

Avec la participation de l' 

Les flux d'N à l'échelle du bassin de la Seine : Modélisation et scénarios pour l'avenir

Céline Schott, Catherine Mignolet, Marc Benoît
(*INRA, UR 055 SAD-ASTER Mirecourt*)

Pascal Viennot, Emmanuel Ledoux
(*Centre de Géosciences, MINES ParisTech, Fontainebleau*)

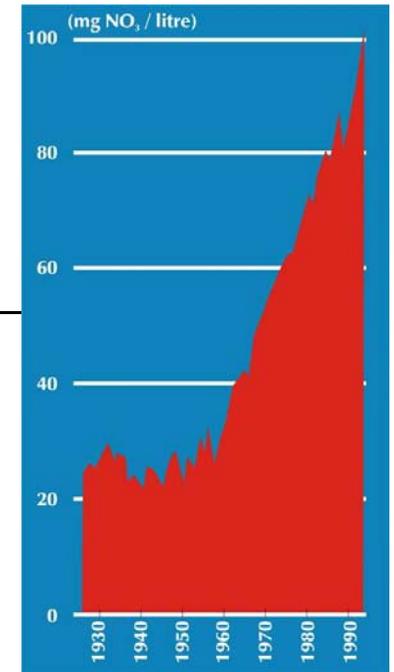


Rencontres de Blois: les 25 et 26 novembre 2009
« Fertilisation raisonnée et analyse de terre: Quoi de neuf en 2009? »

Introduction

○ Constats :

- Teneurs croissantes en nitrates dans les aquifères du bassin de la Seine depuis les années 60
- corrélées au développement de l'agriculture intensive (PAC)
- Seuils de potabilité atteints ou dépassés dans de nombreux captages



Teneur en nitrates dans le captage de la Traconne (Sources : SAGEP, Eau de Paris)

○ Cadre de l'étude :



Programme Interdisciplinaire de Recherche en environnement sur le bassin de la Seine

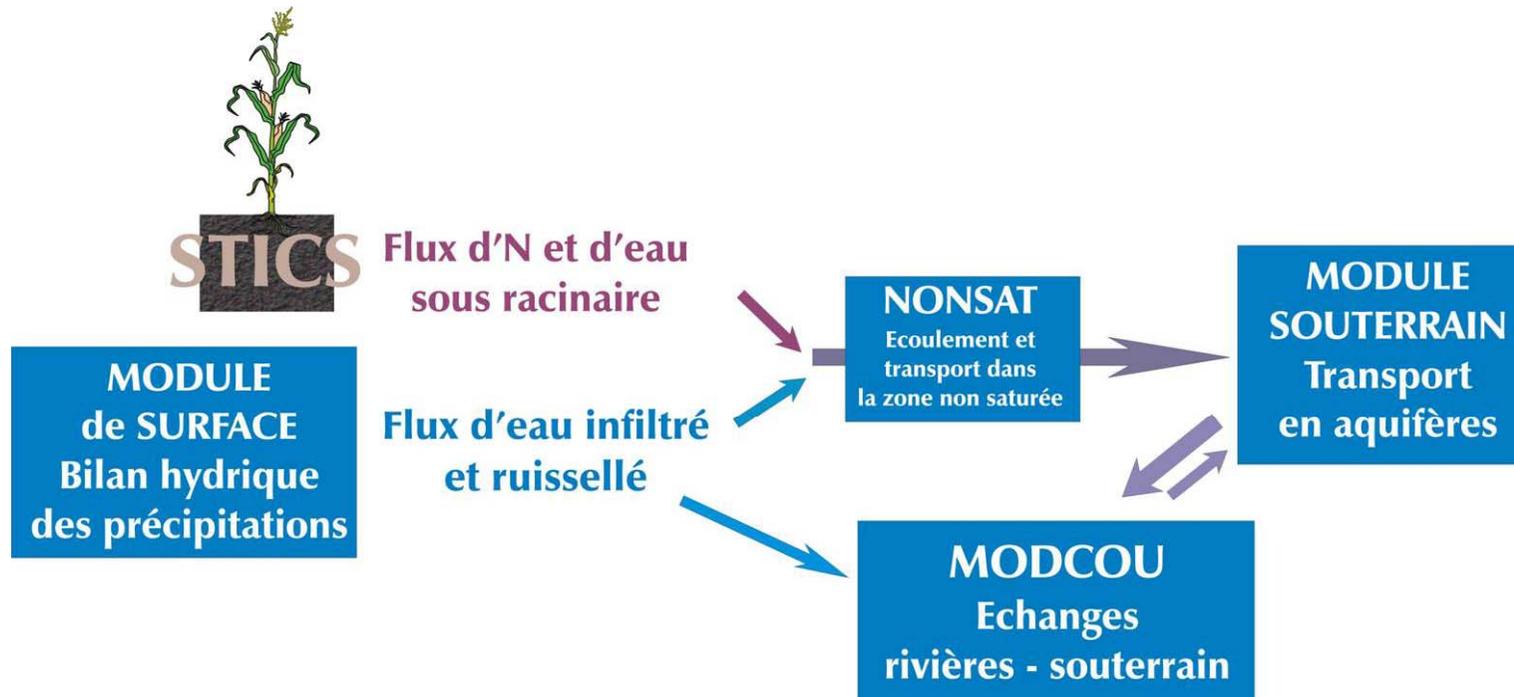
- → partenariat entre équipes de recherche et gestionnaires de l'eau

○ Objectifs :

- développer un outil d'aide à la décision
- capable de simuler les transferts d'N dans l'hydrosystème à des échelles régionales
- permettant de tester des scénarios prospectifs (changement des pratiques agricoles, changement climatique, etc.)

Principe général de la modélisation de la pollution azotée des aquifères

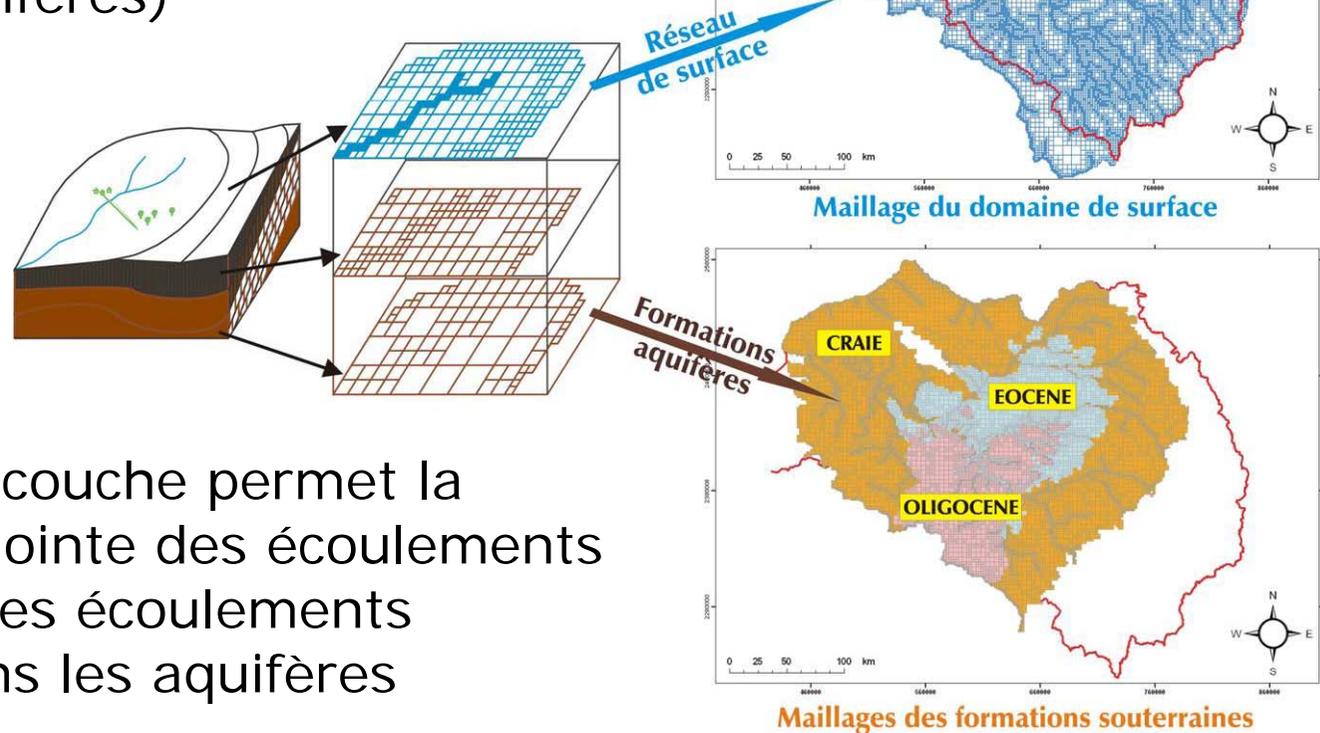
- Couplage d'un modèle agronomique et d'un modèle hydrogéologique
 - Modèle agronomique STICS (INRA)
 - Modèle hydrogéologique MODCOU (Mines ParisTech)



Principe général de la modélisation

Modèle hydrogéologique MODCOU

- Permet de reproduire le comportement hydrodynamique du bassin et le déplacement des polluants dans tous les compartiments du sol (de la zone non saturée aux aquifères)

