

## ITINÉRAIRES SYLVICOLES ET DURABILITÉ DES SOLS

### Compte rendu de l'atelier 1

---

**GUY LANDMANN – LAURENT AUGUSTO – ANNE-SOPHIE CABRAL – LAURENT SAINT-ANDRÉ**

---

Cet atelier, animé par Guy Landmann (ECOFOR) et Laurent Augusto (INRA), rapporté par Anne-Sophie Cabral (ECOFOR), a rassemblé une trentaine de participants, principalement du monde de la recherche, d'organismes régionaux de gestion et de conseil.

Cet atelier se situe en amont des trois autres ateliers, consacrés respectivement au rôle des opérateurs (atelier 2), aux actions de compensation des exportations minérales et de remédiation aux dégradations (atelier 3), et, enfin, à la valorisation des données sols (atelier 4).

Il a successivement abordé :

- les modalités de récolte à l'origine de fortes exportations de nutriments,
- les impacts de telles exportations sur le sol et l'écosystème forestier,
- la recherche d'indicateurs de l'impact de l'exportation de nutriments,
- l'évolution des pratiques de récolte de bois énergie.

#### **LES MODALITÉS DE RÉCOLTE À L'ORIGINE DE FORTES EXPORTATIONS DE NUTRIMENTS**

Les connaissances sur les relations entre sylviculture et maintien de la fertilité des sols ont été présentées par Laurent Augusto (INRA) sur la base des résultats du projet RESOBIO<sup>(1)</sup> (Landmann et Nivet, 2014) consacré à la gestion des rémanents en forêt, la préservation des sols et de la biodiversité. Un complément ciblé en contexte tropical a été apporté par Laurent Saint-André (INRA).

Il y a un corpus scientifique important dans ce domaine au niveau mondial, fruit de l'accumulation de travaux depuis plusieurs décennies. 254 publications ont ainsi été analysées par Achat (2014) dans le but d'identifier les types de récolte les plus coûteux en nutriments et donc potentiellement dommageables pour les sols et les écosystèmes forestiers. Les études prises en compte sont celles pour lesquelles le traitement conventionnel a pu être comparé sur le même site à un autre itinéraire incluant une récolte plus intensive de biomasse.

Pour traiter cette grande quantité d'informations hétérogènes, Achat (2014) a mis en œuvre une *méta-analyse* qui permet de combiner les résultats de différentes études indépendantes, rapportées dans des publications variées, et portant sur un problème donné. Cette approche a suscité des interrogations sur les forces et les éventuelles limites de l'approche. Son intérêt principal est en fait de dégager d'éventuelles tendances dans la forte variabilité des données, qu'une analyse bibliographique

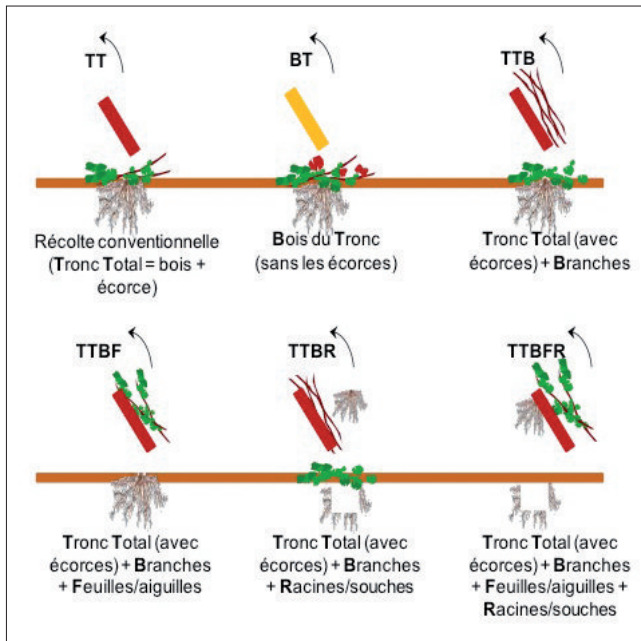
---

(1) [En ligne] : <http://www.gip-ecofor.org/?q=node/900>.

conventionnelle ne pourra pas mettre en évidence. Si sa mise en œuvre nécessite une formation spécifique, son essor récent s'explique surtout par la disponibilité croissante de jeux de données dans la littérature.

