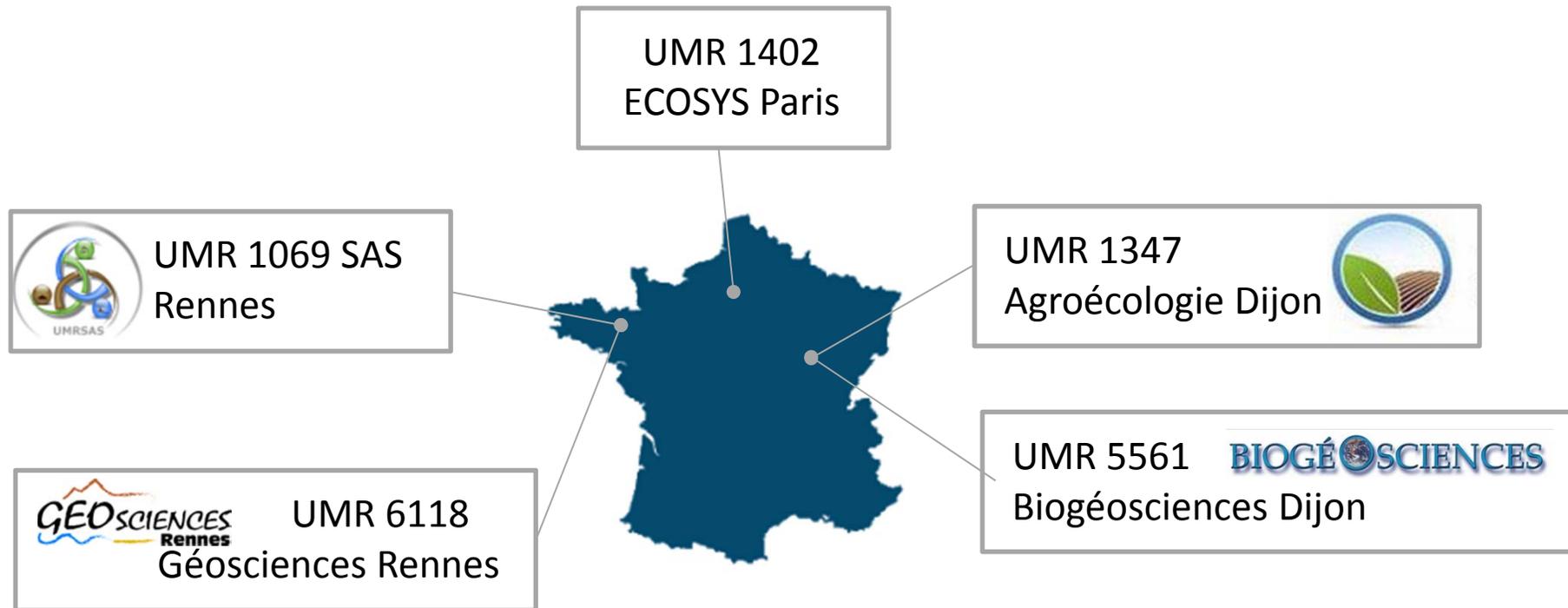


# MOSAIC :

## DYNAMIQUE DES MATIÈRES ORGANIQUES DES SOLS, DANS DES SYSTÈMES AGRICOLES INTENSIFS LIÉS À L'ÉLEVAGE

Débat prospectif  
Approches territoriales des systèmes de cultures et pratiques :  
conséquences sur les flux d'éléments

# Partenaires



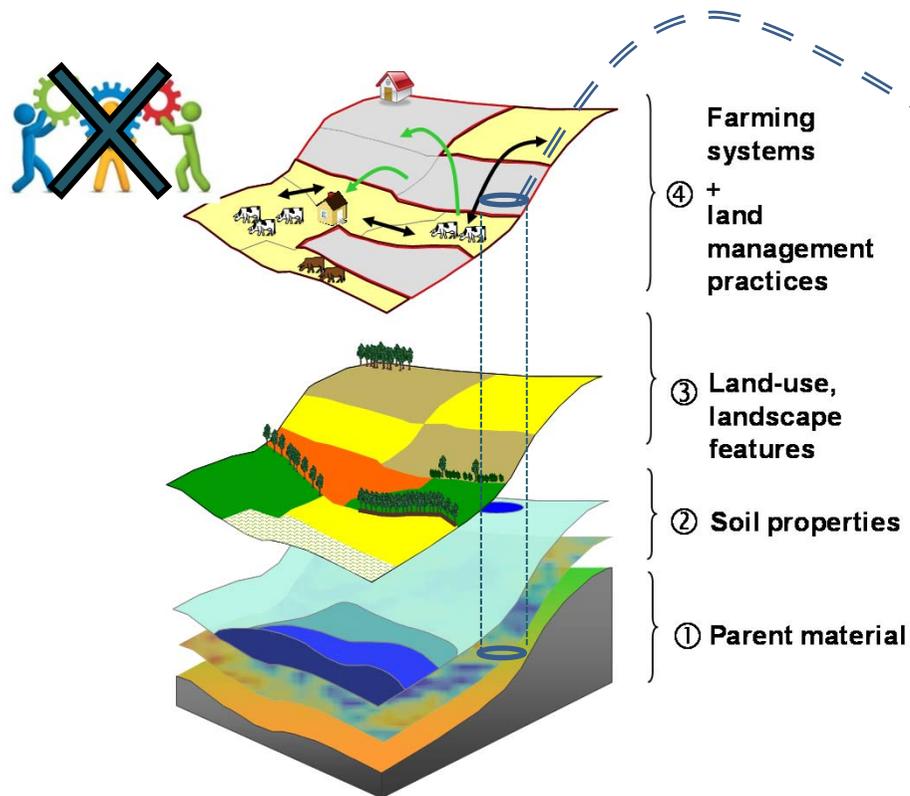
# Objectifs

- Quantifier les stocks et la dynamique de la MO dans un paysage agricole associant cultures et élevage
- Identifier les facteurs de contrôle de la variabilité des stocks de MO et des flux de C associés (vers l'air et vers l'eau)
- Comprendre et hiérarchiser les processus de stabilisation / déstabilisation et de transferts du C
- Évaluer les impacts des changements globaux sur la dynamique de la MO et les flux de C associés

