

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève



Agro-Transfert
Ressources et Territoires



**PERFORMANCES DU MODÈLE D'AMG
SUR UN RÉSEAU DE PARCELLES
DES CANTONS DE GENÈVE ET DE VAUD
GT FORBS – COMIFER – 12/10/2023**



Jean-Christophe MOUNY (Ingénieur – AGT-RT)
Amélie REGEF (Stagiaire 2^e année – AGT-RT) ;
Julien Martin CLARK (Assistant HES – HEPIA)
Annie DUPARQUE (Chargée de missions – AGT-RT) ;
Pascal BOIVIN (Professeur HES – HEPIA) ;



Partenaires financiers



Région
Hauts-de-France



CONTEXTE ET OBJECTIFS

- Contexte **gestion des sols et du carbone** impulsé par l'initiative **4pour1000**
- **Développement des marchés Carbone** (certificats CO₂), fondés, notamment sur le **potentiel de séquestration de Carbone Organique dans les Sols (COS)** .
- Evaluations nécessaires des stocks de COS et détection d'évolution de ces stocks sur 5 à 10 ans
- Et aussi, **besoins d'outils d'aide à la décision** pour gérer la mise en place des pratiques innovantes favorables au stockage carbone => **besoin d'outils de modélisation**
- **Besoin de jeux de données de paramétrage et de validation** pour la mise au point de ces OAD (et modèles intégrés)
- Ces **jeux de données sont rares, difficiles à réunir** en intégrant toutes les exigences de paramétrage de modèles de Stockage de carbone dans les sols **sur du MT/LT**
- BdD de paramétrage le plus souvent établies à partir de **données obtenues en conditions expérimentales**

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Question initiale :

Le modèle de bilan humique AMG :

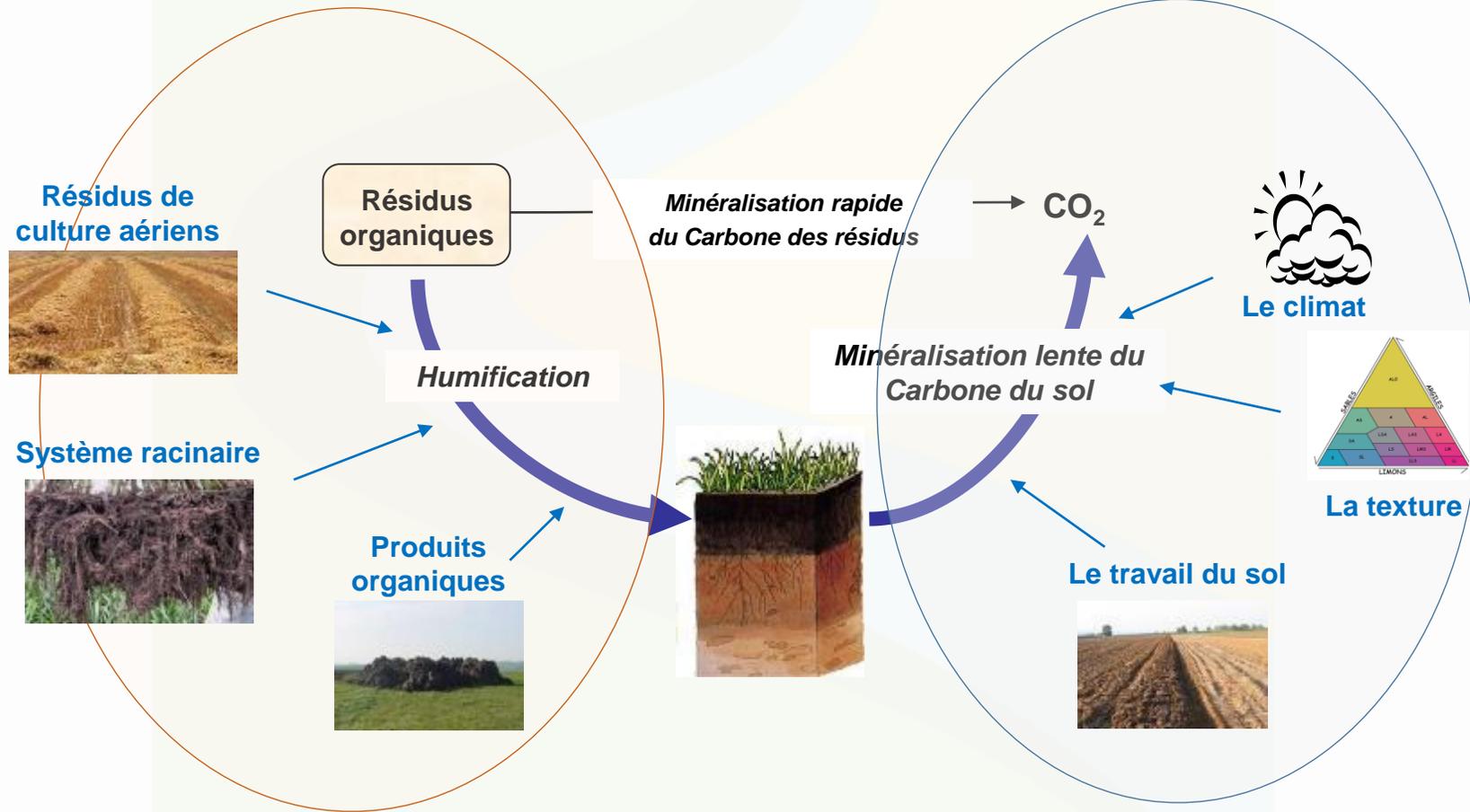
- => évalué en France (Andriulo et al, 1999 ; Saffih et Mary, 2008 ; Clivot et al, 2019) et en Europe (Farina et al, 2020) sur **des jeux de données issus de suivis précis** réalisés en **plates-formes d'essais de longue durée**.
- => **Pas/peu d'évaluation** de ses performances dans le **cas de parcelles conduites en Agriculture de Conservation des Sols** (travail du sol réduit ; couverts fréquents à fortes biomasses)
- => **Les jeux de données d'essais LT (Long Terme) intégrant ces pratiques sont très rares.**
- => **La diversité des situations culturelles représentées par les essais de long terme disponibles pour évaluer le modèle est limitée vs la réalité de terrain**

Dans quelle mesure peut-on s'appuyer sur des données plus frustrées, issues de suivis réalisés en grand nombre, dans des parcelles agricoles pour prédire les stocks de carbone organique à moyen/long terme des sols agricoles avec le modèle AMG ?

