



**HAL**  
open science

## Les couverts végétaux, leviers d'atténuation du changement climatique : stockage C et effets albédo

Eric Ceschia, Al Bitar Ahmad, Ludovic Arnaud, Jean-François Dejoux, Morgan Ferlicoq, Rémy Fieuzal, Gaétan Pique, Taeken Wijmer, Ainhoa Ihasusta, Dominique Carrer

### ► To cite this version:

Eric Ceschia, Al Bitar Ahmad, Ludovic Arnaud, Jean-François Dejoux, Morgan Ferlicoq, et al.. Les couverts végétaux, leviers d'atténuation du changement climatique : stockage C et effets albédo. Atelier régional thématique Télédétection, agriculture & environnement, Pôle THEIA, Feb 2023, Toulouse, France. hal-04222654

**HAL Id: hal-04222654**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04222654>**

Submitted on 29 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.



# Les couverts végétaux, leviers d'atténuation du changement climatique : stockage C et effets albédo



**Eric Ceschia (INRAE/CESBIO)**



& A. Al Bitar L. Arnaud, D. Carrer, J.F. Dejoux, M. Ferlicoq, R. Fieuzal, G. Pique, A. Ihasusta, T. Wijmer



## Qu'est ce qu'un couvert végétal ?

**Aussi appelé culture intermédiaires (CI), couvert intermédiaires piège à nitrates (CIPAN), cultures intermédiaires multiservices (CIMS) ou engrais vert (si légumineuses).**

### Définition du dictionnaire d'agroécologie :

**Il s'agit d'une culture implantée entre la récolte d'une culture principale et le semis de la culture suivante pendant une période plus ou moins longue appelée interculture (le + souvent entre l'automne et le printemps, parfois en été) . Les cultures intermédiaires sont destinées à être restituées au sol.**

**Si exporté, on parle de :**

- **CIVE → pour bioénergie,**
- **méteil → pour nourrir le bétail.**

### **A quoi ça sert ?**

**Les CI contribuent à améliorer entre autres la structure du sol, à réduire l'érosion hydrique et/ou éolienne, à maintenir la biodiversité (sol + végétation), à limiter les pertes en N par lessivage, à lutter contre le réchauffement climatique (stockage C = 4/1000, effets albédo...) et c'est plus beau qu'un sol nu !!!**





## Quelques exemples de cultures intermédiaires

Féverole



Phacélie



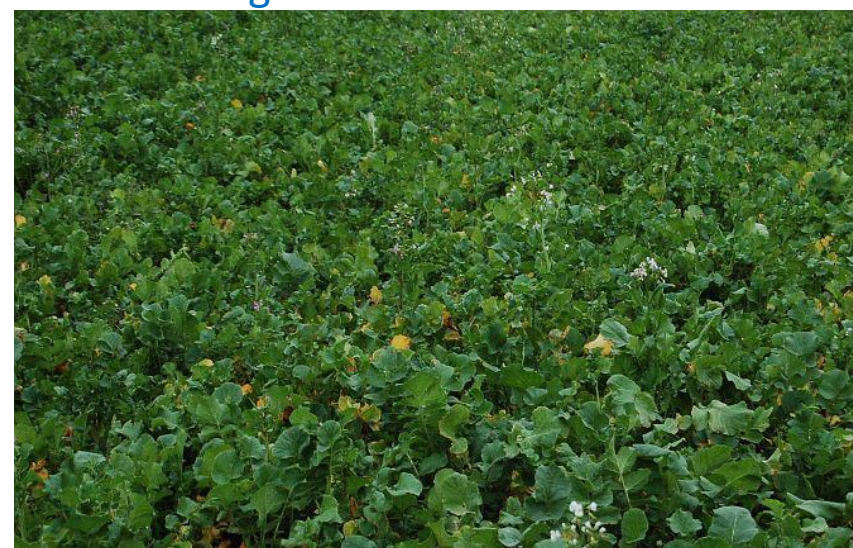
Vesce-Avoine



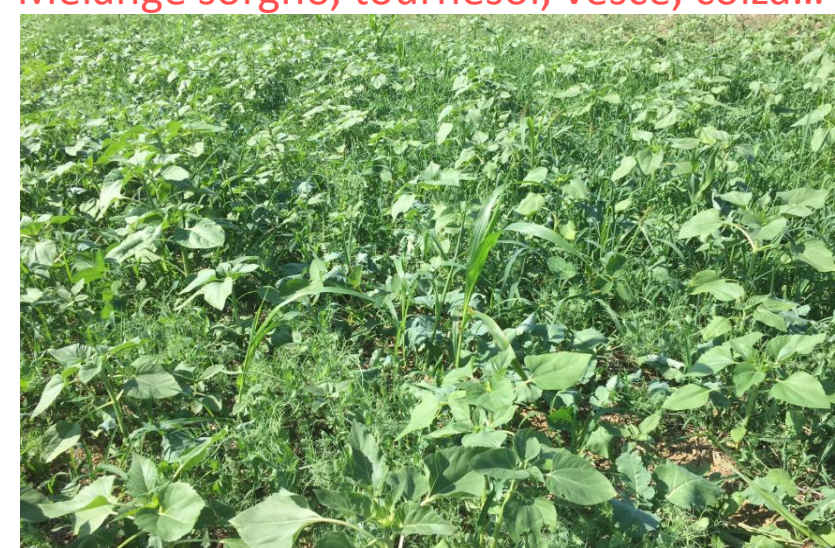
Moutarde blanche



Radis fourrager



Mélange sorgho, tournesol, vesce, colza...



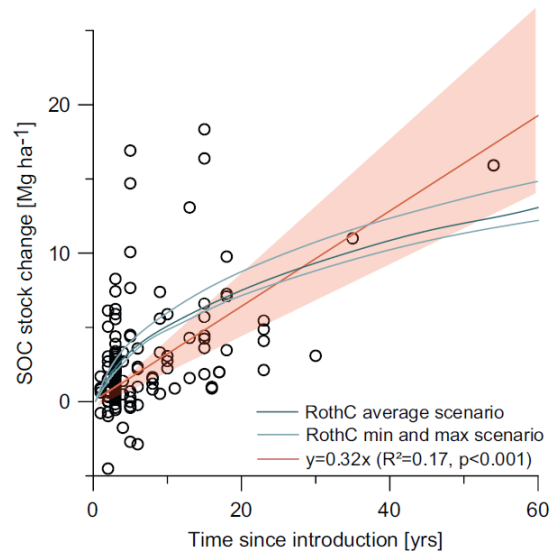




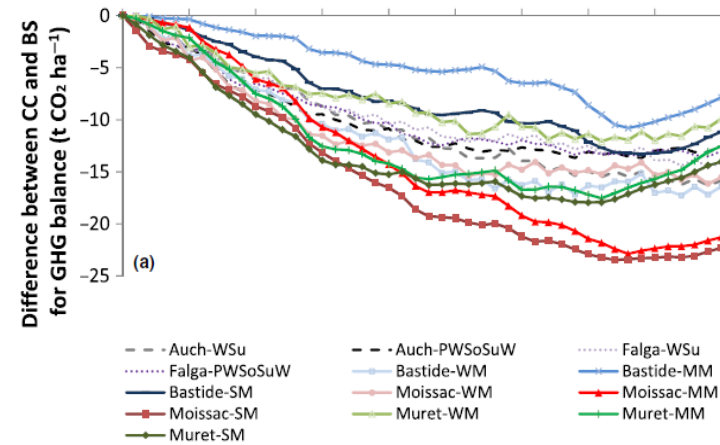
## Effets connus des cultures intermédiaires sur le climat

