



Etude et modélisation des tendances en nitrate au sein de l'aquifère crayeux du bassin du Geer en support à la mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'eau

Ph. Orban, J. Batlle-Aguilar, Pascal Goderniaux, Julie Couturier, C. Hérivaux, Alain Dassargues, Serge Brouyère



Jeudi de l'Aquapôle – 22 octobre 2009





Aperçu

1. Contexte et objectifs de la recherche
2. Case d'étude: Le bassin du Geer
 - 2.1 Hydrogéologie du bassin du Geer
 - 2.2 Campagnes de terrains
 - 2.3 Modélisation des eaux souterraines
 - 2.4 Contribution à l'analyse socio-économique
3. Conclusions et perspectives



1. Contexte et objectifs de la recherche

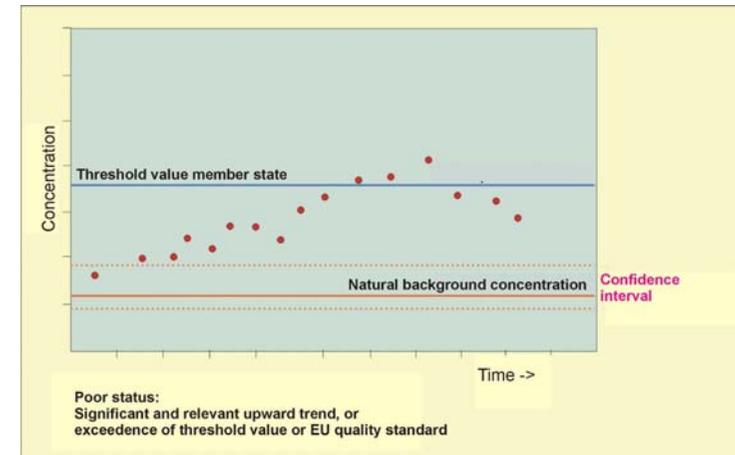
- Contamination des eaux souterraines d'origine diffuses largement répandues
- Dégradation de la qualité des eaux souterraines
- Directive Cadre Européenne sur l'Eau



1. Contexte et objectifs de la recherche

Directive Cadre Européenne sur l'Eau:

- Gestion Intégrée des Ressources en Eau à l'échelle des principaux districts hydrographiques européens (ex. Rhin, Meuse...)
- Masse d'eau (souterraine) = unité de gestion
- Atteinte du bon état en 2015
- Tendances significativement à la hausse doivent être identifiées et inversées pour 2015
- Aspects socio-économiques





1. Contexte et objectifs de la recherche

Besoin d'outils pour évaluer l'état de la masse d'eau et son évolution et la gérer :

- Outils statistiques pour évaluer les tendances mais pas de capacités prédictives
- Modèle mathématiques et numériques mais généralement pas adapté à l'échelle régionale :
 - Difficile à paramétrer (test pas adapté, pas assez nombreux)
 - Gestion des données
 - Compromis entre résultats et temps de calcul



1. Contexte et objectifs de la recherche

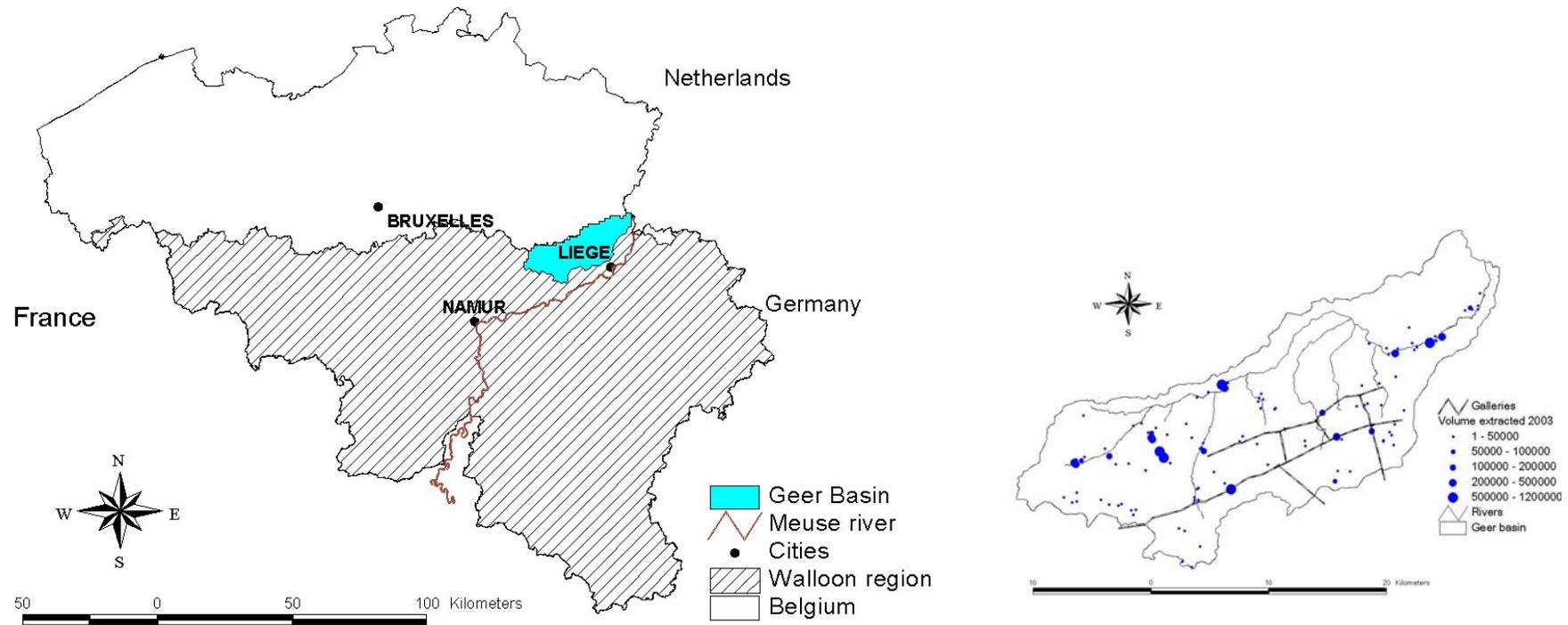
Objectif de la recherche:

Développer une méthodologie d'étude et de modélisation du transport de contaminant à l'échelle régionale:

- Analyse des données disponibles
- Utilisation des traceurs environnementaux
- Adaptation d'une méthodologie de modélisation



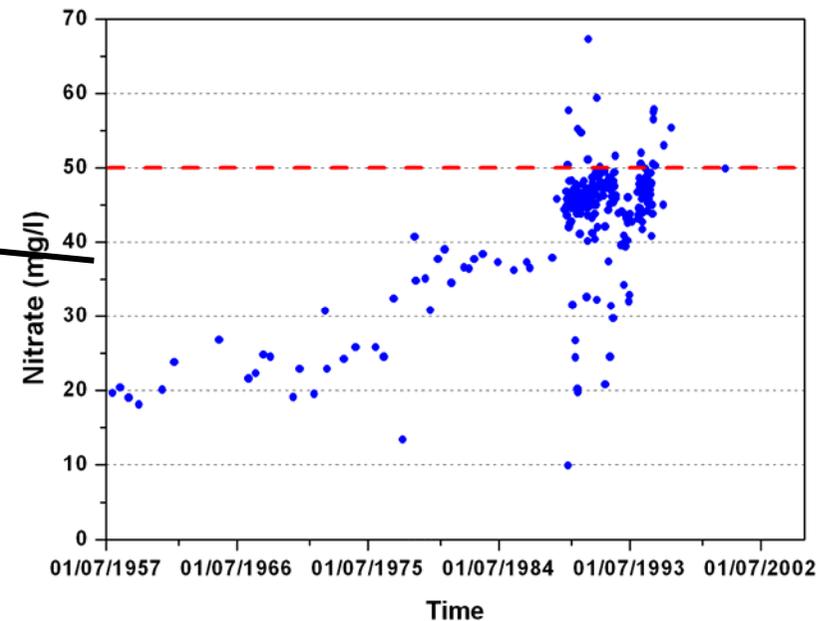
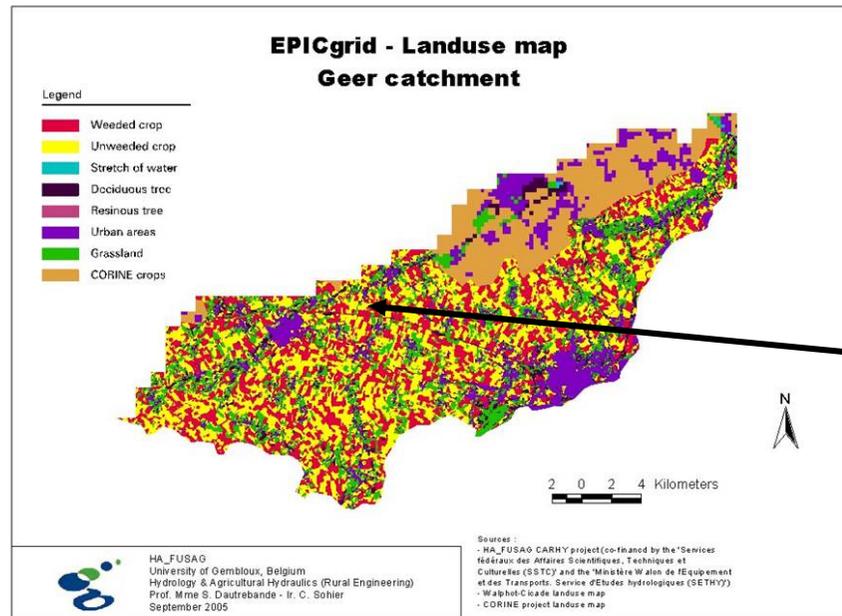
2. Case d'étude: la bassin du Geer



- Ressource en eau souterraine importante (30 millions m³/an d'eau potable pour approvisionner approx. 600,000 personnes dans la région de Liège)
- Important jeux de données disponibles