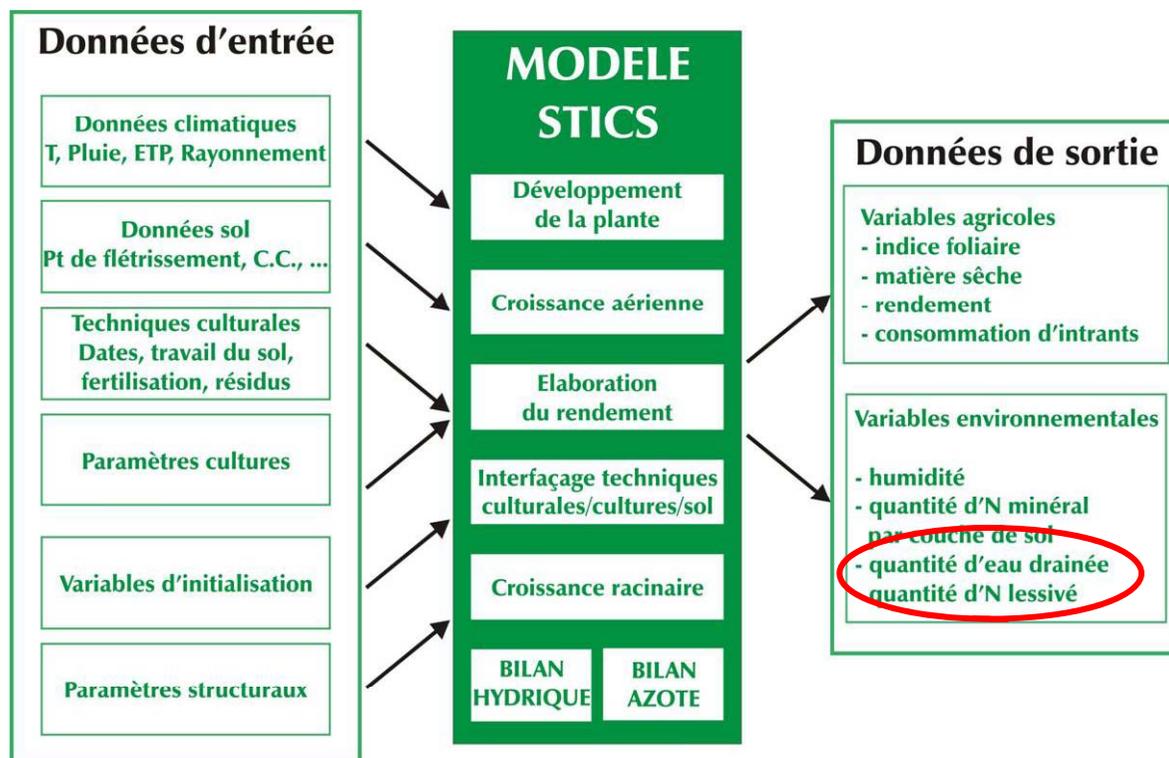


- Structure multicouche permet la simulation conjointe des écoulements de surface et des écoulements souterrains dans les aquifères

Principe général de la modélisation

Modèle agronomique STICS

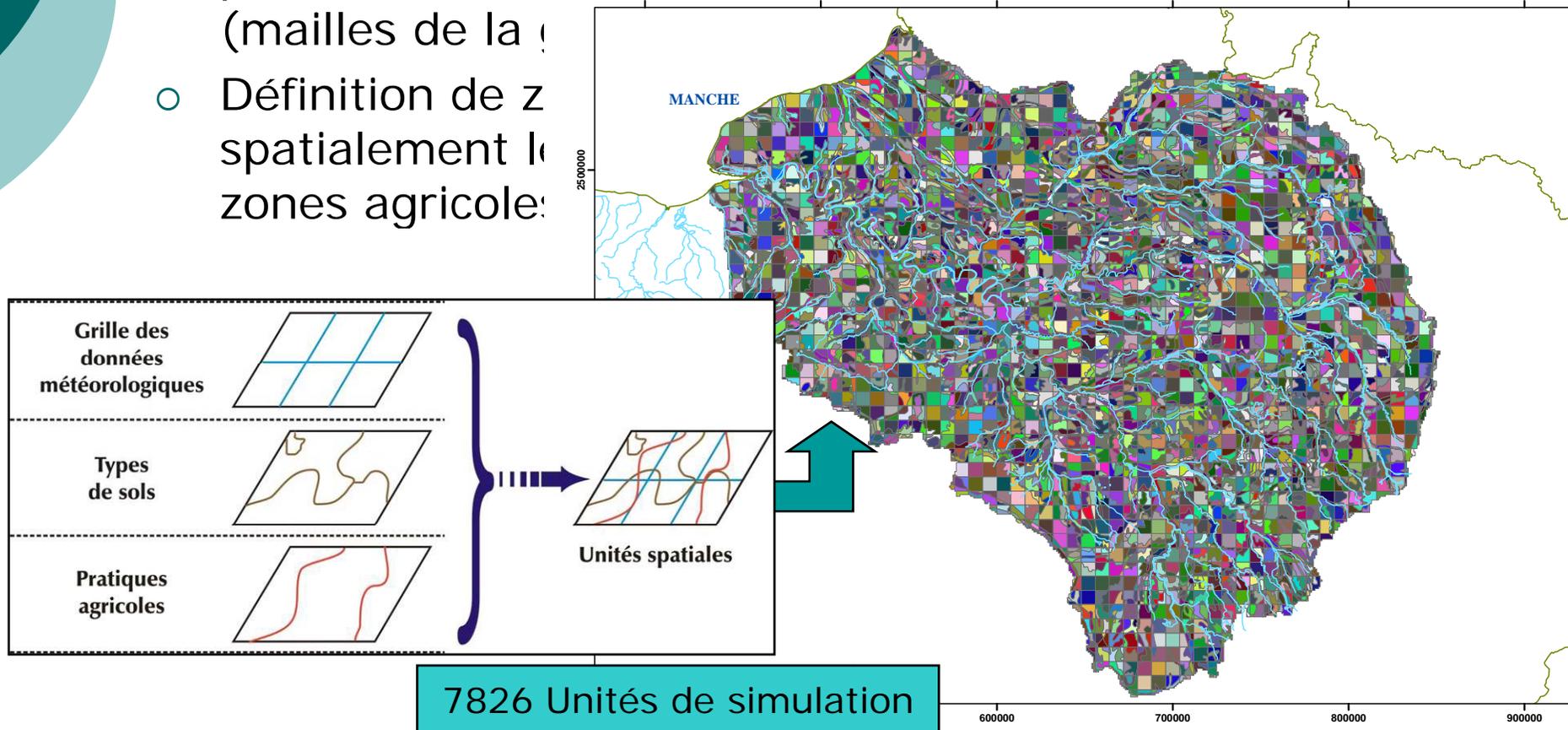
- Permet la simulation au pas de temps journalier le comportement du système d'échange « sol-plante-atmosphère » au cours d'une à plusieurs années successives de culture (successions culturales)
- A partir de paramètres d'entrée sur le sol, le climat, la plante et les pratiques culturales, permet de simuler le cycle agronomique des cultures et leurs bilans hydrique, azoté et carboné



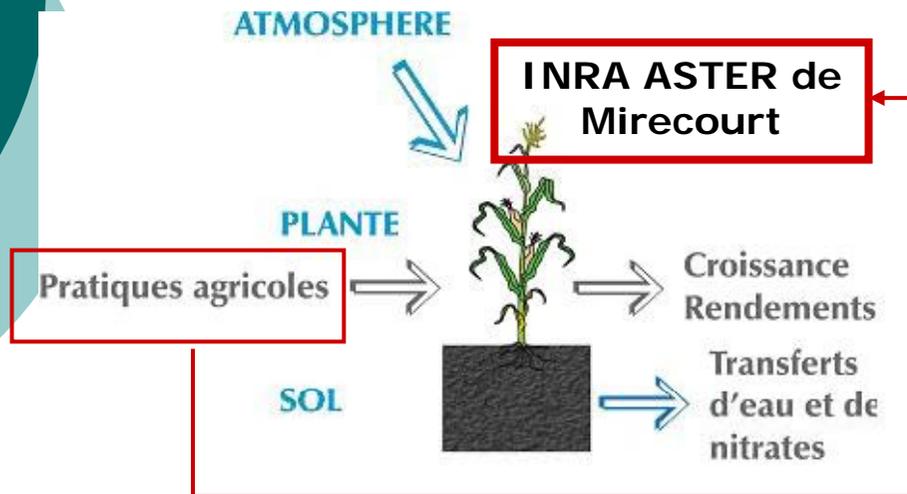
Principe général de la modélisation

Spatialisation de STICS sur le bassin de la Seine

- STICS : modèle conçu à l'échelle parcellaire : nécessite une procédure de spatialisation pour être couplé à MODCOU (mailles de la carte)
- Définition de zones spatialement homogènes (zones agricoles)



Caractérisation des pratiques agricoles sur le temps long



○ Double contrainte sur les pratiques agricoles:

- échelle régionale (bassin de la Seine = 95 000 km²)
- sur le temps long : importance des pratiques « anciennes » → temps de transfert jusqu'à certains aquifères estimé ~ 30 ans

○ Objectifs de l'INRA ASTER de Mirecourt :

- Créer une base de données spatialisées sur l'évolution des systèmes de cultures de 1970 à nos jours
- Tenir compte des échelles de temps et d'espace de l'étude et de l'absence de sources d'informations disponibles à ces échelles

Comment créer des connaissances spatialisées sur les systèmes de culture à des échelles régionales et sur le temps long ?

- maillage spatial adapté à l'étude ?
- pratiques agricoles à enquêter ?
- sources d'informations disponibles et méthodes pour les traiter ?

