

Colloque « *Dernières innovations sur la plantation forestière* »,
19 mars 2019, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, Paris

Travaux de préparation mécanique en contexte de plantation forestière et stocks de carbone du sol

Fabrice BUREAU ¹, Edouard QUIBEL ¹, Delphine DERRIEN ²
et Lauric CÉCILLON ^{1,3}.

¹ Université de Rouen-Normandie, laboratoire ECODIV EA1293 / URA IRSTEA,

² INRA, Centre de Nancy, Unité Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers,

³ PSL Research University, Laboratoire de Géologie de l'ENS.

Introduction – Contexte

- Plantation forestière : voie privilégiée pour des stratégies d'adaptation et d'atténuation aux changements climatiques (implantation d'essences plus adaptées, séquestration du C dans la biomasse ligneuse et le sol, renouvellement des peuplements endommagés).
- Plantation forestière : préparation mécanisée du sol pour favoriser la croissance des plants.
- Travail mécanisé du sol :
 - ✓ Impacts bien documentés en systèmes cultivés (stock C, structure, biodiversité)
 - ✓ Alternative aux produits phytosanitaires pour lutter contre la végétation concurrente
- Ce dernier point a conduit au développement de méthodes alternatives de préparation mécanique du sol (outils légers sur mini pelle, travail localisé, mélange des horizons pédologique limité).

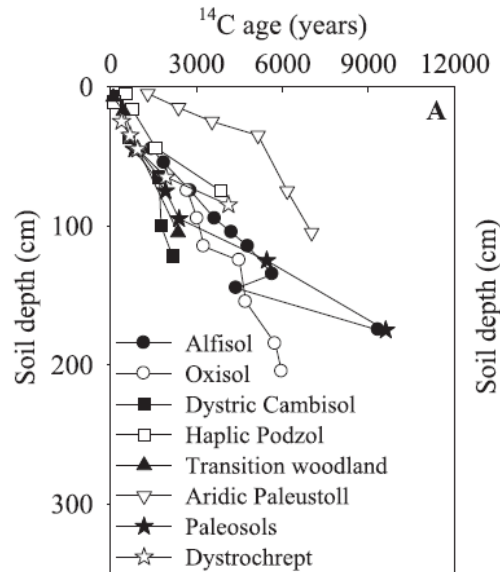
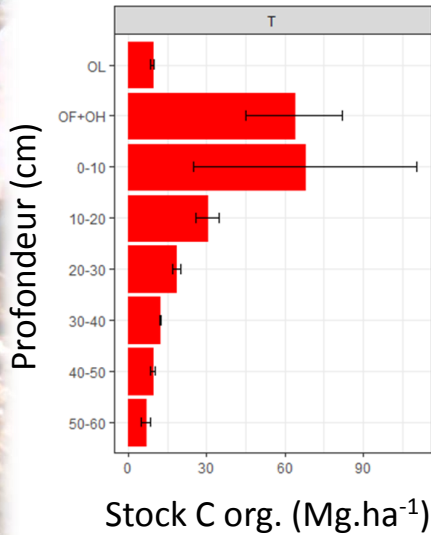
Introduction – Contexte

- Stocks de C dans les sols : il s'agit ici du **Carbone Organique du Sol (COS)** des **Matières Organiques du Sol (MOS)**
- MOS = ensemble des matières organiques mortes en voie de décomposition et de stabilisation dans le sol.
- Au final, il y a transformation du C organique en C minéral (C-CO₂ par minéralisation) mais aussi séquestration du C organique dans les sols.
- 3 processus de séquestration :
 - ✓ protection physique (au sein des agrégats),
 - ✓ association avec la fraction minérale (argiles),
 - ✓ récalcitrance biochimique (nature des MOS).
- Le sol via dynamique des MOS = source ou puit à C-CO₂



Introduction – Contexte

- Répartition du COS dans le profil et temps de résidence dans le sol



Age du Corg. du sol selon la profondeur (tiré de Han et al, 2015).
Données compilées de 7 études : Goh and Molloy, 1978; O'brien and Stout, 1978; Paul et al., 1997; Boutton et al., 1998; Pessenda et al., 2001; Rumpel et al., 2002; Budge et al., 2011).

Residue type	Century	RothC	Residence time (years)	C : N	Compounds
Litter	Metabolic	DPM	0.1-0.5	10-25	Simple sugars
					Amino acids
					Starch
SOM	Structural	DPM	2-4	100-200	Polysaccharides
					Active
SOM	Passive	RPM	15-100	10-25	POM
					Polysaccharides
					Lignified tissues
					Waxes
SOM	Passive	HUM	500-5000	7-10	Polyphenols
					Humic substances
					Clay; OM complexes
SOM	Passive	IOM			Biochar

DPM, decomposable plant material; BIO, microbial biomass; RPM, resistant plant material; HUM, humified organic matter; IOM, inert organic matter; POM, particulate organic matter; OM, organic matter.

