

ACTUALITES CARBONE DU SOL

Lauric Cécillon

Laboratoire ECODIV, INRAe, Université de Rouen
Laboratoire de géologie de l'Ens

Actualités carbone du sol

- **Contexte international**
- **Nouvelles connaissances**
 - Mécanismes de (dé)stabilisation
 - Déterminants de la stabilité du C des sols forestiers
- **Le verrou des modèles de dynamique du C du sol en forêt**
- **Retour sur l'Etude 4p1000 France**
- **Des politiques publiques & outils pour favoriser le stockage de C du sol**
 - La prise en compte de la séquestration de C du sol dans les PCAET
 - Le label bas-carbone
- **Des collectifs dynamiques et les prochains temps forts**

Un contexte d'urgence climatique

Rapport spécial du GIEC de 2018

Contenir la hausse de la température moyenne $< +1.5^{\circ}\text{C}$

→ atteindre la **neutralité carbone** à l'échelle globale en 2050

Deux leviers complémentaires

- **Réduire les émissions** de CO_2 liées à l'usage des énergies fossiles et à la déforestation, ainsi que les émissions des autres gaz à effet de serre (N_2O , CH_4)
- **Préserver et accroître le puits de CO_2** que constitue la biosphère (**stockage dans la biomasse et les sols**)

Mécanismes de (dé)stabilisation du C du sol

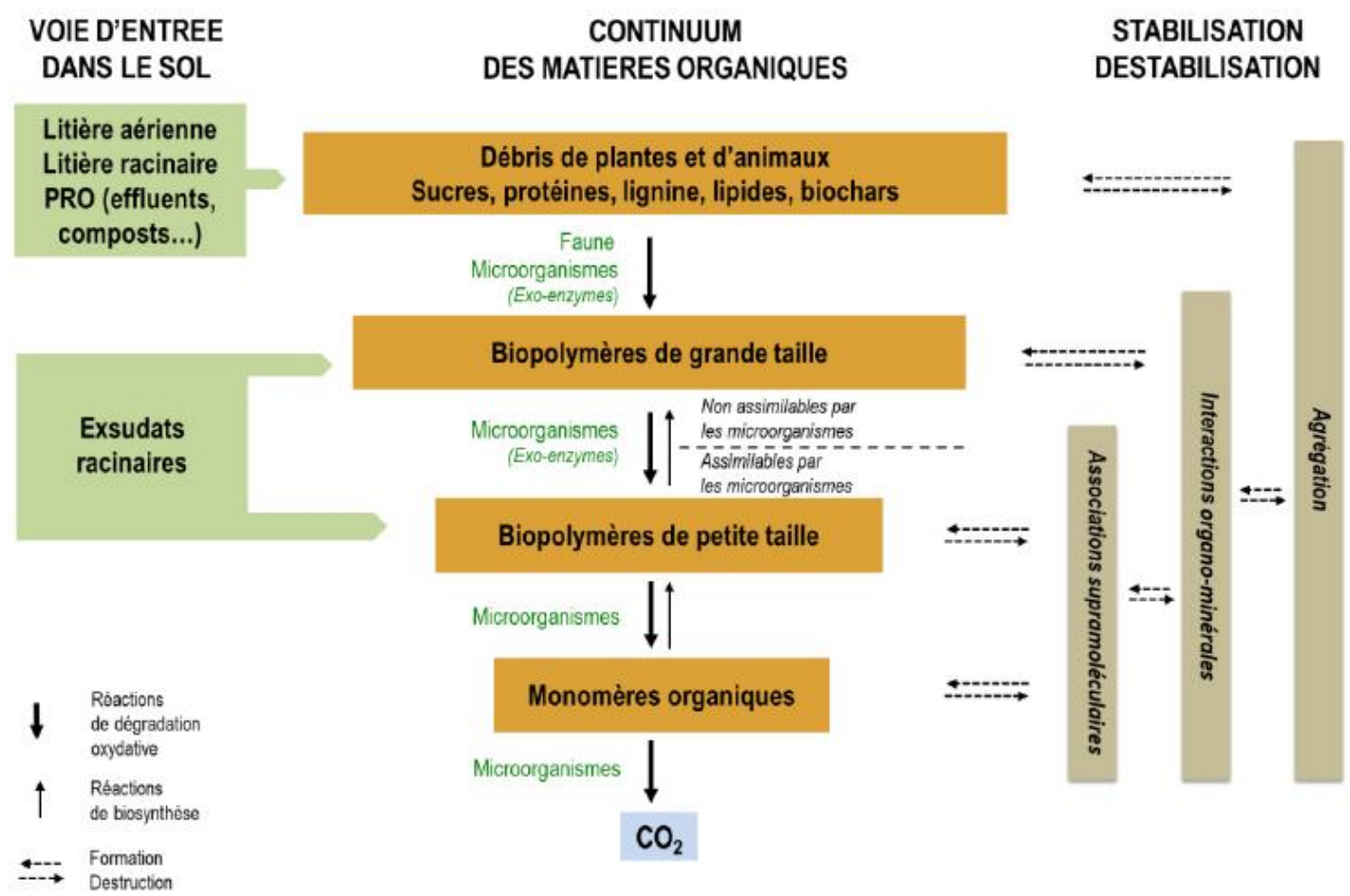
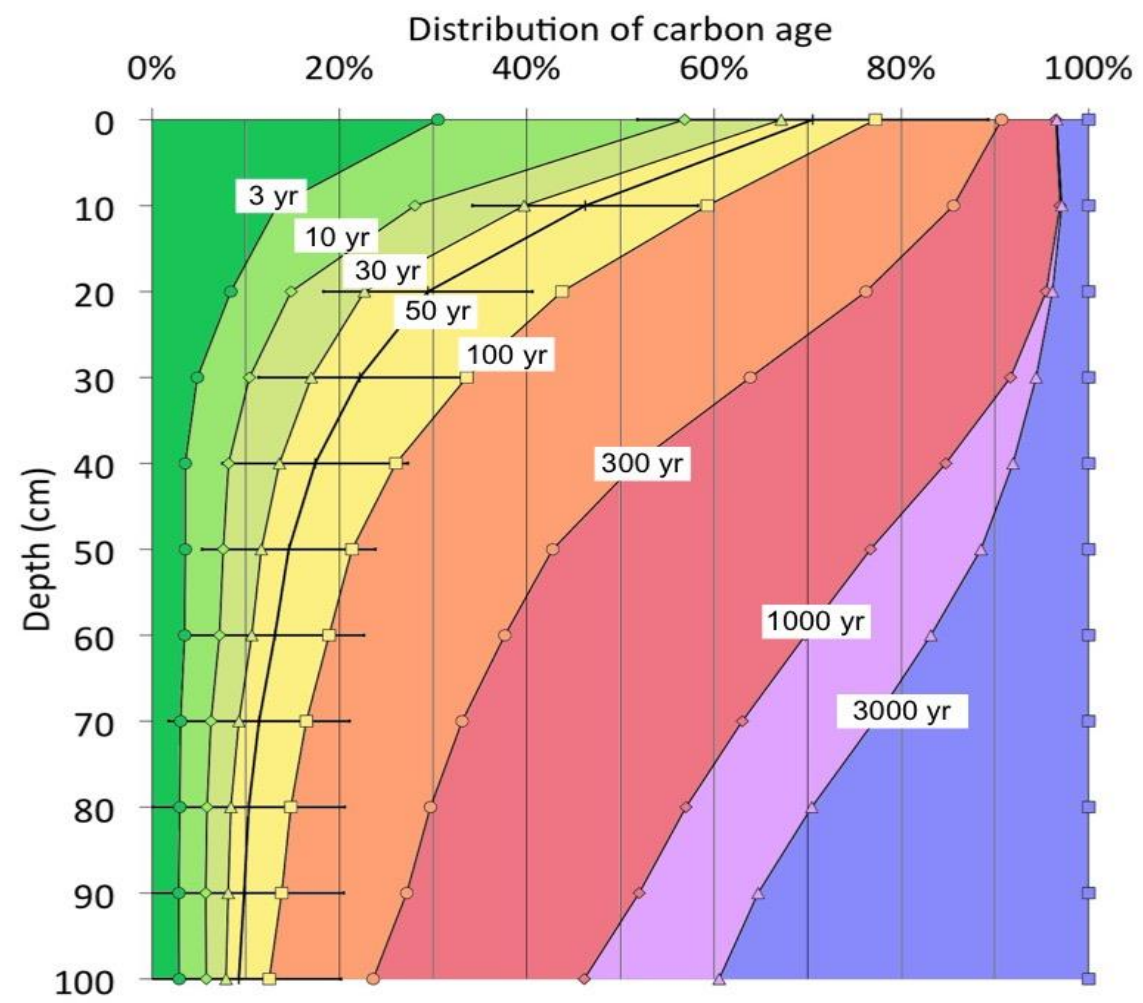


