



Expertise multicritère de STICS spatialisé à l'échelle macro-régionale : modélisation des flux d'eau et d'azote sur le bassin Seine-Normandie

Beaudoin N.¹, Gallois N.², Mary B.¹, Le Bas C.³,
Puech T.⁴, Schott C.⁴, Viennot P.²

¹ INRA AgrolImpact, Laon

² MINES ParisTech/ARMINES, Centre de Géosciences, Fontainebleau

³ INRA Infosol, Orléans

⁴ INRA-SAD ASTER, Mirecourt



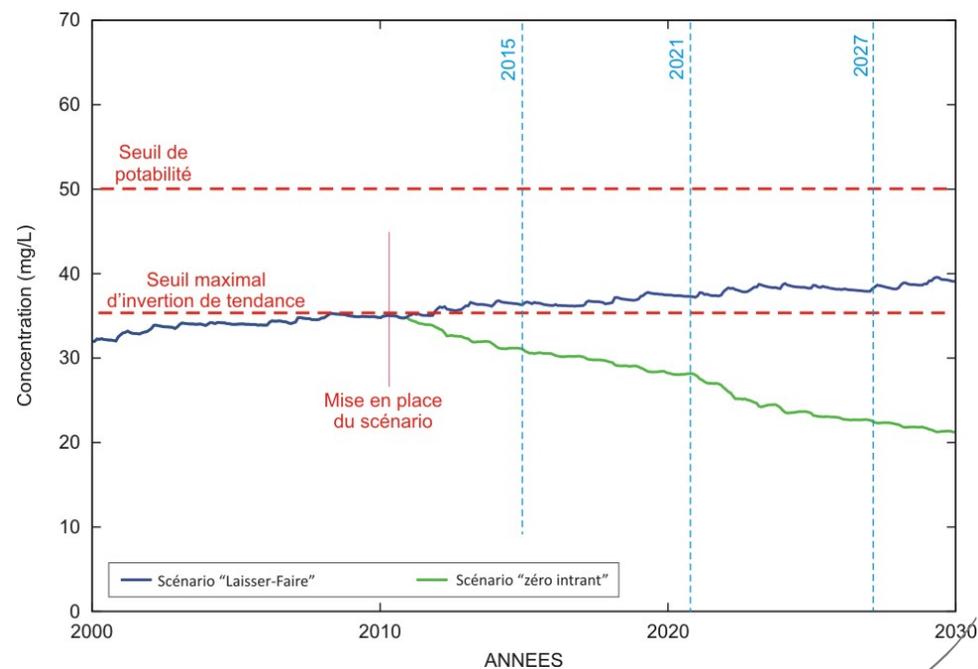
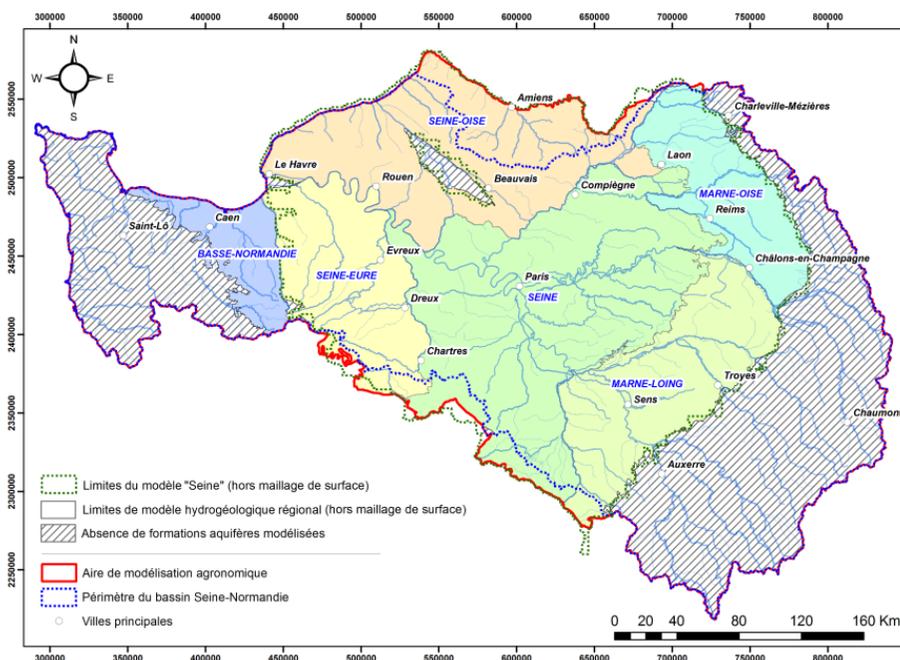


- I | Introduction : Evaluation de la contamination nitrique d'origine agricole sur le bassin Seine-Normandie
- II | Protocole d'expertise des simulations de STICS
- III | Présentation des principaux résultats
- IV | Conclusions et perspectives

