

Modélisation des pollutions d'origine agricole à l'échelle de bassins versants, l'exemple de l'Oudon

François Laurent

Université du Maine, UMR ESO – Le Mans



Plan

- Processus socio-territoriaux de réduction des pollutions agricoles
- Contexte des pollutions agricoles sur le bassin de l'Oudon
- Modélisation des impacts de scénarios de changement de pratiques / systèmes agricoles

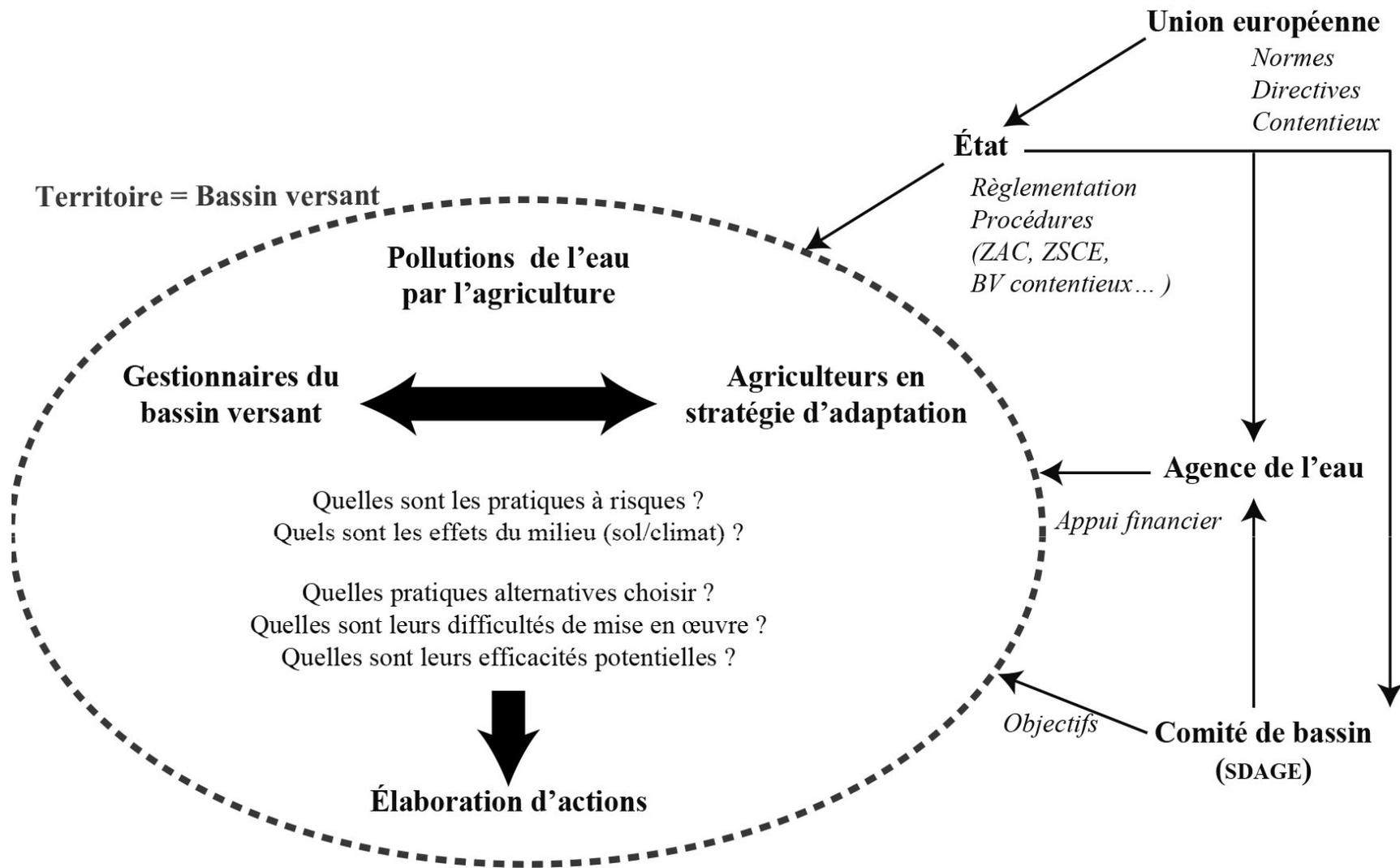


Processus socio-territoriaux de réduction des pollutions agricoles

- Réglementation nationale nécessaire, efficace mais non suffisante
 - Pratiques agricoles déterminantes ne peuvent pas être uniquement régies par des normes du fait de leur complexité et des difficultés de contrôle
 - Spécificités des territoires : diversité des activités agricoles, des contextes pédo-climatiques et des sociétés locales
 - Besoin de légitimation des actions environnementales pour les agriculteurs :
 - risques sanitaires et écologiques non pleinement admis
 - solutions proposées ne paraissent pas forcément efficaces aux agriculteurs ou sont considérées comme inadaptées à leurs contraintes de production

Processus socio-territoriaux de réduction des pollutions agricoles

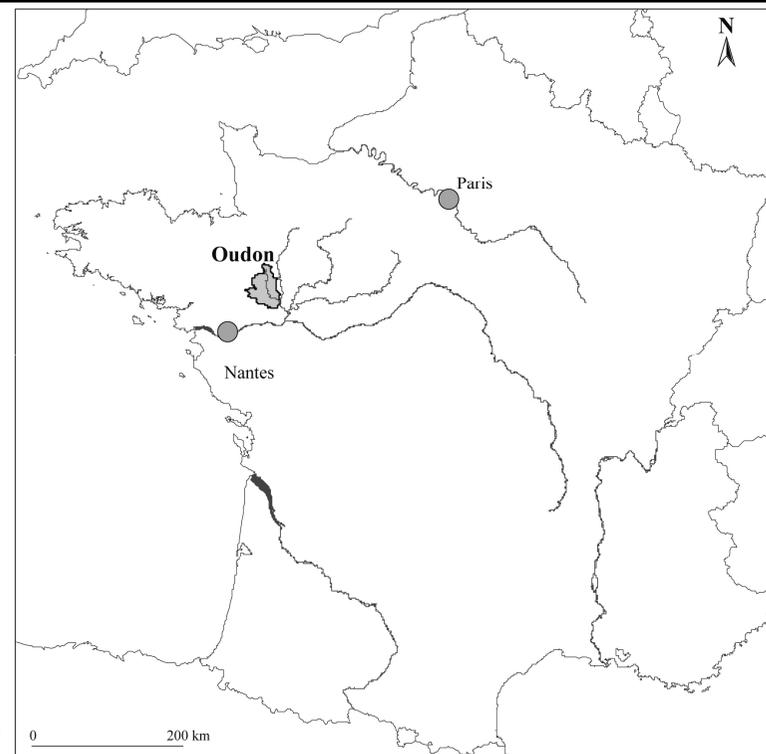
- Interactions entre gestionnaires de l'eau et agriculteurs à l'échelle de bassins versants
 - Gouvernance locale = processus socio-territorial → actions :
 - réglementations spécifiques, aides à l'équipement, sensibilisation, formation
 - Aménagements, baisse de la charge minérale, répartition des effluents d'élevage, amélioration de la couverture des sols, limitation des pratiques à risques
 - Mesures Agro-Environnementales Territoriales
 - Déterminants de l'évolution des pratiques :
 - économie domine
 - temps de travail et complexité des tâches
 - perceptions du milieu et de la légitimité des préconisations
 - sanctions réglementaires
- Les techniques de réduction des impacts environnementaux sont appropriées si elles entrent en adéquation avec l'ensemble du contexte de production de l'agriculteur
- Nécessité de faire converger modes de production et objectifs environnementaux : développer des approches plus agronomiques utilisant mieux les services écosystémiques



Pratiques agricoles et gestion de bassins versants :
Le système d'acteurs intra et extra-territoriaux
dans la gestion des pollutions agricoles

