



**HAL**  
open science

## L'apport du spatial pour évaluer l'effet climatique des changements de pratiques et mettre en œuvre des stratégies d'atténuation du changement climatique plus efficaces

Eric Ceschia, Gaétan Pique, Rémy Fieuzal, Taeken Wijmer, Al Bitar Ahmad, Ludovic Arnaud, Emmanuel de Laroche, Dominique Laurent, Guillaume Marchand, Arthur Favreau, et al.

### ► To cite this version:

Eric Ceschia, Gaétan Pique, Rémy Fieuzal, Taeken Wijmer, Al Bitar Ahmad, et al.. L'apport du spatial pour évaluer l'effet climatique des changements de pratiques et mettre en œuvre des stratégies d'atténuation du changement climatique plus efficaces. Les Carrefours de l'innovation agronomique (CIAG), INRAE, Dec 2020, online (France), France. pp.1-19. hal-04221932

**HAL Id: hal-04221932**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04221932>**

Submitted on 28 Sep 2023

**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.



Carrefours de l'innovation  
agronomique

INRAE 

Le spatial au service de la transition agro-écologique

16 décembre 2020

## L'apport du spatial pour évaluer l'effet climatique des changements de pratiques et mettre en œuvre des stratégies d'atténuation du changement climatique plus efficaces

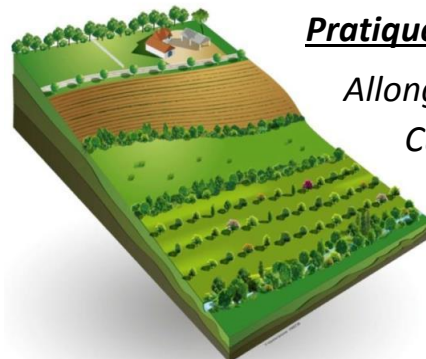
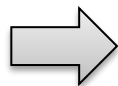
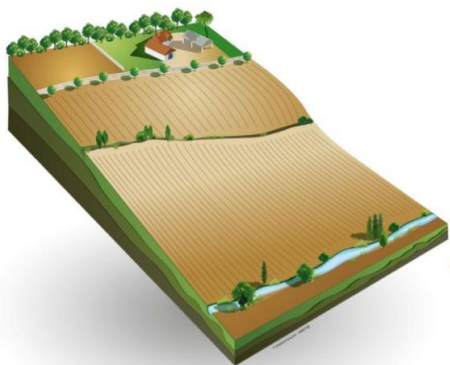
Eric Ceschia<sup>1,2</sup>, Gaétan Pique<sup>2</sup>, Taeken Wijmer<sup>2</sup>, Rémy Fieuzal<sup>2</sup>, Ahmad Al Bitar<sup>2</sup>, Ludovic Arnaud<sup>2,3</sup>, Emmanuel De Laroche<sup>3</sup>, Dominique Laurent<sup>4</sup>, Guillaume Marchand<sup>4</sup>, Arthur Favreau<sup>4</sup>, Dominique Carrer<sup>5</sup>

<sup>1</sup> INRA Toulouse, <sup>2</sup> CESBIO, <sup>3</sup> ASP, <sup>4</sup> IGN Saint-Mandé, <sup>5</sup> CNRM



# Contexte

Remise en cause de la **durabilité de l'agriculture conventionnelle** (chang. clim. & autres impacts environn.) →  
GreenDeal, Label bas C, marché du C en agriculture



## Pratiques Agro-écologiques

Allongement des rotations

Cultures intermédiaires

Agroforesterie



Stockage C →  
autres effets climatiques ?

**Manque d'outils de diagnostic multi-critère applicables à la parcelle sur de grands territoires pour guider la transition et choisir les stratégies d'atténuation les plus adaptées/efficaces**



# Composantes de l'effet climatique net des cultures

Effet net sur le climat (Ceschia et al. (2017), Kaye & Quemada (2017), Lugato et al. (2020))

## Littérature abondante

### Effets biogéochimiques = bilan GES

Ceschia et al. (2010)

#### Bilan C

Béziat, Ceschia, Dedieu (2009)

#### Flux net de CO<sub>2</sub>

Photosynthèse

Respi.

