Suivi et vérification du stockage de C dans les sols de l'échelle de la parcelle à l'échelle nationale : réseaux de mesure, approches de modélisation.

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

INRA
SCIENCE & IMPACT

CC BY NC

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…

INRA SCIENCE & IMPACT

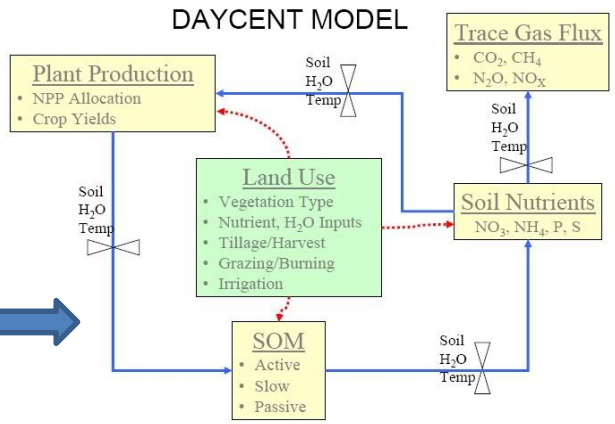
CC BY NC

Méthodes d'estimation

- Mesures directes (échantillonnage, analyse, statistiques spatiales, temporelles)

- Mesures indirectes : application de modèles

Factor value type	Level	Temper-ature regime	'96 IPCC default	Moisture Regime[1]	GPG revised default	Error[2,3]
Land use (F_{LU})	Long-term cultivated	Temperate	0.7,0.6[4]	Dry	0.82	± 10%
				Wet	0.71	± 12%
		Tropical	0.6, 0.5	Dry	0.69	± 38%
				Wet	0.58	± 42%



INRA SCIENCE & IMPACT

Lignes directrices du GIEC pour la comptabilisation

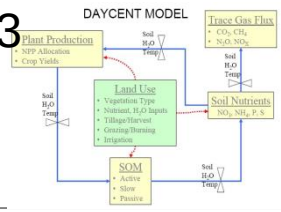
(IPCC, 2006)

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

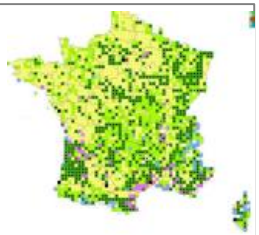
Tier 1 Tier 2

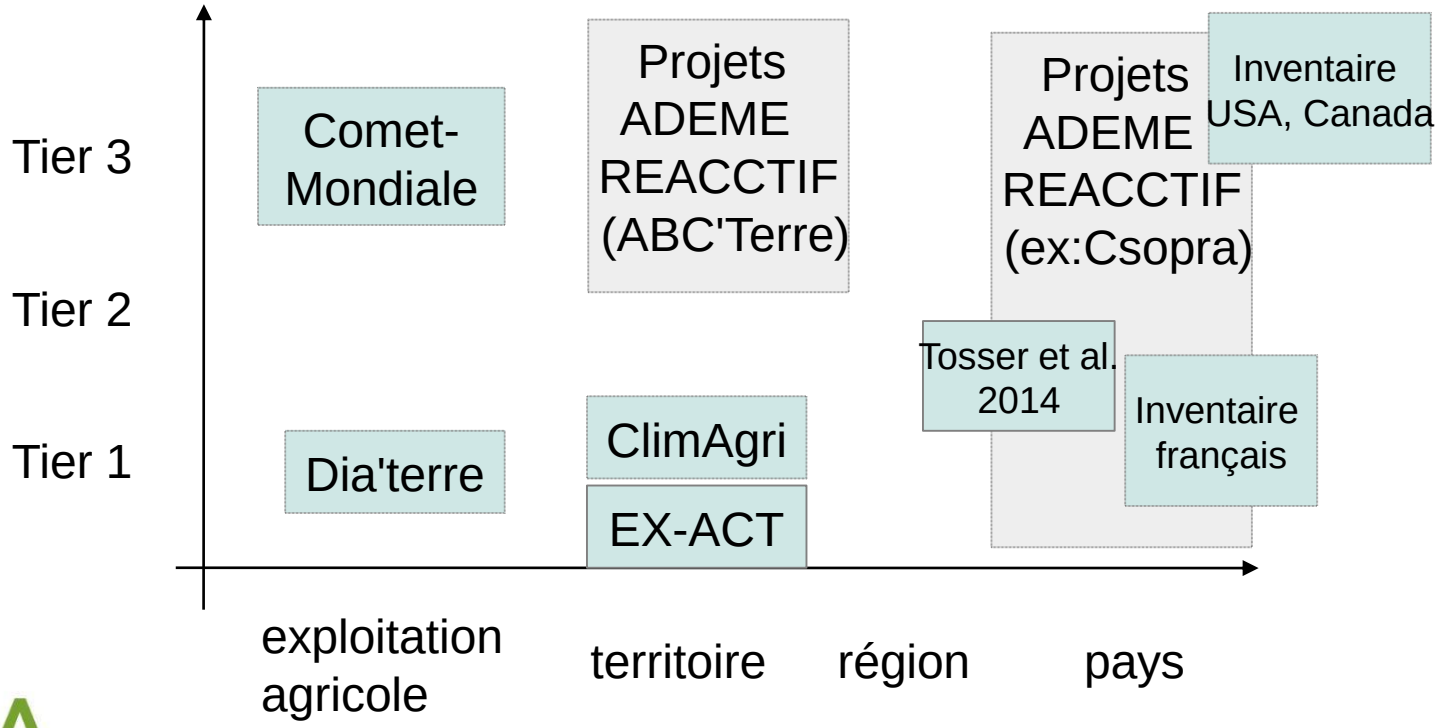
$$SOC = SOC_{REF} \bullet F_{LU} \bullet F_{MG} \bullet F_I$$