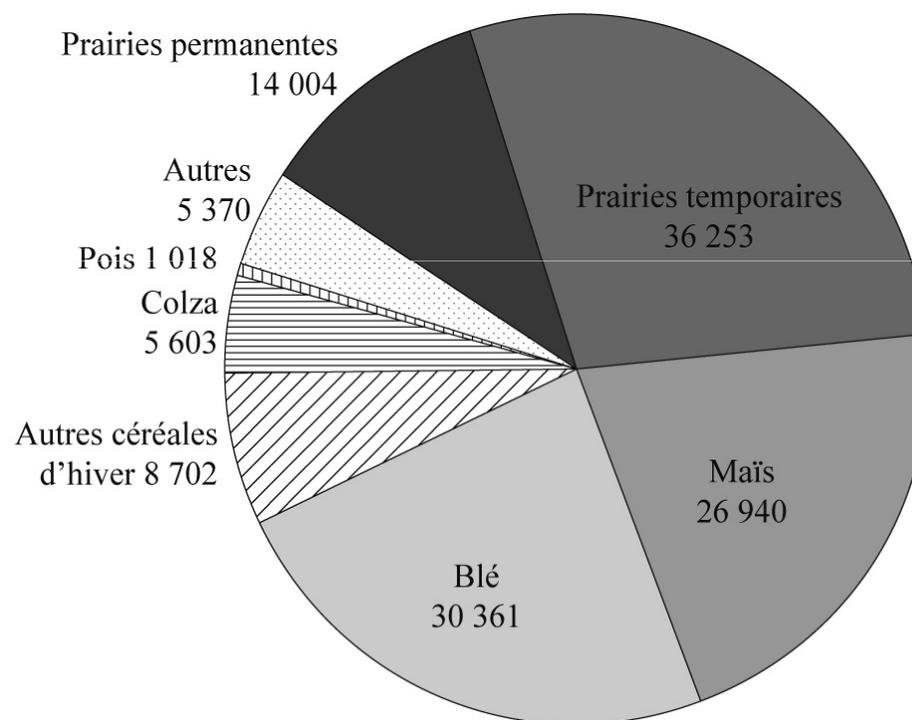
Le bassin de l'Oudon

- Oudon
 - affluent de la Mayenne
 - bassin versant de 1 480 km²
 - 70 000 habitants
- Socle peu perméable
→ Alimentation majoritaire par les eaux de surface
- Bassin géré par une Commission Locale de l'Eau (CLE) dans le cadre d'un SAGE
 - Comité de pilotage à vocation agricole : chambres d'agri., GDA, coopératives ou réseaux se revendiquant de l'agriculture durable

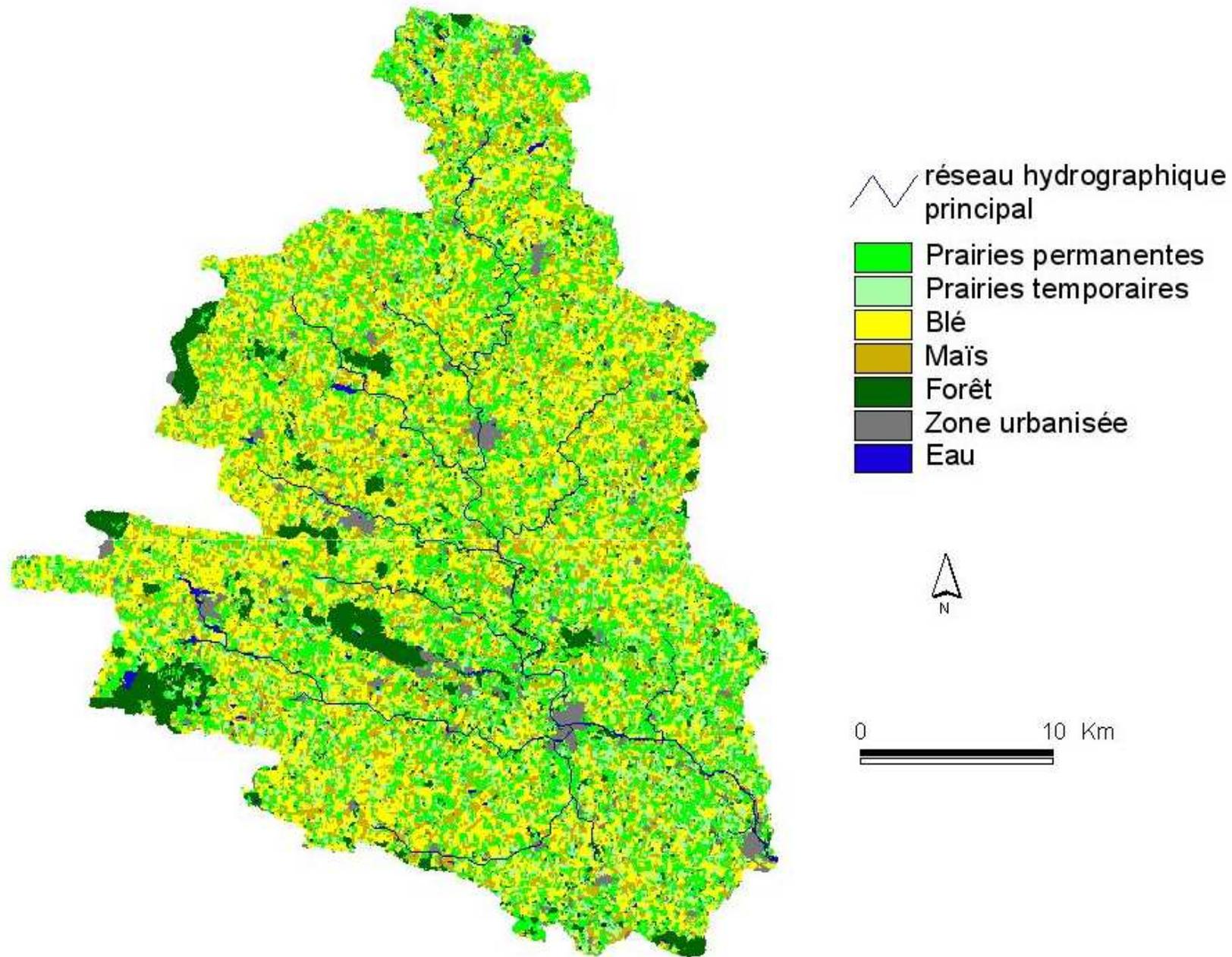


Orientation agricole du bassin

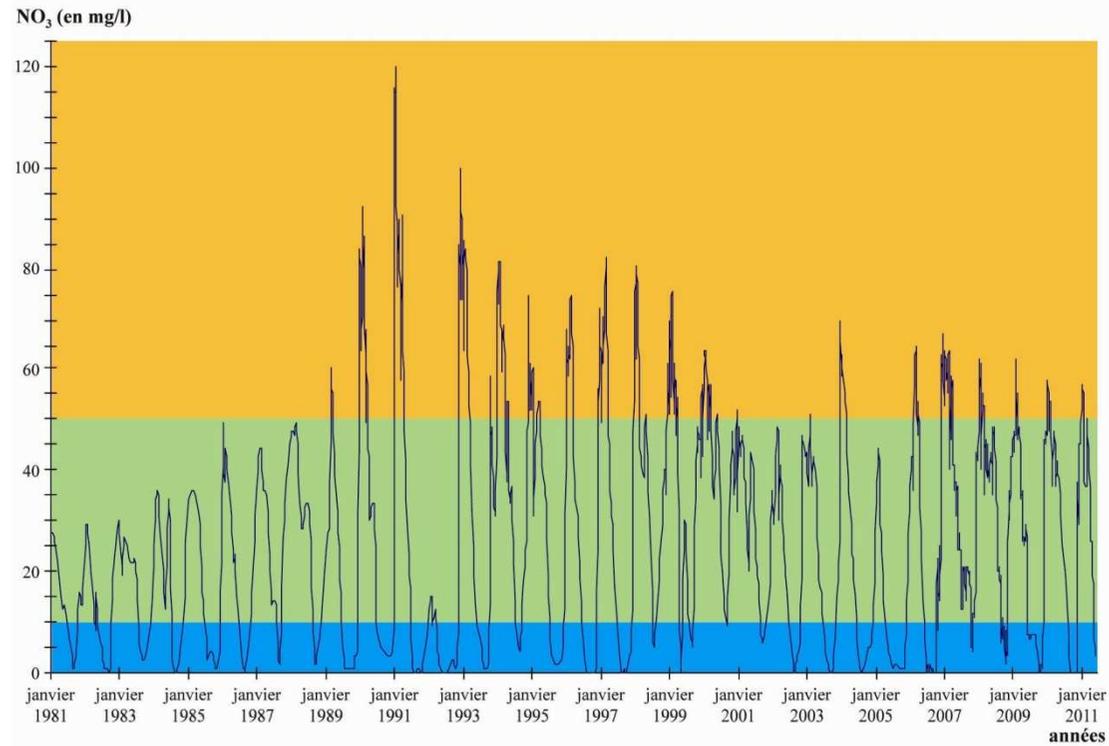
- 2 625 exploitations, dominées par élevage bovin lait et mixte
- surface agricole utile = 87 % du BV