LE BILAN HUMIQUE

les entrées de MO

les sorties de MO



LE MODÈLE AMG*

Un modèle simple de calcul de bilan humique à la parcelle

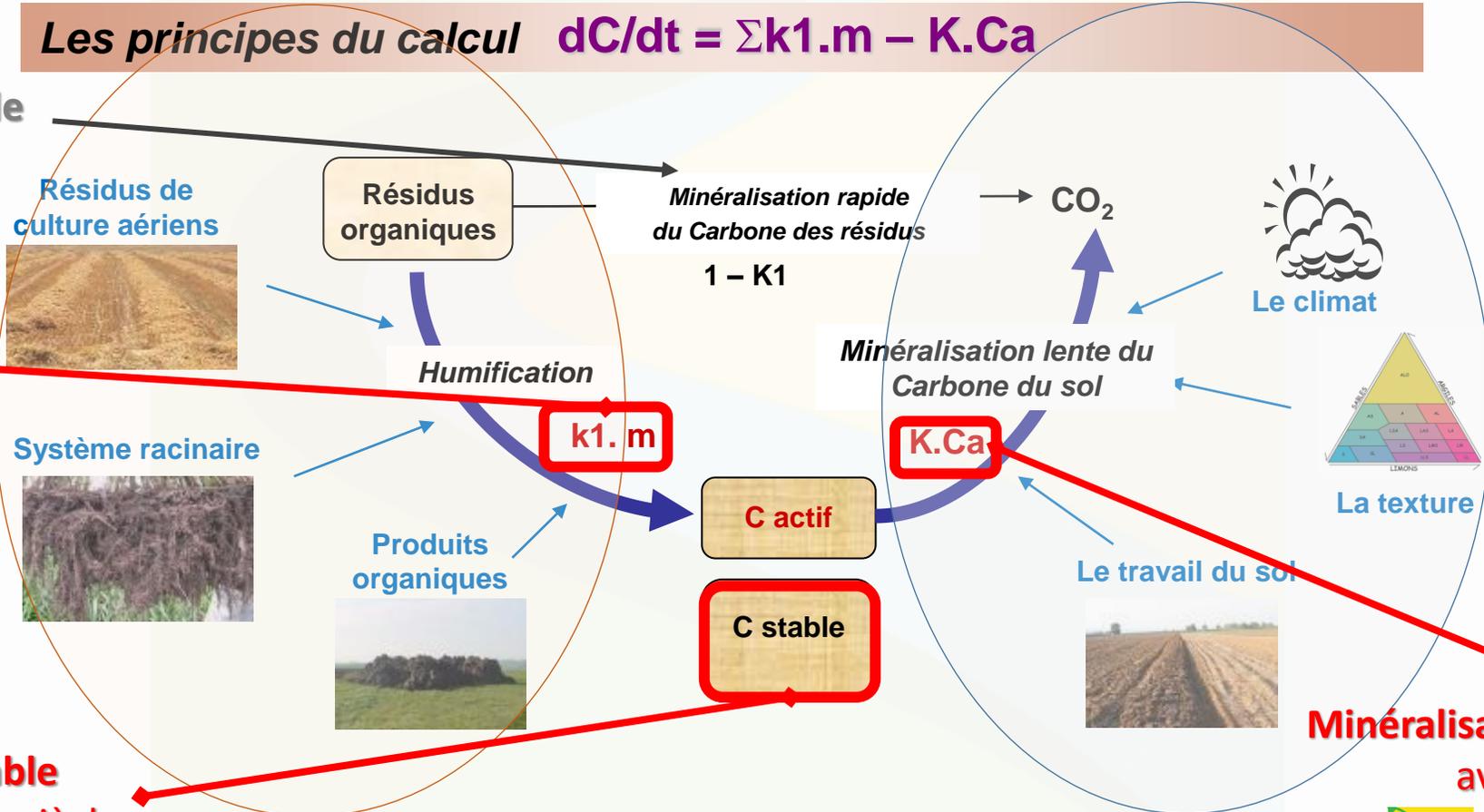
les entrées de Carbone

les sorties de Carbone

Les principes du calcul $dC/dt = \Sigma k1.m - K.Ca$

Minéralisation rapide

Humification du C frais qui crée des apports au C actif initial par les entrées de C humifiées à l'échelle de l'année



