

Assessment of nitrate trend in groundwater using a regional scale approach

Philippe ORBAN
Serge BROUYERE
Pascal GODERNIAUX
Alain DASSARGUES

Hydrogeology & Environmental Geology – University of Liège

CBH – BCH study day
Leuven, 4th June 2010

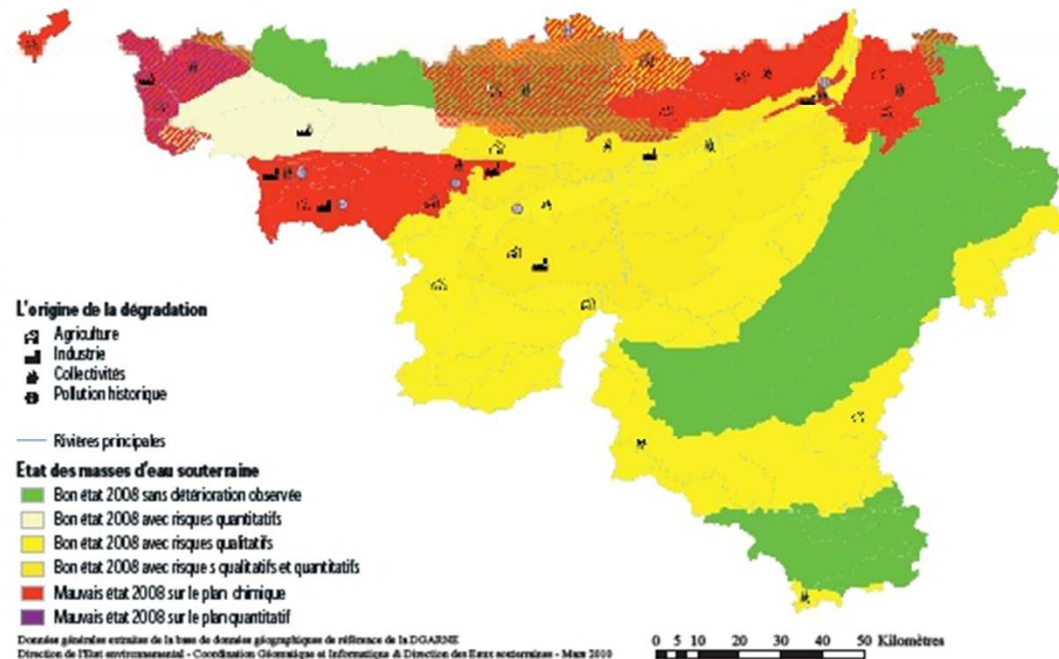


Les eaux souterraines sont encore trop chargées

Le dernier état des nappes d'eau souterraine en Région wallonne vient d'être publié. Et les nouvelles ne sont pas particulièrement bonnes. Les deux principaux indicateurs de pollution, les nitrates et les pesticides, sont à la hausse. « La tendance est à la dégradation, confirme-t-on à l'administration wallonne de l'environnement. Des eaux qui, à beaucoup d'endroits, étaient de bonne qualité, continuent à se dégrader. Et celles qui se dégradent le moins sont celles qui étaient déjà le plus en mauvais état. » C'est également l'avis de Serge Brouyère, expert en hydrologie à l'Université de Liège. « Hormis le calcaire du Tournaisis [près de la frontière française, NDLR], il n'y a aucune raison de penser qu'il y a un problème de surexploitation des nappes. En revanche, au niveau de la qualité, nous avons un évident problème de nitrates et de pesticides. » Le constat n'est pas sans conséquences : en Wallonie, 80 % de l'eau du robinet provient de captages souterrains, à Bruxelles 65 % vient aussi des puits sudistes. Et si sa qualité reste meilleure que ce que prévoient les normes internationales, les chiffres officiels le montrent : le nombre de captages purement et simplement abandonnés ou devant être soumis à un traitement au charbon actif en raison de trop grandes concentrations en pesticides ne cesse d'augmenter.

Principales nappes à problème : le créacé de Hesbaye (délimité par les vallées de la Meuse, de la Meuhaigne et du Geer) et les sables bruxellois (Erabant wallon). Ici, « depuis 2003, les valeurs moyennes de concentration en nitrate semblent s'être stabilisées sur un palier supérieur », indique le rapport. Les nappes du Sud-Namurois « ne présentent

ÉTAT DES LIEUX EN 2008 DES MASSES D'EAU SOUTERRAINE



L'origine de la dégradation

- 🌾 Agriculture
- 🏭 Industrie
- 🏠 Collectivités
- ⚰ Pollution historique

— Rivières principales

État des masses d'eau souterraine

- 🟢 Bon état 2008 sans détérioration observée
- 🟡 Bon état 2008 avec risques quantitatifs
- 🟠 Bon état 2008 avec risques qualitatifs
- 🔴 Bon état 2008 avec risques qualitatifs et quantitatifs
- 🔴 Mauvais état 2008 sur le plan chimique
- 🟣 Mauvais état 2008 sur le plan quantitatif

Données générales extraites de la base de données géographiques de référence de la DGARNE
Direction de l'État environnemental - Coordination Géologique et Informatique & Direction des Eaux souterraines - Mars 2010

globalement aucun signe d'amélioration ». Tout le nord du sillon Sambre et Meuse peut être considéré comme la zone la plus vulnérable, indique un expert.

Nitrates et pesticides

« L'impact chimique de l'agriculture demeure clairement la grande problématique pour les eaux souterraines », souligne le document de la direction wallonne. Les pesticides ? « Ce sont les herbicides [un pesticide, NDLR] qui sont responsables de la majorité des problèmes posés aux producteurs d'eau potable. » Dans

les échantillons, on retrouve des traces d'atrazine, pourtant interdite depuis 2004. « Mais il subsiste encore de grandes quantités, tant chez les professionnels que chez les particuliers, dit Brouyère. Par ailleurs, les pesticides, c'est comme le dopage chez les cyclistes. Dès qu'on interdit un produit, ses substituts apparaissent très rapidement. Les produits à suivre s'appellent désormais bentazone, bromacil et dichlorobenzamide. Ces herbicides d'usage « non nécessairement agricole » sont utilisés dans les cimetières, sur les talus des chemins de fer...

Certes, « la problématique des pesticides n'atteint pas l'ampleur de celle des nitrates. Mais elle se règle rarement par des dilutions et des mélanges d'eau », dit le rapport. Par ailleurs, poursuit un spécialiste, « le mécanisme d'infiltration et de migration des pesticides dans les eaux souterraines est beaucoup plus complexe que celui des nitrates ». Enfin, la question de leur toxicité est en core imparfaitement documentée.

Les nitrates ? C'est « l'altération principale », issue essentiellement de l'utilisation des engrais azotés. « Pas mal de résul-

tats sortent des valeurs moyennes, témoigne un fonctionnaire. Certains échantillons explosent même les mesures. »

« De manière générale, confirme Brouyère, on constate une augmentation de la présence de nitrates dans les eaux souterraines ». Et pourtant, des mesures visant à maîtriser l'utilisation des engrais azotés ont été prises. Mais, indique-t-on à la Région, « il est encore prématuré d'espérer constater les premiers effets bénéfiques de ce plan ». Plus encore : « Le plan actuel est trop faible, les règles ne sont pas toujours

Deux tiers captés Les réserves en eaux souterraines wallonnes, « annuellement renouvelables », sont estimées à 550 millions de m³. Environ deux tiers, 370 millions de m³, sont captés. Les prélèvements de surface sont évalués à 2.600 millions de m³.

De l'eau à boire Plus de huit dixièmes des prélèvements sont destinés à l'eau potable (80 % pour l'eau de distribution, 1,5 % pour l'emballage de boissons). Les industries, mines et carrières consomment respectivement 7,6 et 8,8 %.

De l'eau à exporter 40 % de l'eau potable produite en Wallonie sont exportés en Flandre et à Bruxelles.

Gros captages Les captages les plus importants sont : Modave (22,8 millions de m³), les galeries de Hesbaye (13,2), Vedrin (9,3), Braine-l'Alleud/Waterloo (9,3), Nimy (11,1), Spontin (7,6), Crupet (5,9), Néblon (10,5) et Gaurain-Ramecroix (6,5).

respectés. Ainsi, certains agriculteurs continuent à épandre sur sol gelé. Il faut donc augmenter les superficies protégées ou prendre des mesures plus sévères : un contrôle plus strict - voire généralisé dans les zones de captage - de l'épandage et du résidu azoté après les cultures. On y réfléchit ». La Wallonie n'a pas trop le choix. Une directive européenne prévoit qu'à partir de décembre 2015 la qualité des eaux souterraines soit « bonne » et ne souffre plus de détérioration. Un vrai défi auquel on ne fera pas face sans mal. ■ MICHEL DE MUELENAERE



Groundwater bodies need to be efficiently managed

Quality of groundwater is deteriorating
by nitrates, pesticides...

Groundwater are widely used in Belgium
80% of distributed water in Walloon Region

EU Water Directive imposes new regulations
Good status by 2015
Inversion of damageable trends by 2015

Groundwater bodies need to be efficiently managed



Need to link changes in agricultural practices and groundwater trends

- Dependent on aquifers properties!
- Regional scale problem!

Need to evaluate the costs of measures and benefits for the society

- For policies optimization

Groundwater modelling is an efficient tool to reach these objectives

Main steps of the methodology :

Understand groundwater flow and transport processes at the regional scale

Recharge, contamination, transport, mixing

Modelling flow and transport at the groundwater body scale

Calibration and prediction of trends

Coupling : Modelled trends \leftrightarrow socio-economic approach

Efficiency of measures in terms of :

- costs

- benefits (degradation mitigation)

Application of this methodology to the Geer basin case (NO₃)

