

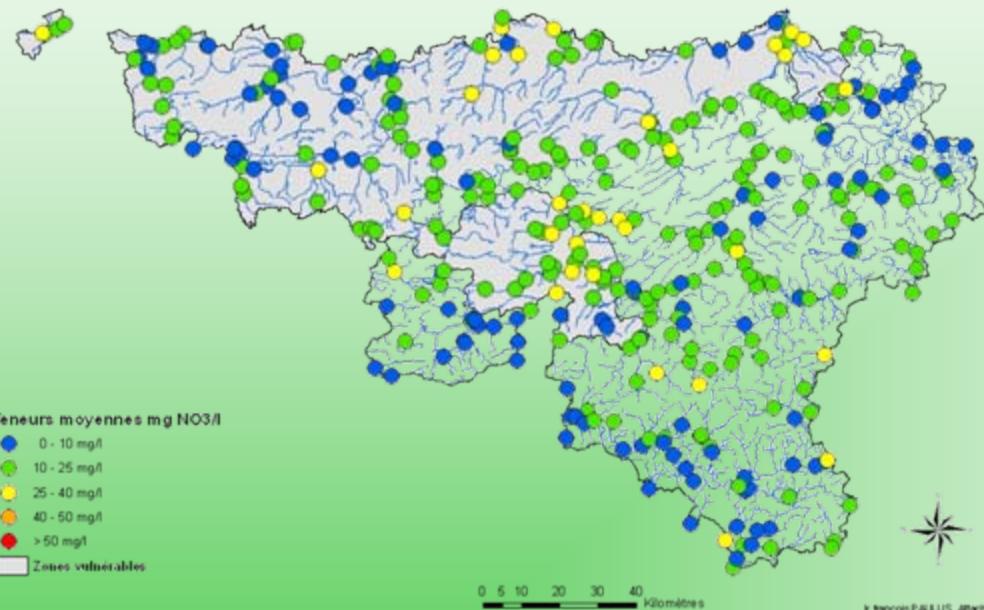
# Modélisation de la pollution agricole diffuse vers les eaux de surface et souterraines le projet QualVados

Aurore Degré et Catherine Sohier

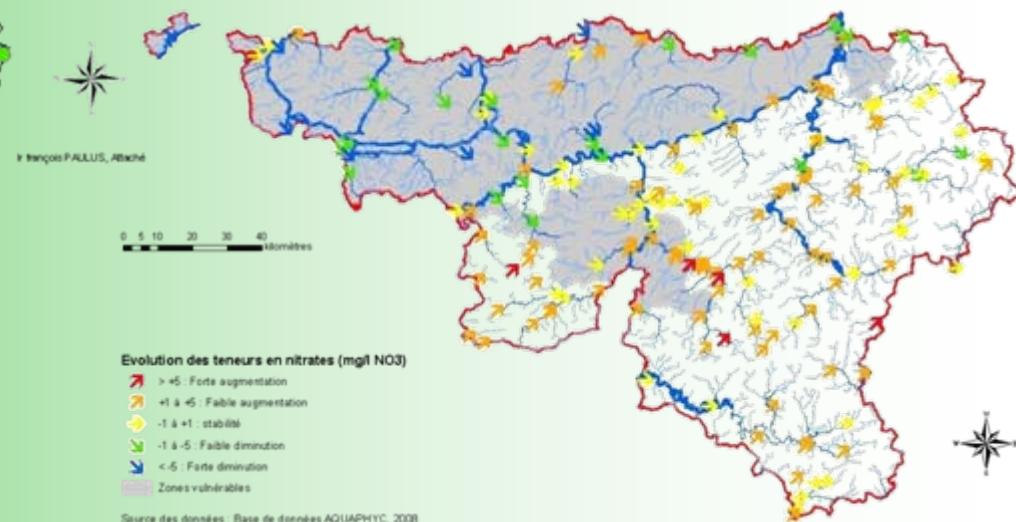
Université de Liège,  
Gembloix Agro-Bio Tech,  
Département Sciences et Technologies de l'Environnement,

Hydrologie et Hydraulique agricole.

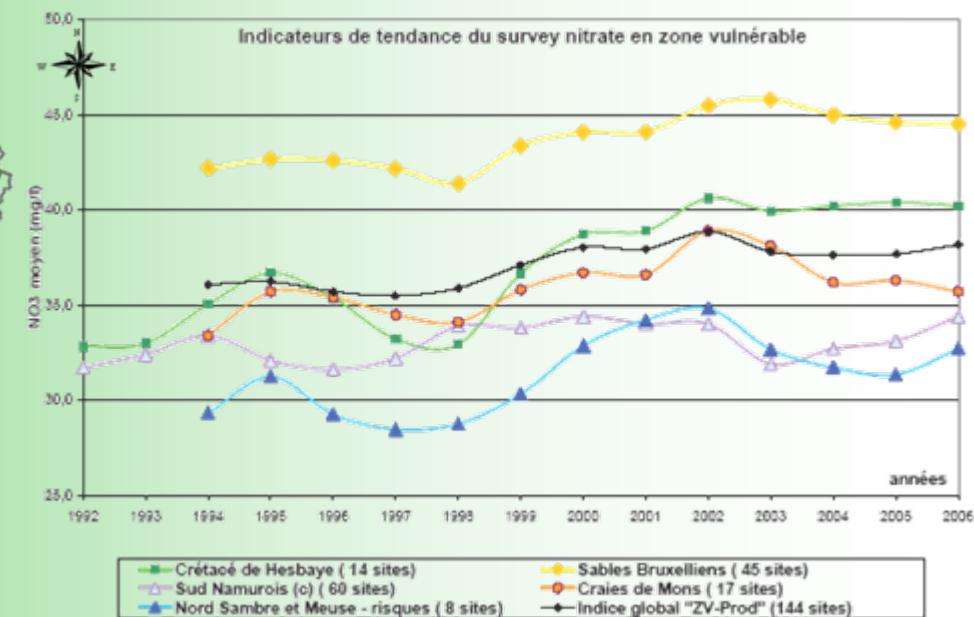
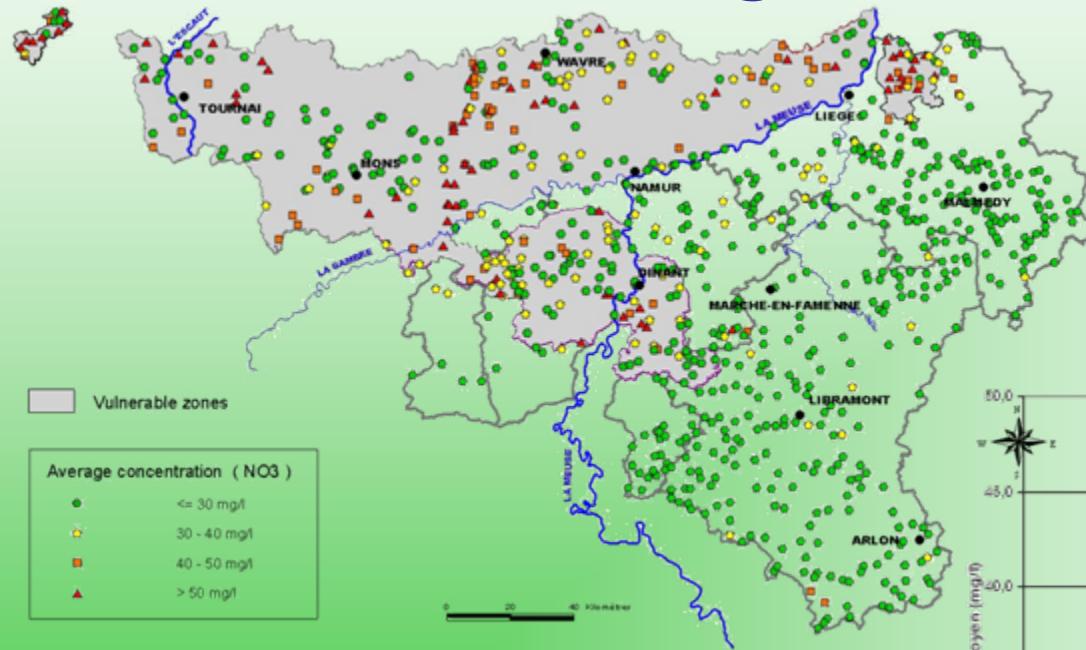
# Etat de la question Monitoring eaux de surface



Évolution entre 2001 et 2005



# Etat de la question Monitoring eaux souterraines



## Cadre légal

- Directive « nitrates » 1991
  - RW : PGDA en 2002
  - PGDA-2 en 2007
- Directive Cadre sur l'eau 2006
  - Masses d'eau de surface et souterraines
  - Objectif « bon état » en 2015, 2021, 2027

## PGDA (Plan de Gestion Durable de l'Azote en Agriculture)

- Les PGDA *en bref*
  - Désignation de Zones Vulnérables
  - Calendrier d'épandage et quantité d'azote organique épandu
  - Mise en conformité des infrastructures de stockage
  - Taux de liaison au sol
  - Implantation de CIPAN
  - Suivi des APL

Le PGDA a consisté en un important effort de mise en conformité des infrastructures de stockage de manière à répondre aux obligations calendaires d'épandage

Le PGDA évolue vers le développement de modes de gestion des terres et des effluents d'élevage plus limitant en termes de perte de nutriments

# Modélisation hydrologique régionale physiquement basée EPIC grid

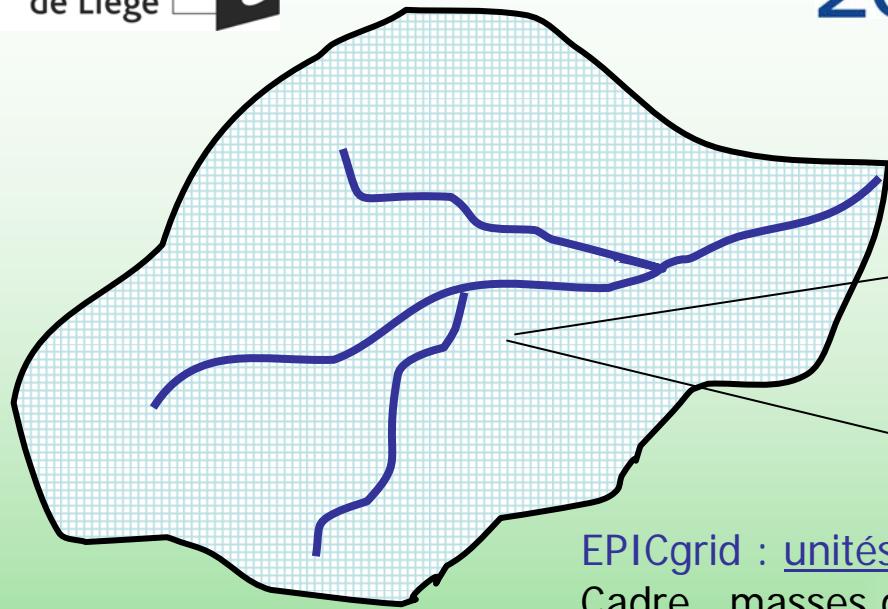
# Développement de la modélisation régionale EPICgrid – Gembloix Agro-Bio Tech

➤ Base : EPIC (USA) (**parcelle agricole**) : modèle eau-sol (zone racinaire) - plantes - rendements agricoles - pratiques agricoles - NO3 - érosion diffuse - HPO3 - pesticides - MO - ...

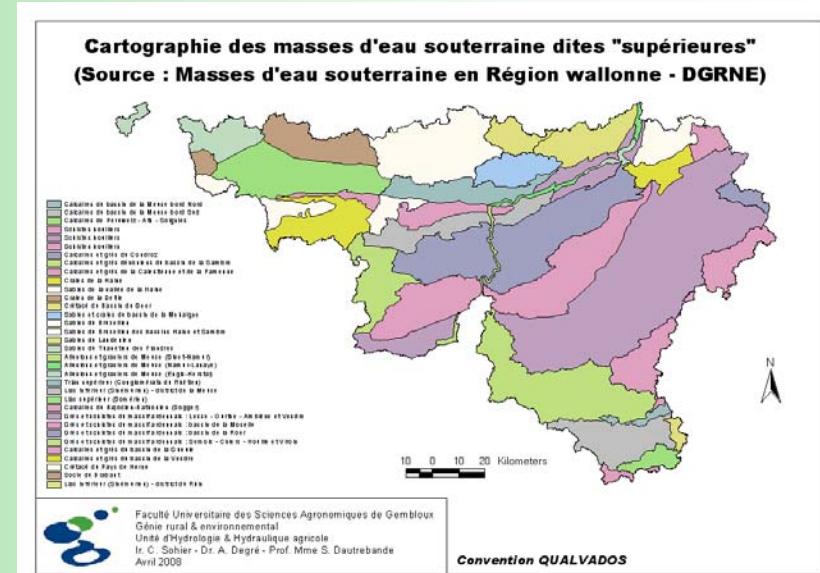
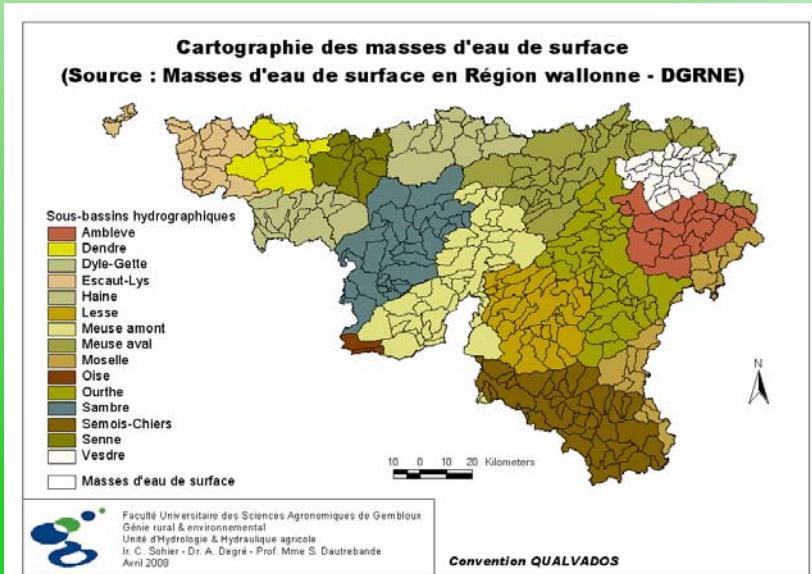
- 1993 EPIC**mod** (EU)
- 1996 EPIC**maille** (EU, RW, SWDE, CILE)
- 1998 EPIC**maille** (RW : DGRNE-eaux souterraines)
- 2000 EPIC**maille** (RW:DGA)
- 2001 EPIC**mod** (SSTC)
- 2001 EPICgrid \_MOHISE (SSTC)
- 2001 EPICgrid (EU-ESA, MET-RW, MATRA-Fr,...)
- 2002 EPICgrid-horaire \_MOHICAN (MET-RW)
- 2003 EPIC**mod** (GRENERA-NITRAWAL)
- 2006 EPICgrid\_PIRENE (RW)
- 2006 ... EPICgrid\_QUALVADOS (RW)

**Noir** :  
aspects  
quantitatifs

**Bleu** :  
aspects  
quantitatifs  
et  
qualitatifs

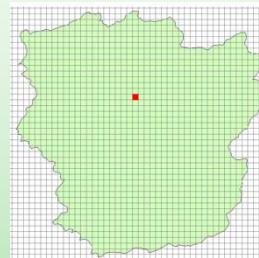


EPICgrid : unités spatiales souples : bassin versant Directive-Cadre , masses d'eau de surface, masses d'eau souterraines, ...



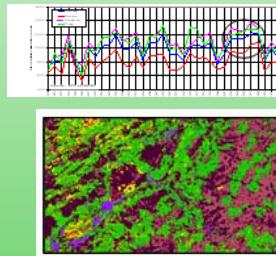
# Modèle journalier (1971-2027)

**EPICGRID**  
Catchment  
Modelisation  
Soils and vadose zone

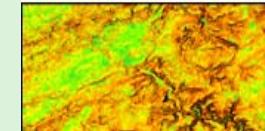
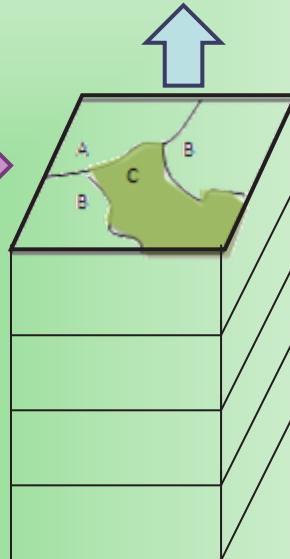


Maillage: 1 km<sup>2</sup>

Données climatologiques



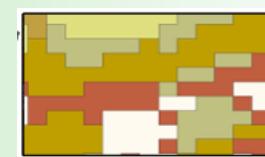
Utilisation des  
sols, croissance  
des cultures,  
pratiques  
agricoles