(Jenkinson & Rayner, 1977; Paustian et al., 1992; Brady & Weil, 2002)

Pools de MOS définis selon leur temps de résidence (Dungait et al, 2012)

Introduction - Objectif

- Projet CAPSOL , financé par l'ADEME (coordination : C. Collet, INRA) vise, entre autre, à **évaluer l'impact de pratiques innovantes de travail mécanisé du sol dans un contexte de plantations forestières sur le stock de C du sol.**
- Ce projet s'appuie sur la thèse de E. Quibel, financée par la région Normandie, dont les premiers résultats sont présentés dans cet exposé.
- Deux questions sont traitées :
 - ✓ Quel est l'effet du travail mécanisé sur le stock de C du sol à l'échelle du profil pédologique (i.e. zone travaillée par l'outil) ?
 - ✓ Quel est l'effet du travail mécanisé sur le stock de C du sol à l'échelle du peuplement forestier (i.e. zones travaillées et non travaillées par l'outil) ?

Matériel et Méthodes : 6 sites réseau ALTER

PODZOSOL ocrique à forte charge en éléments grossiers

Sables : 68 à 82%
Limons : 14,5 à 26%

Argiles : 3 à 6%

Installation du site : 2010-2011

BRUNISOL dystrique rédoxique

Sables : 37 à 46%
Limons : 38 à 50%

Argiles : 12 à 16%

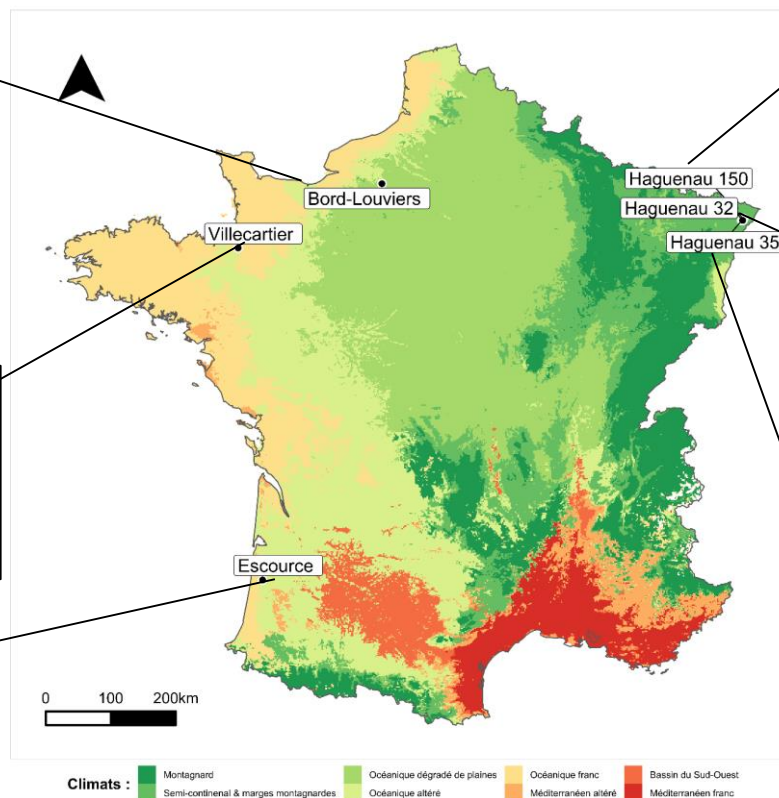
Installation du site : 2012

PODZOSOL

Sables : 68 à 82%
Limons : 14,5 à 26%

Argiles : 3 à 6%

Installation du site : 2012



PODZOSOL meuble issu d'alluvions sableux

Sables : 94 à 95%
Limons : 2,8 à 3,3%

Argiles : 0,7 à 3%

Installation du site : 2012

REDOXISOL issu d'alluvions sablo-argileux

Sables : 78,6 à 83,9%
Limons : 11,2 à 12,5%

Argiles : 4,3 à 8,9%

Installation du site : 2012

PODZOSOL ocrique rédoxique

Sables : 82,9 à 87,2%
Limons : 9,7 à 11,7%

Argiles : 3,1 à 5,3%

Installation du site : 2012

Matériel et Méthodes : présentation des outils.