C<sub>exporté</sub>  
(récolte)

C<sub>importé</sub>  
(Amendements organiques)

Matière organique du sol

Autres émissions GES

N<sub>2</sub>O émissions

Opérations techniques (ACV)

## Quelques études

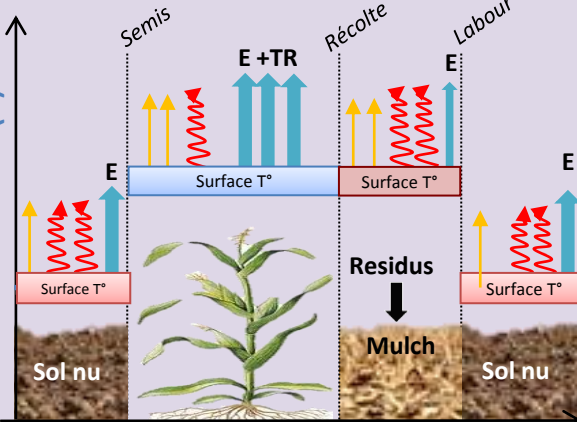
### Effets biogéophysiques : α & flux d'énergie

Davin et al. (2014), Carrer et al. (2018)

Effet refroidissement (eq. puits C)

Effet réchauffant (eq. source C)

Surface albedo (α)



### Legend :

Rayonnement infra-rouge & flux de chaleur sensible


Rayonnement solaire (incident & réfléchi)

Evaporation/transpiration

Surface T°



# Le spatial pour estimer les composantes du Bilans C

- Projet  : calculs d'indicateurs C pour chaque année culturale (à 10m/parcelle) →, possible agregation à la rotation,
- Approche pragmatique basée sur 3 méthodes de complexité croissante (TIERs)
  - TIER 1 (proxy) et TIER 2 (Bilan C) sont basées sur des méthodes empiriques et peuvent être appliqués aux principales grandes cultures sauf le riz,
  - TIER 3 basé sur le modèle SAFYE-CO2 qui assimile des indices de végétation (LAI) dérivés des données Sentinel 2 → permet de calculer d'autres variables (biomasse, rendement, flux d'eau & CO<sub>2</sub>...) mais seulement pour 4 cultures (blé, tournesol, maïs et bientôt colza) pour le moment + cultures intermédiaires.
- Mêmes bases conceptuelles :

$$\text{Bilan C} = \text{Flux Net CO}_2 - \text{C récolté} + \text{Amendement org.}$$

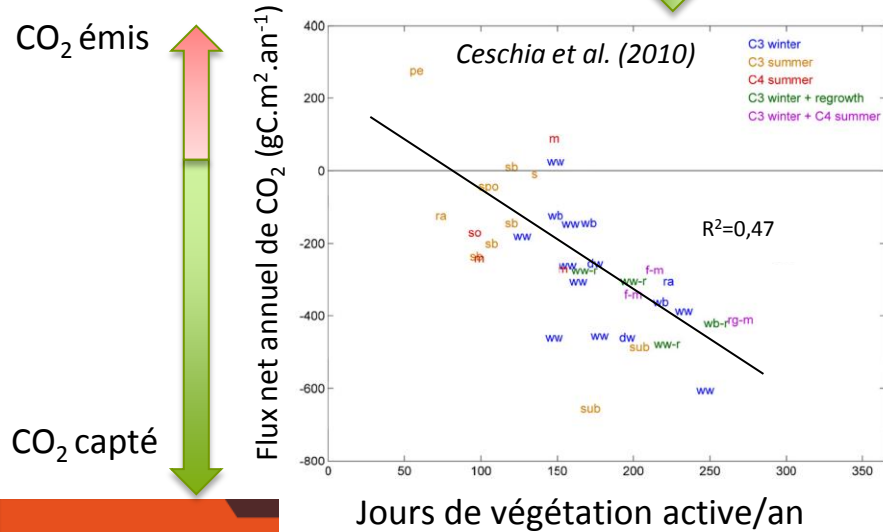


# Le spatial pour estimer les composantes du Bilans C

➤ Approche empirique à la parcelle/pixel sur toutes les parcelles

$$\text{Bilan C} = \text{Flux net de CO}_2 - \text{C récolté} + \text{Amendement Org.}$$

TIER 1



- Reflète l'effet de la couverture du sol sur la fixation nette annuelle de CO<sub>2</sub> : dépend des rotations et de la présence de cultures intermédiaires,

- Basée sur 15 sites Européens (Italie → Danemark), 43 années-sites & 15 espèces cultivées + cultures intermédiaires,

- Plus la couverture du sol est longue, plus on fixe du CO<sub>2</sub> (cf Expertise nationale 4/1000; *Pellerin et al., 2019*).