Outline

1. The Geer basin hydrogeology
2. Groundwater modelling
3. Costs – benefits analysis of mitigation measures

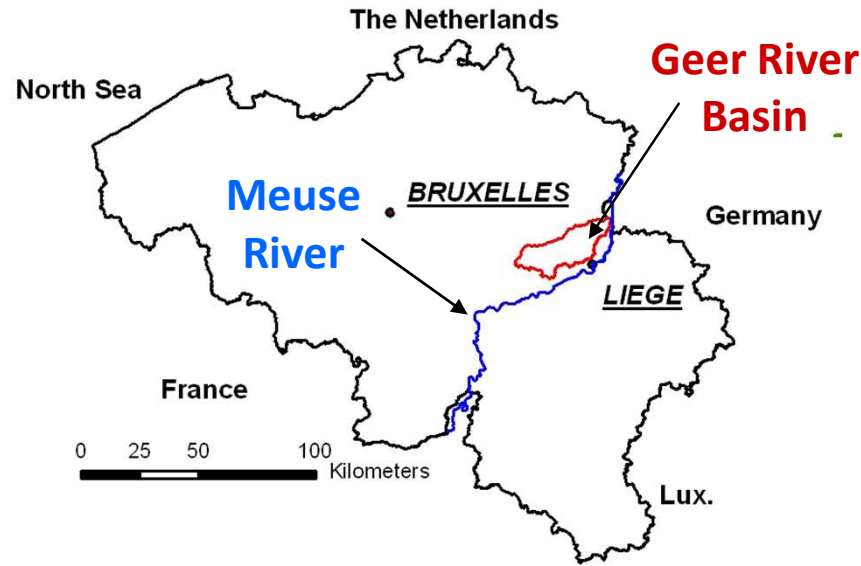


1. The Geer basin hydrogeology

2. Groundwater modelling

3. Costs – benefits analysis of mitigation measures

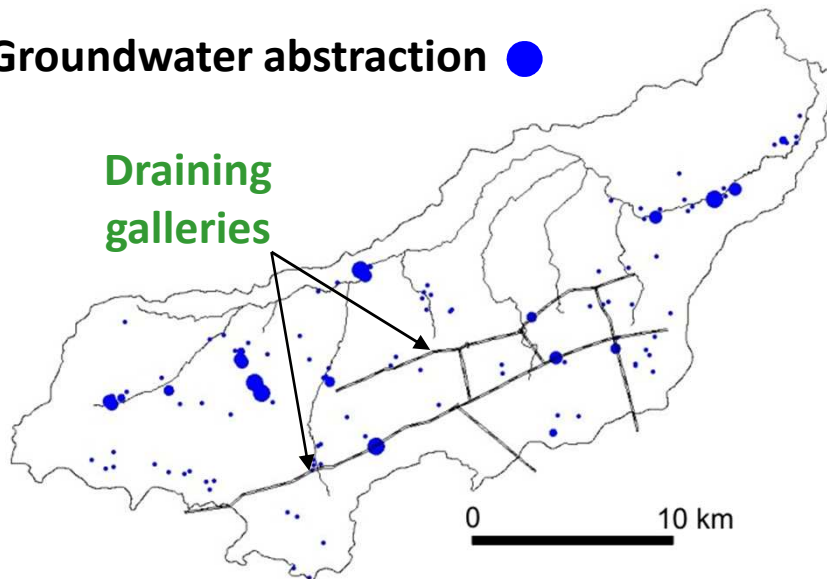
The Geer basin groundwater resources are strategic



Area = 465 km²

Sub-catchment of the Meuse River

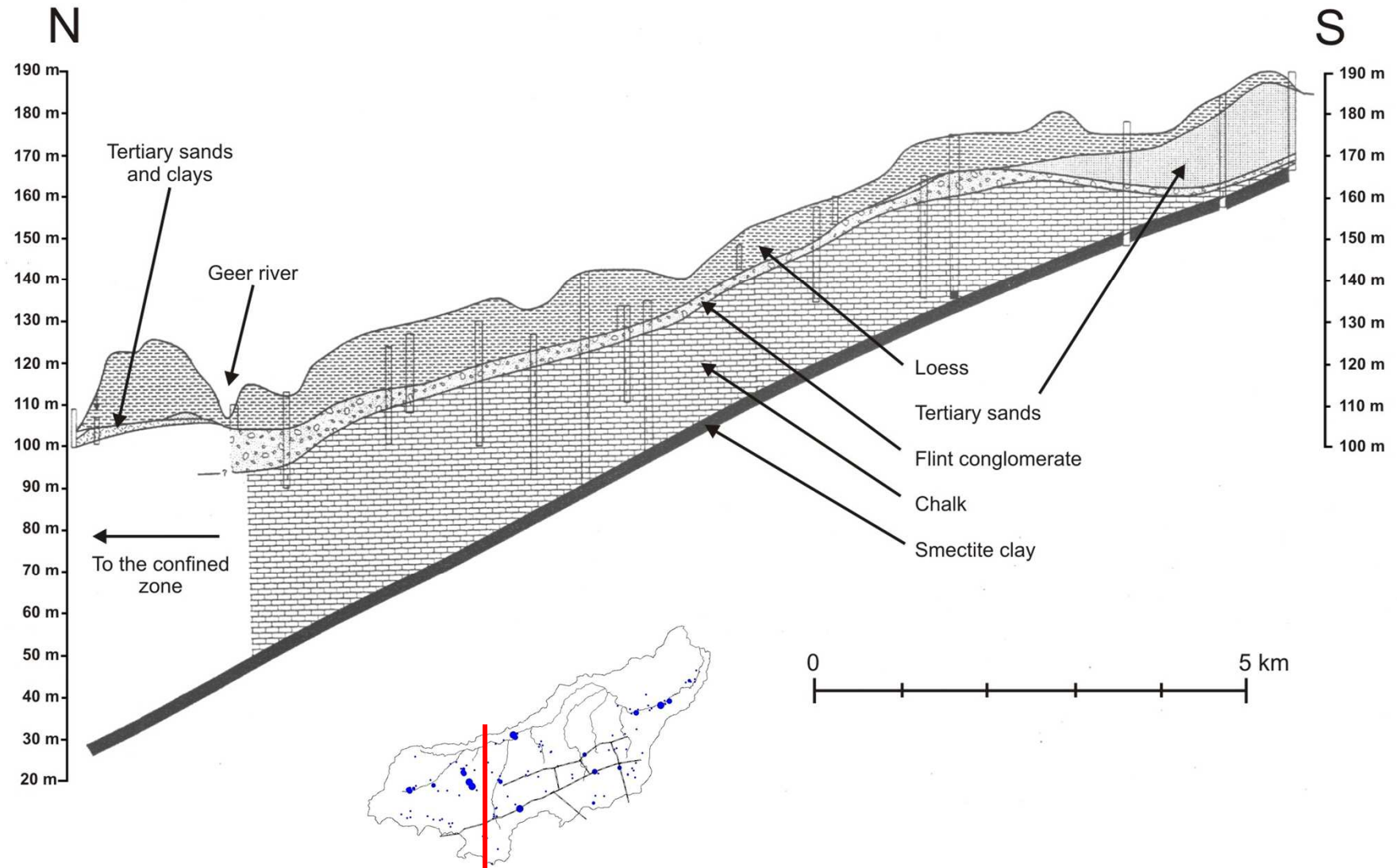
Groundwater abstraction ●



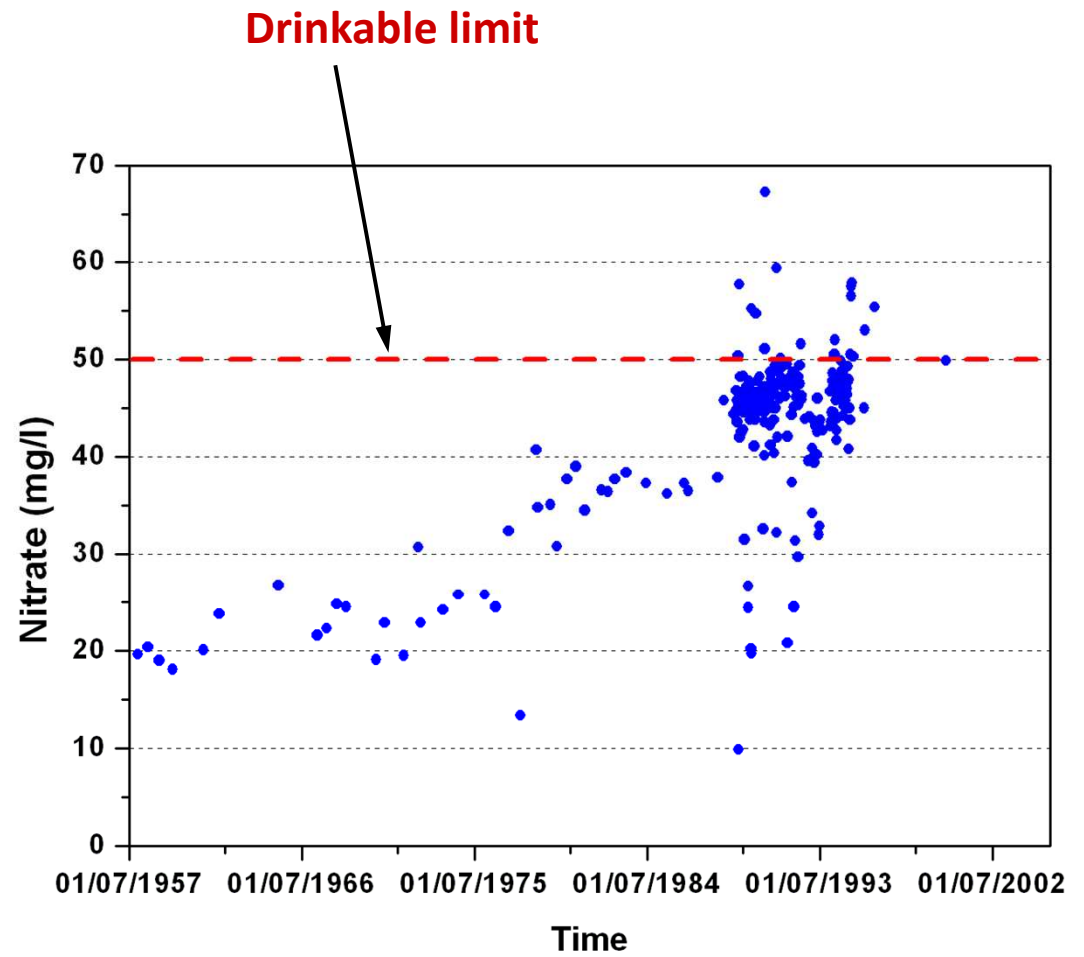
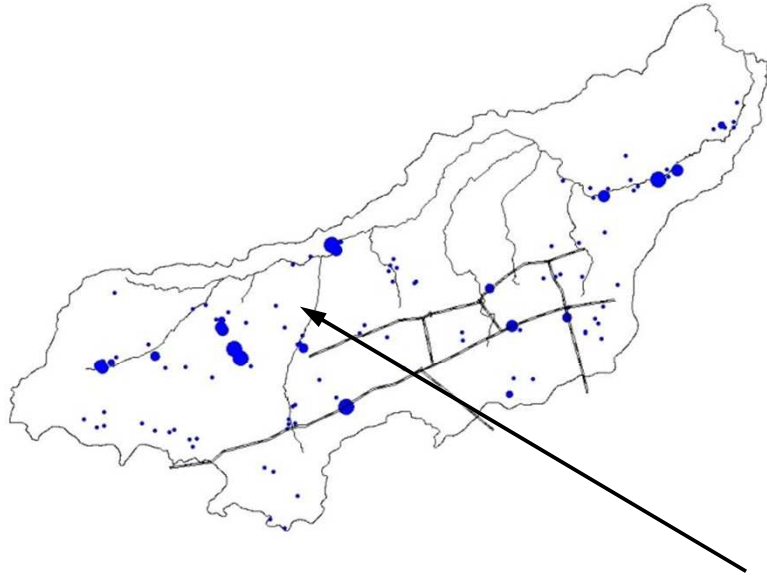
Groundwater are intensively exploited in the Geer basin

