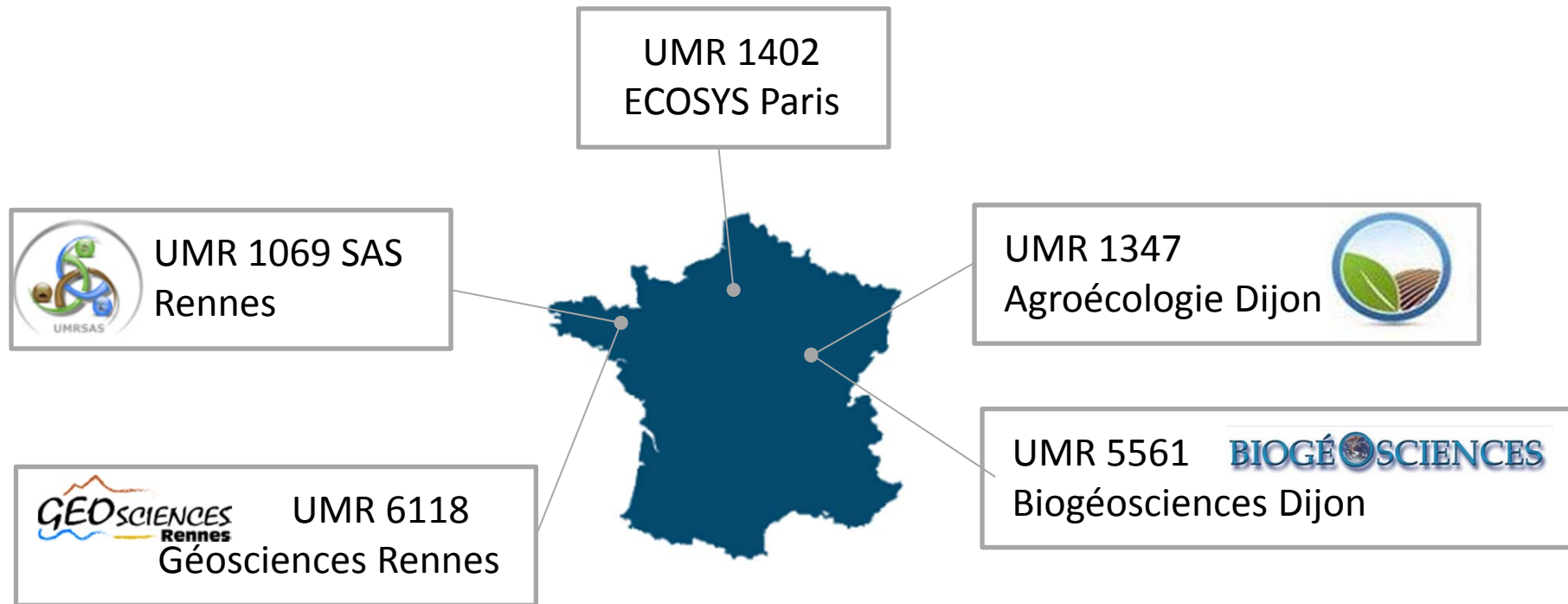


MOSAIC :