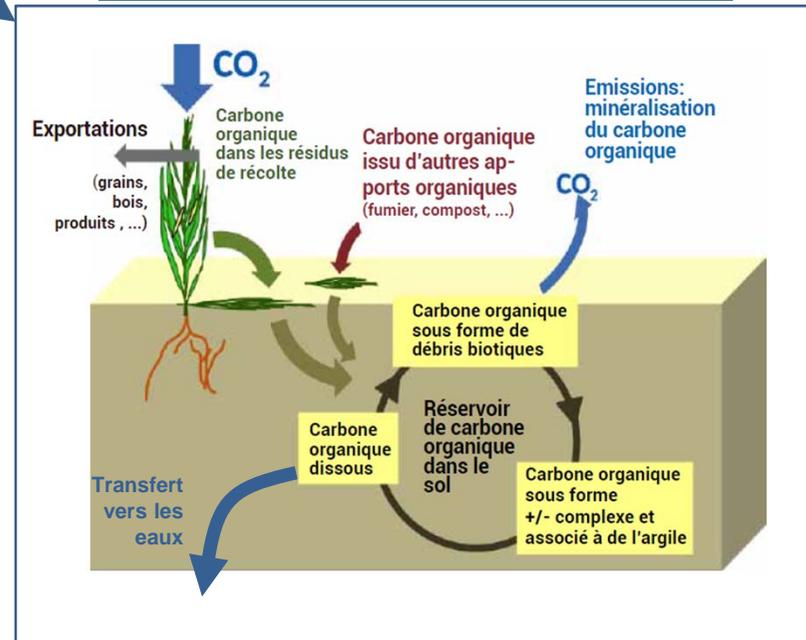
# Objectifs

## Une approche paysagère plus qu'une approche territoriale

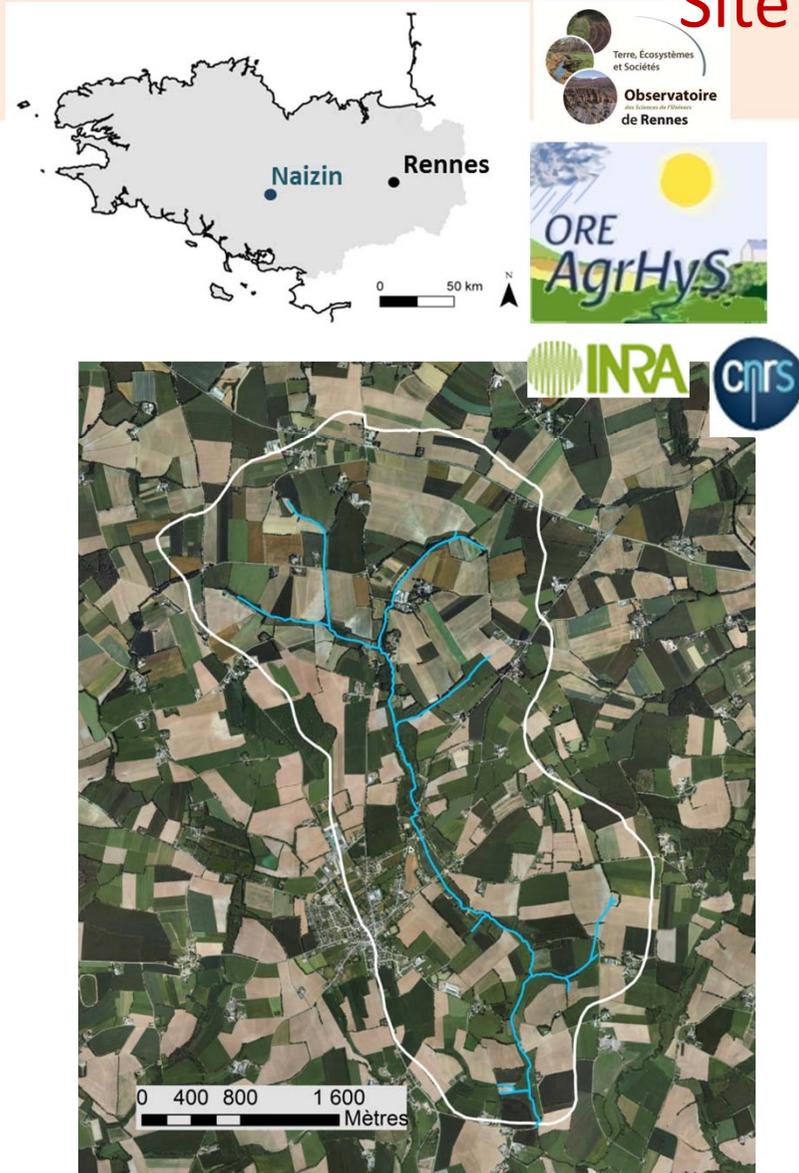
Interactions milieu physique – facteurs anthropiques



Dynamique du C du sol et flux associés

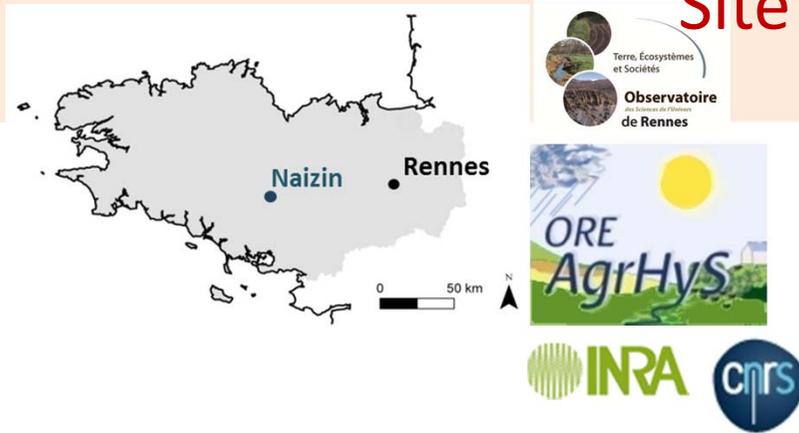


## Site d'étude (1/2)



- Contexte pédo-climatique :
  - Climat homogène

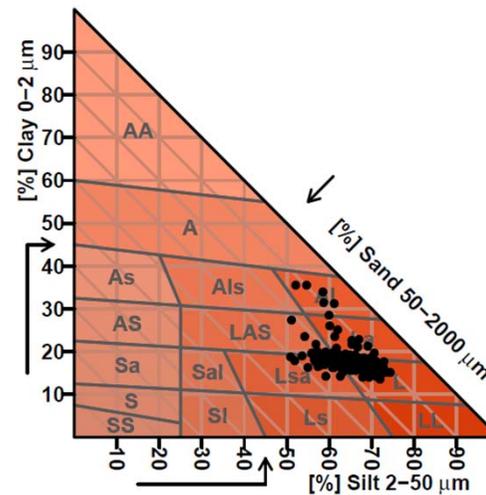
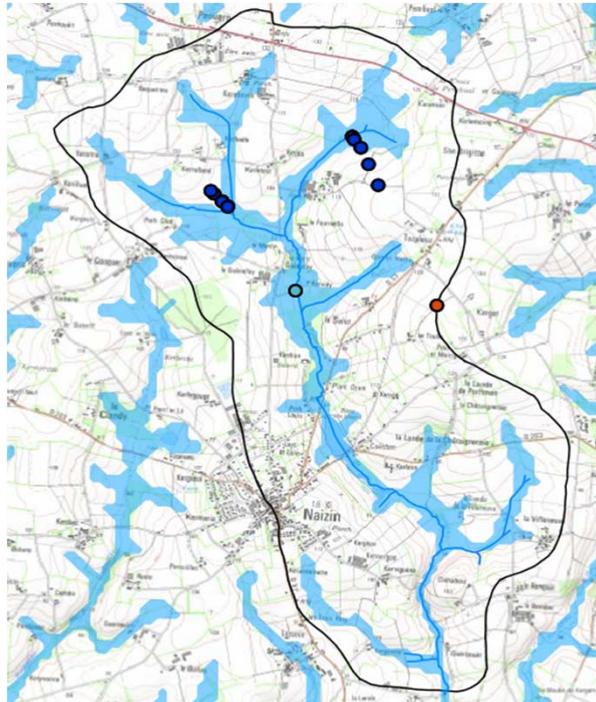
## Site d'étude (2/2)



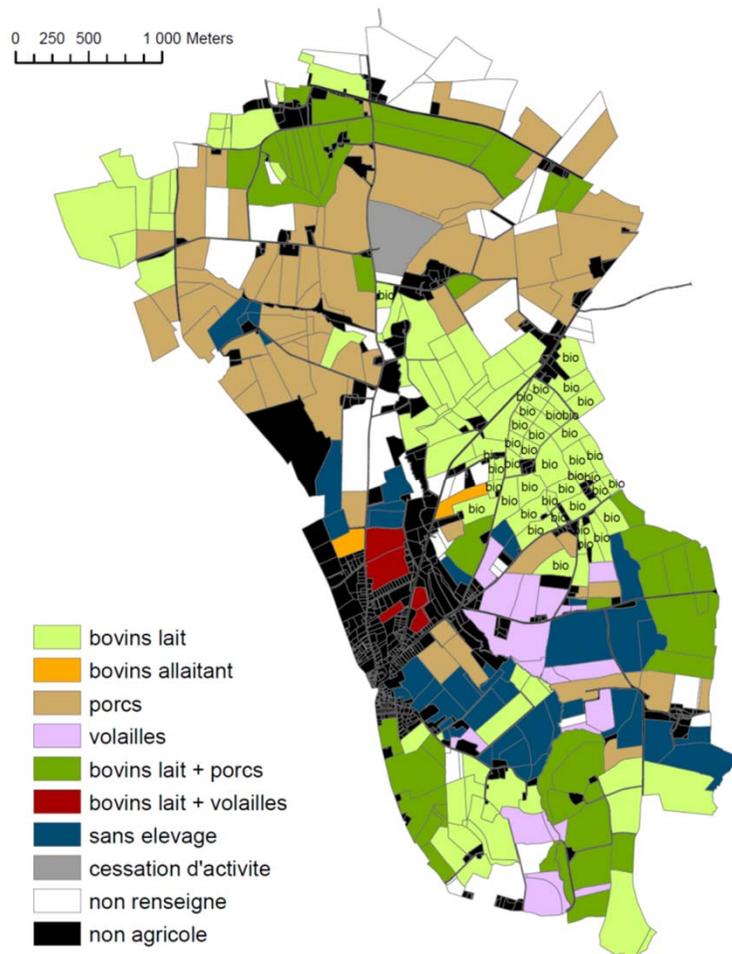
- Contexte pédo-climatique :

- Sols :

- Gradient de conditions de drainage versant -> bas de versant (nappe)
    - Teneurs en C élevées (médiane : 2,6%)

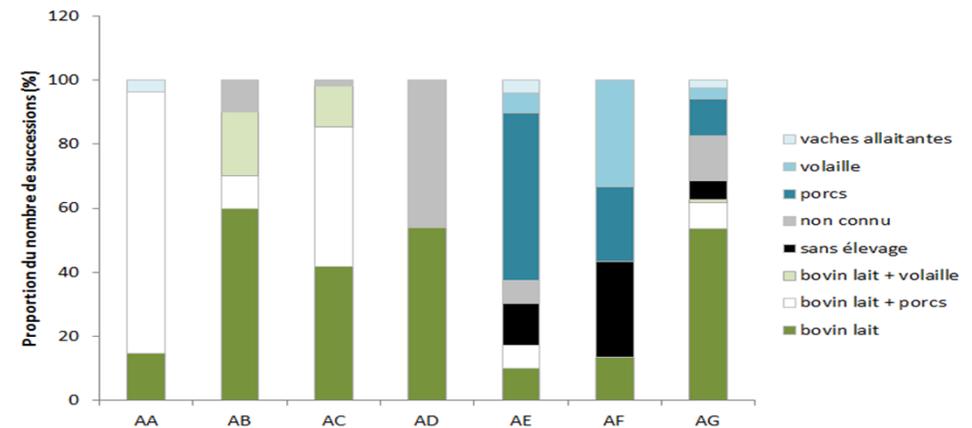


## Site d'étude (2/2)



(Akkal et al., 2016)

- Agriculture et usage des sols :
  - Polyculture-élevage
  - Successions de culture
    - Maïs-céréales-(prairies)
    - Cultures légumières industrielles
  - Apport d'effluents d'élevage
  - Contexte d'excédent d'azote



AA : maïs ensilage – céréales à paille

AC : maïs ensilage – prairie

E : maïs grain – céréales

AG : prairies.