30 millions m³/year
for 600,000 people in Liège

The main aquifer is composed of chalk layers



Nitrate concentrations are increasing alarmingly





1. The Geer basin hydrogeology

2. Groundwater modelling

3. Costs – benefits analysis of mitigation measures

Modelling solute transport at the regional scale is challenging

Large areas

From a few 100 to several 1000 km²

Very large computing times

From a few hours to a few weeks

Availability of representative data

Classical tracer tests are usually not usable

Numerical problems

Linked to solute dispersion and elements size

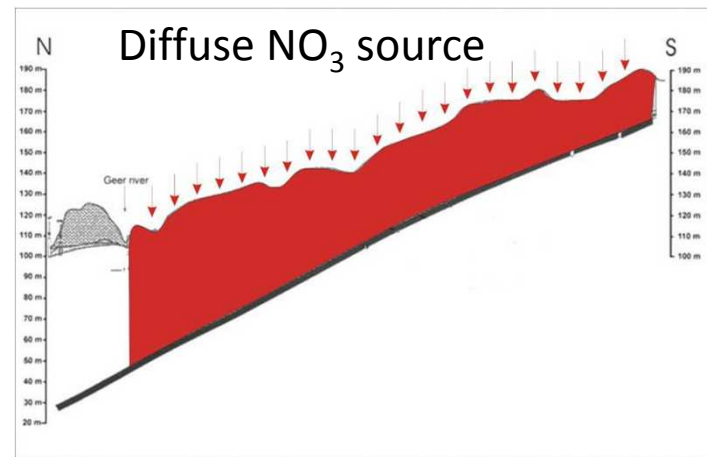
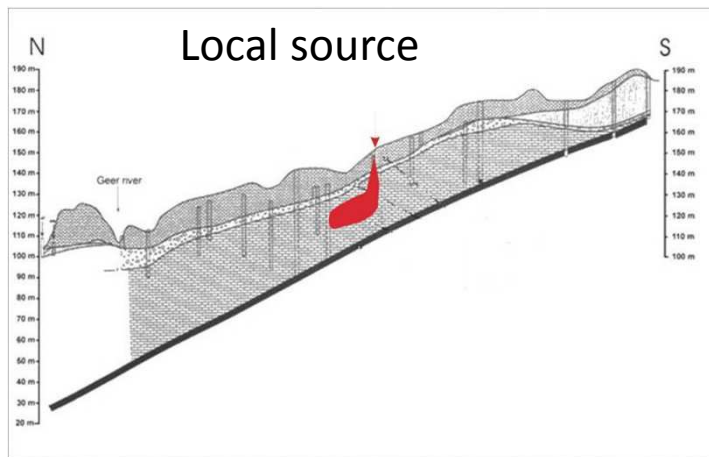
The Geer basin is modelled with the physically-based finite element SUFT3D code

Groundwater flow

- Finite element solution in equivalent porous media
- Steady-state conditions
- Variably-saturated

Groundwater transport

- Dual-porosity model to represent fractures
- Transient conditions
- Neglect dispersion (Spatial dispersion \gg Physical dispersion)



⇒ Use of the **Hybrid Finite Element Mixing Cell** concepts (HFEMC)

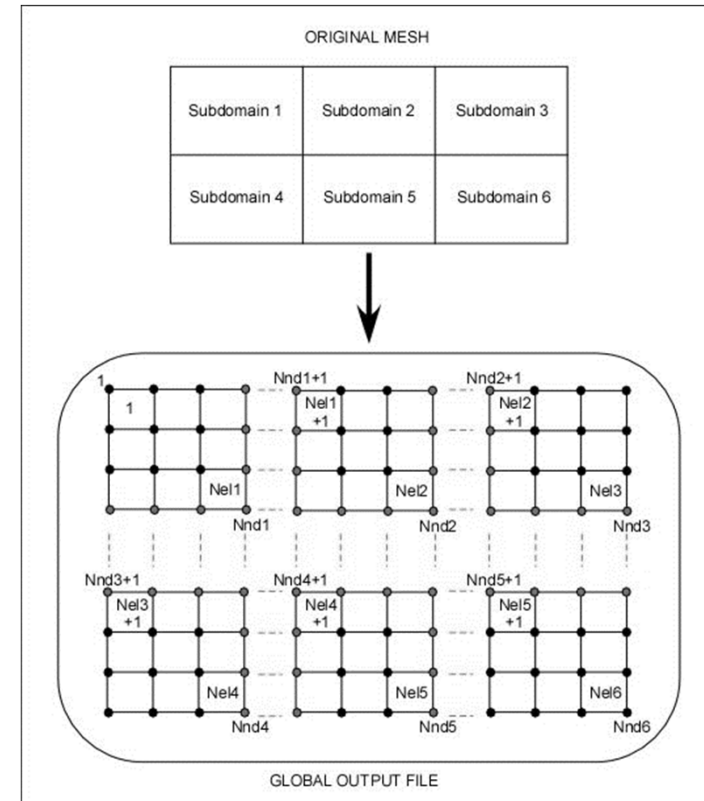
The HFEMC concepts offer flexible solution for large scale applications

Control volume finite element code

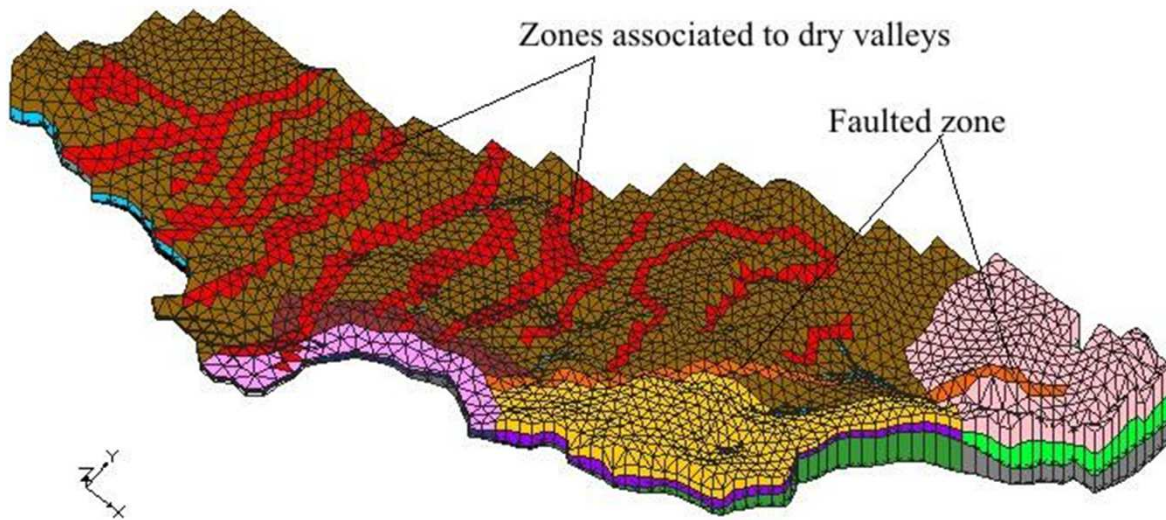
Flexible discretization / meshing approach

Mathematical models of various complexities for flow and transport
Hybrid Finite Element Mixing Cell

		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



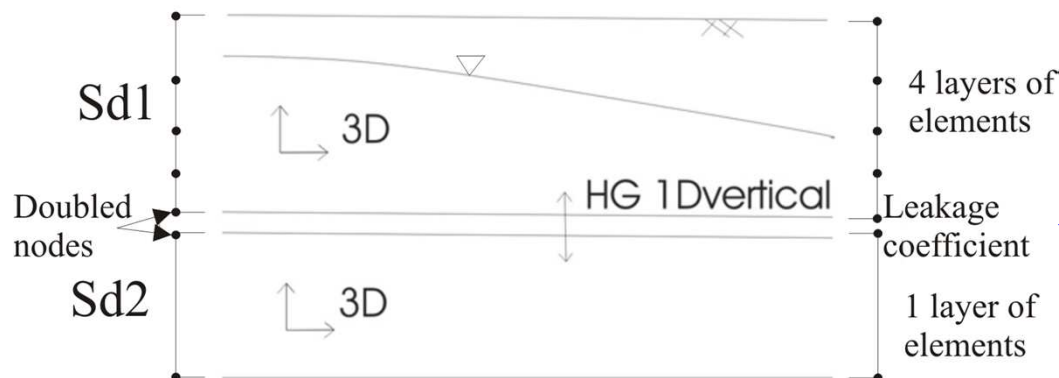
The modelled domain is discretized with 5 layers of finite elements



Limits of the model = hydrological limits of the basin
No-flow boundary condition
Fourier boundary condition

Different zonations for chalk heterogeneity

5 layers of finite elements
2 layers for loess
3 layers of chalk

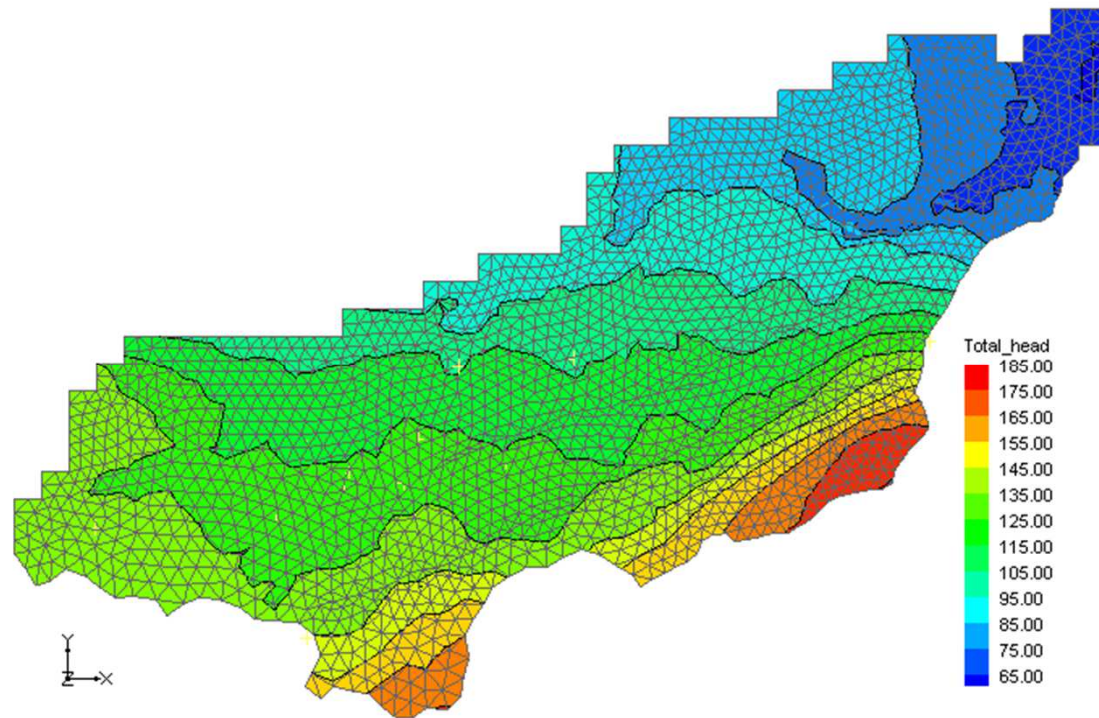
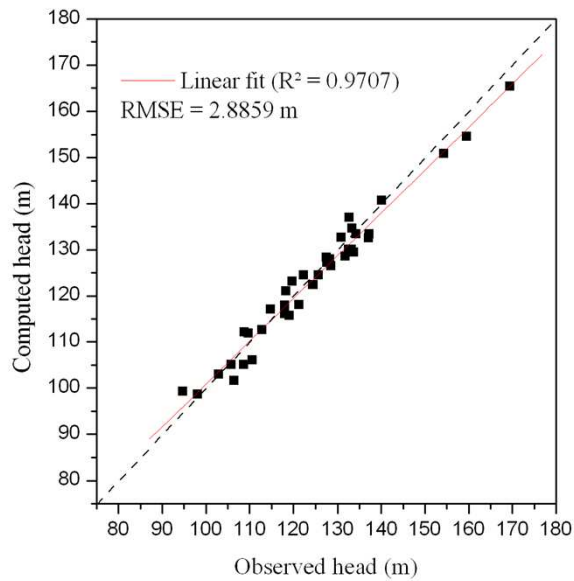