Les modalités d'exportation de la biomasse mises en œuvre dans les expérimentations ont été classées en 6 itinéraires (figure 1, ci-dessous).

**FIGURE 1** MODALITÉS D'EXPORTATION DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE DES EXPÉRIMENTATIONS UTILISÉES DANS LA MÉTA-ANALYSE (Achat, 2014)



**TT :** la récolte « conventionnelle » exporte le tronc total (bois et écorce)

**BT :** la récolte « historique » exporte le seul bois de tronc car un écorçage manuel était fait sur la coupe en forêt résineuse

**TTB :** la récolte exporte le tronc total (destiné au bois d'œuvre) ; les grosses branches (pour le bois industrie, le bois bûche ou la plaquette) et les fines branches (production de plaquettes et, historiquement, de fagots à usage domestique)

**TTBF :** la récolte concerne le tronc total, les branches et le feuillage.

**TTBR :** la récolte concerne le tronc total, les branches et les racines (souches et partie du système racinaire), mais pas les feuilles (TTBR)

**TTBRF :** la récolte « totale » (tronc total, branches, feuillage, racines)

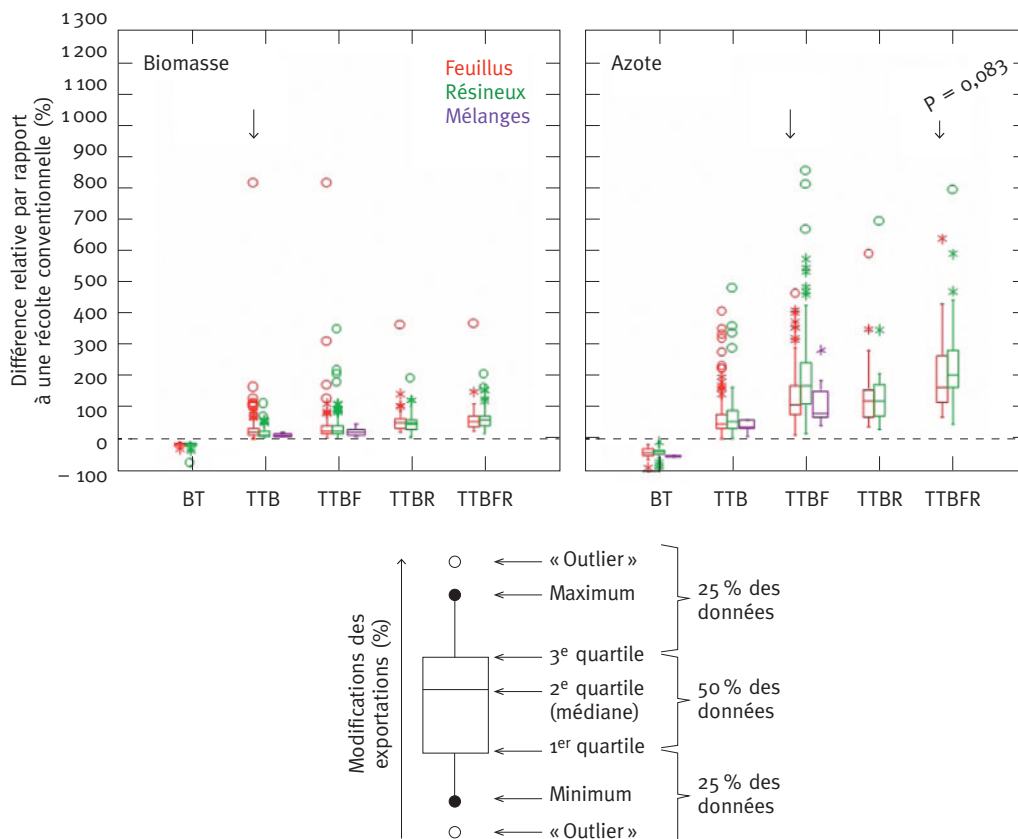
Globalement, le résultat le plus frappant est le contraste entre la faible augmentation de la quantité de biomasse exportée lorsqu'on passe d'un itinéraire conventionnel à des itinéraires très intensifs d'une part, et la forte augmentation correspondante de nutriments exportés d'autre part. L'exportation des compartiments branches, feuillage, et souches est pénalisante. L'augmentation la plus forte concerne le feuillage, malgré la faible biomasse de ce compartiment.