MNT



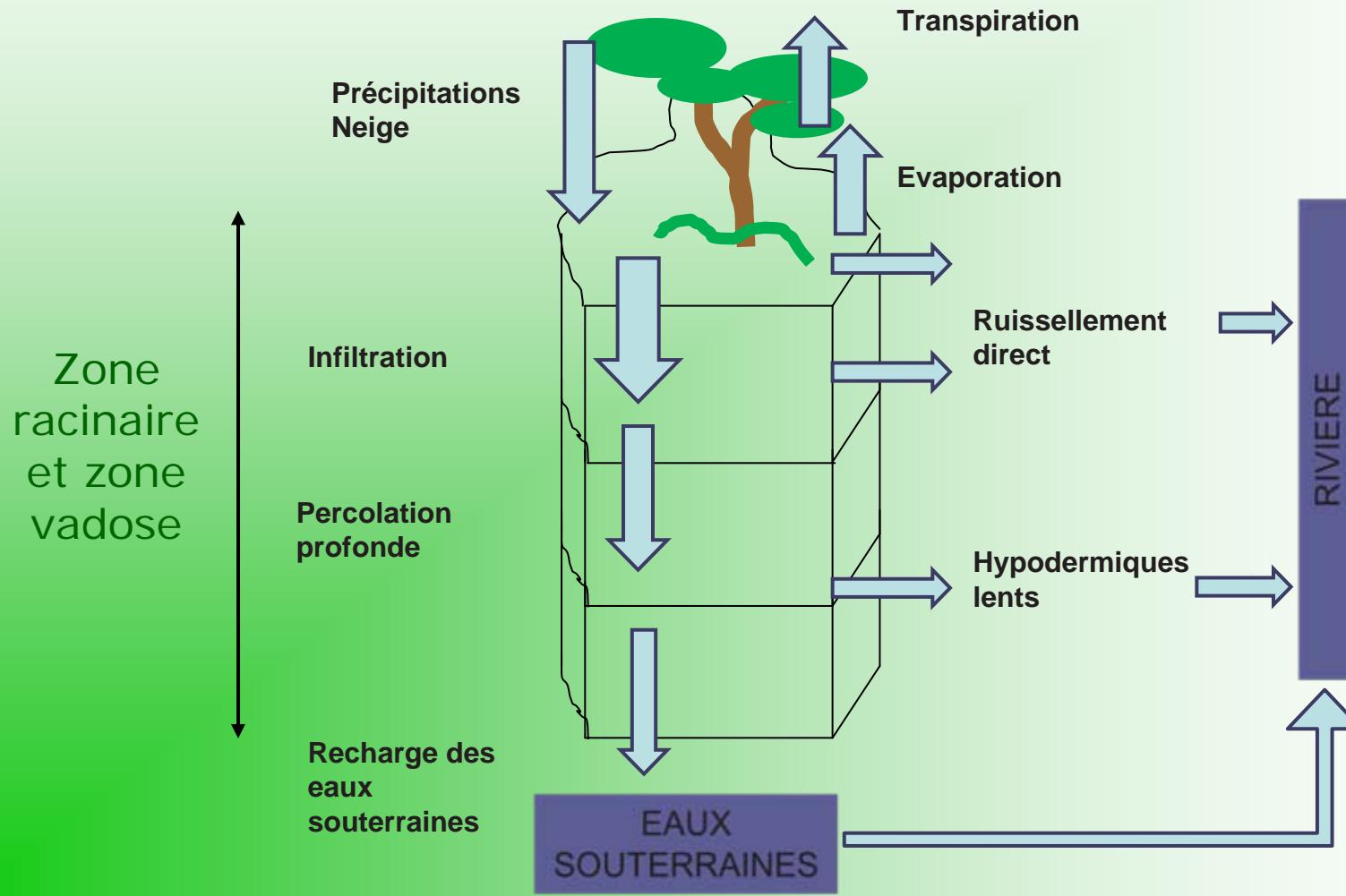
Sols



Géologie

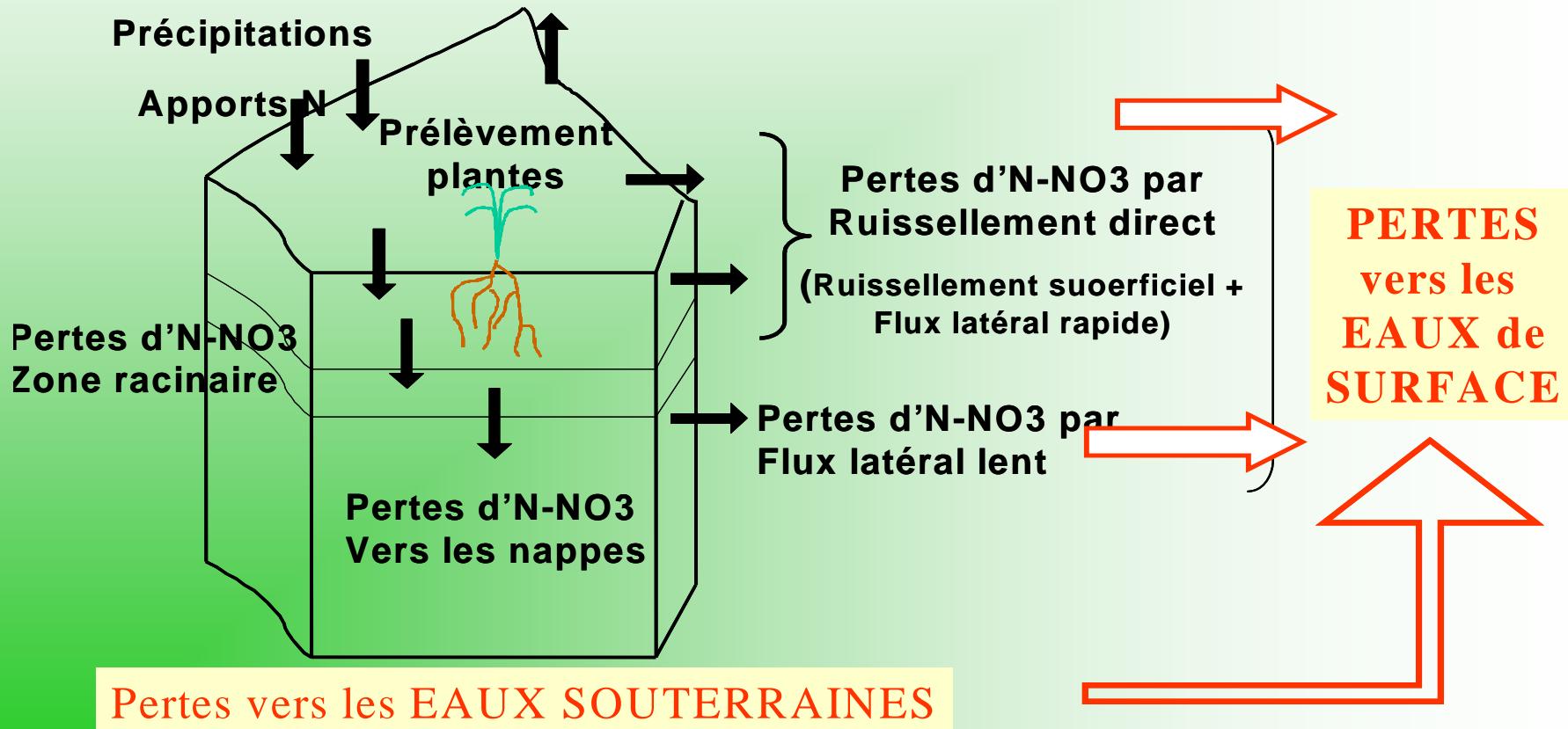
Dans chaque maille, pondération  
des différents éléments

# Représentation des flux d'eau

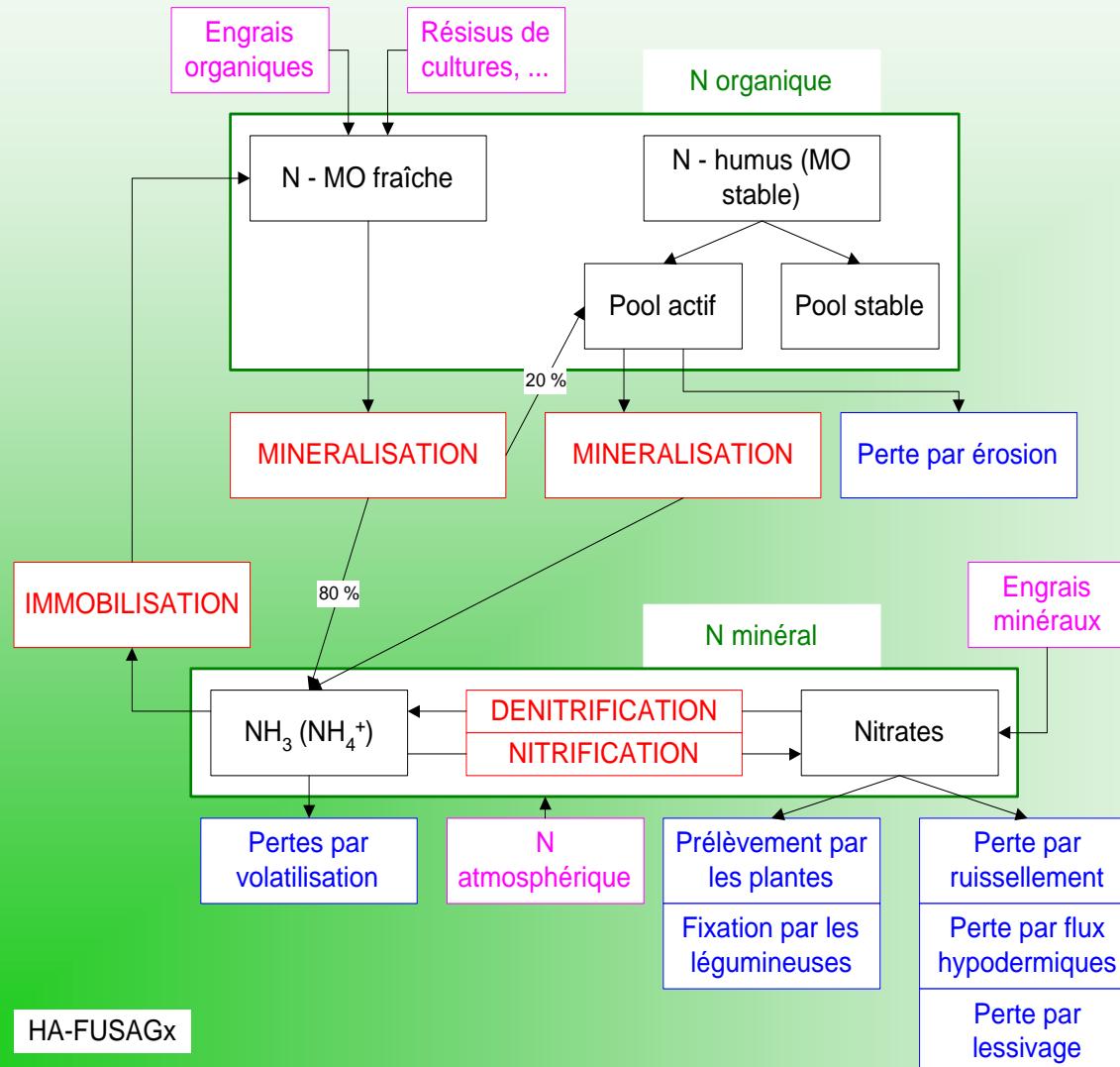


# nutriments

## Pertes par volatilisation



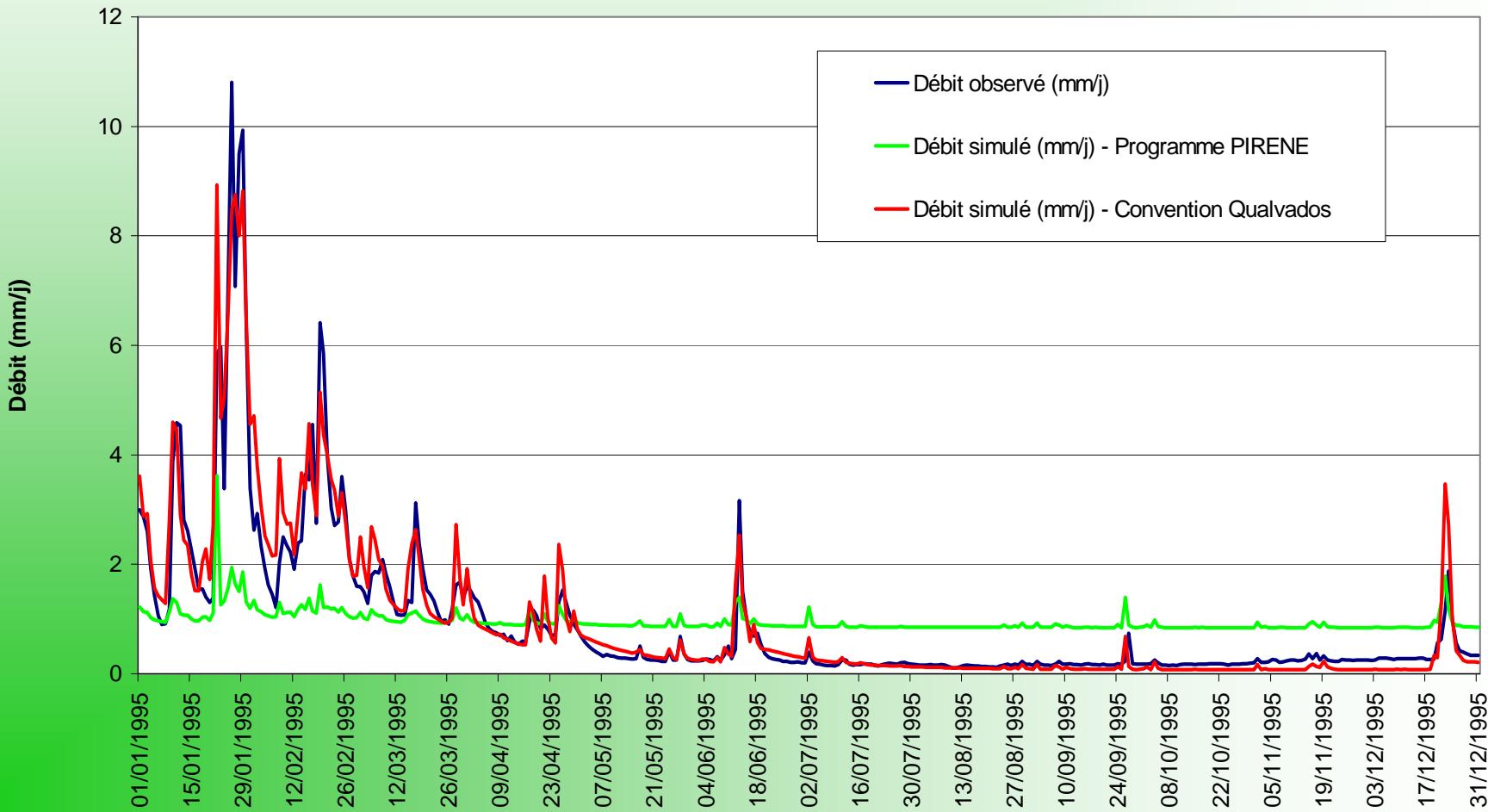
## Cycle nitrate et matière organique : processus pris en compte par le modèle EPICgrid



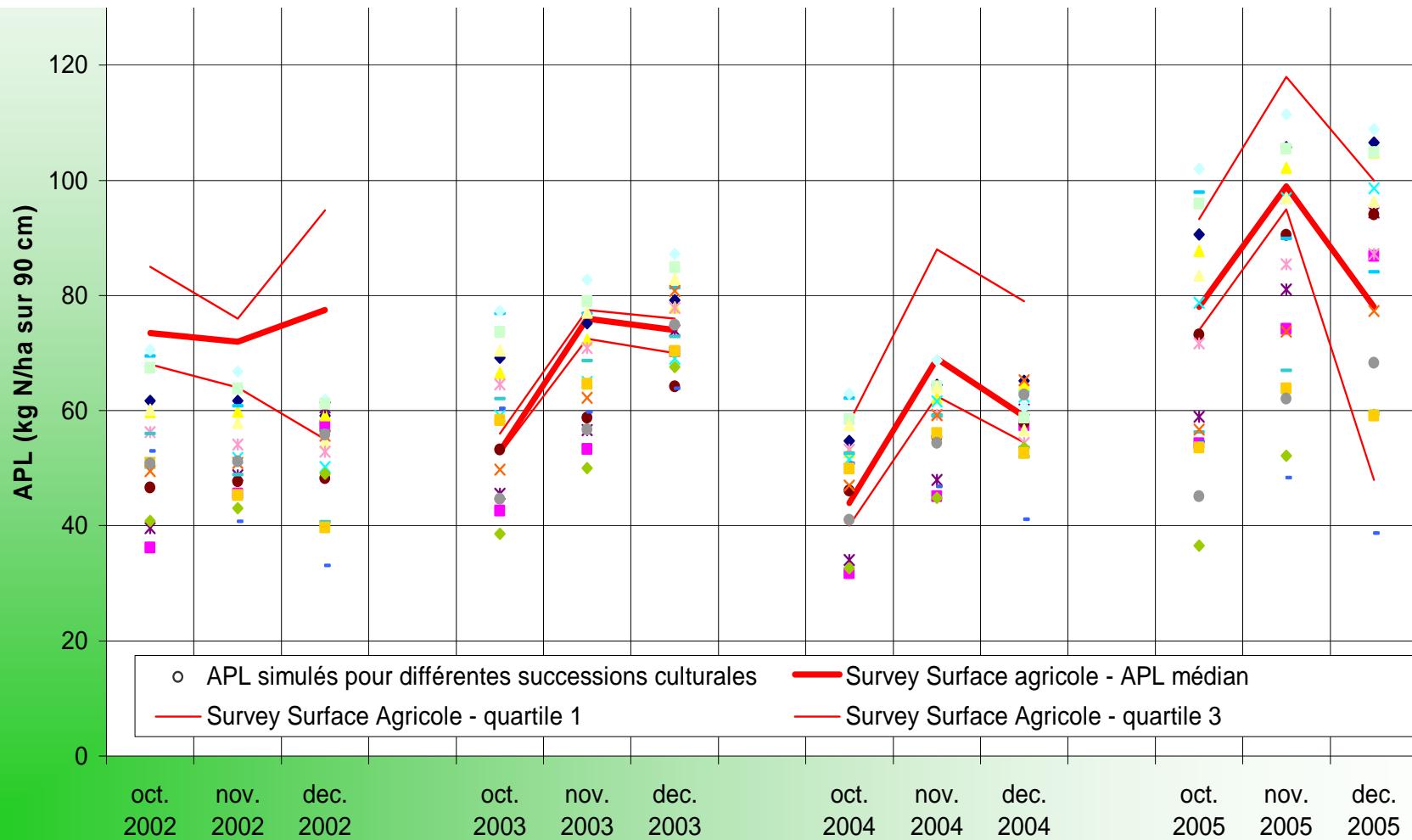
# Exemples de validation

# Exemple de validation – aspect quantitatif

Modèle EPICgrid : Evolution journalière des débits observés et simulés  
La Mehaigne à Upigny (17 km<sup>2</sup>) - 1995