"Hardground represented as a Fourier BC

Groundwater **flow** is calibrated using two contrasted groundwater level datasets

Steady-state calibration

High and low groundwater levels (1983 & 1991)



Groundwater **transport** is calibrated using tritium and nitrate datasets

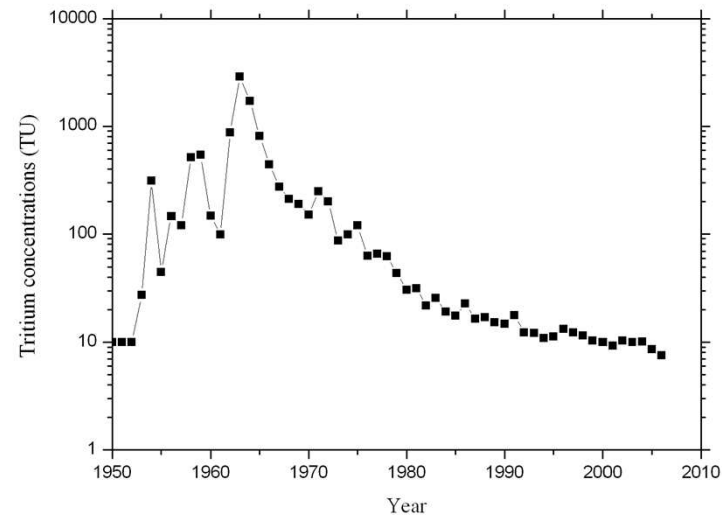
Transient calibration (period 1950 – 2008)

Tritium dataset

Input function well known (Groningen)

Peak in the input function

Few data available



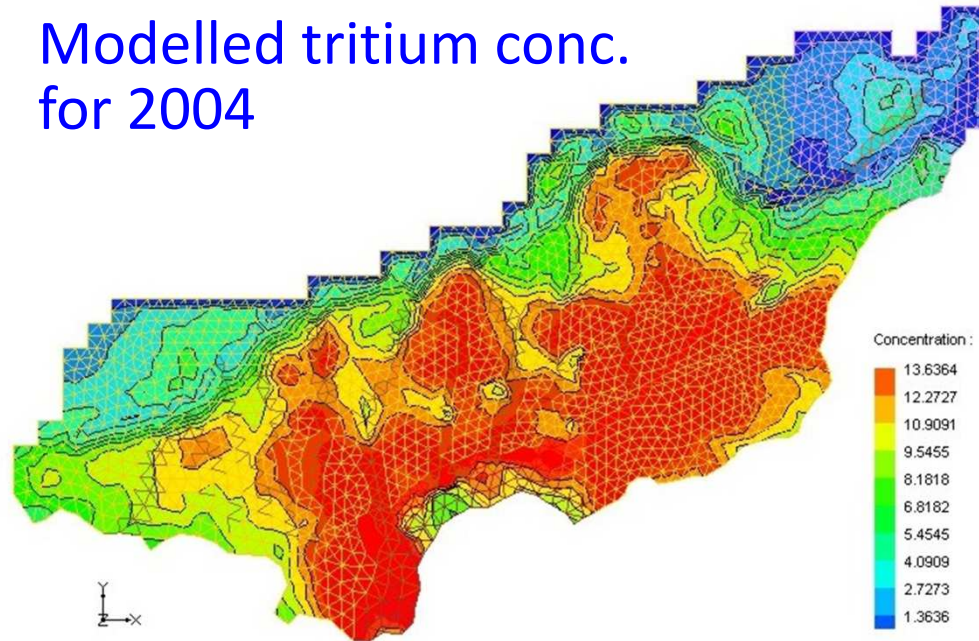
Nitrate dataset

More data available

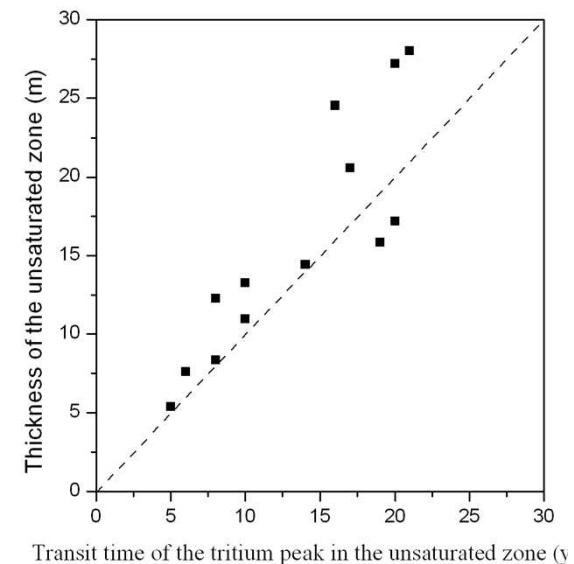
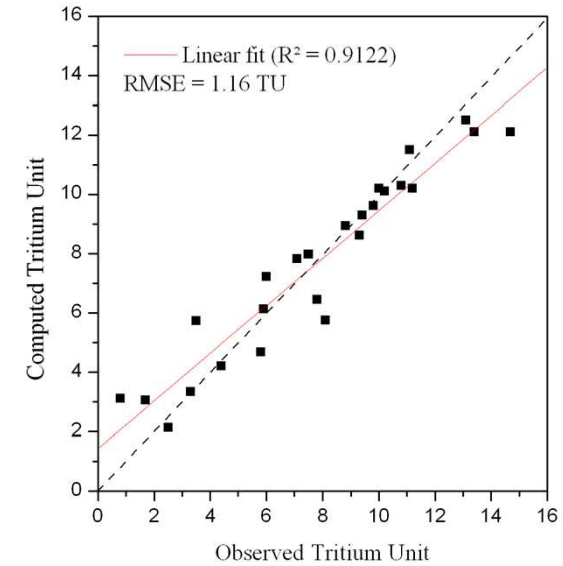
Input function difficult to estimate

Modelled and observed tritium concentrations are in accordance

Modelled tritium conc. for 2004

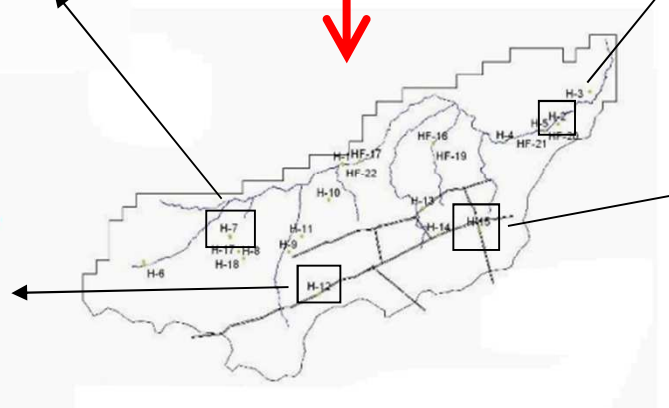
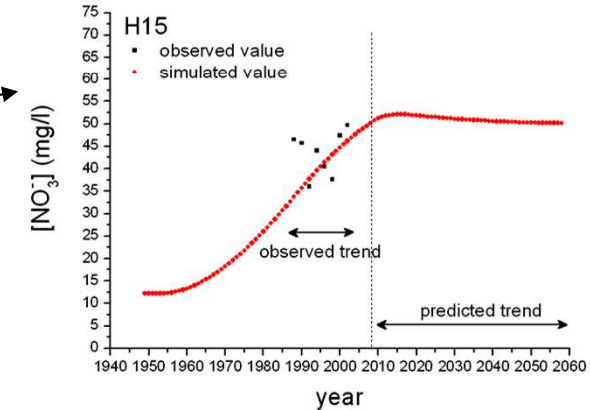
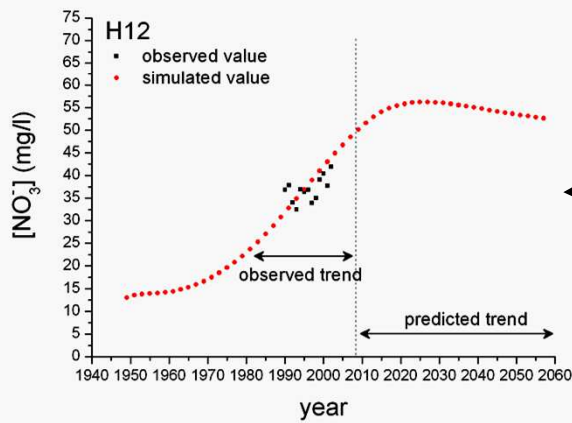
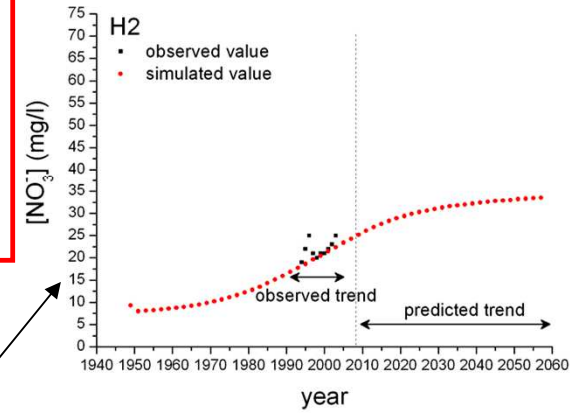
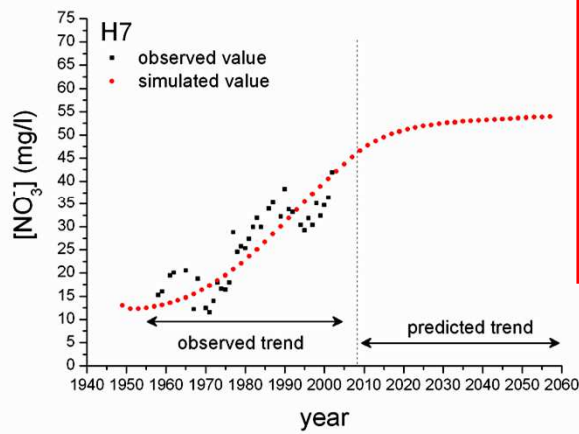
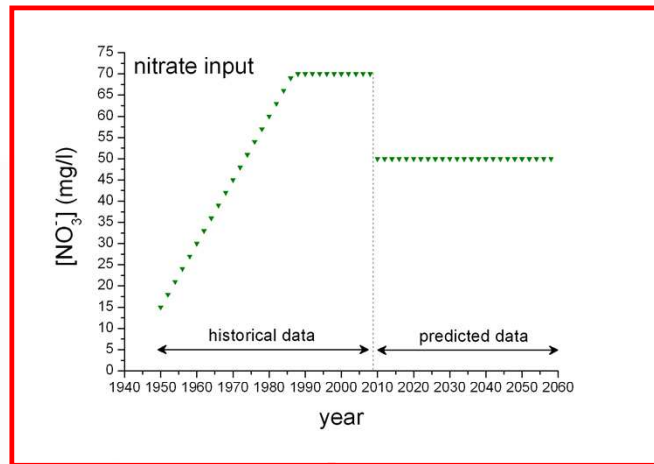


Mean computed velocity across the unsaturated zone $\approx 1\text{m/y}$
→ in accordance with observations



Modelled and observed nitrate trends are in accordance

Nitrate Input





1. The Geer basin hydrogeology

2. Groundwater modelling

3. Costs – benefits analysis of mitigation measures

Coupling physical and socio-eco approaches allows comparing costs and benefits of measures

What happens if nothing is performed today?