- De nombreuses études ont mis en évidence l'effet des CI sur le stockage de C dans le sol (+ d'enfouissement de biomasse) et l'amélioration des bilans GES → principal levier d'atténuation sur terres arables en France (Pellerin et al. 2019)

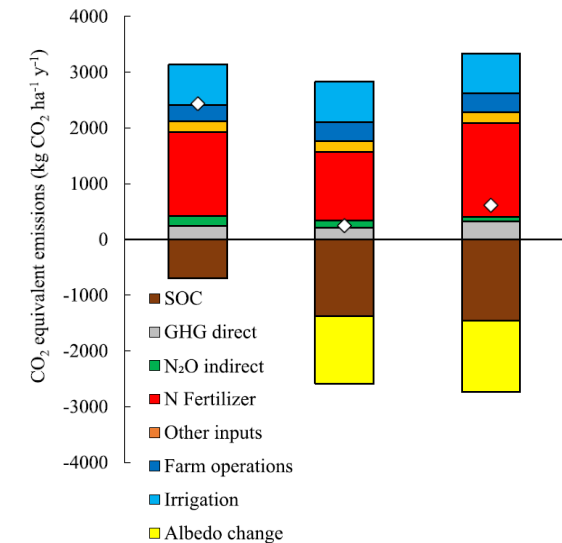
Meta-analysis based on in-situ data  
(Poeplau & Don, 2015)



STICS simulations in France  
(Tribouillois et al., 2018)



In-situ data in Spain  
(Guardia et al. 2019)

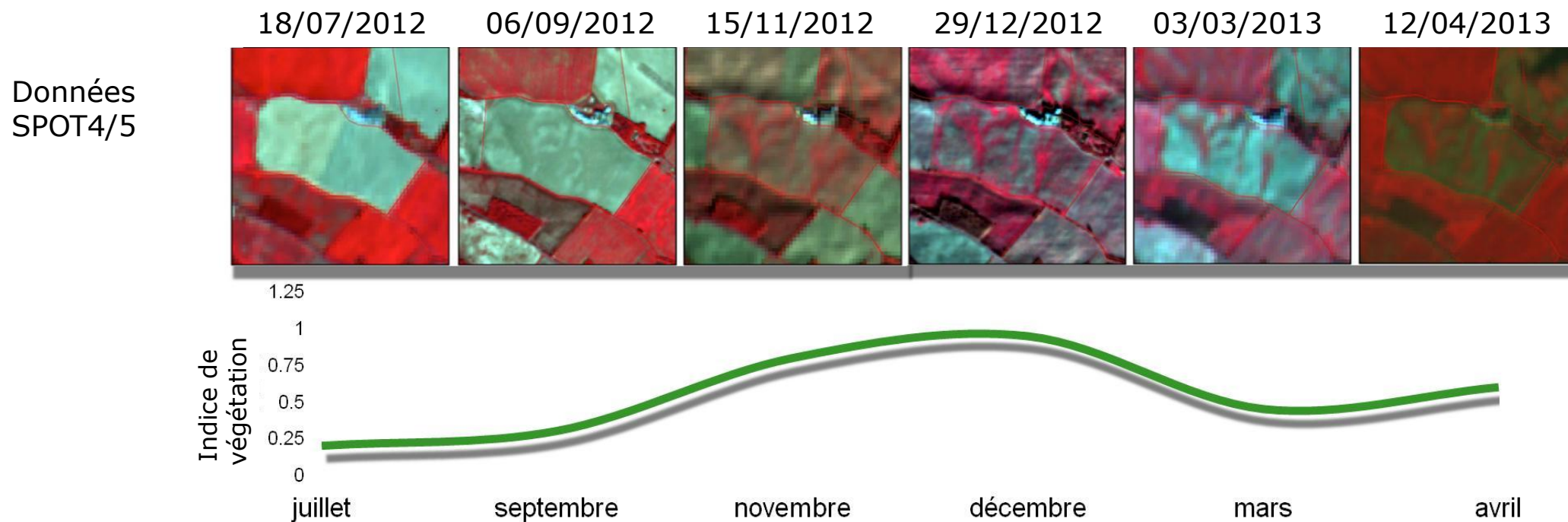


➔ Ces études sont seulement basées sur des essais agronomiques (placettes/parcelles)



## Apport des séries temporelles satellitaires à haute résolution

- Pour la cartographie des dynamiques de croissance des cultures et couverts végétaux

