges techniques sur les protocoles : INRA BEF et LERFoB en 2009, puis tous les partenaires en 2010 (voir l'encadré en fin d'article). Elles ont permis par ailleurs de partager les méthodes et les échantillons avec un autre projet de recherche du même appel d'offre ANR : le projet Sylvabiom « *Nouveaux concepts de cultures ligneuses durables pour la production de biomasse à des fins énergétiques* » piloté par l'INRA d'Orléans et qui échantillonnait des essences complémentaires :

Cupressocyparis leylandii, *Sequoia*, TTCR de peuplier, jeunes mélèzes et jeunes douglas. Ces échanges ont débouché en particulier sur les recommandations de protocoles fournies dans le manuel sur la construction des équations allométriques édité en 2012 par la FAO et le Cirad (Picard et al. 2012).

Les opérations de terrain : démontage, tri, mesures de cubage, pesées...

Après des mesures classiques d'arbres debout (c130, hauteur), l'arbre était abattu sur une zone dégagée afin de repérer, découper et trier l'ensemble des branches et du tronc. À Eauze, les houppiers des chênes pubescents, particulièrement imbriqués, ont obligé à une découpe de certaines branches avant l'abatage (figure 4). Ensuite les menus bois étaient rangés en fagots par découpe 0-4 cm ou 4-7 cm (figure 5) afin d'être pesés, de même que les billons de la tige, à l'aide d'un peson soulevé par une pelleuse; la tige ainsi que les branches au-delà des coupes 7 cm étaient cubées plus complètement et enfin les billons de branches pesés sur une balance (figure 6).

De plus, les sempervirents (chêne vert et pin d'Alep dans le Sud et eucalyptus dans le Sud-Ouest) ont demandé un effeuillage systématique afin de séparer le poids des menus bois du poids des feuilles ou aiguilles (figure 7). Quant aux aulnes, leurs fruits le plus souvent persistants ont nécessité aussi un traitement particulier.

... et prélèvements suivis d'analyses en laboratoire : gros effort pour la minéralomasse

Enfin tout le travail de découpe et de tri s'accompagnait de prélèvement de rondelles et de tronçons de branches pour des mesures en laboratoire (figure 8). À partir de ces prélèvements en forêt, des échantillons standardisés ont été préparés au laboratoire INRA-BEF : séparation

du bois et de l'écorce pour les troncs et branches, nouvelle sélection de morceaux de rondelles et de tronçons pour préparer des échantillons composites représentatifs de la tige ou des branches entières et par découpe (>7 cm, 4-7 cm et 0-4 cm), en séparant bois ou écorce au-delà de 7 cm de découpe.

En comptant les arbres du projet Sylvabiom, 369 arbres ont ainsi été traités en 4 ans, soit 3191 échantillons pesés afin d'en déterminer la densité, puis broyés finement pour les analyses minérales (figure 9). La composition minérale de 1 400 de ces échantillons a été déterminée par méthode traditionnelle (C, N, Ca, K, Mg, P, S, Al, Mn et Na) et l'ensemble a été passé au scanner proche infra-rouge. Cela a permis, à partir d'une première calibration sur les 1 400 premiers échantillons, d'estimer indirectement, mais de façon rapide la composition minérale de tous les autres.

Combinées à la biomasse par compartiment, les concentrations minérales ainsi obtenues permettent d'attribuer à chaque partie de l'arbre la quantité correspondante des éléments minéraux présents, et donc de calculer des exportations pour différents scénarios d'exploitation selon les hypothèses de coupes.