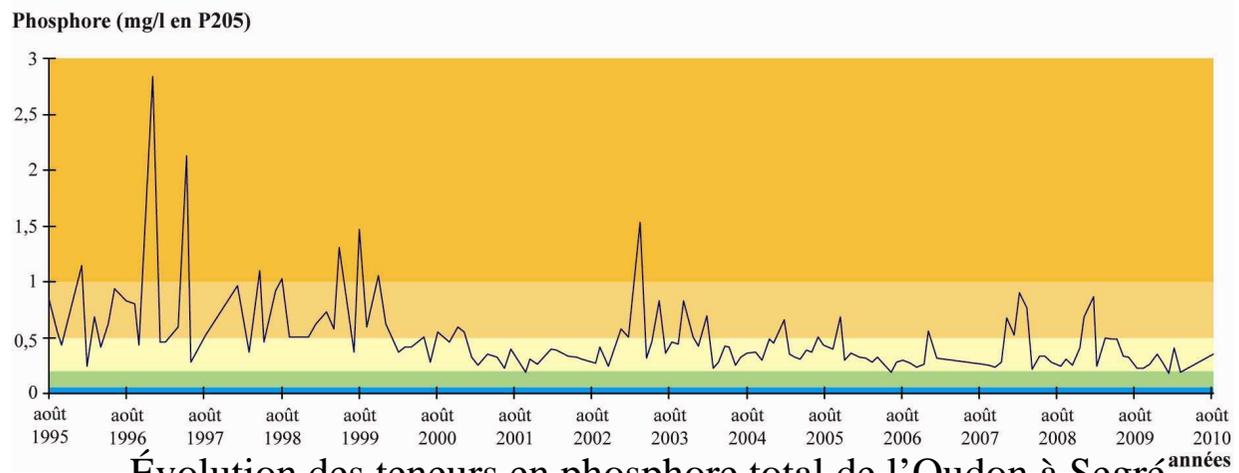
Assolement sur le bassin de l'Oudon en 2009 (en ha)
(source : Chambres d'agriculture) 7



Occupation du sol du bassin versant de l'Oudon en 2003₈
(réalisée à partir d'images SPOT par D. Ruelland, univ. Maine)



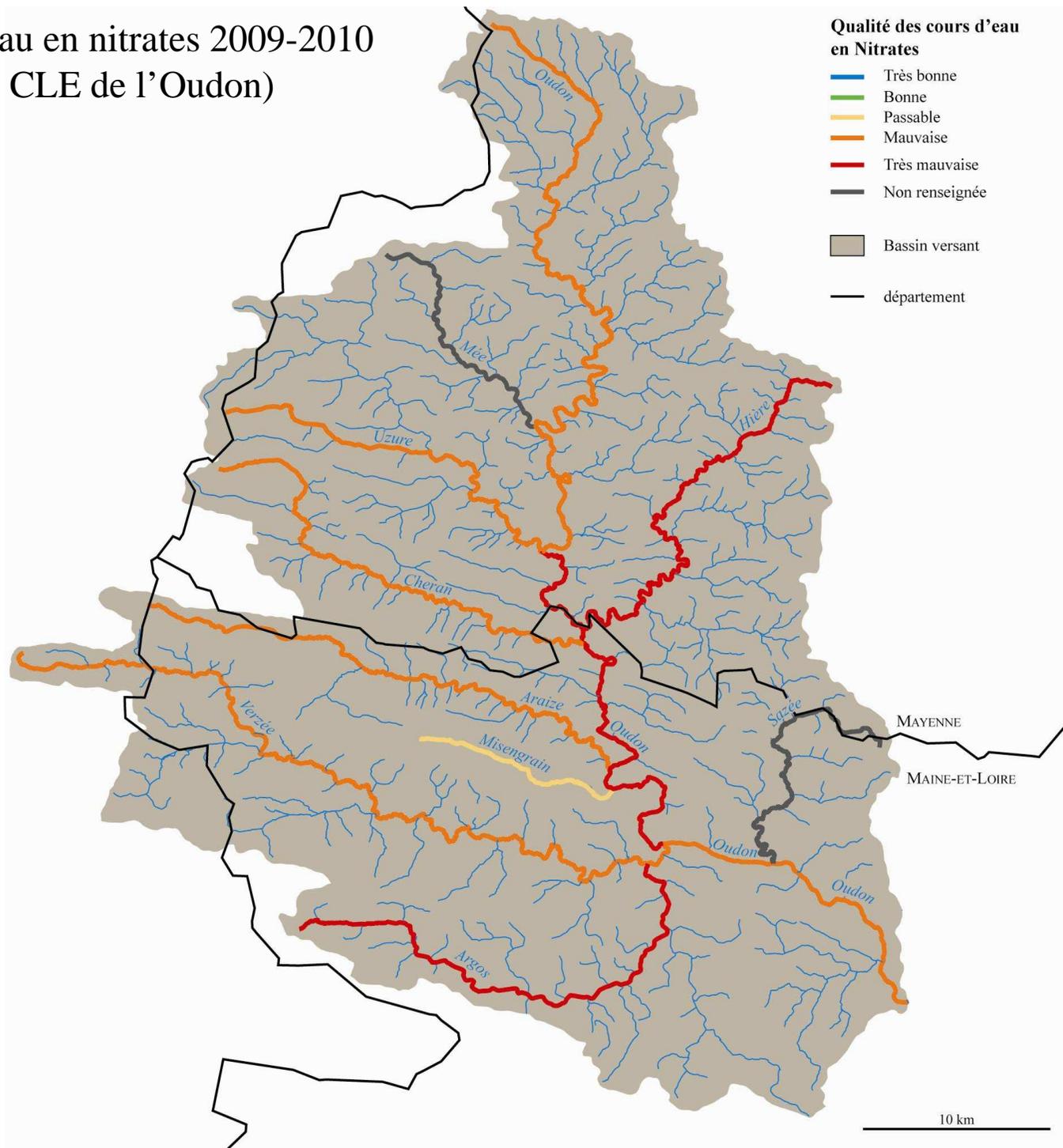
Évolution des teneurs en nitrates de l'Oudon à Segré
 (Source : CLE de l'Oudon avec données ARS et DREAL Pays de Loire)



Évolution des teneurs en phosphore total de l'Oudon à Segré
 (Source : CLE de l'Oudon avec données ARS et DREAL Pays de Loire)

Qualité SEQ-Eau en nitrates 2009-2010

(source : CLE de l'Oudon)





Conséquences financières

- Captages souterrains et prise d'eau sur l'Oudon au Lion d'Angers ont dû être abandonnés du fait de leur contamination par les nitrates → coût (non chiffré)

- Pollution en nitrates du captage de Segré
 - interconnexions avec Ancenis et Angers = infrastructures de 4 800 k€
 - PMPOA2 (2002-2006) : 4 400 k€
 - Programmes d'action agricoles (2004 à 2013) : 2 440 k€
 - MAET (2007 à 2010) : 1 600 k€



Conséquences réglementaires

- Zone d'Actions Complémentaires (ZAC) selon la directive Nitrates
 - ➔ mesures :
 - Sols doivent être couverts durant la période de lessivage par des Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrates (CIPAN)