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



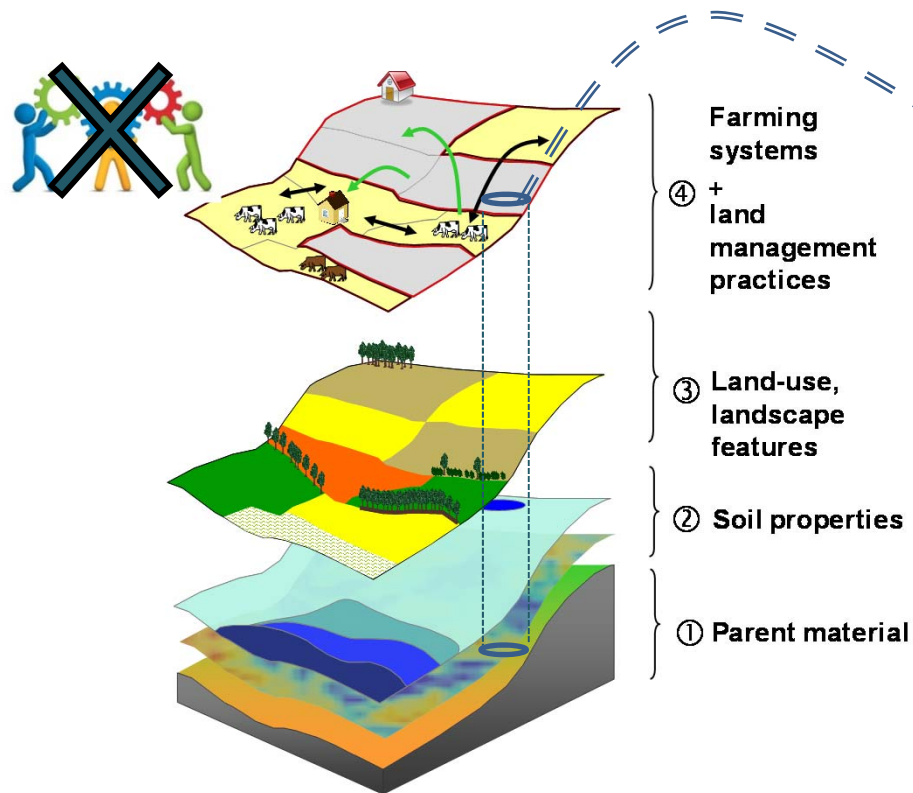
Objectifs

- 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

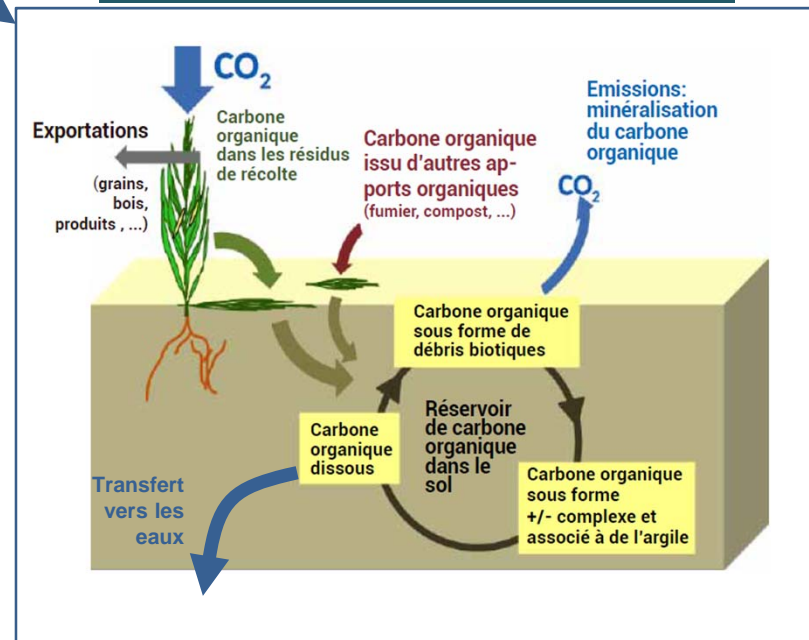
Objectifs

Une approche paysagère plus qu'une approche territoriale

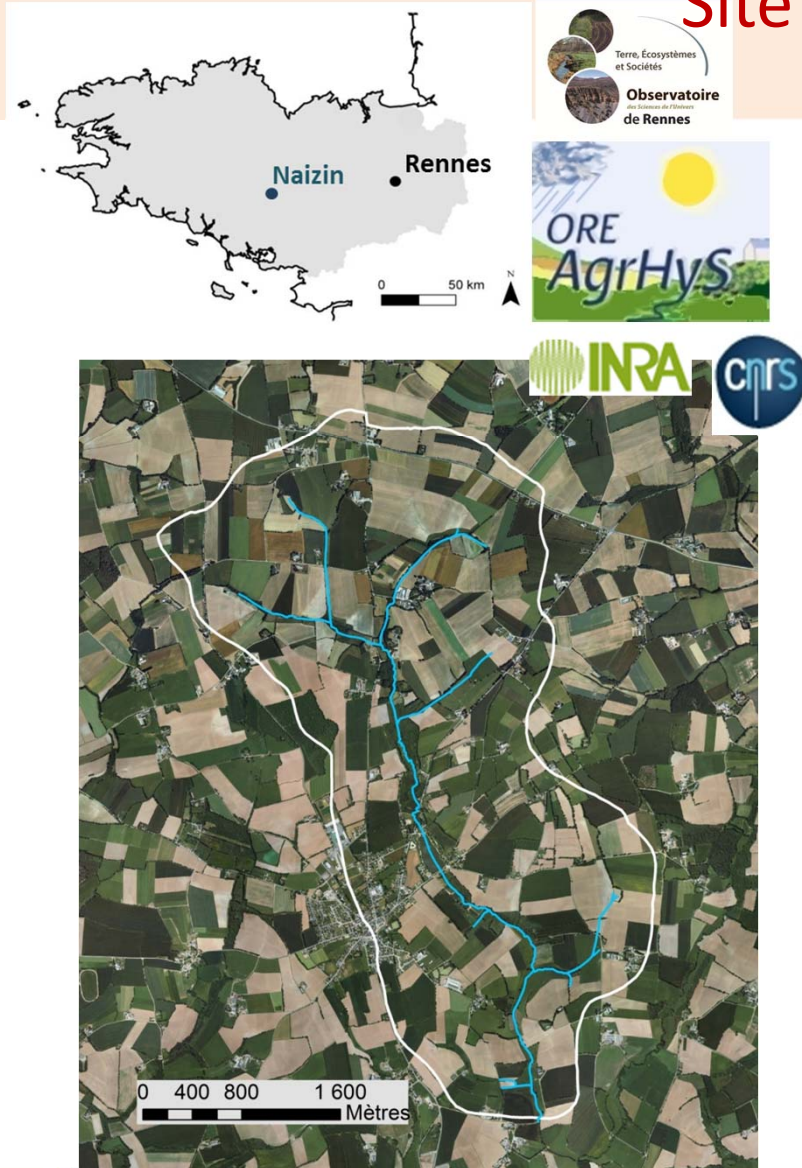
Interactions milieu physique – facteurs anthropiques



Dynamique du C du sol et flux associés

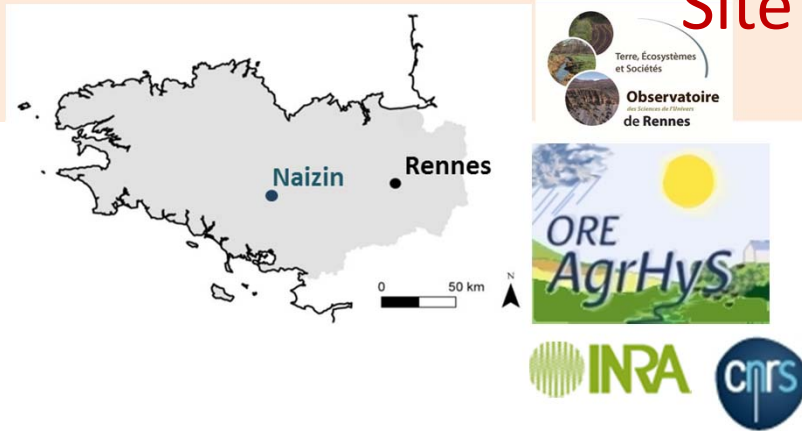


Site d'étude (1/2)



- Contexte pédo-climatique :
 - Climat homogène

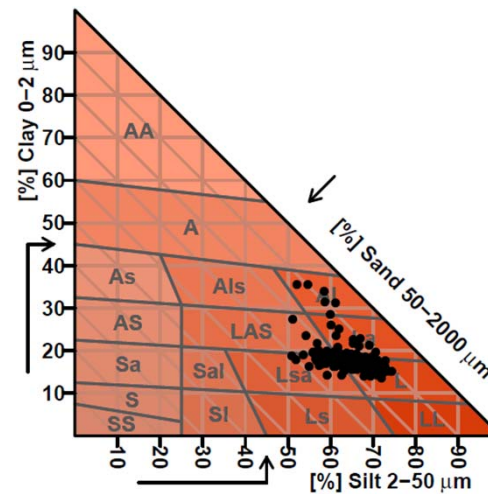
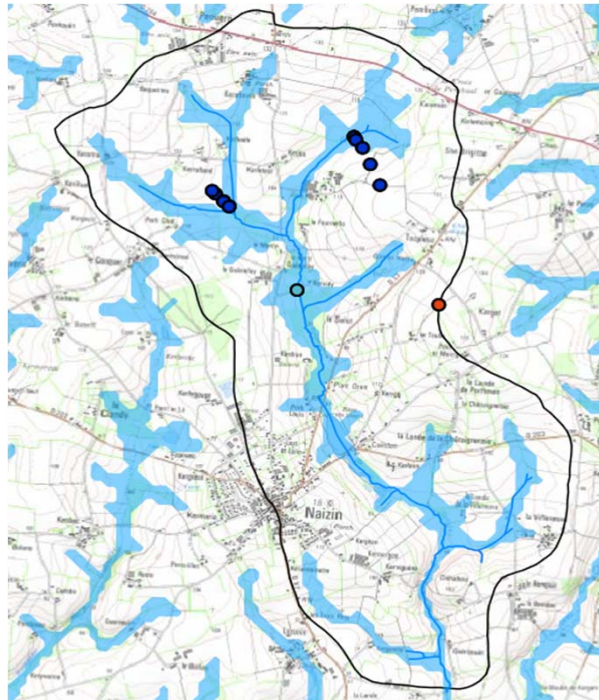
Site d'étude (2/2)



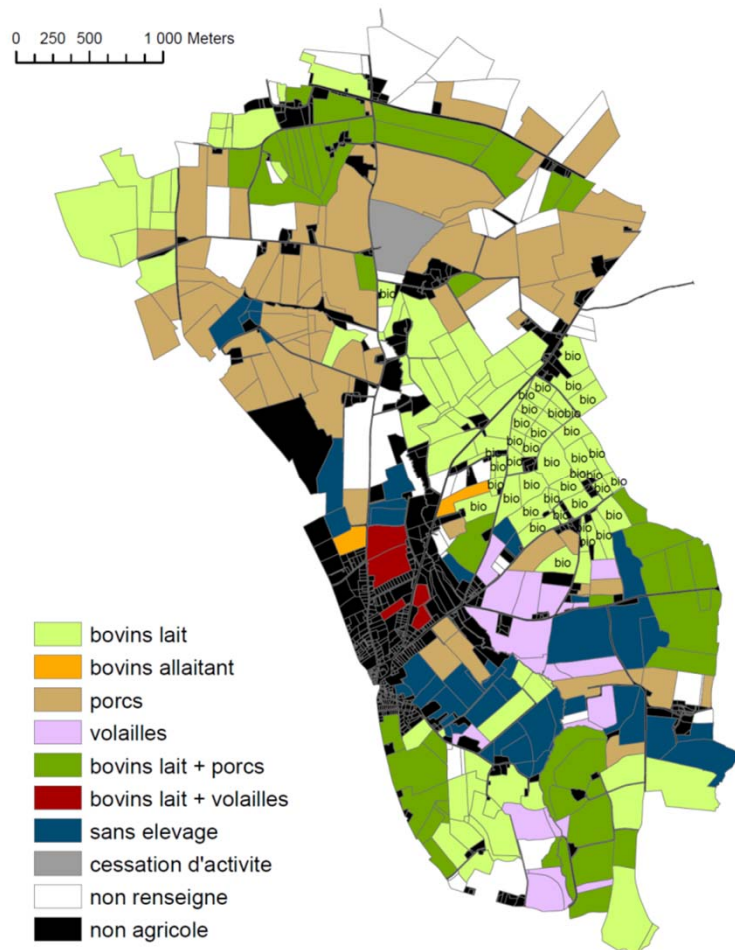
- Contexte pédo-climatique :

