

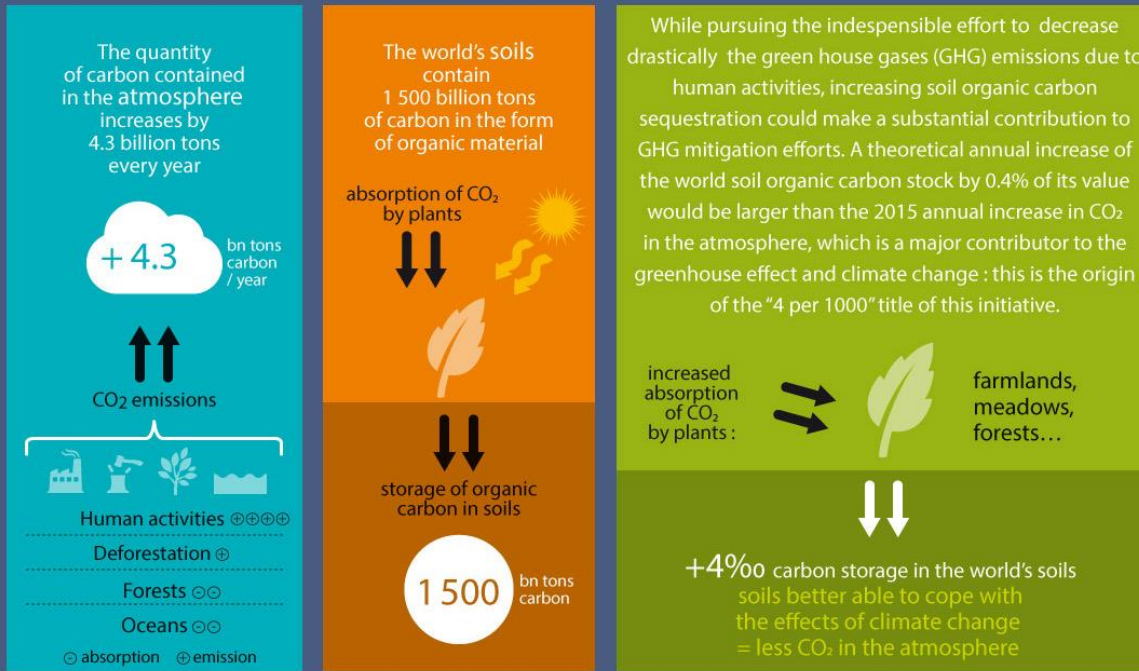
Utilisation d'un modèle de prairie, PaSim, dans le cadre de l'expertise 4p1000

Protocole, données mobilisable et premiers résultats



4 PER 1000

CARBON SEQUESTRATION IN SOILS FOR FOOD SECURITY AND THE CLIMATE



HOW CAN SOILS STORE MORE CARBON?

The more soil is covered, the richer it will be in organic material and therefore in carbon. Until now, the combat against global warming has largely focused on the protection and restoration of forests. In addition to forests, we must encourage more plant cover in all its forms.



"This international initiative can reconcile the aims of food security and the combat against climate change, and therefore engage every concerned country in COP21."

Stéphane Le Foll, Vice Chair of the "4 per 1000" Initiative Consortium and former French Minister of Agriculture, Agrifood and Forestry

SOMMAIRE

- ❖ Rappel des principales caractéristiques du modèle PaSim
- ❖ Rappel du plan de simulation mis en œuvre sur prairies
- ❖ Pratiques stockantes 4p1000
- ❖ Premiers résultats
- ❖ Perspectives



_01

Présentation de PaSim

Rappel des principales caractéristiques

Un modèle de prairie basé sur les processus

- Système modélisé = {sol – végétation – animal – atmosphère} (variable en m²)
- Simule les cycles de l'eau, du C et de l'N
- Pas de temps = 1/50 de jour
- Simulations sur une ou plusieurs années
- Domaine de validité :
 - Climat européen
 - Prairie permanente ou semée
 - Race bovine française (Prim'Holstein, Montbéliarde, Normande, Charolais, Salers)
- Développé initialement à Agroscope (Suisse, Reckenholz)
- Développé maintenant à l'UREP (France, Clermont-Ferrand)

Entrées / Sorties

- Nombre minimum d'entrée = 40 (maximum de 250)
 - Données météo (horaires ou journalières)
 - Végétation
 - Sol
 - Animal
 - Gestion
- Jusqu'à 480 sorties
 - Rendement
 - Production de lait et de viande
 - Flux de GES (CO₂, N₂O, CH₄)
 - ...

Biomasse

C, N qualité
Récolte
Ingérée

Sol

Séquestration C
Pertes C
Flux résidus
Pools C sol

Gestion

Nombre de fauches,
Nombre de pâturages
Chargement animal, UGB/ha

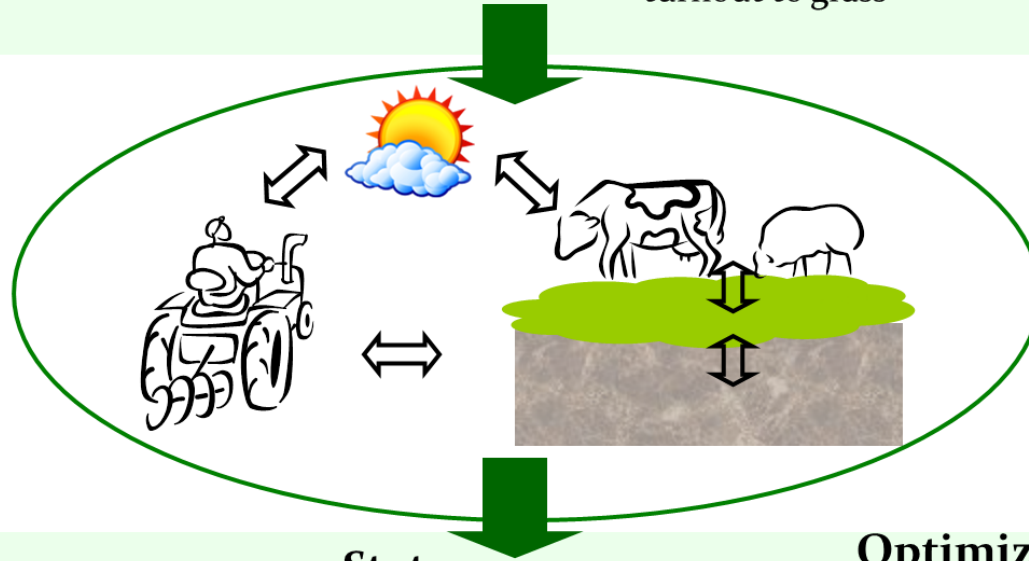
Perte N

Lessivage
N₂O
Harvest

INPUT

Climate	Soil	Vegetation	Herbivores	Management
<ul style="list-style-type: none">• Radiation• Precipitation• Temperature• Vapour pressure• Wind speed• CO₂• NH₃	<ul style="list-style-type: none">• Texture• Density• Water profile• Depth	<ul style="list-style-type: none">• Multi or monospecies• With or without legumes	<ul style="list-style-type: none">• Type (heifers, suckler or dairy cows, sheeps)• LW, BCS, age, MP_{pot,max} at turnout to grass	<ul style="list-style-type: none">• Mowing• N fertilization• Grazing• Tillage

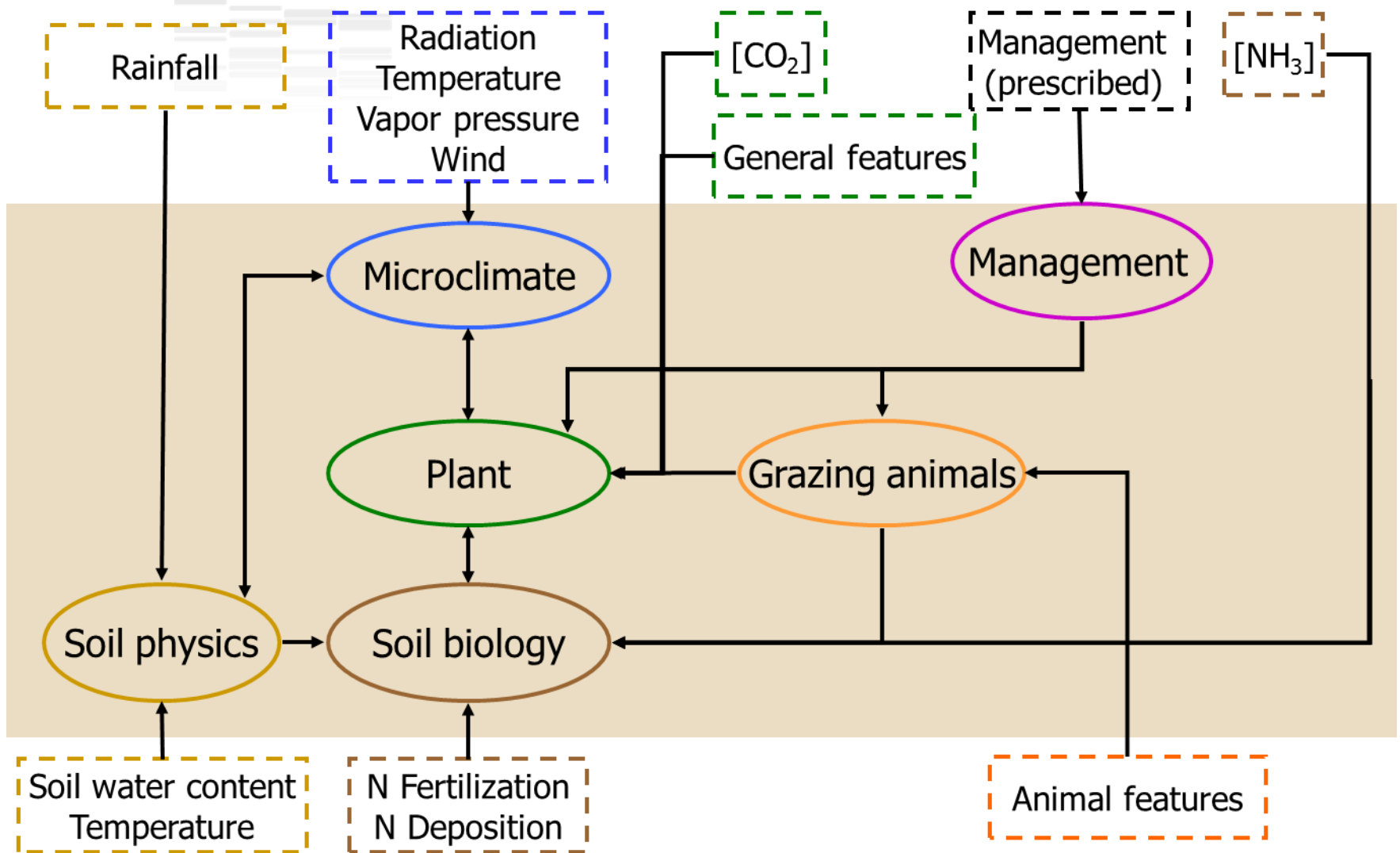
PaSim



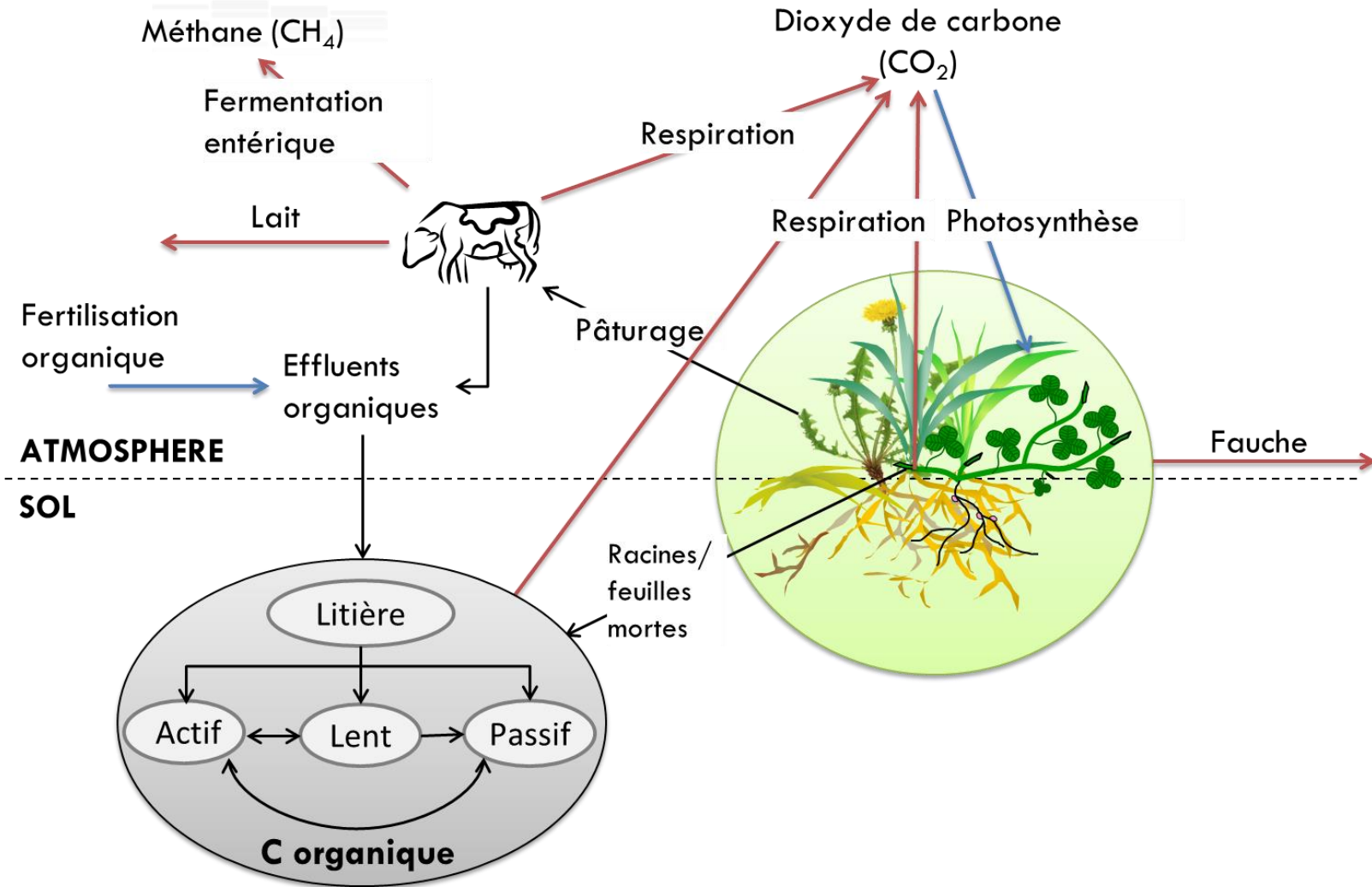
OUTPUT

Fluxes	States	Optimized management
<ul style="list-style-type: none">• GHG (CO₂, N₂O, CH₄)• C, N, H₂O & energy fluxes• ...	<ul style="list-style-type: none">• Forage provision• MP, LW and BCS• SOM• SWC ...	<ul style="list-style-type: none">• Mowing• N fertilization• Grazing• Irrigation• complementation