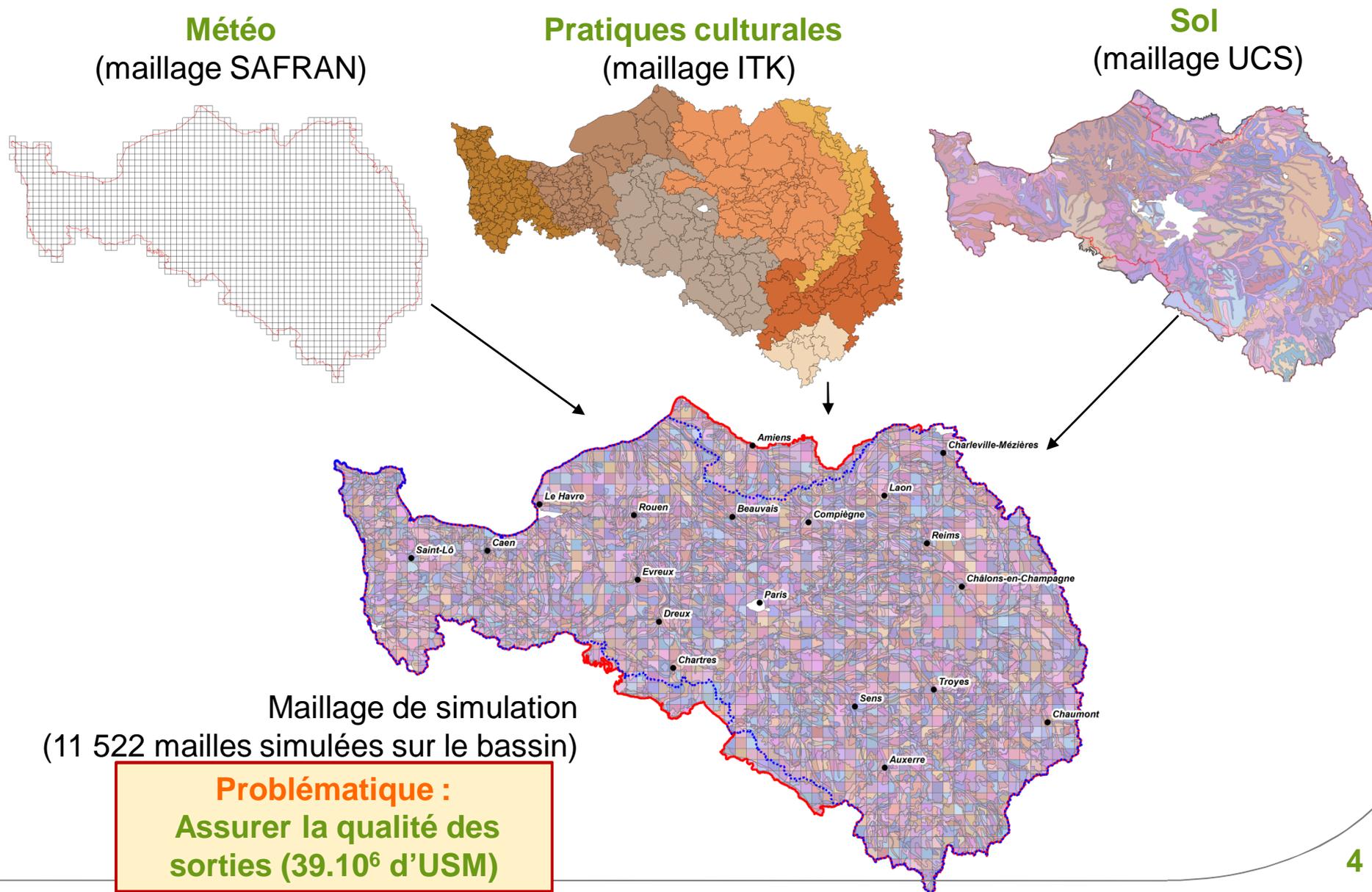


Modélisation couplée

- Bases de données sol – climat – pratiques agricoles
- Modèle agronomique STICS
- Modèle hydrogéologique MODCOU
 - ➔ Reconstitution de l'évolution des teneurs en nitrate aux captages
 - ➔ Modélisation de l'impact de différents scénarii prospectifs



Spatio-temporalisation du modèle STICS (1971-2013)



Principe :

- Validation indirecte des sorties et du comportement global du modèle
- Validation directe sur les rendements moyens départementaux

Objectifs :

- Vérifier la vraisemblance de la distribution des variables de sortie (ex Masec, IR, QNplante)
- Vérifier l'occurrence de relations connues entre certaines variables (entrées/sorties ou sortie/sortie)

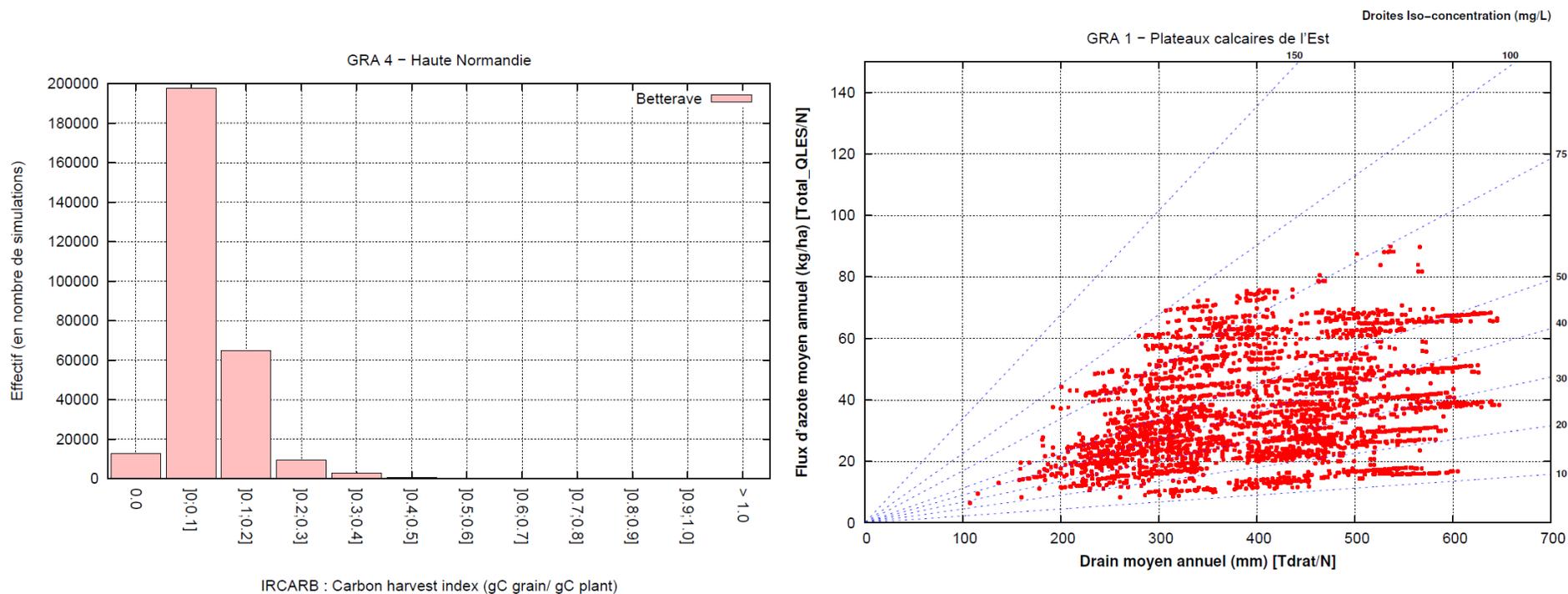
Démarche :

- Etude du comportement de variables de sortie supplémentaires (~ 60) enregistrées par *mod_rapport.sti*, afin de calculer des indicateurs
- Etude menée à différentes échelles de temps (cycle cultural, décennie, période de simulation totale (43 ans)) et d'espace (maille de simulation, UMA ou GRA)
- Méthode itérative pour améliorer la procédure : 1 run préliminaire sur la Beauce puis 3 runs sur l'ensemble du bassin - Entre chaque run, modifications d'entrées (sol, technique, plante) et de la méthode d'exploitation des sorties

Visualisation du protocole sur un tableur



Exemple de résultats d'histogramme ou de courbe par grande région agricole



■ ■ III Présentation des principaux résultats

A1 - Principales corrections effectuées sur les entrées (entre run 1 et run 3)

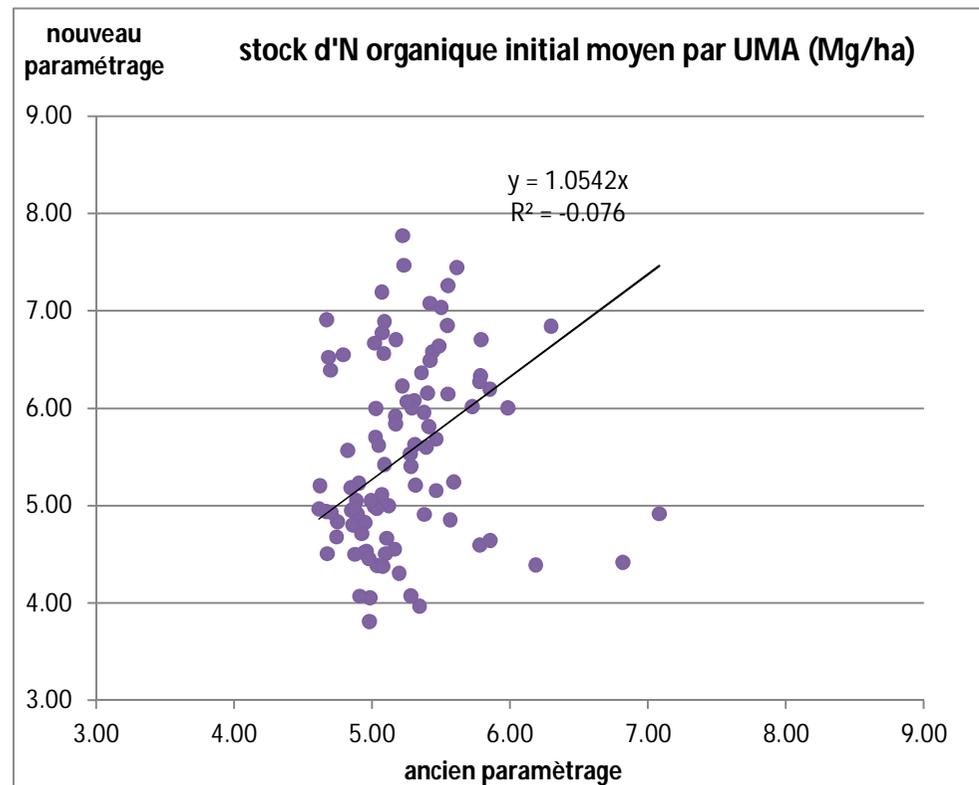
- Correction des paramètres sol / données du RMQS 2003 (Réseau de Mesure de la Qualité des Sols) : construction de classes de pédotransfert croisant occupation du sol, texture et taux de calcaire, afin d'estimer le stock initial d'azote organique, le taux d'argile après décarbonatation et le pH
- Amélioration des données techniques (fertilisation et restitution des résidus), impactant l'apport d'azote minéral (totapN) et organique
- Amélioration des données techniques (code variétal) : zonage des variétés de maïs, changement des variétés de blé et d'orge (analyse des IR C-N)
- Modifications de paramètres plante : sensibilité au gel du colza et du blé dur (analyse du taux d'interception du rayonnement)
- Modification du formalisme du calcul de l'indice de récolte : ajout d'une borne supérieure