Caractérisation des pratiques agricoles

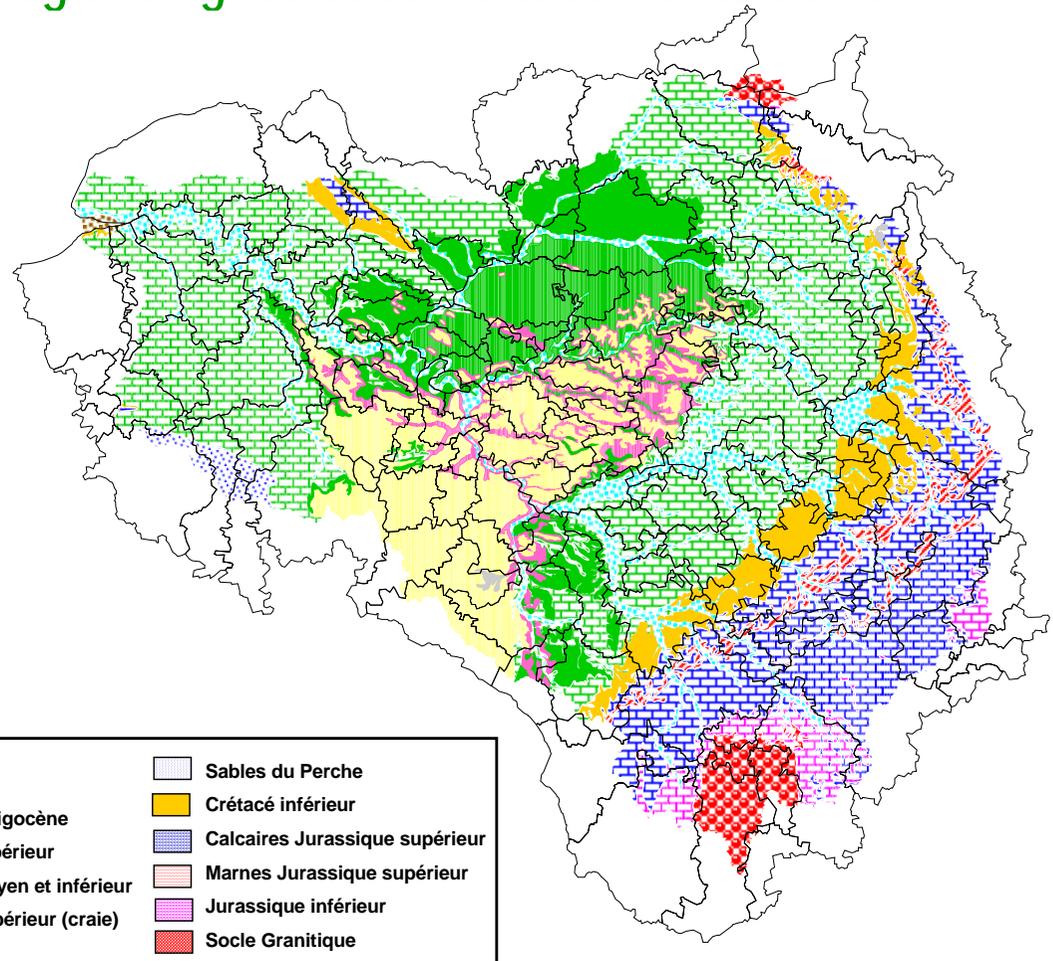
Choix d'un maillage spatial adapté

Le maillage des 150 Petites Régions Agricoles sur le bassin de la Seine

Des territoires contigus
délimités dans les années 50,
sur des critères d'homogénéité
des conditions physiques et
humaines

3 avantages

- ✗ un découpage pertinent pour décrire des activités agricoles
- ✗ un maillage utilisé par les services de statistiques agricoles
- ✗ une bonne concordance avec le découpage en grands ensembles géologiques des aquifères du bassin



Caractérisation des pratiques agricoles

Définition des variables à renseigner pour alimenter le modèle STICS

Caractérisation des pratiques agricoles responsables du lessivage du nitrate à l'échelle de chaque PRA du bassin de la Seine depuis les années 70

Pratiques enquêtées

Successions de cultures
(en % de SAU par PRA)

Culture par succession

- ▶ Date de semis, date de récolte, rendement, résidus
- ▶ Travail du sol (type, date, profondeur, nb de passages)
- ▶ Fertilisation minérale et organique (date, dose, nature)

Prairies

Type de prairies :
fauchées / pâturées /
mixtes (en % de SAU par PRA)

- ▶ Conduite du pâturage (date, chargement, type de troupeau)
- ▶ Fauches (date, rendement, type de fourrage)
- ▶ Fertilisation minérale et organique (date, dose, nature)

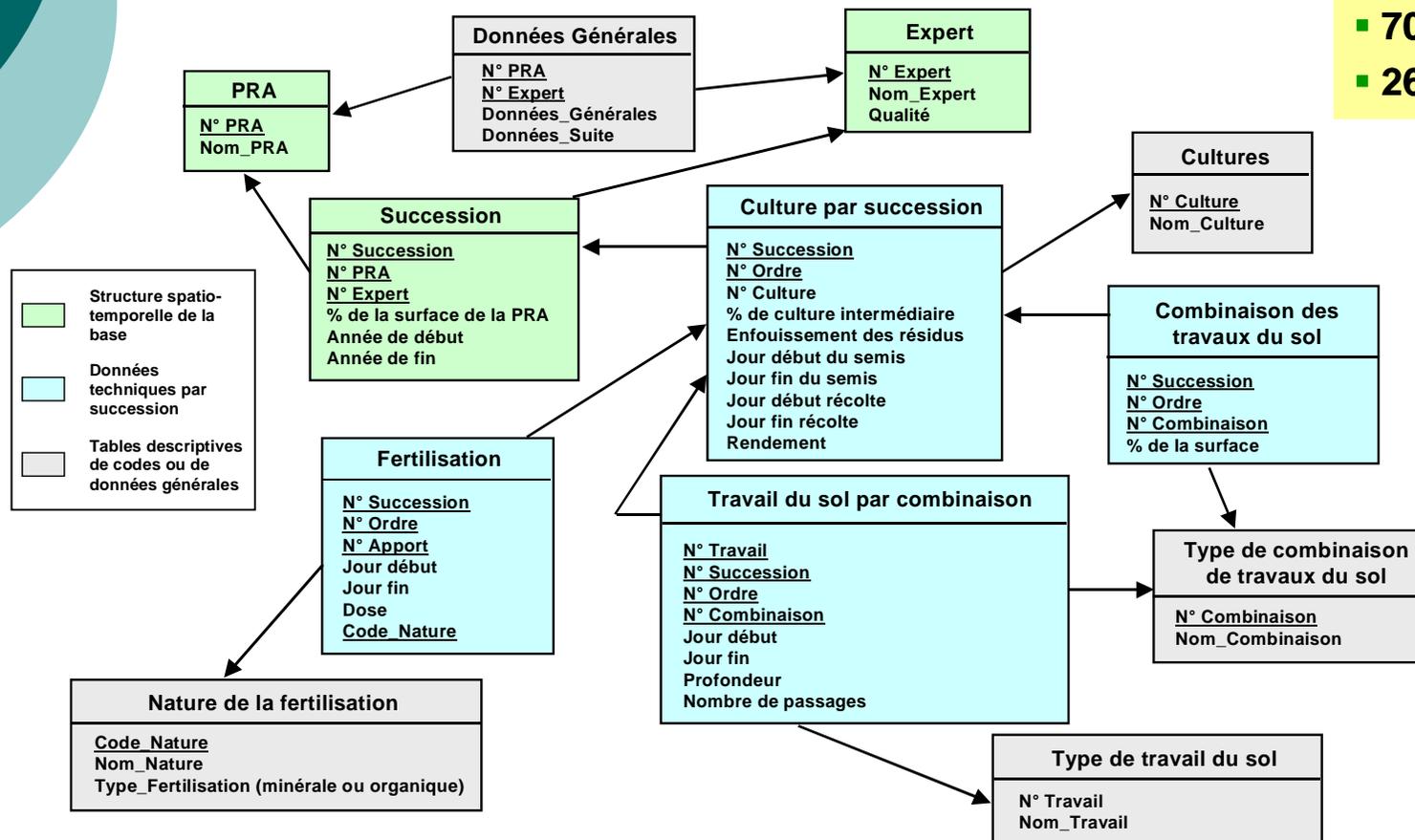
- Choix d'un protocole d'enquête semi-directif à « dires d'experts » (conseillers de chambre d'Agriculture, coopératives, IT..)

Caractérisation des pratiques agricoles

Création d'une base de données "Pratiques agricoles" (1970 – 2005)

Modèle physique simplifié de la base de données

- 91 experts enquêtés
- 135 PRA
- 706 successions culturelles
- 2698 ITK

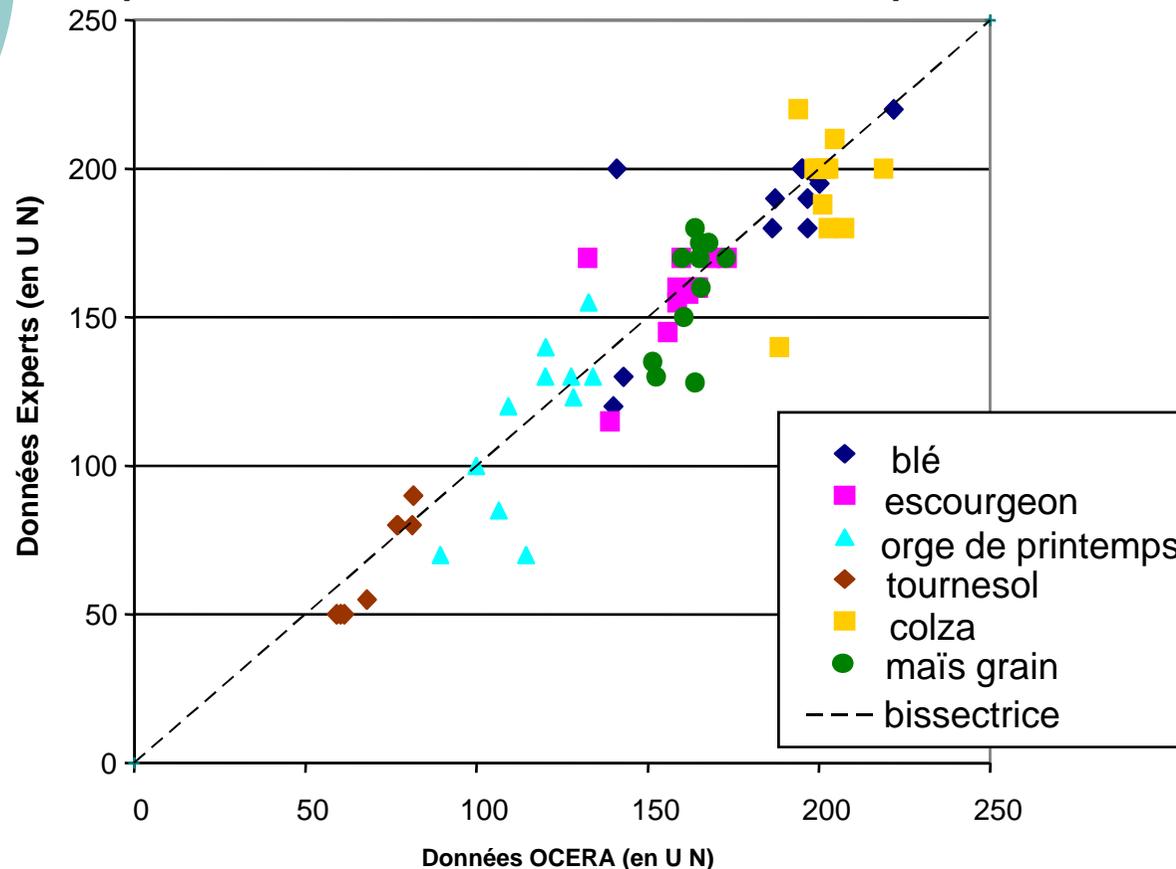


Caractérisation des pratiques agricoles

Validation des données obtenues à dire d'expert

Comparaison des données d'experts avec des enquêtes en exploitations de l'OCERA (Aube)

