



HAL
open science

Approches méso-échelle (paysage, territoire) des services écosystémiques en zones de polycultures-élevages “intensifs”

Patrick Durand, Alexandre Jouannon, Stéphanie Aviron, Chantal Gascuel

► To cite this version:

Patrick Durand, Alexandre Jouannon, Stéphanie Aviron, Chantal Gascuel. Approches méso-échelle (paysage, territoire) des services écosystémiques en zones de polycultures-élevages “intensifs”. Ecole Chercheur “Cycles et Flux” Ecoserv, Jun 2016, Lyon-Ecully, France. hal-03340269

HAL Id: hal-03340269

<https://hal.inrae.fr/hal-03340269>

Submitted on 10 Sep 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Approches méso-échelle (paysage, territoire) des services écosystémiques en zones de polycultures-élevages « intensifs »



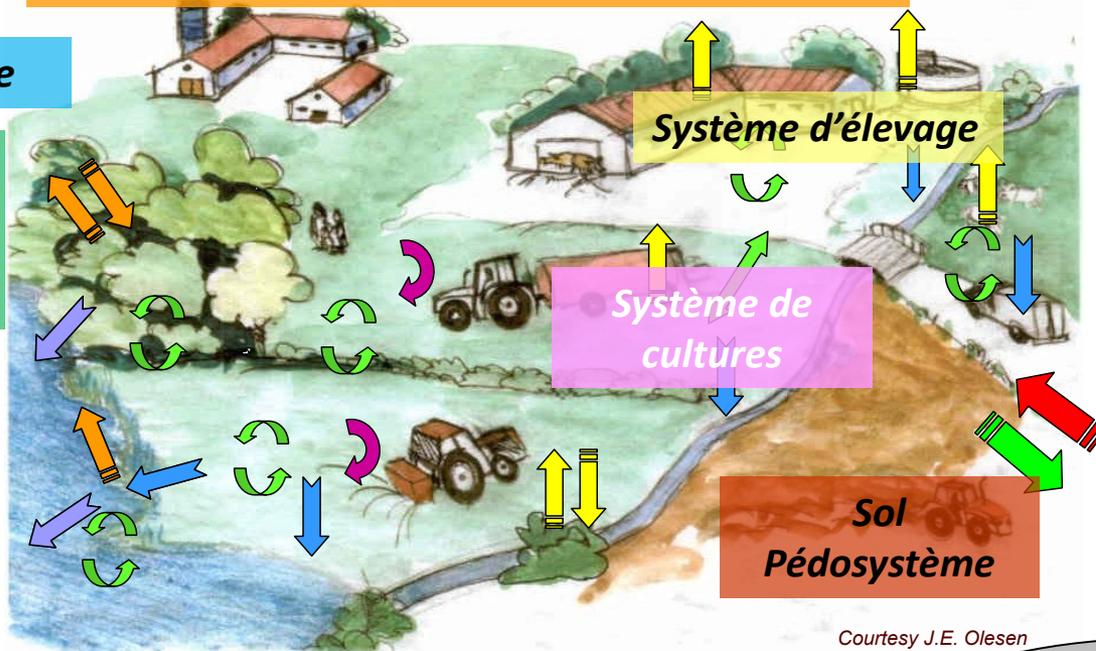
DES « META-ECOSYSTEMES » COMPLEXES

Agrosystème
Exploitation ou groupes d'exploitations

Atmosphère

Écotones, espaces non agricoles, écosystèmes semi-naturels

Bassin versant agricole hydrosystème



Complémentarité
Résilience
Recyclage
Effets tâmpens...

Courtesy J.E. Olesen

Des systèmes complexes à fortes interactions animal-végétal-eau-sol-air comment fonctionnent-ils?

changements globaux

Des systèmes **diversifiés** qui évoluent et qui doivent changer
Comment les gérer et comment les aider à innover?

COMMENT EST-CE PRIS EN COMPTE DANS LA MODÉLISATION?

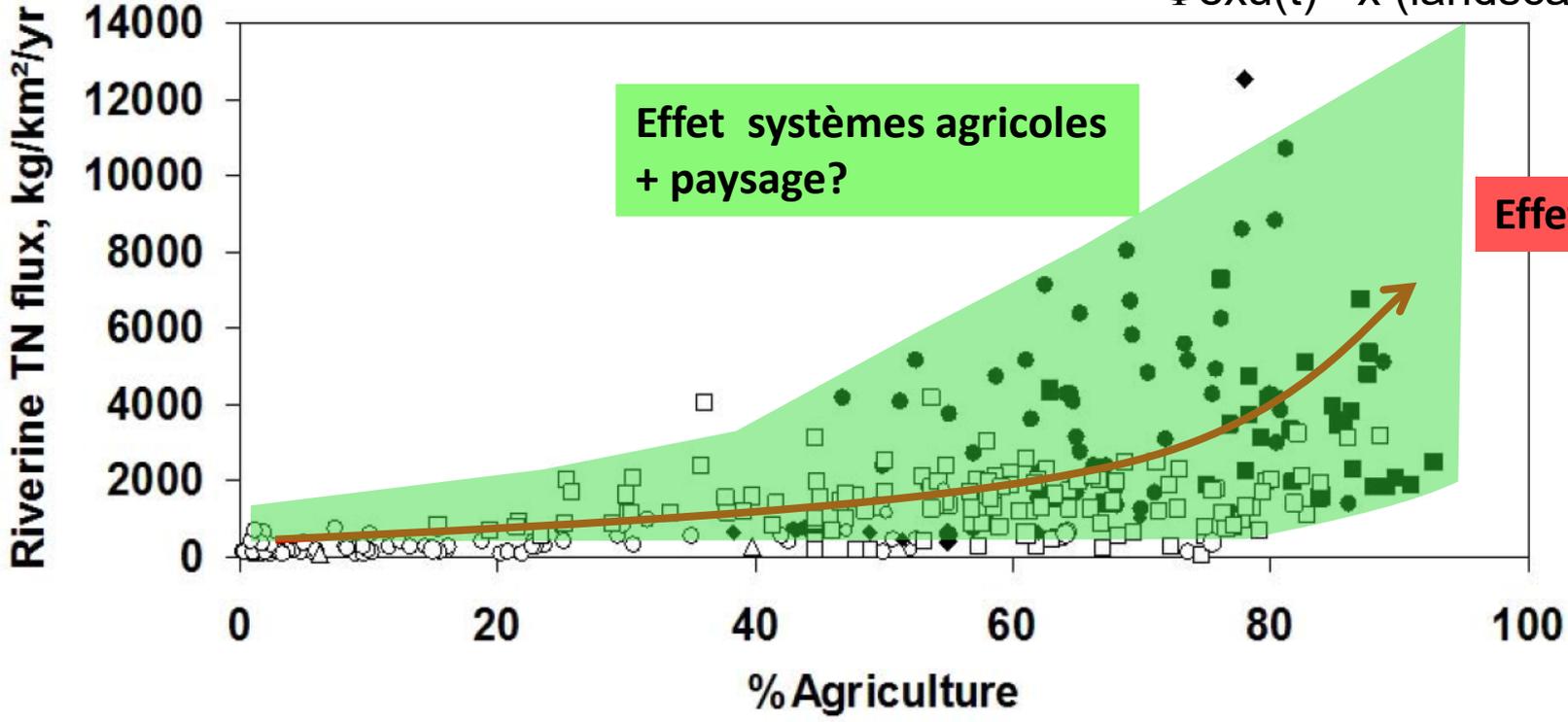


- Empirique**
 - Recherche de corrélations entre métriques paysagères et flux de N à l'exutoire
 - Ajustement de fonctions entre indicateurs divers (apports, bilans N, métriques paysagères) et flux de N à l'exutoire
- Conceptuel + empirique : un schéma de fonctionnement avec des fonctions empiriques**
 - Modèles grands bassins (Moneris, Nutting'N....)
- Assemblage de modèles mécanistes locaux**
 - Agrégation, méta-modélisation...
- semi distribué**
 - Somme des flux issus d'unités « homogènes »
- Mécaniste et spatialement distribué**
 - Simulation explicite des processus, des hétérogénéités, de la topologie

APPROCHE EMPIRIQUE

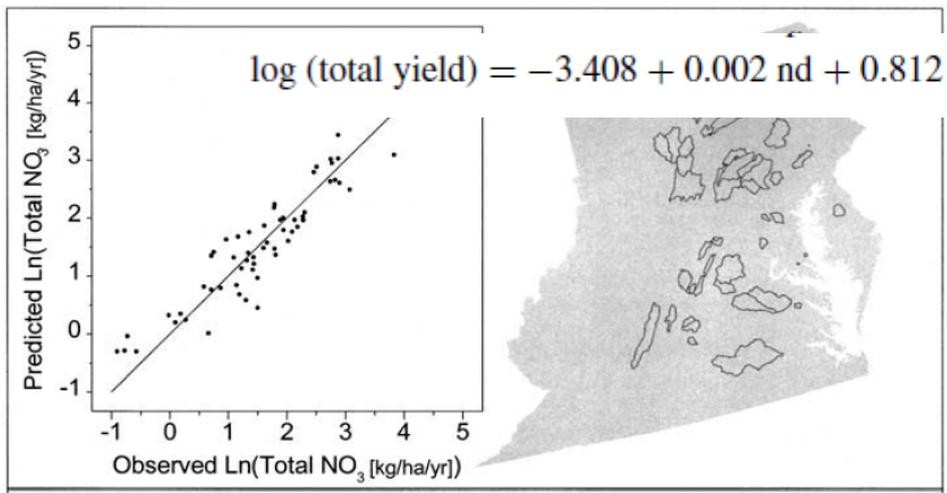


$$\Phi_{exu}(t) = x \text{ (landscape metrics)}$$

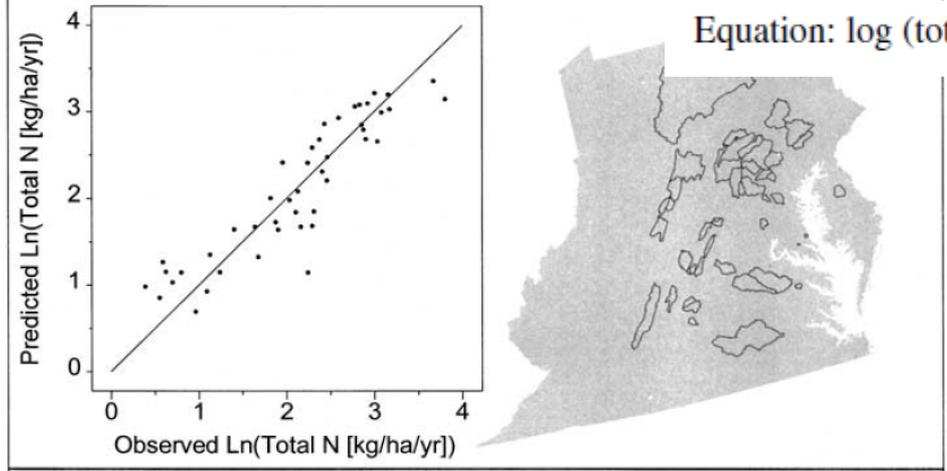


European Nitrogen Assessment, Chap. 13

APPROCHE EMPIRIQUE



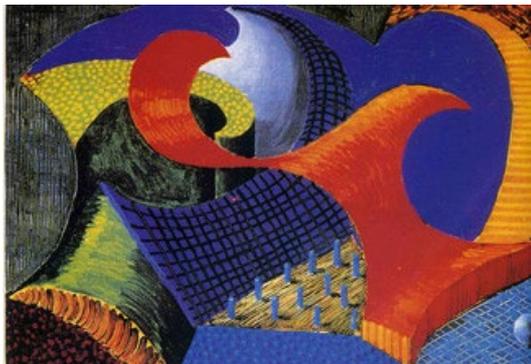
- rd :dépôt atmosphérique (27%)
- rxs : routes proches de rivière
- alc : % surface agricole (50%)
- purb : % urbain
- Sgv : variance de la pente
- ripa: % agriculture riparienne



- Nd :dépôt atmosphérique (24%)
- Ripf : % forêt riparienne (59%)

Jones, K.B. et al., 2001. Landscape Ecology 16, 301-312.