AB : maïs ensilage – céréales – légumes

AD : maïs grain – prairies

AF : maïs grain – céréales – légumes

# Structuration du projet

## WP1

### Quantifier les variabilités et co-variabilités existantes à l'échelle du paysage

- Caractérisation des systèmes de cultures et du milieu
- Cartographie des stocks de MOS
- Cartographie de l'abondance et de la diversité microbienne
- Analyse des déterminants

Echelle du paysage (BV 12km<sup>2</sup>)



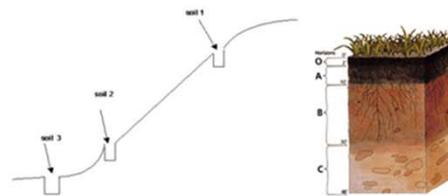
- Observations
- Enquêtes
- Cartographie numérique
- Statistiques, modélisation

## WP2

### Comprendre les processus contrôlant la dynamique de la MOS et les flux de C

- Relations diversité microbienne / dynamique de la MO
- Impact du régime hydrique sur la dynamique de la MO, processus de stabilisation / déstabilisation
- Flux de C, transferts

Versant, transect, profil sol



- Suivi in-situ (sites instrumentés) : minéralisation, émissions gaz, émissions dissoutes,
- Expérimentation (incubations)
- Modélisation mécaniste

## WP3

### Modéliser et simuler des évolutions à l'échelle du paysage

- Modélisation intégrée de la dynamique et des transferts de C
- Simulation prospective

Echelle du paysage (BV 12km<sup>2</sup>)



- Modélisation intégrée
- Enquêtes
- Simulation de scénarios

# Activités principales et quelques résultats (1/2)

WPI

Quantifier les variabilités et co-variabilités existantes à l'échelle du paysage

- Caractérisation des systèmes de cultures et du milieu
- Cartographie des stocks de MOS
- Cartographie de l'abondance et de la diversité microbienne
- Analyse des déterminants

Echelle du paysage (BV 12km<sup>2</sup>)



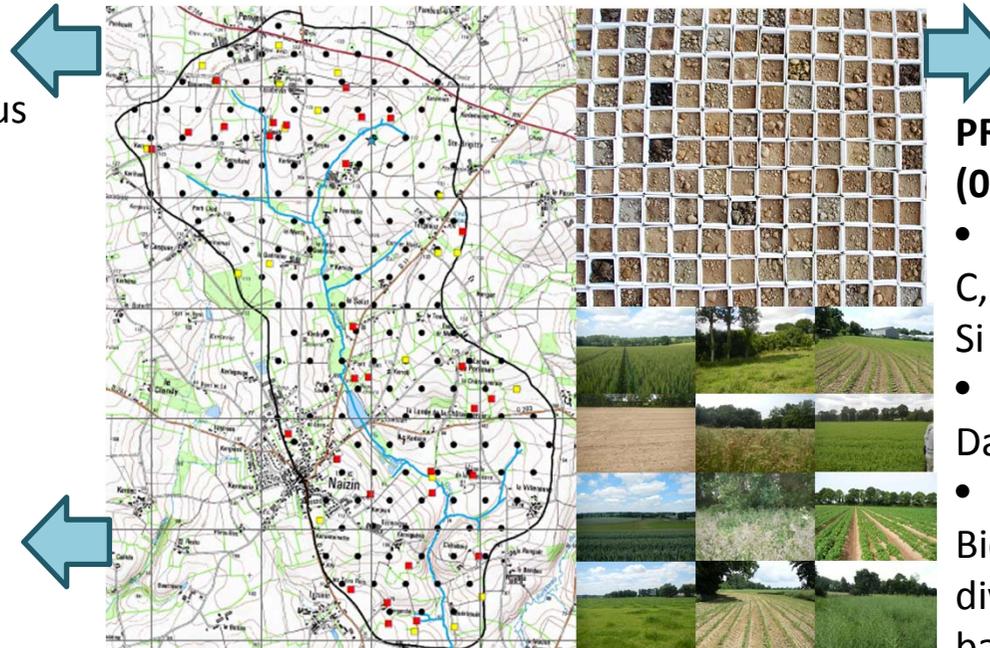
193 points échantillonnés sur 12 km<sup>2</sup>

## SYSTEMES DE CULTURE (19 variables qualitatives)

Succession culturale  
Restitutions de carbone (effluents d'élevage, résidus de cultures, prairies)  
Travail du sol  
Fertilisation minérale  
Produits phytosanitaires

## MILIEU NATUREL (15 variables)

Type de sol  
Texture  
Topographie  
Pente  
Hydromorphie



## PROPRIETES DES SOLS (0-15 cm, 19 propriétés)

- **Chimiques**  
C, N, MO, pH, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cu, Fe, Si
- **Physiques**  
Da, Stabilité structurale
- **Microbiologiques**  
Biomasse, indices de diversité fongique et bactérienne

# Activités principales et quelques résultats (1/6)

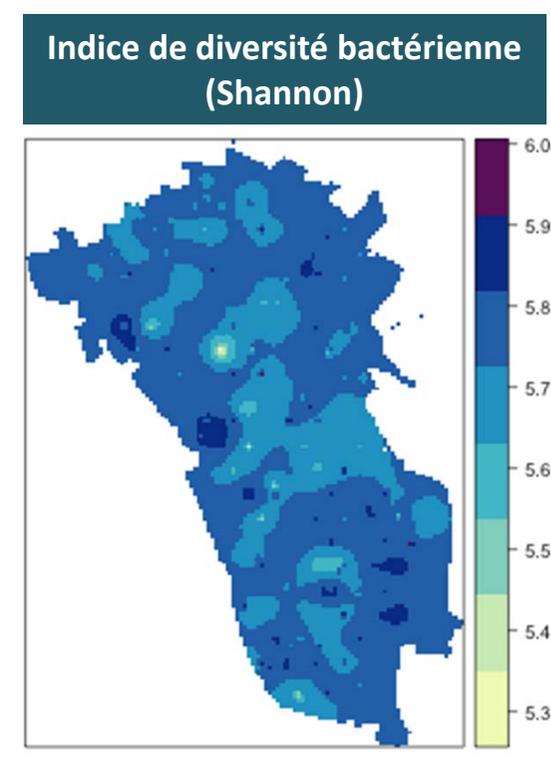
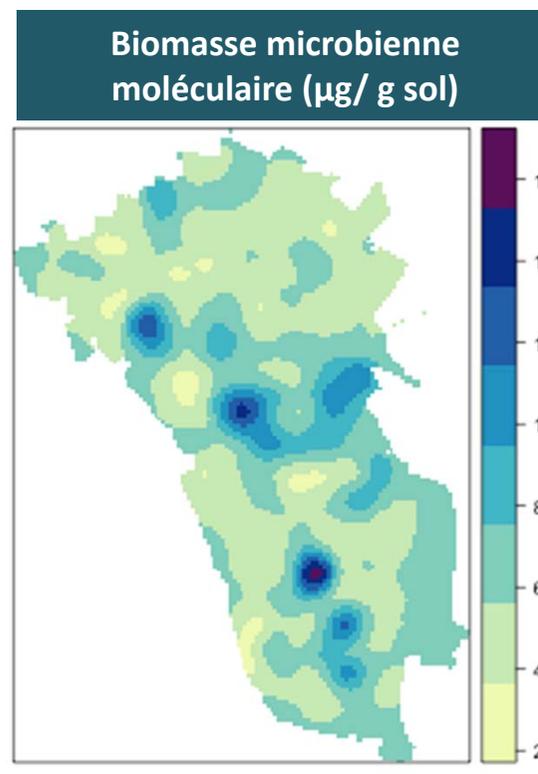
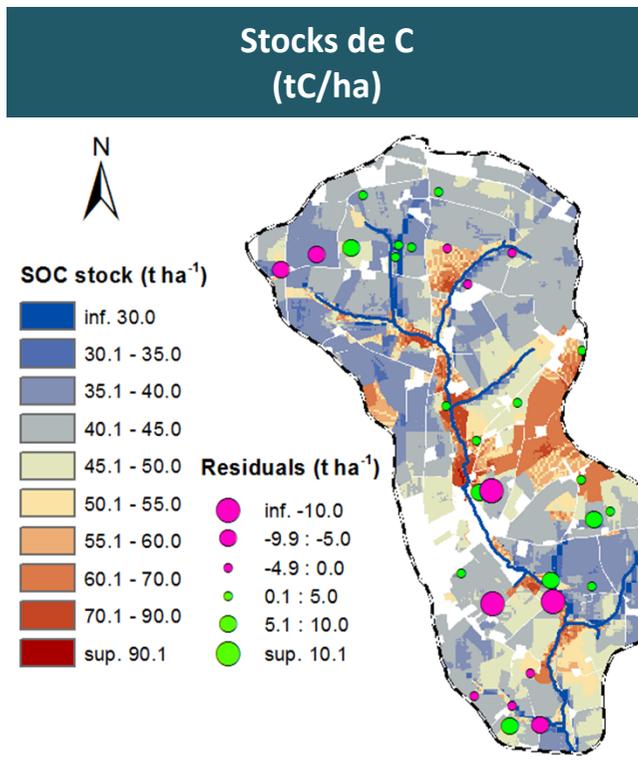
WPI1

Quantifier les variabilités et co-variabilités existantes à l'échelle du paysage

- Caractérisation des systèmes de cultures et du milieu
- Cartographie des stocks de MOS
- Cartographie de l'abondance et de la diversité microbienne
- Analyse des déterminants

