

# MODÈLE DE CARBONE ORGANIQUE DU SOL & OUTILS DE DIAGNOSTIC CARBONE & GES

**Annie DUPARQUE**

Chargée de mission  
« Sols et Agrosystèmes »



Agro-Transfert  
Ressources et Territoires

**Fabien FERCHAUD**

Ingénieur de recherche  
Cycles Biogéochimiques C et N  
UMR Eco&Sols

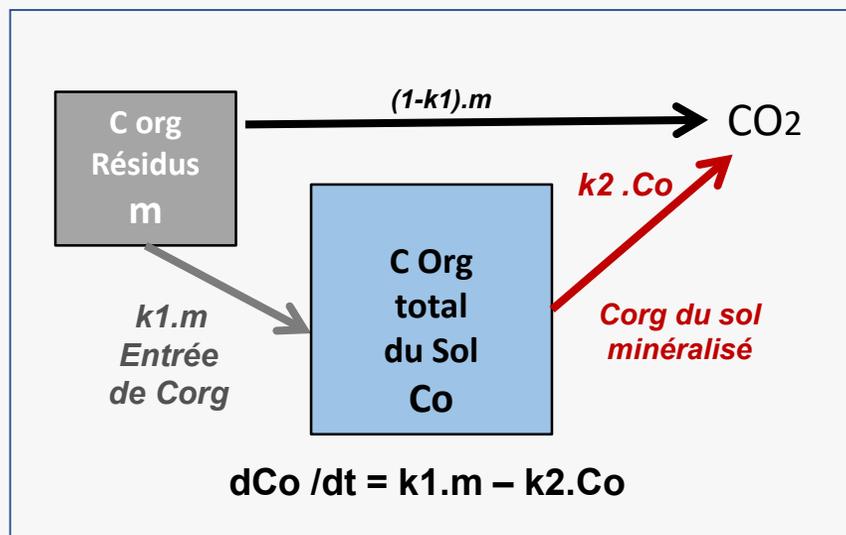


**Une collaboration INRAE - AGT-RT sur le long terme**

# Au commencement était... un modèle simple de calcul de bilan humique

...le premier du genre, le plus ancien aujourd'hui...

## Le modèle Hénin-Dupuis (1945)



**2 compartiments de Corg** :  $m$  = Corg frais des résidus

$C_o$  = Corg total du sol

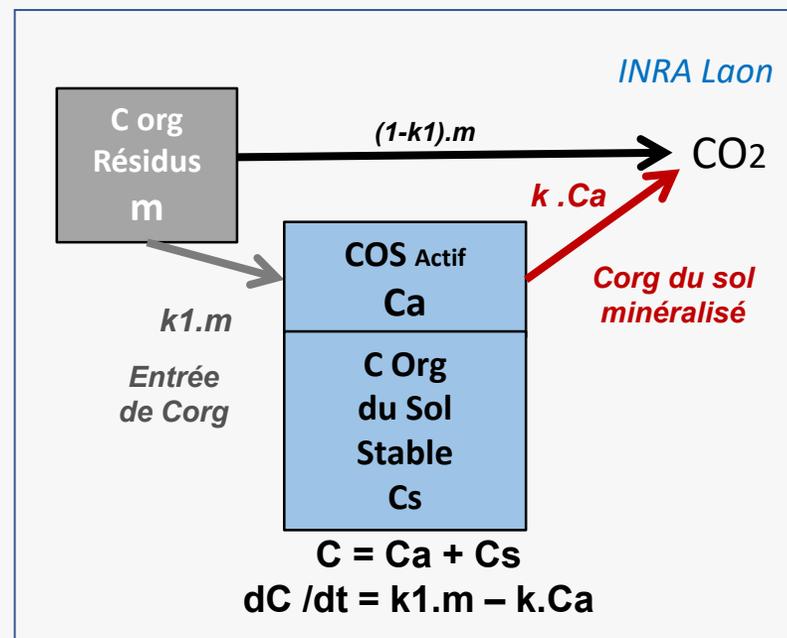
**2 paramètres** :  $k_1$  = coefficient d'humification

$k_2$  = coefficient de minéralisation annuel

**Pas de temps annuel**

...qui engendra,  
à la toute fin  
du siècle dernier...

## Le modèle AMG (Andriulo, Mary, Guérif, 1999)



**3 compartiments de Corg** :  $m$  = Corg frais des résidus

$C_a$  = fraction active du COS ;  $C_s$  = Fraction Stable du COS

**3 paramètres** :  $k_1$  = coefficient d'humification ;

$k$  = coefficient de minéralisation annuelle ;

$C_s/C_o$  = proportion initiale de COS stable

**Pas de temps annuel**

# Agro-Transfert Ressources et Territoires

## Le fondement de la démarche



Agro-Transfert  
Ressources et Territoires

Modèle AMG  
&  
Expertise  
modélisation  
C&N

Equipe de Bruno Mary  
INRA de Laon



LA DEMANDE  
relayée par les chambres d'agriculture de Picardie

Projet « **GCEOS** »  
Gestion et Conservation  
de l'Etat Organique des Sols »  
(2004-2011)

Création de l'outil **SimEOS-AMG** (2009)  
Diffusion en ligne **dès 2012**

Groupe Régional « Sols & MO »



### Les préoccupations des agriculteurs

- Les teneurs baissent-elles ?
- Est-ce que c'est grave ?
- Lien avec battance, l'érosion ?
- La bonne teneur, c'est quoi ?
- Comment choisir les amendements organiques ?
- Exporter des pailles pour la vente ?
- Les Techniques Culturelles Sans Labour sont elles conseillées ?