APPROCHE EMPIRIQUE



Revue des travaux antérieurs

Écologie du paysage et qualité de l'eau

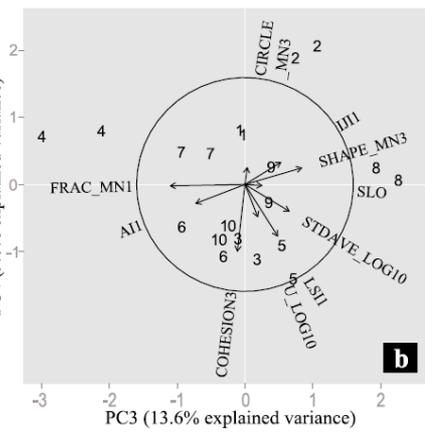
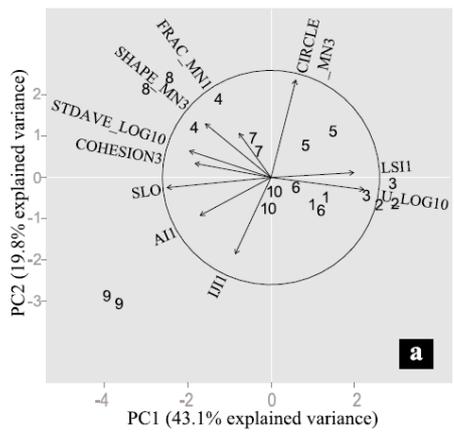
Revue biblio de Uemaa et al. (2009) Liv. Rev. Landscape Res.

Table 2: Correlation between various landscape metrics and water quality parameters. Significance: *p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001, **** p<0.0001.

| Landscape metrics | Dependent variables | Pearson r or Spearman ρ | References |
|-----------------------|---|-------------------------|---------------------|
| Cropland (%) | Log (NO ₃ -N) | 0.67* | King et al. (2005) |
| Canal line density | Soluble reactive phosphorus reduction | 0.8* | Li et al. (2005b) |
| Canal connectivity | | 0.83* | Li et al. (2005b) |
| Canal circuitry | | 0.85* | Li et al. (2005b) |
| Canal line density | Total nitrogen reduction | 0.84* | Li et al. (2005b) |
| Canal connectivity | | 0.92* | Li et al. (2005b) |
| Canal circuitry | | 0.94* | Li et al. (2005b) |
| Edge density (forest) | Conductivity | -0.34* | Xiao and Ji (2007) |
| Patch density | | 0.33* | Xiao and Ji (2007) |
| Contagion | | -0.49* | Xiao and Ji (2007) |
| Edge density (forest) | Total Cd | -0.53* | Xiao and Ji (2007) |
| Edge density (forest) | Total Zn | -0.49* | Xiao and Ji (2007) |
| Contagion | | -0.36* | Xiao and Ji (2007) |
| Patch density | BOD ₅ (biological oxygen demand) | -0.53* | Uemaa et al. (2005) |
| Edge density | | -0.47* | Uemaa et al. (2005) |
| Patch density | COD _{KMnO4} (chemical oxygen demand) | -0.49* | Uemaa et al. (2005) |
| Mean shape index | | 0.66* | Uemaa et al. (2005) |
| Edge density | Total-N | -0.56* | Uemaa et al. (2005) |
| Mean shape index | | -0.44* | Uemaa et al. (2005) |

Abatement N lié à Edge Density et à Mean Shape Index

De nombreuses tentatives, des résultats mitigés : facteur de second ordre, souvent masqué par pb d'échantillonnage, de corrélations « parasites », etc. -> nécessité d'injecter un peu de processus

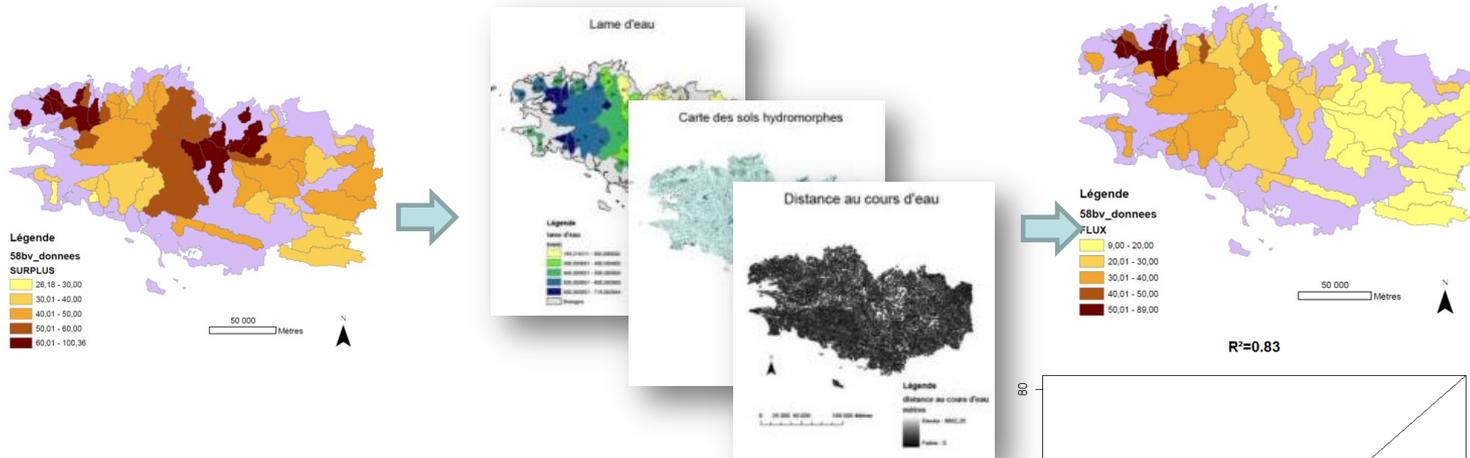


APPROCHE CONCEPTUELLE +EMPIRIQUE

Application à la Bretagne de Nutting'N

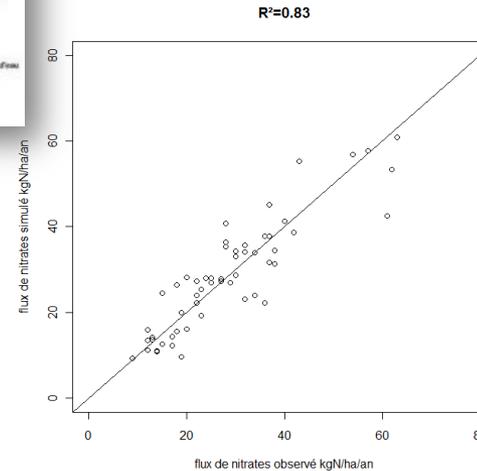


$$\Phi_{\text{exu}}(t) = f(\text{input}, \text{landscape metrics})$$



$$L = \exp(-0.002 * HL) * \left(\exp\left(-\frac{165.5}{\text{lame}} - 0.0265 * \text{hydro}_{\text{sol}} - 0.002925 * \text{distance} + 1.302\right) * (1 - bfi) * \text{Surplus} + \text{flux}_{\text{profond}} + SP \right)$$

Equation calibrée



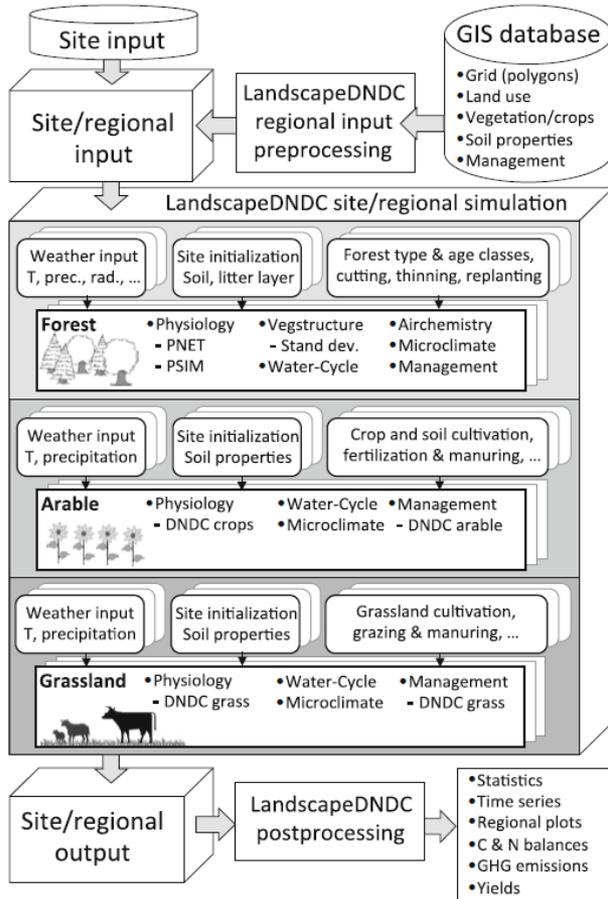
Résultat : Flux mesuré vs Flux estimé

R. Dupas et al. / Science of the Total Environment 443 (2013) 152–162

ASSEMBLAGE DE MODÈLES « PROCESS-ORIENTED » LOCAUX

1. Agrégation simple ($f=\Sigma$)

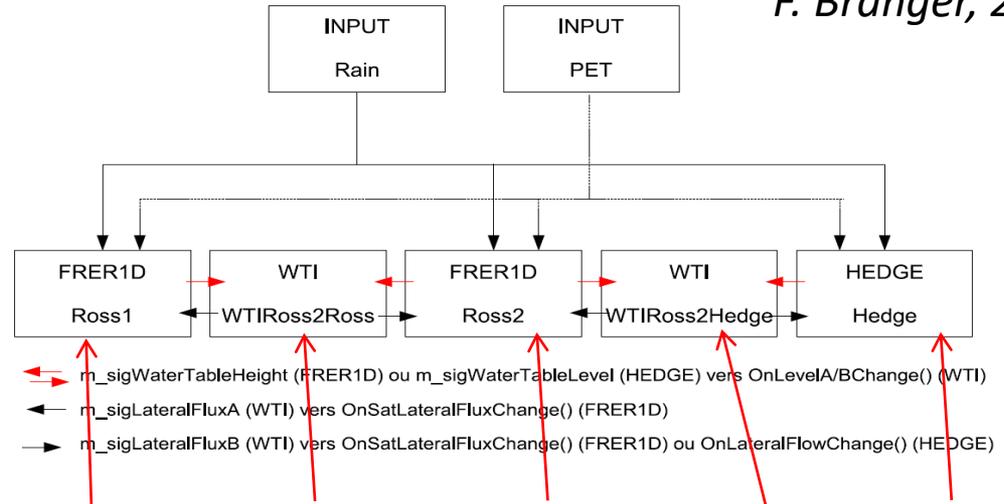
Haas et al., 2013



$$\Phi_{exu}(t) = f(\Phi_i(\text{unités élémentaires}))$$

2. Couplage de « briques » locales hétérogènes avec échanges latéraux $f=\Phi$

F. Branger, 2007

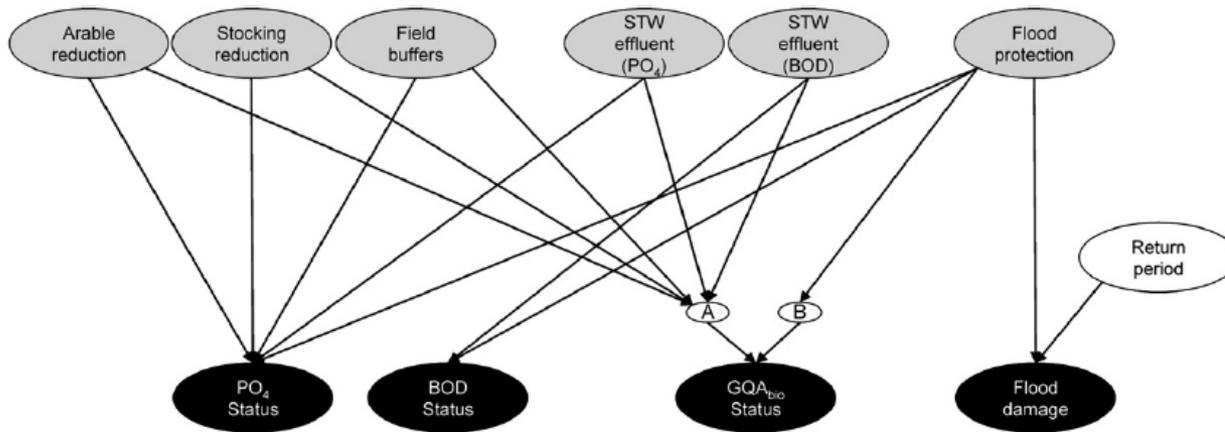


Parcelle, Interface, Parcelle, Interface, Haie,
mécaniste mécaniste mécaniste mécaniste conceptuel

ASSEMBLAGE DE MODÈLES « PROCESS-ORIENTED » LOCAUX



3. métamodélisation



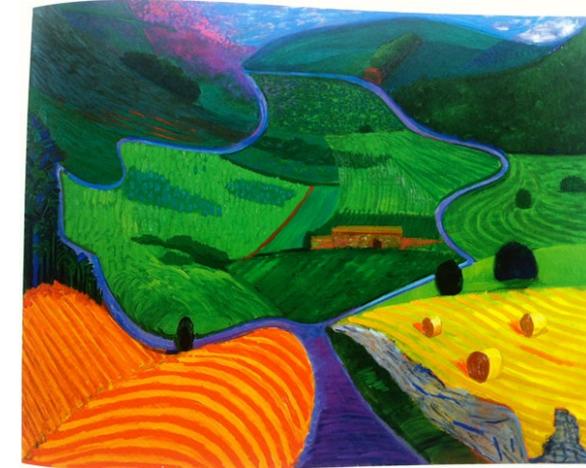
4. Quelques modèles candidats

- Modèles mécanistes de transfert (Hydrus....)
- Parcelles cultivées -> modèles de cultures (STICS, ANIMO, CERES, DAISY...)
- Écosystèmes semi naturels -> forest-DNDC, DRAINMOD-forest, BIOME-BGC...
- Zones humides, zones ripariennes : REMM, wetland-DNDC...
- Autres structures paysagères?

