



HAL
open science

Sols - Impacts de la gestion sur la fertilité et le carbone des sols forestiers

Laurent Saint-andré, Laurent Augusto, David L. Achat, Delphine Derrien,
Lauric Cecillon, Bernhard Zeller, Arnaud Legout, Gregory van Der Heijden

► To cite this version:

Laurent Saint-andré, Laurent Augusto, David L. Achat, Delphine Derrien, Lauric Cecillon, et al.. Sols - Impacts de la gestion sur la fertilité et le carbone des sols forestiers. Webinaire INRAE, projet Tamobiom (ADEME), Groupement des Coopératives Forestières (GCF), Jan 2023, Paris (online), France. hal-04642914

HAL Id: hal-04642914

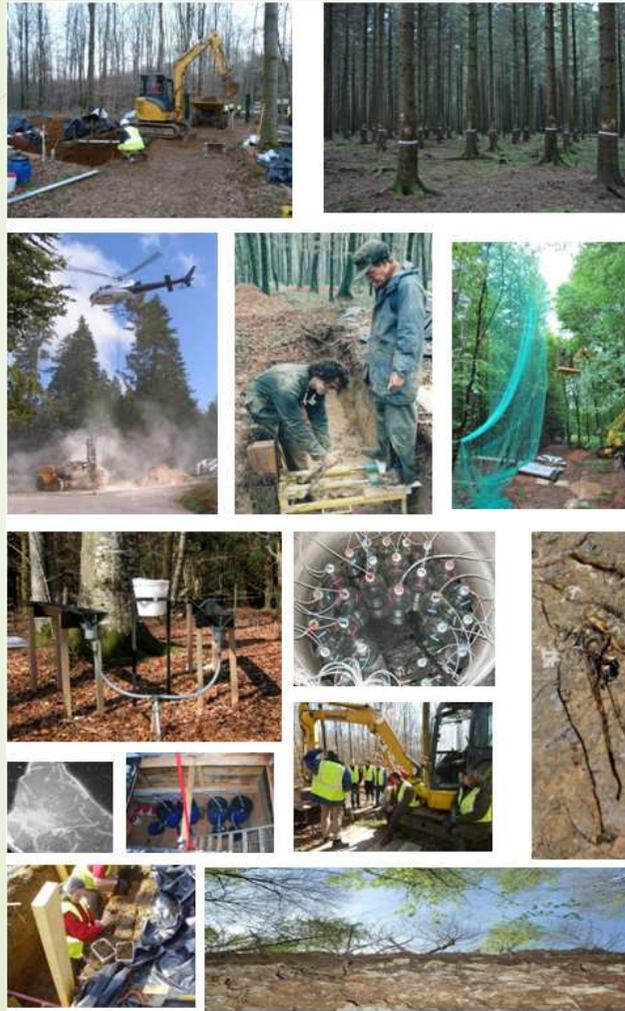
<https://hal.inrae.fr/hal-04642914v1>

Submitted on 10 Jul 2024

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.

Webinaire INRAE - Sols – Impacts de la gestion sur la fertilité et le carbone des sols forestiers



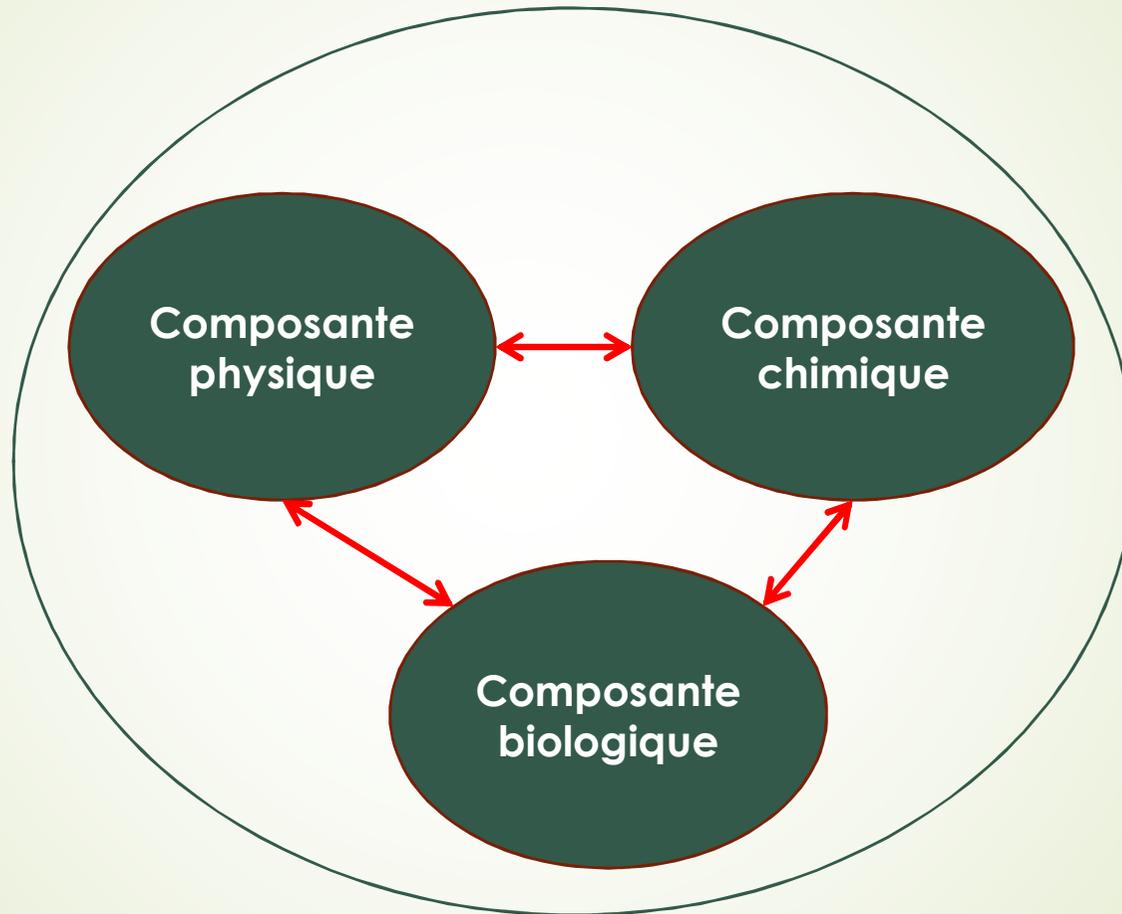
Laurent Saint-André, Laurent Augusto, David Achat, Delphine Derrien, Lauric Cecillon, Bernhard Zeller, Arnaud Legout, Gregory Van der Heijden

1

INRAE

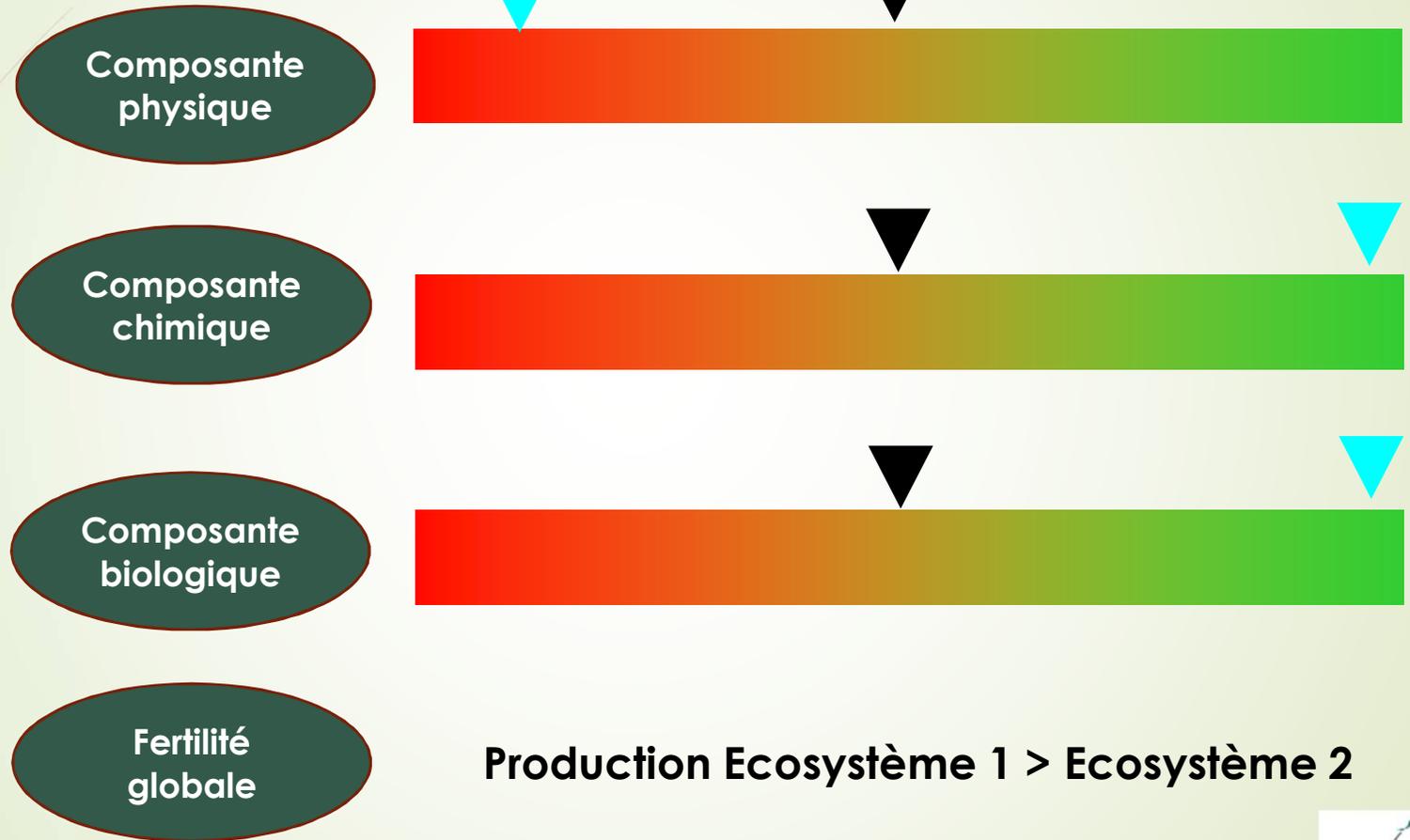
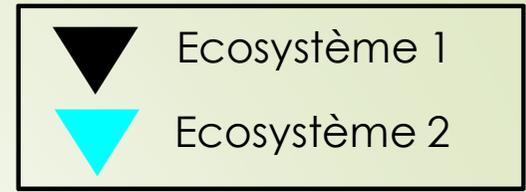


La fertilité des sols ?