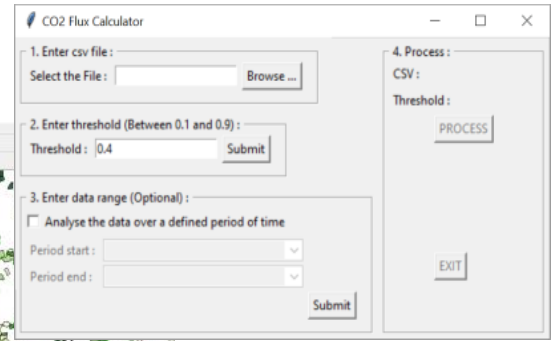
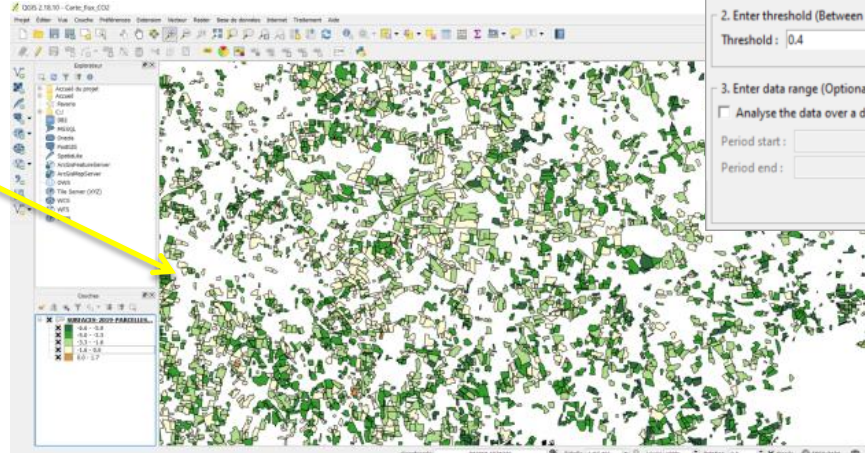
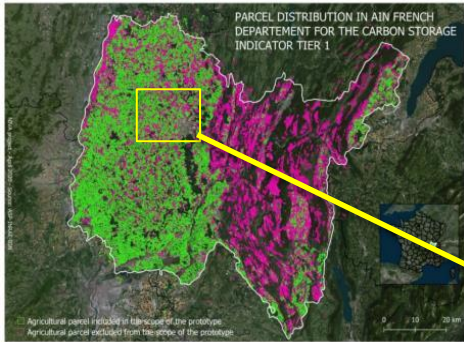


# Le spatial pour estimer les composantes du Bilans C

➤ Approche empirique à la parcelle/pixel sur toutes les parcelles

$$\text{Bilan C} = \text{Flux net de CO}_2 - \text{C récolté} + \text{Amendement Org.}$$

TIER 1



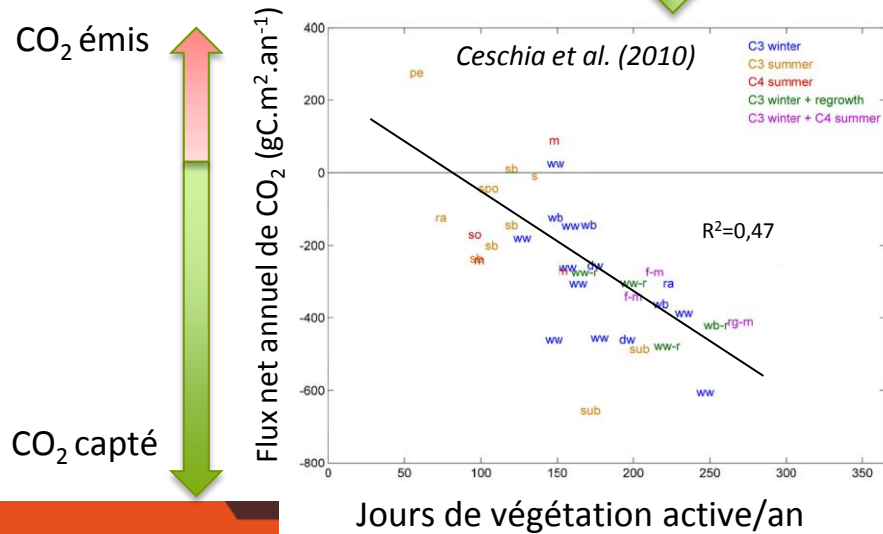
# Le spatial pour estimer les composantes du Bilans C

➤ Approche empirique à la parcelle/pixel sur toutes les parcelles

TIER 2

$$\text{Bilan C} = \text{Flux net de CO}_2 - \underbrace{\text{C récolté} + \text{Amendement Org.}}_{\text{Données agriculteurs}}$$

TIER 1



Données agriculteurs

- C récolté :
  - Rendement (t/ha)
  - Éventuellement pailles et cultures intermédiaires exportées (t/ha),
- Amendements organiques ?
  - Type,
  - Quantité (t/ha).



