



**HAL**  
open science

## Suivi et vérification du stockage de carbone dans les sols, de l'échelle de la parcelle à l'échelle nationale

Christian Walter, Manuel Martin, Dominique Arrouays, Martial Bernoux, Pierre Cellier, Nicolas Saby

### ► To cite this version:

Christian Walter, Manuel Martin, Dominique Arrouays, Martial Bernoux, Pierre Cellier, et al.. Suivi et vérification du stockage de carbone dans les sols, de l'échelle de la parcelle à l'échelle nationale. Séances hebdomadaires de l'AAF "Stocker du carbone dans les sols pour lutter contre le changement climatique?", Académie d'Agriculture de France (AAF). FRA., Dec 2016, Paris, France. 32 p. hal-01604764

**HAL Id: hal-01604764**

**<https://hal.science/hal-01604764v1>**

Submitted on 5 Jun 2020

**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.

# Suivi et vérification du stockage de carbone dans les sols, de l'échelle de la parcelle à l'échelle nationale

C. WALTER, M. MARTIN, D. ARROUAYS,  
M. BERNOUX, P. CELLIER, N. SABY

# I. Introduction

# Contexte

- Pourquoi suivre et vérifier le stockage de carbone :
  - Place des sols dans les inventaires d'émission de gaz à effet de serre – horizon 2021 (décision UE 529(5)/2013/EU)
  - Mécanismes de Compensation Volontaire (quelles exigences sur la vérification ?)
  - Quelle faisabilité de programmes tels que le 4p1000?
- Contraintes :
  - Coût des dispositifs de mesure directes et incertitudes associées
  - Sur fond de connaissance imparfaite des sols et de la distribution des modes de gestion des sols...

## Diapositive 3

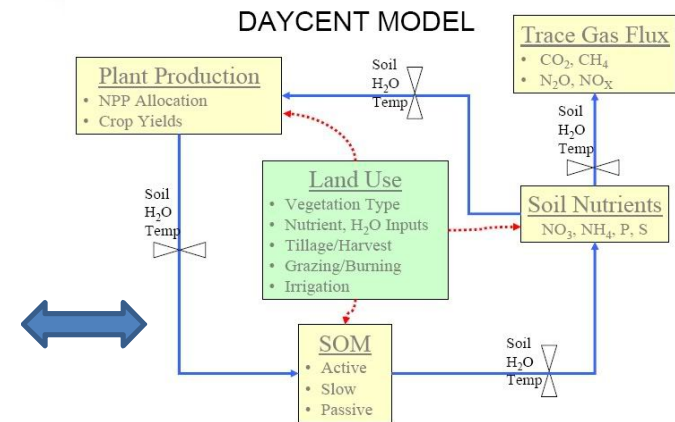
---

**CW2**

Christian Walter; 02/12/2016

# Méthodes d'estimation

- Mesures directes (échantillonnage, analyse, statistiques spatiales, temporelles)
- Mesures indirectes : application de modèles

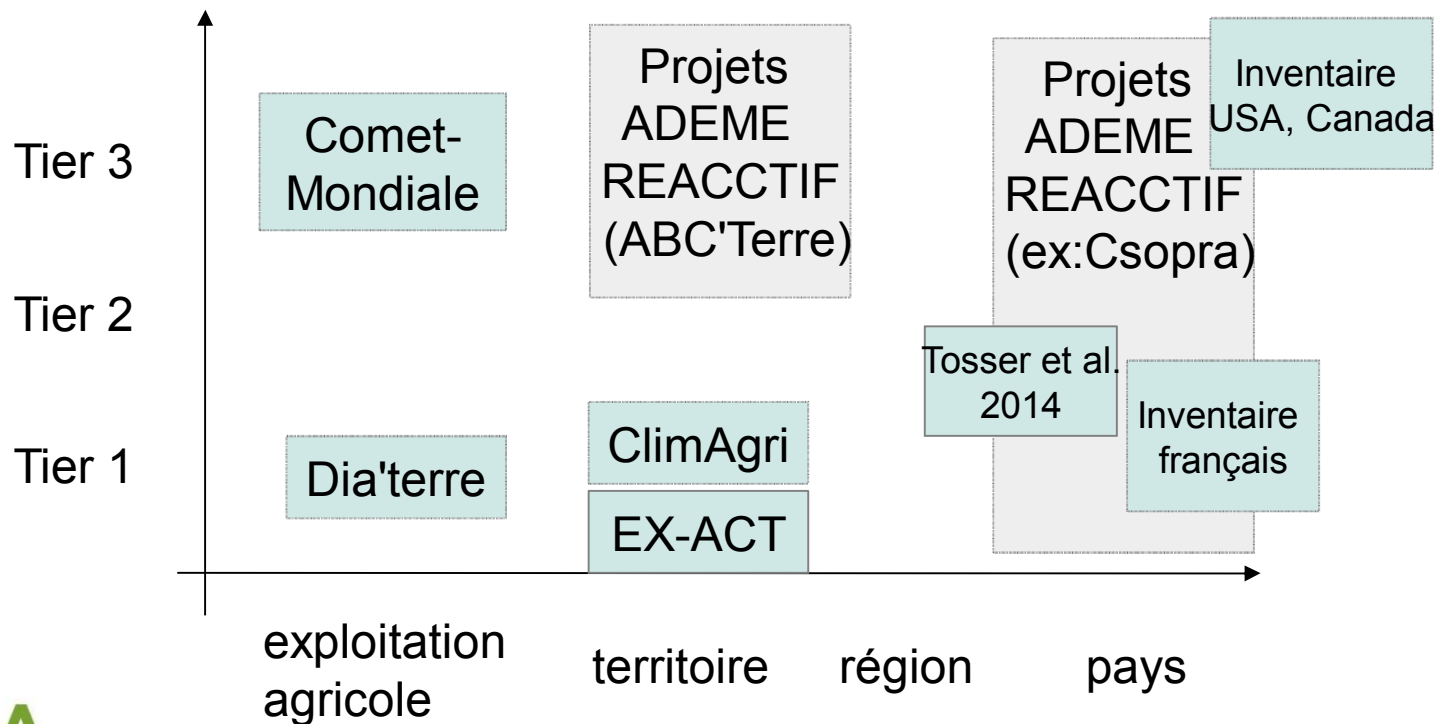
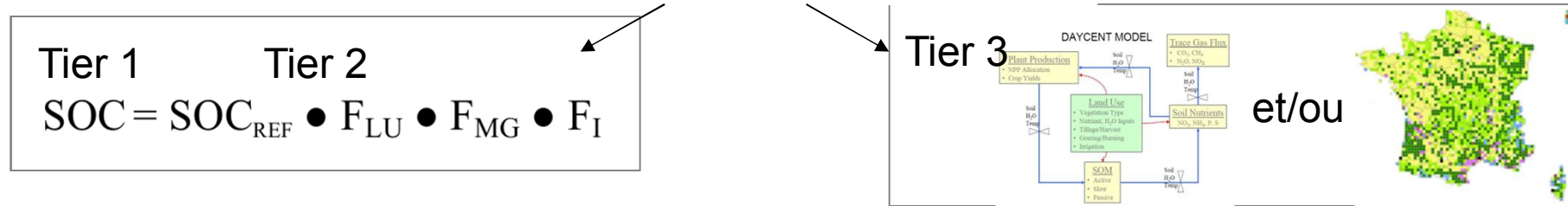