Outre la nature des compartiments exportés, c'est la taille des parties exportées des arbres qui influence le plus les quantités de nutriments exportés, les organes de petite taille (par exemple brindilles ou radicelles) étant toujours plus concentrés en nutriments que les organes de plus grande taille (par exemple branches ou racines de soutien). Ces deux effets sont plus marqués que celui de l'essence mais on observe des différences entre, notamment, les résineux (en particulier pour l'Épicéa, le Sapin et le Douglas) dont la récolte exporte plus de nutriments que celle des feuillus comme l'illustre la figure 2 (p. 533).

La question de l'importance des pertes de matière lors des opérations de récolte de bois (particulièrement lorsqu'il s'agit de compartiments de petite taille) a été posée : les impacts ne sont-ils pas diminués d'autant ? De fait, les pertes sont généralement de l'ordre de 40 %, mais varient selon les compartiments, les essences et les techniques de récolte. Elle a été prise en compte (sur la base

d'une synthèse des résultats disponibles) dans l'évaluation des impacts (cf. ci-dessous). On ne dispose toutefois pas des données nécessaires pour tous les cas de figures importants, ce qui affecte la qualité des diagnostics posés sur les impacts des différents types de récolte.

**FIGURE 2** EXPORTATION DE BIOMASSE (à gauche) ET D'AZOTE (à droite)  
POUR LES DIFFÉRENTES MODALITÉS DE RÉCOLTE,  
RELATIVEMENT À UNE RÉCOLTE CONVENTIONNELLE  
(voir figure 1 pour la définition des modalités)



## LES IMPACTS DES EXPORTATIONS ACCRUES DE NUTRIMENTS

Globalement, les données expérimentales sur l'influence des exportations de nutriments sur la rotation suivante en comparaison des données sur les exportations sont assez peu nombreuses, et les résultats concernent rarement des périodes excédant 10 ans (Achat, 2014). Ces limites expliquent en bonne partie la difficulté de conclure pour certains types d'effets.

Si les stocks de nutriments des sols sont clairement affectés, le statut nutritif des arbres l'est généralement peu en moyenne, même s'il y a des cas avérés de stress nutritionnels. La croissance des arbres subit une baisse significative mais modérée (en moyenne environ 3-7 % en hauteur et en diamètre) surtout en cas d'exportation du feuillage. L'état actuel des connaissances ne permet pas encore d'identifier les écosystèmes les plus sensibles.

La manière d'interpréter la perte de croissance modérée a été discutée. Il a été souligné le fait qu'un effet cumulatif de récoltes successives est probable, et qu'il convient de prendre en compte les différents types d'effets, dont certains sont plus nets que ceux sur la croissance, notamment la modification des communautés microbiennes et de l'activité biologique des sols ainsi qu'une baisse de matière organique, et donc de carbone. Là encore, les effets sont toujours les plus marqués lorsque le feuillage des arbres est exporté.

### **L'apport des expérimentations en plantations industrielles en milieu tropical**

Laurent Saint-André (INRA) a exposé le cas des plantations industrielles tropicales au sein d'un réseau expérimental mis en place sous l'égide du CIFOR<sup>(2)</sup>, comme exemple extrême de lien entre récolte intensive et baisse de productivité. Dans ces expérimentations, des peuplements à croissance très rapide sont soumis à des traitements très contrastés, dont celui qui consiste à éliminer l'arbre entier (dont les menus bois et les feuilles) et à découvrir le sol (litière entièrement retirée) et qui correspond de fait à une pratique encore actuelle dans certains écosystèmes tropicaux (comme l'a été, historiquement, le prélèvement de litière en forêt tempérée).

