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

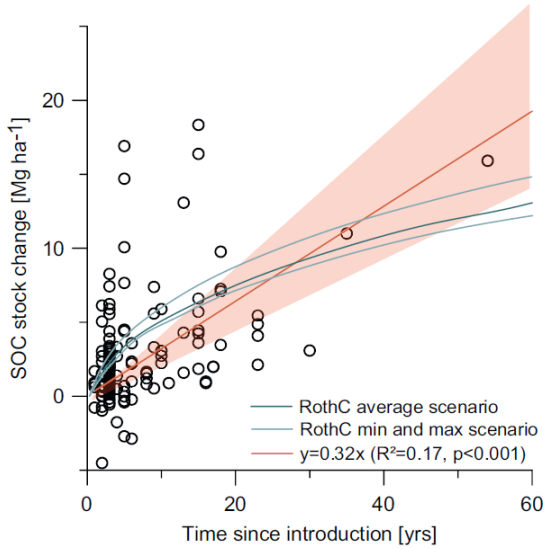
Radis fourrager

Mélange sorgho, tournesol, vesce, colza…

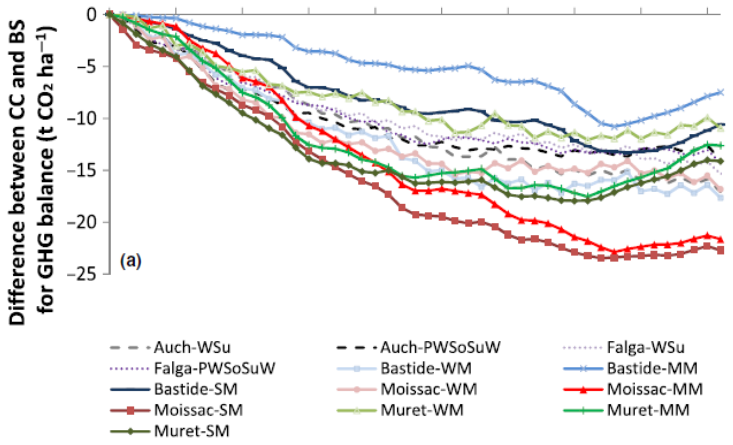
Effets connus des cultures intermédiaires sur le climat

- De nombreuses études on 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)

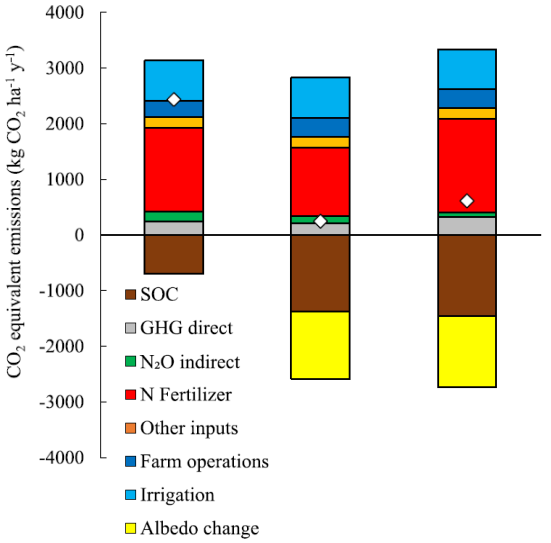
Meta-analysis based on in-situ data (*Poeplau & Don, 2015*)



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



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

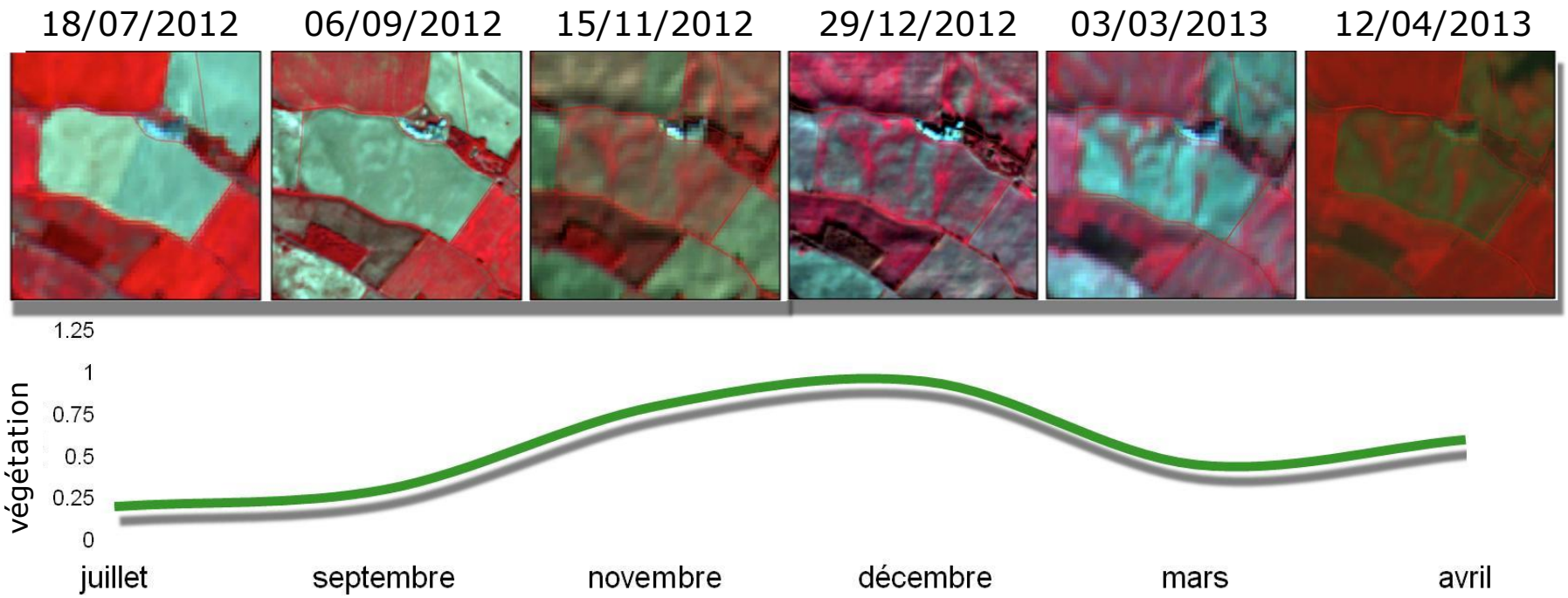


➔ Ces études sont seulement basées sur des essais agronomiques (placettes/parcelles)