Figure 2-3. Représentation du continuum de biotransformation des MOS (adapté de Lehmann and Kleber 2015)

Concepts en évolution : de la condensation des résidus organiques (substances humiques) à celui de dépolymérisation progressive de composés organiques

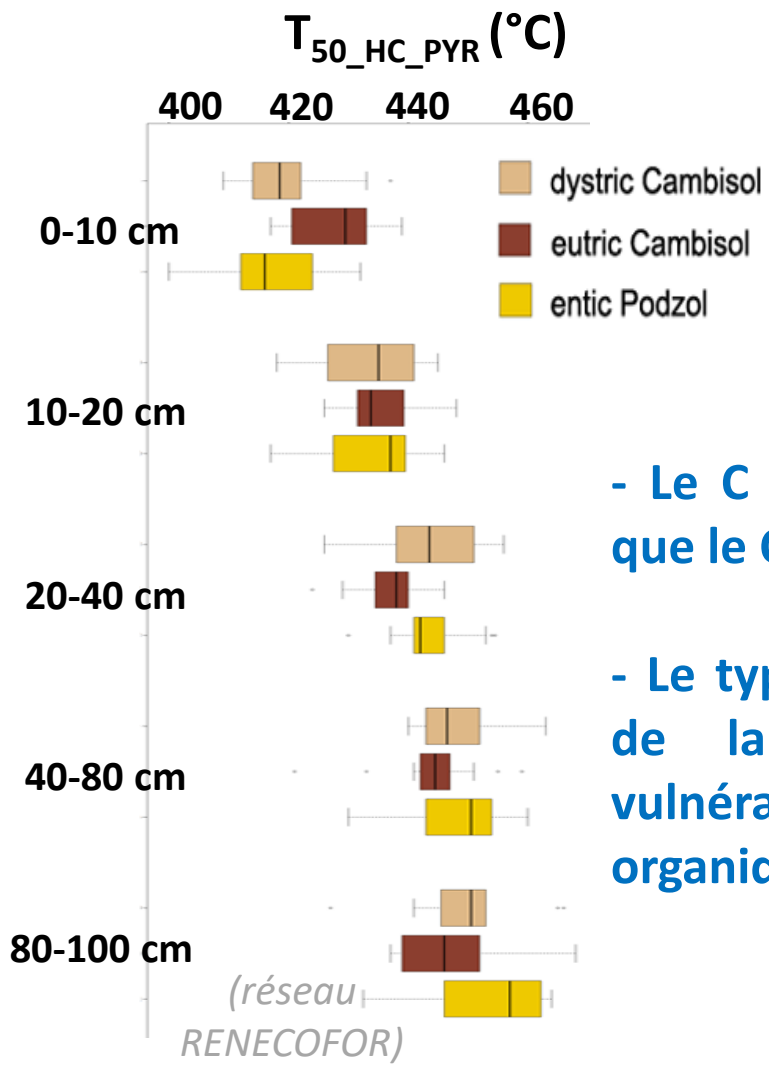
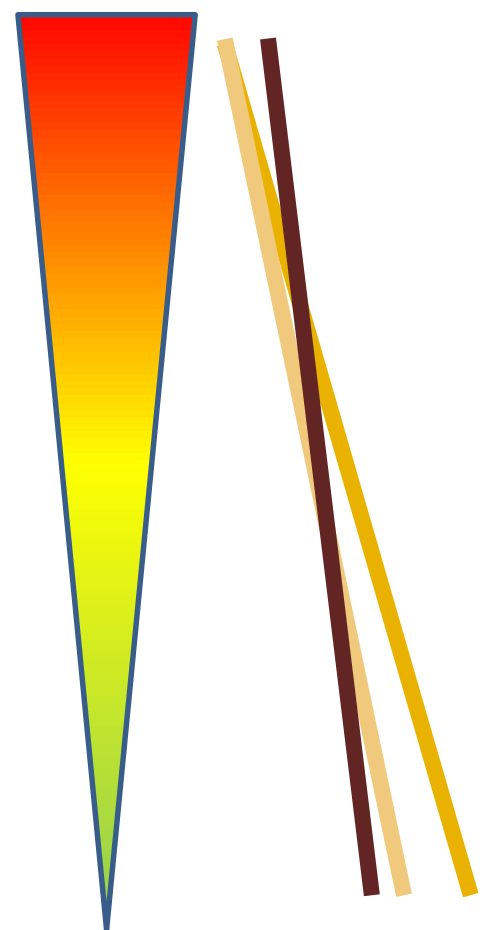
Mécanismes de (dé)stabilisation du C du sol



Concepts en évolution :
les formes du C du sol coexistent à toutes les profondeurs