2. Case d'étude: la bassin du Geer



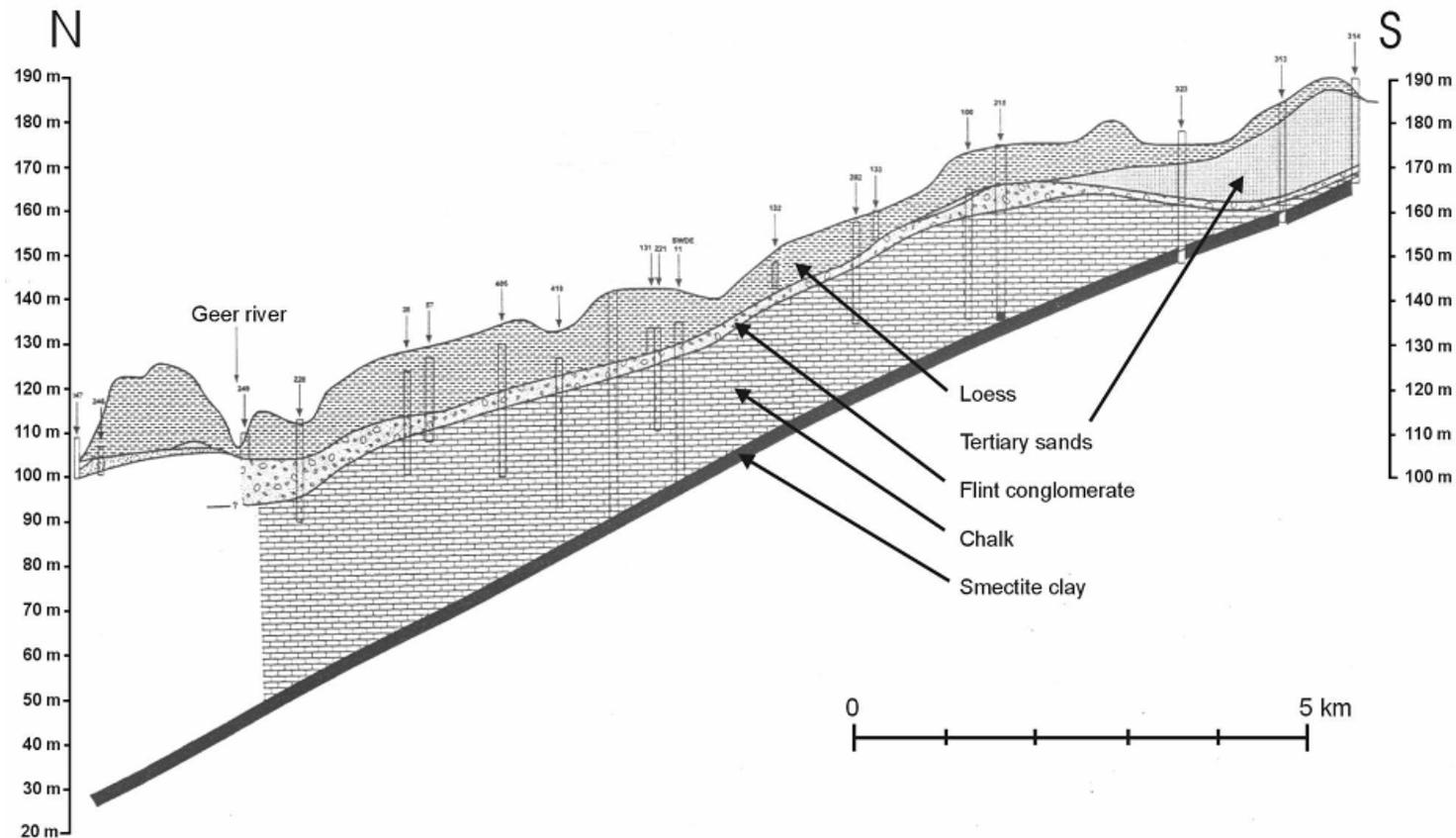
Qualité des eaux souterraines :

- Agriculture intensive (65% du bassin)
- Concentrations en nitrates approchent ou sont même supérieure à la limité de potabilité de 50mg/L NO_3



2.1 Hydrogéologie du bassin du Geer

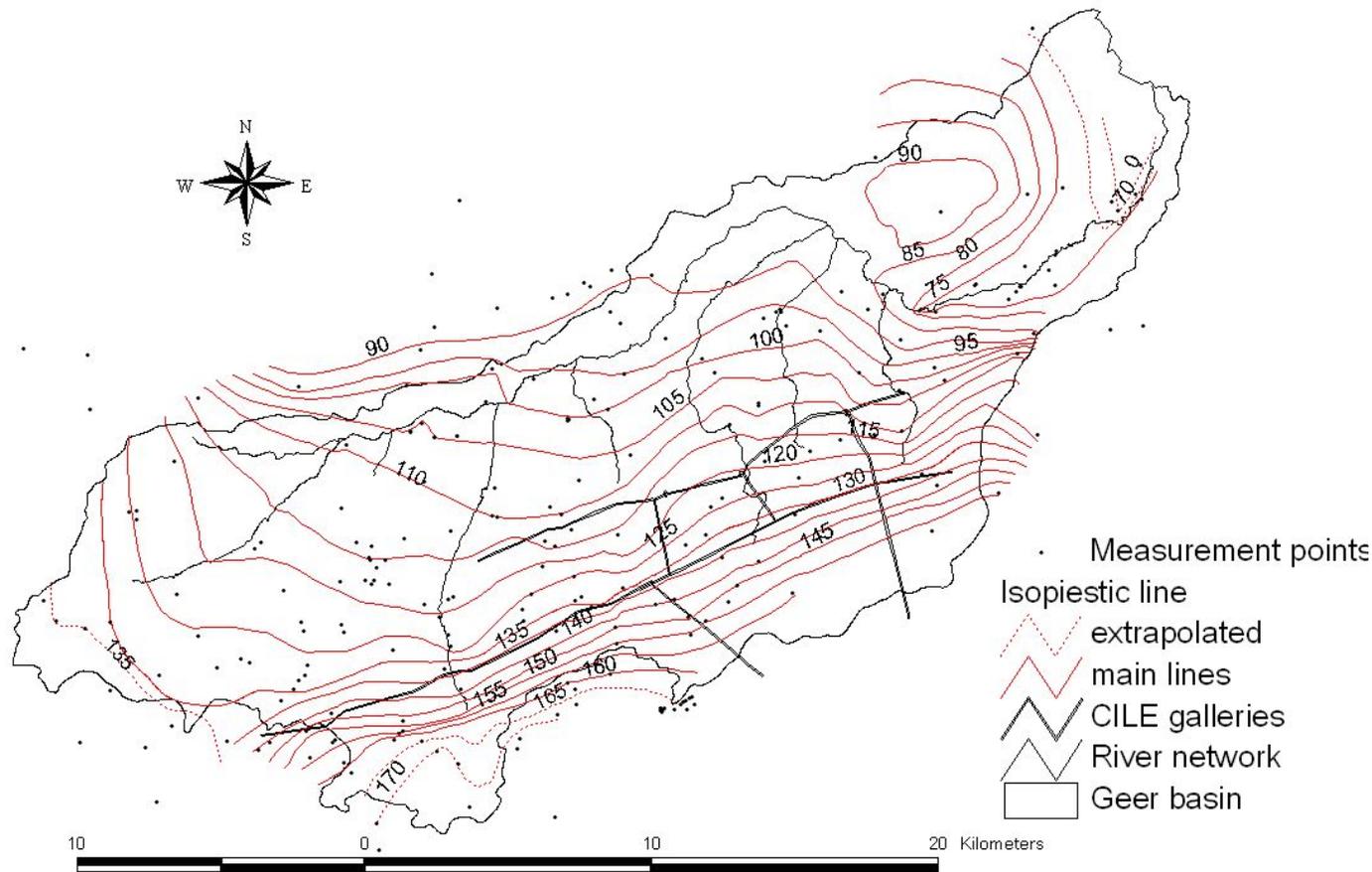
Géologie



- Craie = aquifère principal
- Importance des formations supérieures



2.1 Hydrogéologie du bassin du Geer

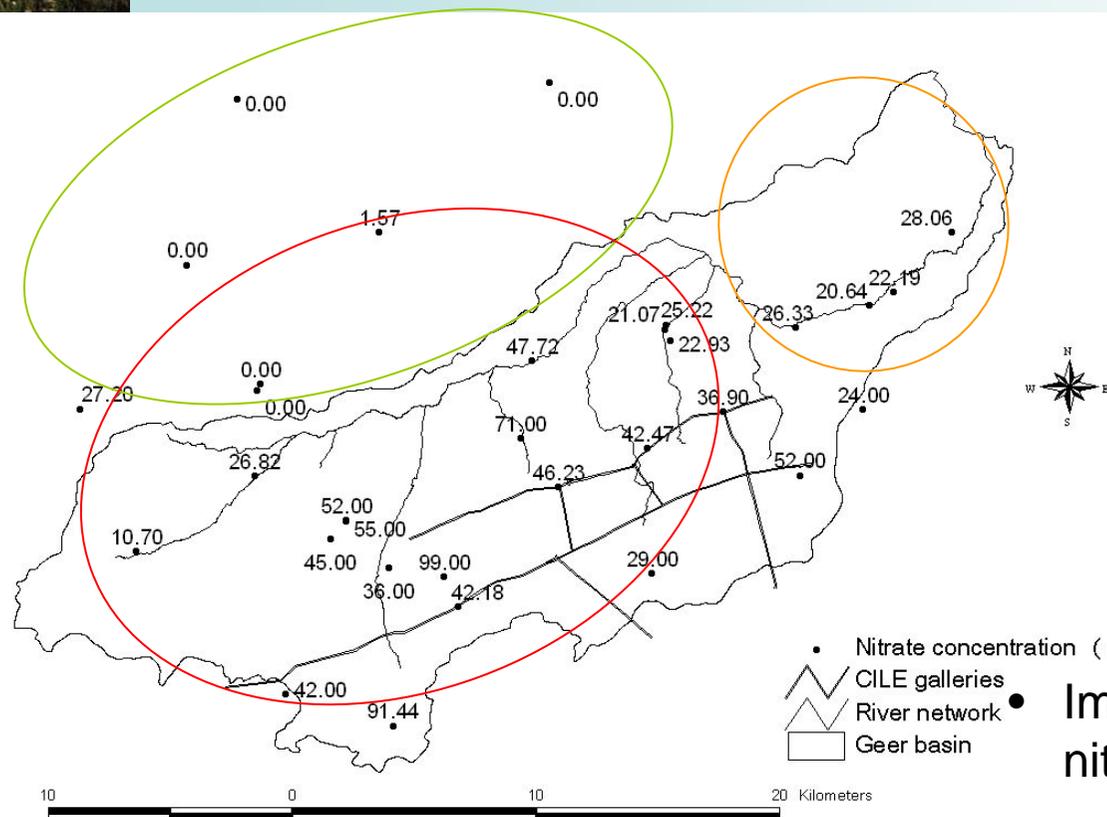


Piezometric map (2008)