Factor value type	Level	Temperature regime	% IPCC default	Moisture Regime <sup>1</sup>	GPG revised default	Error <sup>2,3</sup>
Land use (F <sub>LU</sub> )	Long-term cultivated	Temperate	0.7, 0.6 <sup>4</sup>	Dry	0.82	± 10%
				Wet	0.71	± 12%
		Tropical	0.6, 0.5	Dry	0.69	± 38%
				Wet	0.58	± 42%

# Lignes directrices du GIEC pour la comptabilisation

(IPCC, 2006)

$$\Delta C_{CC_{\text{Mineral}}} = [(SOC_0 - SOC_{(0-T)}) \cdot A] / T$$



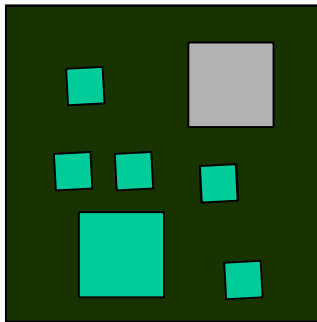
## II. Estimations directes



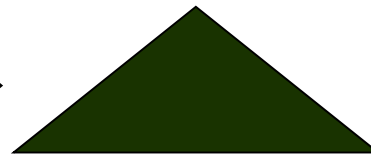
# Mesures *in situ* pour le suivi carbone

**StockC = concentration x masse de terre fine par unité de volume de sol x volume**

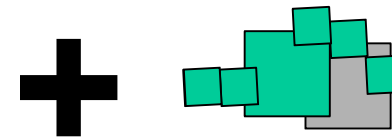
**Sol**



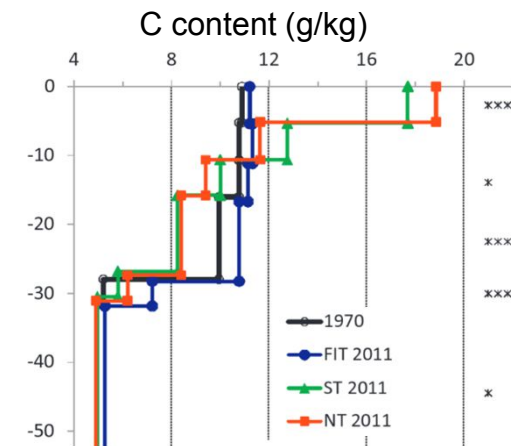
**Terre fine**



**Eléments grossiers  
>2mm**



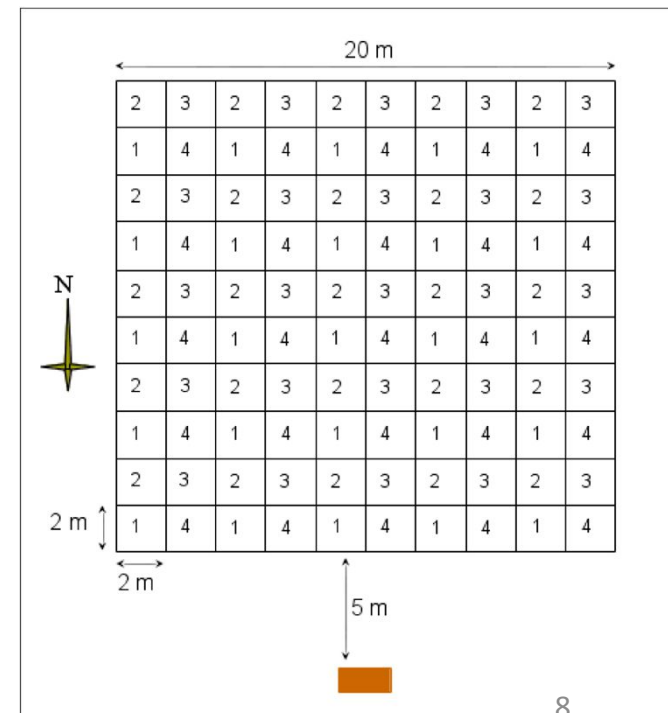
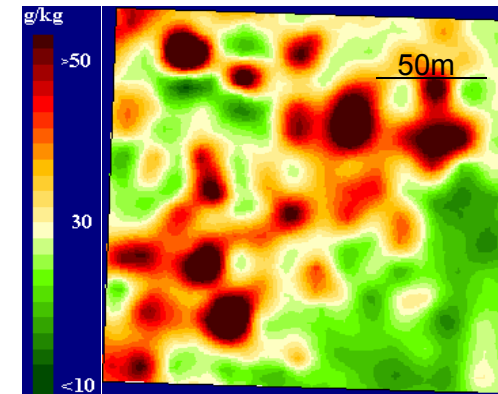
- Sur quelle profondeur mesurer (quelle masse de sol considérer)?
- Estimation de la densité apparente?  
Conjointe à la mesure de teneur en carbone?  
Tarière ou cylindre?
- Les méthodes de spectrométrie doivent encore faire leurs preuves (De Gruijter et al., Geoderma 2016)