Déterminants de la stabilité du C des sols forestiers

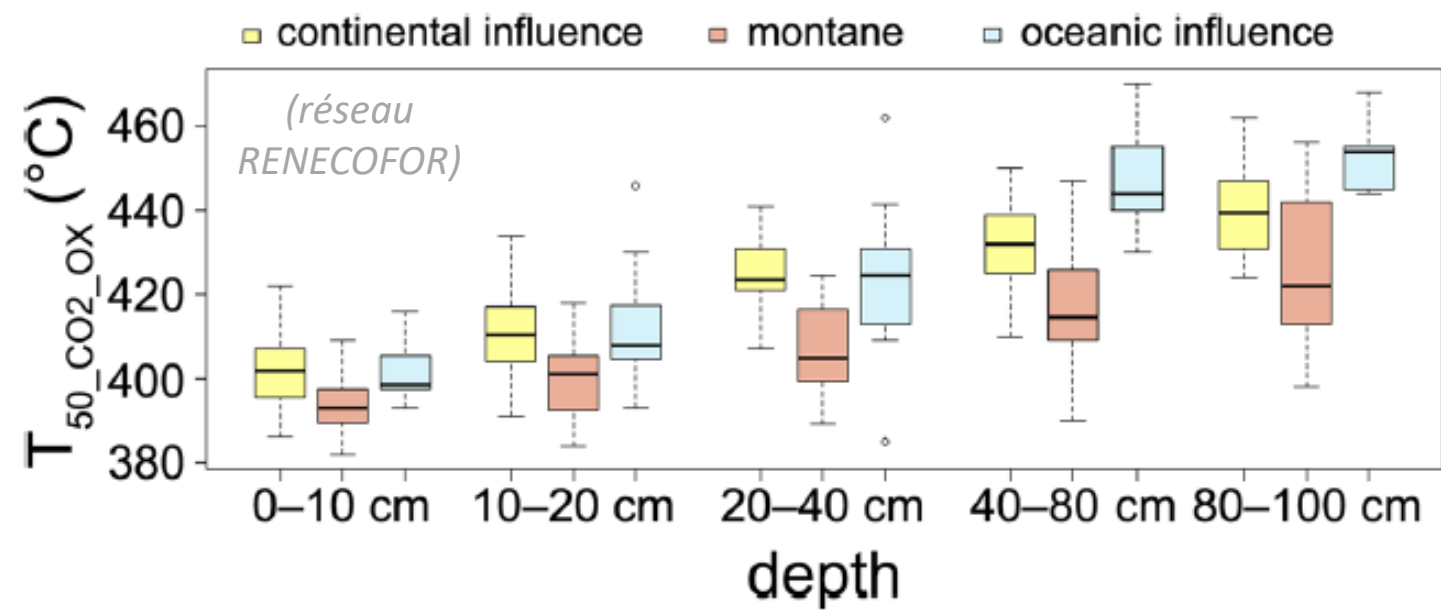
Vulnérabilité du carbone du sol



- Le C profond est plus stable que le C de surface

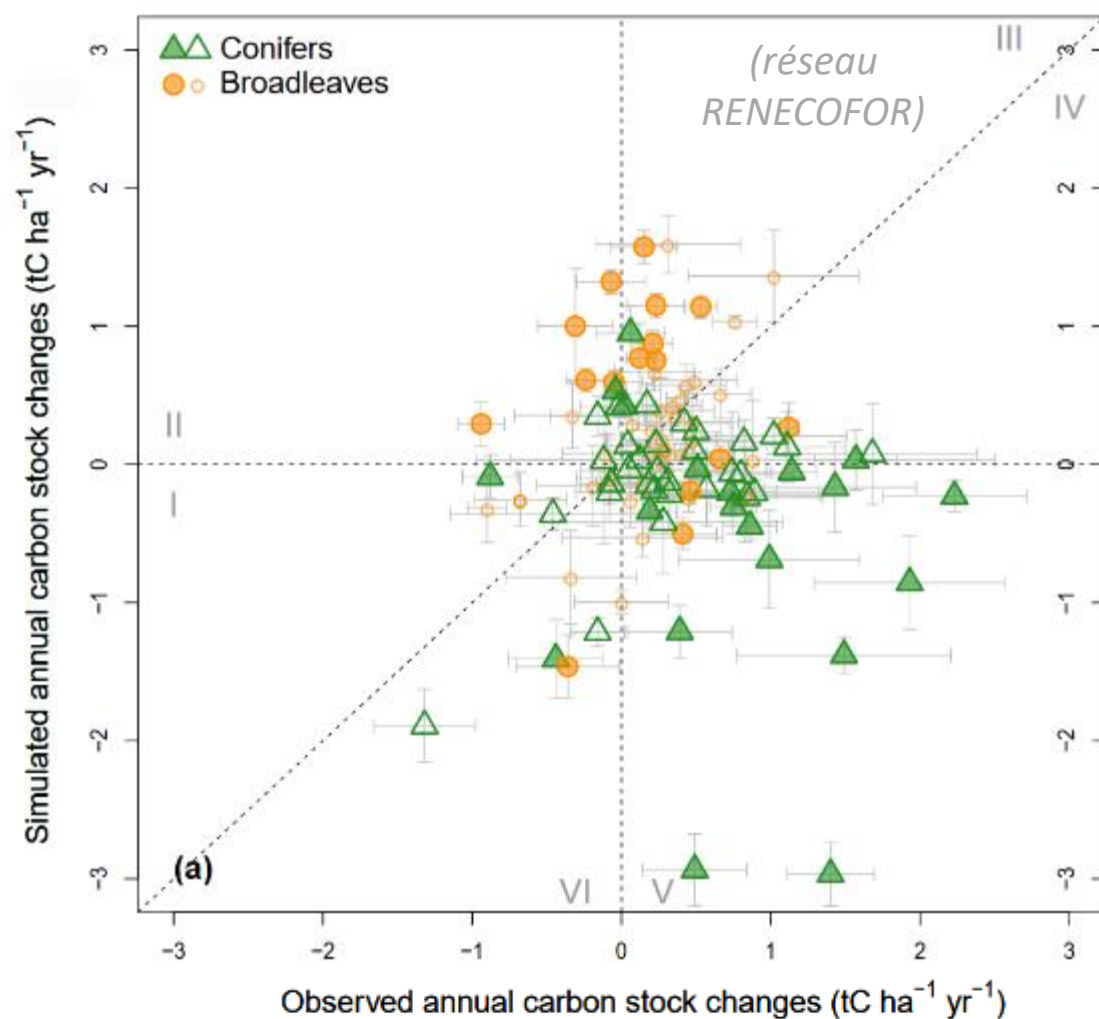
- Le type de sol module l'effet de la profondeur sur la vulnérabilité / stabilité du C organique du sol

Déterminants de la stabilité du C des sols forestiers



- Le carbone du sol des forêts de montagne est plus vulnérable qu'en forêt de plaine

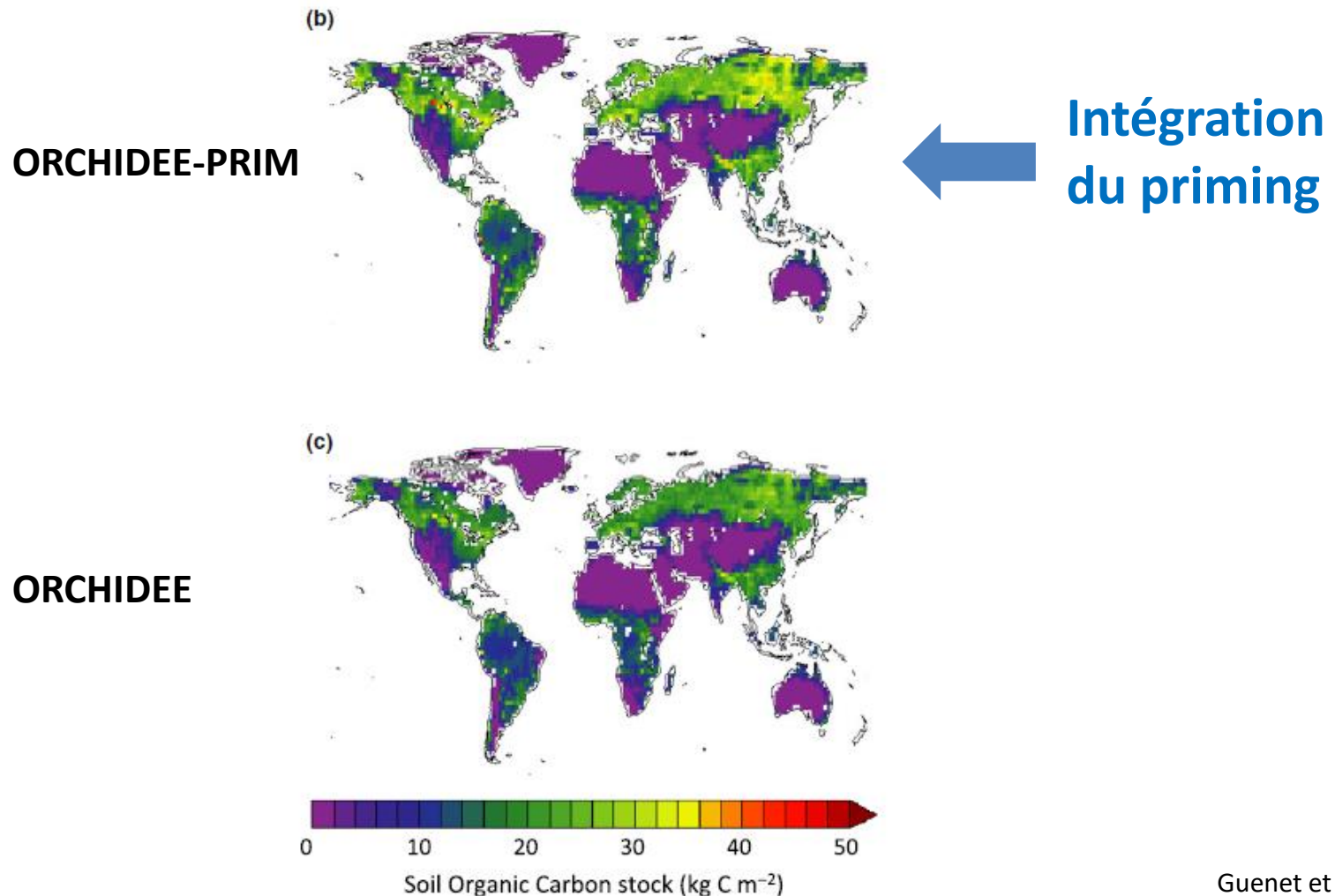
Des modèles de dynamique du C des sols forestiers défaillants



- Le modèle de dynamique de carbone du sol YASSO ne parvient pas (du tout!) à estimer l'évolution des stocks de C du sol du réseau RENECOFOR

Des modèles de dynamique du C des sols forestiers défaillants

Quelles nouvelles connaissances intégrer aux modèles pour améliorer leur précision?
Intégrer plus de mécanismes dans les modèles ?