Couvert de moutarde



Conséquences réglementaires

- Zone d'Actions Complémentaires (ZAC) selon la directive Nitrates
 - ➔ mesures :
 - Sols doivent être couverts durant la période de lessivage par des Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrates (CIPAN)
 - Interdiction
 - du retournement de prairies permanentes
 - de la fertilisation lors du retournement de prairies temporaires de plus de 3 ans
 - Réalisation de bandes enherbées de 6 m le long des cours d'eau



Bande enherbée

Conséquences réglementaires

- Zone d'Actions Complémentaires (ZAC) selon la directive Nitrates μ
 - ➔ mesures :
 - Sols doivent être couverts durant la période de lessivage par des Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrates (CIPAN)
 - Interdiction
 - du retournement de prairies permanentes
 - de la fertilisation lors du retournement de prairies temporaires de plus de 3 ans
 - Réalisation de bandes enherbées de 6 m le long des cours d'eau
 - Charge azotée limitée :
 - effluents d'élevage (globale sur exploitation) $< 170 \text{ kgNorg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$
 - Oudon : charge organique moyenne = 95 en Maine-et-Loire et 106 en Mayenne (source: chambres d'agri.)
 - minérale + organique (globale sur exploitation) $< 210 \text{ kg kgN.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$
 - 4 % des exploitations dépassent le seuil de 210 kgN.ha^{-1} en Maine-et-Loire et 19 % en Mayenne (source: chambres d'agri.)
 - mais ces seuils n'expriment pas les risques réels qui dépendent de la répartition effective de la charge sur les parcelles et de facteurs du milieu
- La pollution persiste...
 - Classé au Grenelle de l'environnement ➔ menace de procédure ZSCE
 - Risque de contentieux

Actions réalisées

- Programmes d'action pilotés par la CLE :
 - communication, formation, conseil, diagnostics,
 - aide financière à l'équipement et à des actions favorables à la qualité de l'eau
 - Indicateurs de moyens montrent des évolutions des pratiques agricoles depuis 2000 :
 - pressions d'azote et de phosphore organiques en baisse,
 - meilleure répartition des effluents,
 - plus de précautions quant à l'usage des phytos

- MAET sur 3 sous-bassins : 53 exploitations sur un total de 320 (10 % de la SAU) sur ces sous-bassins et de 2 625 exploitations sur l'ensemble du bassin
 - MAET Conversion à l'Agriculture Biologique (CAB)
 - MAET Systèmes Fourragers Economes en Intrants (SFEI)
 - MAET « herbe »
 - MAET « Grandes cultures »

Selon les préconisateurs du bassin, ce sont les agriculteurs qui sont les plus proches des objectifs des MAET qui y ont souscrit afin d'obtenir une reconnaissance financière de leurs bonnes pratiques



Modélisation

- Agir pour rétablir la qualité de l'eau, oui mais:
 - Vulnérabilité du milieu (sols – climat) ?
 - Cultures / pratiques à risques ?
 - Efficacité potentielle des actions ?

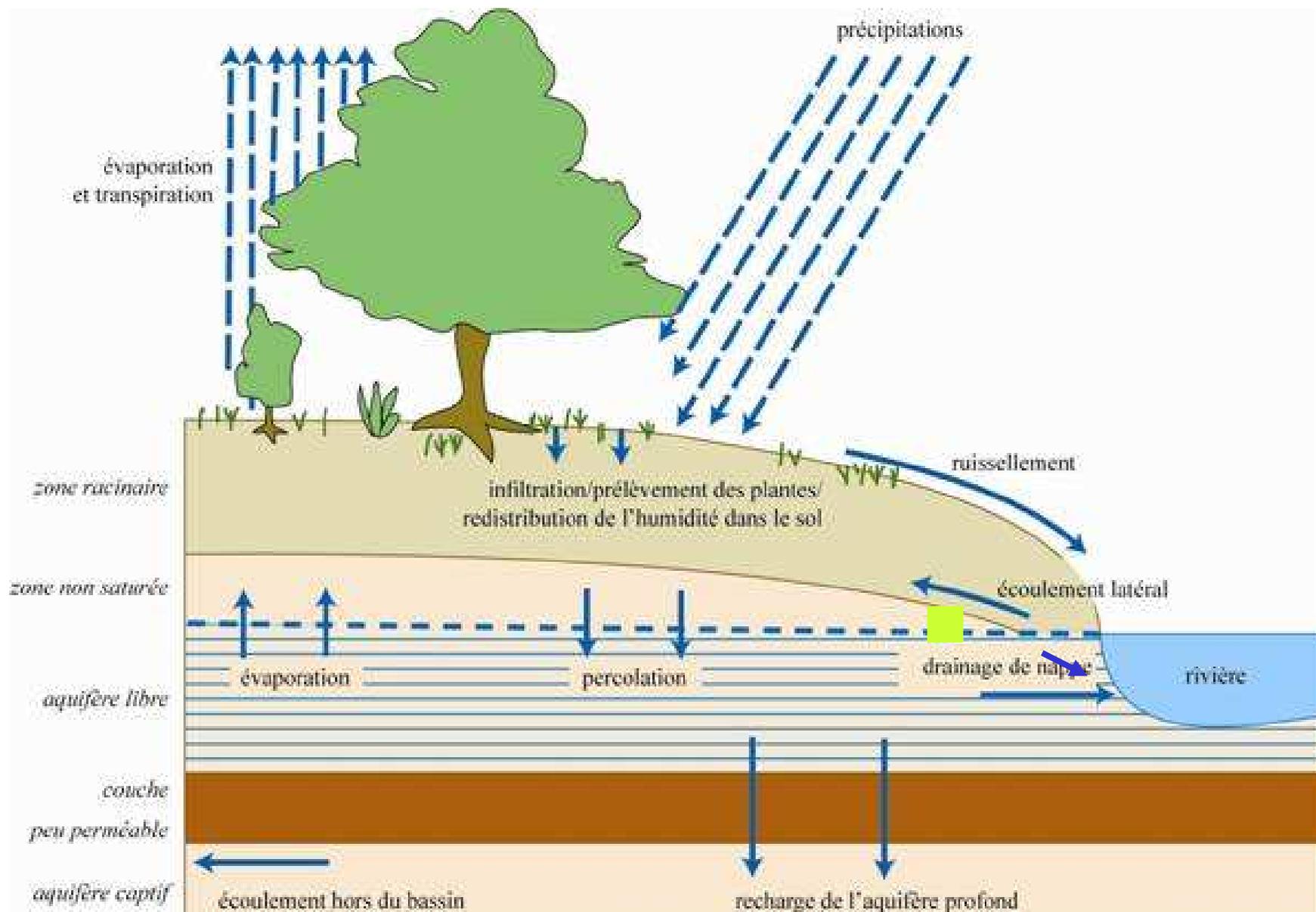
- Partenariat avec la CLE et participation au Comité de pilotage à vocation agricole pour :
 - mieux comprendre les facteurs responsables
 - simuler des scénarios de changement de pratiques ou de systèmes de production