Dimassi et al. Agriculture Ecosystems & Environment, 2014 7

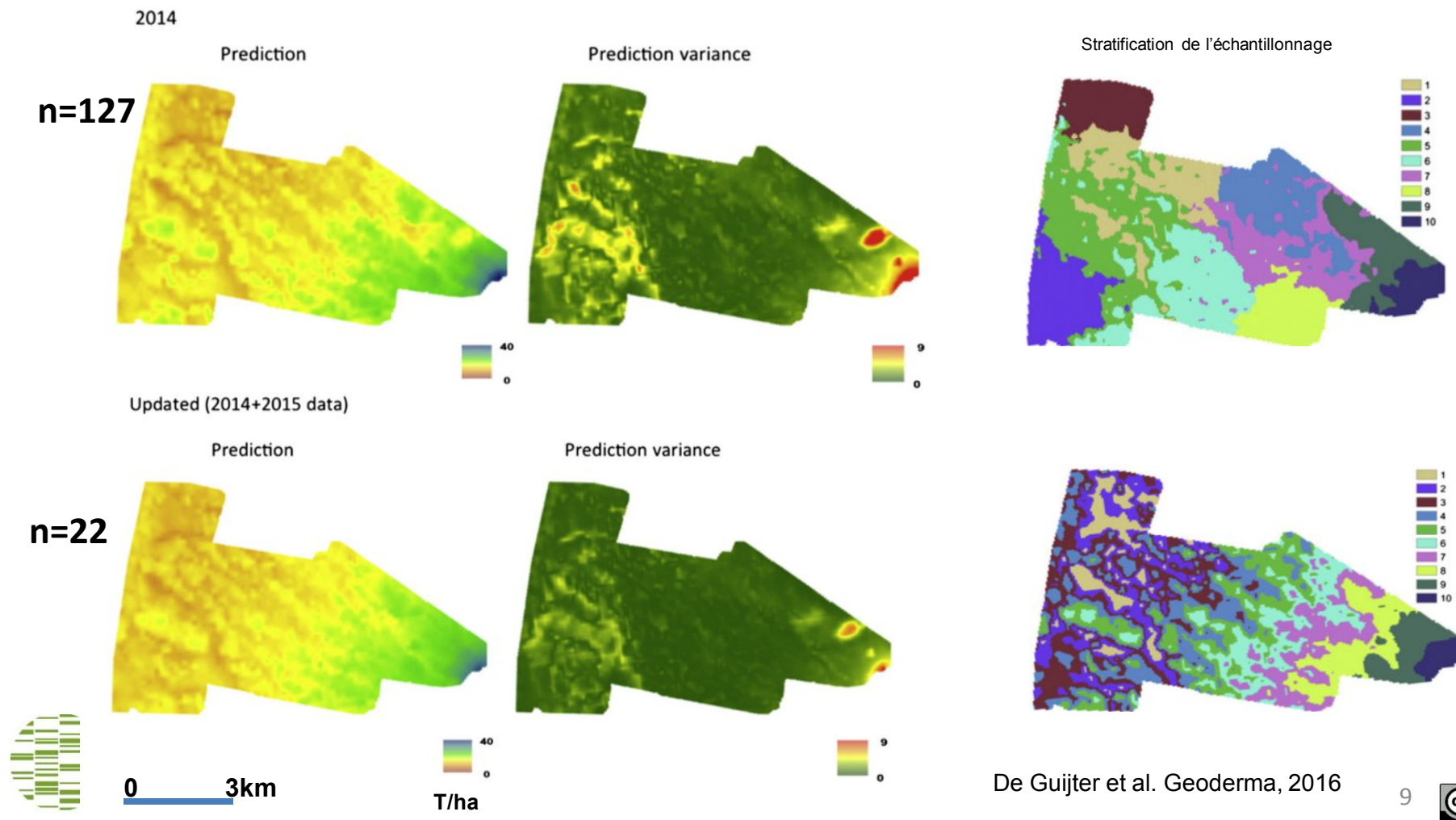
# Estimation intra-parcellaire

- Forte variabilité spatiale du COS et faibles variations temporelles
  - Comment échantillonner?
- Exemple : le dispositif RMQS
  - Echantillon composite
  - Densité apparente sur une fosse adjacente
  - Précision sur une estimation du stock de carbone = 11%



# Sur une exploitation agricole

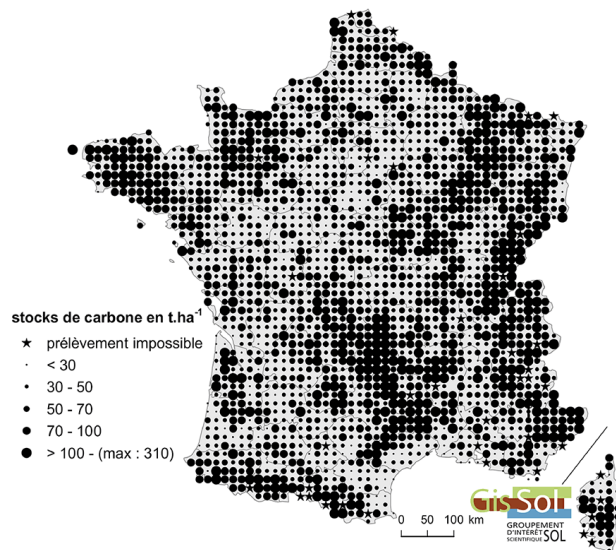
- Comment optimiser l'échantillonnage pour diminuer l'incertitude et maximiser le gain (=prix pour une tonne de carbone évitée x M tonnes de carbone stocké - coûts de mesure)?
- Mise à profit de cartes du carbone organique des sols pour stratifier l'échantillonnage



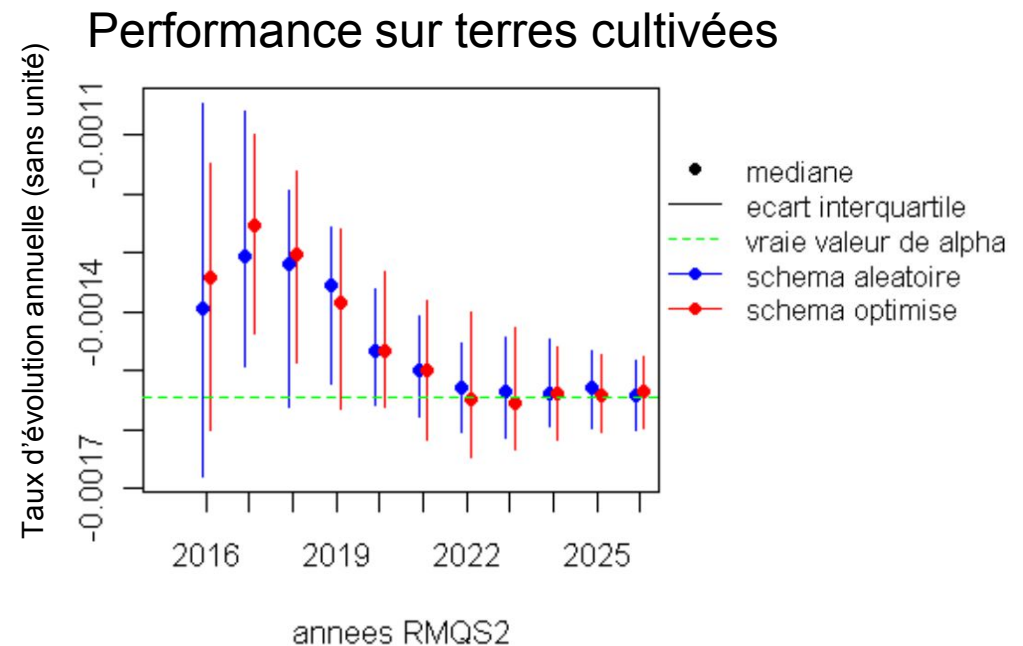
# Au niveau national, le RMQS

- La deuxième campagne permettrait de détecter des évolutions de l'ordre de quelques *pour mille* par an
- La capacité du réseau à détecter l'effet de changements de pratiques n'a pas été testée

Le stock de carbone organique dans les 30 premiers centimètres des sols de France métropolitaine



Source : Gis Sol, RMQS, 2010 ; IGN, Geofla®, 2006.



