



Oct.
2019

PROJET CAPSOL

Dynamique du Carbone et de la croissance après
Préparation du SOL dans les plantations forestières

SYNTHÈSE

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

En partenariat avec :



REMERCIEMENTS

Membres du Comité de Pilotage :

E. Bataille (MAA), N. Bilot (GCF), A. Departe (ADEME), J. Fiquepron (IDF), M. Gentils (MAA), T.E. Helou (FNEDT), X. Morvan (CRPF), R. Touffait (ONF)

Membres du consortium de recherche :

E. Akroume (ONF), A. Berthelot (FCBA), M. Blondet (AgroParisTech), V. Boulanger (ONF), F. Bureau (Univ. Rouen), L. Cécillon (IRSTEA), C. Collet (INRA), C. Deleuze (ONF), D. Derrien (INRA), N. Dumas (INRA), M. Fortin (AgroParisTech), D. François (ONF), J.C. Miquel (INRA), J. Piat (ONF), N. Pousse (ONF), E. Quibel (Univ. Rouen), H. Rakotoarison (ONF), C. Richter (ONF), E. Ulrich (ONF), L. Vincenot (Univ. Rouen), L. Wehrlen (INRA)

CITATION DE CETTE SYNTHÈSE

Collet C., Akroume E., Bureau F., Cécillon L., Deleuze C., Derrien D., Richter C., Berthelot A. 2018. Synthèse du projet CAPSOL: Dynamique du CARbone et de la croissance après Préparation du SOL dans les plantations forestières. 5 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 16-60-C0002

Projet de recherche coordonné par : COLLET Catherine (INRA)
Appel à projet de recherche : REACTIF 2015

Coordination technique - ADEME : DEPARTE Alba
Service Forêt, Alimentation et Bioéconomie
Direction Productions et Energies Durables



SOMMAIRE

1. Introduction.....	4
2. Principaux enseignements	5
2.1. Etudier les effets de la PMS avant plantation sur deux composantes du bilan de carbone : le carbone organique du sol et la croissance des arbres.	5
2.2. Utiliser les résultats obtenus pour alimenter une évaluation plus complète des méthodes de PMS et des itinéraires techniques de conduite des plantations.	6
2.3. Elaborer un programme de transfert vers la filière forestière intégrant les nouvelles connaissances scientifiques et techniques.	6



1. Introduction

La plantation forestière constitue une voie privilégiée pour mettre en œuvre les stratégies d'atténuation et d'adaptation au changement climatique : elle permet d'effectuer les changements d'essence nécessaires pour installer des essences mieux adaptées aux conditions climatiques futures ou des essences fournissant des produits à forte capacité de substitution, et elle renforce la pérennité des forêts en assurant le renouvellement des peuplements endommagés.

La plantation suppose des opérations sylvicoles spécifiques, notamment une préparation mécanisée du site (PMS) qui favorise le développement des plants. Un des impacts attendus de ces méthodes est le déstockage du carbone organique du sol (COS) et, plus particulièrement, des pools de C stocké sous forme organique stable. D'autres impacts environnementaux potentiellement négatifs sur les propriétés du sol ou la biodiversité sont attendus.

Des méthodes de PMS utilisant des engins mécaniques légers montés sur mini-pelle ont été développées et sont en cours d'évaluation. Elles permettent de lever des contraintes fortes au développement des plants, liées au sol ou à la végétation spontanée. Elles permettent d'effectuer un travail localisé dans la parcelle et, par-là, de réduire les impacts environnementaux attendus, en comparaison avec des méthodes travaillant la parcelle en plein. Ces méthodes semblent techniquement et économiquement opérationnelles et doivent maintenant faire l'objet d'un bilan plus complet puis d'une diffusion au sein du monde professionnel.

Le projet Capsol a été construit autour de **3 grandes questions** :

1. La première question concernait l'impact de différentes méthodes de PMS utilisant des engins légers sur le bilan de carbone au cours des premières années suivant la plantation. Deux composantes du bilan de carbone ont été retenues : la dynamique (stocks et flux) du COS en termes de quantité et de qualité, et l'installation et la croissance des plants. Les méthodes de PMS favorables au maintien du stock de COS et les méthodes assurant le bon démarrage du peuplement ont été identifiées.
2. Le compromis entre les deux premiers bilans a ensuite été analysé pour proposer des méthodes d'installation du peuplement efficaces. D'autres facteurs associés, environnementaux et socio-économiques ont été intégrés à l'analyse. La question des bilans des différentes méthodes sur une révolution du peuplement a été abordée dans une approche plus prospective.
3. La dernière question concerne la diffusion des pratiques innovantes ainsi développées et s'est focalisée sur les freins à l'adoption de ces nouvelles pratiques par les acteurs socio-économiques et sur les leviers potentiels pour accélérer les évolutions techniques.