➔ Modélisation des processus de transfert de polluants



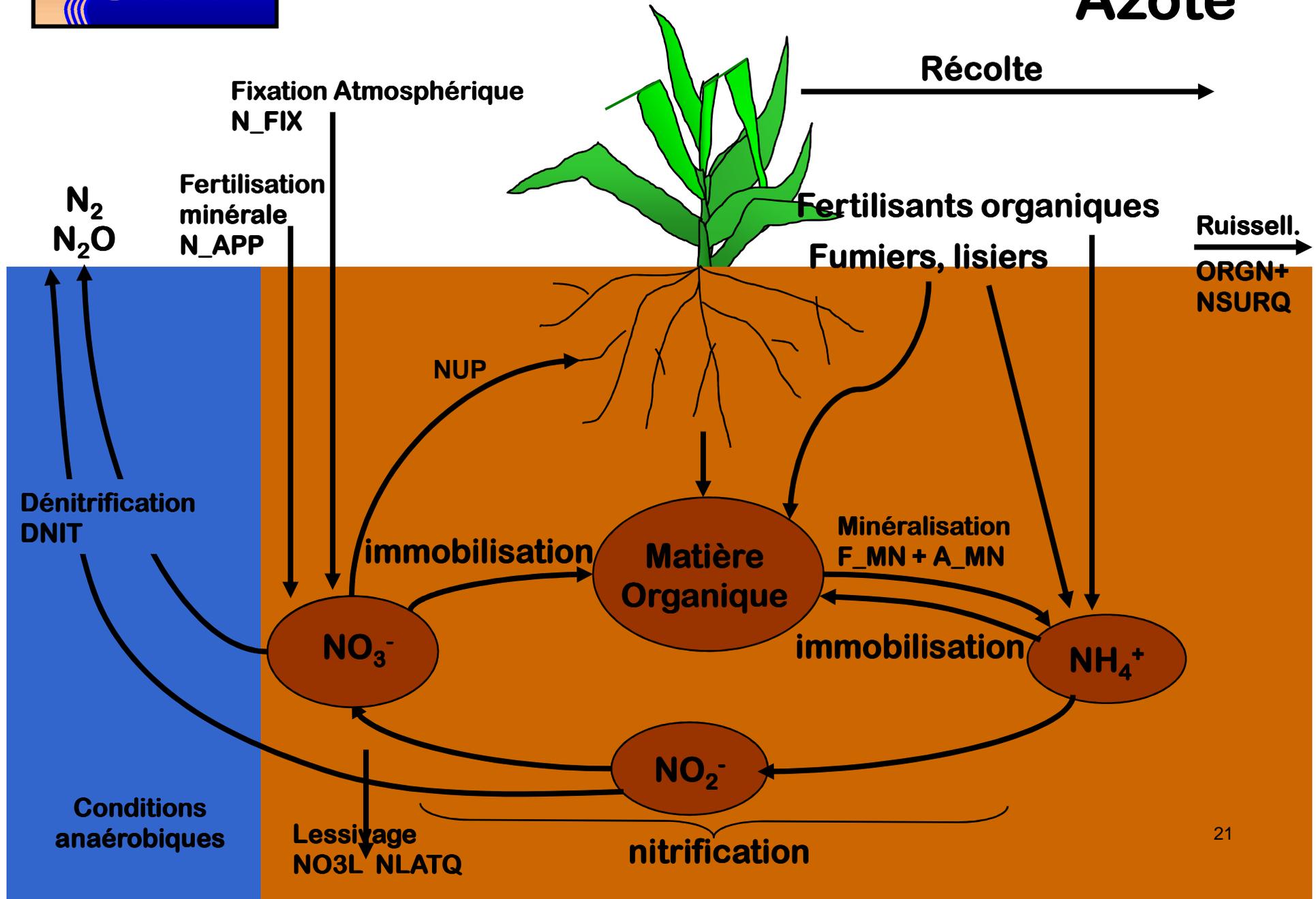
SWAT

- Modèle développé par l'USDA Agricultural Research Service
- Calcul des flux d'eau, de nutriments (N et P), de produits phyto
- Conçu pour des BV de 100 à plusieurs milliers de km²
- Semi-distribué : une partie des paramètres est distribuée, d'autres sont globaux
 - Paramètres distribués : sol – occupation du sol – climat, combinés en Hydrologic Response Unit (HRU) supposées produire une même réponse
 - Intègre les pratiques agricoles (fertilisation, travail du sol, irrigation, drainage...) associées à chaque occupation du sol
- Fonctions à base physique combinées à des fonctions empiriques
 - ruissellement = Curve Number ; infiltration = Green & Ampt ; tarissement de la nappe souterraine = baseflow coefficient...
- Modèle à réservoirs : chaque horizon du sol alimente l'horizon inférieur lorsqu'il est saturé