- Sols :

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

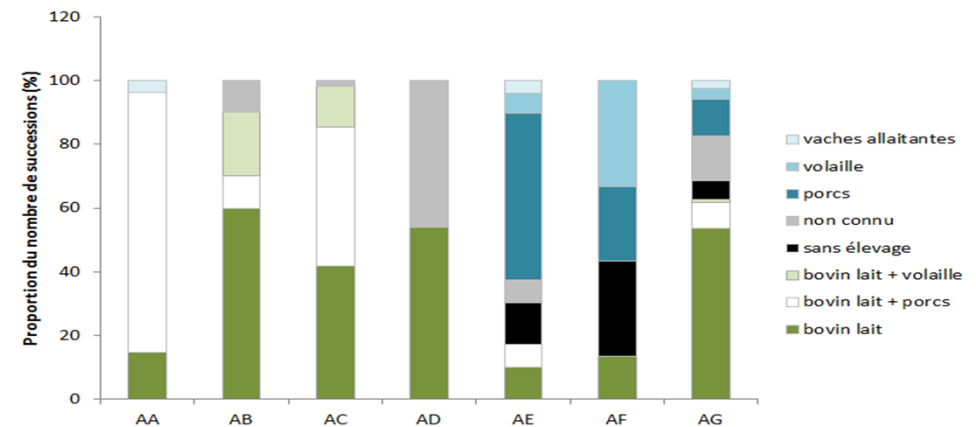


Site d'étude (2/2)



(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 12km²)



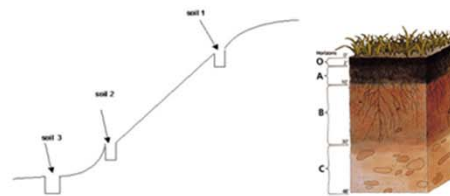
- Observations
- Enquêtes
- Cartographie numérique
- Statistiques, modélisation

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 12km²)



- 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 12km²)



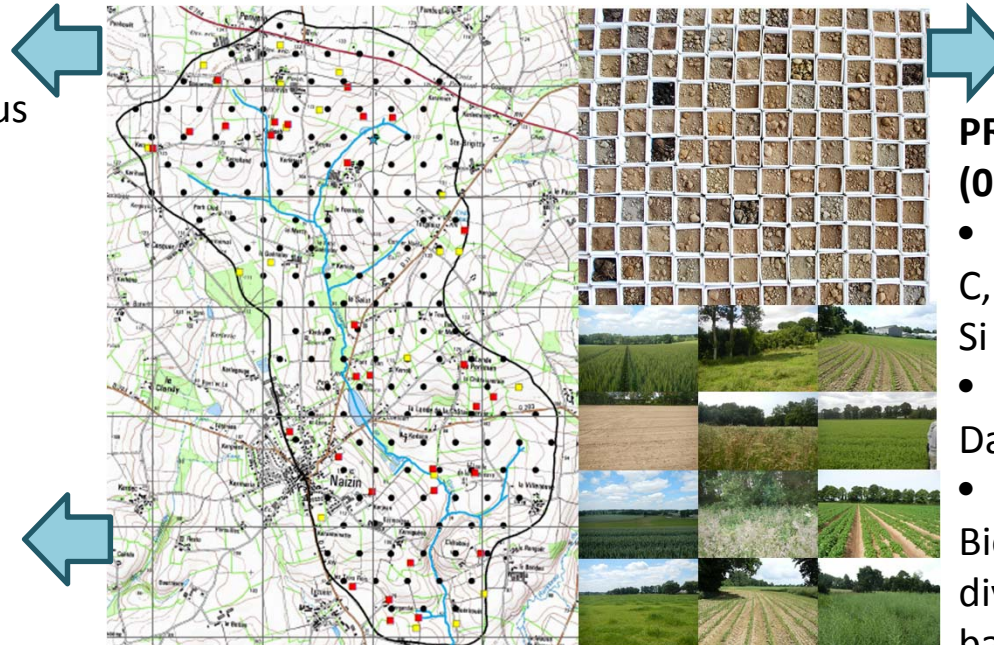
193 points échantillonnés sur 12 km²

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, P₂O₅, Cu, Fe, Si
- **Physiques**
Da, Stabilité structurale
- **Microbiologiques**
Biomasse, indices de diversité fongique et bactérienne

Activités principales et quelques résultats (1/6)

WPI1

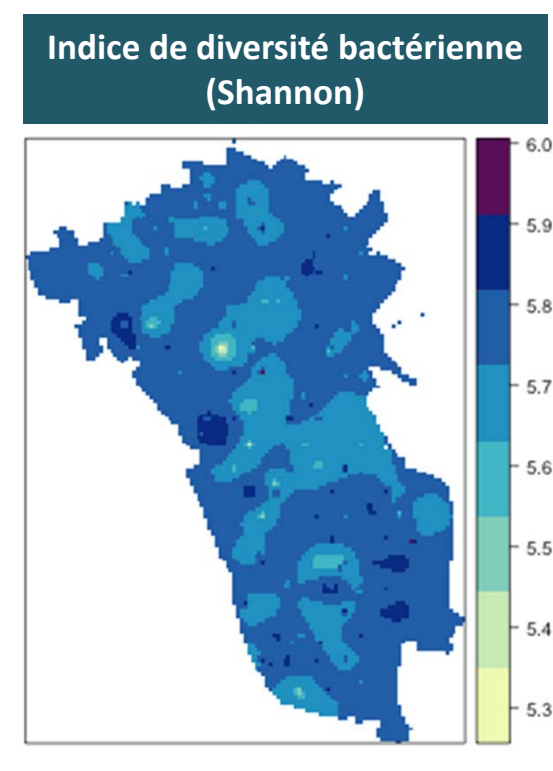
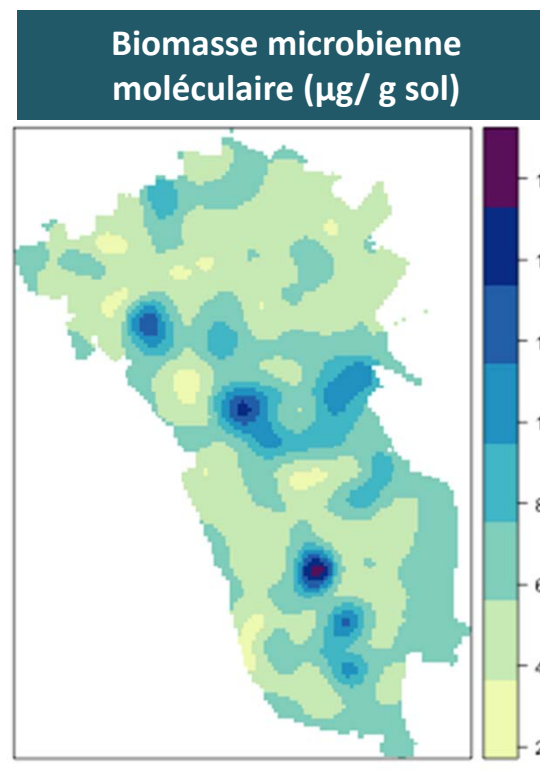
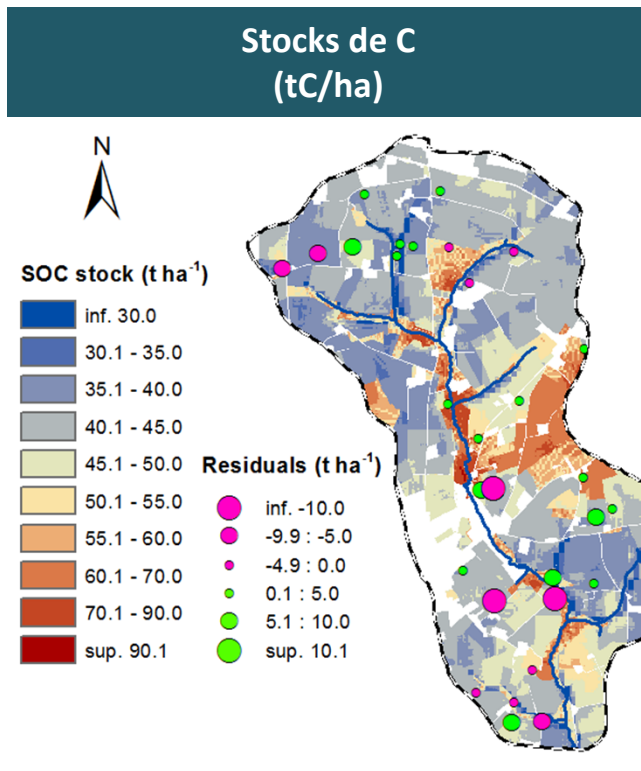
Quantifier les variabilités et co-variabilités existantes à l'échelle du paysage