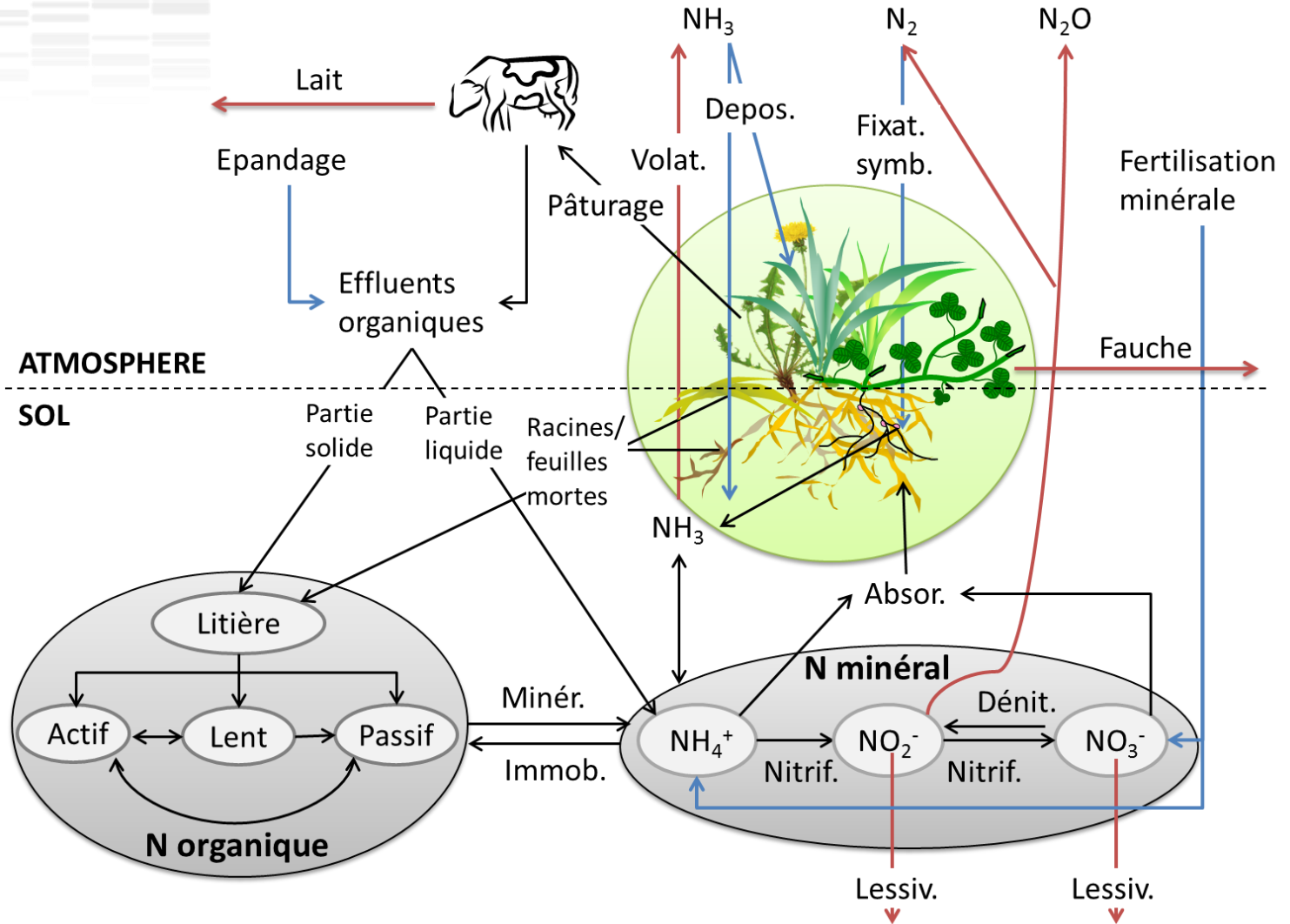
Structuré en 6 modules

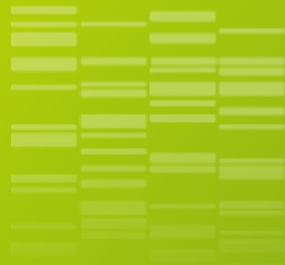


Cycle C



Cycle N



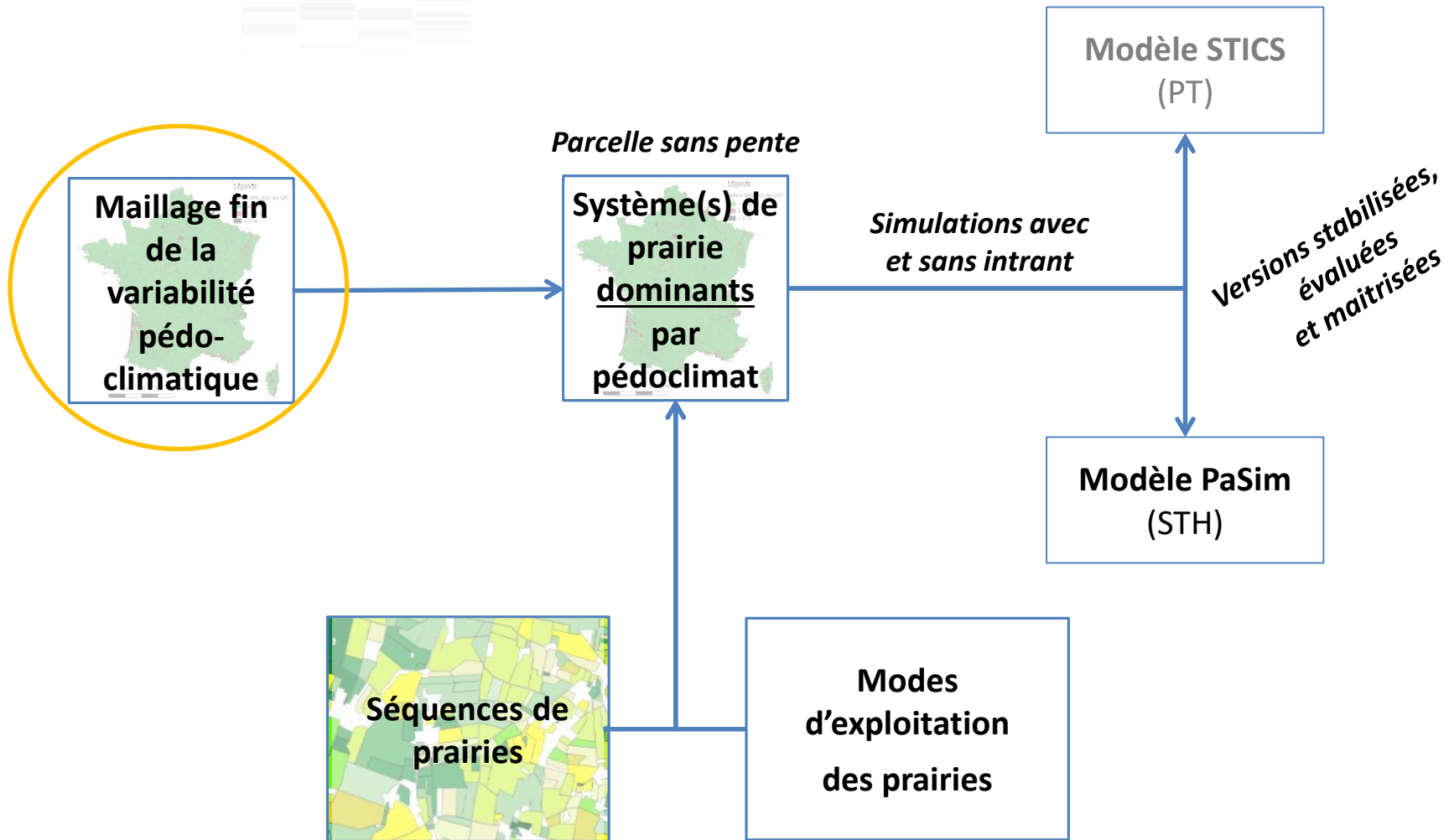


_02

Rappel du plan de simulation mis en œuvre sur prairies (ligne de base)

Données utilisées, résolution spatiale et temporelle, modalités simulées

Dispositifs de simulation PaSim



Variabilité pédoclimatique

Climats :

- 8665 mailles SAFRAN 8x8 km

Sols (carte 1/1 000 000) :

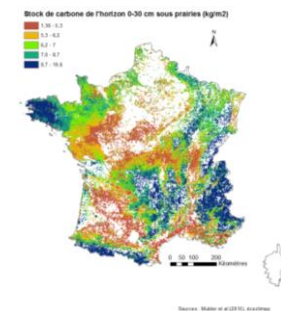
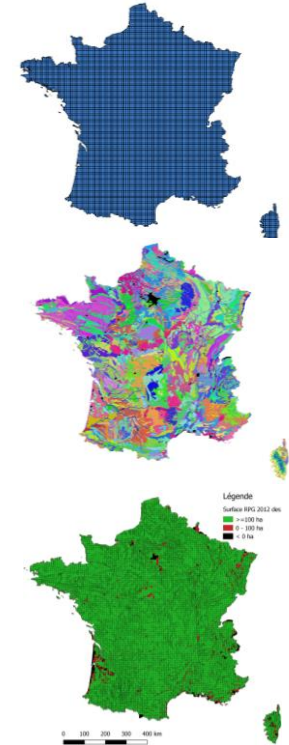
- 318 UCS

Sélection des 23 149 UPC avec plus de 100 ha de surface RPG :

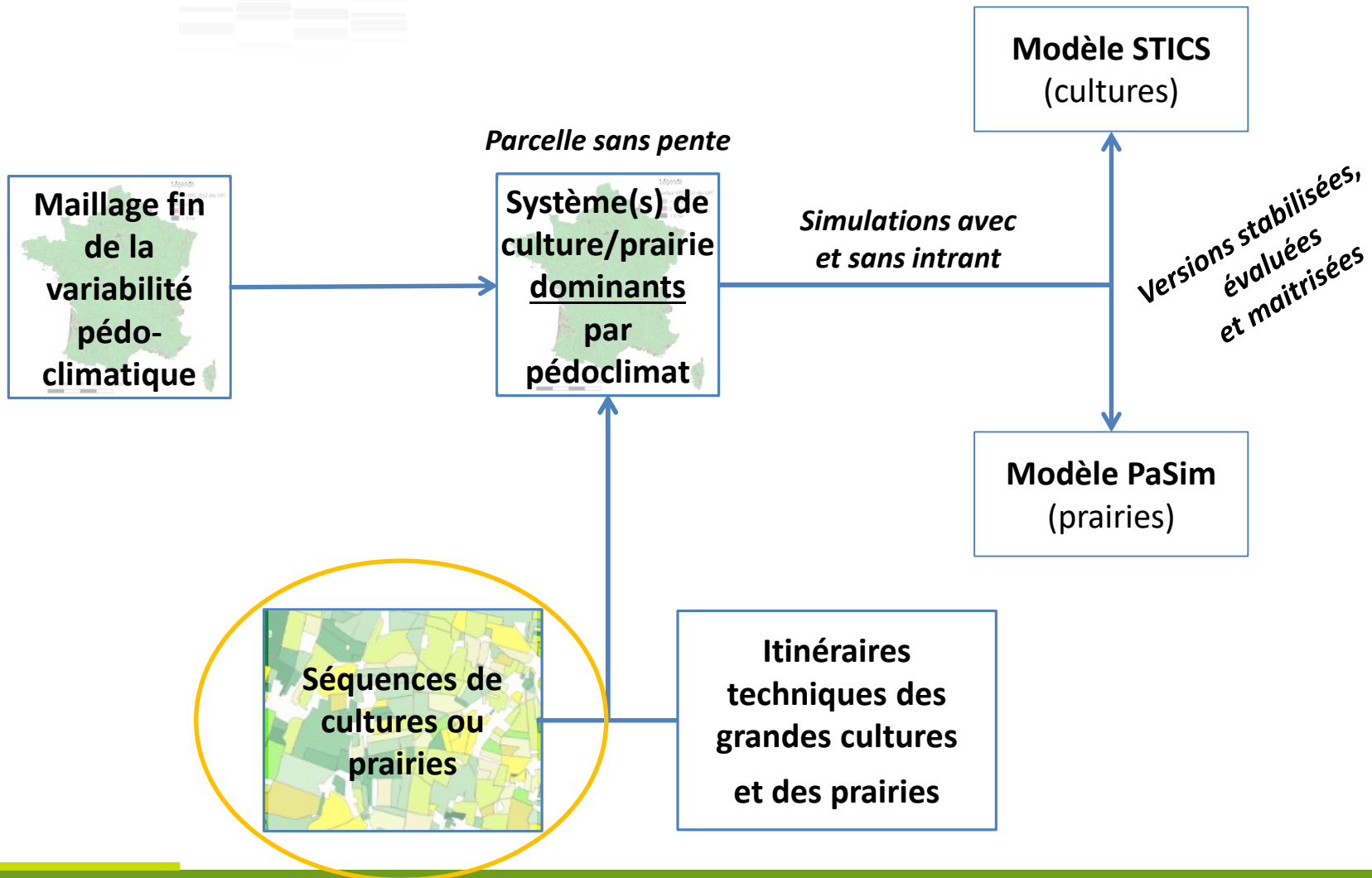
- surf moyenne UPC = 2259 ha
- surf moyenne RPG dans UPC = 1180 ha