## Exemple de validation - aspect qualitatif APL (Froment)

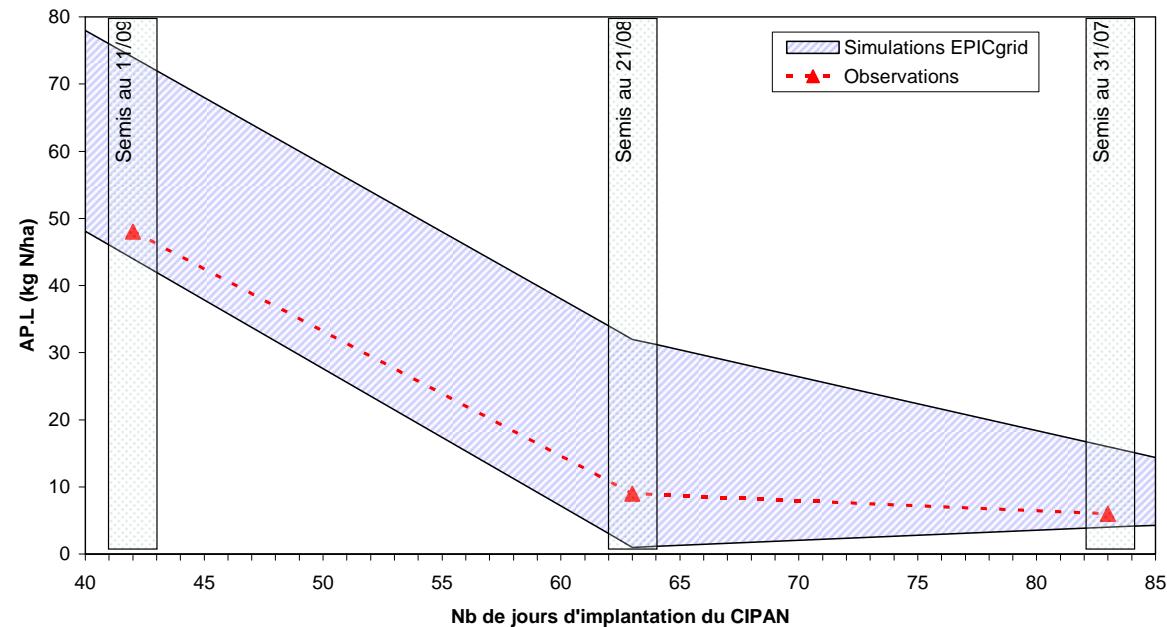


# Nouveaux développements

- Amélioration des intercultures
  - Utilisation des données de suivi des intercultures réalisées par Nitrawal
  - Validation des modules de croissance végétale et de prélèvement/restitution de l'azote
- Prise en compte des bandes enherbées
  - Introduction des BE riveraines et non riveraines dans l'occupation du sol,
  - Quantification de l'apport du BV (quantité et mode d'apport), de la sédimentation, de l'infiltration et de la dénitrification éventuelle

# Amélioration des intercultures

Modèle EPICgrid - APL au 22/10 après Moutarde  
Essai CIPAN à Malèves-Sainte-Marie



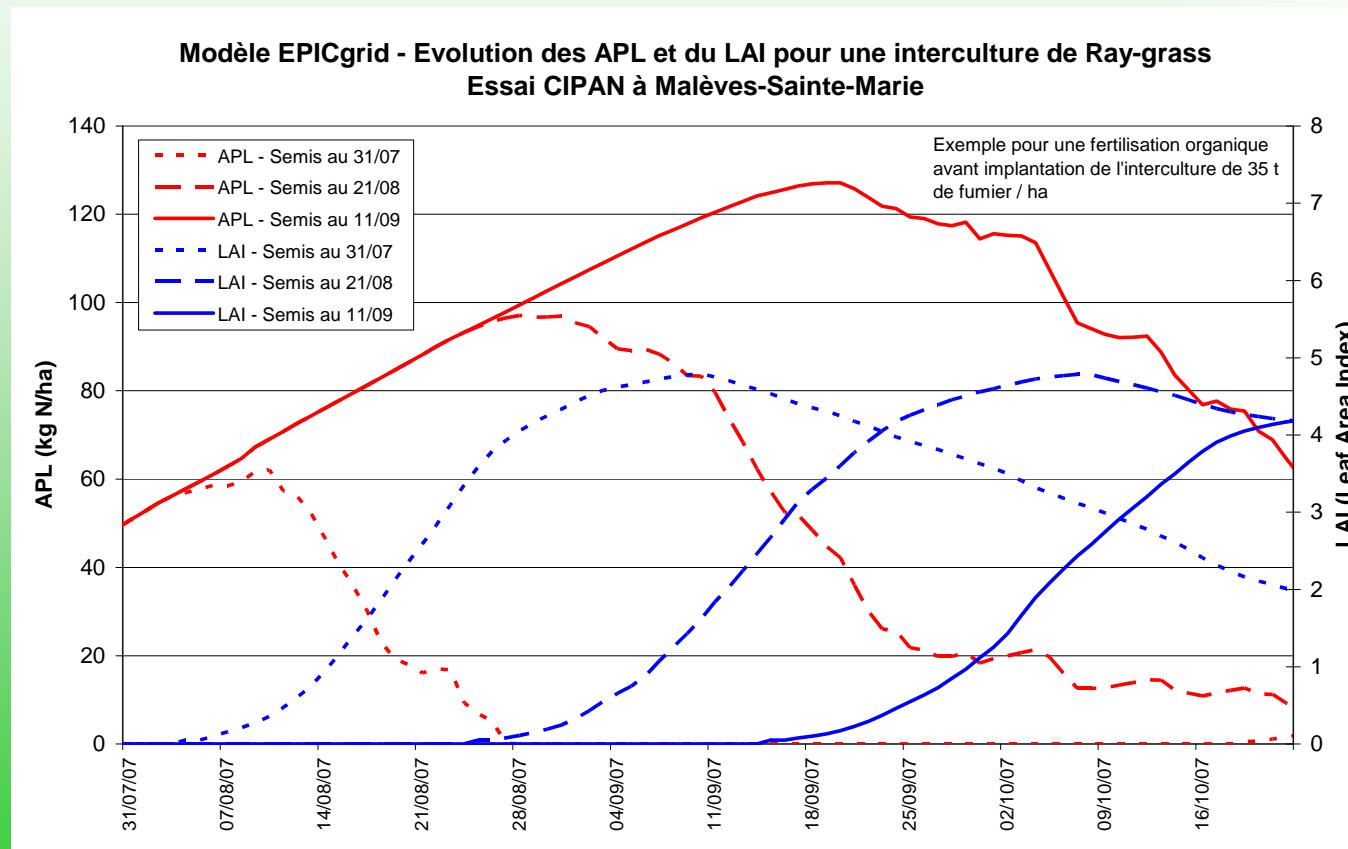
Les APL sont reportés en fonction du nombre de jours d'implantation du CIPAN

On note l'impact de la date de semis du CIPAN sur l'APL mesuré/simulé.

La figure combine les résultats de plusieurs simulations incluant différents niveaux de fertilisation organique

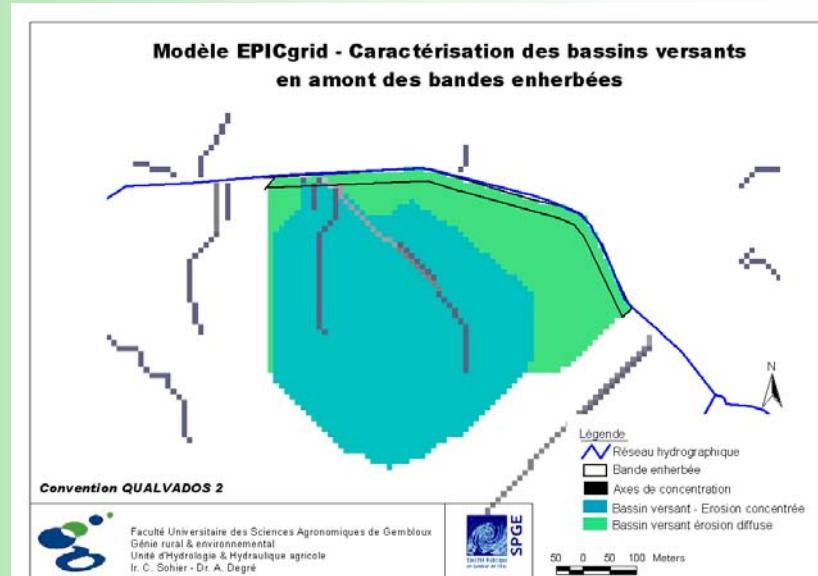
les APL observés sont issus de 3 parcelles semées à des dates différentes.

# Amélioration des intercultures



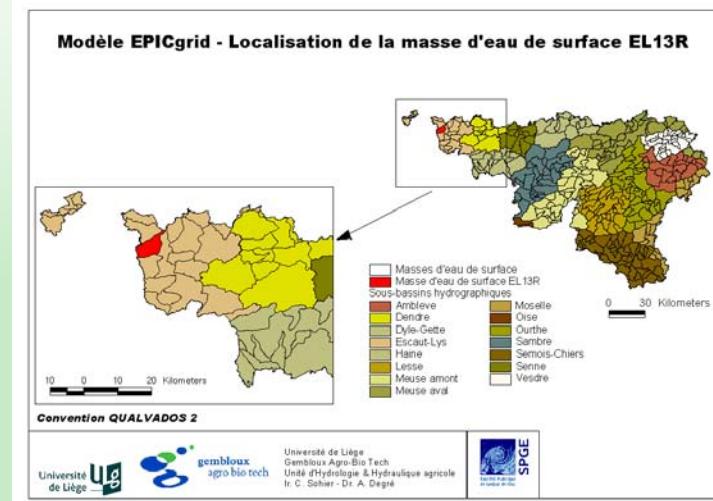
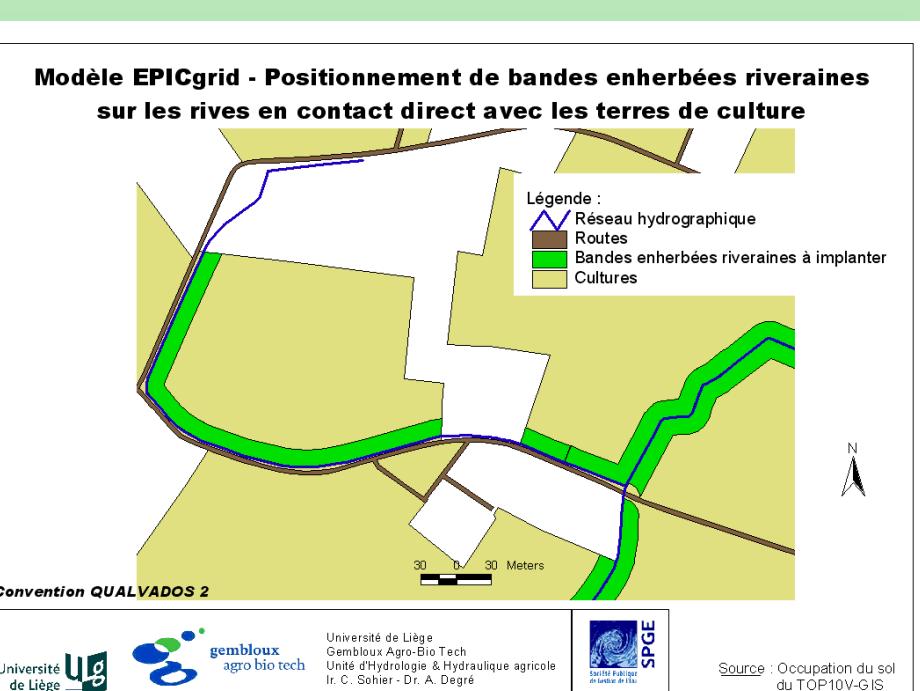
Le stock d'azote dans le sol (APL) augmente jusqu'au semis de l'interculture du fait notamment de la minéralisation des matières organiques apportées et des résidus de culture. A la date de semis du CIPAN, le stock d'azote est donc maximal pour les semis les plus tardifs.

# Prise en compte des bandes enherbées



# Prise en compte des bandes enherbées

Scénario BE obligatoire le long des cours d'eau quand la terre arable est adjacente



Scénario

Réduction des apports d'N au cours d'eau\*

BE 6m -23%

BE 12m -25%

BE 18m -26%

\* Moyenne sur la masse d'eau test en comparaison à une situation sans BE

# Le projet QualVados

# Objectifs du projet QualVados

- **Simulation de l'impact des mesures prises pour réduire les incidences de la pollution diffuse d'origine agricole sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines**
- **Horizons temporels : 2015, 2021, 2027**

# Objectifs opérationnels

- Evaluer par modélisation EPICgrid l'impact des mesures mises en œuvre pour réduire les incidences de la pollution diffuse sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines.
  - Les mesures prises en considération sont :
    - le Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA1 suivi du PGDA2) ;
    - certaines mesures agri-environnementales (MAE) ;
    - les bandes enherbées (autres que MAE).
  - La réponse du système sol-zone vadose aux modifications de pratiques agricoles est analysée pour les horizons temporels 2015, 2021 et 2027, soit pour les différentes dates butoir de la Directive-Cadre Eau.
- Notons, que les simulations réalisées ont pour objectif de quantifier l'impact de ces mesures à l'échelle régionale.

## • **Hypothèses**

- La réalisation de simulations prospectives (jusqu'en 2027) par le modèle EPICgrid nécessite de réaliser un certain nombre d'hypothèses.
- Ces hypothèses sont liées à l'évolution de l'occupation du sol et des pratiques agricoles (hypothèses agronomiques) ainsi qu'au climat (hypothèses climatiques).

## • **Hypothèses agronomiques**

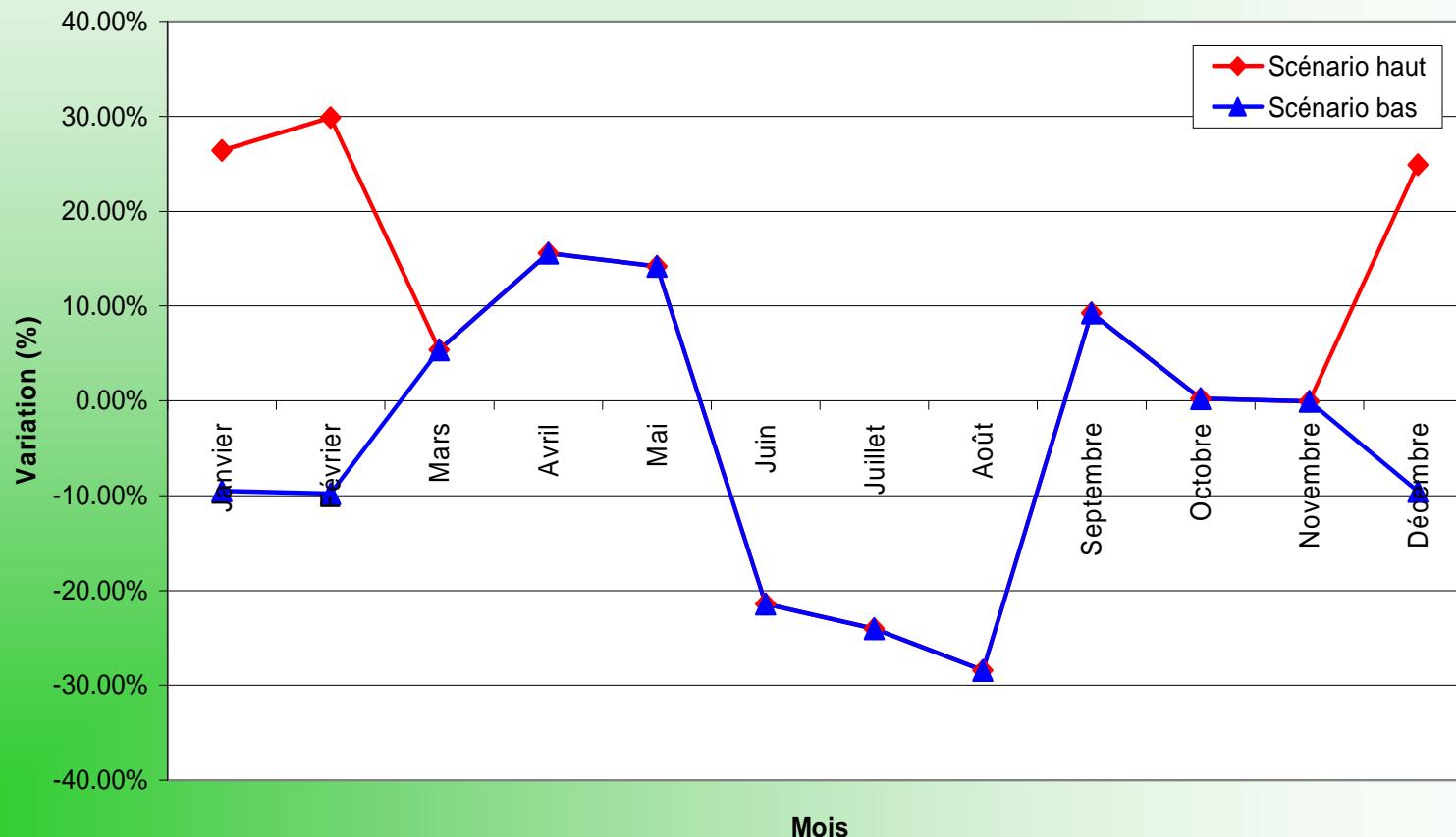
- Les superficies agricoles, la répartition des types de culture (froment, betterave, ...) ainsi que les successions culturales sont considérées comme équivalentes à celles de 2005 ;
- Les fertilisations minérales par cultures sont celles de 2005 ;
- L'introduction d'une interculture dans la rotation donne lieu à une réduction de la fertilisation minérale de la culture qui suit l'interculture. Cette réduction de fertilisation minérale est fixée à 20 kg/ha (Source : classeur « Eau-Nitrate » édité par Nitrawal, restitution d'azote pour une crucifère ayant une production moyenne).  
Remarque : Qualvados1 : 30 kg/ha

## Hypothèses climatiques

- La séquence climatique de la période 2006-2027 est prise comme équivalente à la dernière période climatique, à savoir 1978-1999.
- Néanmoins, afin de prendre en compte l'impact des changements climatiques, les données relatives à cette période ont été perturbées à l'aide de l'outil CCI-HYDR (outil de perturbation des données météorologiques développé en collaboration par la KULeuven et l'IRM).
- Perturbation des données de précipitations et de températures
- Deux scénarios sont considérés : un scénario haut (hivers humides et étés secs) et un scénario bas (hivers secs et étés secs) ; l'utilisation de ces deux scénarios permettant de rendre compte de la sensibilité des résultats du modèle à l'incertitude sur l'évolution du climat.