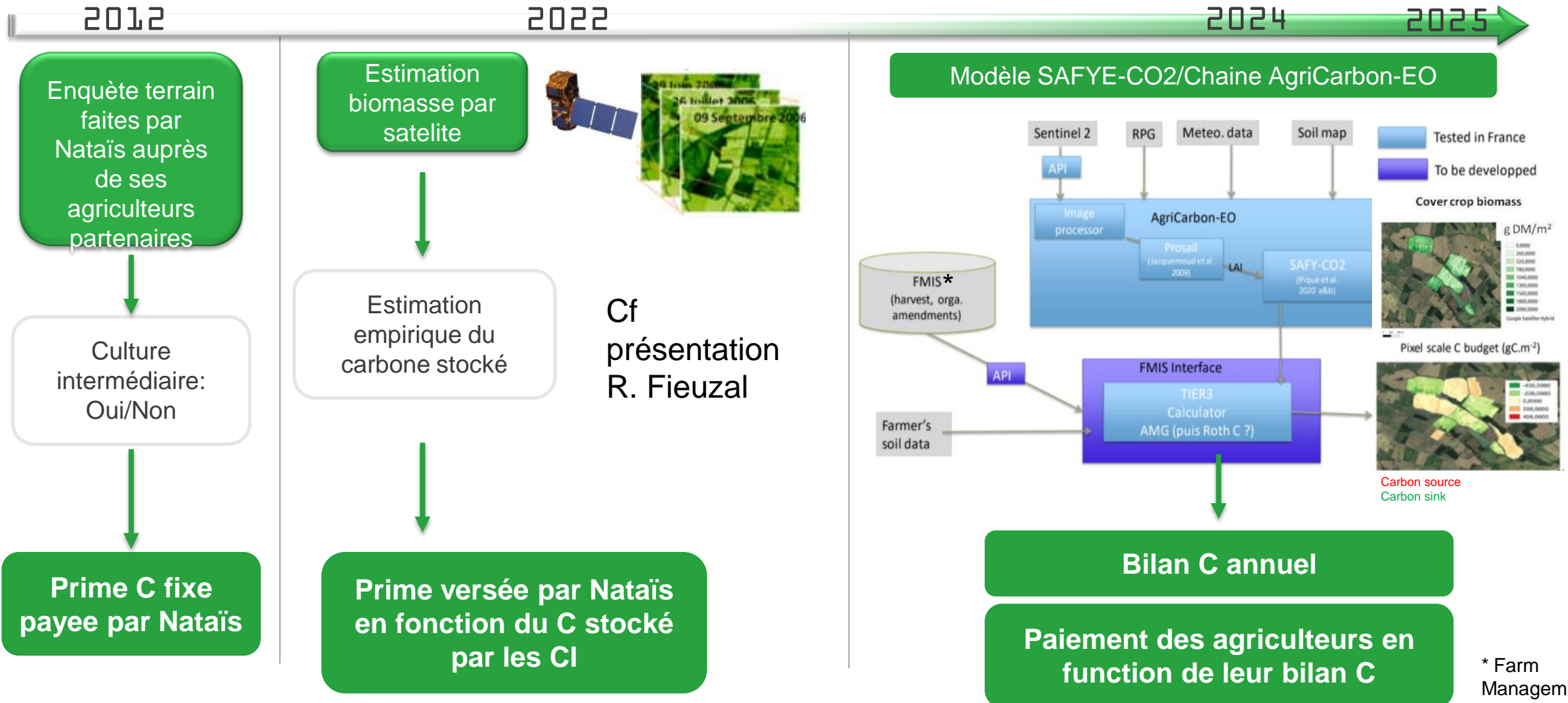


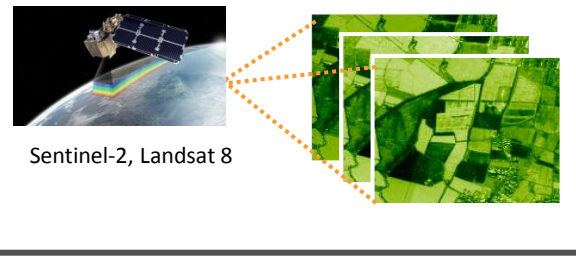
AUCUN MODÈLE AGRONOMIQUE NE PEUT PRÉDIRE CETTE HÉTÉROGÉNÉITÉ DE DÉVELOPPEMENT ET LES CONSÉQUENCES EN TERME D'EFFETS SUR LE CLIMAT (EX. SUR LES BILANS C ET EAU)



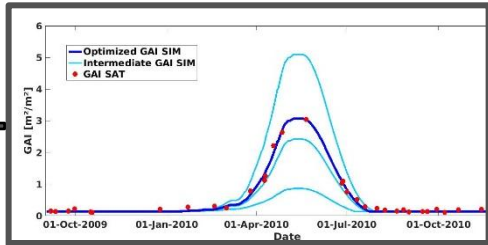
# La télédétection pour estimer l'impact des CI sur le stockage C

Exemple concret d'application : projet Naturellement Popcorn en collaboration avec l'entreprise Nataïs

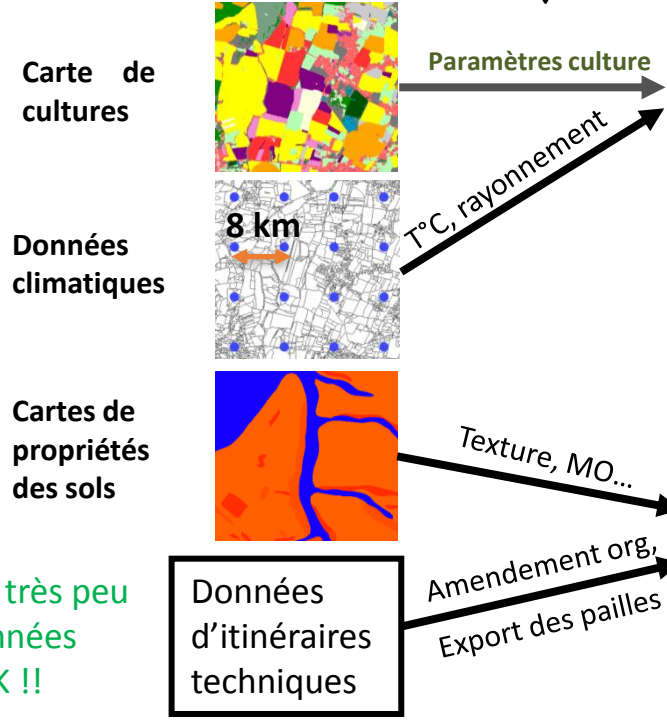




Cartographie dynamique des surfaces foliaires



Calibration des paramètres du modèle  
(phénologie & efficacité de  
photosynthèse)



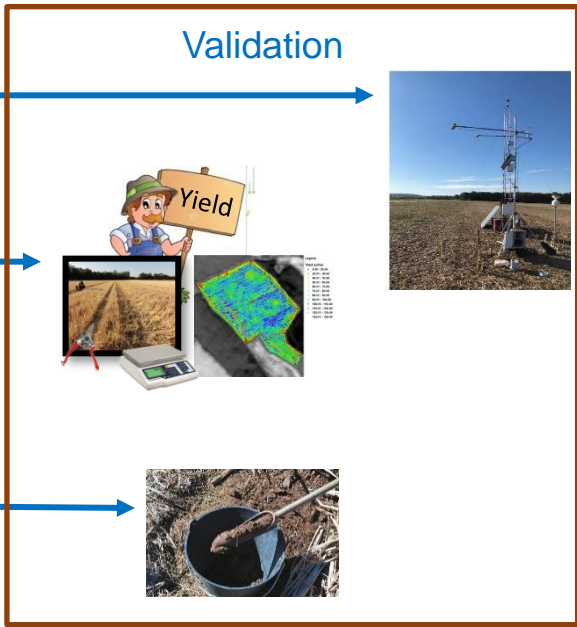
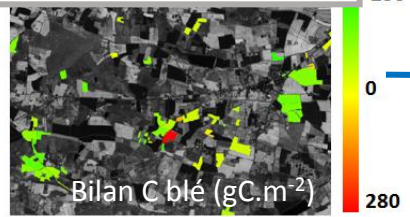
**SAFYE-CO<sub>2</sub>**  
(Pique et al. 2020a et b)

Indice foliaires

Flux CO<sub>2</sub> & eau,

Biomasse,  
rendement,

Modèle sol AMG  
(Clivot et al. 2009)



## Modèle SAFYE-CO<sub>2</sub>

Initiée il y a 10  
ans...

### Objectif :

- 1) Obliger le modèle de culture (SAFYE-CO<sub>2</sub>) à reproduire la dynamique et l'intensité de développement de la culture/des CI vues par satellite → biomasses plus précises et objectives, prise en compte implicite des stress (N, eau...) et de certaines pratiques,
- 2) Processus de minéralisation matière de la organique volontairement très simple (car forte incertitude des cartes propriétés de sol)

Besoin de très peu  
de données  
d'ITK !!

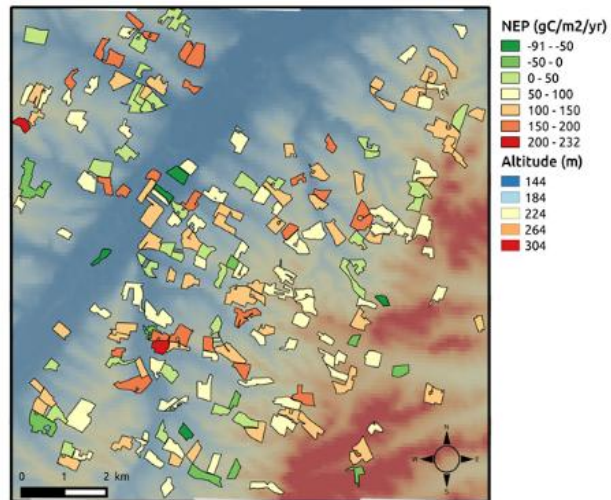




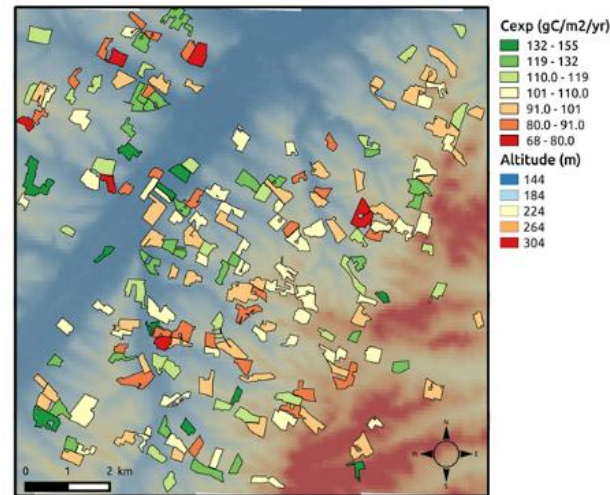
## Analyse à la parcelle des bilans C spatialisés et effet des CI/repousses