Dans des sols souvent profonds et bien arrosés, mais pauvres sur un plan minéral, la croissance est très élevée (les rotations sont couramment de moins de 10 ans et les accroissements courants peuvent dépasser 40 m<sup>3</sup>/ha/an comme au Brésil) et les effets éventuels peuvent être rapides et très prononcés, ce qui fait de ces expérimentations des objets d'étude et de modélisation particulièrement intéressants. Après la première rotation, la production chute fortement pour ces écosystèmes, ce qui est cohérent avec le fait qu'ils fonctionnent de façon presque exclusive sur le cycle biologique (les « réserves » du sol sont très faibles). Les résultats sur la seconde rotation sont moins clairs et n'ont pas encore fait l'objet d'une synthèse sur le réseau CIFOR.

### **Une nouvelle génération d'essais en France**

Un réseau d'essais intitulé MOS (pour « matière organique du sol ») est en cours de mise en place pour apporter des données dans le domaine tempéré et complétant ainsi les réseaux scandinaves, d'Amérique du Nord et tropicaux. Les expérimentations comportent un traitement extrême (récolte des menus bois et des litières laissant ainsi le sol nu tous les ans) et un autre avec retour des cendres en forêt (lorsque les menus bois sont exportés en plus de la grume, envisagé en cas de développement du bois énergie – voir atelier 3).

## **LA RECHERCHE D'INDICATEURS D'IMPACT DE L'EXPORTATION DE NUTRIMENTS**

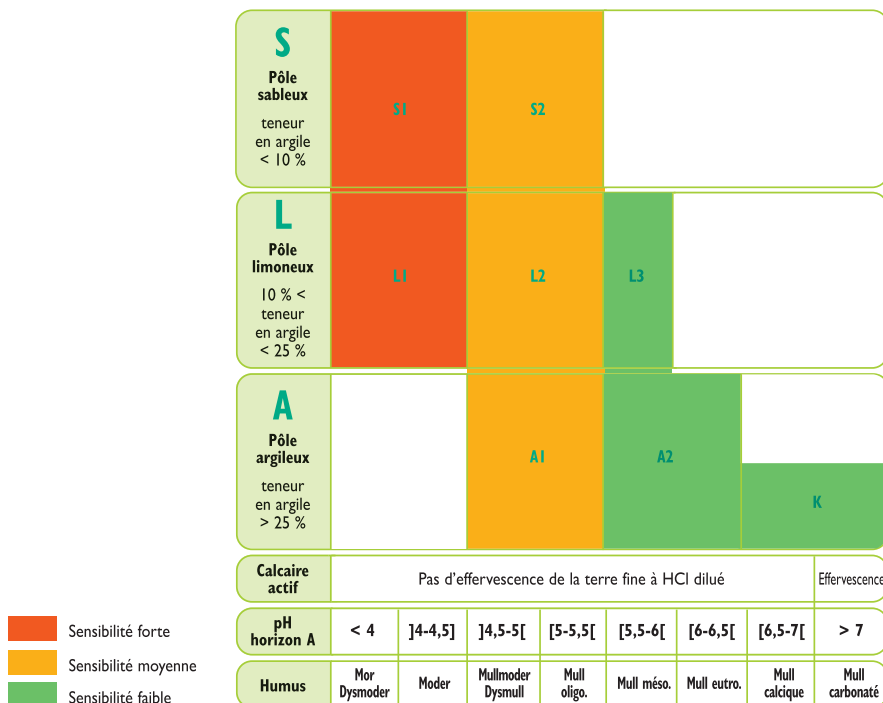
Avec le développement de récoltes intensives de biomasse, la demande des praticiens pour des indicateurs fiables permettant de diagnostiquer sur le terrain le risque lié aux exportations d'éléments minéraux se fait pressante. Les présentations faites au sein de l'atelier et les échanges qui ont suivi ont confirmé qu'il y a là un champ d'étude et de recherche très actif, mais pas encore de résultats suffisamment fiables et basés sur des variables faciles à mettre en œuvre.