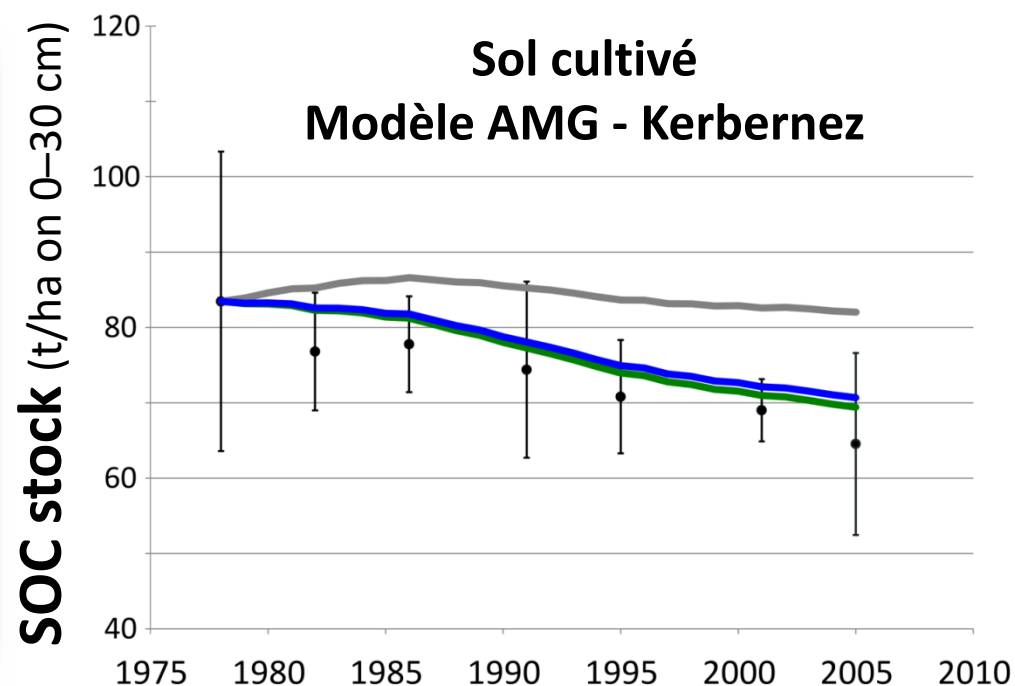
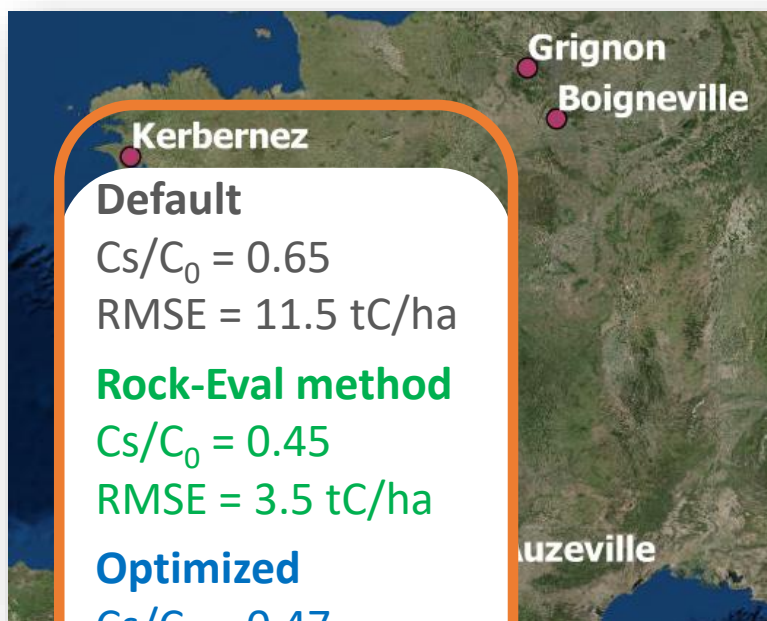
Des modèles de dynamique du C des sols forestiers défaillants

Quelles nouvelles connaissances intégrer aux modèles pour améliorer leur précision ?

En rester à quelques compartiments cinétiques du carbone du sol facilement mesurables ?

Fraction labile / fraction stable (POM vs. MAOM ; Lavalée et al., 2019 ; Viscarra-Rossel et al., 2019 ; Cotrufo et al., in press)

L'initialisation Rock-Eval® d'un modèle de dynamique de C du sol améliore sa précision



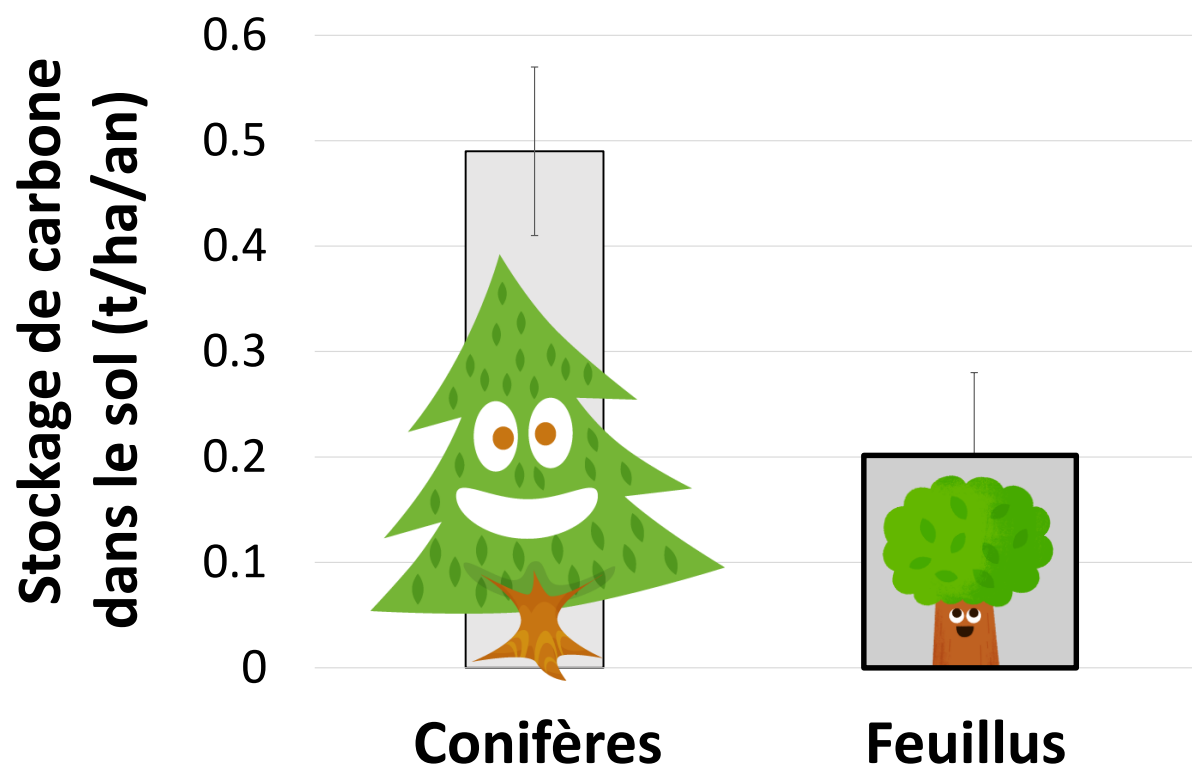
Etude 4p1000 France (INRA)