2

Une équation complexe...

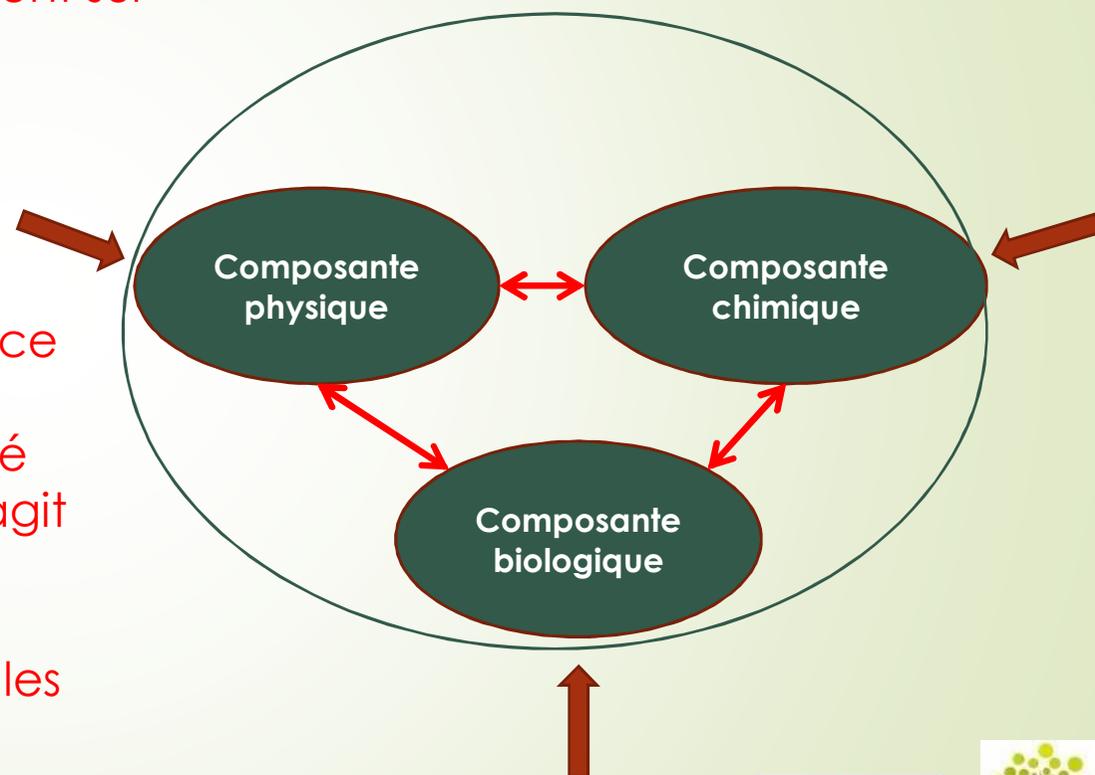


Production Ecosystème 1 > Ecosystème 2

Equation, sur laquelle la gestion a un impact sur toutes les composantes...

.....sur des sols impropres à l'agriculture, peu fertiles et dont les processus naturels dominent sur l'anthropisation...

Les sols forestiers sont une ressource support à de nombreux services (biodiversité, production, quantité et qualité des eaux,...) mais il s'agit d'une ressource fragile, qui se renouvelle très lentement naturellement (cf séminaire 1 sur les cycles biogéochimiques)



4

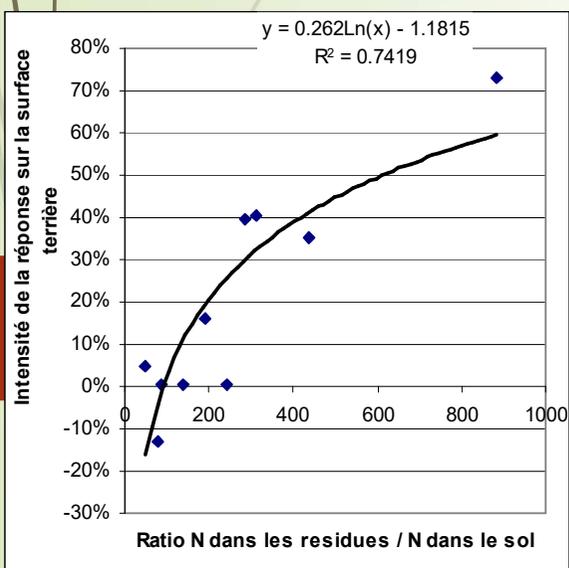
Impact de la gestion sur la fertilité des sols forestier ?

Exemple du réseau CIFOR sur les Eucalyptus

Slash Management at harvesting			
Commercial trees			Non Commercial Trees +
Stemwood	Bark	Crown	Litter on the soil + Understorey
Removed			Left
Removed	Removed*	Left + Slash added	
Removed	Removed**	Burnt	

* Removed in Congo, China and India

** Removed in India



Site	Fertilization (kg/ha)	Nitrogen		Soil properties		Intensity of the response			Ratio N/soilN	
		Residues (kg/ha)	Total (kg/ha)	C (g/kg)	N (g/kg)	C/N	Height	Circ		G
Congo	16	349	365	5.4	0.34	16	30%	19%	73%	1073.5
Brazil	15	296	311	16.6	0.96	17	20%	19%	41%	324.0
South-Africa	17	1378	1395	66.5	3.2	21	16%	13%	35%	435.9
India-Kayampooovam	42	100	142	21.5	1.83	12	7%	3%	22%	77.6
China	17	134	151	8.33	0.7	12	11%	13%	18%	215.7
India-Vattavada	42	150	192	52.3	4.5	12	11%	13%	14%	42.7
India-Surianelli	42	90	132	40.9	2.49	16	10%	6%	20%	53.0
India-Punnala	42	50	92	43.6	2.89	15	12%	15%	13%	31.8
Australia-Manjimup		481	481	50	3	17				160.3
Australia-Busselton		381	381	39	1.5	26				254.0

Impacts jusqu'à 30% pour la croissance en hauteur, 20% pour la circonférence et 70% pour la surface terrière, après une rotation

Impact corrélé un indice de charge (quantité de N dans les menus bois enlevés / concentration de N dans les sols)

Saint-André et al. 2008

Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forests

Proceedings of Workshops in Piracicaba (Brazil) 22-26 November 2004 and Bogor (Indonesia) 6-9 November 2006



Editor
E.K. Sadanandan Nambiar



Impact de la gestion sur la fertilité des sols forestier ?

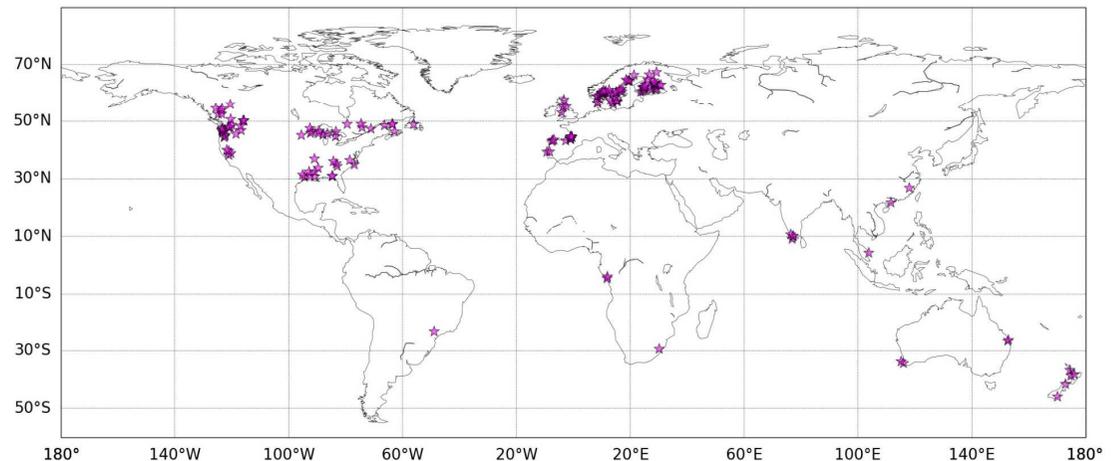
Generalisation, meta-analyse de different réseaux dans le monde

43% en Amérique du nord (29% USA, 14% Canada)
45% en Europe (35% Scandinaves)

Consequences sur les exports en nutriments (données compilées de 230 articles, 749 cas d'étude)

6

Consequences sur les propriétés du sol et la croissance (données compilées de 140 articles, 168 cas d'étude)