Pique et al (2020b) dans Remote Sensing sur des parcelles de Tournesol

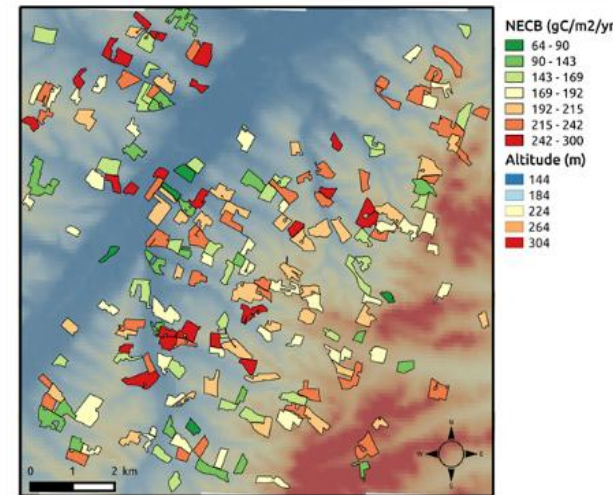
Pique et al (2020c)  
rotations blé/tournesol



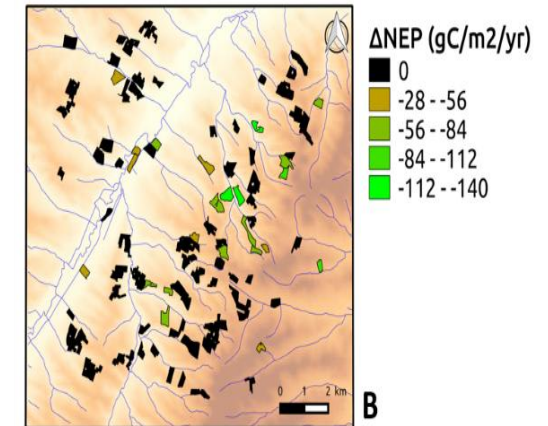
Flux net de CO<sub>2</sub>



C récolté



Bilan C



Effet des repousses/  
adventices/couverts estivaux sur  
les flux nets annuels de CO<sub>2</sub> →  
seule une approche satellitaire  
comme SAFYE-CO2 permet de le

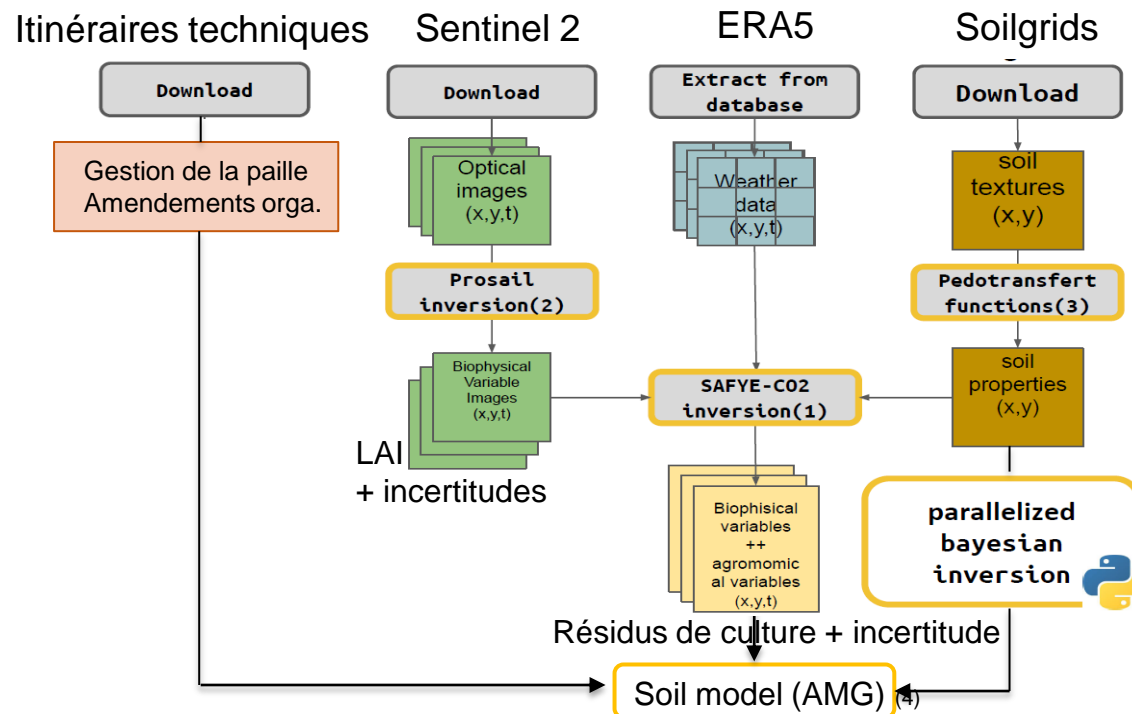
Mais des limites à cette approche :

- Pas de simulation de l'évolution des pools de matière organique du sol → **pas éligible Label Bas Carbone**,
- Méthode de calibration du modèle très lente → analyses limitées à quelques milliers d'objets et estimation moyenne à la parcelle : **pas satisfaisant vu la variabilité spatiale fine des développements de la végétation.**
- **Pas d'estimation des incertitudes**



## Développement d'AgriCarbon-EO

Chaîne de traitement opérationnelle applicable à large échelle/haute résolution (10m) : analyse de l'incertitude par inversion bayésienne parallélisée, super-ordinateurs ... (Wijmer, Al Bitar et al. soumis)

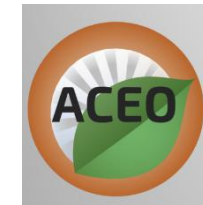


**AGRIcarbon-EO**

Tool regrouping all the discussed functionalities.

- Replicability/Archiving
- automatised
- parallelized

-Taeken Wijmer  
-Eric Ceschia (**Scientific officer**)  
-Ahmad al bitar (**Technical officer**)  
-Ludovic Arnauld  
-Rémy Fieuzal  
-Gaetan Pique



Pique et al (2020) (1) Clivot et al. (2019) (4)  
Jacquemoud et al. (2009) (2)  
Dobarco et al. (2019) (3)

**Conforme aux recommandations de l'initiative CIRCASA (Smith et al. 2020), applicables à différents contextes : PAC, marché volontaires du C (offseting), filières (insetting)**