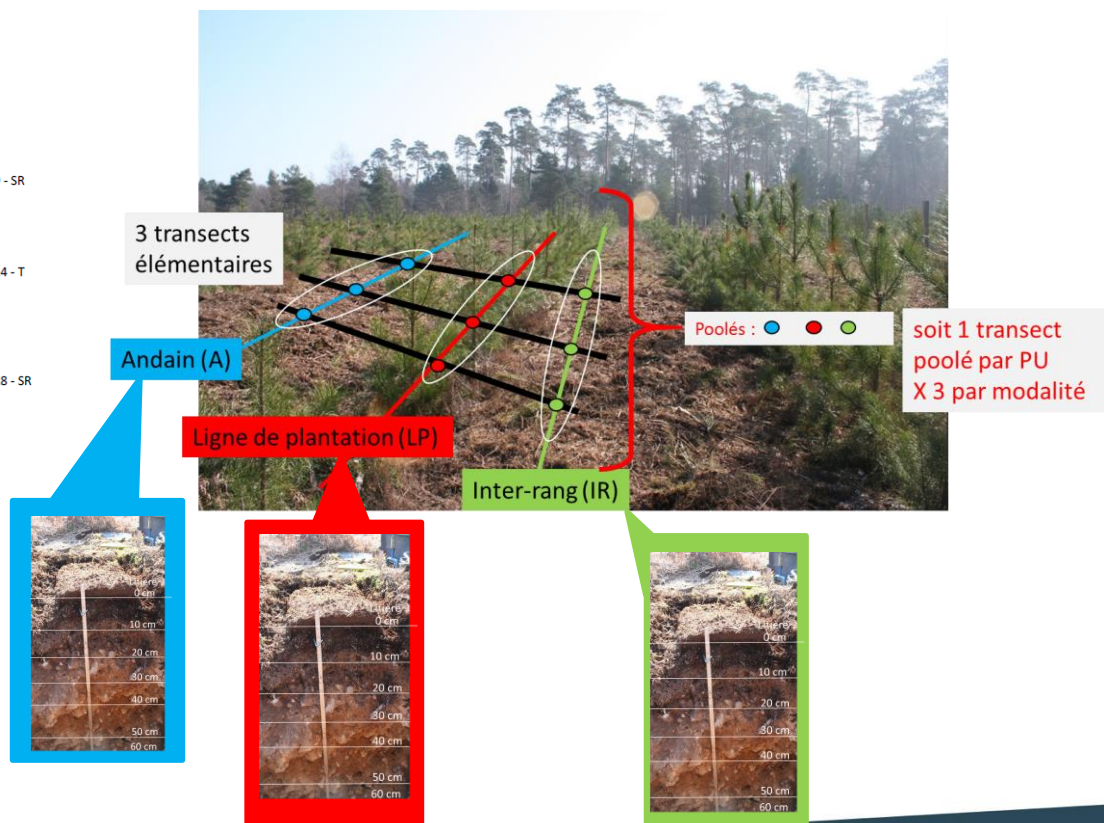
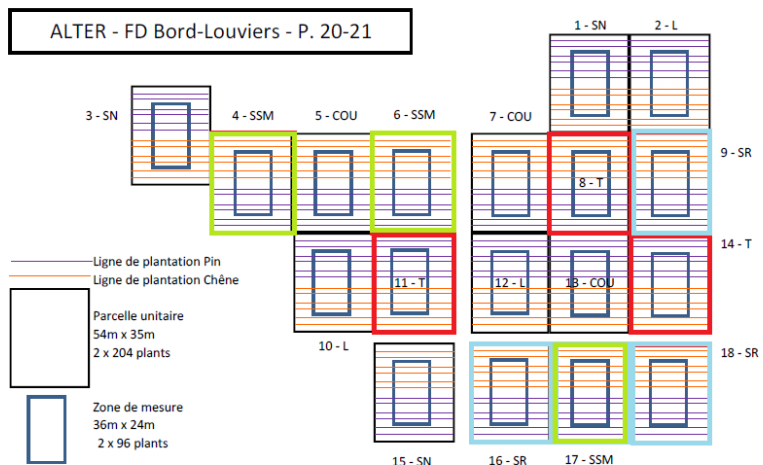
Scarificateur Réversible® (SR)



Sous-soleur multifonction® (SSM)



Matériel et Méthodes : dispositif et échantillonnage



- 3 modalités suivies :
 - **Témoin**
 - **SR**
 - **SSM**
- 3 parcelles unitaires (PU)
- par modalité