Evolutions tendanciennes des stocks de C du sol mal connues (France métropolitaine), fortement dépendantes de l'historique des parcelles

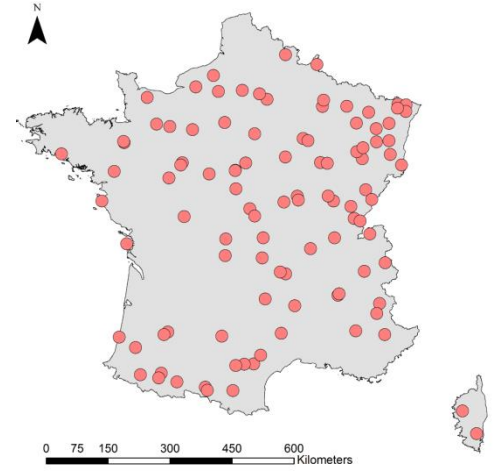
- **négatives en grande culture** (-170 kg C/ha/an; mais confusion fréquente avec effet retournement prairie)
- **légèrement positives sous prairie permanente** (+50 kg C/ha/an ; plus élevée sur prairies jeunes)
- **positives sous forêt** (+240 kg C/ha/an; jusqu'à +500 en cas d'afforestation récente)



Evolution des stocks en C des sols forestiers français



Réseau RENECOFOR (ONF)



Etude 4p1000 France (INRA)

Evolutions tendanciennes des stocks de C du sol mal connues (France métropolitaine), fortement dépendantes de l'historique des parcelles



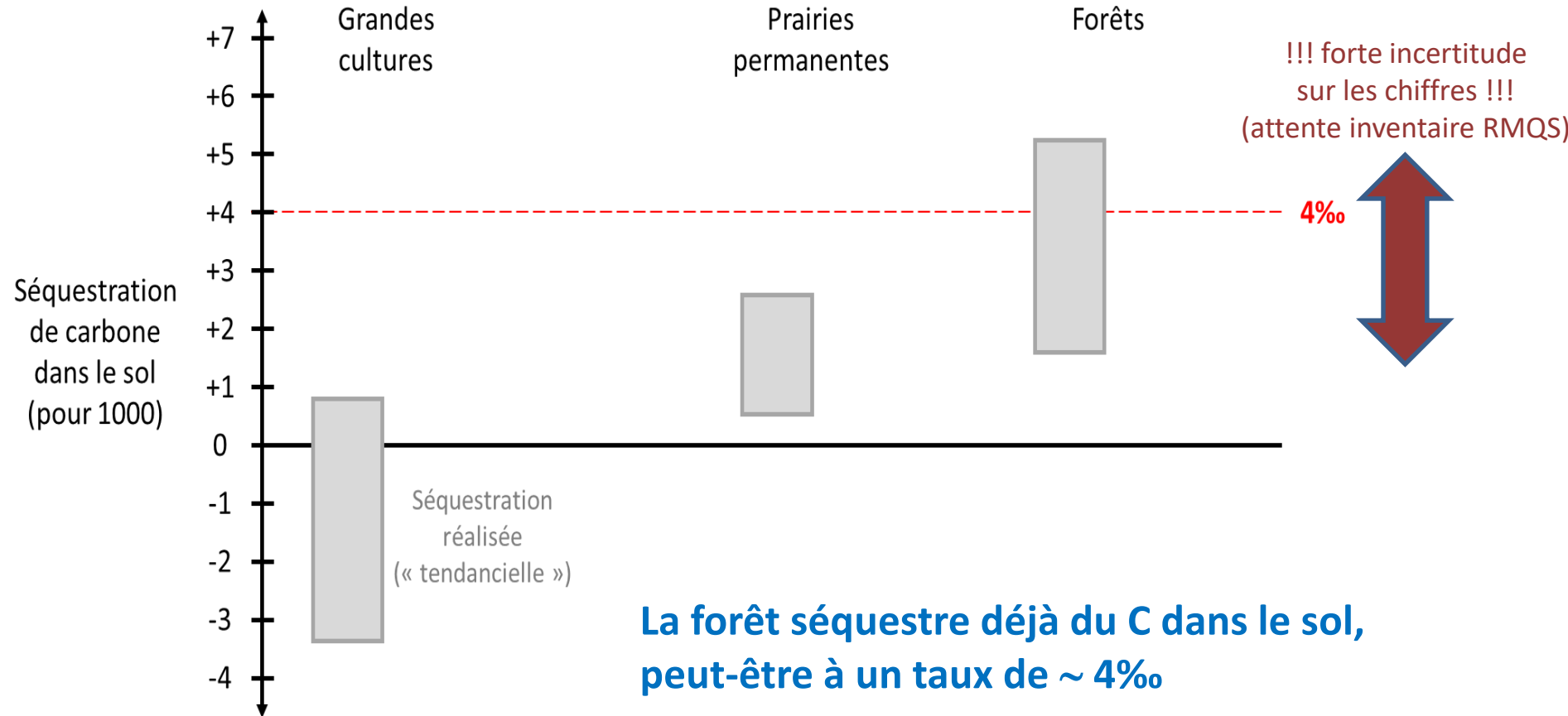
Grandes cultures



Prairies permanentes



Forêts



Etude 4p1000 France (INRA)

Evolutions tendanciennes des stocks de C du sol mal connues (France métropolitaine), fortement dépendantes de l'historique des parcelles