Partie stable à l'échelle du siècle

Minéralisation lente du C actif avec le temps

*AMG, du nom de ses auteurs: Andriulo, Mary, Guérif - INRA de LAON



www.simeos-amg.org

AMG : PRÉSENTATION GÉNÉRALE

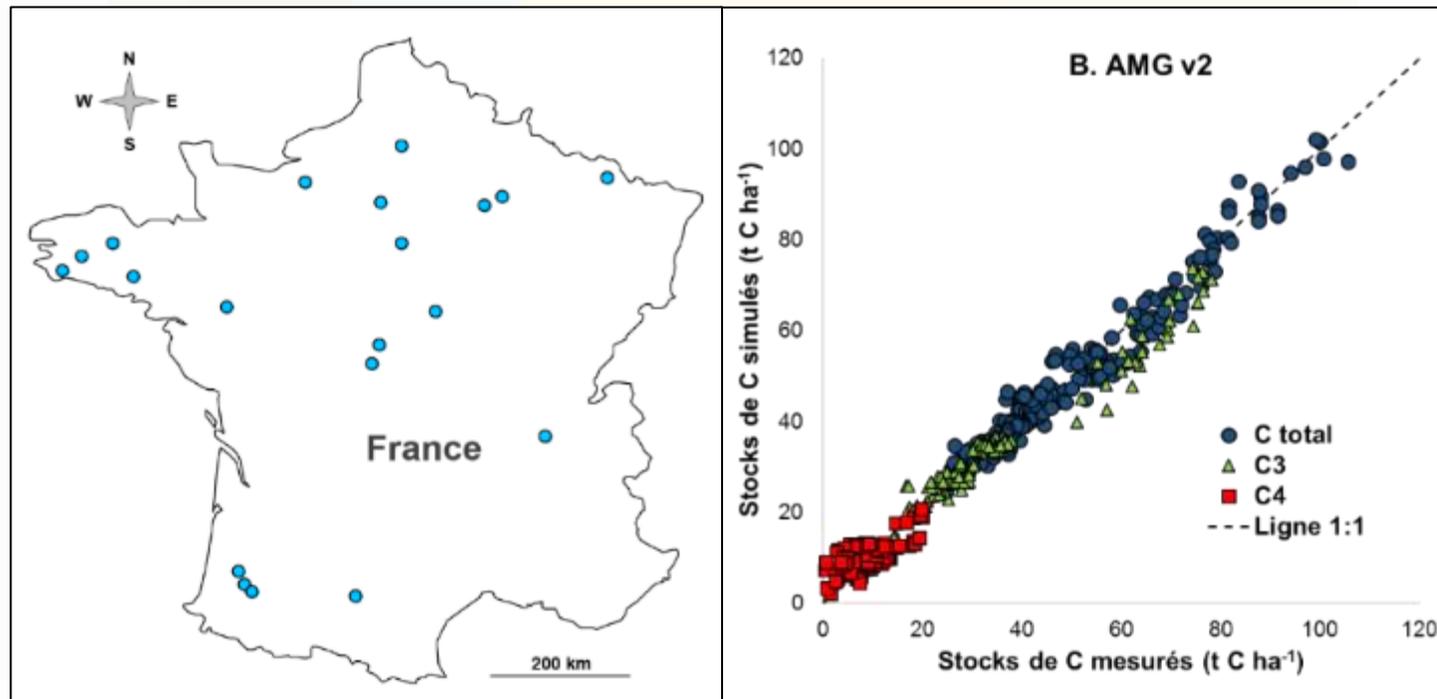
Un modèle simple et robuste de calcul de bilan humique à la parcelle

➤ Robustesse du modèle et de l'outil

- Erreur relative de 5,3%
comparable à l'erreur de mesure des stocks de C org (CV = 4,3%)



20 sites d'essais de longue durée (8 à 41 ans entre 1970 et 2015 ; 60 traitements)



Clivot et al., 2019



h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

PRÉSENTATION ET ORIGINE DES DONNÉES

Dupla, et al., 2022

Le jeu de données

120 parcelles agriculteurs suivies
observations & mesurées
> 107 parcelles simulables

- **Analyses obligatoire et réglementaire tous les 10 ans depuis 1993 en Suisse**
 - Prélèvements par les agriculteurs selon un protocole défini
 - Prélèvements parallèles (vérifications)
- **Données collectées et valorisées parmi 3000 parcelles (Dupla, et al., 2022)**