Résultats : stocks de C dans les Témoins

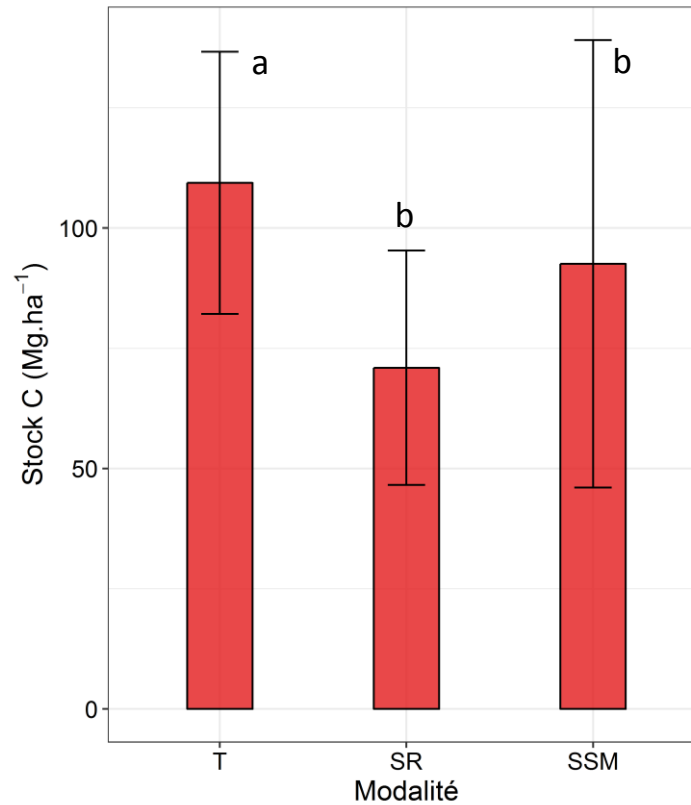
Site	Profil de sol considéré	Stock de C organique (Mg.ha ⁻¹)		Ecart-type	Stock C litière (horizons O) / stock total (%)
H32	<u>Litière + 0-60 cm</u>	129,81	±	31,96	5,80%
	0-60 cm	122,32	±	32,25	
H35	<u>Litière + 0-60 cm</u>	135,82	±	27,61	5,50%
	0-60 cm	128,34	±	31,89	
H150	<u>Litière + 0-60 cm</u>	117,66	±	16,48	3,90%
	0-60 cm	113,07	±	16,97	
Vil	<u>Litière + 0-60 cm</u>	101,57	±	14,16	4,20%
	0-60 cm	97,26	±	14,45	
ESC	<u>Litière + 0-60 cm</u>	95,84	±	13,16	10,20%
	0-60 cm	86,06	±	12,08	
BL	<u>Litière + 0-60 cm</u>	216,90	±	42,09	39,70%
	0-60 cm	144,29	±	45,88	

Résultats à l'échelle du profil de sol
dans la zone travaillée
(Ligne de plantation, LP)