Pour l'heure, le seul indicateur à disposition des opérateurs de terrain repose sur un diagnostic simple de qualité des sols qui croise la texture et le pH de l'horizon A déduit du type d'humus (Guide ADEME : Cacot *et al.*, 2006).

(2) Center for International Forestry Research. Site internet : <http://www.cifor.org/>.

FIGURE 3

### CLÉ DE DÉTERMINATION DE LA SENSIBILITÉ DES SOLS À L'EXPORTATION DE RÉMANENTS REPOSANT SUR LA TEXTURE ET LE TYPE D'HUMUS

(Guide ADEME : Cacot *et al.*, 2006)

Sur la base des données des inventaires de sol (réseau DSF 16 x 16 km et RENECOFOR), Pousse (2014) a exploré d'autres indicateurs de sensibilité de sols forestiers. Il n'a pas été possible de sélectionner des variables et des seuils plus discriminants de la sensibilité des sols à l'export des rémanents que ceux proposés dans le guide ADEME (2006). En particulier, le taux de saturation en « bases » (S/T) ne s'est pas avéré, contrairement à une hypothèse souvent avancée, plus pertinent que le pH dans ce cadre. Ce premier travail permettra cependant d'améliorer le tableau de sensibilité proposé dans le guide (figure 3, ci-dessus) à partir des relations entre pH du sol d'une part et humus, pôle textural et climat d'autre part.

Au-delà des seules données « sol » (pH, type humus...), on peut s'interroger sur la pertinence du rapport entre la quantité d'éléments enlevés par les récoltes et ceux qui restent (réserve) dans le sol. C'est la voie poursuivie par Laurent Saint-André dans ses travaux en milieu tropical ; il s'intéresse notamment aux indices de charge, la « charge » étant définie comme le rapport entre ce qui est enlevé par la récolte et ce qu'il y a dans le sol, dont on peut modéliser l'impact sur la croissance lors de la rotation suivante. Au cours d'un passé récent des années 1990 déjà, ce type d'approche a donné des résultats intéressants sur les peuplements boréaux (indicateurs basés sur l'azote) et en milieu tropical (Eucalyptus, travaux du CIFOR pendant les années 1990). Ce type d'approche n'est pas nouveau mais gagne en généralité avec l'augmentation des sites dans le monde entier (depuis les zones boréales aux zones tropicales).

D'autres approches sont actuellement explorées : on peut mentionner en particulier l'analyse des flux d'éléments minéraux (flux entrants par les dépôts atmosphériques et l'altération des minéraux ;

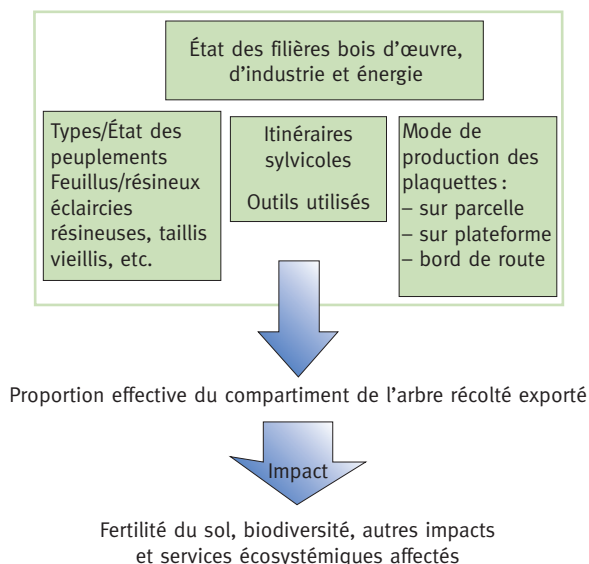
flux sortants par drainage et exportation de biomasse). Ce travail, présenté par Emmanuel Cacot au sein de cet atelier, fait l'objet d'une restitution écrite au titre des outils mis au point pour la gestion des sols forestiers (voir Cacot *et al.*, ce numéro). Il a suscité de nombreuses questions sur la façon de paramétrer le modèle utilisé (par exemple le flux de drainage, réputé très difficile à calibrer), l'intérêt pour les propriétaires, la façon de le vulgariser... Son promoteur admet qu'il reste un important travail d'évaluation à faire, notamment pour apprécier ses limites (comme les incertitudes qui entourent les mesures des flux biogéochimiques) ; de même qu'il faut mieux qualifier son opérationnalité. L'outil n'ayant été calibré que dans deux petites régions (l'Orléanais et le Vercors), il faut le paramétrer avec les données des zones concernées (types de sols, données de biomasse et minéralomasse, pluviométrie et ETP, apports atmosphériques...). Enfin, il est clair qu'en l'état, l'outil s'adresse davantage à des opérateurs techniques (techniciens ou ingénieurs forestiers) qu'à des propriétaires.