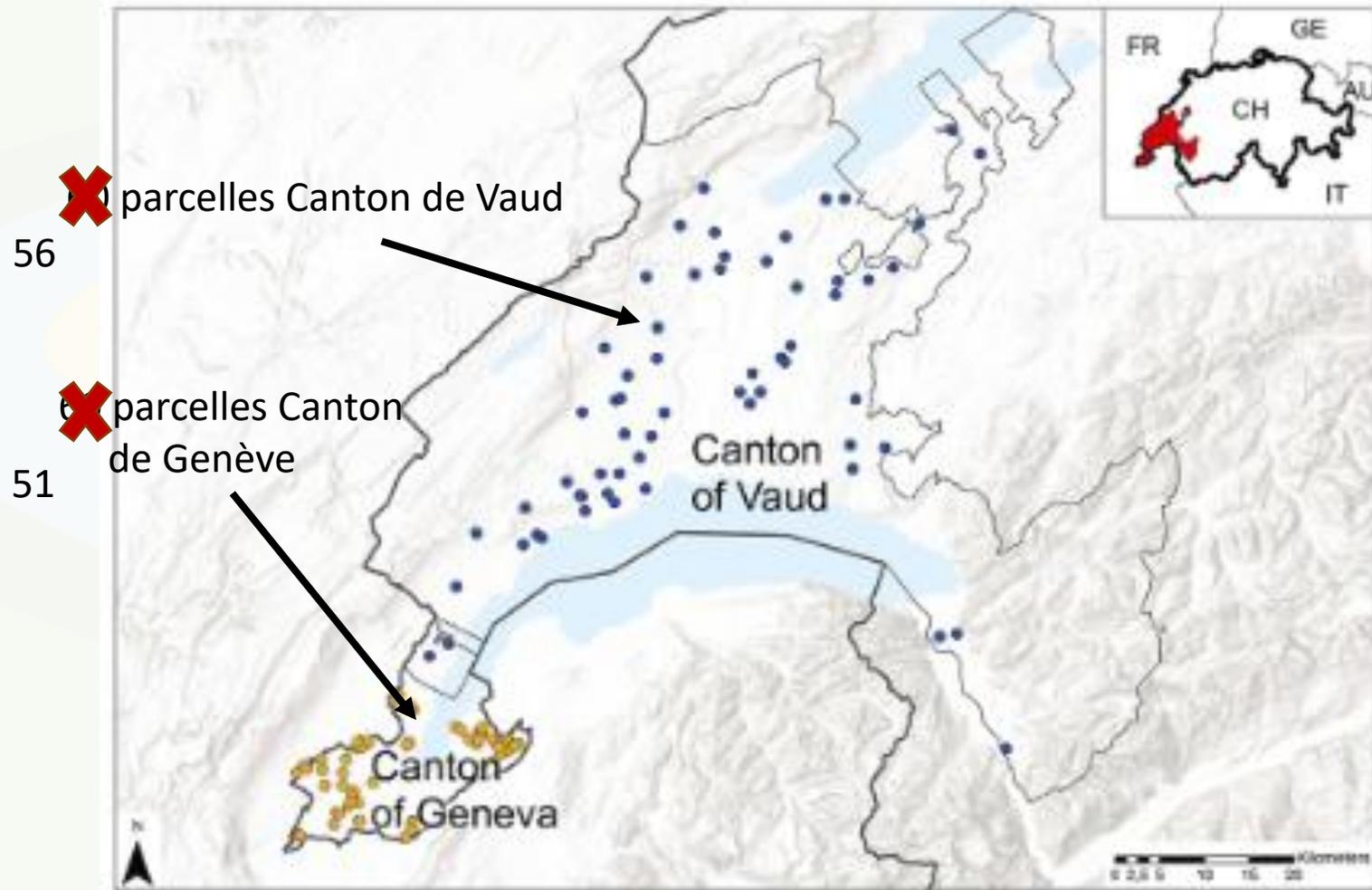


FIGURE 1 | Map of the study area and location of the sampled farms.

PRÉSENTATION ET ORIGINE DES DONNÉES

Le jeu de données

56 parcelles Canton de Vaud		51 parcelles Canton de Genève	
12 en majorité en « prairies » (temporaires MLT)		5 en majorité en « prairies » (temporaires MLT)	
<i>Classes d'intensité de travail du sol (STIR)</i>		<i>Classes d'intensité de travail du sol (STIR)</i>	
]0;30]	1	]0;30]	1
]30;80]	4	]30;80]	3
]80;140]	6	]80;140]	1
]140;200]	1	]140;200]	0
44 en majorité en « grandes cultures »		46 en majorité en « grandes cultures »	
<i>Classes d'intensité de travail du sol (STIR)</i>		<i>Classes d'intensité de travail du sol (STIR)</i>	
]0;30]	4	]0;30]	9
]30;80]	10	]30;80]	5
]80;140]	23	]80;140]	15
]140;200]	7	]140;200]	17

PRÉSENTATION ET ORIGINE DES DONNÉES

Distribution des données disponibles dans le jeu de données Suisses et comparaison avec la base de données de validation d'AMG « AIAL » en France*

**(Clivot et al., 2019)*

		Minimum	1 ^{er} quartile	Médiane	Moyenne	3 ^{ème} quartile	Maximum	Test sur les variances	Test sur les moyennes
Argile (%)	France	4.3	15.2	24.4	19.8	24.8	30.8	Oui	Oui
	Suisse	8.9	17.6	21	22.3	26.2	54.5		
pH	France	5.55	6.3	6.8	6.94	7.63	8.3	Oui	Non
	Suisse	4.8	6.63	7.2	7.04	7.5	8		
Profondeur de travail du sol	France	4	22	25	23.6	30	30	-	-
	Suisse	0	9.2	16.4	14.7	20.6	30		
Stock de carbone initial (T/ha)	France	24.8	39.2	44.9	49.9	60.2	100.7	Non	Oui
	Suisse	26.6	36.1	41.5	43.3	49.7	71.2		

PRÉSENTATION ET ORIGINE DES DONNÉES

Liste des données d'entrée AMG : ce qui est disponible et ce qu'il manque

Sorties de carbone

Température
Cumul d'ETP
Cumul de pluies

Vitesse de minéralisation

Argiles vraies
Calcaire
C/N
pH

Densité apparente TF
Profondeur
Volume de cailloux
Teneur en COS

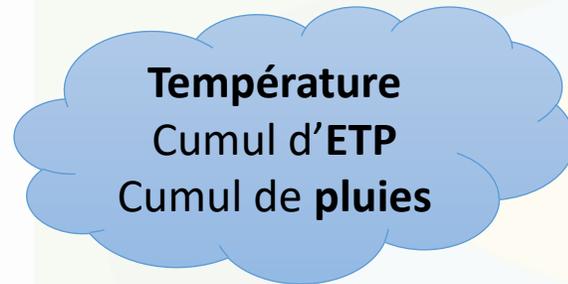
Stock de carbone (initial et à 10 ans)

PRÉSENTATION ET ORIGINE DES DONNÉES

Liste des données d'entrée AMG : ce qui est disponible et ce qu'il manque

Sorties de carbone

Stations météo proches
Agri4Cast (25km x 25km)
Points GPS



Profondeur constante 20cm
mais pas à Masse de Terre Equivalente

F.P.T. Stics
(Beaudoin, et al.)

10

Nul si pH < 6,8

Régression au-delà
(données suisses)