# III. Estimations indirectes

# Approches empiriques

## : Tiers 1 et 2

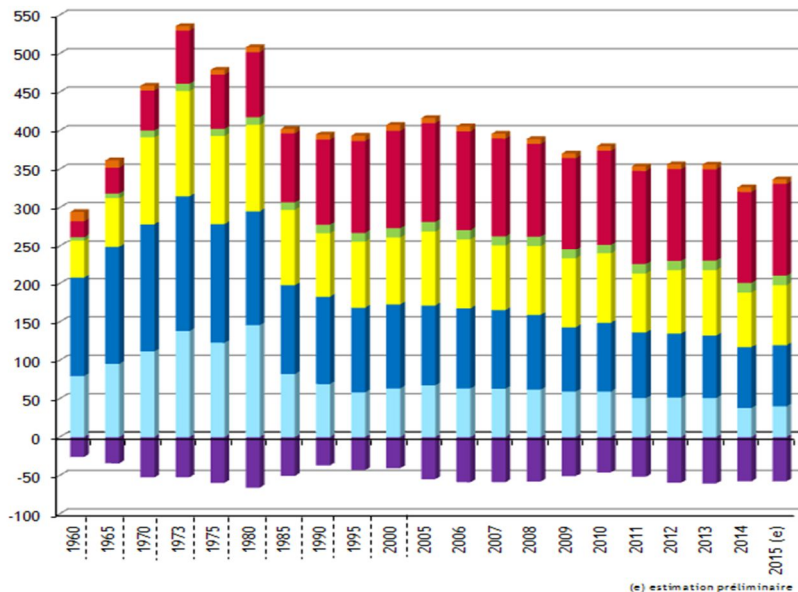
$$\Delta C_{CC_{\text{Mineral}}} = [(SOC_0 - SOC_{(0-T)}) \cdot A] / T$$

$$SOC = SOC_{REF} \cdot F_{LU} \cdot F_{MG} \cdot F_I$$

Echelles locales : Ex-act (FAO), Diaterre (ADEME) = outils de prospective et de construction de scénarios

CO<sub>2</sub>

Emissions atmosphériques par secteur en France métropolitaine en Mt



Inventaire national français d'émissions de GES : Adaptation Tier2 française grâce aux données du RMQS sur 30cm

$$SOC_{ref} = SOC_{occup,Reg}$$

Transformation énergie

Industrie manufacturière

Résidentiel/tertiaire

Agriculture/sylviculture

Transport routier

Autres transports

UTCATF

EX-ACT: Accueil EX-ACT - Chromium

www.fao.org/tc/exact/accueil-ex-act/fr/

EX-Ante Carbon balance Tool (EX-ACT)

Marginal Abatement Cost Curve (MACC) for the AFOLU Sector

USD/t CO<sub>2</sub>-e

Mitigation potential Mt CO<sub>2</sub>-e

Conservation agriculture, Livestock management, Agroforestry, SRI, Grassland rehabilitation, Avoided deforestation

Deriving Marginal Abatement Cost Curves to differentiate between various agricultural policy options

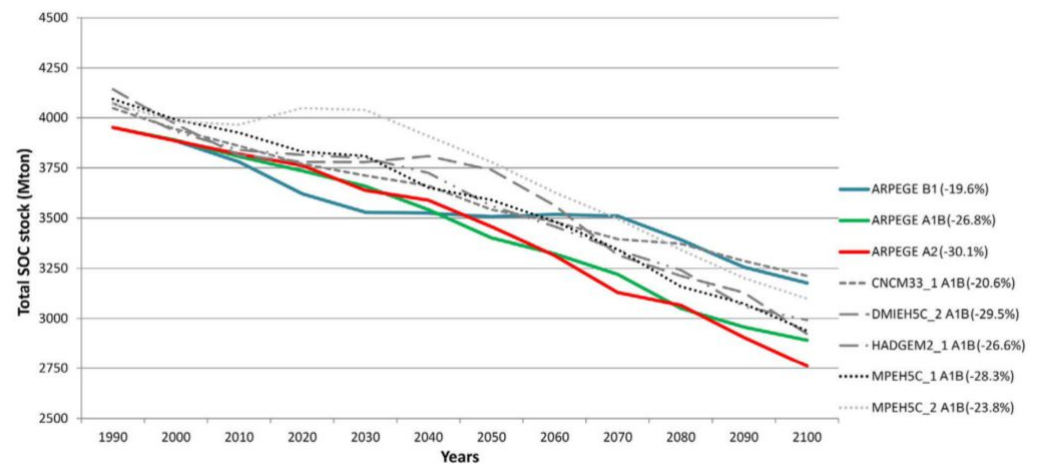
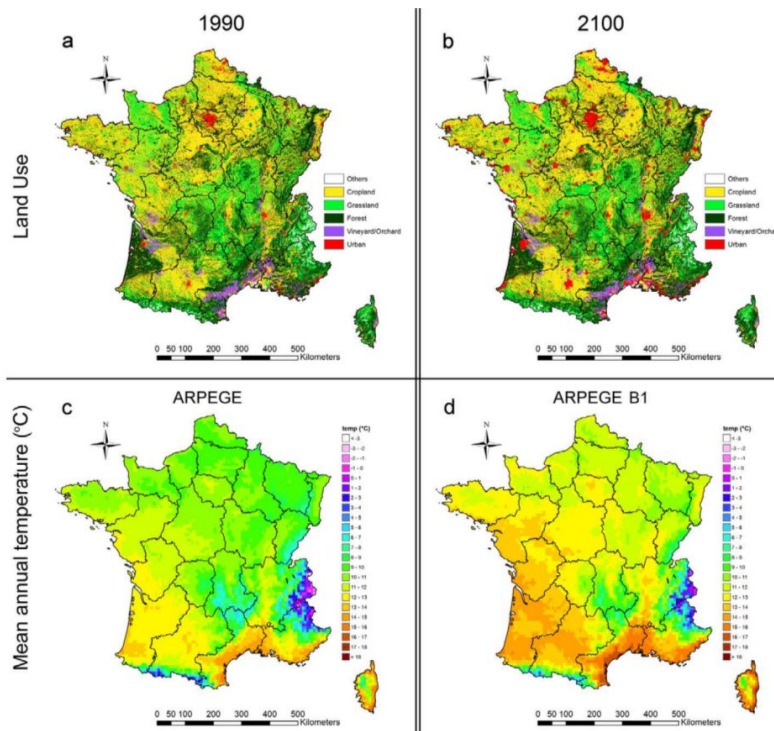
EX-ACT (Ex Ante Carbon-balance Tool) est un outil conjointement développé par trois divisions FAO (Division de l'appui à l'élaboration des Politiques et Programmes de Développement [TCS], Division du Centre d'Investissement [TCI] et Division de l'Economie du Développement Agricole [ESA]). Il apporte des estimations ex-ante de l'impact des projets de développement agricole et forestier sur les émissions de GES et la séquestration de carbone, indiquant leurs effets dans un bilan carbone.

Vous trouverez sur ce site Web tous les documents et ressources reliés à l'outil EX-ACT.