Estimation des stocks et teneurs en C org. moyen sous prairie/UPC :

- agrégation de Mulder et al. (2015)



Dispositifs de simulation STICS et PaSim



Types de systèmes de culture et de conduite des prairies

Objectif : représentation d'archétypes de systèmes de culture et systèmes « prairiaux » dominants dans chaque situation pédoclimatique
→ (i) séquences dominantes, et (ii) pratiques associées

(i) Utilisation de la base de données sur les séquences de cultures et prairies développées par l'INRA basée sur analyse du RPG



~6 millions d'îlots
dans ~400 000 exploitations

ID îlot	Séquence 2006-2012	Surface
022-1300225	prairie-prairie-prairie-prairie-prairie-mais-blet	57,7
022-1300225	mais-blet-prairie-prairie-prairie-prairie-prairie	17,7
022-1298513	gel-prairie-prairie-prairie-prairie-prairie-prairie	15,0
022-1335650	prairie-prairie-prairie-prairie-prairie-prairie-colza	13,9
022-1408491	mais-blet-autrescereales-mais-blet-mais-blet	12,6
022-1364306	prairie-prairie-prairie-prairie-mais-blet-mais	12,6
022-1406046	blet-mais-legfleur-blet-mais-blet-legfleur	11,5
022-1338978	mais-blet-mais-blet-prairie-prairie-prairie	11,1
022-1298513	blet-prairie-prairie-prairie-prairie-prairie-prairie	10,9
022-1417653	blet-mais-blet-mais-mais-mais-blet	10,7
022-1417729	prairie-prairie-prairie-mais-prairie-prairie-prairie	10,6
022-1417734	prairie-prairie-mais-blet-autrescereales-prairie-prairie	10,0
022-1337941	prairie-prairie-mais-blet-prairie-prairie-prairie	8,9
022-1338987	prairie-mais-blet-mais-blet-prairie-prairie	8,7
022-1372762	gel-gel-mais-blet-mais-blet-mais	8,6
022-1335670	prairie-prairie-prairie-mais-blet-mais-blet	8,0
022-1321577	mais-blet-legfleur-mais-blet-mais-blet	7,8
022-1364308	prairie-mais-blet-prairie-prairie-prairie-prairie	7,7
022-1332078	mais-mais-blet-legfleur-legfleur-blet-legfleur	7,6
022-1417140	prairie-prairie-prairie-prairie-prairie-mais-prairie	7,6
022-1330576	blet-legfleur-blet-legfleur-blet-prairie-prairie	6,7
022-1300218	prairie-prairie-prairie-mais-blet-prairie-prairie	6,6
022-1332082	legfleur-blet-legfleur-blet-mais-legfleur-blet	6,6
022-1355495	blet-mais-blet-legfleur-legfleur-blet-blet	6,6
022-1355500	prairie-prairie-prairie-prairie-prairie-prairie-mais	6,5

~11,5 millions
de îlots x séquences 2006-2012

Prairies simulables avec PaSIM

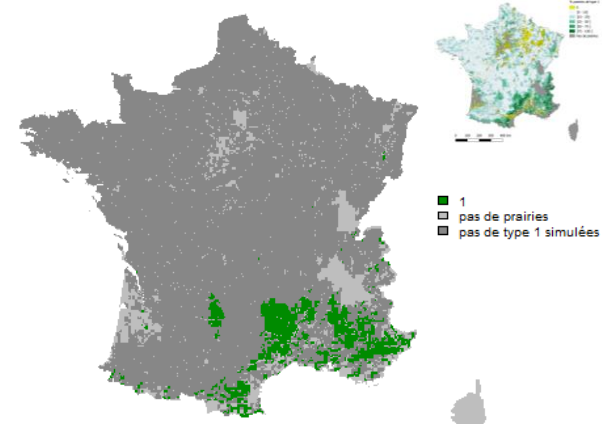
- 1 099 UPC avec prairies de **Landes/parcours (type 1)**
sur 466 496 ha

- 11 325 UPC avec prairies de **STH “intensives” (Type 4)**
sur 5 879 759 ha

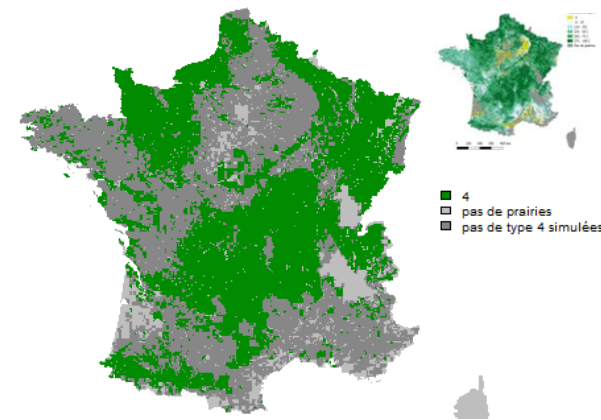
Un seul type fonctionnel de végétation pris en compte

Ligne de base : sélection des 1 (> 50% de la SAU) ou 2
types de prairies dominants (>10 % de la SAU) par UPC

Type 1



Type 4

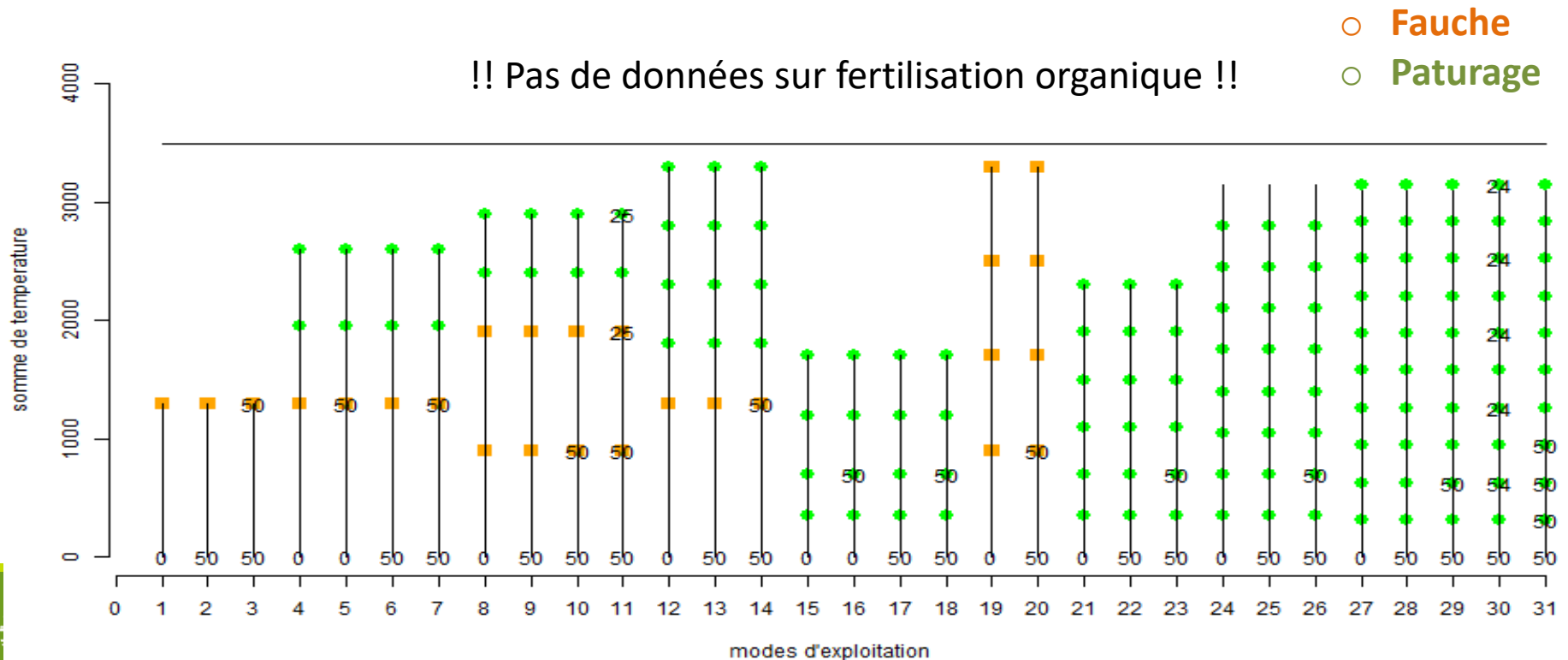


Modes d'exploitation des prairies

Utilisation des **données du dispositif ISOP** basé sur « l'enquête Prairies » de 1998 et adaptation à dire d'experts dans le cadre de l'étude « Les prairies françaises : production, exportation d'azote et risques de lessivage »

Affectation à dire d'experts du mode exploitation n°15 aux Type 1 (STH peu pro)

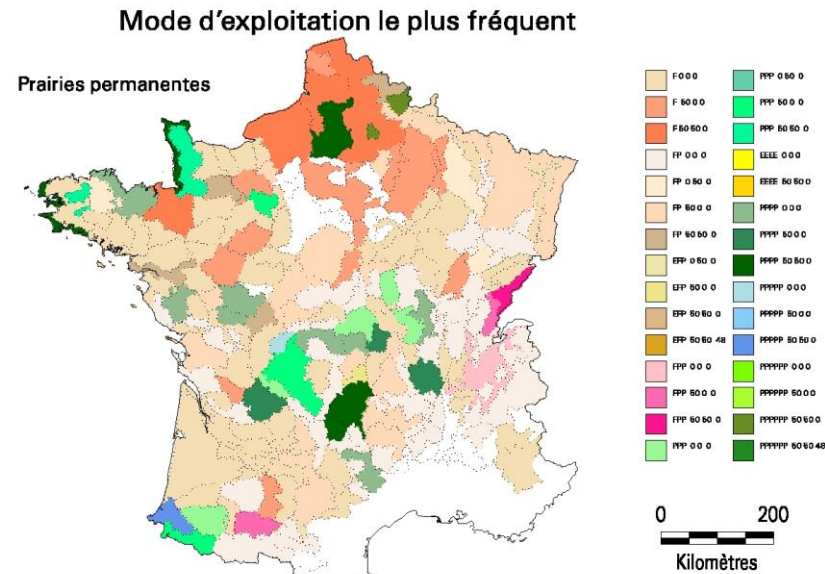
- Typologie de 30 ModeEx des prairies :



Modes d'exploitation des prairies (1)

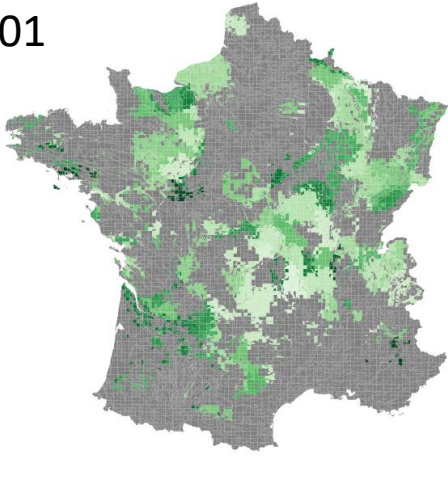
Données ISOP : fréquence (poids) des ModeEx par type de prairies(PA, PT, STH) et par région fourragère (n = 200)

Ligne de base pour type 4 : un ModeEx si $\geq 50\%$ surface prairie dans UPC, sinon max deux ModeEx $\geq 10\%$ surface prairie dans UPC