- 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

Echelle du paysage (BV 12km²)



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



(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

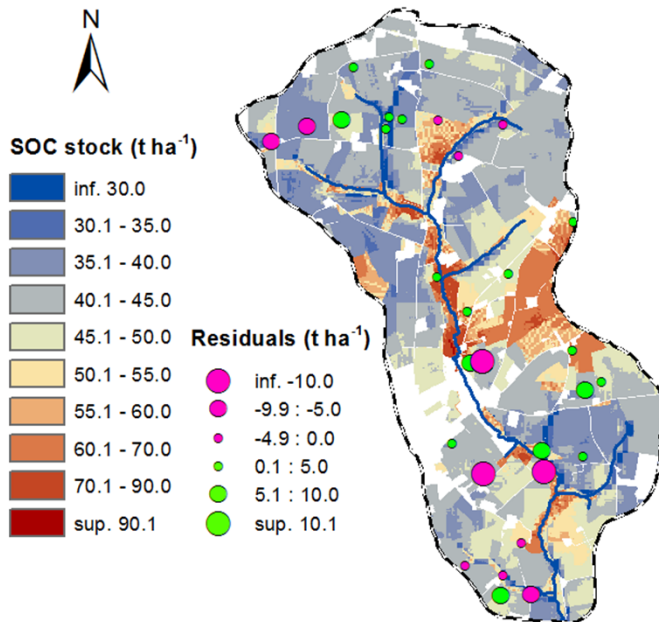
- Caractérisation des systèmes de cultures et du milieu
- Cartographie des stocks de MOS
- Cartographie de l'abondance et de la diversité microbienne
- Analyse des déterminants

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

Echelle du paysage (BV 12km²)

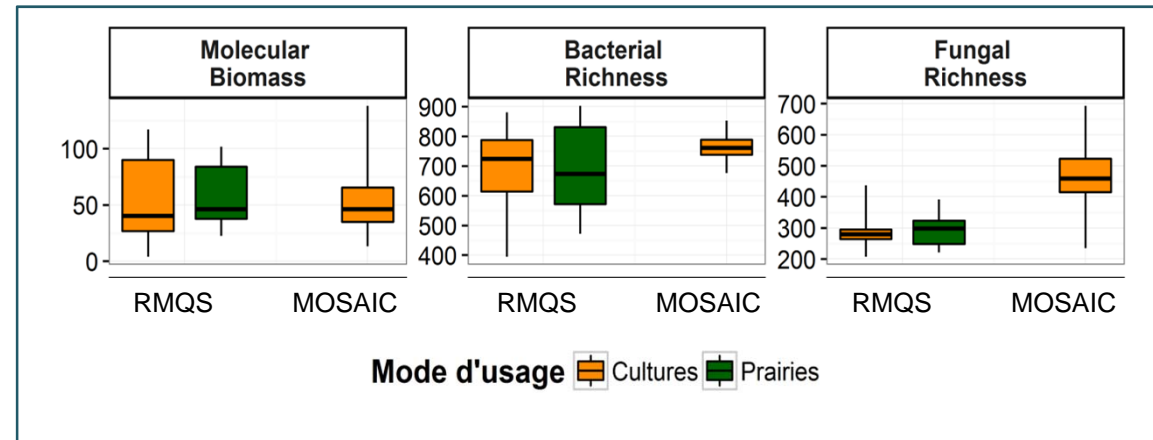


Stocks de C
(tC/ha)



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

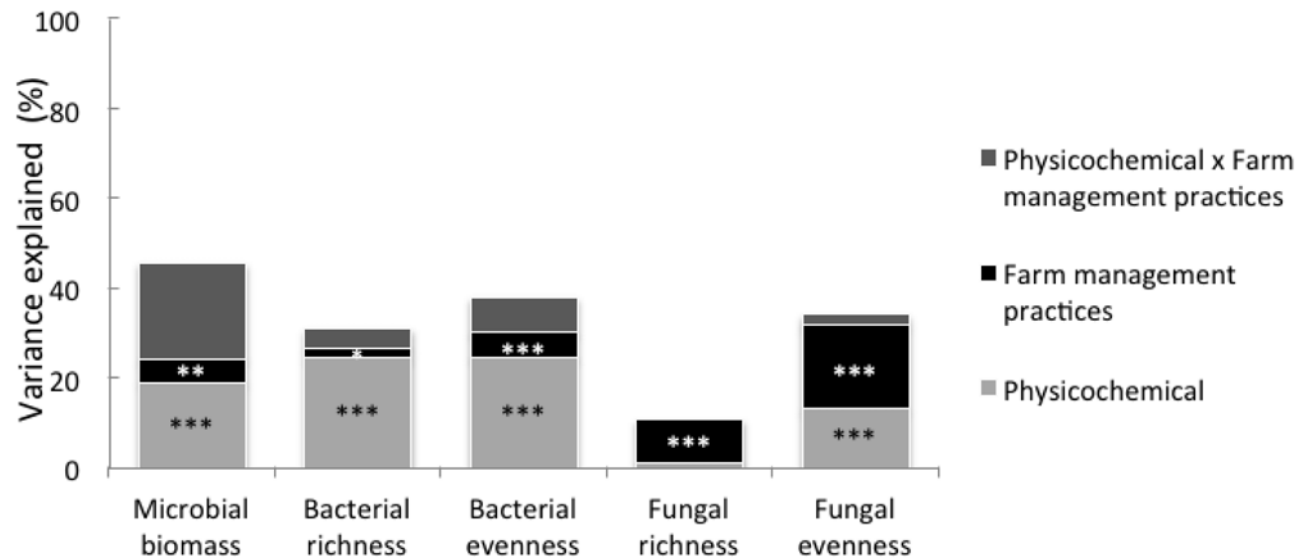
- Caractérisation des systèmes de cultures et du milieu
- Cartographie des stocks de MOS
- Cartographie de l'abondance et de la diversité microbienne
- Analyse des déterminants

Echelle du paysage (BV 12km²)