- Cartographie à l'échelle du paysage des stocks de carbone et de l'abondance et diversité microbienne

Echelle du paysage (BV 12km<sup>2</sup>)



(Chemidlin-Prévost-Bourré, Le Gillou, Ranjard, *et al.*, en préparation)

# Activités principales et quelques résultats (1/6)

WPI

Quantifier les variabilités et co-variabilités existantes à l'échelle du paysage

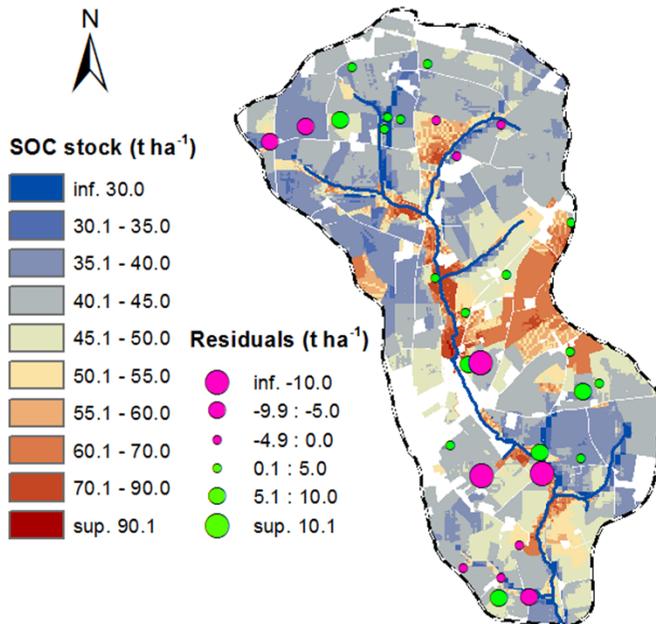
- Caractérisation des systèmes de cultures et du milieu
- Cartographie des stocks de MOS
- Cartographie de l'abondance et de la diversité microbienne
- Analyse des déterminants

- Cartographie à l'échelle du paysage des stocks de carbone et de l'abondance et diversité microbienne

Echelle du paysage (BV 12km<sup>2</sup>)

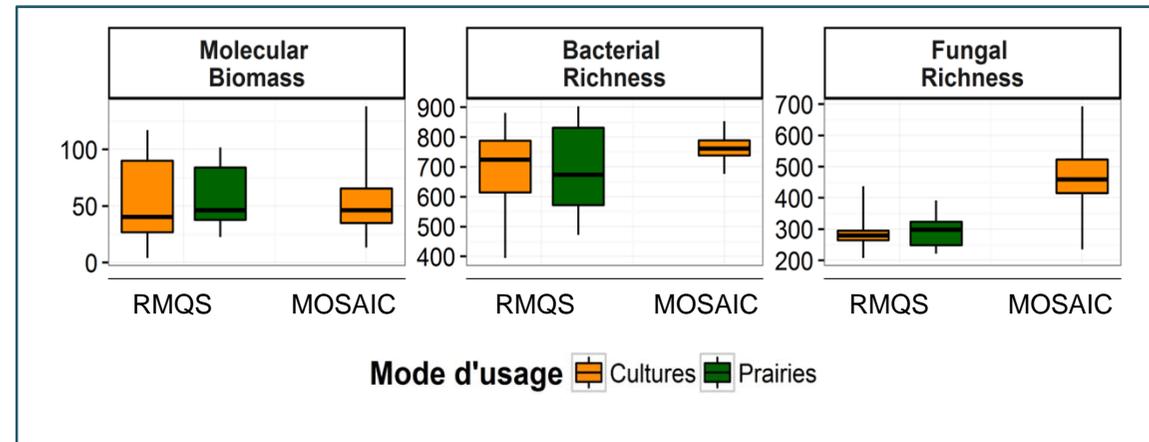


Stocks de C  
(tC/ha)



Biomasse microbienne  
moléculaire (µg/ g sol)

Indice de diversité bactérienne  
(Shannon)



(Chemidlin-Prévost-Bourré, Le Gillou, Ranjard, *et al.*, en préparation)

# Activités principales et quelques résultats (2/6)

## Quantifier les variabilités et co-variabilités existantes à l'échelle du paysage

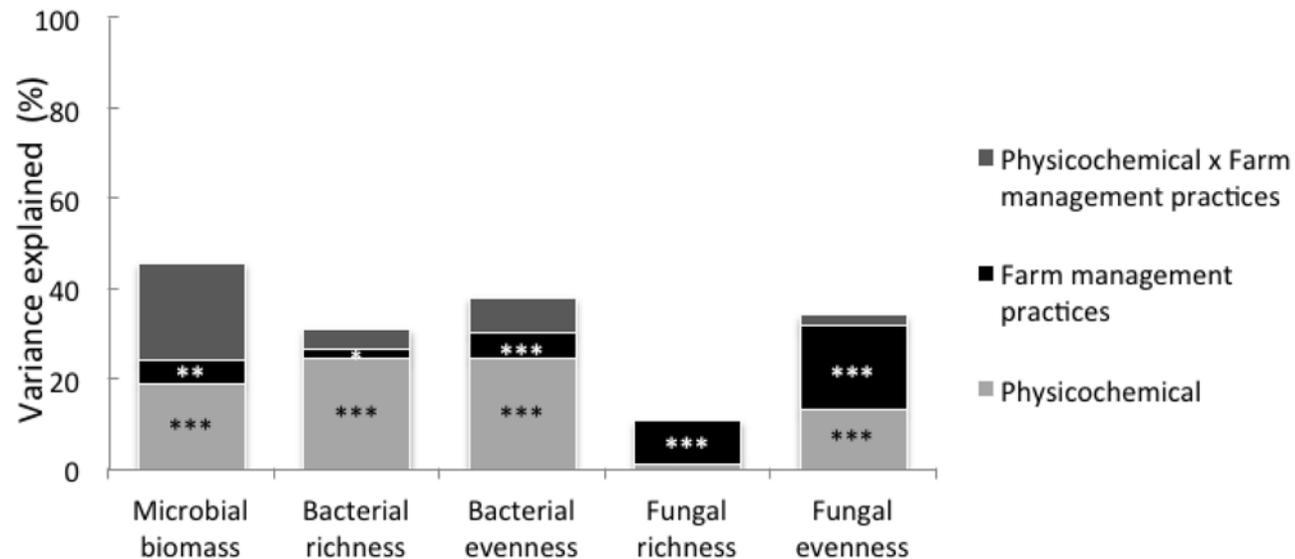
- Caractérisation des systèmes de cultures et du milieu
- Cartographie des stocks de MOS
- Cartographie de l'abondance et de la diversité microbienne
- Analyse des déterminants

Echelle du paysage (BV 12km<sup>2</sup>)



- Déterminants de l'organisation spatiale des stocks C, de la diversité microbienne, et des autres propriétés des sols

Partition de variance



(Le Gillou, Ranjard, *et al.*, en préparation)

# Activités principales et quelques résultats (2/6)

WPI1

Quantifier les variabilités et co-variabilités existantes à l'échelle du paysage

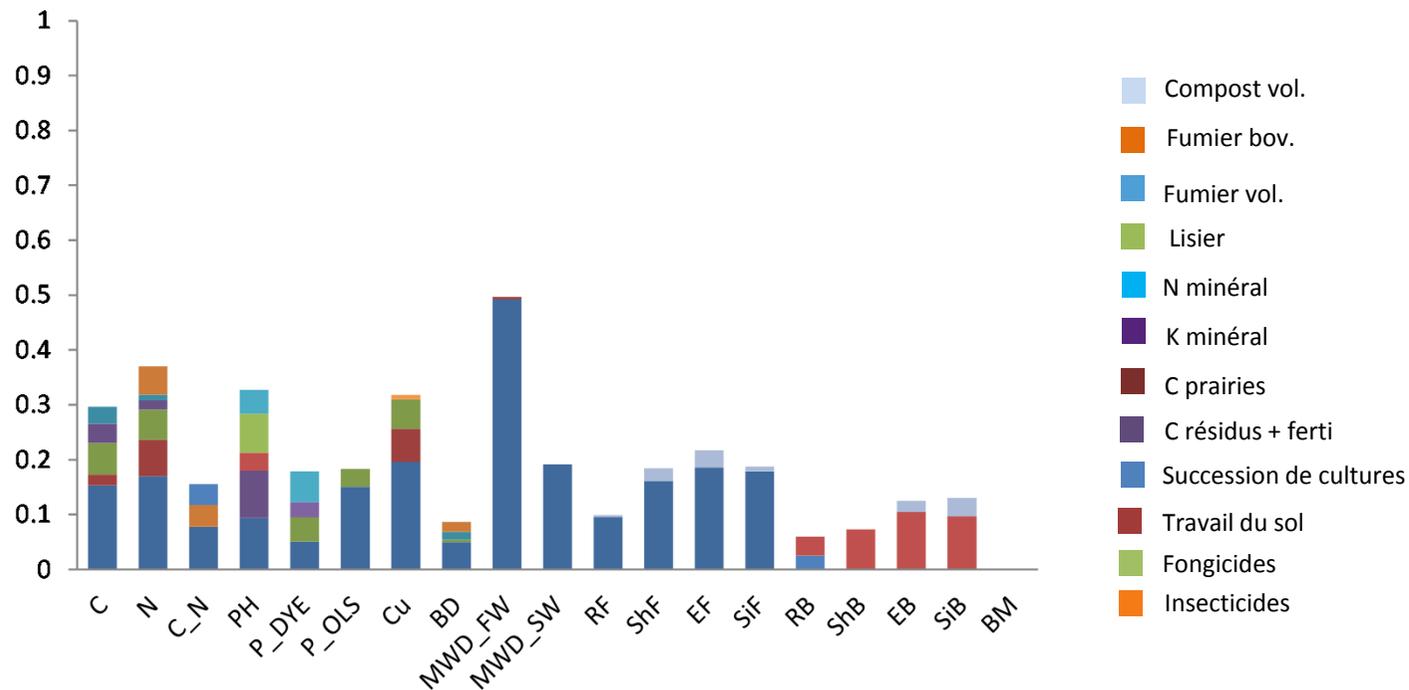
- Caractérisation des systèmes de cultures et du milieu
- Cartographie des stocks de MOS
- Cartographie de l'abondance et de la diversité microbienne
- Analyse des déterminants