	Moyennes interUMA			?relatif	Corrélation/étapes 1 et 3
	Etape	1	3		
Entrées de STICS					
Stock Norg initial (t/ha)		5.2	5.5	6%	0.16
% résidus restitués		100	57	-43%	nd

■ ■ III Présentation des principaux résultats

A2 – Correction des valeurs initiales : N organique

- Entrée des données Norg /type de sol à l'échelle 1/1 000 000^{ème}
- Calcul des stocks d'après les données du RMQS 2003,
→ Hypothèse de stabilité entre les stocks de 1970 et 2003 par SC



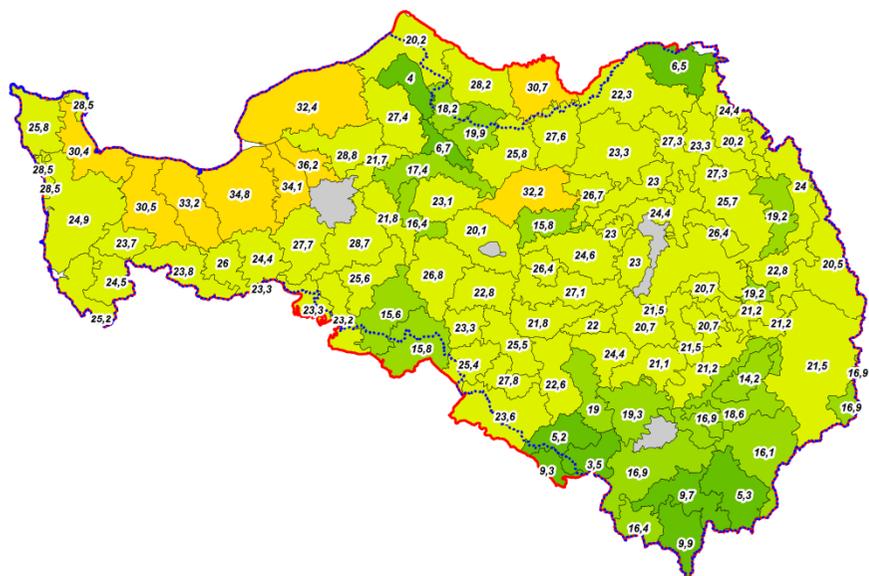
Corrélation nulle entre les stocks
des runs 1 et 3

III Présentation des principaux résultats

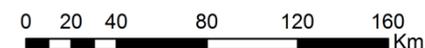
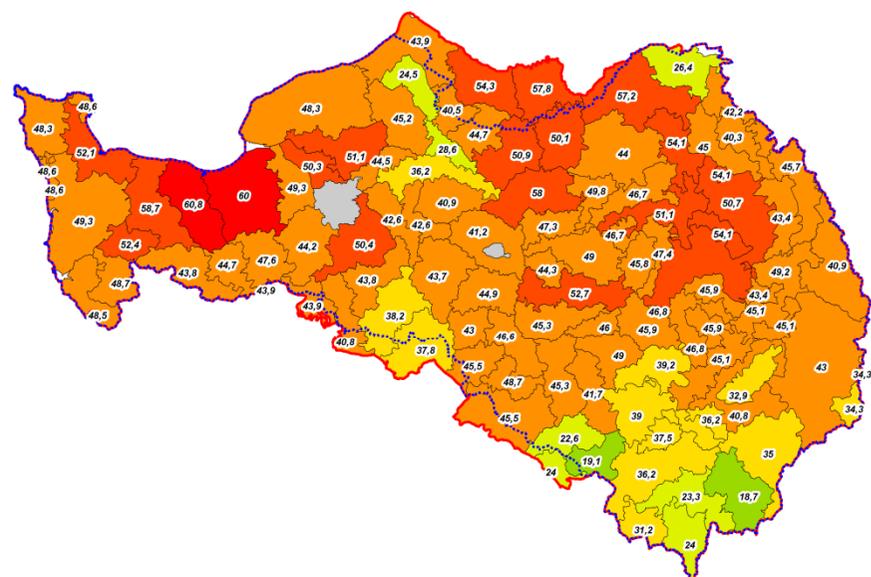
A3 – Rendements de l'orge de printemps

- Révision des variétés simulées

Ancienne configuration



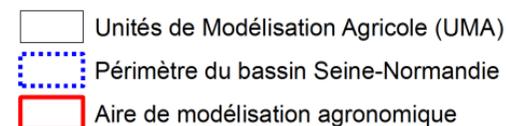
Configuration révisée



Culture : Orge de printemps

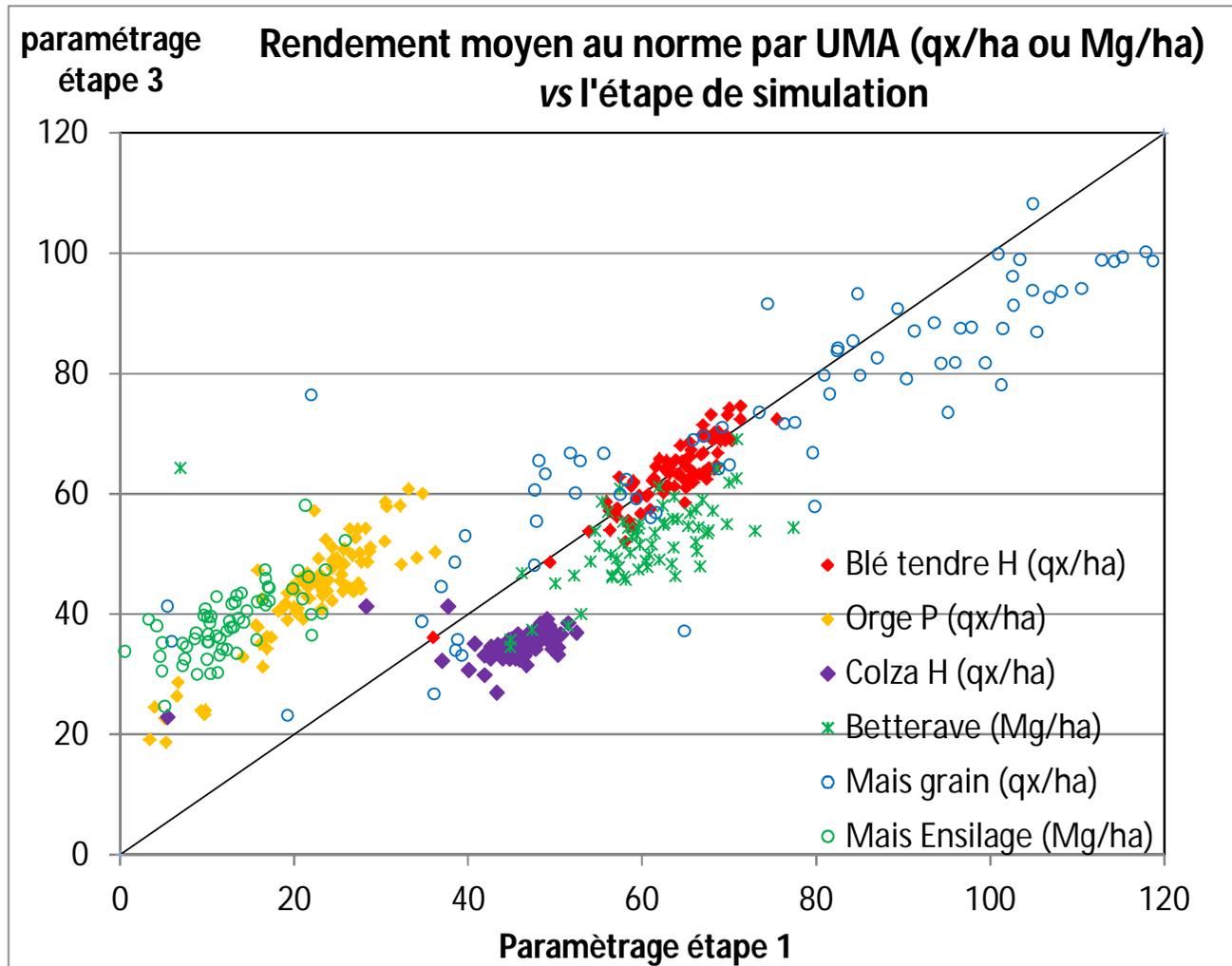
Type de rendement : frais à 15% d'humidité