Des mesures tests avec de nouveaux outils

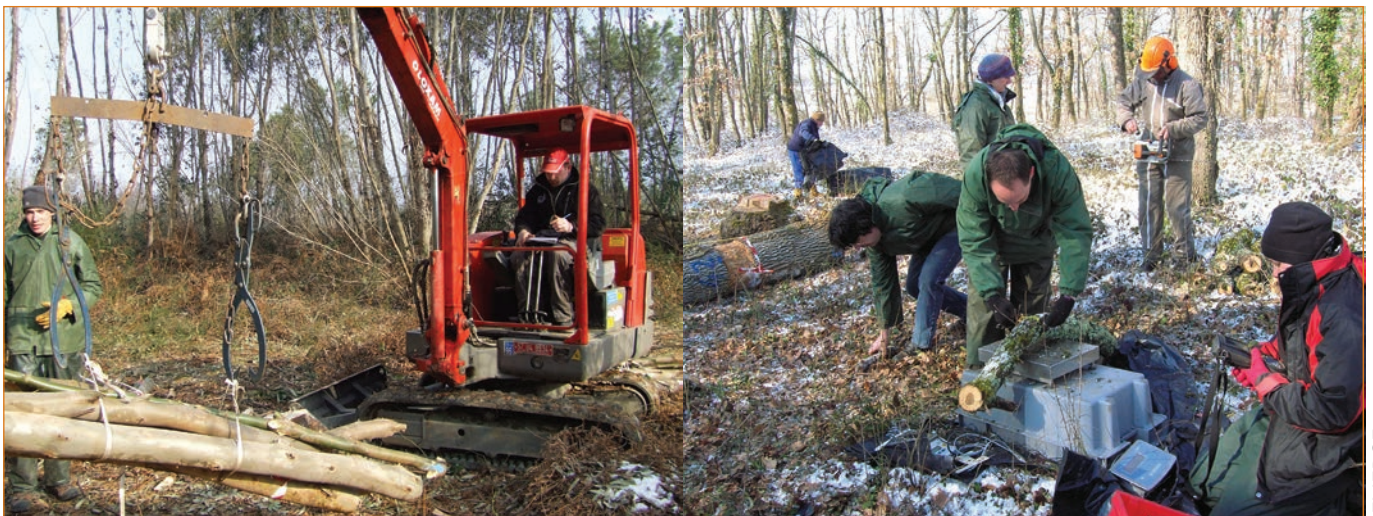
Par ailleurs des mesures ont été faites au scanner laser terrestre sur une partie des arbres avant leur abattage afin de tester cette nouvelle méthode de mesure automatique sur arbres debout (voir les deux derniers articles de ce dossier).

Enfin un sous-échantillon de rondelles de tiges et de branches a été sélectionné pour des mesures en laboratoire avec le scanner à rayon X de l'INRA-LERFoB, afin d'en déduire des cartes de densité plus détaillées (cela fera l'objet d'un article dédié dans le prochain dossier).



EMERGE

Fig. 5 : pour chaque arbre, tri des branches par découpe, mise en fagots des découpes 0-4 cm et 4-7 cm, billonnage et prélèvement de rondelles de tronc pour les mesures en laboratoire (forêt de Saint-Gobain)



EMERGE

Fig. 6 : mesures de biomasse des billons et fagots avec peson levé par pelleteuse en FD de Pélacier ; mesures et pesées des branches ($\varnothing \geq 7$ cm) par l'équipe LERFoB près d'Eauze (32)



EMERGE

Fig. 7 : effeuillage sur pin d'Alep à Manosque



EMERGE



Fig. 8 : prélèvement d'échantillons dans chaque compartiment et tout le long du tronc et des branches principales

Ces données sont elles aussi archivées et mises en base, mais selon des modalités distinctes, dans le groupe plus restreint des partenaires impliqués dans ces travaux sur les scanners.

Les données de la plateforme EMERGE : un véritable trésor

Au-delà des mesures et échantillons eux mêmes, obtenus pendant les deux campagnes de terrain, ce travail conséquent nous a fait aussi réaliser la richesse des anciennes données compilées dans la base EMERGE. La seule campagne 2010 a monopolisé, pour 125 arbres, près de 350 hommes/jours pour 249 tonnes manipulées, pesées sur le terrain grâce à la pelleteuse et environ 5 tonnes d'échantillons ramenés aux laboratoires. Cette comptabilité globale ne rend cependant pas compte de la grande disparité de temps passé selon les arbres, puisqu'il ressort des données détaillées une relation exponentielle entre la taille de l'arbre et le temps cumulé de mesure : le foisonnement des houppiers de gros arbres fait exploser le temps nécessaire à la séparation des branches et des menus bois par découpe, aux pesées puis aux prélèvements d'échantillons. La projection de cette relation sur les données des anciennes fiches INRA qui comportent des mesures de menus bois permet d'estimer le temps de terrain correspondant à environ 18 800 hommes.jours. Certes le protocole Oudin n'intégrait pas de prélèvement d'échantillons, mais toutes les opérations de terrain étaient manuelles, sans tronçonneuse ni pelleteuse ! L'estimation des temps passés par nos prédécesseurs est donc plutôt en deçà de la réalité de ce travail colossal.