- 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

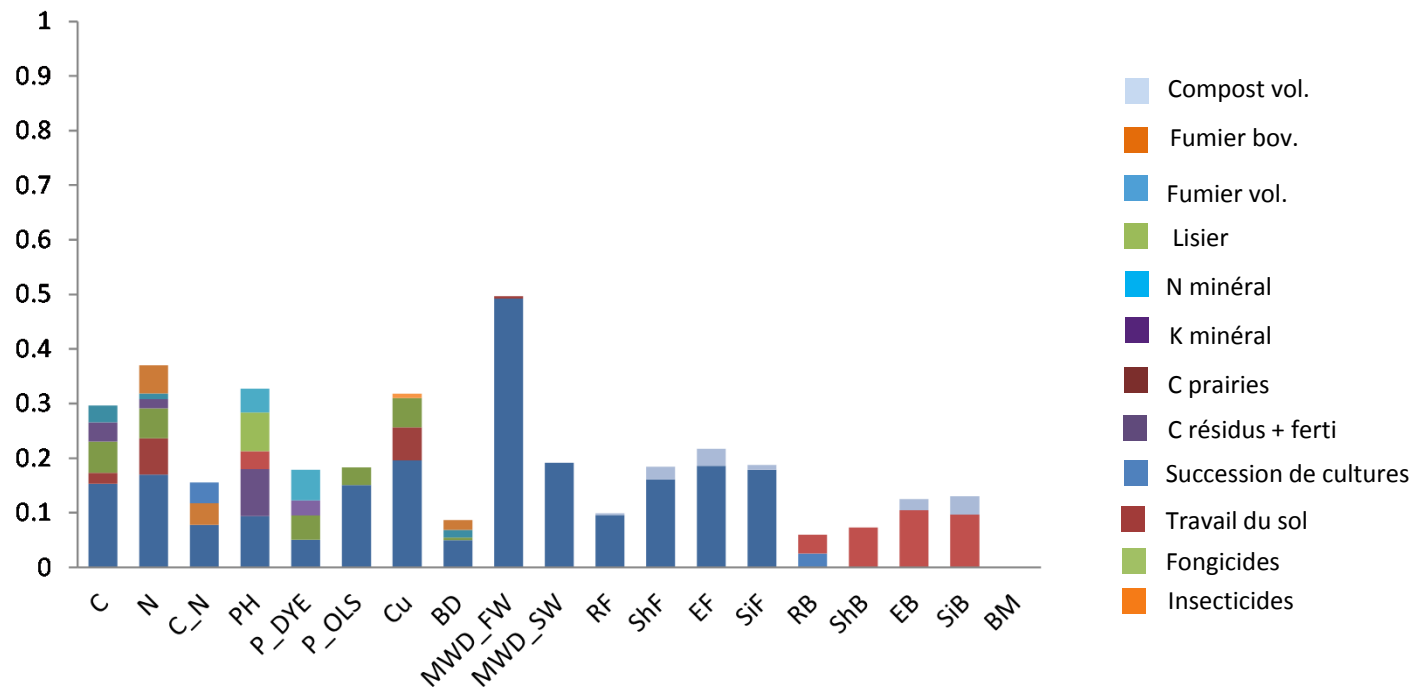
- Caractérisation des systèmes de cultures et du milieu
- Cartographie des stocks de MOS
- Cartographie de l'abondance et de la diversité microbienne
- Analyse des déterminants

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

Echelle du paysage (BV 12km²)



Part de variance expliquée par les composantes des systèmes de culture



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

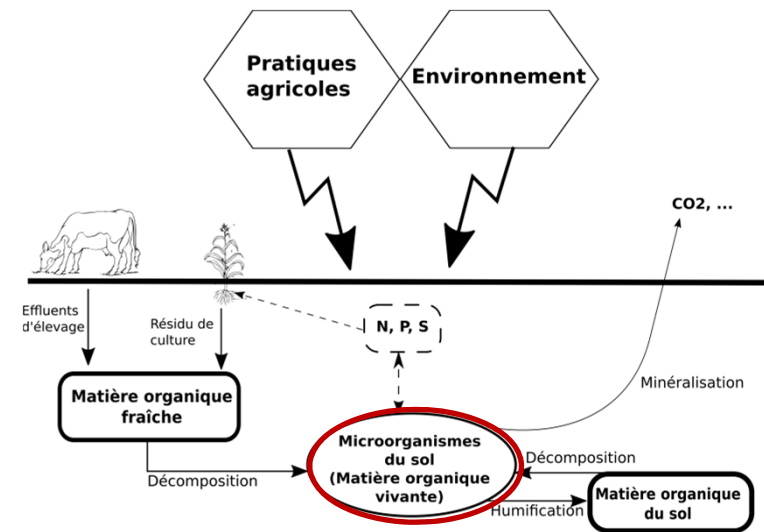
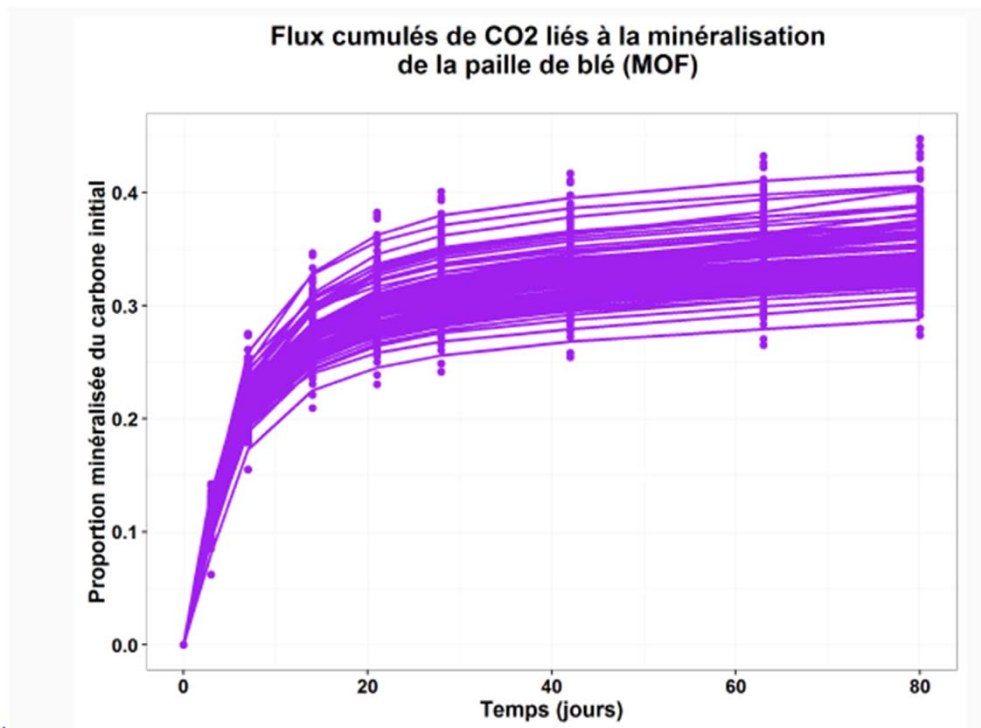
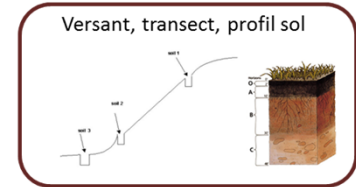
Activités principales et quelques résultats (3/6)

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



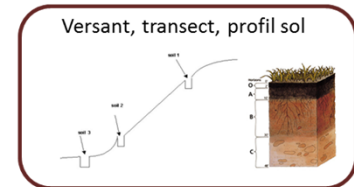
- *Comment intégrer la diversité microbienne ?*
 - *Pour quel gain de prédiction ?*
- (Louis, 2016)

Activités principales et quelques résultats (3/6)