# Le spatial pour estimer les composantes du Bilans C

## TIER 3 : modélisation bilan C via chaîne SAFYE-CO2

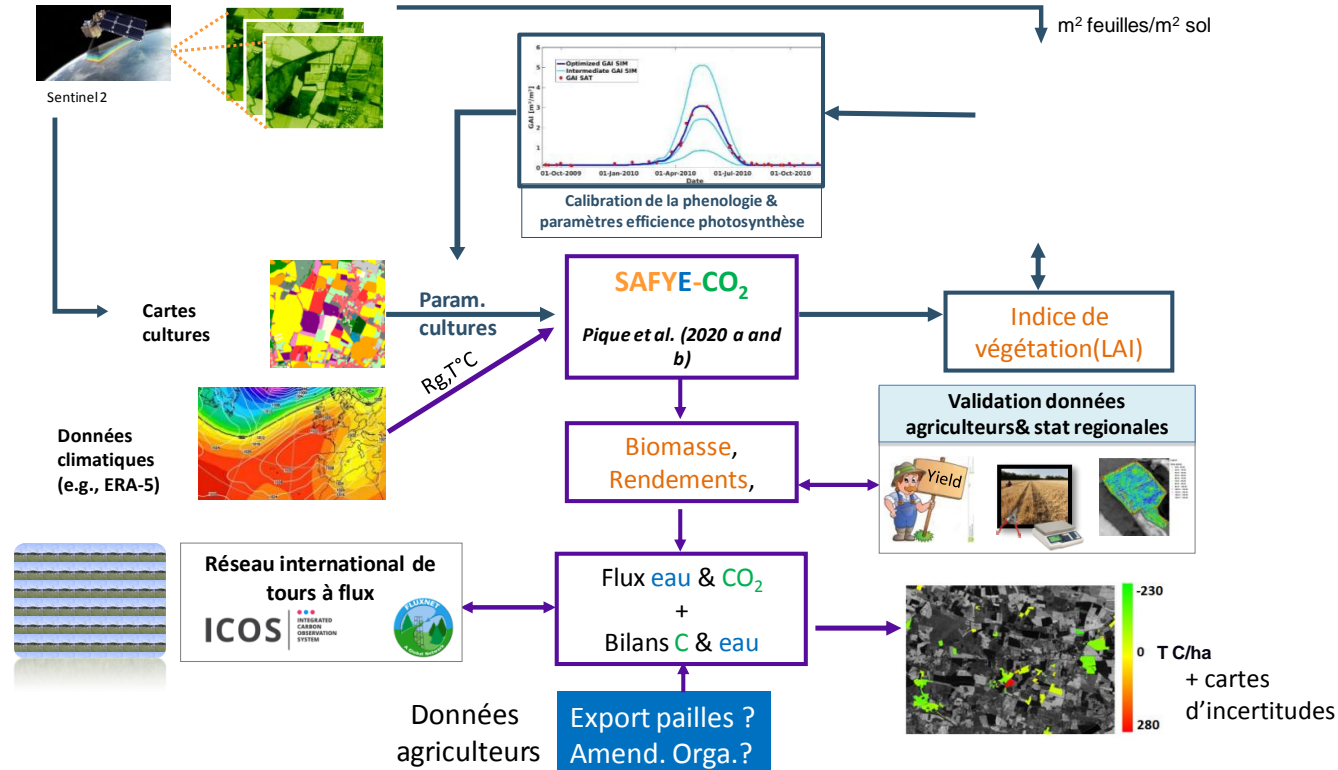
### ➤ Défis :

- transformer en très peu de temps un outil recherche en un outil opérationnel ➔ chaîne de traitement (end to end) ; Thèse Taeken Wijmer

- Gestion du volume de données/ optimisation du temps de calcul/ propagation d'incertitudes (approche bayésienne)