L'**objectif finalisé** est d'évaluer et promouvoir de nouvelles méthodes de PMS qui puissent s'appliquer à différentes conditions (station, essence, objectif de gestion...). Le projet se focalise plus particulièrement sur des méthodes basées sur l'utilisation d'engins mécaniques légers (mini-pelle) portant différents outils. Il intégrera également de façon ponctuelle pour l'analyse, des performances environnementales et économiques des techniques innovantes avec des outils montés derrière tracteur forestier, engin plus lourd mais de plus grande productivité.

Le projet s'est appuyé sur des réseaux expérimentaux existants. Le réseau Alter teste des outils mécanisés, en méthodes alternatives aux herbicides pour maîtriser la végétation dans des premières années de plantations. Deux outils montés sur mini-pelle sont testés : le Sous-Soleur Multifonction et le Scarificateur Réversible. Le réseau comporte huit plantations expérimentales installées dans des situations bloquantes qui croisent deux essences et différentes modalités de PMS. Le réseau Pilote vise à évaluer la faisabilité technique et la performance économique de divers itinéraires techniques de plantation utilisant une large gamme de méthodes de PMS (outils montés sur mini-pelle : Sous-Soleur Multifonction, Scarificateur Réversible, Razherb ; sur tracteur : Meri-Crusher, Culti-3B ; ou sur pelle mécanique : Bi-dent Maillard). Le réseau comportait au début du projet dix sites avec des essences différentes. Une description des réseaux Alter et Pilote est disponible à : www.inra.fr/renfor/Reseaux-d-experimentation

Le dispositif Icif teste plus particulièrement des itinéraires de production de biomasse et de petits produits bois résineux en croisant des techniques d'installation (préparation physique et chimique des sols), des essences et des itinéraires sylvicoles. Le dispositif Chrono (1994) permet d'effectuer une comparaison d'itinéraires de plantation et de régénération naturelle sur une durée longue. L'ensemble des dispositifs se distribue sur une part importante du territoire national et couvre ainsi différentes situations pédoclimatiques. Il représente des situations de

plantations souvent problématiques, très classiquement rencontrées en France. Deux grands contextes ont été sélectionnés : stations acides sèches dominées par la fougère, et stations acides hydromorphes dominées par la molinie.

L'étude de la croissance des arbres et de la dynamique du COS dans les jeunes stades a reposé sur une approche combinant expérimentation et modélisation, qui a mobilisé les données issues des différents réseaux expérimentaux acquises pendant la durée du projet ou préalables au projet, et des données complémentaires issues de réseaux extérieurs.

Les réseaux Alter, Pilote et Icif sont également le support d'études des performances économiques et environnementales (sol, végétation) des méthodes de PMS. Les résultats de ces études ont permis d'alimenter l'analyse des performances multiples de la PMS.

La réflexion sur la stratégie à mettre en œuvre pour assurer le transfert des méthodes s'est basée sur un travail d'enquêtes et des ateliers de réflexion impliquant les différents acteurs du secteur forestier concernés par la plantation et par l'utilisation de la PMS.

2. Principaux enseignements

2.1. Etudier les effets de la PMS avant plantation sur deux composantes du bilan de carbone : le carbone organique du sol et la croissance des arbres.