Argiles vraies

Calcaire

C/N

pH

Densité apparente TF

Profondeur

Volume de cailloux

Teneur en COS

Régression d'après Johannes 2016

0-20 cm

5%

1,71

Teneur en MOS

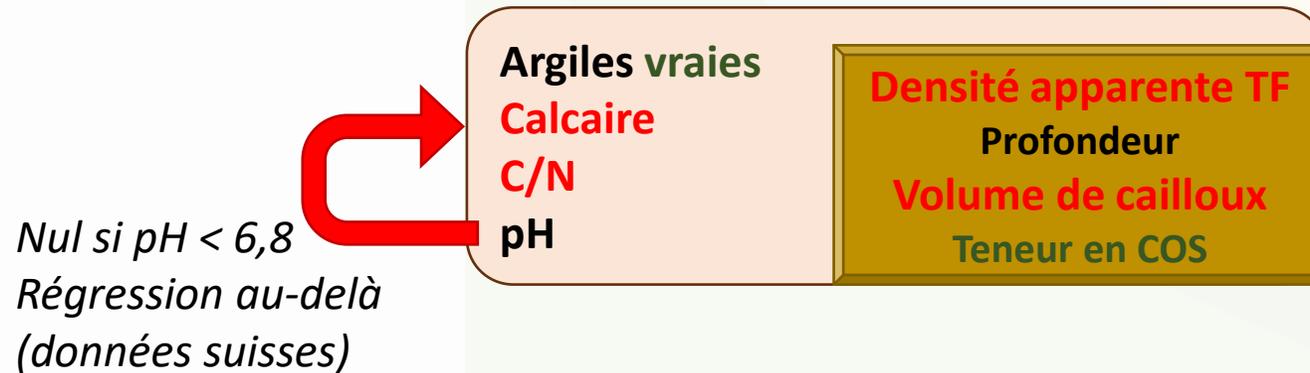
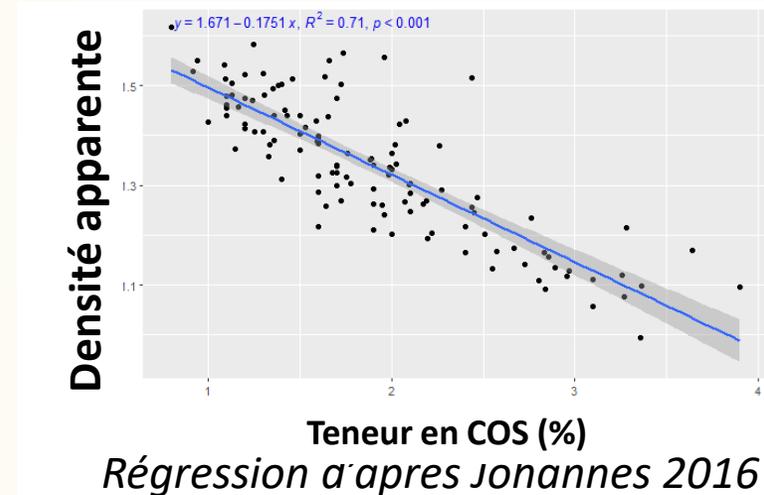
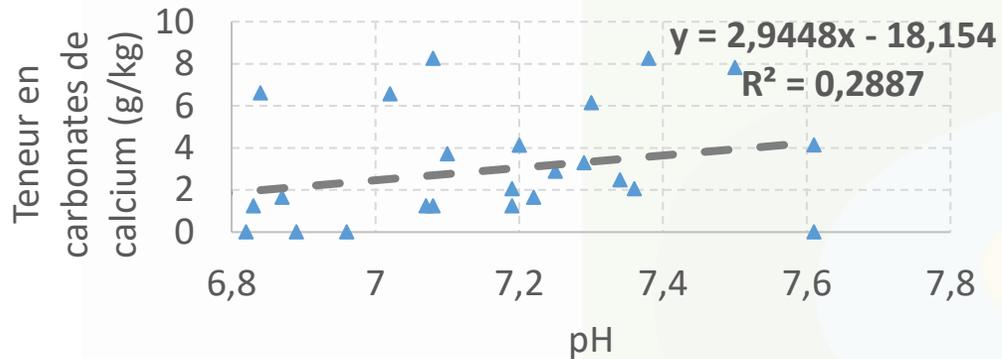
Non connu, entièrement estimé

Pas connues en totalité, une partie a dû être estimé

Calculé à partir de données connues ou estimées

PRÉSENTATION ET ORIGINE DES DONNÉES

Liste des données d'entrée AMG : ce qui est disponible et ce qu'il manque



Non connu, entièrement estimé

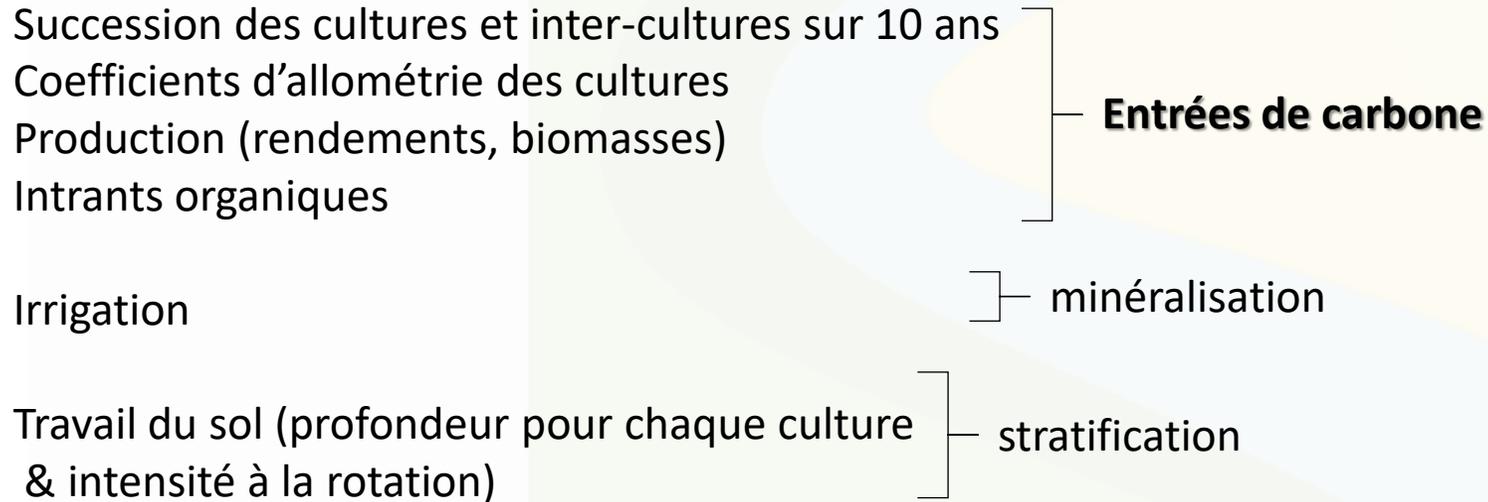
Pas connues en totalité, une partie a dû être estimé