Apport des séries temporelles satellitales à haute résolution

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

Données SPOT4/5



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

2012 — 2022 — 2024 — 2025

Enquête terrain faites par Nataïs auprès de ses agriculteurs partenaires

Culture intermédiaire: Oui/Non

Prime C fixe payee par Nataïs

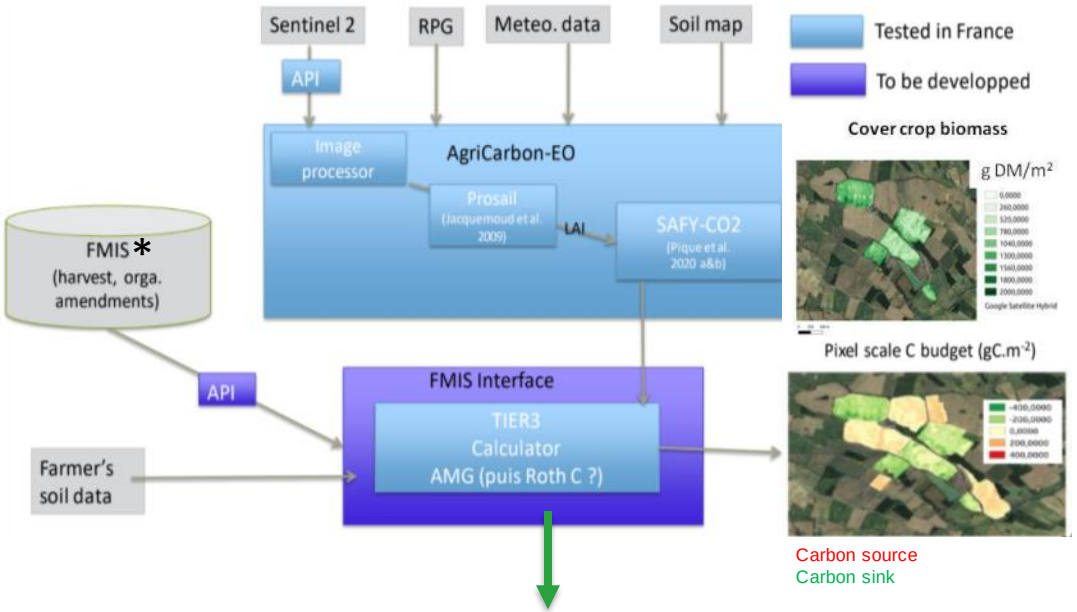
Estimation biomasse par satelite

Estimation empirique du carbone stocké

Prime versée par Nataïs en fonction du C stocké par les CI

Cf présentation R. Fieuzal

Modèle SAFYE-CO2/Chaine AgriCarbon-EO

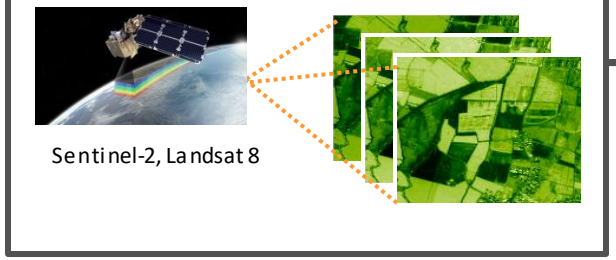


Bilan C annuel

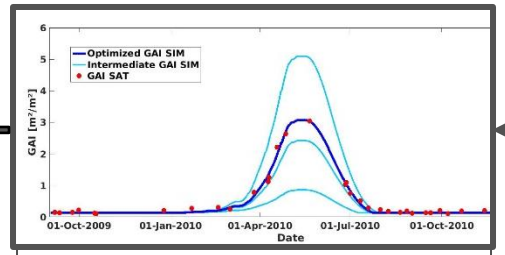
Paiement des agriculteurs en function de leur bilan C

* Farm Management Information System

TÉLÉDÉTECTION, AGRICULTURE & ENVIRONNEMENT



Cartographie dynamique des surfaces foliaires



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

Carte de cultures

Données climatiques

Cartes de propriétés des sols

Besoin de très peu de données d'ITK !!

Données d'itinéraires techniques

Paramètres culture

T°C, rayonnement

Texture, MO…

Amendement org,

Export des pailles

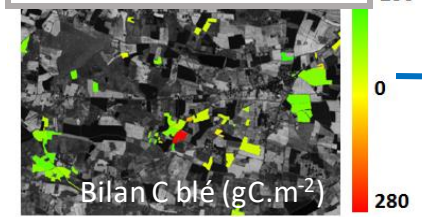
SAFYE-CO_2
(Pique et al. 2020a et b)

Indice foliaires

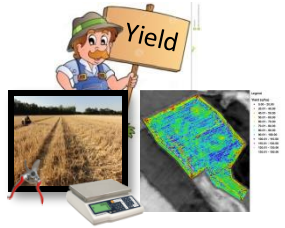
Flux CO_2 & eau,

Biomasse, rendement,

Modèle sol AMG
(Clivot et al. 2009)



Validation



Modèle SAFYE-CO2

Initiée il y a 10 ans…

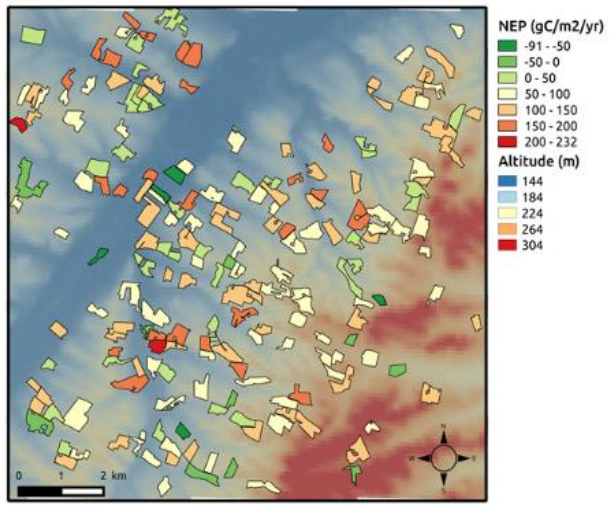
Objectif :

1) Obliger le modèle de culture (SAFYE-CO2) 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,