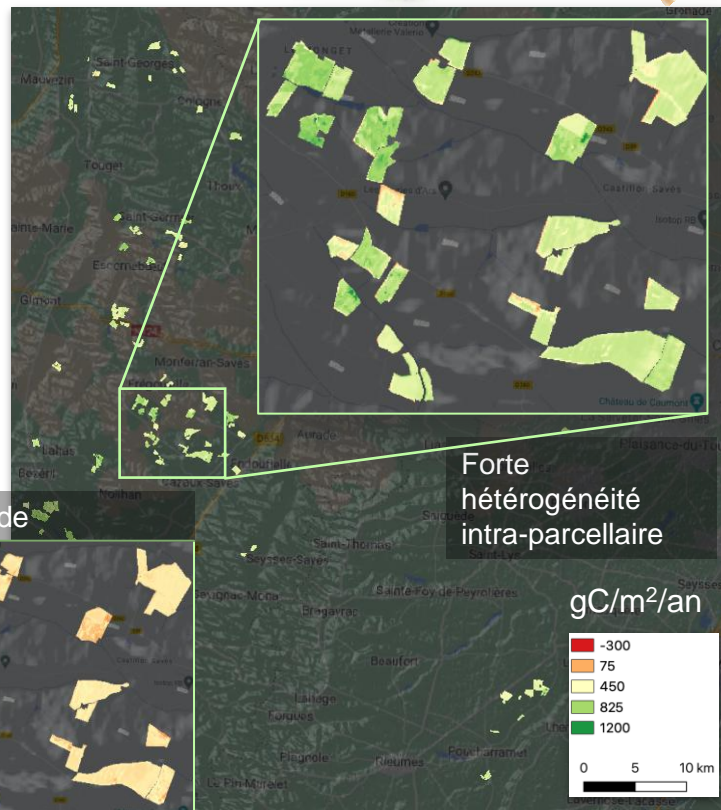


## Effet des couverts végétaux sur les flux nets de CO<sub>2</sub>

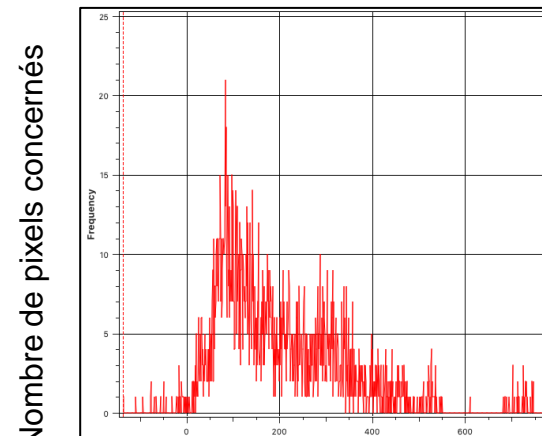


Double exercice de simulation :

Culture intermédiaire + Maïs



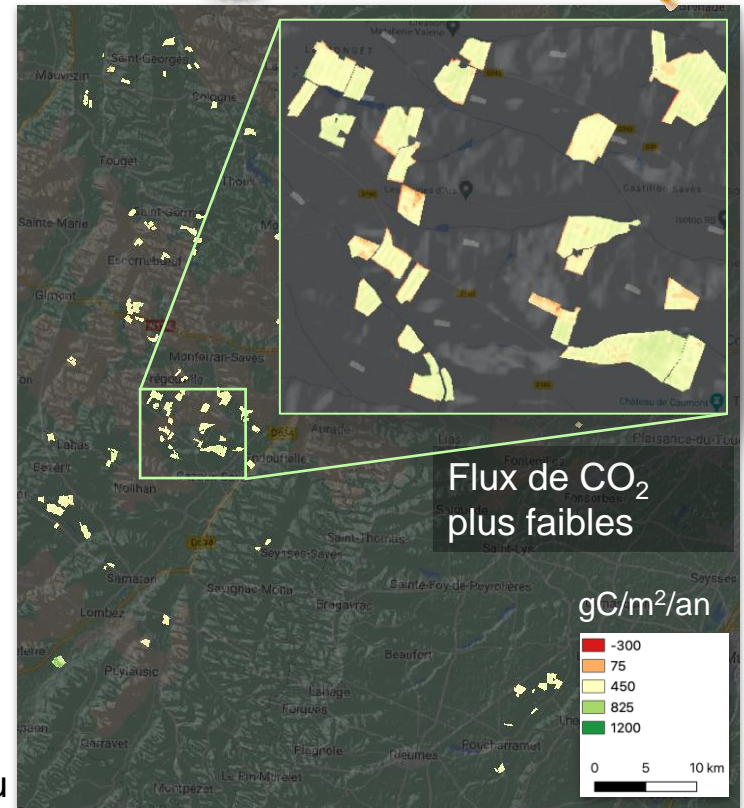
Distribution des différences entre les 2 simulations



Différence entre les simulations

Soit en moyenne 200gC de MS/ha/an  
ou environ 0,3 t C/ha stocké par an (ou  
1,1 t de CO<sub>2</sub>-eq stocké/ha/an)

Sol nu + Maïs







## Cartographie des biomasses à haute résolution

Realisation A. Al Bitar

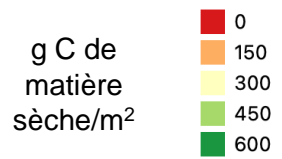
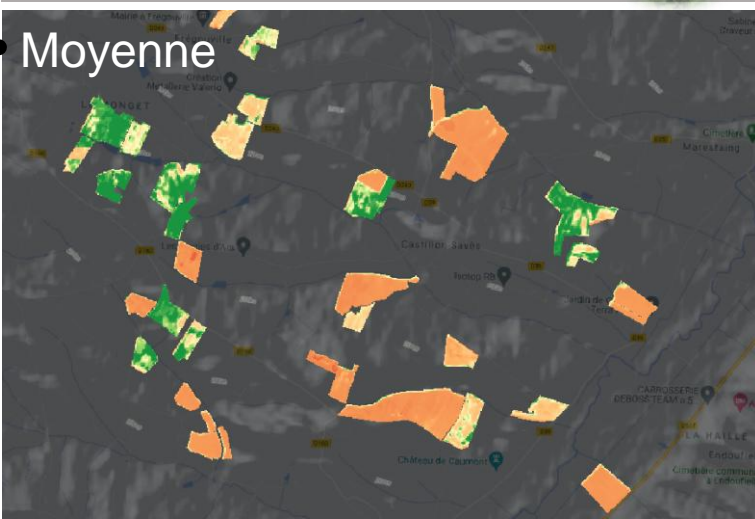
Couverts de féverole



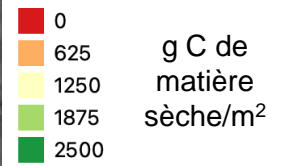
Maïs popcorn



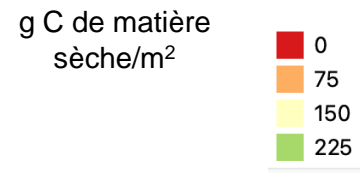
Faibles biomasses et très hétérogènes



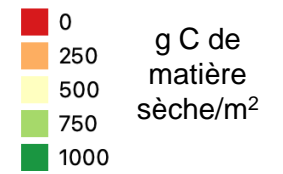
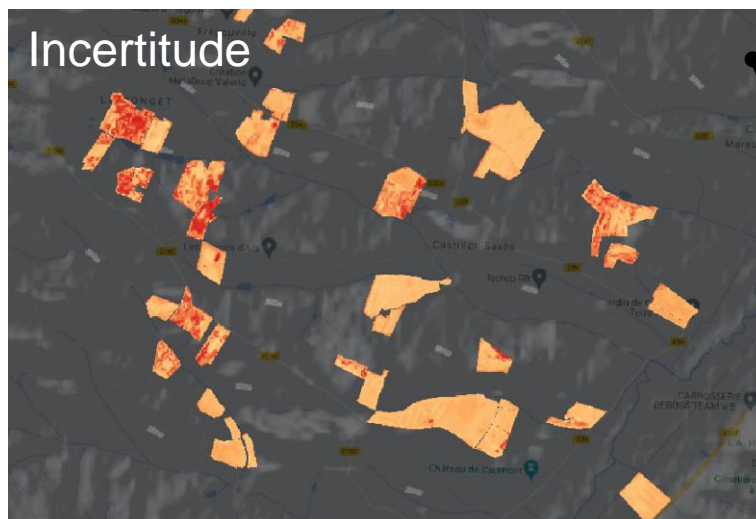
Biomasses élevées typiques et assez homogènes