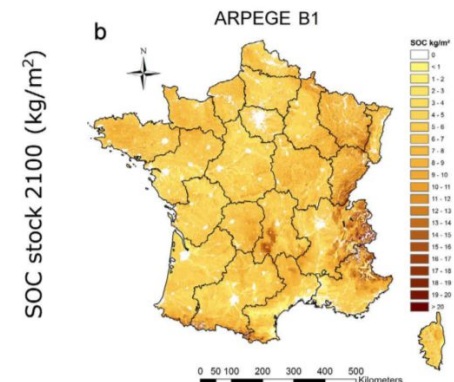
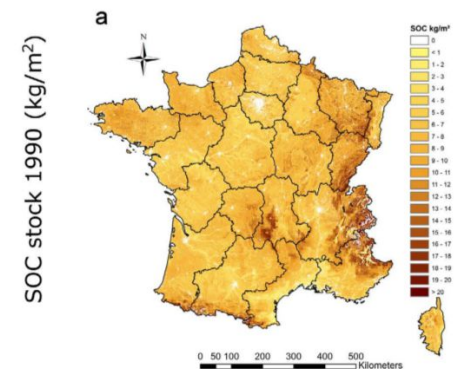
News:

- NEW!! EX-ACT team trained on capacity development in carbon-balance appraisal of AFOLU, peatland restoration and policies projects for FAO experts, programme officers for ministries of Climate Change and Finance in Pakistan and Indonesia
- NEW!! BLUE CARBON - FISHERIES & AQUACULTURE modules are on line (guideline and study cases). FLYER.
- NEW!! EX-ACT Team is currently developing a new EX-ACT Version providing co-benefit appraisal of Value

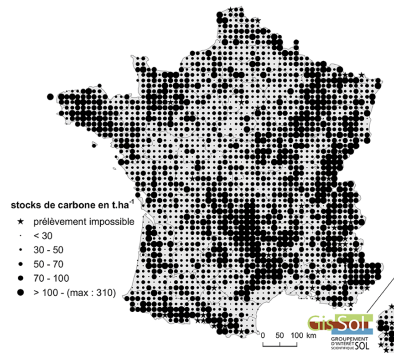
# Modèles statistiques prédictifs



=> Conclusions concernant l'effet relatif du changement climatique et des changements de gestion et d'occupation du sol



Le stock de carbone organique dans les 30 premiers centimètres des sols de France métropolitaine

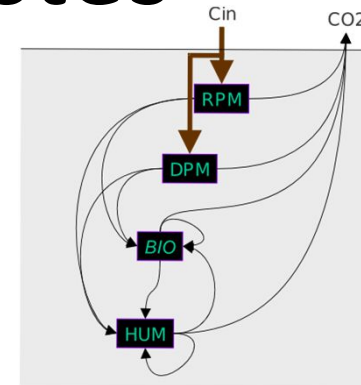


$$SOC = \underbrace{\sum_{i=1}^n \alpha_i f_i}_{\text{linear}} + \underbrace{\sum_{j=1}^n \sum_{k>j}^n \beta_{j,k} f_j f_k}_{\text{first order interaction}} + \underbrace{\sum_{l=1}^n \sum_{m \neq l}^n \gamma_{l,m} f_l f_m^2}_{\text{second order interaction}} + \epsilon$$

Meersmans et al. Nature Sci. Rep. (2016)

# Modèles mécanistes

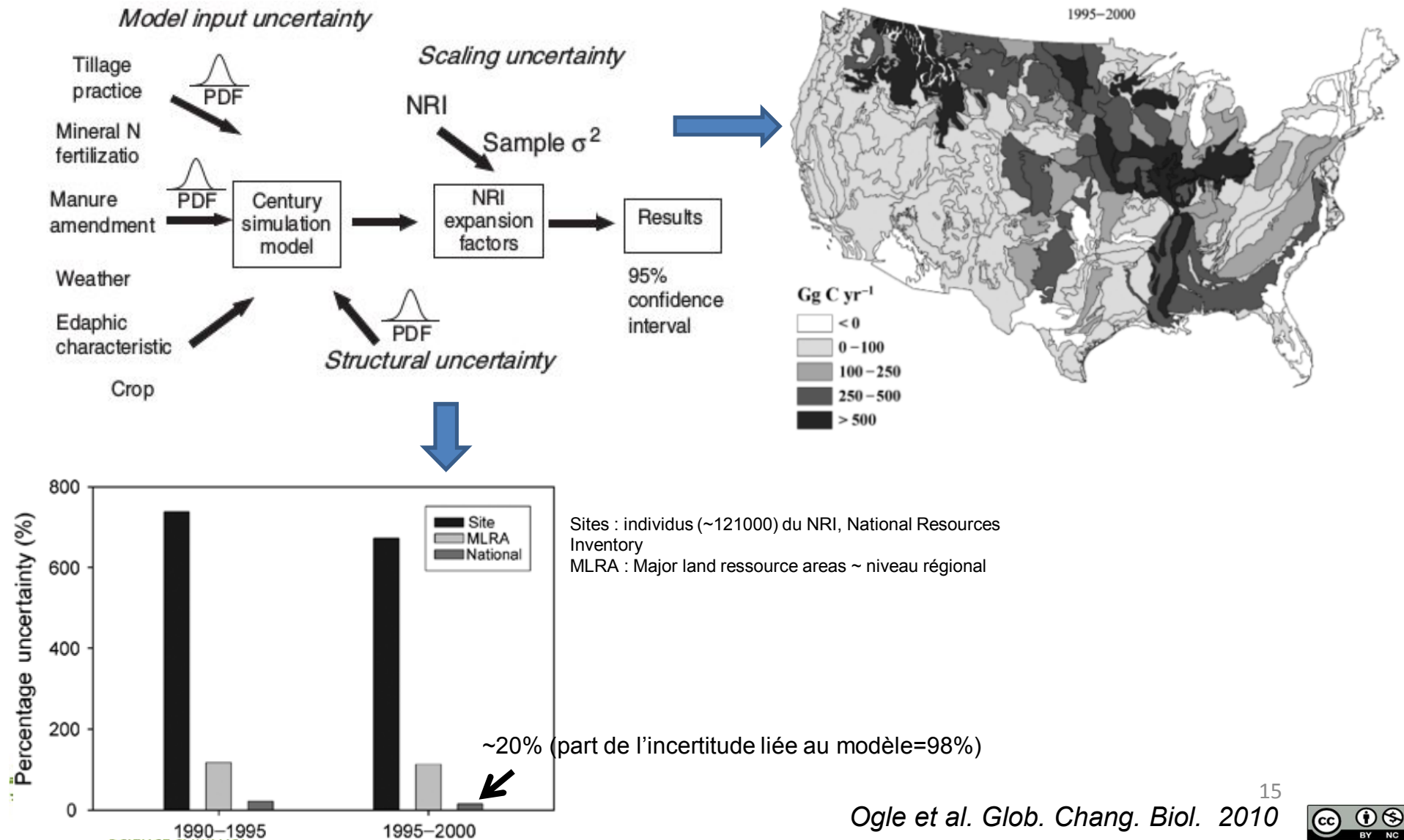
- Une grande variété de modèles (en général modèles à compartiments, AMG, RothC, Century, DayCent, ....)