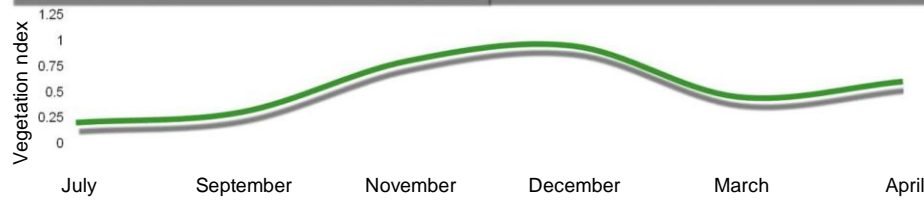
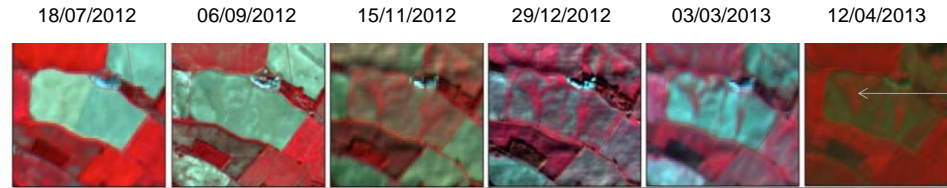
- Enrichir le modèle avec de nouvelles cultures,

➔ Analyse de transposabilité (NIVA)



# Le spatial pour estimer les composantes du Bilans C

- L'approche TIER 1 a été pensée pour une application opérationnelle à court terme partout en Europe (données RPG + Sentinel2) → proxy du bilan C,
- Les approches TIER 2 et 3 sont complémentaires et permettent d'estimer les bilan C : nécessitent peu d'information concernant les pratiques → adaptées à des application à la parcelle sur de larges étendues TIER 2,
- La télédétection permet une analyse objective du développement des cultures/cultures intermédiaires/repousses et de leurs impacts sur les composantes du bilans C → **OAD, primes C**

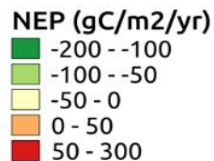
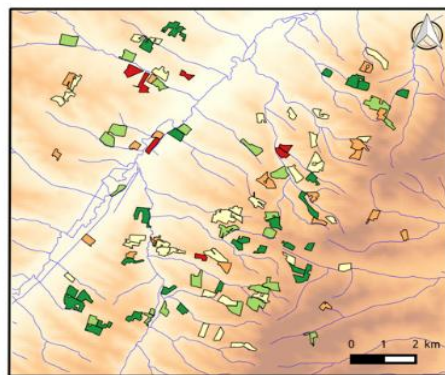


# Simulation d'une rotation blé/tournesol

SAFYE-CO<sub>2</sub> : Analyse de l'effet des cultures intermédiaires/repousses/adventices sur les flux nets annuels de CO<sub>2</sub>

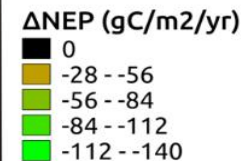
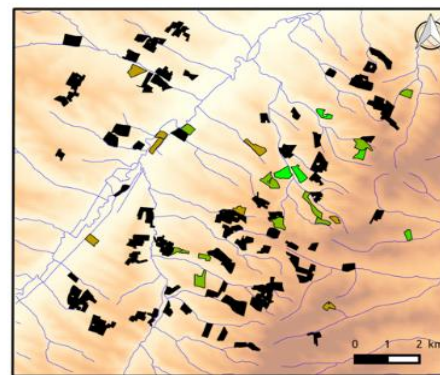
Bassin versant de la Save

Thèse de Gaétan Pique



A

Sans prise en compte des cultures intermédiaires d'été /repousses



B

Effet de la prise en compte des cultures intermédiaires d'été/repousses

Deltas de 28 à 140 gC.m<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup> entre parcelles en sol nu durant l'interculture d'été et parcelles avec cultures intermédiaires/repousses.