Damage?

What measures can be applied to prevent degradation?

Efficiency?

Time of efficiency?

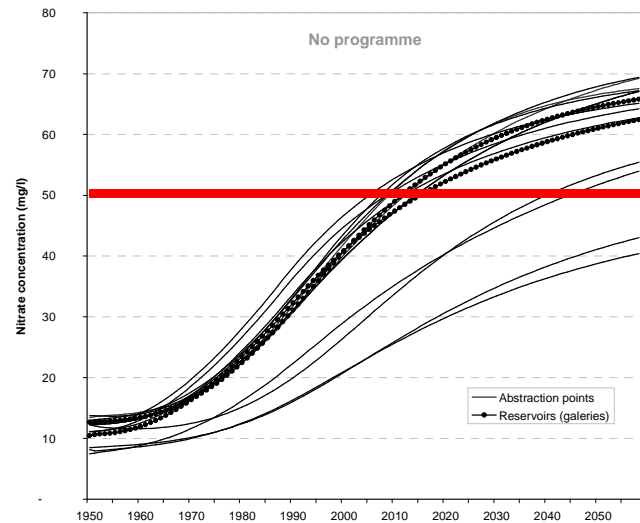
Which measure to choose to maximize society welfare?

Costs?

Benefits?

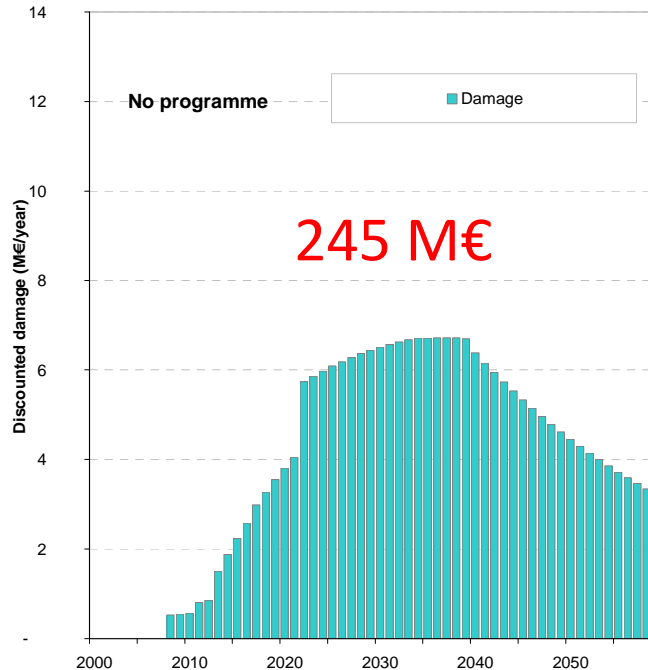
Comparison of costs and benefits

What happens if nothing is performed today?



Nitrate concentrations are simulated at each abstraction points from 2010 to 2060

Drinkable limit is exceeded in 2015 for most locations



Estimated total damage for the 50-years horizon : 245 M€

Increase in treatment and dilution cost for water production

Increase in the water bill

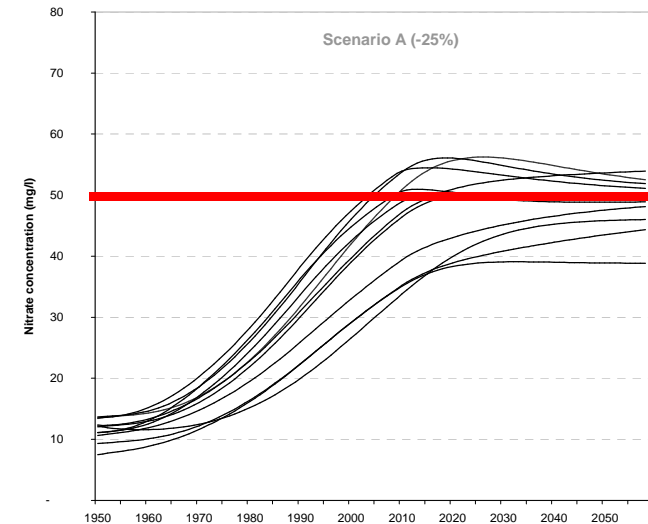
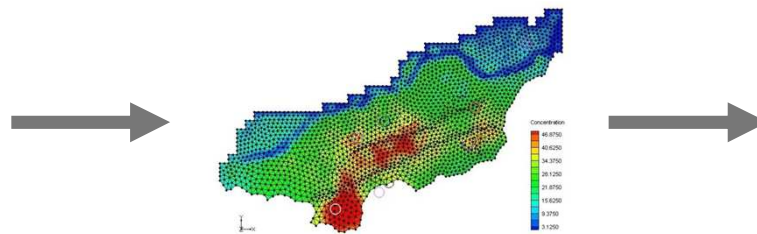
Increase in bottled water consumption

What measures can be applied to prevent degradation?

4 scenarios (set of agricultural measures) are tested with the groundwater model

reduction of nitrate inputs (-25% -32% -41% -100%)

Scenario A
-25%



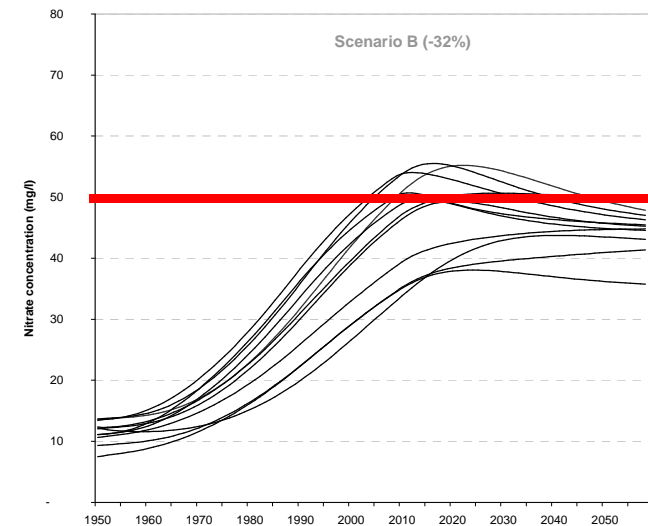
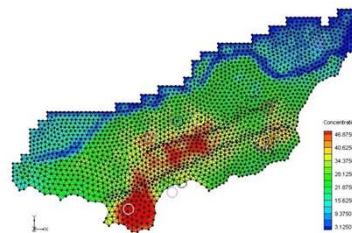
No good status reached

What measures can be applied to prevent degradation?

4 scenarios (set of agricultural measures) are tested with the groundwater model

reduction of nitrate inputs (-25% -32% -41% -100%)

Scenario B
-32%



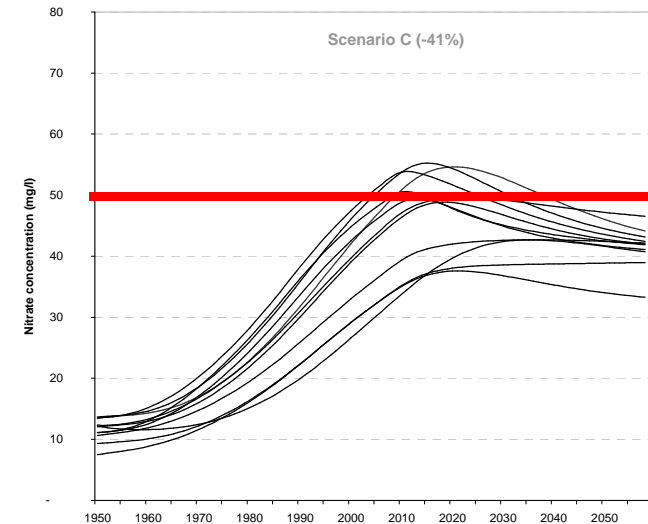
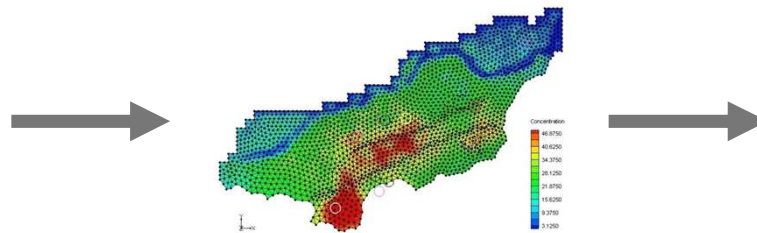
Good status reached by 2040

What measures can be applied to prevent degradation?

4 scenarios (set of agricultural measures) are tested with the groundwater model

reduction of nitrate inputs (-25% -32% -41% -100%)

Scenario C
-41%



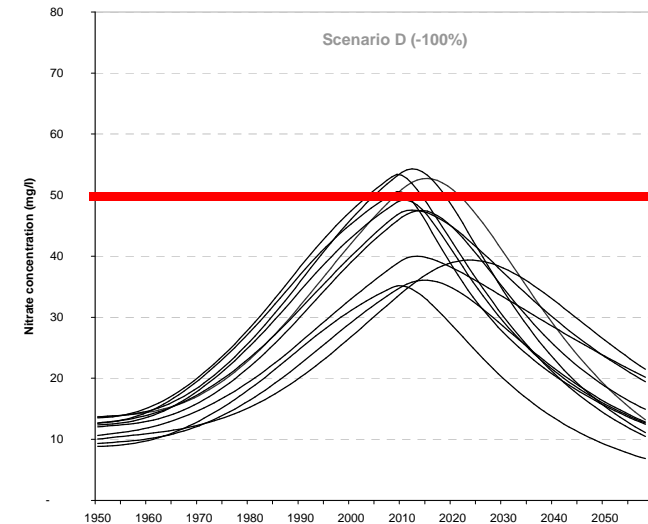
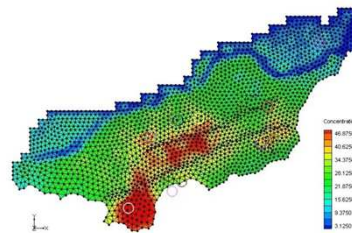
Good status reached by 2027

What measures can be applied to prevent degradation?