- Ecoulement du Sud vers le Nord et vers le Geer
- Nappe libre dans le sud, captive au Nord du bassin
- Exploitée par des galeries et des puits



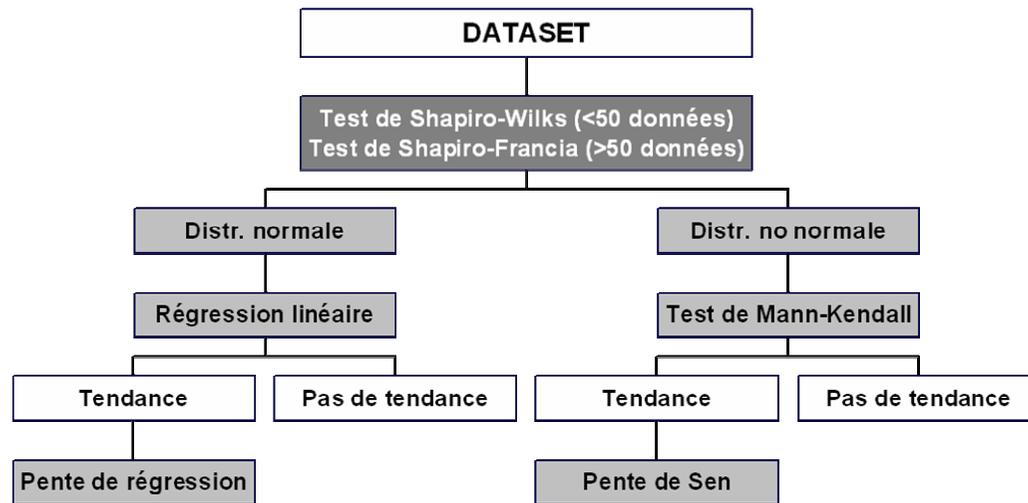
2.1 Hydrogéologie du bassin du Geer



- Importante contamination par les nitrates
- Limite de potabilité parfois excédée
- Distribution spatiale de la contamination (horizontale et verticale)
- Pas de preuve de dénitrification

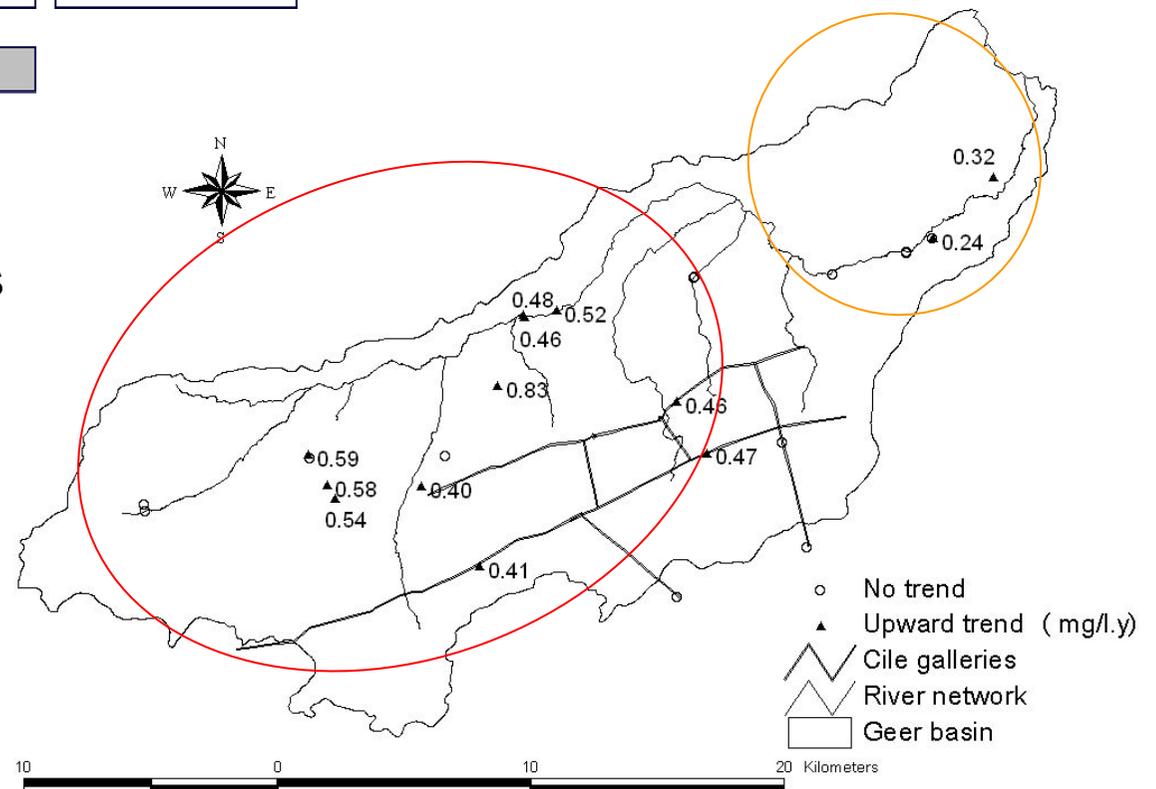


2.1 Hydrogéologie du bassin du Geer



- Concentrations en nitrate augmentent au cours du temps
- Analyse de tendance
- Distribution spatiale des tendances

Mais toujours des questions !

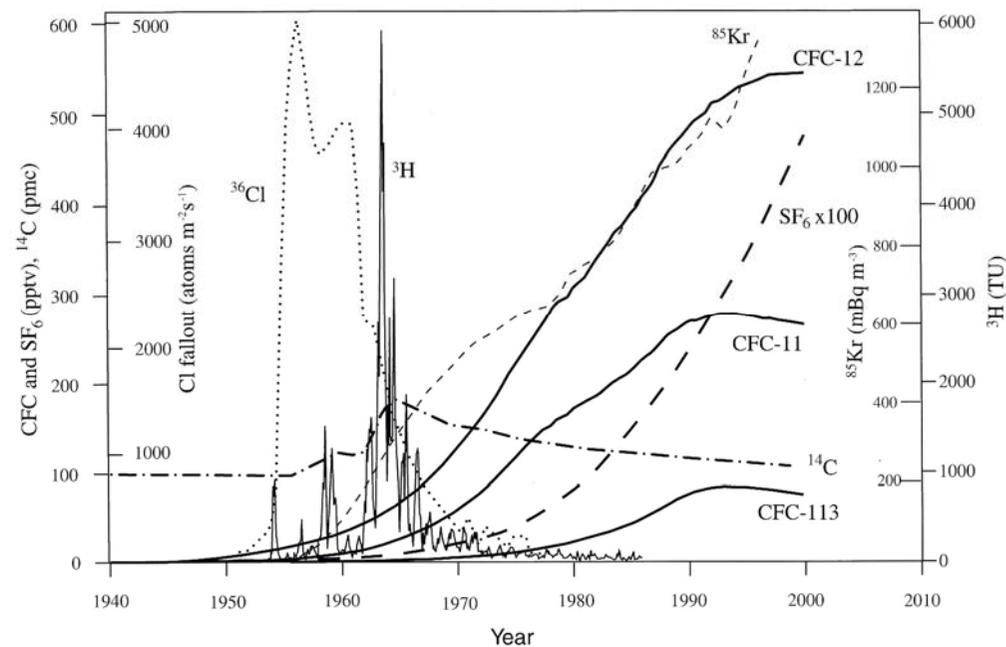




2.2 Campagnes de terrains

Objectif : Utilisation de traceurs environnementaux pour mieux comprendre la distribution spatiale de la contamination par les nitrates:

- deux campagnes tritium
- une campagne CFC's et SF6



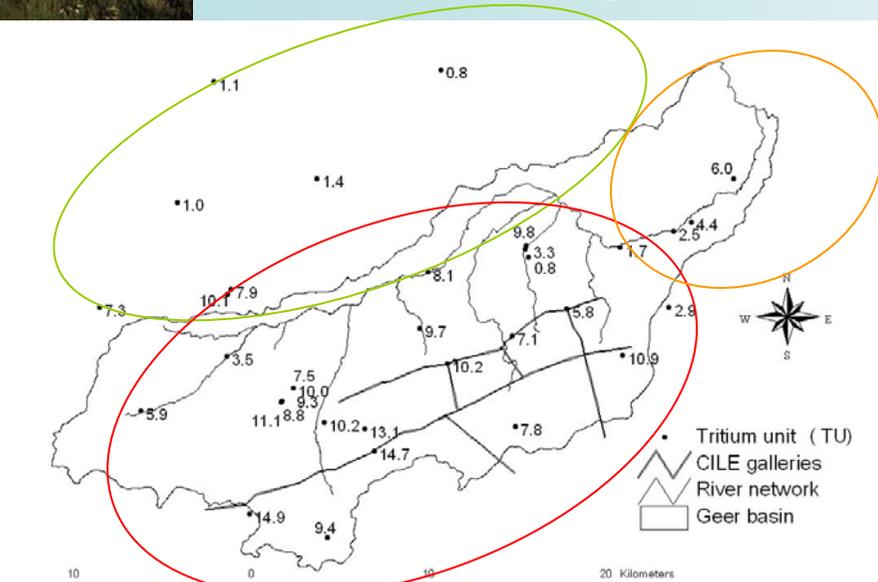


2.2 Campagnes de terrains



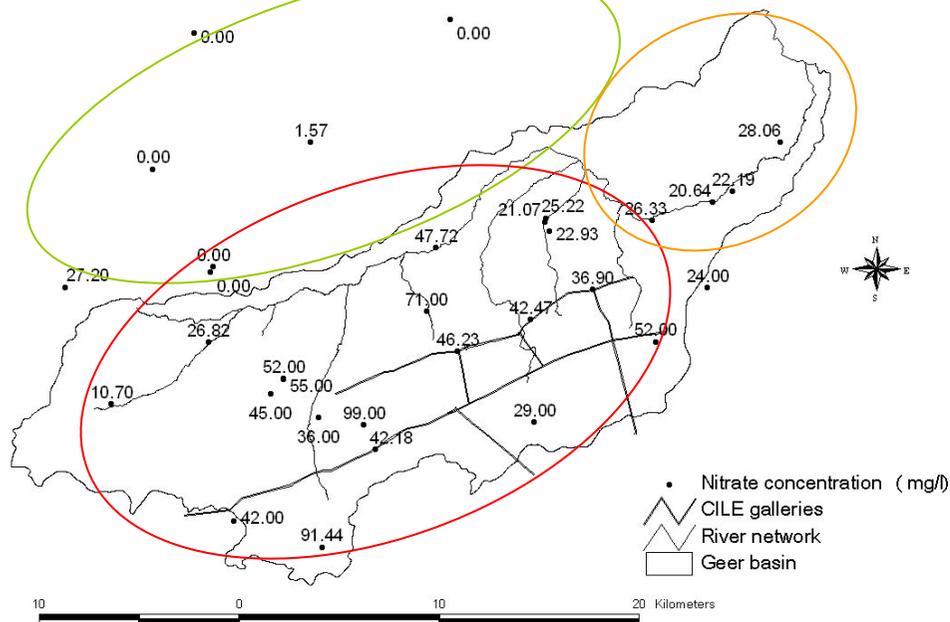


2.2 Campagnes de terrains



Distribution spatiale du contenu en tritium :

- N : UT \approx 1, eau âgée
- S : UT \approx 10, eau jeune
- E : UT \approx 5, mélange entre eaux jeunes et âgées

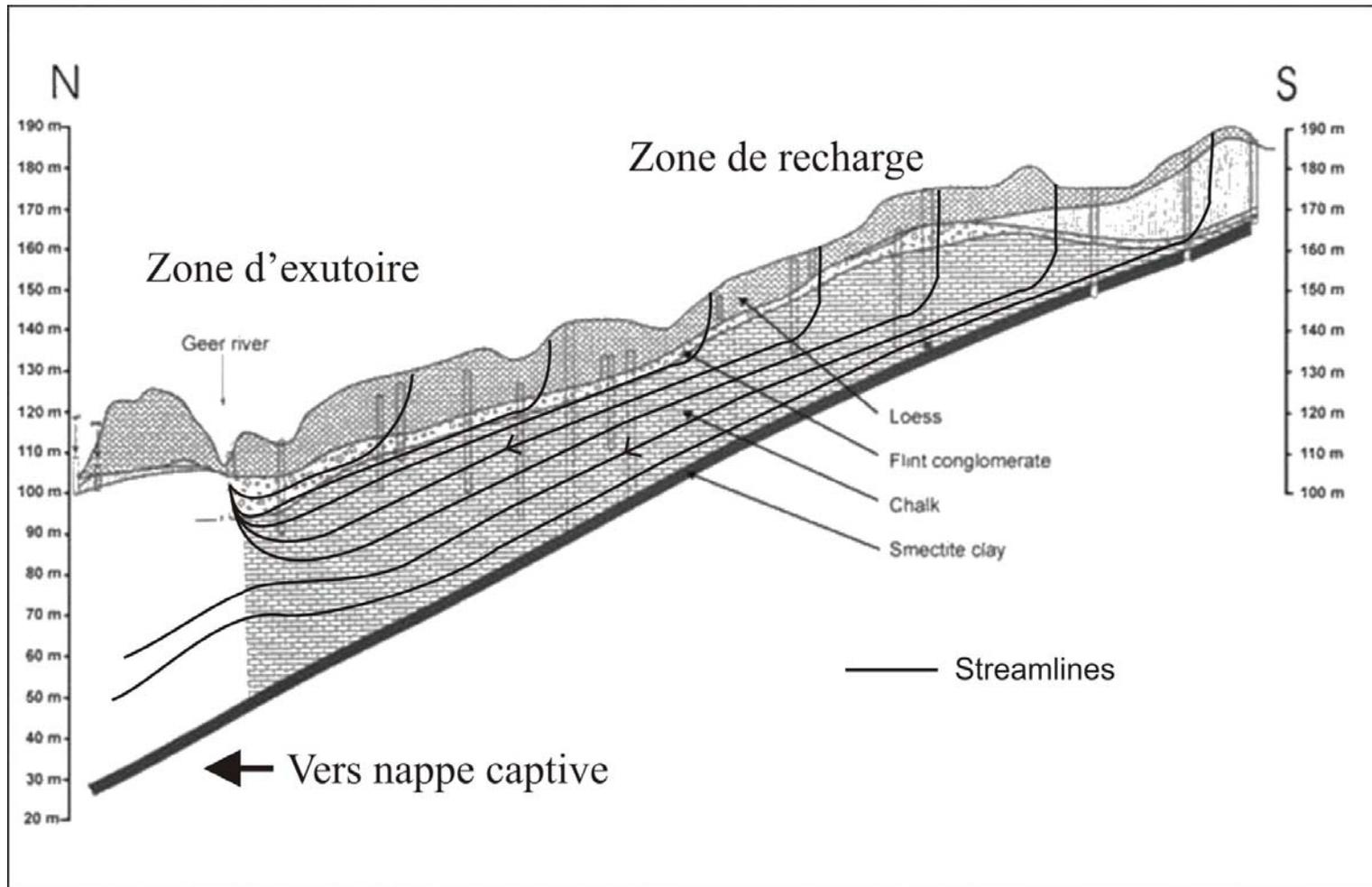


Bonne correspondance entre les distributions spatiales des concentrations en nitrate et en tritium



2.2 Campagnes de terrains

Modèle conceptuel du transport de soluté

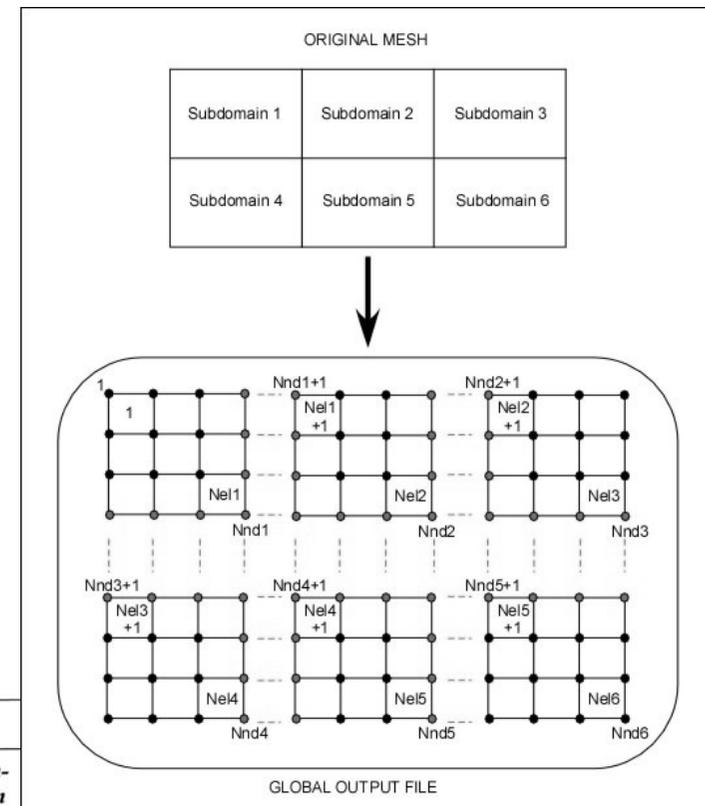




2.3 Modélisation des eaux souterraines

Modèle variablement saturé en eau, spatialement distribué, physiquement significatif

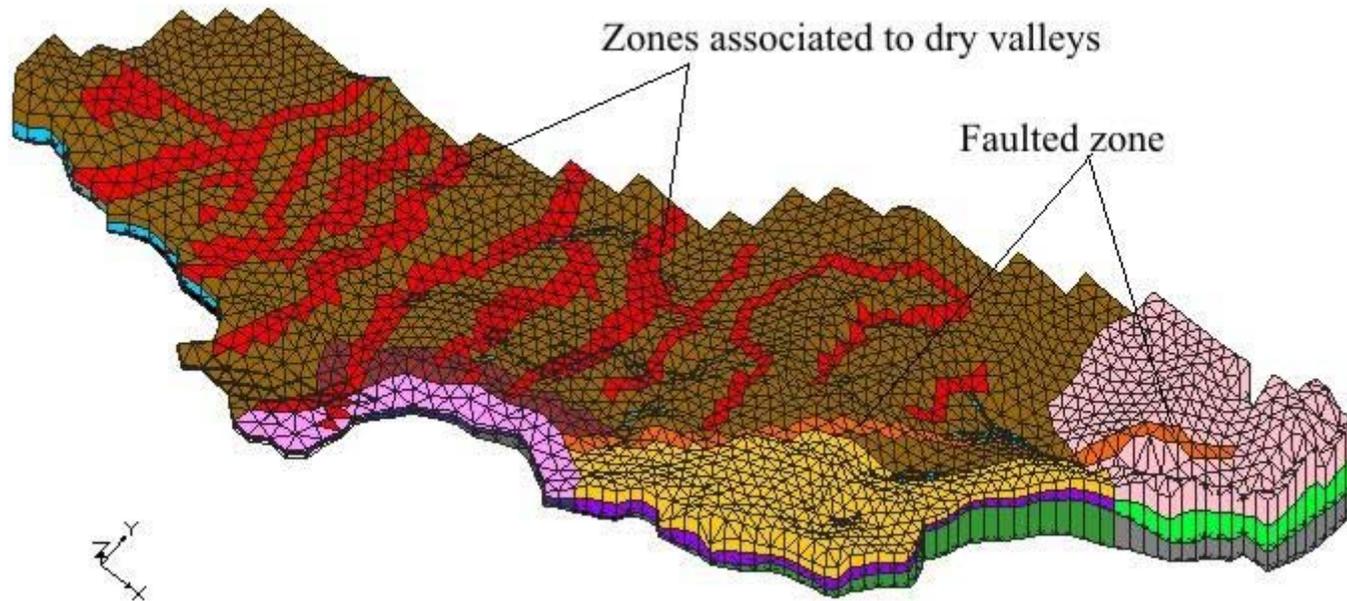
- Code **SUFT3D** (élément finis avec volume de contrôle (Université de Liège))
- Pour application à l'échelle régionale
 - Discrétisation flexible
 - Modèles mathématiques de complexités variables pour l'écoulement et le transport (approche HFEMC)