Comparaison de la fertilisation réelle et estimée par culture



Erreur-type moyenne :
16.1

Avec des nuances selon
les cultures :

blé	18,81
oh	11,34
op	9,47
tsol	2,49
colza	7,59
mg	4,73



Test T et Z :

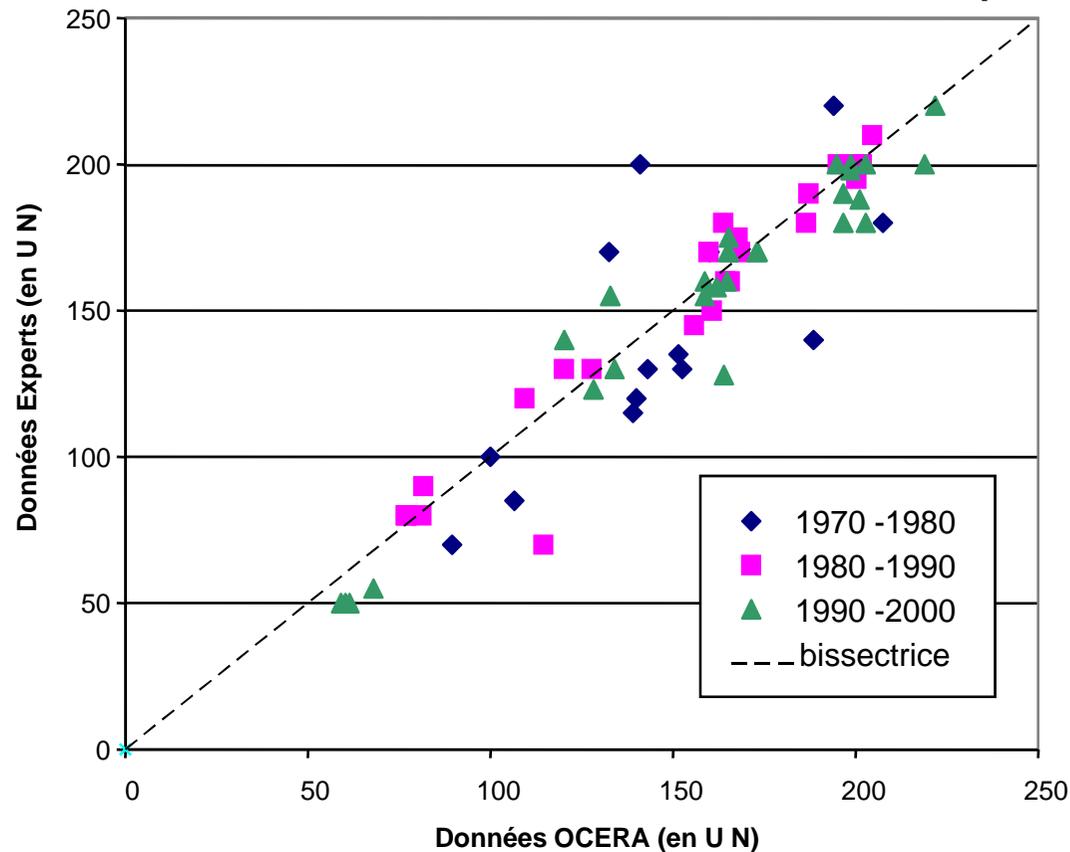
**les échantillons ne sont
pas statistiquement
différents**

Caractérisation des pratiques agricoles

Validation des données à dires d'expert

Comparaison des données d'experts avec des enquêtes en exploitations de l'OCERA (Aube)

fertilisation azotée réelle et estimée en fonction de la période



Période	Erreur-type
1970-2000	16,1
1970-80	24,1
1980-90	11,7
1990-2000	11,8



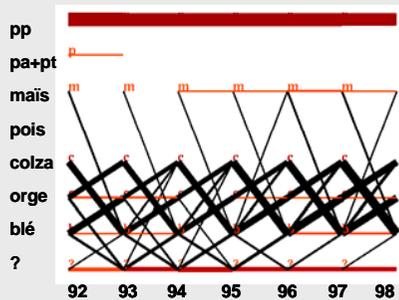
L'estimation des experts est meilleure pour les années 80 et 90 que pour les années 70

Caractérisation des pratiques agricoles

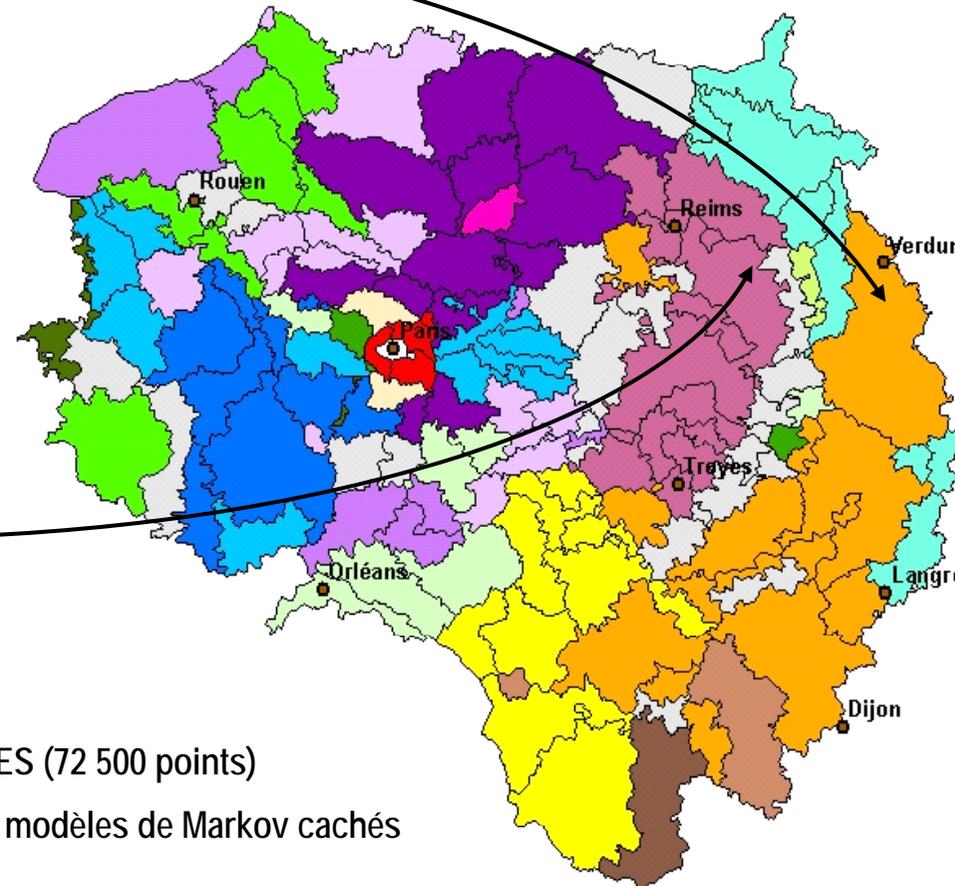
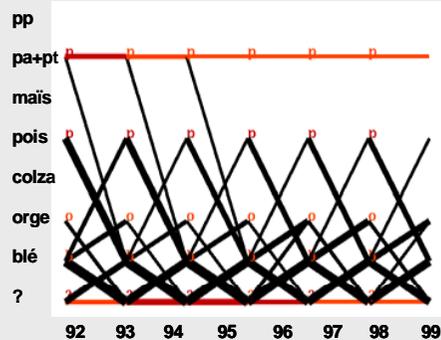
Méthodes utilisées et résultats intermédiaires

Typologie des PRA selon leurs successions de cultures dominantes (1992-2003)

Plateaux du Barrois



Champagne crayeuse



- Dominante Prairies temporaires**
 - PIPIPI - Céréales
 - PIPIPI - BCB
- Dominante Maïs**
 - MBMB - PIPIPI - MMM
 - MMM - MMB - MBMB - JJJ
 - MBMB - MMM - MBO - BPB - MMB
 - MBMB - JJJ - BTB - BCB - BBB
 - MBB - MMM - BBB - Legumes
- Dominante Colza**
 - CBO - MBO - MBCB - MMB
 - CBCB - MMM - CBO
 - TBCB - JJJ - CBB
 - CBO - CBB
- Indifférenciée**
 - CBO - BPB - BMB
- Dominante Pois**
 - PBB - CBB - BBB - PBCB - BBO
 - PBMB - PBCB - BJB
 - PBBB - BMB - PBB
- Dominante Betterave**
 - PBBB - LLLB - PBO - BBO
 - BtBBB - PBBB
 - BtBO - BBIB - BPB
 - PdtBBB - BtPdtB - BtBBB
- Dominante Légumes**
 - Legumes - MBMB - PdtBBB

- **source d'information** : enquête *Teruti* du SCEES (72 500 points)
- **méthode** : fouille de données temporelles par modèles de Markov cachés (CarrotAge) et cartographie statistique