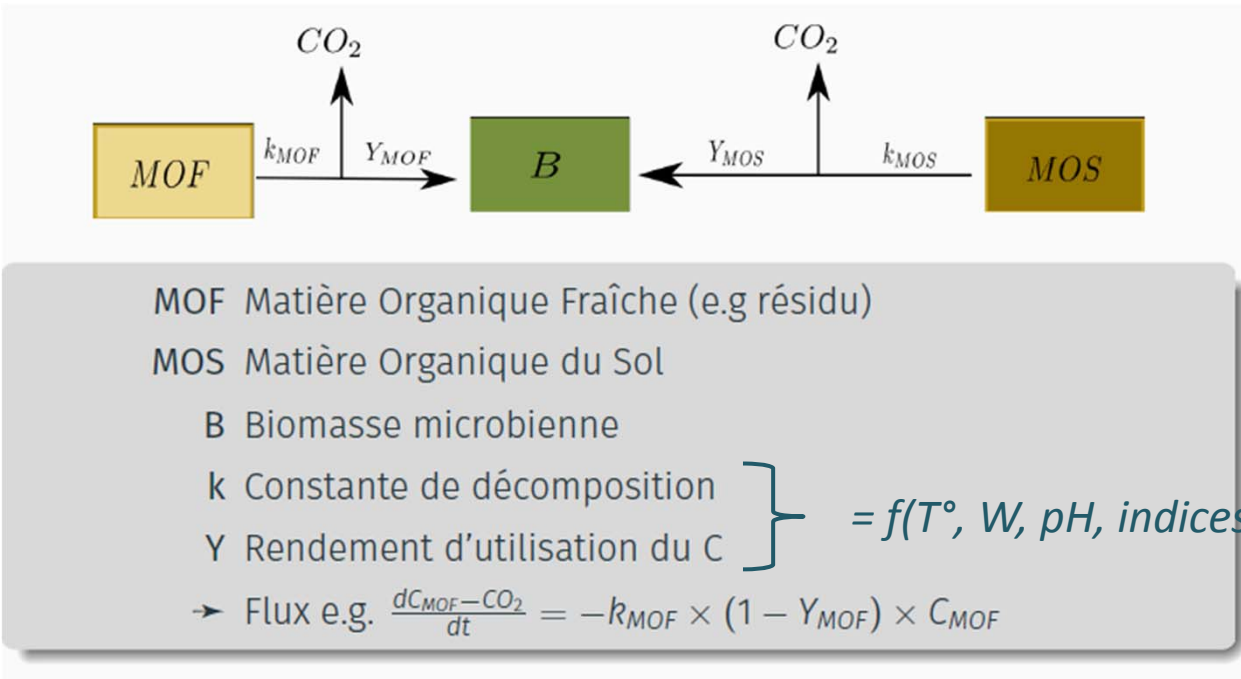
WP2

- 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



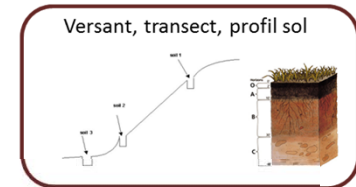
(Louis *et al.*, Environ. Chem. Lett., 2016)

Activités principales et quelques résultats (3/6)

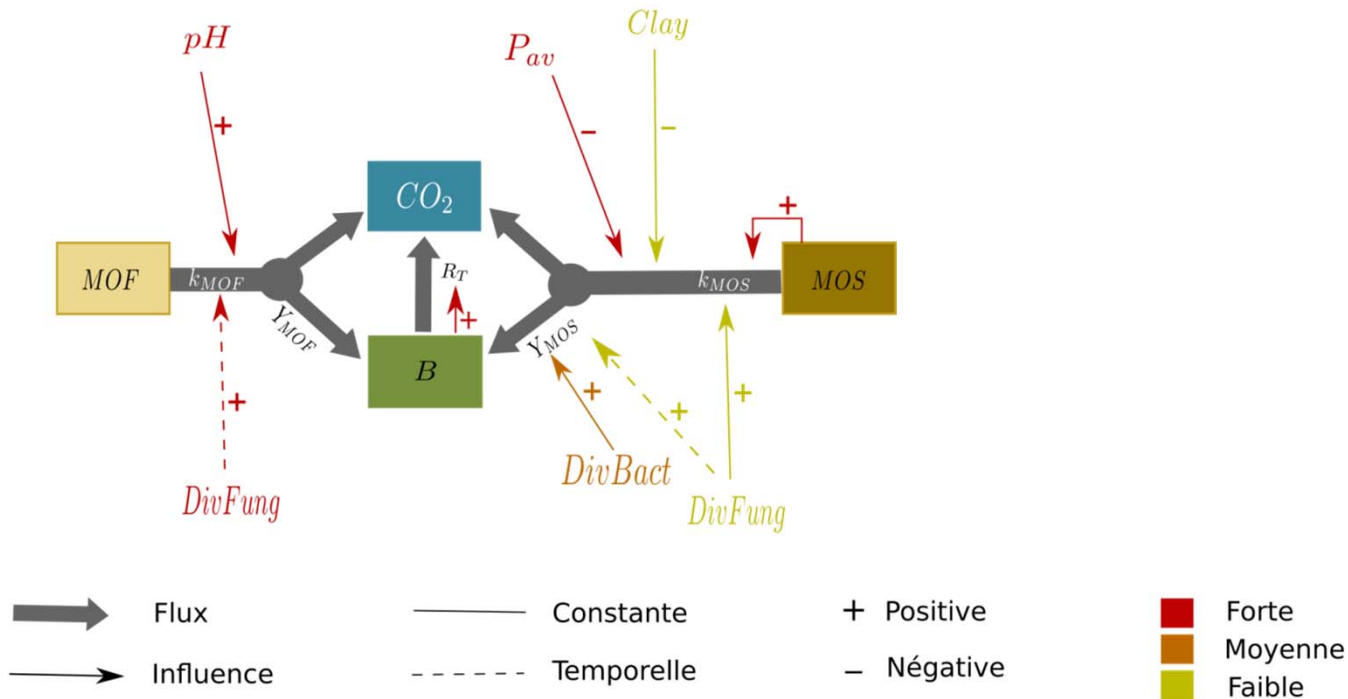
WP2

- 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)

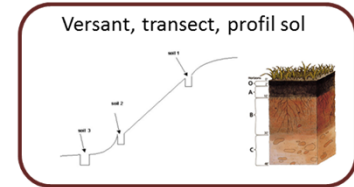
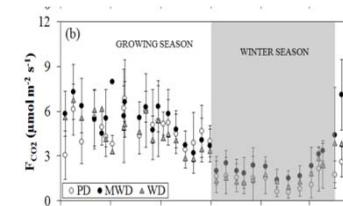
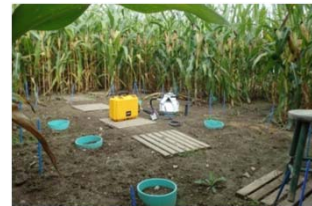
Activités principales et quelques résultats (4/6)

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

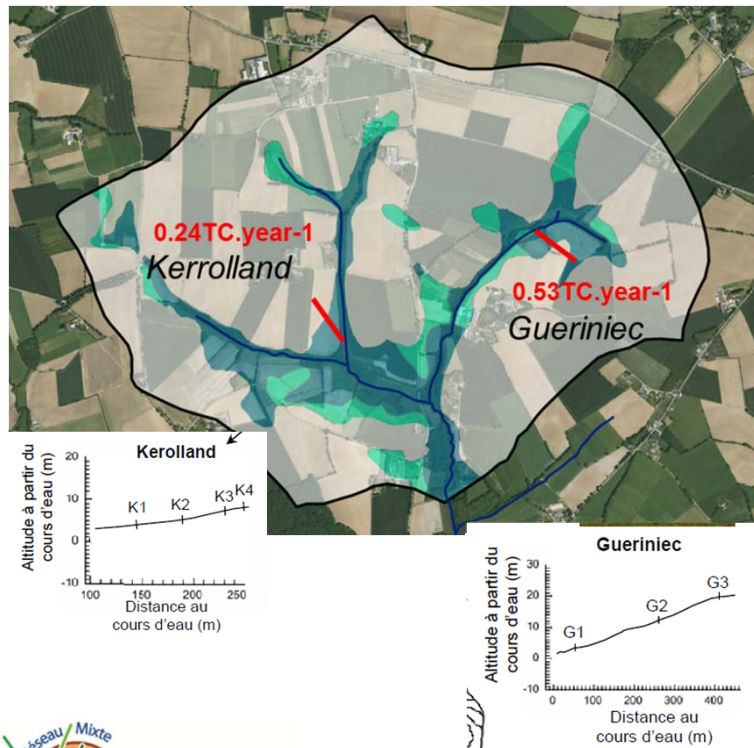


- Caractérisation des MO, stabilisation chimique et physique



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

- Caractérisation des MOD, dynamique et voies de transfert



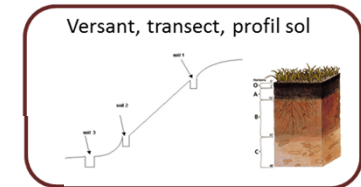
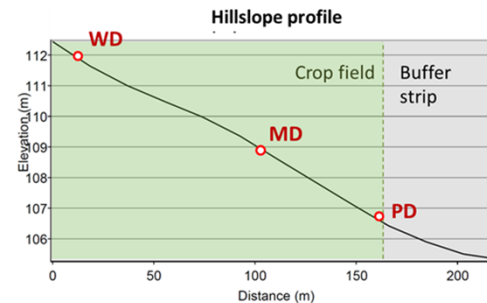
Activités principales et quelques résultats (4/6)