- Utilisés :
  - ⇒ dans des outils d'aide à la décision destinés aux exploitations (ex : Comet-VR)
  - ⇒ et rarement pour les inventaires nationaux
- De part leur représentation de certains processus :
  - => censés mieux s'adapter aux contextes locaux, sans reparamétrisation
  - => nécessitent souvent beaucoup de données d'entrée
- Reste la question de l'estimation des entrées de carbone => modèles de croissance végétale

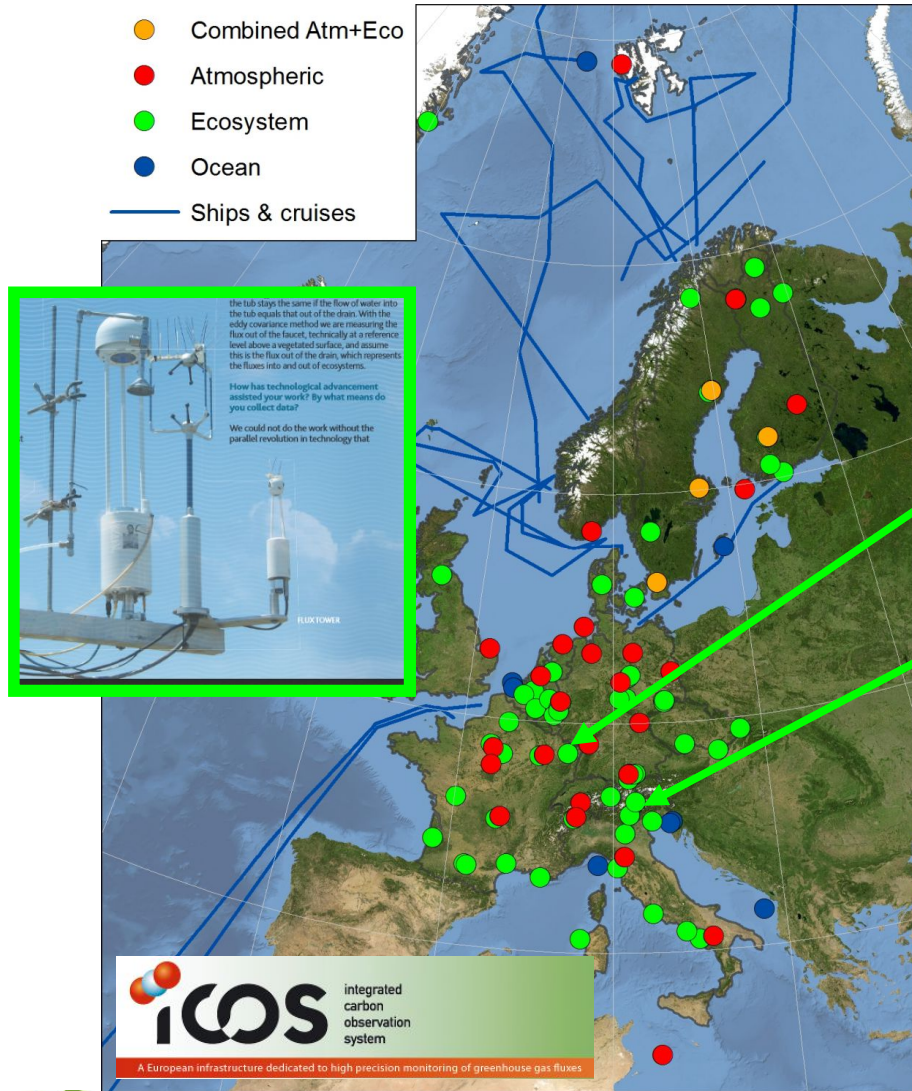


# Exemple : l'inventaire d'émissions de GES des Etats-Unis

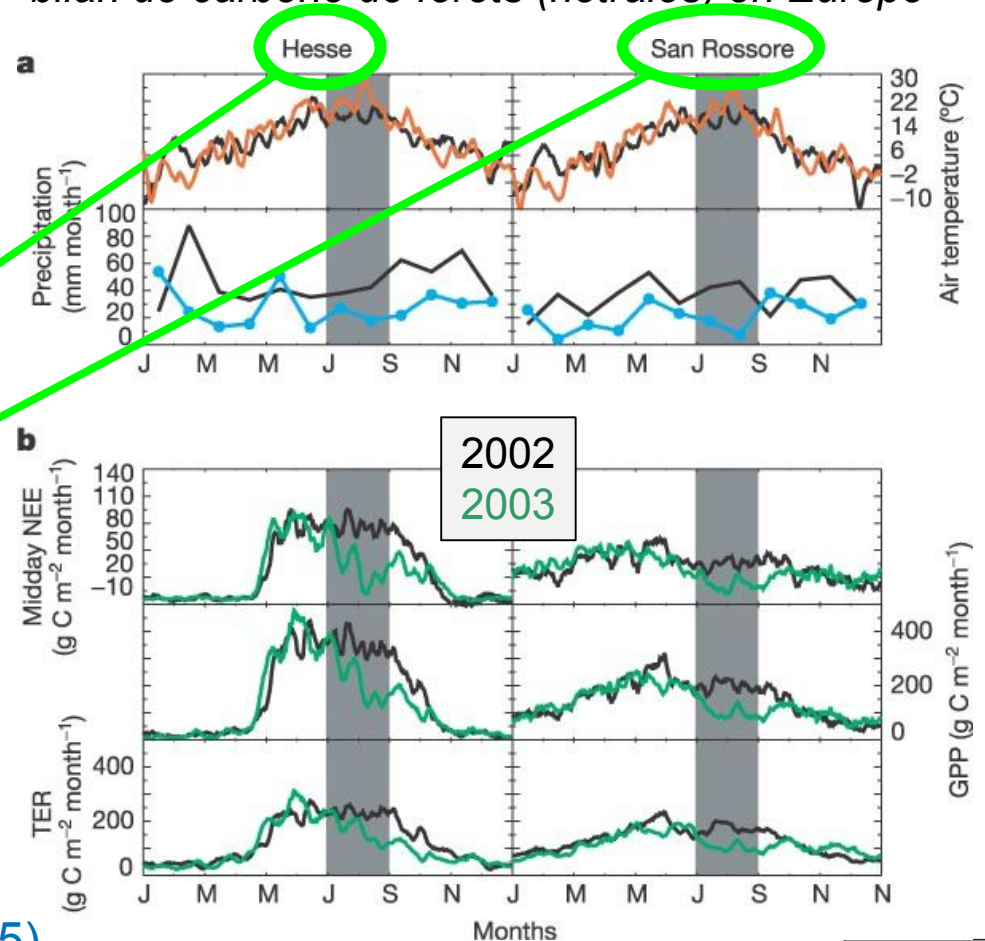


# IV. Quelques perspectives

# Des approches nouvelles du cycle du carbone : le réseau de tours à flux ICOS


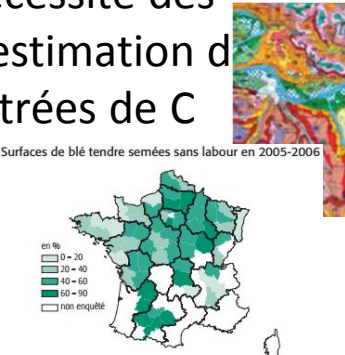


→ Une analyse fine des flux de CO<sub>2</sub> échangés entre un écosystème et l'atmosphère.  
*Exemple de l'effet de la canicule de 2003 sur le bilan de carbone de forêts (hêtraies) en Europe*



# V. Complémentarités, besoins et choix d'une méthode

	<b>Méthodes directes</b>	<b>Indirectes empiriques</b>	<b>Indirectes mécanistes</b>
Exploitation	Trop coûteuses, mais...	Non sauf si régionalisées	Oui, mais avec quelle précision hors des sites de suivi long terme?
Région, pays	Oui	Oui mais robustesse discutable de certains facteurs d'émission	Tests sur le biais (ou le non biais) et la précision des modèles à ces échelles en cours
Remarques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le coût augmente si on augmente la résolution temporelle et thématique,</li> <li>- Question de l'additionnalité et du "leakage"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Méthode par défaut en cas de données sols lacunaires</li> <li>- Nécessite des données de gestion</li> </ul>	Nécessité d'estimations correctes des entrées de C