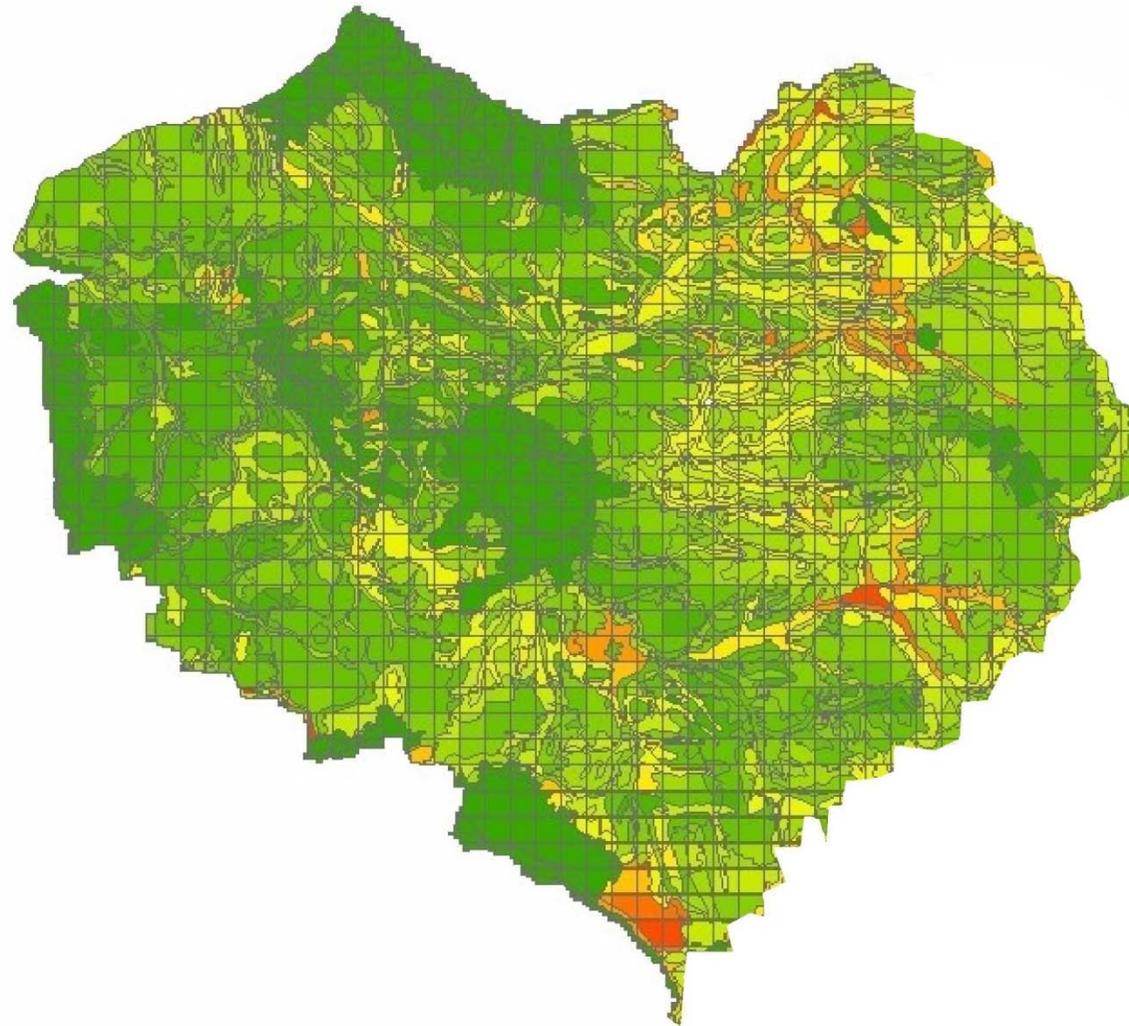
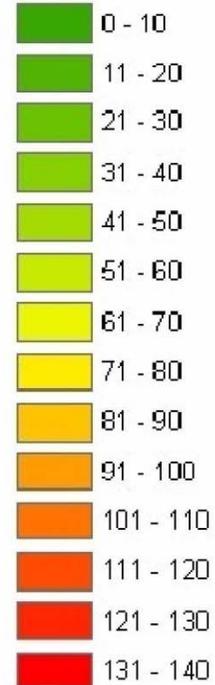
Résultats et validation des simulations