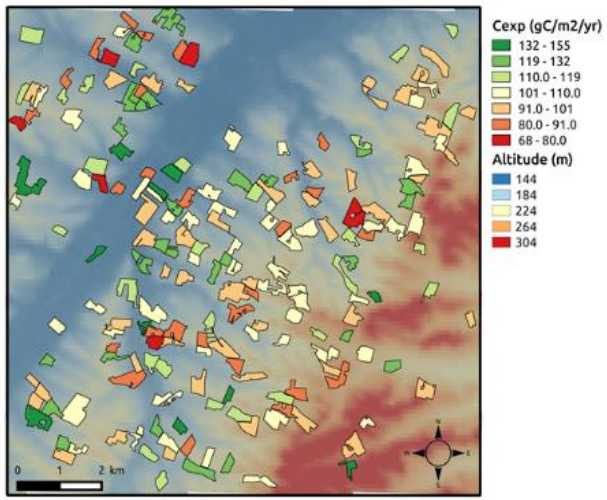
2) Processus de minéralisation de la matière organique volontairement très simple (car forte incertitude des cartes propriétés de sol)

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

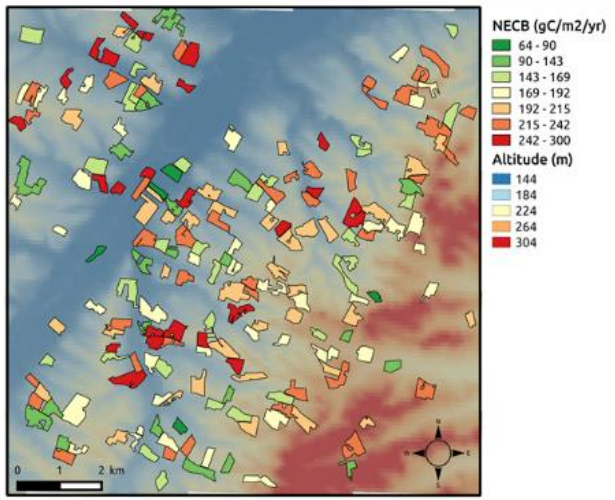
Pique et al (2020b) dans Remote Sensing sur des parcelles de Tournesol



Flux net de CO_2

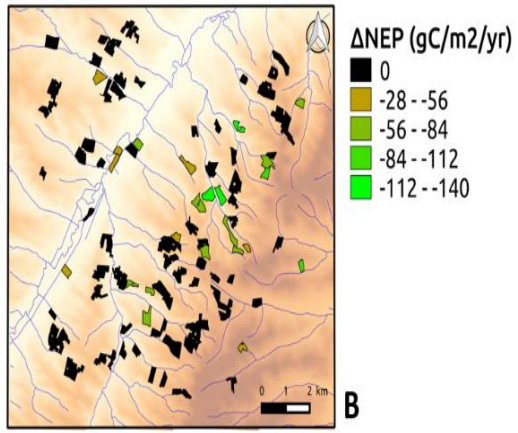


C récolté



Bilan C

Pique et al (2020c) rotations blé/tournesol



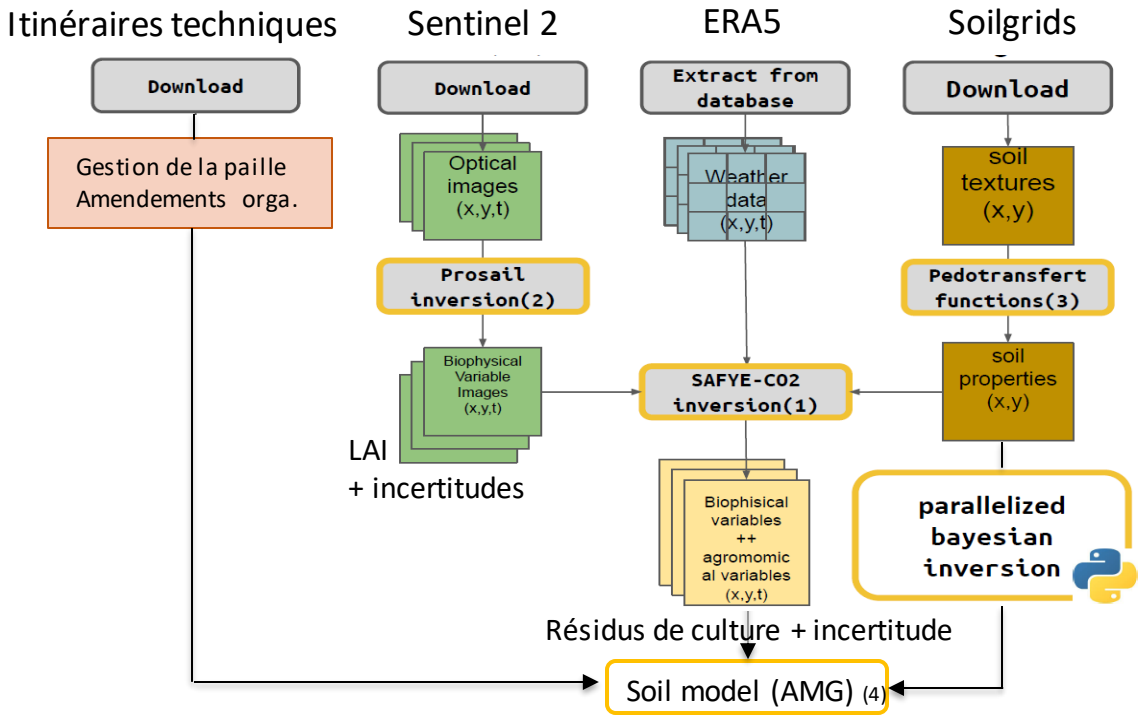
Effet des repousses/ adventices/couverts estivaux sur les flux nets annuels de CO_2 ➔ seule une approche satellitaire comme SAFYE-CO2 permet de le faire

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

Chaine de traitement opérationelle 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