Incertitude relative assez élevée



Incertitude variable au sein des parcelles mais moins que pour les couverts



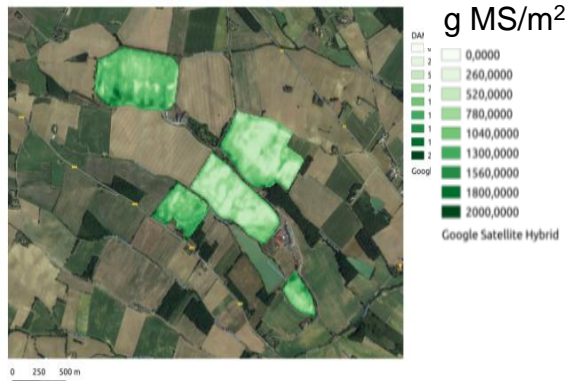


## Calcul de bilan C à haute résolution

**Projet Naturellement popcorn** → les agriculteurs peuvent recevoir une prime selon la quantité de C qu'ils stockent dans le sol via les cultures intermédiaires



Biomasse de cultures + Incertitudes



Biomasse de couverts + Incertitudes



+ données d'itinéraires techniques et modèle sol AMG



Première carte de bilans C à 10m de résolution C en 2019, pour des parcelles en rotation couverts/maïs/blé (Ferme de Villeneuve, Bézéril, France)



Possibilité de définir un plan d'échantillonnage du sol optimal (précision/coût) pour la validation/l'analyse des delta stocks

Stockage C par le sol  
Destockage C par le sol





## Limites et perspectives

- **Approche diagnostique seulement** mais possibilité de tester l'effet de quelques scénarii de gestion (ex. export des pailles)
- **Limitée à quelques cultures et principaux types de CI dans le Sud Ouest** → acquisition progressive de nouveaux jeu de données in-situ pour CAL/VAL & analyse transposabilité en Europe (Thèses T. Wijmer & A. Ihasusta)
- **Couplage en cours avec modèle sol AMG d'évolution de la MO du sol** : tardif mais un choix assumé car les produits sols actuel (ex. SoilGrids...) n'ont pas une précision suffisante pour faire des simulations spatialisées à la parcelle avec ces modèles sols → devient pertinent via l'accès croissant à des données d'analyse de sol (ex. Label Bas C)
- **L'utilisation de données optiques seules peut être limitante (longues périodes nuageuses)** → données radar pour lever cette contrainte (Thèse A. Geraud en collab avec NetCarbon)
- **Nécessité de collecter les données sur apports de C via les fumures et export des pailles pour calcul du bilan C** → connexion avec les logiciels de gestion des exploitations en cours (ex. MesP@arcelles, projet SCO Quantica)

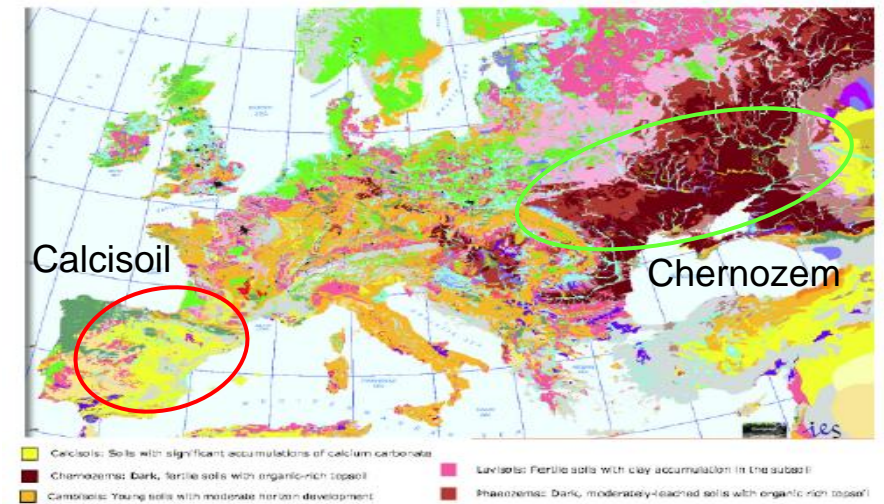
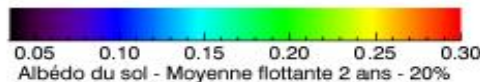
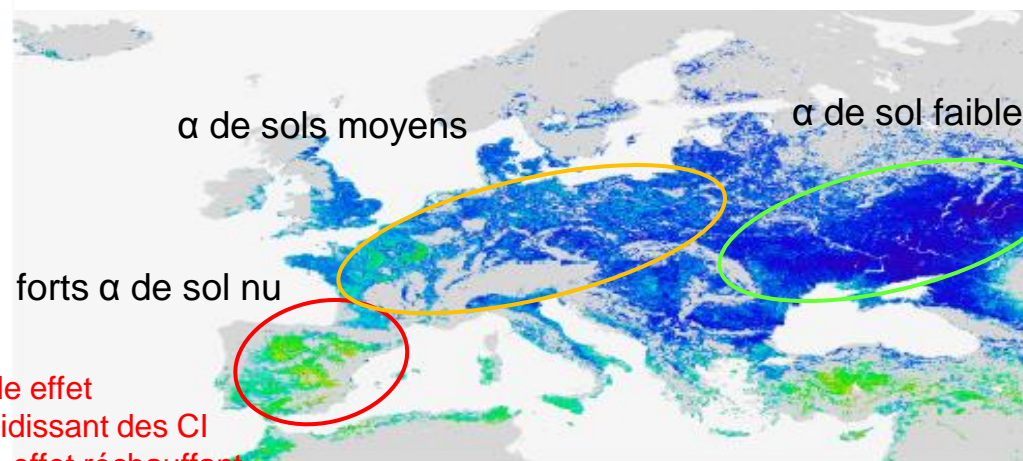




## Effets de la couverture du sol par les CI sur l'albédo de surface

- En général, l'introduction de CI augmente l'albédo de surface par rapport au sol nu, mais pour certains types de sol (p. ex., calcisoils) à albédo élevé, l'introduction de CI élevé pourrait être contre-productive (Carrer et al. 2018).