Tier 3



et/ou





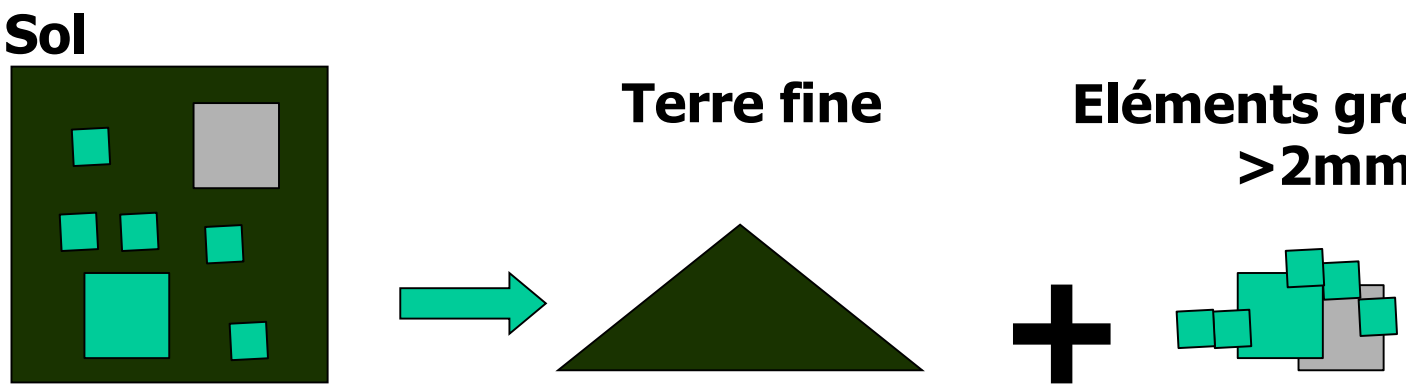
INRA SCIENCE & IMPACT
CC BY NC

II. Estimations directes

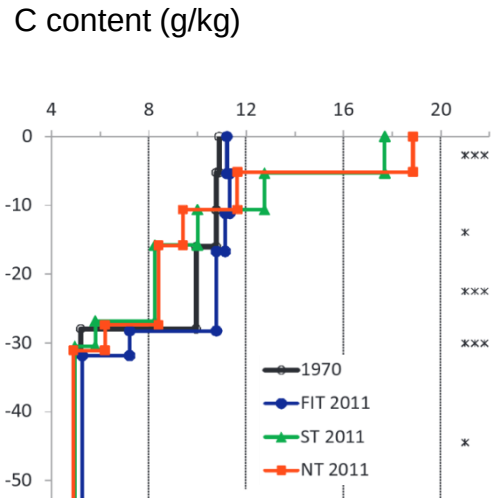
CC BY NC

Mesures *in situ*

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



- 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)

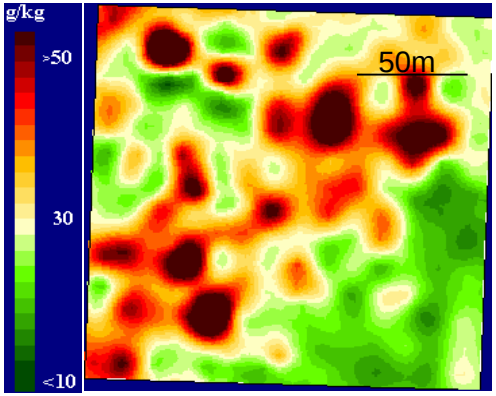


Dimassi et al. Agriculture Ecosystems & Environment, 2014

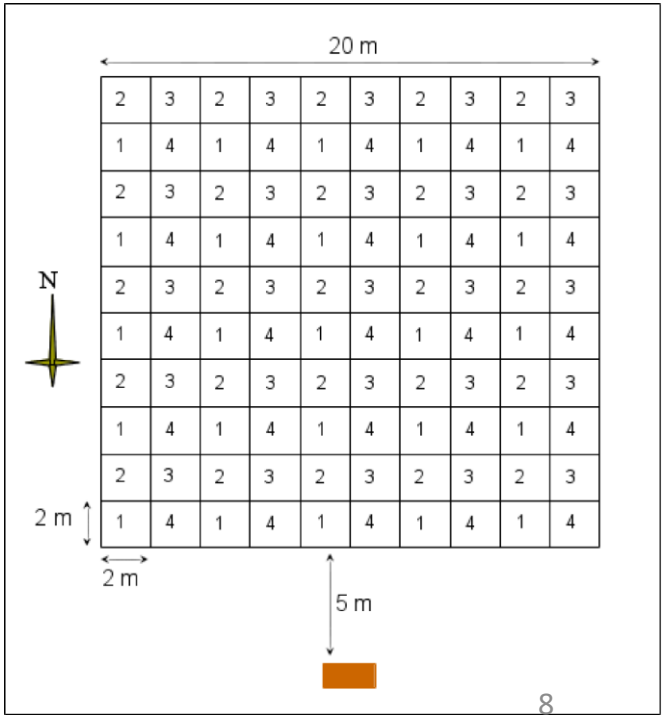
INRA SCIENCE & IMPACT

CC BY NC

Estimation intra-parcellaire



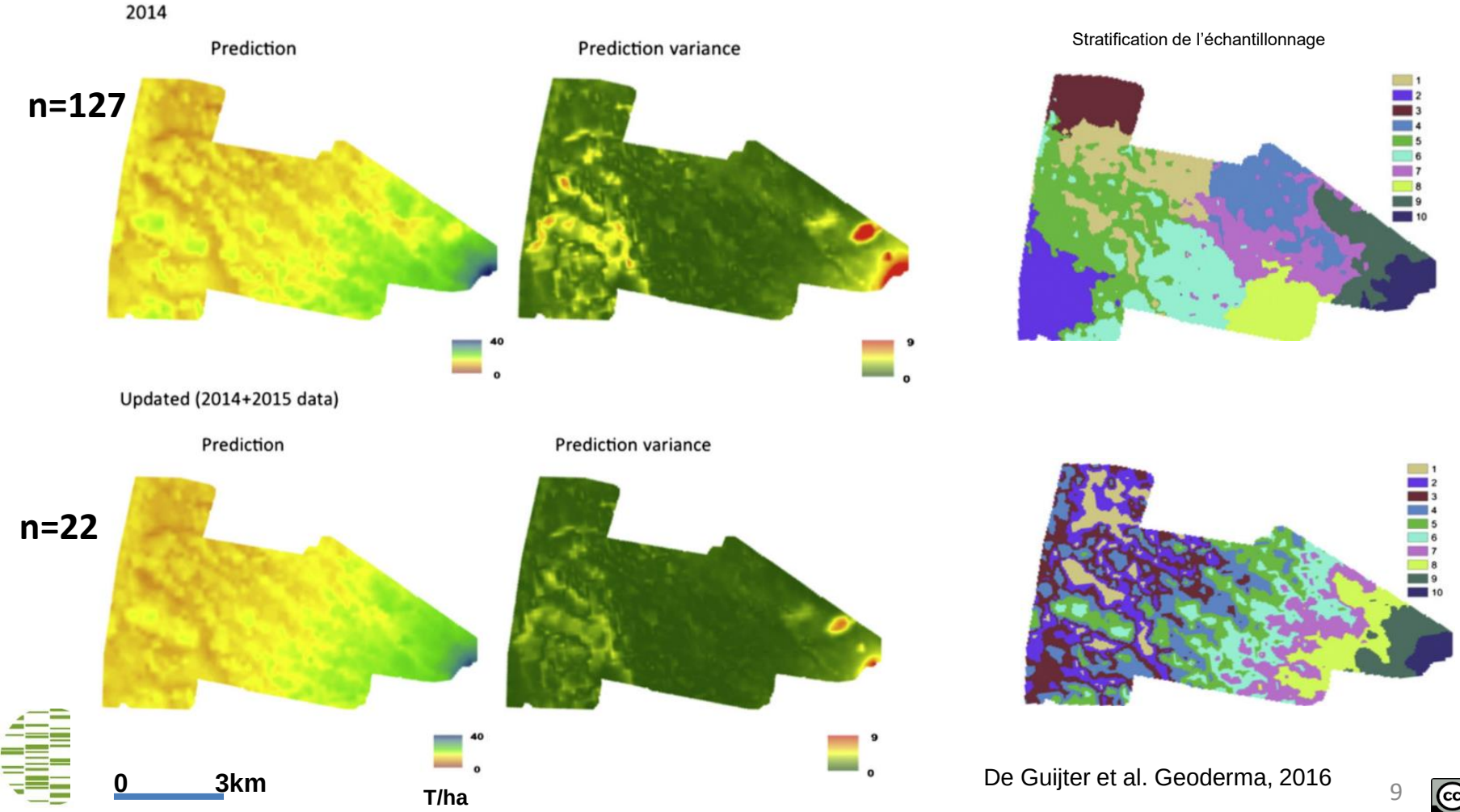
- Forte variabilité spatiale du COS et faibles variations temporelles
  - Comment échantillonner?
- Exemple : le dispositif RMQS
  - Echantillon composite
  - Densité apparente sur une fosse adjacente
  - Précision sur une estimation du stock de carbone = 11%