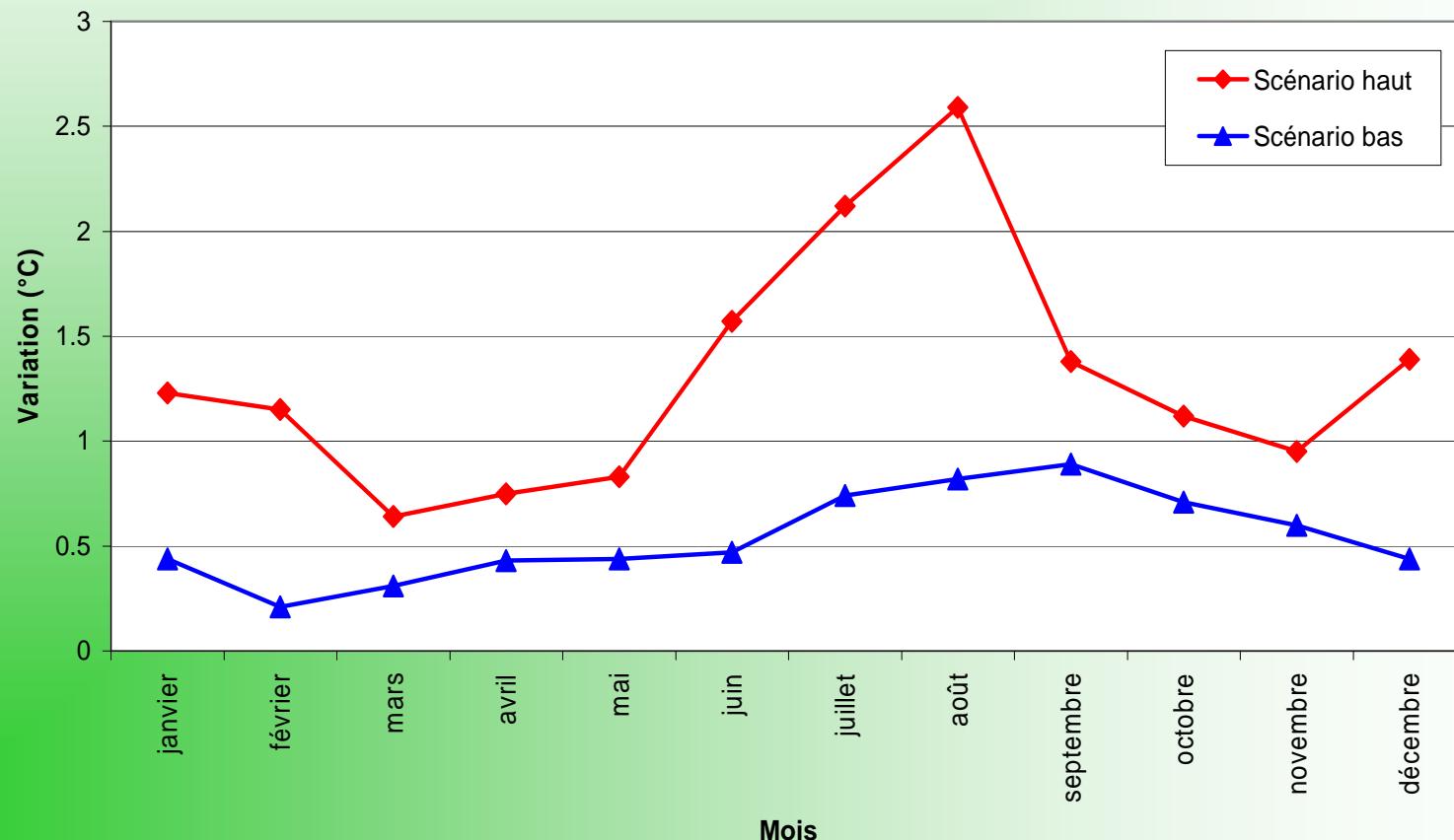
## Précipitations : perturbations CCI-HYDR

CCI-HYDR - Variation mensuelle des précipitations à la station de Braine-l'Alleud à l'horizon 2020



## Températures : perturbations CCI-HYDR

CCI-HYDR - Variation mensuelle de la température moyenne à la station de Braine-l'Alleud à l'horizon 2020



## Mise en œuvre des simulations

- Outre l'incertitude inhérente au changement climatique, la variabilité naturelle interannuelle de la météo peut influencer les résultats des simulations prospectives.
- Afin d'affranchir autant que possible les résultats de la variabilité météorologique, la quantification de l'impact des mesures prises pour réduire sur la pollution diffuse des eaux par le nitrate d'origine agricole est réalisée, à l'horizon 2015, 2021 et 2027, par comparaison entre les résultats d'une simulation intégrant ces mesures et une simulation de référence n'intégrant pas ces mesures.
- De plus, les résultats seront présentés en termes de moyennes pluriannuelles établies par pas de 6 ans, à savoir 2010-2015, 2016-2021 et 2022-2027.
- La mesure agri-environnementale « culture hivernale du sol » ainsi que les bandes enherbées sont prises en considération dans les simulations à partir de 2005.

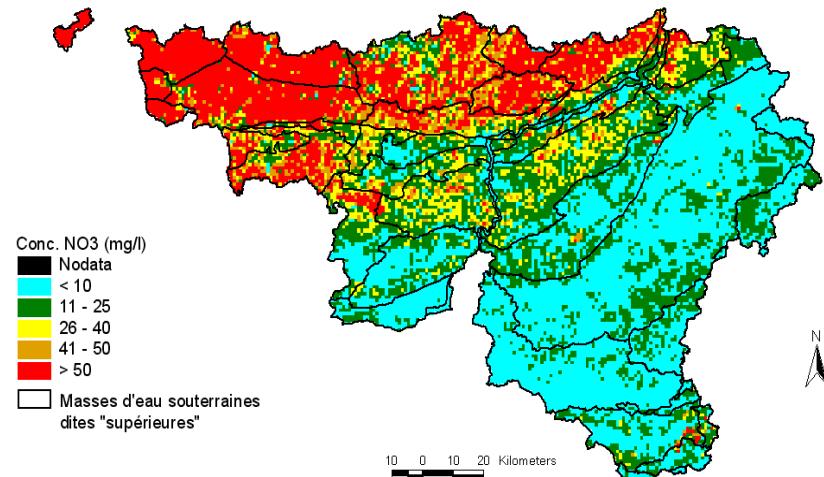
# Estimation de la qualité de l'eau du sol à une profondeur de 1,5 m

## Résultats : Impact sur les eaux souterraines

### Evolution des concentrations en nitrate à -1,5 m

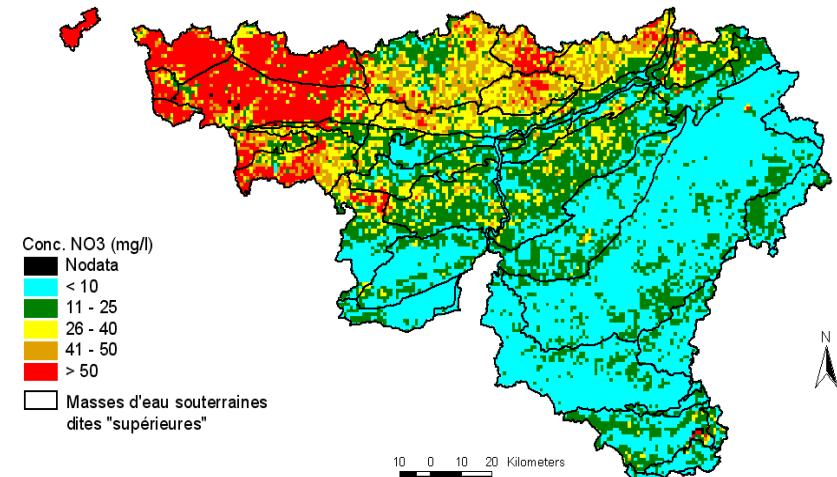
#### Etat actuel

**Modèle EPICgrid - Concentration en nitrate des eaux de lessivage  
à la base de la zone racinaire (1.5 m) - Moyenne 1994 - 1999**



Convention QUALVADOS 2

**Modèle EPICgrid - Concentration en nitrate des eaux de lessivage  
à la base de la zone racinaire (1.5 m) - Moyenne 2000 - 2005**



Convention QUALVADOS 2

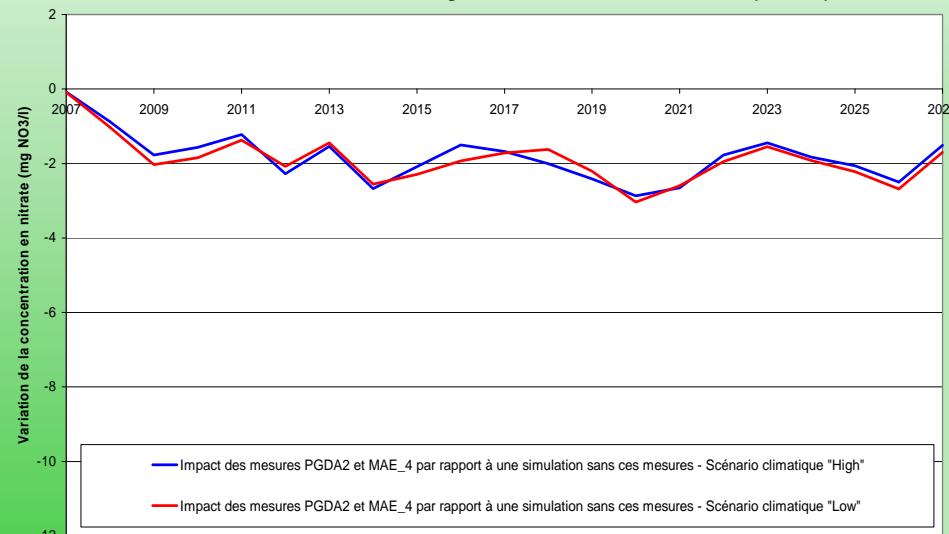
De manière générale, on observe entre 1994-1999 et 2000-2005 une diminution des concentrations principalement liée à la séquence climatique particulière observée entre 1998 et 2002.

## Résultats : Impact sur les eaux souterraines

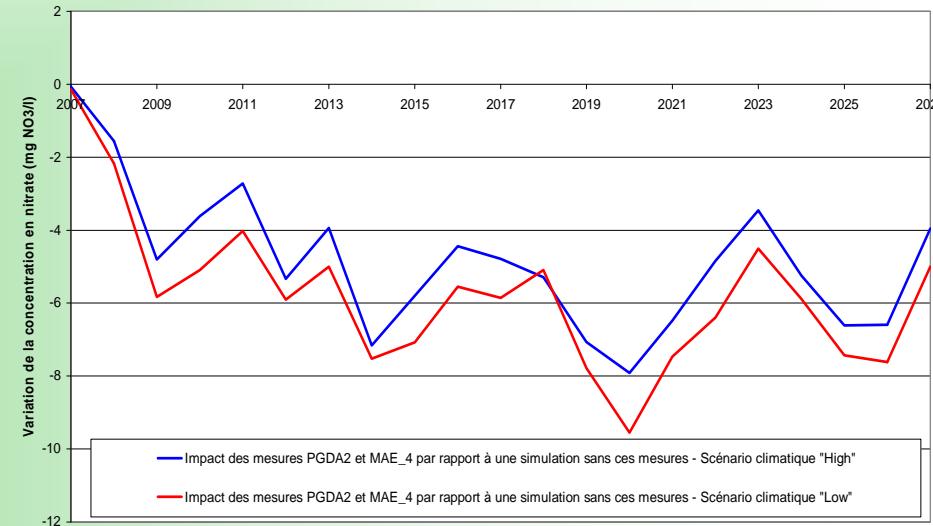
### Evolution des concentrations en nitrate à -1,5 m

### Résultats des simulations prospectives

Modèle EPICgrid - Effet des mesures PGDA2 et MAE\_4 sur la concentration en nitrate des eaux de lessivage à la base de la zone racinaire (1.5m)  
Masse d'eau souterraine des calcaires et grès dévoniens du bassin de la Sambre (RWM022)



Modèle EPICgrid - Effet des mesures PGDA2 et MAE\_4 sur la concentration en nitrate des eaux de lessivage à la base de la zone racinaire (1.5m)  
Masse d'eau souterraine des calcaires de Peruwelz-Ath-Soignies (RWE013)



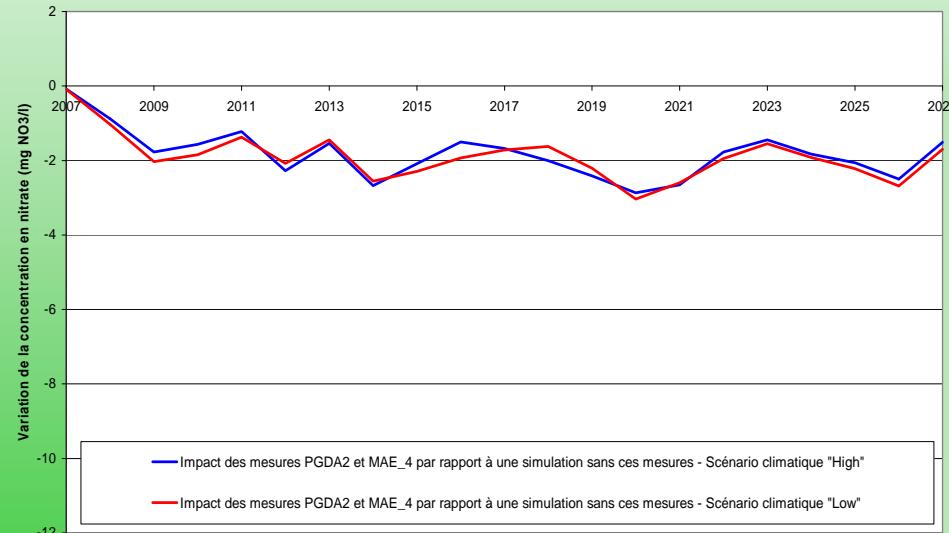
- La différence de concentration observée entre les deux simulations croît progressivement avec la mise en place des mesures pour se stabiliser assez rapidement après la mise en place complète de celles-ci (aux variations près engendrées par le climat). On peut considérer que cette valeur représente le gain maximum escompté pour les mesures prises en considération.

## Résultats : Impact sur les eaux souterraines

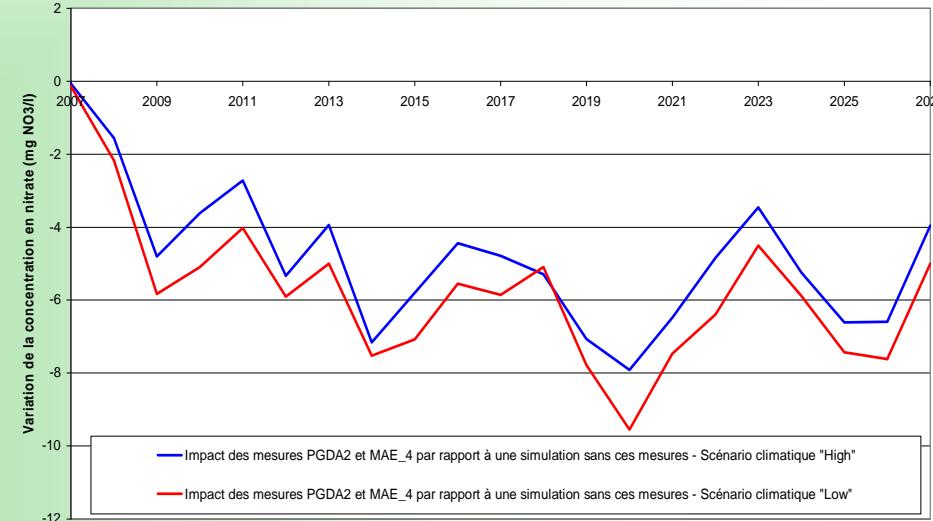
### Evolution des concentrations en nitrate à -1,5 m

### Résultats des simulations prospectives

Modèle EPICgrid - Effet des mesures PGDA2 et MAE\_4 sur la concentration en nitrate des eaux de lessivage à la base de la zone racinaire (1.5m)  
Masse d'eau souterraine des Calcaires et grès dévoniens du bassin de la Sambre (RWM022)



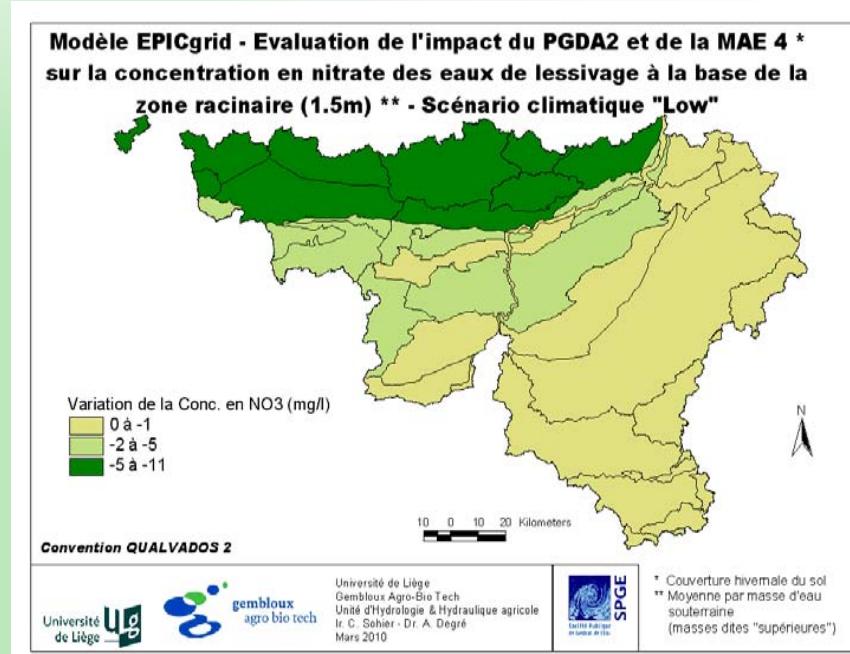
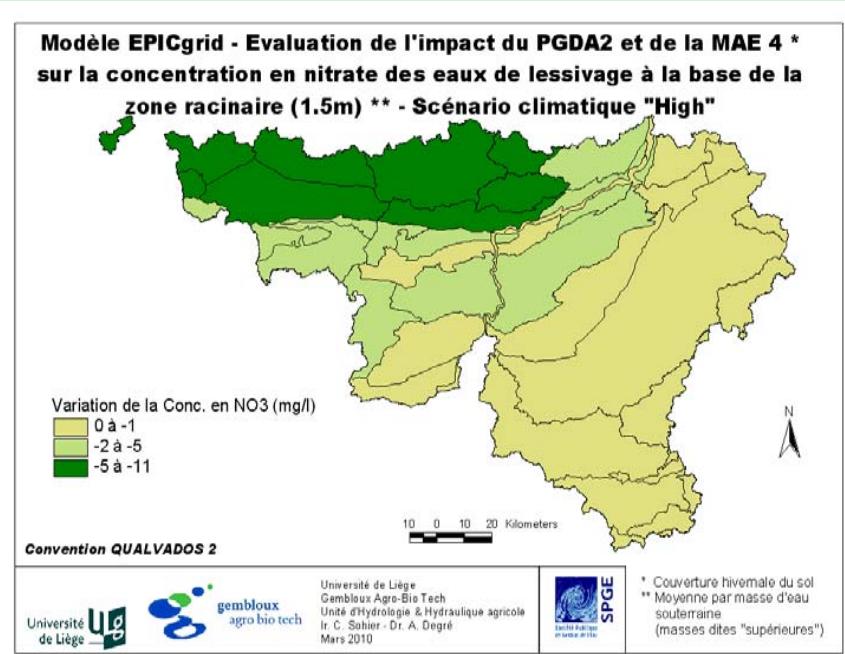
Modèle EPICgrid - Effet des mesures PGDA2 et MAE\_4 sur la concentration en nitrate des eaux de lessivage à la base de la zone racinaire (1.5m)  
Masse d'eau souterraine des calcaires de Peruwelz-Ath-Soignies (RWE013)



- L'impact des mesures sur les concentrations en nitrate des eaux de lessivage à la base de la zone racinaire diffère peu selon le scénario de changement climatique considéré (« High » ou « Low »).