Unité : q/ha



III Présentation des principaux résultats

B – Ex. de modifications de la prédiction des rendements entre étapes

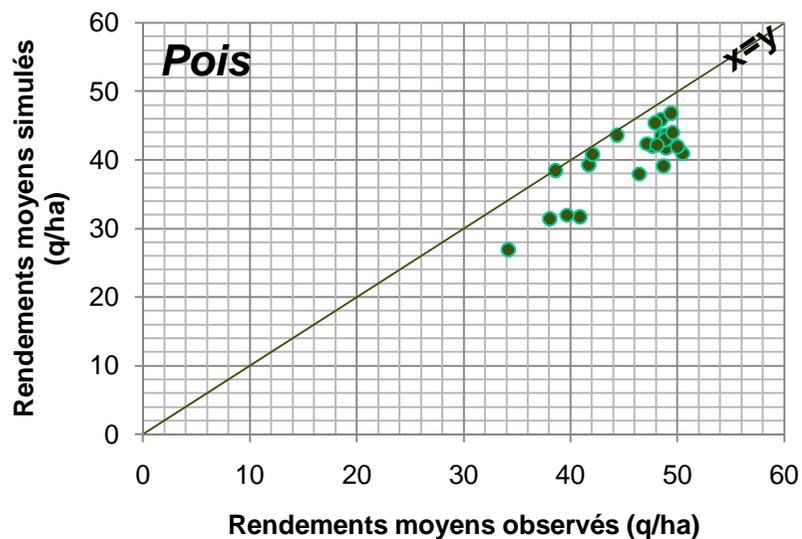
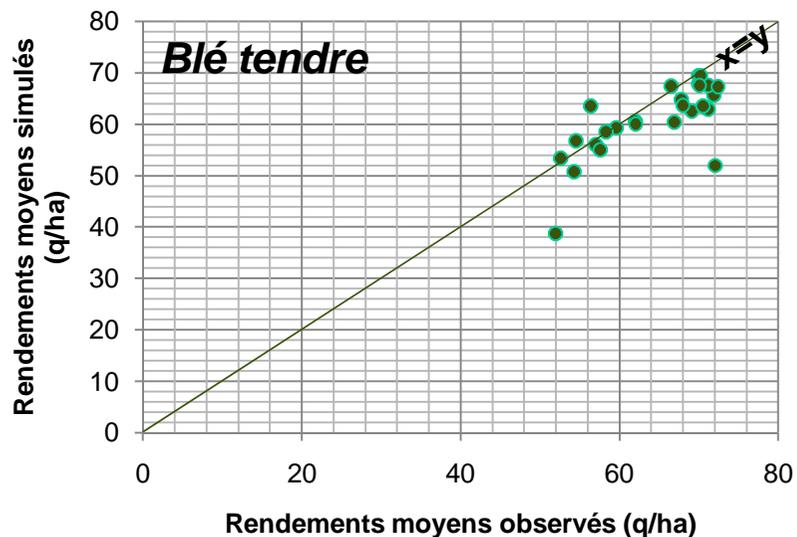


Colza : modif. plante

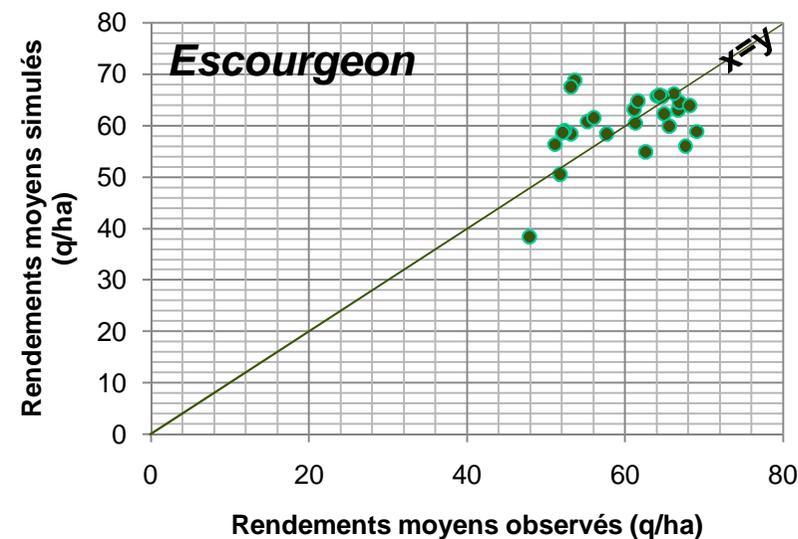
Orge, Maïs, Blé :
modif variété

Cause de variabilité
des rendements du
Maïs grain ?

C – Comparaison des rendements moyens observés/simulés



Culture	Ecart relatif (%)
Blé tendre	-4,5
Blé dur	-16,5
Escourgeon	+0,6
Maïs ensilage	+8,9
Pois	-10,6
Orge de printemps	-8,7
Maïs grain	-12,5
Colza	+17,1
Tournesol	-19,7
Pomme de terre	+34,7
Betterave	-18,3