- Déterminants de l'organisation spatiale des stocks de C, de la diversité microbienne, et des autres propriétés des sols

Echelle du paysage (BV 12km<sup>2</sup>)



Part de variance expliquée par les composantes des systèmes de culture



(Menasseri, Akkal, Viaud, *et al.*, en préparation)

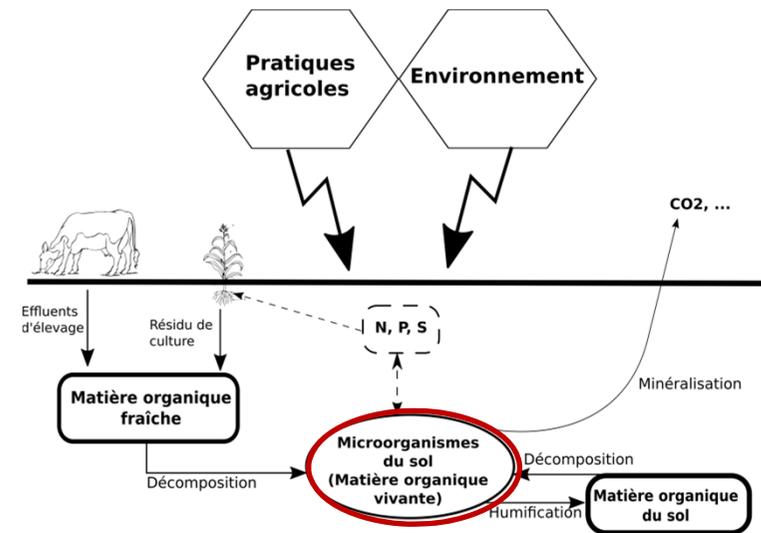
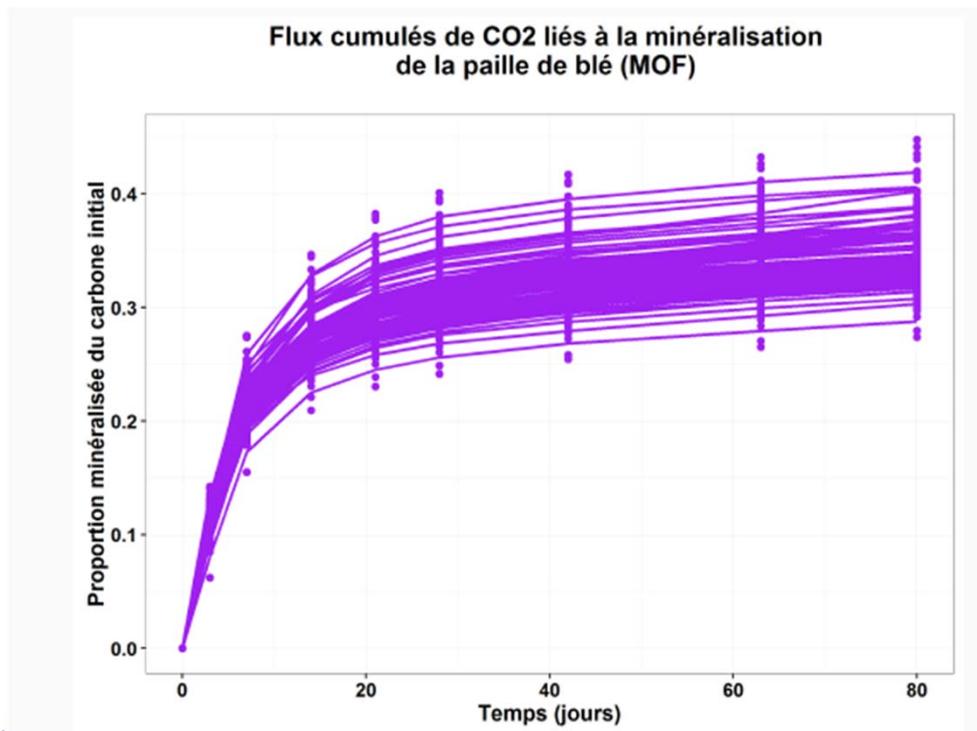
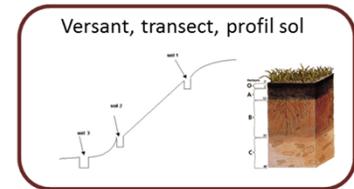
# Activités principales et quelques résultats (3/6)

WP2

- Comprendre les processus contrôlant la dynamique de la MOS et les flux de C**
- Relations diversité microbienne / dynamique de la MO
  - Impact du régime hydrique sur la dynamique de la MO, processus de stabilisation / déstabilisation
  - Flux de C, transferts

- Prise en compte de la diversité microbienne dans les modèles de dynamique de la MO

**Incubations de sol (80j) avec ou sans paille de blé marquée**



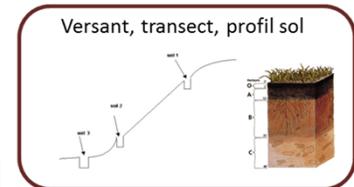
- *Comment intégrer la diversité microbienne ?*
  - *Pour quel gain de prédiction ?*
- (Louis, 2016)

# Activités principales et quelques résultats (3/6)

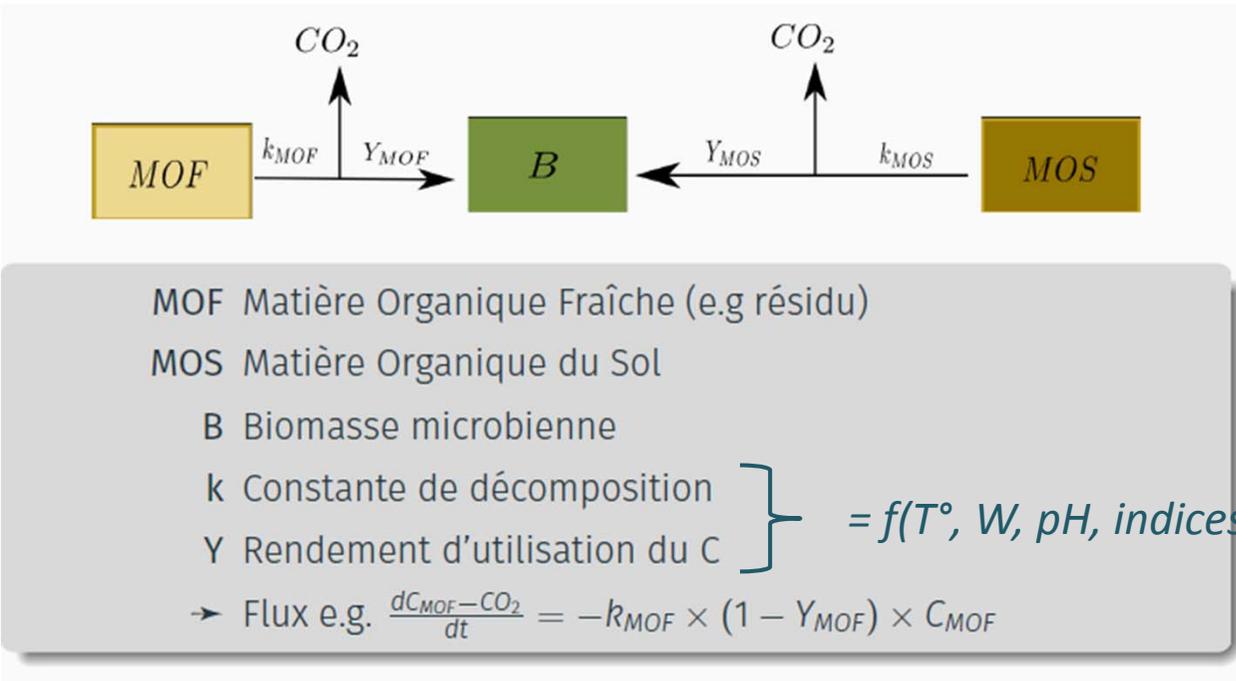
WP2

- Comprendre les processus contrôlant la dynamique de la MOS et les flux de C**
- Relations diversité microbienne / dynamique de la MO
  - Impact du régime hydrique sur la dynamique de la MO, processus de stabilisation / déstabilisation
  - Flux de C, transferts

- Prise en compte de la diversité microbienne dans les modèles de dynamique de la MO