4 scenarios (set of agricultural measures) are tested with the groundwater model

reduction of nitrate inputs (-25% -32% -41% -100%)

Scenario D
-100%



Good status reached by 2020

Which measure to choose to maximize society welfare?

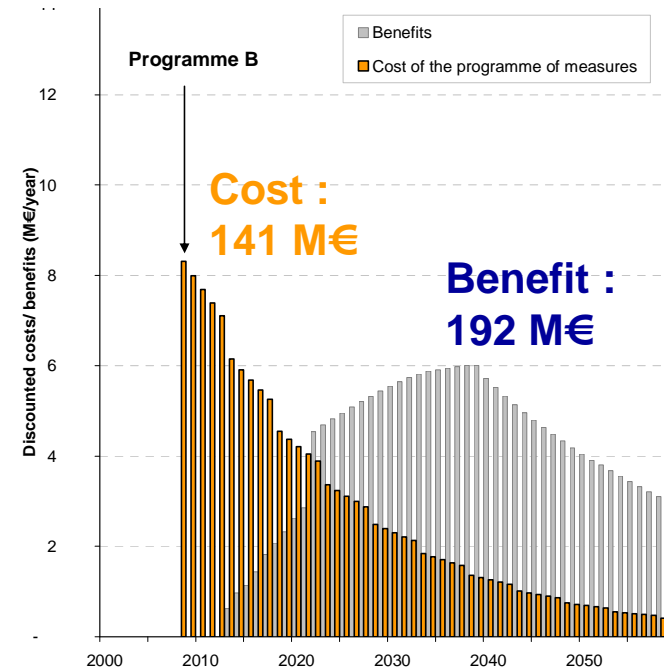
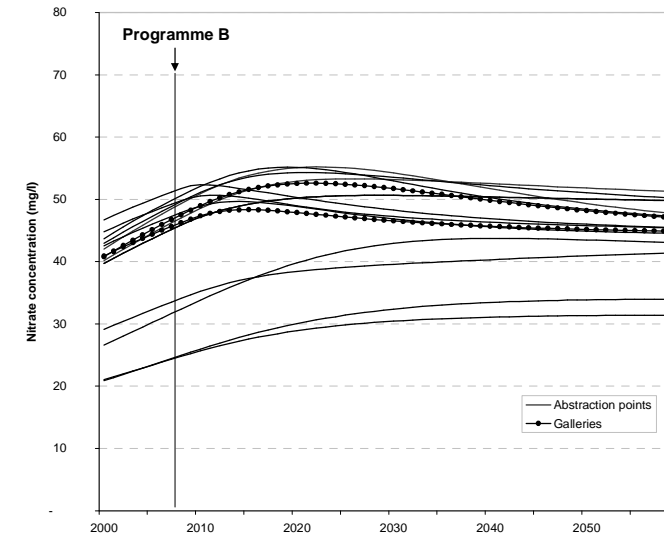
Costs (more expensive practice, compensation....)

Benefits are estimated as avoided damage

Scenario A (-25%) : No good status reached

Scenario D (-100%) : Not realist

	Unit	No program	scenario B	scenario C
Damage	M€	244.5		
Benefit	M€		192.4	206.6
Cost	M€		141.0	220.6
Balance	M€		51.4	-14.0



Which measure to choose to maximize society welfare?

Costs (more expensive practice, compensation....)

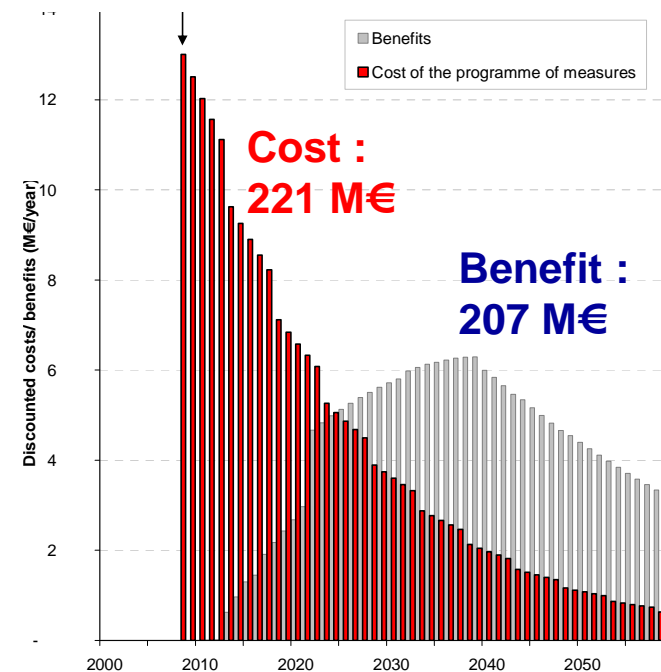
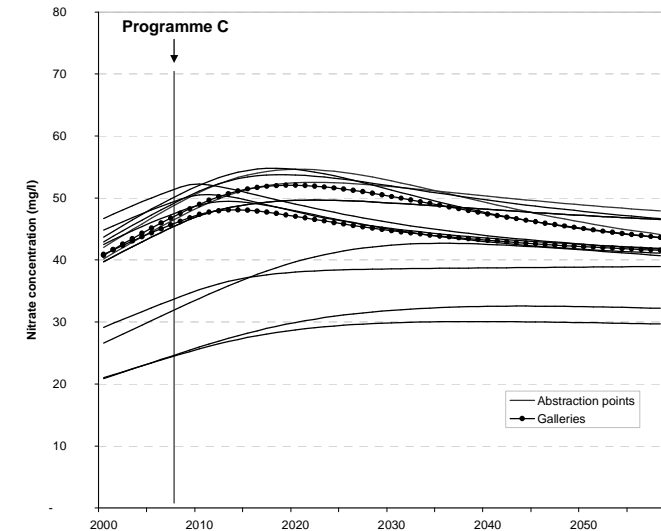
Benefits are estimated as avoided damage

Scenario A (-25%) : No good status reached

Scenario D (-100%) : Not realist

	Unit	No program	scenario B	scenario C
Damage	M€	244.5		
Benefit	M€		192.4	206.6
Cost	M€		141.0	220.6
Balance	M€		51.4	-14.0

→ Scenario B provides the highest net benefice : 51.4 M€





1. The Geer basin hydrogeology

2. Groundwater modelling

3. Costs – benefits analysis of mitigation measures

Conclusions

Large scale numerical model able to deal with real cases

Used for very practical groundwater management applications
(land use, climate change, ...)

Strong added value of the coupled physical – socio-economic approach

Quantify the efficiency of complex scenarios in both practical and monetary terms

Good status of groundwater can not be reached before 2015 in the Geer basin

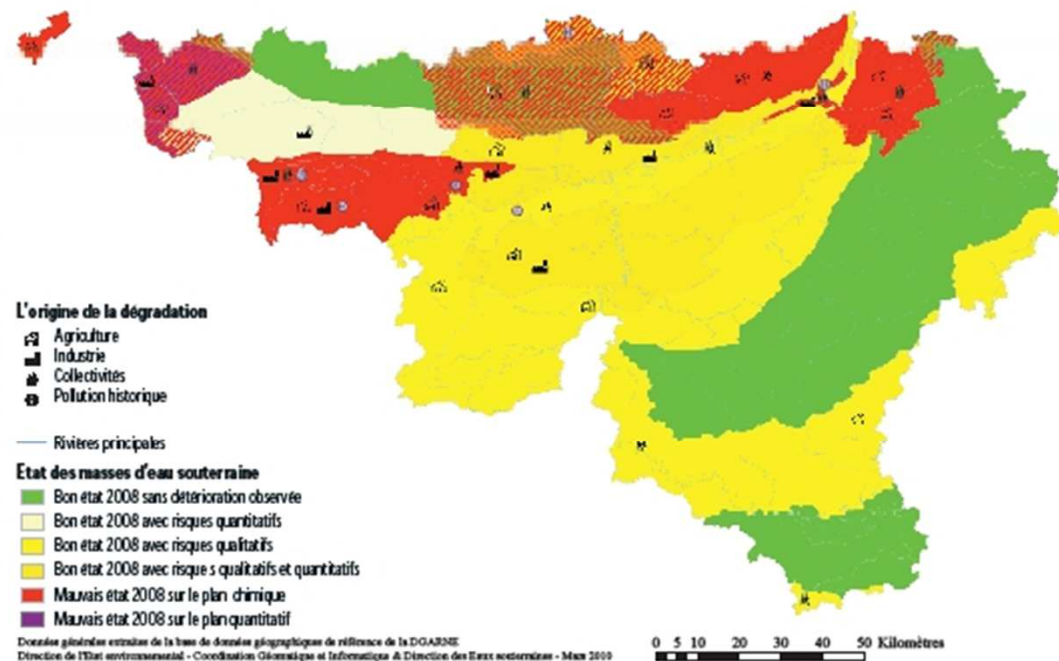
Important gap between measures setup and impact on groundwater

Les eaux souterraines sont encore trop chargées

Le dernier état des nappes d'eau souterraine en Région wallonne vient d'être publié. Et les nouvelles ne sont pas particulièrement bonnes. Les deux principaux indicateurs de pollution, les nitrates et les pesticides, sont à la hausse. « La tendance est à la dégradation, confirme-t-on à l'administration wallonne de l'environnement. Des eaux qui, à beaucoup d'endroits, étaient de bonne qualité, continuent à se dégrader. Et celles qui se dégradent le moins sont celles qui étaient déjà le plus en mauvais état. » C'est également l'avis de Serge Brouyère, expert en hydrologie à l'Université de Liège. « Hormis le calcaire du Tournaisis [près de la frontière française, NDLR], il n'y a aucune raison de penser qu'il y a un problème de surexploitation des nappes. En revanche, au niveau de la qualité, nous avons un évident problème de nitrates et de pesticides. » Le constat n'est pas sans conséquences : en Wallonie, 80 % de l'eau du robinet provient de captages souterrains, à Bruxelles 65 % vient aussi des puits sudistes. Et si sa qualité reste meilleure que ce que prévoient les normes internationales, les chiffres officiels le montrent : le nombre de captages purement et simplement abandonnés ou devant être soumis à un traitement au charbon actif en raison de trop grandes concentrations en pesticides ne cesse d'augmenter.

Principales nappes à problème : le créacé de Hesbaye (délimité par les vallées de la Meuse, de la Meuhaigne et du Geer) et les sables bruxellois (Erabant wallon). Ici, « depuis 2003, les valeurs moyennes de concentration en nitrate semblent s'être stabilisées sur un palier supérieur », indique le rapport. Les nappes du Sud-Namurois « ne présentent

ÉTAT DES LIEUX EN 2008 DES MASSES D'EAU SOUTERRAINE



L'origine de la dégradation

- 🌾 Agriculture
- 🏭 Industrie
- 🏠 Collectivités
- ⚰ Pollution historique

— Rivières principales

État des masses d'eau souterraine

- 🟢 Bon état 2008 sans détérioration observée
- 🟡 Bon état 2008 avec risques quantitatifs
- 🟡 Bon état 2008 avec risques qualitatifs
- 🟠 Bon état 2008 avec risques qualitatifs et quantitatifs
- 🔴 Mauvais état 2008 sur le plan chimique
- 🔴 Mauvais état 2008 sur le plan quantitatif

Données générales extraites de la base de données géographiques de référence de la DGARNE
Direction de l'État environnemental - Coordination Géologique et Informatique & Direction des Eaux souterraines - Mars 2010

globalement aucun signe d'amélioration ». Tout le nord du sillon Sambre et Meuse peut être considéré comme la zone la plus vulnérable, indique un expert.