WP2

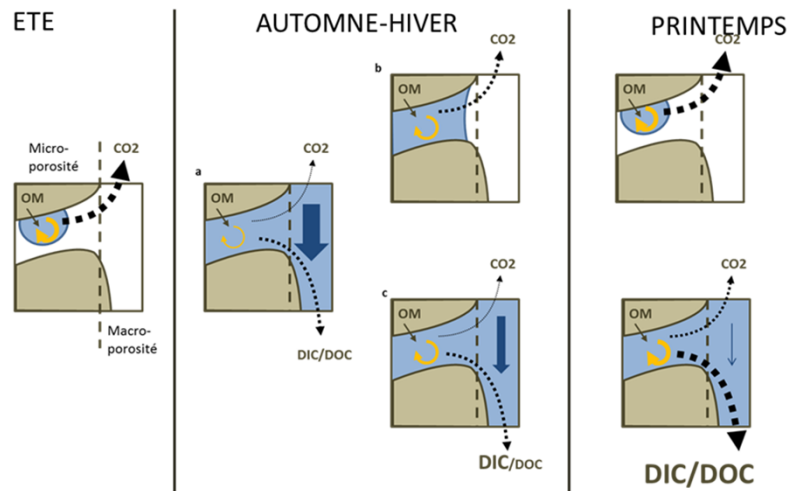
- Comprendre les processus contrôlant la dynamique de la MOS et les flux de C**
- Relations diversité microbienne / dynamique de la MO
 - Impact du régime hydrique sur la dynamique de la MO, processus de stabilisation / déstabilisation
 - Flux de C, transferts

- 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

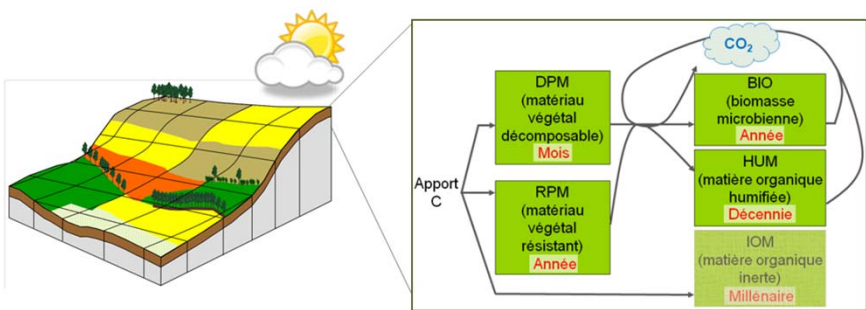
WP3
Modéliser et simuler des évolutions à l'échelle du paysage

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

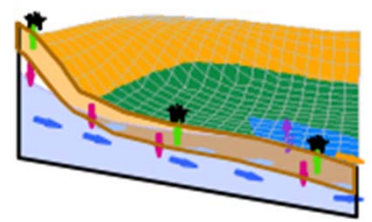


Articulation de modèles de dynamique du C du sol et modèles de transferts de C dissous dans le bassin versant

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 12km²)



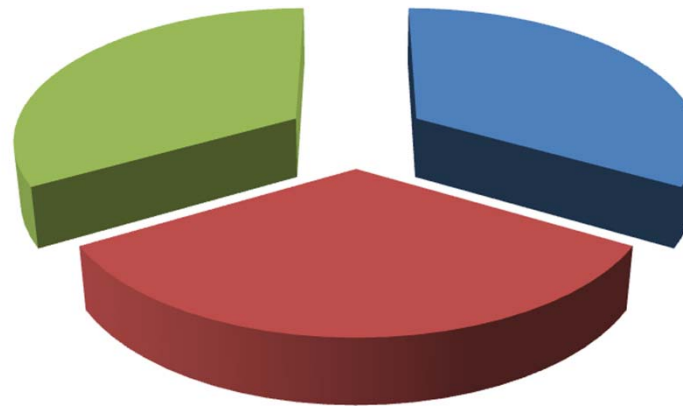
• Simulations prospectives

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 12km²)



Simplification des successions,
simplification des apports de
MO, agrandissement



Spécialisation

Business-as-usual

Augmentation de la part de
prairies dans les successions



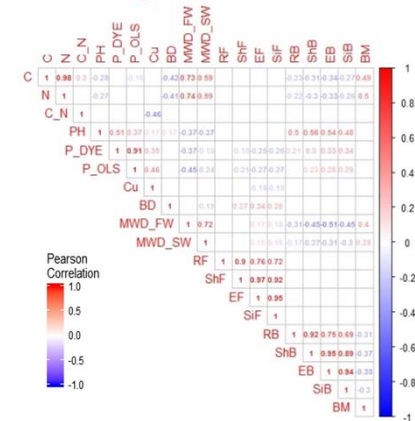
Changement de
système

+ 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



- Quantification, hiérarchisation des processus de stabilisation / déstabilisation

Paysage, BV



- Modèles statistiques statiques
- Modèles dynamiques intégrés

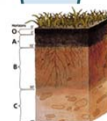
Exploitation agricole, parcelle

Versant



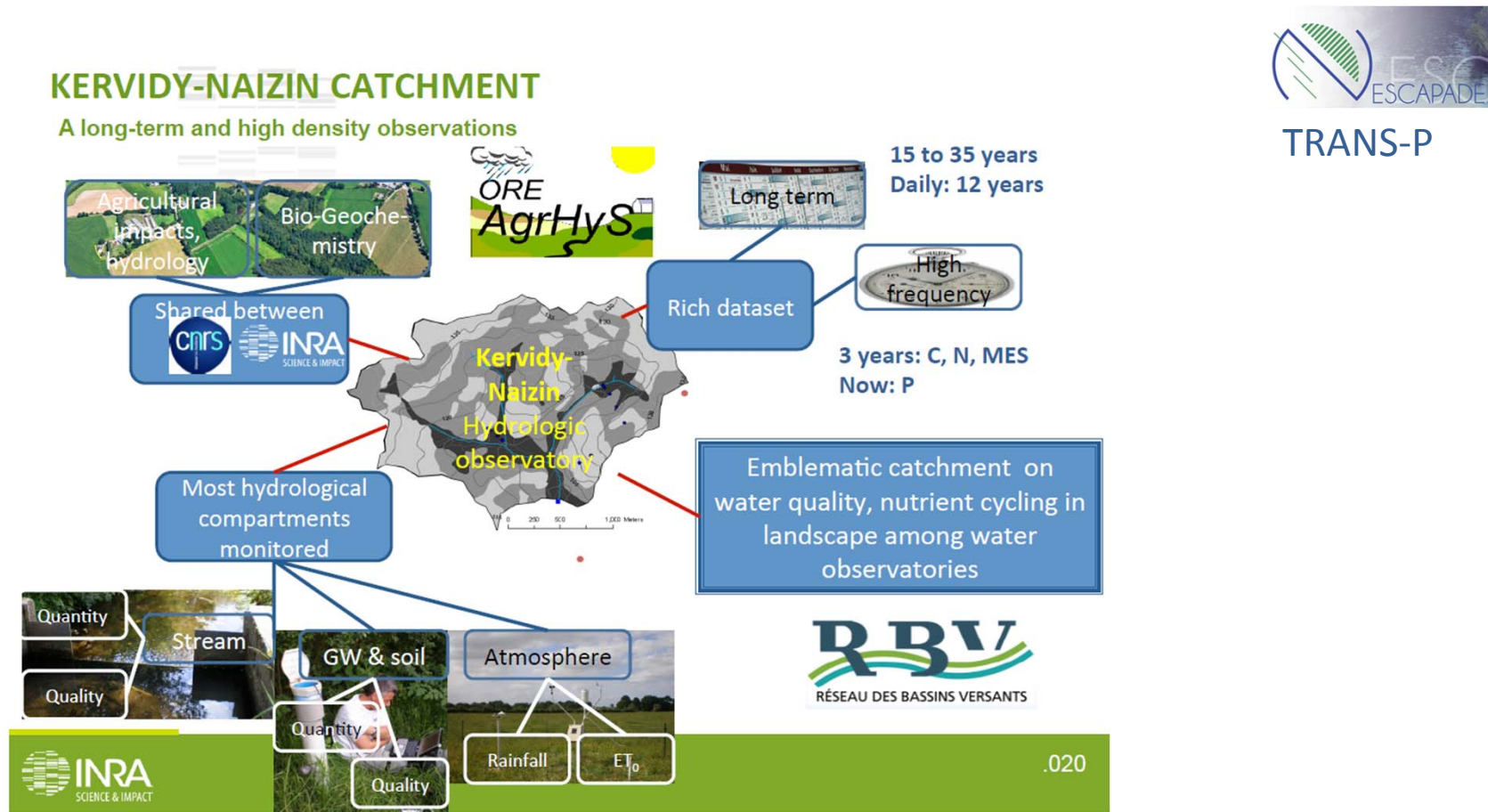
- Modèles dynamiques mécanistes et statistiques détaillés

