



# Couverts intermédiaires, opportunité ou risque pour l'atténuation du changement climatique ?

Morgan Ferlicq (CESBIO) - Eric Ceschia (INRAE/CESBIO)

et

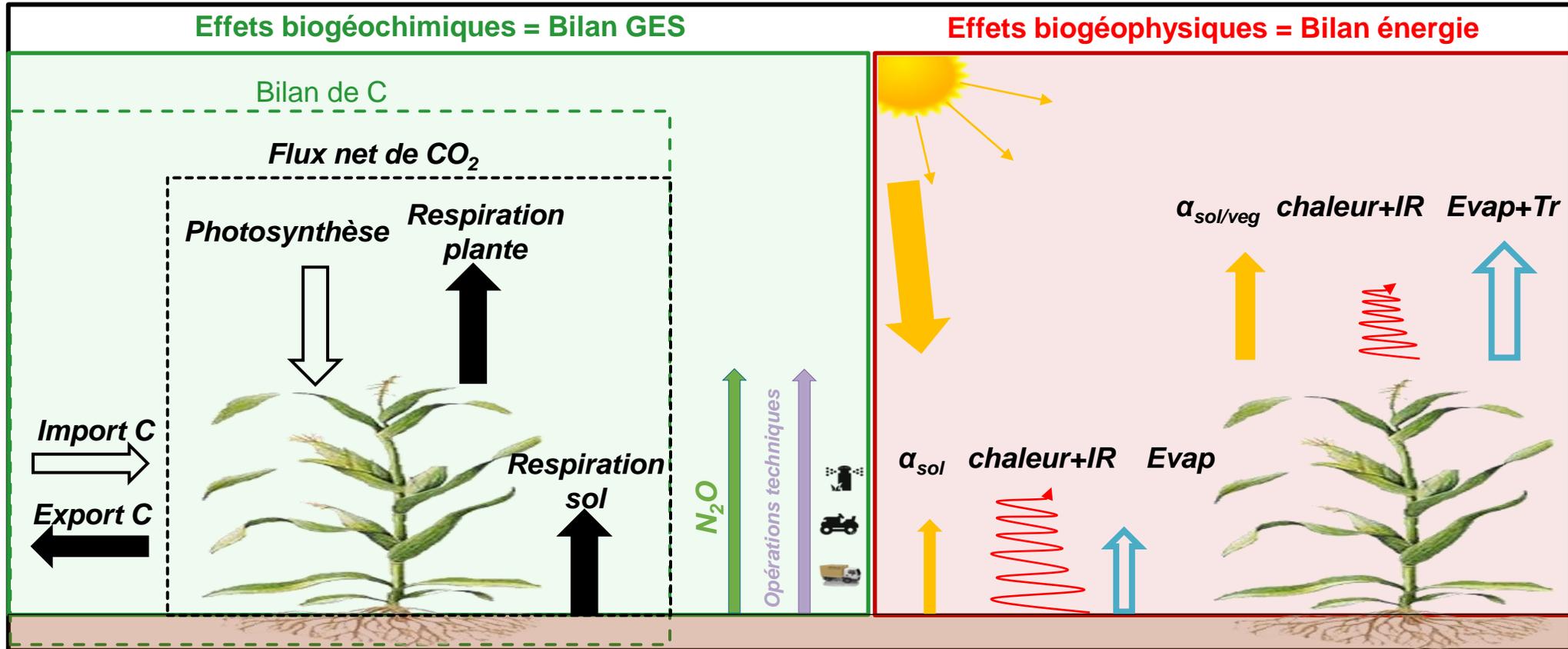
Gaétan Pique (CESBIO), Dominique Carrer (CNRM), Raphael Garisoain (CESBIO/CNRM), Elias Azzi (KTH), Remy Fieuzal (CESBIO)



# Quel est l'impact climatique d'une parcelle cultivée ?



## Impact climatique



# Introduction

- ▶ Les premières études **comparant les effets biogéochimiques et biogéophysiques** ont porté sur les écosystèmes forestiers (*p. ex.*, *Betts et al., 2000; Rottenberg et Yakir, 2010; O'Halloran et al., 2011*).
- ▶ Dans le cas des terres cultivées, pendant de nombreuses décennies, les études ont porté soit sur :
  - ▶ **Stockage du sol C et réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES)** pour l'atténuation du changement climatique,
  - ▶ Ou les effets **des pratiques de gestion sur les effets biogéophysiques** (effet albédo) causés par des changements dans la gestion des terres cultivées (*p. ex.*, *Genesio et coll., 2012; Davin et coll., 2014; Luysaert al., 2014*).
- ▶ Pour comparer les effets biogéochimiques avec l'effet albédo causé par les changements de gestion des terres cultivées, ce dernier a dû être **converti en éq-CO<sub>2</sub>**, mais il manquait des méthodologies stabilisées pour le faire,
- ▶ **Quel est l'effet des pratiques agroécologiques (en particulier du non-labour et des cultures intermédiaires) d'un point de vue biogéochimique et biogéophysique ?**





► **Dans cette présentation, nous allons :**

- Faire le point sur les causes de la dynamique de l'albédo de surface des terres cultivées afin d'identifier les changements de gestion des terres qui pourraient contribuer à l'atténuation des changements climatiques grâce aux approches stockage C et albédo,
- Nous comparerons ensuite les effets biogéophysiques et biogéochimiques à court et à long terme des CI à plus grande échelle pour déterminer leurs effets directs et indirects sur l'impact climatique net.

# Les diverses échelles spatiales et temporelles d'étude de l'effet albédo des cultures intermédiaires



Mesures in situ/Sud-Ouest de la France

Données satellite et/ou modélisation à l'échelle européenne

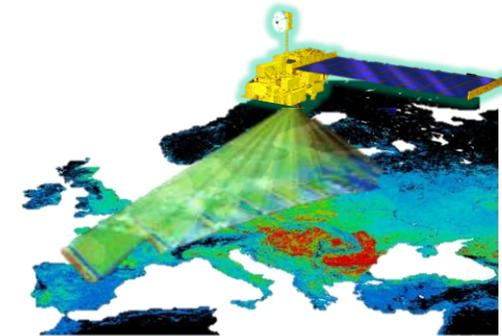
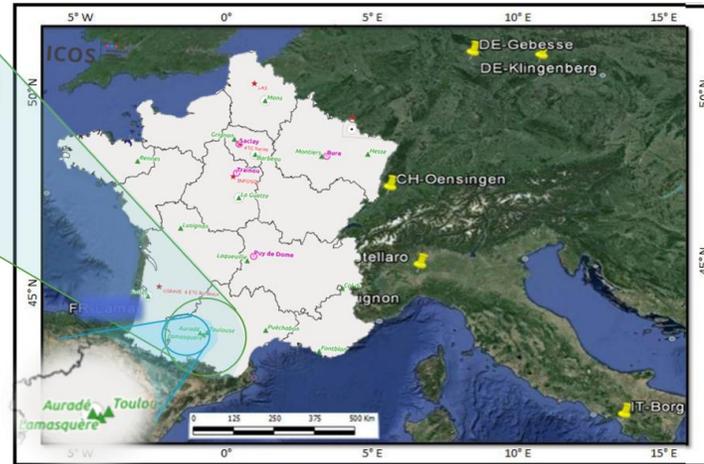
**Auradé et Lamasquère : systèmes conventionnels**