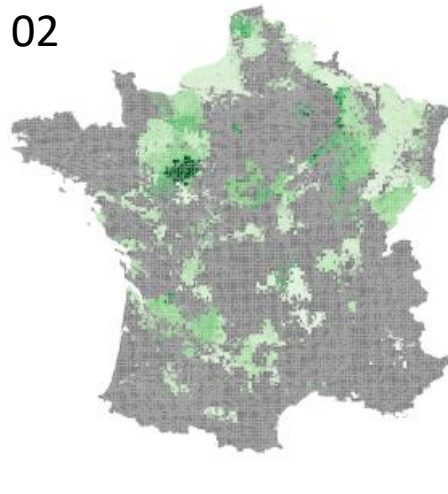


Exemples de cartes des modes d'exploitations

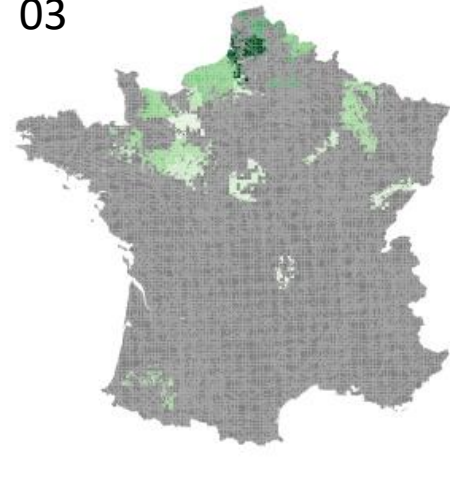
01



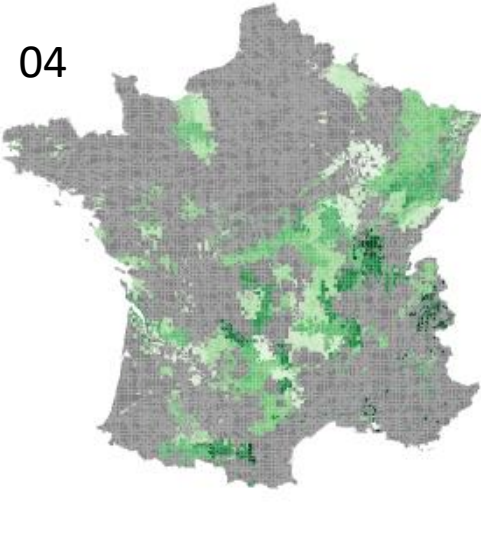
02



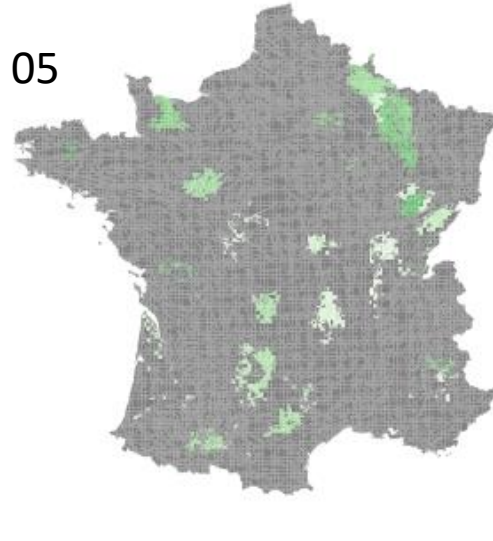
03



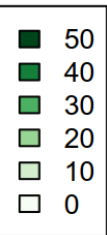
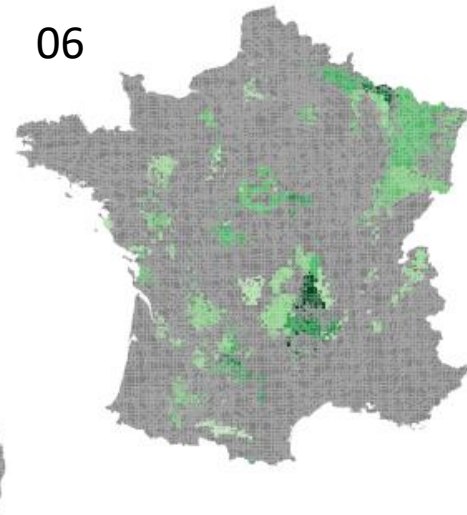
04



05



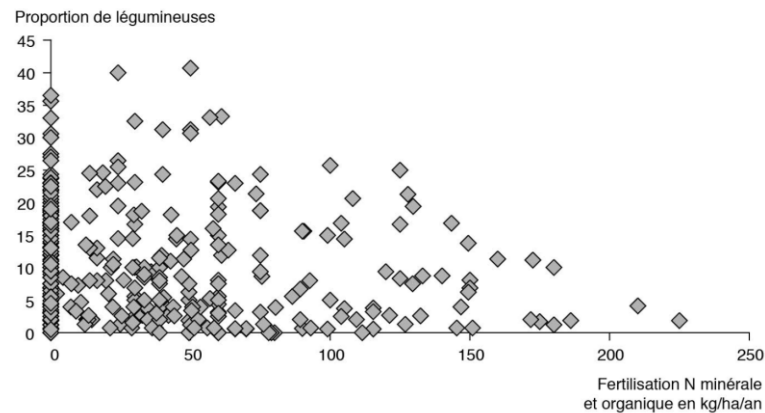
06



% de légumineuses dans les prairies

En moyenne sur un échantillon de 4782 prairies permanentes en France : 11 % de légumineuses

Un effet fertilisation :



Jeuffroy et al. 2015

→ A dire d'experts :

- 11 % si fertilisation < 150 U d'N
- 5% si fertilisation \geq 150 U d'N

Chargement animal

Données RA 2010 :

- nombre d'animaux pâturant et surface pâturée par OTEX élevage par région fourragère

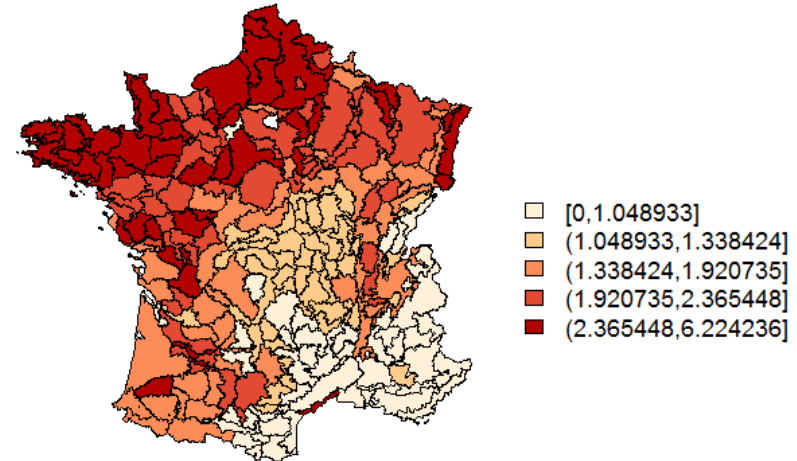
EFESE-EA :

- Choix de l'OTEX dominant en terme d'UGB pâturant

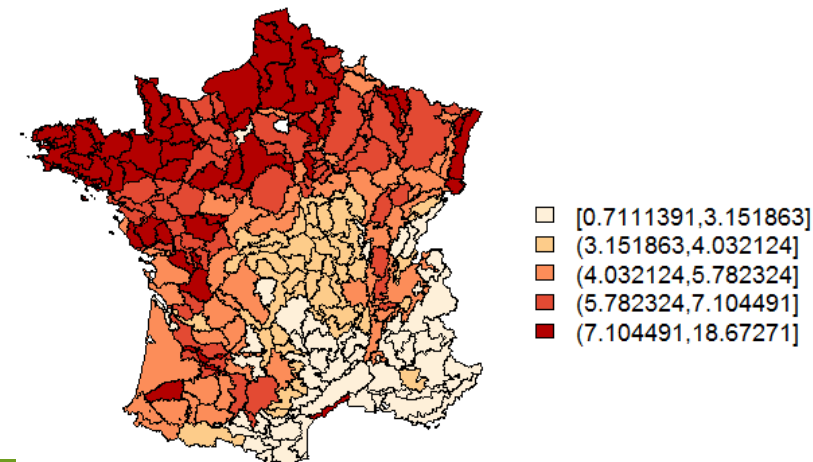
- Estimation d'un chargement moyen annuel en UGB/ha

- Estimation d'un chargement instantané : 3 fois le chargement moyen !

Chargement moyen en UGB/ha



Chargement instantané en UGB/ha





_03

Stratégie de simulation pratiques stockantes

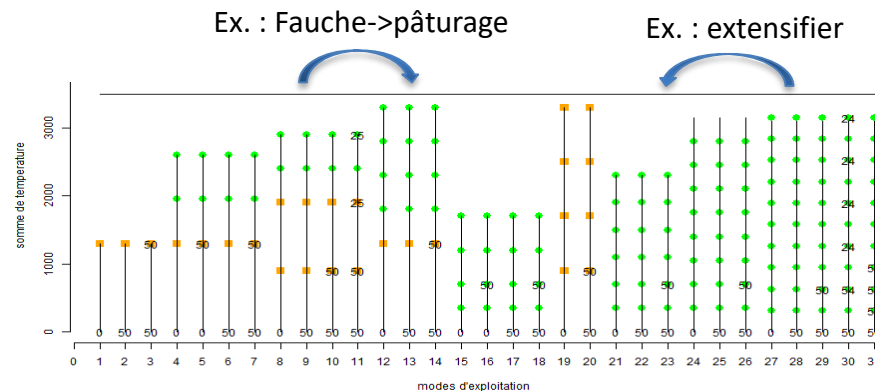
Pratiques stockantes en prairies (1)

Trois hypothèses basées sur la littérature :

- intensifier les prairies extensives (mais pas les estives et landes)
- extensifier les prairies les plus intensives
- réduire l'intensité de fauche (exportation) : fauche → pâturage

Deux grandes options en discussion pour définir de nouveaux modes d'exploitation des prairies :

1- Passage d'un mode d'exploitation à un autre dans la même UPC



2- Pour les situations en surpâturage (taux d'utilisation de l'herbe $\geq 80\%$) : modulation des chargements et/ou de la fertilisation du mode d'exploitation

➔ Analyse des simulations pour définir la stratégie de simulation la plus adaptée

Pratiques stockantes en prairies (2)

Analyse des **premiers résultats** :

- tous les ITK en pâturage, extensifs ou intensifs, stockent à haut régime (5-6 à 10p1000), très peu de situations avec taux utilisation herbe > 80%

- effet (très) significatif d'un apport de 50 UN (surtout en 0 et 50 UN)

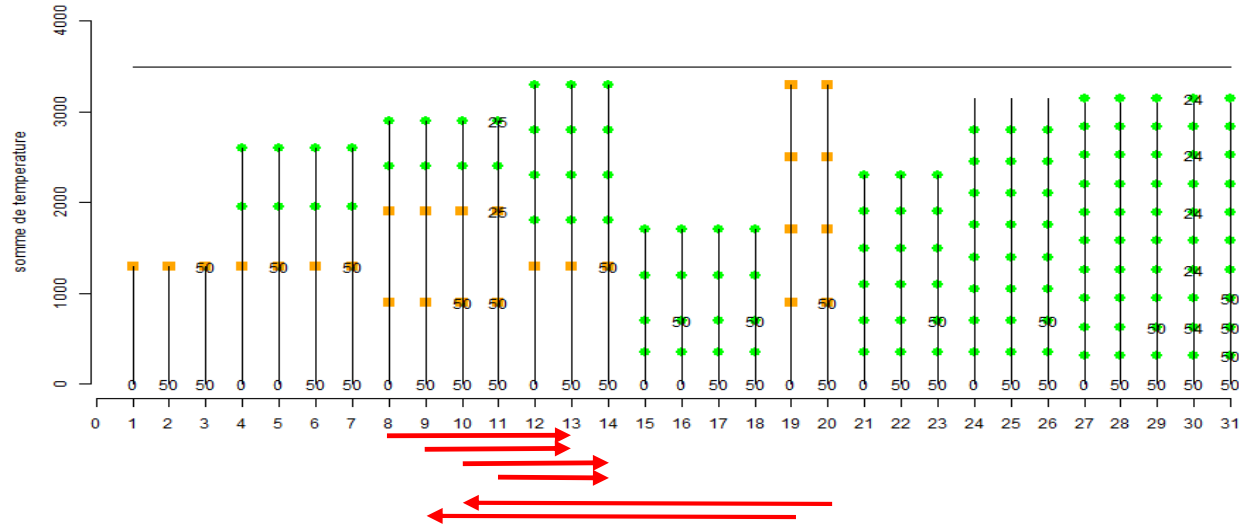
➔ **Modification des itinéraires basés sur fauche intensive (2 à 4)**

➔ **Intensification via un apport additionnel modéré de 50 UN (possiblement par fertilisation organique) sur fauche et sur pâturage pas fertilisé**

➔ **Identification et simulation de couples d'ITK « départ-arrivée » correspondant**

Stratégie de simulation pratiques stockantes

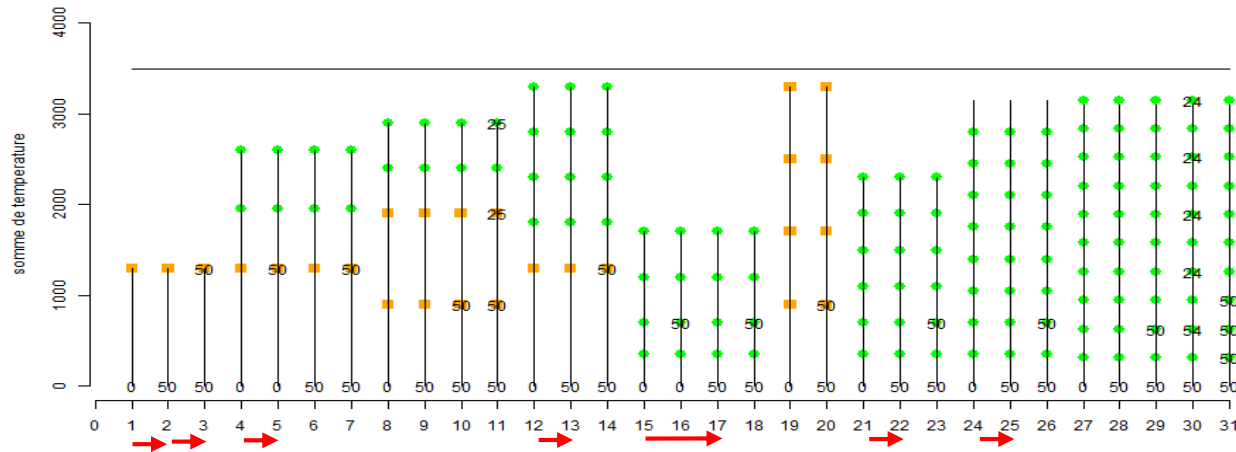
- « Réduction des fauches » :