Nitrates et pesticides

« L'impact chimique de l'agriculture demeure clairement la grande problématique pour les eaux souterraines », souligne le document de la direction wallonne. Les pesticides ? « Ce sont les herbicides [un pesticide, NDLR] qui sont responsables de la majorité des problèmes posés aux producteurs d'eau potable. » Dans

les échantillons, on retrouve des traces d'atrazine, pourtant interdite depuis 2004. « Mais il subsiste encore de grandes quantités, tant chez les professionnels que chez les particuliers, dit Brouyère. Par ailleurs, les pesticides, c'est comme le dopage chez les cyclistes. Dès qu'on interdit un produit, ses substituts apparaissent très rapidement. Les produits à suivre s'appellent désormais bentazone, bromacil et dichlorobenzamide. Ces herbicides d'usage « non nécessairement agricole » sont utilisés dans les cimetières, sur les talus des chemins de fer...

Certes, « la problématique des pesticides n'atteint pas l'ampleur de celle des nitrates. Mais elle se règle rarement par des dilutions et des mélanges d'eau », dit le rapport. Par ailleurs, poursuit un spécialiste, « le mécanisme d'infiltration et de migration des pesticides dans les eaux souterraines est beaucoup plus complexe que celui des nitrates ». Enfin, la question de leur toxicité est en core imparfaitement documentée. Les nitrates ? C'est « l'altération principale », issue essentiellement de l'utilisation des engrais azotés. « Pas mal de résul-

tats sortent des valeurs moyennes, témoigne un fonctionnaire. Certains échantillons explosent même les mesures. » « De manière générale, confirme Brouyère, on constate une augmentation de la présence de nitrates dans les eaux souterraines ». Et pourtant, des mesures visant à maîtriser l'utilisation des engrais azotés ont été prises. Mais, indique-t-on à la Région, « il est encore prématuré d'espérer constater les premiers effets bénéfiques de ce plan ». Plus encore : « Le plan actuel est trop faible, les règles ne sont pas toujours

Deux tiers captés Les réserves en eaux souterraines wallonnes, « annuellement renouvelables », sont estimées à 550 millions de m³. Environ deux tiers, 370 millions de m³, sont captés. Les prélèvements de surface sont évalués à 2.600 millions de m³.

De l'eau à boire Plus de huit dixièmes des prélèvements sont destinés à l'eau potable (80 % pour l'eau de distribution, 1,5 % pour l'emballage de boissons). Les industries, mines et carrière consomment respectivement 7,6 et 8,8 %.

De l'eau à exporter 40 % de l'eau potable produite en Wallonie sont exportés en Flandre et à Bruxelles.

Gros captages Les captages les plus importants sont : Modave (22,8 millions de m³), les galeries de Hesbaye (13,2), Vedrin (9,3), Braine-l'Alleud/Waterloo (9,3), Nimy (11,1), Spontin (7,6), Crupet (5,9), Néblon (10,5) et Gaurain-Ramecroix (6,5).

respectés. Ainsi, certains agriculteurs continuent à épandre sur sol gelé. Il faut donc augmenter les superficies protégées ou prendre des mesures plus sévères : un contrôle plus strict - voire généralisé dans les zones de captage - de l'épandage et du résidu azoté après les cultures. On y réfléchit ». La Wallonie n'a pas trop le choix. Une directive européenne prévoit qu'à partir de décembre 2015 la qualité des eaux souterraines soit « bonne » et ne souffre plus de détérioration. Un vrai défi auquel on ne fera pas face sans mal. ■ MICHEL DE MUELENAERE



Acknowledgement

FP6 AquaTerra EC and partners

BRGM Team (C. Hérivaux)

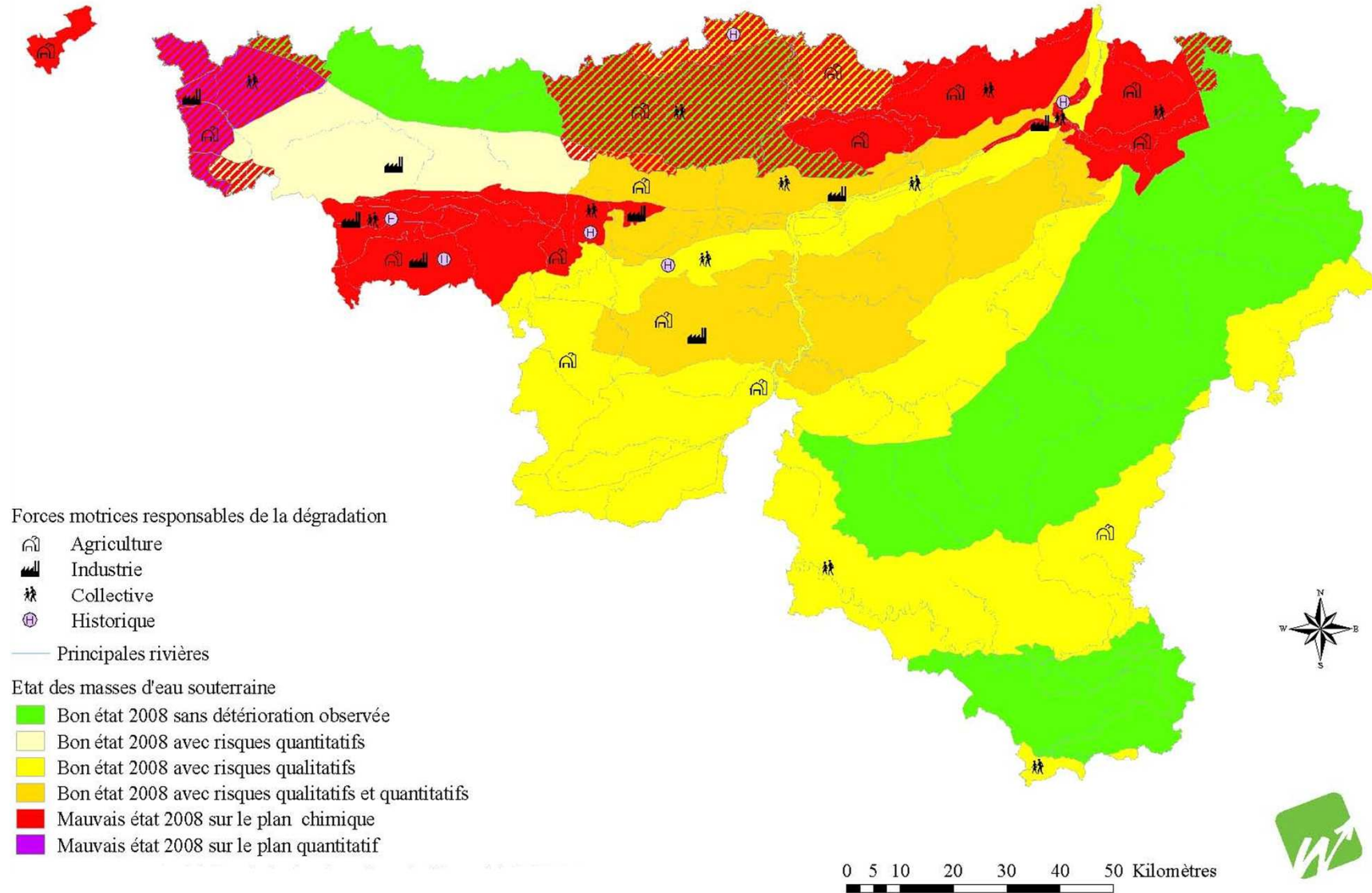
Walloon Region, Groundwater division

Fonds National de la Recherche Scientifique of Belgium

Aquapôle University of Liège

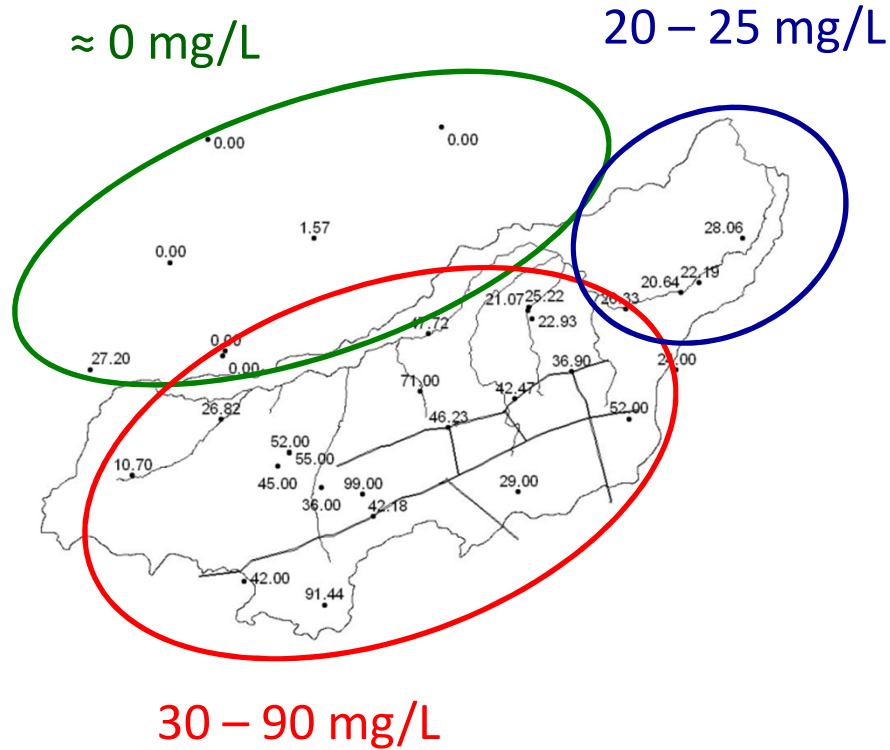
Belgian Science Policy PAI Timothy

The quality of groundwater is deteriorating...