		TRANSPORT		
		<i>Simple Reservoir (Linear...)</i>	<i>Distributed Mixing Model</i>	<i>Advection-dispersion</i>
FLOW	<i>Simple Reservoir (Linear...)</i>	OK	impossible	impossible
	<i>Distributed Reservoir (Linear...)</i>	OK	OK	impossible
	<i>Flow in porous media</i>	OK	OK	OK



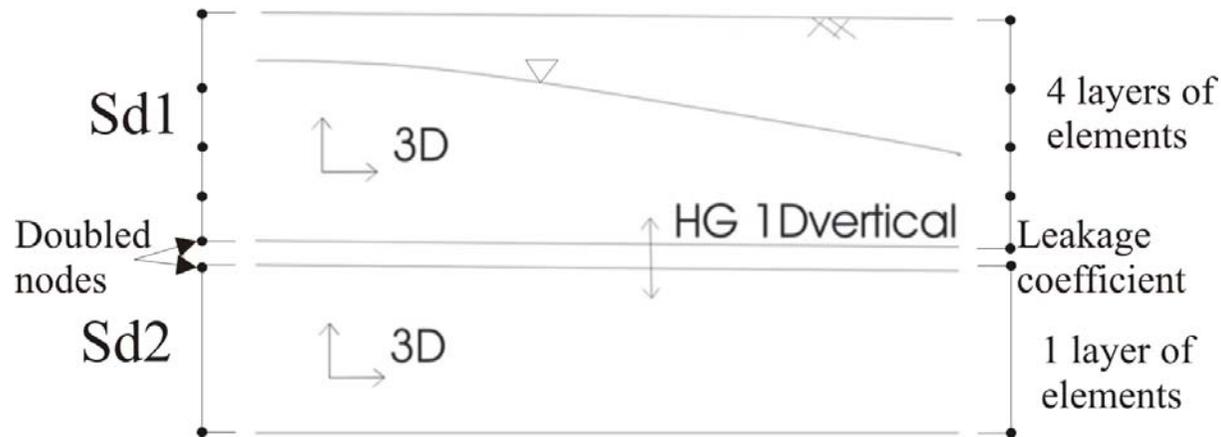
2.3 Modélisation des eaux souterraines



- Limites du modèle similaire aux limites du bassin hydrologique
- Conditions frontières
- Hétérogénéité de la craie



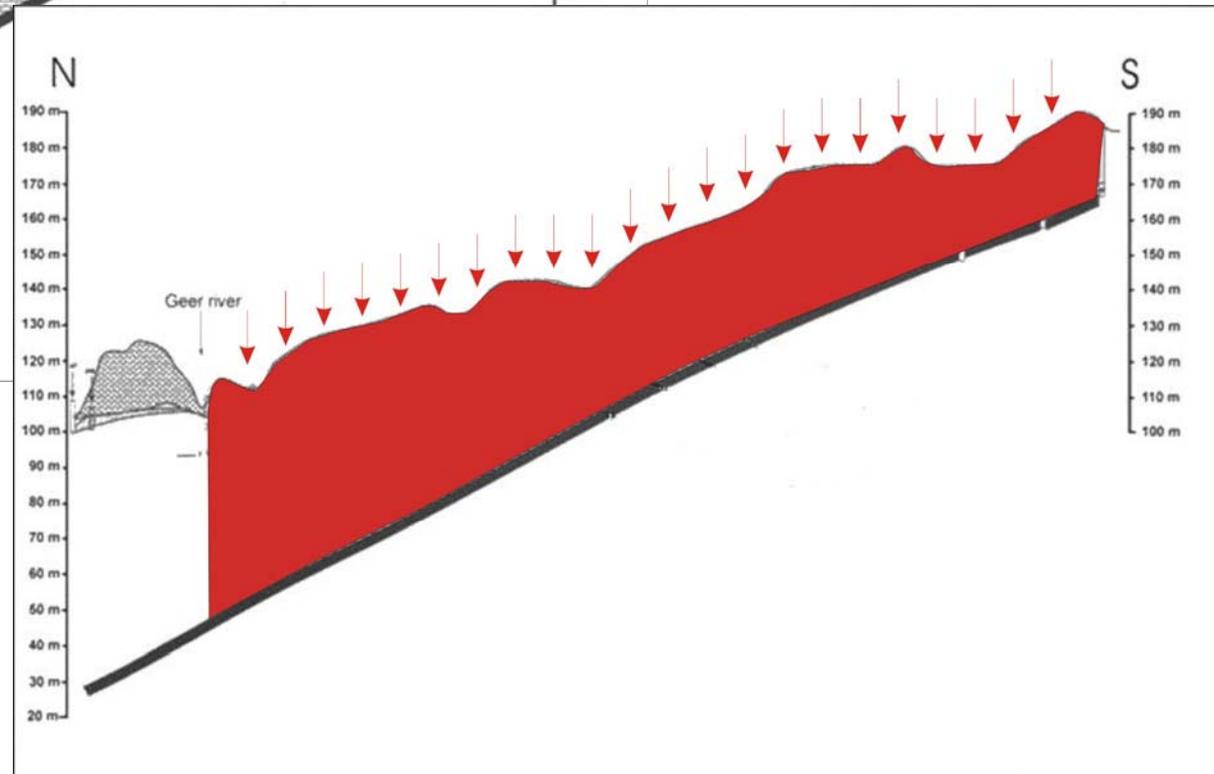
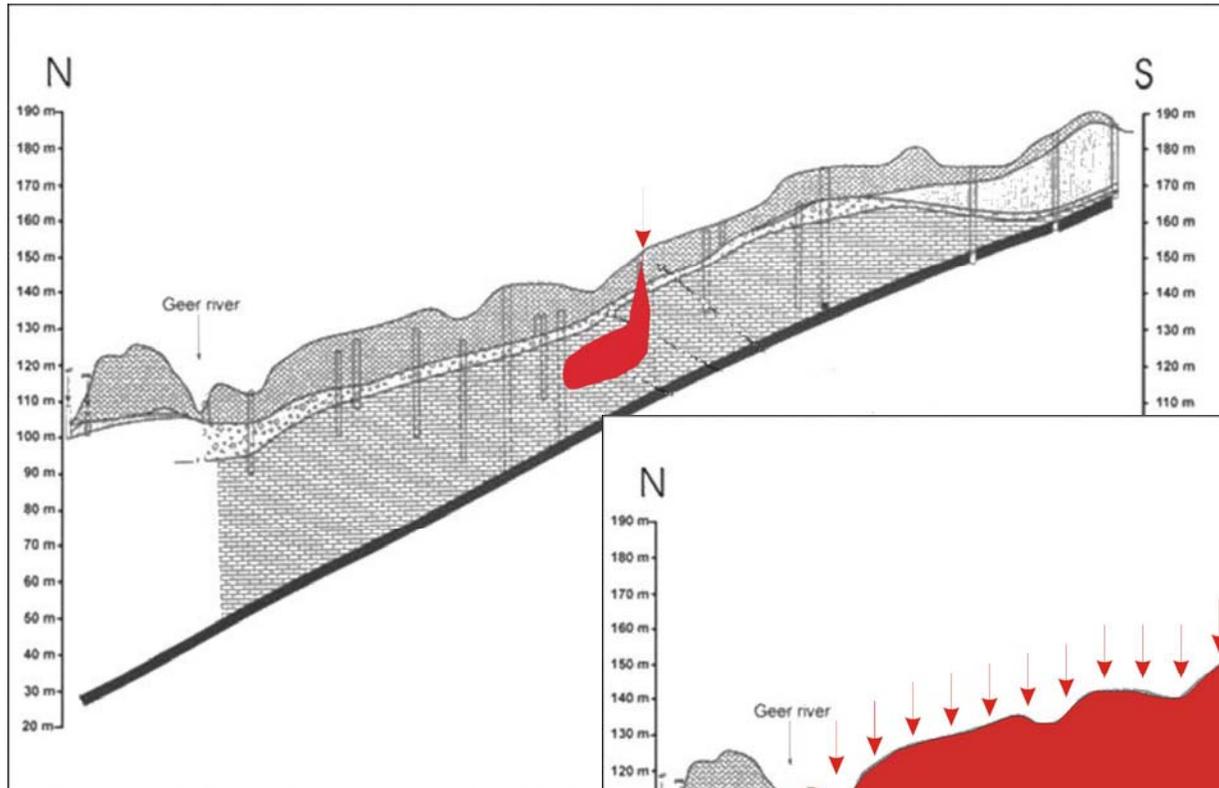
2.3 Modélisation des eaux souterraines



		TRANSPORT		
		<i>Simple Linear Reservoir</i>	<i>Distributed Mixing Model</i>	<i>Advection-dispersion</i>
F L O W	<i>Simple Linear Reservoir</i>	OK	impossible	impossible
	<i>Distributed Linear Reservoir</i>	OK	OK but data underused	impossible
	<i>Flow in porous media</i>	OK	USED HERE	OK but challenging