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

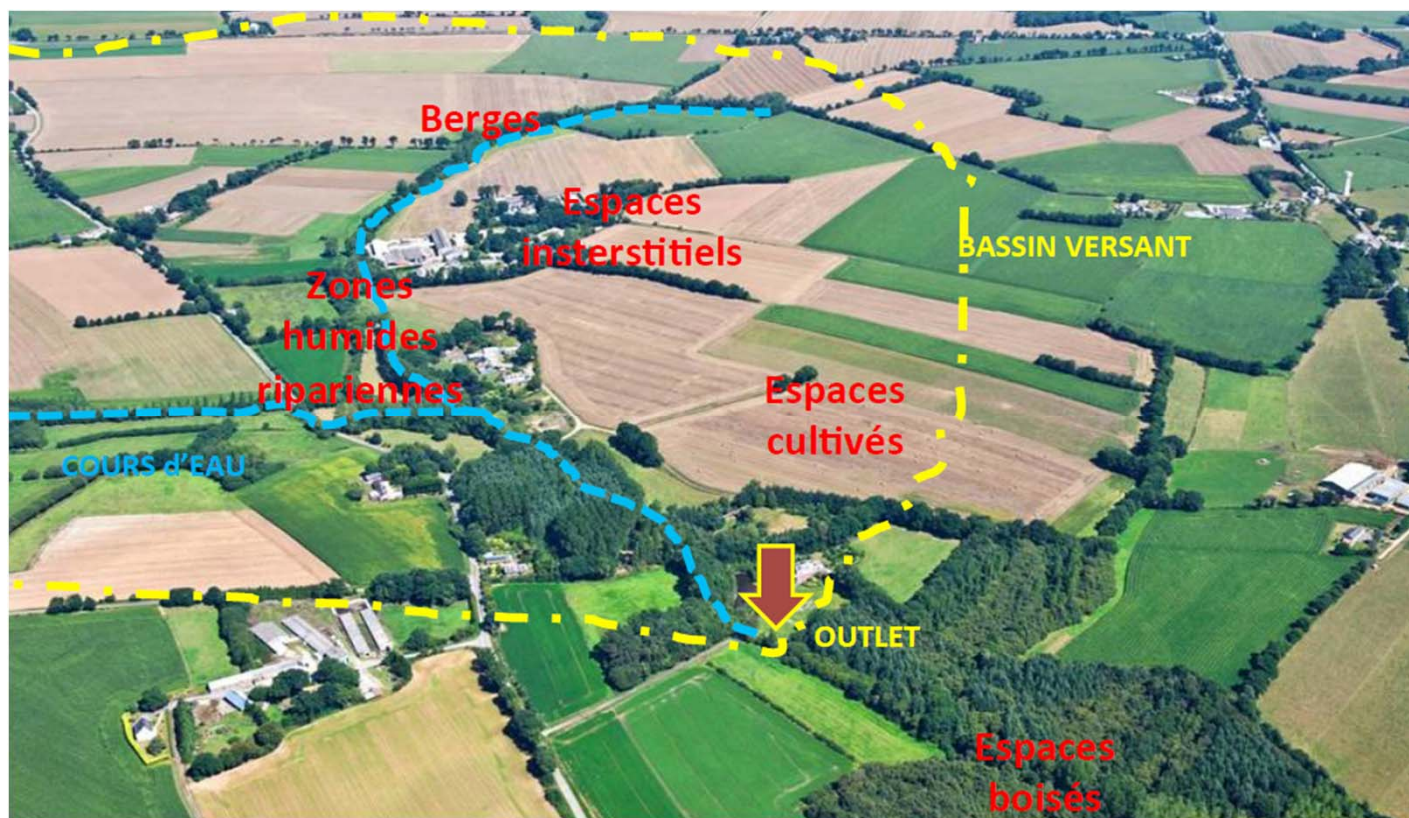


Quelle possibilité et quels verrous pour traiter la question du couplage des cycles ?

- **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 ⊕

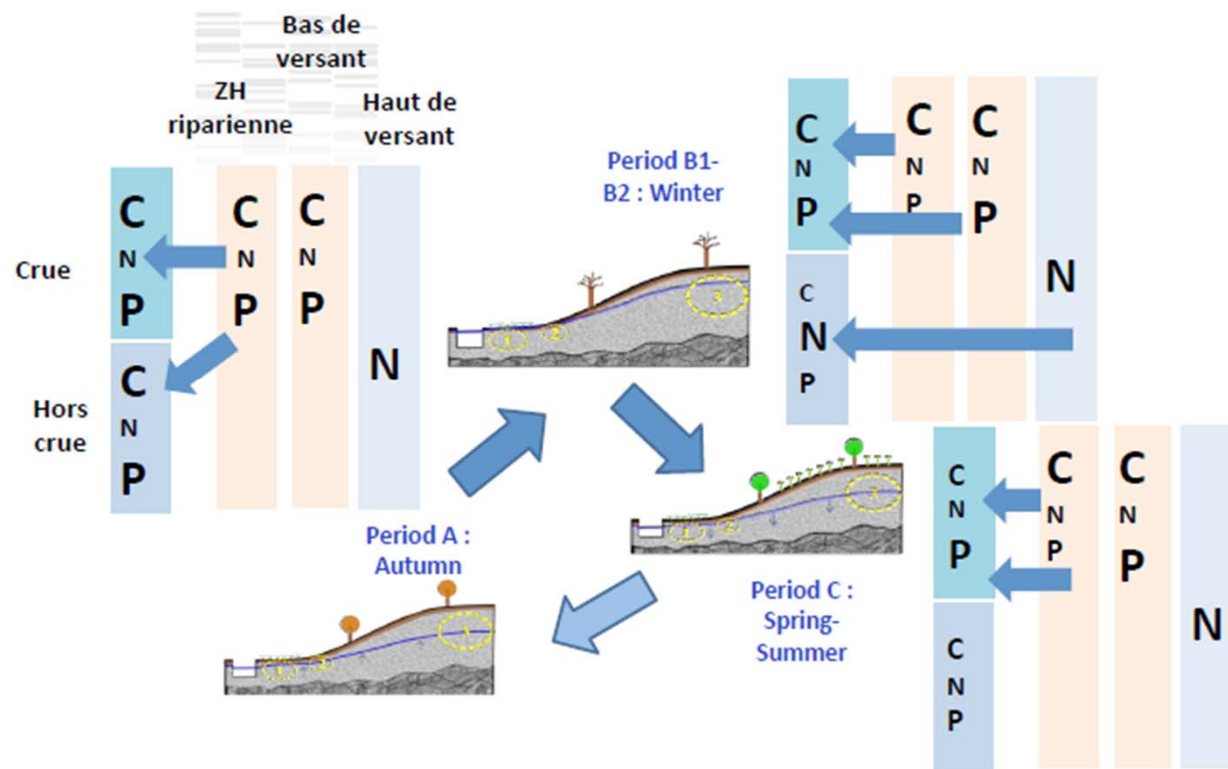
Quelle possibilité et quels verrous pour traiter la question du couplage des cycles ?

- 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