	Méthodes directes	Méthodes indirectes empiriques	Méthodes indirectes mécanistes
Exploitation	Trop coûteuses, mais... 	Non sauf si régionalisées	Oui, mais avec quelle précision hors des sites de suivi long terme?
Région, pays	Oui	Oui mais robustesse discutable de l'estimation des surfaces d'émission	Tests sur le biais (ou le non bias) et la précision des modèles à ces échelles
Remarques	- Le coût augmente si on augmente la résolution temporelle et thématique, - Question de l'additionnalité et du "leakage"	- Méthode par défaut en cas de données sols lacunaires - Nécessite des données de gestion	Nécessite des d'estimation d'entrées de C co  Surfaces de blé tendre semées sans labour en 2005-2006 en % 0 - 20 20 - 40 40 - 60 60 - 90 non enquêté

# Conclusions

- Difficulté d'un suivi des stocks de C à l'échelle d'une exploitation agricole en raison du coût et des incertitudes associées (liées à la variabilité spatiale des facteurs de l'évolution des stocks)
- Il est possible de capter les tendances d'évolution à l'échelle d'une région et d'un pays en couplant réseaux de suivi et modélisation
- Des progrès en cours sur la connaissance des processus, les méthodes d'échantillonnage, l'observation des flux et des stocks, la CNS et la modélisation mécaniste

# Merci de votre attention!

[martial.bernoux@ird.fr](mailto:martial.bernoux@ird.fr)

[pierre.cellier@grignon.inra.fr](mailto:pierre.cellier@grignon.inra.fr)

[dominique.Arrouays@inra.fr](mailto:dominique.Arrouays@inra.fr)

[nicolas.saby@inra.fr](mailto:nicolas.saby@inra.fr)

[pierre.Cellier@inra.fr](mailto:pierre.Cellier@inra.fr)

[christian.walter@agrocampus-ouest.fr](mailto:christian.walter@agrocampus-ouest.fr)

[manuel.martin@inra.fr](mailto:manuel.martin@inra.fr)



CW30  
CW31  
CW32

## Diapositive 23

---

- CW30** il me semble qu'il manque une conclusion qui reprendrait quelques messages essentiels :  
-la difficulté d'un suivi des stocks de C à l'échelle d'une exploitation agricole en raison du coût et des incertitudes associées : en rappeler les principales sources  
Christian Walter; 02/12/2016
- CW31** - la possibilité de capter les tendances d'évolution à l'échelle d'une région et d'un pays en couplant réseaux de suivi et modélisation  
Christian Walter; 02/12/2016
- CW32** - des progrès en cours sur ...  
Christian Walter; 02/12/2016

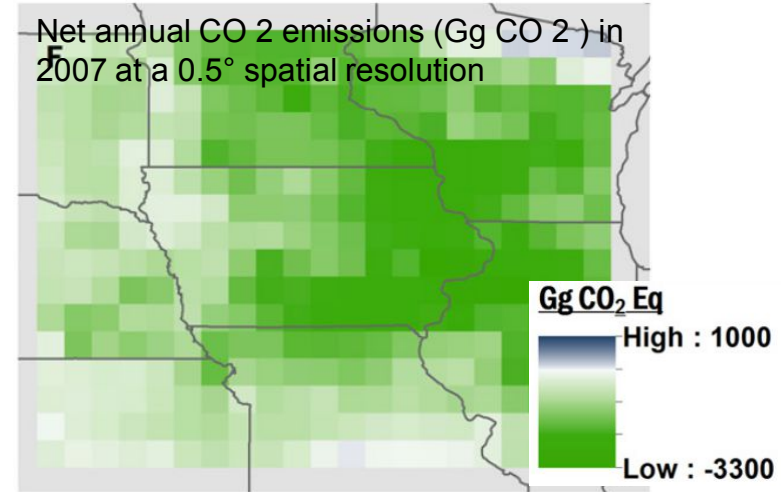
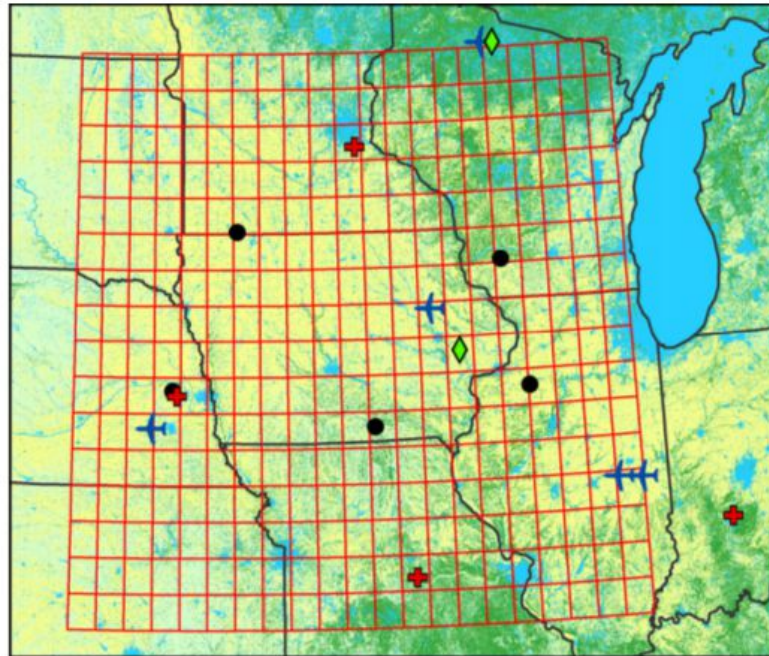
CW40  
CW41  
CW42

## Diapositive 24

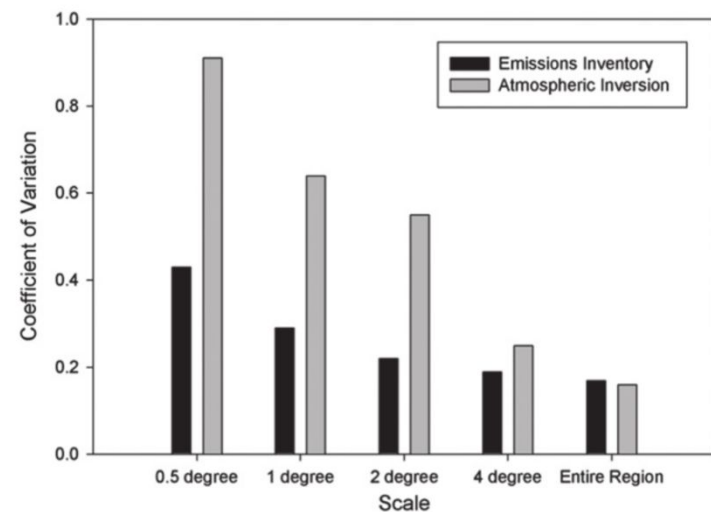
---

- CW40** il me semble qu'il manque une conclusion qui reprendrait quelques messages essentiels :  
-la difficulté d'un suivi des stocks de C à l'échelle d'une exploitation agricole en raison du coût et des incertitudes associées : en rappeler les principales sources  
Christian Walter; 02/12/2016
- CW41** - la possibilité de capter les tendances d'évolution à l'échelle d'une région et d'un pays en couplant réseaux de suivi et modélisation  
Christian Walter; 02/12/2016
- CW42** - des progrès en cours sur ...  
Christian Walter; 02/12/2016