# Effets biophysiques induits par des changements de pratiques

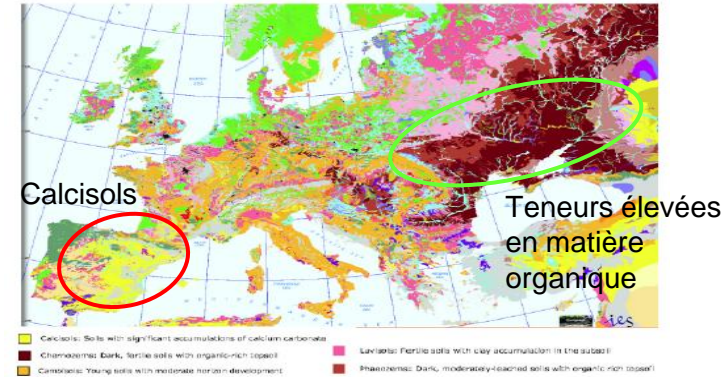
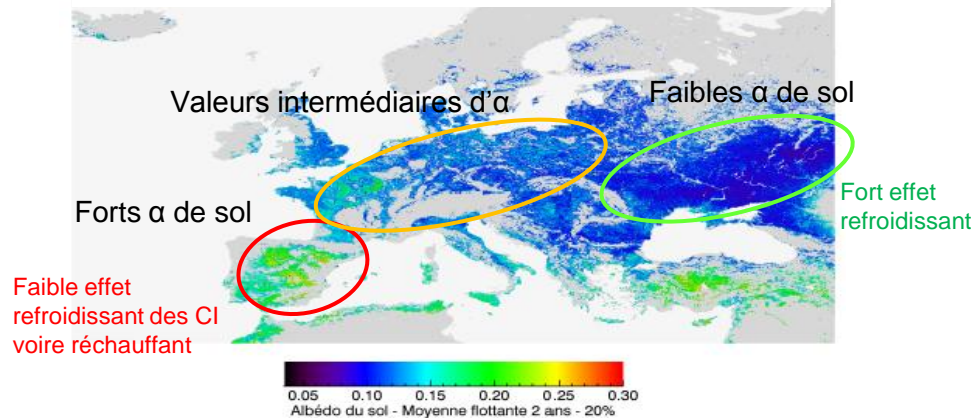
- Données satellite MODIS : Luysaert et al. (2014 dans Nature Climate Change ) → impacts climatiques des effets biophysiques liés aux changements de pratiques aussi important que ceux liés à des changements d'occupation du sol,
- Davin et al. (2015) : maintien des pailles en surface ↑ l'albédo (effet refroidissant) mais 80% de cet effet est perdu via ↑ de la température de surface et des flux de chaleurs,
- Ceschia et al. (2017), Kaye & Quemada (2017) : synergie des effets refroidissants biogéophysiques et biogéochimiques sur le climat suite à l'introduction de cultures intermédiaires (stockage C, ↑ albédo, ↓ T°C de surface, ↓ rayonnement IR, ↓ flux de chaleur sensible).



# La télédétection pour guider l'implantation des CI

- Globalement l'introduction des CI permet d'accroître d'albédo de surface sauf pour quelques types de sols et les zones enneigées (Kaye & Quemada ; Lugato et al. 2020)

Cartes des albédos de sol nu sur grandes cultures en hiver : données satellite MODIS désagrégées (Carrer et al., 2012)

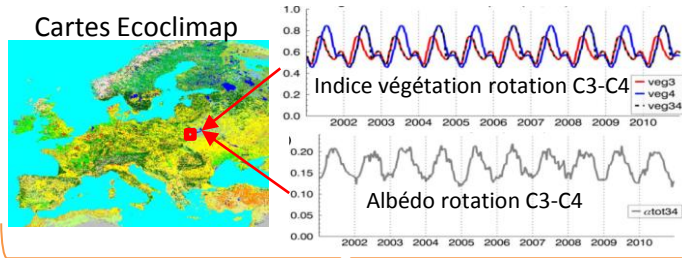


→ La télédétection est utile pour identifier où et quand les CI doivent être implantés (ou pas) pour accroître l'albédo de surface (évaluation encore plus précise avec des produits haute résolution)



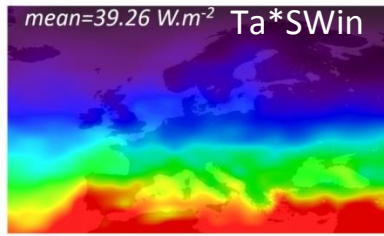
# Effet albédo des cultures intermédiaires en Europe (vs sol nu)

Carrer et al. (2018) in ERL



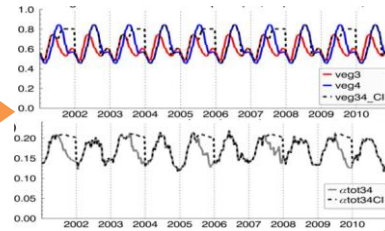
Indices de végétation, albédo de sol nu & de végétation (snow free) dérivés des données MODIS désagrégées (Filtre de Kalman ; Carrer et al., 2014) → albédo des rotations de cultures hiver (C3) -été (C4)