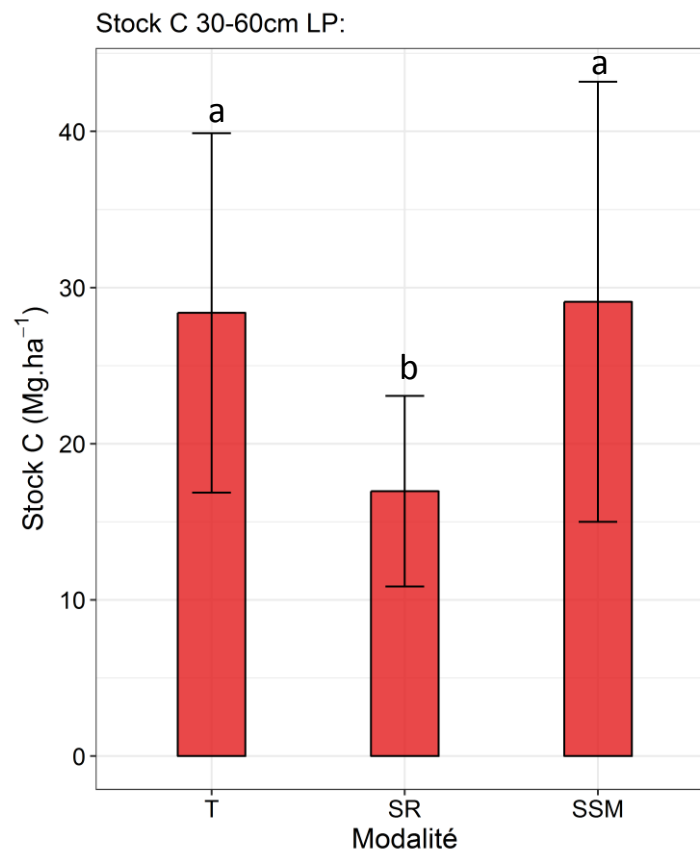
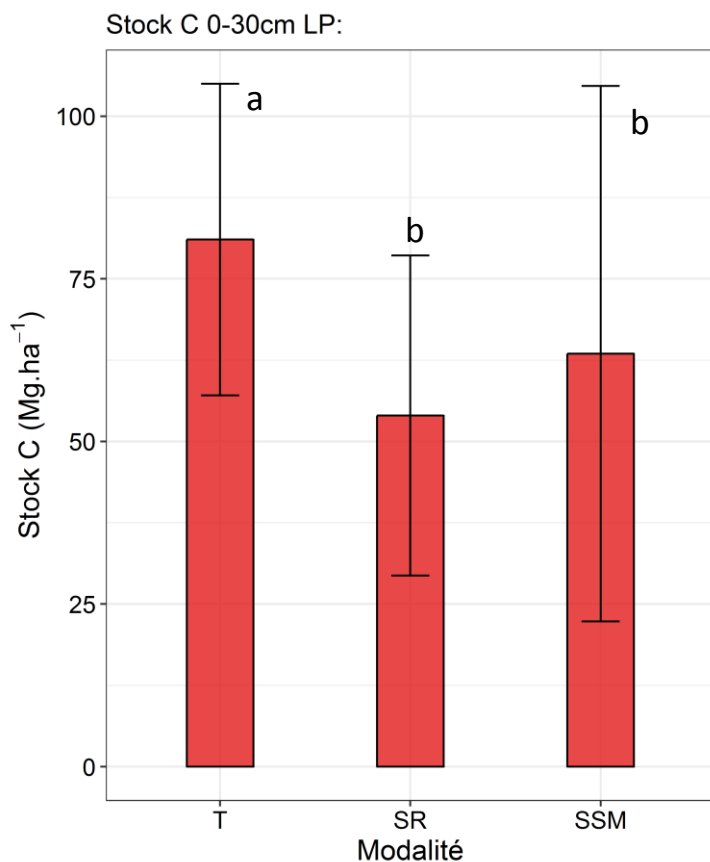
Profil de sol dans LP : 0-60 cm

Stock C 0-60cm LP:




(Scheirer-Ray-Hare ; $p = 0,05$)

Profil de sol dans LP : « topsoil » & « subsoil »

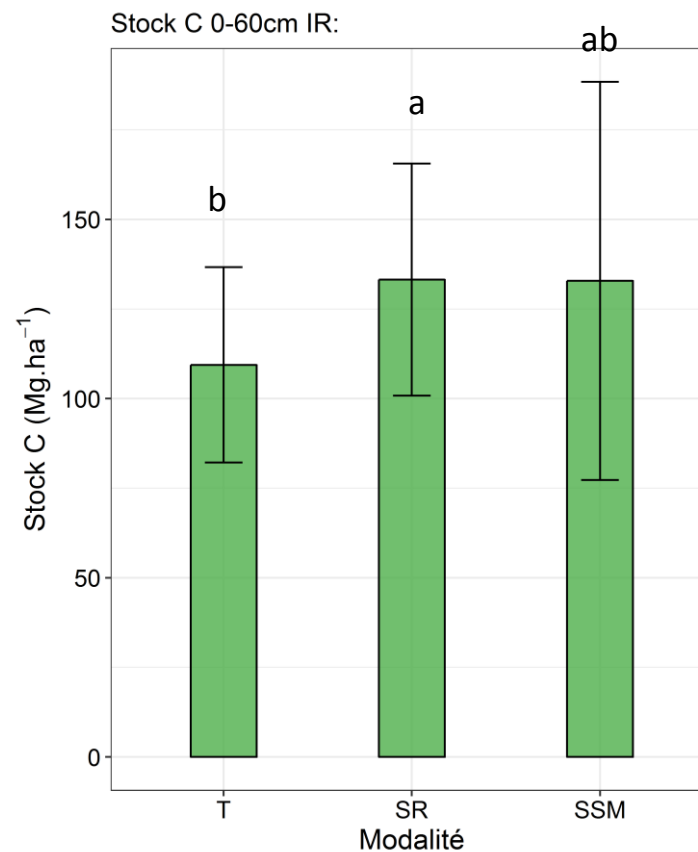
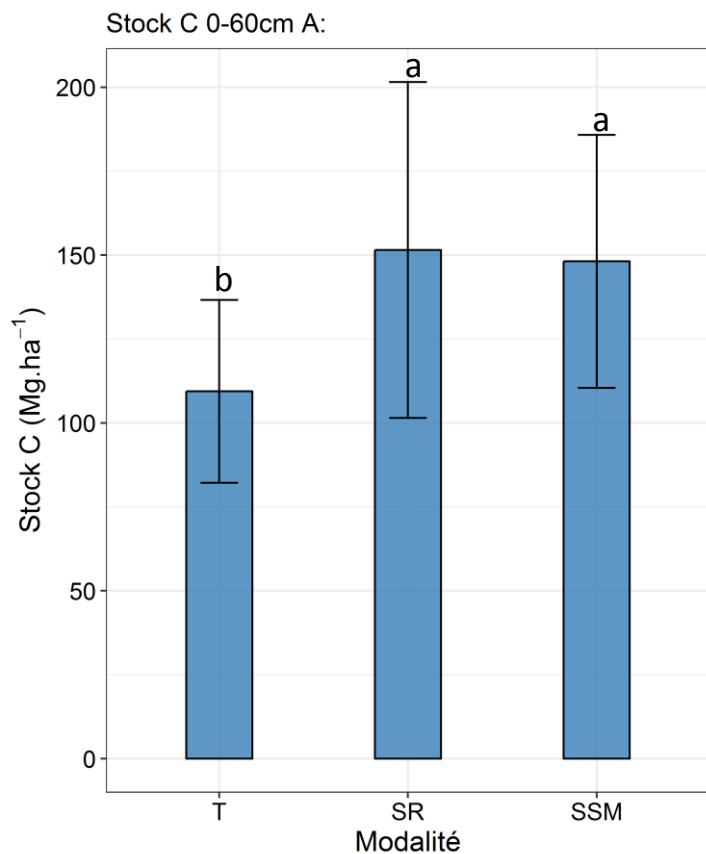