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

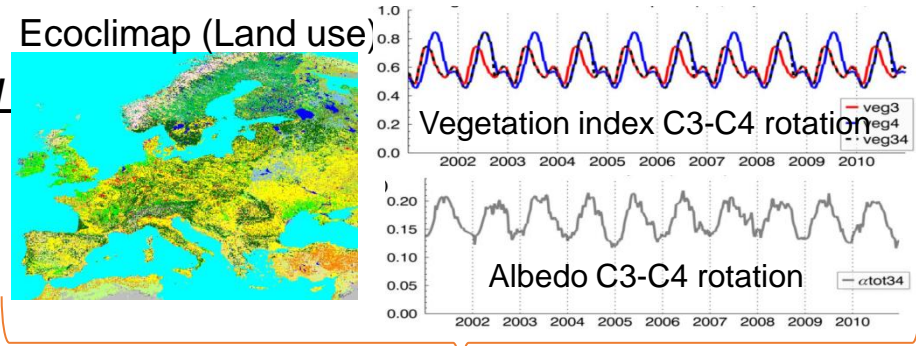


→ Les données de télédétection sont utiles pour déterminer où/quand les cultures de couverture devraient être introduites (ou non) afin d'augmenter l'albédo de surface actuel

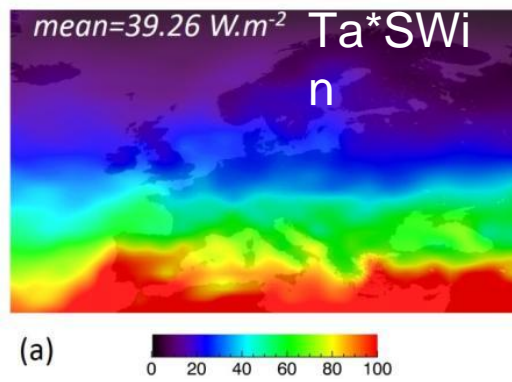


## Effets de la couverture du sol par les CI sur l'albédo de surface

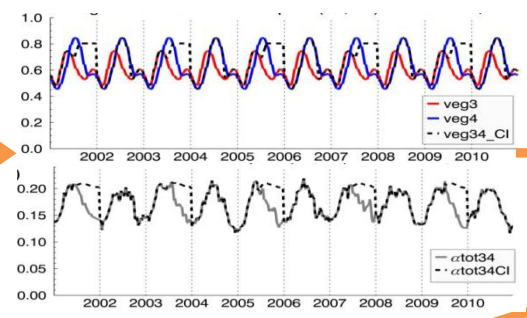
Carrer et al. (2018) in ERL



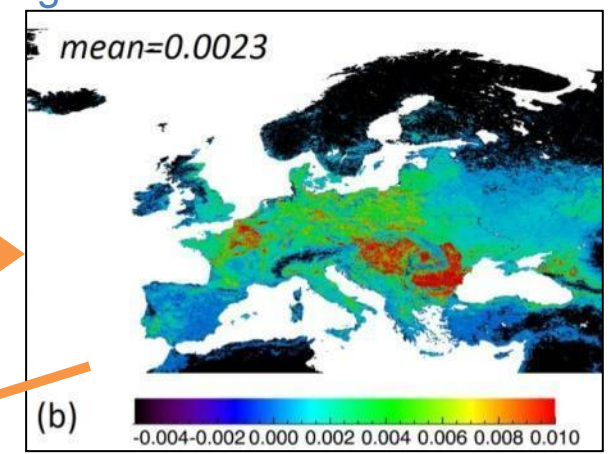
Indice de végétation désagrégée, albédo de sol nu et albédo de végétation (sans neige) dérivé des données du MODIS à 5\*5 km (Kalman filter ; Carrer et al., 2014)  
 → albédo des rotations de cultures été-hiver



Détermination du lieu et du timing d'introduction des CI

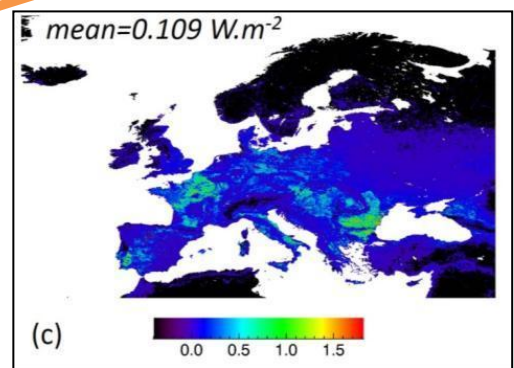


Augmentation de l'albédo avec les CI



Rayonnement global journalier et transmission atmosphérique (ERA-5)

**RFCC**  
 Radiative Forcing of Cover Crop



Forçage radiatif (W.m<sup>-2</sup>)

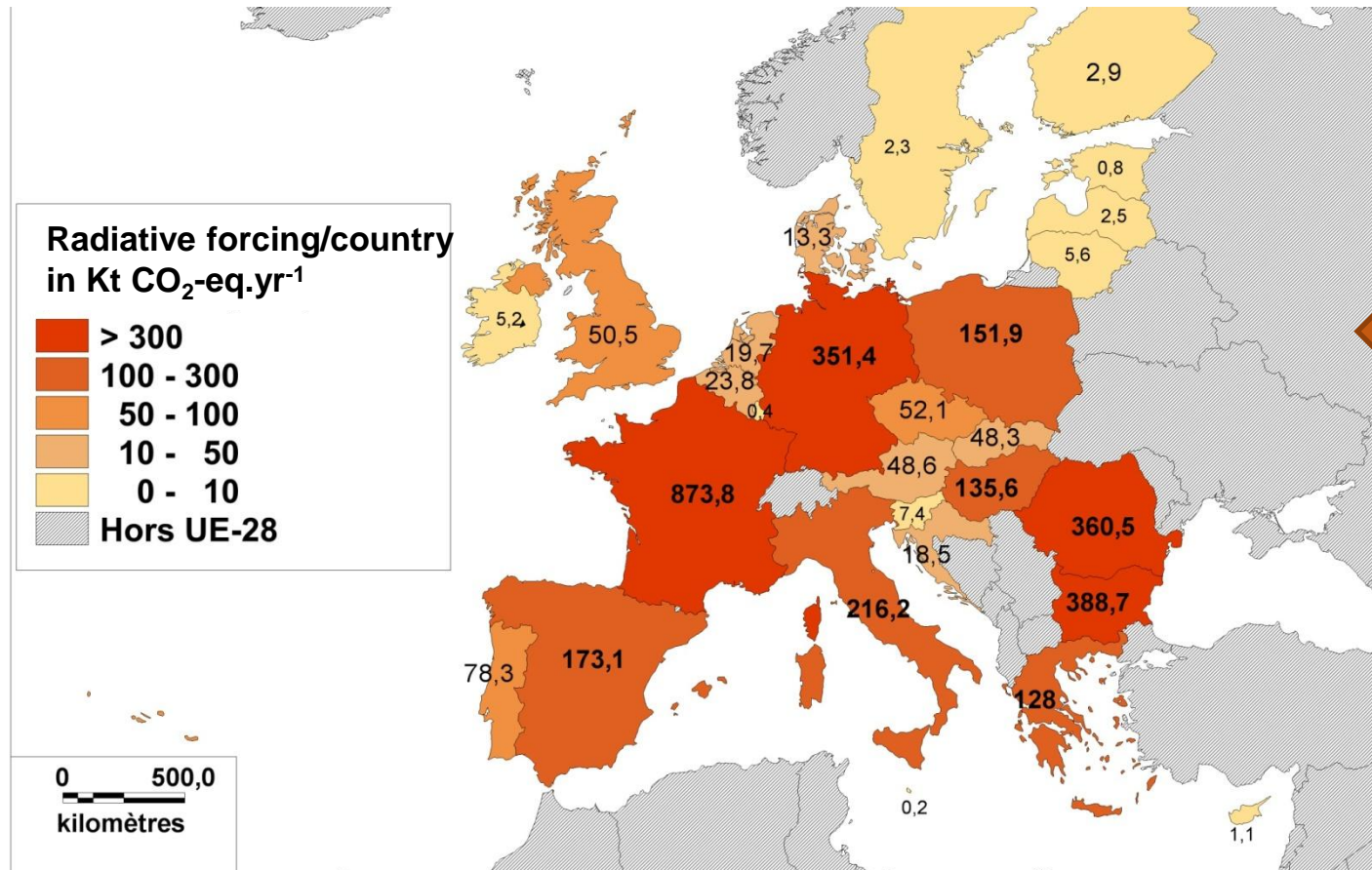
$$RF\alpha = -R_g \times TA \times \Delta\alpha$$





## Effet albédo des CI converti en équivalent CO<sub>2</sub>

(Carrer et al. 2018)



- Conversion en CO<sub>2</sub>-eq avec la méthode « constant airborne fraction » de *Betts et al. (2000)*

- La France a le plus gros potentiel d'atténuation via ces effets

- Scénario 3 mois d'introduction de CI entre cultures d'hiver et d'été → en cumulé sur l'EU-28 représente 3.2 MtCO<sub>2</sub>-eq.an<sup>-1</sup>.

