

# Approches cartographiques et quantitatives pour la gestion des risques de pollution des eaux souterraines

Réunion du Centre Géosciences – Session Géorisques

Serge Brouyère ([serge.brouyere@ulg.ac.be](mailto:serge.brouyere@ulg.ac.be))

Département ArGEnCo, Geo<sup>3</sup>- Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement

- 
- Contexte: risque de pollution des eaux souterraines et approches traditionnelles de gestion du problème
  - Vers une approche unifiée et quantitative d'évaluation / gestion des risques de pollution des eaux souterraines
  - Projets en liaison

# Risque de pollution des eaux souterraines

Eaux souterraines naturellement bien protégées dans le sous-sol

Nombreuses sources potentielles de pollution à la surface du sol

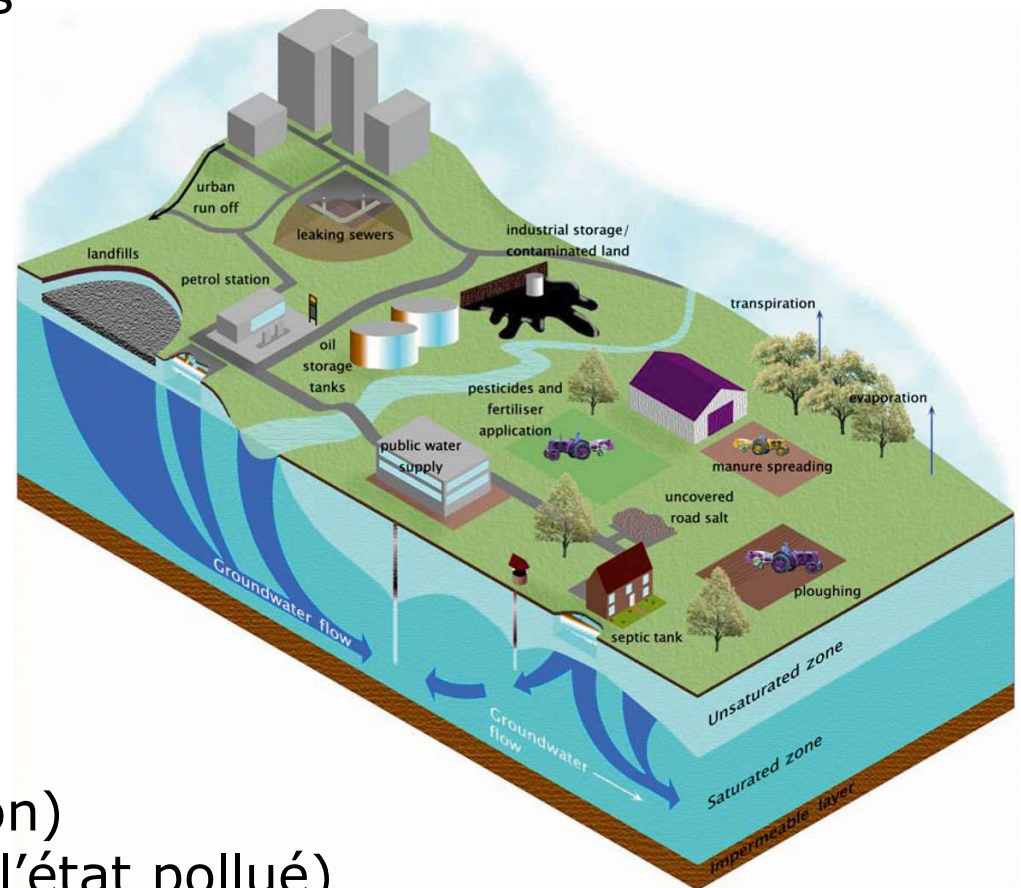


En cas de pollution : conséquences, temps et efforts potentiellement considérables



Besoin de protéger au mieux et, dans une perspective de gestion et assainissement, d'évaluer les risques :