Causes des changements rapides de l'albédo de surface



**Montans : comparaison système en transition/mené en agroécologie**

Effets biogéophysiques des systèmes de culture



Dynamique de l'albédo de surface



Effet albédo

**Lamasquère : étude comparative**

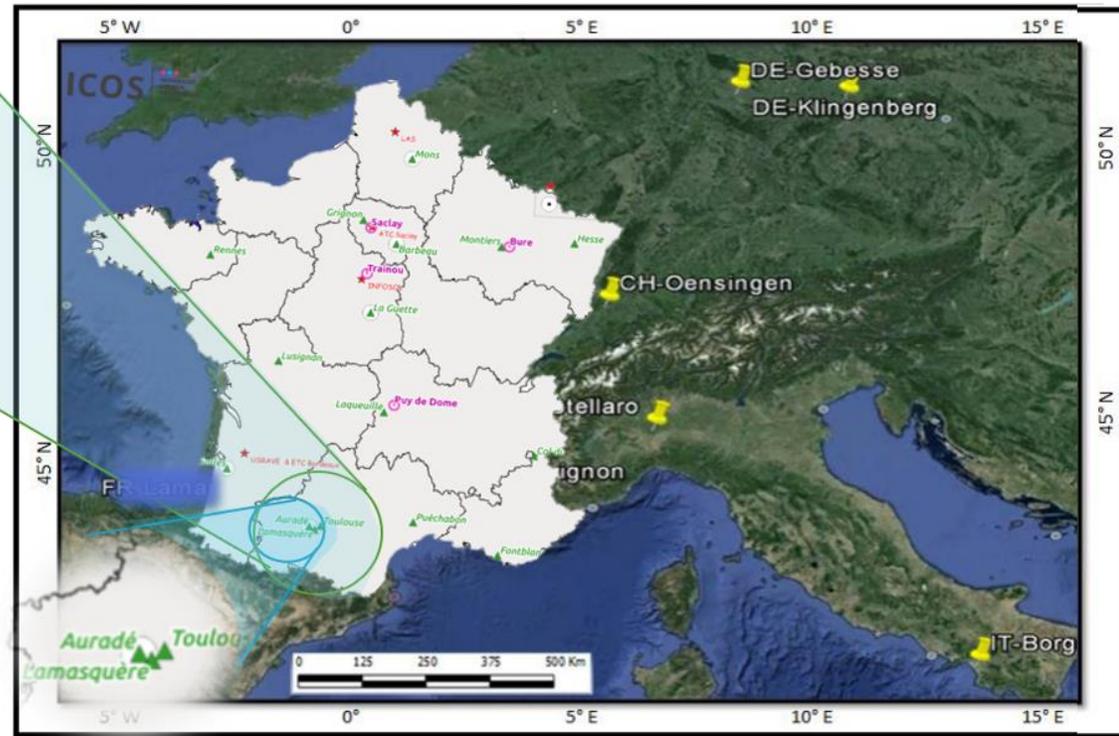
Effets biogéophysiques et biogéochimiques sur RFnet



Conséquences des changements de gestion des terres cultivées sur les composantes biogéochimiques et biogéophysiques (principalement effet albédo) sur RFnet

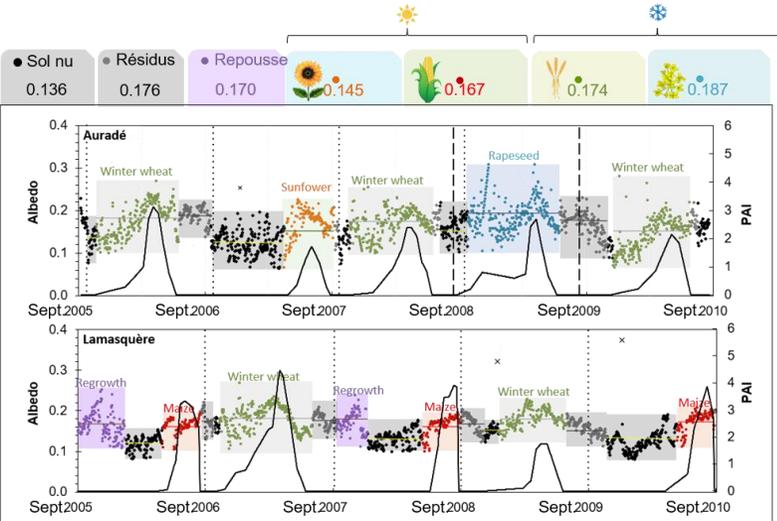


# Que nous apprennent les études à l'échelle locale?

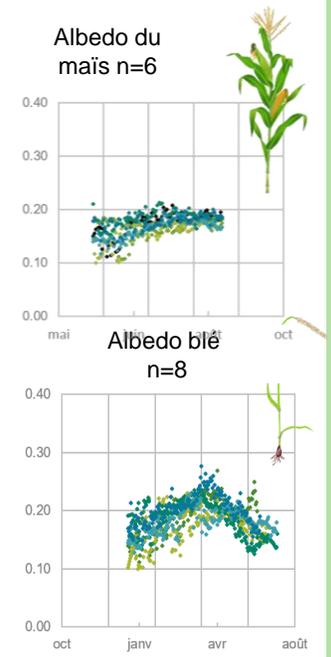
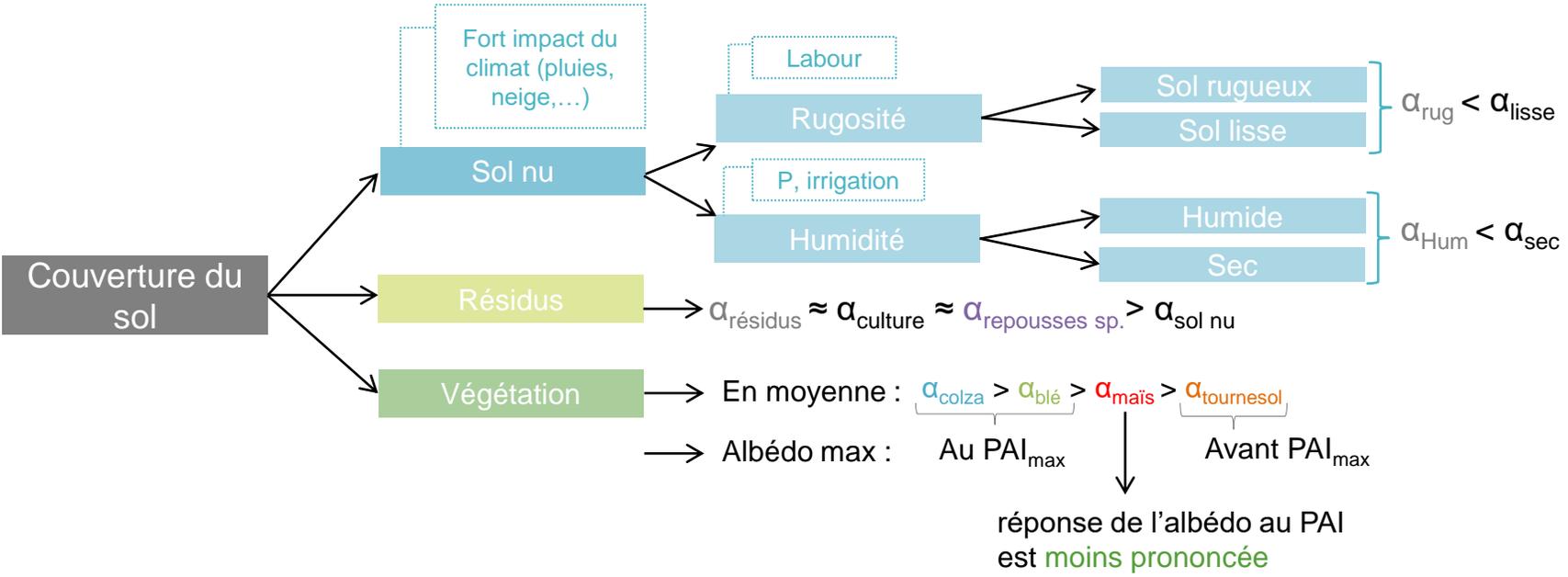




# Comment le développement des cultures affecte-t-il l'albédo de surface des systèmes conventionnels (Auradé et Lamasquère)?