### Les pressions extérieures

- Discours catastrophiste lié à la diminution annoncée des teneurs en MO
- Incitation à l'épandage agricole des boues ou composts urbains.
- Lutte contre effet de serre : puits de C ou valorisation énergétique des pailles.

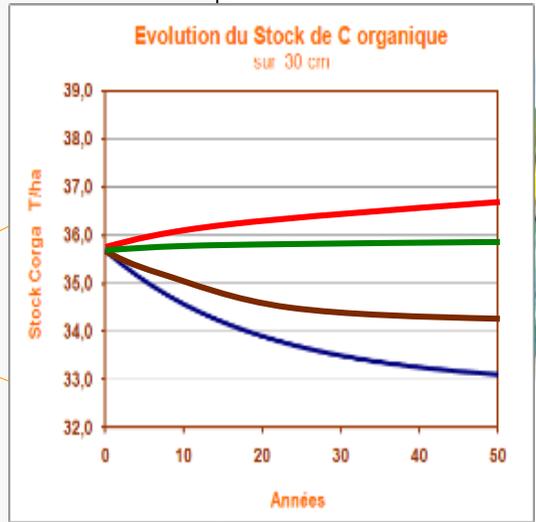
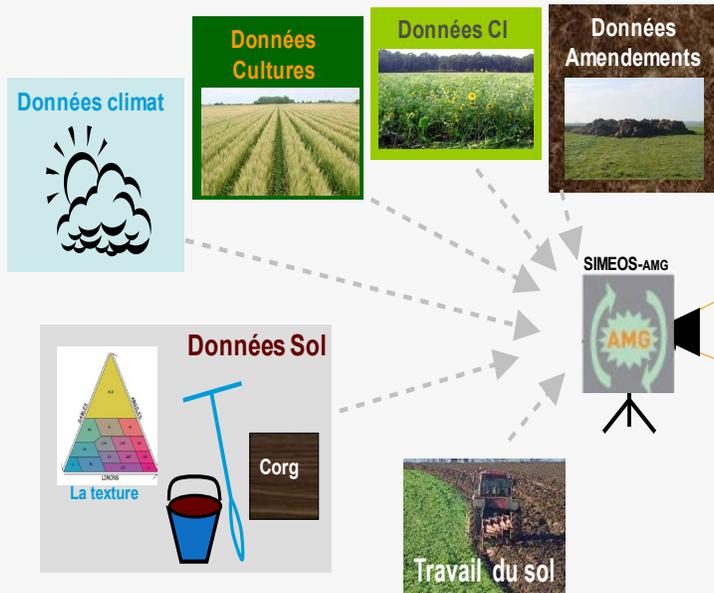


Agro-Transfert  
Ressources et Territoires

# SIMEOS-AMG : outil de SIMulation de l'Etat Organique des Sols fondé sur le modèle AMG, créé au cours du projet d'Agro-Transfert GCEOS (2004-2010)



SIMEOS AMG [www.simeos-amg.org](http://www.simeos-amg.org)



Outil réalisé par :

AGRO-TRANSFERT

Accès utilisateurs

Identifiant:

Mot de passe:

Connexion

Créer un compte Démo

SIMEOS-AMG est un outil de simulation de l'évolution des teneurs et stocks en C organique du sol fondé sur le modèle AMG. Le modèle AMG est maintenu et amélioré depuis 2012 dans le cadre du Consortium AMG rassemblant INRA, Agro-Transfert RT, Arvalis, le LDAR et avec la collaboration de Terres Inovia depuis 2016.

Contacts : a.duparque@agro-transfert.fr  
j.c.muny@agro-transfert.fr  
v.tomis@agro-transfert.fr

Documents et liens :

[www.agro-transfert.fr](http://www.agro-transfert.fr)

Un OAD dédié au conseil agronomique sur la gestion de la fertilité des sols à long terme

Une diffusion large permise par un accès facilité à l'outil Simeos-AMG, sous licence ou en version « démo » libre. De nombreuses formations.



# Parcours de collaboration INRAE – AGT-RT autour d'AMG

Histoires conjointes de développement du modèle et des outils permettant son application à différentes échelles

Modèle  
AMG v0

Andriulo et al, 1999

Projet « GCEOS »  
(2004-2010)  
Création **Simeos-AMG**  
(2009)

Modèle  
AMG v1

Saffih et Mary, 2008

**Simeos-AMG v1.2**  
(en ligne 2012)

[www.simeos-amg.org](http://www.simeos-amg.org)



**Simeos-AMG v1.3**  
(Janv. 2019)

Modèle  
AMG v2

Clivot et al, 2019  
Levavasseur et al, 2020

Projet **SoléBiom**  
(2015-2018)



Consortium AMG  
depuis 2012



- Base d'essais de long terme
- Outil d'évaluation et d'optimisation de paramètres



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Environmental Modelling & Software

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/envsoft](http://www.elsevier.com/locate/envsoft)

Modeling soil organic carbon evolution in long-term arable experiments with AMG model

Hugues Clivot<sup>a,\*</sup>, Jean-Christophe Mouny<sup>b</sup>, Annie Duparque<sup>b</sup>, Jean-Louis Dinh<sup>b</sup>, Pascal Denoroy<sup>c</sup>, Sabine Houot<sup>d</sup>, Françoise Vertès<sup>e</sup>, Robert Trochard<sup>f</sup>, Alain Bouthier<sup>g</sup>, Stéphanie Sagot<sup>h</sup>, Bruno Mary<sup>n</sup>