INRA SCIENCE & IMPACT
CC BY NC

Sur une exploitation agricole

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

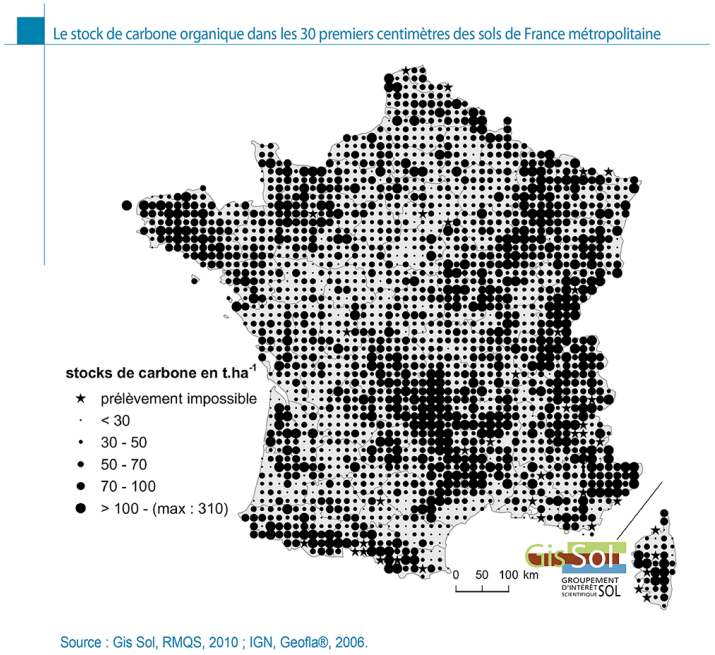


De Guijter et al. Geoderma, 2016

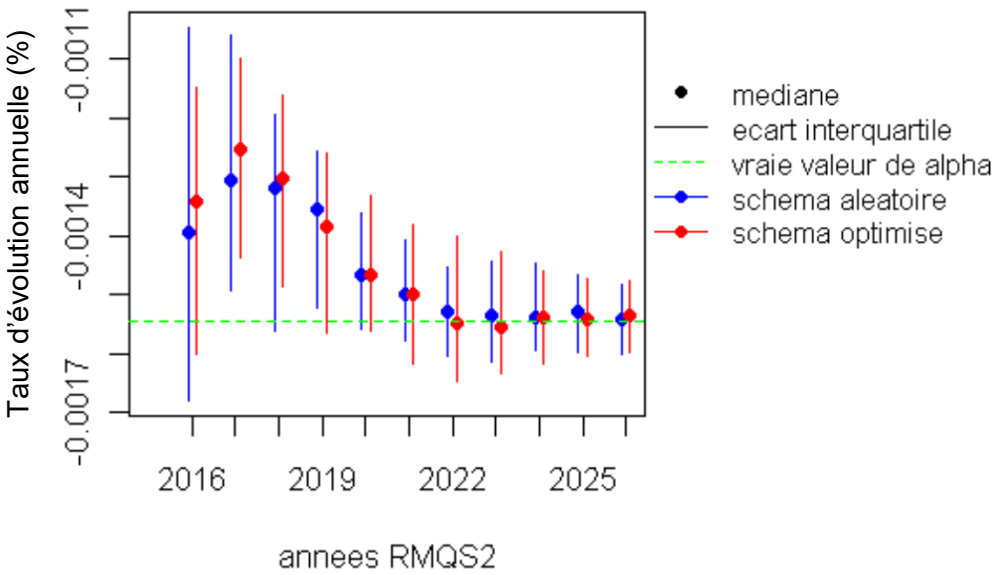
Au niveau national, le RMQS

-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



Performance sur terres cultivées



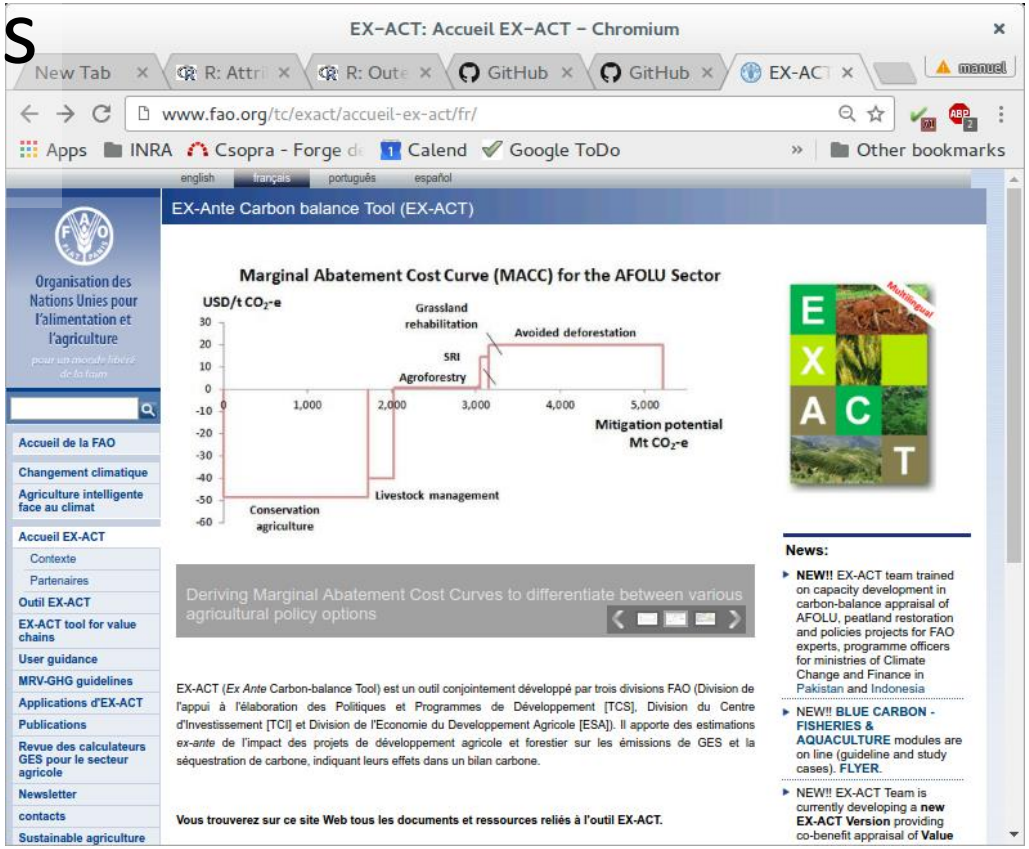
II. Estimations indirectes

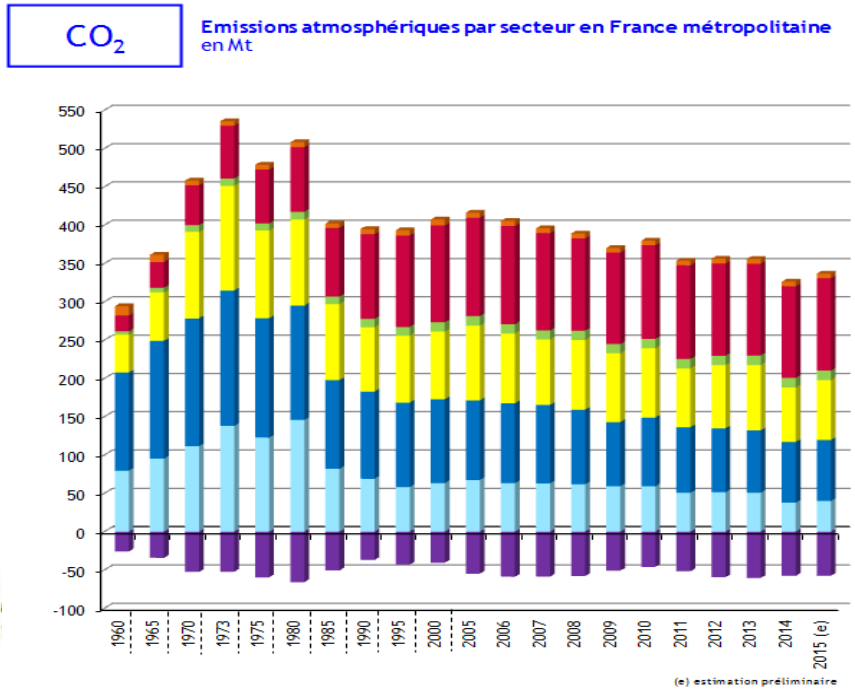