- a priori (sensibilité à la pollution)
- a posteriori (conséquences de l'état pollué)

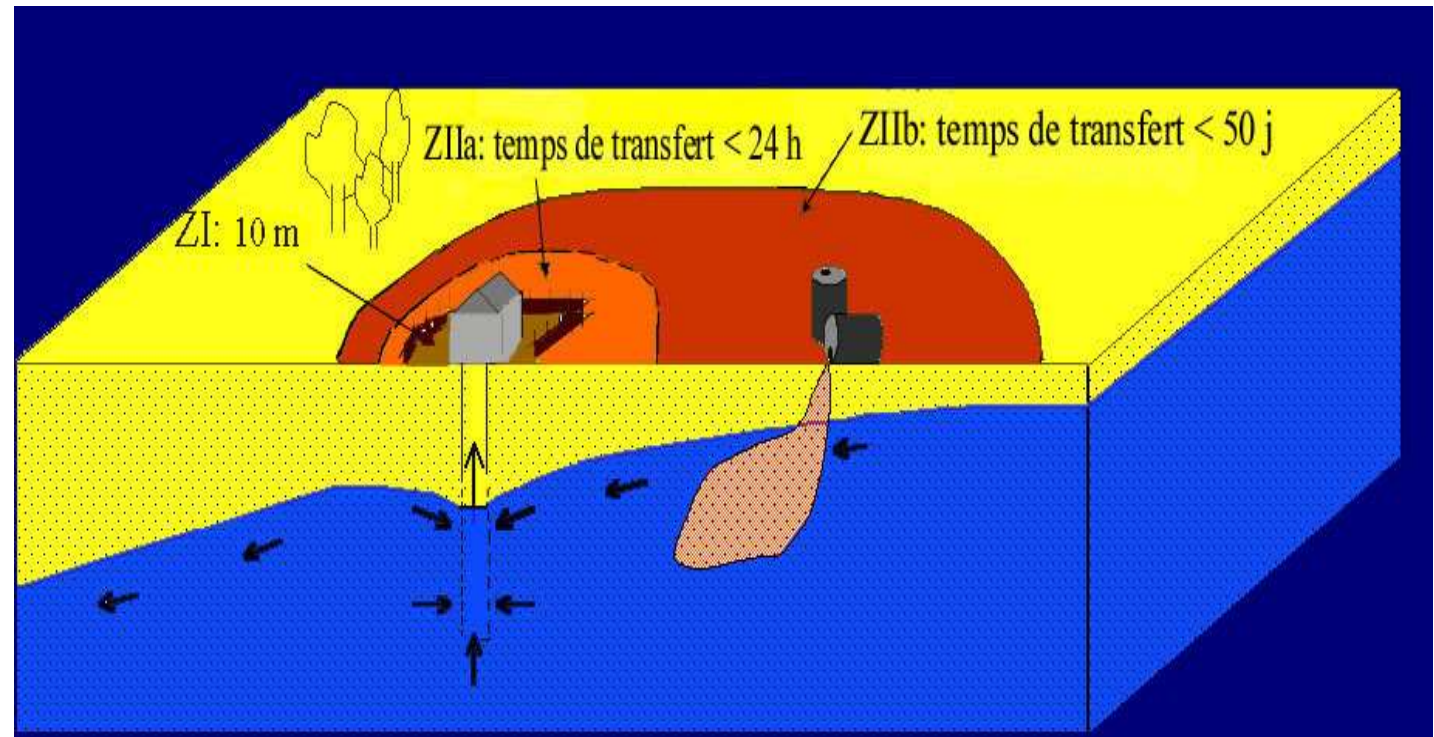


Source: <http://www.euwfd.com/html/groundwater.html>

# Concepts existants (1/3)

Zones de prévention: basées sur des distances réglementaires et/ou temps de transfert de polluants dans la nappe d'eau souterraine (zone saturée), vers les points de captage