Nutr Cycl Agroecosyst  
<https://doi.org/10.1007/s10705-020-10065-x>

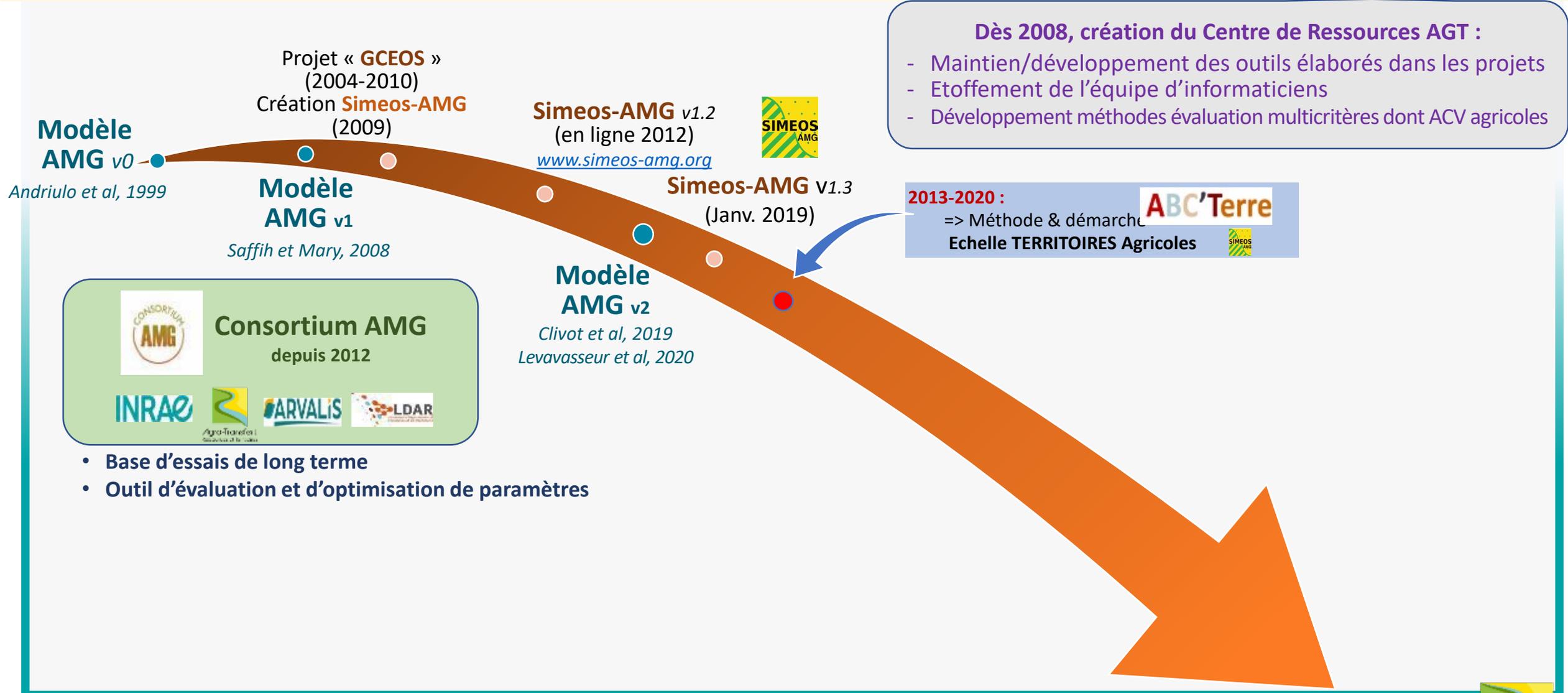
ORIGINAL ARTICLE

**The simple AMG model accurately simulates organic carbon storage in soils after repeated application of exogenous organic matter**

Florent Levavasseur · Bruno Mary · Bent T. Christensen · Annie Duparque · Fabien Ferchaud · Thomas Kätterer · Hélène Lagrange · Denis Montenach · Camille Resseguier · Sabine Houot

# Parcours de collaboration INRAE – AGT-RT autour d'AMG

Histoires conjointes de développement du modèle et des outils permettant son application à différentes échelles