Approches empiriques : Tiers 1 et 2

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

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

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





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

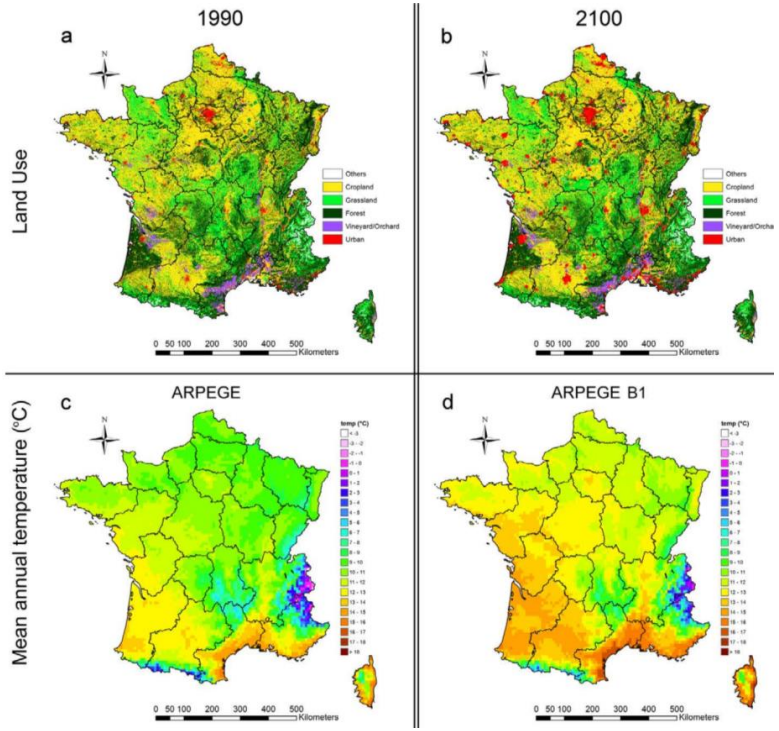
$$SOC_{ref} = SOC_{Occup,Reg}$$

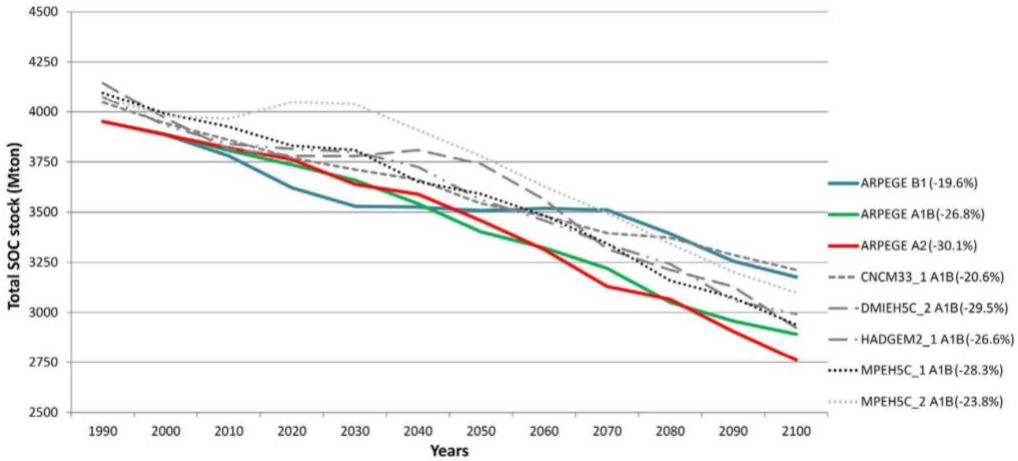
Transformation énergie | Industrie manufacturière | Résidentiel/tertiaire | Agriculture/sylviculture