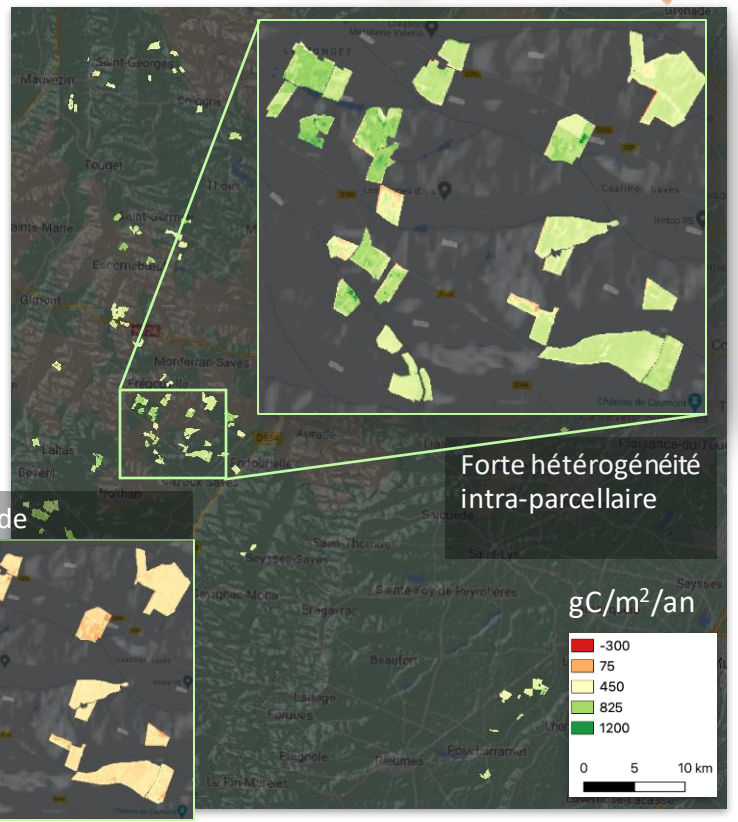
Pique et all (2020) (1)
Jacquemoud et al. (2009) (2)
Dobarco et al. (2019) (3)
Clivot et al. (2019) (4)

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

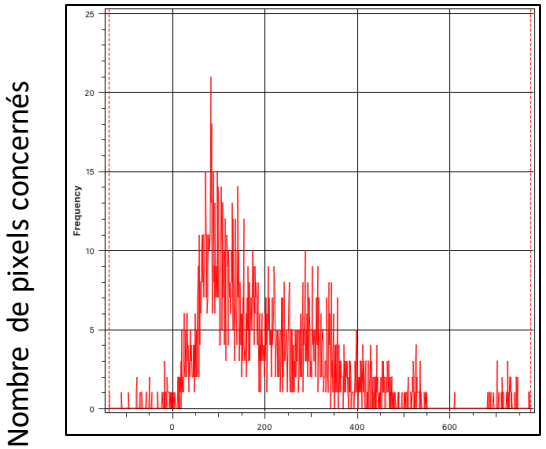
Effet des couverts végétaux sur les flux nets de CO_2

Double exercice de simulation :

Culture intermédiaire + Maïs



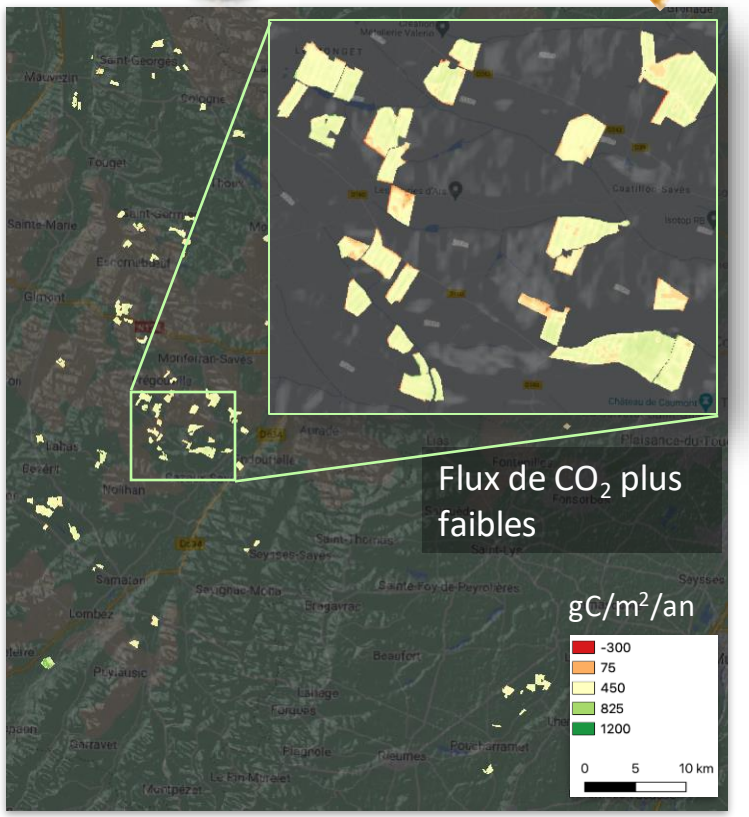
Distribution des différences entre les 2 simulations



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 CO2-eq stocké/ha/an)