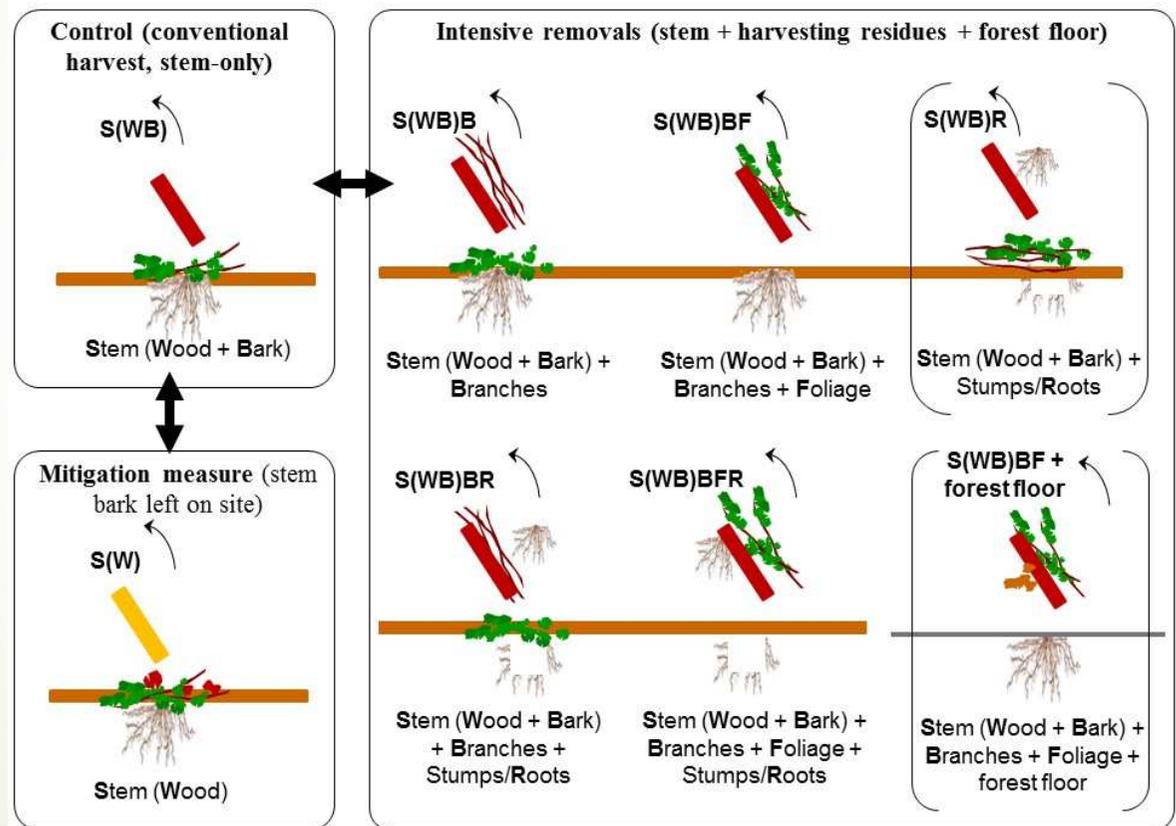
Impact de la gestion sur la fertilité des sols forestier ?

Generalisation, meta-analyse de different réseaux dans le monde

Les traitements considérés dans cette méta-analyse

Bois-fort conventionnel (S(WB), control) // Bois-fort avec mesure de compensation en laissant l'écorce sur le sol, comparés à différentes intensités de prélèvement

7



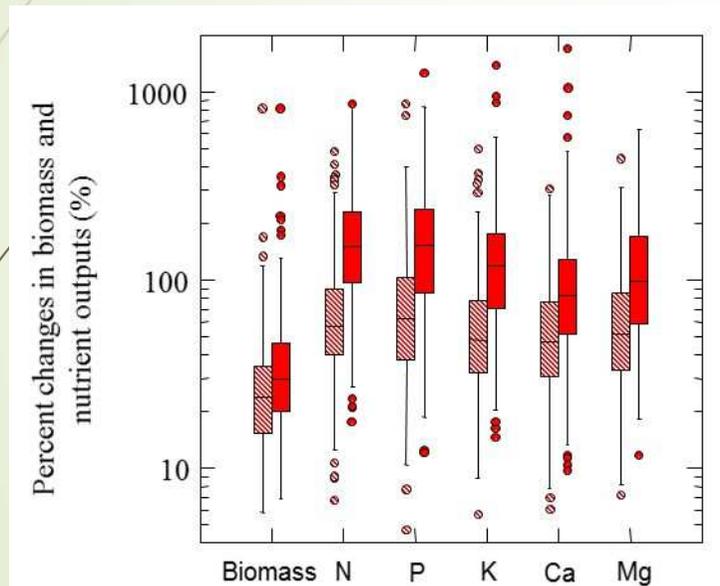
Achat et al. 2015

Removing harvesting residues (e.g. branches), combined with mitigation measures (stem bark left on site) => compensation effects

Impact de la gestion sur la fertilité des sols forestier ?

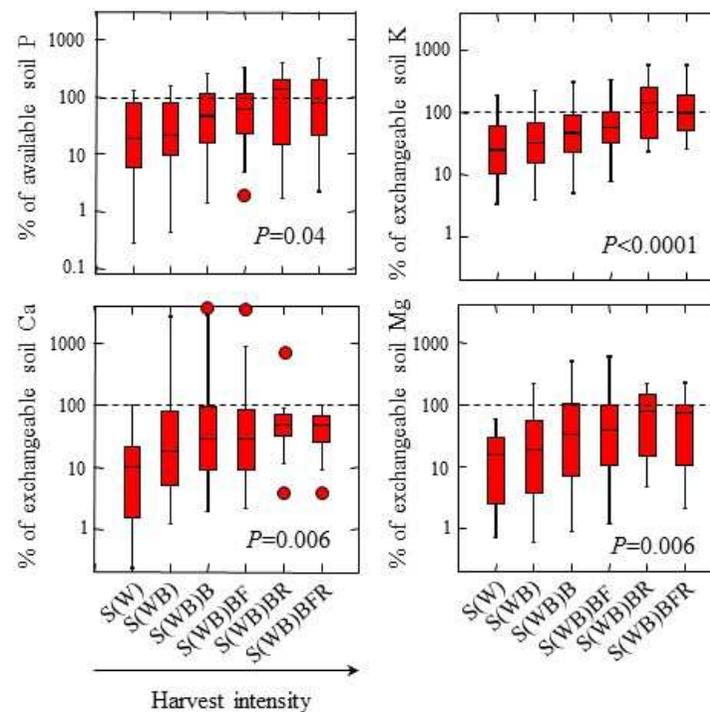
Generalisation, meta-analyse de different reseaux dans le monde

Intensité des exports en nutriments (% changes)



Exemples pour: le traitement S(WB)B vs S(WB): *boxplots grisés*
 Traitement S(WB)BF vs S(WB): *boxplots plein*
 Impact d'un prélèvement de feuilles en plus du bois et des branches

Exportation des nutriments en % de la quantité de nutriments dans le sol (0-80 cm)

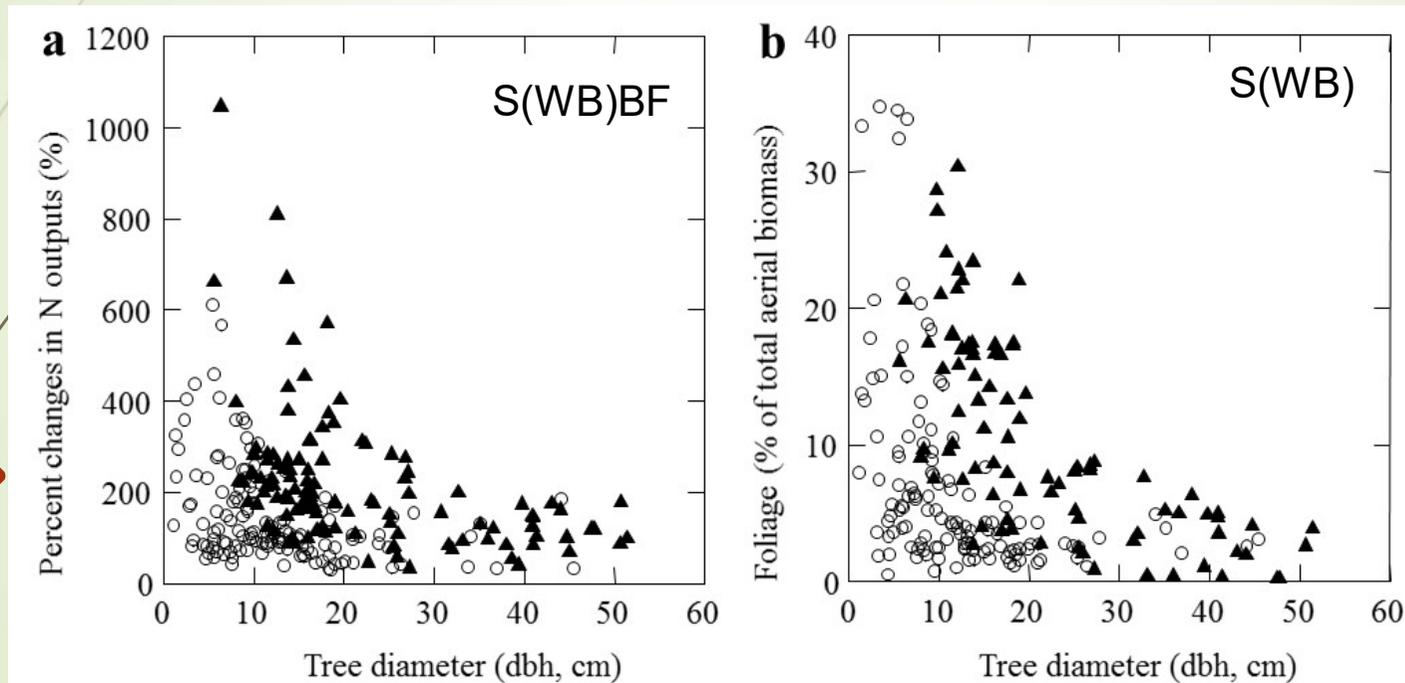


Un impact d'autant plus important que les compartiments exportés sont nombreux, tendance très significative malgré la grande variabilité des situations

Impact de la gestion sur la fertilité des sols forestier ?