Transport routier | Autres transports | UTCATF

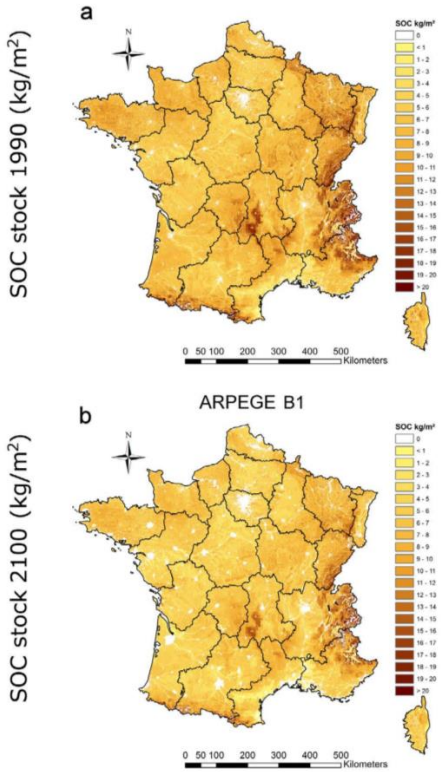
BY NC

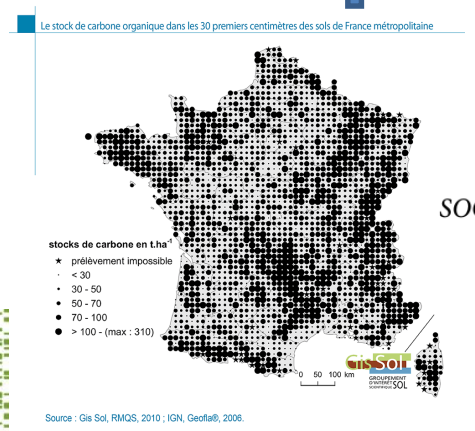
Modèles statistiques prédictifs





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



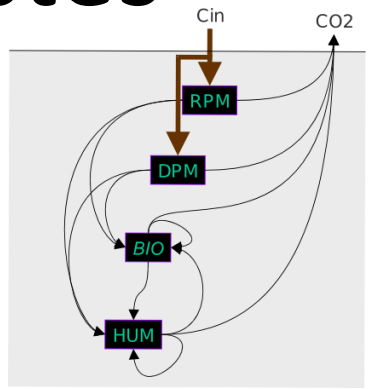


$$SOC = \underbrace{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i f_i}_{\text{linear}} + \underbrace{\sum_{j=1}^{n}\sum_{k>j}^{n} \beta_{j,k} f_j f_k}_{\text{first order interaction}} + \underbrace{\sum_{l=1}^{n}\sum_{m\neq l}^{n} \gamma_{l,m} f_l f_m^2}_{\text{second order interaction}} + \varepsilon$$

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

Modèles mécanistes

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



–Présents dans des modèles d'aide à la décision destinés aux exploitations (Comet-VR), et rarement utilisés pour les inventaires nationaux (quelques exceptions : Etats Unis et le Canada)

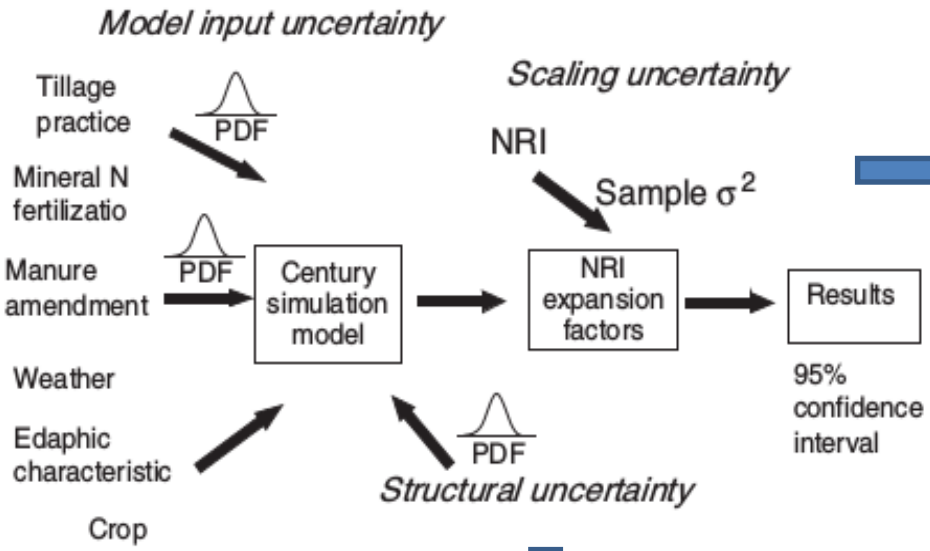
–De part leur représentation de certains processus :

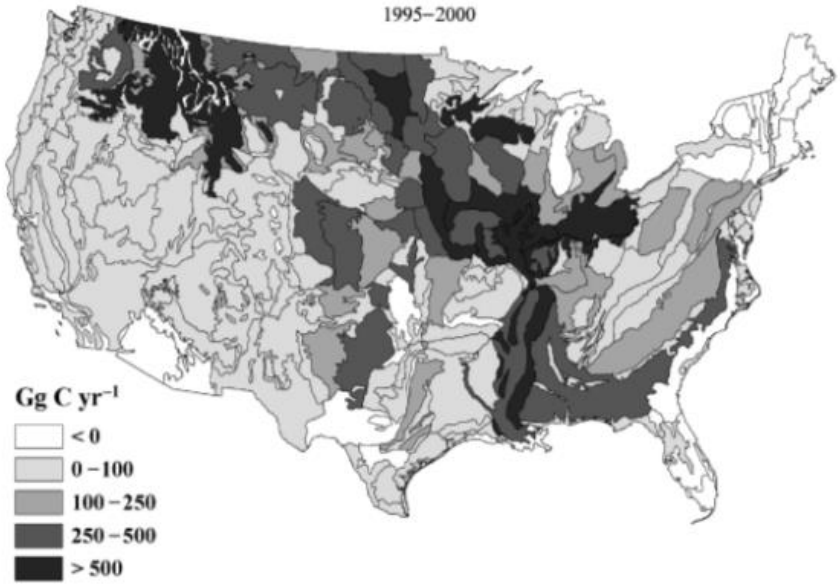
=> censés mieux s'adapter aux contextes locaux, sans reparamétrisation