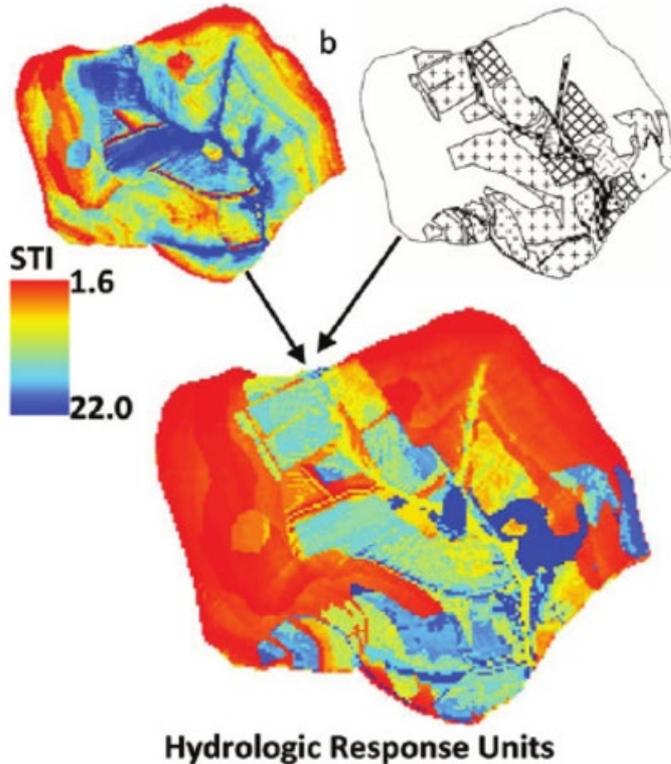
MODELES SEMI-DISTRIBUES

Les modèles de pollutions diffuses les plus utilisés
SWAT, AGNPS, INCA....

Unité élémentaire = 1 landuse dans sous bv (INCA), une
maille assimilée à 1 parcelle ou 1 landuse (AGNPS), 1
HRU : hydrological response unit (SWAT...)



$$\Phi_{exu}(t) = \sum (\Phi_i(\text{unités homogènes}))$$



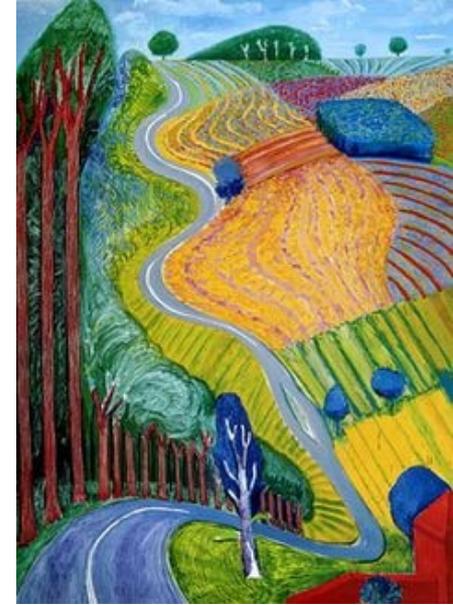
+ un modèle hydro-biogéochimique
du réseau hydrographique

MODÈLES DISTRIBUÉS

SHETRAN; MIKE SHE/DAISY, TNT2(Nitroscape, Casimod'N), STEPS, LandscapeDNDC-CMF

Principes

- Simuler les processus principaux et secondaires avec des équations génériques
- Décrire explicitement et « complètement » (maillage) le spatial:
 - les éléments du paysages et leur liens topologiques (du point de vue des flux hydrologiques notamment)
 - Les différentes interventions humaines sur ces éléments (notamment, variabilité des pratiques de gestion)
 - La variabilité de leurs propriétés biogéochimiques et physiques (voire écologiques)
- Mais attention,
 - Le caractère conceptuel est présent: partis pris sur la hiérarchie, les formalismes
 - Le caractère empirique aussi : calibration plus ou moins poussée



$$\Phi_{\text{exu}}(t) = \Phi (\Phi_i(\text{unités élémentaires}))$$

L'ÉTERNEL DÉBAT DES MODÉLISTES

...I want a model that incorporates all I know of about process!

...we should use conceptual box model approaches

- bedrock surface
- hillslopes, hollows, riparian zones
- preferential flow
- thresholds
- old water

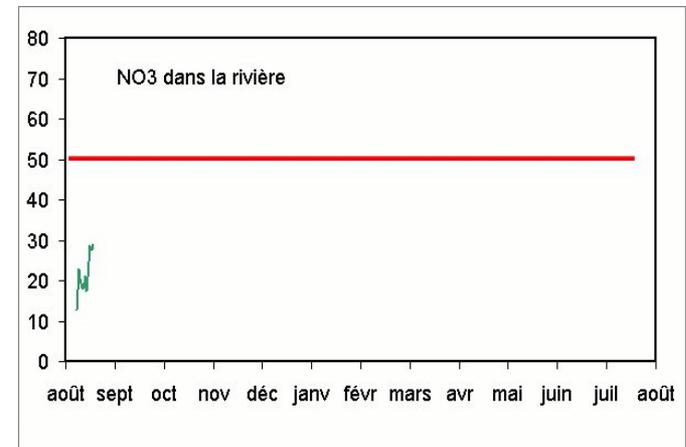
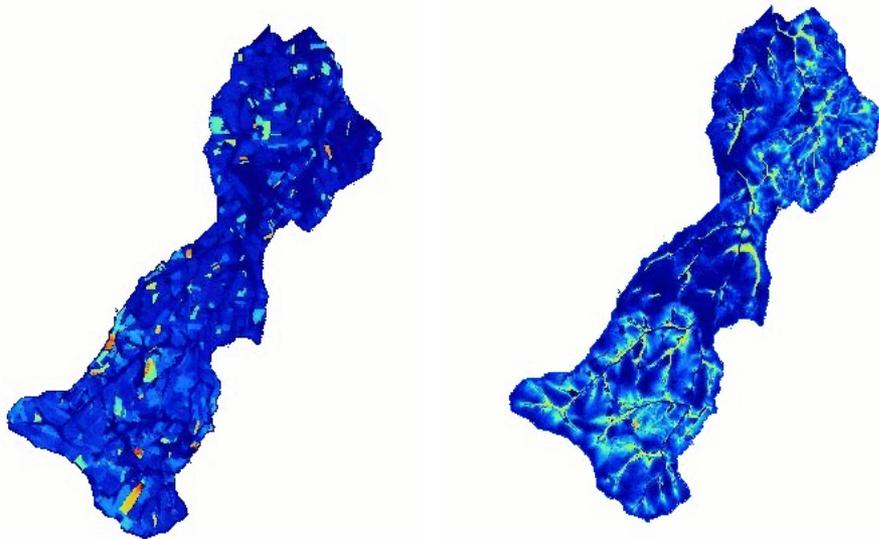
- model uncertainty
- parameter identifiability
- upscaling
- hard data availability for calibration

reviewers

AND NOW, TNT2...



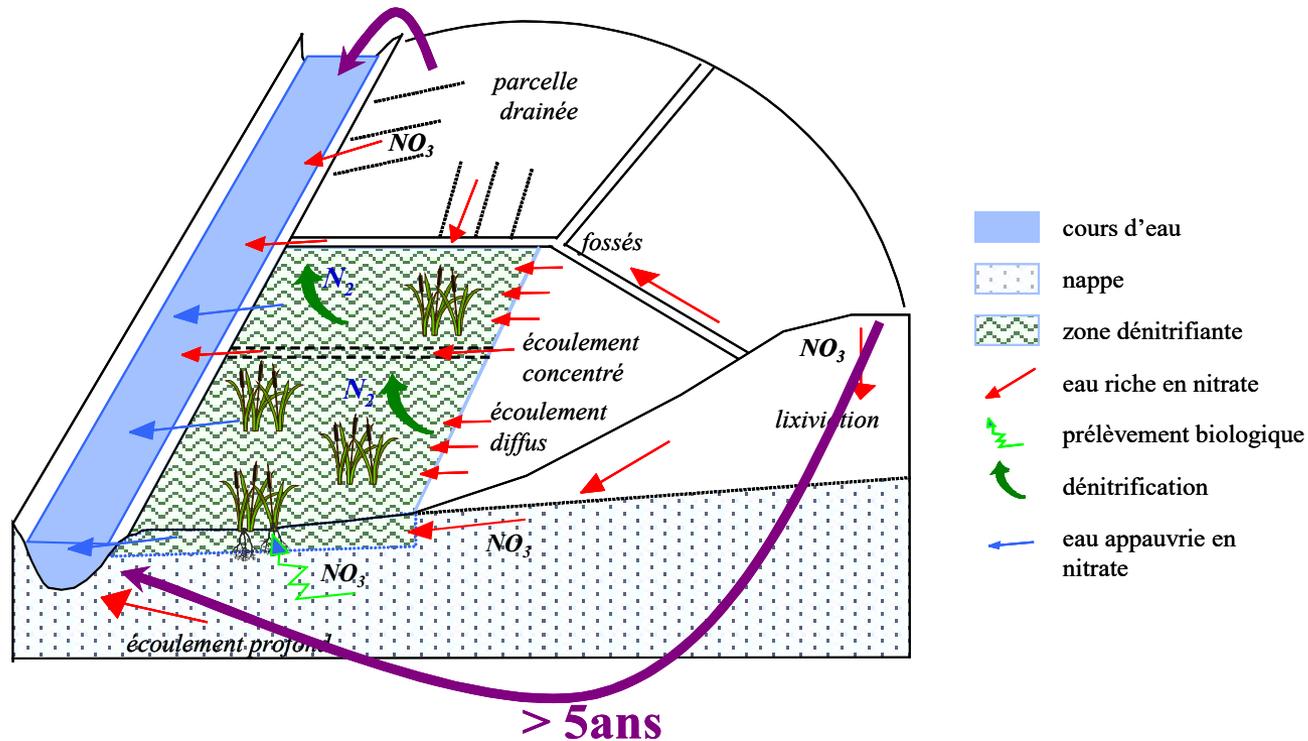
On décrit le paysage, les sols, le climat, les pratiques agricoles d'un bassin versant...



Des équations simulent les transformations de l'azote et les transferts d'eau et de solutés...

...pour calculer les flux et concentrations aux exutoires

OBJECTIF < 6mois



Modéliser le rôle de la structure du paysage et des interactions sol/nappe sur la dynamique de l'azote dans les bassins versant à nappe superficielle