- Scénario 6 mois d'introduction de CI entre cultures d'hiver et d'été + limitation par sécheresse → en cumulé sur l'EU-28 représente 4.3 MtCO<sub>2</sub>-eq.an<sup>-1</sup>, soit une compensation de 1.0% des émissions agricoles de GES des EU-28.

- Mais intégré sur 100 ans, l'effet albédo des





## Perspectives

- **Etendre ces analyses à d'autres scénarii d'introduction de CI (ex. couverture quasi permanente du sol) et prendre en compte l'effet assombrissement du sol (diminution de l'albédo) lié au stockage de C sur le forçage radiatif**



- **Analyser l'effet de nouveaux cultivars de CI à fort albédo**
- **Développer des produits haute résolution d'albédo de surface issus de Sentinel-2 et Landsat-8 (CES albédo) et de cartographie des cultures intermédiaires/rotations de cultures/intercultures (cf présentation R. Fieuzal) pour mieux quantifier ces effets,**
- **Intégrer les autres effets radiatifs (ex. thermique) et la modification des flux d'énergie pour calculer l'effet climatique net des CI → 2 thèses en collab avec l'Institut de Convergence Cland.**



## Conclusion

- **Les cultures intermédiaires ont un fort potentiel d'atténuation du changement climatique → principal levier d'atténuation en grandes cultures et pour stocker du C dans les sols français (Pellerin et al. 2019), mais besoin de la télédétection pour quantifier/objectiver ces effets,**
- **Les travaux de cartographie de biomasse des CI et de leurs effets sur le stockage de C n'en sont qu'à leur début :**
  - Paramétrisation d'une grande diversité de cultures, CI/mélanges de CI dans SAFYE-CO2/ACEO pour évaluer leurs effets sur les bilans C → plusieurs projets/thèses en cours,
  - Encore quelques défis technologiques pour appliquer ces approches de modélisation à très large échelle/haute résolution de manière opérationnelle (ex. nuages)...

Mais outil très prometteur et qui répond au besoin d'une multitude d'acteurs (PAC, marché du C...) et souhait d'agréger des compétences et mobiliser différents types de partenaires (recherche/privé) pour accélérer le développement de ces outils → **demande de création d'un CES dédié**

- **Jusqu'il y a peu, le levier albédo d'atténuation du changement climatique était inconnu en agriculture → la télédétection a permis de révéler son importance (nouvelles pistes à explorer),**
- **L'utilisation combinée de produits de télédétection à haute résolution (ex. albédo) et de modèles nous permettra de mieux quantifier l'effet des changements de pratiques agricoles durables et de définir des stratégies beaucoup plus efficaces d'atténuation du changement climatique → vital !!!**





# Merci pour votre attention

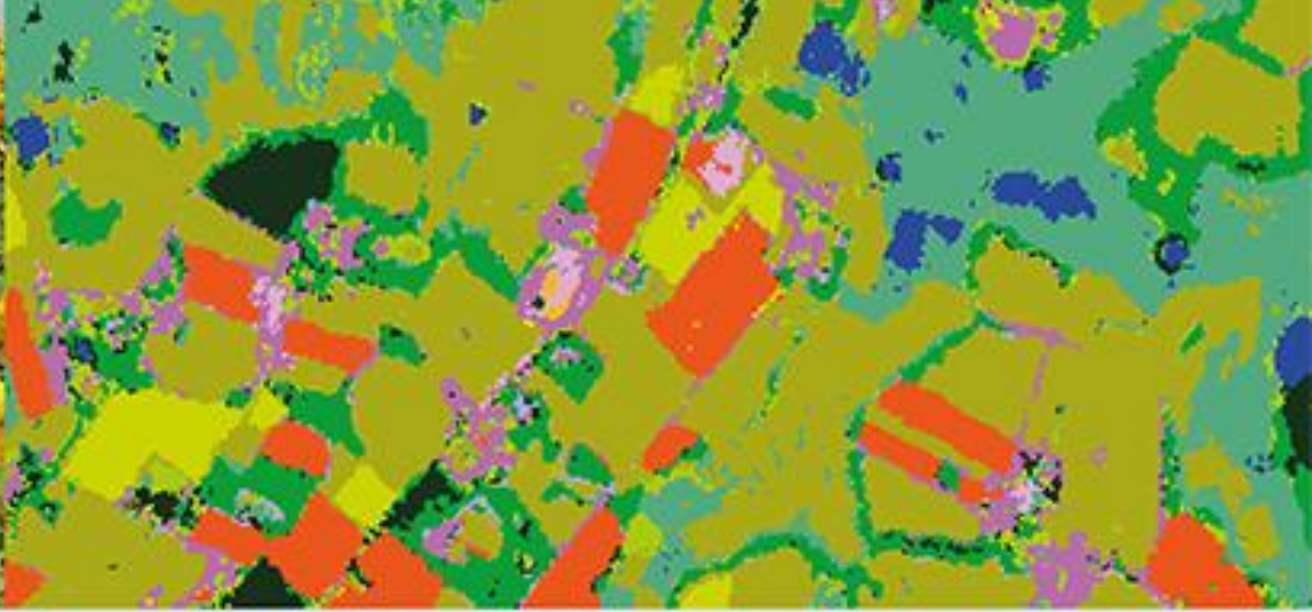


ORCaSa



Pour en savoir plus : <https://www.cesbio.cnrs.fr/agricarboneo/>

Contact : [eric.ceschia@inrae.fr](mailto:eric.ceschia@inrae.fr)



Retrouvez toutes les présentations de l'atelier  
**TÉLÉDÉTECTION, AGRICULTURE & ENVIRONNEMENT**



sur [www.theia-land.fr/2023-agriculture/](http://www.theia-land.fr/2023-agriculture/)







## Rappels sur les processus au sein des parcelles qui impactent le climat

### Effets biogéochimiques = Bilan GES

### Effet biogéophysiques : albédo, flux de chaleur

### Effet climatique net (forçage radiatif)

#### Bilan C

Flux net de CO<sub>2</sub> (NEP)

Autres émissions GES

Photosynthèse (GPP)    Respi. Eco. (R<sub>E</sub>)

Ra    Rh    CH<sub>4</sub>

Récolte

Biomasse

N<sub>2</sub>O (selon engrais)

Opérations techniques

Engrais orga. + graines

Résidus

C orga. Sol

COD ?

Albédo de surface (α)

RFα < 0  
Equiv puits de C = refroidissement

RFα > 0  
Equiv source de C = réchauffement

Semis

Récolte



Sol nu



Sol nu

Année culturale

Légende :

Température de surface → T° surface

Rayon. infrarouge (chaleur)

Rayon. de courte longueur d'onde

Evapotranspiration (flux de chaleur latente)