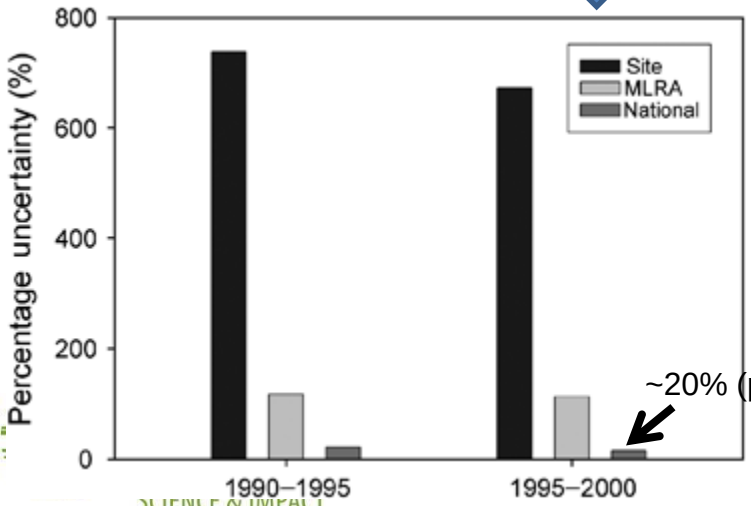
=> nécessitent souvent beaucoup de données d'entrée

–Reste la question de l'estimation des entrées de carbone => modèles de croissance végétale

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







Sites : individus (~121000) du NRI, National Resources Inventory
MLRA : Major land ressource areas ~ niveau régional

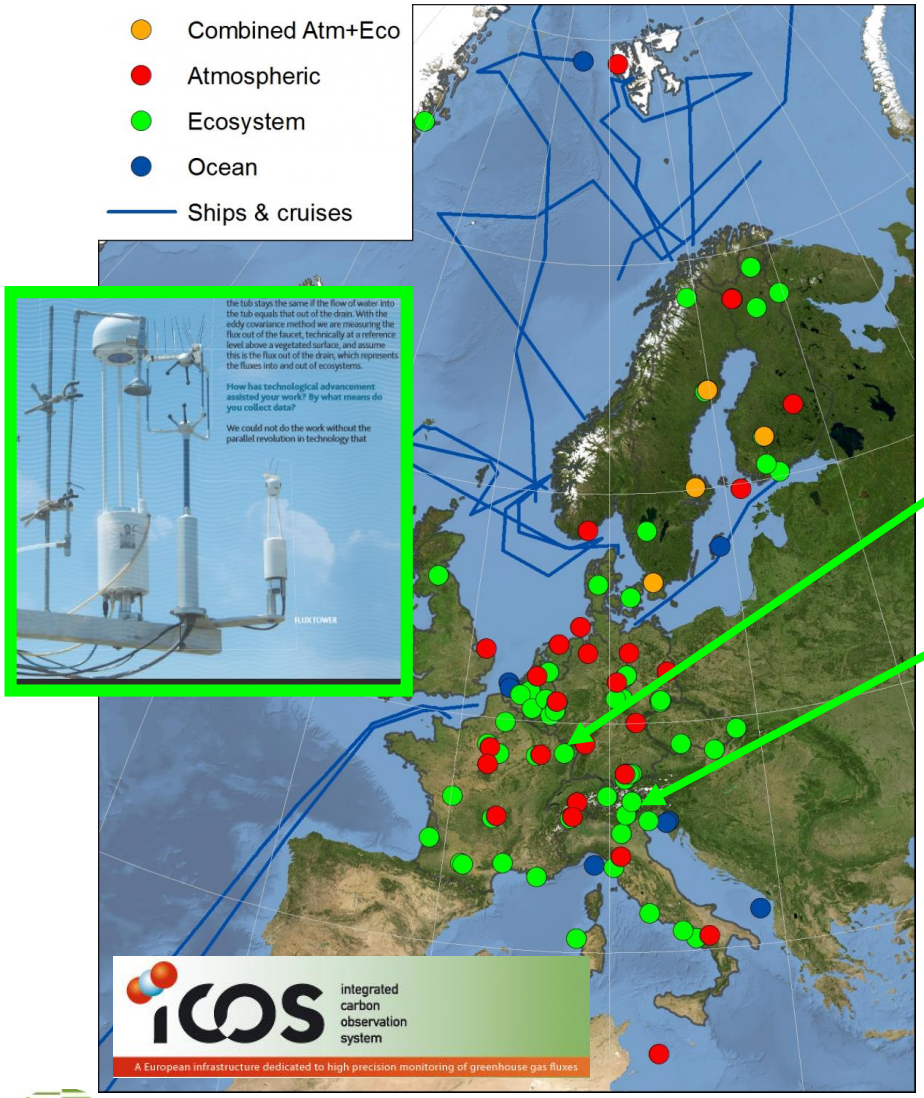
~20% (part de l'incertitude liée au modèle=98%)