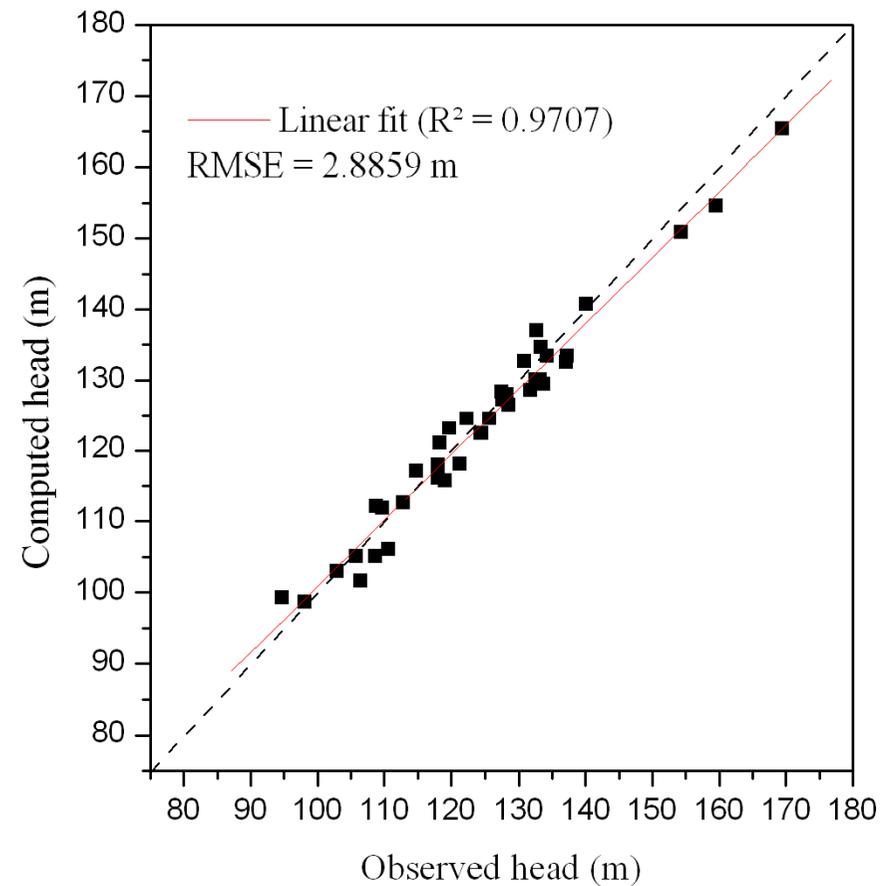
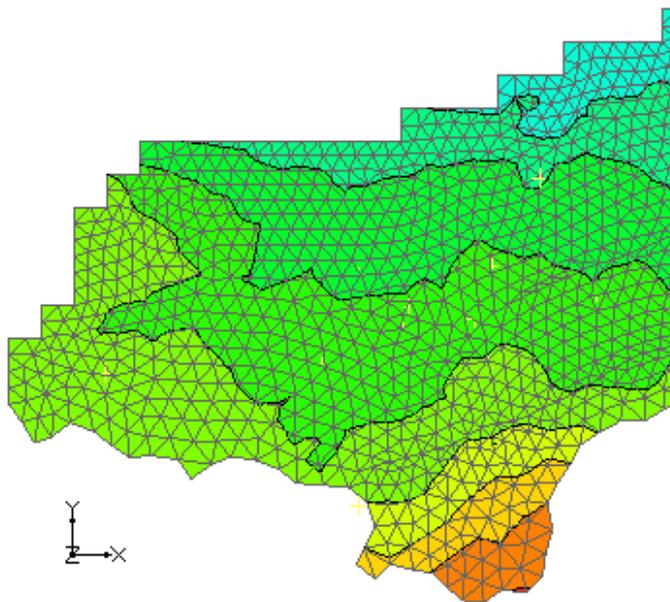
2.3 Modélisation des eaux souterraines





2.3 Modélisation des eaux souterraines

Calibration modèle écoulement en régime permanent sur base de deux jeux de données contrastés (hautes et basses eaux)





2.3 Modélisation des eaux souterraines

- Calibration du modèle transport de soluté:
 - Ecoulement en régime permanent
 - Transport de soluté en régime transitoire (période 1950-2008)

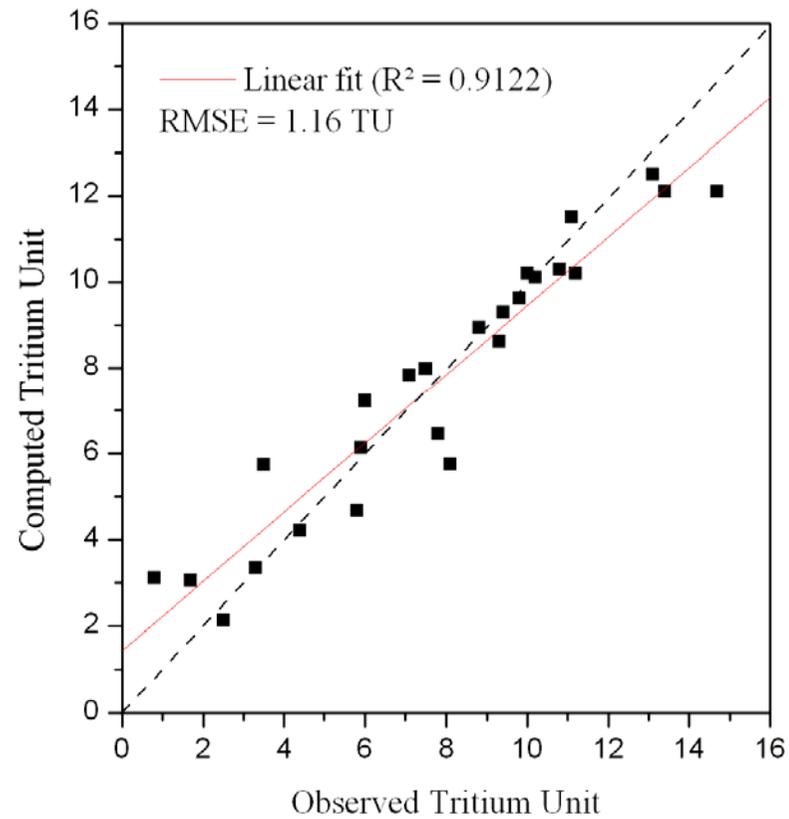
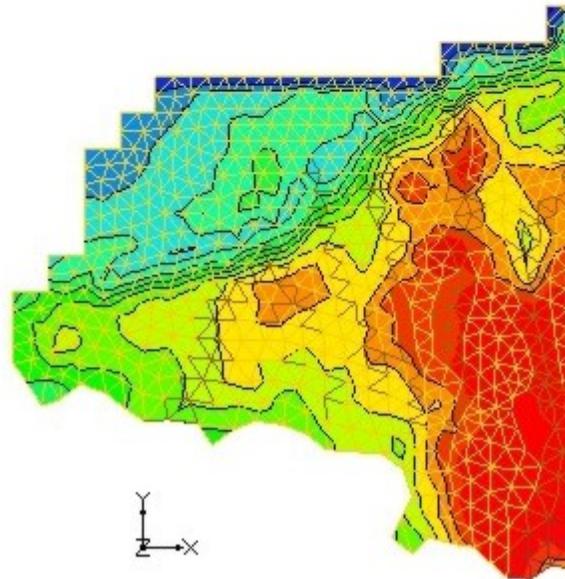
- Utilisation de deux jeux de donnée
 - Donnée tritium:
 - Fonction d'entrée bien connue
 - Pic dans la fonction d'entrée

 - Donnée nitrate
 - Fonction d'entrée difficile à estimer



2.3 Modélisation des eaux souterraines

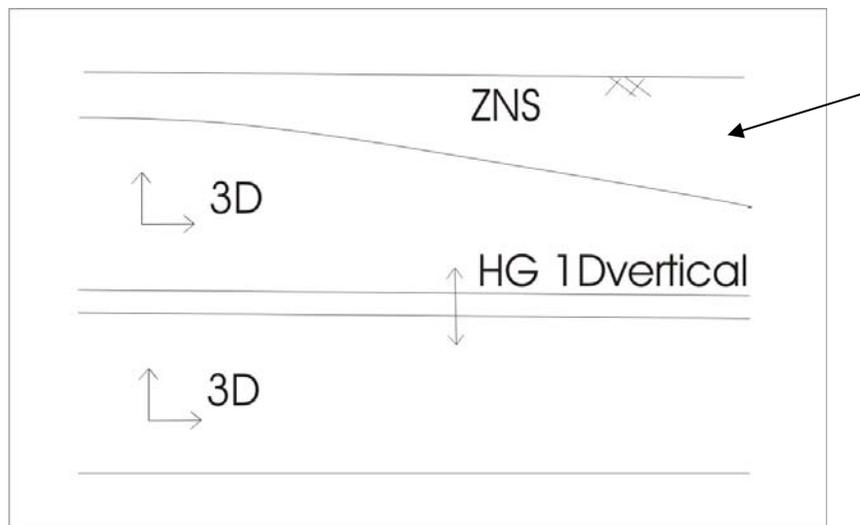
Calibration avec les données ^3H mesurées en 2004