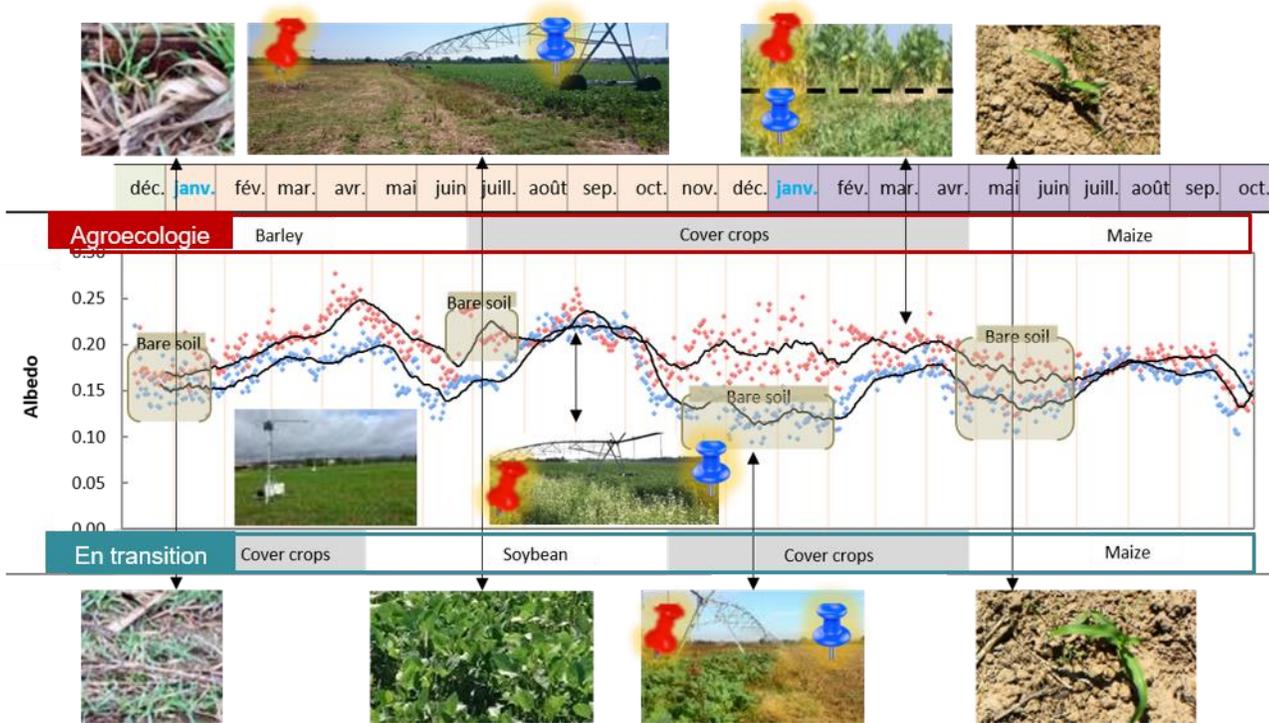
- 5 années de mesure en continu
- **Même contexte pédo-climatique** : effets du climats sur les variations d'albédo
- Pratiques de **gestions contrastées** :
  - céréalière/élevage
  - Labour profond/superficiel
  - Irrigation
  - Gestion des résidus de culture
- Rotations différentes



# Comparison des effets biogéochimiques d'un système en transition et d'un système plus avancé d'un point de vue agroécologie



## Gaillac (France)



Les deux parcelles sont adjacentes :

- Pratiques d'agroécologie depuis 5 ans
- en transition des pratiques conventionnelles vers l'agroécologie

Juillet 2016

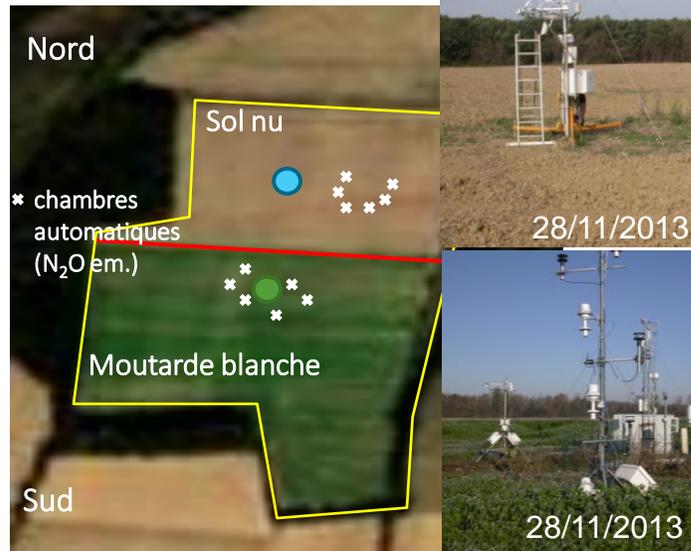
Profondeur	Agroécologie		Transition	
	Corg	OM	Corg	OM
0 à 10	8.6 ± 0.4	14.9 ± 0.8	8.2 ± 1.0	14.3 ± 1.7
10 à 30	7.4 ± 0.4	12.8 ± 0.7	8.0 ± 0.9	13.9 ± 1.6
30 à 60	5.3 ± 0.4	9.1 ± 0.7	5.4 ± 0.5	9.4 ± 0.9
60 à 90	5.0 ± 0.3	8.7 ± 0.4	4.9 ± 0.3	8.4 ± 0.5

- Implantation des cultures intermédiaires : 6 à 9 mois
- L'albédo de la parcelle « agroécologie » était toujours égal ou supérieur à la parcelle en « transition » en dépit d'une teneur plus élevée en OM du sol parce que le **sol était couvert en permanence de végétation ou de résidus de culture.**

# Effets de CI sur les composantes biogéochimiques et biophysiques



## Site Lamasquère



## Objectifs :

- Différence d'albédo de surface induite par la culture intermédiaire
- Effet du CC sur :
  - Rayonnement IR et sur la température du sol
  - Flux de chaleur sensible (tourbillons chauds à la surface)
  - Flux de chaleur latente (évapotranspiration)
  - Bilans C et GES