Ogle et al. Glob. Chang. Biol. 2010

SCIENCE & IMPACT

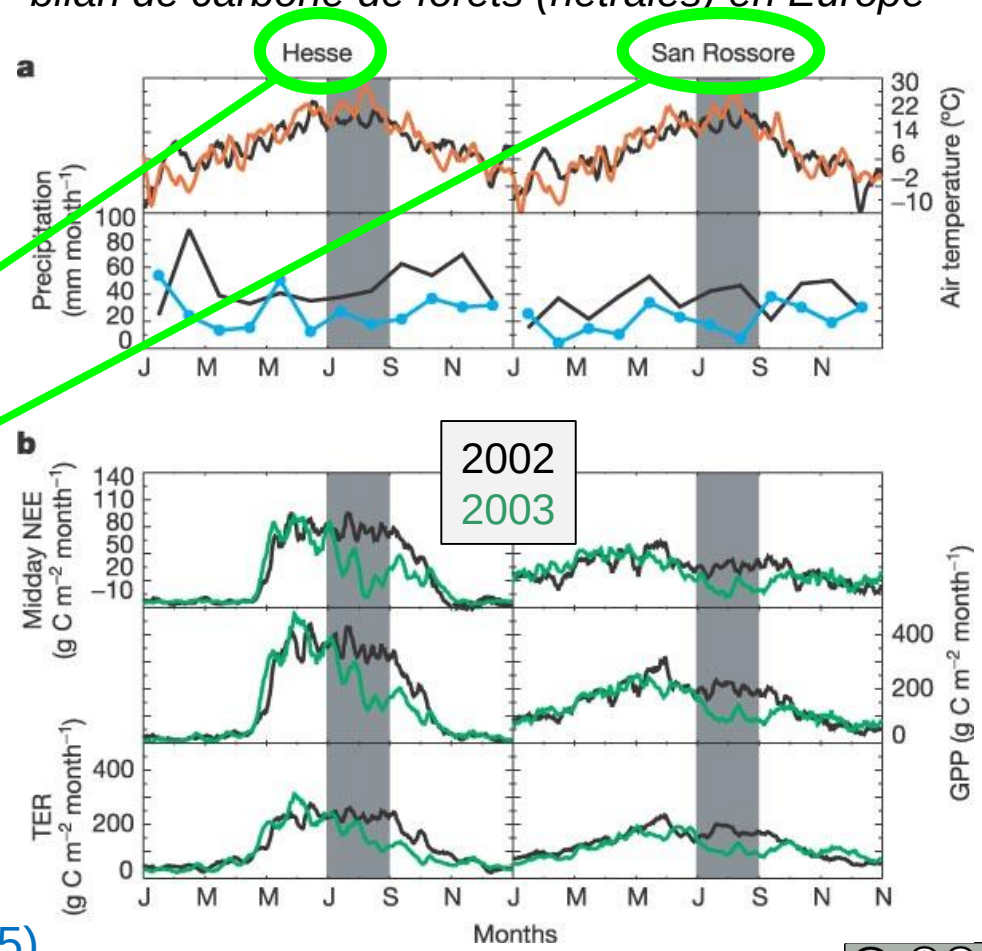
II. Quelques perspectives

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



→ Une analyse fine des flux de CO_2 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



(Ciais et al., Nature 2005)

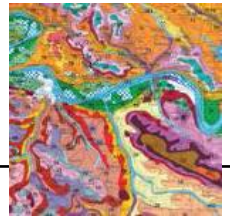
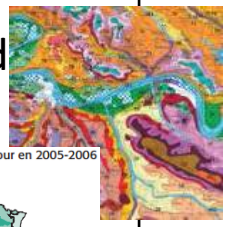
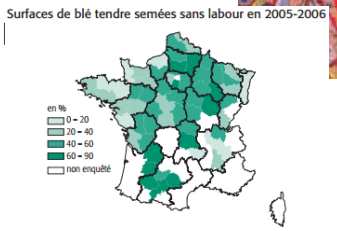
INRA SCIENCE & IMPACT

Complémentarités, besoins et choix d’une méthode

	méthodes directes	**Indirectes empiriques**	**Indirectes mécanistes**
Exploitation	Trop couteûses, 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	- 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	Nécessité d’estimations correctes des entrées de C

Adapté de Conant et al. 2011 (Front. Ecol. Environ.)

INRA SCIENCE & IMPACT
CC BY NC

	Méthodes directes	**Indirectes empiriques**	**Indirectes mécanistes**
Exploitation	Trop couteûses, mais… 	Non sauf si régionalisées	Oui, mais avec quelle précision hors des sites de suivi long terme?
Région, pays	Oui	Oui mais mauvais paramétrage de certains modes de	Tests sur le biais (ou le non bias) et la précision des modèles à ces échelles
Remarques	Le coût augmente si l'on augmente la résolution temporelle et thématique, Qestion de l'aduditionalité et du "leakage"	- Méthode par défaut en cas de données sols lacunaires - Nécessite quand même des données de gestion	Nécessite des d'estimation d entrées de C co  

INRA SCIENCE & IMPACT
CC BY NC

Conclusions

- la 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 teneurs, la CNS et la modélisation mécaniste

INRA SCIENCE & IMPACT

CC BY NC

Merci de votre attention!

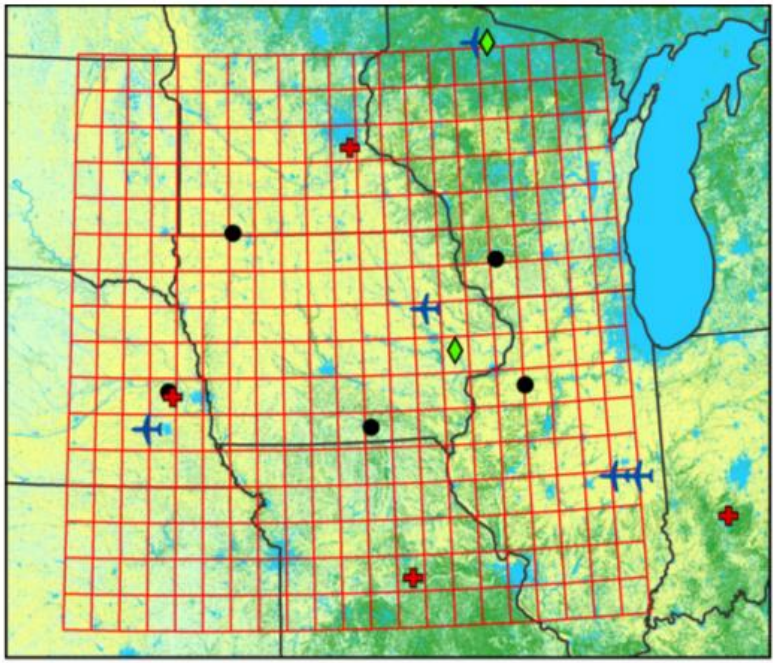
martial.bernoux@ird.fr
pierre.cellier@grignon.inra.fr
Dominique.Arrouays@inra.fr
nicolas.saby@inra.fr
Pierre.Cellier@inra.fr
christian.walter@agrocampus-ouest.fr
manuel.martin@inra.fr

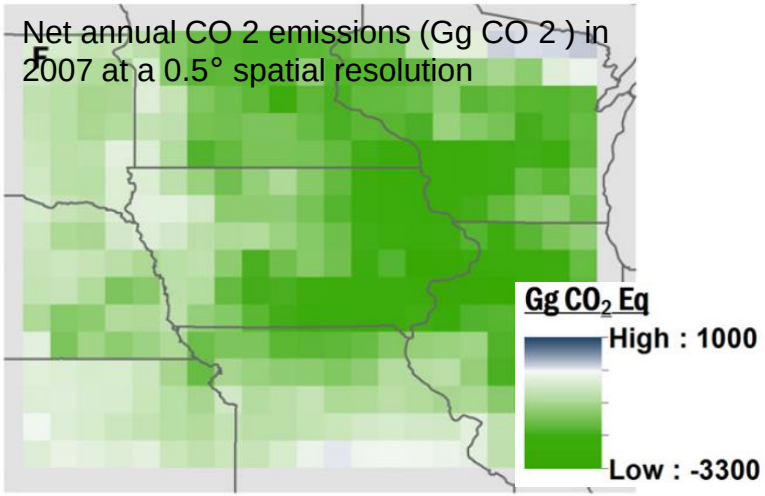
INRA SCIENCE & IMPACT

CC BY NC

Merci de votre attention!