## Résultats : Impact sur les eaux souterraines Evolution des concentrations en nitrate à -1,5 m

### Résultats des simulations prospectives

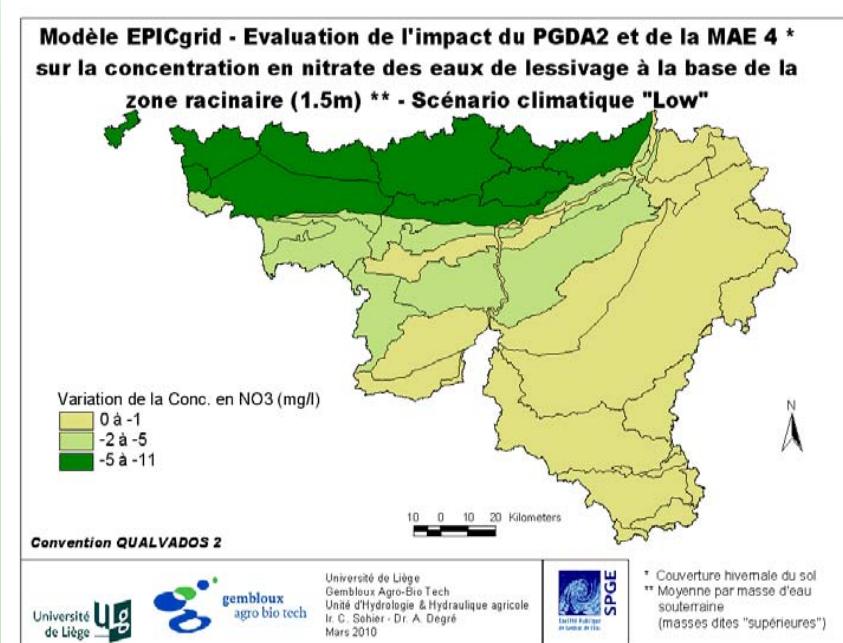
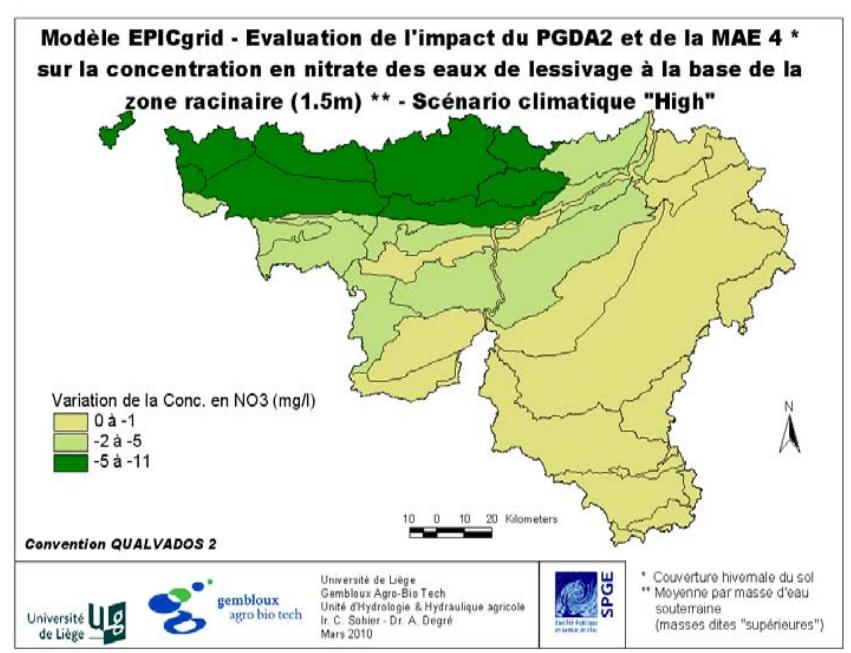


- les résultats obtenus avec les deux scénarios de changements climatiques sont relativement semblables
- l'impact le plus important est observé au nord du sillon Sambre-Meuse ; la prise en compte des mesures pouvant engendrer une diminution des concentrations pouvant aller jusqu'à 11 mg/l

## Résultats : Impact sur les eaux souterraines

### Evolution des concentrations en nitrate à -1,5 m

### Résultats des simulations prospectives



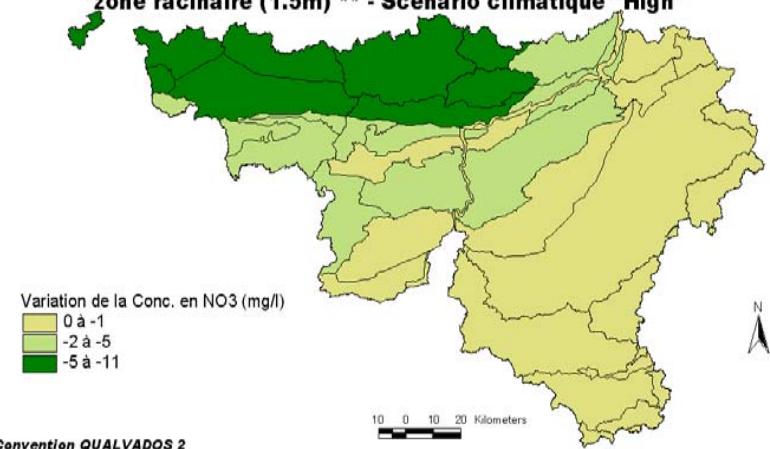
- par rapport aux simulations réalisées dans le cadre de Qualvados1 qui n'intégreraient que le PGDA, les différences escomptées sont plus importantes pour certaines masses d'eau comme, par exemple, le Condroz. Ceci est à mettre en relation avec la prise en compte de la mesure agri-environnementale « couverture hivernale du sol ».

## Résultats : Impact sur les eaux souterraines

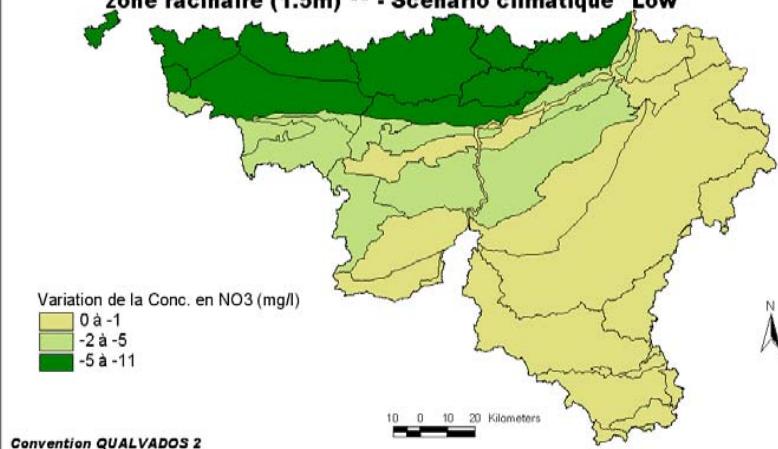
### Evolution des concentrations en nitrate à -1,5 m

### Résultats des simulations prospectives

Modèle EPICgrid - Evaluation de l'impact du PGDA2 et de la MAE 4 \*  
sur la concentration en nitrate des eaux de lessivage à la base de la  
zone racinaire (1.5m) \*\* - Scénario climatique "High"



Modèle EPICgrid - Evaluation de l'impact du PGDA2 et de la MAE 4 \*  
sur la concentration en nitrate des eaux de lessivage à la base de la  
zone racinaire (1.5m) \*\* - Scénario climatique "Low"

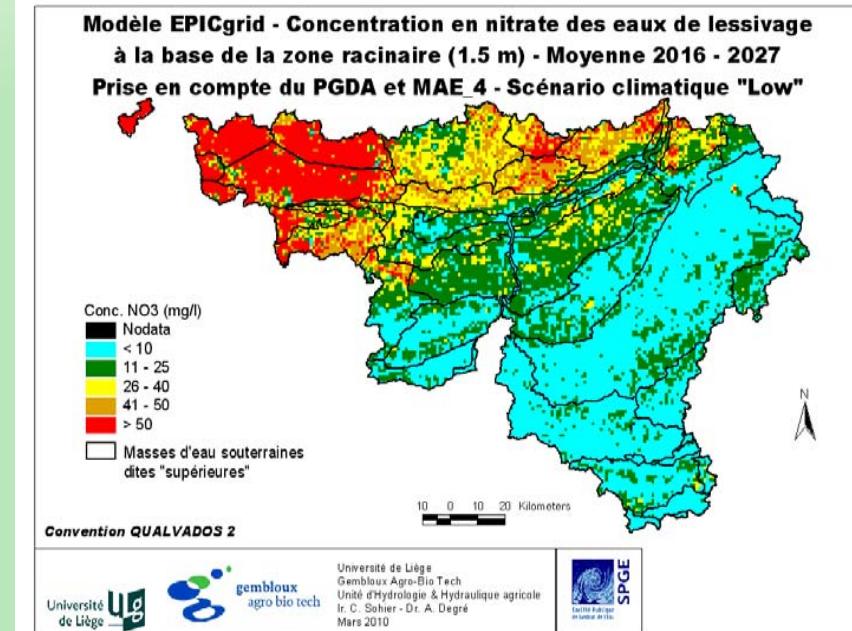
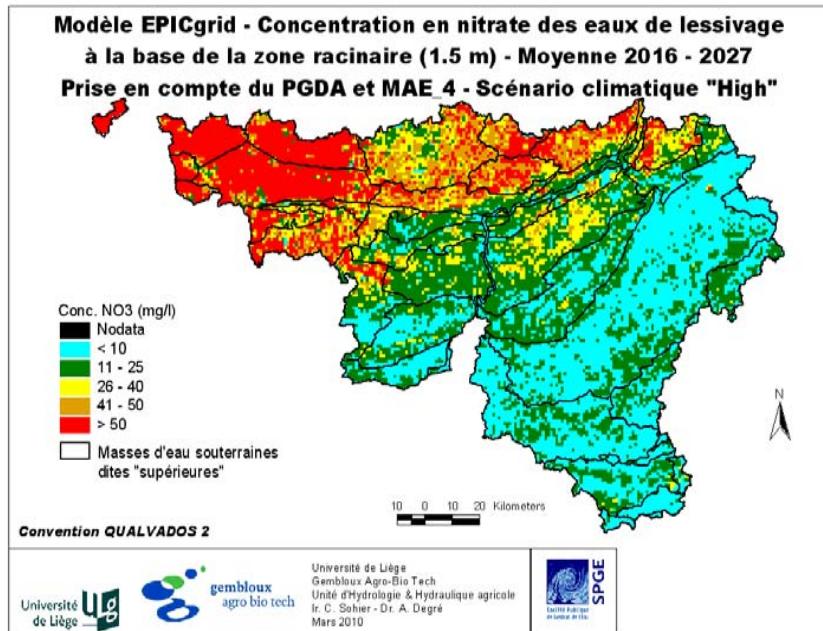


- les ordres de grandeur des diminutions de concentrations escomptées en zones vulnérables sont similaires à celles estimées dans Qualvados1 alors que la réduction de fertilisation minérale de la culture qui suit l'interculture a été ramenée de 30 kg/ha à 20 kg/ha. Les mesures complémentaires aux PGDA semblent donc avoir un impact positif sur la réduction de la pollution diffuse, qu'il convient de ne pas négliger.

## Résultats : Impact sur les eaux souterraines

### Evolution des concentrations en nitrate à -1,5 m

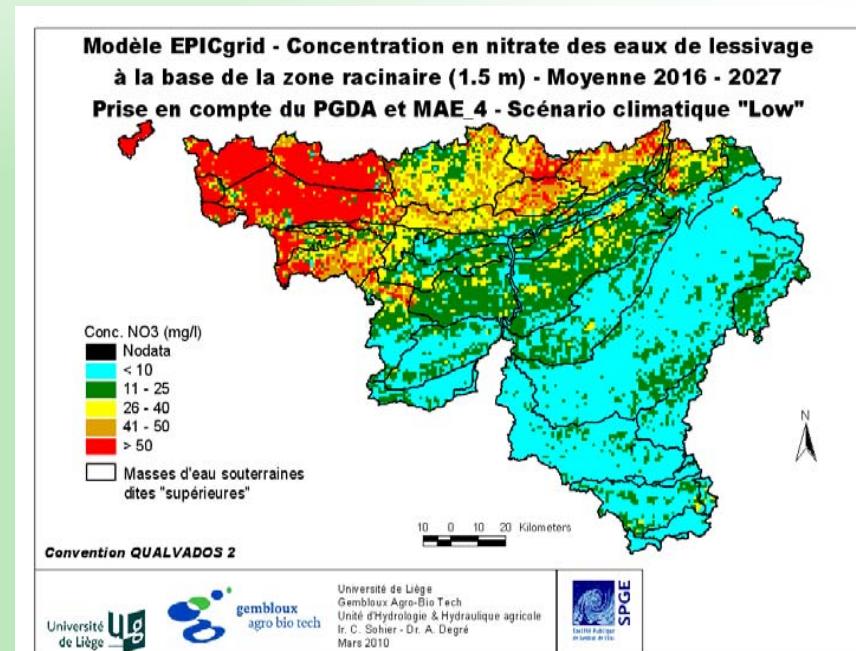
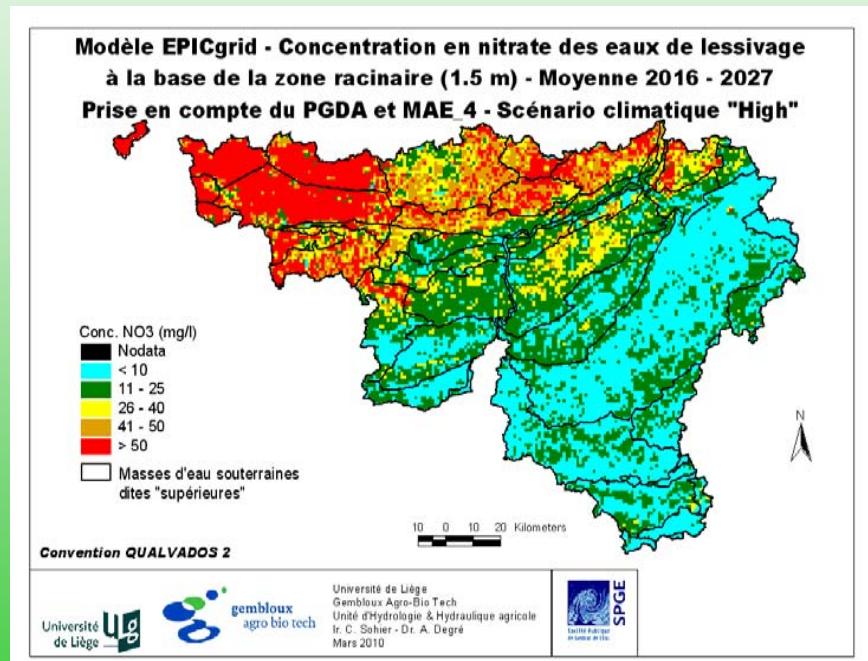
### Résultats des simulations prospectives : ETAT FUTUR



- Les concentrations simulées avec le scénario « High » sont globalement plus élevées que celles simulées avec le scénario « Low ».