Calcul des flux d'azote sous-racinaires
(en kgN/ha SAU/an) : période 2000-2004

Legend

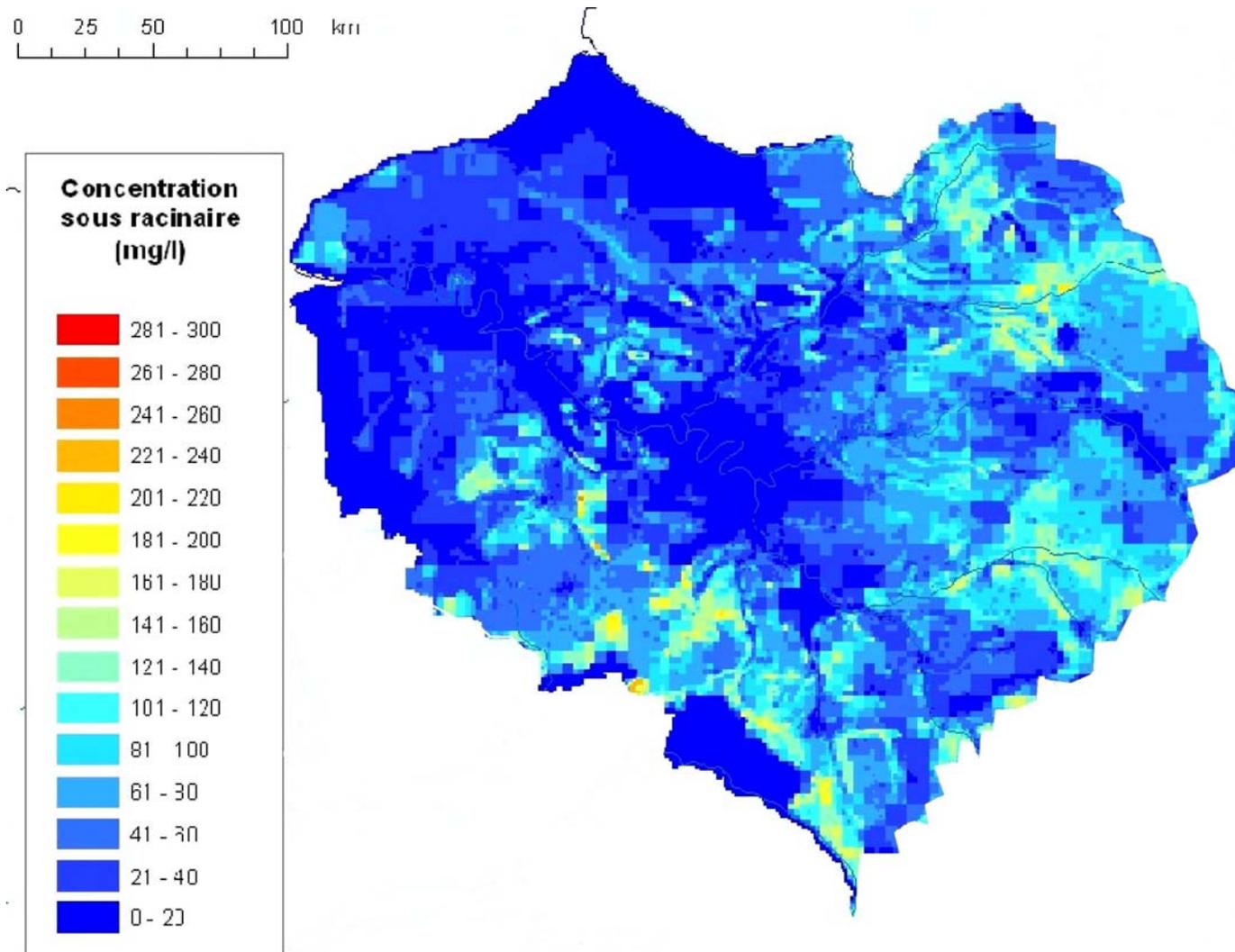
UGSM_stics

fluxN_0004.FluxN



Résultats et validation des simulations

Concentrations sous racinaires moyennes (mg/l)
calculées entre 2000 et 2004

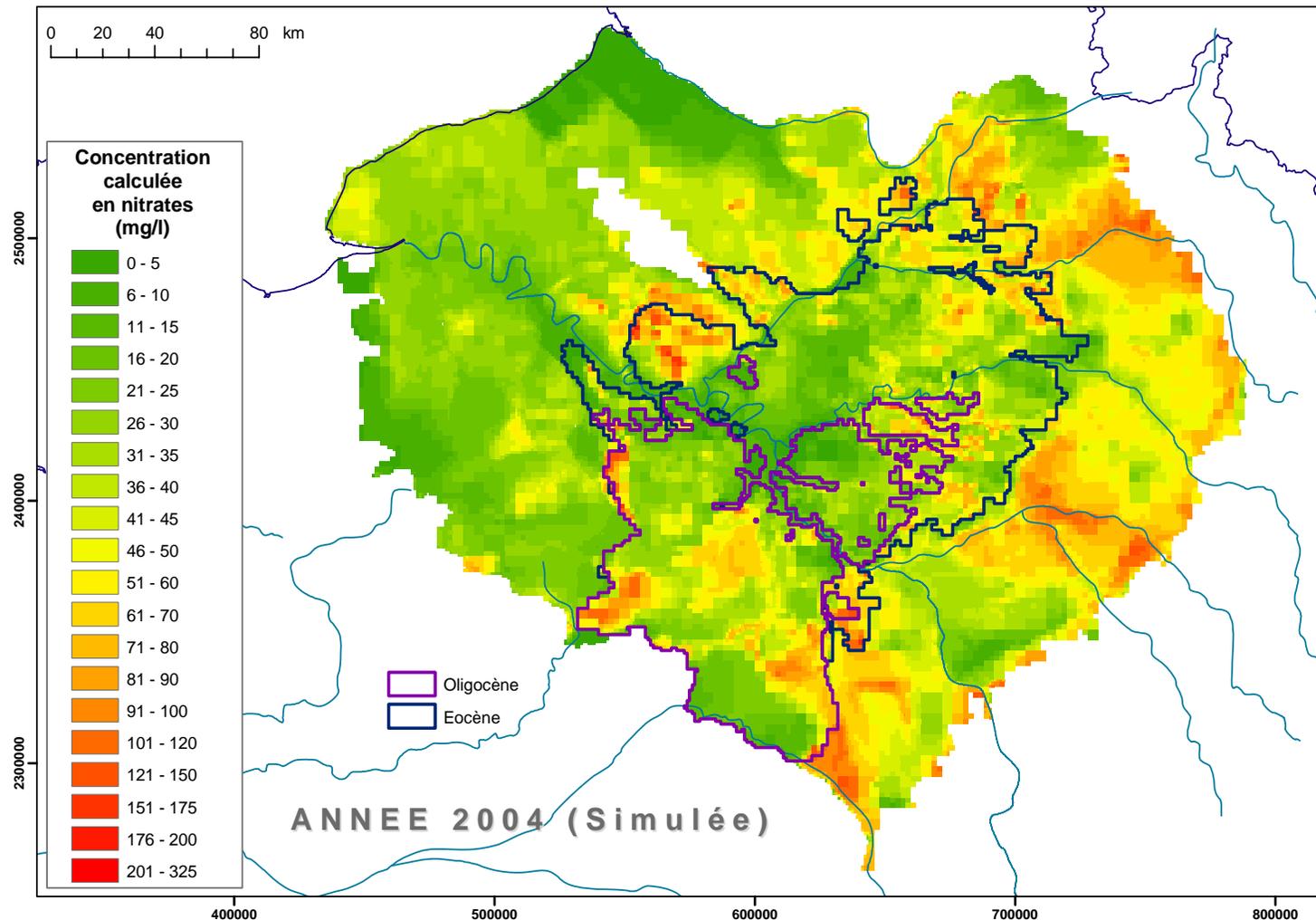


Rencontres de Blois: les 25 et 26 novembre 2009

« Fertilisation raisonnée et analyse de terre: Quoi de neuf en 2009? »

Résultats et validation des simulations

Concentrations en nitrates dans les aquifères (en mg/l) pour l'année 2004



Rencontres de Blois: les 25 et 26 novembre 2009
« Fertilisation raisonnée et analyse de terre: Quoi de neuf en 2009? »

Résultats et validation des simulations

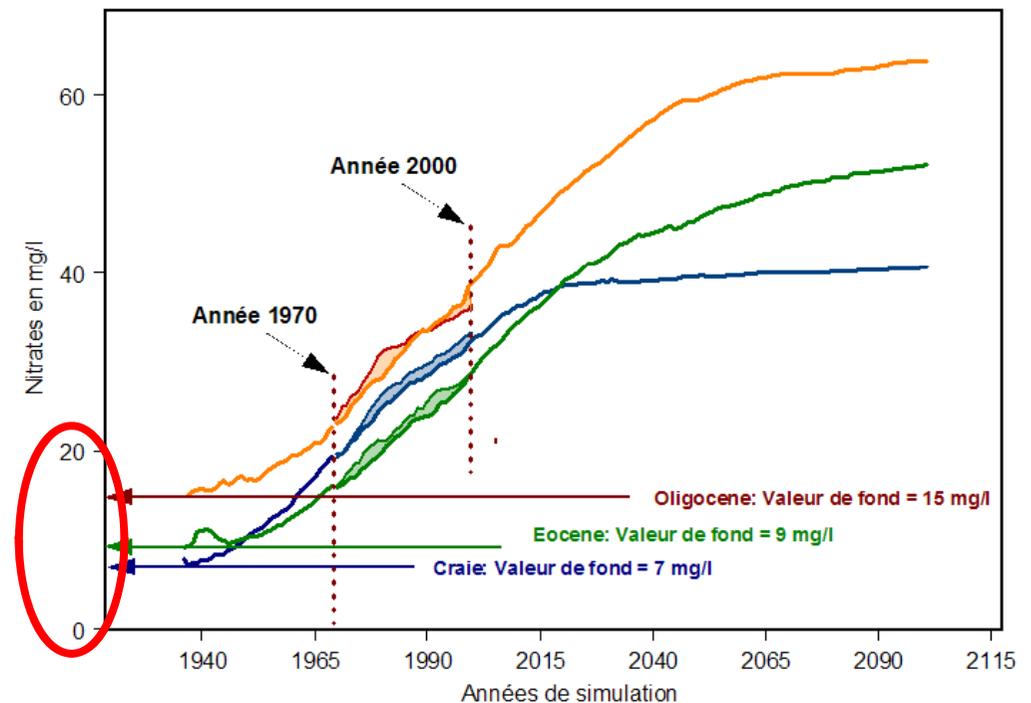
Validation du modèle sur les concentrations mesurées dans les aquifères : tendances générales

- Données de validation (6500 points) :
 - bases de données ONQES
 - base de données SISE-EAU (DRASS)

- Comparaison entre médianes des concentrations mesurées et simulées au droit des ouvrages

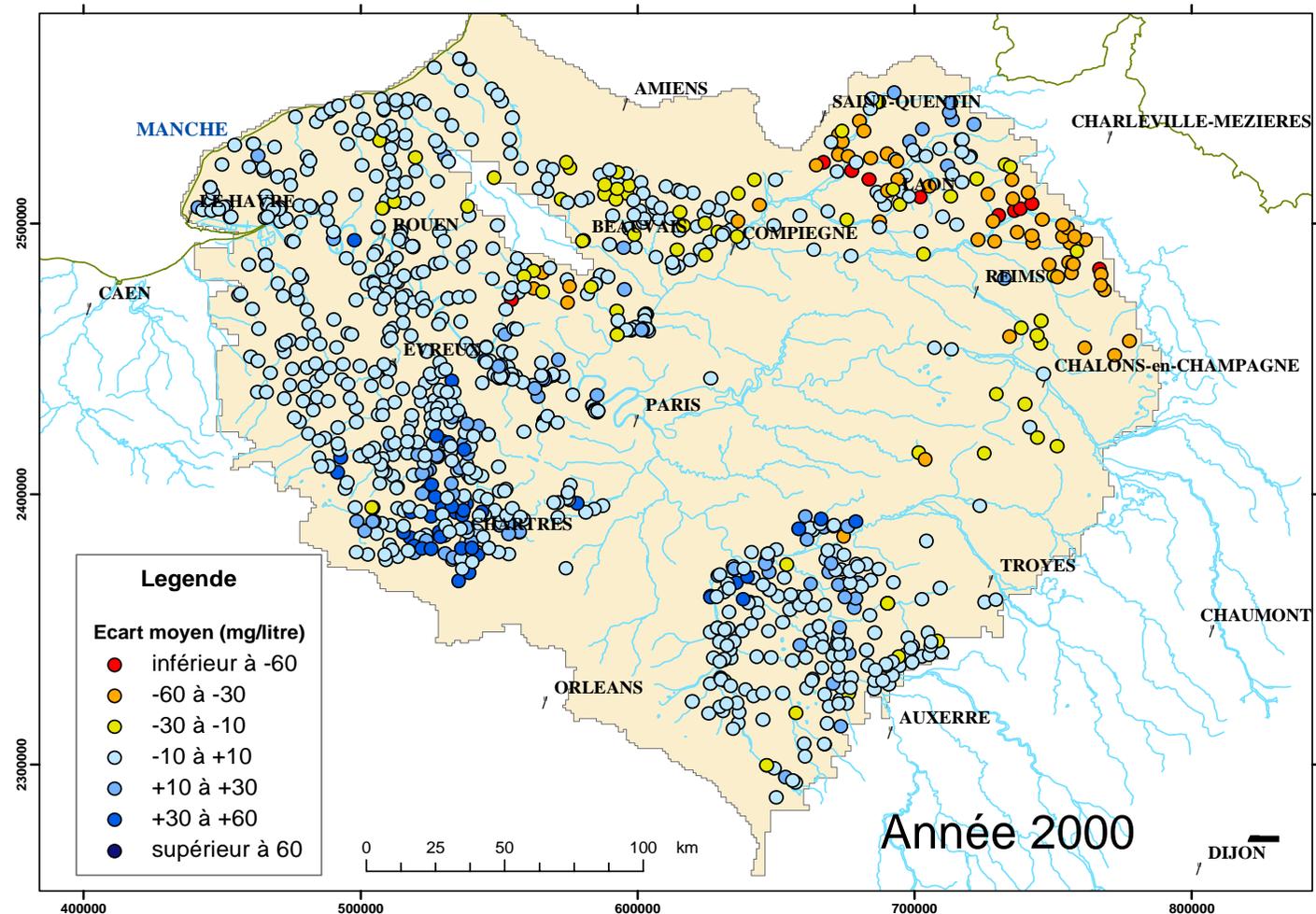
- Bonne restitution des tendances d'évolution : variance des écarts < 5mg/l
- Calage du modèle a nécessité d'imposer une « valeur de fond » (teneurs en nitrates présentes dans les aquifères avant l'intensification de l'agriculture)

Calage STICS-MODCOU - 3 Aquifères



Résultats et validation des simulations

Validation du modèle sur les concentrations mesurées dans les aquifères: qualité locale de la modélisation



Rencontres de Blois: les 25 et 26 novembre 2009

« Fertilisation raisonnée et analyse de terre: Quoi de neuf en 2009? »