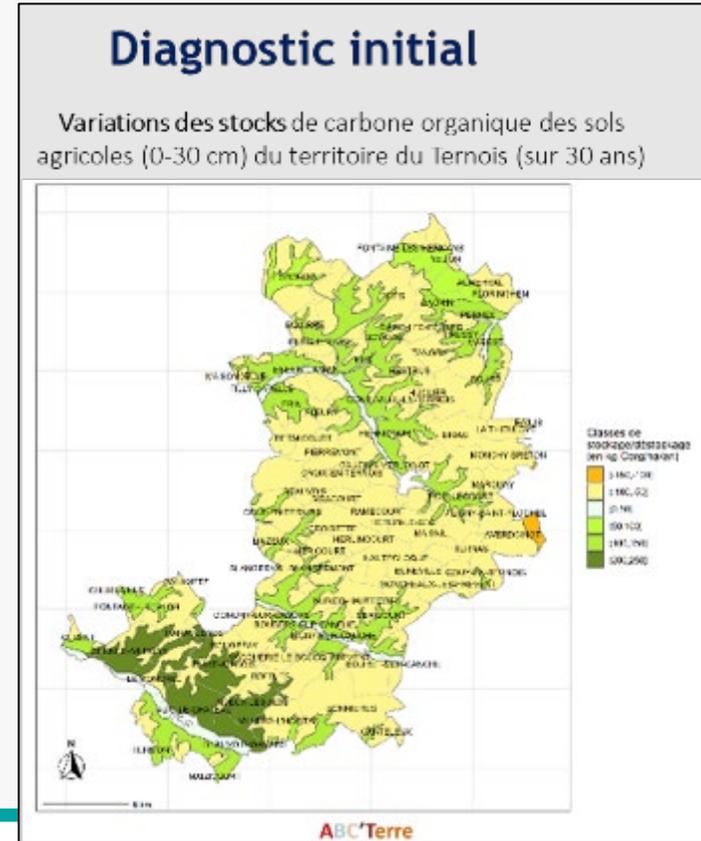
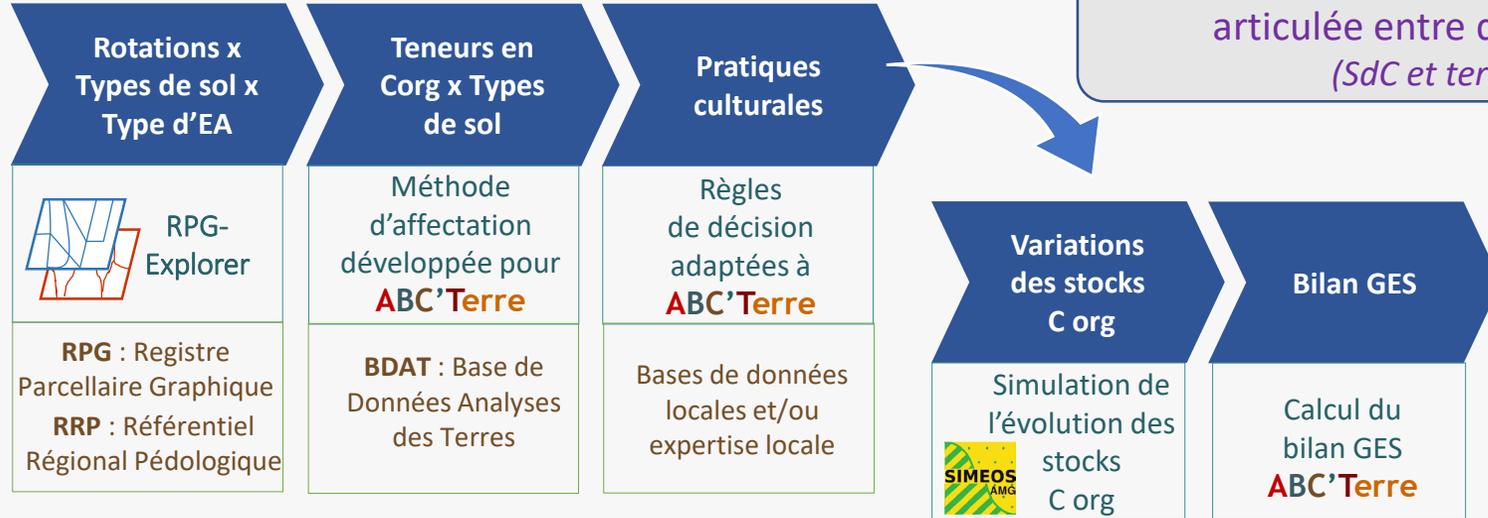
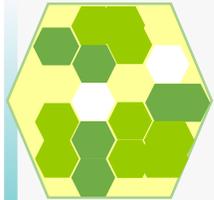


# ABC'Terre : Méthode de Diagnostic à l'échelle du territoire



Au service d'une démarche participative articulée entre deux échelles (SdC et territoire)

Échelle territoire



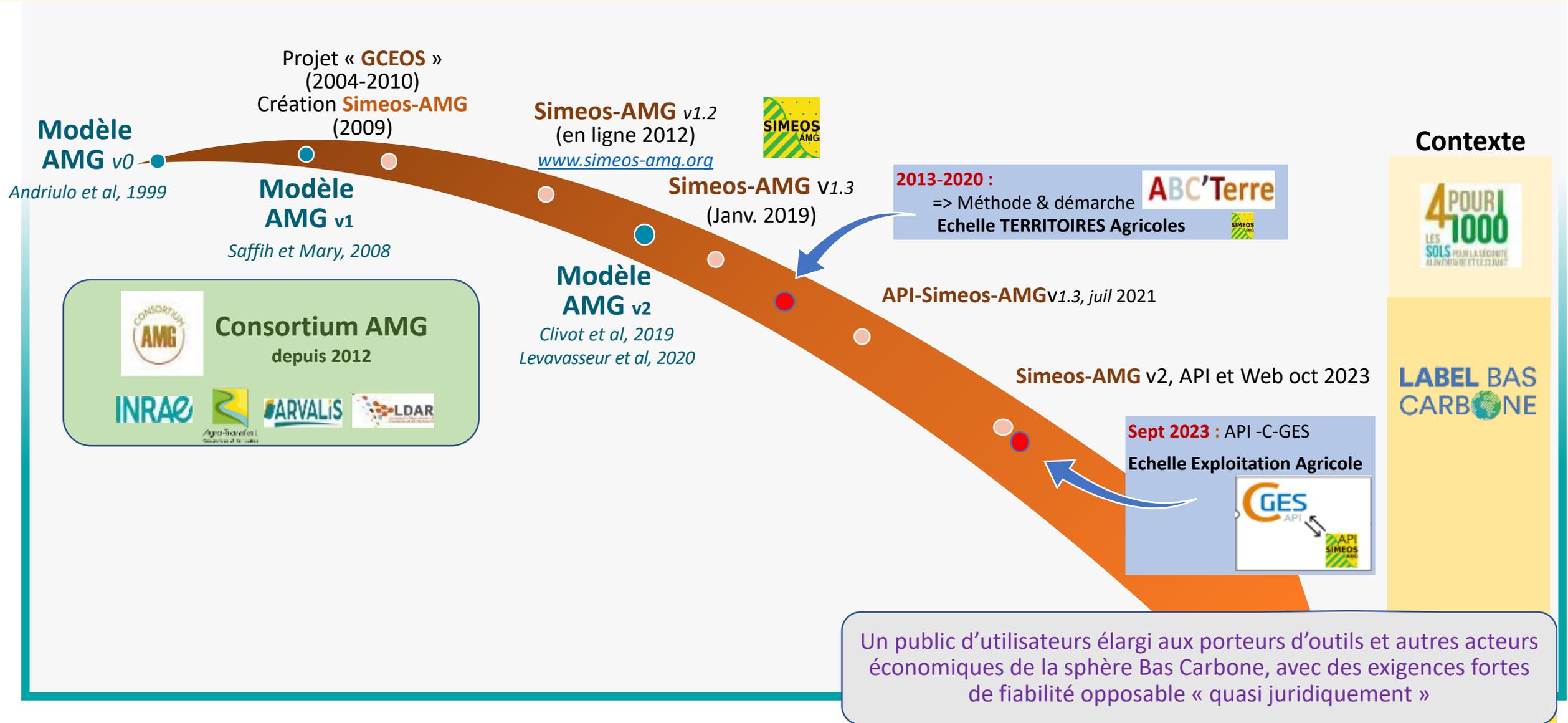
Des questions spécifiques posées quant à l'accès possible aux données d'entrée nécessaires aux calculs des bilans Carbone du sol (par Simeos-AMG) et GES