## Modulation des constantes de décomposition par les indices globaux de diversité



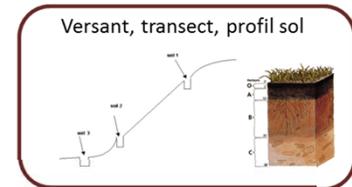
(Louis *et al.*, Environ. Chem. Lett., 2016)

# Activités principales et quelques résultats (3/6)

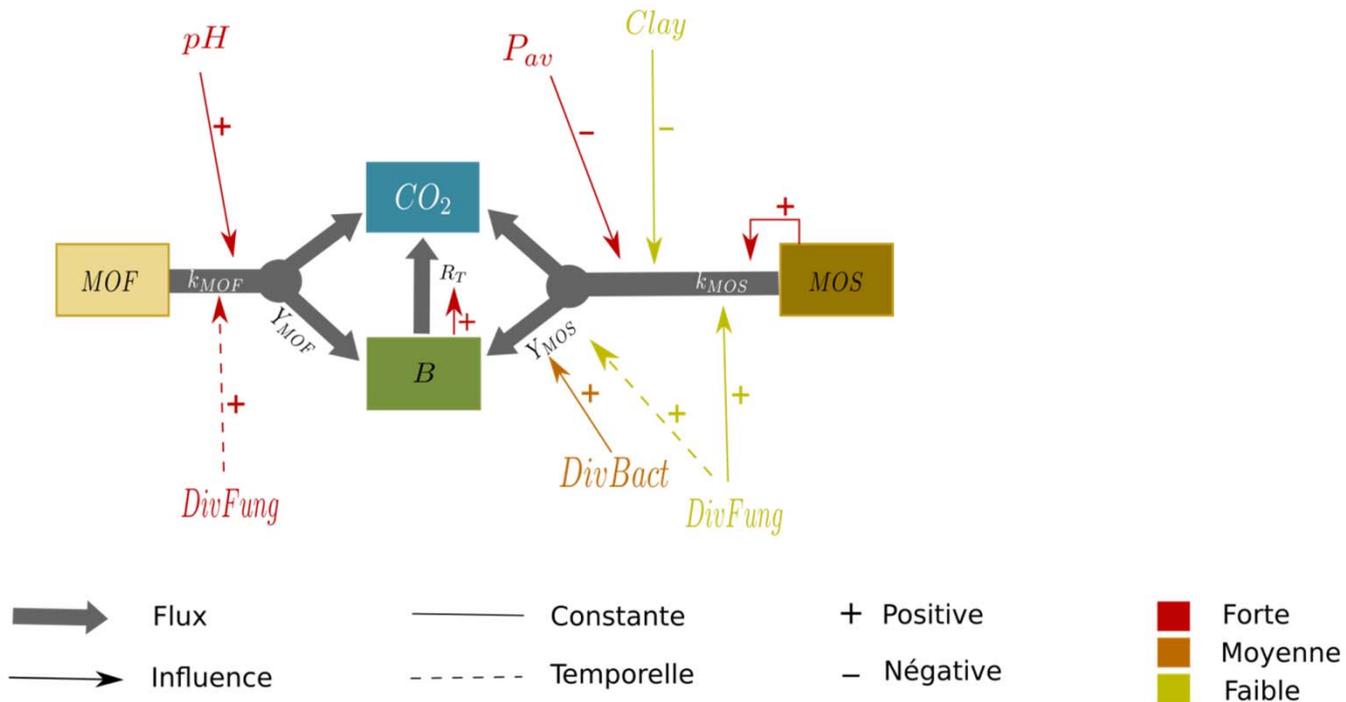
WP2

- Comprendre les processus contrôlant la dynamique de la MOS et les flux de C**
- Relations diversité microbienne / dynamique de la MO
  - Impact du régime hydrique sur la dynamique de la MO, processus de stabilisation / déstabilisation
  - Flux de C, transferts

- Prise en compte de la diversité microbienne dans les modèles de dynamique de la MO



Processus impliqués dans les sols amendés



(Louis *et al.*, Plos One, 2016)

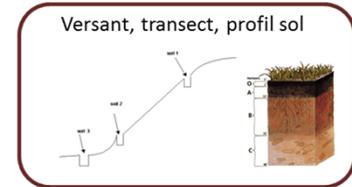
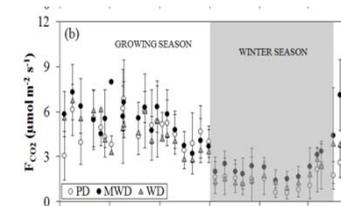
# Activités principales et quelques résultats (4/6)

WP2

- Comprendre les processus contrôlant la dynamique de la MOS et les flux de C**
- Relations diversité microbienne / dynamique de la MO
  - Impact du régime hydrique sur la dynamique de la MO, processus de stabilisation / déstabilisation
  - Flux de C, transferts

- Impact du régime hydrique des sols sur les processus de stabilisation / déstabilisation de la MO et les flux associés

- Suivi des flux de respiration du sol

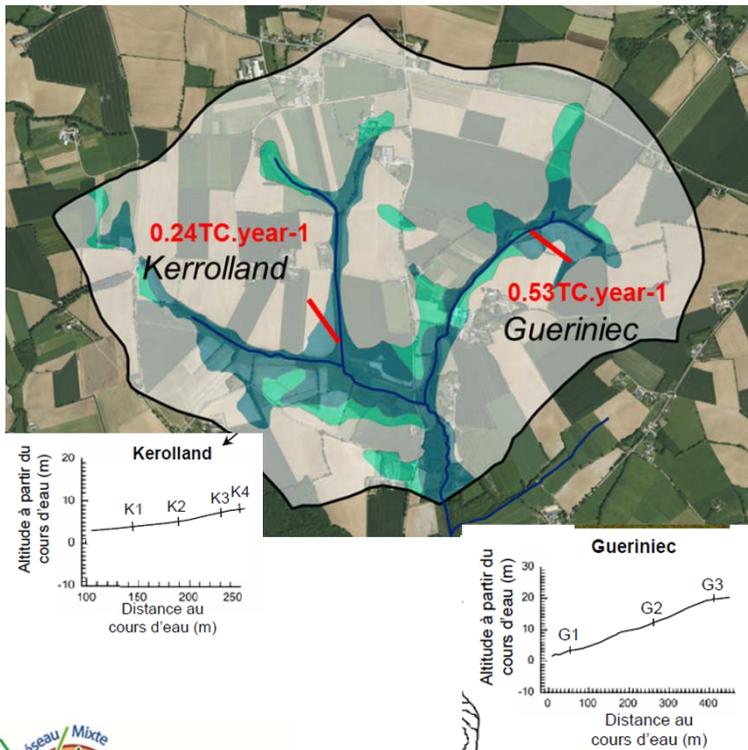


- Caractérisation des MO, stabilisation chimique et physique



- Water aggregate fractionation
- Lignin phenols
- Al & Iron oxides
- Potentially mineralizable C by incubations

- Caractérisation des MOD, dynamique et voies de transfert



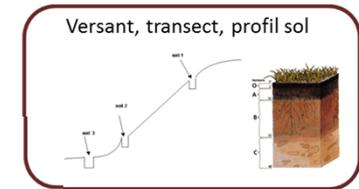
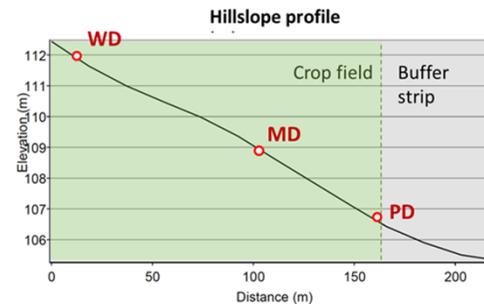
# Activités principales et quelques résultats (4/6)

WP2

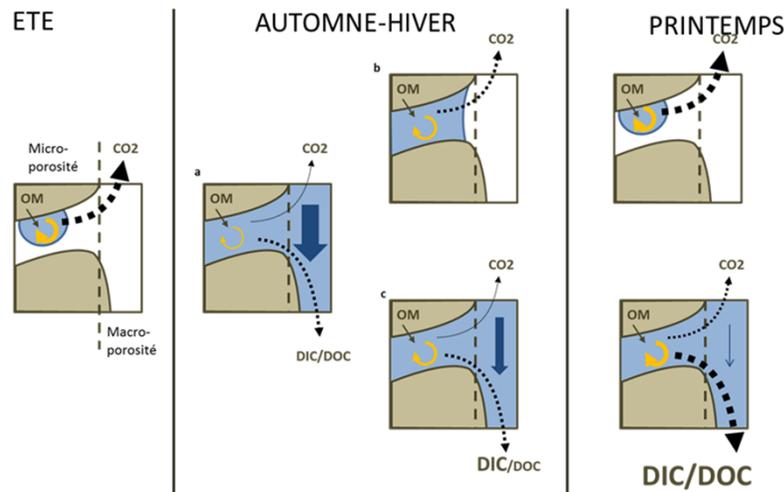
- Comprendre les processus contrôlant la dynamique de la MOS et les flux de C**
- Relations diversité microbienne / dynamique de la MO
  - Impact du régime hydrique sur la dynamique de la MO, processus de stabilisation / déstabilisation
  - Flux de C, transferts

- Impact du régime hydrique des sols sur les processus de stabilisation / déstabilisation de la MO et sur les flux de C associés

**Processus de stabilisation – déstabilisation de la MO et flux associés le long d’un gradient régime hydrique x système de culture**