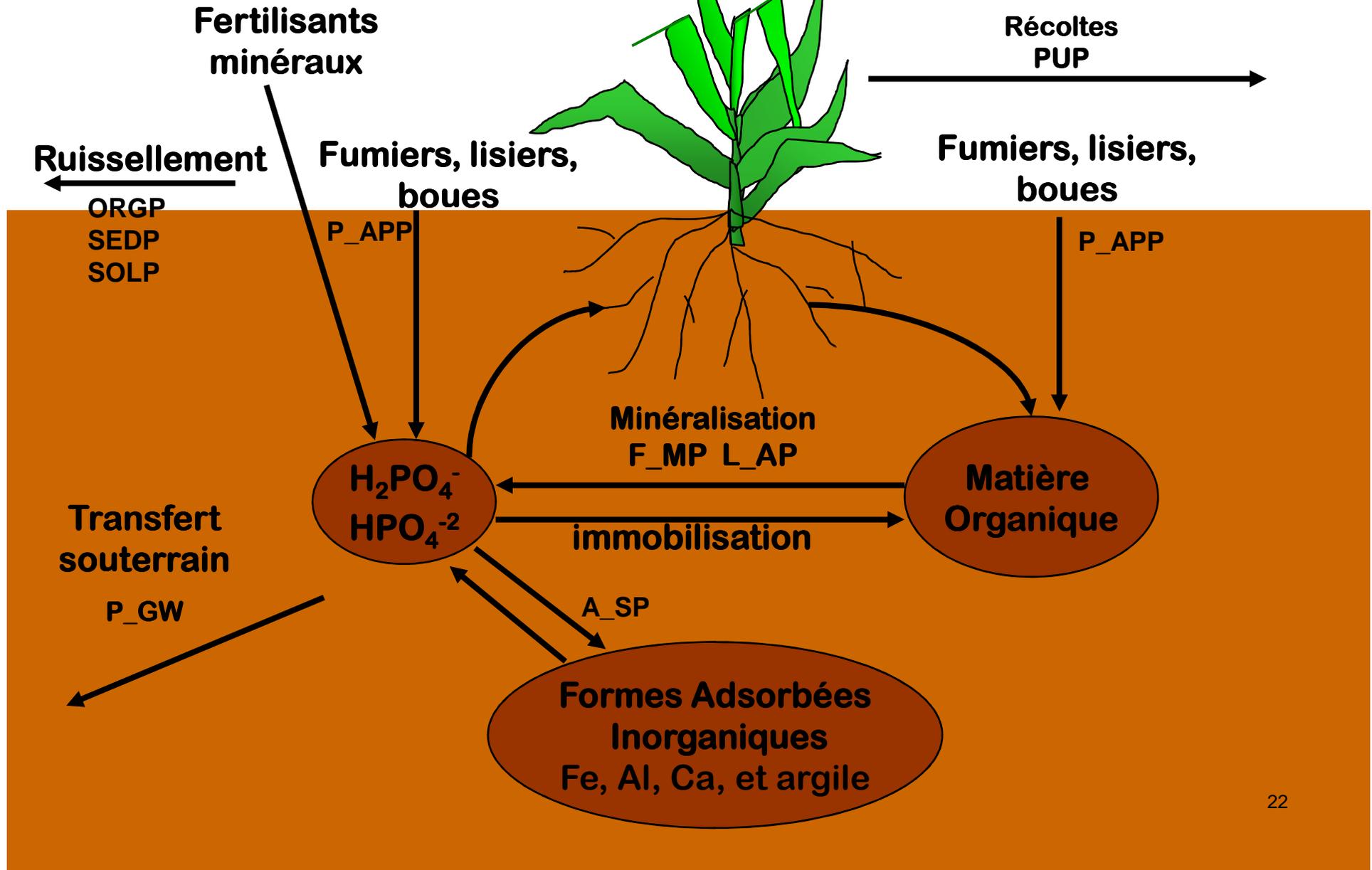


Compartiments et flux représentés dans le modèle SWAT

Azote



Phosphore



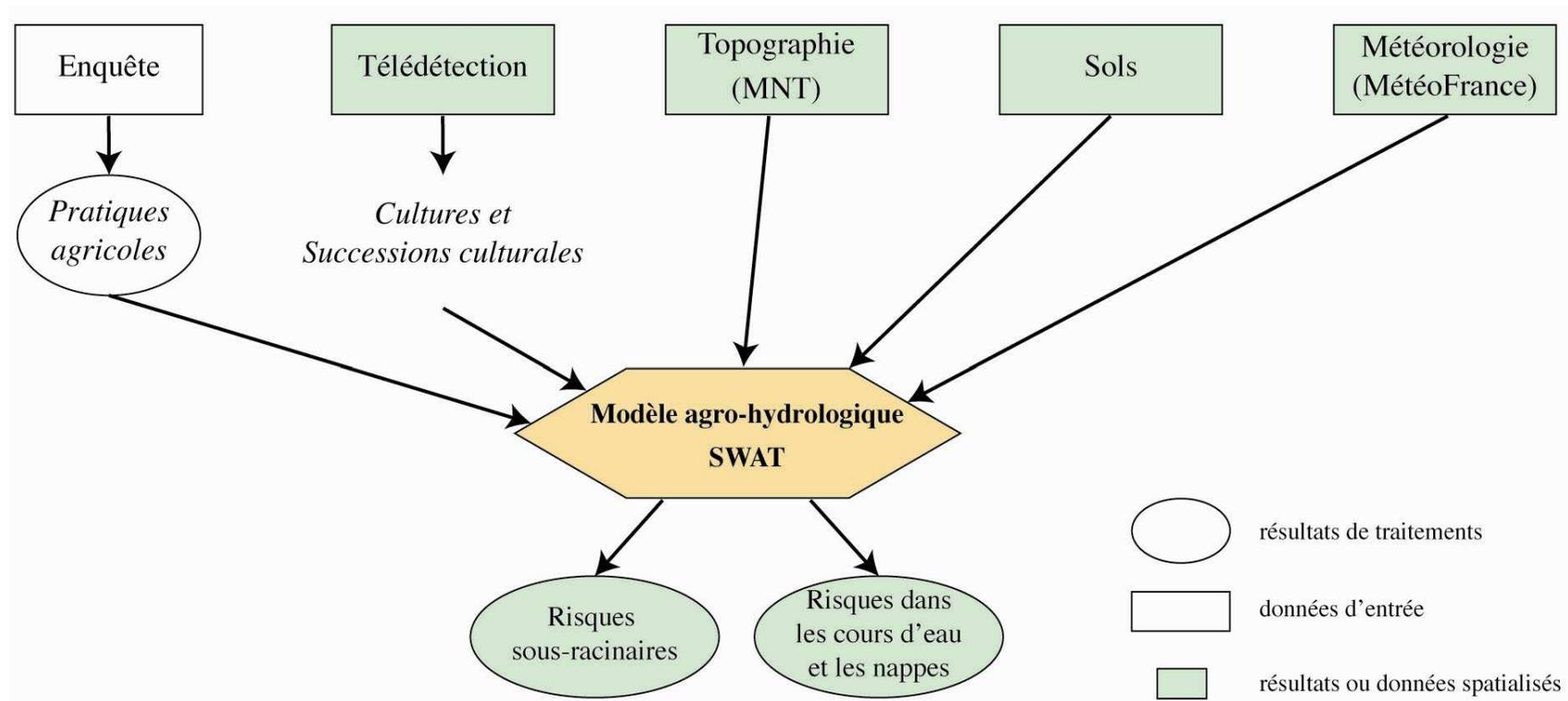
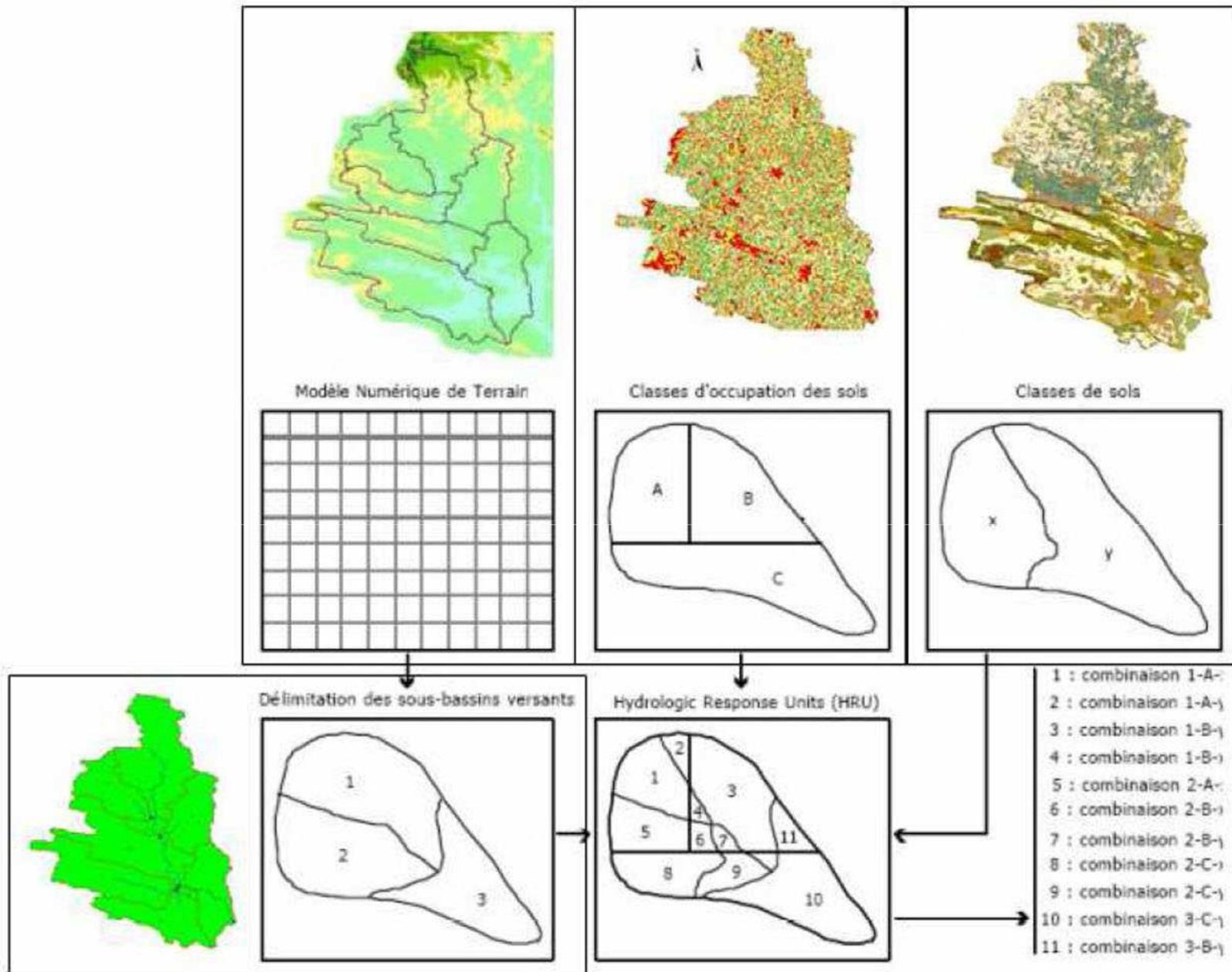


Schéma méthodologique de la mise en œuvre du modèle SWAT



Constitution des HRU par croisement cartographique sur le bassin de l'Oudon²⁴

	Blé	Maïs	Prairies temporaires	Prairies permanentes
Date de semis	Octobre	Début mai	Septembre	-
Date de récolte	Mi-juillet	Mi-septembre	Fauche en juin et en septembre	Pâturées d'avril à octobre
Quantité et date des fertilisations	Engrais minéral 150 kgN.ha ⁻¹ En 3 fois : Février – Mars – Avril	Fumier 35 t.ha ⁻¹ en avril Engrais minéral 100 kg 18-46-00	Engrais minéral (ammonitrate) 100 kgN.ha ⁻¹ En 3 fois : Mars – Avril – Juin	Engrais minéral (ammonitrate) 66 kgN.ha ⁻¹ En 2 fois : Mars – Avril
Déjections animales au champ	-	-	-	16 kgN.ha ⁻¹

Pratiques moyennes issues des enquêtes sur l'Oudon
et intégrées dans SWAT
(enquête 2007 auprès d'un échantillon de 18 agriculteurs)