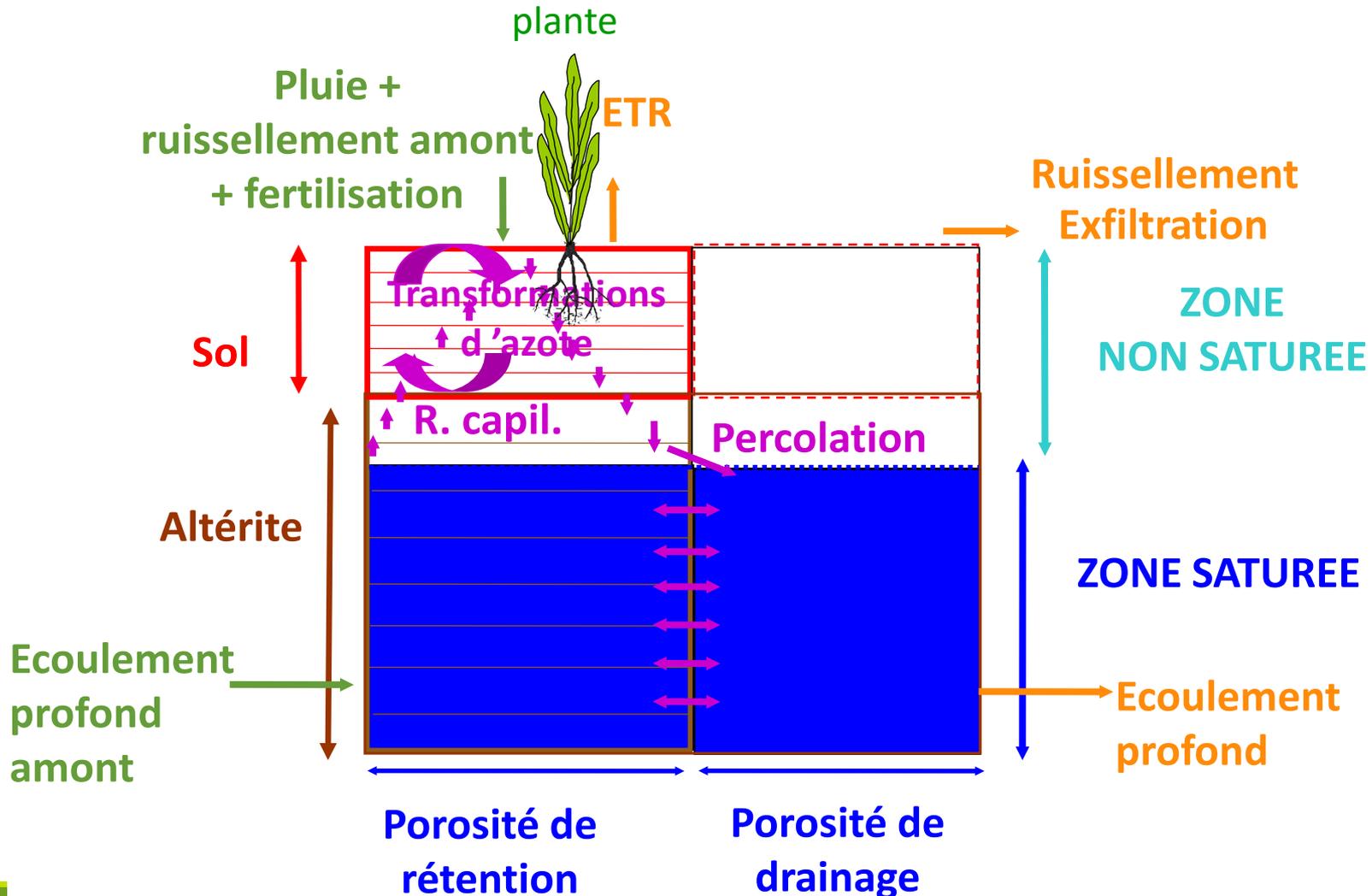
Utiliser des formalismes existants et reconnus... mais aussi en développer d'autres, notamment pour les spécificités des structures paysagères

LA GESTION SPATIALE DES ENTRÉES/SORTIES

- 6 niveaux de spatialisation
 - **Le pixel** (maille carrée, typiquement 10x10m à 50x50m)
 - Mnt et routage
 - Calculs hydros et agros
 - **La parcelle** (couche vectorielle rasterisée)
 - Entrées et sorties agronomiques
 - 1 fichier/parcelle mais parcelles peut être landuse (ex bati, bois...)
 - **le type de sol** (couche vectorielle rasterisée)
 - Paramètres hydro et bios (+sorties)
 - 1 fichier par type
 - **La zone météo** (couche vectorielle rasterisée)
 - Fichiers entrées météo (+sorties)
 - 1 fichier par type, 5 type maxi
 - **Les structures linéaires** (haies, réseau hydrographiques)
 - Couche vectorielle (polyligne) soit à part (cours d'eau), soit rasterisée (haie)
 - **Le bv** (masque sur mnt)
 - Fichiers débits, sorties.

MODULES DE TRANSFERT

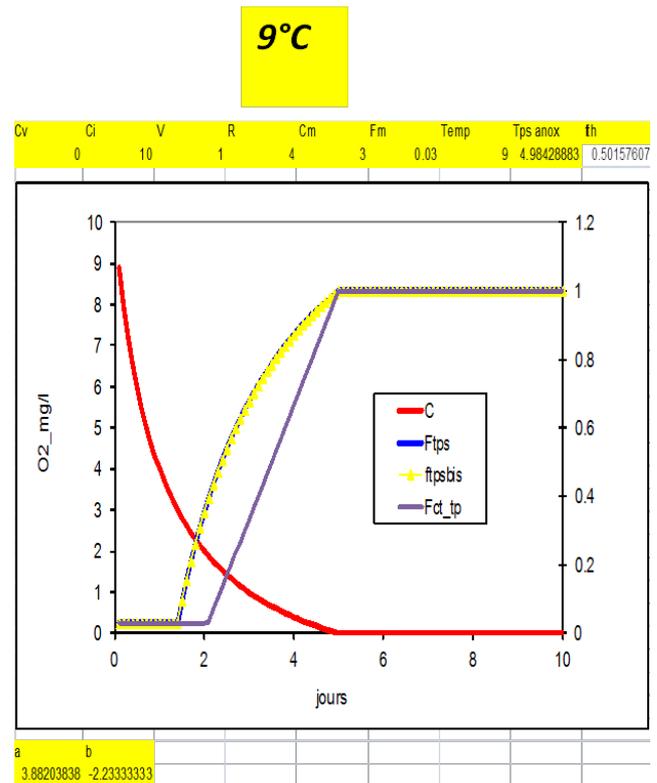
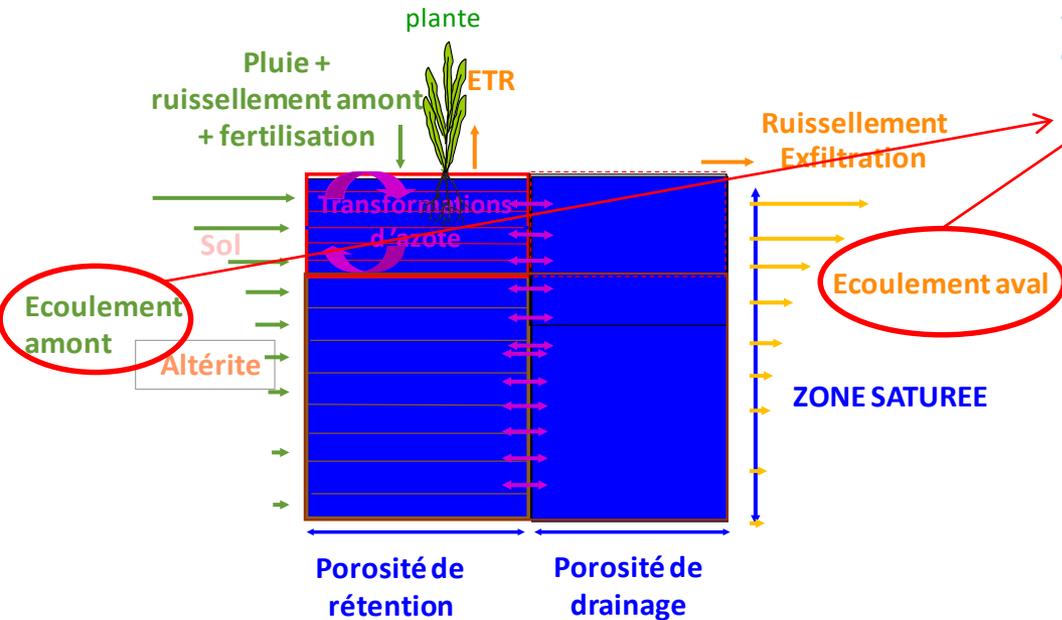
- Fonctionnement de chaque maille sur un pas de temps



FONCTIONNEMENT DE LA ZONE HUMIDE

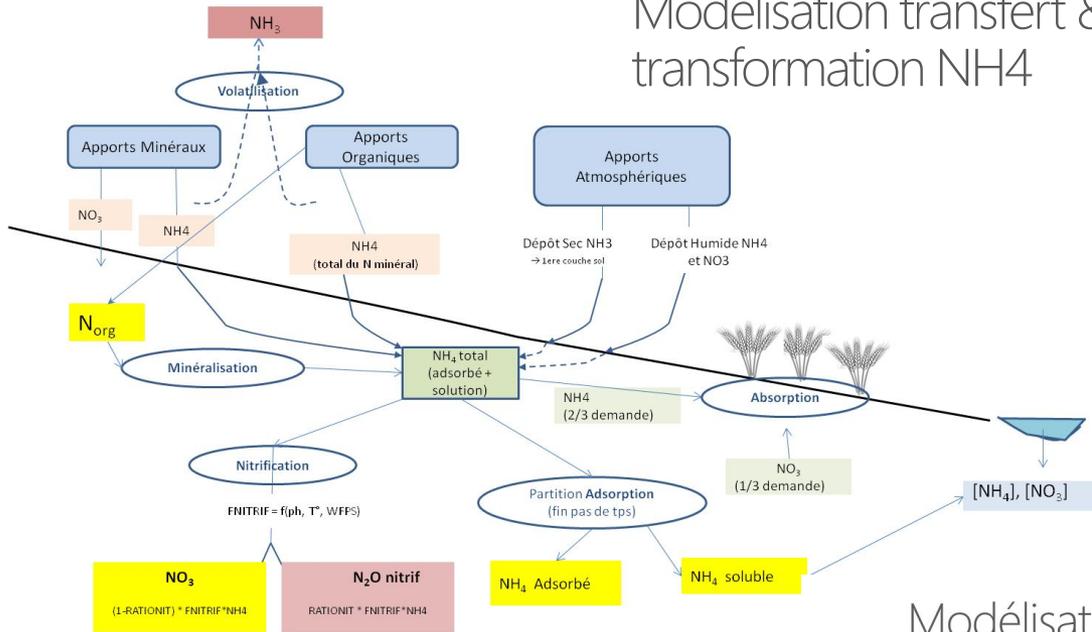
Vitesse réelle de dénitrification =
 $VPD * g(NO3) * h(T^{\circ}C) * i(WFPS)$
* f(Temps de résidence)

Temps de résidence = vol poral/flux

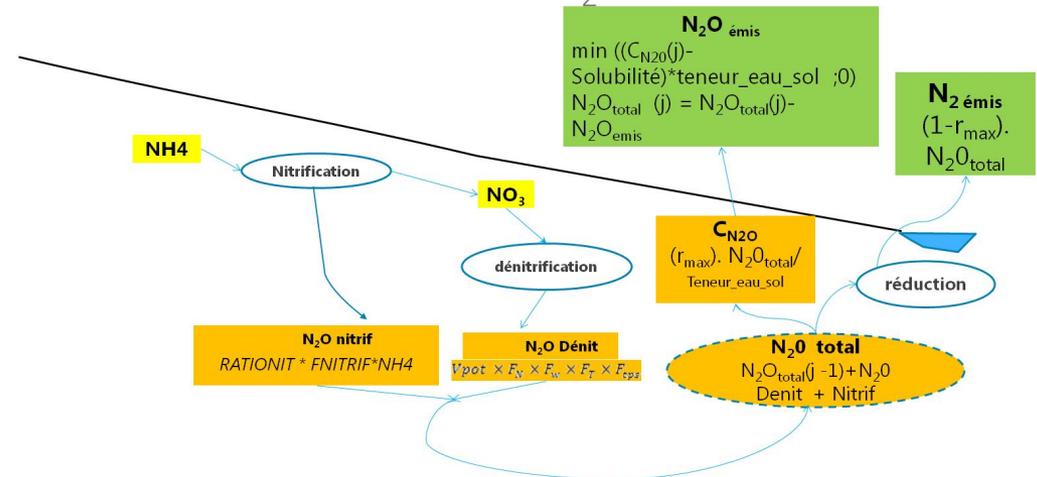


FONCTIONNEMENT DE LA ZONE HUMIDE

Modélisation transfert & transformation NH4



Modélisation émissions N₂O



FONCTIONNEMENT DES HAIES

➤ « maille haie » carrée -> difficultés

➤ Évapotranspiration

- Augmentation de l'ETM ($k_c=2$ pour les haies, 1.5 pour les bois)
- Racines pérennes
- Remontée capillaire accrue
- Proportion d'eau facilement accessible augmentée

➤ Prélèvement d'azote et biogéochimie

- Forçage de la demande annuelle : max entre 100 et 150 kg N ha⁻¹
- Réduction de la demande journalière par le facteur de stress en eau
- Restitution par la litière de 50% de l'azote absorbé à C/N=55.
- Epaisseur active pour les bio-transformations augmentée