ERA-INTERIM

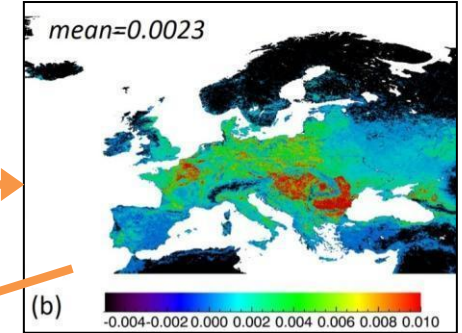


(a) 0 20 40 60 80 100

Analyse de où et quand les CI peuvent être introduites



Delta albédo journalier induit par les CI



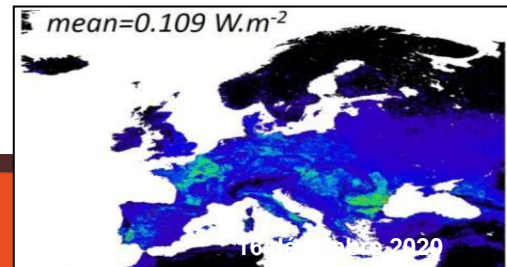
(b) -0.004-0.002 0.000 0.002 0.004 0.006 0.008 0.010

Données journalières de rayonnement/transmittance

**RFCC**  
Radiative Forcing of Cover Crop

$$RF\alpha = -R_g \times TA \times \Delta\alpha$$

Effet albédo ( $W.m^{-2}$ )



(c) 0.0 0.5 1.0 Plus de refroidissement



Carrefours de l'innovation agricole

INRAE



# Comparaison effets albédo et stockage C des CI

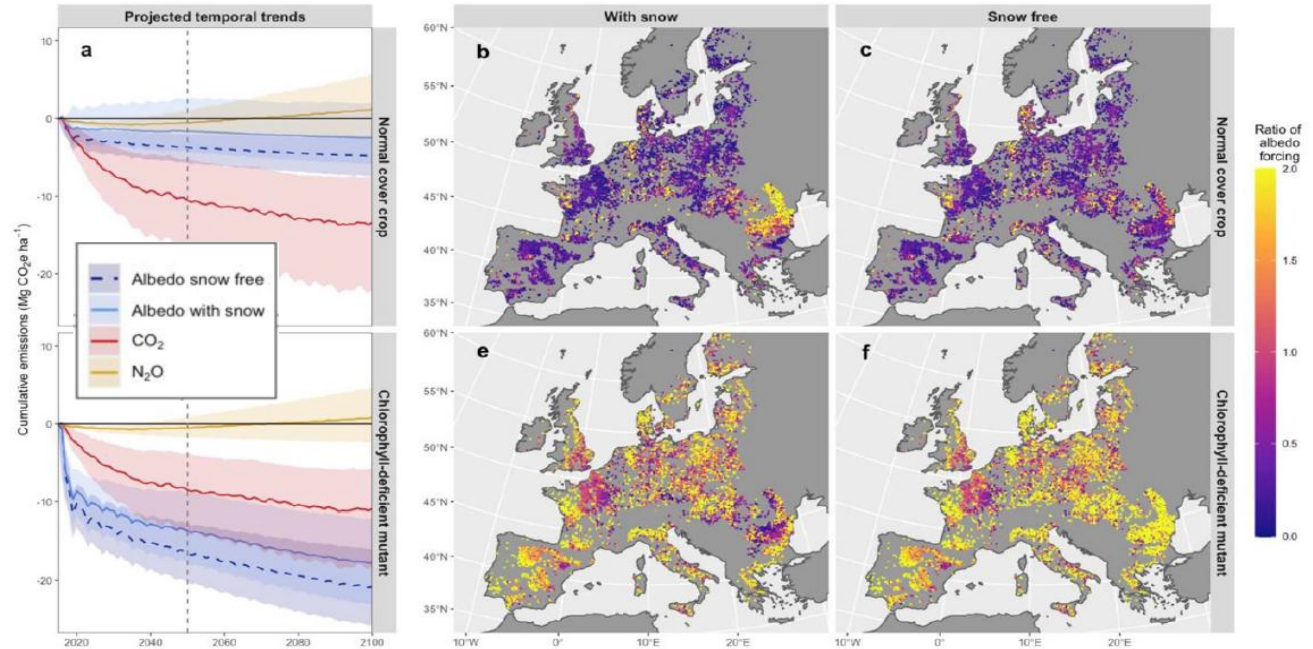
- Pour la France, à horizon 100 ans effet albédo des CI  $\approx$  1,5 fois plus grand que l'effet stockage de C (dans Pellerin et al, 2019 estimé à partir de Carrer et al, 2018 et Tribouillois et al 2028).