En ce qui concerne les mesures de minéralomasse, les projets Sylvabiom et EMERGE ont permis de traiter 369 arbres en 4 ans, pour une base initiale de 1367 arbres constituée sur 30 années. Comme pour les volumes, les chiffres ne sont pas strictement comparables, mais montrent une montée en puissance sur ces données.

Des données complémentaires à différentes échelles

Une garantie de robustesse pour les travaux de modélisation

L'idéal serait d'avoir des mesures et des échantillons pour toutes les essences, toutes les conditions de croissance, les stades de développement, les périodes d'observation, et pour toutes les variables évoquées précédemment. Mais toutes ces variables n'ont été renseignées simultanément que pour les 226 arbres des deux campagnes de terrain, et la comptabilité précédente en hommes.jours montre qu'il n'aurait guère été possible d'en mesurer plus pendant le projet. L'échantillon qui en résulte paraît cependant bien pauvre pour représenter la variabilité des essences et des conditions de croissance de la ressource française. À l'opposé, cette représentativité est le point fort des données de l'Inventaire forestier, mais seulement pour un nombre réduit de mesures dendrométriques (encadré protocole IFN).

Tout l'enjeu des travaux de modélisation et des bases de données intermédiaires (bases de données gestion et recherche) est alors de construire des ponts entre ces données extrêmes. L'idée est de choisir pour une grandeur d'intérêt, une forme de modèle en limitant les variables explicatives. Ce travail peut se faire sur des données détaillées du type recherche, qui permettent de sélectionner la forme de modèle la plus appropriée puis d'en réduire le nombre de variables. Dans un deuxième temps la variabilité du modèle ainsi réduit est explorée sur les données moins détaillées, mais avec une représentativité plus large, comme les données d'inventaire ou de gestion : les paramètres du modèle sont associés à ces variables de contexte. Enfin le modèle final est testé sur d'autres données indépendantes. Les données des campagnes du projet sont plus particulièrement destinées, d'une part, à croiser les

grandeurs d'intérêt volume, biomasse ou minéralomasse et, d'autre part, à explorer des cas atypiques, peu représentés dans les échantillons précédents pour tester les modèles.

Les points de complémentarité

Dans l'esprit de ces travaux, la puissance des données réunies dans la base EMERGE réside en particulier dans leurs complémentarités. La première concerne la représentation des essences : si les données IFN détaillent plus de 60 essences forestières, celles de la gestion en distinguent une trentaine quand les données plus fines de recherche n'en comptent qu'une douzaine. Par ailleurs, pour les simples volumes, la mutualisation des données de type gestion a permis aussi d'enrichir la gamme avec quelques essences peu documentées dans les bases de l'ONF, comme les châtaigniers de l'IDF ou les peupliers de FCBA.

La deuxième complémentarité est évidemment géographique avec une portée toujours nationale des données IFN, tandis que les données recherche sont focalisées sur quelques sites bien connus et les données gestion sur des massifs « gérés ». Une étude ciblée sur le chêne ligérien a montré que l'addition des différentes bases couvre quasiment toutes les forêts significatives de la zone ligérienne.

La troisième complémentarité est temporelle. Les fiches anciennes de l'INRA couvrent principalement, pour les mesures les plus complètes, la période de 1920 à 1950, tandis que les données de gestion ont été plutôt recueillies entre les années 70 et la fin du 20^e siècle, avec un pic de mesures dans les années 80. Les données de biomasse et minéralomasse, plus récentes, démarrent à la fin des années 70, avec une montée en puissance dans le cadre du projet. Cette complémentarité dans le temps pourrait permettre d'analyser par exemple des aspects fins de changement de forme des arbres



Fig. 9 : constitution d'échantillons standardisés pour les analyses minéralomasse sur les rondelles ou les menus bois, et à droite broyage fin des échantillons pour les mesures minéralomasse

reliés aux changements de productivité, même si ce type de question n'a pas du tout été abordé dans la courte période du projet.