Arbres émondés



Arbres de haut jet

Haie élaguée de manière asymétrique

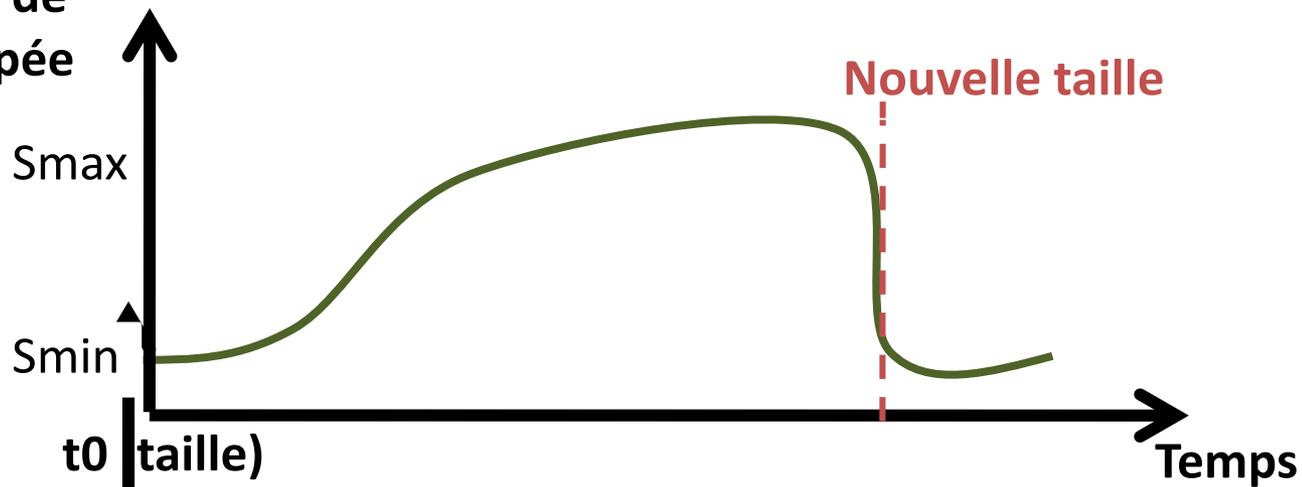


Cépée ou taillis

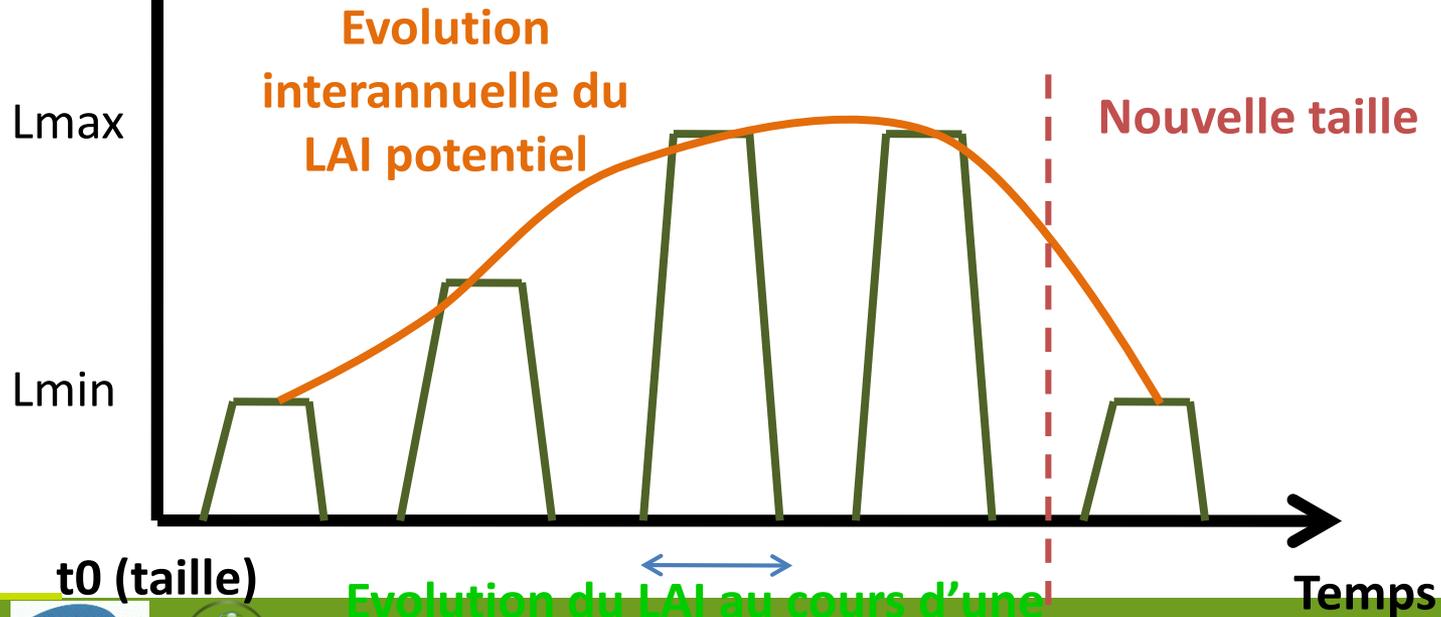
Haie nouvellement plantée



Surface de la canopée



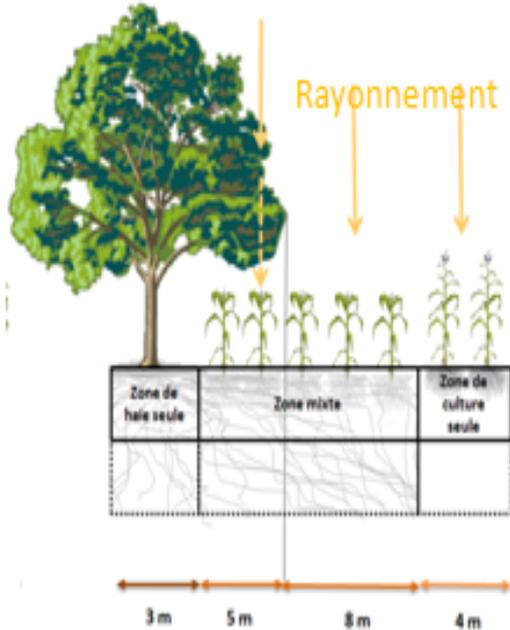
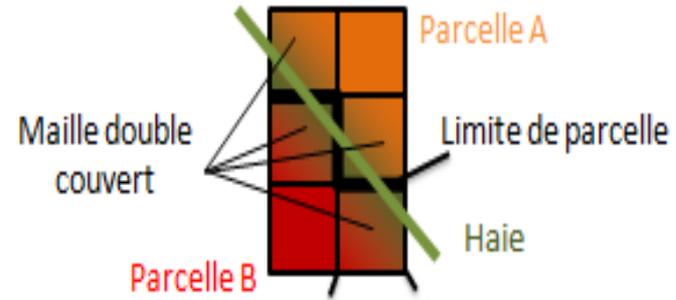
LAI



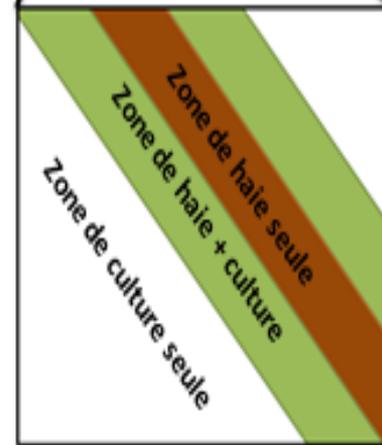
Evolution du LAI au cours d'une année

P. Durand, A. Jouanon, S. Aviron, C. Gascuel et al.

Module Haie



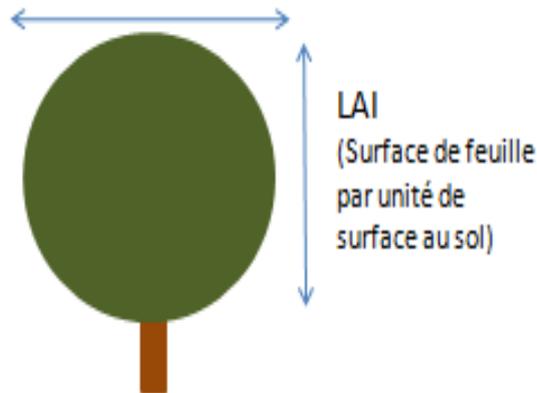
Maille double couvert vue en coupe



Maille double couvert vue du dessus

Formalisme utilisé pour la haie (chêne)

Extension de la canopée (E_c)



- Prélèvement potentiel en eau

$$ETP \times LAI / 2.88$$

Pereira et al. (2006)

- Prélèvement potentiel en azote

$$Kn \times dBt/dt$$

Croissance en biomasse

- Croissance en biomasse Van der Werf et al. (2007)

$$R_I \times \varepsilon \left(1 - e^{-(extin \times LAI)} \right) \times w \times (E_c \times L_h)$$

Conversion du Rayonnement Transfert à travers la canopée Stress en eau Surface de la canopée

- Remontées capillaires Hillel (1980)

$$\min \left[ETR, \left(k_{RC} / Z_n^s \right) \right]$$

Transpiration réelle de la haie Profondeur de la nappe

- Restitution d'azote par chute des feuilles → 60% des prélèvements Ducnuiqueen et al. (1997)

Transpiration (mm.an⁻¹)

| Moyenne | Minimum | Maximum | ETP moy | Moyenne/ETP |
|---------|---------|---------|---------|-------------|
| 831 | 355 | 958 | 599 | 1,39 |

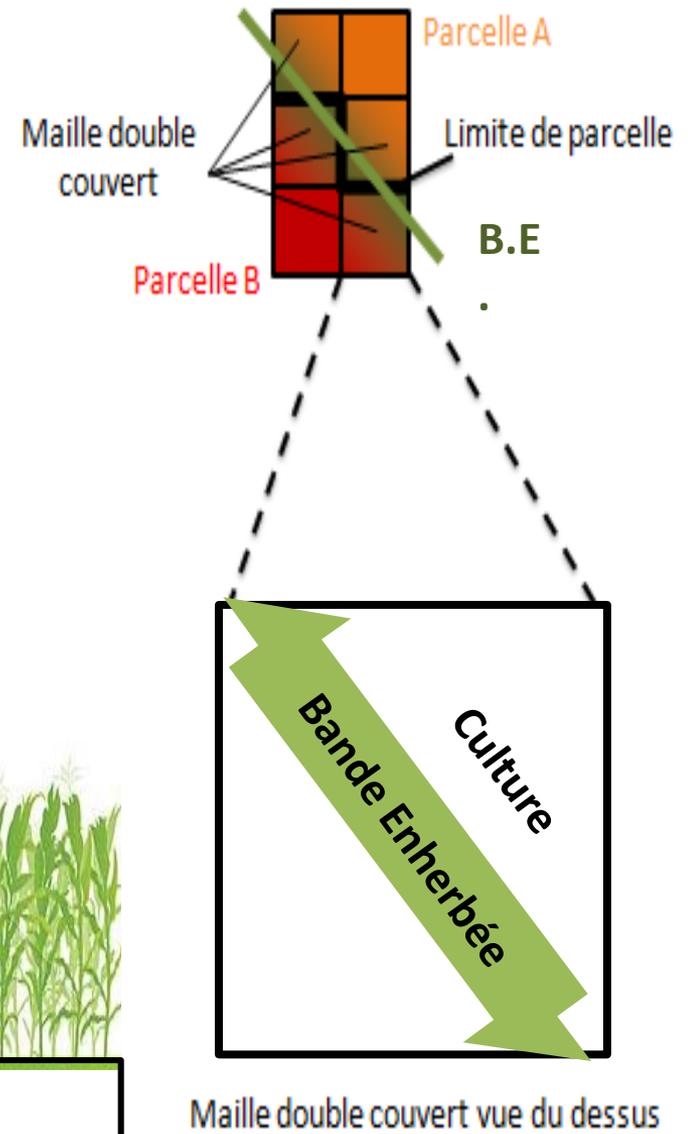
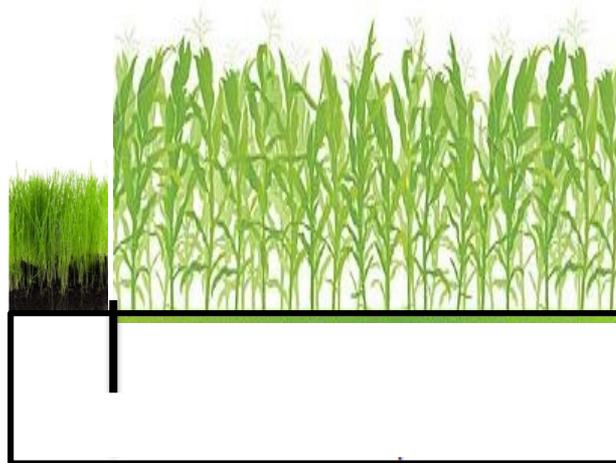
Prélèvement en azote (g.m⁻².an⁻¹)

| Moyenne | Minimum | Maximum |
|---------|---------|---------|
| 15,08 | 3,67 | 20,8 |