Lugato et al. (2020) :

- données albédo MODIS + simulation bilan C avec DayCent,

- effet albédo des CI -70 à +100% de l'effet bilan C selon la variété de CI,

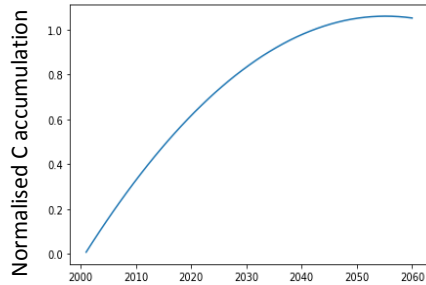
- importance de prendre en compte effet neige.



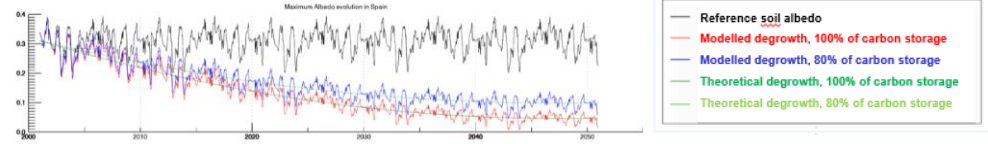
# Effet albédo des CI + assombrissement du sol

Cependant...

Thèse Gaétan Pique  
(article en prép)



Adapté de Tribouillois et al (2018) et considérant  
Corg max similaire au sols Roumains



Modélisation de la ↓ d'albédo du sol suivant l'accumulation progressive de MO dans le sol grâce aux CI



Même méthode que Carrer et al. (2018) mais sur 100 ans (climat actuel) + assombrissement du sol (80%) + scénario couverture max. par les CI (cf. Pellerin et al. 2019)

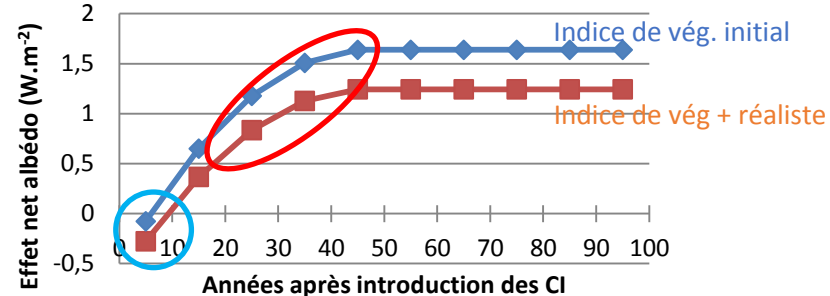
## Europe

- Sur le **courte terme**, la couverture du sol par les CI engendre un **effet α refroidissant**,

- A plus **long terme** l'assombrissement du sol (stockage C) pourrait prédominer sur l'effet couverture des CI → **effet réchauffant**.



Une fois les CI adoptés, le sol devrait être couvert en permanence pour éviter cet effet sol (paille/végét.).



# Conclusions

- Potentiel des données de télédétection largement sous exploité pour quantifier les effets d'atténuation liés au changements de pratiques → utilité des futurs services Copernicus HR (Phenology/CropMonitoring),
- Outils de monitoring pour les indicateurs C en cours de développement → OAD, Label bas C, primes PAC, en collaboration avec les agriculteurs (ex. projet Soil Carbon Farming),
- Effets d'atténuation de certaines pratiques peu documentées par télédétection/pas opérationnelles : ex. agroforesterie → stockage C mais antagonisme sur effets albédo ?
- Besoin en produits de télédétection haute résolution (ex. albédo via Sentinel 2; T°C de surface via LSTM/Thrishna) pour quantifier plus finement les effets des changements de pratiques et pour que ces derniers soient mieux adaptés au contexte local,
- Importance de considérer conjointement les effets biogéophysiques et biogéochimiques pouvant être évaluées via la télédétection couplée à la modélisation → analyses synergies/antagonismes entre effets pour mise en œuvre de stratégies d'atténuation des CC + efficaces.



# Merci pour votre attention

*Et remerciement à nos financeurs...*