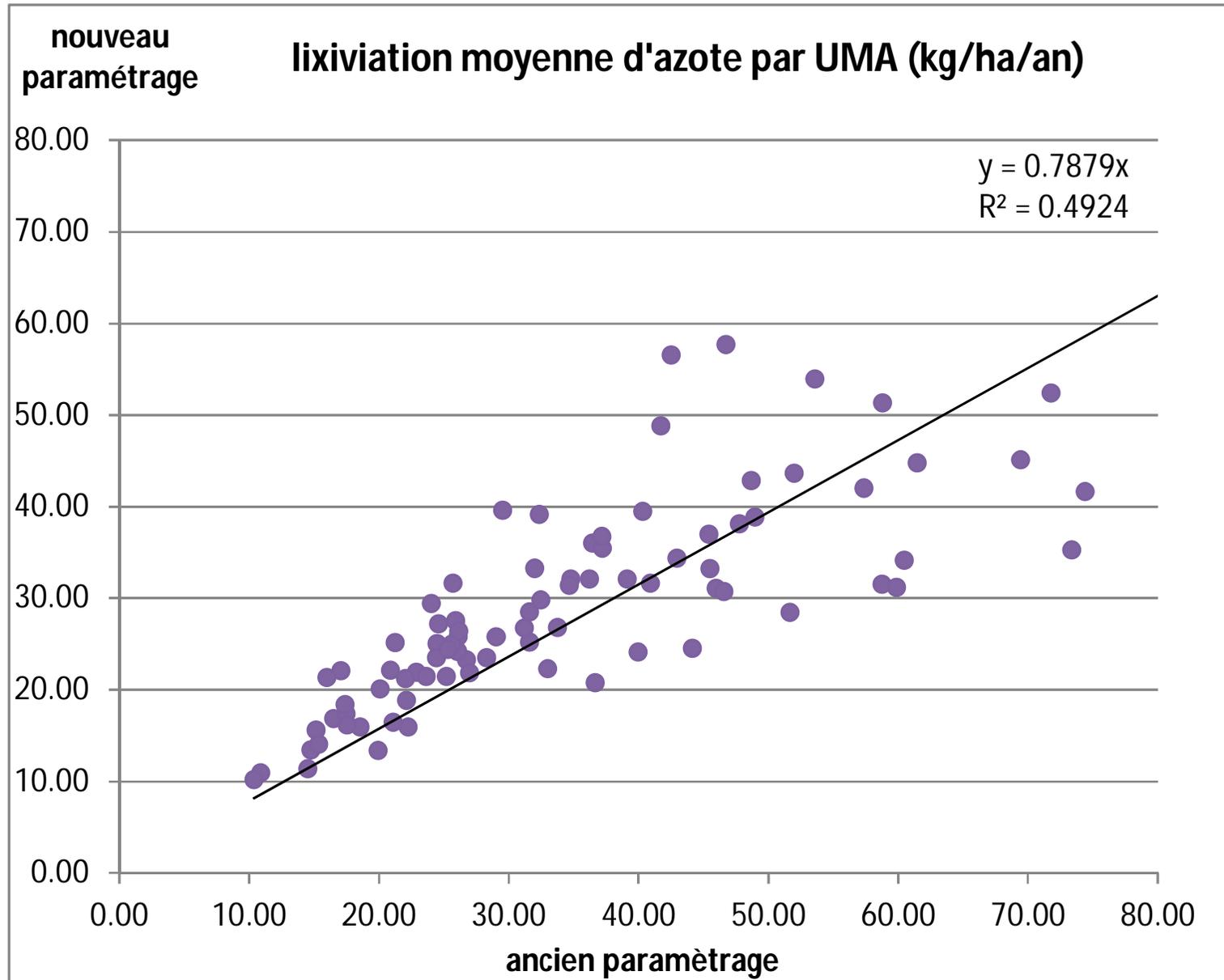


■ ■ III Présentation des principaux résultats

D – Modifications de la prédiction de sorties environnementales

	Etape	moyennes inter UMA			Corrélation / étapes	
		1	3	Δ relatif	1 et 3	
Sorties de STICS						
<i>Impacts environnementaux</i>						
DRAT (mm/an)		273	255	-6%	1.00	
QLES (kgN/ha/an)		35	30	-15%	0.80	
Pertes v. gazeuses (kgN/ha/an)		23	21	-6%	0.64	
Teneur eau dr. z. agri. (mgNO3/L)		58	54	-7%	0.81	

■ ■ III Présentation des principaux résultats



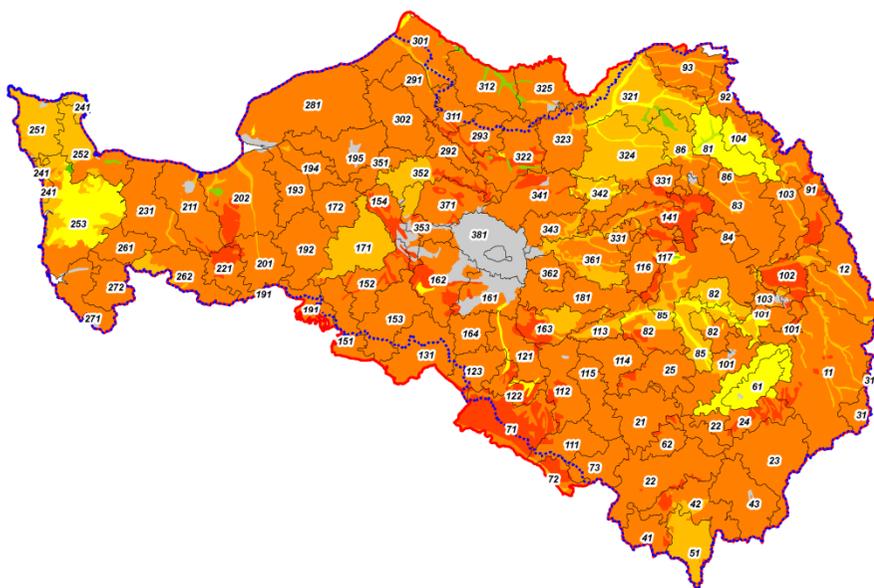
III Présentation des principaux résultats

Effizienz de l'engrais

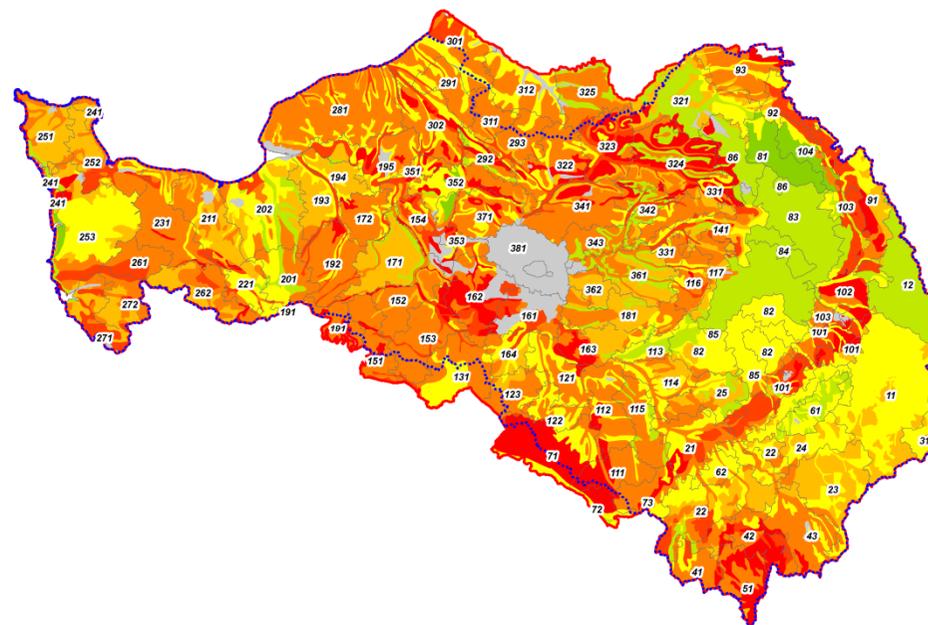
$$= \frac{[\text{Apport} - \text{pertes par voies gazeuses et organisation d'engrais}]}{\text{Apport}}$$

→ Sensibilité à la prise en compte du pH spatialisé

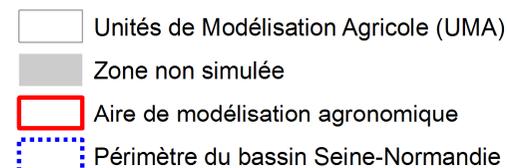
Ancienne configuration



Configuration révisée

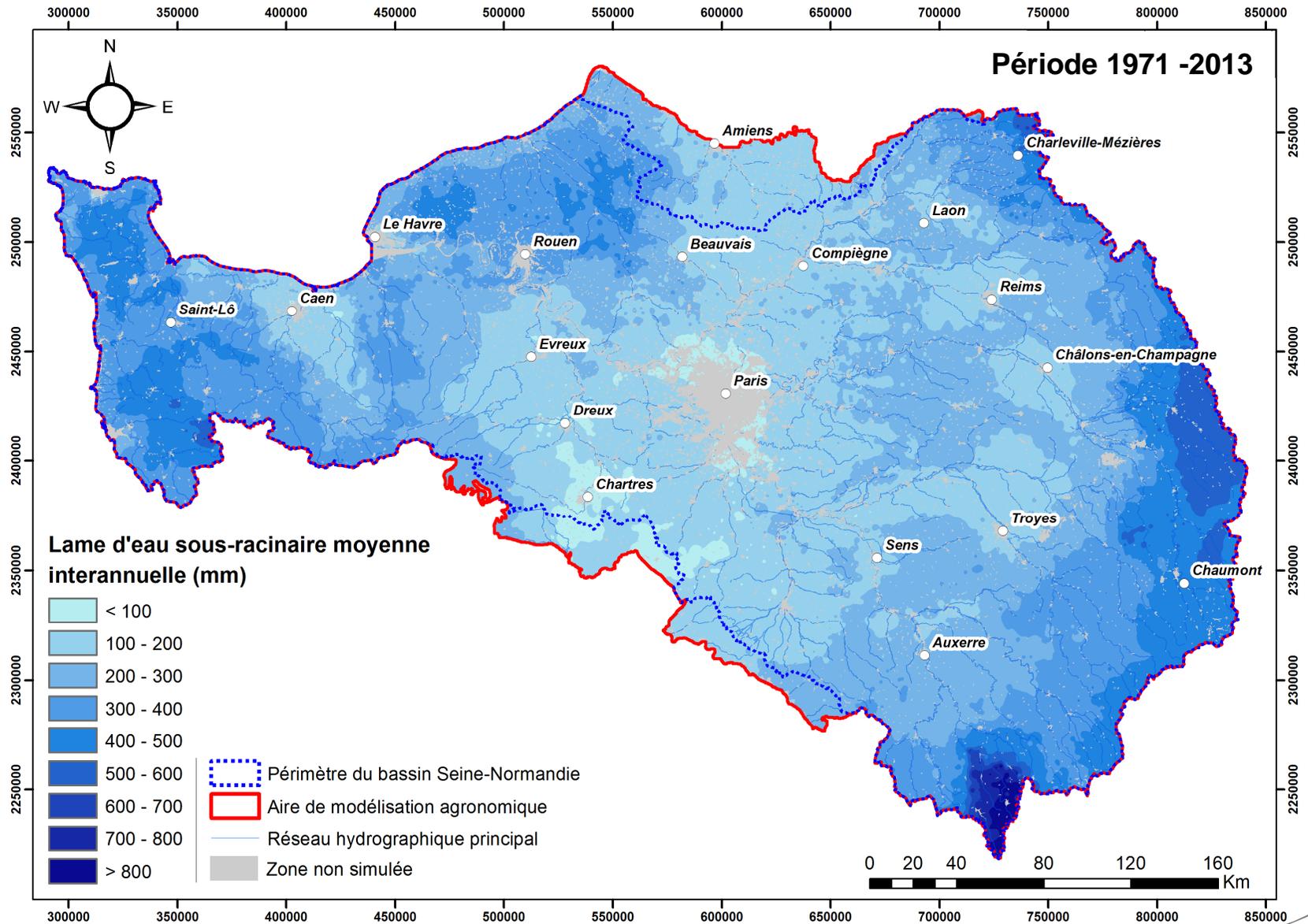


Effizienz de l'engrais (%)



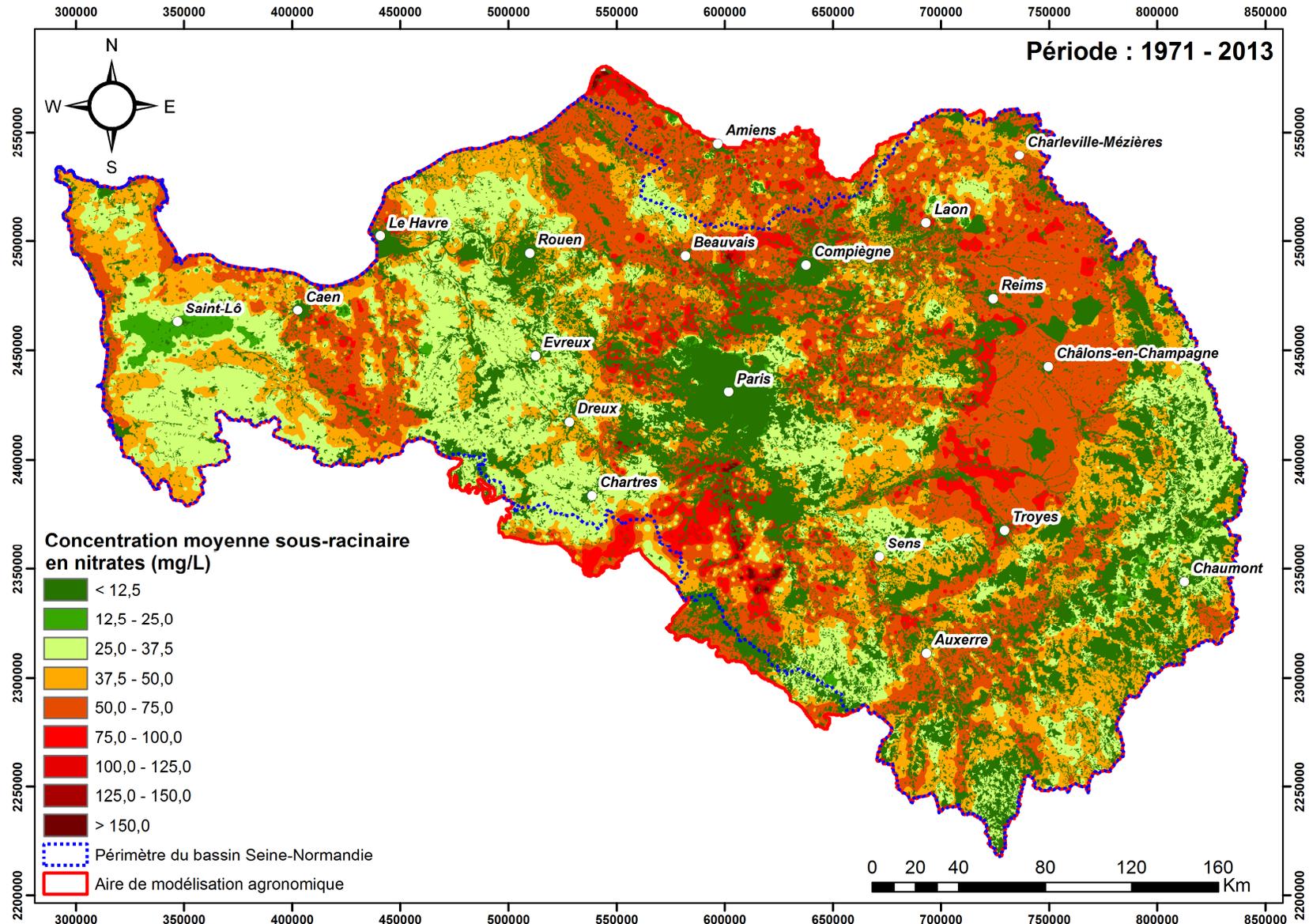
III Présentation des principaux résultats

Run 3 : lame d'eau drainée sous-racinaire moyenne



III Présentation des principaux résultats

Run 3 : concentration moyenne sous-racinaire en nitrate d'origine agricole



- Les cartes, supports pédagogiques puissants, exigent un regard critique.
- Sans expertise des entrées, pas de robustesse ! Après expertise ???
- Expertise = démarche collective pluridisciplinaire
- L'expertise a permis de mieux simuler spatialement :
 - la production végétale
 - le bilan d'azote entrées-sortie
 - les flux d'eau drainée et d'azote lessivé
- Ceci permet de faire le couplage avec les modèles hydrogéologiques
- Fort intérêt cognitif d'exploration du modèle à l'échelle du bassin où apparait une grande diversité de facteurs et de leur combinaison :
 - ➔ Etude de sensibilité, à poursuivre
 - ➔ Peut aboutir à une méta-modélisation.

- La confrontation aux données hydrologiques sera une étape ultime de validation globale.
- La carte des sols au 1/250 000^{ème} pourrait être mobilisée, avec les fonctions de pédotransfert associées.
- L'interfaçage entre les bases de données de la plateforme de modélisation pourrait être enrichi par des règles d'affectation (ou d'exclusion) des productions aux types de sol.
- Ce raffinement permettrait de mieux localiser des spéculations localisées (vignoble, maïsiculture) et de mieux intégrer des scénarios misant sur l'agro-écologie.

Merci pour votre attention

**Etude cofinancée
par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie**



■ ■ Annexes

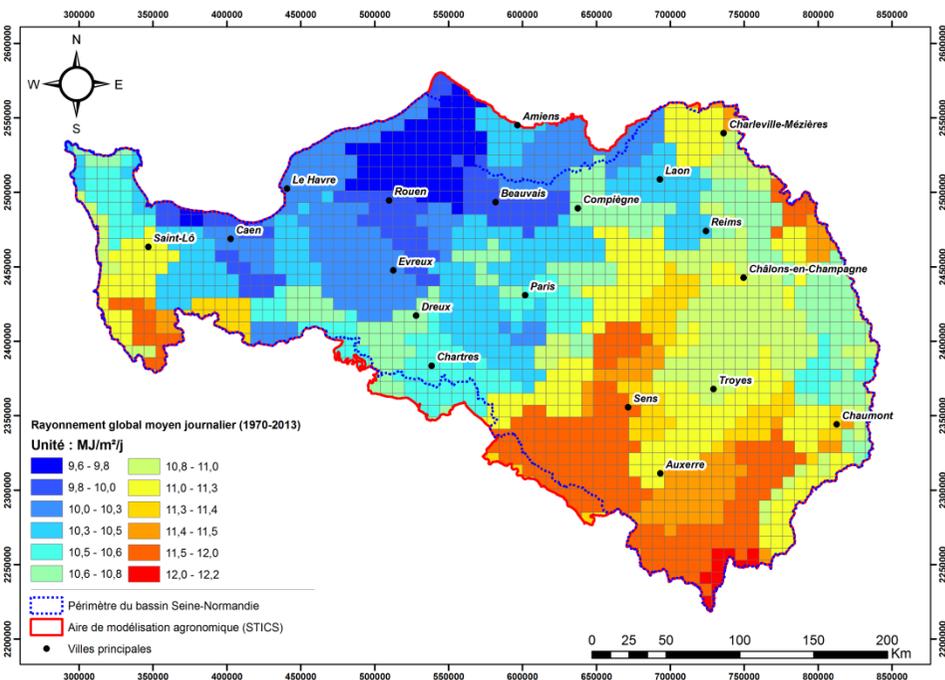
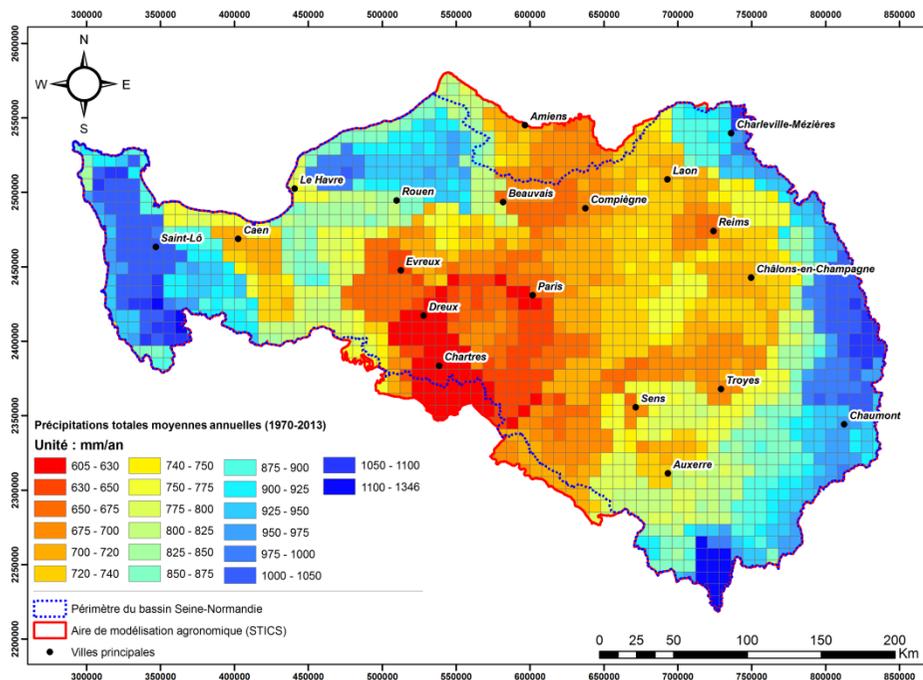
Modifications de la prédiction de rendement entre les étapes 1 et 3

Sorties de STICS		moyennes inter UMA			Corrélation / étapes
<i>Rendement aux normes</i>	Etape	1	3	Δ relatif	1 et 3
Cult. hiver	Colza	45	35	-23%	0.49
	ble tendre	63	63	0%	0.90
	Escourgeon	67	62	-7%	0.83
Cult. printemps	Blé dur	30	55	85%	0.83
	Orge P	22	44	97%	0.92
	Pois printemps	42	42	0%	0.63
	Betterave S	599	523	-13%	0.31
	Mais grain	76	73	-4%	0.90
	Mais ensilage	123	388	216%	0.70
	Pomme de terre	491	537	9%	0.29

Problématique : Assurer la qualité des sorties (39.10^6 d'USM)

Contexte techno-pédo-climatique :

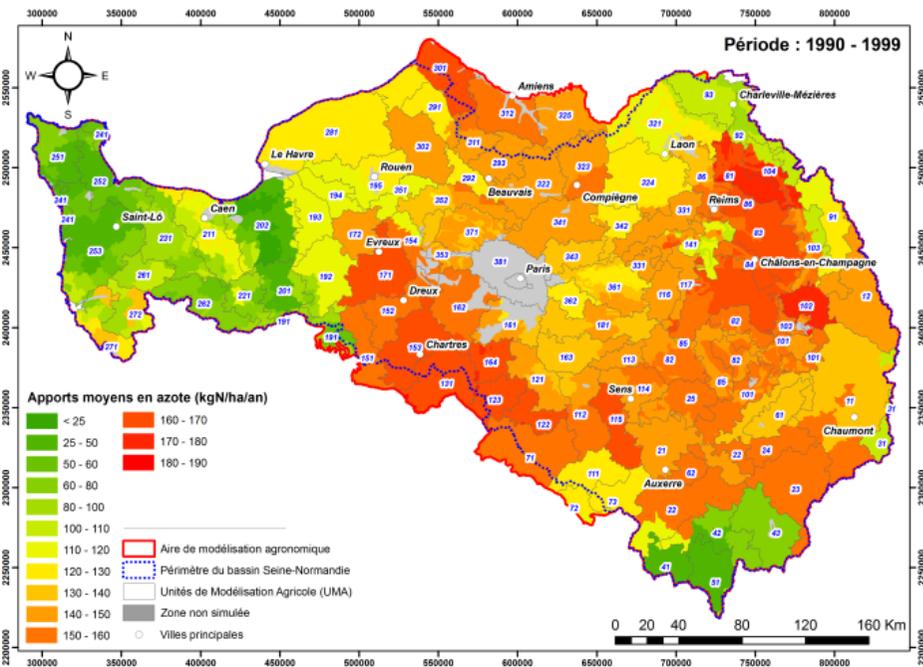
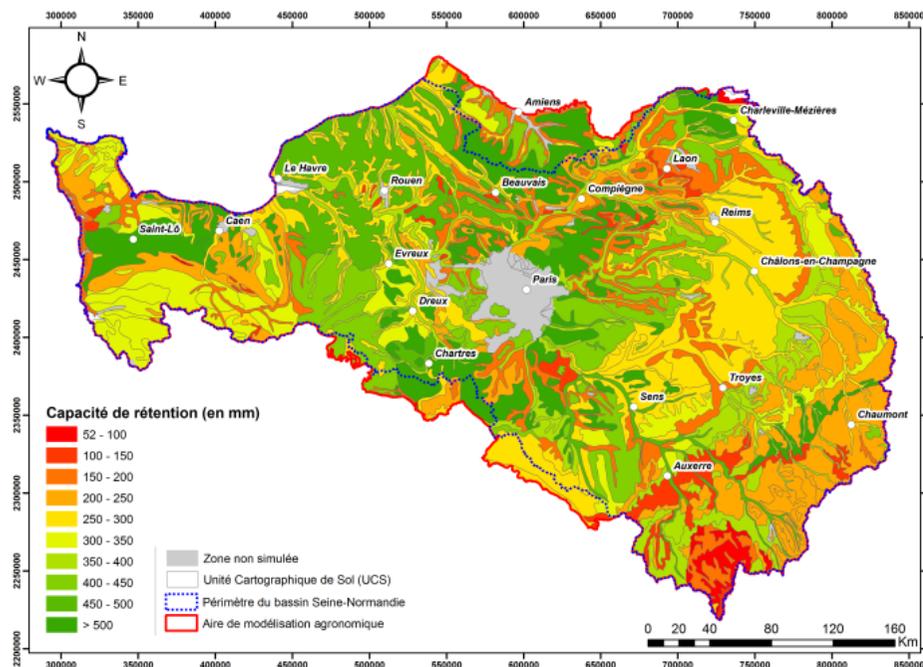
- Gradients climatiques
- Sols aux propriétés très variées
- Systèmes de cultures évoluant dans le temps vers une domination des grandes cultures au centre du bassin et de la polyculture/élevage en périphérie

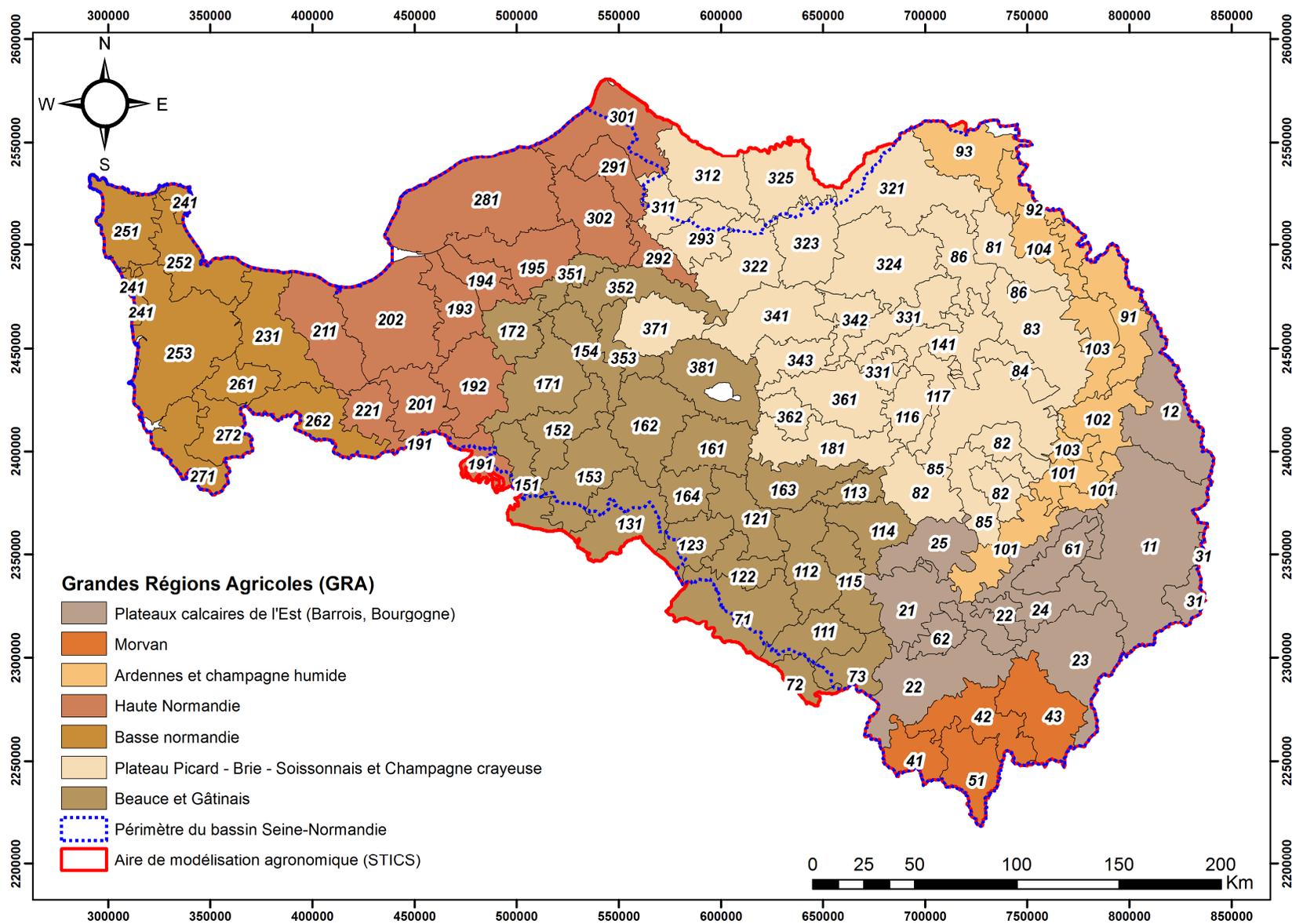


Problématique : Assurer la qualité des sorties (39.10^6 d'USM)

Contexte techno-pédo-climatique :

- Gradients climatiques
- Sols aux propriétés très variées
- Systèmes de cultures évoluant dans le temps vers une domination des grandes cultures au centre du bassin et de la polyculture/élevage en périphérie





■ ■ III Présentation des principaux résultats

A3 – Evolution du stock simulé de N organique de 1970 à 2012

En moyenne faible variation
(légèrement négative)
→ L'hypothèse de stabilité du Norg par
système de culture est validée