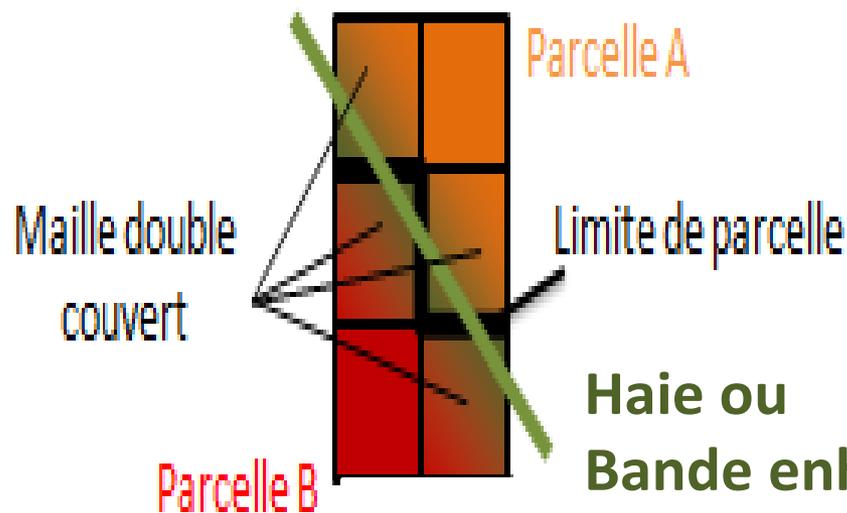
Bande enherbée

Représentation de la haie dans TNT2

- Fauche annuelle
- largeur de bande paramétrable
- Pas de compétition entre les deux couverts
- La croissance des cultures est la même que dans les mailles classiques
- Les apports sur la culture sont fonction de la surface de la culture



PROPORTION DES LINÉAIRES (ARBRE OU HERBE) DANS LES MAILLES DOUBLES COUVERTS



Deux options de renseignement :

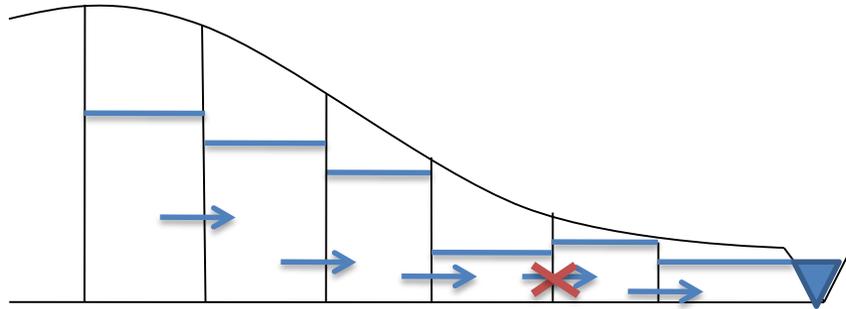
- Longueur du linéaire dans la maille

- le ratio est déterminé par une largeur par défaut
- plus adapté à la B.E.
- moins précis

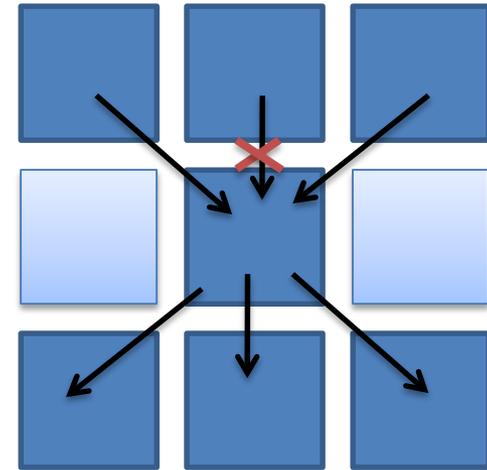
surface du linéaire dans la maille

- plus précis
- plus adapté à la haie (canopée irrégulière)

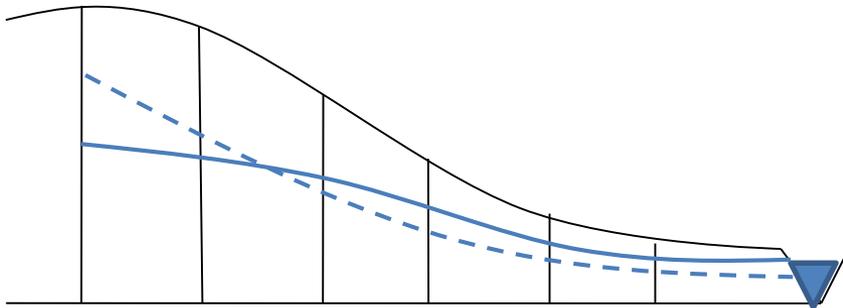
Pris en compte des gradients inverses à la topographie (Cyril Benhamou, 2012)



Principe : si le niveau de nappe dans une maille adjacente est supérieur à celui de la maille considérée, l'écoulement vers cette maille est mis à zéro



Résultats: le toit de la nappe est moins profond en haut de versant et plus profond en bas de versant avec la modification des écoulements; la simulation des reprises d'écoulement est meilleure.



RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE

- Structure contenant toute les mailles interceptant le réseau, avec définition des biefs,
- Tous les flux sont calculés par biefs
- La rétention d'azote dans le réseau est simulée par bief, selon la formule:

- $O = I e^{-kL/Q}$

Avec :

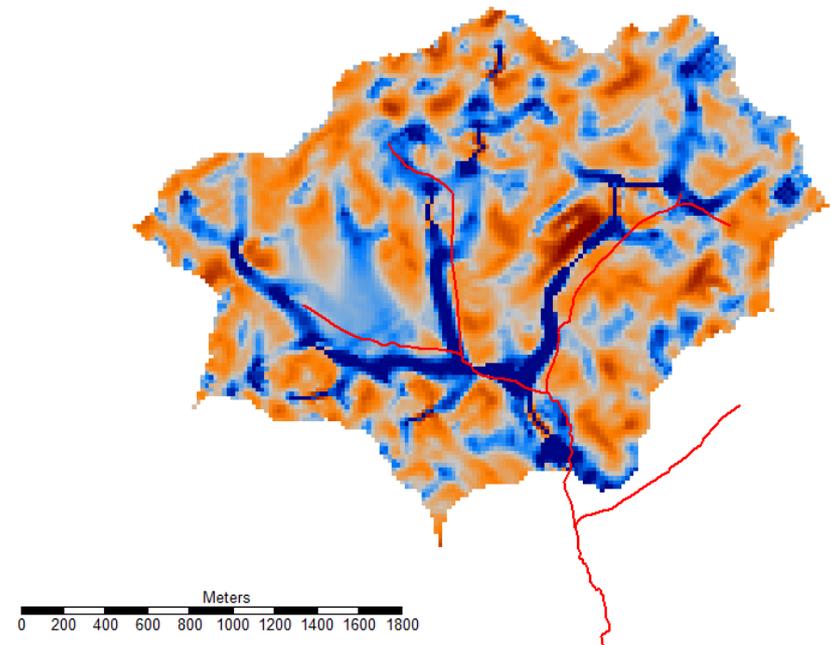
I : flux entrant,

O : flux sortant,

k : coefficient qui contrôle la fraction à retir

L : longueur du bief,

Q : débit (V/T, ici l'unité est en m)



ÇA SERT À QUOI, TOUT ÇA? SIMULER DES SCÉNARIOS DE PAYSAGES....



MAIS D'ABORD, UN BRIN DE REALITÉ...

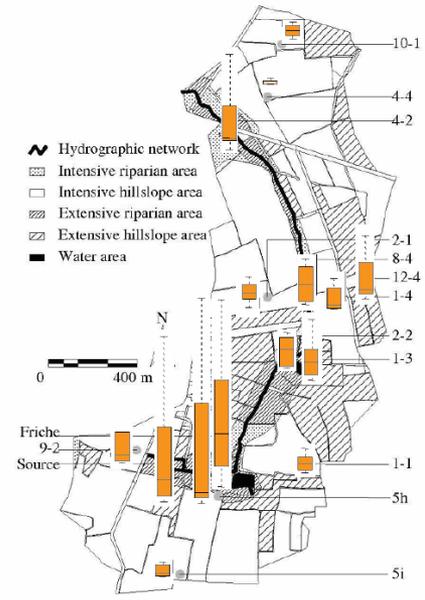
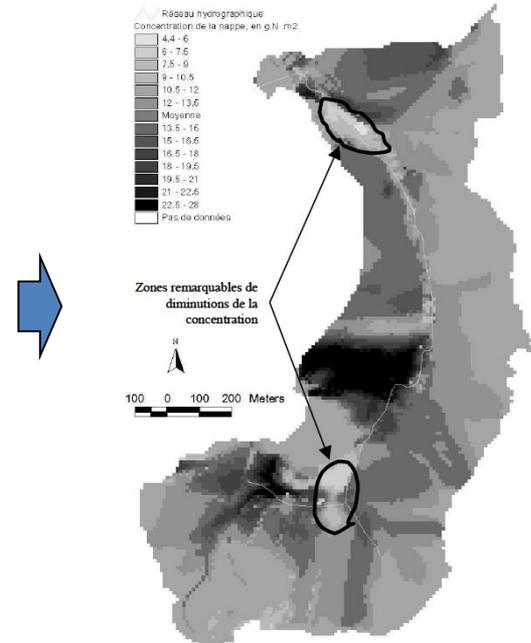
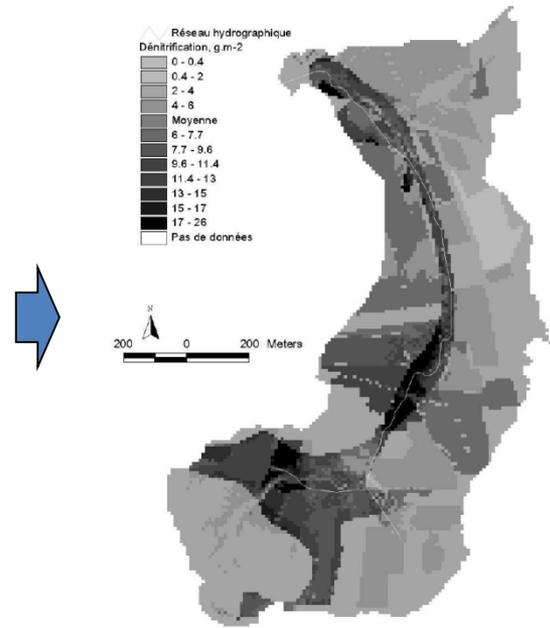


Figure 16. Sample points, on the catchment area of La Fontaine du Theil, Saint-Léger-des-Prés, Brittany, France (48°24'N; 1°38'W)



Dénitrification mesurée sur 15 sites

Dénitrification modélisée : Calage des paramètres sur les mesures

Teneur NO₃ dans la nappe : les zones marquées correspondent à des baisses observées dans le ruisseau

Environ 100 kg/ha(zh)/an

Oehler et al., 2007, 2009

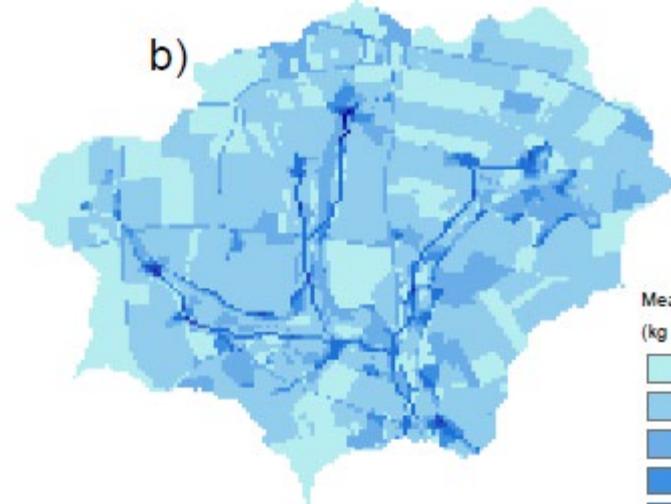
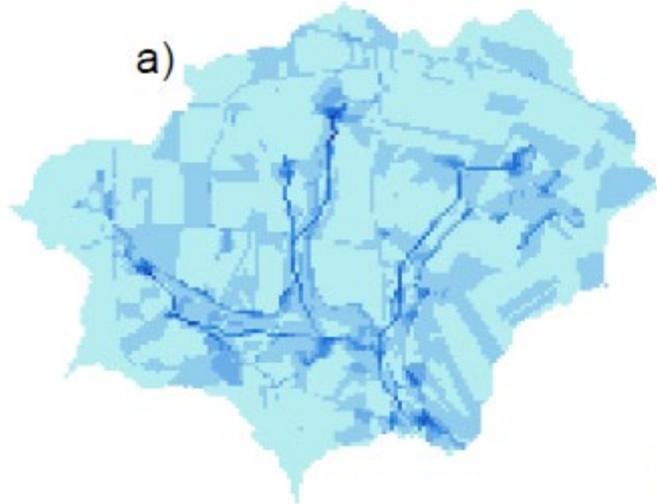
Les projections climatiques augmentent la dénitrification Sur les versants comme dans les ZH

1960-1990

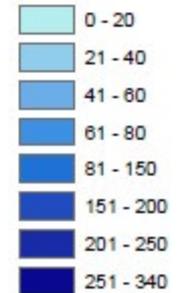
2010-2040

a)

b)