- se donner le temps d'agir ...
- visent essentiellement les pollution ponctuelles, d'origine accidentelle
- régulation des activités au sein de ces zones



# Concepts existants (2/3)

## Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines:

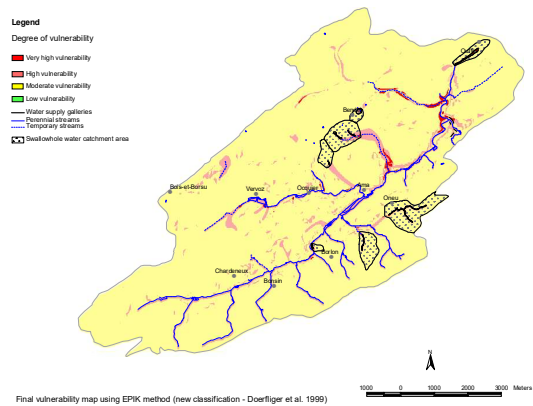
Evaluation, sur base de divers critères cartographiés dans le bassin, de la plus ou moins grande sensibilité de l'eau souterraine aux pollutions ayant cours à la surface du sol

- Portée potentiellement plus large (types de pollution, objectifs ...)
- Approches traditionnelles généralement très empiriques, basées sur des indexations / pondérations de critères +/- subjectifs
- Résultats difficiles à interpréter et valider, peu fiables et sans utilité pratique

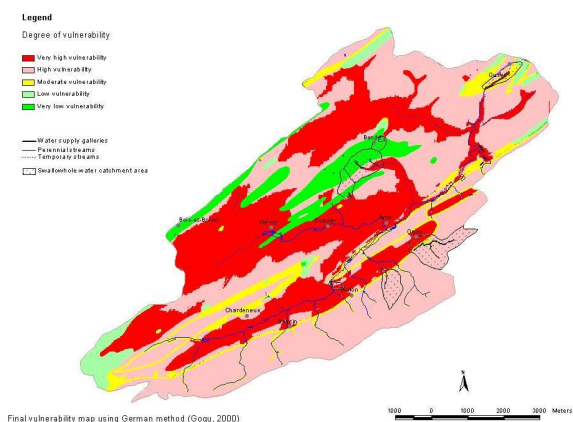
### Ex: méthode **DRASTIC (EPA-USA)**

		DRASTIC	Pesticide DRASTIC
» Depth to water	Indexation 1, 2, 3, ..., 10	5	5
» Net Recharge		4	4
» Aquifer media		3	3
» Soil media		2	5
» Topography		1	3
» Impact of the vadose zone		5	4
» Hydraulic Conductivity		4	2

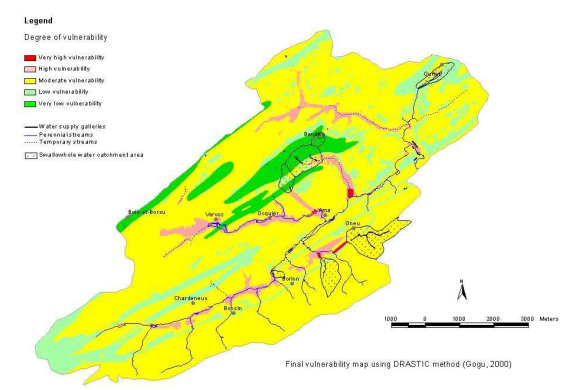
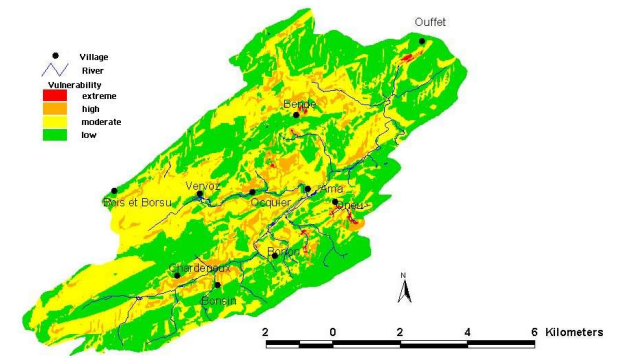
$$D_i = \sum_{j=1}^7 (R_j \times W_j)$$