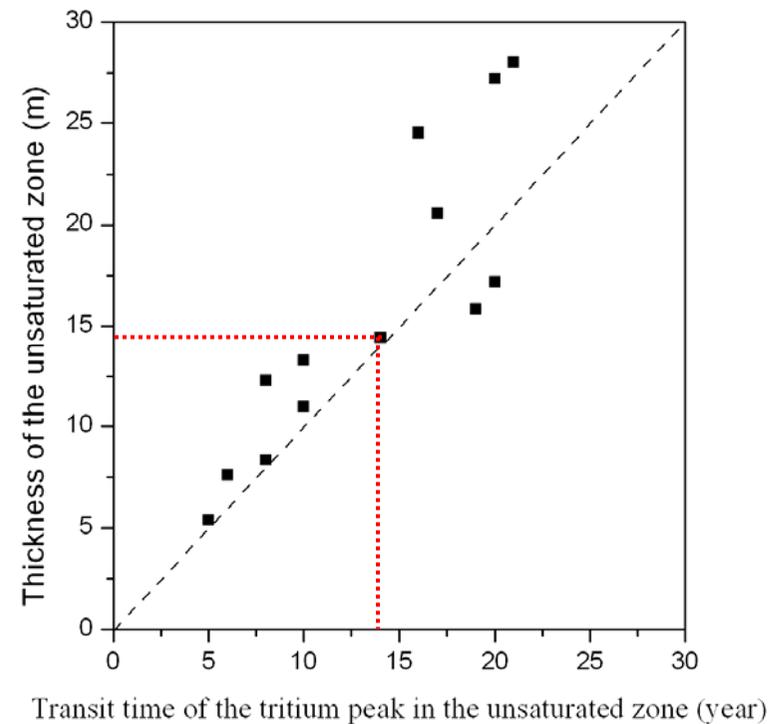


2.3 Modélisation des eaux souterraines

Calibration avec les données ^3H (vitesse dans la zone non saturée)