(Scheirer-Ray-Hare ; $p = 0,05$)



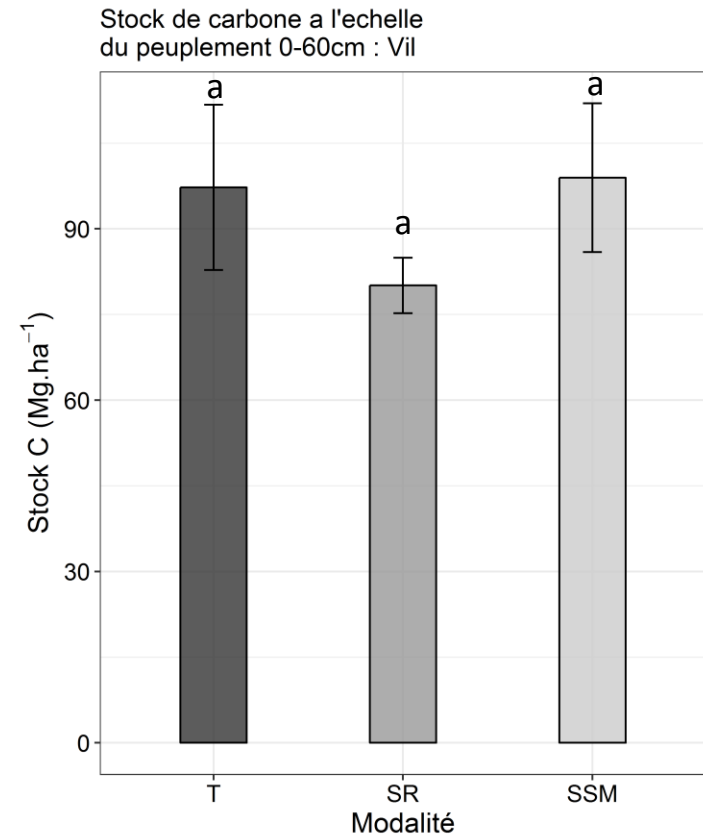
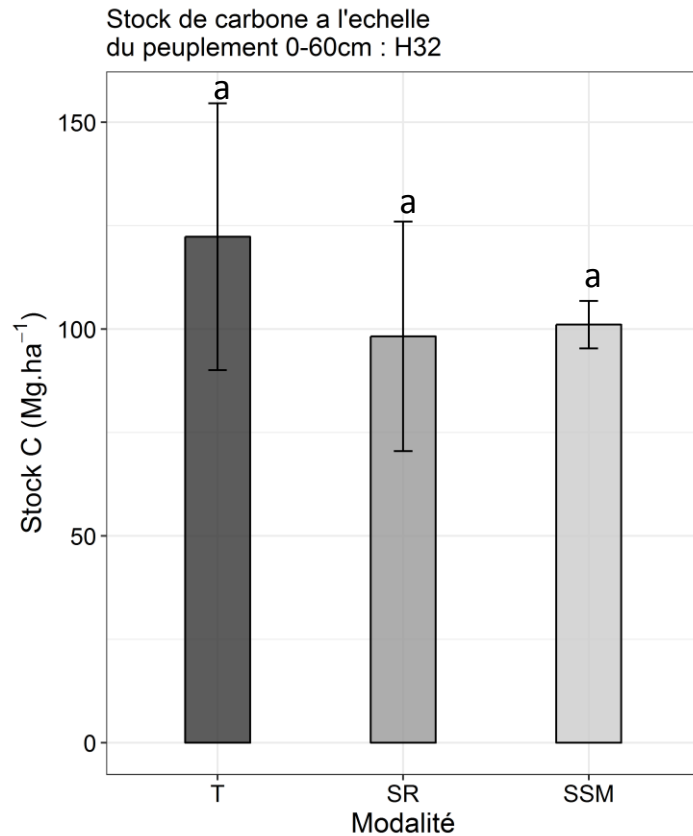
Résultats à l'échelle du peuplement incluant les zones travaillées et non travaillées (Ligne de plantation, Andain et Inter-Rang)