Generalisation, meta-analyse de different réseaux dans le monde

Intensité des exportations (% changes): relation avec le diameter des arbres

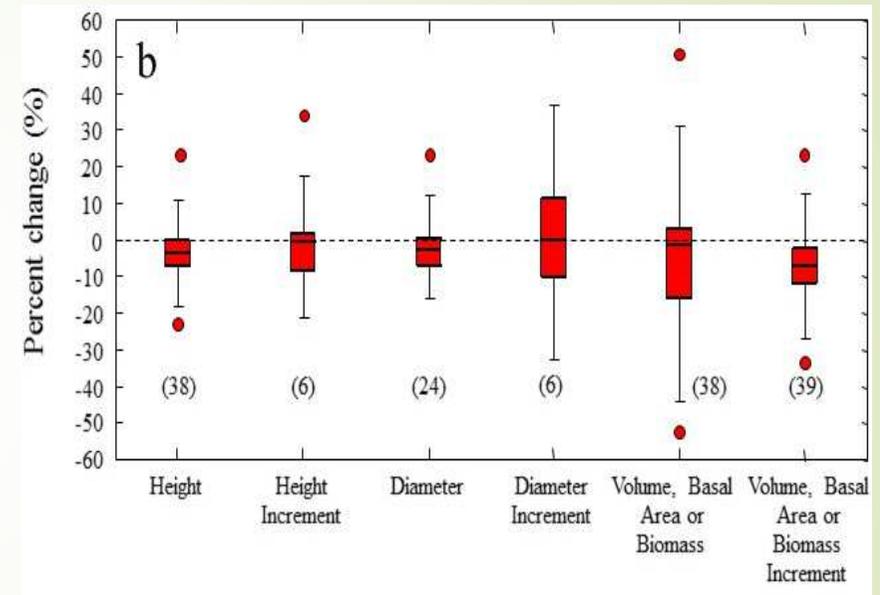
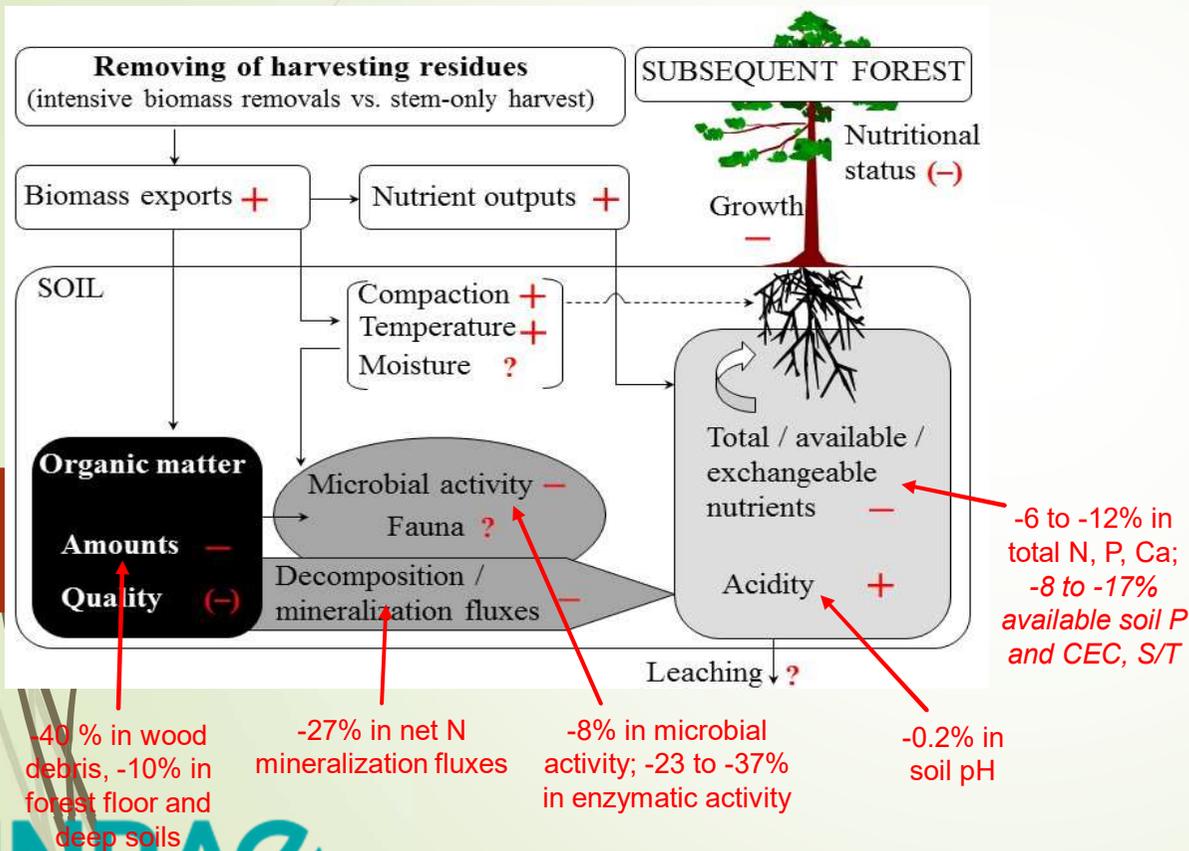


L'essence importe
(à diamètre fixé,
exports plus fort
pour les résineux,
particulièrement
dans les jeunes
stades – Cf
séminaire 1)

Cercles, feuillus; triangles pleins, conifères avec feuillages denses (*Picea*, *Abies* and *Pseudotsuga*).

Impact de la gestion sur la fertilité des sols forestier ?

Generalisation, meta-analyse de different réseaux dans le monde



-3 to -7% in tree growth

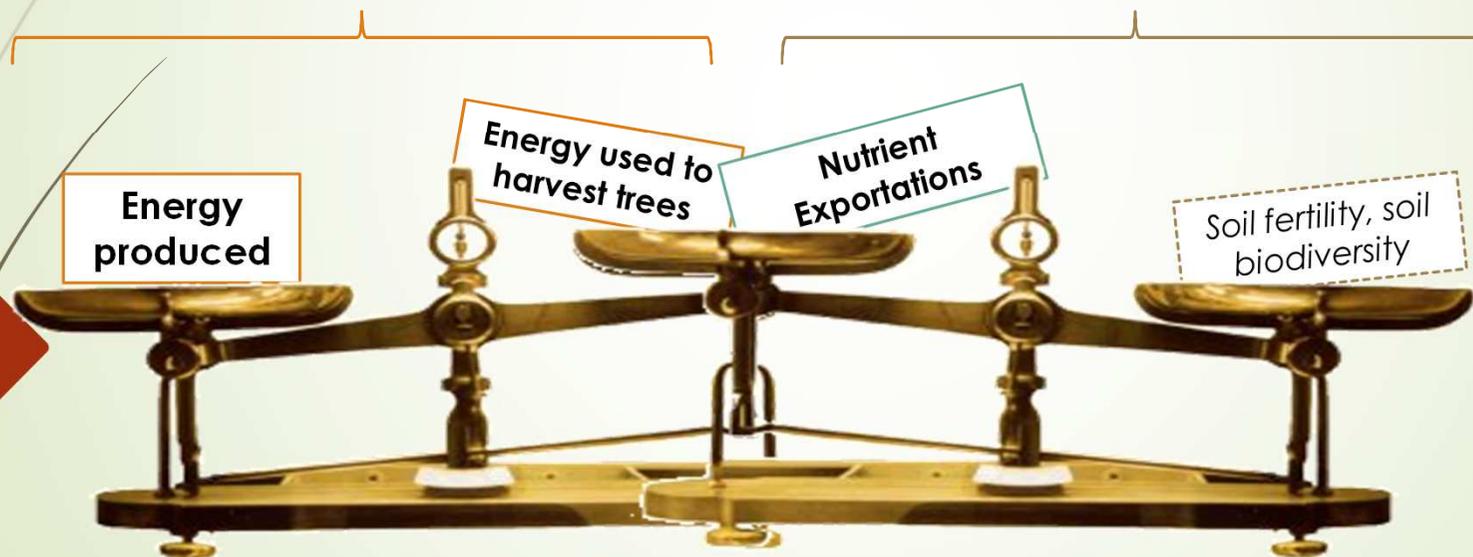
mean changes for S(WB)BF vs S(WB)

Impact de la gestion sur la fertilité des sols forestier ?