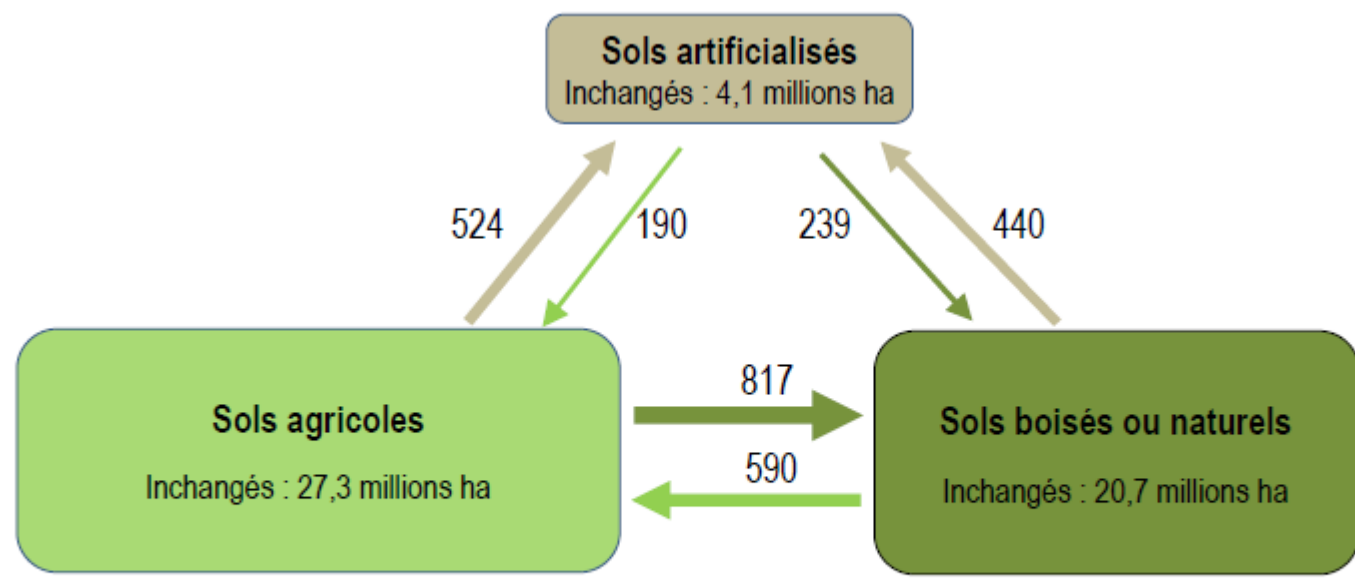
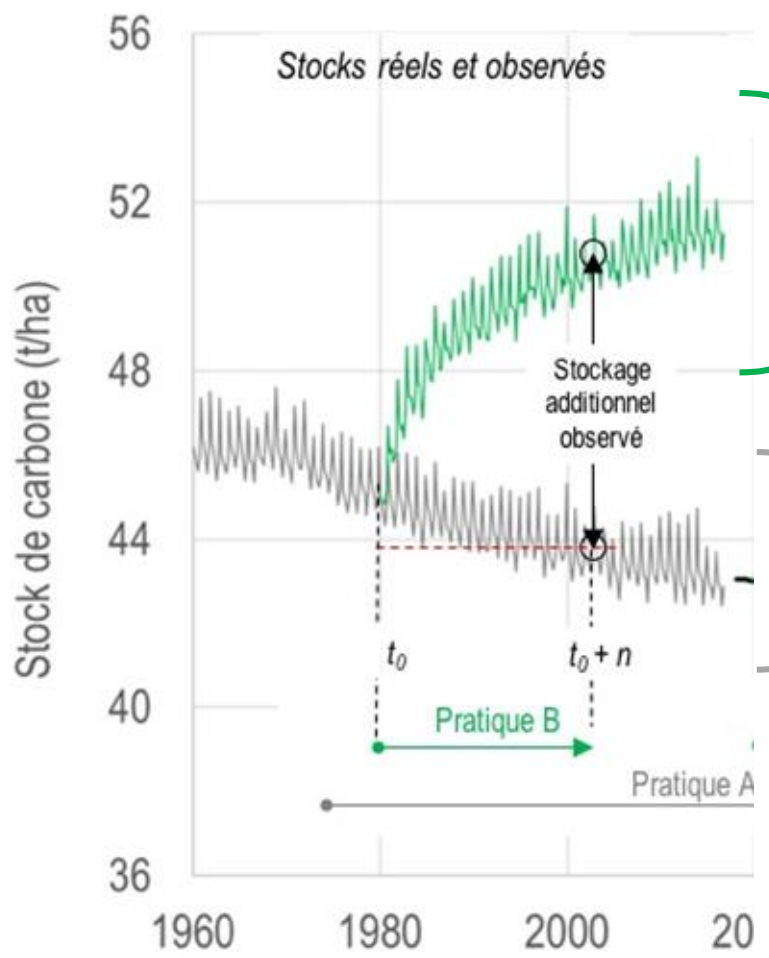


Figure 2-13. Changements d'usage des sols en France, entre 2006 et 2014 (flux exprimés en milliers d'hectares) (d'après l'expertise "Artificialisation des sols" - données Teruti-Lucas). Les surfaces "inchangées" n'ont pas changé d'usage sur la période.

Etude 4p1000 France (INRA)

Quelles pratiques de gestion permettent un stockage de C du sol ADDITIONNEL ?



Séquestration
additionnelle suite
à un changement
de gestion

Séquestration
tendancielle

Effets positifs ?

Outils du gestionnaire :

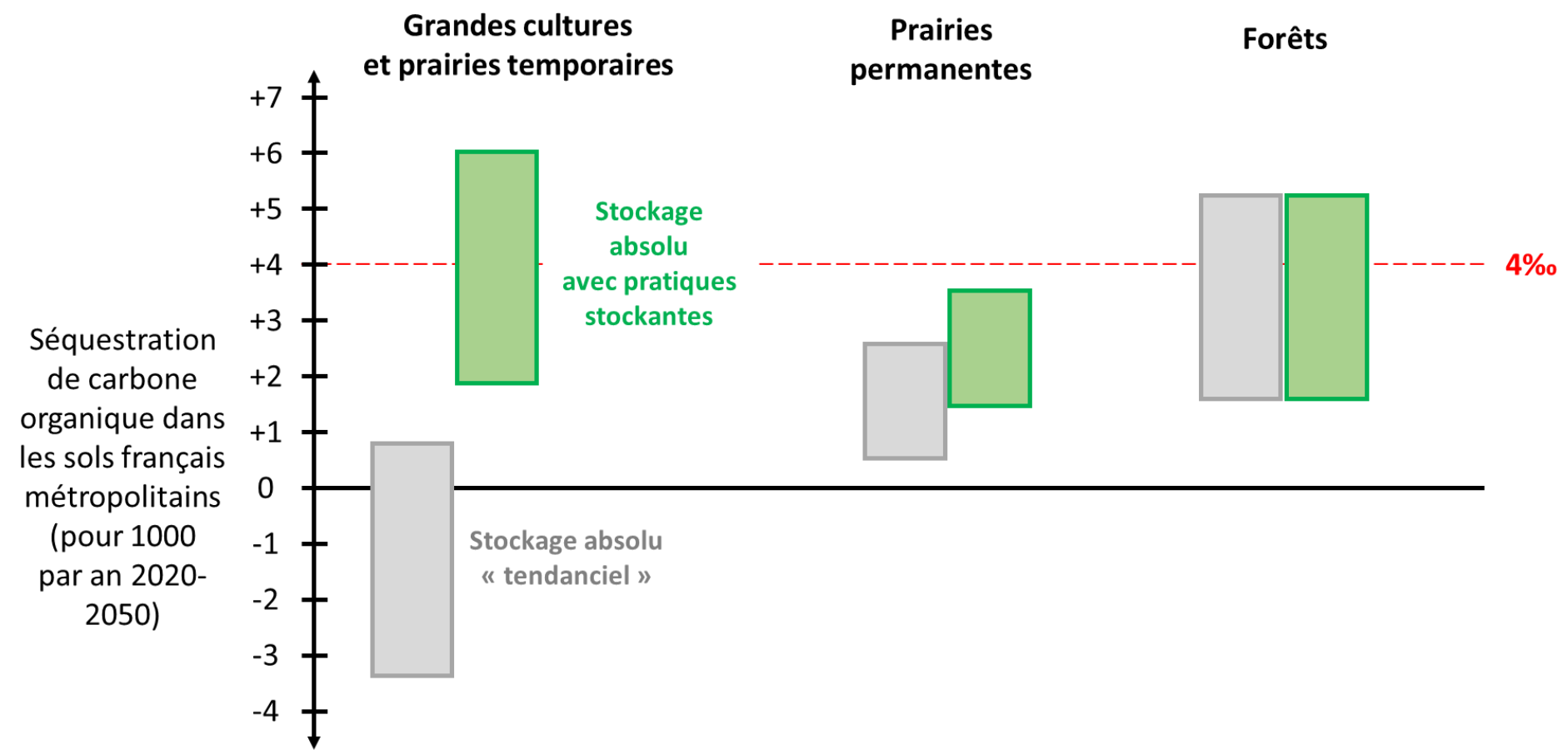
- éclaircies
- coupes rases
- récoltes intensives
- longueur des rotations
- composition spécifique
- lutte vs les incendies

**Positive dans le cas
des forêts**

| 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 résiduaux organiques | ↗ Transfert latéral de fertilité et de C | |

Etude 4p1000 France (INRA)