Zones non travaillées : stocks C dans A et IR



(Scheirer-Ray-Hare ; $p = 0,05$)

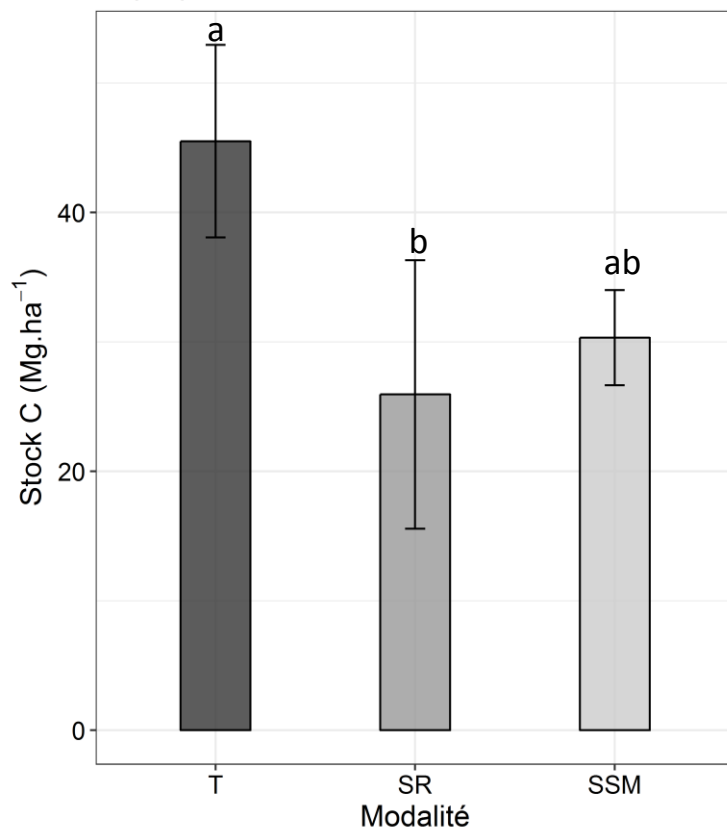
Stocks C sur 0-60 cm à l'échelle du peuplement



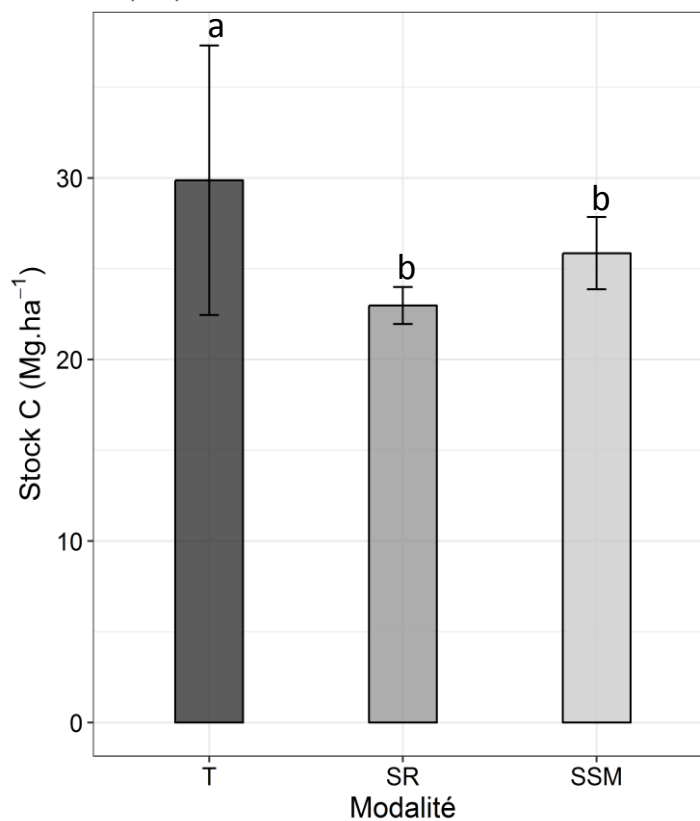
(Kruskal-Wallis ; $p=0,05$)