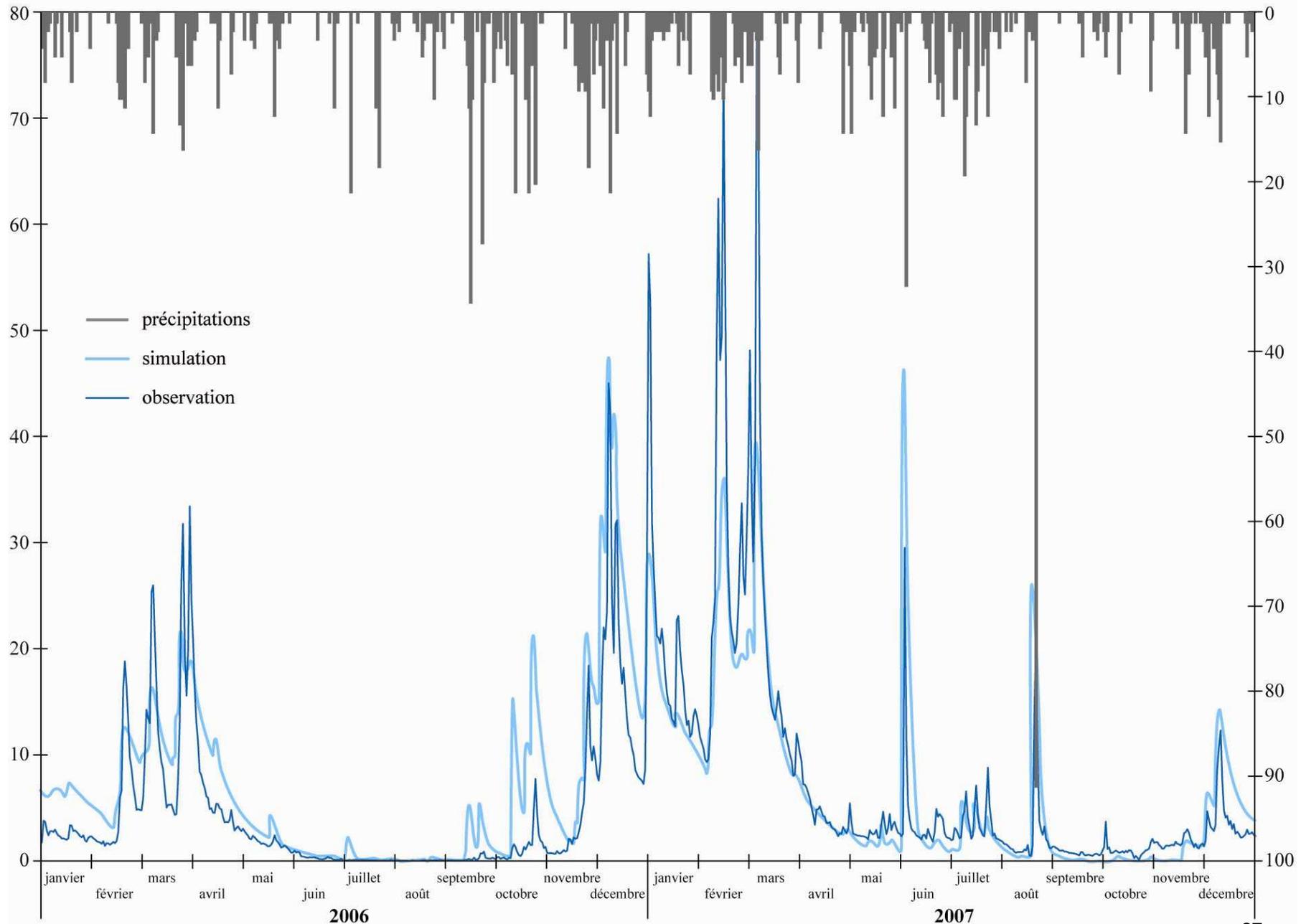
Rendements simulés (tMS/ha)

	Rendements des cultures issus de l'enquête de 2007	Rendements des cultures obtenus par simulation en 2007
Prairie permanente	5.4	7.6
Prairie temporaire	10.0	8.5
Blé	7.8	8.1
Maïs ensilage	12.9	13.2

Sur sols limono-sableux profonds

Débits ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

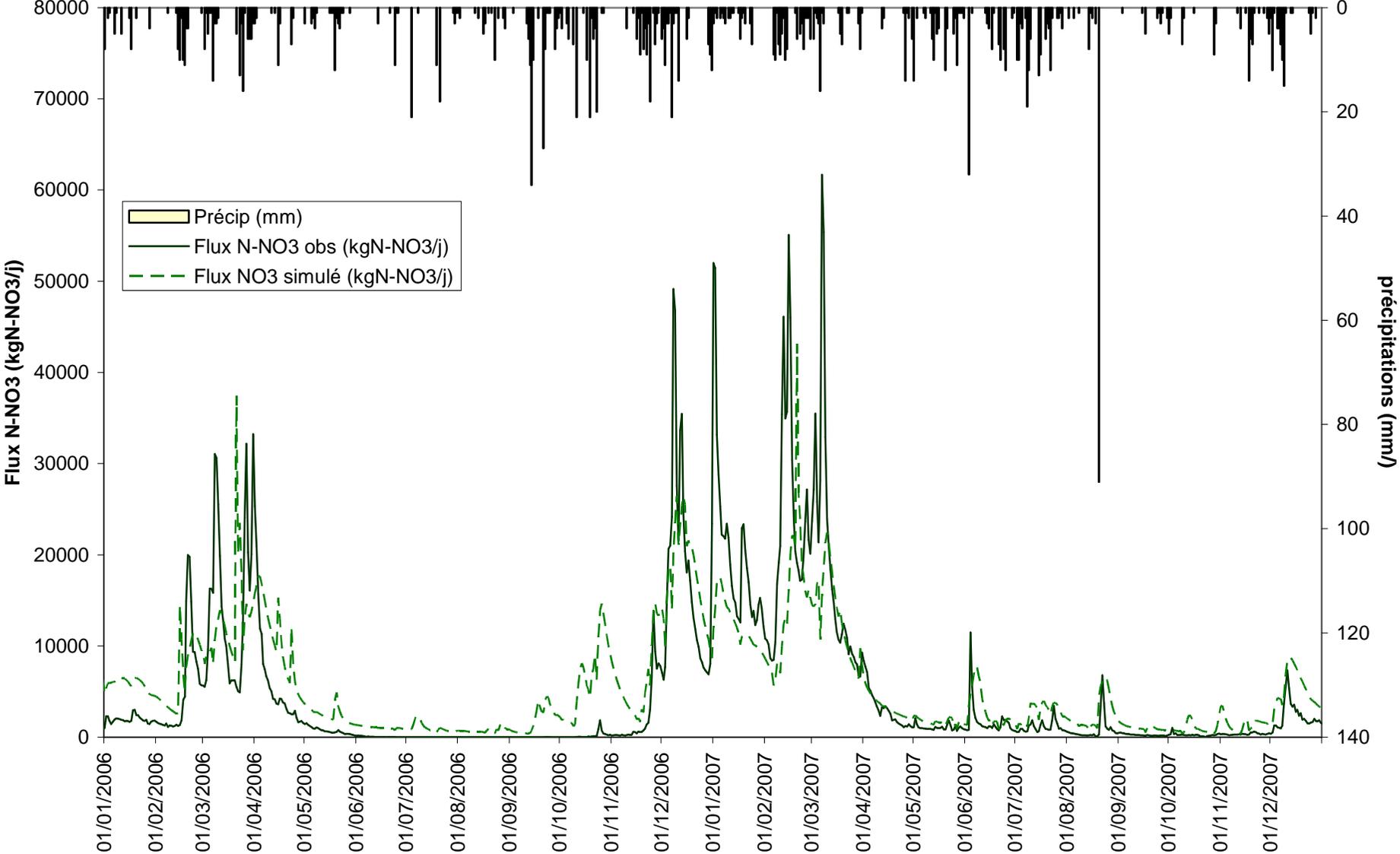
Précipitations ($\text{mm} \cdot \text{j}^{-1}$)



Débits observés et simulés sur l'Oudon à la station de Segré
durant la période de validation (2006-2007)

Nash = 0,66

Corrélation nitrates 2006-07 = 0.74



Flux d'azote observés (SRAE/DIREN) et simulés sur l'Oudon à la station de Segré durant la période de validation (2006-2007)