## Résultats : Impact sur les eaux souterraines Evolution des concentrations en nitrate à -1,5 m

### Résultats des simulations prospectives : ETAT FUTUR

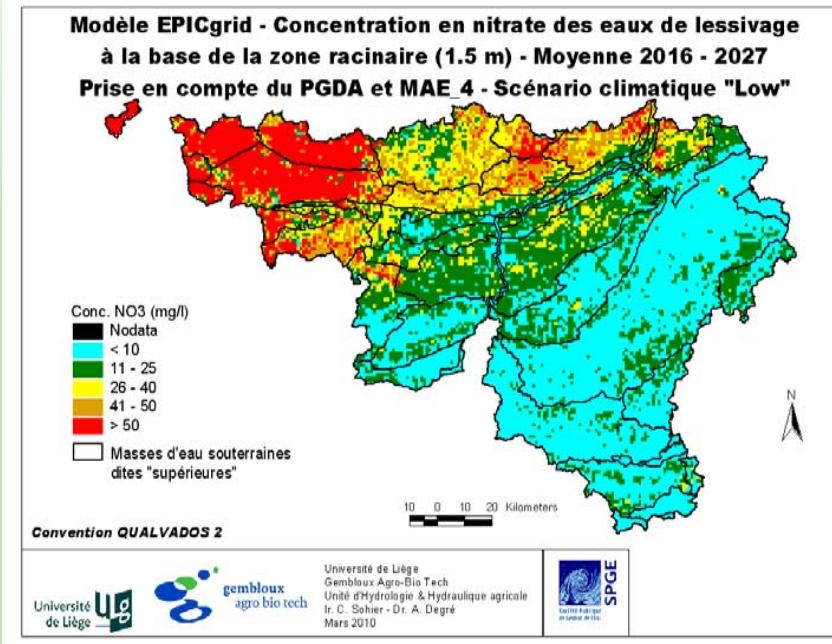
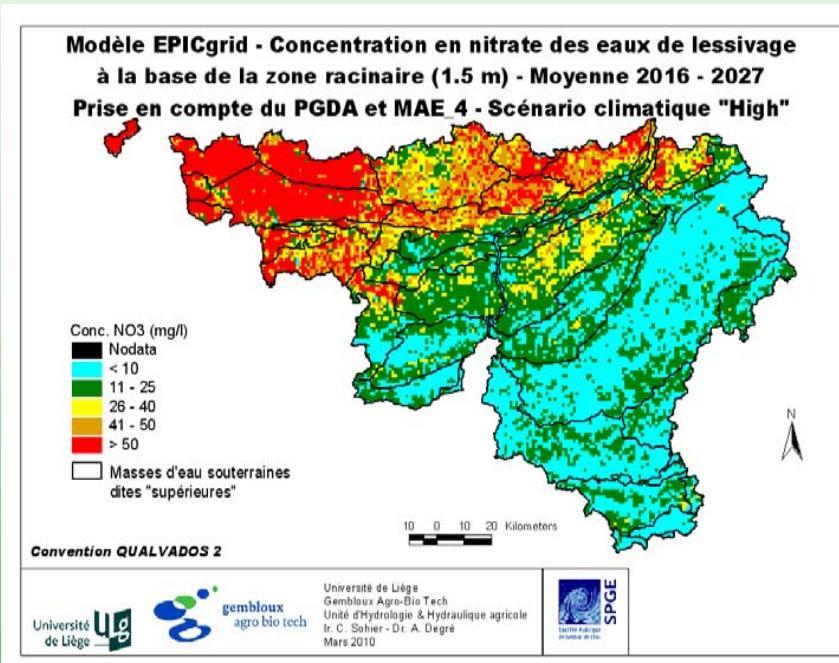


- Dans le scénario « High » :
  - les précipitations hivernales sont plus importantes, accentuant le lessivage
  - → stress de saturation en eau du sol au printemps, ce qui ralentit la reprise de la végétation et le prélèvement d'azote par la plante.

## Résultats : Impact sur les eaux souterraines

### Evolution des concentrations en nitrate à -1,5 m

### Résultats des simulations prospectives : ETAT FUTUR

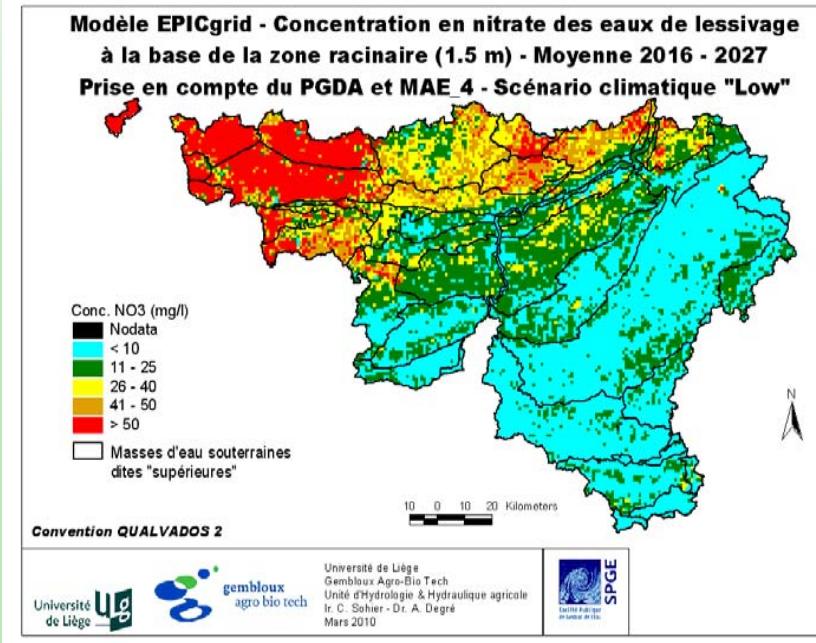
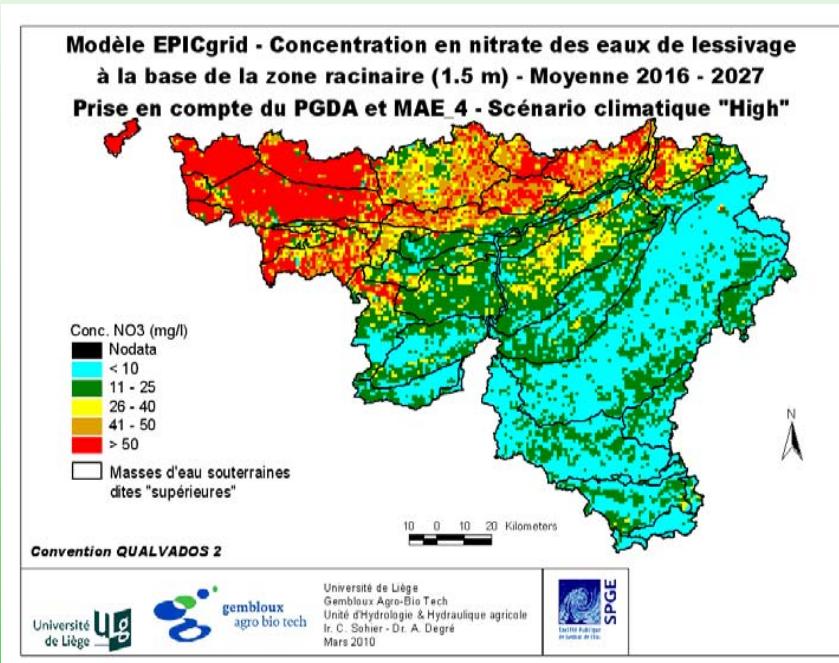


- Notons cependant que les concentrations simulées à l'horizon 2016-2027 sont à prendre avec les précautions de rigueur étant donné l'incertitude qui pèse quant à la variabilité interannuelle du climat et à l'évolution de celui-ci suite aux changements climatiques.

## Résultats : Impact sur les eaux souterraines

### Evolution des concentrations en nitrate à -1,5 m

### Résultats des simulations prospectives : ETAT FUTUR



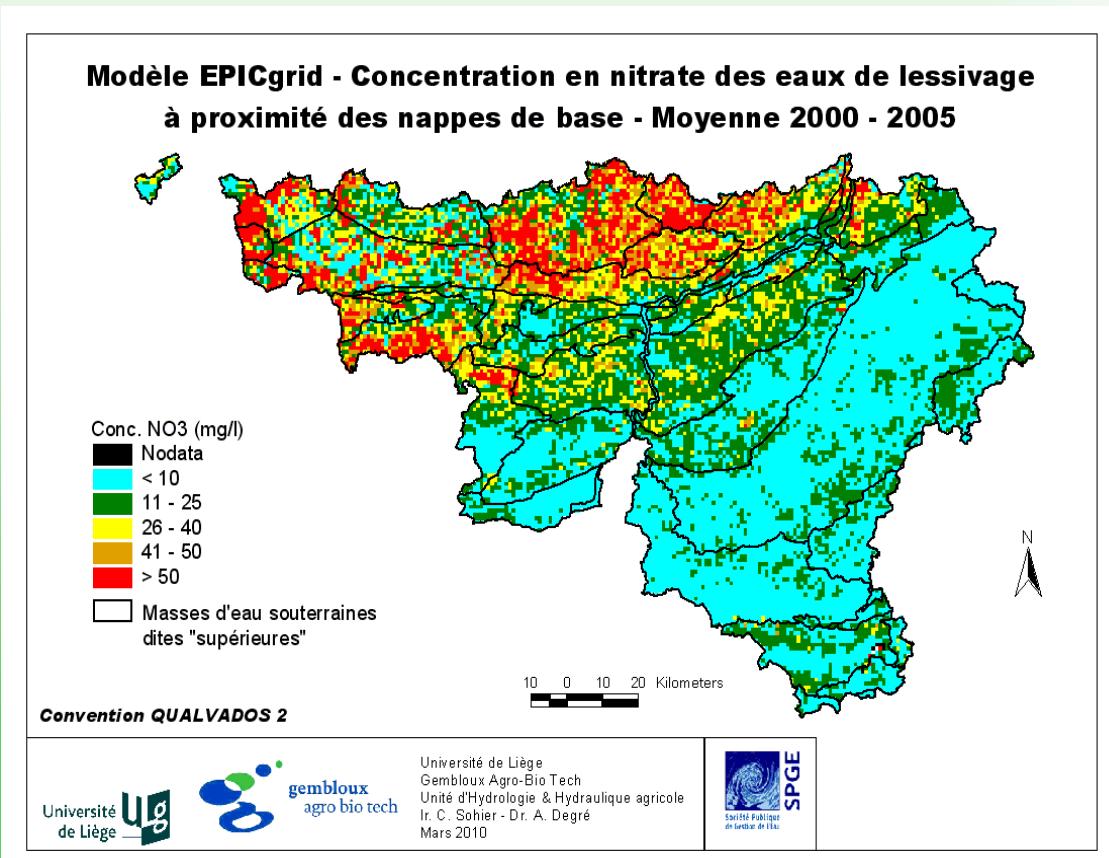
- Néanmoins, les concentrations en nitrate à la base de la zone racinaire restent élevées au nord du sillon Sambre-Meuse, voire très élevées dans les bassins Escaut-Lys, Dendre, Senne et Haine.

# Estimation de la qualité de la recharge au niveau de la nappe supérieure

## Résultats : Impact sur les eaux souterraines

### Impact sur la qualité de la recharge des nappes de base

#### Etat actuel



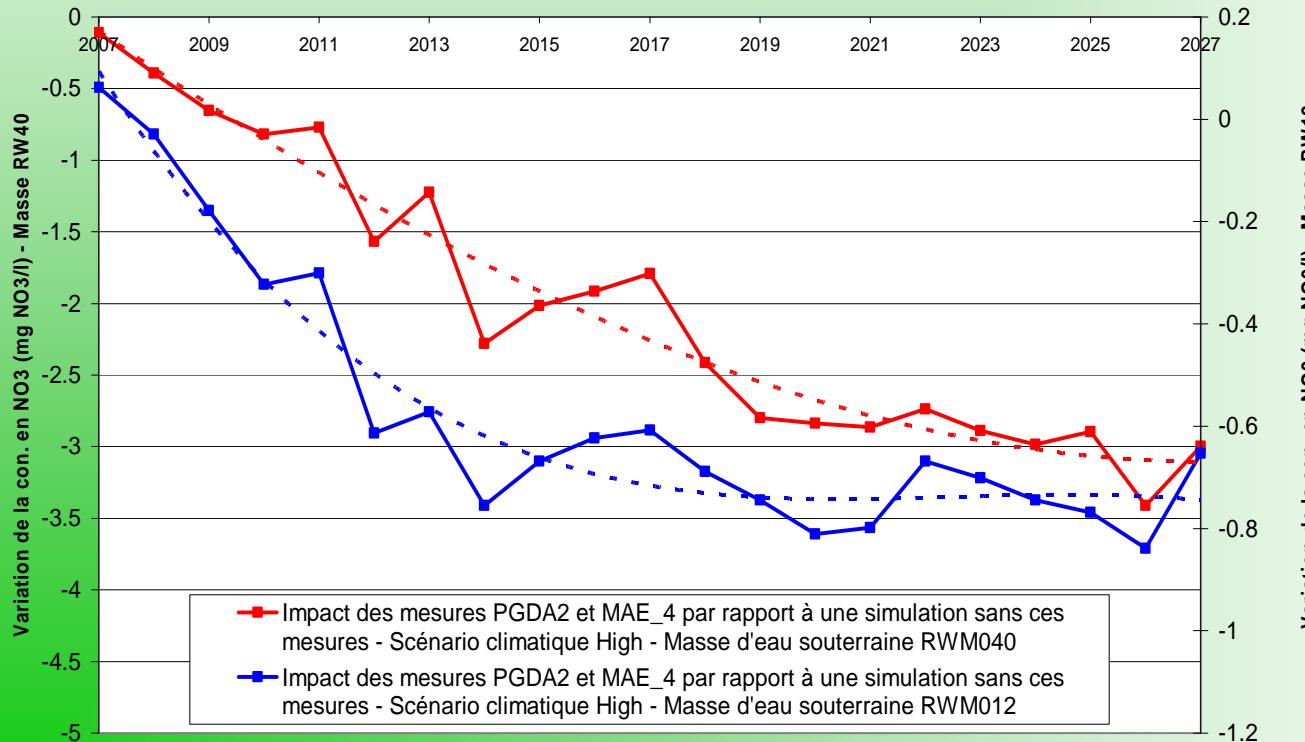
- Plusieurs masses d'eau souterraine présentent des teneurs en nitrate de la recharge relativement élevées.

# Résultats : Impact sur les eaux souterraines

## Impact sur la qualité de la recharge des nappes de base

### Résultats des simulations prospectives

Modèle EPICgrid - Influence des temps de transfert du nitrate dans la zone vadose sur la répercussion d'une modification de pratiques agricoles sur la concentration en nitrate au voisinage de la nappe de base

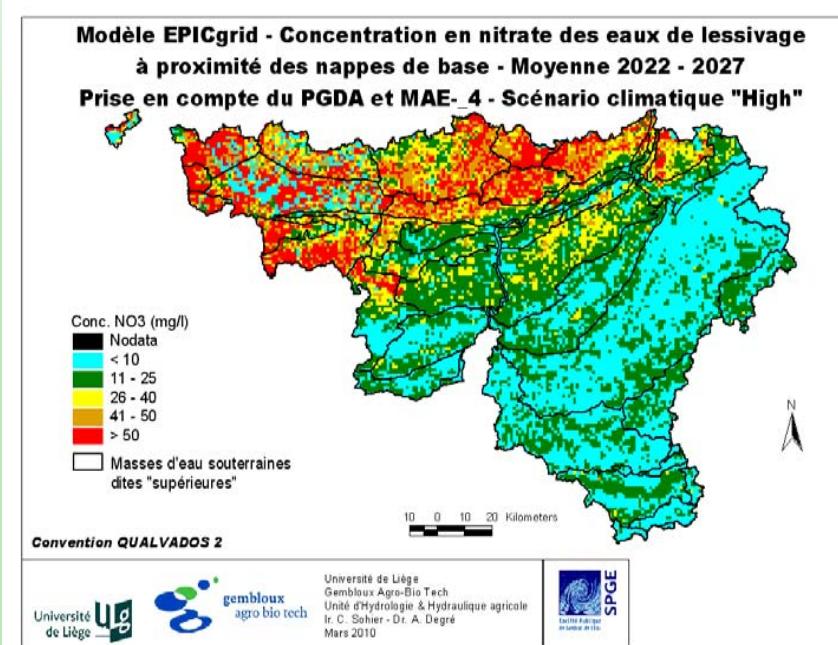
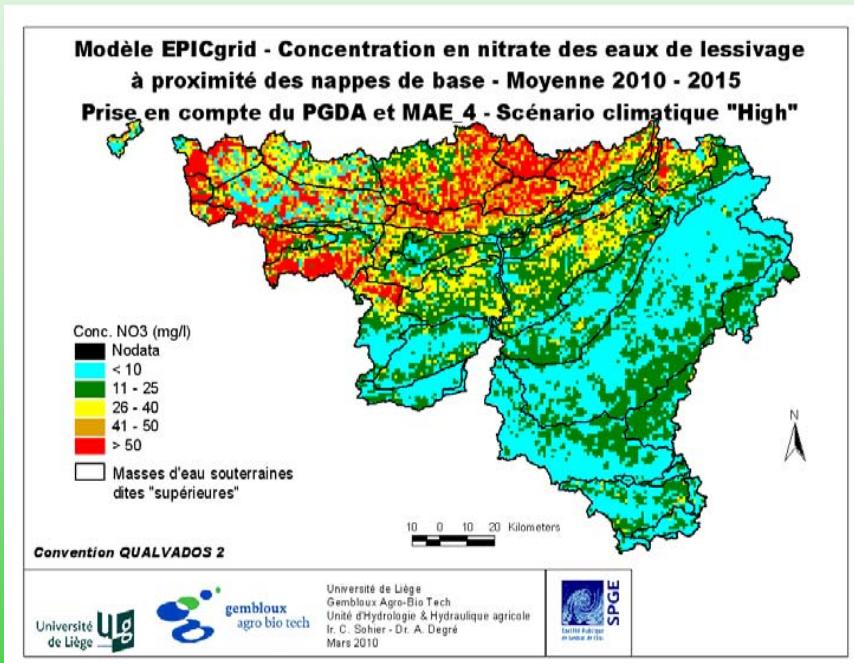


- Si les modifications de pratiques agricoles se marquent relativement rapidement à la base de la zone racinaire, il n'en est pas de même au voisinage des nappes de base. La manière dont les concentrations au voisinage de la nappe de base vont être affectées par les modifications de pratiques en surface dépend des propriétés de la zone vadose et notamment de ses propriétés de transfert et d'amortissement.