Sol nu + Maïs



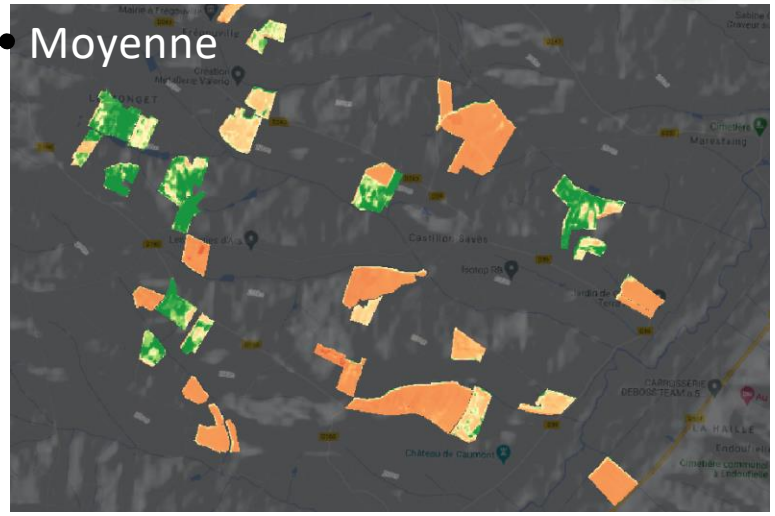
Réalisation A. Al Bitar

Cartographie des biomasses à haute résolution

Realisation A. Al Bitar

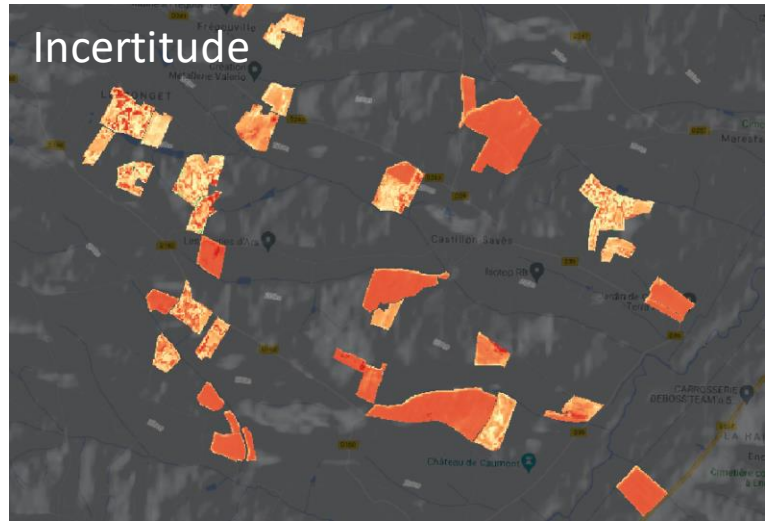
Couverts de féverole

Faibles biomasses et très hétérogènes



g C de matière sèche/m²

0
150
300
450
600



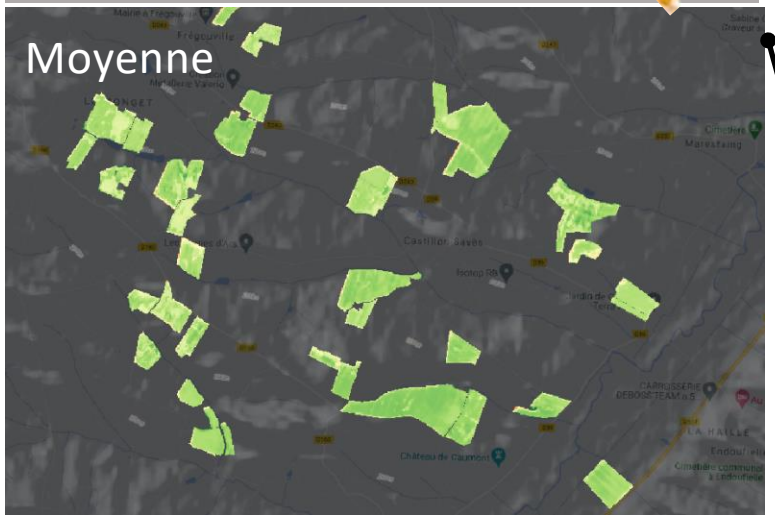
Incertitude relative assez élevée

g C de matière sèche/m²

0
75
150
225

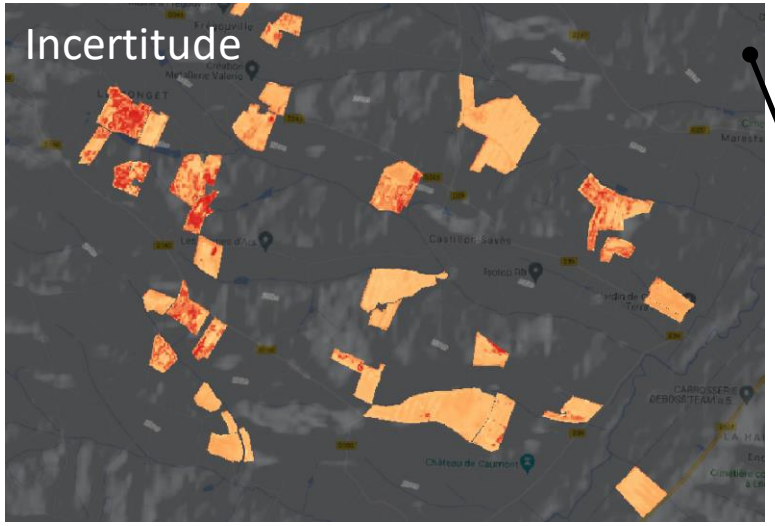
Maïs popcorn

Biomasses élevées typiques et assez homogènes



0
625
1250
1875
2500

g C de matière sèche/m²



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

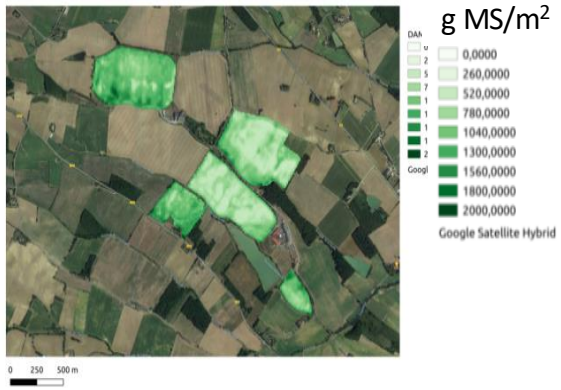
0
250
500
750
1000

g C de matière sèche/m²

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

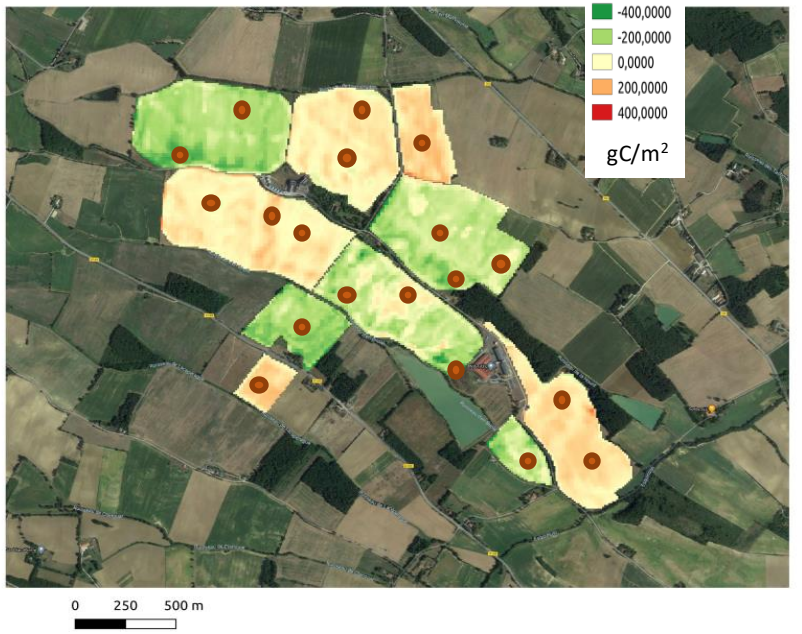
Biomasse de cultures + Incertitudes



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

Realisation T. Wijmer

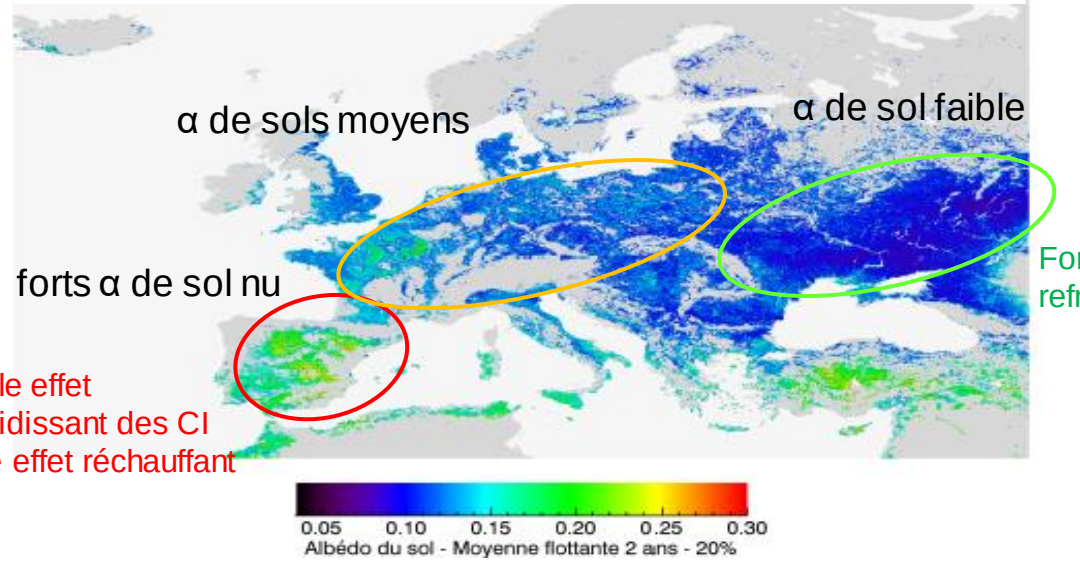
Limites et perspectives

- **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

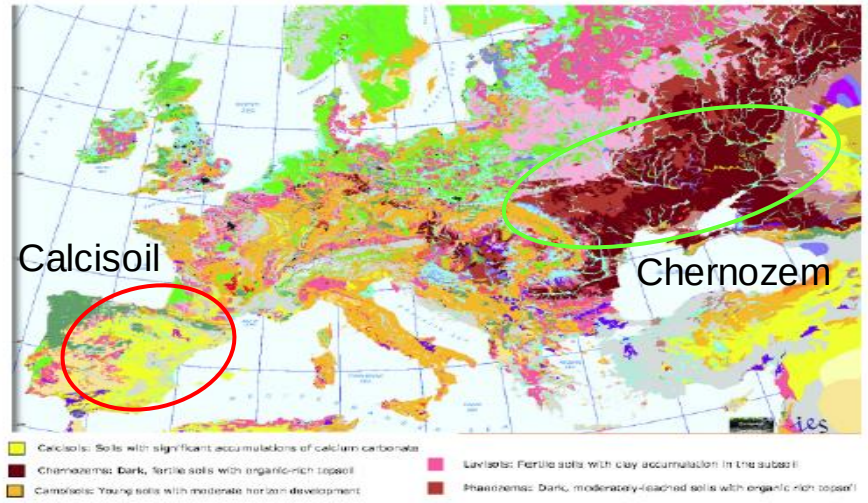