- 8 → 13 : -1F, +2P, +50 kgN/ha
- 9 → 13 : -1F, +2P
- 10 → 14 : -1F, +2P
- 11 → 14 : -1F, +2P, -50 kgN/ha
- 19 → 9 : -2F, +2P, +50 kgN/ha
- 20 → 10 : -2F, +2P

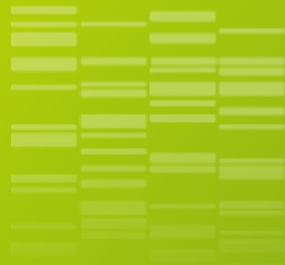
Stratégie de simulation pratiques stockantes

- Fertilisation additionnelle modérée (+ 50 UN) sur fauche et pâturage extensif :



➔ Création des points arrivées là où il n'existe pas dans le plan de simulation de la ligne de base

➔ **Ligne de base + pratiques stockantes : 123 687 simulations**



_04

Premiers résultats

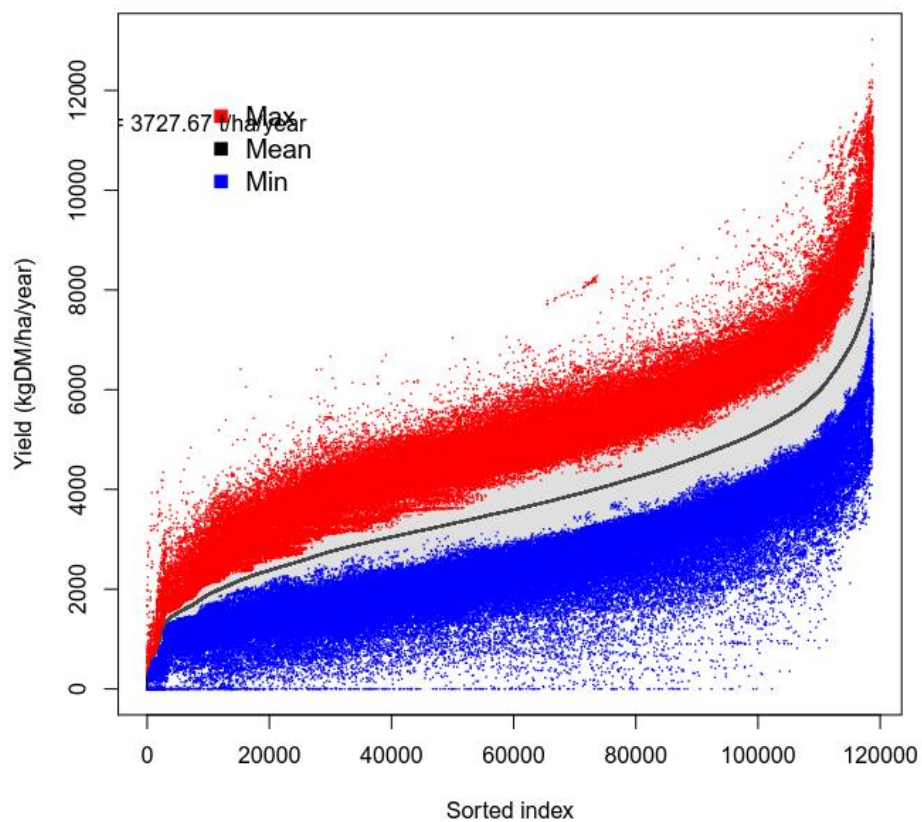
Préambule

- Résultats issus des simulations réalisées en **Aout 2018** sur serveur de calcul UREP (64 cœurs, dédiés UREP, salle serveur Crouël)
 - Prennent en compte l'ensemble du plan de simulation 4p1000
 - Erreur dans une variable d'entrée du sol (Saturated Hydraulic Conductivity)
 - Erreur dans l'initialisation du stock de C (prise en compte uniquement de la couche 0-30cm or PaSim prend en compte l'ensemble du sol)
- ➔ Nouveaux résultats d'ici quelques jours ...

Rendement

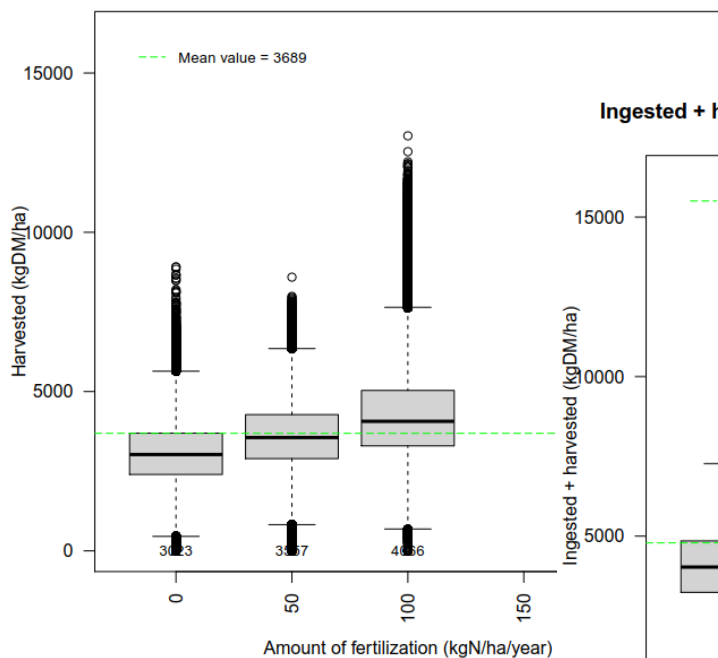
- Un rendement très variable, de valeur moyenne 3,7 tMS/ha/an

Mean, min and max Yield (kgDM/ha/year) per simulation

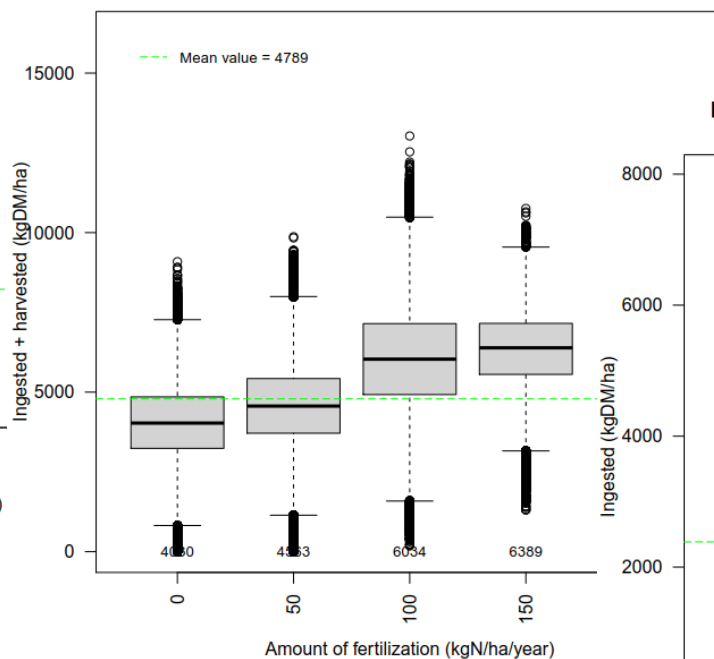


Rendement / fertilisation

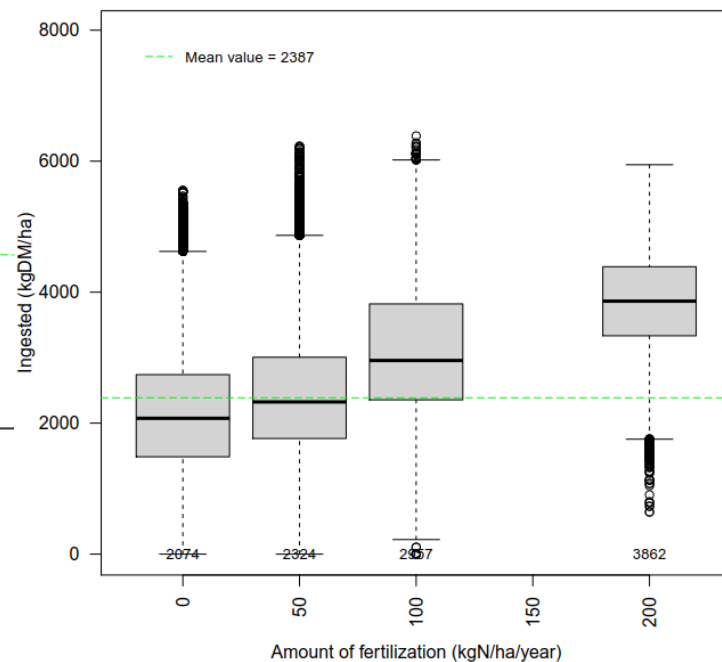
Harvested per fertilization – only cut itk (1,2,3,19,20)



Ingested + harvested per fertilization – cut and grazed itk [4;14]U[19;20]

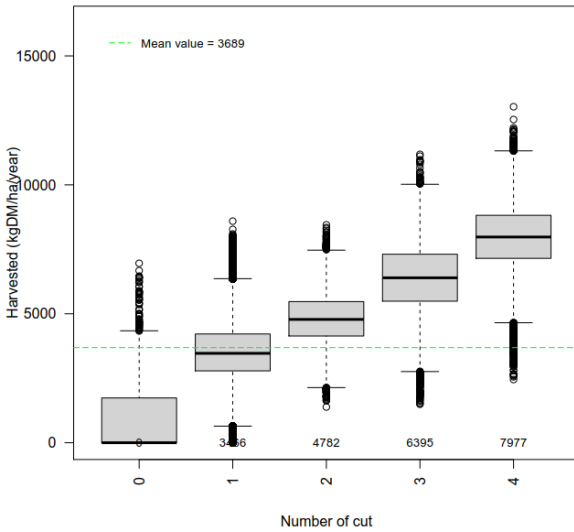


Ingested per fertilization – only grazed itk [15;18]U[21;31]

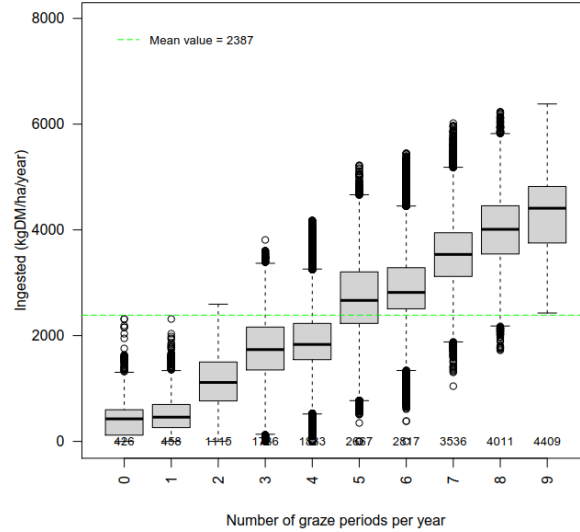


Rendement / nombre de fauche ou pâturage

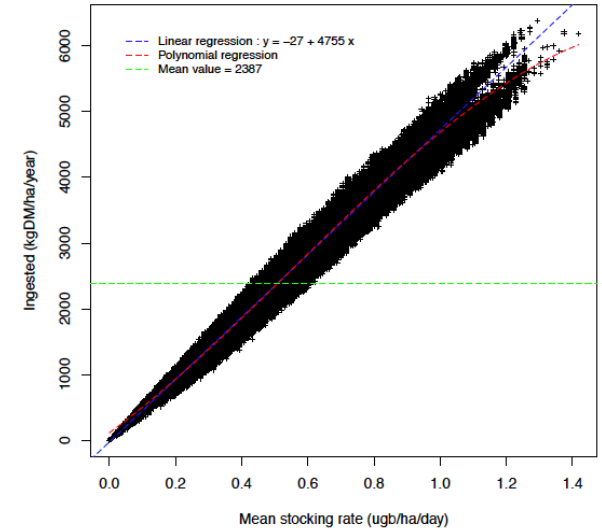
Yield per number of cut – only cut itk (1,2,3,19,20)