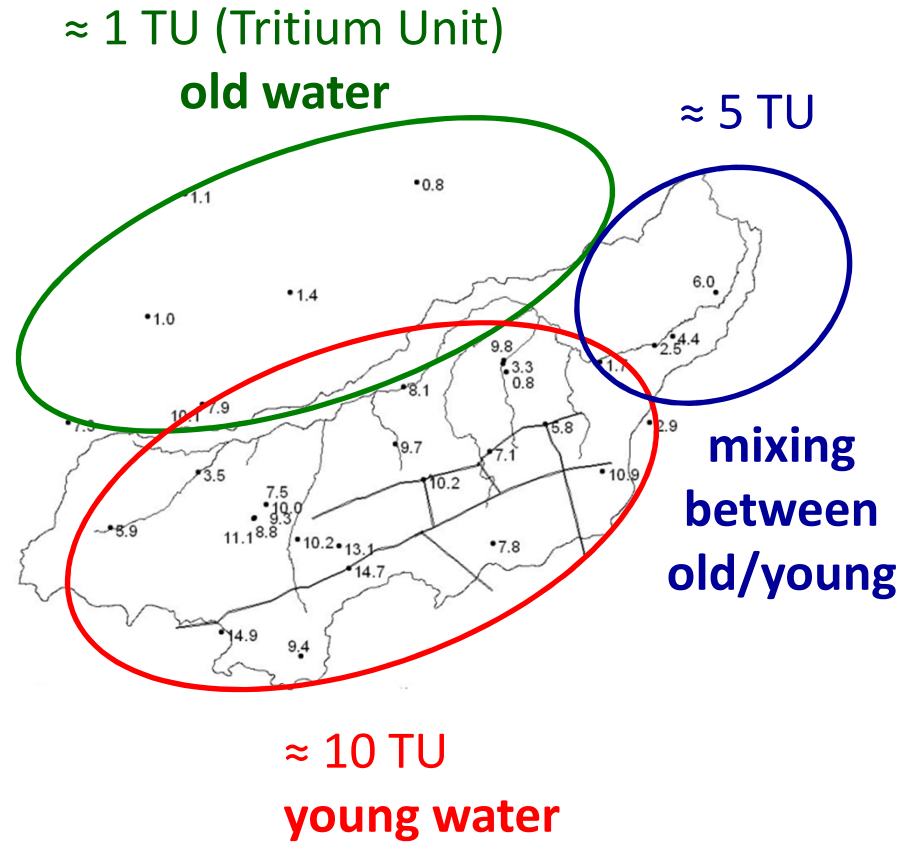


"State of groundwater bodies" – DGARNE – March 2010

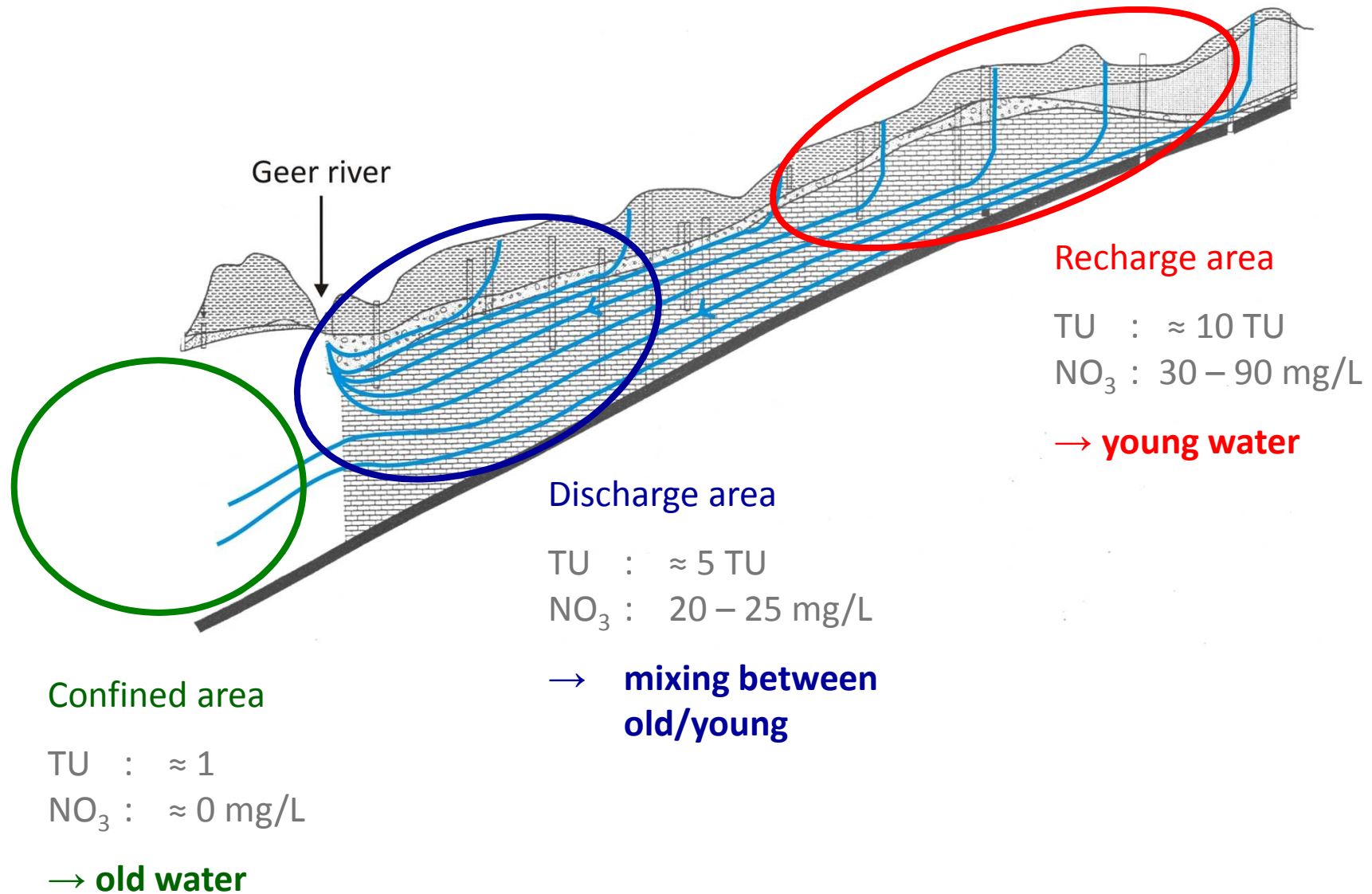
Nitrate concentrations are heterogeneous



Tritium (nuclear experiments in the 60's)

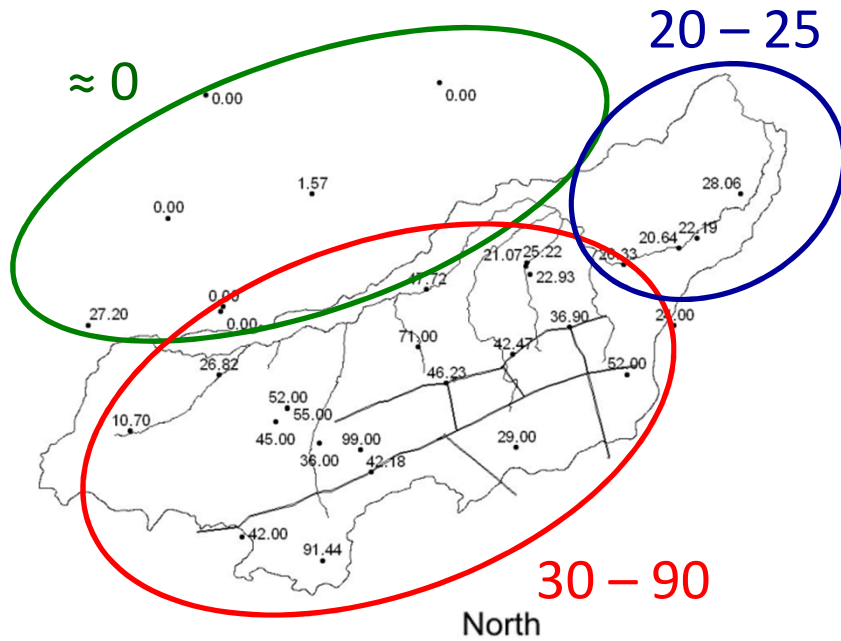


Nitrate concentrations are heterogeneous

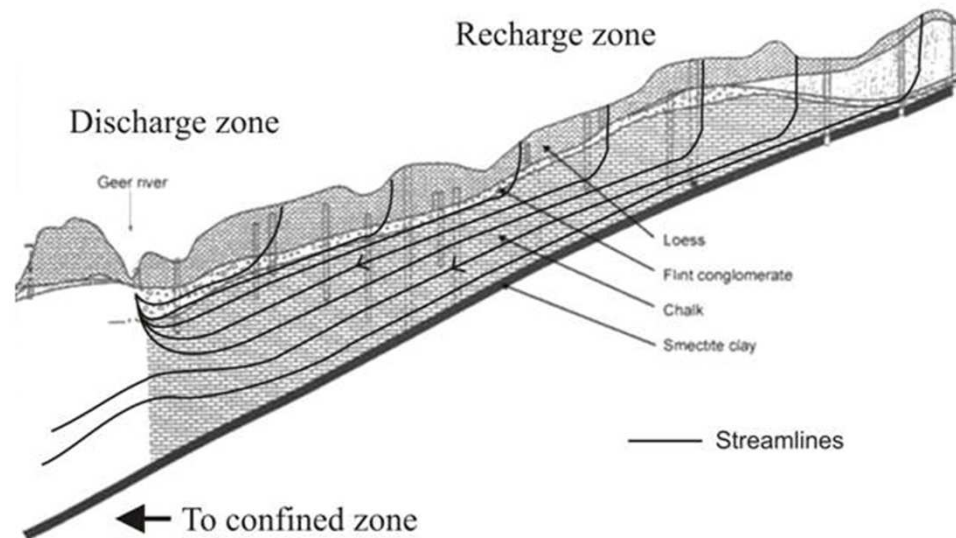
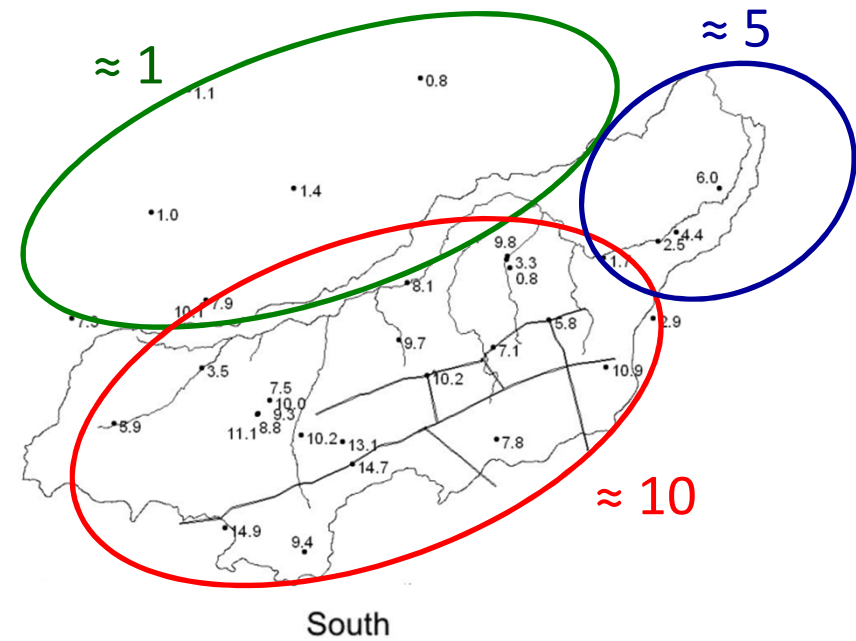


Nitrate concentrations are increasing alarmingly

NO₃ (mg/L)



Tritium TU (Tritium Unit)



Which measure to choose to maximize society welfare?

Costs are calculated as ...

Benefits are estimated as avoided damage

Scenario A (-25%) : No good status reached

Scenario D (-100%) : Not realist

	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

→ Scenario B provides the highest net benefice : 51.4 M€