Des compétences particulières mobilisées : AgroParisTech (RPG-Explorer), INRAE-INFOSOL (Geostatistique) et ULS Beauvais (agropédologie)

- Étapes
- Outils ou méthodes
  - Données

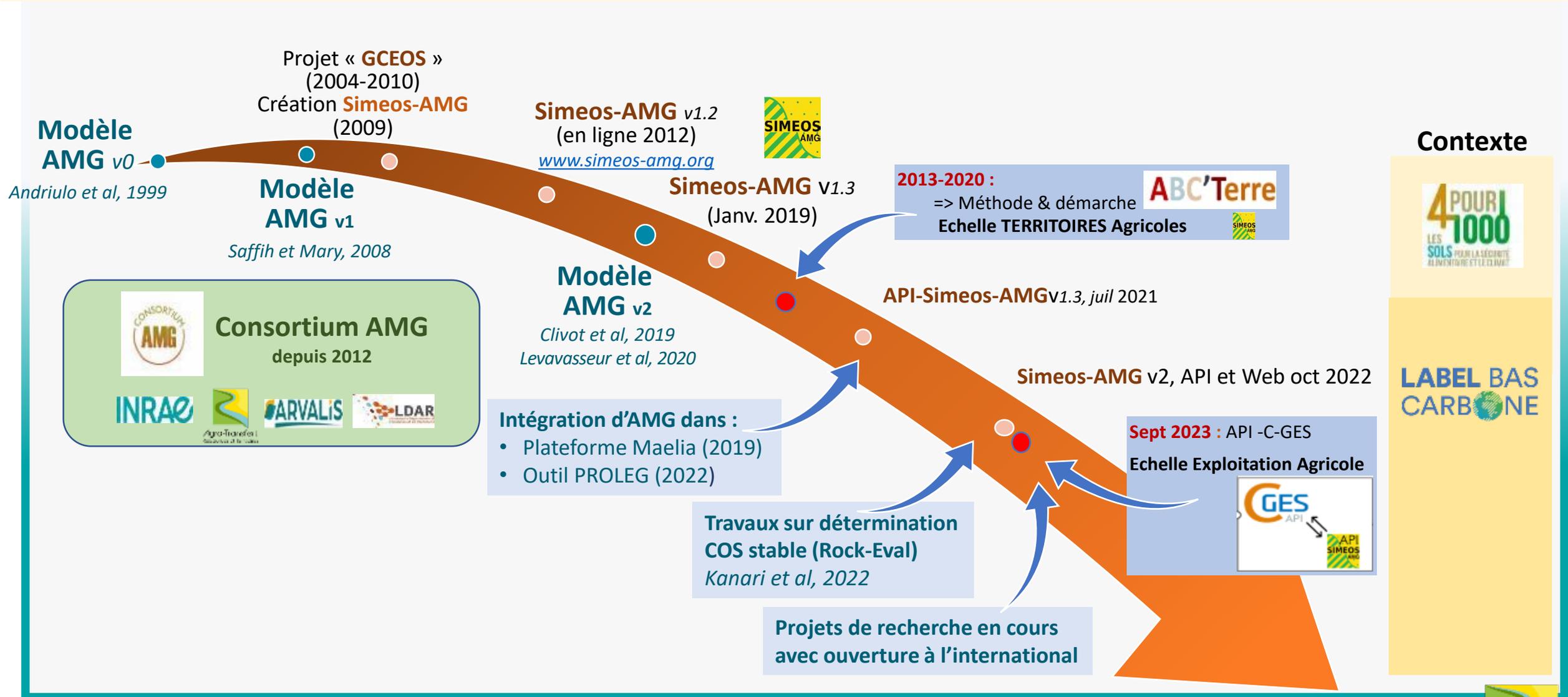
# Parcours de collaboration INRAE – AGT-RT autour d'AMG

Histoires conjointes de développement du modèle et des outils permettant son application à différentes échelles