## Résultats : Impact sur les eaux souterraines

### Impact sur la qualité de la recharge des nappes de base

### Résultats des simulations prospectives : ETAT FUTUR

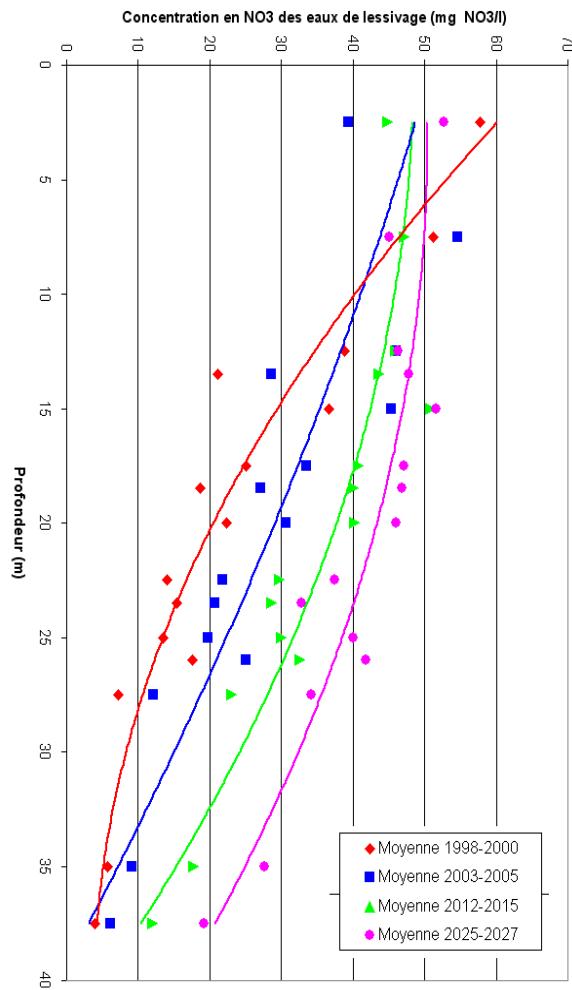


- Globalement, des concentrations trop élevées en nitrate subsistent encore tant pour l'horizon 2010-2015 que pour l'horizon 2022-2027 tendant à suggérer que les mesures actuellement mises en œuvre pour réduire les impacts de la pollution diffuse sur la qualité des eaux ne seront peut-être pas suffisantes pour rétablir le bon état de l'ensemble des masses d'eau.

## Résultats : Impact sur les eaux souterraines

### Impact sur la qualité de la recharge des nappes de base

### Résultats des simulations prospectives : ETAT FUTUR

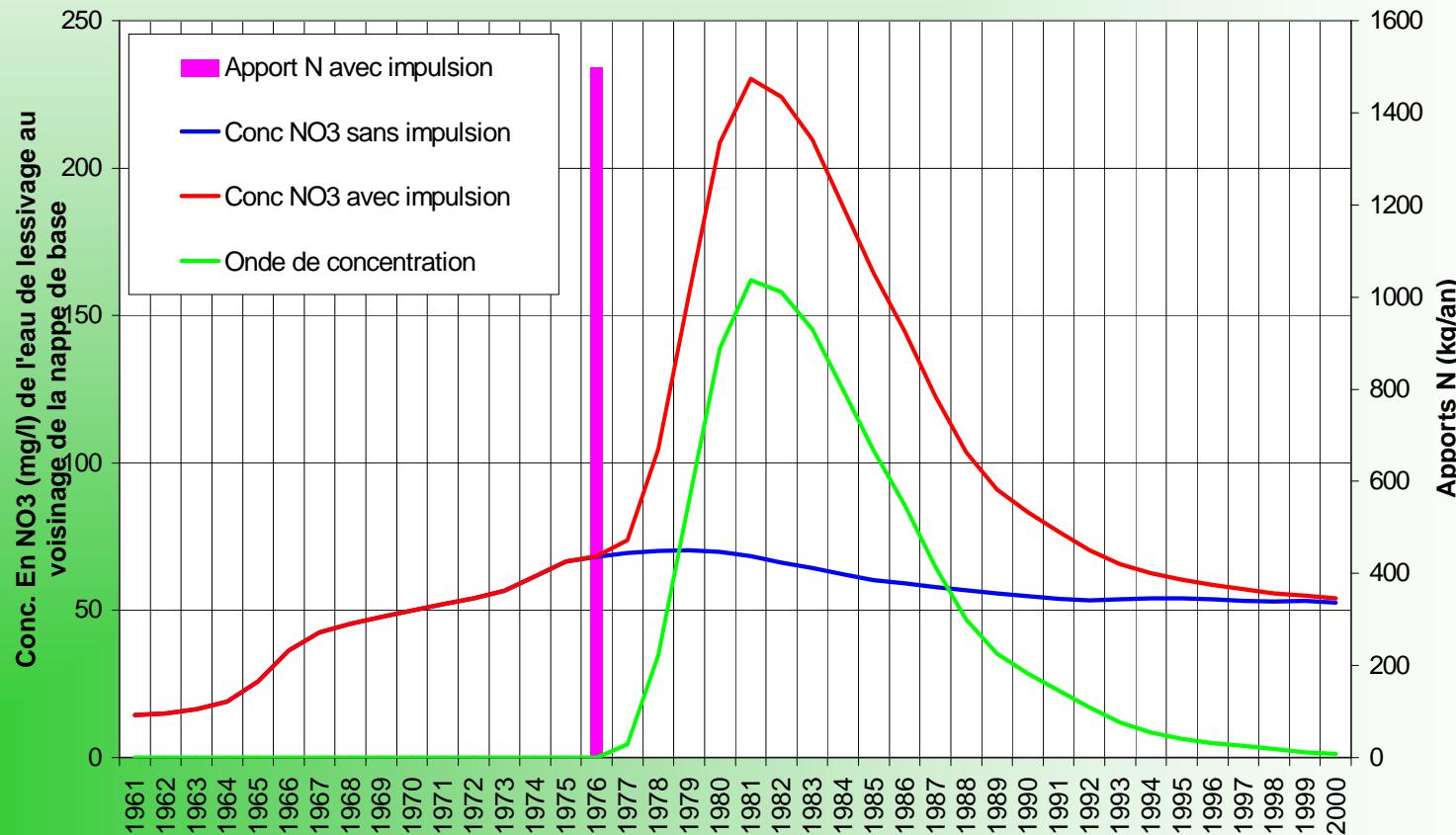


- Du fait des propriétés de la zone vadose, des concentrations en nitrate croissantes sont encore observées jusqu'en 2027 au sein de certaines masses d'eau souterraine tel, par exemple, le crétacé de Hesbaye. En effet, on assiste à un déplacement de l'onde de concentration **déjà présente dans le sol** entraînant une augmentation des concentrations en profondeur.

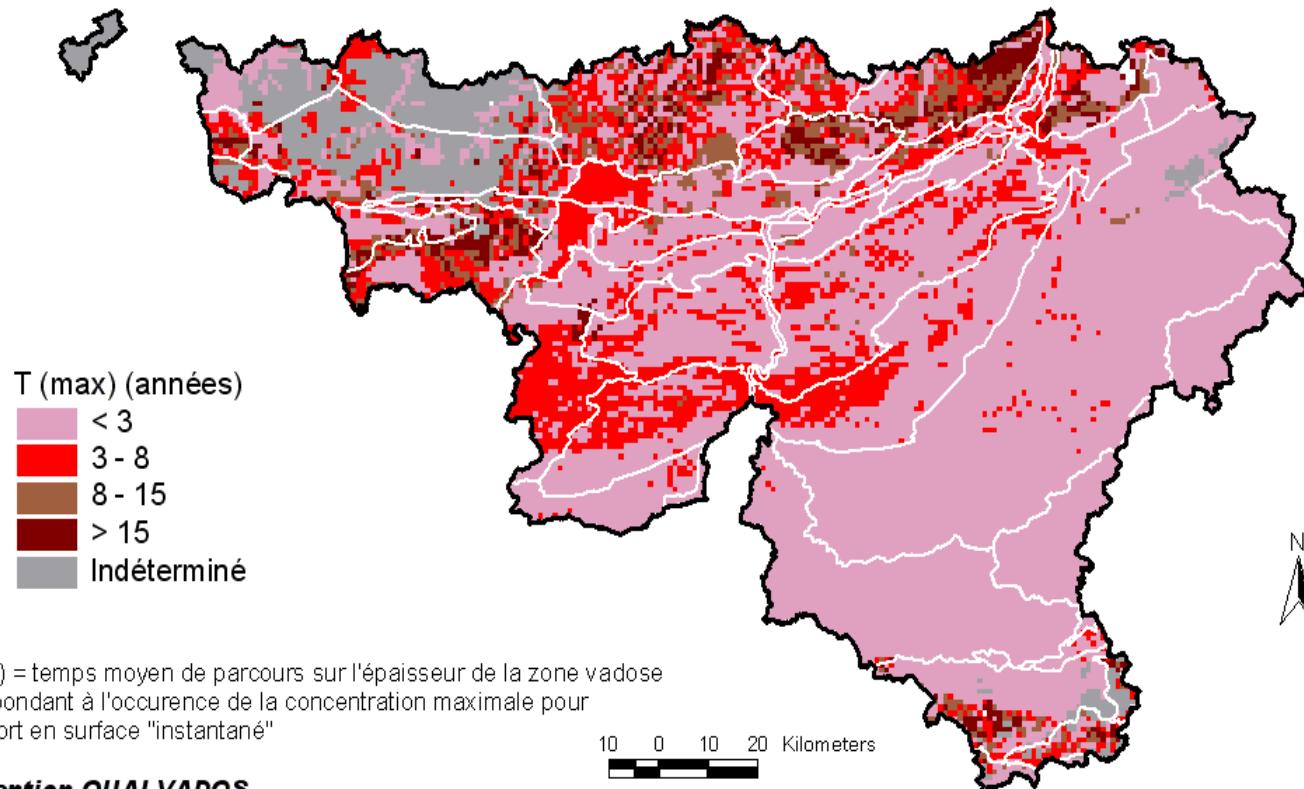
## Temps de transfert du $\text{NO}_3$ jusqu'aux nappes de base

### Zone vulnérable des « sables du bruxellien » - modèle EPICgrid

Temps d'arrivée des nitrates au voisinage de la nappe de base (10 m) pour les zones caractérisées par un sol sablo-limoneux et un sous-sol sableux - Zone vulnérable des Sables Bruxelliens



**Modèle EPICgrid - Temps moyen de parcours sur l'épaisseur  
de la zone vadose pour atteindre le maximum de concentration**



**Convention QUALVADOS**



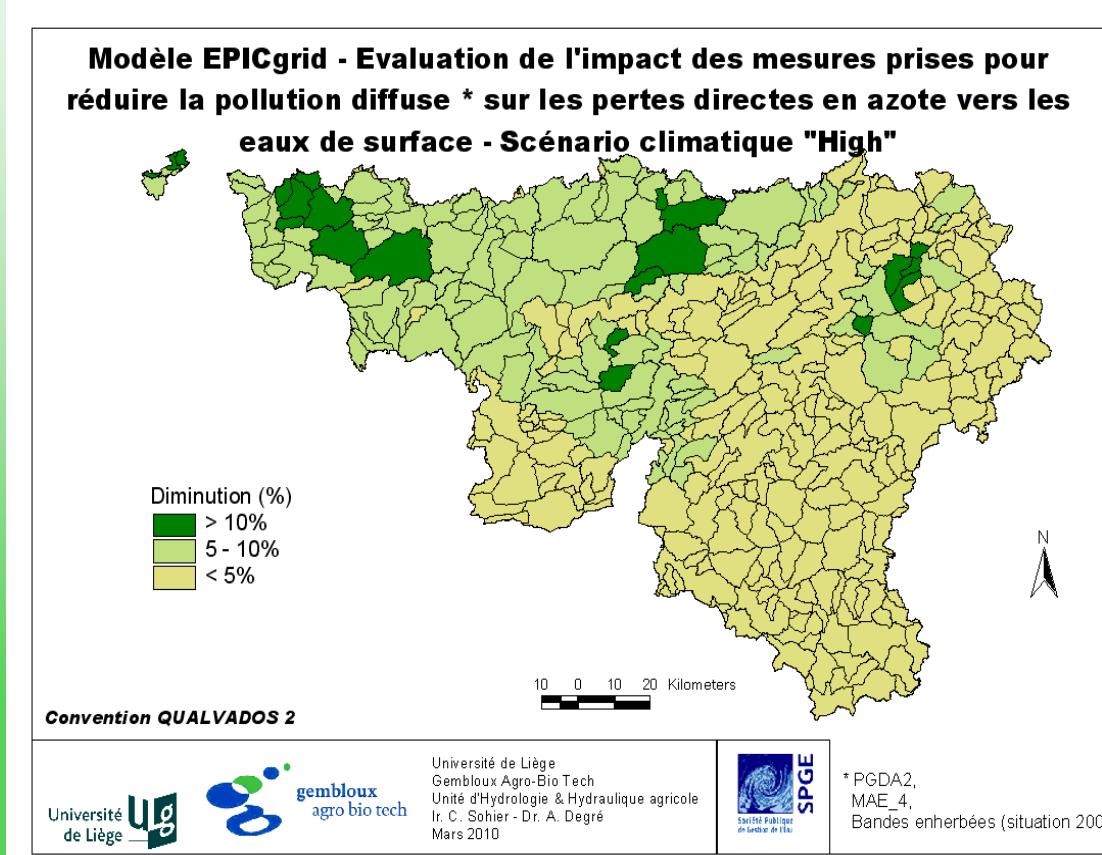
Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux  
Génie rural & environnemental  
Unité d'Hydrologie & Hydraulique agricole  
Ir. C. Sohier - Dr. A. Degré - Prof. Mme S. Dautrebande  
Avril 20008



# Estimation de la qualité des transferts vers les eaux de surface

## Résultats : Impact sur les eaux de surface Flux d'azote

### Résultats des simulations prospectives

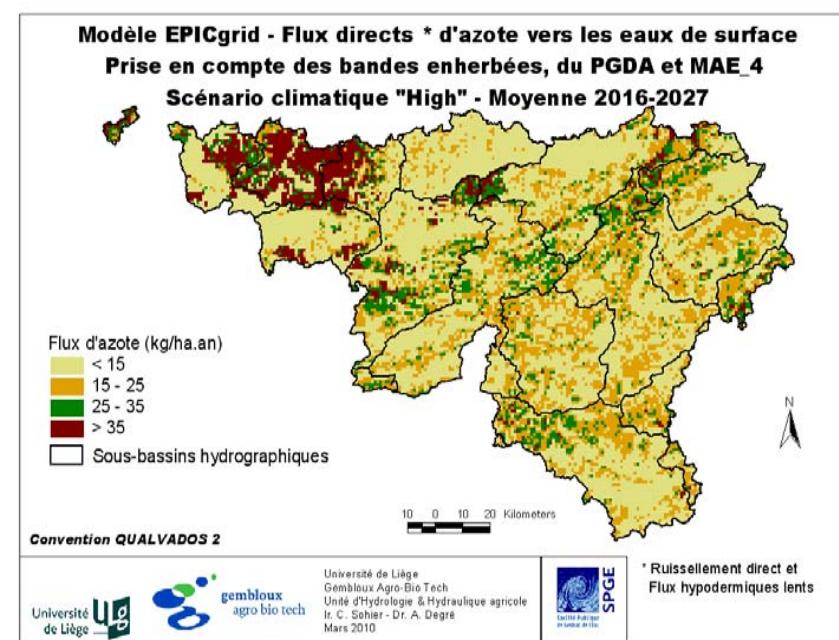
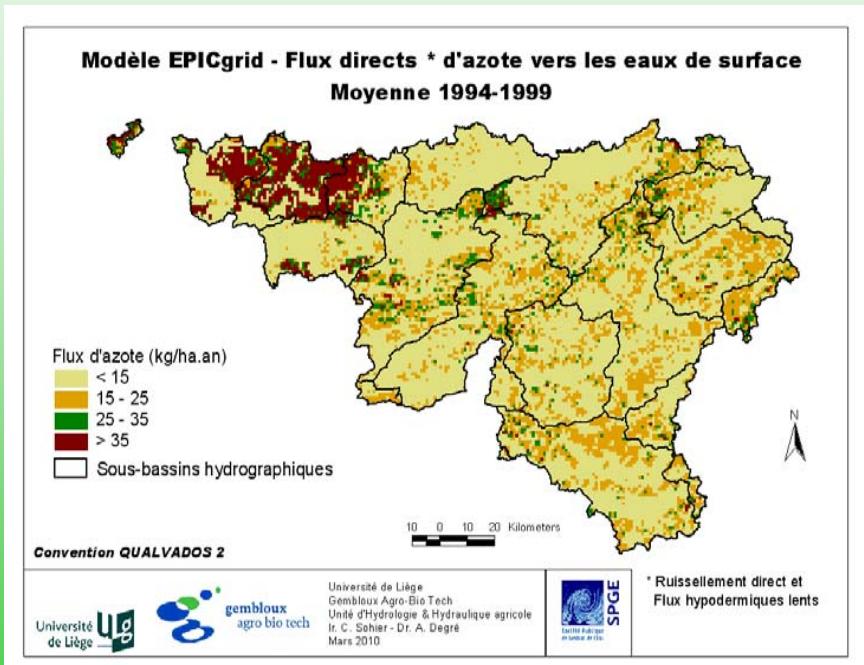


L'effet des mesures se marque essentiellement au niveau des zones vulnérables.

# Résultats : Impact sur les eaux de surface

## Flux d'azote

### Résultats des simulations prospectives

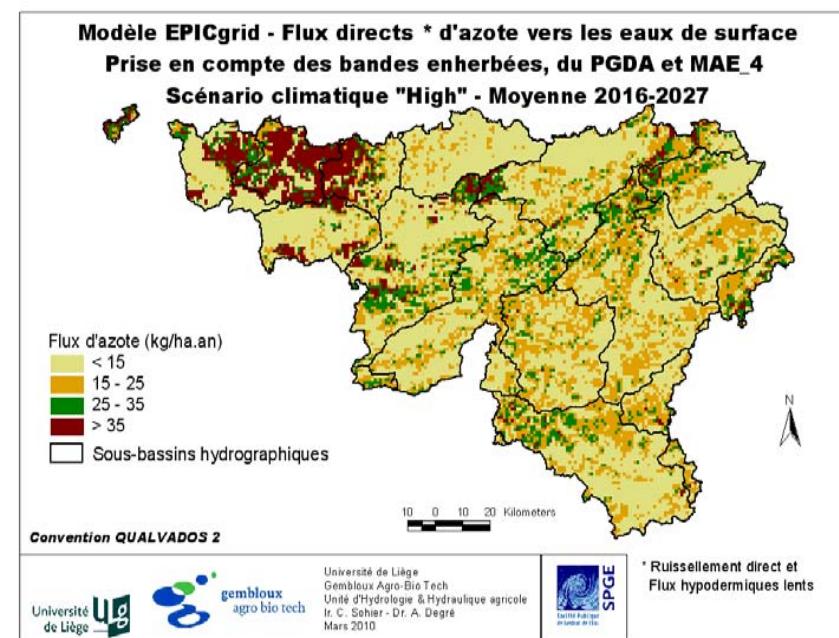
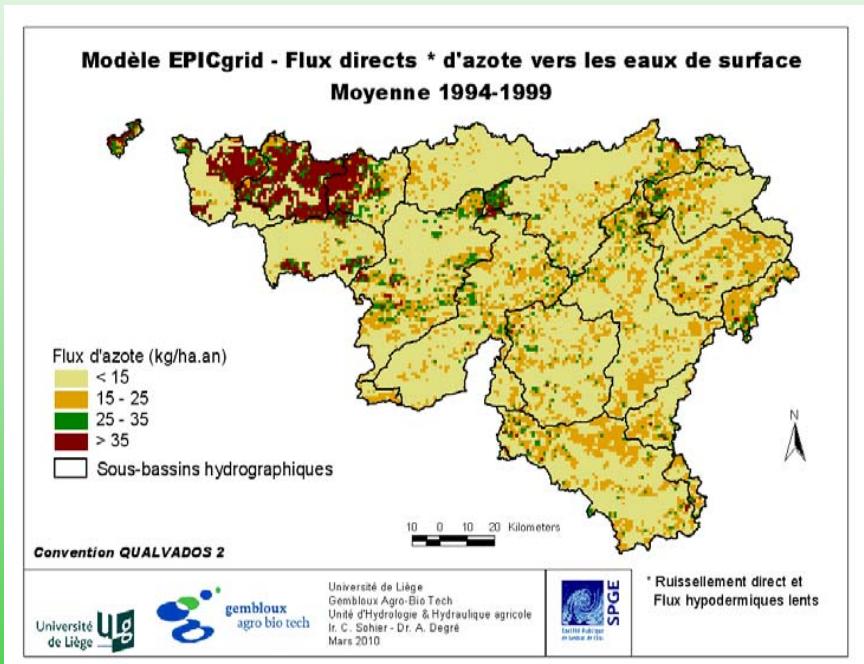


- les flux directs d'azote vers les eaux de surface simulés pour l'horizon 2016-2027 sont soit stabilisés soit en légère hausse par rapport à la situation de 1994-1999 (scénario haut).