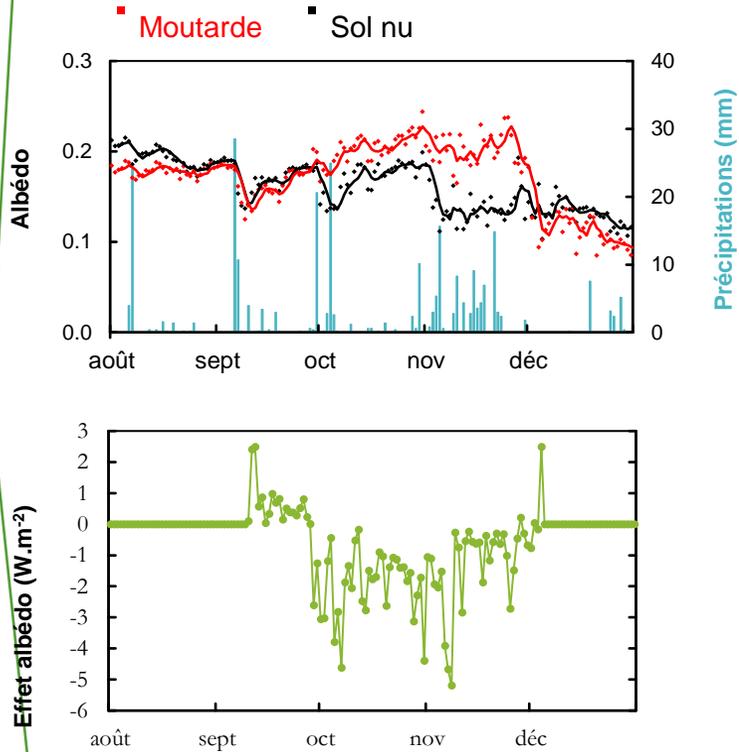
## Variables mesurées :

- Flux de CO<sub>2</sub>, de N<sub>2</sub>O, d'eau et d'énergie
- Température et humidité du sol à 0-5 cm
- Flux de chaleur du sol
- Rayonnement incident/réfléchi solaire (ondes courtes et longues)

# Effets biogéophysiques radiatifs des CI

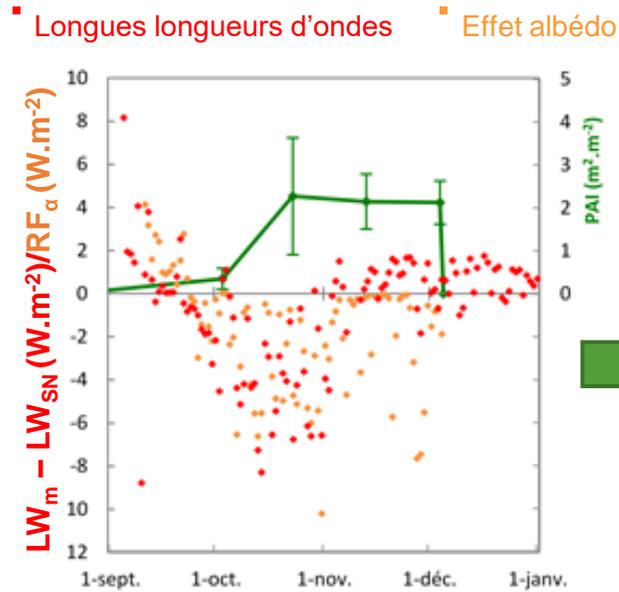


## 1. Effet des ondes courtes (albédo) (RF $\alpha$ )



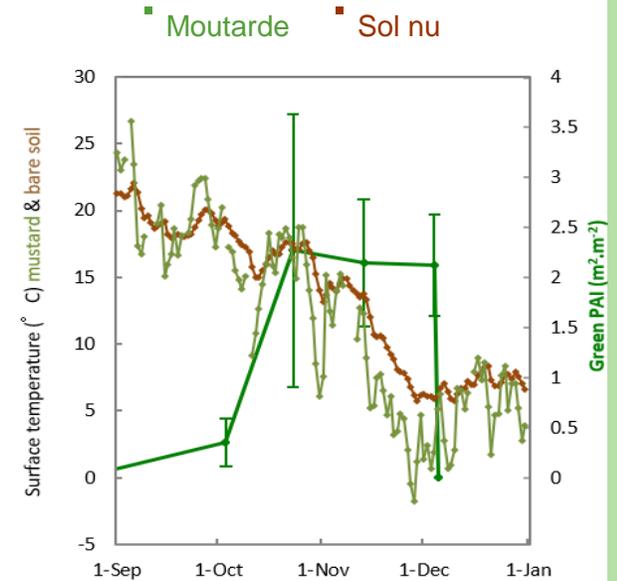
→  $\Delta\alpha$  induit un refroidissement

## 2. Effets des ondes longues



→ Effets longues longueurs d'ondes  $\approx$  Effet albédo en termes d'intensité (pas nécessairement en termes de refroidissement)

## 3. Température du sol



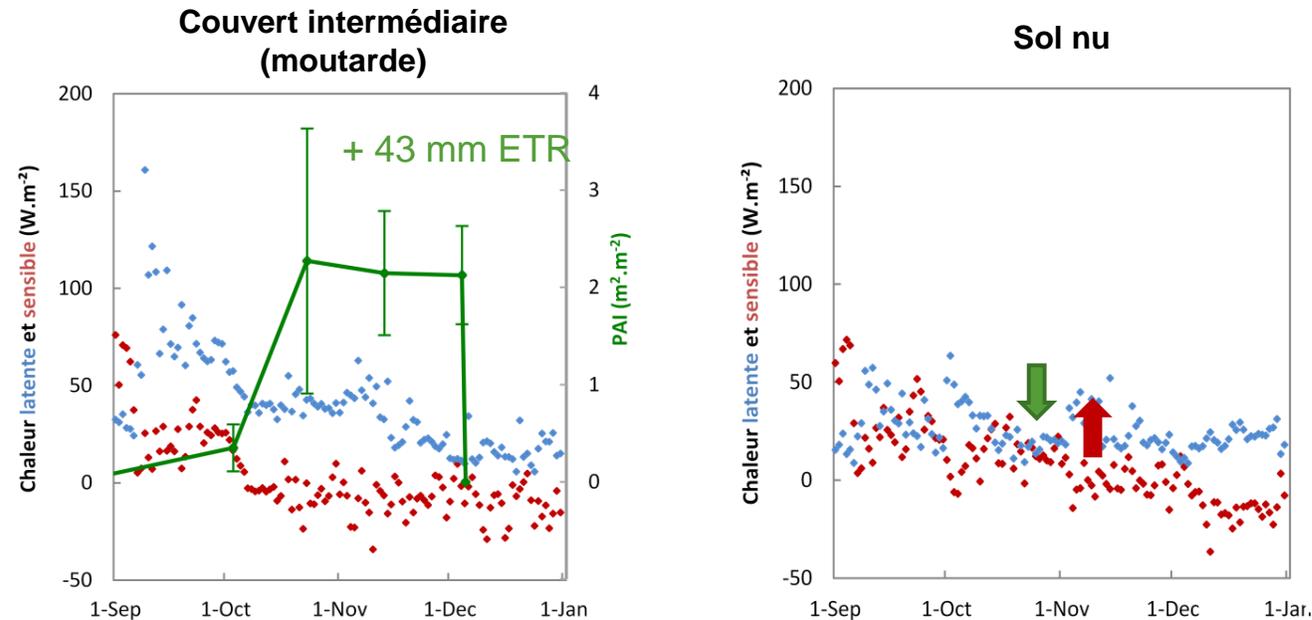
→ Différence moyenne de 2.5°C

→ Ralentissement probable de la minéralisation de la MO (et conséquences sur les émissions de CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>O du sol)