### LA QUESTION DE LA NATURE ET DE L'ÉVOLUTION DES PRATIQUES DE RÉCOLTE DE BOIS ÉNERGIE

L'état des connaissances présenté dans ce qui précède ne répond pas à la question de savoir si les modes de récolte les plus pénalisants (notamment la récolte d'arbres entiers) sont effectivement pratiqués en France à l'heure actuelle, et, plus généralement, quels sont les types de récolte de bois énergie les plus répandus. À ces questions simples, il n'y a aujourd'hui pas de réponse objective, dans la mesure où il n'existe pas de statistiques sur les modalités de récolte de bois énergie. Les éléments fournis par le projet RESOBIO (Landmann *et al.*, 2014) reposent sur les avis d'experts fortement impliqués dans la production de plaquettes forestières (Union de la Coopération forestière française, ONF-Énergie, Fédération nationale Entrepreneurs des Territoires, Institut technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement).

FIGURE 4

#### EFFETS POTENTIELS DE LA RÉCOLTE DE BOIS ÉNERGIE : LIENS AVEC LES ITINÉRAIRES SYLVICOLES, LES CONDITIONS ÉCOLOGIQUES ET L'ENVIRONNEMENT SOCIOÉCONOMIQUE



Ces experts s'accordent pour dire qu'une partie importante des plaquettes est issue des éclaircies résineuses (d'autant plus que l'industrie du panneau, qui en utilise beaucoup, est en crise), pratique qui n'a qu'un impact limité sur le bilan minéral si les cimes sont laissées sur place (ce qui n'est pas toujours le cas) ; une autre partie correspond à la récolte de tiges entières de vieux taillis (dont le feuillage n'est pas exporté, mais peut, éventuellement, s'accumuler en marge des parcelles dans les aires de stockage ou de production de plaquettes), pratique qui est plus dommageable. Des participants de l'atelier ont cité le Limousin et Rhône-Alpes comme des régions où ces pratiques se développeraient. Enfin, et paradoxalement, la récolte de menus bois, dans le cadre des coupes finales qui correspondent à l'image type de la récolte de « rémanents », serait, à l'heure actuelle, une modalité de récolte moins importante, car moins intéressante sur un plan économique.

C'est l'évolution rapide de mécanisation forestière qui explique l'évolution des pratiques.

Ces différentes considérations amènent à resituer l'exportation de la biomasse et ses impacts éventuels dans un cadre technique et socioéconomique plus large (figure 4, p. 536).

## CONCLUSIONS

L'exposé de l'état des connaissances a beaucoup intéressé les participants et initié des discussions animées. Il était cependant manifeste qu'une partie de l'assistance est restée sur sa faim, et inquiète car (encore) démunie devant la réalité du terrain et la difficulté à formuler des recommandations aux opérateurs de terrain.

La réalité du moment est qu'on ne sait pas quantifier avec certitude le niveau de risque pour un contexte donné, et que nous sommes contraints de nous contenter de recommandations générales, avec, au mieux, quelques repères fournis par des outils simples (Guide ADEME : Cacot *et al.*, 2006).