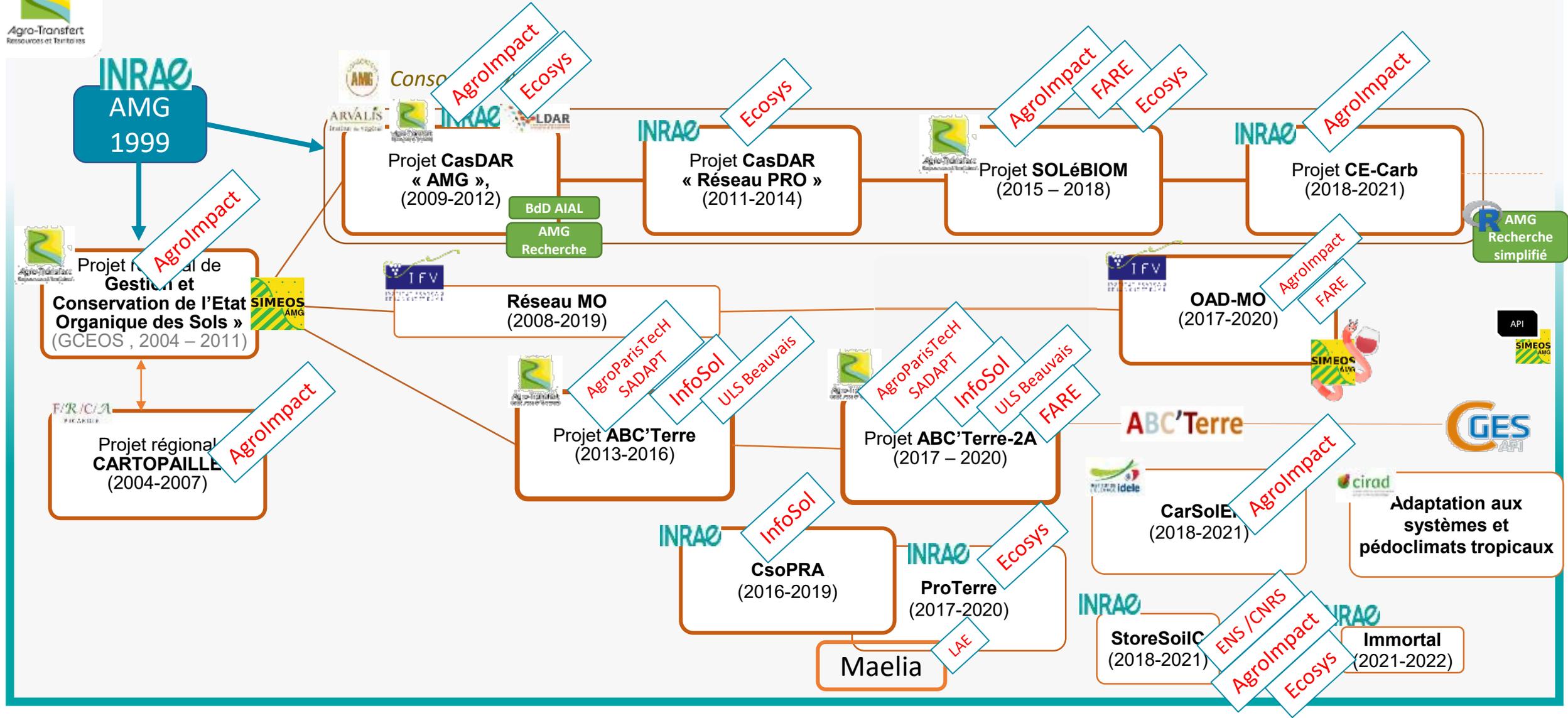


# Parcours de collaboration INRAE – AGT-RT autour d'AMG

Histoires conjointes de développement du modèle et des outils permettant son application à différentes échelles