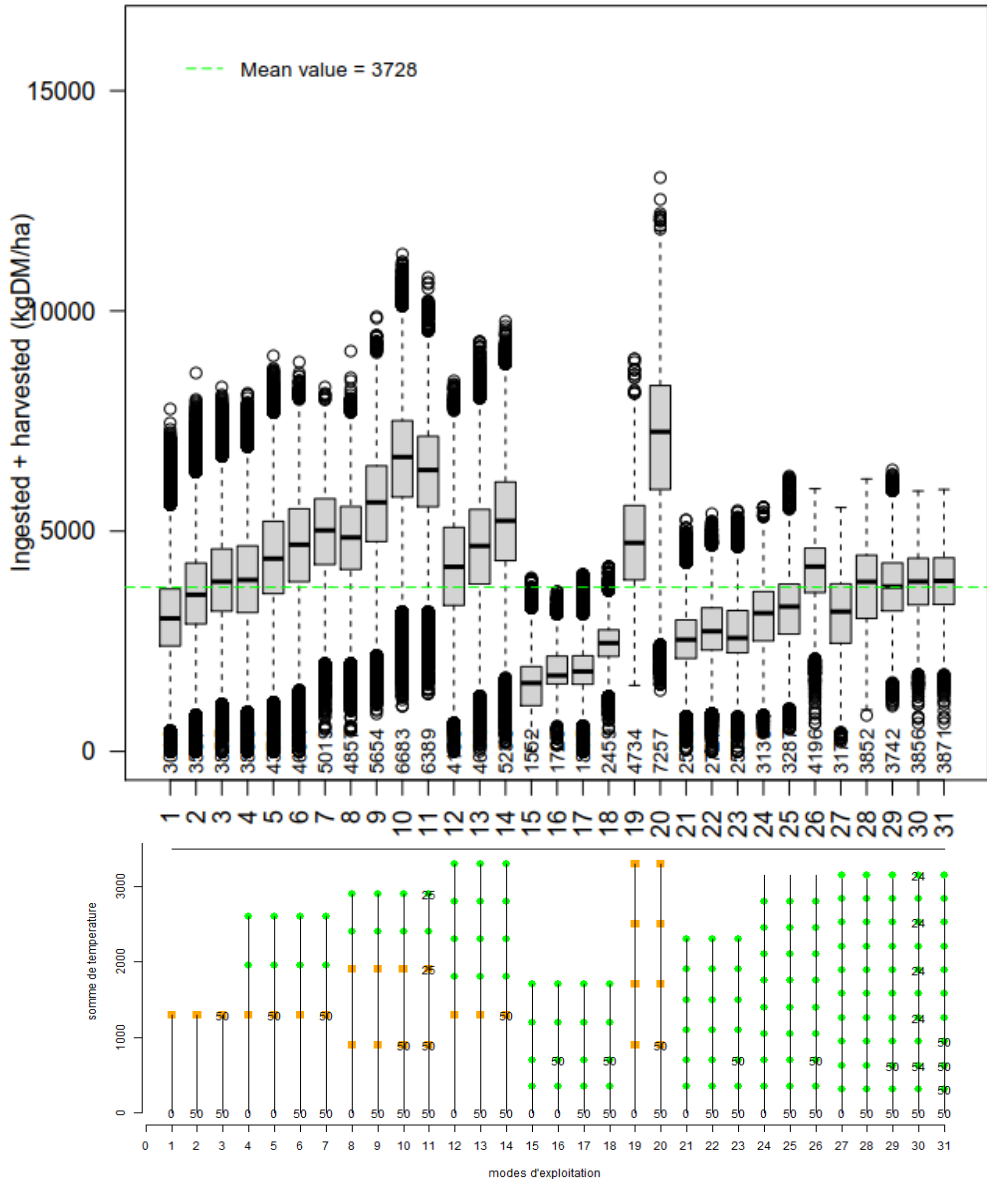
Ingested per number of grazed period – only grazed itk [15;18]U[21;31]



Ingested per stocking rate – only grazed itk [15;18]U[21;31]

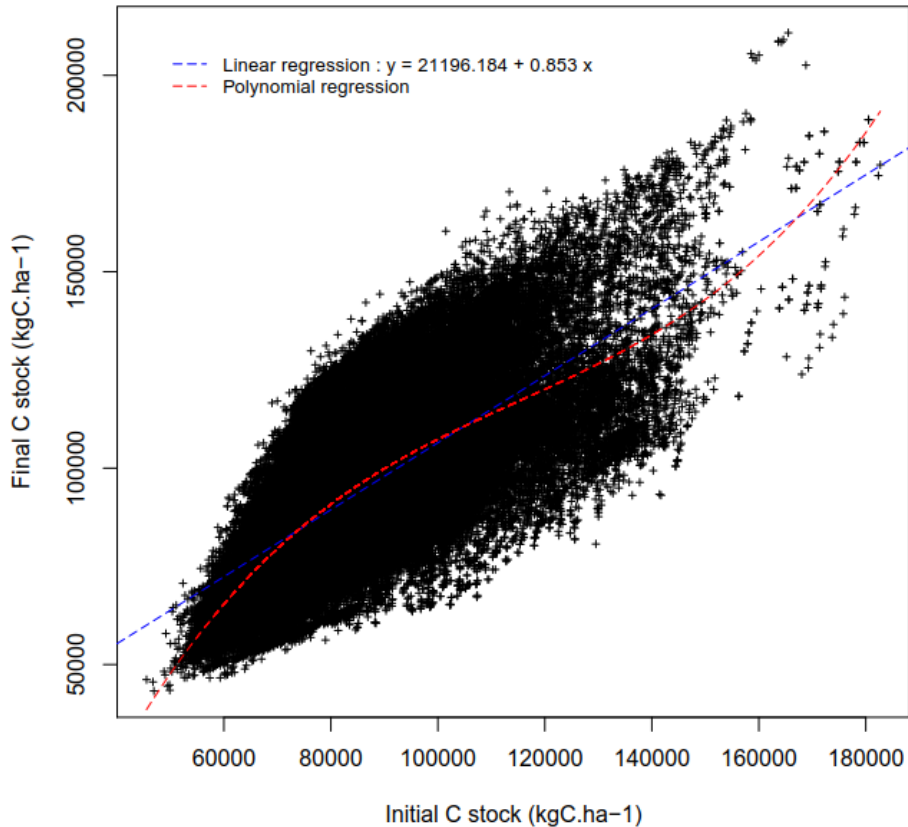


Rendement / Mode d'exploitation

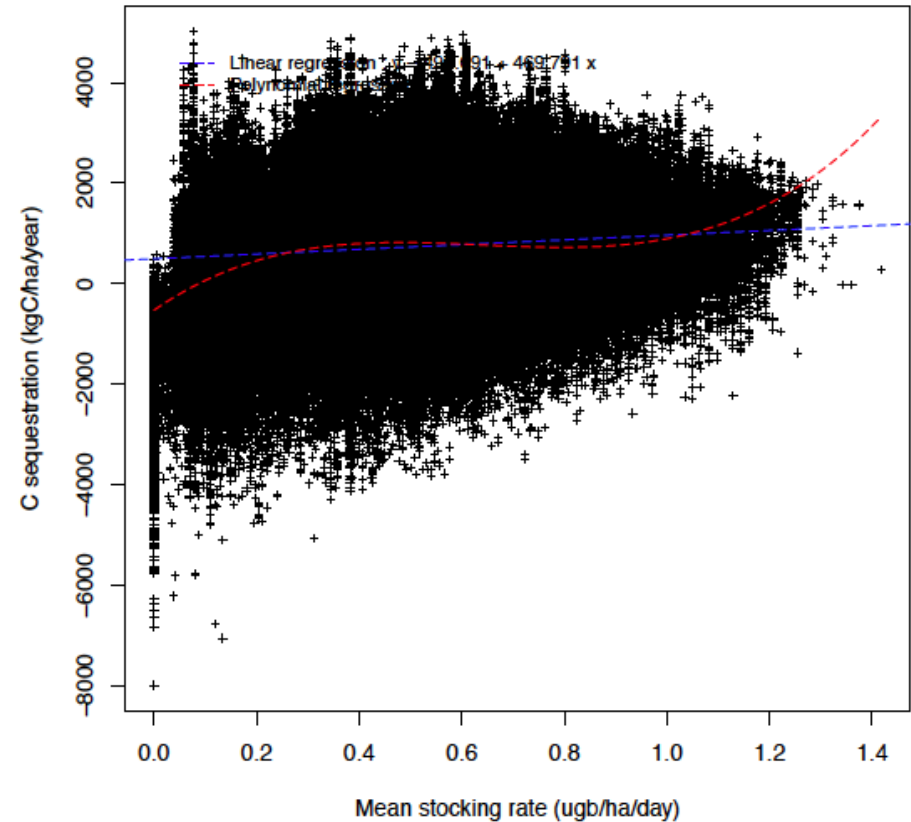


Effet stock initial et chargement

Initial (1983) vs. Final (2012) C stock
Mean gain = 1.1065

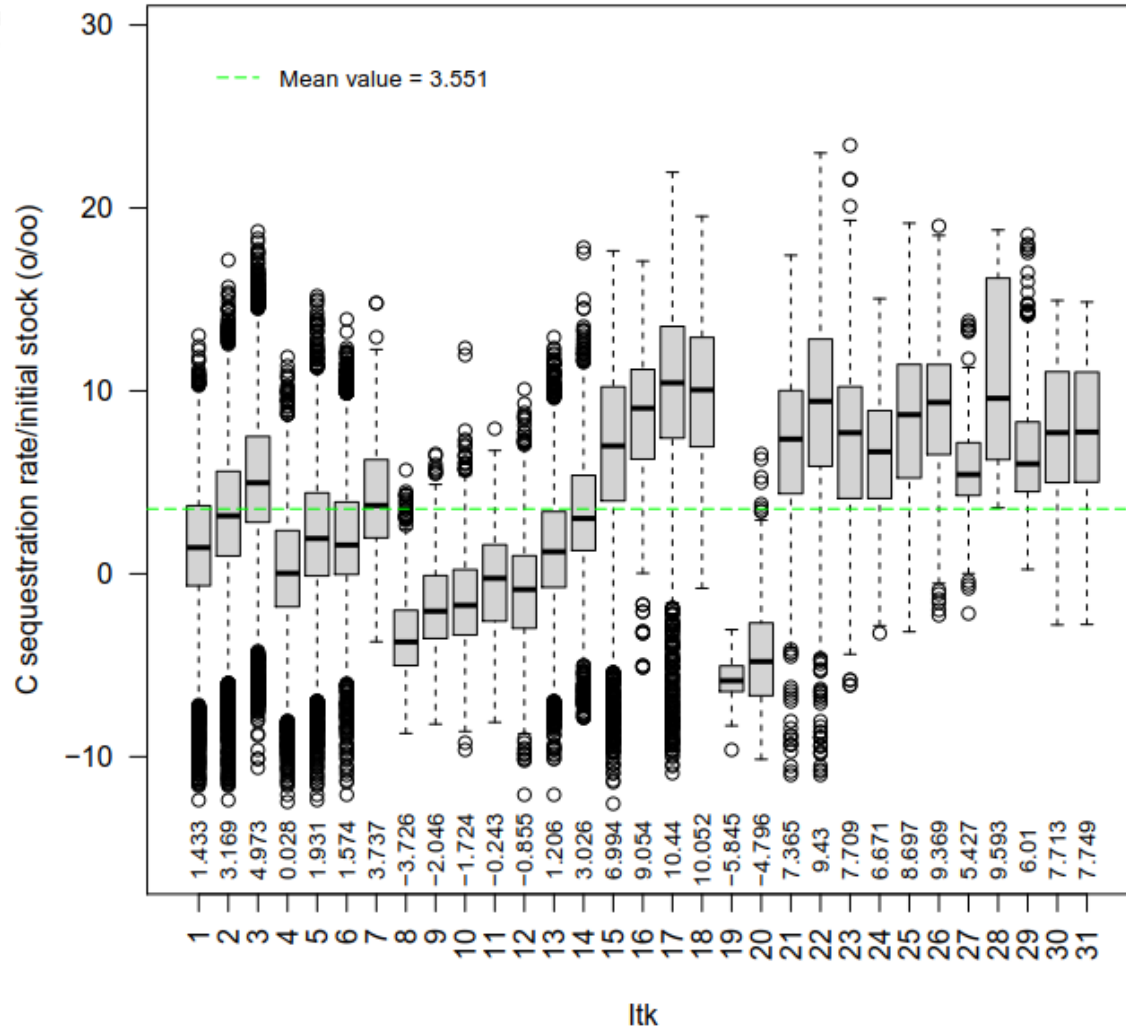


C sequestration rate per stocking rate



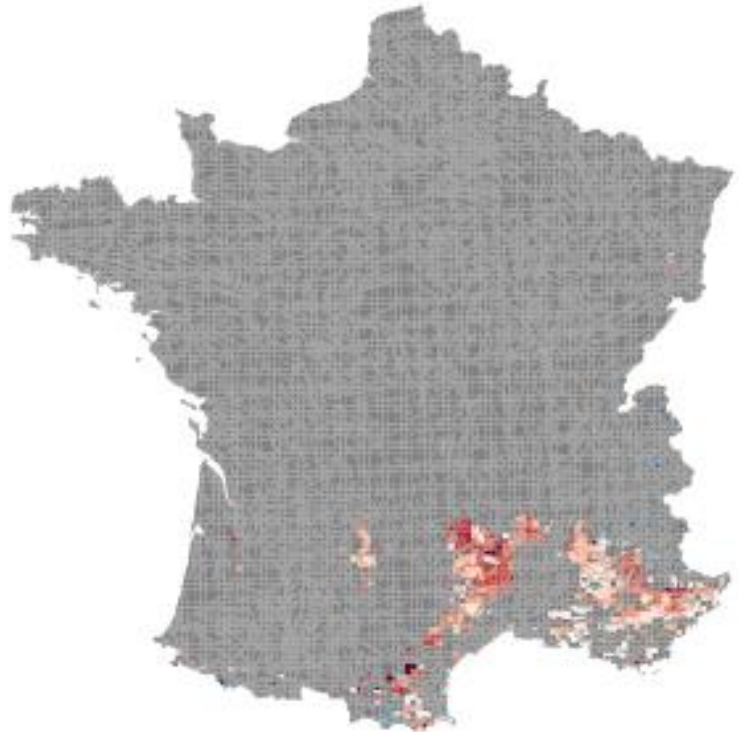
Stockage par mode d'exploitation

C sequestration rate/initial stock (o/oo) per itk

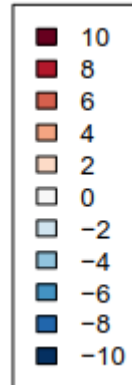
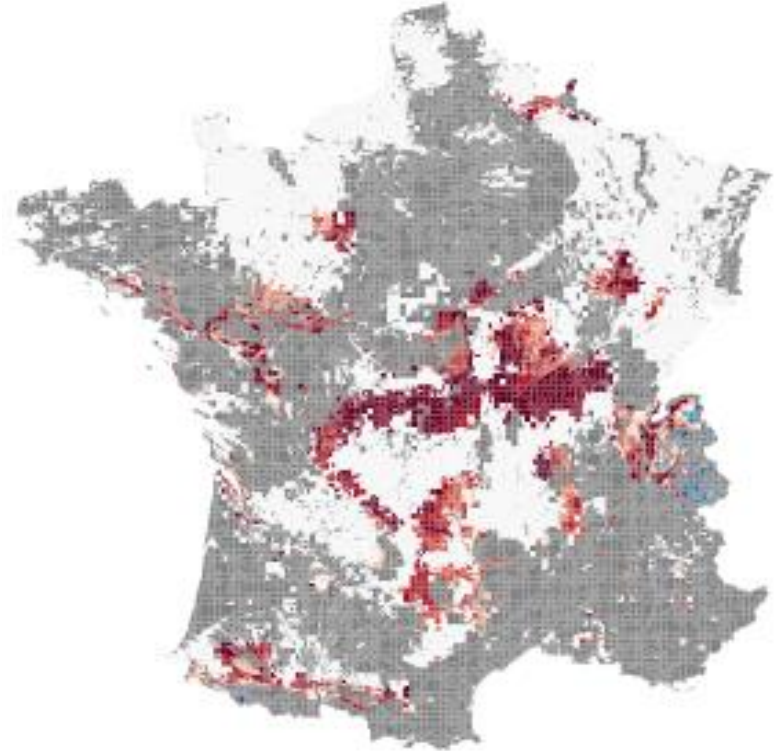