Une équation complexe dès que l'on passe à la rotation complète

Enjeux énergétiques

Durabilité

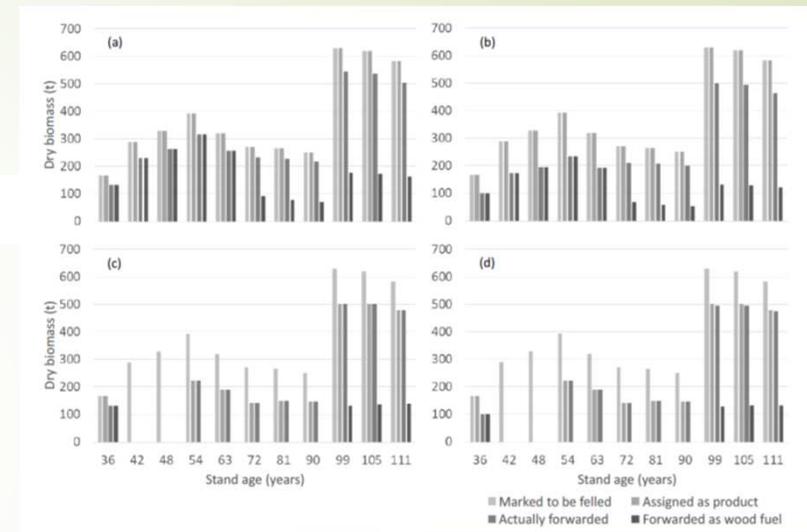
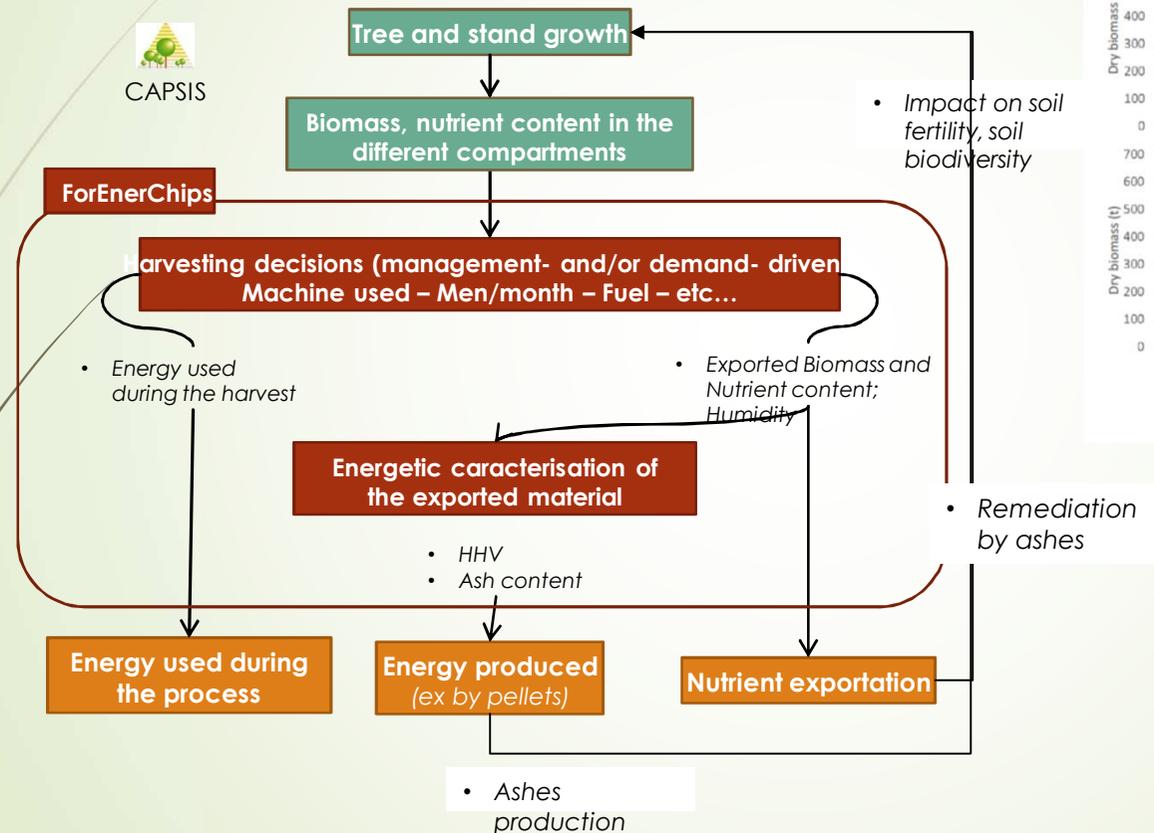


Une balance à évaluer, particulièrement lors du exploitation pour le bois énergie

11

Impact de la gestion sur la fertilité des sols forestier ?

Une équation complexe dès que l'on passe à la rotation complète

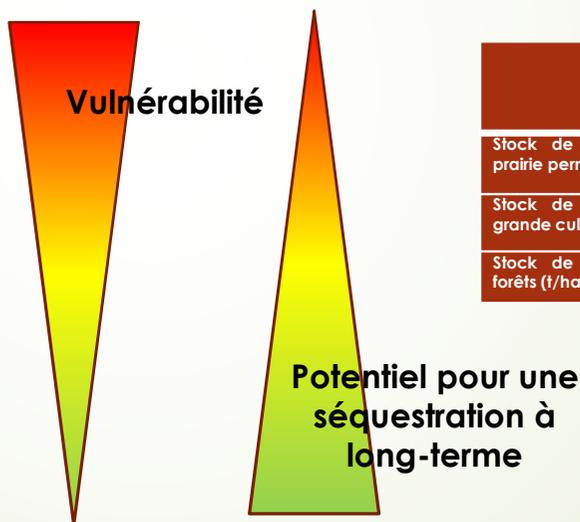
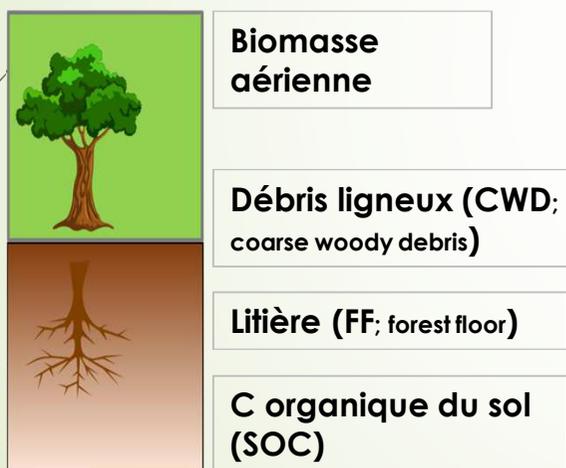
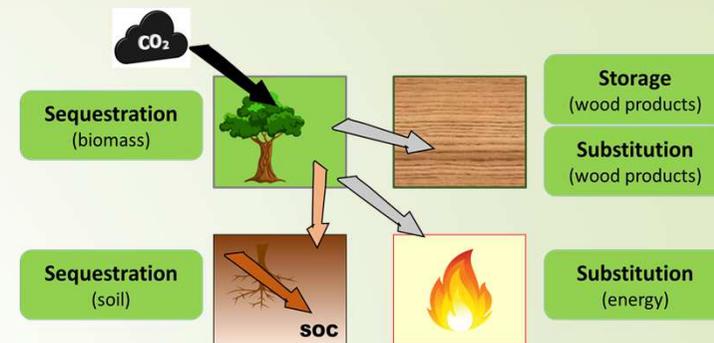


L'outil est sur Capsis... Une avancée majeure mais plusieurs verrous (modèles pour peuplements mélangés, cf Séminaire 1, effet du site sur les concentrations en éléments minéraux dans les arbres, indicateurs de diagnostic, d'impacts et de santé des sols...)

12

Impact de la gestion sur le carbone des sols forestiers ?

Les pools de carbone des forêts ne sont pas égaux en termes de vulnérabilité face aux changements globaux (feu, tempête, agressions biologiques, sécheresse, sylviculture), or c'est en forêt que les stocks dans les sols sont les plus importants (cf séminaire 1 – incluant la litière)



	min	moyenne	médiane	max	écart type
Stock de C organique sous prairie permanente (t/ha)	18,1	84,6	78,3	309	35,0
Stock de C organique sous grande culture (t/ha)	9,92	51,6	47,9	137	16,2
Stock de C organique sous forêts (t/ha)	6,87	81,0 + 10 (litière)	73,4	230	35,4

13

Données RMQS GIS Sol

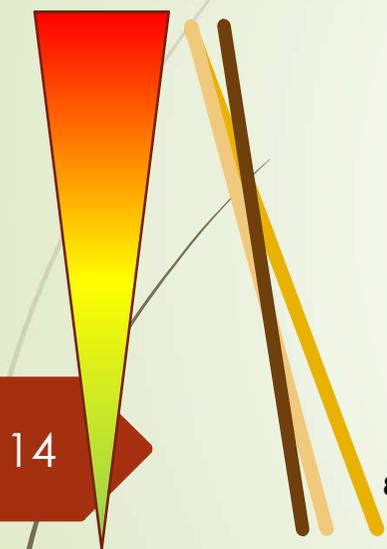
Message clé 1 : Prendre soin du C du sol en même que la fertilité chimique, physique et biologique

[Boerner et al. (2008) ; D'Amato et al. (2011) ; Jandl et al. (2007) ; Johnson & Curtis (2011) ; Thürig et al. (2005) ; Reichstein et al. (2013) ; Wiesmeier et al. (2013)]