Enfin la complémentarité des données par essence en terme de tailles a également été examinée, et c'est ce qui a conduit à mesurer spécifiquement des gros arbres de réserve de TSF lors des deux campagnes de terrain. Il apparaît en effet dans les données recherche, particulièrement pour les anciennes fiches de l'INRA, une forte représentativité des arbres de taille moyenne, même si quelques gros arbres de plus de 1 m de diamètre étaient échantillonnés. Par ailleurs, les relations entre hauteurs et circonférences des arbres, essence par essence, ont montré un décalage entre les données recherche et les données gestion : les arbres des fiches INRA évoquent des arbres plutôt de jeunes futaies, tandis que les arbres de gestion, typiquement ceux des bases ONF, sont plus représentatifs de futaies matures issues de conversion.

Quel avenir pour ce partage de données : conclusions et perspectives

L'ensemble de la base de données EMERGE est le socle des analyses et travaux développés dans les différents articles de ce dossier consacré à la restitution des principaux résultats du projet. Cependant, indépendamment des avancées qu'elle a permis d'obtenir, cette base est en soi un résultat majeur. Si notre projet ANR se termine en juin 2013, le partage

de données va se poursuivre, à la demande de tous les partenaires, aussi bien autour des données de volumes que de celles de biomasse et minéralomasse.

La combinaison des échelles, les complémentarités des types de variables abordées et des sources de variations ouvrent d'énormes possibilités de modélisations croisées et cohérentes. Les chercheurs pourront les utiliser et les compléter en fonction de nouvelles problématiques. Les retombées pour les gestionnaires, notamment à l'ONF, sont doubles : tout d'abord de nouveaux outils ou « tarifs » de cubage « intégratifs » ont été développés, d'autres sont en cours ou pourront être calibrés en fonction des besoins de l'établissement ; en outre le lien est établi avec le volume de référence IFN, base de nombreuses perspectives ressources à différentes échelles.

Par ailleurs, le travail de rassemblement des données et recueil de mesures complémentaires a donné une impulsion scientifique déterminante. Les deux campagnes de terrain ont été l'occasion des premières rencontres des différents groupes de chercheurs du projet pour le partage des protocoles ; ces groupes d'experts se sont ensuite consolidés pour échanger des réflexions approfondies autour des modèles et autres traitements de ces données.

Après avoir souvent travaillé essence par essence, la base permet maintenant d'avoir une approche plus « générique », c'est-à-dire d'explorer

les formes ou relations communes au moins aux résineux et aux feuillus, pour différentes variables de la dendrométrie classique. Au-delà des quelques résultats du projet, cette base ouvre donc un champ important en dendrométrie, mais aussi dans bien d'autres domaines.

La plateforme EMERGE pourrait aussi être vue comme une compilation hétéroclite de données recueillies avec des objectifs et selon des protocoles très différents, et qui n'aura jamais la force d'une base de données de même ampleur qui aurait été raisonnée d'emblée pour l'ensemble des objectifs poursuivis (...avec un protocole décidé en 1930 !). Cette difficulté méthodologique correspond aux ponts qu'il faut construire entre les bases à chaque question posée, première étape de la modélisation. De même, l'échantillon des deux campagnes de terrain reste limité et on peut se dire rétrospectivement qu'il aurait fallu mesurer plus de vieux douglas ou des merisiers de TSF... Mais les travaux du projet ouvrent aussi des perspectives intéressantes sur des moyens plus rapides (Lidar terrestre pour les volumes, scanner tomographique pour les biomasses, NIRS-MIRS pour les minéralomasses) d'obtenir les mesures d'arbres « atypiques » qui seront nécessaires pour tester encore les outils construits.

En définitive le projet EMERGE, et en particulier la base de données, apporte une pierre solide à l'édifice de la dendrométrie même s'il ne clôture pas complètement la question.