Stockage C pour type 1 et 4 en ModeEx 15

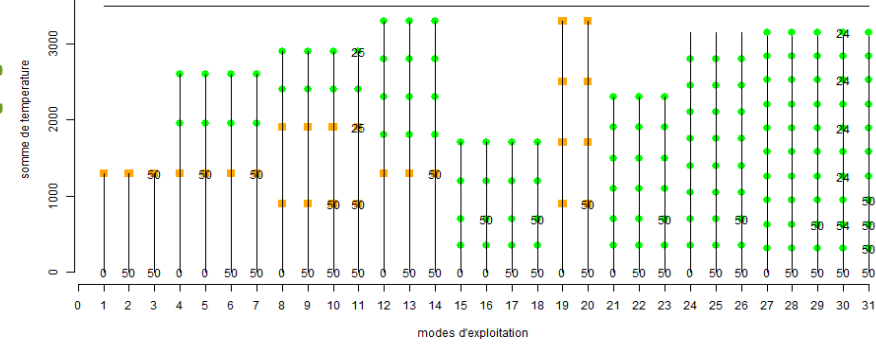
Stockage C, o/oo, Type 1
Mean value : 3.8



Stockage C, o/oo, mode d'exploitation 15
Mean value : 8.3

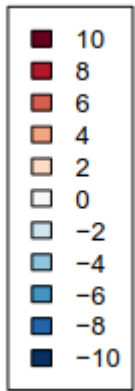
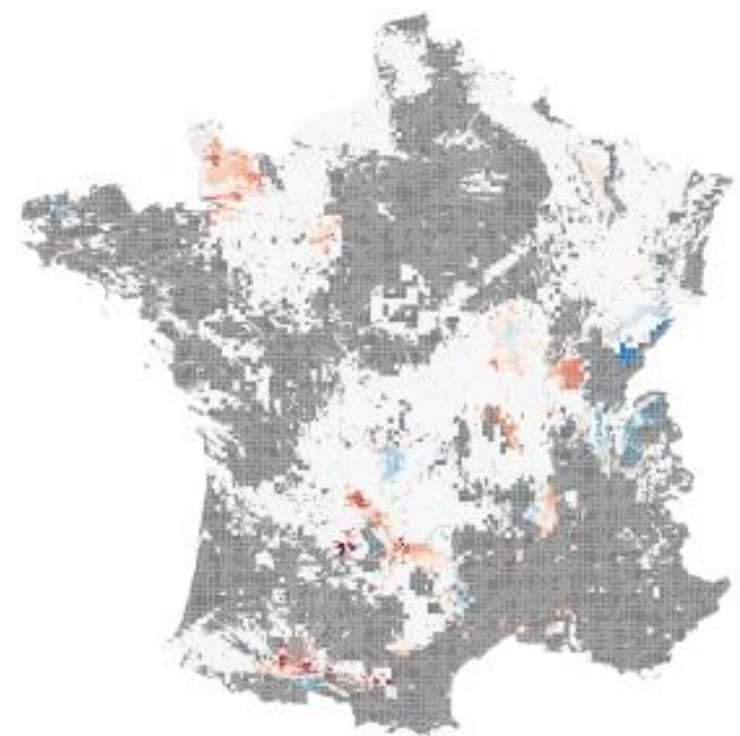
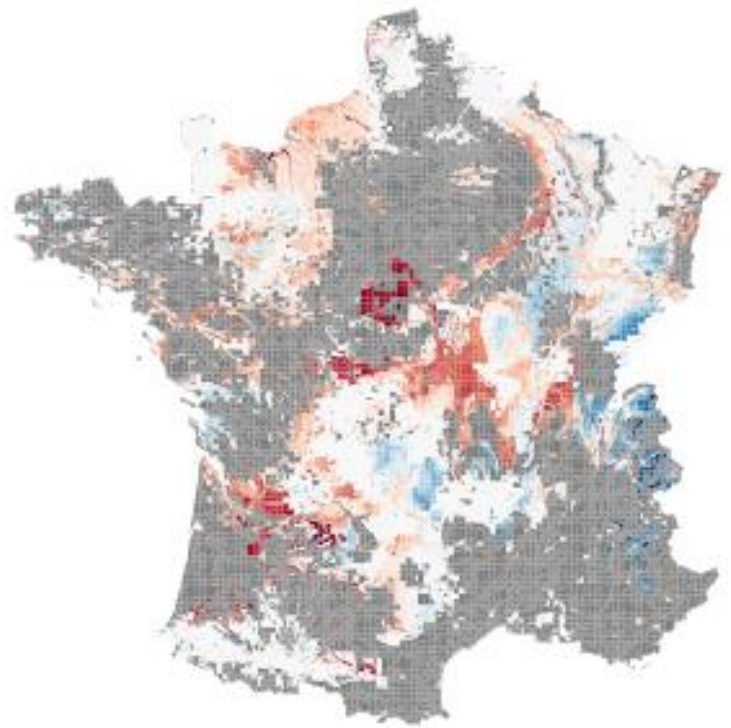


Autres exemples stockage C

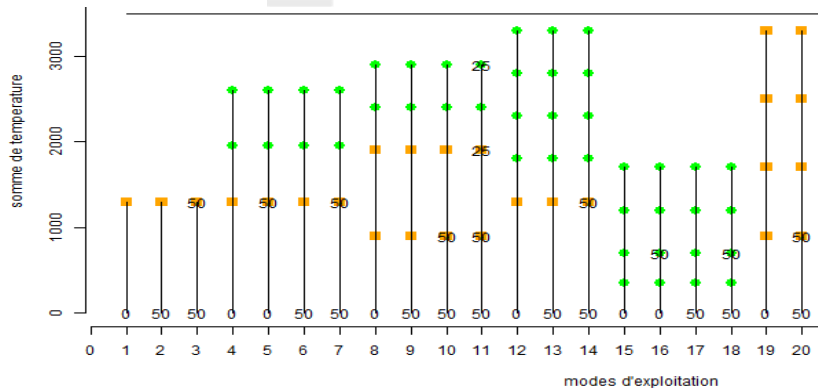


Stockage C, o/oo, mode d'exploitation 1
Mean value : 1.71

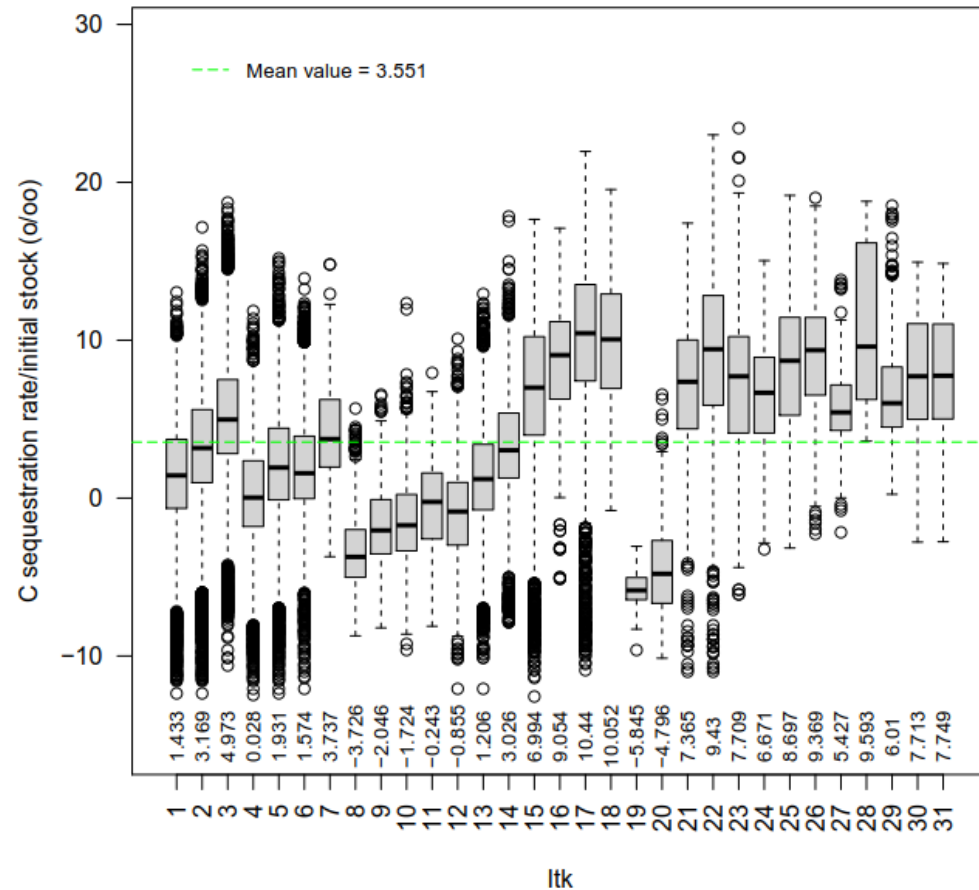
Stockage C, o/oo, mode d'exploitation 13
Mean value : 1.17



Stockage C suite à réduction des fauches



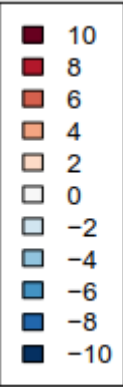
C sequestration rate/initial stock (o/oo) per itk



Réduction des fauches :

- 8 → 13 (-1F, +2P ; +50 UN)
- 9 → 13 (-1F, +2P)
- 10 → 14 (-1F, +2P)
- 11 → 14 (-1F, +2P ; +50 UN)
- 19 → 9 (-2F, +2P ; +50 UN)
- 20 → 10 (-2F, +2P)

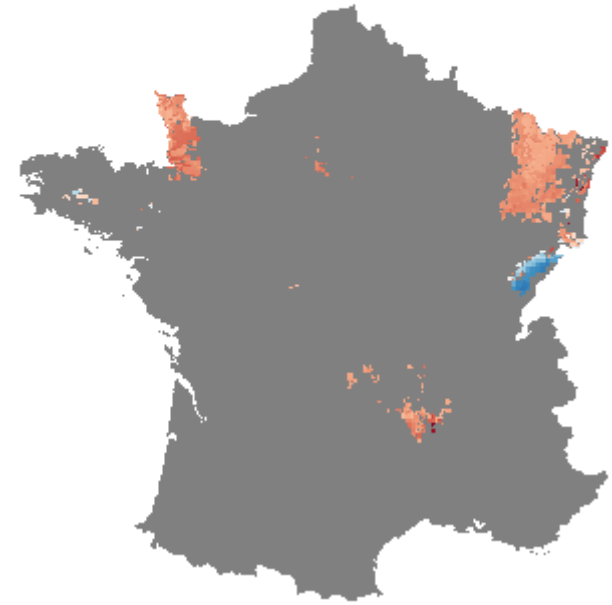
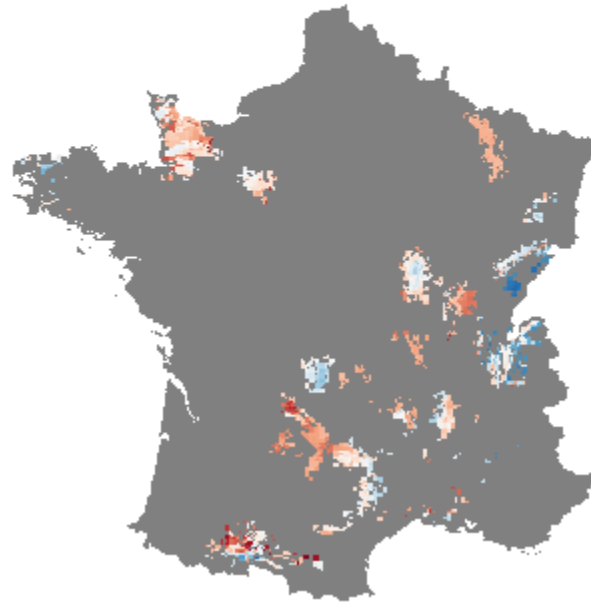
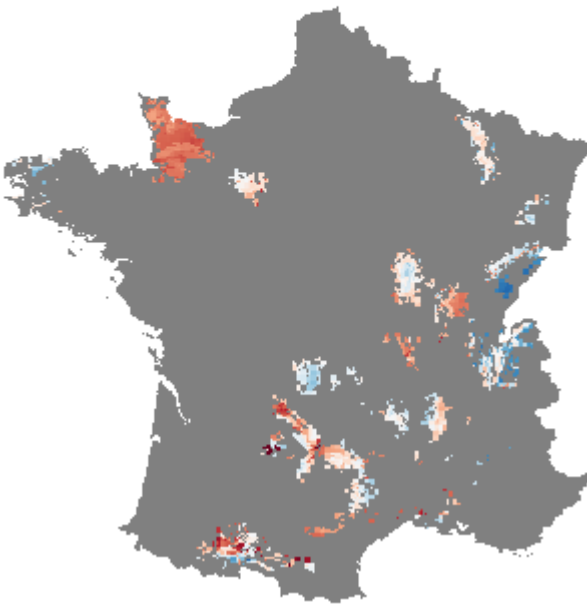
Stockage C suite à réduction de fauche