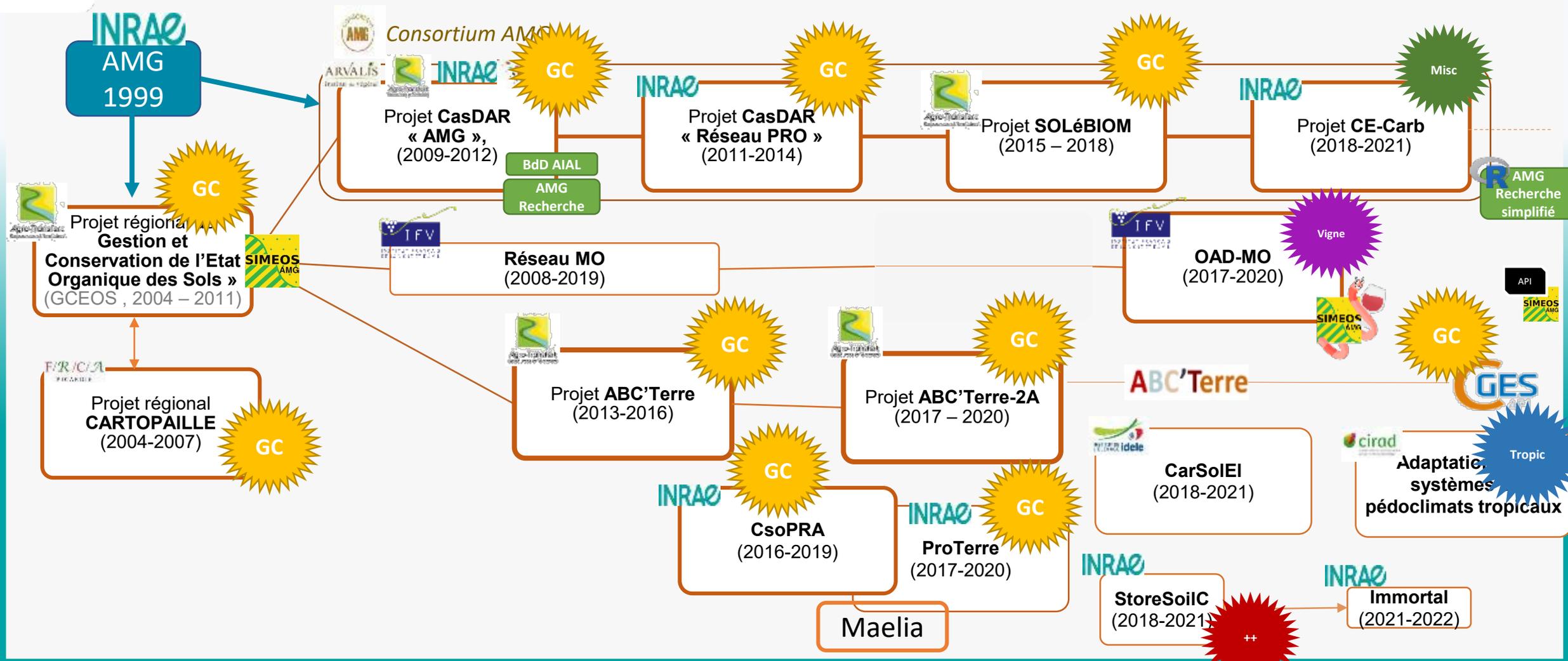


# Différents travaux à la source d'évolutions d'AMG ou valorisant le modèle et l'outil Simeos-AMG





# Différents travaux à la source d'évolutions d'AMG ou valorisant le modèle et l'outil Simeos-AMG



#### En résumé 1/3

- **Une complémentarité active entre les travaux sur le modèle AMG et sur l'outil Simeos-AMG :**
  - ✓ Le modèle a donné les moyens de traiter des questions formulées par les acteurs agricoles
  - ✓ Les applications concrètes en milieu agricole ont fait remonter de nouvelles questions et suscité des demandes d'amélioration du modèle, d'élargissement de son domaine d'application
  - ✓ Les utilisations de l'outil ont fait germer des idées pour de nouvelles applications à différentes échelles (du SdC au territoire)
- **Un cheminement conjoint et complémentaire rendu possible par des collaborations au sein de nombreux projets** (↔ financement des travaux + opportunité de nouvelles collaborations) :
  - => Publications scientifiques communes sur AMG
  - => Ancrage et reconnaissance scientifique de l'outil Simeos-AMG
- **Un élargissement et une formalisation de ce partenariat au travers du Consortium-AMG :**
  - => Développements sur AMG et outils dérivés inscrits dans une perspective de co-développement en continu
  - => AMG et outils associés bénéficient d'une reconnaissance « officielle » recherchée pour certains usages

En résumé 2/3

### ➤ Des évolutions importantes ces dernières années



- ✓ Au départ en retraite du chercheur INRAE « historique », **Bruno Mary**, créateur d'AMG, le flambeau est bien passé à une « équipe » de jeunes chercheurs impliqués et réunis autour d'AMG : **Fabien Ferchaud** (IR INRAE, UMR BioEcoAgro Laon puis UMR Eco&Sols Montpellier), **Hugues Clivot** (IR URCA, UMR FARE, Reims), **Florent Levavasseur** (IR INRAE, UMR Ecosys, Saclay) ; **Manuel Martin** (IR INRAE, US INFOSOL, Orléans), **Pierre Barré** (DR CNRS, Laboratoire de Géologie de l'ENS, Paris)...



- ✓ Et du côté d'AGT-RT aussi ! **Jean-Christophe Mouny, Justine Lamerre, Joachim Boissy, Benoît Vasseur** avec l'équipe Informatique : **Maxime Levert, Guillaume Foulon, Guillaume Fayet**



### ➤ Des évolutions importantes ces dernières années

- ✓ **Une importante montée de l'intérêt « politique » pour la thématique carbone, en particulier carbone du sol :**
  - Initiative « 4 pour 1000 » depuis 2015 : des moyens pour la recherche et la R&D
  - Développement de la méthodologie **Label Bas Carbone** avec appels pressant à la mise à disposition d'outils de calcul fiables, de la part d'un public d'utilisateurs élargi
    - ⇒ *fort développement des collaborations en recherche, entre recherche et R&D et avec les instances « officielles » (ministères, ADEME, ....)*
    - ⇒ *Appel à l'automatisation et la sécurisation des calculs en grand nombre, en ligne (API-Simeos-AMG)*
    - ⇒ *intérêt croissant pour AMG et Simeos-AMG à l'international*
  
- ✓ **Demande d'Open Science à INRAE et au-delà :**
  - ⇒ Ouvre des perspectives de travaux d'évaluation, de référencement et d'amélioration importants du modèle AMG
  - ⇒ Implique d'adapter les modes de diffusion des outils pour la R&D

## Le point de vue de Fabien, pour INRAE :

- **Des métiers différents** : AGT-RT permet la diffusion des résultats de la recherche à un niveau que l'on aurait ni le temps, ni les moyens d'atteindre seuls
- **Des retours du terrain** :
  - Servent « d'aiguillon » pour poursuivre les travaux :
    - ↗ le domaine d'application (cultures, systèmes, contextes pédoclimatiques)
    - Précision/amélioration de certains formalismes ou paramétrages
  - Poussent à se poser de nouvelles questions
- **L'utilisation dans des démarches type Label Bas Carbone** :
  - à la fois reconnaissance du modèle et « pression » ; le modèle n'est pas parfait et ne couvre pas tout !
- « **Tension** » entre la volonté d'une reconnaissance à l'international (élargissement sur des contextes européens et au-delà) vs. précision dans le contexte français ?