• En général, l'introduction de CI augmente l'albédo de surface par rapport au sol nu, mais pour certains types de sol (p. ex., calcisoils) à albédo élevé, l'introduction de CI élevé pourrait être contre-productive (Carrer et al. 2018).

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



Fort effet refroidissant des CI

Faible effet refroidissant des CI voire effet réchauffant

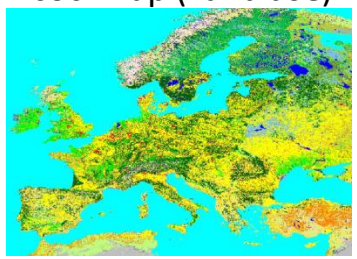


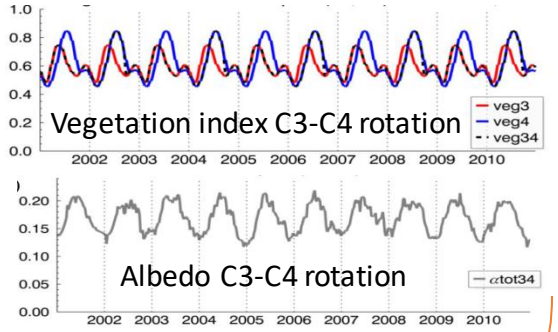
➔Les données de télédétection sont utiles pour déterminer où/quand les cultures de couverture devraient être introduites (ou non) afin d'augmenter l'albédo de surface actuel

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

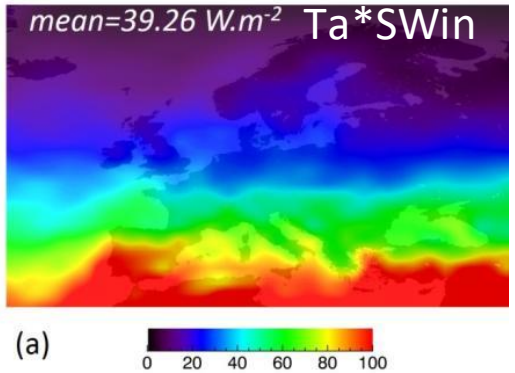
Carrer et al. (2018) in ERL

Ecoclimap (Land use)

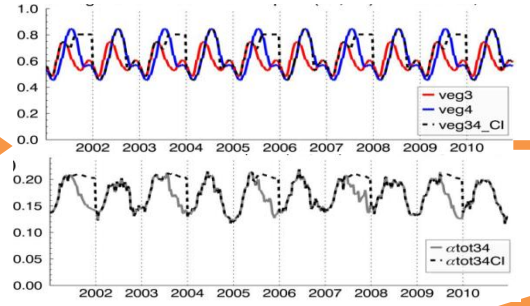




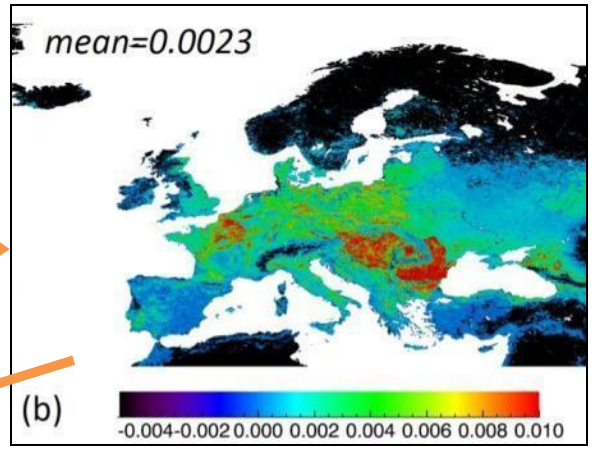
Indice de végétation désagrée, albédo de sol nu et albédo de végétation (sans neige) dérivé des données du MODIS à 5*5 km (Kalman filter ; *Carrer et al., 2014*) ➔ albédo des rotations de cultures été-hiver