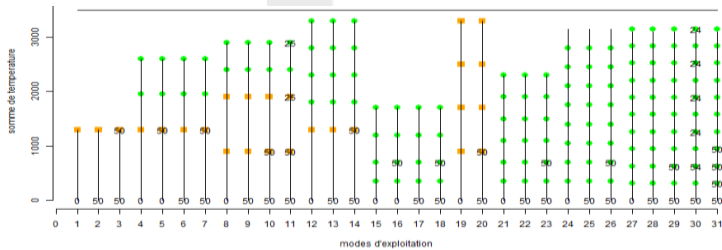
Delta stockage C, o/oo, 8 -> 13
Mean value : 1.72

Delta stockage C, o/oo, 9 -> 13
Mean value : 1.55

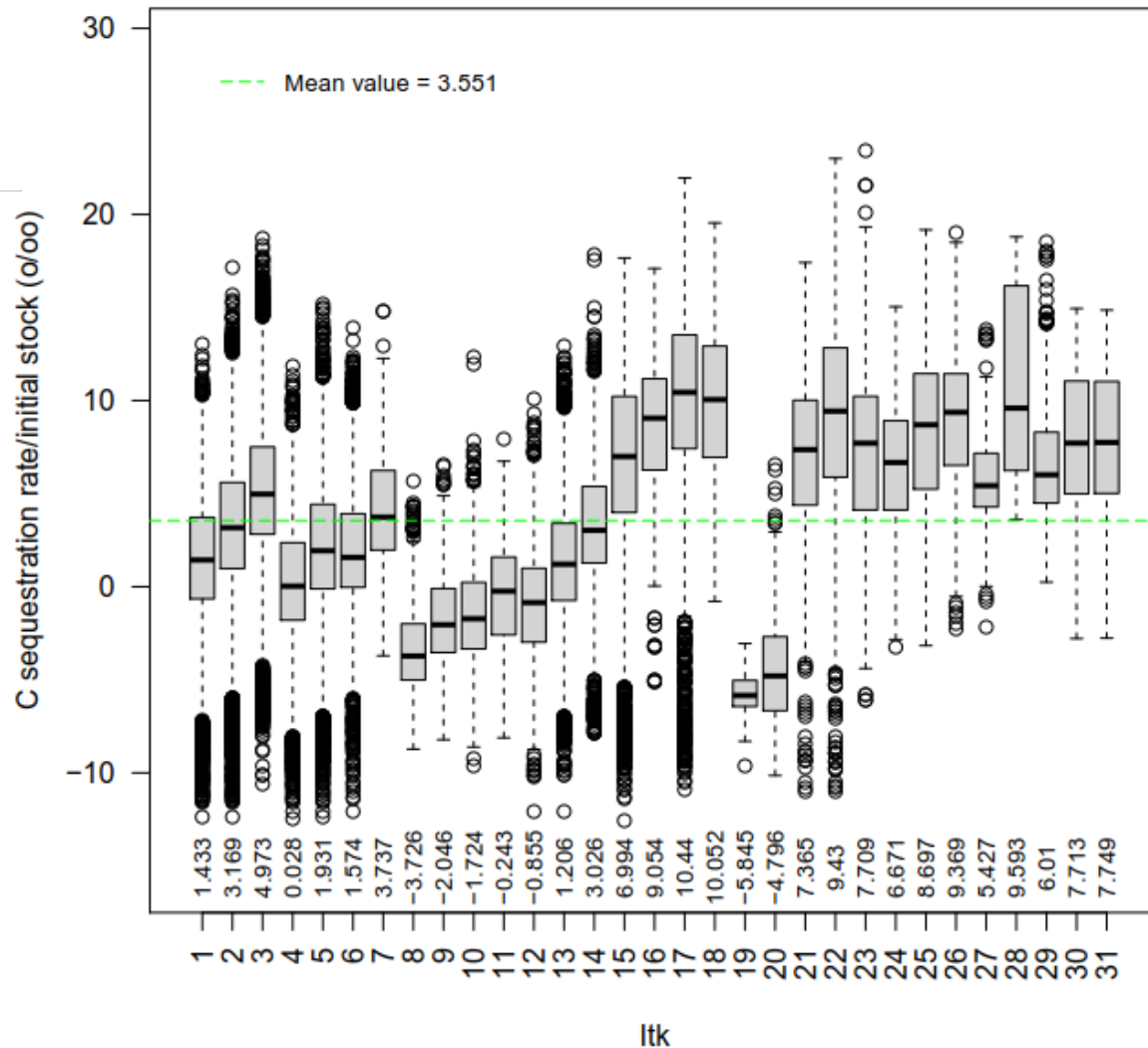
Delta stockage C, o/oo, 10 -> 14
Mean value : 3.71



Stockage C / mode d'exploitation



C sequestration rate/initial stock (o/oo) per itk



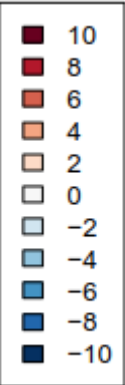
Fertilisation Fauche +50 UN :

- 1 → 2
- 2 → 3
- 4 → 5
- 12 → 13

Fertilisation pâturage + 50 UN :

- 15 → 17
- 21 → 22
- 24 → 25

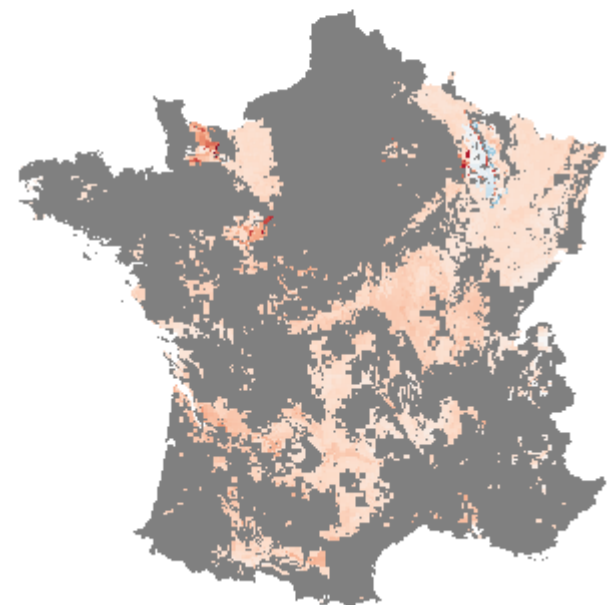
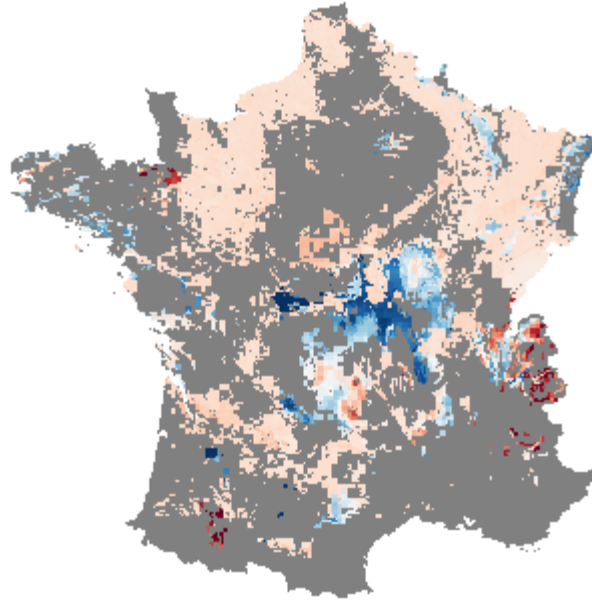
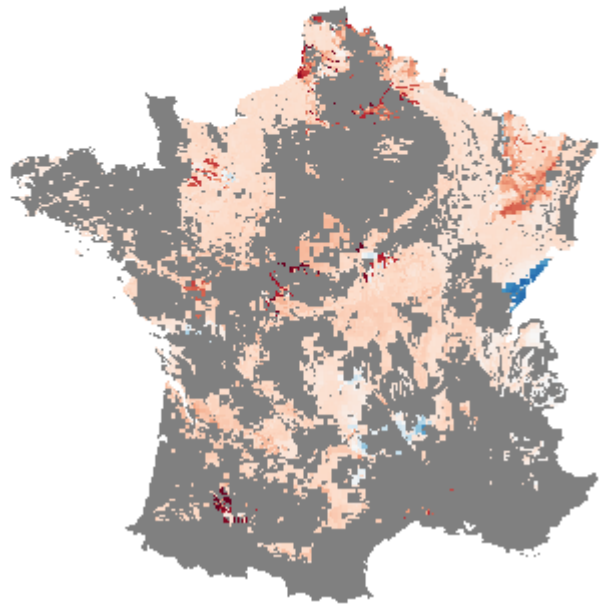
Stockage C suite à fertilisation sur fauche



Delta stockage C, o/oo, 1 -> 2
Mean value : 2.06

Delta stockage C, o/oo, 2 -> 3
Mean value : 0.6

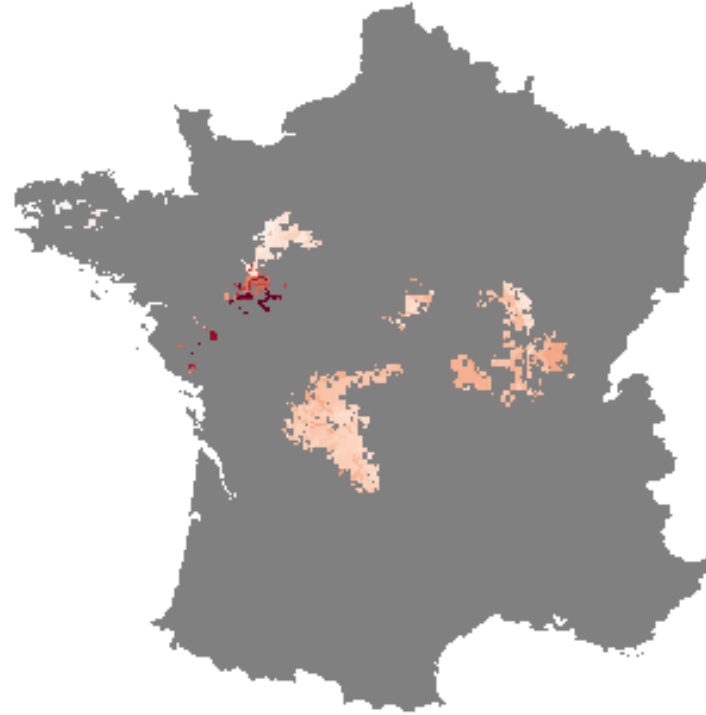
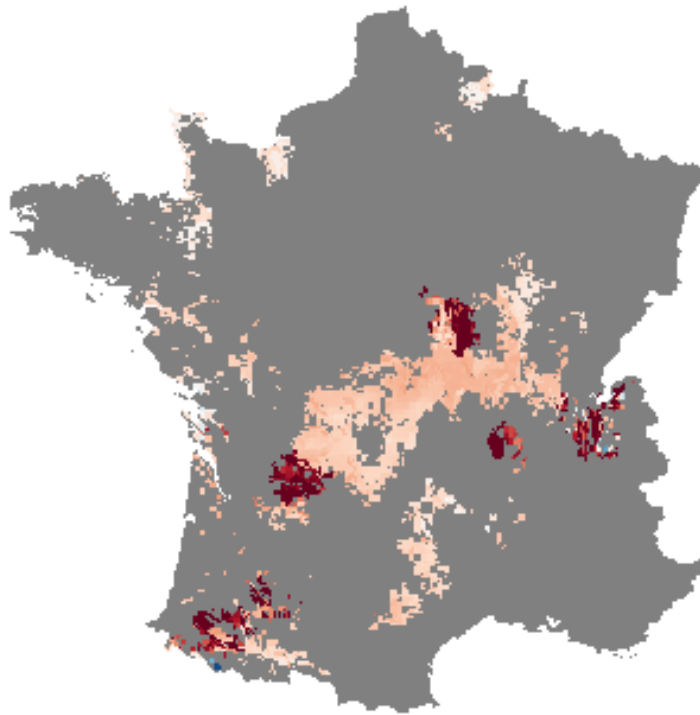
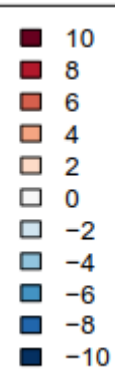
Delta stockage C, o/oo, 4 -> 5
Mean value : 1.95



Stockage C suite à fertilisation pâturage

Delta stockage C, o/oo, 21 -> 22
Mean value : 4.04

Delta stockage C, o/oo, 24 -> 25
Mean value : 2.93



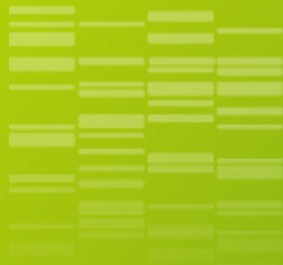


05 Perspectives

Perspectives

- Intégrés les nouveaux résultats
- Utilisation des sorties de PaSim pour nourrir le travail des économistes
- Prise en compte de la fertilisation organique via le lancement de nouvelles simulations pendant Noël (résultat intégré en janvier)

- Penser à l'utilisation d'autres ressources de calcul (Mésocentre ?)
- Intégrer de nouvelles approches pour explorer les pratiques stockantes ?
- Enorme jeu de données disponible, collaboration ?



Merci de votre attention