Calculé à partir de données connues ou estimées

PRÉSENTATION ET ORIGINE DES DONNÉES

Liste des données d'entrée AMG : ce qui est disponible et ce qu'il manque

Système de culture et pratiques



PRÉSENTATION ET ORIGINE DES DONNÉES

Liste des données d'entrée AMG : ce qui est disponible et ce qu'il manque

Entrées de carbone

Succession des cultures et inter-cultures sur +/- 10 ans

Coefficients d'allométrie des cultures

Production (rendements, biomasses)

Intrants organiques

Irrigation

Travail du sol (profondeur pour chaque culture & intensité à la rotation)

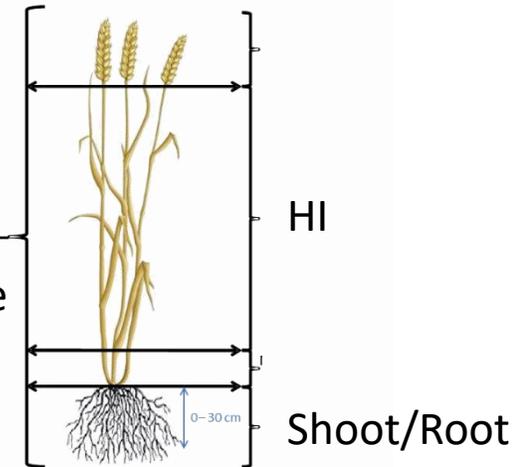
Expertise (dont MERCI) et 1 expérimentation suisse

Statistiques annuelles nationales par culture

Paramètres AMG (cf. DOI)

Parfois au-delà de 20cm

STIR



Tabac

Amaranthe

Maïs semence

...

Prairie : Keel, et al., 2019

> 2,27 tChum/ha

Non connu, entièrement estimé

Pas connues en totalité, une partie a dû être estimé

Calculé à partir de données connues ou estimées

RÉSULTATS AVEC PREMIER PARAMÉTRAGE

Résultats prometteurs

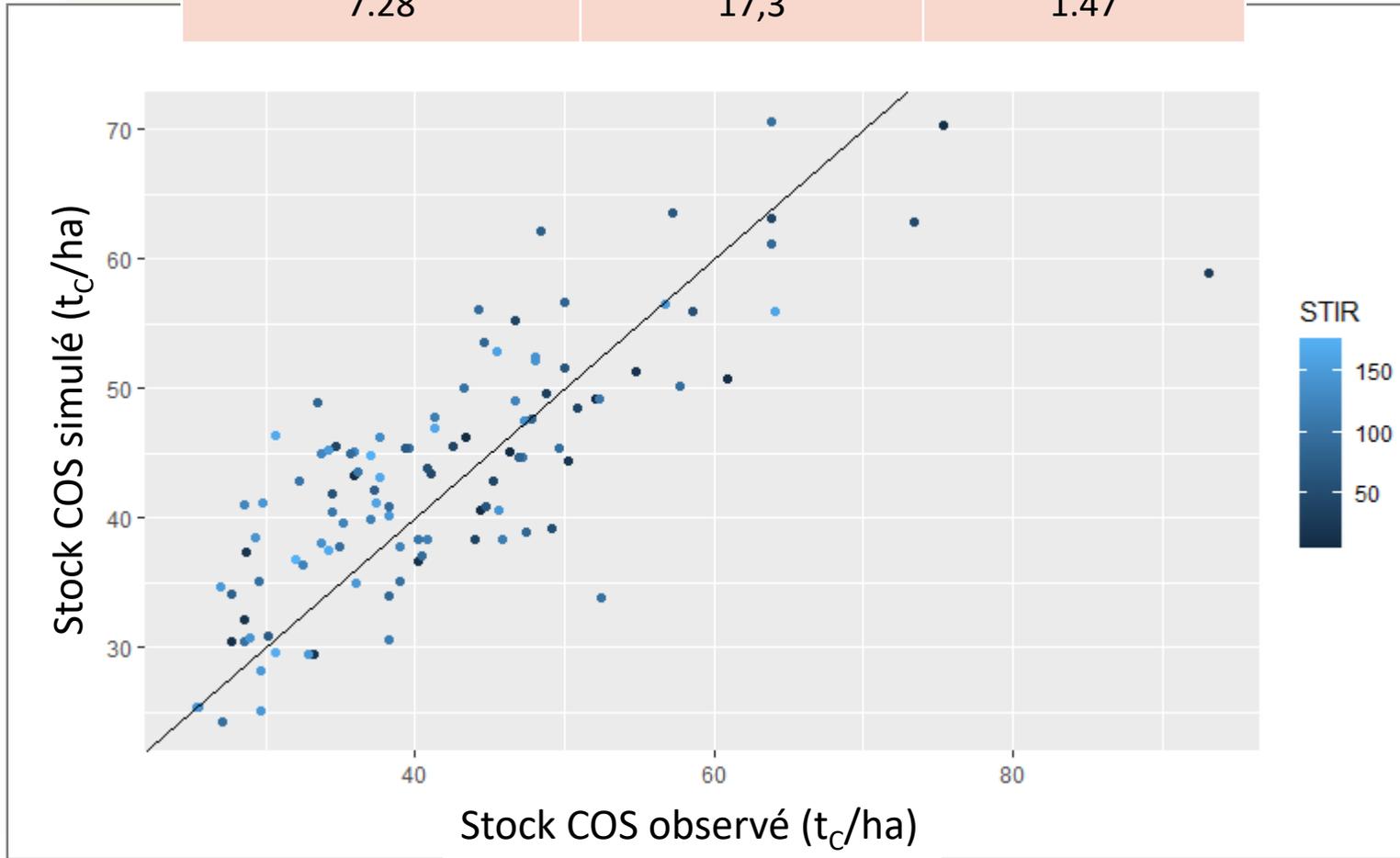
Erreur type (RMSE – tC/ha)	Erreur relative (RRMSE - %)	Erreur moyenne (Biais – tC/ha)
7.28	17,3	1.47