### Le point de vue d'Annie, pour AGT-RT :

- Une synergie fructueuse :
  - L'expertise INRA de Laon a permis **d'ancrer de façon solide scientifiquement** un modèle de simulation « simple » et ainsi l'OAD simple d'usage
    - ⇒ Publication scientifiques issues des travaux = résultats reconnus pour les chercheurs
    - ⇒ Réponses au besoins des acteurs terrain (pertinence, fiabilité, praticité des résultats diffusés) = résultats attendus d'AGT et de ses partenaires « développement »
    - ⇒ Pouvoir assurer vraiment l'interface entre un travail de fond de qualité et une réponse suffisamment accessible à la pratique sur le terrain
- Et durable :
  - **La collaboration a été maintenue active** via la recherche commune de **moyens** (montage de projets de R&D ou de recherche)
  - Les fruits de la collaboration sont **adaptés/adaptables** assez facilement aux **nouvelles attentes** (usages LBC Bilans C des exploitations ; internationalisation du modèle, de notre outil)
  - Et encore des **perspectives** en ce sens via le **Consortium AMG, et** avec l'évolution des équipes INRAE
  - **Source d'ouverture** sur l'évolution des méthodes et **contextes de travail des chercheurs** : ex. *Open Science*  
=> *Nous amène aussi à mieux réfléchir et considérer le positionnement et ce qui fait la valeur spécifique de notre travail de R&D dans ce contexte nouveau*

**Le point de vue d'Annie, pour AGT-RT :**

- Et, en perspective ...au-delà du modèle et des outils :
- **Une nécessité de se consacrer plus aux usages de ces ressources** : *Pouvoir travailler plus à la façon de les mettre en œuvre pour le conseil et l'accompagnement des changements de systèmes*
  - ⇒ Avec les agriculteurs et les conseillers : travailler les démarches de conseil à visées agronomiques
  - ⇒ Avec les acteurs des filières : assurer les liens et la cohérence entre les objectifs poursuivis au long des chaînes de valeurs, entre Agronomie et Bilans Carbone
  - ⇒ A l'échelle des territoires : ex. à suivre d'ABC'Terre
- **Un besoin de collaboration renforcé en format « Recherche-Action »** : pour mieux comprendre et apprendre à mieux gérer les cycles C&N dans les systèmes innovants (ACS, « Agriculture Régénératrice »...) :
  - ⇒ Beaucoup de questions de terrain et peu de références scientifiques accessibles (sur l'azote en ACS par ex.)
  - ⇒ Pouvoir évaluer et adapter modèles et outils dans ces conditions et pouvoir les utiliser pour accompagner la conception pas à pas des nouveaux systèmes

# Regards croisés sur l'avenir de cette collaboration AGT-INRAE ...

## Des promesses

- Le Consortium AMG s'établit, s'élargit ;
- Il est reconnu (cf contrôle conformité des outils pour LBC)
- Des projets en cours et prévus :  
=> les collaborations se poursuivent  
=> Nelles adaptations d'AMG,  
Nelles applications  
Nvx usages,

## Des questions

- Quel rôle d'AGT-RT dans les travaux sur AMG pour l'international ?
- Quel rôle d'INRAE-Transfert vs AGT-RT dans la diffusion d'applications du modèle ?

## Des souhaits

- Reconnaissance large d'AMG à l'international
- Confirmation intérêt du modèle et de Simeos-AMG pour normalisation UE des bilans Carbone
- Poursuivre/développer la collaboration pour alimenter de façon solide et pragmatique les boîtes à outils du conseil dans les nouveaux SdC (ex. gestion C&N en ACS)

## Des points de vigilance

- Conserver équilibre entre exigence scientifique /performances du modèle et **ness simplicité de mise en œuvre des outils** dérivés
- Renforcer/ « Cultiver » le **travail sur les usages du modèle et des outils dérivés**, pour le conseil, l'accompagnement à l'innovation

# INRAE

**Fabien FERCHAUD**

[fabien.ferchaud@inrae.fr](mailto:fabien.ferchaud@inrae.fr)

INRAE UMR Eco&Sols  
2 place Viala  
34060 Montpellier - France

**Hugues CLIVOT**

[hugues.clivot@univ-reims.fr](mailto:hugues.clivot@univ-reims.fr)

UMR FARE  
2 esplanade Roland-Garros  
51 100 Reims - France

**Florent LEVAVASSEUR**

[florent.levavasseur@inrae.fr](mailto:florent.levavasseur@inrae.fr)

**Sabine Houot**  
[sabine.houot@inrae.fr](mailto:sabine.houot@inrae.fr)  
INRAE UMR EcoSys  
22 place de l'Agronomie  
9120 Palaiseau – France

**Manuel Martin**

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

INRAE-Unité InfoSol  
2163 Avenue de la Pomme de Pin  
CS 40001 ARDON 45075 ORLEANS  
France



**Agro-Transfert**  
Ressources et Territoires



**Annie DUPARQUE**

Chargée de mission  
« Sols et agrosystèmes »  
[a.duparque@agro-transfert-rt.org](mailto:a.duparque@agro-transfert-rt.org)

**Jean-Christophe MOUNY**

Chef de projet  
« AMG & Simeos-AMG »  
[jc.mouny@agro-transfert-rt.org](mailto:jc.mouny@agro-transfert-rt.org)

**Joachim Boissy**

Référent ACV  
[j.boissy@agro-transfert-rt.org](mailto:j.boissy@agro-transfert-rt.org)

2 chaussée Brunehaut  
80 200 Estrées-Mons

**Justine LAMERRE**

Cheffe de projet « C-GES »  
Référente « ABC-Terre »  
[j.lammerre@agro-transfert-rt.org](mailto:j.lammerre@agro-transfert-rt.org)

**Benoît Vasseur**

Modélisateur C-GES  
56 avenue Roger Salengro  
62 223 Saint Laurent Blangy



*Merci pour votre attention,  
vos questions, vos réflexions...*