# Effets biogéophysiques non radiatifs des CI



## Effets sur les flux de chaleur latents (évapotranspiration) et sensibles



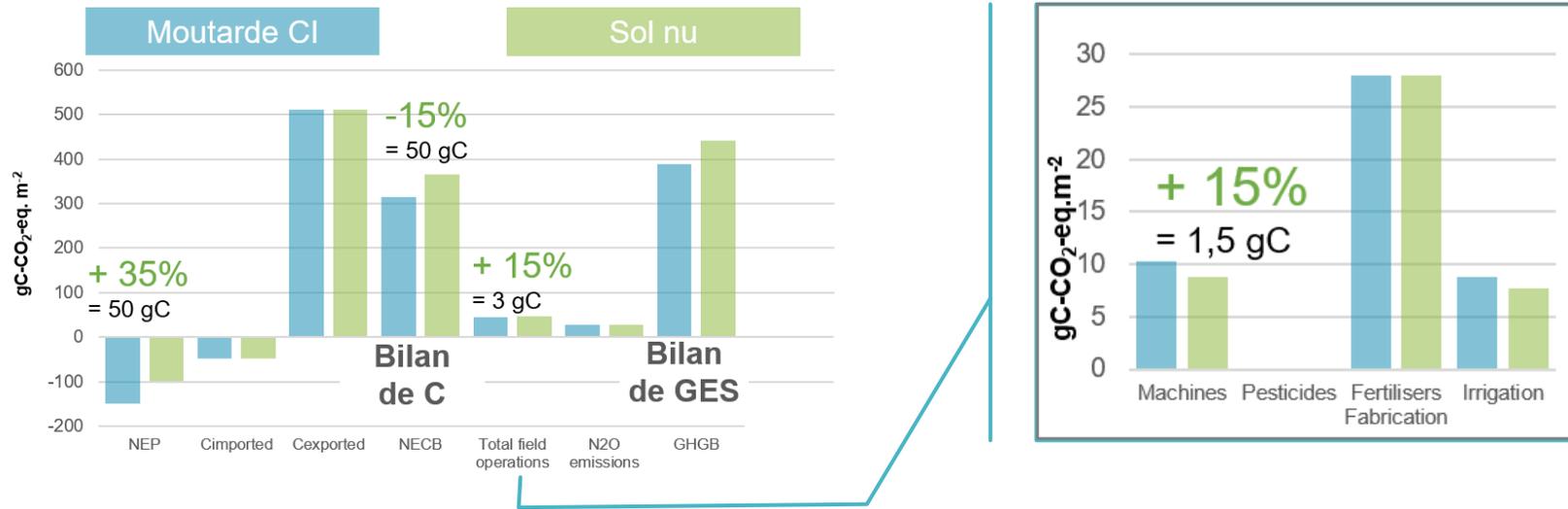
- ↑ évapotranspiration & ↓ flux chaleur sensible provoque un refroidissement du climat de surface local (Boucher et al., 2004) Climatiseur naturel!! ;-)

Effet local/régional sur la température perçue à la surface pourrait être important (*Georgescu et coll., 2011*).

L'effet global sur le climat des CC est difficile à estimer (nécessite des exercices de modélisation grande échelle couplés surface-atmosphère).

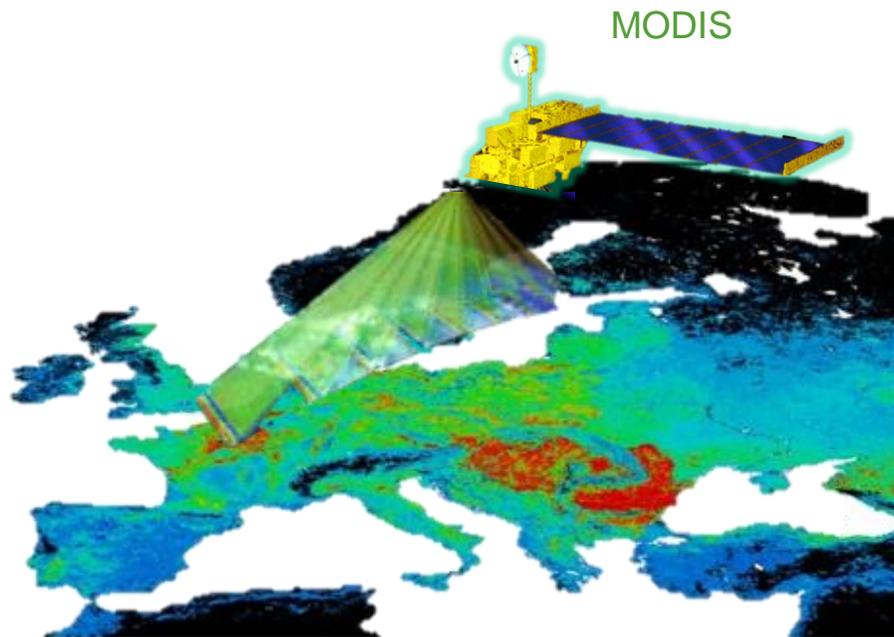


# Effet des CI sur les composantes du bilans de C et GES

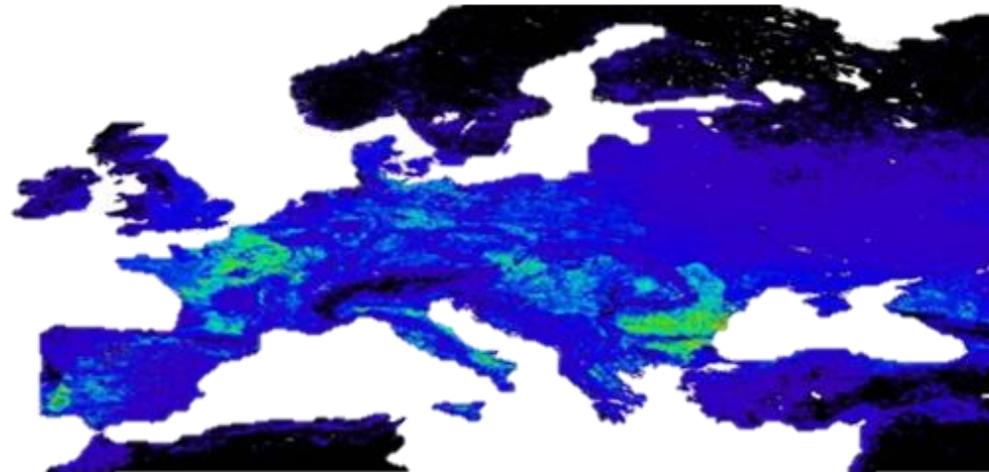


- Malgré la **biomasse faible du CI (2,2 t DM/ha)** par rapport aux chiffres régionaux moyens (4 t DM/ha), le bilan de C de l'année culturale a été **amélioré de 15% (environ 50gC)**.
- Le total des émissions liées aux opérations techniques (semis/destruction du couvert intermédiaire) ont fait augmenter le terme des **opérations techniques de 15% (3gC)**
  - utilisation des machines : + 15% (1,5 gC)
  - Irrigation des CI : +15% (1,5 gC)
  - émissions de N<sub>2</sub>O : négligeables,
- Finalement, les CI ont **amélioré le bilan de GES de de 12% (53 gC)**

# Que nous apprennent les études à de plus grandes échelles spatiales et temporelles?



Dynamique de l'albédo de surface



RFa

# Effet long terme des CI sur les bilans C et GES

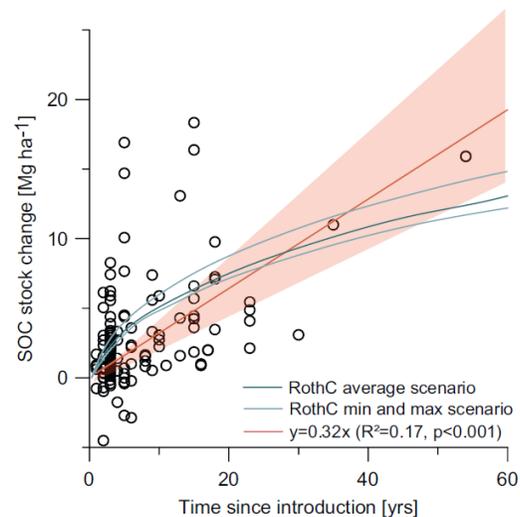


Plusieurs études tendent à montrer que :