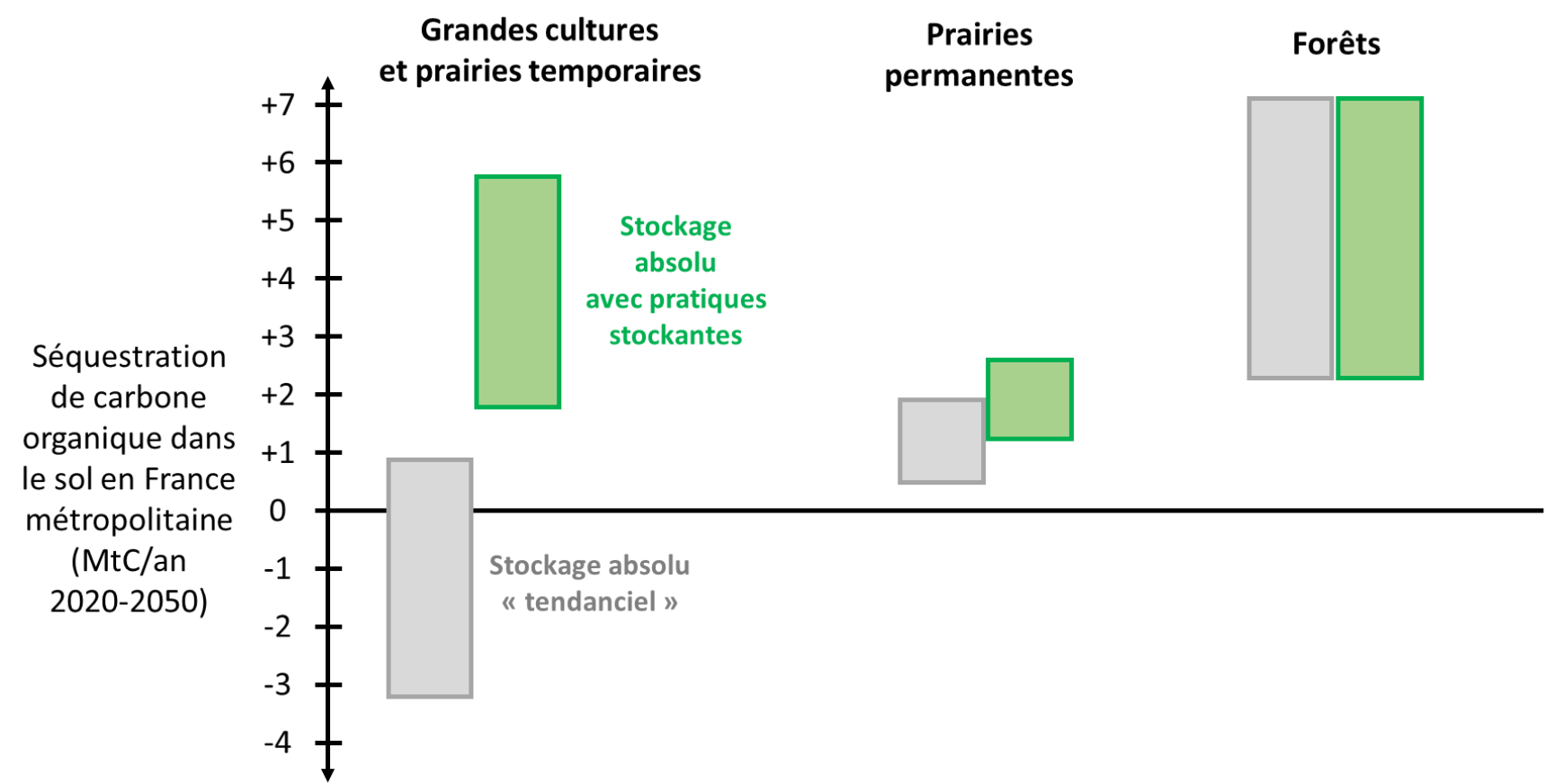
Pas de stockage additionnel de C du sol en forêt retenu (en l'état actuel des connaissances)



Source : tableau 4.33 de la synthèse de juin 2019

Etude 4p1000 France (INRA)

Pas de stockage additionnel de C du sol en forêt retenu (en l'état actuel des connaissances)



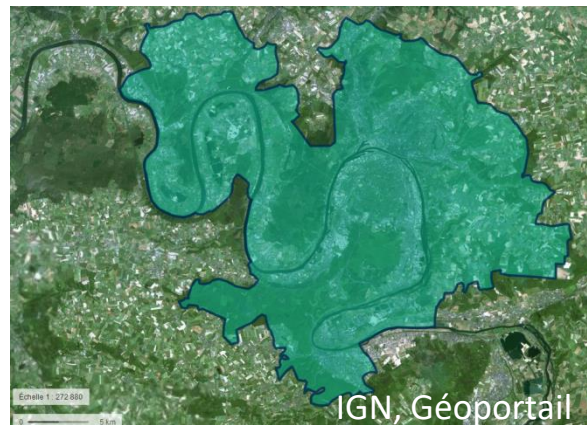
Source : calcul à partir du tableau 4.33 de la synthèse de juin 2019

Outil « ALDO » de l'ADEME, exemple de l'agglomération Rouennaise

| Siren de l'epci | Nom de l'EPCI | Surface (IGN) | Habitants |
|--|-----------------------------------|---|---|
| 200023414 | Métropole Rouen Normandie | 66414 | 498 822 |
| | | Stocks de carbone (tCO ₂ eq) | Flux de carbone (tCO ₂ eq/an)* |
| Forêt | | 13 537 240 | -111 731 |
| Prairies permanentes | | 1 393 248 | 0 |
| Cultures | Annuelles et prairies temporaires | 3 197 908 | 194 |
| | Pérennes (vergers, vignes) | 25 702 | 0 |
| Sols artificiels | Espaces végétalisés | 1 141 642 | -677 |
| | Imperméabilisés | 1 661 288 | 5 422 |
| Autres sols (zones humides) | | 1 166 786 | -1 030 |
| Produits bois (dont bâtiments) | | 3 311 651 | -11 869 |
| <i>Haies associées aux espaces agricoles</i> | | 567 | |