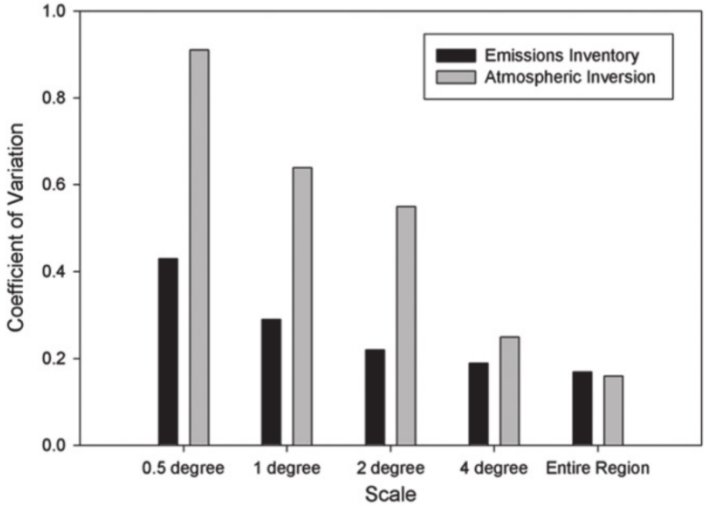
Exemple : l'inventaire d'émissions de GES des Etats-Unis (suite)





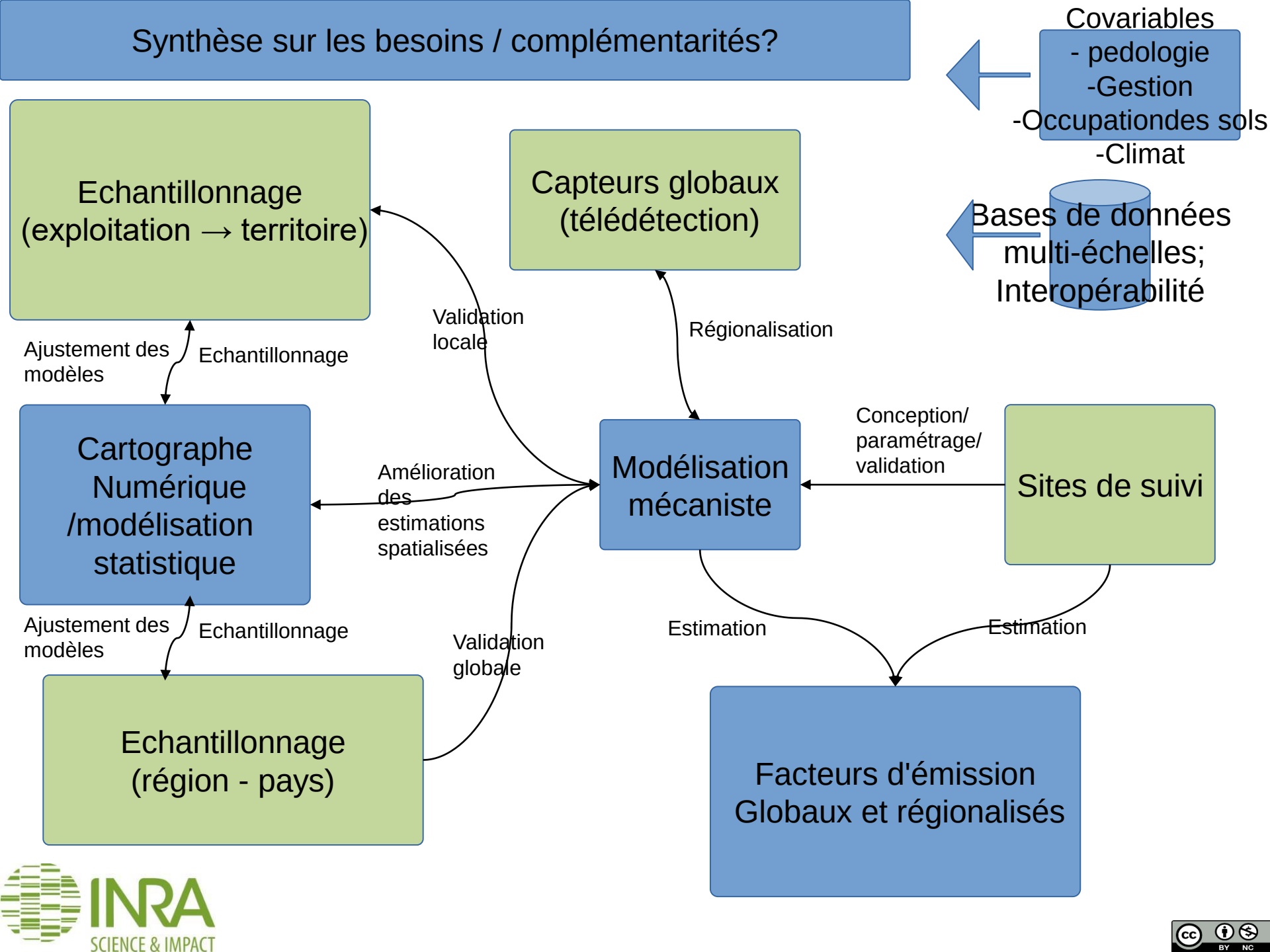
Tower Sites
- NOAA Tall Tower
- NOAA Aircraft Site
- Calibrated Ameriflux Tower
- Ring of Towers

LANDCOVER
- Cropland
- Forest
- Grassland
- Other



SCIENCE & IMPACT

Synthèse sur les besoins / complémentarités?



INRA SCIENCE & IMPACT

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

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

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

- 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

- 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

INRA SCIENCE & IMPACT

CC BY NC