## Modèle conceptuel de la déstabilisation du carbone dans les zones d’interaction sol-nappe



(Buyse *et al.*, Biogeochemistry, 2016; Buyse *et al.*, en préparation; Humbert *et al.*, AEE, sous presse; Jeanneau *et al.*, Biogeosciences, 2015; Rumpel *et al.*, en préparation )

# Activités principales et quelques résultats (5/6)

- Modélisation intégrée des stocks et des transferts de C

WP3

Modéliser et simuler des évolutions à l'échelle du paysage

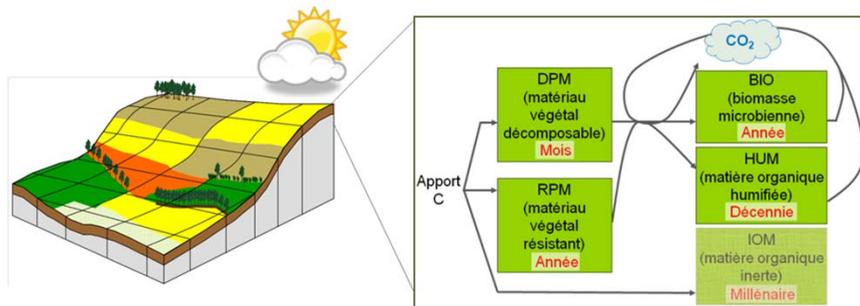
- Modélisation intégrée de la dynamique et des transferts de C
- Simulation prospective

Echelle du paysage (BV 12km<sup>2</sup>)

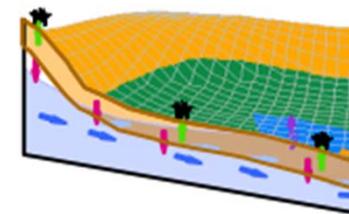


Articulation de modèles de dynamique du C du sol et modèles de transferts de C dissous dans le bassin versant

Evolution du stock de C dans le sol : RothC spatialisé



Transfert de MOD : module hydrologique TNT2



- Amélioration de la spatialisation de la dynamique de l'eau dans le sol
- Modélisation des flux de MOD dans le cours d'eau (Humbert *et al.*, WRR, 2015)
- Calibration de la minéralisation pour les sols cultivés saturés de façon temporaire ou permanente (Tété, 2015)

# Activités principales et quelques résultats (6/6)

WP3

Modéliser et simuler des évolutions à l'échelle du paysage

- Modélisation intégrée de la dynamique et des transferts de C
- Simulation prospective

Echelle du paysage (BV 12km<sup>2</sup>)



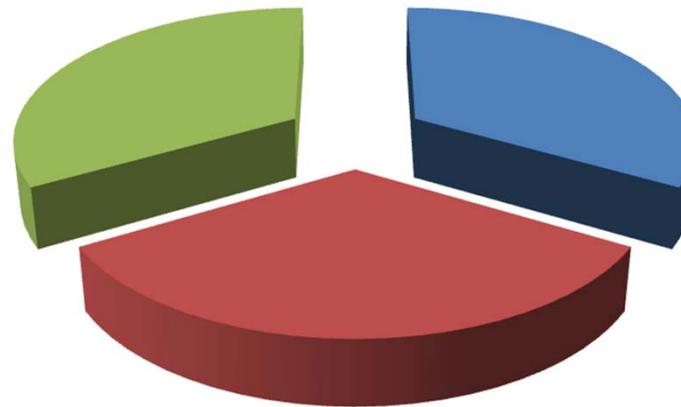
## • Simulations prospectives

Enquête socio-agronomique auprès des agriculteurs : trajectoires d'évolution des exploitations

Spécialisation ...

- Poly-élevages à mono-élevage
- De polycultures-élevages à polycultures (végétalisation)

... et augmentation de la production actuelle *via* une automatisation, un gain d'autonomie, et l'investissement dans des projets innovants



Maintien de la production actuelle sans grand investissement → Attente de la retraite ou reprise

Changement de types de productions (passage en bio, production à plus haute valeur ajoutée)

(Darrot, Viaud, Menasseri)

# Activités principales et quelques résultats (6/6)

WP3

Modéliser et simuler des évolutions à l'échelle du paysage

- Modélisation intégrée de la dynamique et des transferts de C
- Simulation prospective

- Simulations prospectives

Modélisation des 3 types d'évolution sur le territoire de quelques exploitations



Echelle du paysage (BV 12km<sup>2</sup>)



Simplification des successions, simplification des apports de MO, agrandissement

Augmentation de la part de prairies dans les successions

Spécialisation

Business-as-usual

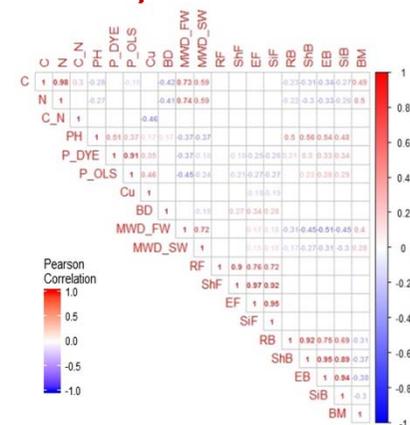
Changement de système

+ Croisement avec l'impact du climat sur la modification du régime hydrique des sols

# Discussion

# Développements méthodologiques, verrous

- Méthodes d'échantillonnage et d'analyses statistiques adaptées à un dispositif d'observation  $\neq$  dispositif expérimental
  - ⊖ de nombreuses corrélations et co-variations
  - ⊖ difficulté à isoler l'effet d'un facteur
  - ⊕ approche systémique
- Articulation des modélisations stocks et flux
  - ⊖ Dynamiques temporelles très différentes
- Prise en compte de la diversité microbienne dans la modélisation C
  - ⊖ Approche à consolider



# Articulations des échelles spatiales

- Caractérisation des hétérogénéités (stocks, dynamiques, flux)
- Identification des déterminants de la variabilité

Paysage, BV



- Modèles statistiques statiques
- Modèles dynamiques intégrés

Exploitation agricole, parcelle

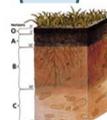
Versant



- Modèles dynamiques mécanistes et statistiques détaillés

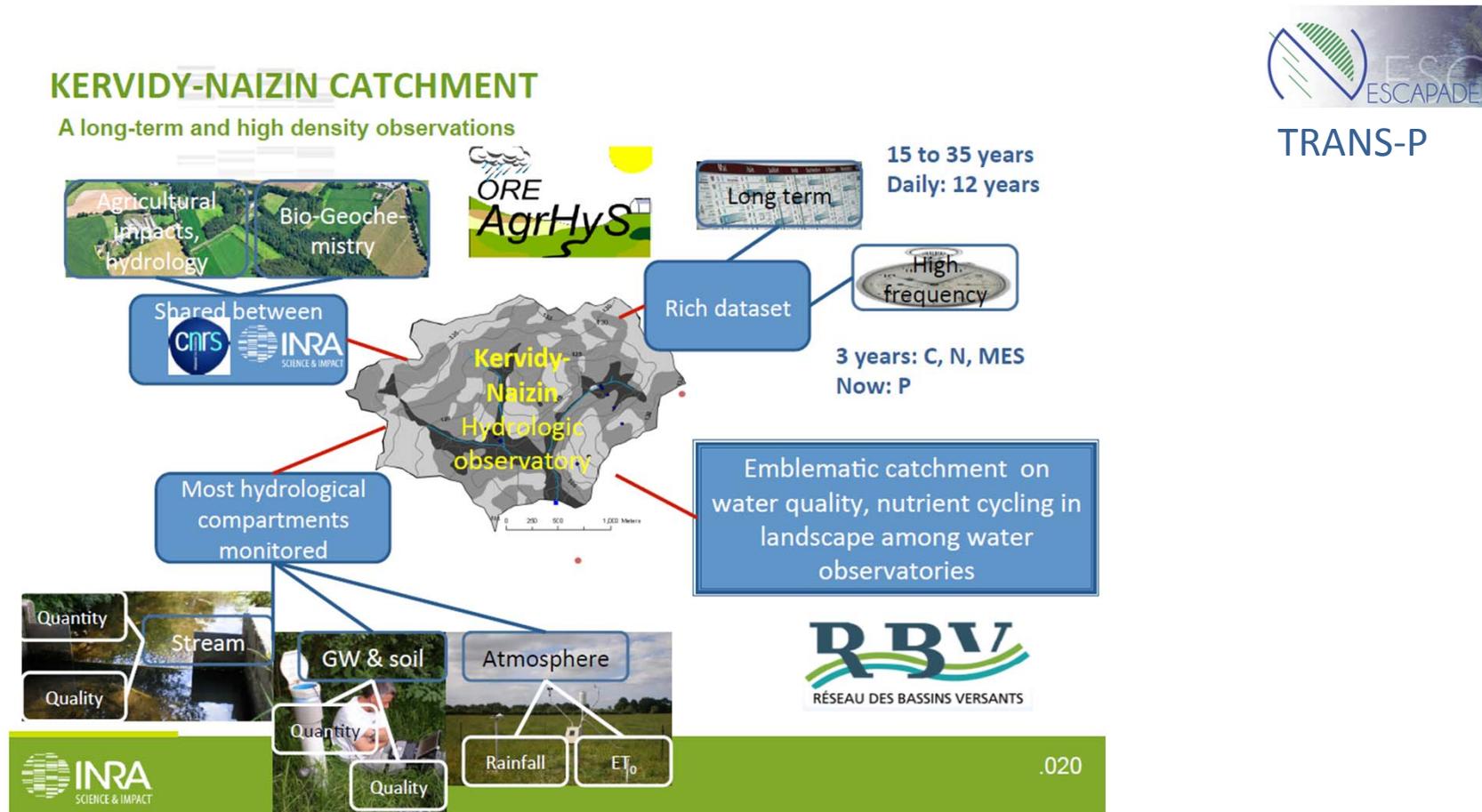
- Quantification, hiérarchisation des processus de stabilisation / déstabilisation