Une originalité de l'étude expérimentale est de s'être penchée sur des méthodes de PMS réalisant une préparation du sol localisée dans la parcelle, et de chercher à estimer dans quelle mesure la préparation localisée permet de réduire la perturbation occasionnée, en comparaison avec une préparation réalisée en plein. L'étude a montré, dans l'ensemble des dispositifs suivis, un impact négatif à court terme (3 à 5 ans) de la PMS sur le stock de COS dans la zone travaillée, confirmant ainsi des résultats bibliographiques déjà établis en parcelles agricoles et forestières. Dans la zone travaillée, la diminution du stock de COS dans les horizons de 0 à 60 cm, par rapport au témoin non perturbé, peut atteindre des valeurs maximales de 60 à 70% dans les sols présentant une forte accumulation de litière. Pour les différents outils de PMS testés, la diminution du stock de COS était limitée à la ligne de plantation (zone travaillée) et n'était pas attribuable uniquement à un déstockage de carbone sous forme de CO₂ par minéralisation, mais était également causée par un déplacement de la matière organique par les outils de PMS depuis la ligne de plantation vers l'andain voire l'inter-rang. Une estimation du stock de COS à l'échelle de la parcelle entière révèle des valeurs peu différentes pour les parcelles préparées et les parcelles témoin, avec des différences entre sites. Les parcelles caractérisées par des horizons organiques de surface importants semblent plus sensibles et montrent un effet de la PMS à l'échelle de la parcelle négatif, alors que les parcelles caractérisées par des horizons organiques plus fins ne montrent pas d'effet. La préparation localisée permet donc bien de réduire, voire annuler, l'impact négatif de la PMS sur le stock total de COS dans la parcelle. Son effet est alors principalement un déplacement de la matière organique des lignes de plantation vers les inter-rangs. Elle constitue ainsi une alternative intéressante aux outils de PMS qui travaillent le sol en plein, et une réflexion sur la surface maximale de sol à travailler doit être menée, selon les outils de PMS, et selon les types de sol et la sensibilité de leur stock de COS à la PMS.

La qualité des stocks de COS a été évaluée, permettant de séparer le pool en carbone labile et carbone stable. Les premiers résultats montrent une redistribution importante du carbone entre les horizons à différentes profondeurs, qui varie selon les outils de PMS. Une analyse approfondie et une comparaison des différents dispositifs sont prévues dans les mois à venir, qui permettra notamment de mieux caractériser les perturbations causées par les différents outils. Les réponses à moyen et long terme des différents pools de carbone à ces perturbations restent pour l'instant difficiles à appréhender.

Une approche de modélisation a été menée pour évaluer les impacts à moyen et long terme de la PMS sur le carbone dans la biomasse et dans le sol.

Une première étude a permis d'élaborer des relations de croissance pour les stades juvéniles des principales essences de plantation en France, selon les grands types de préparation du site (PMS, herbicides, fertilisation, amendement, méthodes mixtes). Ces modèles fournissent des fonctions qui pourront être utilisées pour décrire les phases initiales de croissance des arbres en plantation, généralement absentes des modèles de croissance pour les phases adultes.

Ensuite, un modèle décrivant l'évolution des stocks de carbone dans la biomasse et dans le sol sur la durée de la révolution, a été élaboré et des simulations utilisant les données de COS récoltées dans le projet ont été réalisées. Le modèle suggère que les gains de croissance et de survie dus à la PMS ont peu d'impact sur le carbone dans la



biomasse à l'échelle de la révolution, sauf dans les cas où la mortalité serait très forte (et où la pratique habituelle de regarnissage ne serait pas appliquée).

Dans sa version actuelle, le module sur la dynamique du COS considère trois horizons et deux niveaux de qualité des COS (labile ou stable), mais il n'intègre pas la redistribution du carbone dans le sol. La calibration du modèle permet de reproduire la dynamique de stock de COS sous peuplement mature classiquement observée.

Pour l'instant, les simulations de l'impact de la PMS sur les COS ont été effectuées sur des durées courtes (5 ans). Elles mettent en évidence des effets assez faibles de la PMS, qui correspondent aux observations réalisées dans les parcelles. Pour étendre le modèle sur la durée de la révolution, il sera nécessaire d'intégrer la redistribution verticale et horizontale du carbone dans le sol (résultats prochainement disponibles) et de considérer que les stocks de carbone dans les différents volumes de sol et de différentes qualités possèdent des dynamiques propres qui demandent à être calibrées individuellement dans le modèle.

2.2. Utiliser les résultats obtenus pour alimenter une évaluation plus complète des méthodes de PMS et des itinéraires techniques de conduite des plantations.

Les dispositifs des réseaux Alter et Pilote visaient à quantifier différentes performances pour les méthodes étudiées, notamment la croissance et la survie des plants, le coût des itinéraires, l'intensité des perturbations induites, les impacts sur le bilan carbone et la biodiversité floristique. Ces données ont été intégrées dans des analyses multivariées et ont servi à initier une démarche d'évaluation multicritère.