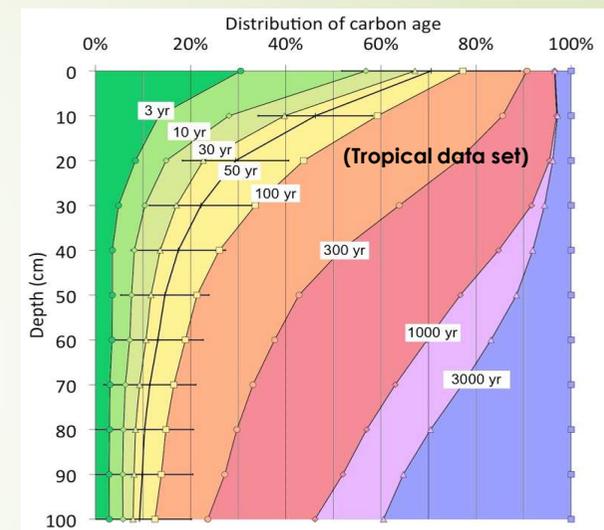
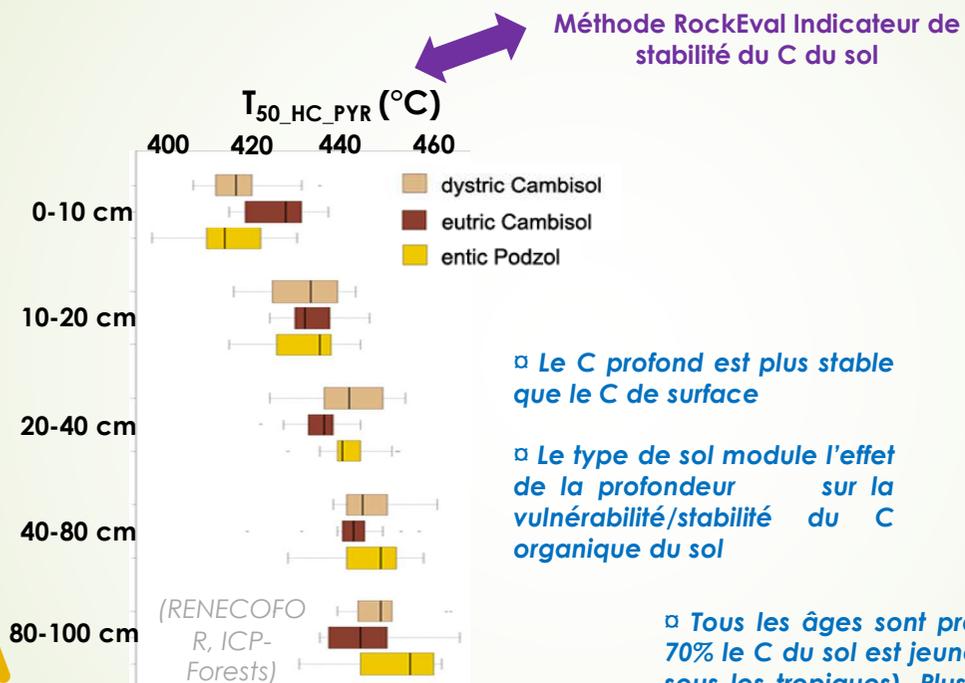
Impact de la gestion sur le carbone des sols forestiers ?

La vulnérabilité du C du sol dépend de l'horizon et du type de sol...

Vulnérabilité des stocks de C du sol



14



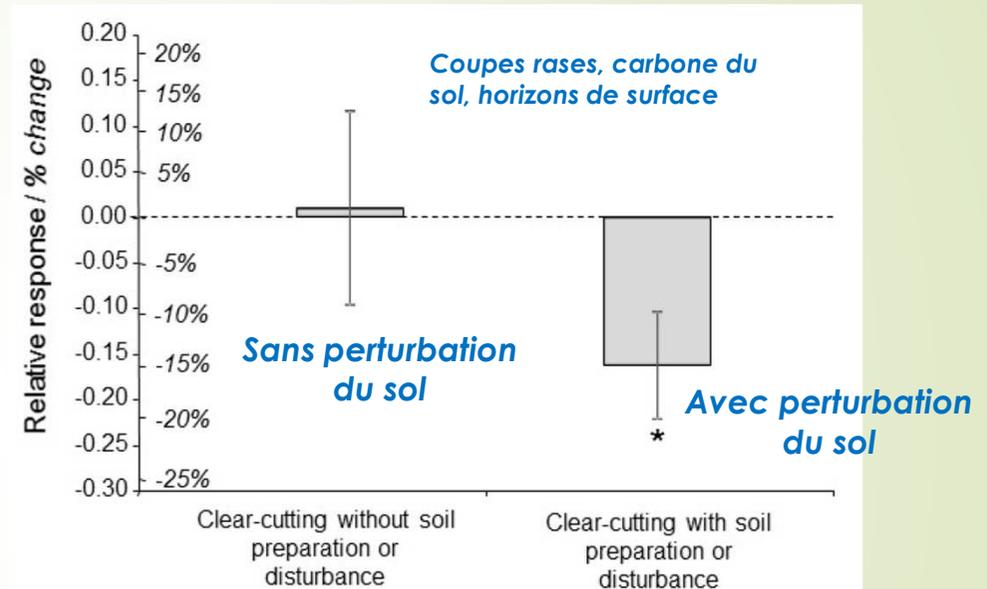
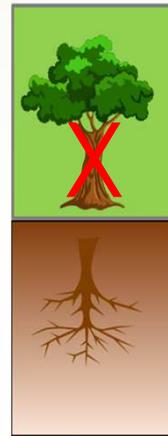
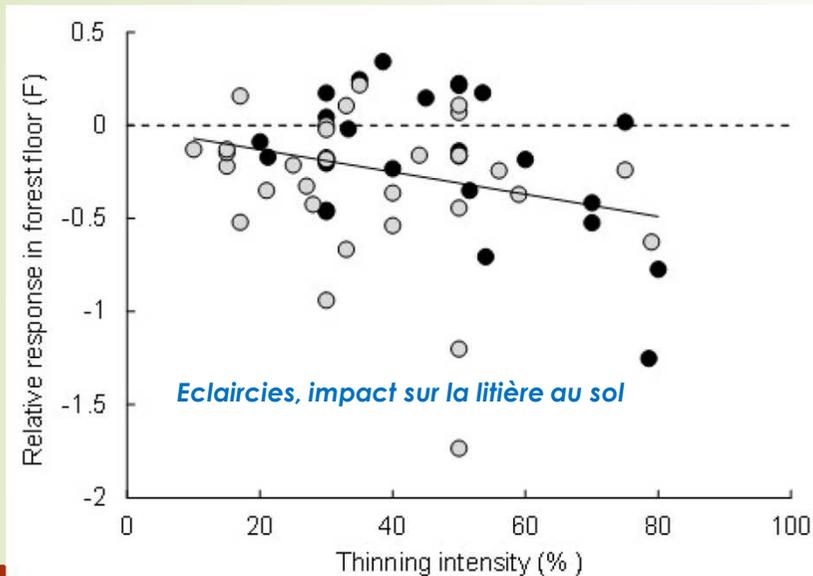
[Balesdent et al. 2019 - Nature]

Tous les âges sont présents à toutes les profondeurs. Sur l'horizon 0-10cm 70% le C du sol est jeune (70% a moins de 100 ans, et 35% a moins de 10 ans sous les tropiques). Plus on monte en latitude, plus les valeurs sont élevées mais l'ordre de grandeur reste d'une ou deux rotation pour cet horizon

Message clé 2 : Le carbone des horizons de surface est plus jeune et moins stable que le carbone des horizons profonds : La gestion peut donc impacter le C du sol

Impact de la gestion sur le carbone des sols forestiers ?

Eclaircies et coupes rases – nombreuses études et large consensus



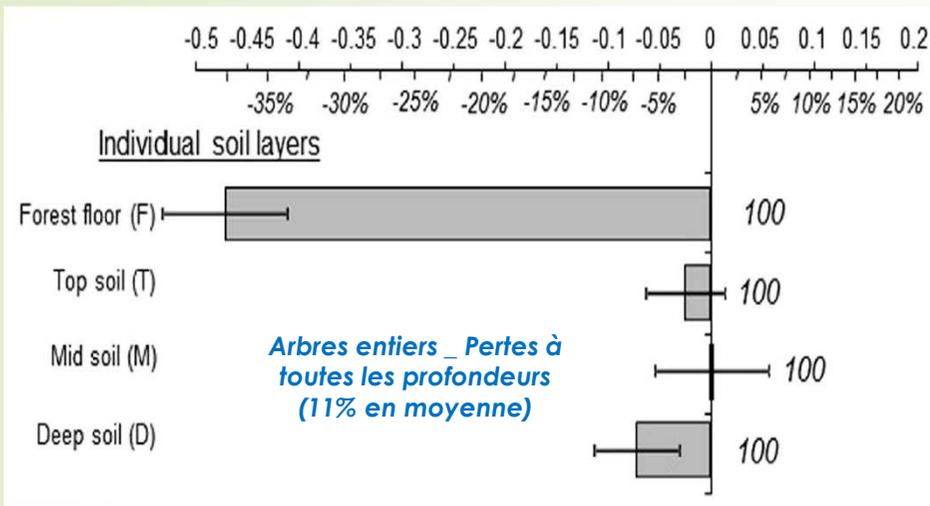
15

Message clé 3 : Les éclaircies n'affectent pas la couche de litière, à condition que l'intensité de la coupe soit faible ou modérée. Par ailleurs, les éclaircies n'affectent pas quantitativement le pool de SOC.

Message clé 4 : Les coupes rases qui laissent les menus bois au sol n'affectent pas en moyenne le C du sol tant que l'opération est faite sans perturbation du sol. Plus la perturbation est forte, plus l'impact sera fort. Par ailleurs, le risque de pertes est d'autant plus grand que le stocks initial est important

Impact de la gestion sur le carbone des sols forestiers ?