Résultats et validation des simulations

Conclusions sur la représentativité du modèle

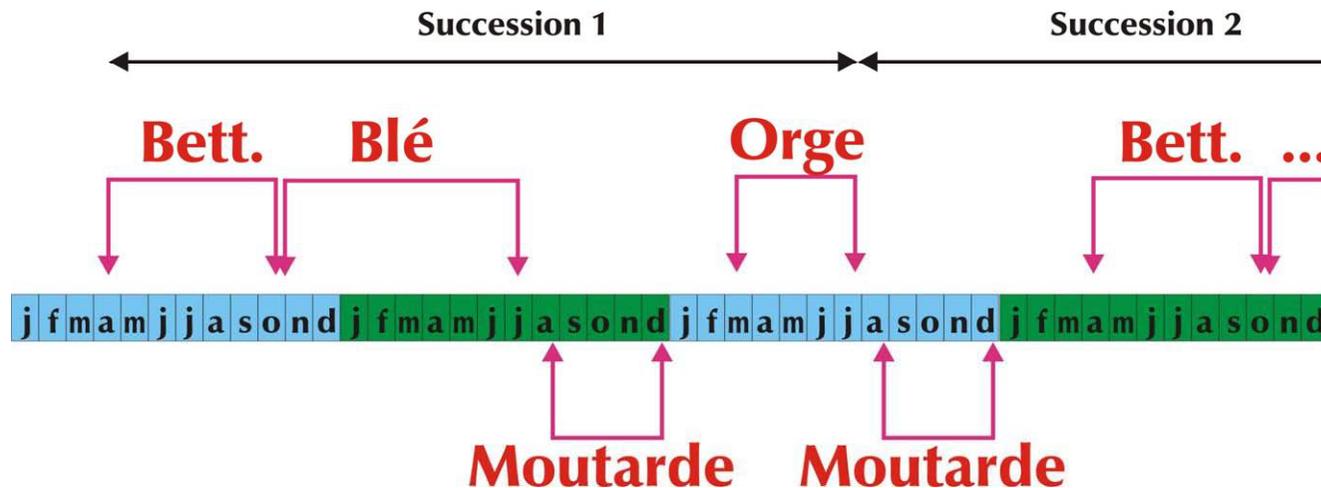
- Qualité locale de la modélisation montre localement des écarts importants (> à 40 mg/l) :
 - Non prise en compte du caractère multicouches des aquifères ?
 - Problème lié à la géométrie des aquifères modélisés (épaisseur « utile » mal prise en compte par MODCOU) ?
 - Inadéquation entre successions de cultures et type de sol (réparties aléatoirement sur toute la PRA jusqu'à présent) ?
 - rôle de l'irrigation et du drainage ?
- A l'échelle du bassin, bon calage des concentrations calculées sur la médiane des concentrations mesurées (si ajout d'une valeur de fond)
 - dynamique d'évolution sur les 35 dernières années très bien reproduite
 - vrai pour les trois grands aquifères simulés

→ CAPACITE DU MODELE A L'ETUDE PROSPECTIVE A UNE ECHELLE REGIONALE

Modélisation de scénarios de changement des pratiques agricoles

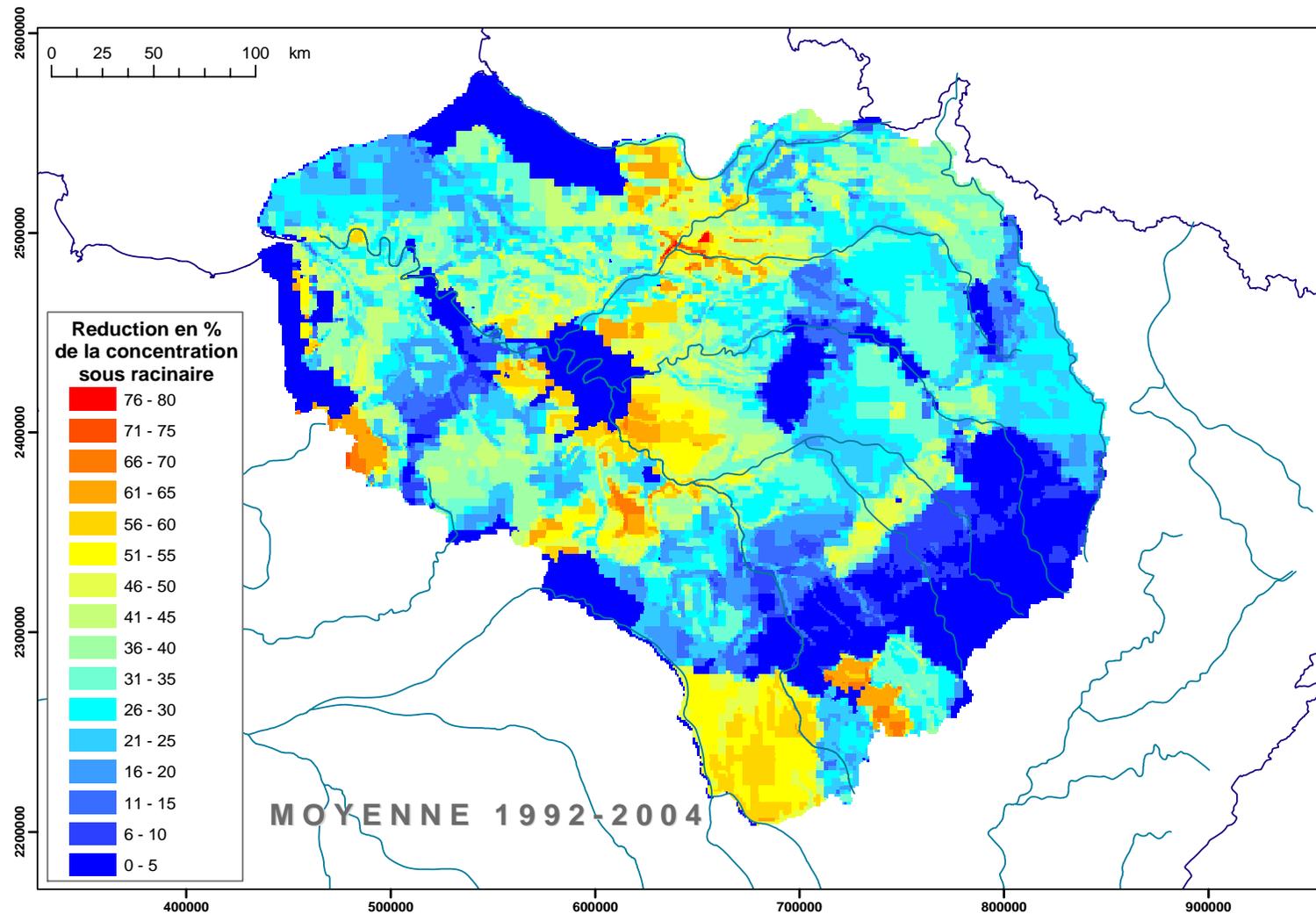
Influence de l'introduction de CIPAN sur l'évolution de la pollution azotée des aquifères du bassin de la Seine

- Introduction de CIPAN dans les rotations de cultures de chaque PRA
 - si sol nu à partir de fin août
 - si période de sol nu supérieure à 50 jours



Etudes prospectives : introduction de CIPAN

Réduction relative (en%) de la concentration sous racinaire liée l'introduction de CIPAN

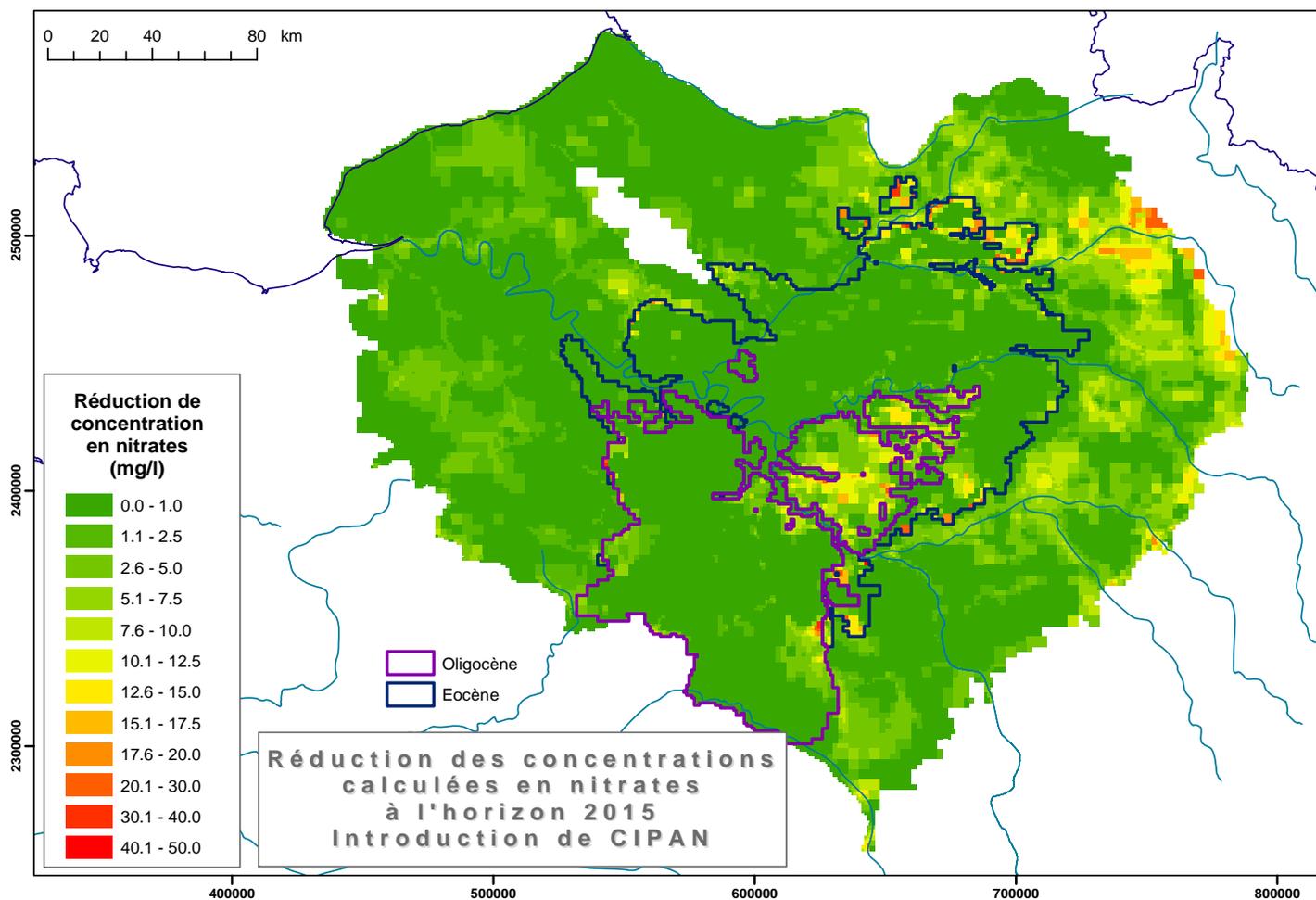


Rencontres de Blois: les 25 et 26 novembre 2009

« Fertilisation raisonnée et analyse de terre: Quoi de neuf en 2009? »