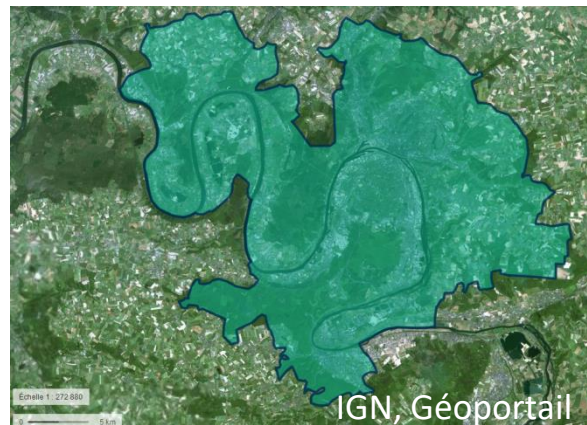
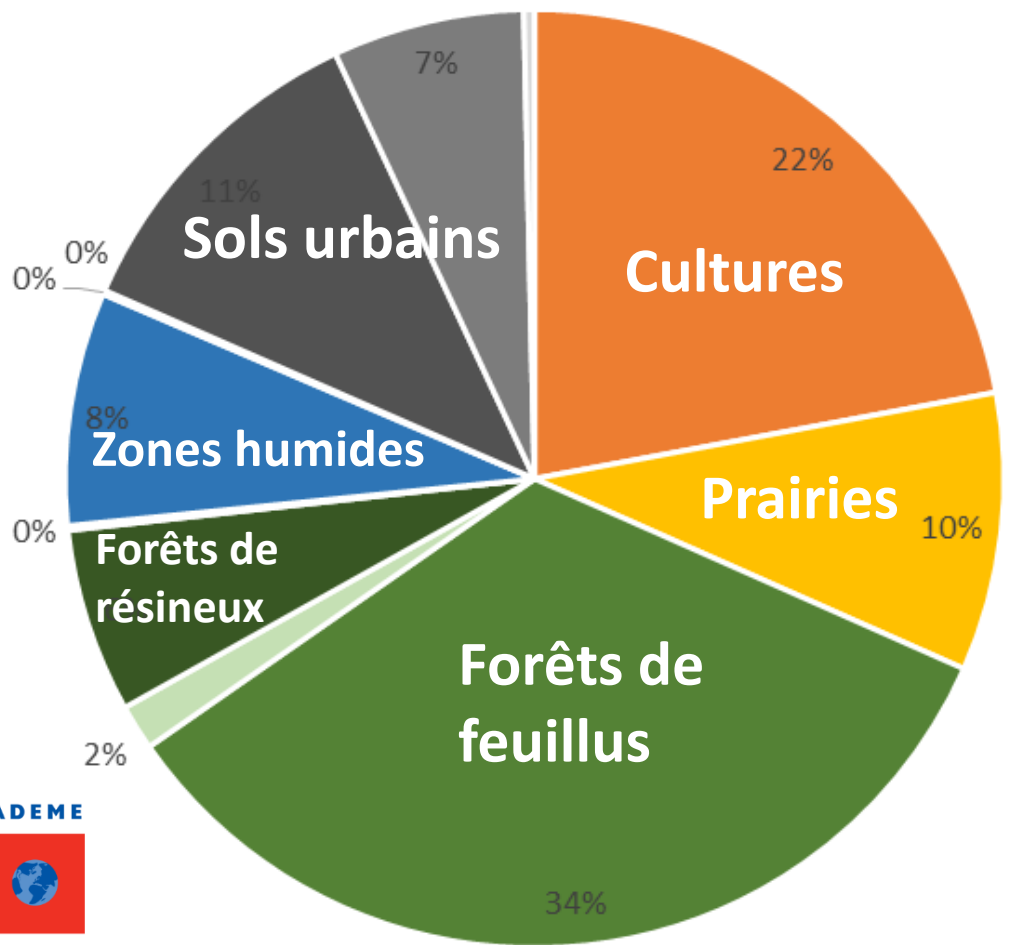
Convention :
Flux négatif
 =
séquestration

Stocks et flux annuel de carbone des écosystèmes (= dans les sols et la biomasse)



Outil « ALDO » de l'ADEME, exemple de l'agglomération Rouennaise

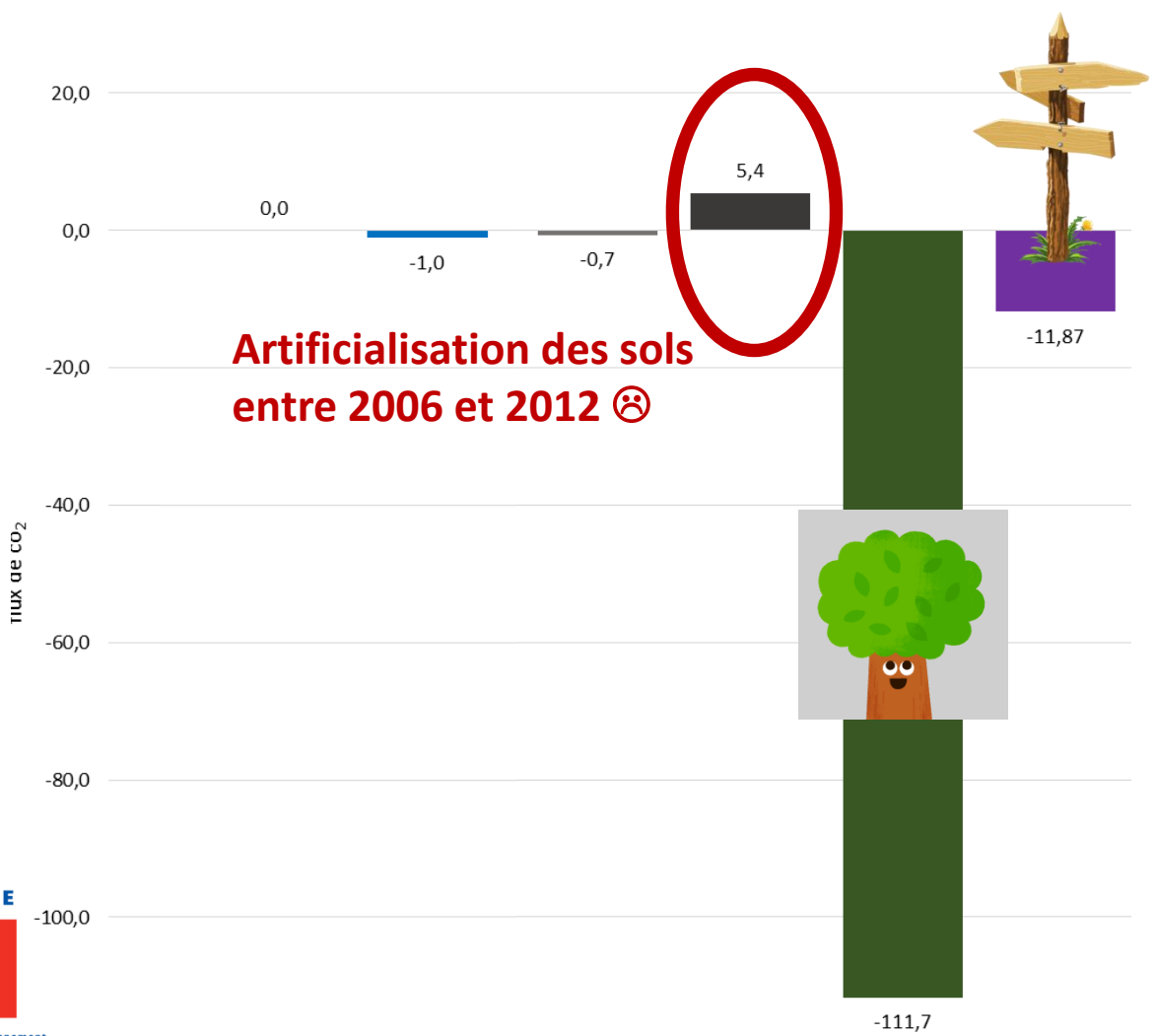
Répartition des stocks de carbone organique du sol par catégorie d'usage dans la Métropole-Rouen-Normandie



Outil « ALDO » de l'ADEME, exemple de l'agglomération Rouennaise

→ En forêt, la séquestration de C dans le sol n'est pas prise en compte

Flux annuels de CO₂ (10³ t/an)



Artificialisation des sols entre 2006 et 2012 ☹️

- prairies
- cultures
- zones humides
- sols artificiels enherbés et arbustifs
- sols artificiels imperméabilisés
- forêt 😊
- Produits bois 😊

Convention :
Flux négatif
=
séquestration



Label bas-carbone (*Décret n° 2018-1043, Arrêté du 28 novembre 2018*)

- financement volontaire de projets locaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre
- contribuer à la lutte contre le changement climatique en allant au-delà des pratiques usuelles



Des méthodes spécifiques pour la forêt, mais ne prenant pas en compte le C du sol

<https://www.cnpf.fr/n/label-bas-carbone/n:3651>

Des méthodes en cours de développement pour le carbone du sol en agriculture

(INRA / I4CE / ADEME)

Des collectifs dynamiques et les prochains temps forts

Collectif CarboSMS 2^{ème} rencontre 2–3 décembre 2019

Collectif RESMO prochaines rencontres en 2020

Arrivage de données fraîches sur les stocks de C des sols forestiers

- Observation directe de la dynamique de C (RMQS 2 / RENECOFOR 3)
- Données de stabilité du C : Rock-Eval-RMQS

Plusieurs projets en cours de montage sur le C des sols forestiers

ACTUALITES CARBONE DU SOL

Lauric Cécillon

Laboratoire ECODIV, INRAe, Université de Rouen
Laboratoire de géologie de l'Ens