Détermination du lieu et du timing d'introduction des CI



Augmentation de l'albédo avec les CI

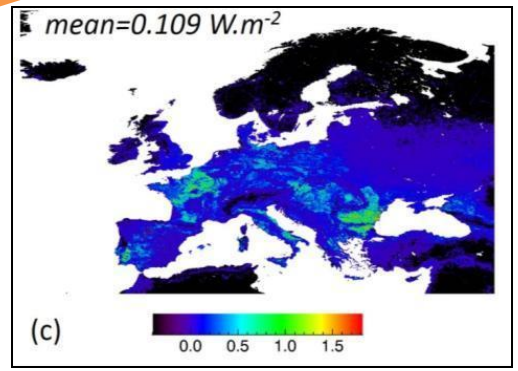


Rayonnement global journalier et transmission atmosphérique(ERA-5)

RFCC

Radiative Forcing of Cover Crop

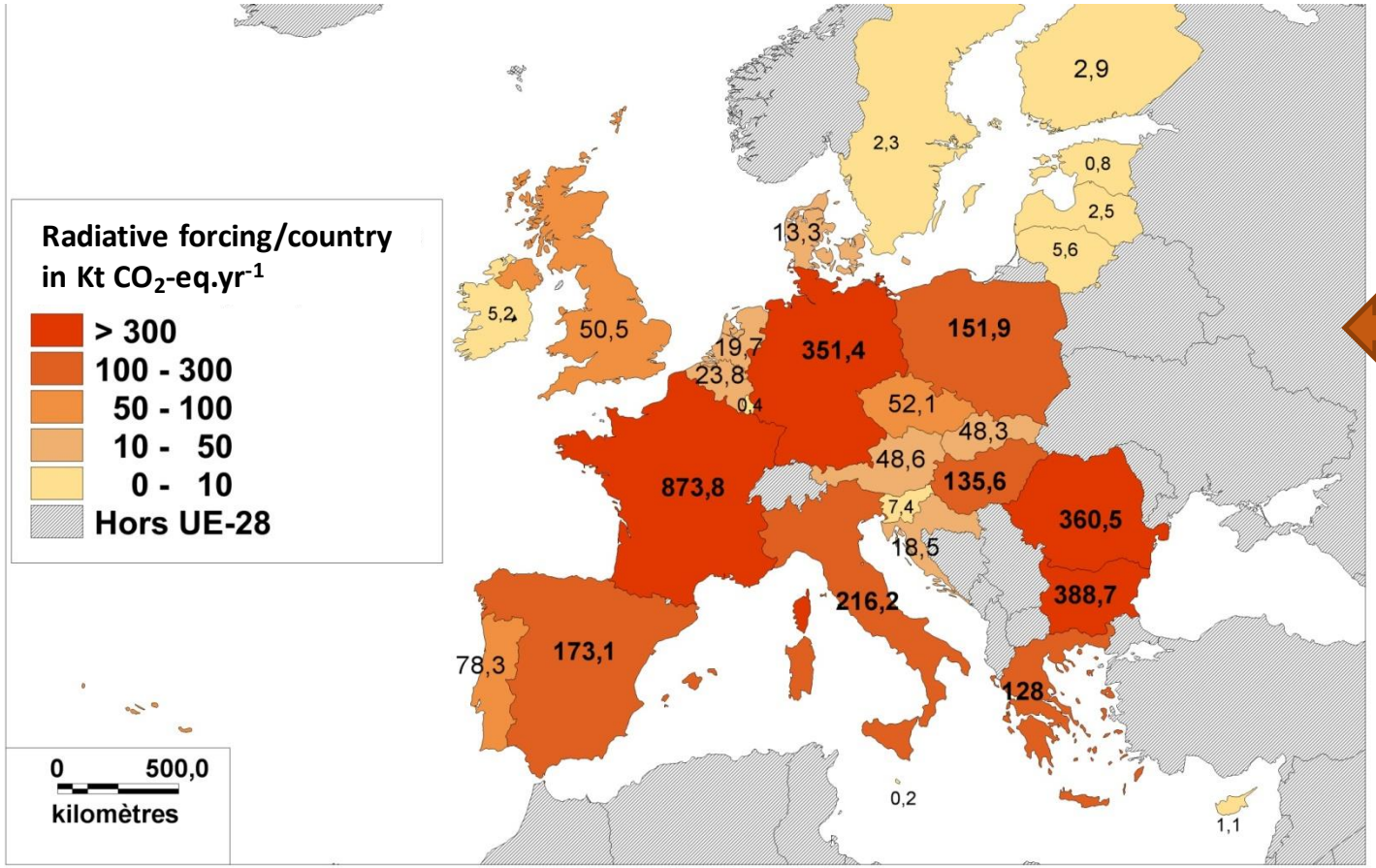
$RF\alpha = - Rg \times TA \times \Delta\alpha$



Forçage radiatif ($W.m^{-2}$)

Effet albédo des CI converti en équivalent CO_2

(Carrer et al. 2018)



- Conversion en CO_2-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 $MtCO_2$-eq.an^{-1}.

- Scénario 6 mois d'introduction de CI entre cultures d'hiver et d'été + limitation par sècheresse ➔ en cumulé sur l'EU-28 représente 4.3 $MtCO_2$-eq.an^{-1}, soit une compensation de 1.0% des émissions agricoles de GES des EU-28.