<i>Succession</i>	<i>N lessivé</i>	<i>P sédimentaire</i>	<i>Ruissellement</i>
PAST	6	0	1
WPW	9	2	31
CPP	10	1	13
PPC	11	6	23
PPW	12	1	22
WPP	12	1	28
PCW	15	3	27
WPC	16	7	32
CPC	23	12	43
WWW	24	2	32
WWC	35	8	31
CWW	38	4	30
WCW	40	3	26
CCW	51	7	36
CCC	74	19	37
Moyenne	25	5	27

Simulations des flux annuels moyens de nitrates hors de la zone racinaire pour un limon sableux profond sur la période 2005–2007 (kgN-NO₃ et kgP)
(C = maïs ensilage, W = blé, P = prairie temporaire, PAST = prairie permanente)

1. Une culture produit un lessivage très variable, tout dépend de la succession
2. Successions à risque élevé intègrent du maïs (risque s'accroît quand 2 années de maïs)
3. Successions à risque faible intègrent des prairies sur 2 ans et plus (y compris avec maïs)
4. Ruissellement explique en partie le risque lié au phosphore (érosion)

Scénario avec couvert en avoine

à la suite d'un maïs : 23 septembre

à la suite d'un blé : 22 juillet



Avoine brésilienne de 50 j – Photo : JB Huchon

Efficacité des couverts à l'échelle des successions : nitrates

	<i>baisse (kgN/ha)</i>	<i>baisse (%)</i>
PPW	0	0
PPC	0	0
CPP	0	0
PAST	0	0
PCW	0	0
WPC	0	0
WPP	0	0
WPW	0	0
WWW	0	0
WWC	-7	-20
WCW	-9,4	-23
CWW	-11,5	-30
CPC	-11,5	-50
CCW	-15,9	-31
CCC	-51,4	-70

- Couvert non intégré dans toutes les successions (entre 2 blés, entre un maïs et un blé, entre un maïs et une prairie ou entre un blé et une prairie)
- Couvert dense à forte production de biomasse (atteint 6,3 t/ha dans CCC)
- Forte efficacité sur le lessivage des nitrates surtout pour les successions avec 2 années de maïs



Effacité des couverts à l'échelle du bassin : impacts sur les flux à Segré

- Couverts végétaux hivernaux implantés que dans certaines successions
= 16 % du bassin
- Baisse globale générée par les couverts en avoine en moyenne sur
3 ans (2005 – 2007) au captage de Segré :
 - Nitrates : -10 %
 - Phosphore minéral : -10 %



Couvert en avoine semé 15 j plus tard
à la suite d'un maïs : 7 octobre
à la suite d'un blé : 7 août

- Effet à la suite du maïs :
 - Gain n'est plus que 5% pour les nitrates lixiviés
- Pas d'impact sensible à la suite du blé

Scénario SFEI – systèmes fourragers économes en intrants

- Assolement : priorité à l'herbe pour l'alimentation animale
 - surface en herbe (prairies permanentes et temporaires)
 - ≥ 55 % de la surface agricole
 - ≥ 75 % de la surface fourragère principale
 - surface en maïs (hors maïs grain et semences) ≤ 18 % de la surface fourragère
- Limitation de la fertilisation
 - Apports azotés totaux $< 170 \text{ kgN.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ (en moyenne sur l'exploitation)
 - Apports azotés organiques $< 140 \text{ kgN.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ (en moyenne sur l'exploitation)
 - Aucun apport de phosphore minéral
 - Limiter sur chaque parcelle de culture l'apport azoté minéral annuel :
 - $< 30 \text{ kgN minéral/ha}$ sur les prairies (PP + PT)
 - 0 kgN minéral/ha sur maïs et sur betterave
 - $< 60 \text{ kgN minéral /ha}$ sur céréales de printemps
 - $< 100 \text{ kgN minéral/ha}$ sur céréales d'hiver et colza

Scénario SFEI – systèmes fourragers économes en intrants

Conséquences sur l'Oudon (si la mesure était appliquée systématiquement) :

- Modification de l'occupation du sol
 - 43% du maïs passerait en prairie = 15 000 ha
(maïs passerait de 32 % de la SFP à 18%)
- Suppression de la fertilisation minérale sur le maïs
- Réduction d'un tiers de fertilisation du blé :
150 kgN → 100 kgN
- Réduction de la fertilisation minérale des prairies permanentes :
66 kgN → 30 kgN
- Réduction fertilisation minérale des prairies temporaires:
100 kgN → 30 kgN
- Compenser la perte de fertilisation minérale par une répartition des fumures organiques → Les surfaces diminuant en maïs, il y aurait du fumier disponible pour les prairies
 - 35 t/ha de fumier sur maïs → 525 000 t
 - Répartis sur 75 000 ha de prairies → 7 t/ha

Efficacité des SFEI à l'échelle des successions

Nitrates

	<i>baisse (kgN/ha)</i>	<i>baisse (%)</i>
PAST	-4	-65
PPW	-8	-73
WPP	-8	-68
WWC	-27	-78
WWW	-20	-84

Phosphore sédimentaire

	<i>baisse (kgP/ha)</i>	<i>baisse (%)</i>
PAST	0,0	0
PPW	-0,1	-6
WPP	-0,4	-27
WWW	-0,7	-37
WWC	-1,7	-21

Simulations sur 2005-07

Mais impacts simulés importants sur les rendements, baisse de :

- 25 à 35 quintaux/ha sur le blé
- 2 à 2,5 tMS/ha sur les prairies
- 0,5 à 1 tMS/ha sur le maïs



Efficacité des SFEI à l'échelle du bassin : impacts sur les flux modélisés à Segré

- Forte emprise spatiale + changements importants des pratiques
 - Flux nitrates réduits de 31%
 - Flux de phosphore minéral réduits de 37 %

Autres scénarios testés

- Baisse de fertilisation : plafonnement à 140 kgN/ha
 - Blé : abaissé de 150 à 140 kgN/ha
 - Maïs : abaissé de 228 à 140 kgN/ha
 - hypothèse d'un transfert de charge organique sur les prairies (baisse corrélative des apports minéraux sur celles-ci)
 - 20 t fumier /ha sur maïs au lieu de 35
 - Baisse corrélative du P : passe de 116 à 86 kg P_{tot}
 - Prairies permanentes et temporaires restent inchangées (pratiques < seuil 140)
 - n'affecterait donc que 45 % de la surface du bassin
- Travail du sol : passage au non labour
 - Semis direct sous couvert végétal : non-labour sur 45 % du bassin et couverts sur 16 %
 - TCS sans couvert : 45 % du bassin
- Bandes végétalisées de 5m entourant chaque unité de culture
 - paysage se rapprochant d'un bocage dense,
 - Mais pour les bandes tampons, SWAT ne prend en compte que l'effet sur les eaux de ruissellement
- Transformation des prairies temporaires en blé (2/3) et en colza (1/3)
 - Concernerait 17% du bassin

Autres scénarios testés

<i>Scénarios</i>	<i>Emprise sur le bassin (%)</i>	<i>NO3 (%)</i>	<i>Pmin (%)</i>
Réduction de fertilisation	45	-19	-8
Couverts hivernaux	16	-10	-12
Travail simplifié du sol	45	0	0
Semis Direct sur Couverture Végétale	16	-14	-9
Système haies - bandes enherbées	89	-11	-58
SFEI	55	-31	-37
Conversion des prairies temporaires en blé et colza	17	+21	+13

Variation des flux simulés à la station de mesure de Segré selon différents scénarios de changements de pratiques sur la période 2005–2007



Conclusion

- Impacts des changements de pratiques ou de systèmes varient selon l'échelon spatial considéré : l'unité de culture ou le bassin versant
 - A l'échelle du bassin, l'impact des actions résulte de leur impact au champ et de la surface relative couverte sur le bassin
 - Les actions sont appliquées sur la surface maximale où elles peuvent l'être, cette dernière varie
- Coût économique à intégrer
- Ce sont les résultats d'un modèle : toute la complexité du monde réel n'a pas pu être représentée
 - Variabilité spatiale des pratiques agricoles et des charges animales non simulée



Merci !