Mean Denitrification
(kg ha⁻¹ year⁻¹)

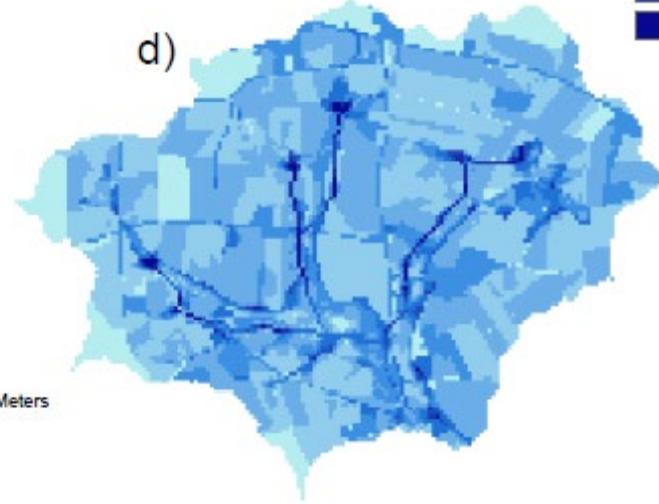
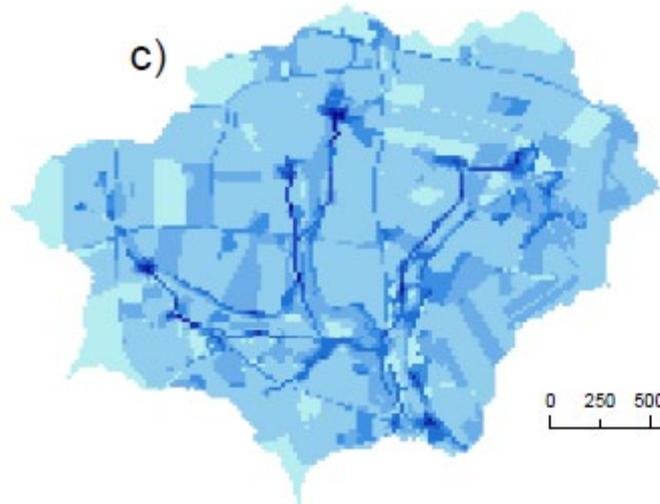


2040-2070

2070-2090

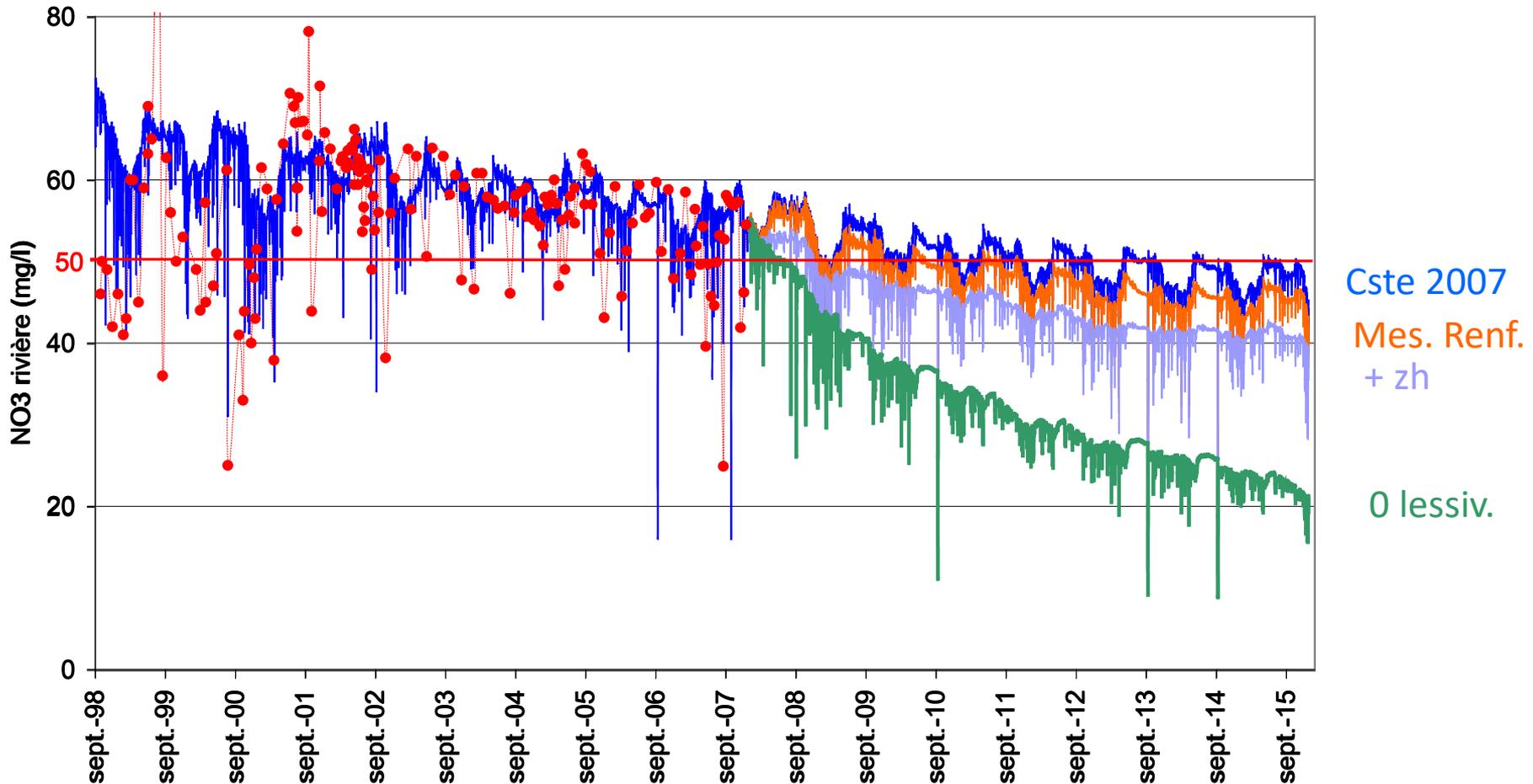
c)

d)

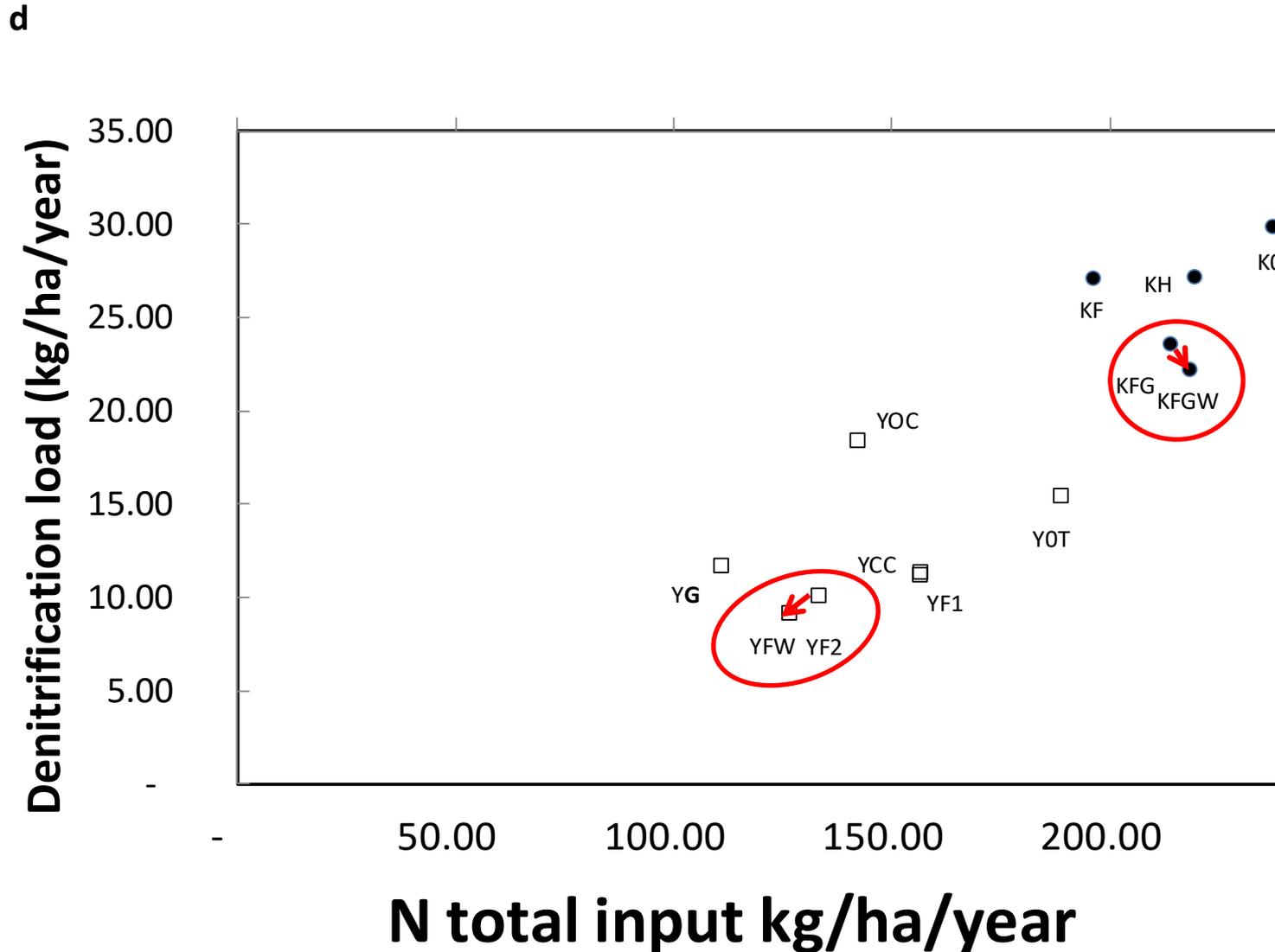


0 250 500 1,000 Meters

GESTION DIFFÉRENCIEE DES ZONES HUMIDES : *PLUS VITE, PLUS FORT!*



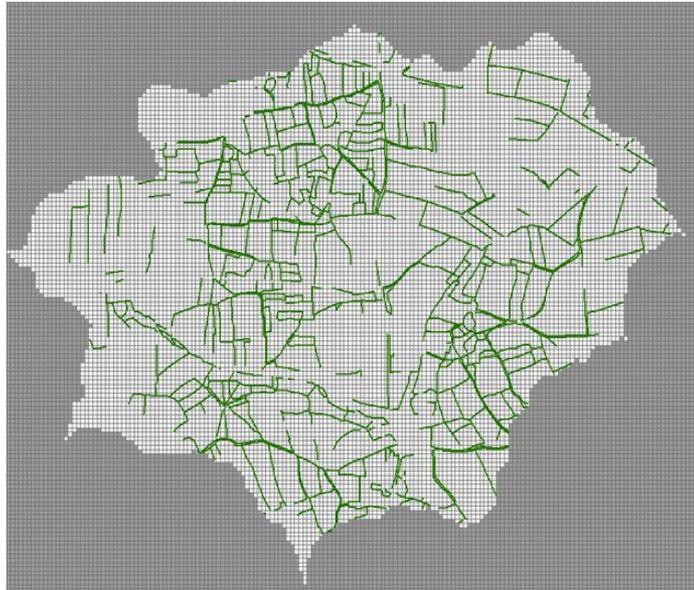
ON AMÉLIORE LA QUALITÉ DE L'EAU MAIS ON RÉDUIT LA DÉNITRIFICATION!



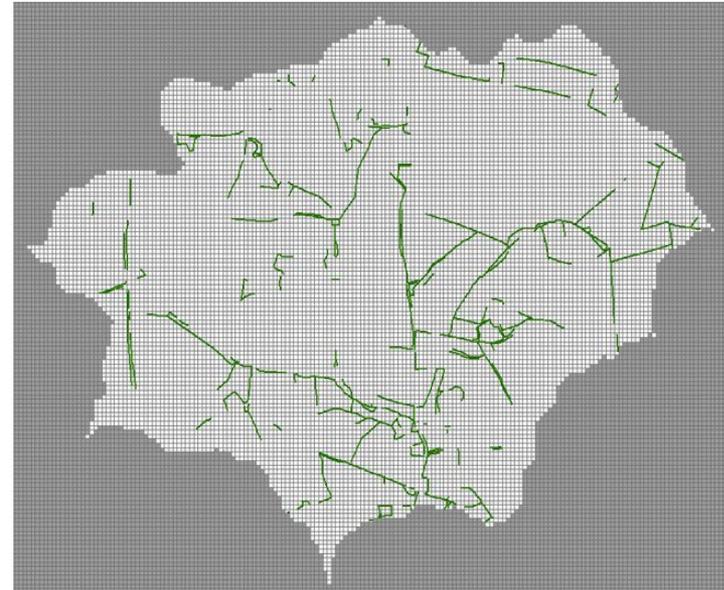
ET LES HAIES?