Exploitation arbres entiers : large consensus dans la littérature, Fertilization avec N : peu de papiers



Arbres entiers _ Pertes à toutes les profondeurs (11% en moyenne)

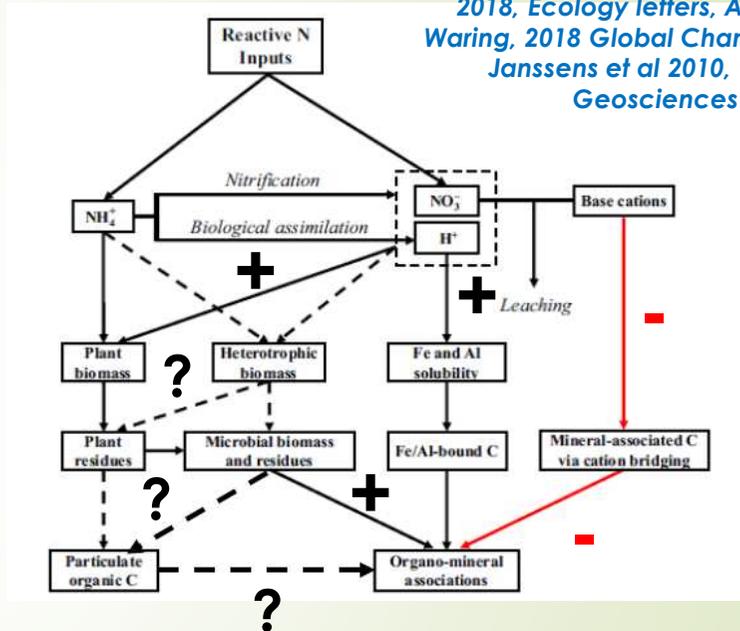


[Achat et al. (2015) - Sci. Reports]

➔ (+) climate (MAT, ETR)

Message clé 5 : Les récoltes intensives (arbre entier) impactent négativement le C du sol. L'effet est d'autant plus fort que le climat est chaud et humide.

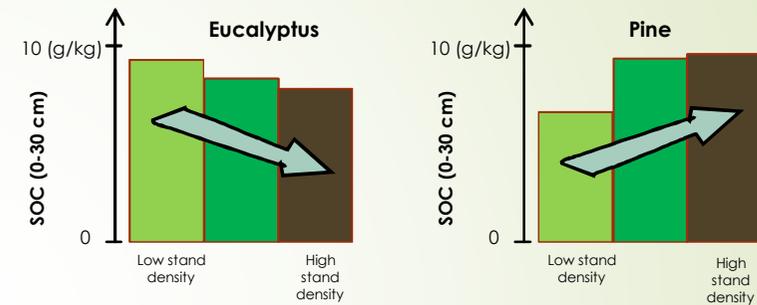
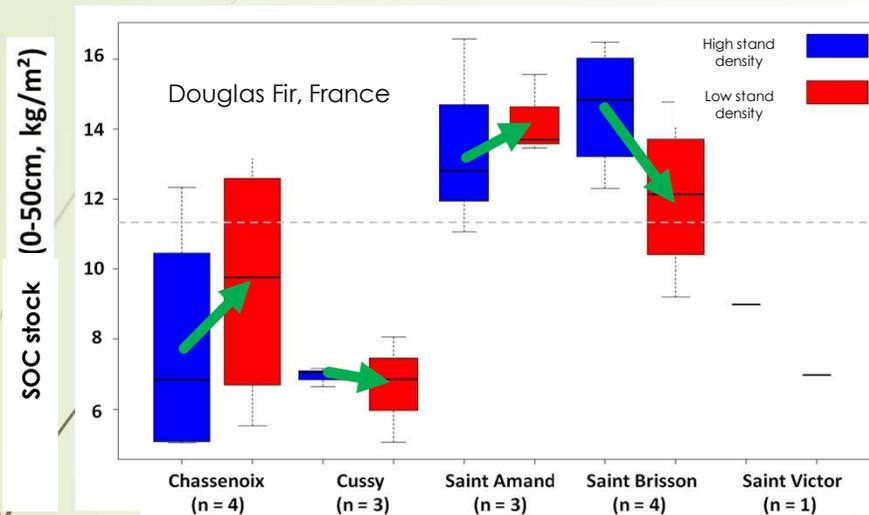
Modifié à partir de Ye, C. L., et al. 2018, Ecology letters, Averill and Waring, 2018 Global Change Biology, Janssens et al 2010, Nature Geosciences



Message clé 6 : L'impact d'une fertilisation azotée n'est pas clair (courbe en cloche avec un effet dose)

Impact de la gestion sur le carbone des sols forestiers ?

Densité des peuplements : peu de papiers, effets peu clairs voire contradictoires



[Hernandez et al. (2016) - For. Ecol. Manage.]

[Sohn et al. (2016) - For. Ecol. Manage.]

[Wang (W.) et al. (2013) - For. Ecol. Manage.]

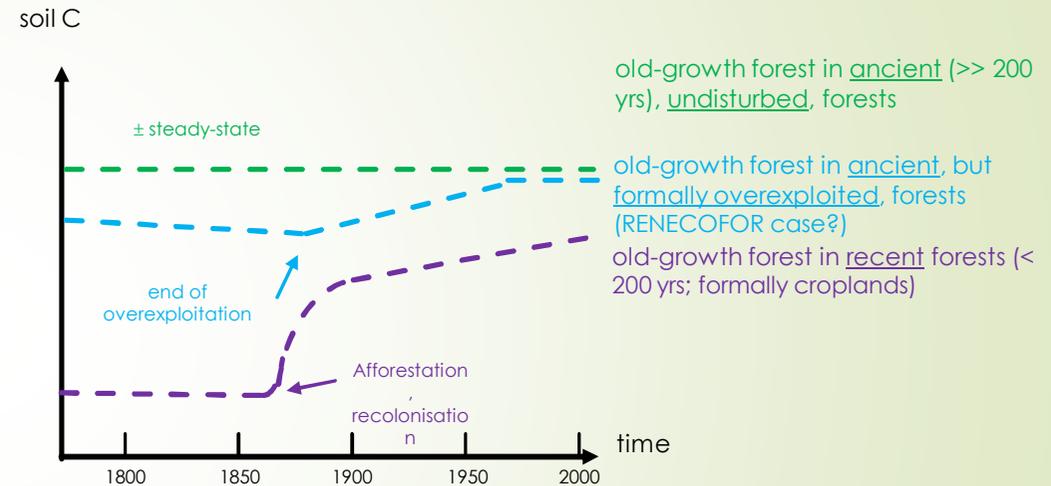
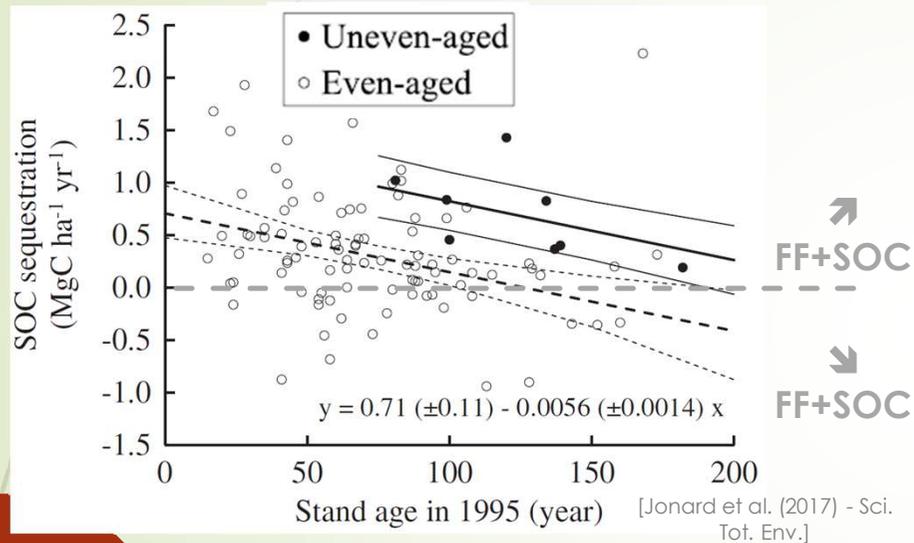
17

Message clé 7 : Il existe probablement de nombreuses expériences de densité, mais les données ne sont pas suffisamment publiées/visibles. Le meilleur compromis de la densité pour la séquestration de SOC et la résistance/résilience aux sécheresses n'est pas connu

Impact de la gestion sur le carbone des sols forestiers ?