Ce travail a tout d'abord permis d'identifier les méthodes de PMS et les itinéraires techniques les plus prometteurs et d'identifier pour chacun d'entre eux, les performances qui doivent être améliorées. Les méthodes qui réalisent un travail localisé dans la parcelle permettent de réduire notablement les perturbations induites (COS, biodiversité végétale) et certaines d'entre elles permettent une bonne installation des plants, même dans des situations réputées difficiles (contextes de fougère ou de molinie abondante). Parmi ces méthodes, les outils montés sur mini-pelle sont intéressants quant à leurs performances techniques et environnementales, mais ont une productivité qui est faible, comparé aux outils tractés.

Les performances des méthodes sont fortement dépendantes de leurs conditions d'application (conditions stationnelles et climatiques) et les données disponibles concernant les différentes performances des outils sont encore parcellaires pour de nombreux outils, réduisant la portée des conclusions que nous pouvons tirer. La compilation des différents jeux de données a permis de préciser les situations (outils à tester, conditions stationnelles et climatiques à tester, performances à suivre) sur lesquelles il faudrait travailler en priorité. En outre, des indicateurs ont été définis pour chacune des performances suivies, de façon à réduire la variation dans les indicateurs actuellement mesurés qui complique fortement la compilation des jeux de données de différentes origines.

Une démarche d'évaluation multicritère (EMC) a été initiée et a débuté par l'identification des acteurs concernés par la thématique de la plantation forestière, largement au-delà des intervenants en forêt. Les attentes portées par les différents acteurs vis-à-vis de la plantation ont été déterminées. Une analyse préliminaire des principales attentes montre un certain décalage avec les connaissances actuellement disponibles, et pourrait mener à de nouvelles définitions des priorités de travail, notamment une meilleure prise en compte des performances sociétales des itinéraires de plantation.

L'EMC constitue un outil d'animation du débat multiacteurs, car il repose sur la co-construction du modèle par les différents acteurs concernés par la thématique. Le travail effectué dans CAPSOL s'est ainsi basé sur l'organisation d'ateliers de travail réunissant des experts de différents organismes, des enquêtes et des entretiens individuels. Cette animation permet la confrontation des idées entre les différents acteurs. La poursuite des travaux, notamment sur l'expression des préférences des acteurs devrait permettre d'approfondir ces échanges.

2.3. Elaborer un programme de transfert vers la filière forestière intégrant les nouvelles connaissances scientifiques et techniques.

Les différentes enquêtes menées ont montré que les acteurs forestiers expriment de fortes attentes pour une évolution des pratiques de plantation, mais un faible niveau de connaissance et plus encore d'utilisation des outils de PMS innovants par les praticiens est clairement observé. Ces observations confirment le ressenti des acteurs de la R&D impliqués dans le développement d'outils de PMS et mettent en évidence le besoin de mettre en place les conditions d'une meilleure diffusion des innovations.

Aucune défiance particulière par rapport à l'innovation n'a été observée, et les actions de formation menées par les organismes de R&D sont globalement jugées efficaces bien qu'insuffisantes en nombre. Poursuivre les actions et élargir l'effort de formation actuel pour essayer de toucher de nouvelles personnes, semble important.

Dans les formations initiales, l'importance donnée aux thématiques en lien avec la plantation ne semble pas toujours à la hauteur des enjeux actuels associés à la thématique. La formation continue et l'auto-formation sur les pratiques de plantation constituent alors les éléments essentiels pour assurer un bon niveau de compétence des praticiens. Une démarche en deux temps est préconisée pour transférer les connaissances : tout d'abord des actions d'information généralistes et synthétiques, s'adressant à l'ensemble du public concerné ; puis des actions de formation, plus détaillées et plus opérationnelles, ciblées sur des publics et des demandes spécifiques.

Il est nécessaire de diversifier autant que possible la palette de méthodes de transfert utilisées (communication écrite, vidéos, placettes de démonstration, échanges directs entre chercheurs, développeurs et praticiens, informations en ligne) pour "faire savoir" et "faire voir".

Parmi les différentes méthodes, les démonstrations sur le terrain sont particulièrement demandées et se révèlent efficaces pour le transfert de connaissances opérationnelles : elles permettent aux participants de voir par eux-mêmes les outils mis en œuvre et leurs impacts sylvicoles, elles fournissent généralement des informations pratiques directement applicables par les participants, et elles sont contextualisées (contexte régional, contexte de gestion, ...). L'organisation de journées de démonstration, la mise à la disposition des formateurs de parcelles expérimentales bien documentées, la rédaction de supports pédagogiques pour les visites ou la réalisation de travaux pratiques de terrain, sont des exemples d'actions permettant de répondre aux demandes exprimées par les praticiens et les formateurs.