## Résultats : Impact sur les eaux de surface

### Flux d'azote

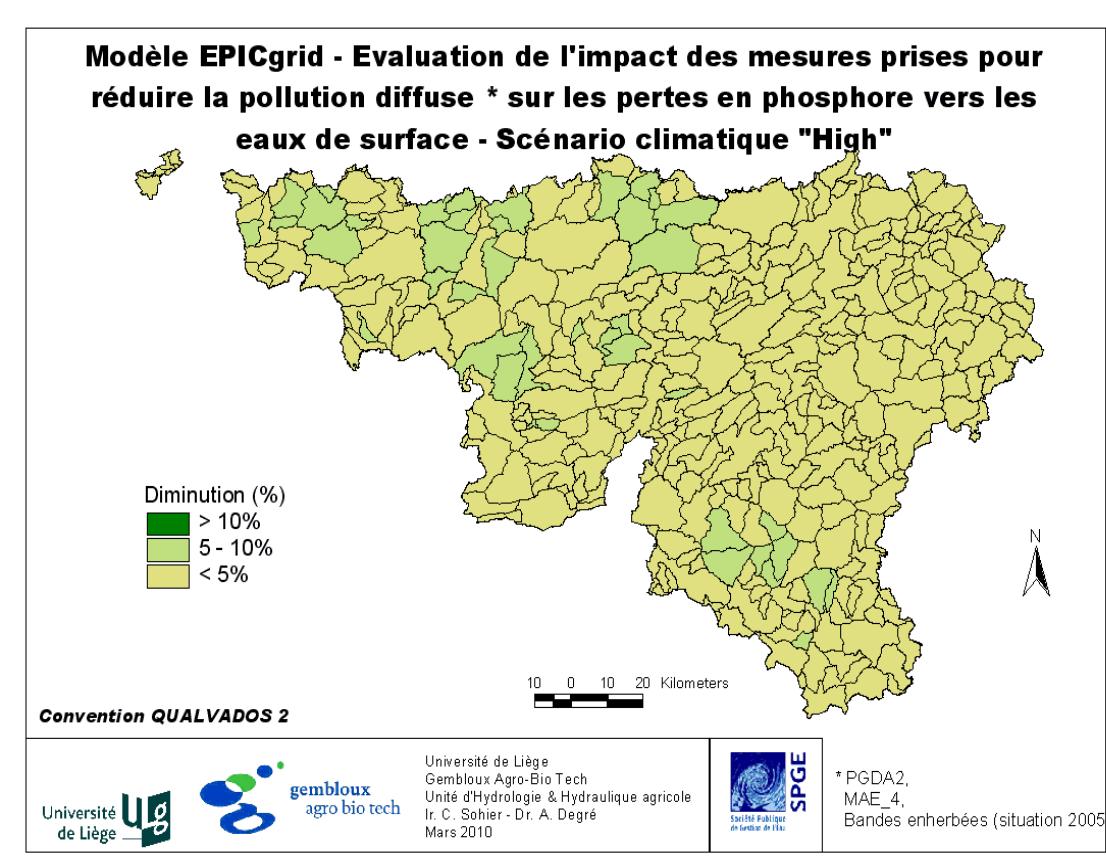
### Résultats des simulations prospectives



- la distribution des classes de flux pour les zones où ceux-ci sont les plus importants (Escaut-Lys, Dendre et Senne) est sensiblement semblable entre les deux périodes.
- l'augmentation des flux observée principalement au Sud du sillon Sambre-Meuse est à mettre en relation avec l'évolution du climat (scénario high)

## Résultats : Impact sur les eaux de surface Flux de phosphore

### Résultats des simulations prospectives

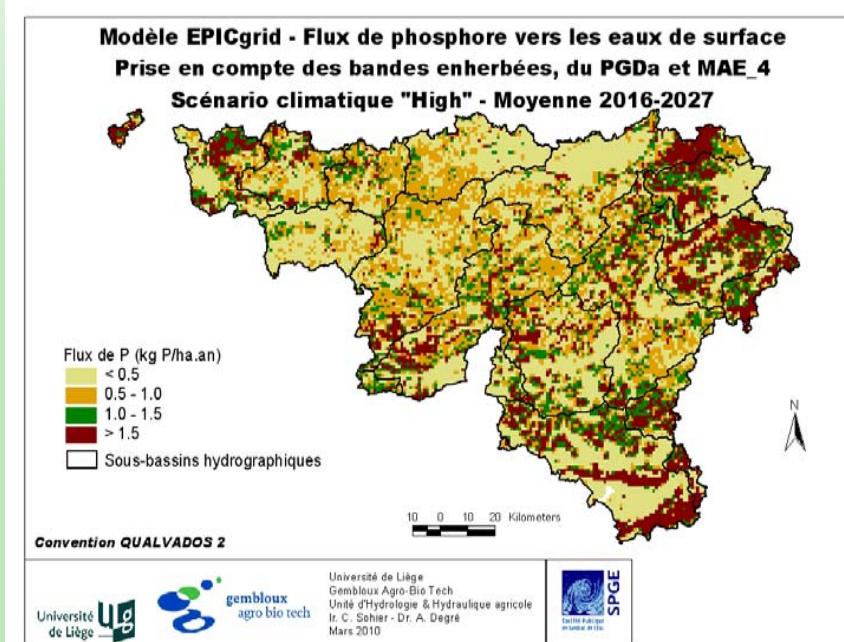
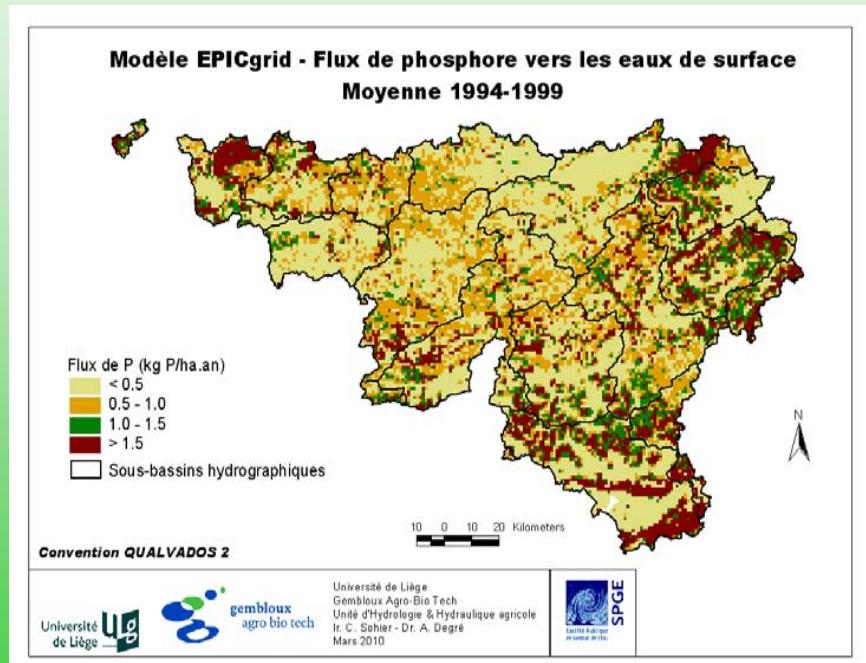


- diminution relativement faible qui n'excède pas 10%

## Résultats : Impact sur les eaux de surface

### Flux de phosphore

### Résultats des simulations prospectives : ETAT FUTUR

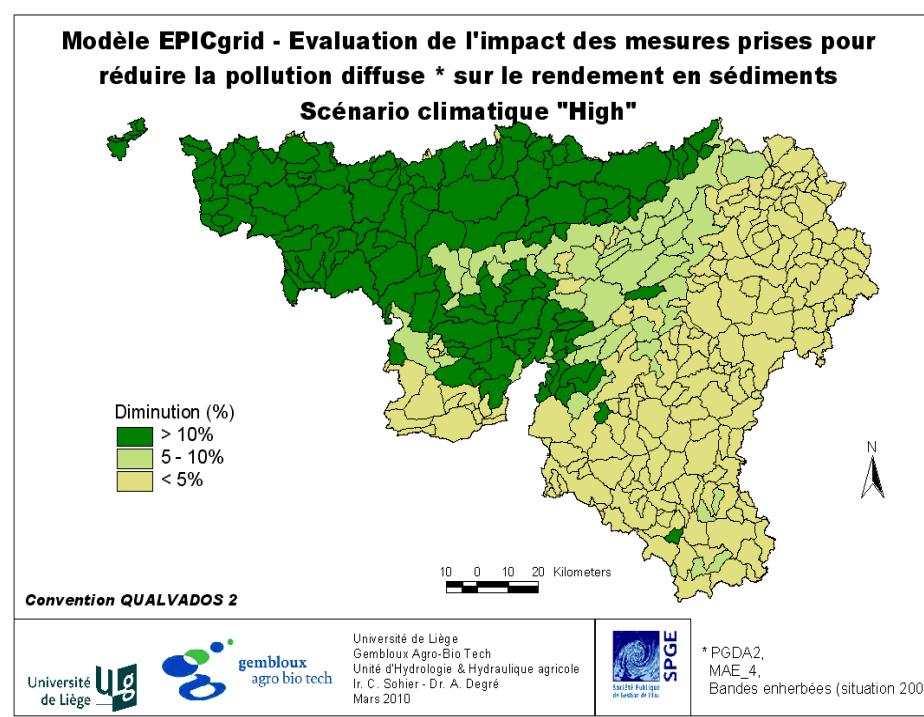


- la répartition spatiale des flux de phosphore vers les eaux de surface est relativement semblable pour les deux périodes.

## Résultats : Impact sur les eaux de surface

### Rendement en sédiments

### Résultats des simulations prospectives

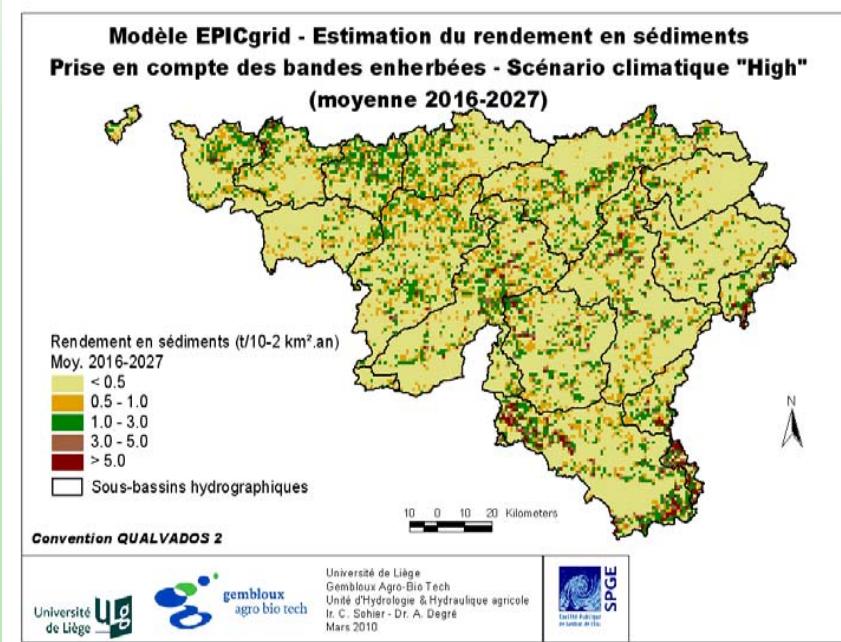
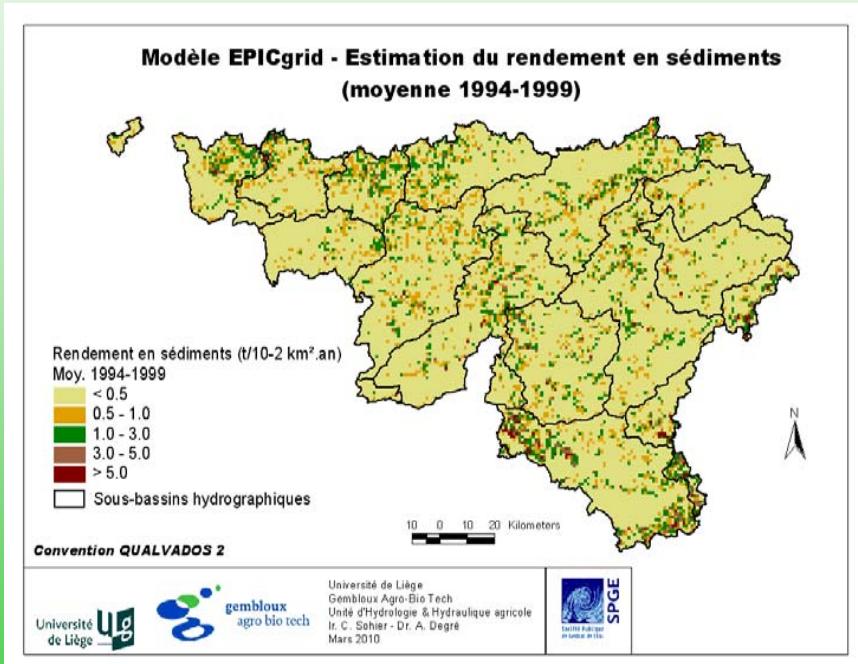


- L'impact le plus important, en termes de flux vers les eaux de surface, concerne le rendement en sédiments ; la différence par rapport au scénario de référence (sans prise en compte des mesures) pouvant atteindre plus de 10% pour les masses d'eau de surface situées au nord du sillon Sambre-Meuse et dans le Sud Namurois.

## Résultats : Impact sur les eaux de surface

### Rendement en sédiments

### Résultats des simulations prospectives : ETAT FUTUR



- si les rendements en sédiments sont réduits du fait de la prise en compte des mesures, les rendements en sédiments simulés pour la période 2016-2027 avec le scénario climatique « High » sont globalement supérieurs à ceux de la période 1994-1999 ; ce qui s'explique aisément du fait de l'augmentation des précipitations engendrée par le scénario de changement climatique envisagé.

# Conclusions

- EPIC Grid est un outil puissant
  - de modélisation hydrologique tant quantitative que qualitative
  - d'aide à la décision
    - aménagement des bassins versants
    - gestion des nutriments
    - gestion des sédiments
- Il est le seul modèle actuellement utilisé dans l'étude des CC qui prenne en compte le développement végétal à large échelle
- Développé et entretenu dans la sphère universitaire, il est en évolution permanente tout en restant orienté vers la recherche appliquée.

## Conclusions

- Les mesures actuellement prises pour limiter la pollution diffuse d'origine agricole sont efficaces mais restent insuffisantes.
- Les pratiques agricoles anciennes continuent d'influencer la qualité de la recharge et empêcheront l'atteinte du bon état en 2015 dans certaines masses d'eau
- L'incertitude climatique pèse sensiblement dans la quantification future de la pollution diffuse azotée, notamment en raison des stress générés sur les cultures

# Pour plus d'informations...

**[www.fsagx.ac.be/ha](http://www.fsagx.ac.be/ha)**

Sohier, C., & Degre, A. (in press). Modelling the effects of the current policy measures in agriculture: an unique model from field to regional scale in Walloon region of Belgium. *Environmental Science & Policy*.

<http://hdl.handle.net/2268/70276>

Sohier, C., Degre, A., & Dautrebande, S. (2009). From Root Zone Modelling To Regional Forecasting Of Nitrate Concentration In Recharge Flows - The Case Of The Walloon Region (Belgium). *Journal of Hydrology*, 369(3-4), 350-359.

<http://hdl.handle.net/2268/16572>

Drogue, G., Fournier, M., Bauwens, A., Buiteveld, H., Commeaux, F., Degre, A., De Keizer, O., Detrembleur, S., Dewals, B. J., François, D., Guilmin, E., Hausmann, B., Hissel, F., Huber, N., Lebaut, S., Losson, B., Kufeld, M., Nacken, H., Pirotton, M., Pontégnie, D., Sohier, C., & Vanneuville, W. (2010). *Analysis of climate change, high-flows and low-flows scenarios on the Meuse basin: WP1 report - Action 3*.

<http://hdl.handle.net/2268/68472>

Vandenbergh, C., Marcoen, J.-M., Sohier, C., Degre, A., Hendrickx, C., & Paulus, F. (2009). Monitoring networks and modelling systems for assessing effectiveness of the EU Nitrates Directive Action Programmes: Approach by the Walloon Region (Belgium). In D., Fraters & K., Kovar (Eds.), *Second International Workshop MonNO3 II. Monitoring the effectiveness of the EU Nitrates Directive Action Programmes on the Environment*.

<http://hdl.handle.net/2268/17141>

**Ces recherches sont soutenues financièrement par la SPGE**