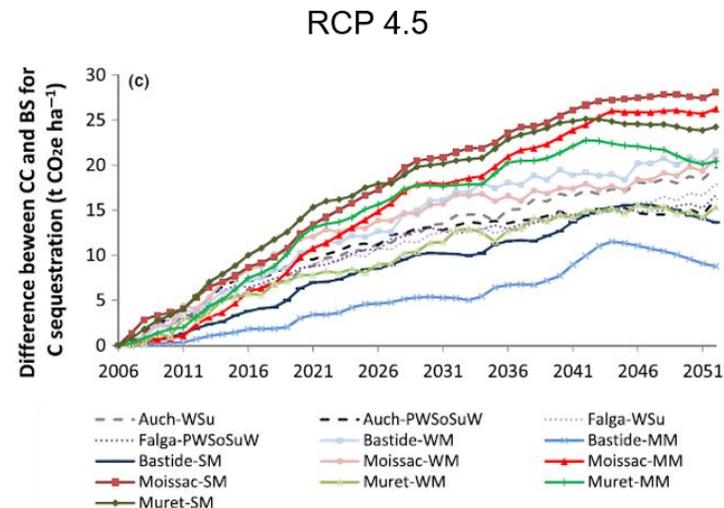
- l'effet de stockage du carbone des cultures intermédiaires pourrait être limité dans le temps : nouvel équilibre atteint après 45-50 ans,
- Les émissions de N<sub>2</sub>O peuvent diminuer à court terme, mais augmenter 15 à 50 ans après l'introduction des cultures intermédiaires.

➔ Adapter la fertilisation N après la destruction des cultures intermédiaires (Guardia et al., 2019 ; MERCI Meth.)

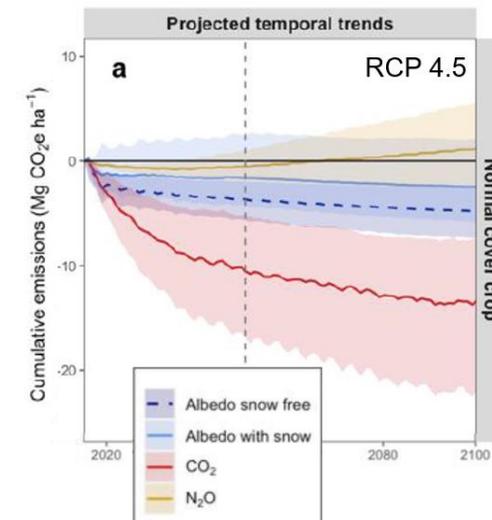
**Méta-analyse basée sur des données *in situ***  
(Poeplau et Don, 2015)



**Simulations STICS en France**  
(Tribouillois et al., 2018)



**Simulations DayCent sur l'Europe**  
(Lugato et coll., 2020) : **ligne rouge**

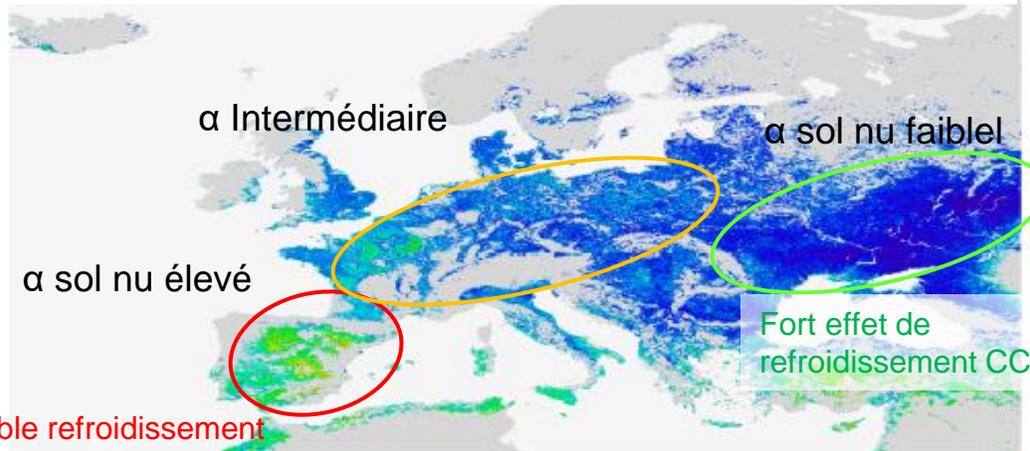


# Effet albédo court terme lié à la couverture des sols par les CI par rapport à un sol nu en Europe

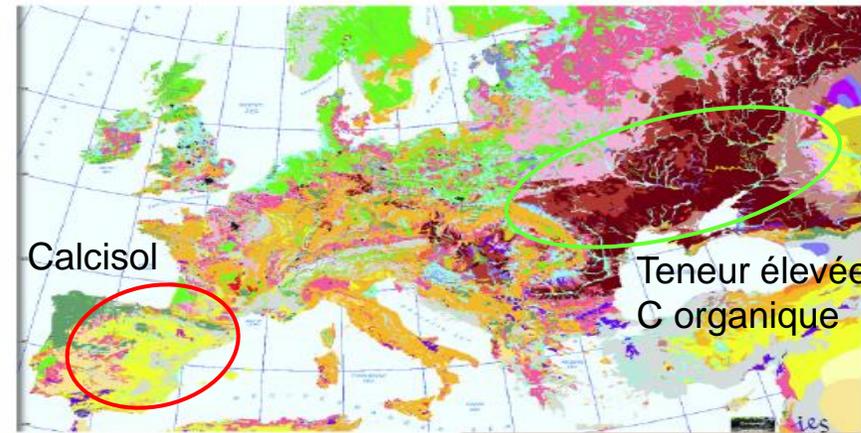
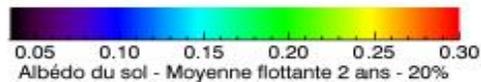


En général, l'introduction de CI augmente l'albédo de surface par rapport au sol nu (l'effet de neige n'est pas pris en compte), mais pour certains types de sol (p. ex., calcisols) un CI peut faire diminuer l'albédo, ce qui serait contre-productif (Carrer et al., 2018).

Carte de l'albédo du sol nu des terres cultivées en hiver d'après les données satellitaires MODIS désagrégées (Carrer et al., 2012)



Faible refroidissement CC ou même effet de réchauffement

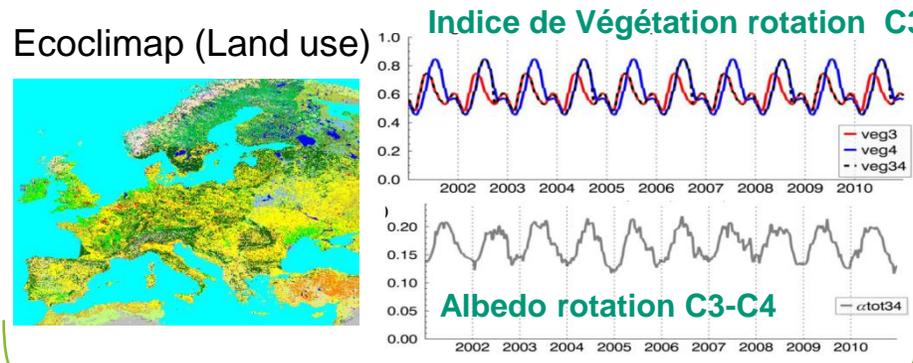


→ Les données de télédétection sont utiles pour déterminer où/quand les cultures intermédiaires devraient être introduites (ou non) afin d'augmenter l'albédo de surface.