Réseaux bocagers

Réseau de 1952

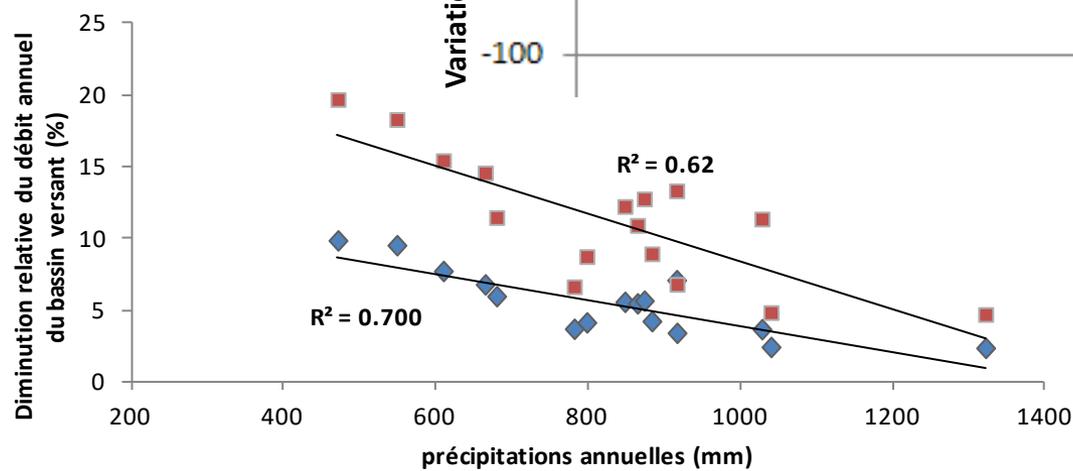
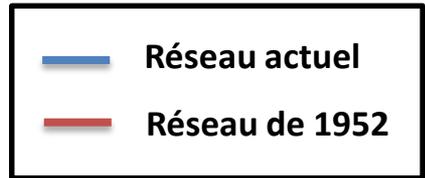
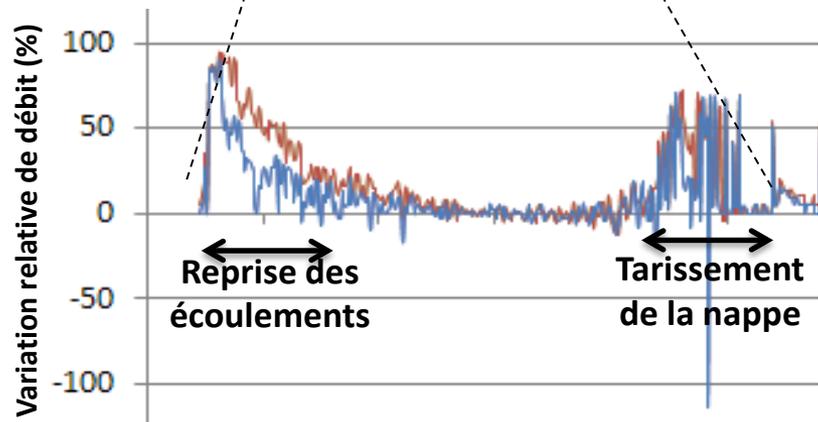
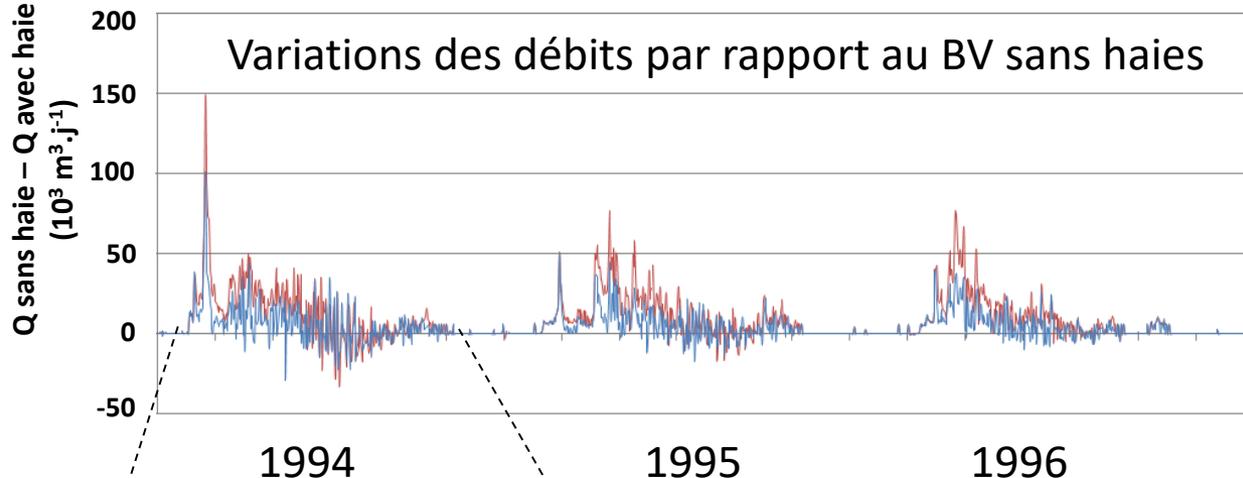


Réseau actuel



Diminution de la taille du réseau bocager de 140 m/ha à 48 m/ha entre 1952 et Aujourd'hui

IMPACT SUR LE CYCLE DE L'EAU



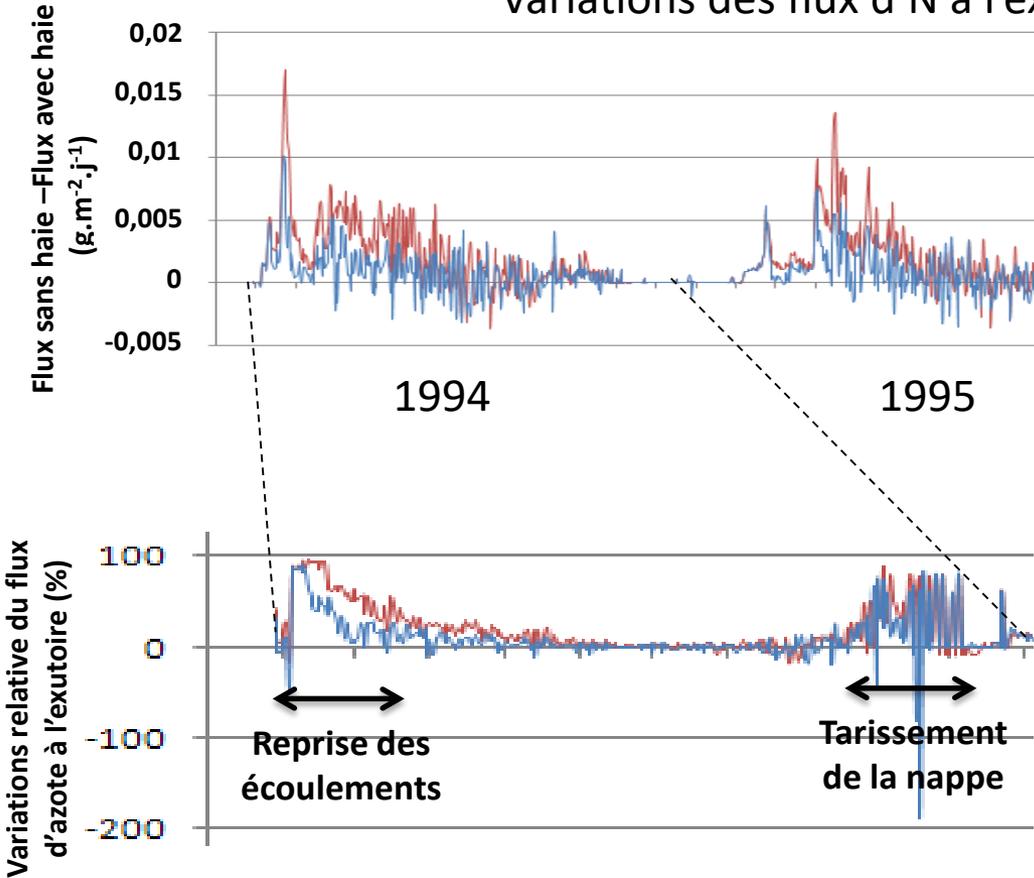
Diminution relative du débit en présence de haie sur 17 ans de simulation:

Réseau de actuel => 4,2 %
Réseau de 1952 => 9 %

Impact sur les flux d'azote



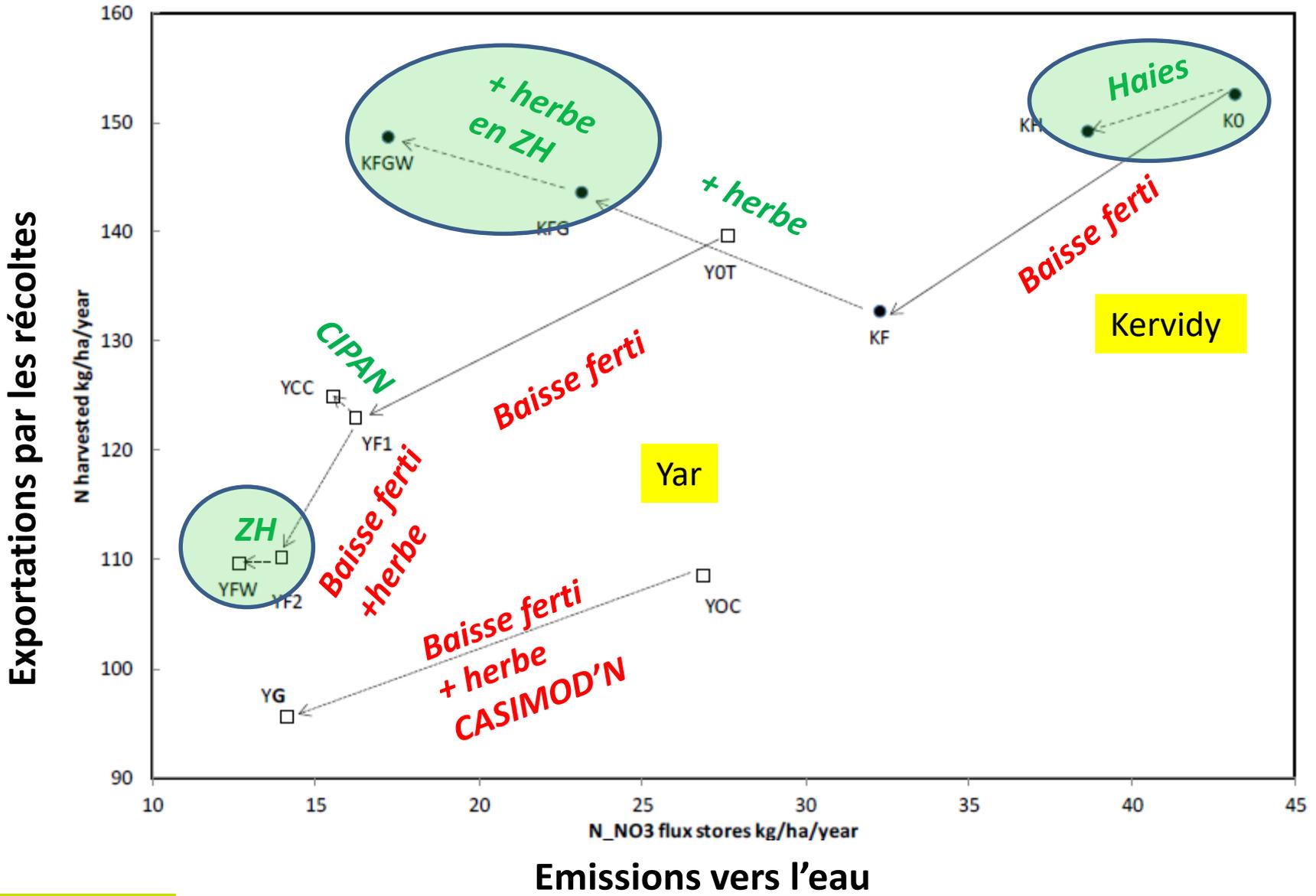
Variations des flux d'N à l'exutoire par rapport au BV sans haie



Diminution relative du flux d'azote à l'exutoire en présence de haie sur 17 ans de simulation:

- Réseau actuel => 5,1 %**
- Réseau de 1952 => 12,7 %**

EFFET NET MAIS GAINS POSSIBLES FAIBLES?



CONCLUSIONS

- Modéliser l'hétérogénéité des paysages: ***on peut le faire!***
 - Méso-échelle : méta-modèles ou modèles hybrides
 - Petites échelles : modélisation spatialement explicite des processus
- Mais...
 - Manque de données de vérification
 - Bien spécifier les objectifs
 - Est-ce bien vendeur?

Merci de votre attention!