Christine DELEUZE

ONF, Département R&D

François MORNEAU

jusqu'en 2011 : IFN, direction technique puis ONF, Département R&D

Fleur LONGUETAUD

Laboratoire LERFoB-INRA, Champenoux

Laurent SAINT-ANDRÉ

Laboratoire BEF-INRA, Champenoux

Nina OGNOUABI

CRDPI, République du Congo

Alain BOUVET

FCBA, Direction Innovation Recherche

Remerciements

Nous voulons rendre hommage, pour leur contribution déterminante, à :

- toutes les personnes mobilisées dans la phase de terrain et citées dans l'encadré ci-contre ;

- l'équipe du CRDPI (Centre de Recherches sur les Plantations Industrielles), pilotée par Nina Ognouabi, pour la saisie numérique des anciennes fiches de l'INRA et du CTFT ;

- l'équipe d'analyse du laboratoire BEF, notamment Noëlle Bouxirot pour le traitement des échantillons après les campagnes de terrain ;

- *last but not least*, l'équipe qui a assuré la mobilisation des données, leur mise en base et leurs vérifications : Michaël Rivoire, Philippe Santenoise, Tristan Senga-Kiessé, Astrid Genet, Nancy Mendow, Isabelle Meurillon, Frédéric Mothe, Daniel Rittié, Antoine Colin, Cédric Maillet, Yannick Vivien.

Bibliographie

Oudin A. 1930. Vues d'ensemble sur l'organisation en France des recherches de sylviculture et d'économie forestière : Les méthodes. Annales de l'École nationale des Eaux et Forêts vol. 3, n° 2 pp. 231-262

Hüffel G., 1919. Économie forestière, tome II. 2^e édition. Paris : La Maison Rustique, 502 p.

ONF (collectif), 1972. Protocole national pour le cubage d'arbres-échantillons. Paris : ONF (documentation technique). 34 p.

ONF (document de travail), 1983. Nouveau protocole pour le cubage d'arbres – échantillon. Paris : ONF (documentation technique). 27 p.

Meurillon I., 2009. Les anciennes données de cubage des surbilles de l'Inventaire Forestier National. Rapport de stage en entreprise – 1^{ère} année d'ingénieur FIF, 19^e promotion. Nancy : AgroParisTech 42 p. + annexes

Picard N., Saint-André L., Henry M., 2012. Manuel de construction d'équations allométriques pour l'estimation du volume et la biomasse des arbres : de la mesure de terrain à la prédiction. Rome, Montpellier : FAO, CIRAD. 218 p.

Une mobilisation importante sur le terrain pour les deux campagnes 2009 et 2010

Cet article est l'occasion de remercier l'ensemble des personnes mobilisées sur le terrain pour réaliser les mesures de cubage et les récoltes d'échantillons pour la biomasse et la minéralomasse.

Grand merci, donc :

- aux pilotes de ces deux campagnes, à savoir Astrid Genet en 2009 et Nancy Mendow en 2010,
- aux personnels R&D de l'ONF mobilisés début 2010 pour la recherche des peuplements répondant au second échantillonnage, exigeant et réparti sur 4 régions contrastées en France : Jérôme Bock, Jean Ladier, Philippe Desplanches et Gwénaëlle Gibaud,
- aux personnels ONF qui nous ont accueillis dans leurs UT et triages,
- aux responsables des agences travaux ONF et aux ouvriers mobilisés dans chaque région pour l'abattage et toutes les manutentions nécessaires au protocole : l'ensemble des chercheurs du projet a salué leur professionnalisme, s'adaptant aux contraintes des mesures et des prélèvements,
- aux équipes des laboratoires BEF et LERFoB réceptionnant les échantillons et assurant ensuite leur traitement,
- à Emmanuel Cornu, INRA-LERFoB, enfin, pour son implication dans les campagnes de terrain, notamment pour les mesures du laser terrestre, et dans le travail sur les scans pour assurer leur exploitation.

Les équipes ont d'autant plus de mérite que, dans chaque région sauf à Saint-Gobain, elles ont été accueillies par une tempête de neige qui a compliqué ou retardé le démarrage des campagnes.

Équipe de terrain multi-partenaires, ici dans la forêt communale de Montreal (Gers)