Stock C « litière / 0-10 cm » à l'échelle du peuplement

Stock de carbone a l'echelle
du peuplement litiere-10cm : H32



Stock de carbone a l'echelle
du peuplement litiere-10cm : Vil



(Kruskal-Wallis ; p=0,05)

Conclusions

- Dans la zone travaillée par les outils (SR et SSM) :
 - ✓ les stocks de C sur 0-60 cm sont significativement plus faibles que dans le témoin.
 - ✓ les stocks de C dans le topsoil (0-30 cm) sont plus impactés par SR ; SSM touche à la fois le « topsoil » et le « subsoil » en redistribuant le stock de C.
- A l'échelle du peuplement :
 - ✓ les stocks de C sur 0-60 cm ne présentent pas de différences significatives avec le témoin.
 - ✓ les stocks de C sur l'épisolum (Litière / 0-10 cm) présentent des différences significatives avec le témoin.

Perspectives

- Ces résultats montrent la nécessité de mieux connaître le fonctionnement « topsoil » / « subsoil » au sein du profil pour mieux appréhender la dynamique du COS.
- Dans le cadre de projet CAPSOL :
 - ✓ L'analyse purement quantitative des stocks de C réalisée ici est complétée par une analyse de la qualité des stocks de C.
 - ✓ Même démarche pour des outils adaptés aux sols hydromorphes : Razherb® et Culti-3B® sur des sites du réseau PILOTE (Molinie comme végétation concurrente).
- Le travail mécanisé n'est pas la seule pratique de gestion forestière à avoir un effet sur les stocks de C organique ...

Perspectives

- ... pour élargir la discussion, voir l'article de Augusto et al. (Forêt Entreprise n°245, 2019, pp. 62-66) sur l'effet des pratiques de gestion sur la séquestration de C organique dans les sols forestiers tempérés.

Tableau 1 - Effet des pratiques de gestion sylvicole sur la séquestration de carbone organique dans les sols forestiers tempérés. (Résultats issus de l'étude 4 pour 1000 France, Inra - ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation ; Ademe)

Actions du forestier	Effet sur le stock de carbone organique du sol	Besoins de recherche
Eclaircie	↔ Dépend du stock de C initial	
Coupe-rase	↘ Surtout en cas de perturbation du sol	🔒
Récolte des souches	↔ Mal connu sous climat tempéré	🔒
Récolte des houppiers	↘ Effet fonction du climat?	🔒
Plantation	↘ Comparaison à la régénération naturelle	
Préparation mécanisée du site	↘ A comparer au bilan C de l'écosystème	🔒
Densité de plantation	↔ Besoin de suivi à long terme	🔒
Diversité du peuplement	? Besoin de suivi à long terme	🔒
Identité du peuplement	? Besoin de suivi à long terme	🔒
Régime sylvicole	? Effet de l'historique du site	🔒
Structure d'âge du peuplement	? Effet de l'historique du site	🔒
Durée de rotation	? Effet de l'historique du site	🔒
Fertilisation azotée	↔ Effet très variable	
Apport de cendres	↔ Dépend du stock de C initial	
Apport de produits résiduels organiques	↗ Transfert latéral de fertilité et de C	

↗ Hausse du stock de COS
 ↘ Baisse du stock de COS
 ↔ Stock de COS invariant
 ? Effet inconnu sur le stock de COS
 🔒 Besoins de recherche

Colloque « *Dernières innovations sur la plantation forestière* »,
19 mars 2019, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, Paris

Merci de votre attention !

Remerciements :

Un grand merci aux préleveurs des campagnes de terrain 2017-2018 :
ECODIV : R. Levailant, F. Elis, C. Abgrall, S. Juarez, M. Aubert, H. Le
Glatin, M. Minot, M. Pieriste et P. Margerie ; LERFOB : L. Godard, P.
Croizier, M. Antoine ; ONF : E. Akroume.