# Effet albédo court terme lié à la couverture des sols par les CI par rapport à un sol nu en Europe

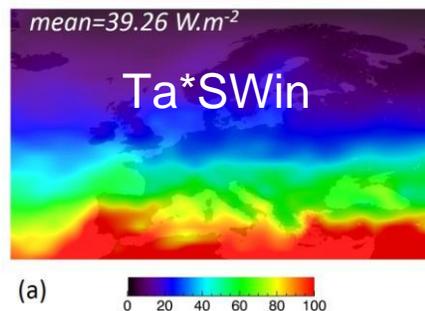


Carrer et al.  
(2018) dans ERL

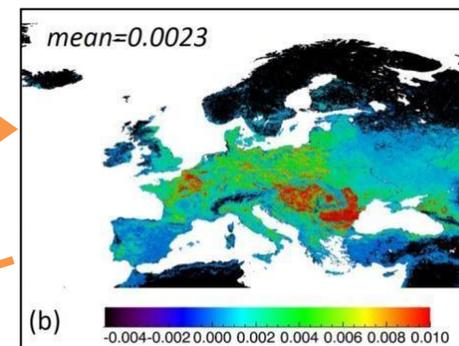
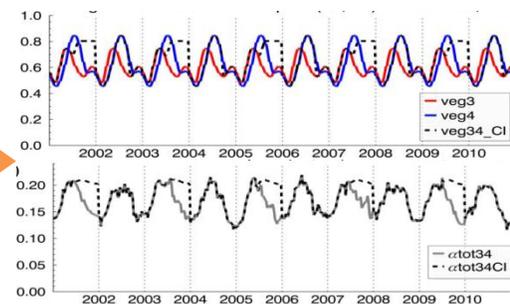


Indice de végétation désagrégée, albédo sol nu et albédo végétation (sans neige) dérivé des données MODIS à 5\*5 km (filtre Kalman ; Carrer et al., 2014)  
albédo de rotation des cultures C3-C4

L'albedo journalier augmente avec les CI



Analyse du lieu et du moment de l'introduction des CI

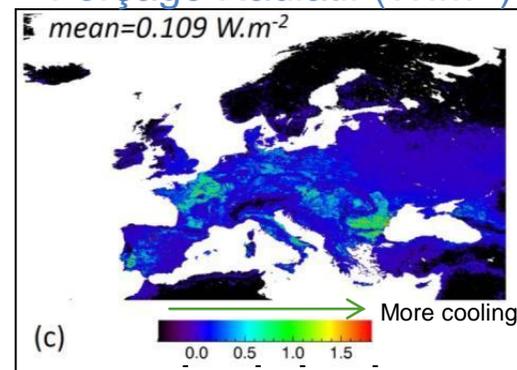


Rayonnement global quotidien et transmittance atmosphérique (ERA-INTERIM)

**RFCC**  
Forçage radiatif des CI

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

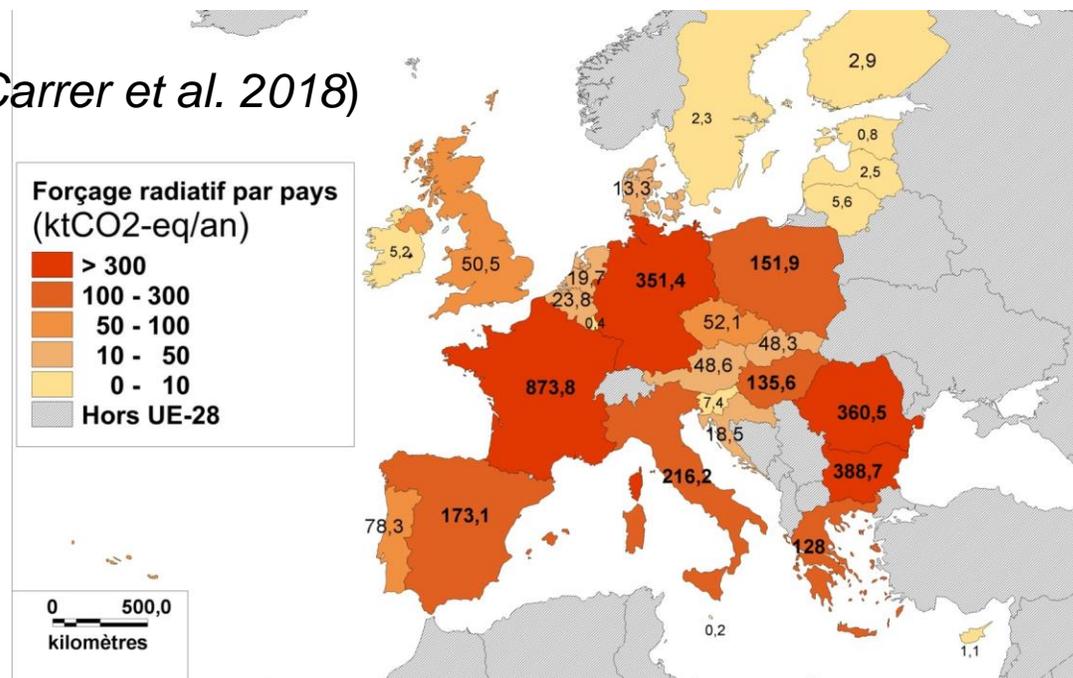
Forçage Radiatif (W.m<sup>-2</sup>)



# Effet albédo court terme lié à la couverture des sols par les CI par rapport à un sol nu en Europe



(Carrer et al. 2018)



- Selon le scénario de couverture sur **3 mois**, l'effet albédo cumulé sur l'EU-28 est de **3,16 MtCO<sub>2</sub>-eq. an<sup>-1</sup>**
- Même, mais compte tenu de la **limitation des pluies**, l'effet albédo cumulé sur l'EU-28 était de **2,27 MtCO<sub>2</sub>-eq.an<sup>-1</sup>**
- Scénario de CI de **6 mois + limitation des précipitations** : **3,99 MtCO<sub>2</sub>-eq.an<sup>-1</sup>** i.e. une compensation pouvant atteindre 1,01 % des émissions de GES agricoles de l'UE-28.