Par ailleurs, l'absence de mise en réseau des acteurs est apparue comme un frein fort à l'adoption des outils. Pour l'ensemble des acteurs, elle mène à une mauvaise circulation de l'information et à l'absence de vision partagée et d'objectifs communs entre les acteurs locaux qui pourrait pourtant les inciter à changer leurs pratiques. Pour les entreprises de travaux forestiers, plus particulièrement, on observe une réticence à l'investissement dans du nouveau matériel, dans un contexte économique perçu comme très incertain.

Néanmoins, différents leviers ont été proposés aux praticiens pour remédier à la faiblesse des réseaux (par exemple : mise en place de projets collectifs multi-acteurs, développer des projet d'investissement mutualisés, accueillir des professionnels dans les structures de R&D) et aucun n'a convaincu. Ceci suggère qu'au-delà des innovations techniques sur les outils, des innovations sont également nécessaires dans l'organisation des interactions entre acteurs, passant par l'invention de nouvelles formes de collaboration et par l'acceptation de ces nouveautés par les acteurs concernés.

Ainsi, il apparaît clairement que la consolidation des réseaux d'acteurs devrait constituer une priorité dans la mise en œuvre d'une stratégie de dissémination des innovations, mais il est actuellement difficile d'identifier les actions qui permettraient cette consolidation. Une bonne compréhension des réticences des différents acteurs à s'investir dans des actions facilitant les échanges entre eux est malheureusement actuellement manquante, alors qu'elle semble nécessaire pour pouvoir élaborer et proposer des actions concrètes et, in fine, parvenir à animer et dynamiser le réseau d'acteurs.



L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Ecologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

<https://www.ademe.fr/>

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous un regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



Projet CAPSOL: Dynamique du Carbone et de la croissance après Préparation du SOL dans les plantations forestières

La plantation forestière suppose des opérations sylvicoles spécifiques, notamment une préparation mécanisée du site (PMS) qui favorise le développement des plants. Des méthodes innovantes, utilisant des engins mécaniques légers, ont été développées mais leurs performances restent encore mal caractérisées.

Le projet Capsol avait pour objectifs:

- D'étudier les effets de la PMS avant plantation sur deux composantes du bilan de carbone : le carbone organique du sol (COS) et la croissance des arbres.
- D'utiliser les résultats obtenus pour alimenter une évaluation plus complète des méthodes de PMS et des itinéraires techniques de conduite des plantations.
- D'élaborer un programme de transfert vers la filière forestière intégrant les nouvelles connaissances scientifiques et techniques.

L'étude a montré que la PMS a un effet négatif sur le stock de COS, limité à la zone travaillée. La réalisation d'un travail localisé dans la parcelle permet de réduire considérablement le déstockage de COS total à l'échelle de la parcelle en comparaison à des méthodes appliquées en plein. Les outils de PMS induisent une redistribution horizontale des COS à l'échelle de la parcelle et, dans la zone travaillée, une redistribution verticale dans le profil de sol. Un modèle de dynamique du carbone dans la biomasse et dans le sol a été calibré, qui permet de retrouver les observations effectuées dans les expérimentations et de simuler la dynamique à plus long terme.

L'analyse des performances multiples (croissance et survie des plants, coût des itinéraires, intensité des perturbations induites, impacts sur le bilan carbone et la biodiversité floristique) a permis d'identifier les méthodes prometteuses et, pour chacune d'elles, les performances qui doivent être améliorées.

Une démarche d'évaluation multicritère a été initiée, qui a abouti à une description des attentes des principaux acteurs concernés par la plantation, permettant de dégager des pistes de travail prioritaires, en particulier une meilleure prise en compte des performances sociétales des méthodes de plantation.

Les acteurs forestiers expriment de fortes attentes pour une évolution des pratiques de plantation, mais un faible niveau de connaissance et plus encore d'utilisation des outils innovants par les praticiens sont clairement observés. Poursuivre les actions et élargir l'effort de formation actuel pour essayer de toucher de nouvelles personnes, semble indispensable.

L'absence de mise en réseau des acteurs est apparue comme un frein fort à l'adoption des outils. Néanmoins, différents leviers ont été proposés aux praticiens pour y remédier, et aucun n'a convaincu. Ceci suggère qu'au-delà des innovations techniques sur les outils, des innovations sont également nécessaires dans l'organisation des interactions entre acteurs, passant par l'invention de nouvelles formes de collaboration et par l'acceptation de ces nouveautés par les acteurs concernés.



www.ademe.fr