Échantillon, agrégat



# Quelle possibilité et quels verrous pour traiter la question du couplage des cycles ?

- Contribution C à un site suivi N et P dans les compartiments eau, sol, air

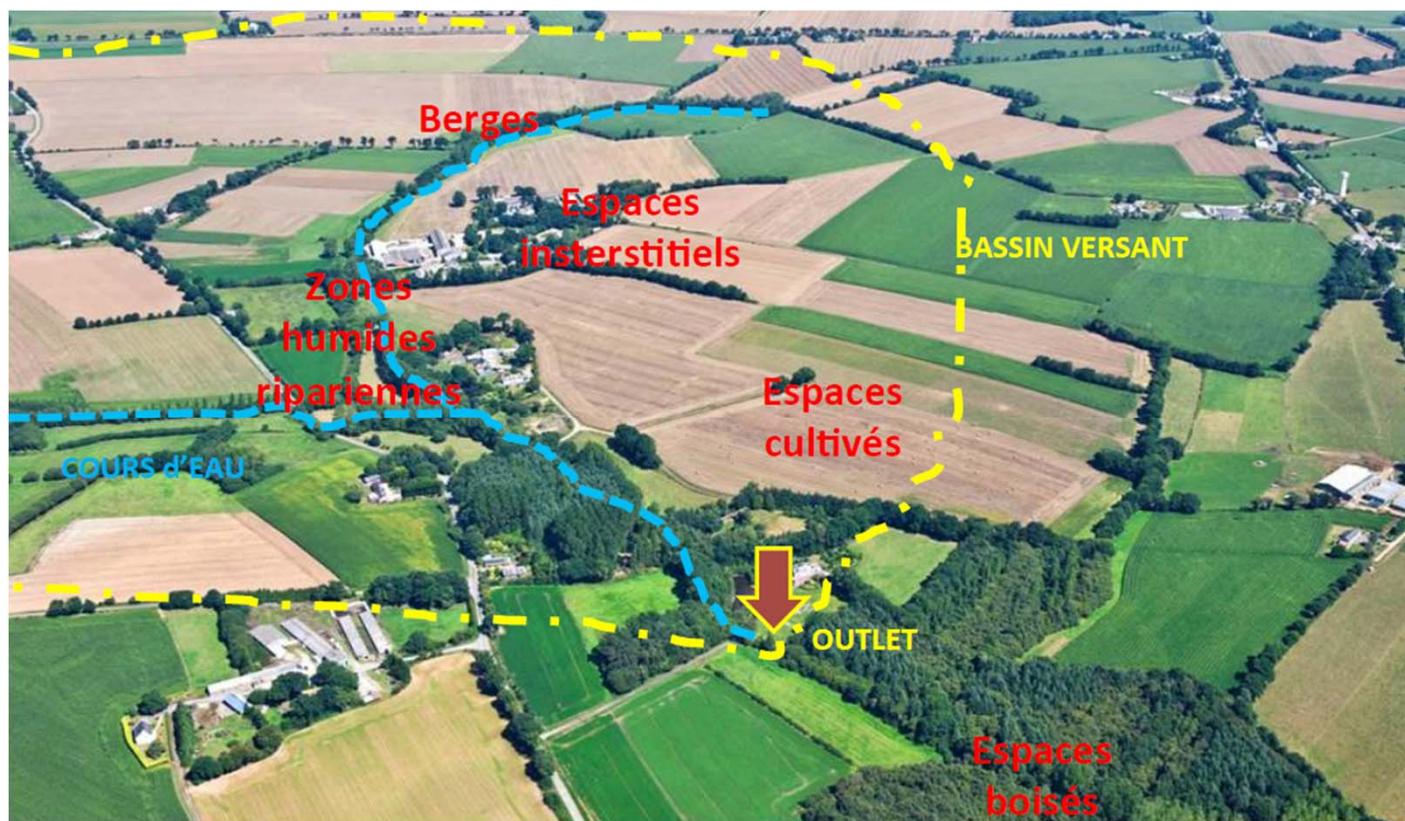


# Quelle possibilité et quels verrous pour traiter la question du couplage des cycles ?

- **Couplage au niveau des entrées agricoles**
  - ⊕ Entrées C, N, P dans les parcelles
  - ⊖ Incertitudes sur la composition des effluents et les doses apportées
- **Processus hydro-biogéochimiques de couplage – découplage**
  - stockage C, stabilisation MO
  - minéralisation C et N dans le sol
    - ⊖ Incubations C et N indépendantes, N non quantifié dans la biomasse
    - ⊖ Azote non limitant
    - ⊕ Quelques éléments sur l'impact de la disponibilité en P et le C/N
  - dynamique saisonnière des flux d'eau ⊕

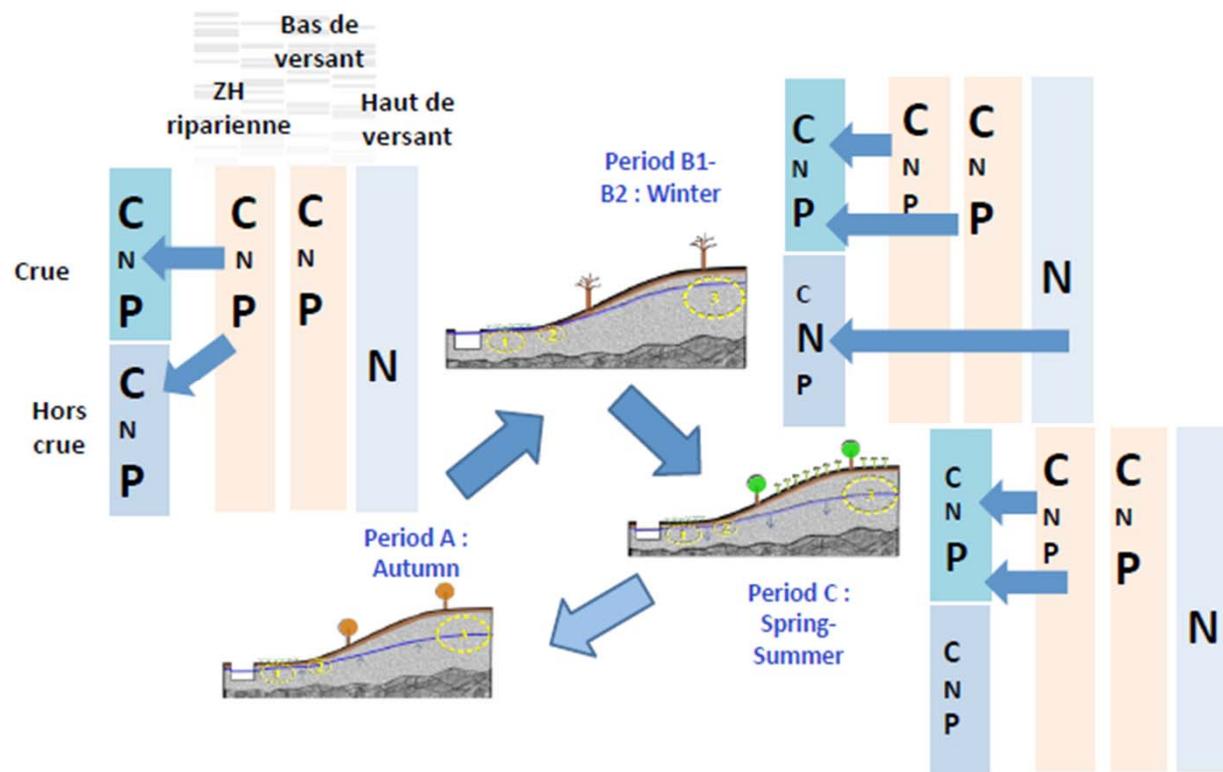
# Quelle possibilité et quels verrous pour traiter la question du couplage des cycles ?

- Caractérisation fonctionnelle du paysage : organisation spatio-temporelle du couplage – découplage dans le compartiment eau



# Quelle possibilité et quels verrous pour traiter la question du couplage des cycles ?

- Caractérisation fonctionnelle du paysage : organisation spatio-temporelle du couplage – découplage dans le compartiment eau via les interactions sol - nappe



(D'après Gascuel)

# Quelle possibilité et quels verrous pour traiter la question du couplage des cycles ?

- **Couplage au niveau des entrées agricoles**
  - ⊕ Entrées C, N, P dans les parcelles
  - ⊖ Incertitudes sur la composition des effluents et les doses apportées
- **Processus hydro-biogéochimiques de couplage – découplage**
  - stockage C, stabilisation MO
  - minéralisation C et N dans le sol
    - ⊖ Incubations C et N indépendantes, N non quantifié dans la biomasse
    - ⊖ Azote non limitant
  - dynamique saisonnière des flux d'eau ⊕

**=> Une synthèse reste à produire et un feedback vers la gestion à travailler**