Durée de rotation : peu de papiers, effets peu clairs

RENECOFOR: → SOC up to ~100 years

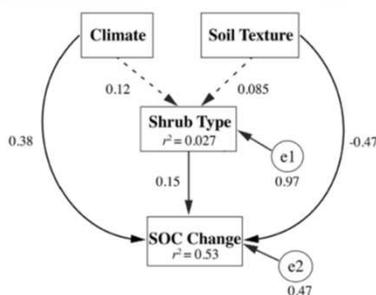
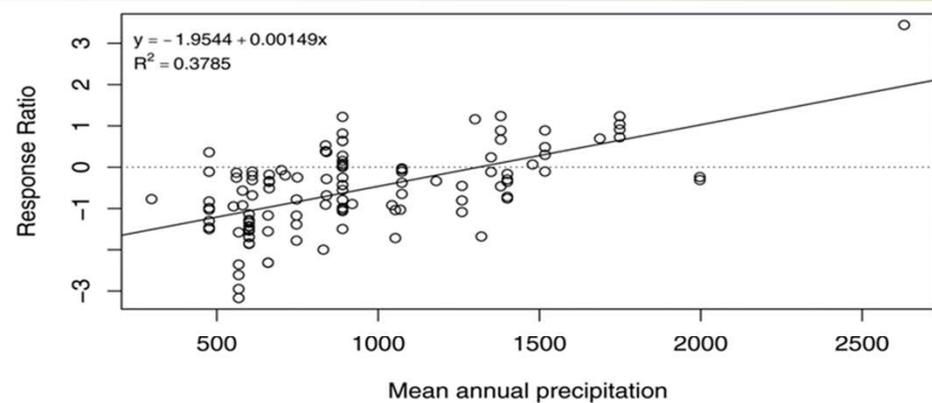
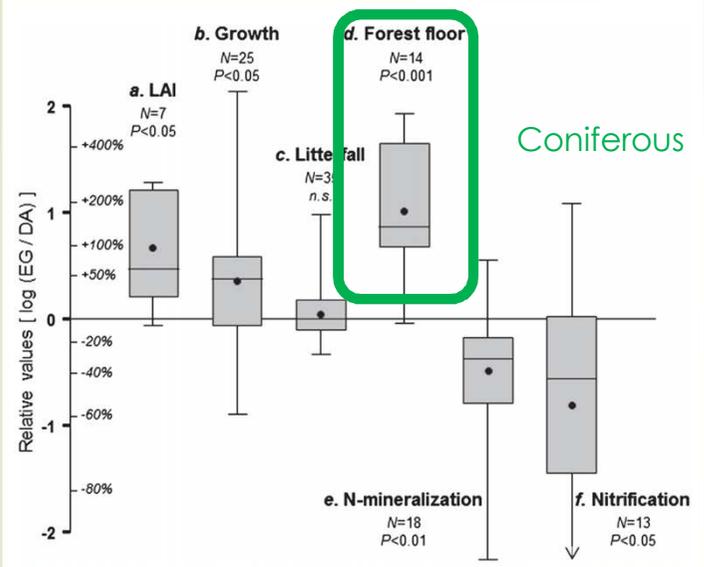


18

Message clé 8 : Rallonger les rotations –et ainsi tendre vers les old-growth forests– peut améliorer sur le long-terme la séquestration de SOC (jusqu'à 50-100 ans ?). Mais forte interaction avec l'historique des usages anciens des forêts.

Impact de la gestion sur le carbone des sols forestiers ?

Effet des essences : littérature relativement abondante mais effets peu clairs



Accroissement dans la litière seulement (conifères > peuplements mixtes > feuillus)

Plus le régime hydrique (pluies) est faible plus le bilan est en faveur des conifères

Les essences fixatrices d'azote peuvent significativement augmenter le C du sol

Message clé 9 : De nombreuses incertitudes subsistent. L'identité est généralement un facteur plus important que la diversité. La diversité fonctionnelle (conifères, fixateur d'azote, ...) pourrait mieux expliquer les tendances observées que la diversité spécifique

Impact de la gestion sur le carbone des sols forestiers ?

Conclusion C du sol:

Afforestation de sols cultivés ou dégradés (stocks C du sol faibles)

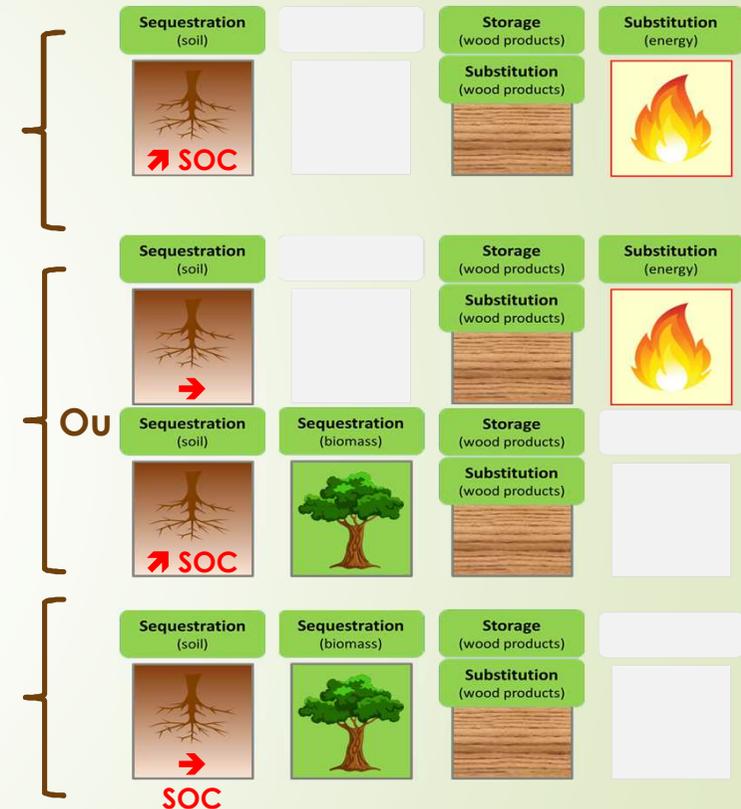
- Essences à croissance rapide (adaptation rapide aux CC)
- Durée de rotation >50 ans pour maintenir la fertilité des sols (cf séminaire 1)
- Possibilité de faire à la fois de la substitution et du stockage de C dans les sols

Forêts avec stocks de C du sol moyens

- Pas de récoltes arbres entiers
- Introduire des essences fixatrices d'azote
- Réduire les perturbations des sols lors des éclaircies et du renouvellement des peuplements
- Adaptation progressif aux CC (garder les potentiels C et fertilité, voire les augmenter)

Forêts avec stocks du sol importants

- Garder un continuum du couvert forestier
- Pas de perturbation du sol
- Adaptation aux CC lent (renouvellement des forêts à faire très progressivement pour éviter les pertes de C et de fertilité)



20

Message clé 10 : Des stratégies gagnant-gagnant peuvent être élaborées pour produire du bois à différentes fins et continuer à stocker du carbone dans les sols forestiers. En gardant à l'esprit que la fertilité du sol (physique, chimique et biologique) est un facteur clé et qu'elle doit être considérée comme un tout (pas seulement le C).

Impact de la gestion sur le carbone des sols forestiers ?

Conclusion Générale

- Pour une forêt ni sous cloche, ni surexploitée....
- L'impact de la gestion est souvent difficile à évaluer (sur une intervention versus l'ensemble de la rotation cf séminaire 1) et à généraliser sur différents types de sols/climats
- Le maintien du cycle biologique (recyclage de la matière organique) est une composante clé dans les liens entre fertilité chimique/biologique/chimique et le C du sol
- Plus les récoltes sont intensives, plus l'impact est grand sur le sol forestiers (fertilité chimique et C du sol dans cette présentation). Il faut favoriser les retours de matière organique au sol
- Les possibilités de redynamiser les cycles et de compenser partiellement les pertes en minéraux existent (amendement, cendres de bois) mais à considérer dans une logique de panels d'outils de gestion et pas comme une solution à une surexploitation

21

Impact de la gestion sur le carbone des sols forestiers ?

Pour plus d'information sur les références non données au fil de l'eau

Eclaircies et coupes rases

[Achat et al. (2015) - *Sci. Reports*; Bravo-Oviedo et al. (2015) - *For. Ecol. Manage.*; Cheng et al. (2013) - *Sci. World J.*; Hoover (2011) - *Carbon Balance Manage.*; Jandl et al. (2007) - *Geoderma*; Jurgensen et al. (2012) - *SSSAJ*; Kim et al. (2016) - *iForests*; Noormets et al. (2015) - *For. Ecol. Manage.*; Novak & Slodicak (2004) - *J. For. Sci.*; Powers et al. (2011) - *For. Ecol. Manage.*; Powers et al. (2012) - *Ecol. Appl.*; Ruiz et al. (2016) - *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change*; Scott et al. (2004) - *Environ. Manage.*; Skovsgaard et al. (2006) - *Scand. J. For. Res.*; Vesterdal et al. (1995) - *For. Ecol. Manage.*; Zhou et al. (2008) - *Biogeosciences*]

[Achat et al. (2015) - *Sci. Reports*; Berg et al. (2009) - *Can. J. For. Res.*; Busse et al. (2009) - *Soil Biol. Biochem.*; Hoover (2011) - *Carbon Balance Manage.*; Jandl et al. (2007) - *Geoderma*; Johnson (1992) - *WASP*; Johnson & Curtis (2011) - *For. Ecol. Manage.*; Nave et al. (2010) - *For. Ecol. Manage.*; Noormets et al. (2015) - *For. Ecol. Manage.*]

Effets des essences

22

[Augusto et al. (2014) - *Ecol. Letters*; Augusto et al. (2015) - *Biol. Reviews*; Boca et al. (2014) - *SSSAJ*; Brunel et al. (2017) - *Sci. Total Env.*; Dawud et al. (2016) - *Ecosystems*; Dawud et al. (2017) - *Func. Ecol.*; Gahagan et al. (2015) - *For. Ecol. Manage.*; Hulvey et al. (2013) - *Nature Climate Change*; Sullivan et al. (2017) - *Sci. Reports*; Wang (H.) et al. (2013) - *For. Ecol. Manage.*; Wiesmeier et al. (2013) - *For. Ecol. Manage.*; Boca et al. 2014, *SSAJ*; Vesterdal et al. (2013); Grueneberg et al. (2014), Vidal et al 2019, *Forest Ecology and Management*, Liu et al. 2019 scientific reports; Li et al 2016, *Scientific reports*]