Malgré toutes les incertitudes en entrée

Spearman

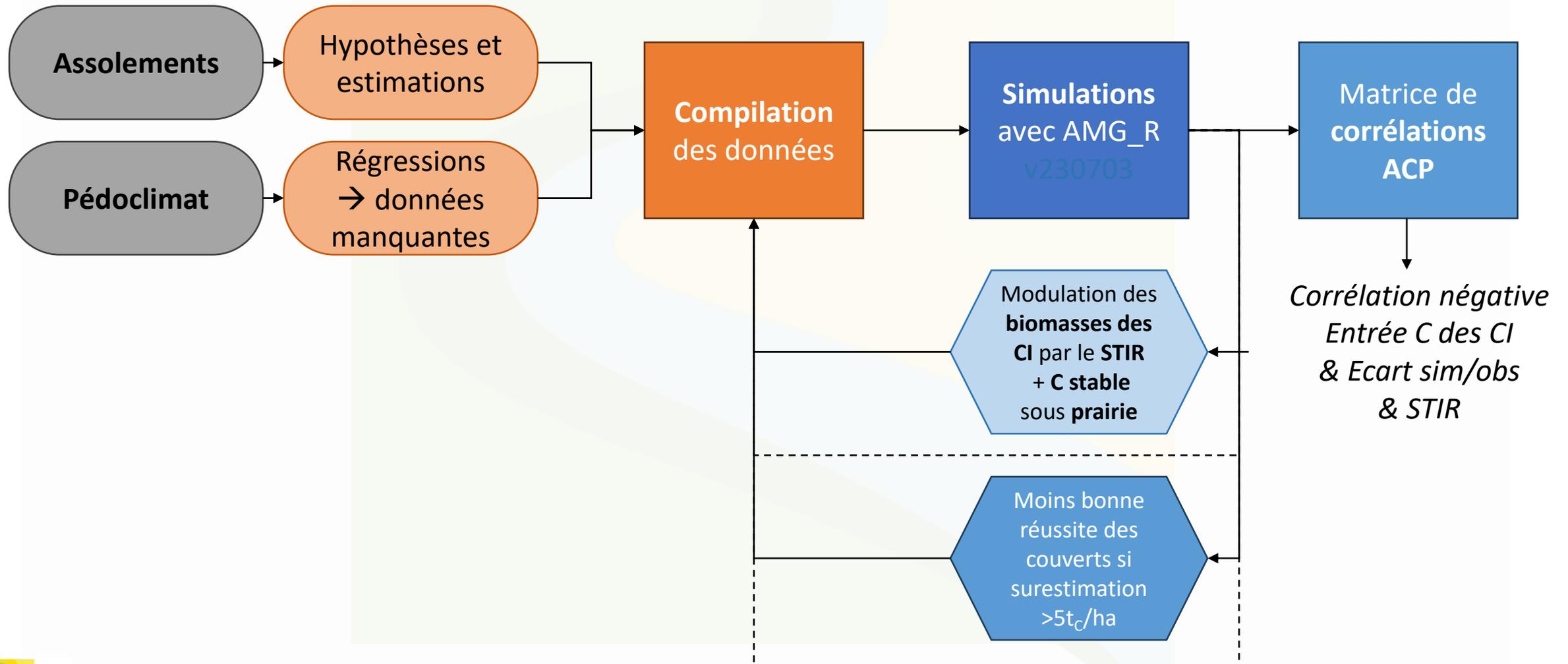
ACP

L'écart
simulé-observé sur
les stocks à 10 ans
est négativement
corrélé avec le STIR