# Exemple : l'inventaire d'émissions de GES des Etats-Unis (suite)

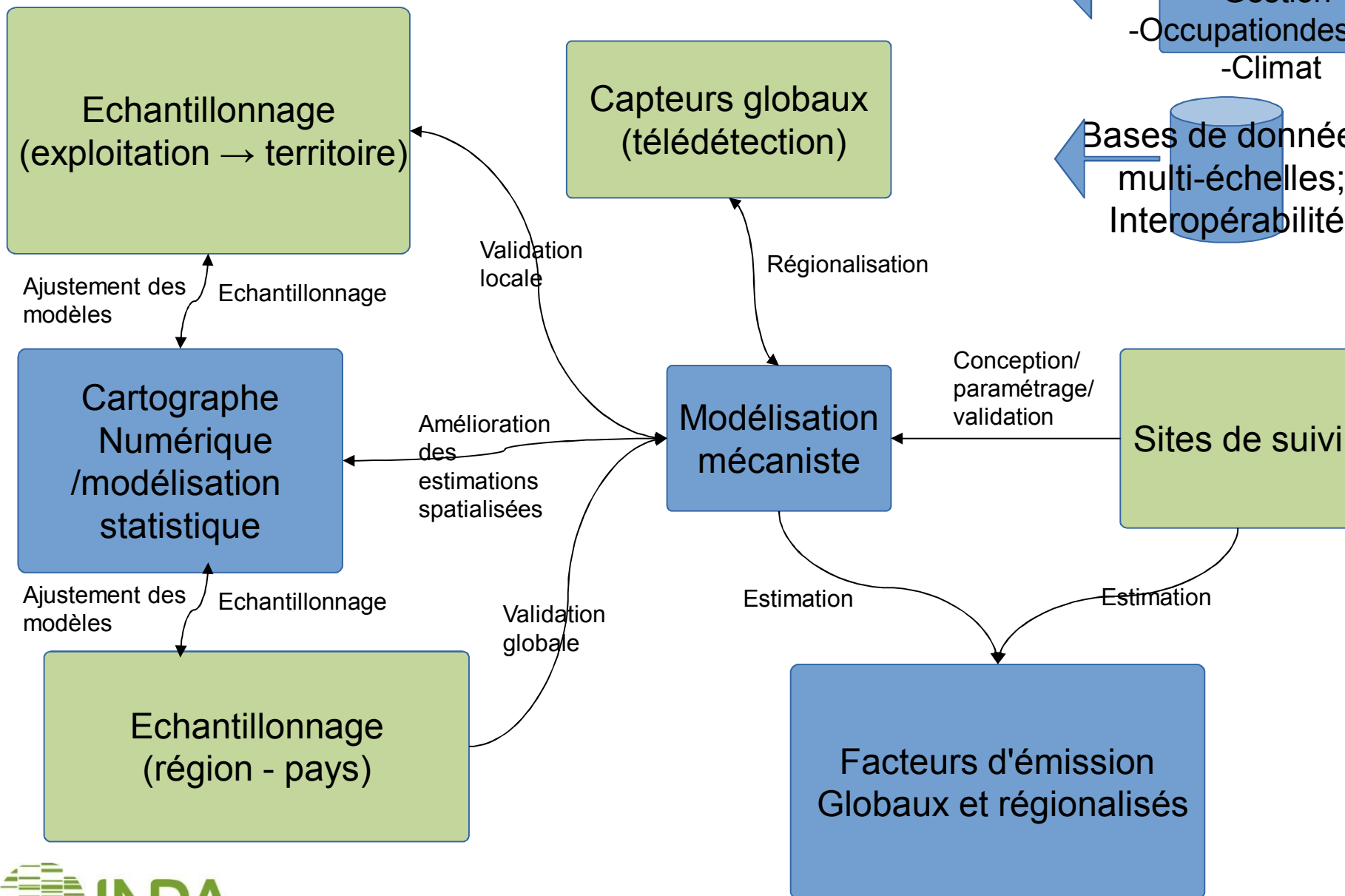
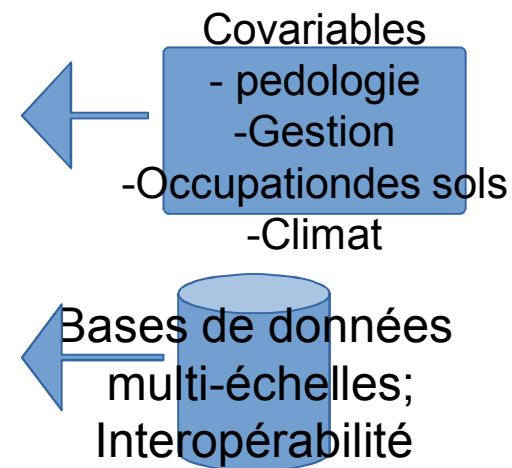


- Tower Sites**
- ◆ NOAA Tall Tower
  - ✈ NOAA Aircraft Site
  - + Calibrated Ameriflux Tower
  - Ring of Towers
- LANDCOVER**
- Cropland
  - Forest
  - Grassland
  - Other



CW23  
CW24

# Synthèse sur les besoins / complémentarités?



## Diapositive 26

---

**CW23** cette diapositive apparaît trop compliquée pour finir, non ?

Christian Walter; 02/12/2016

**CW24** Que s'agit'il de montrer ? la complémentarité des méthodes qui permettrait un suivi assez fin des évolutions de stocks de C. Mais à quelle échelle ?

Christian Walter; 02/12/2016

# Facteurs d'émissions et lignes directrices du GIEC

## •Principe :

- Facteurs d'émissions par classe
- Émissions égales aux différences de stock
- Symétrie, réversibilité des évolutions sur 20 ans
- Appliquées au prorata des surfaces concernées

$$\Delta C_{CC_{\text{Mineral}}} = [(SOC_0 - SOC_{(0-T)}) \bullet \frac{\Delta t}{T}] \bullet \text{CW39}$$

$$SOC = SOC_{REF} \bullet F_{LU} \bullet F_{MG} \bullet F_I$$

•Les facteurs d'émission par défaut sont issus d'un nombre (très) limité de sites expérimentaux

•Probablement assez représentatif des grandes tendances au niveau national ou continental

CW38

•Application aux échelles locales déconseillée (Smith et al., Glob. Change Biol. 2014)

•Une recommandation (Tier 2) : conserver l'approche et les classes mais ré-estimer les facteurs d'émission à l'aide de données locales



## Diapositive 27

---

**CW38**

quelles classes ?

Christian Walter; 02/12/2016

**CW39**

expliciter par oral Flu, FMg...

Christian Walter; 02/12/2016