Etudes prospectives : introduction de CIPAN

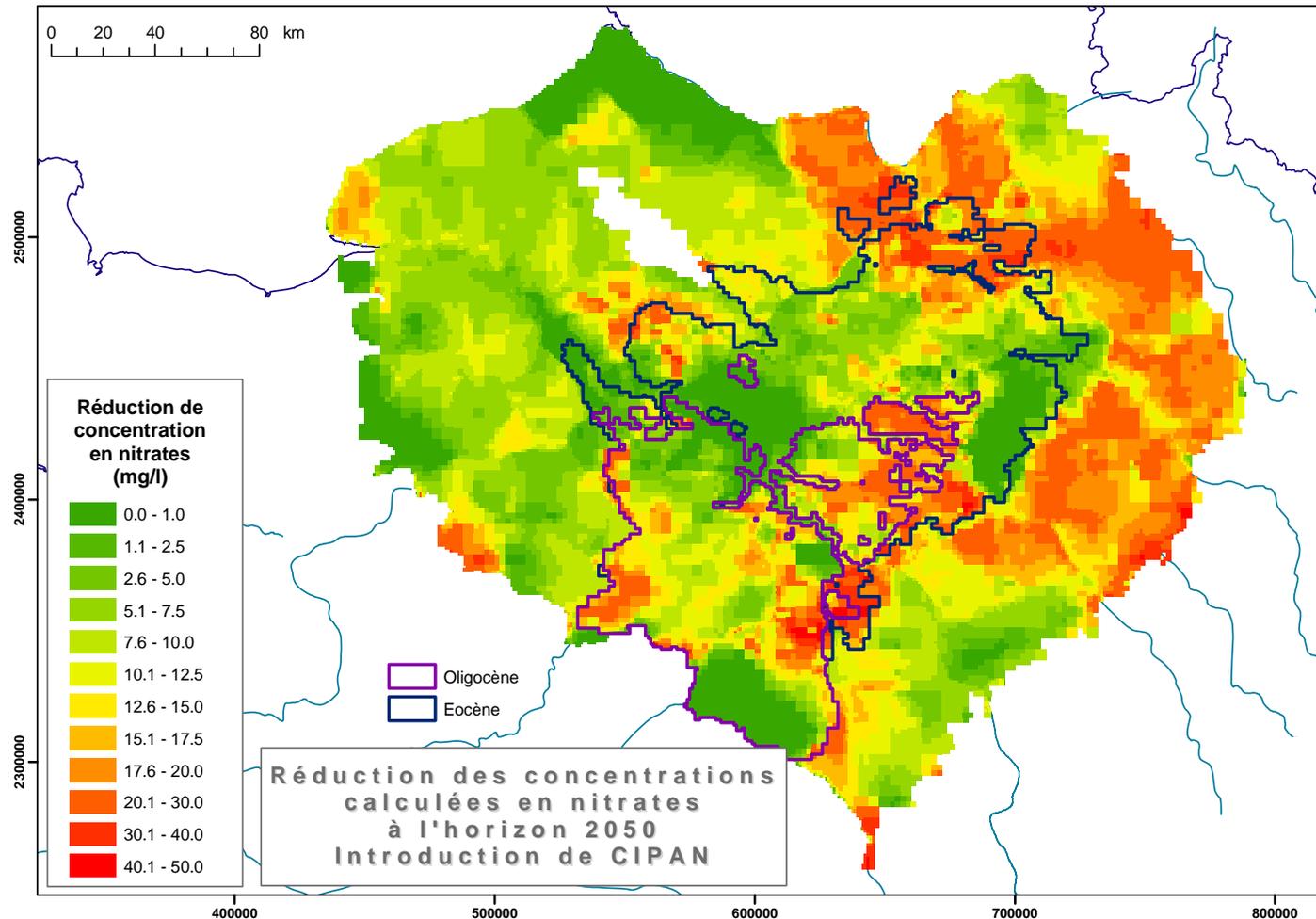
Réduction des concentrations en nitrates dans les aquifères liée l'introduction de CIPAN (à partir de l'été 2006) à l'horizon 2015



Rencontres de Blois: les 25 et 26 novembre 2009
« Fertilisation raisonnée et analyse de terre: Quoi de neuf en 2009? »

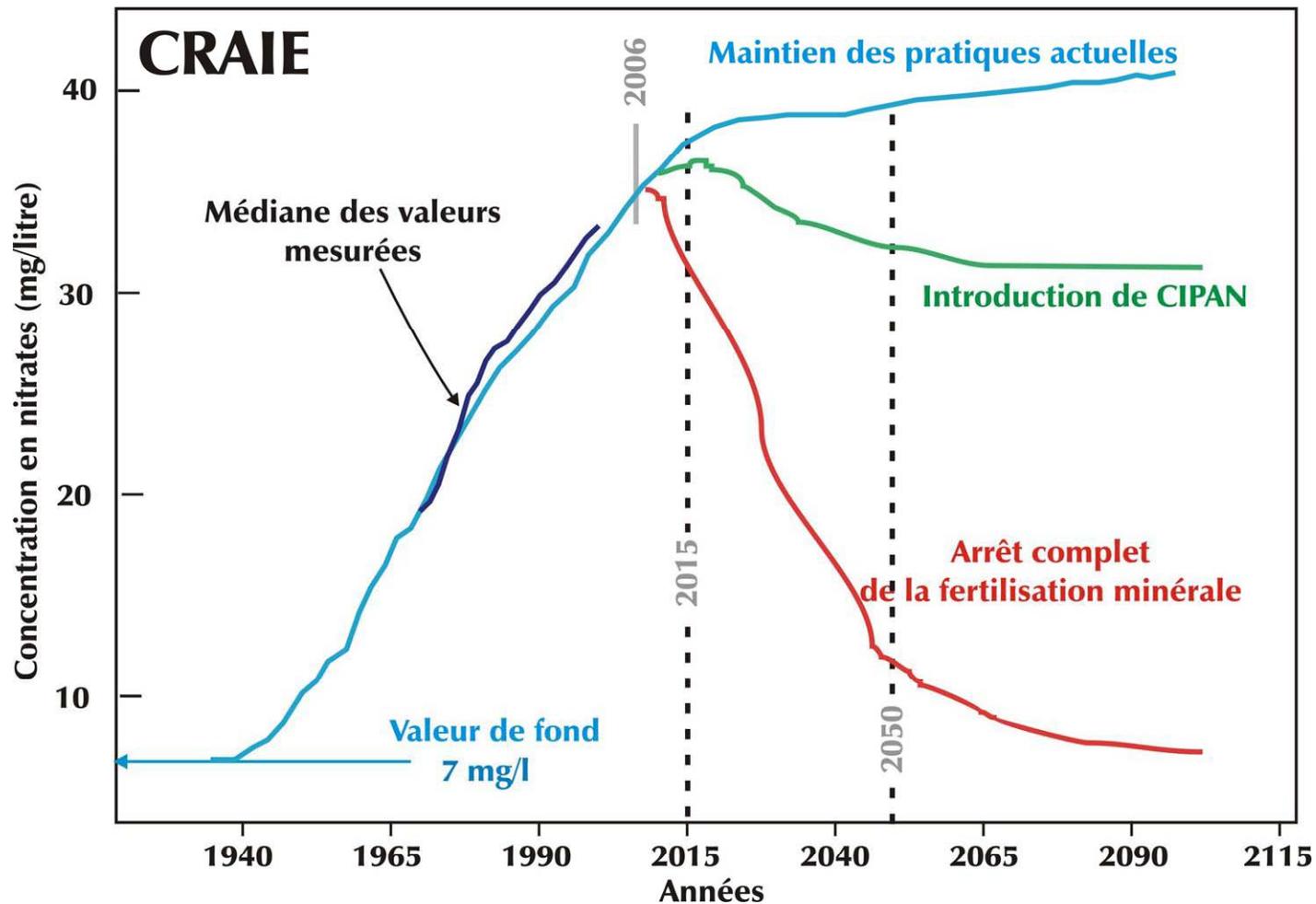
Etudes prospectives : introduction de CIPAN

Réduction des concentrations en nitrates dans les aquifères liée l'introduction de CIPAN (à partir de l'été 2006) à l'horizon 2050



Etudes prospectives : introduction de CIPAN

Evolution comparée de la médiane des concentrations en nitrates calculée pour chaque scénario



Conclusions

- Modélisation permet de reproduire de manière très satisfaisante la dynamique des pollutions des formations aquifères par les nitrates
- Des progrès restent à faire pour améliorer la qualité locale de la modélisation
- Outil permettant de mener des études prospectives d'impact de mesures agro-environnementales
 - mise en évidence de l'inertie du système (temps de transferts dans la zone non saturée, inertie propre du système aquifère, ...)
 - limitation de l'efficacité immédiate des mesures agro-environnementales
- Reconstitution des pratiques agricoles *a posteriori* sur de larges échelles spatiales et temporelles :
 - Démarche scientifique innovante, mais incertitudes inconnues et lourdeur de la tâche
 - Quid de la mise à jour des données ?
 - Nécessité de créer des « observatoires » des pratiques agricoles