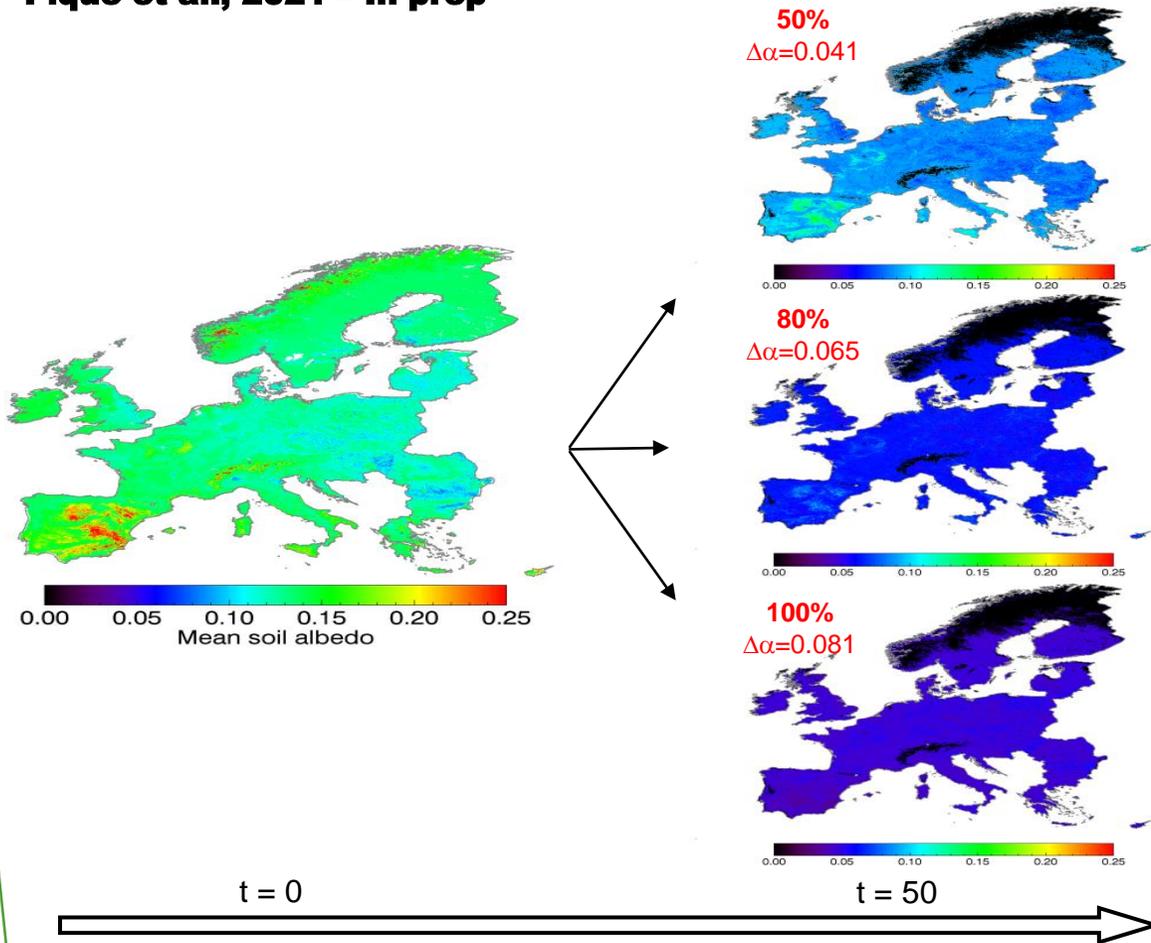
## En occitanie

Départements	Potentiel d'atténuation annuel en milliers de t eq-CO <sub>2</sub> .an <sup>-1</sup>
Ariège	3,0
Aude	8,0
Aveyron	5,7
Dordogne	9,4
Gers	31,8
Gironde	8,3
Haute Garonne	25,5
Hautes Pyrénées	2,0
Landes	2,7
Lot	5,1
Lot et Garonne	23,8
Pyrénées Atlantiques	5,3
Pyrénées Orientales	0,3
Tarn	15,7
Tarn et Garonne	16,0

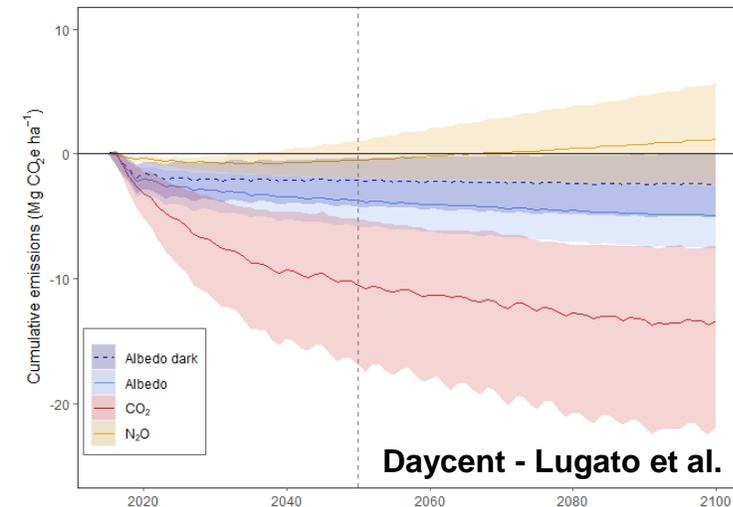
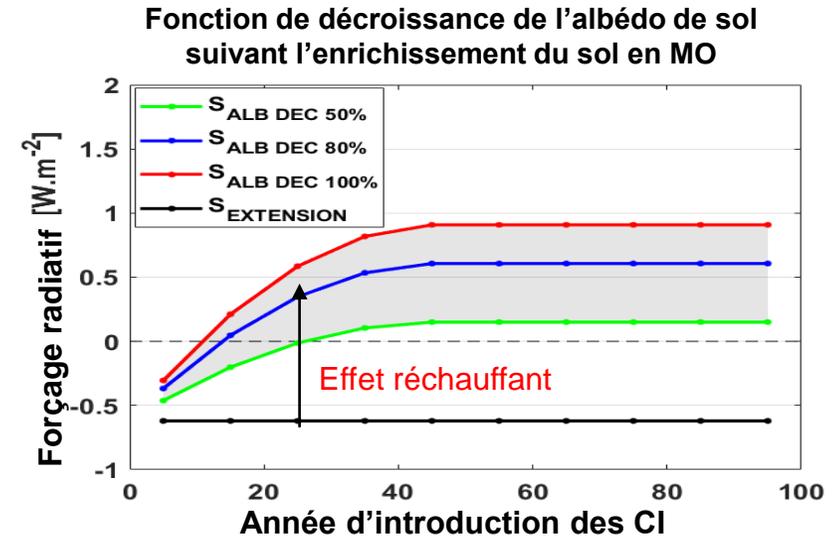
# Effet albédo à long terme lié à la couverture des sols par les CI par rapport à un sol nu en Europe



Pique et al., 2021 – In prep



Augmentation teneur MO et assombrissement du sol



→ Importance des analyses couplées appliquées aux pratiques stockantes

# Conclusion faut-il mettre en place des CI ou non ?



Effets positifs des CI :

- **Stockage C**
- **Impacts négligeables :**
  - émission de **GES** liées aux opérations techniques supplémentaires
  - émissions de **N<sub>2</sub>O** à condition d'adapter la fertilisation azotée
- **A court terme : un effet refroidissement à l'échelle locale**
  - **Aug** albédo,
  - **diminue** le rayonnement IR, la température de surface (notamment du sol ce qui peut entraîner un ralentissement de la décomposition de la MO),
  - **Aug** les flux d'évapotranspiration par rapport aux flux de chaleur sensible → potentiel effet refroidissant à l'échelle global (impossible à vérifier sans un couplage avec un modèle de climat et
- **A long terme :** mais pose un problème parce **qu'en stockant du C, elles assombrissent le sol** ce qui peut faire perdre une partie ou la totalité du bénéfice climatique lié au précédent point.
- **Faut-il donc mettre en place des CI ?** Oui mais en prenant des précautions → **couverture permanente des sols**
  - soit avec de la végétation (couverts intermédiaires/optimisation des rotations de culture pour limiter les périodes de sol nu)
  - soit en période sans végétation, maintient des pailles en surface (*Davin et al., 2014*).



# Merci beaucoup pour votre attention!

# INRAE