- Mais intégré sur 100 ans, l'effet albédo des CI est 1,7 fois plus fort que leur effet stockage C en France

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

HORIZON 2020

Sensagri

NIVA

ClieNFarms

ORCaSa

Climate-KIC

CNES CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

CNRS INSU

ADEME

AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE

BAG'AGES

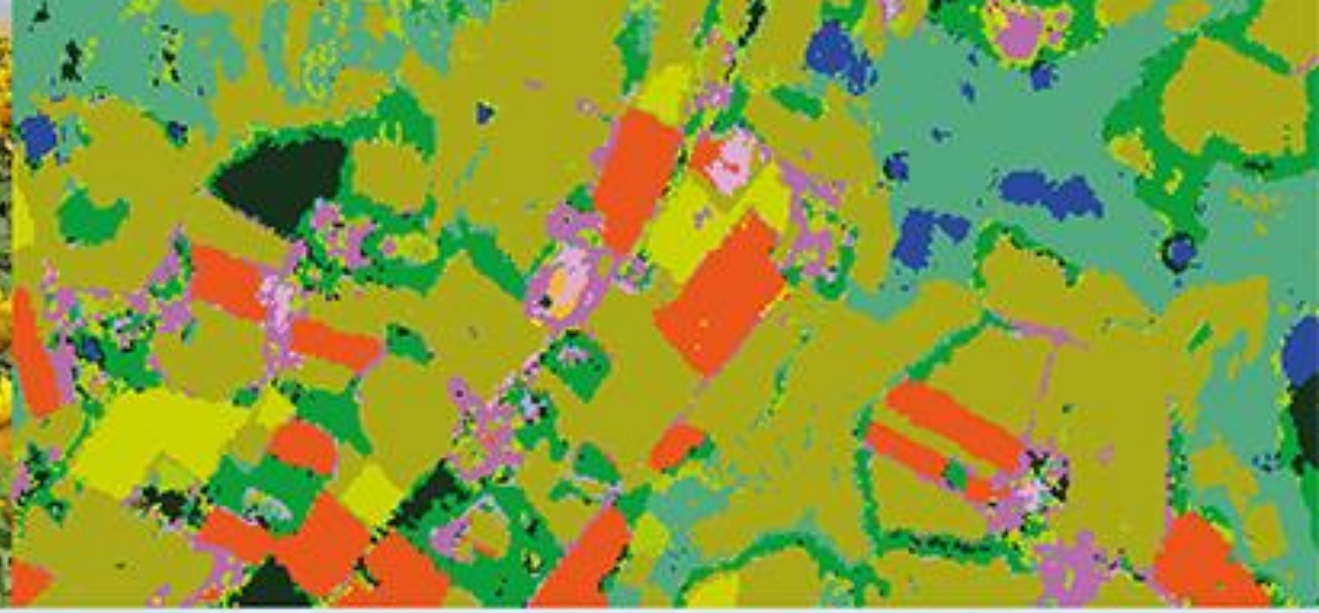
Naturellement popcorn

bpifrance

planet

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

Contact : eric.ceschia@inrae.fr



Retrouvez toutes les présentations de l'atelier

TÉLÉDÉTECTION, AGRICULTURE & ENVIRONNEMENT

sur **www.theia-land.fr/2023-agriculture/**

Theia

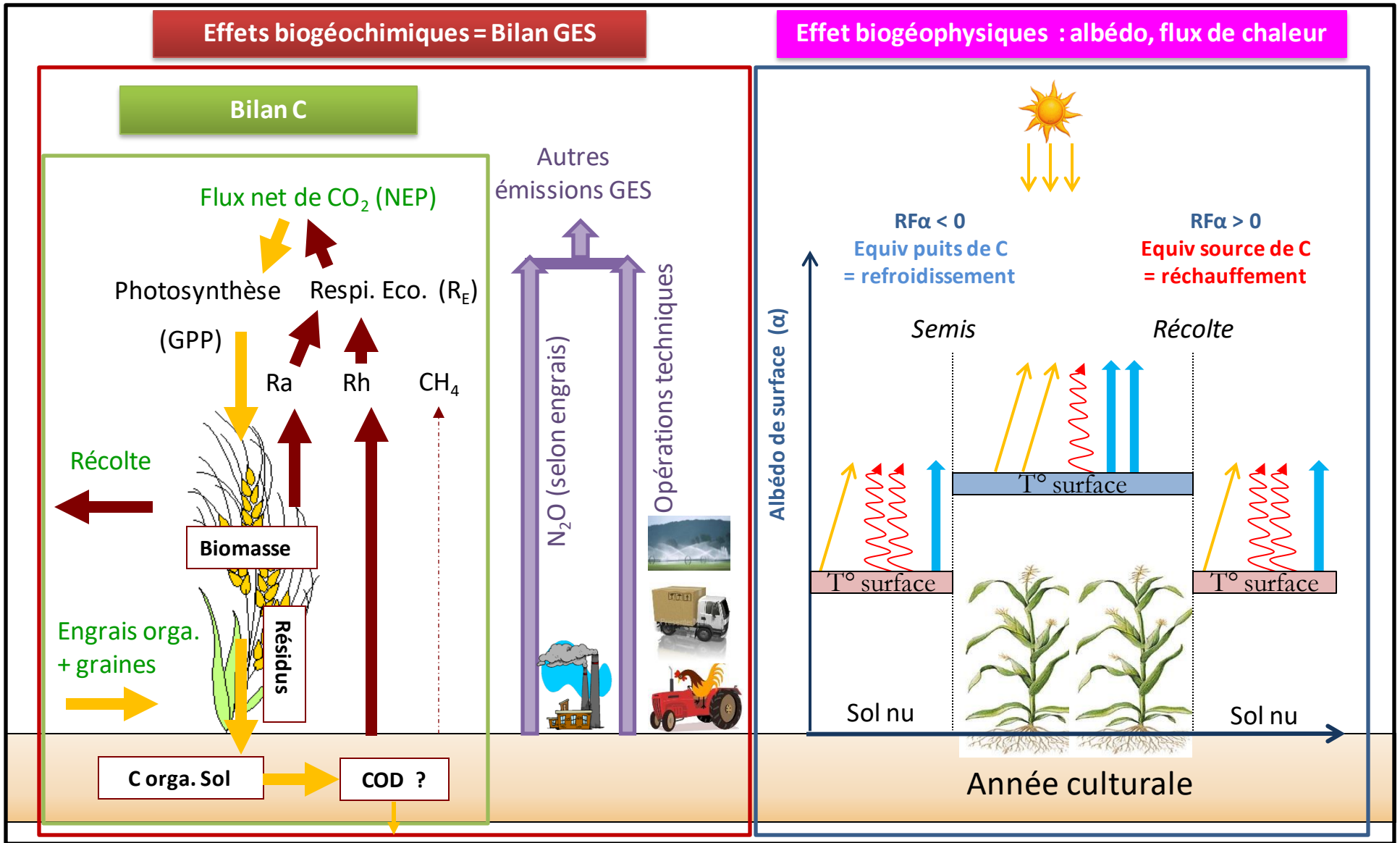
CESBIO

OPENIG

Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées
Valorisation / Relations entreprises

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



Effet climatique net (forçage radiatif)

Légende :

Température de surface — T° surface

Rayon. infrarouge (chaleur)

Rayon. de courte longueur d'onde

Evapotranspiration (flux de chaleur latente)