Les entrées de
carbone sont
fortement
anti-corrélées
avec le STIR

DÉMARCHE D'ESTIMATION DES DONNÉES D'ENTRÉE MANQUANTES

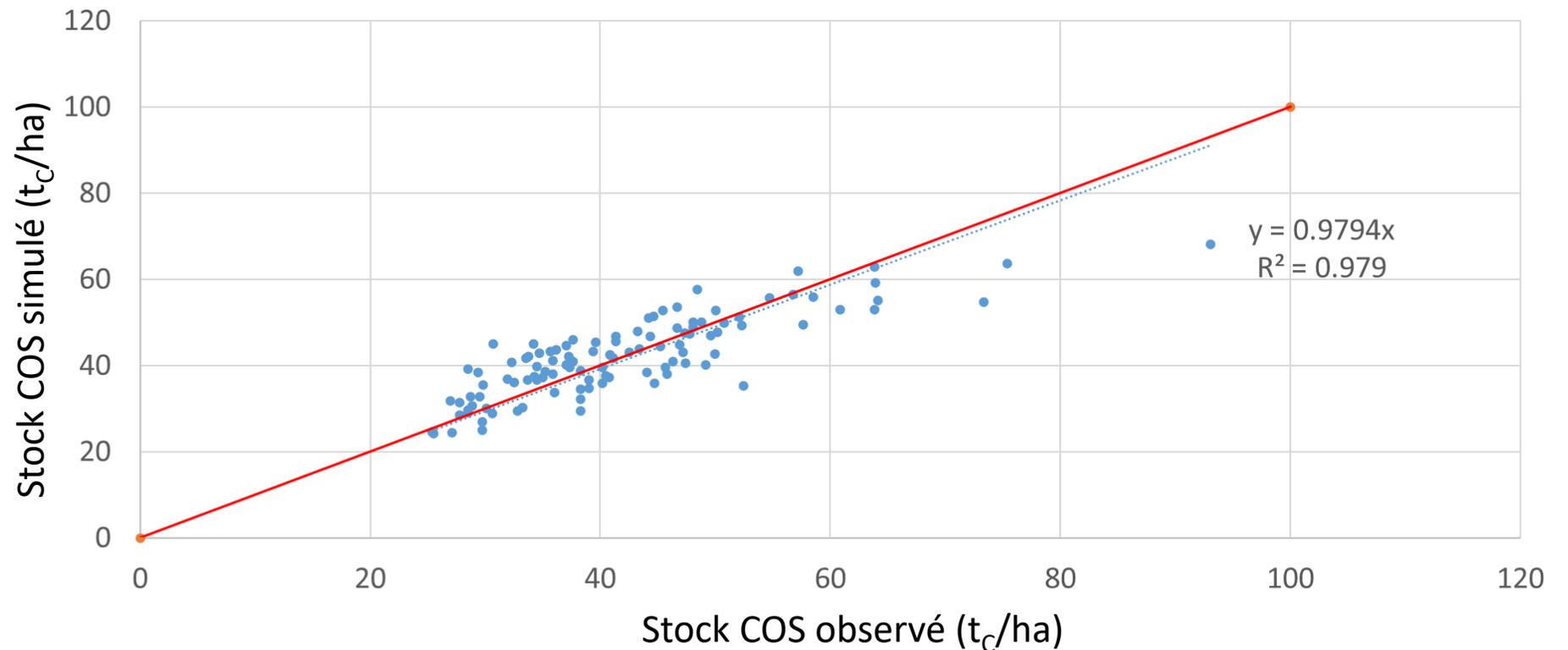


RÉSULTATS AVEC DERNIER PARAMÉTRAGE EN DATE

Erreur type (RMSE – tC/ha)	Erreur relative (RRMSE - %)	Erreur moyenne (Biais – tC/ha)
6,30	15	0,12

*33% de la variation de stock
à ~10 ans
est expliquée avec AMG
sur ce jeu de données*

*Ecart encore un peu corrélés
négativement au STIR*



RÉSULTATS FINAUX

	Moyenne du stock observé à +/- 10 ans (tC/ha)	Erreur type (RMSE – tC/ha)	Erreur relative (RRMSE - %)	Erreur moyenne (Biais – tC/ha)
1 ^{ère} simulation : données brutes	41,98 T/ha	7.28 T/ha	17.3	1.47
2 ^e simulation : modulation des rendements des CC par le STIR et différence de Ps entre les parcelles possédant beaucoup de prairie et les autres en grandes cultures		6,92 T/ha	16.5	0,88
3 ^e simulation : ajustements de la 1 ^{ère} simulation et diminution des rendements des CC des parcelles fortement surestimées (+5T/ha)		6,30 T/ha	15.0	0.12
4 ^e simulation : correction du point initial et de la durée de simulation		6.64 T/ha	16.0	- 0.1

Poursuivre de l'amélioration de l'estimation des données d'entrée manquantes sur les bonnes durées

SENSIBILITÉ « OAT » DU MODÈLE AUX DONNÉES D'ENTRÉE

OAT = One factor At Time = paramètres un par un

Test de la sensibilité de l'évolution du SOC à la variation de différents paramètres :

- Rendement des cultures principales, des couverts et des cultures dérobées : +/- 20 %
- DA (de 1,2 à 1,7 : environ 1,4 +/- 20 %)
- Taux de cailloux dans les sols (de 0 à 10% : 5% +/- 100% de 5%)

Impact important de la DA :

+/- 20% de Densité apparente au début de la simulation entraîne des variations de stock à 10 ans de +/- 6,5 T/ha en moyenne

Impact plus faible du rendement des cultures principales :

+/- 20% de rendement entraîne des variations de stock à 10 ans de seulement +/- 1T/ha en moyenne
(idem biomasses de couverts)

Impact plus faible du taux de d'éléments grossiers dans le sol

Une variation du taux d'EG de 0 à 10% entraîne des variations de stock à 10 ans de seulement +/- 1,6 T/ha en moyenne

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

- **Sur le grand nombre : résultats assez bons des simulations des situations Suisses en parcelles agricoles avec AMG, malgré de nombreuses données « clés » inconnues**
 - ❖ Rendements / Biomasses / Densités apparentes en TF / Taux d'éléments grossiers / Calcaire / ...
- **Le modèle AMG semble assez robuste** pour être utilisé pour simuler et prédire les stocks de carbone organique des sols à 10 ans **dans le cas de parcelles agricoles** conduites avec des systèmes de culture variés et **suivies en grand nombre, même si la qualité des données d'entrée est limitée**

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

➤ Néanmoins, les prédictions du modèle seront améliorées si :

- On peut **augmenter la précision et la fréquence d'enregistrement des données d'entrées « clés »** (rendement des cultures, estimation biomasses CI, restitution de CO au sol par les prairies , analyse de terre complètes, ...) **selon le rapport « coût / gain de précision » acceptable**
- On peut appuyer les estimations nécessaires sur des **références** (ex. : MERCI) ou des **relations robustes pré-établies** notamment régionalement (ex : biomasse estimée des CI = f(STIR)).
- On s'intéresse à **l'analyse de l'erreur Stocks Simulés-Stocks observés**, notamment à la **part de cette erreur explicable via le STIR** => relation à examiner sur un grand nombre d'observations, de parcelles

Un travail d'analyse des résultats encore en cours et à poursuivre entre HEPIA et AGT

=> enrichir l'approche

=> envisager les cadres et échelles d'applications les + appropriés pour l'aide à la décision



Agro-Transfert
Ressources et Territoires

Siège social
2 chaussée Brunehaut
80200 Estrées-Mons
Tél. : 03 22 97 89 28

Bureaux
56 avenue Roger Salengro
62223 Saint-Laurent-Blangy
Tél. : 03 62 61 42 20

contact@agro-transfert-rt.org
n° Siret : 353 220 916 00038



HEPIA
Route de Presinge 150
CH-1254 Jussy
lullier.hepia@hesge.ch
www.hesge.ch/hepia
Tél. +41 22 558 63 82

Hes·SO GENÈVE
Haute Ecole Spécialisée
de Suisse occidentale

*Merci pour
votre attention*

RETROUVEZ TOUTES NOS ACTUALITÉS
www.agro-transfert-rt.org



h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève