SUN

Sustainable Use of Nitrogen

Utiliser l'azote de manière durable en agriculture et protéger l'eau

INTERREG IV France • Wallonie • Vlaanderen

Union européenne : Fonds Européen de Développement Régional INTERREG efface les frontières

SESSION 4: PRATIQUES AGRICOLES ET QUALITÉ DE L'EAU

ÉTUDE D'IMPACT SUR LA QUALITÉ DE L'EAU

Nicolas Pugeaux[b], Mathieu Deneufbourg[a], Christophe Vandenberghe[a], Nicolas Beaudoin[b], Eric Venet[b], Martine Roux Duparque[c], Jean Marie Marcoen[a], Claire Billy, Marie-Laure Berthommé, Jean Huguet, Bruno Mary[b], Jérôme Duval[b]

[a]GRENeRA-Univ. Liège-Gembloux Agro-Bio Tech. Unité Systèmes Sol-Eau. Passage des Déportés, 2. B-5030 Gembloux, Belgique
[b]INRA, US1158 Agro-Impact, Pôle du Griffon, 02000 Barenton-Bugny, France
[c] Chambre d'agriculture de l'Aisne

gembloux agro bio tech · Université de Liège · cra-w · NitraWal · IRBAB · KBIVB · INRA · AGRICULTURES & TERRITOIRES CHAMBRE D'AGRICULTURE RÉGION NORD-PAS DE CALAIS · ITB Institut Technique de la Betterave · LDAR Laboratoire Départemental d'Analyses et de Recherche · AGRICULTURES & TERRITOIRES CHAMBRE D'AGRICULTURE AISNE

OBJECTIFS

- Dans deux bassins hydrologiques suivis depuis plusieurs années:
  - Tester et comparer deux modèles de culture, STICS et SWAT, sur base d'observations.
  - Évaluer l'impact à long terme de scénarii de pratiques agricoles sur les rendements des cultures et la qualité de l'eau à l'aide de ces deux modèles.

PLAN

1. CARACTÉRISTIQUES DES DEUX BASSINS HYDROLOGIQUES PILOTES

2. PRATIQUES AGRICOLES ACTUELLES ET RÉPONSE DE LA QUALITÉ DE L'EAU

3. MODÈLES DE SIMULATION DES FLUX D'EAU ET D'AZOTE

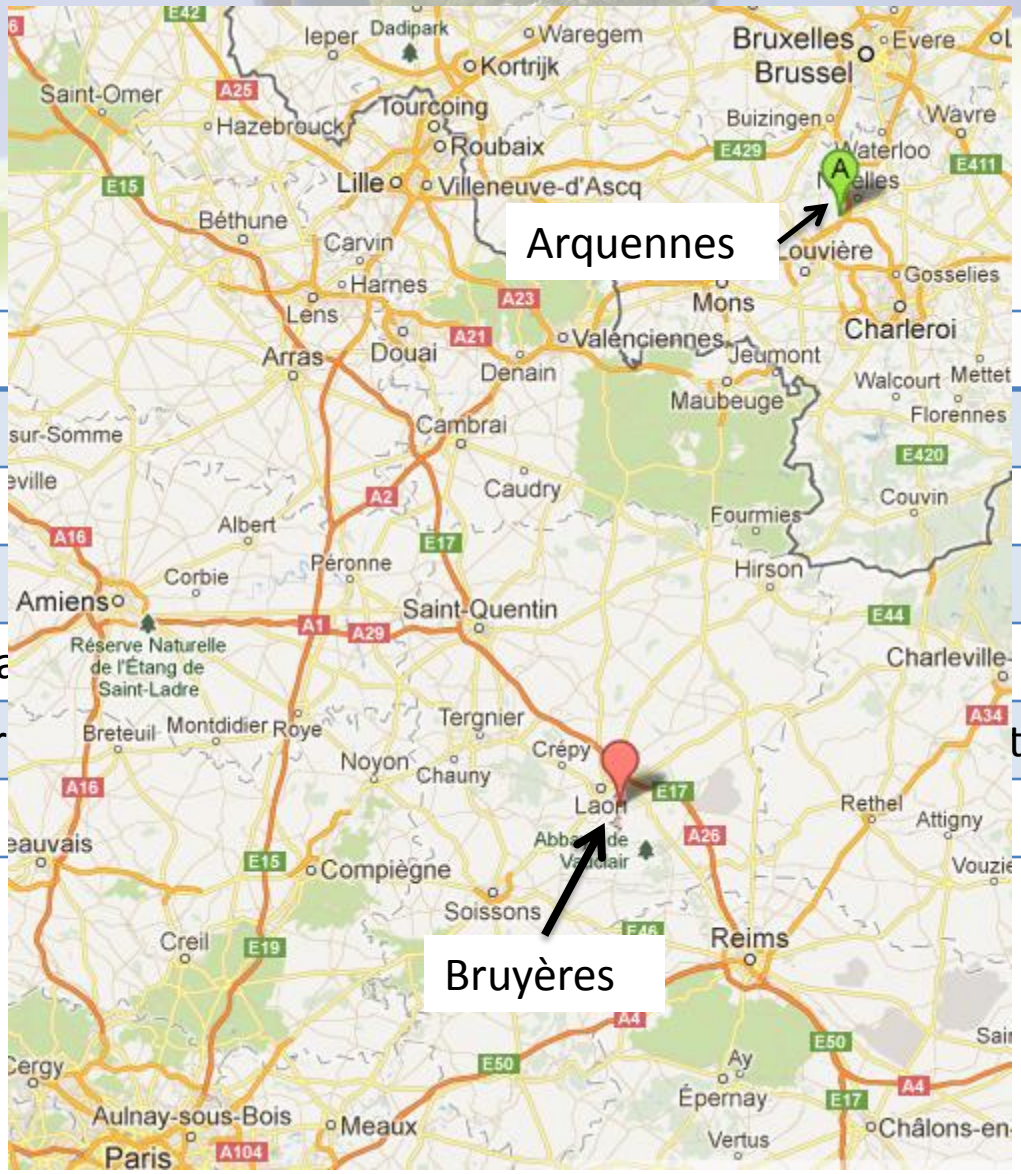
4. SCÉNARII DE PRATIQUES AGRICOLES SUR LES DEUX BASSINS VERSANTS: IMPACTS SUR LA QUALITÉ DE L'EAU

CARACTÉRISTIQUES DES DEUX BASSINS HYDROLOGIQUES PILOTES

Arquennes et Bruyères

GÉNÉRALITÉS

Nom	
Localisation	
Surface	
Parcelles	
Nombre d'exploita	
Système de cultur	tures
Période de suivi	

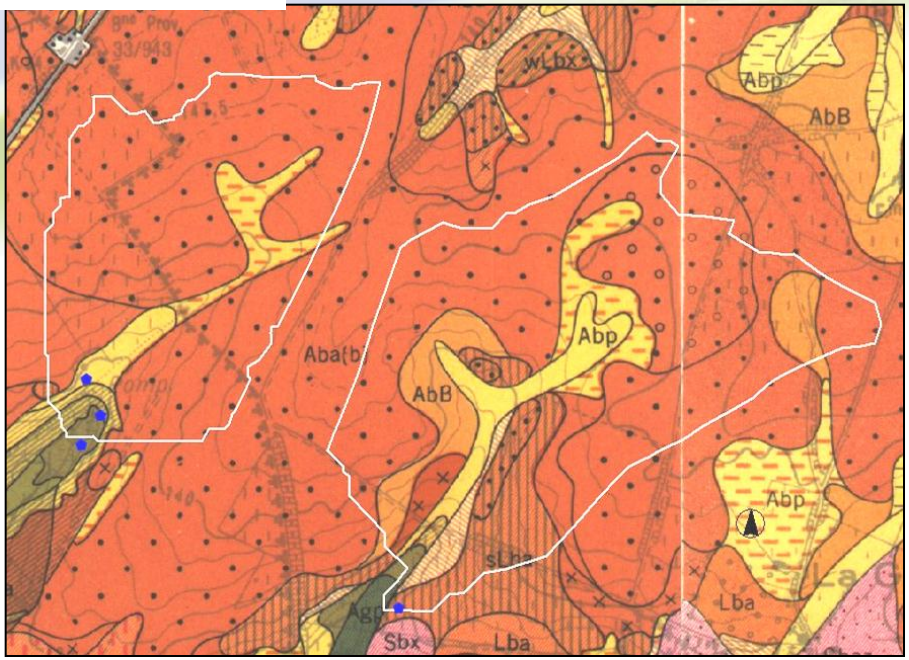


CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES

	Arquennes	**Bruyères**
Période	1995-2011	1990-2011
Précipitations annuelles moyennes	871 mm	721 mm
ETP annuelles moyennes	730 mm	746 mm
Température min moyenne	6.6 C	6.6 C
Température max moyenne	14.6 C	14.2 C

CARACTÉRISTIQUES PÉDOLOGIQUES

Arquennes

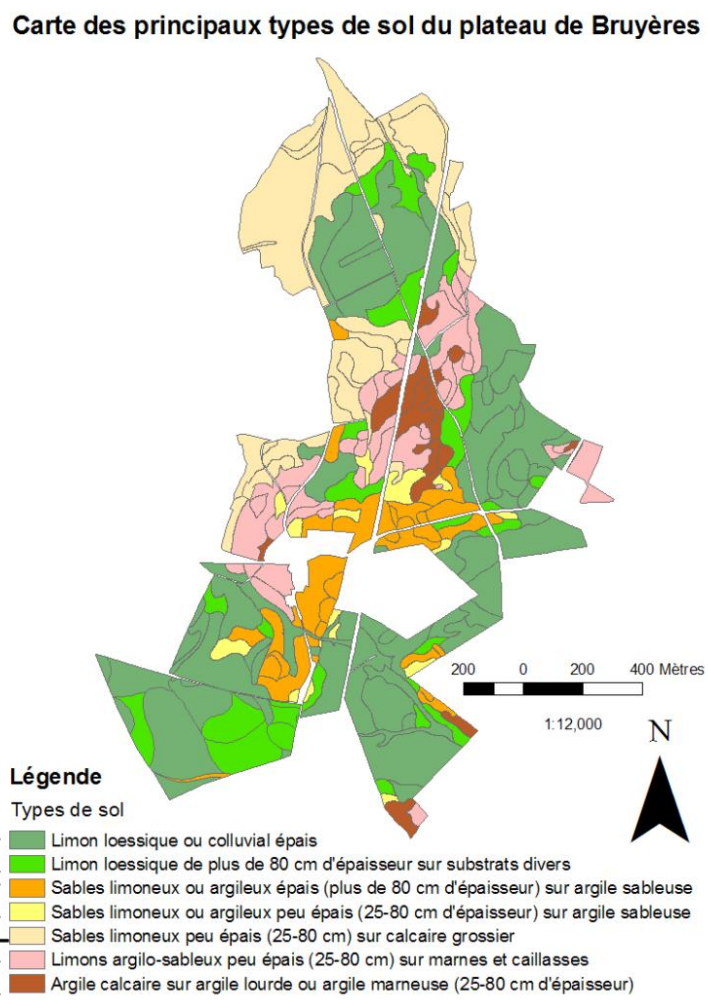


Aba(b) – **Sol limoneux**, à bon drainage naturel, à horizon textural tacheté
AbB – **Sol limoneux**, à bon drainage naturel, à horizon B textural ou structural
Abp – **Sol limoneux**, à bon drainage naturel, sans développement de profil
sLba – **Sol sablo-limoneux** à horizon B textural ; substrat sableux

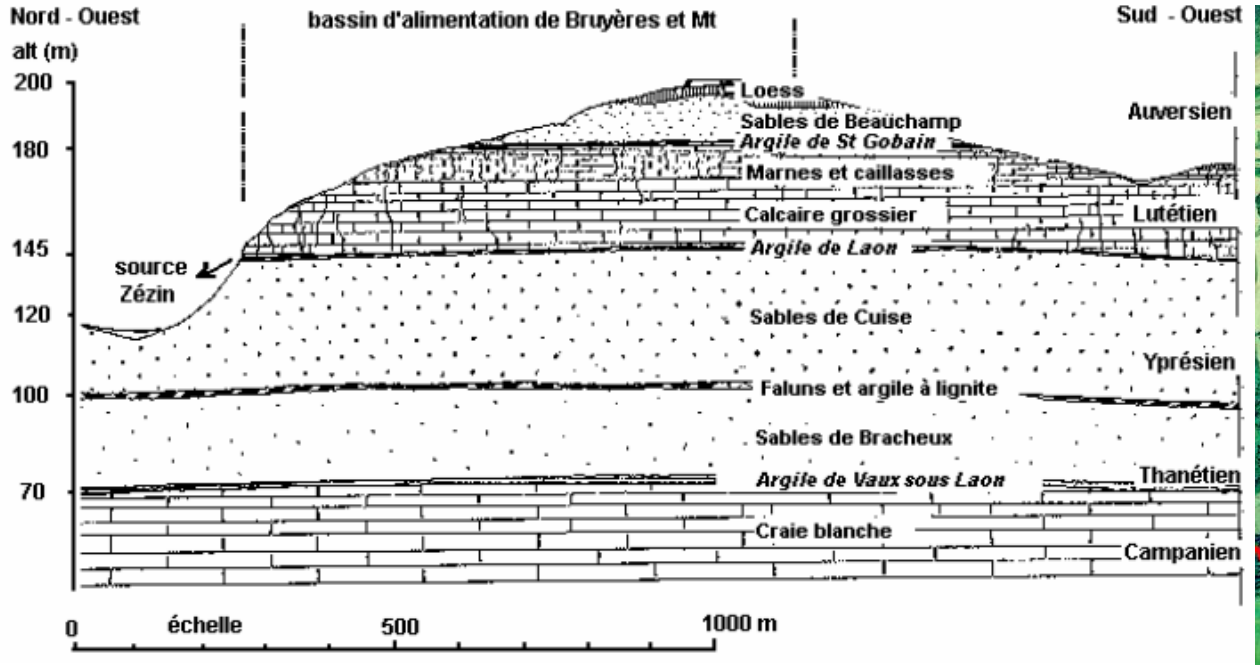
92%

8%

Bruyères

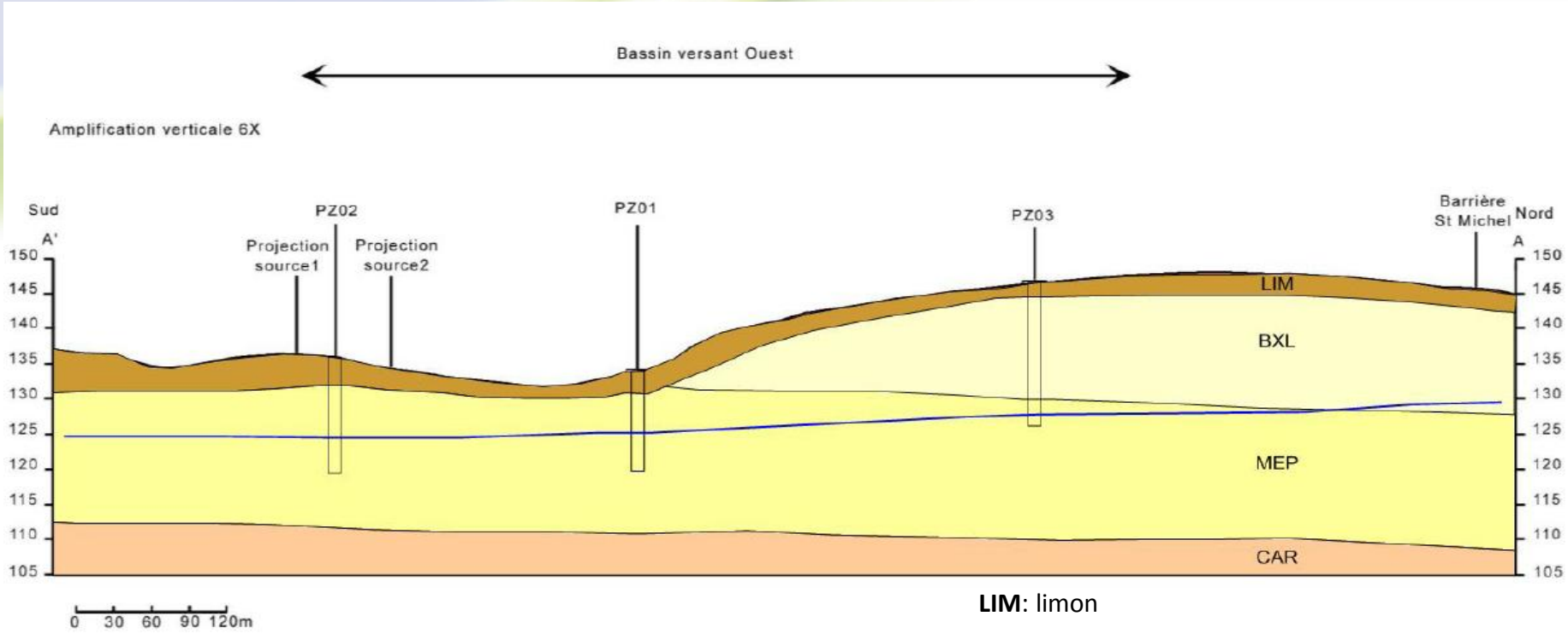


BRUYÈRES – GÉOLOGIE ET HYDROLOGIE



- Aquifère principal : calcaire grossier du Lutétien
- Aquifère superficiel : sables de Beauchamp
- Sources au niveau de l'affleurement de l'argile de Laon
- Pollution par les nitrates depuis les années 1970

ARQUENNES – GÉOLOGIE ET HYDROLOGIE



LIM: limon

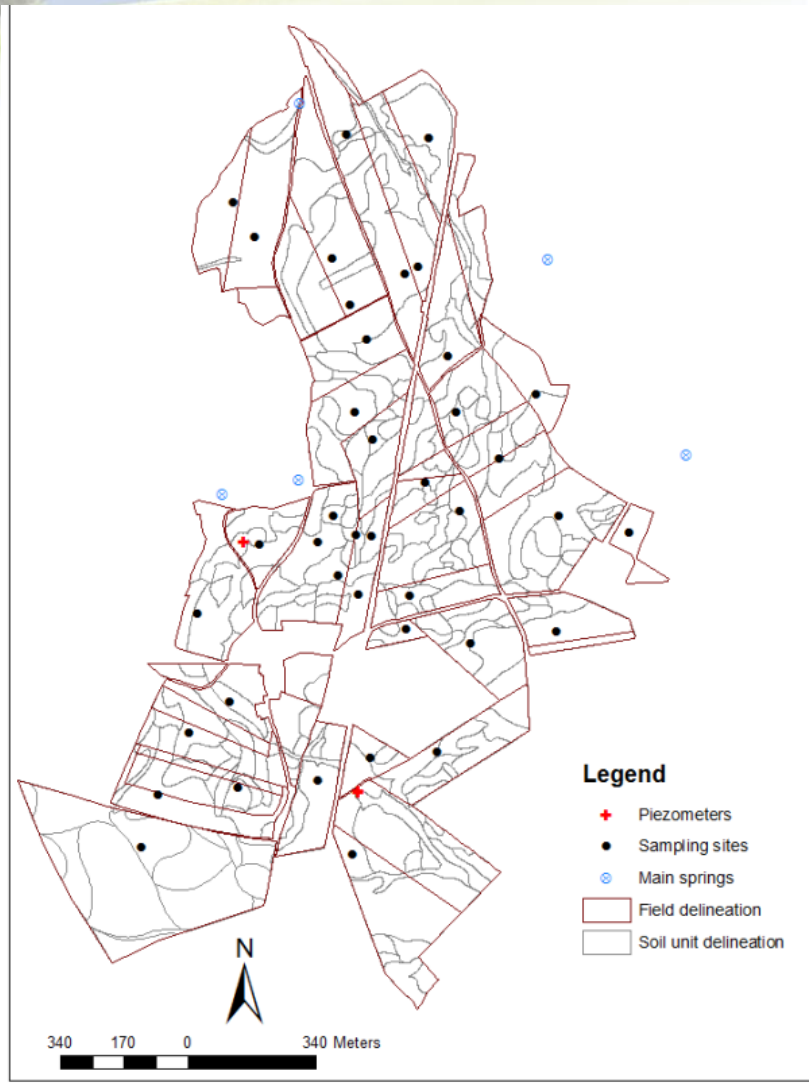
BXL: formation de Bruxelles (aquifère)

MEP: formation de Mons-en-Pévèle (aquifère)

CAR: formation de Carnières (aquiclude)

BRUYÈRES - SUIVI

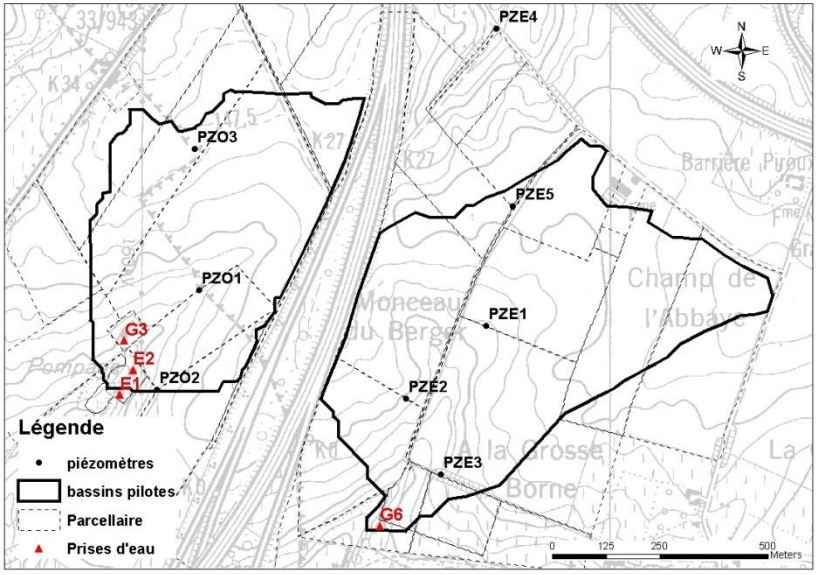
- Suivi depuis 20 ans
- 36 points de mesures:
  - Teneurs en eau et azote minéral dans le sol (3 dates par an)
  - Rendement
  - Teneur en azote des cultures à la récolte
- Suivis mensuels des sources et piézomètres: débit, hauteur d'eau, teneur en nitrate
- Données météo
- Données techniques des agriculteurs



ARQUENNES - SUIVI

- 4 prises d'eau polluées par le nitrate
- Contexte exclusivement agricole
- Action de reconquête de la qualité de l'eau de 2005 à 2010 (encadrement des agriculteurs)

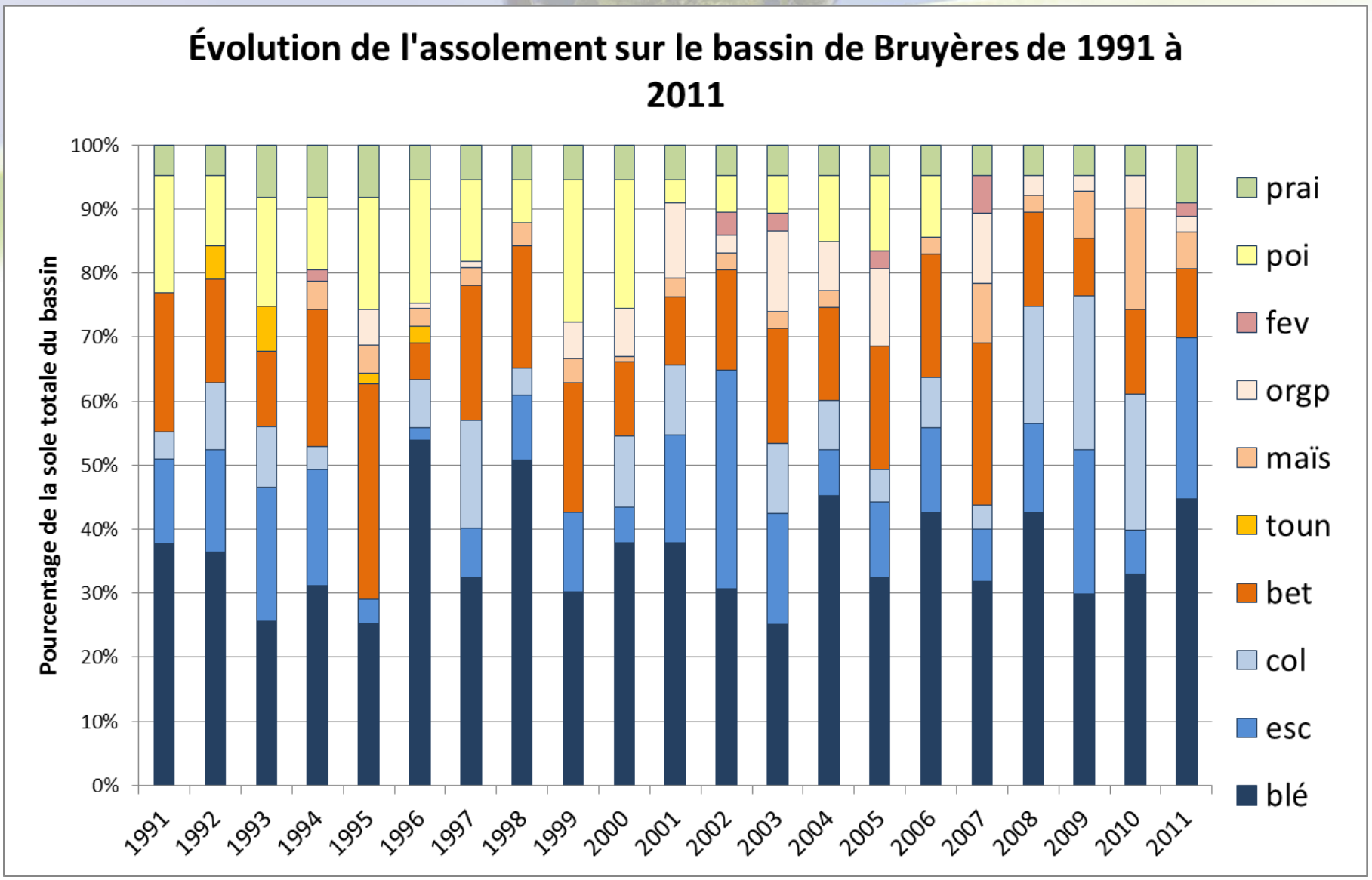
- Acquisition de données:
  - météo
  - pratiques agricoles (depuis 2000)
  - zone racinaire: granulométrie, azote nitrique, humidité du sol,…
  - zone vadose: réseau de 8 piézomètres
  - zone saturée: hauteur piézométrique, teneurs en nitrate, débit des captages,…



PRATIQUES AGRICOLES ACTUELLES ET RÉPONSE DE LA QUALITÉ DE L'EAU

Arquennes et Bruyères

BRUYÈRES - ASSOLEMENT

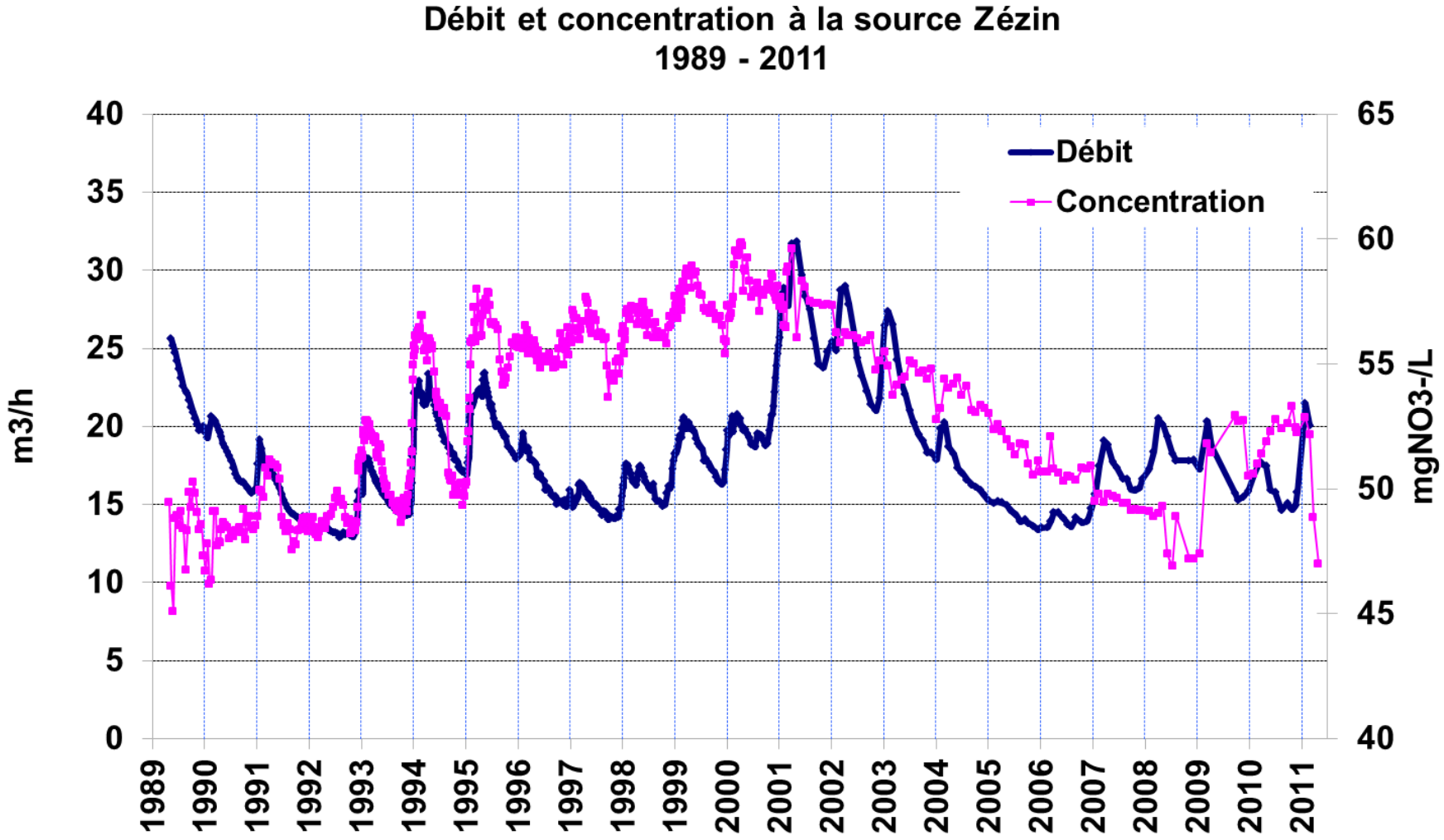


BRUYÈRES – PRATIQUES AGRICOLES

- Encadrement pour la mise en place des BPA depuis 1990.
- 2 règles systématiques = Fertilisation raisonnée (Azobil puis AzoFert®) + CIPAN en interculture longue (moutarde, radis, RGI, seigle).
- 2 règles optionnelles = favoriser les repousses et enfouissement précoce des pailles.

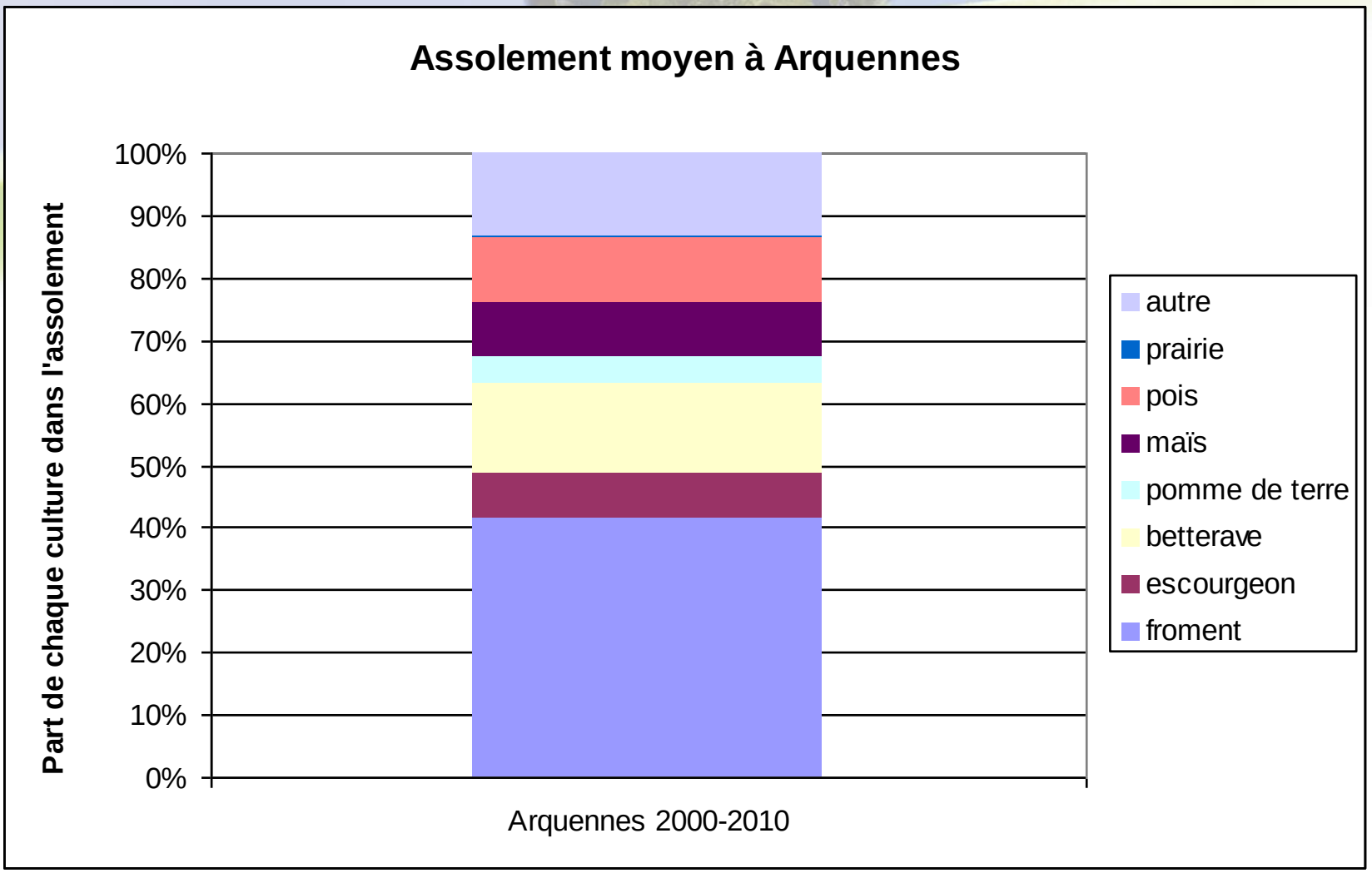
Cultures	Doses d'N minéral	Rendement en matière sèche récoltée
Orge de printemps	118 kgN/ha	60 q/ha
Colza	158 kgN/ha	36 q/ha
Maïs (grains)	121 kgN/ha	83 q/ha
Betterave	118 kgN/ha	20 t/ha
Escourgeon	142 kgN/ha	67 q/ha
Blé tendre	166 kgN/ha	72 q/ha
Pois de printemps	0 kgN/ha	59 q/ha

BRUYÈRES – QUALITÉ DE L'EAU



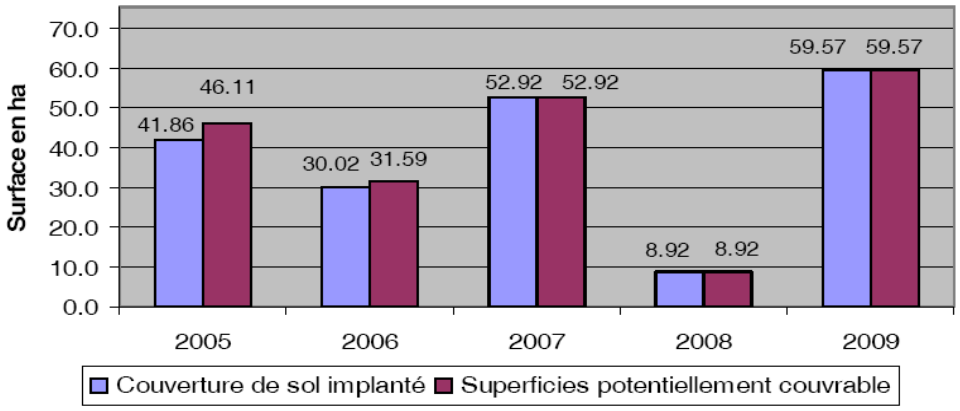
- BPA ⟶ ↘ de la [NO_3^-] de l'eau des sources de 2000 à 2009 mais tendance moins nette ensuite…

ARQUENNES - ASSOLEMENT

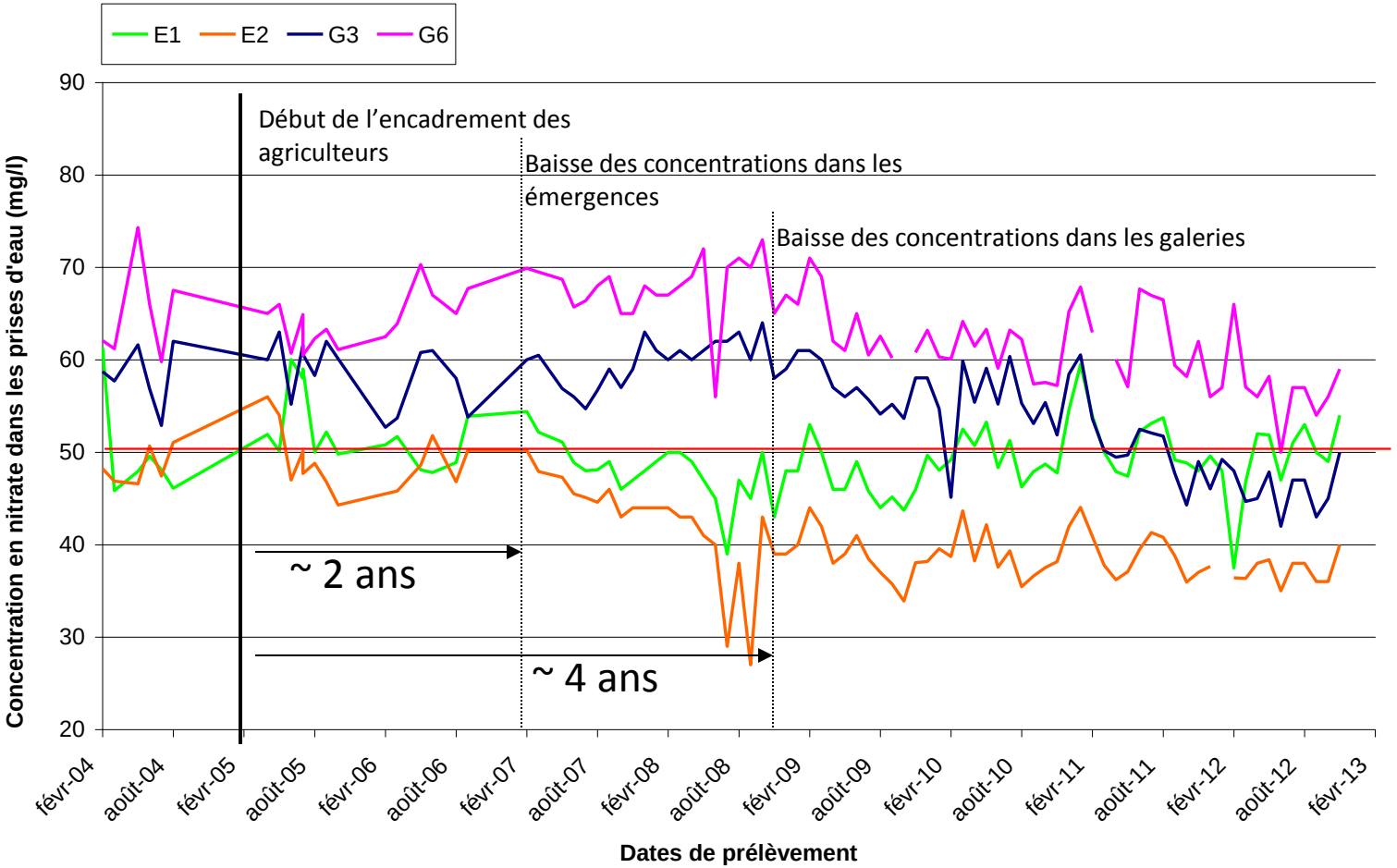


ARQUENNES – PRATIQUES AGRICOLES

- Encadrement des agriculteurs de 2005 à 2010 par l'ASBL Nitrawal pour la mise en œuvre des BPA :
  - Respect du LS (taux de liaison au sol)
  - Mise aux normes des bâtiments d'élevage
  - Couverture de sol
  - Conseils de fertilisation
  - Mesures d'APL



ARQUENNES – QUALITÉ DE L'EAU



MODÈLES DE SIMULATION DES FLUX D'EAU ET D'AZOTE

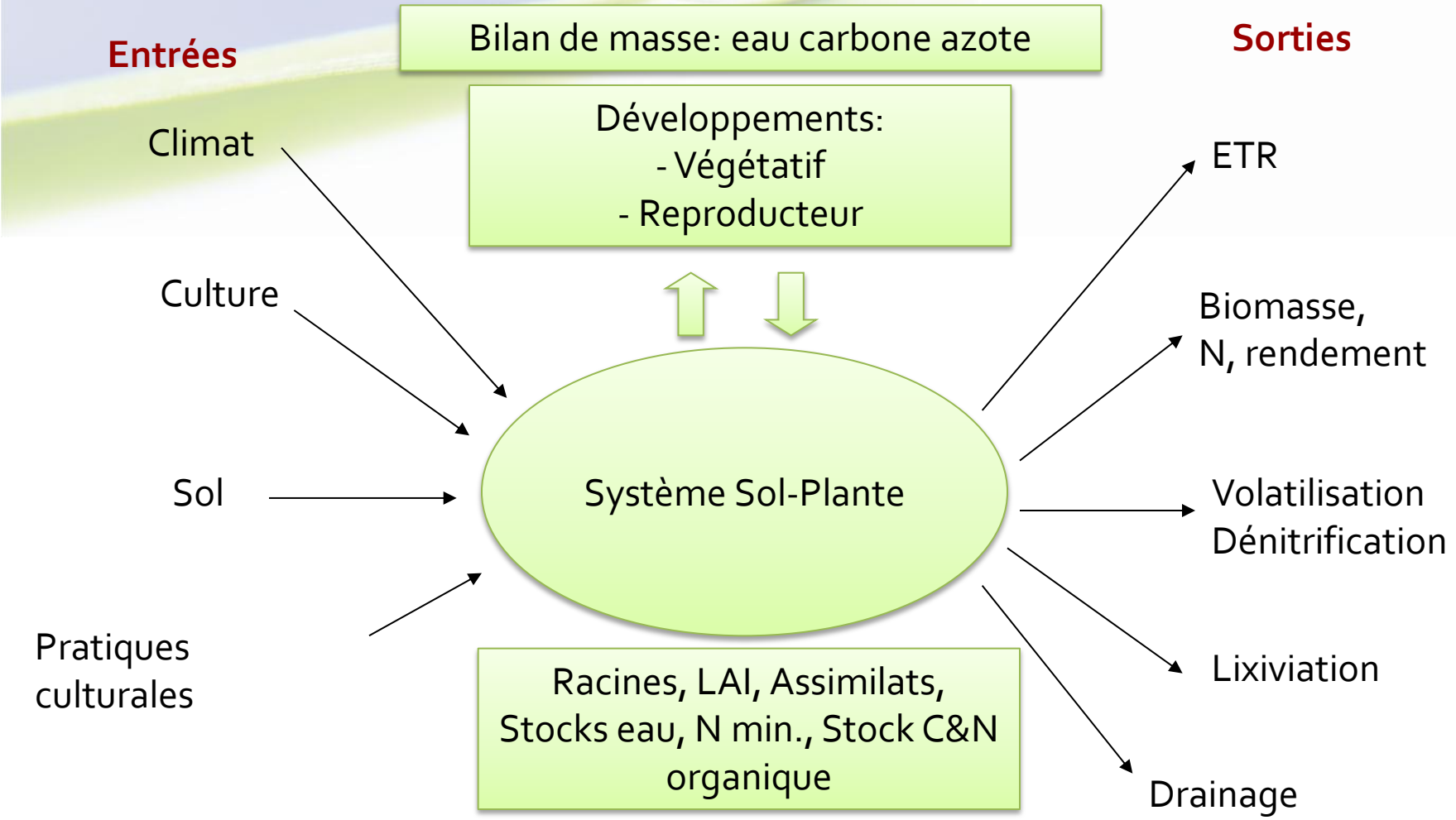
STICS et SWAT

LES MODÈLES

- SWAT = modèle orienté hydrologie
  - SWAT: Soil Water Assessment Tool
  - Modèle à base physique, déterministe(USDA)
  - Modèle 3D, modélisation au pas de temps journalier
  - Modélisation à l'échelle du bassin versant
  - Distribution spatiale des variables d'entrée
  - Couplage avec Arcgis
- STICS = modèle orienté agronomie
  - Modèle déterministe, dynamique
  - Modélisation 1D
  - Modélisation à l'échelle de la parcelle

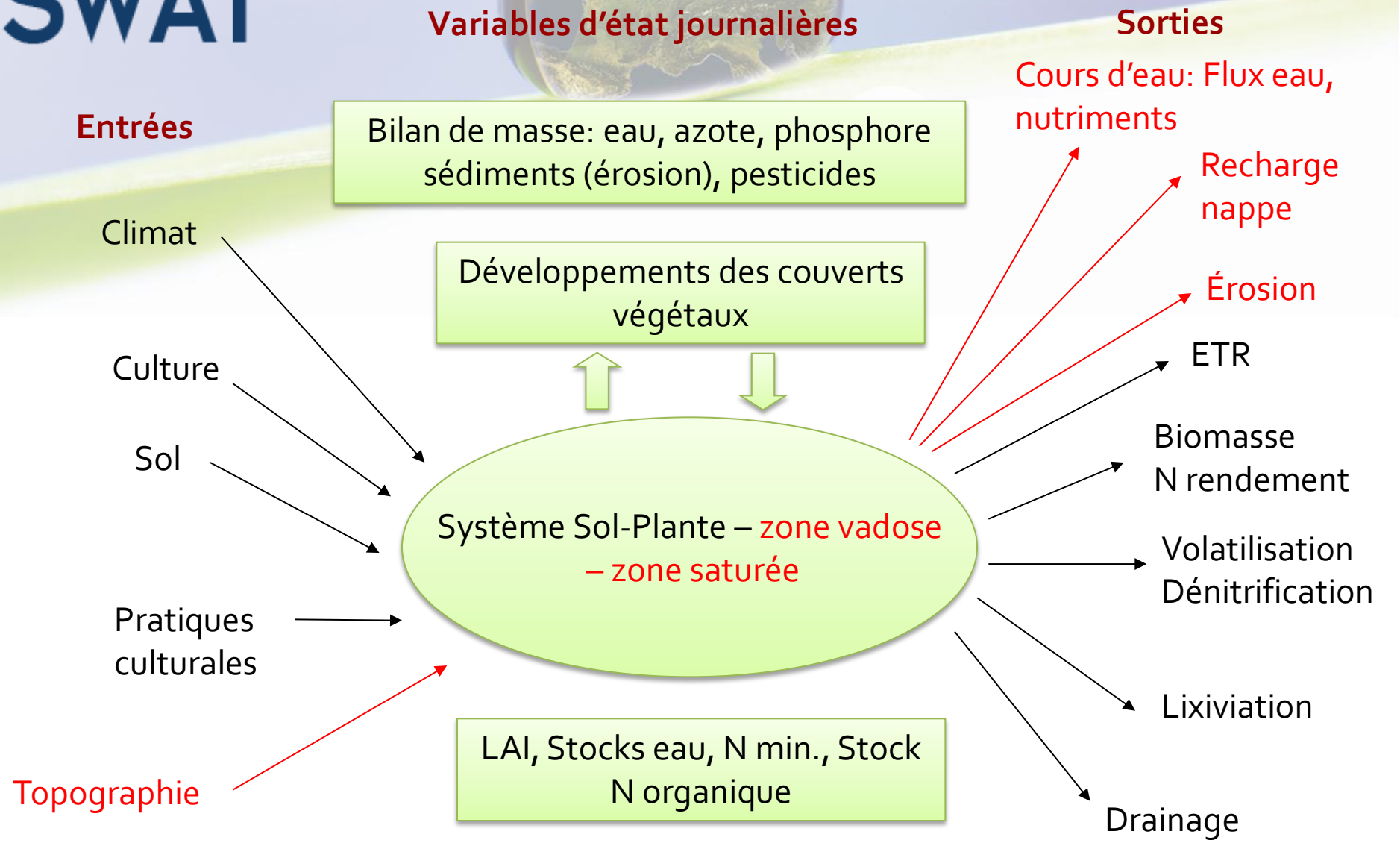
STICS

Variables d'état journalières



SWAT

SWAT


Variables d'état journalières
Sorties
Entrées
Bilan de masse: eau, azote, phosphore sédiments (érosion), pesticides
Cours d'eau: Flux eau, nutriments
Recharge nappe
Climat
Développements des couverts végétaux
Érosion
ETR
Culture
Sol
Biomasse N rendement
Système Sol-Plante – zone vadose – zone saturée
Volatilisation Dénitrification
Pratiques culturales
Lixiviation
LAI, Stocks eau, N min., Stock N organique
Topographie
Drainage

POURQUOI DEUX MODÈLES ?

- Comparaison des performances des 2 modèles sur les 2 zones d'étude
- Comparaison des prévisions à long terme données par les 2 modèles lors de la simulation de différents scénarii de gestion de l'azote
- Résultats plus robustes en cas de convergence des modèles
- Échange d'expériences entre l'INRA AgroImpact et Gembloux Agro-Bio Tech

MODÈLES DE SIMULATION DES FLUX D'EAU ET D'AZOTE

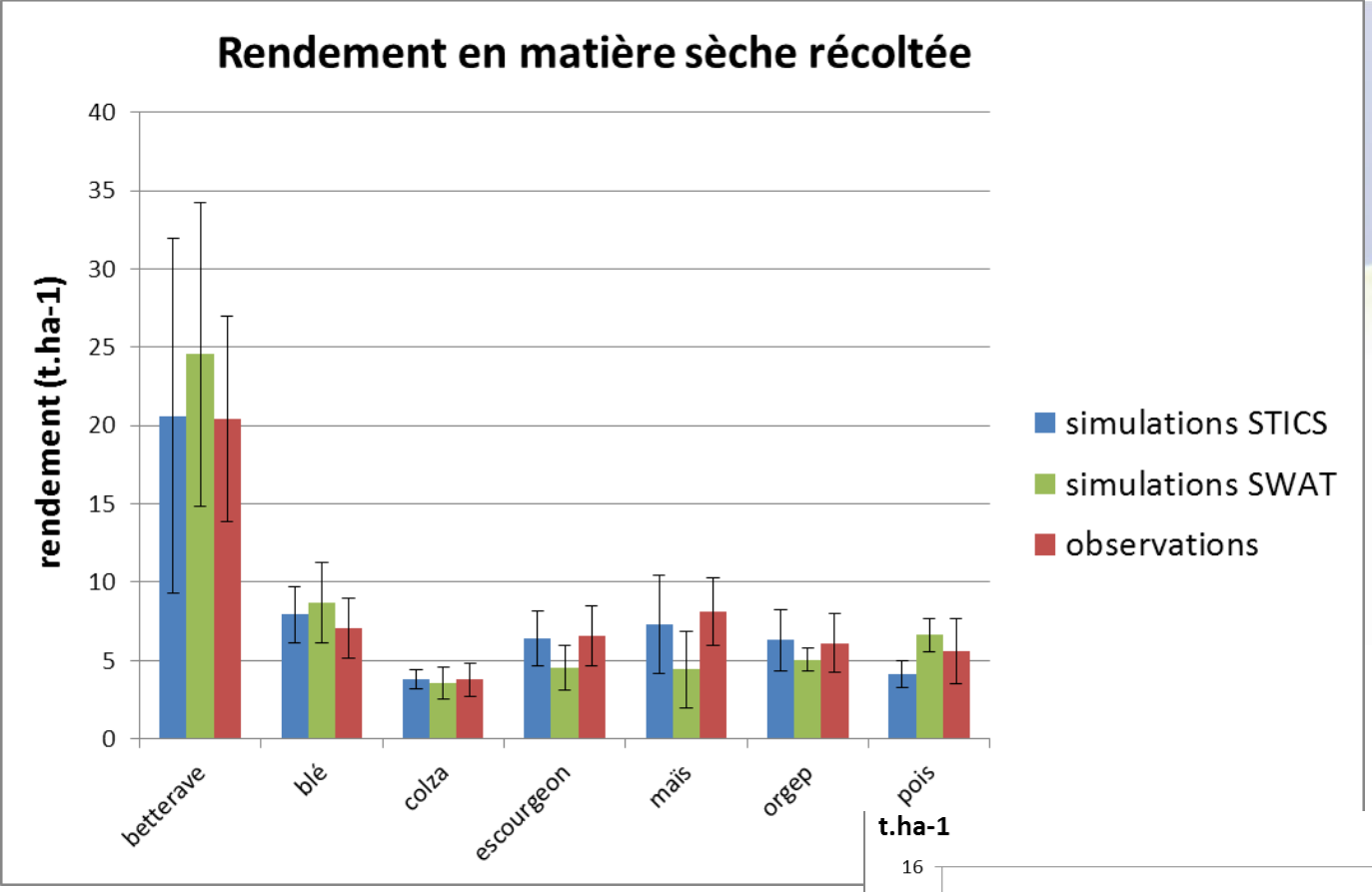
Performance des modèles sur nos zones d'étude

MATÉRIEL ET MÉTHODE

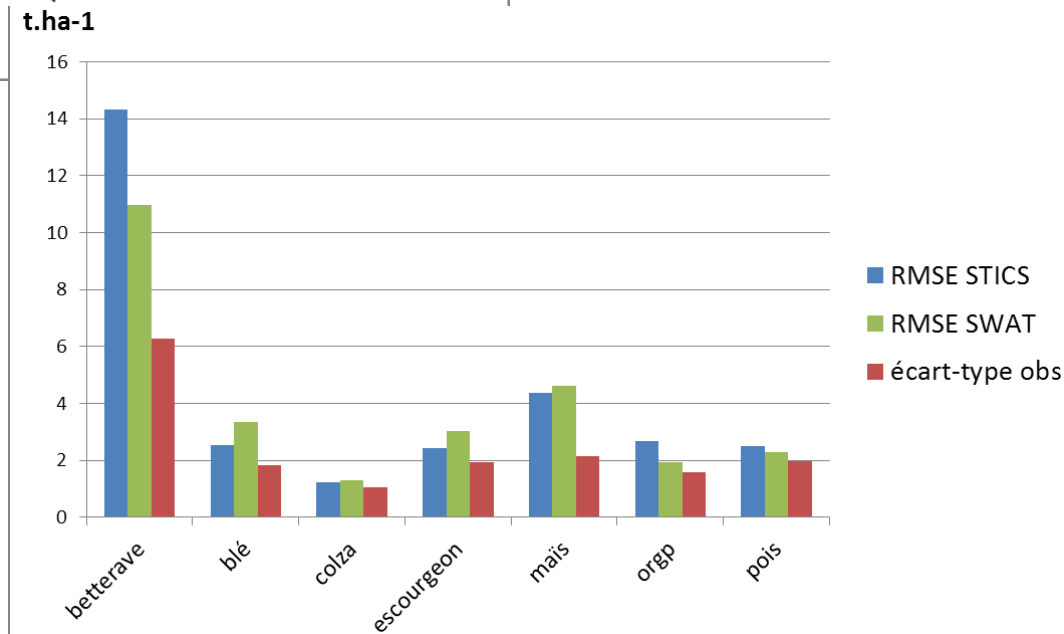
- Deux jeux de données mesurées:
  - un sur le bassin de Bruyères de 1990 à 2011.
  - un sur le bassin d'Arquennes de 2000 à 2007.
- Calibration du modèle SWAT réalisée à Arquennes puis validation sur des données de Bruyères et Arquennes.
- Calibration du modèle STICS réalisée à Bruyères à partir des données de 1990 à 1998 puis validation à Arquennes et Bruyères (données de 1999 à 2011).
- Évaluation des modèles sur l'écart moyen observé-simulé, et la RMSE, critères de qualité prédictive des modèles.

RESULTATS: RENDEMENTS

Bruyères

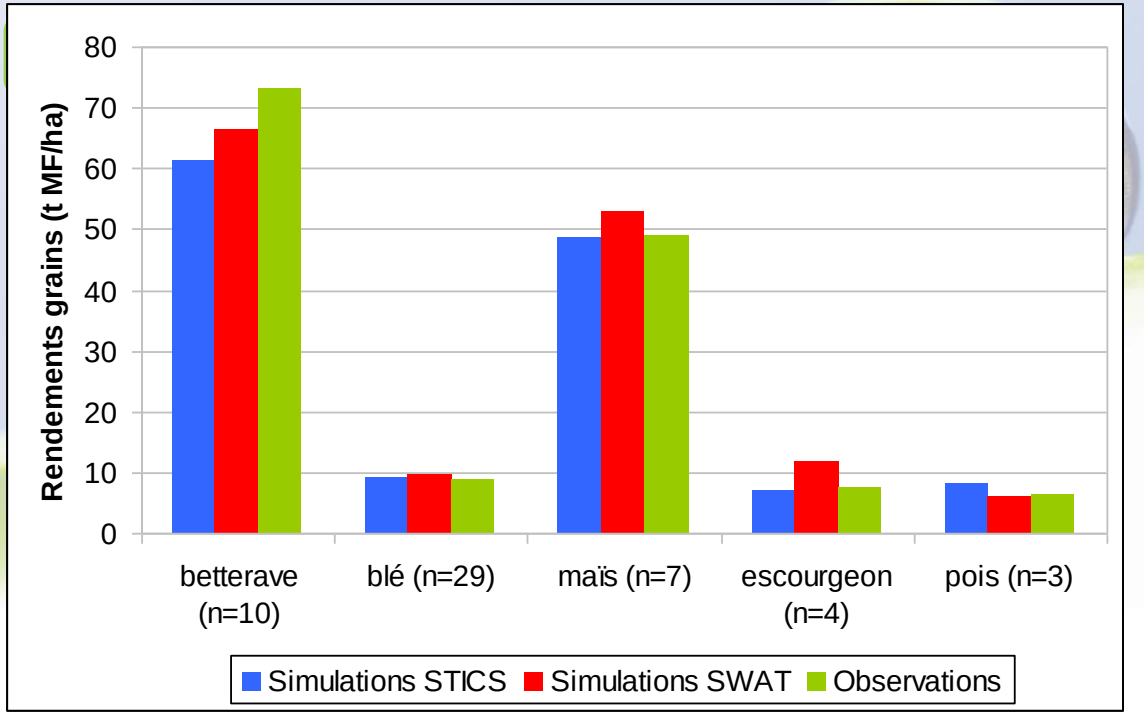


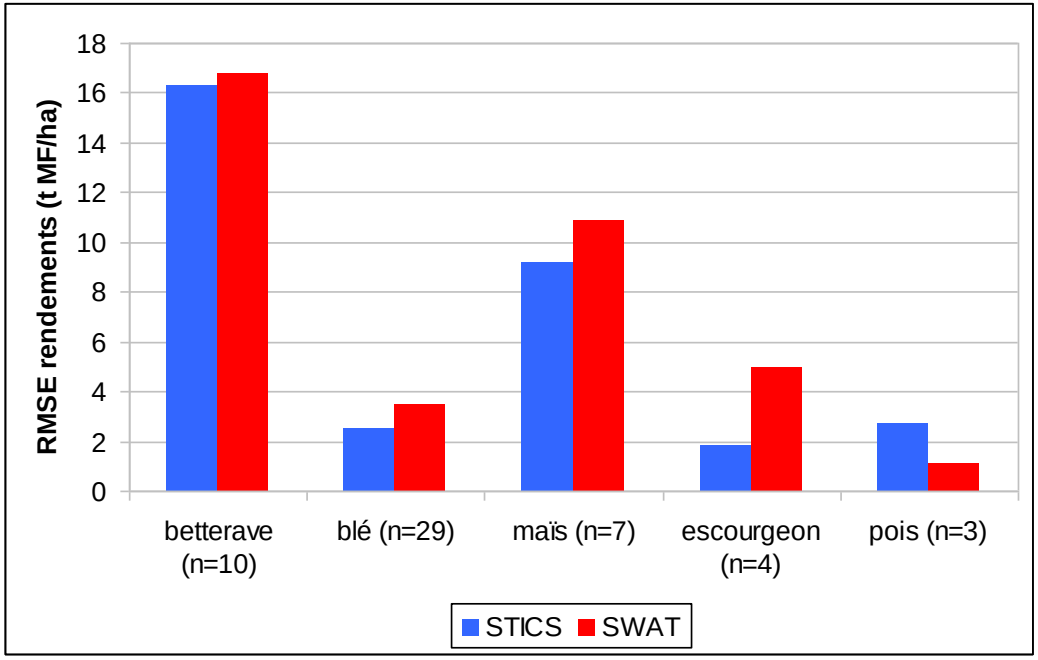
	n
betterave	54
blé	164
colza	36
escourgeon	69
maïs	15
orgp	21
pois	25



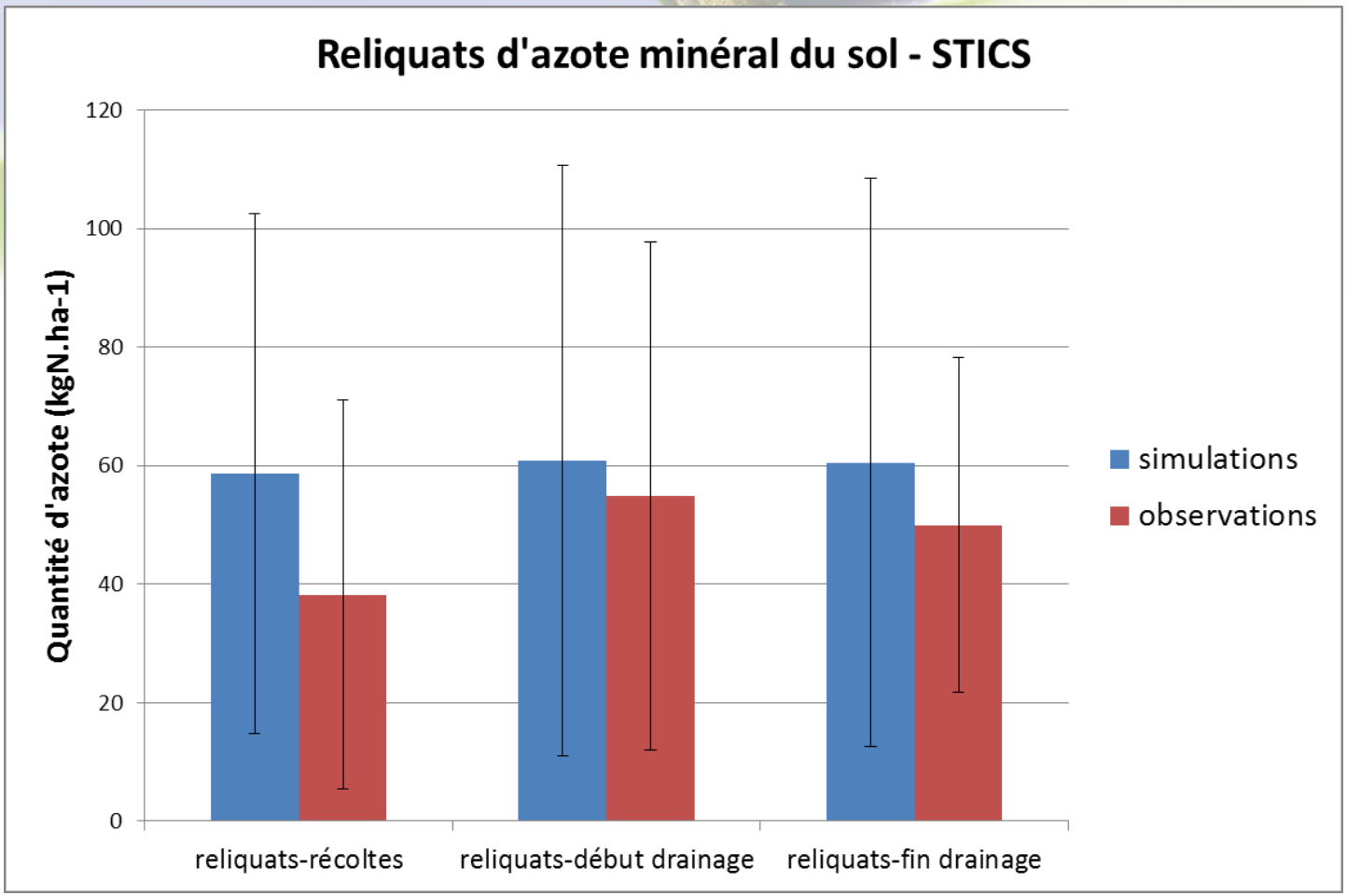
RENDEMENTS

Arquennes



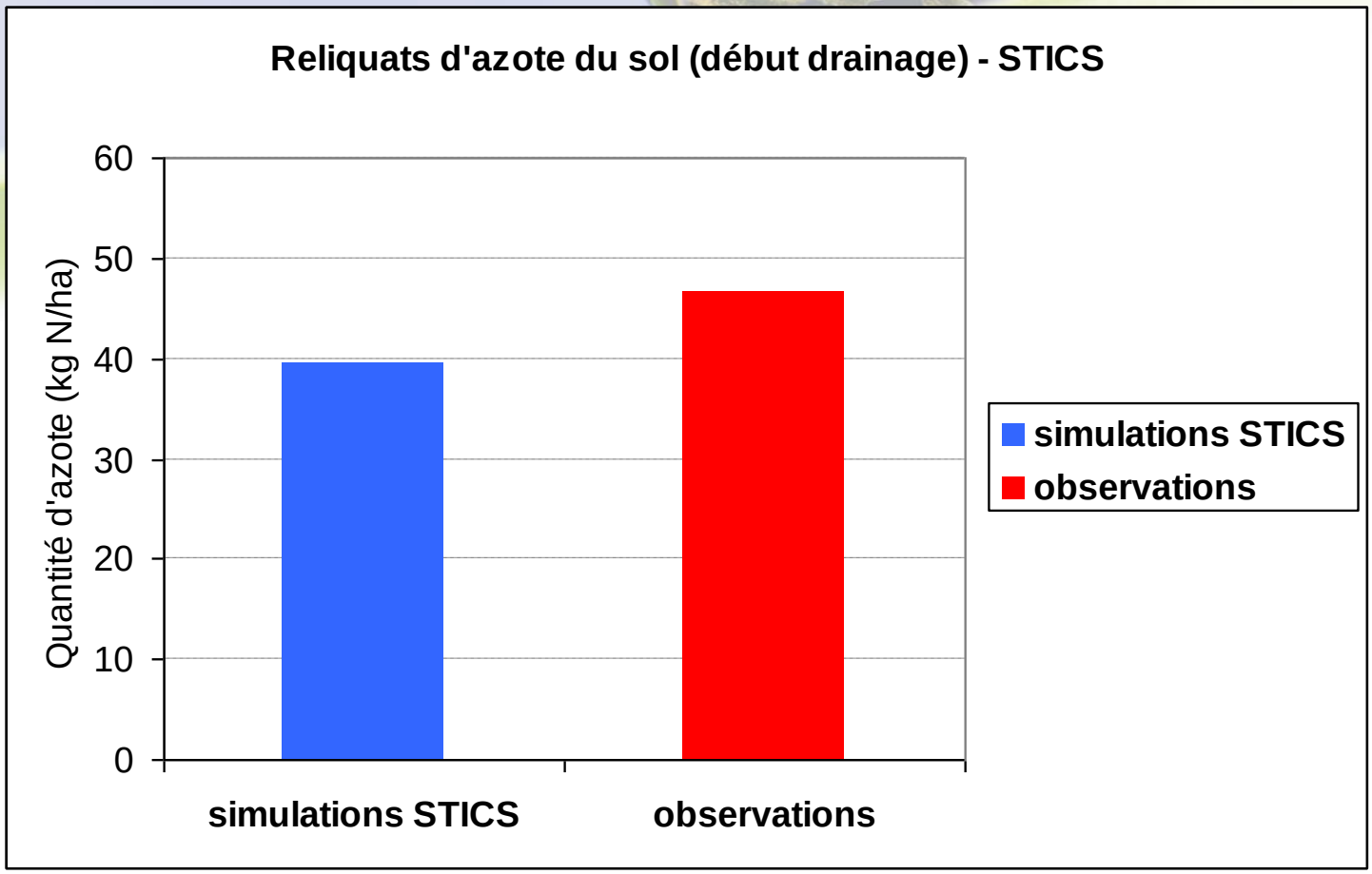


RELIQUATS D'AZOTE MINÉRAL



Bruyères

RELIQUATS D'AZOTE MINÉRAL



Arquennes

FLUX D'EAU ET D'AZOTE

	Arquennes		Bruyères	
	STICS	SWAT	STICS	SWAT
Période	2000-2008		1993-2011	
Drainage annuel moyen (mm)	286	165	141	216
Lixiviation annuelle moyenne ($kgN.ha^{-1}$)	33	26	14	21
Concentration nitrique annuelle moyenne ($mg.L^{-1}$)	51	70	47	49

CONCLUSION

- Pas de démarcation nette d'un modèle par rapport à l'autre sur les deux bassins
- Paramétrage des deux modèles validé pour la prédiction du rendement
- Prédictions moyennes (à l'échelle du bassin versant) des reliquats azotés correctes pour STICS
- Concentrations en nitrate prédites par les deux modèles proches à Bruyères
- Surestimation du drainage par STICS à Arquennes

→ correction dans le test de scénarii

SCÉNARII DE PRATIQUES AGRICOLES SUR LES DEUX BASSINS VERSANTS

Impacts sur la qualité de l'eau

INTRODUCTION PARTIELLE

- Évaluer l'impact agro-environnemental de différents scénarii de pratiques agricoles sur le long terme à l'échelle d'un bassin versant.
- Les scénarii sont classés en 2 familles:
  - Tactiques
  - Stratégiques
- Appui d'un groupe d'experts dans la définition des scénarii.
- Démarche conjointe de construction des scénarii pour les 2 zones d'étude.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

PÉRIODE DE SIMULATION

- 2010 à 2050

CLIMAT

- Reproduction du climat passé par répétitions aléatoires d'années climatiques passées sur la période de simulation future

	Bruyères	Arquennes
Précipitations annuelles moyennes	721 mm	871 mm
Température min moyenne	6.6°C	6.6°C
Température max moyenne	14.2°C	14.6°C

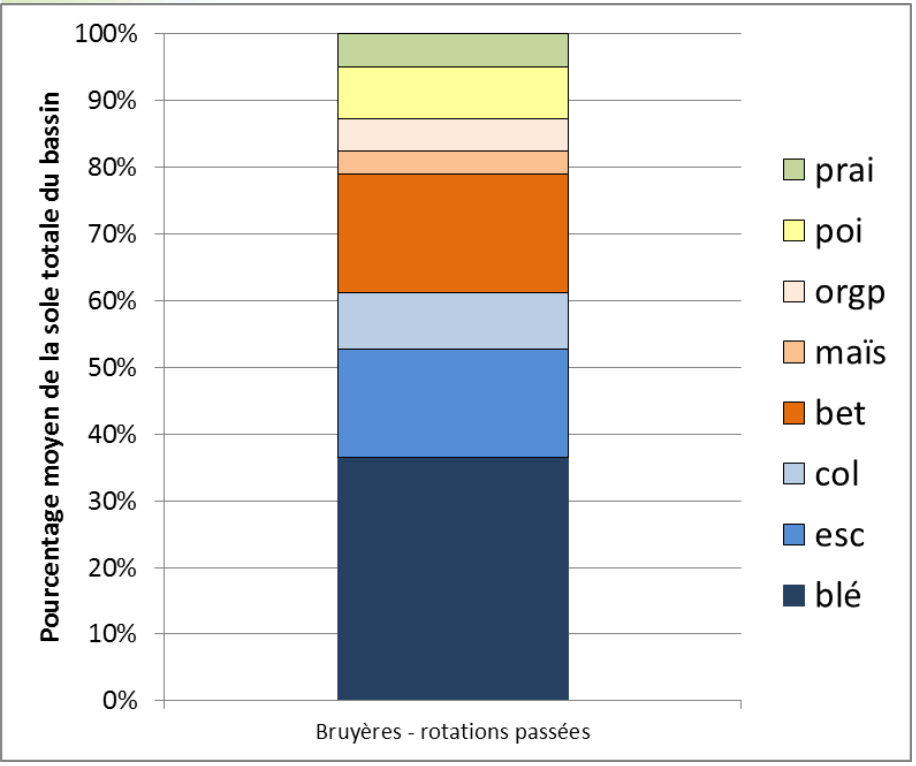
LES SCÉNARII…

…tactiques

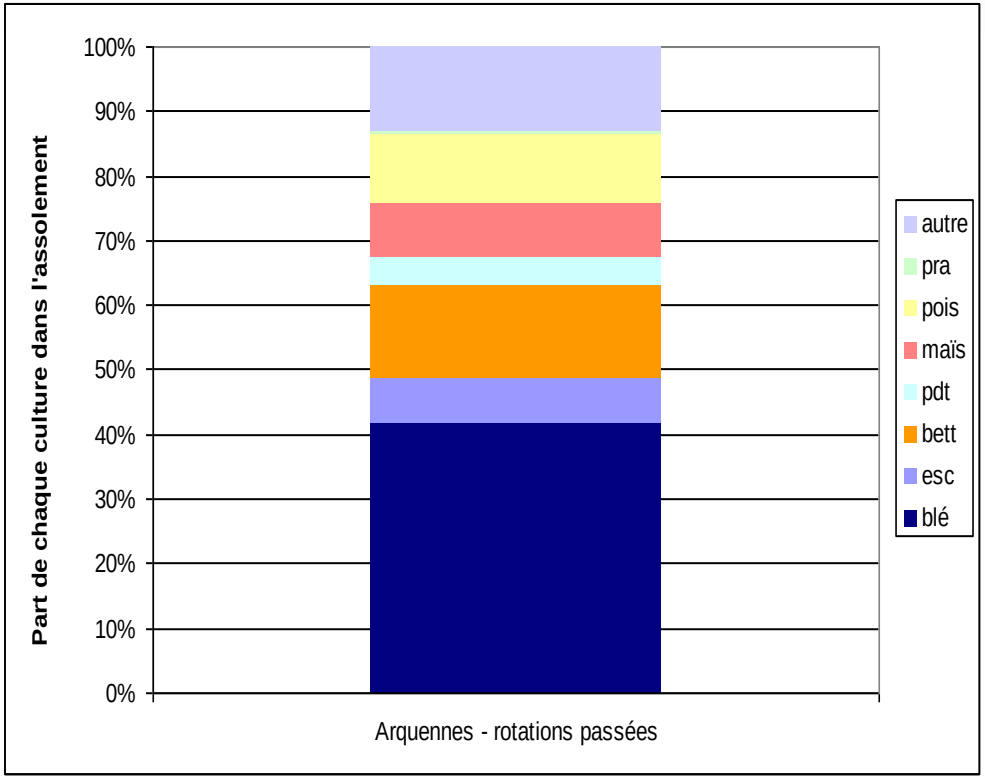
SCÉNARII TACTIQUES - ROTATIONS

- Les rotations passées sont conservées sur la période de simulation future.

Bruyères



Arquennes



SCÉNARII TACTIQUES - ITK

- Opérations culturales et dates de réalisation spécifiques de la culture et de l'agriculteur
- Déterminées à partir des observations passées
- Opérations culturales conservées si > 50%
- Dates de réalisation des opérations culturales = médiane des dates passées par couple culture-agriculteur
- Pailles restituées au sol à Bruyères et exportées à Arquennes

CONTENU DES SCÉNARII TACTIQUES

Scénarii	Rotations	CIPAN	Fertilisation azotée minérale	
			Doses	Échelle
Sco	Passées	NON	Fixes	Culture
[illegible]	Passées	**OUI***	Fixes	Culture

Pratiques agricoles avant BPA

CIPAN

*À Arquennes, Scénario 1a sans CIPAN et Scénario 1b avec CIPAN

CONTENU DES SCÉNARII TACTIQUES

Doses d'azote minéral apporté par culture (kgN/ha)	**Bruyères**	**Arquennes**	
	Sc0 et 1	Sc0	Sc1
Blé tendre	200	170	152
Escourgeon	160	143	143
Betterave	160	147	129
Maïs	155	137	132
Pomme de terre	/	150	150
Orge de printemps	150	/	/
Colza	220	/	/

CONTENU DES SCÉNARII TACTIQUES

Scénarii	Rotations	CIPAN	Fertilisation azotée minérale	
			Doses	Échelle
Sco	Passées	NON	Fixes	Culture
Sc1	Passées	**OUI**	Fixes	Culture
Sc2	Passées	OUI	**AzoFert®**	Parcelle
Sc3 Bruy	Passées	OUI	AzoFert®	**Sol intra-parcellaire**
Sc3 Arq	PdT+++ / Bet---	OUI	AzoFert®	**Parcelle**

Évolution possible par rapport à l'existant

LES SCÉNARII…

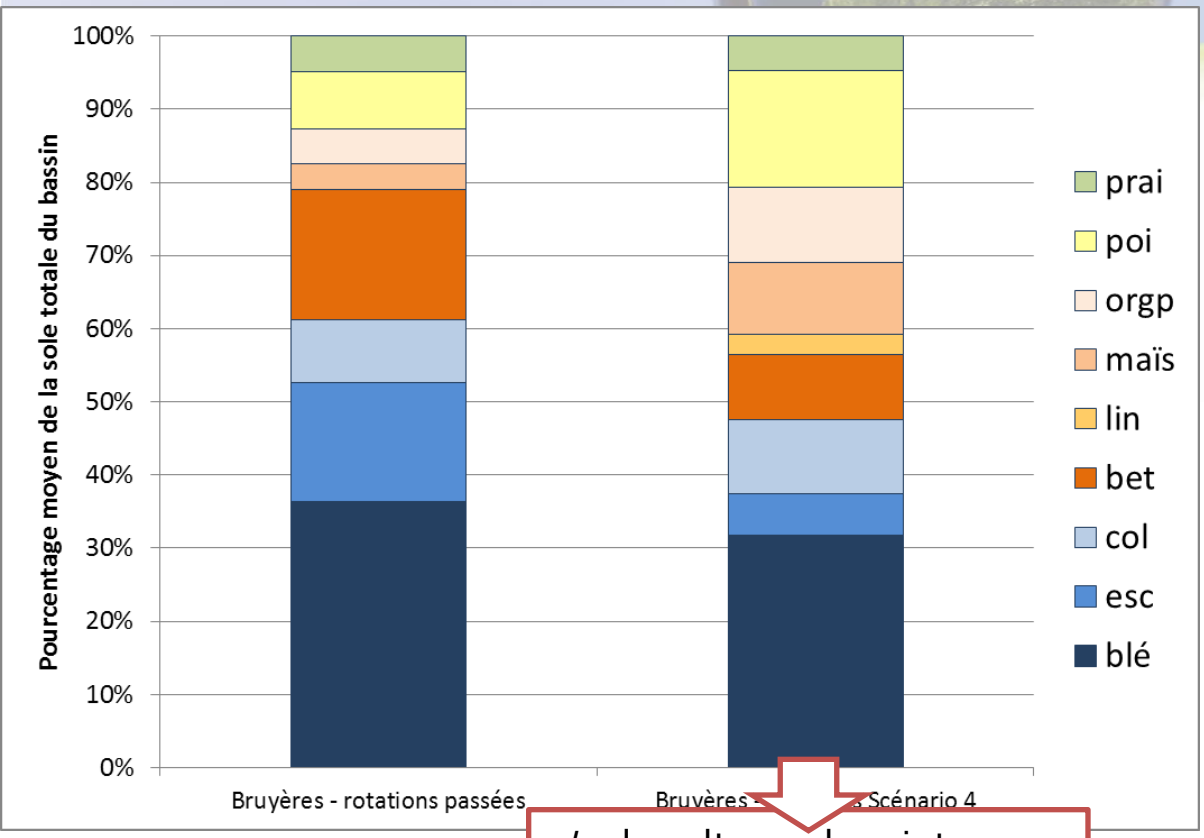
…stratégiques

CONTENU DES SCÉNARII STRATÉGIQUES

Scénarii	Rotations	CIPAN	Fertilisation azotée minérale	
			Doses	Échelle
Sc0	Passées	NON	Fixes	Culture
Sc1	Passées	**OUI**	Fixes	Culture
Sc2	Passées	OUI	**AzoFert®**	Parcelle
Sc3	Passées	OUI	AzoFert®	**Sol intra-parcellaire**
Sc4	**Nouvelles**	OUI	AzoFert®	Parcelle

Réduction d'intrants → Scénario unique à Bruyères

SCÉNARII STRATÉGIQUES - ROTATIONS



1/2 de cultures de printemps
CIPAN tous les 1 à 2 ans

Rotations

- Vesce en CIPAN pendant certaines intercultures
- CIPAN pendant certaines intercultures courtes (légumineuses-blé tendre)
- Pailles enfouies

ITK

- Construction des itinéraires techniques pour limiter le recours aux herbicides avec outil OdERA-Systèmes.

CONTENU DES SCÉNARII STRATÉGIQUES

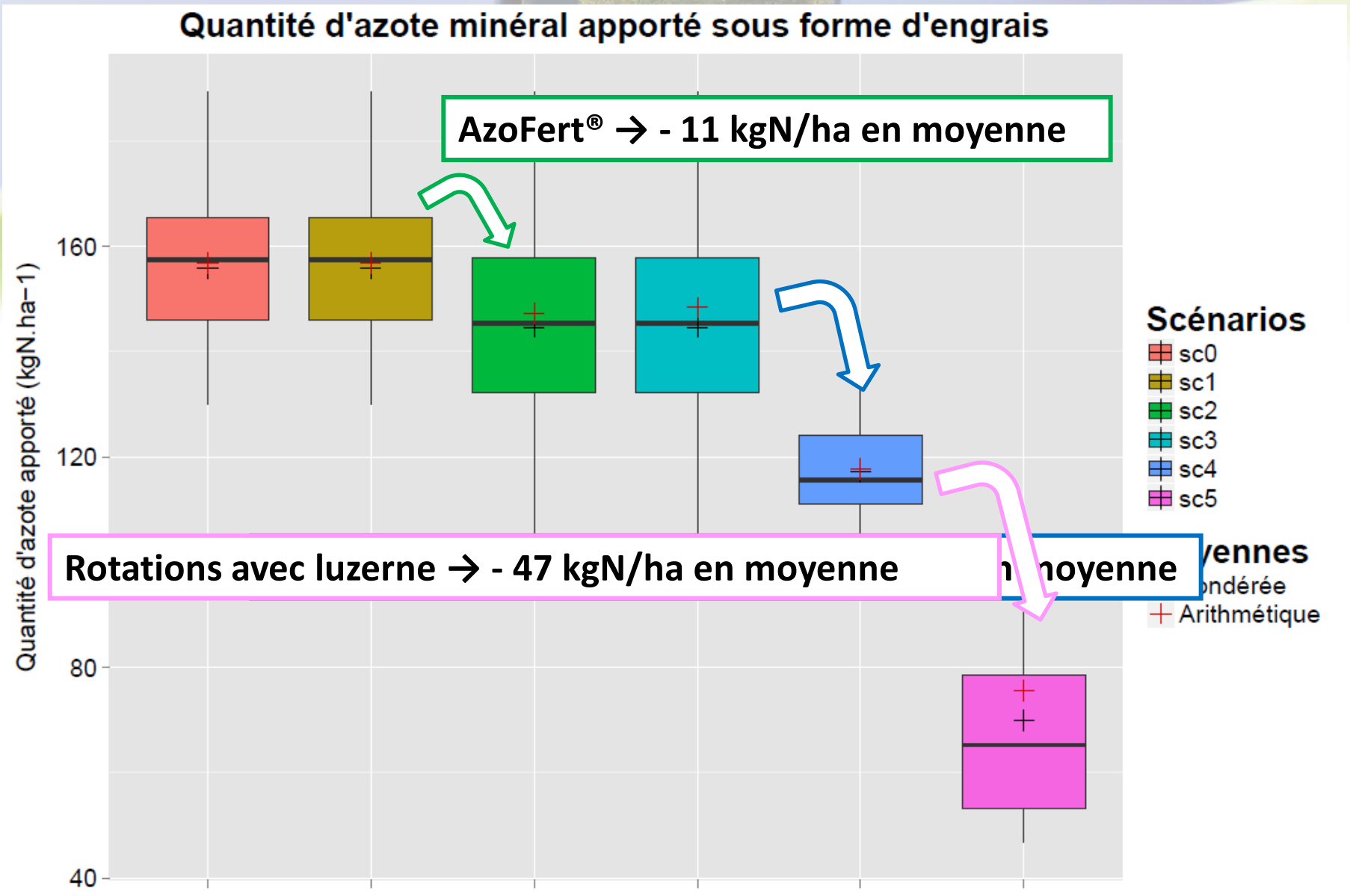
Scénarii	Rotations	CIPAN	Fertilisation azotée minérale	
			Doses	Échelle
Sc0	Passées	NON	Fixes	Culture
Sc1	Passées	**OUI**	Fixes	Culture
Sc2	Passées	OUI	**AzoFert®**	Parcelle
Sc3	Passées	OUI	AzoFert®	**Sol intra-parcellaire**
Sc4	**Nouvelles**	OUI	AzoFert®	Parcelle
Sc5	**Nouvelles**	OUI	AzoFert®	Parcelle

Gestion territoriale à des fins de qualité de l'eau

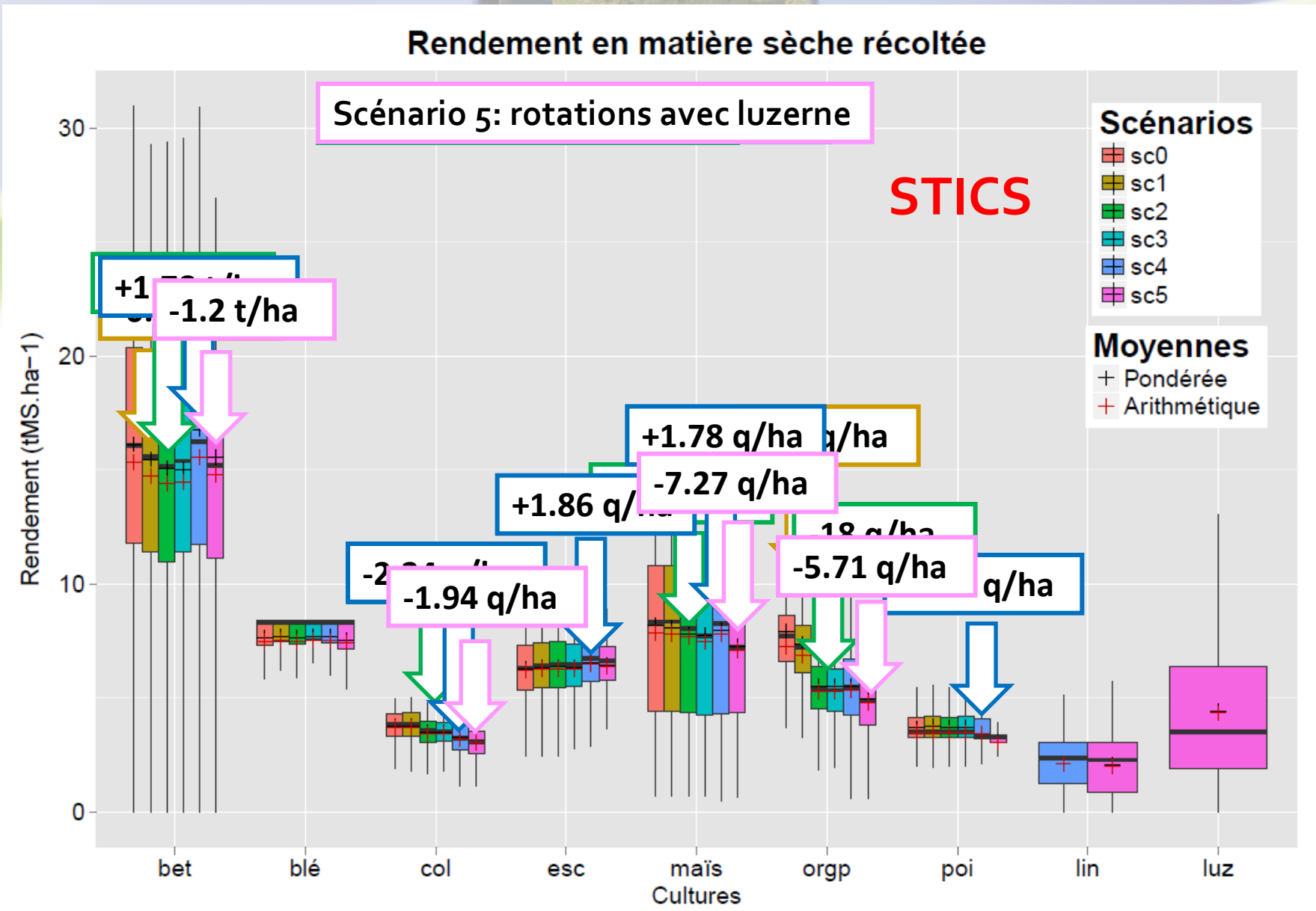
Arquennes:
+ parcelles contribuant le plus à la pollution nitrique = prairie permanente

RÉSULTATS

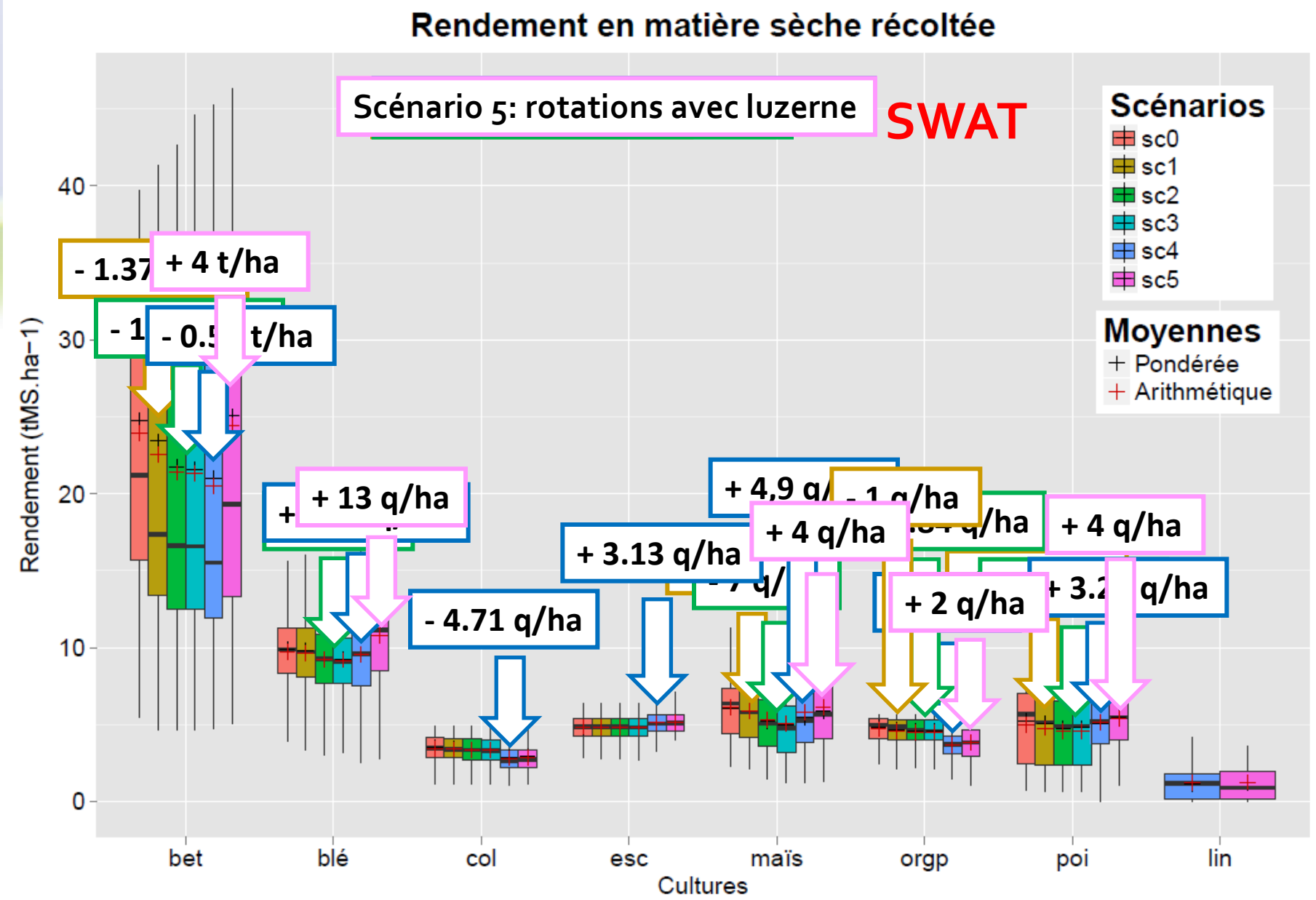
BRUYERES: AZOTE MINÉRAL APPORTÉ



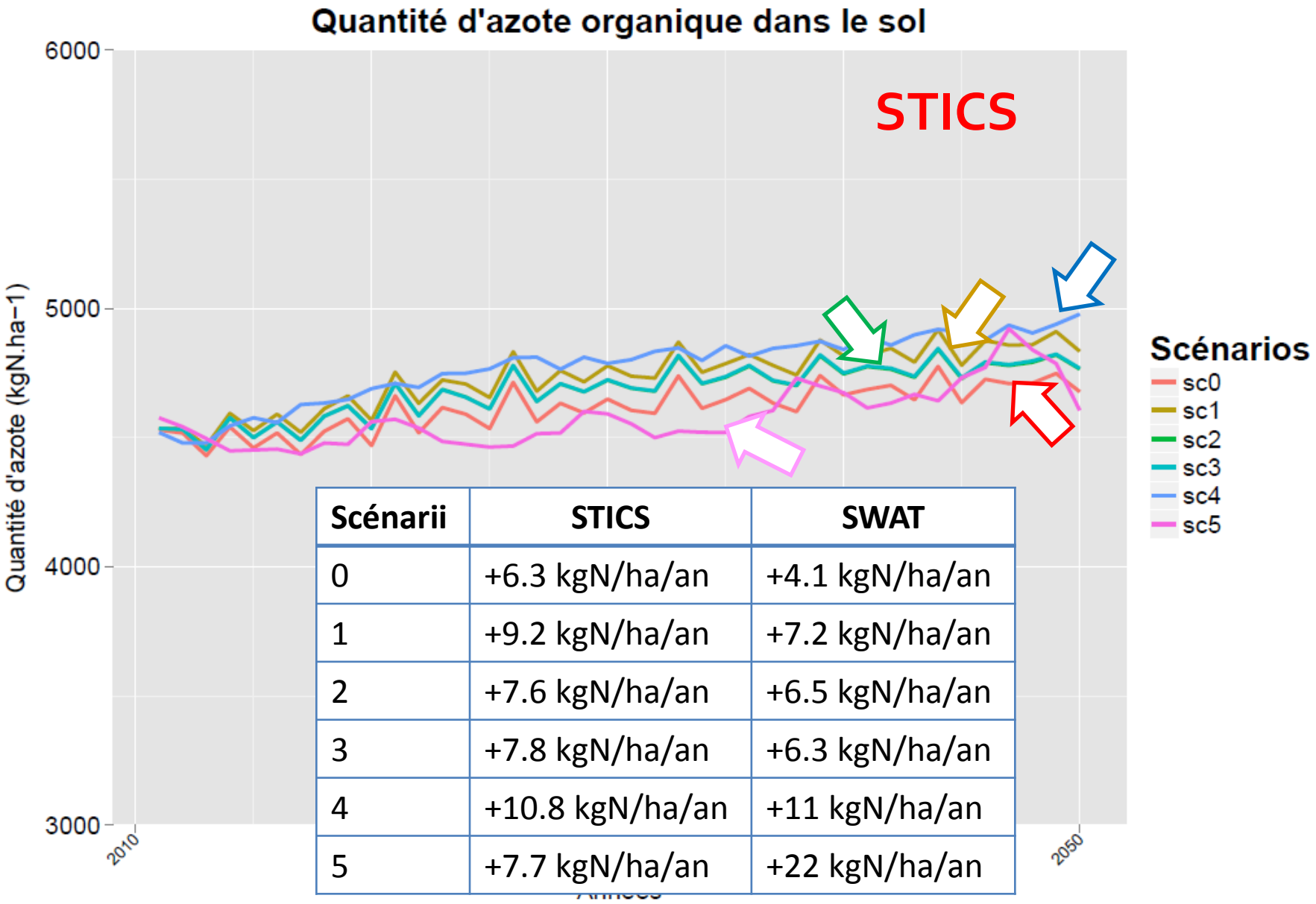
BRUYERES: RENDEMENTS



BRUYERES: RENDEMENTS

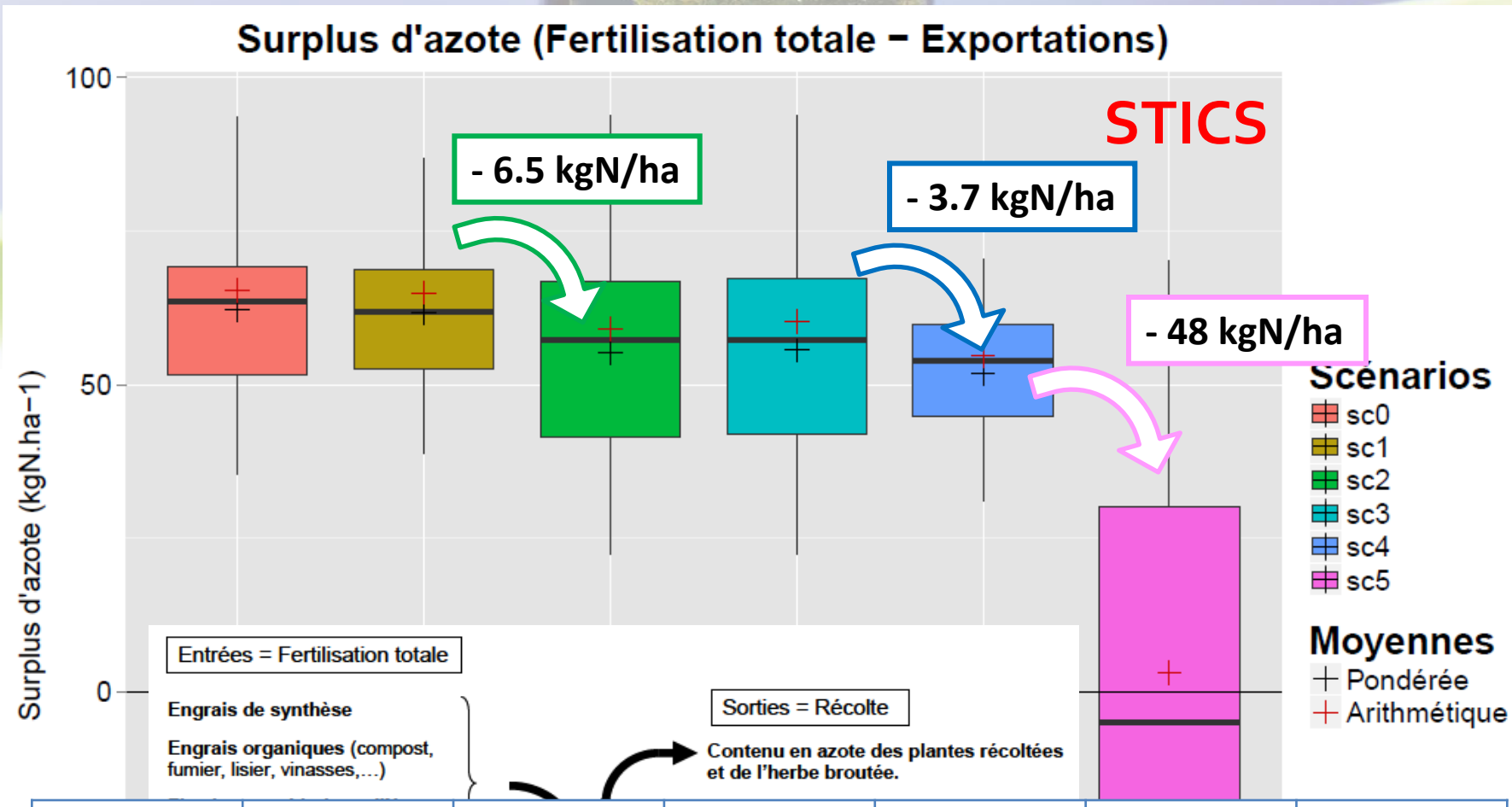


BRUYERES: AZOTE ORGANIQUE



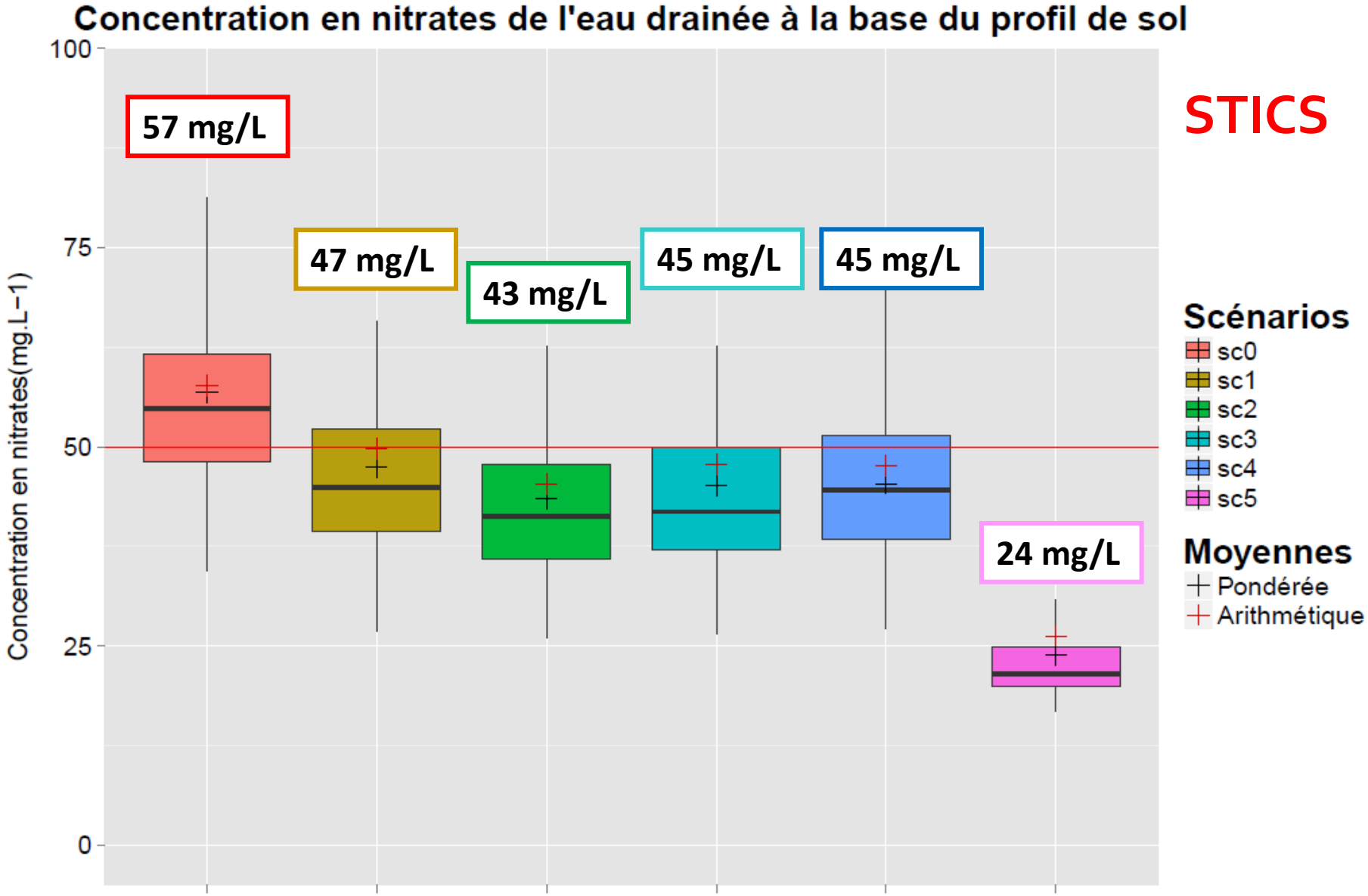
Scénarii	STICS	SWAT
0	+6.3 kgN/ha/an	+4.1 kgN/ha/an
1	+9.2 kgN/ha/an	+7.2 kgN/ha/an
2	+7.6 kgN/ha/an	+6.5 kgN/ha/an
3	+7.8 kgN/ha/an	+6.3 kgN/ha/an
4	+10.8 kgN/ha/an	+11 kgN/ha/an
5	+7.7 kgN/ha/an	+22 kgN/ha/an

BRUYERES: SURPLUS D'AZOTE

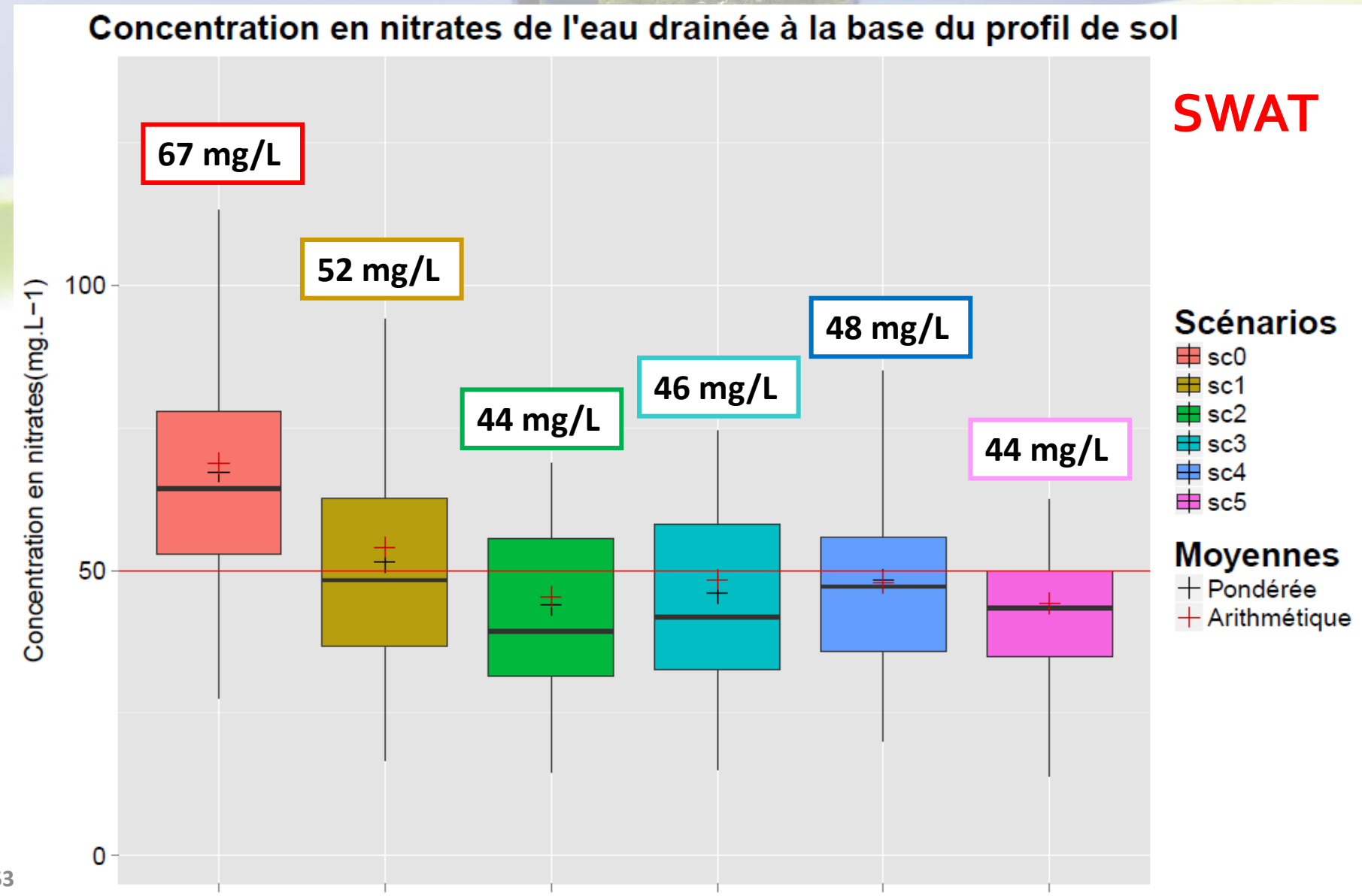


kgN/ha	sc0	sc1	sc2	sc3	sc4	sc5
STICS	62	62	55	56	52	3
SWAT	68	64	59	60	61	37

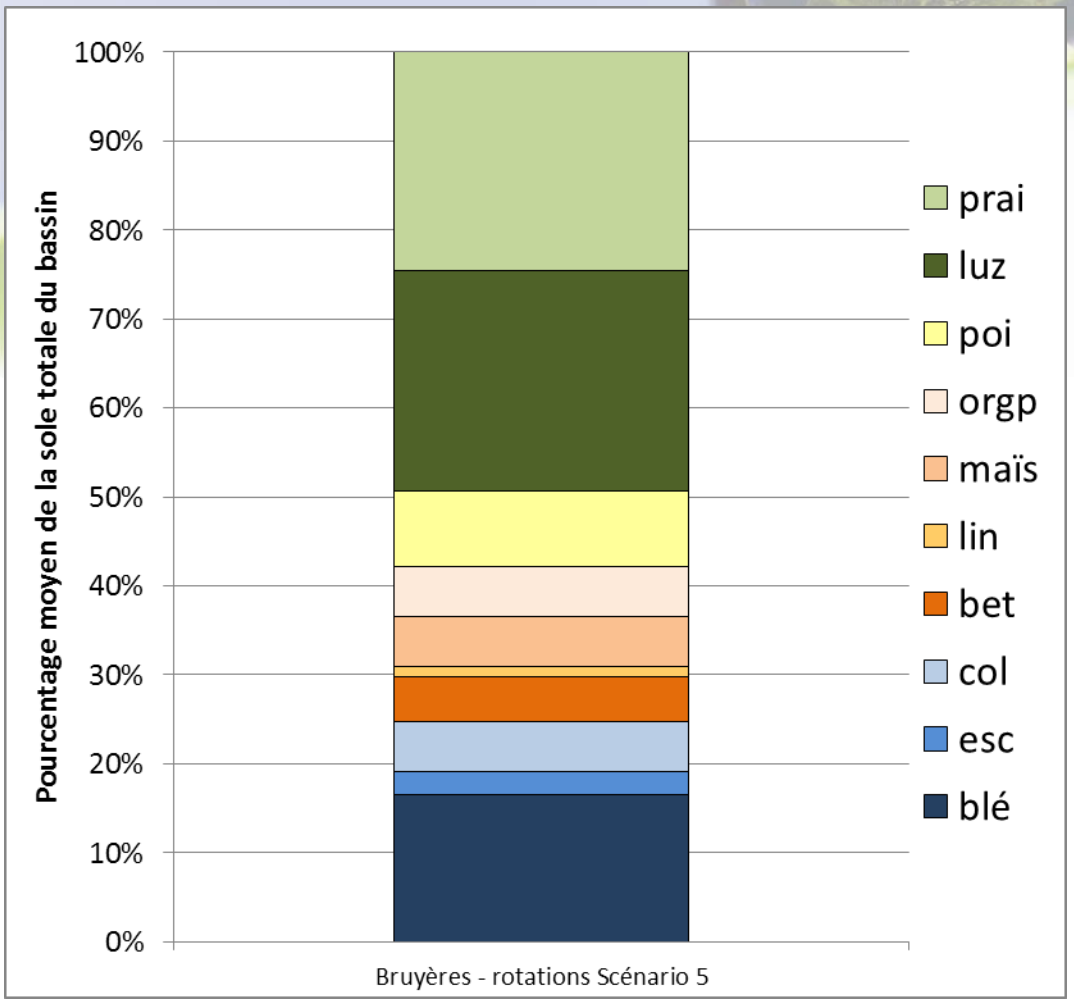
BRUYERES: CONCENTRATIONS NITRIQUES



BRUYERES: CONCENTRATIONS NITRIQUES



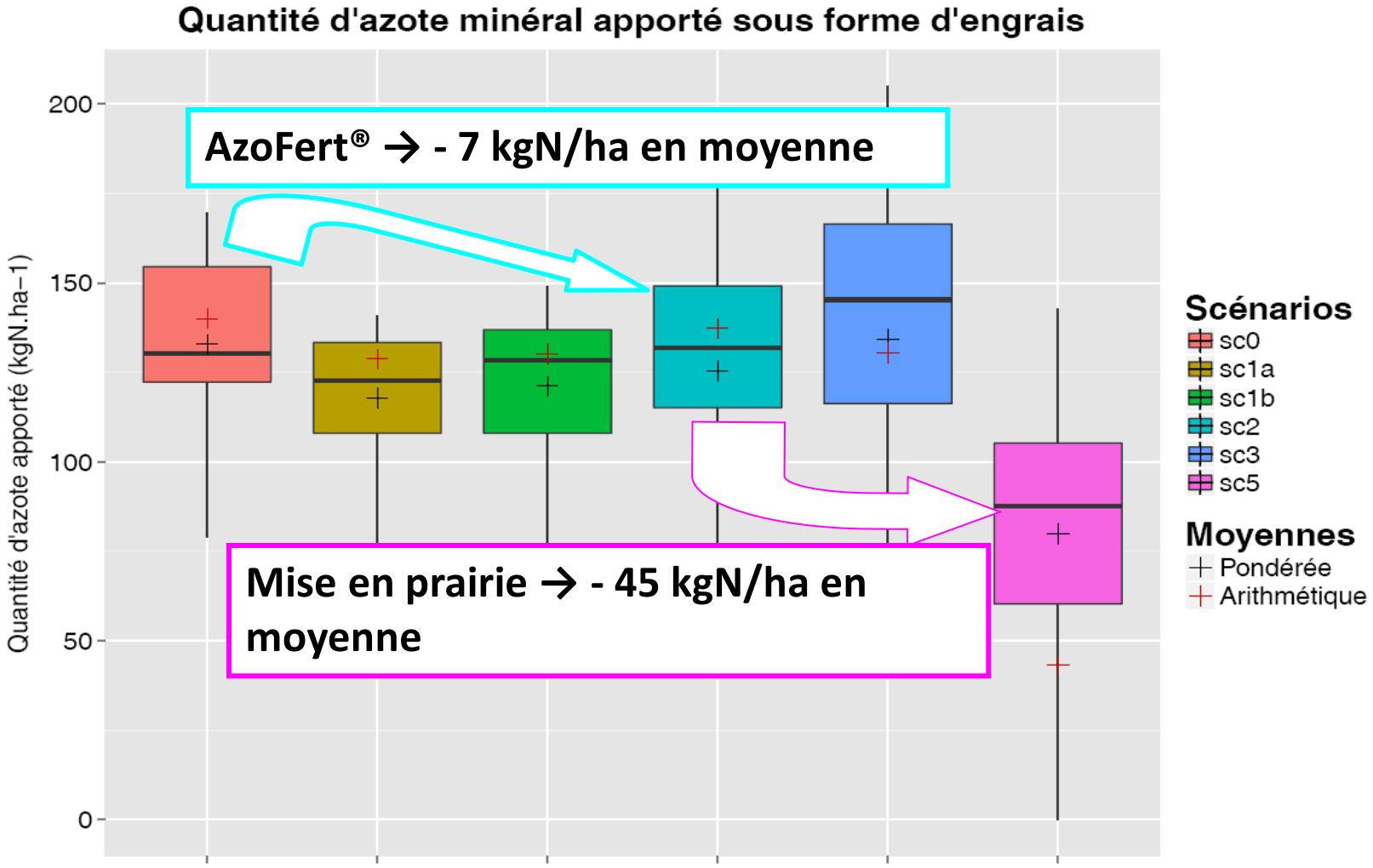
OCCUPATION DU SOL – SCÉNARIO 5



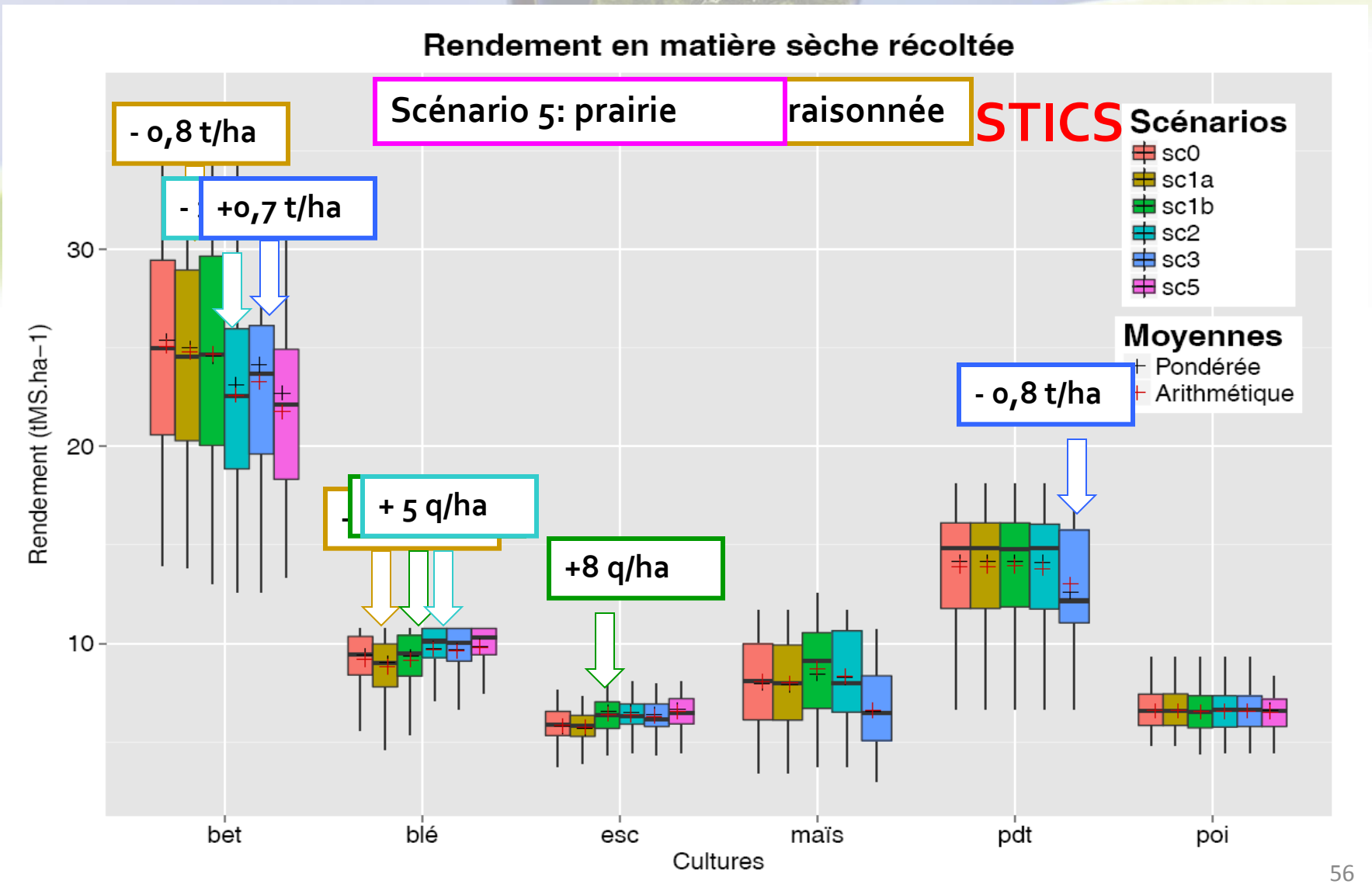
- STICS: 24 mgNO_3^-/L
- Scénario 5:
  - ¼ de jachère
  - ¼ de luzerne
  - ¼ de cultures d'hiver
  - ¼ de cultures de printemps

SWAT: 44 mg/L → Stock d'N organique trop élevé, pas assez d'exportations d'N. Simulations de la luzerne peu concluantes.

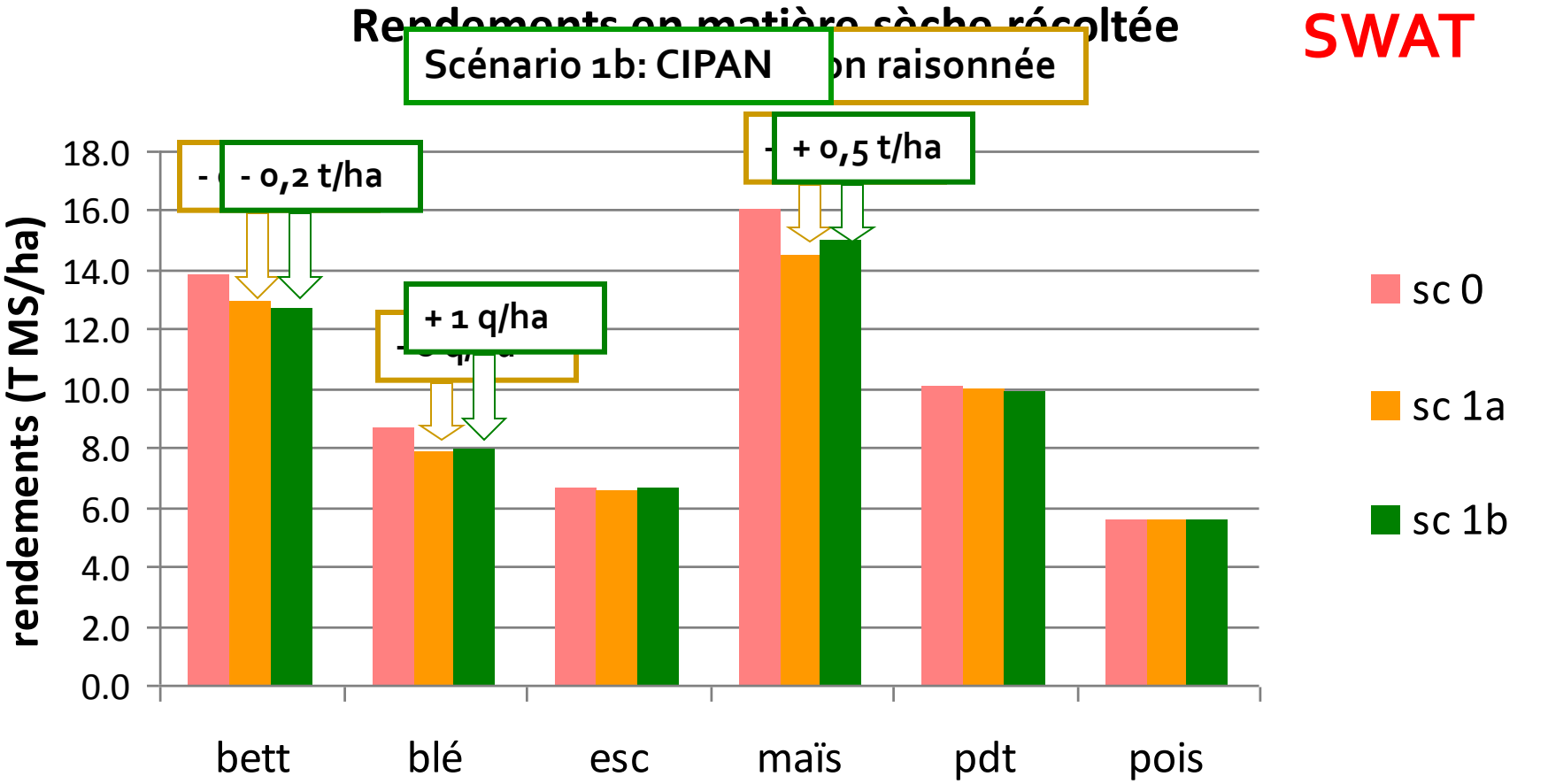
ARQUENNES: AZOTE MINÉRAL APPORTÉ



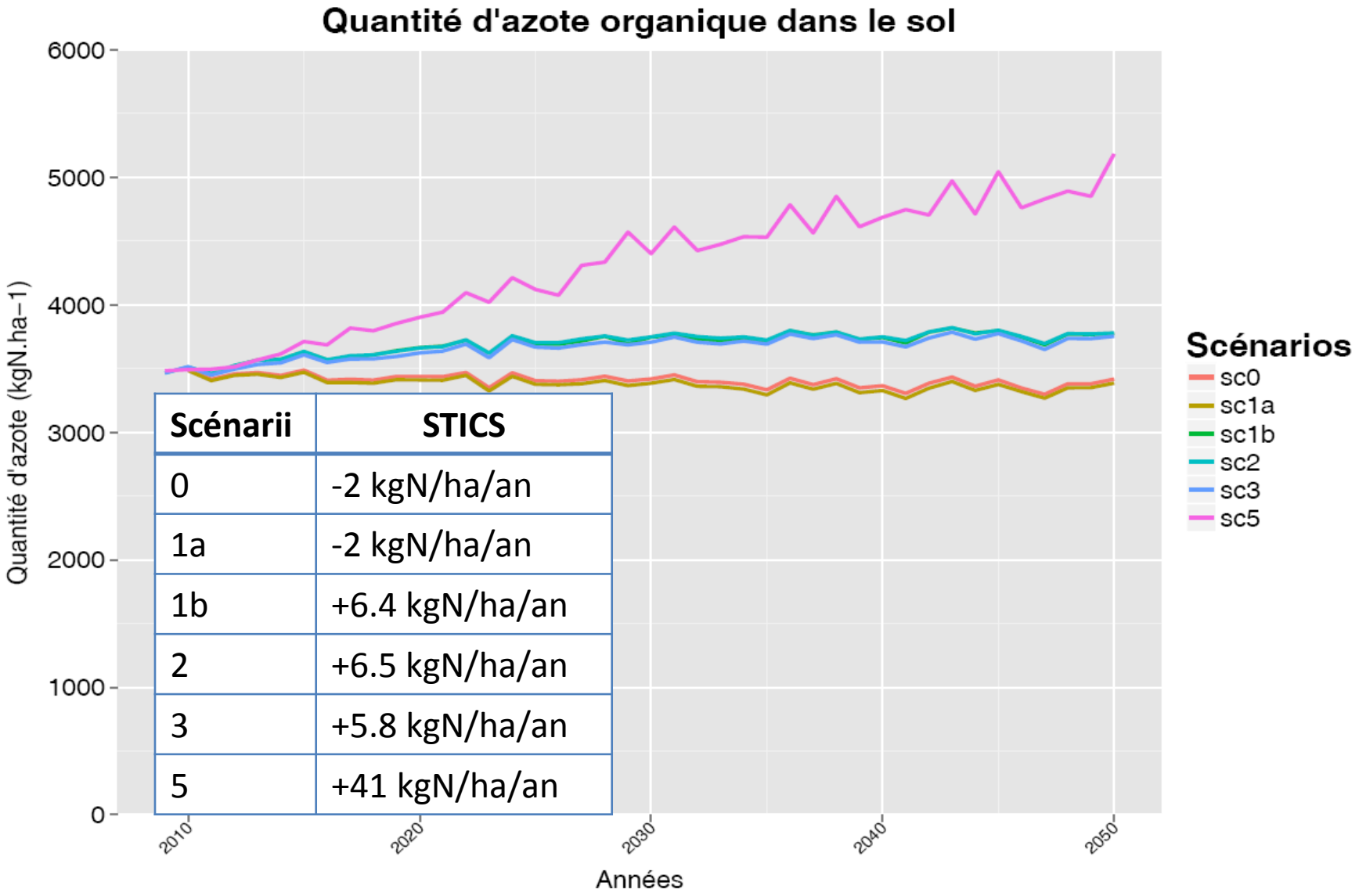
ARQUENNES: RENDEMENTS



ARQUENNES: RENDEMENTS

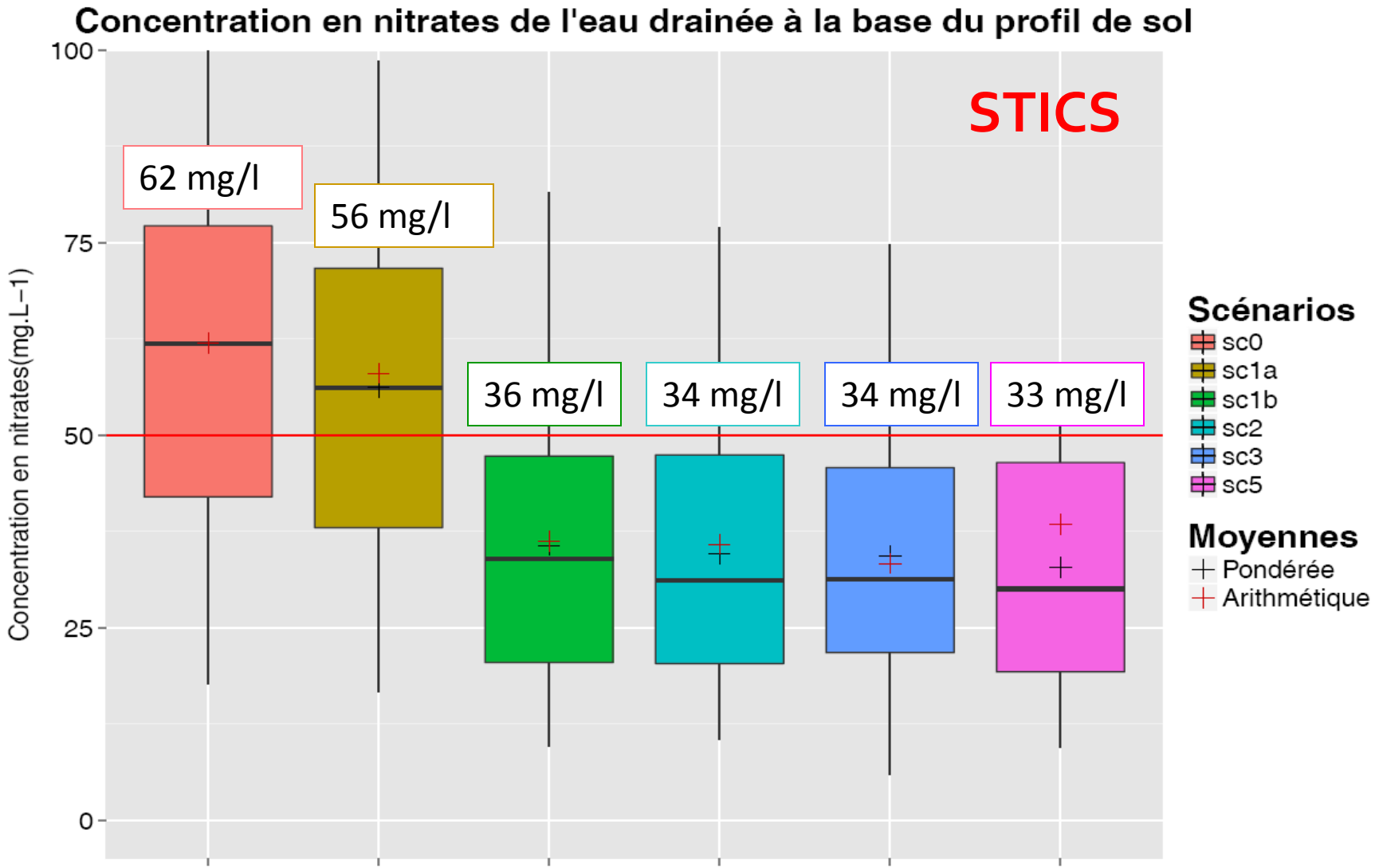


ARQUENNES: AZOTE ORGANIQUE

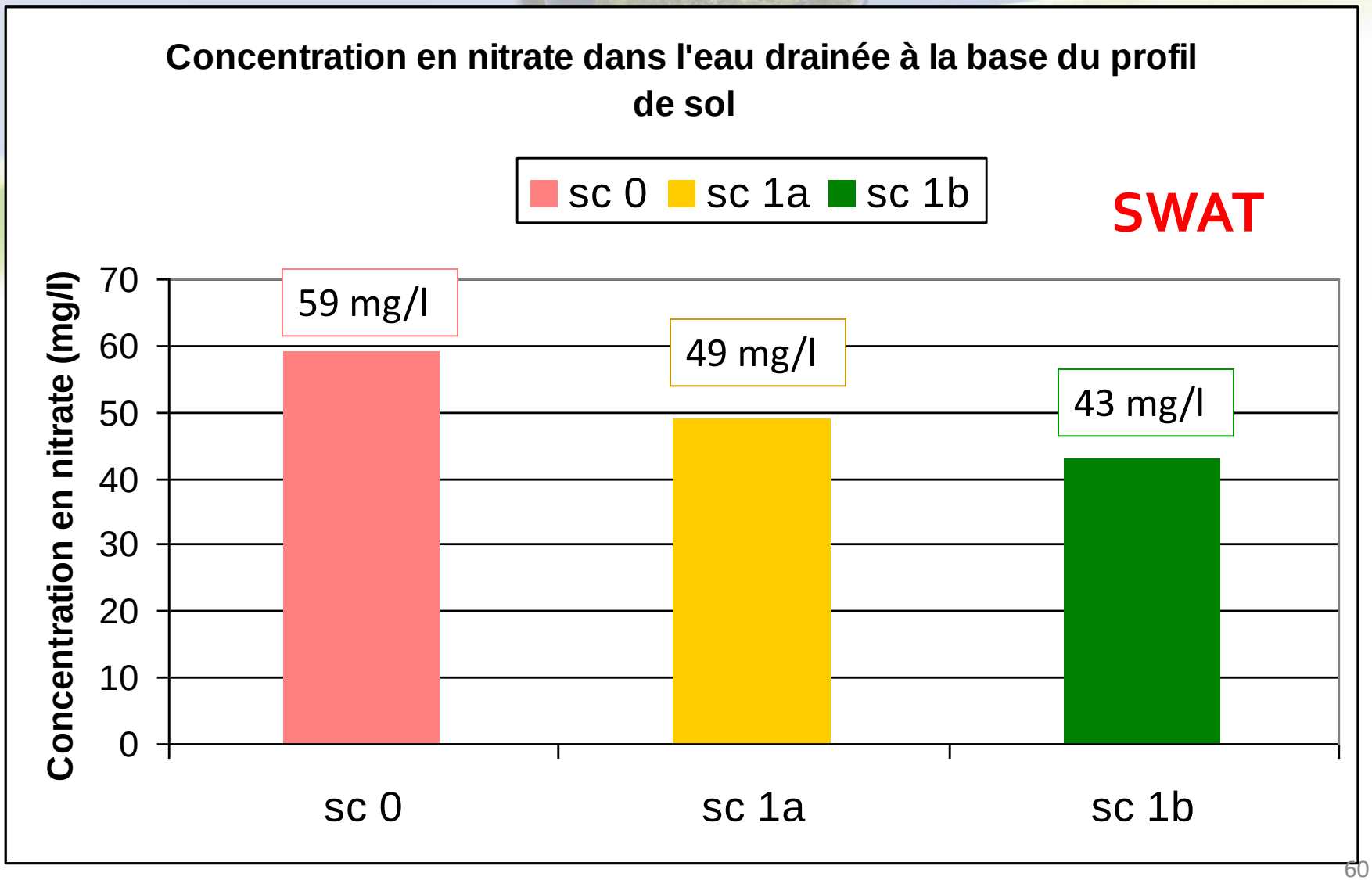


Scénarii	STICS
0	-2 kgN/ha/an
1a	-2 kgN/ha/an
1b	+6.4 kgN/ha/an
2	+6.5 kgN/ha/an
3	+5.8 kgN/ha/an
5	+41 kgN/ha/an

ARQUENNES: CONCENTRATIONS NITRIQUES



ARQUENNES: CONCENTRATIONS NITRIQUES



CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

CONCLUSIONS

À Bruyères:

- CIPAN en interculture longue :
  - < 50 mgNO_3^-/L avec STICS (moyenne) et SWAT (médiane).
  - Diminution possible des rendements des cultures de printemps
  - Diminution du drainage très faible (5 mm).
- Utilisation d'AzoFert®:
  - Diminution de la dose d'N apporté de 11 kgN/ha en moyenne
  - Diminution du surplus d'N de 7 kgN/ha avec STICS et 4 kgN/ha avec SWAT.
  - Baisse globale des rendements (STICS et SWAT).
  - Concentration en nitrate = 43-44 mg/L (STICS et SWAT).
- Modulation intra-parcellaire de la dose d'azote = raisonnement à l'échelle de la parcelle (STICS et SWAT).

CONCLUSIONS

- Rotations avec + de légumineuses:
  - Diminution de la dose d'N apporté de 28 kgN/ha.
  - Diminution du surplus de 4 kgN/ha avec STICS mais augmentation de 2 kgN/ha avec SWAT.
  - Augmentation du stock d'N org > aux autres scénarii→ risque de lixiviation.
  - Augmentation des rendements pour certaines cultures- escourgeon, maïs (STICS et SWAT).
  - Pas de diminution des concentrations en nitrate (45mg/L avec STICS et 48mg/L avec SWAT). On change la provenance de l'azote.

CONCLUSIONS

À Arquennes:

- (sc 1a) Raisonnement de la fertilisation (>< sc 0) :
  - Baisse de la concentration moyenne en nitrate de 10 mg/l (SWAT) et de 6 mg/l (STICS)
  - Diminution modérée des rendements
- (sc 1b) CIPAN en interculture longue: (>< sc 1a)
  - Baisse de la concentration moyenne en nitrate de 6 mg/l (SWAT) et de 20 mg/l (STICS)
  - Impact trop important des CIPAN dans STICS
  - Gain possible des rendements en céréales
  - Reconstitution du stock d'N organique
- (sc2) Utilisation d'AzoFert® (><sc 1b):
  - Baisse de la concentration moyenne en nitrate de 2 mg/l
  - Baisse des rendements en betterave, gain en blé
  - Diminution de la dose d'N apporté de 7 kgN/ha en moyenne (><sc 0)
- (sc3) Remplacement de la betterave par la pomme de terre (STICS):
  - Peu d'impact (surestimation des reliquats azotés en betterave)
- (sc5) Mise en prairie d'une partie du bassin (STICS):
  - 38% de la superficie du bassin en prairie permanente -> ≈ 33 mg/l

CONCLUSIONS

- Il est possible d'atteindre la valeur guide de 25 mgNO_3^-/L mais gel d'1/4 du bassin + ¼ de luzerne (STICS) → scénario prospectif.
- AzoFert® est le bon outil pour une gestion annuelle de l'azote minéral à l'échelle de la parcelle.
- L'atteinte d'un objectif de bon état écologique des eaux demande une gestion de l'azote qui dépasse l'échelle parcellaire et annuelle.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Des scénarii à associer à:
  - un contexte de changement climatique qui impacte(ra) la production agricole. → Croisement avec des scénarii climatiques.
  - la volatilité des prix des produits agricoles. →Croisement avec des scénarii économiques. D'après Lacroix et al. (2004), il vaut mieux prévenir que guérir.
  - à la problématique phytosanitaire. → Évaluer les scénarii d'un point de vue phytosanitaire.

- L'atteinte du bon état écologique des eaux superficielles et souterraines nécessitera des changements importants des systèmes de production et des filières pour associer aux objectifs de production des objectifs environnementaux.

SUN

Sustainable Use of Nitrogen

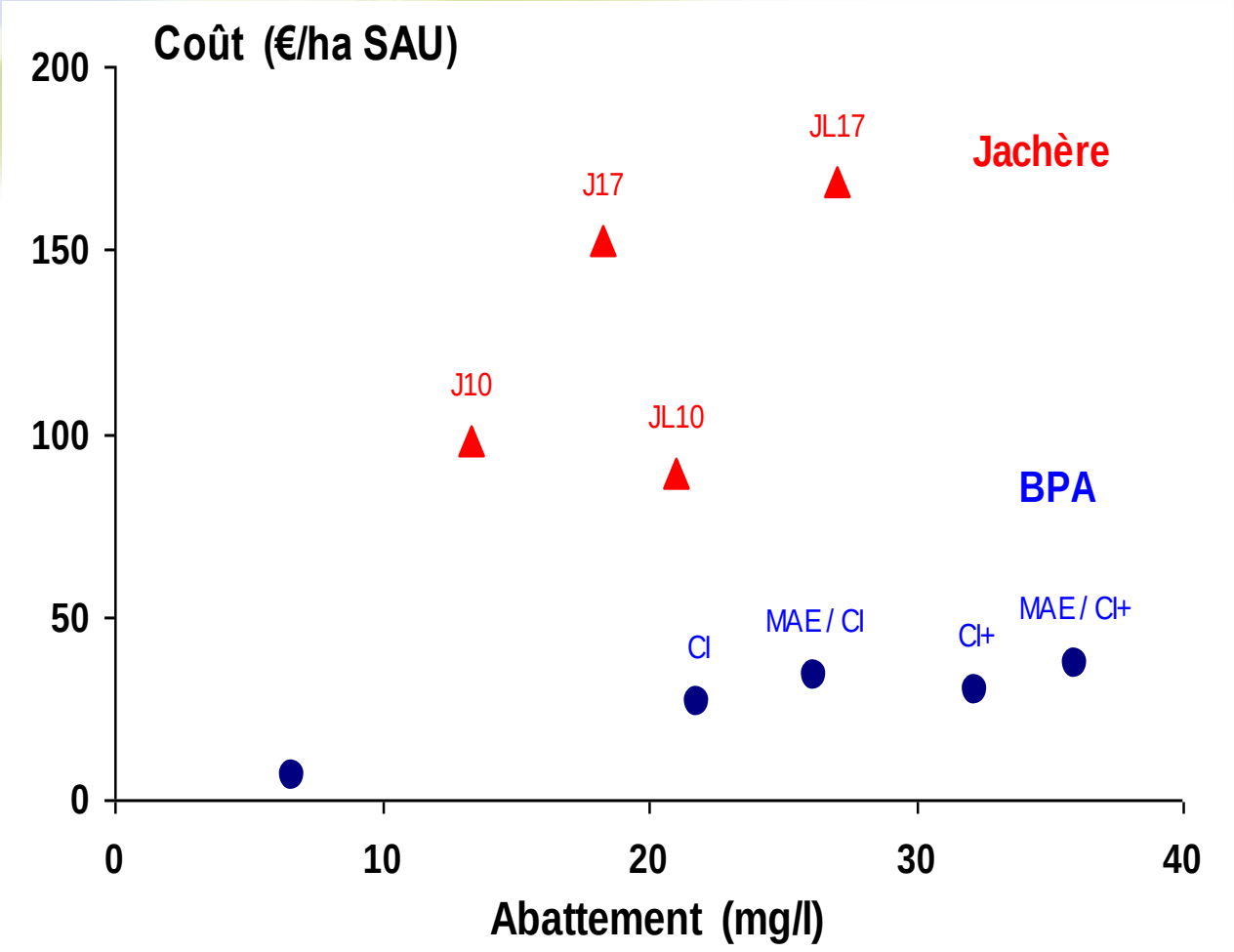
Utiliser l'azote de manière durable en agriculture et protéger l'eau

INTERREG IV France • Wallonie • Vlaanderen

MERCI DE VOTRE ÉCOUTE

Questions?

Bassin de Bruyères : coût de scénarios de prévention en fonction de la réduction de la teneur en NO3 de l'eau de drainage par rapport à la référence scénario conventionnel (Lacroix *et al.*, 2004)



Le coût de systématisation des BPA est de 0.07 €/m3 d'eau consommée et 0.02 €/m3 d'eau drainée.

Le rapport efficacité/coût des pratiques préventives 10 fois moindre que des curatives.

Avec modulation

Parcelle de 3 ha

Sol A	Sol B
2 ha	1 ha
100 kgN/ha	80 kgN/ha

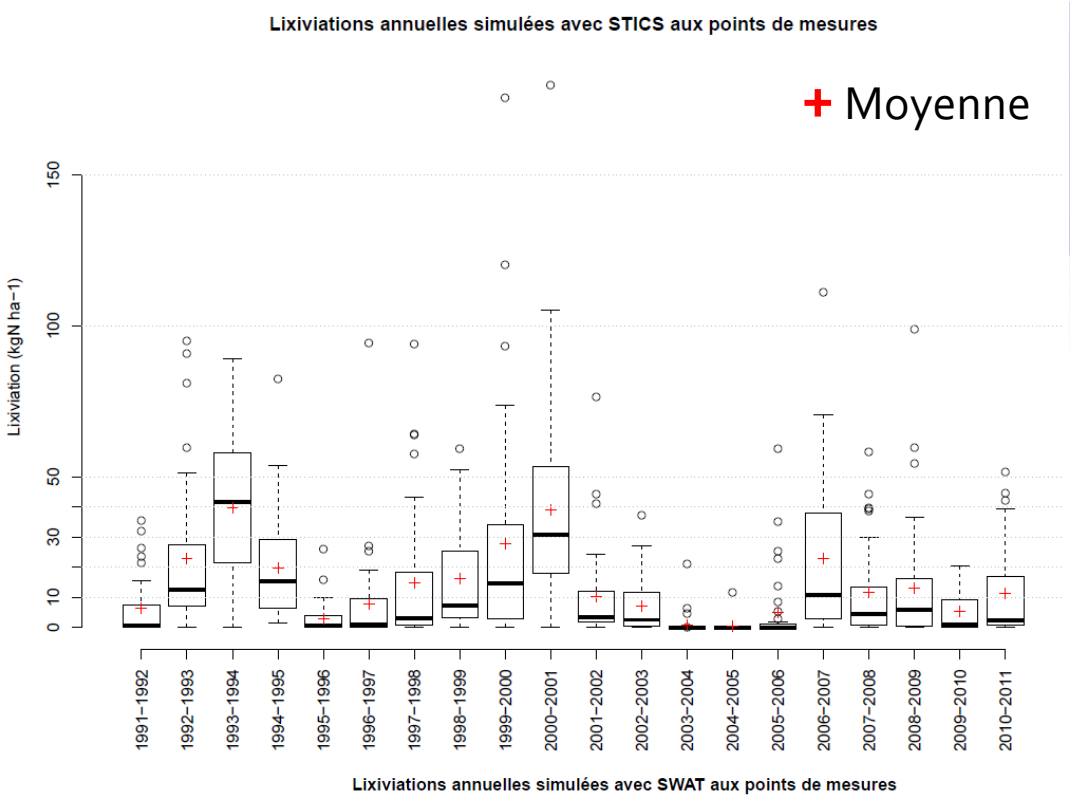
Sans modulation

Parcelle de 3 ha

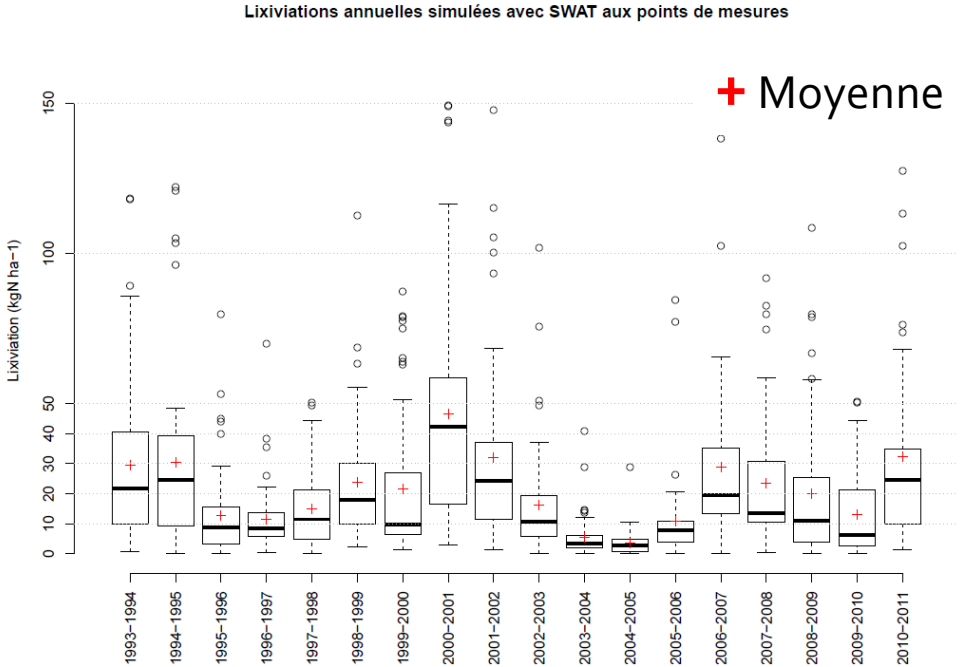
Sol A	Sol B
2 ha	1 ha
93 kgN/ha	93 kgN/ha

Dose = (100*2 + 80*1) /3

Lixiviation (kgN/ha)

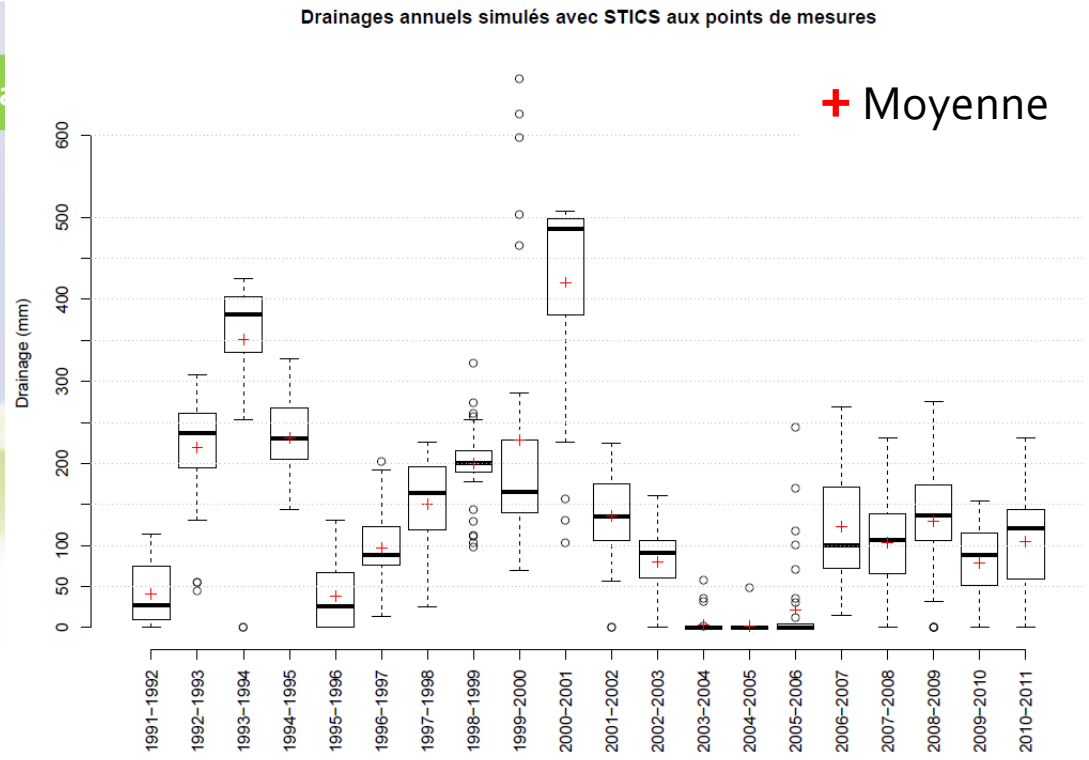


STICS

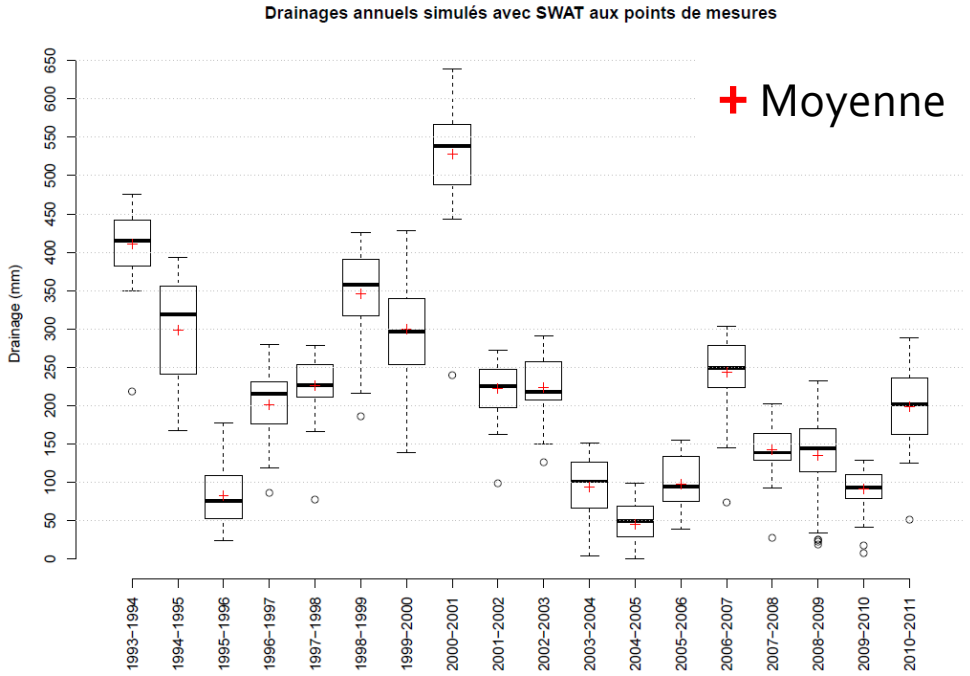


SWAT

Drainage (mm)

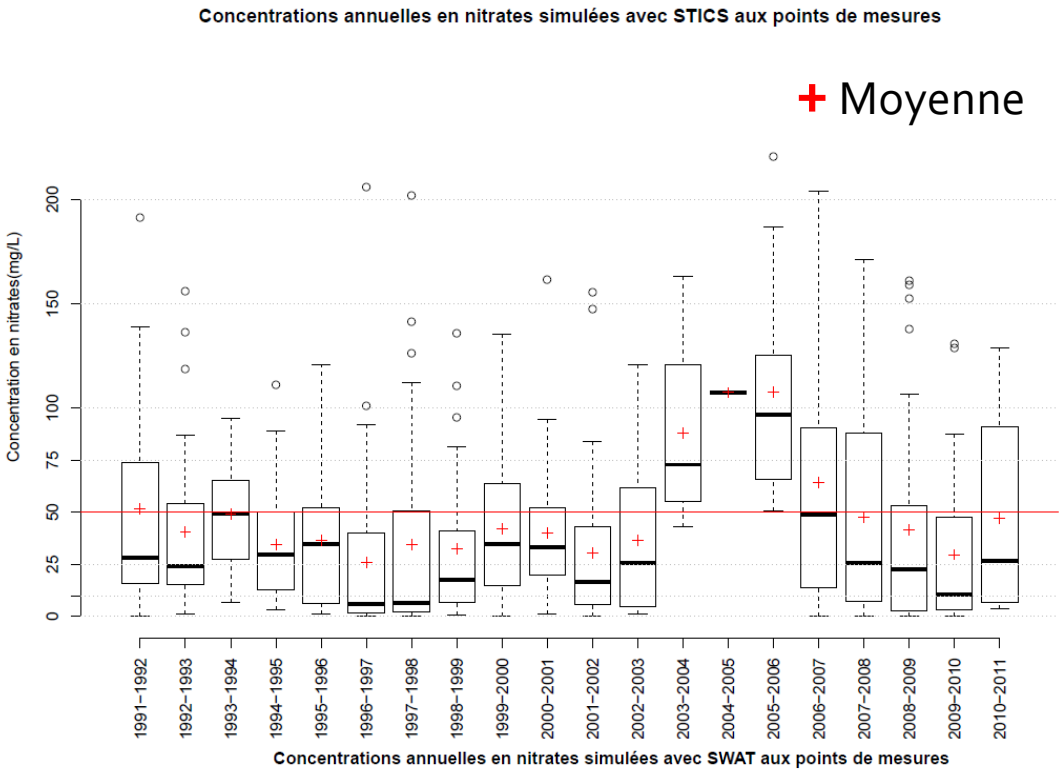


STICS



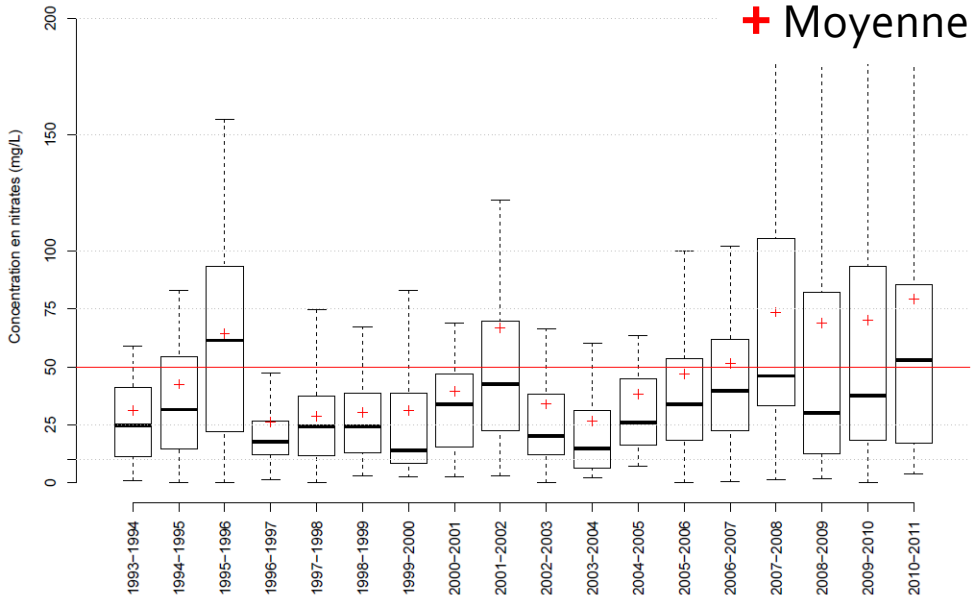
SWAT

Concentration nitrique (mg/L)



STICS

M=48,8 mg/L

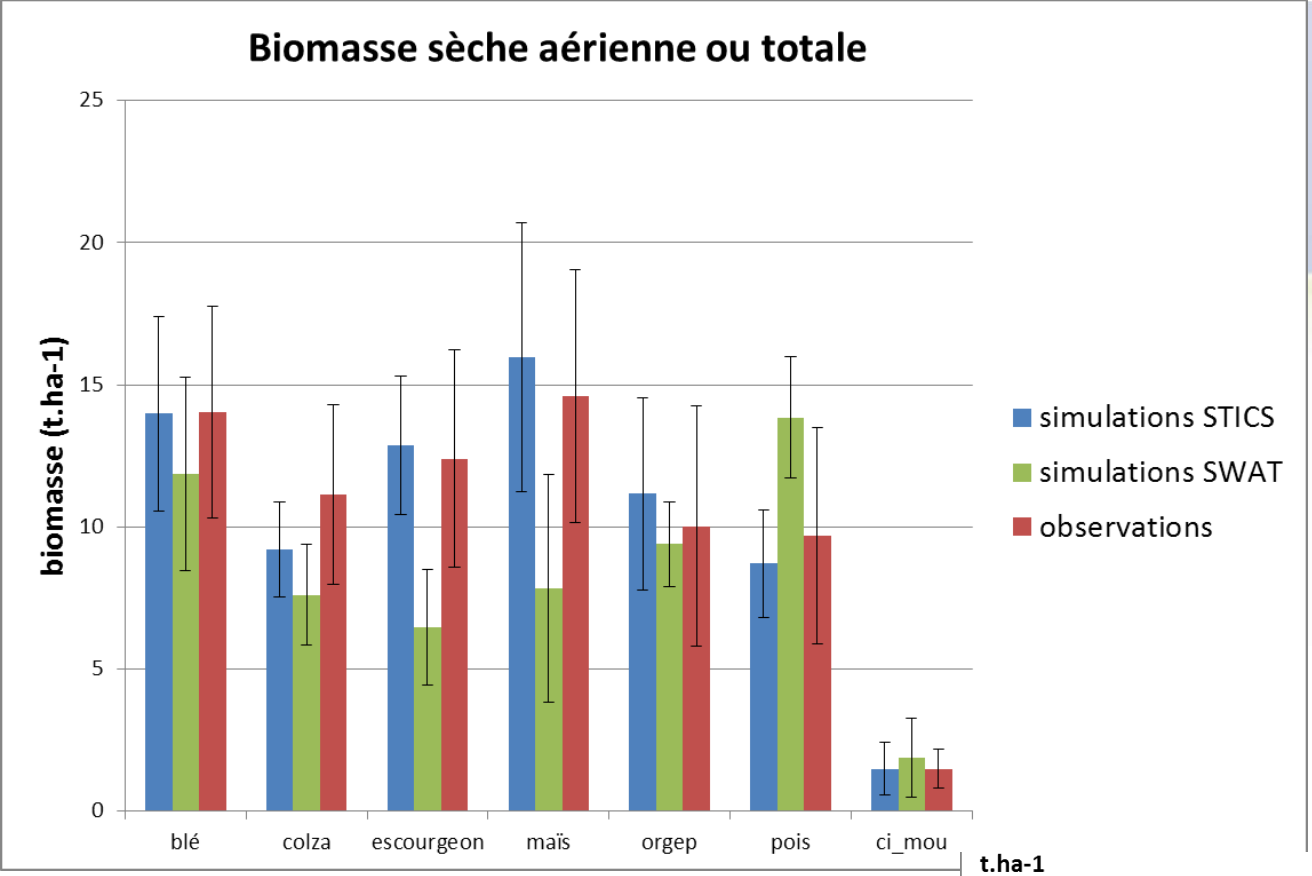


SWAT

M=47,3 mg/L

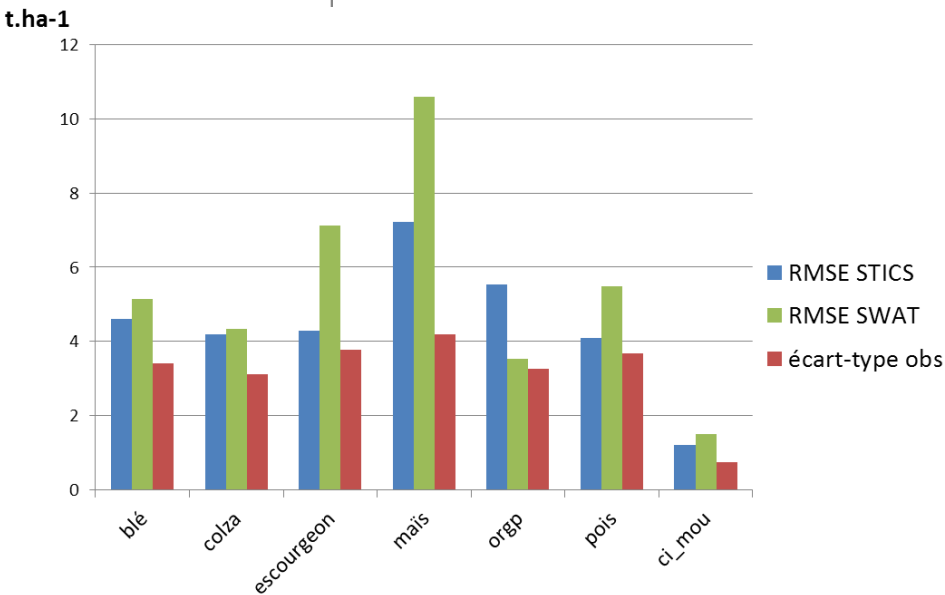
CONCLUSION

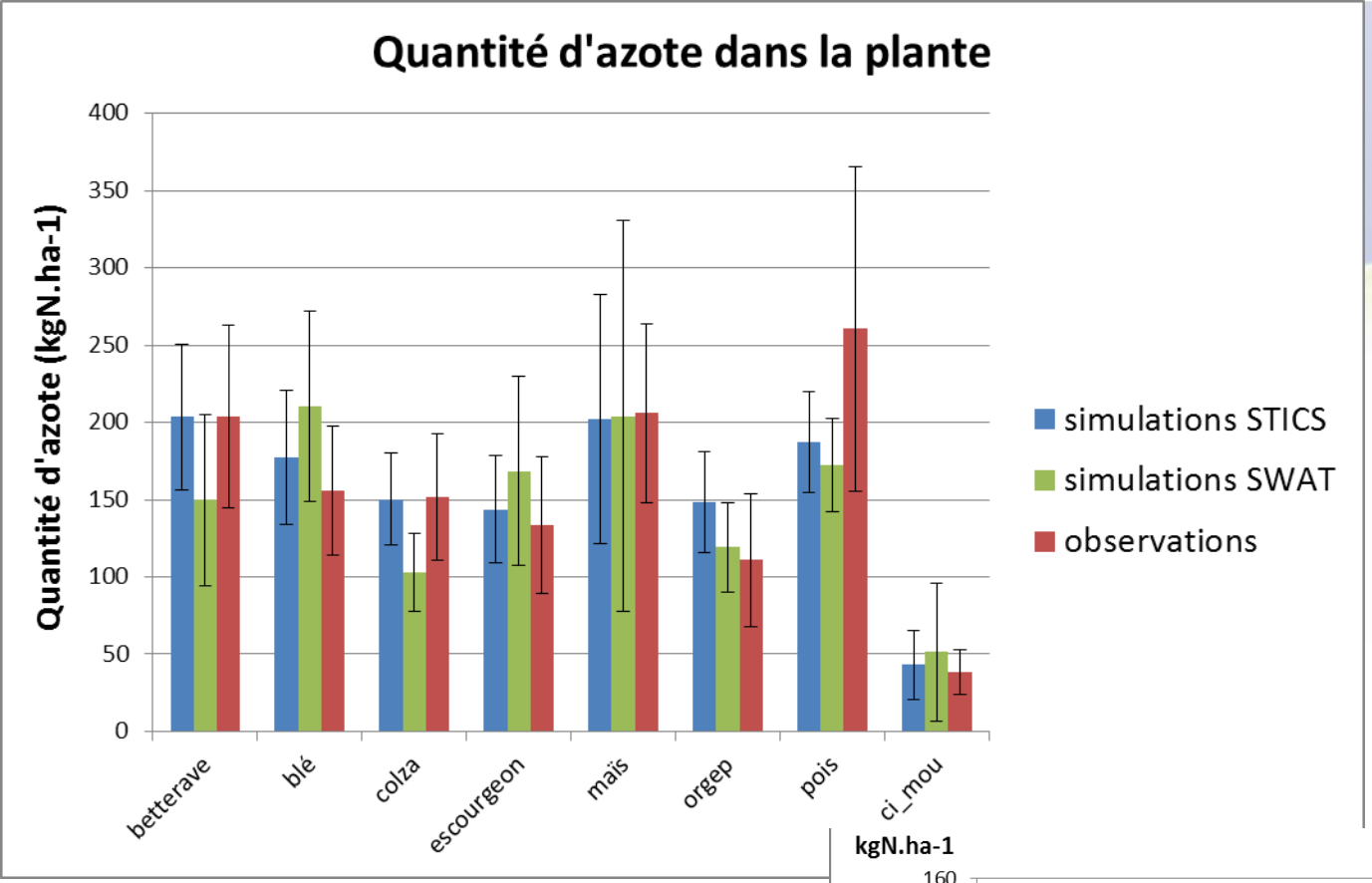
- Les prédictions de SWAT semblent moins bonnes que celles de STICS mais attention à la procédure de calibration.
- Drainages et lixiviations annuels SWAT>STICS mais [NO3-] moyenne équivalente
- Des performances imparfaites des deux modèles mais globalement satisfaisantes pour la simulation de scénarii.

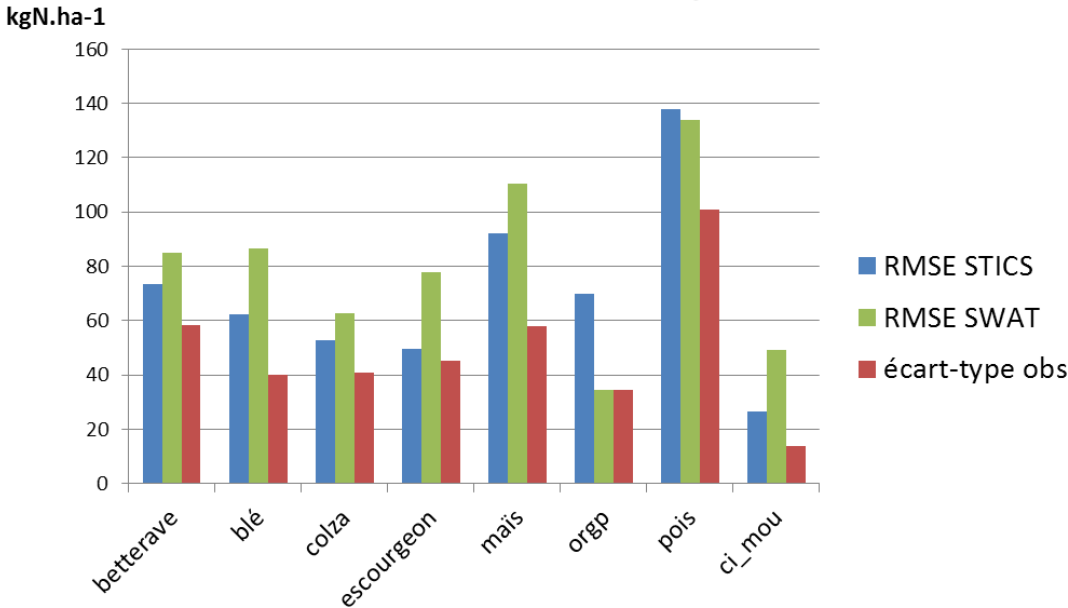


Bruyères

	n
blé	151
colza	25
escourgeon	66
maïs	8
orgp	22
pois	24
ci_mou	56





Bruyères

	n
betterave	50
blé	141
colza	25
escourgeon	73
maïs	4
orgp	21
pois	22
ci_mou	49