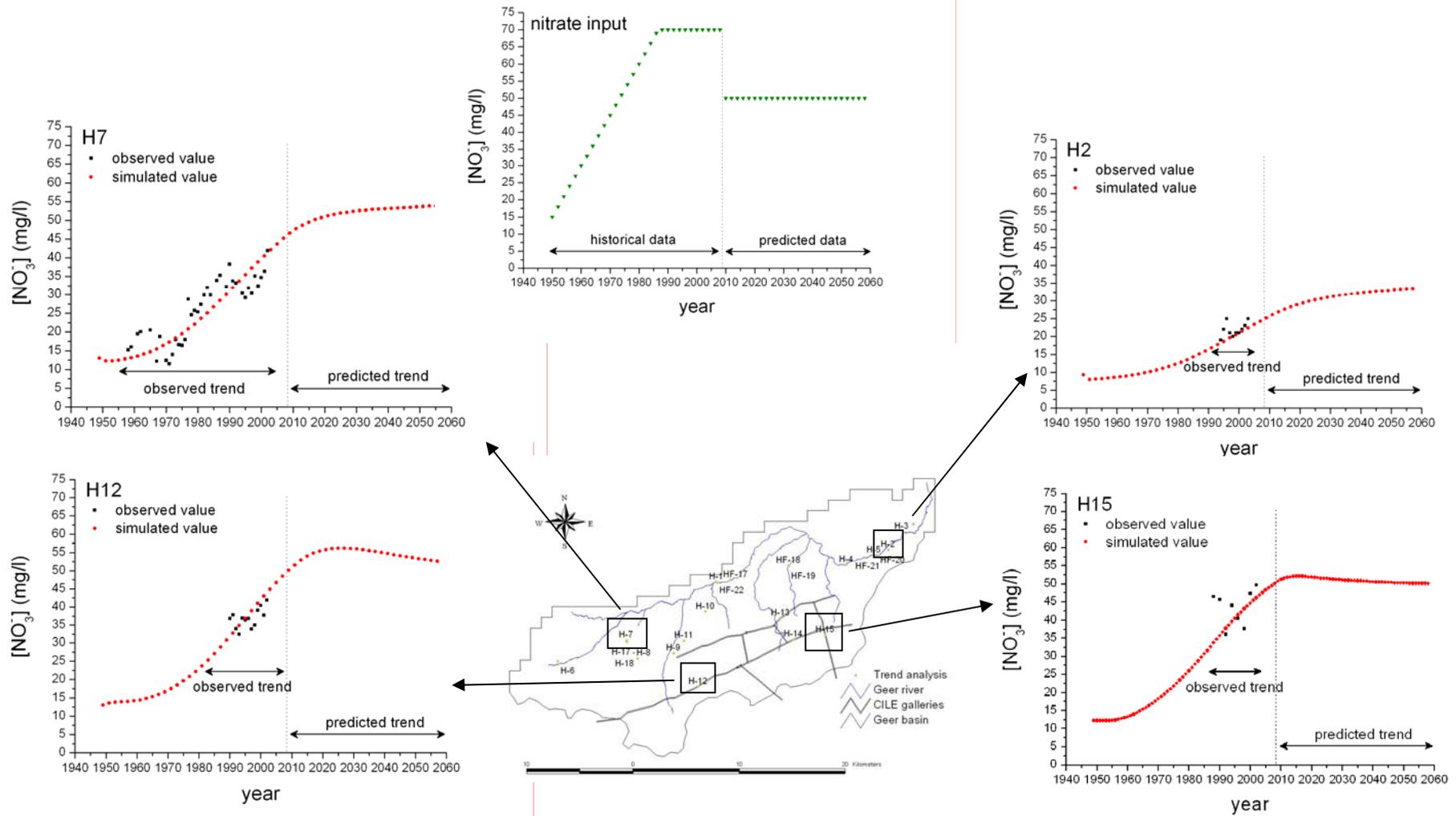


Vitesse moyenne observée $\approx 1\text{ m/y}$





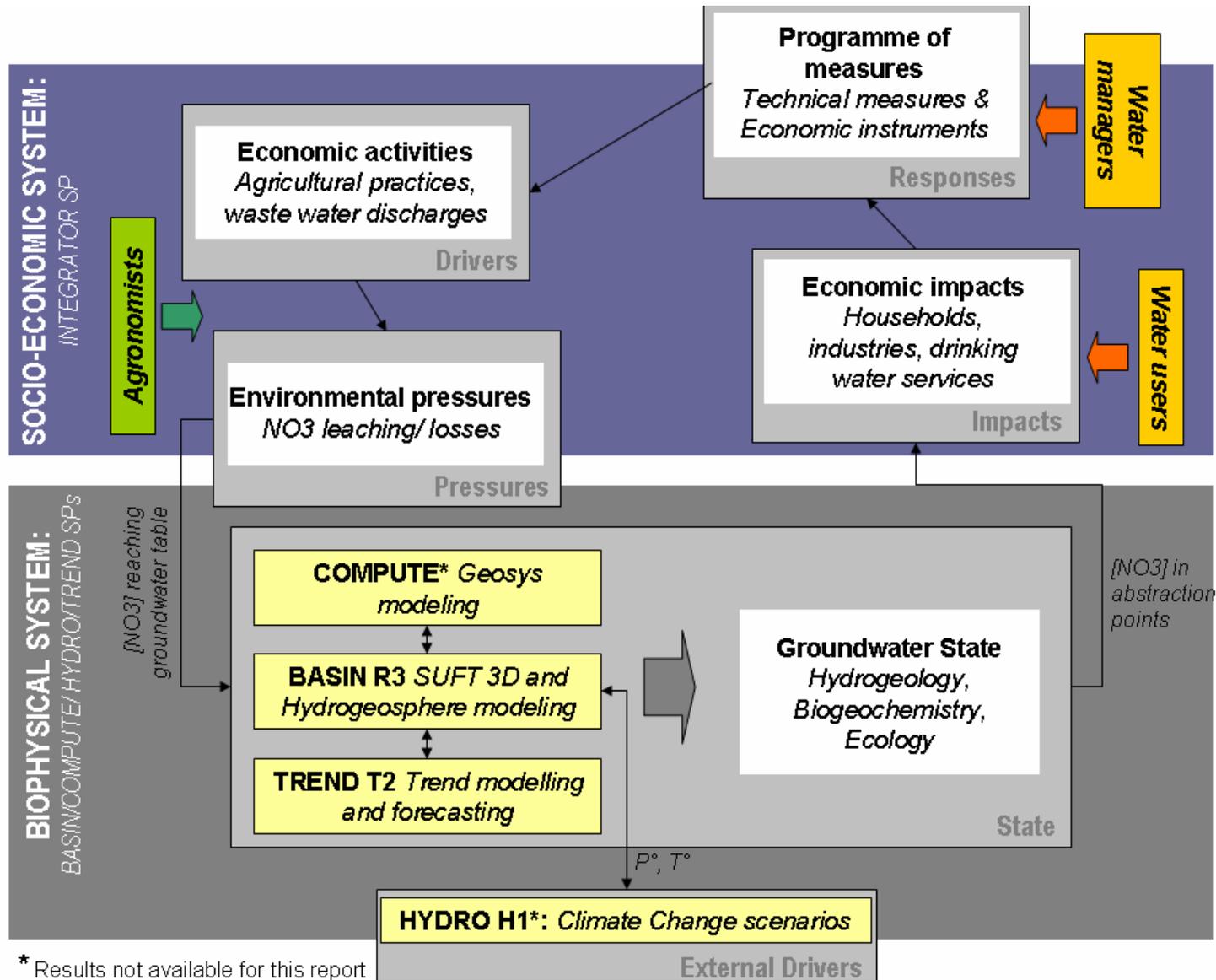
2.3 Modélisation des eaux souterraines





2.4 Contribution à l'analyse socio-économique

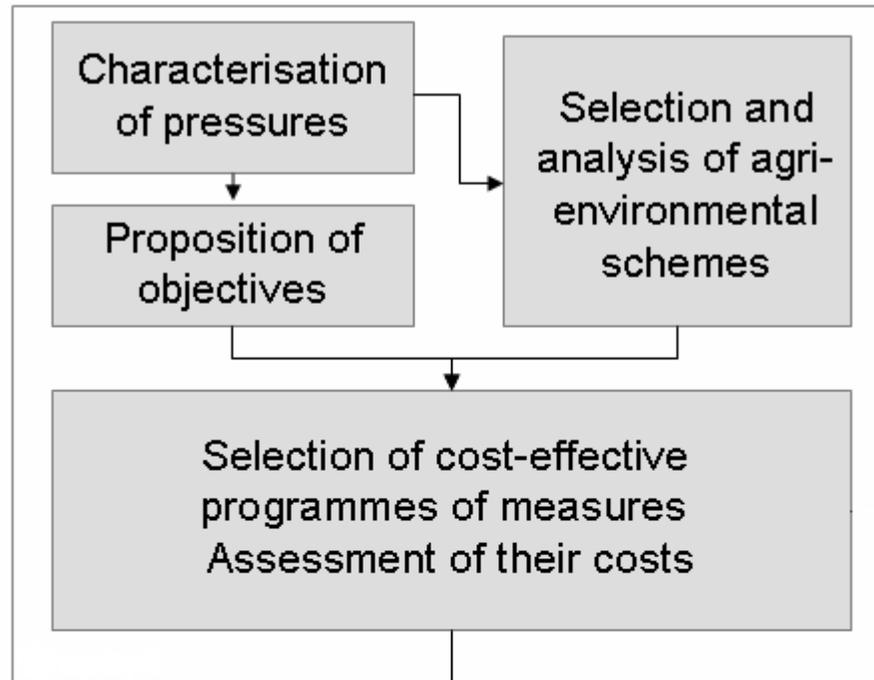
En collaboration avec le BRGM



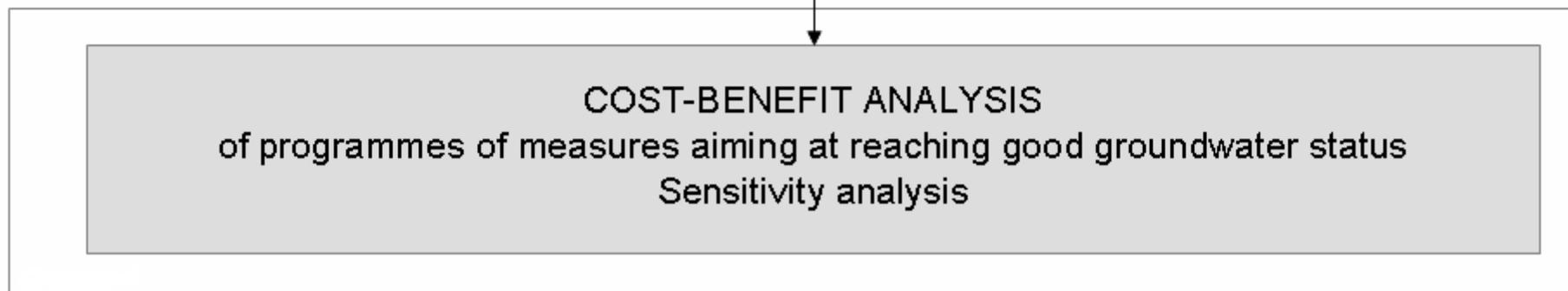
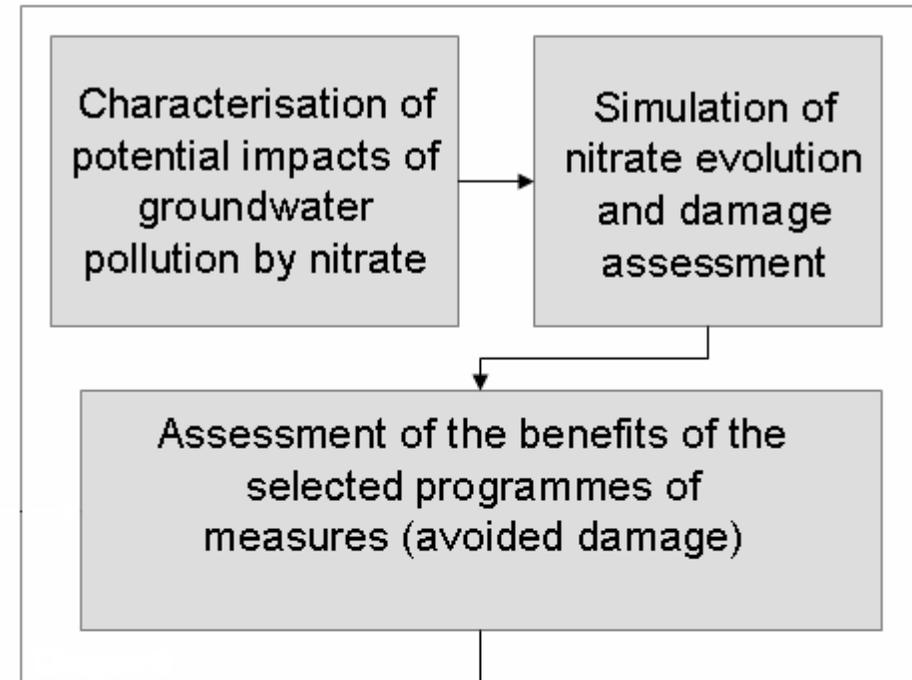


2.4 Contribution à l'analyse socio-économique

Analyse coût-efficacité



Analyse des bénéfices





2.4 Contribution à l'analyse socio-économique

Estimation des bénéfices

Evolution des concentration en nitrate est simulée en chaque point de captage
 Benefices sont estimés as en tant dommage évités

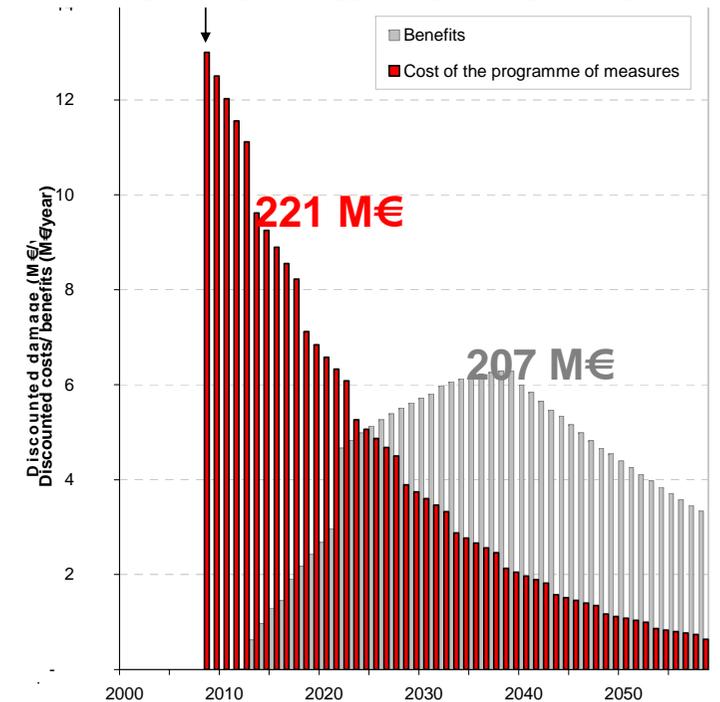
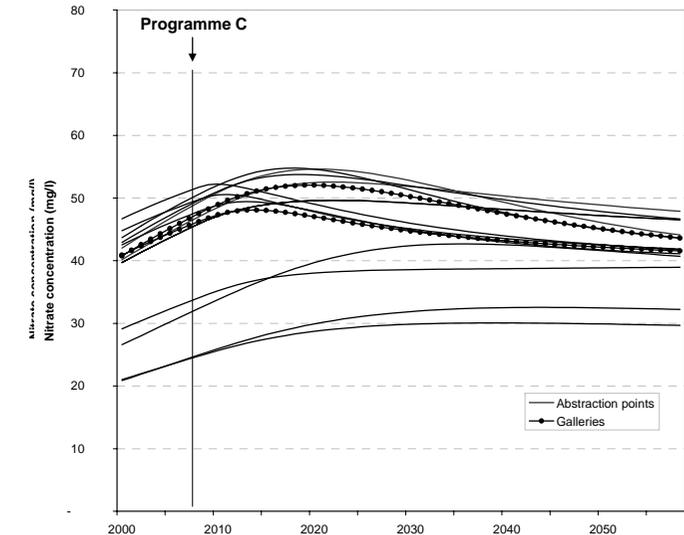
Program B (-32%) : +192 M€

Program C (-41%) : +207 M€

Comparaison entre coûts et bénéfices

CBA montre que le programme B (-32%) fournit le bénéfice net le plus important pour les eaux souterraines du bassin du Geer 51 M€ (benefits = 136% of the costs)

	Units	Scenario 0	Scenario B	Scenario C
D^{DW}	M€	70.5	18.9	16.3
D^{BW}	M€	174.0	33.2	21.6
D^{total}	M€	244.5	52.1	37.9
B^{total}	M€	-	192.4	206.6
C	M€	-	141.0	220.6
NPV	M€	-	51.4	-14.0
D^{total}	€/household	1,343	296	217
B^{total}	€/household	-	1,047	1,126





3. Conclusions et perspectives

- Développement d'une nouvelle approche globale d'étude et d'estimation des tendances en contaminants d'origine diffuse à l'échelle de la masse d'eau:
 - tendances déterminées à l'aide d'outils statistiques
 - traceurs environnementaux
 - Approche numérique originale et flexible
 - Intégration d'outil socio-économique

- Application sur le bassin du Geer :
 - résultats prometteurs

- ➔ Prometteur pour la gestion intégrée des ressources en eau et l'implémentation de la DCE



3. Conclusions et perspectives

Nouvelle information sur le bassin du Geer :

- Meilleure compréhension de la distribution spatiale de la contamination par les nitrates
- Grande inertie du système aquifère crayeux
- Inversion de tendance pas avant 2015
- Temps avant inversion de tendance est fonction de la position dans le bassin du point considéré



3. Conclusions et perspectives

Perspectives

- Autres applications en cours de développement (Synclin'Eau, PAI-Timothy)
- Développement pour optimiser la calibration
- Couplage avec d'autres modèles
 - Modèle sol pour représenter plus précisément l'input nitrate
 - Modèle rivière
 - ...
- Autres applications de la méthode HFEMC
 - Modélisation de zone minère/karstique
 - Stockage souterrain



Remerciement

- UE FP6
- Administration de la Région wallonne
- BELSPO
- Fournisseurs de données (CILE, SWDE, VMW, DGRNE, propriétaires privés...)



Merci de votre attention



Jeudi de l'Aquapôle – 22 octobre 2009