Le besoin de disposer des meilleures informations possibles, mais surtout de recommandations et d'outils d'aide à la décision, est revenu comme un leitmotiv tout au long de l'atelier. « *Même si elles/ils sont imparfait(e)s* » selon une expression reprise en boucle au cours de l'atelier. Ce besoin est particulièrement manifeste dans un contexte en forte évolution, qu'il s'agisse des pratiques sylvicoles et de récoltes mises en œuvre, ou encore du volume de plaquettes produites. Un autre besoin exprimé est celui d'une bonne coordination entre les acteurs de la forêt, et d'une demande d'harmonisation des protocoles pour alimenter des bases avec des données compatibles (voir atelier 4).

La réalité de demain sera donc différente ; les acteurs du développement du bois énergie le réclament, l'ADEME, en particulier, soutient les activités de recherche et de développement. L'atelier s'est achevé sur un ultime échange, assez singulier, puisque les acteurs de la recherche et du développement étaient invités à s'exprimer sur la durée probable de résolution des principaux problèmes en suspens : 2 ans, 5 ans, 10 ans ? Ce sont, selon un schéma peut-être classique, les acteurs de R&D qui jugeaient que des temps moyens à longs leur seraient nécessaires, là où certains chercheurs voyaient des résultats rapides, par exemple dans la production d'outils de diagnostic, alors que d'autres soulignaient que certains résultats seraient longs à se dessiner, en lien par exemple avec la valorisation des réseaux expérimentaux. Il a été symboliquement conclu de se donner « rendez-vous dans 2, 4 et 6 ans pour faire le point et voir qui avait raison ! ».

Guy LANDMANN  
GIP ECOFOR  
42 rue Scheffer  
F-75116 PARIS  
(guy.landmann@gip-ecofor.org)

**Laurent AUGUSTO**

INRA UMR 1220 – TCEM  
Transfert sol-plante et cycle des éléments minéraux  
dans les écosystèmes cultivés  
Pôle Domaine de la Grande Ferrade  
71 avenue Edouard Bourlaux  
BP 81  
F-33883 VILLENAVE D'ORNON CEDEX  
(laurent.augusto@bordeaux.inra.fr)

**Anne Sophie CABRAL**

(au moment des travaux)  
GIP ECOFOR  
42 rue Scheffer  
F-75116 PARIS

**Laurent SAINT-ANDRÉ**

INRA Centre de Nancy-Lorraine  
UR 1138, Unité Biogéochimie des écosystèmes forestiers  
F-54280 CHAMPENOUX  
(st-andre@nancy.inra.fr)

## BIBLIOGRAPHIE

- ACHAT (D.). — Analyse bibliographique des impacts du prélèvement des rémanents forestiers sur la fertilité des sols et la croissance des peuplements. *In* : Projet RESOBIO, Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité/G. Landmann, C. Nivet (coord.). — Angers : ADEME ; Paris : Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt — GIP ECOFOR. — Rapport final, Partie 2. Rapport 1, 2014, pp. 63-164.
- CACOT (E.), EISNER (N.), CHARNET (F.), LÉON (P.), RANTIEN (C.), RANGER (J.). — La Récolte raisonnée des rémanents en forêt. Guide pratique. — Angers : ADEME Éditions, 2006. — 36 p. (Collection Connaître pour Agir).
- LANDMANN (G.), NIVET (C.) (coord.). — Projet RESOBIO, Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité. — Angers : ADEME ; Paris : Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt — GIP ECOFOR, 2014. — 243 p.
- LANDMANN (G.), THIVOLLE-CAZAT (A.), DELEUZE (C.), CABRAL (A.-S.). — Nature, importance et conditions de mobilisation des rémanents. *In* : Projet RESOBIO, Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité/G. Landmann, C. Nivet (coord.). — Angers : ADEME ; Paris : Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt — GIP ECOFOR. — Rapport final, Partie 1, Chapitre 3, 2014, pp. 25-30.
- POUSSE (N.). — Étude prospective de l'intérêt du taux de saturation des sols par rapport au pH comme indicateur de la sensibilité aux exports de minéralomasse. *In* : Projet RESOBIO, Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité/G. Landmann, C. Nivet (coord.). — Angers : ADEME ; Paris : Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt — GIP ECOFOR. — Rapport final, Partie 2. Rapport 2, 2014, pp. 165-180.