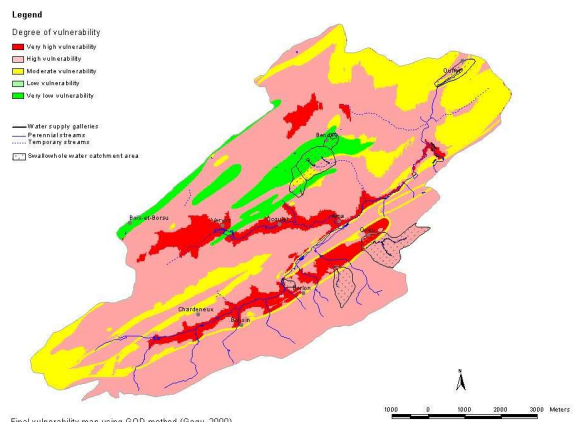
Final vulnerability map using EPIK method (new classification - Doefliger et al. 1999)



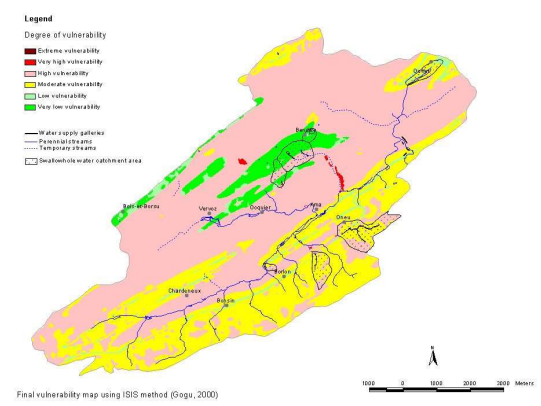
Final vulnerability map using German method (Gogu, 2000)



Final vulnerability map using DRASTIC method (Gogu, 2000)



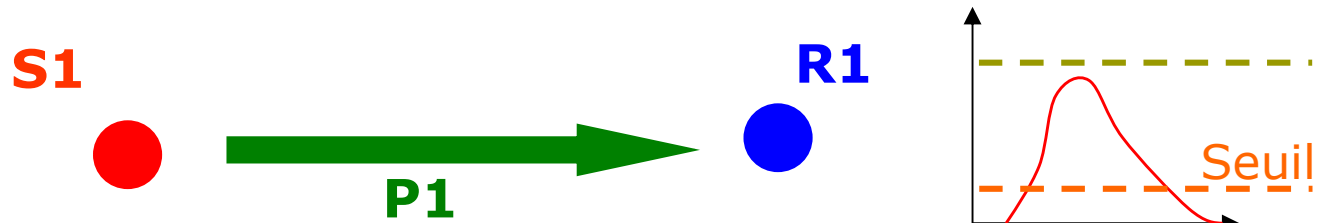
Final vulnerability map using GOD method (Gogu, 2000)



Final vulnerability map using ISIS method (Gogu, 2000)

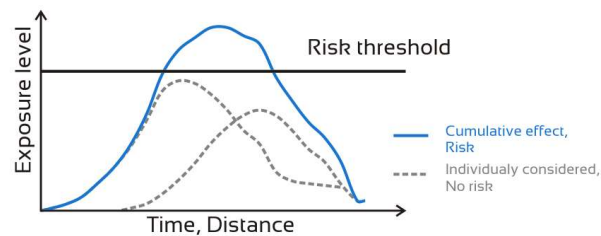
# Concepts existants (3/3)

## Evaluation des risques associés à des sites contaminés

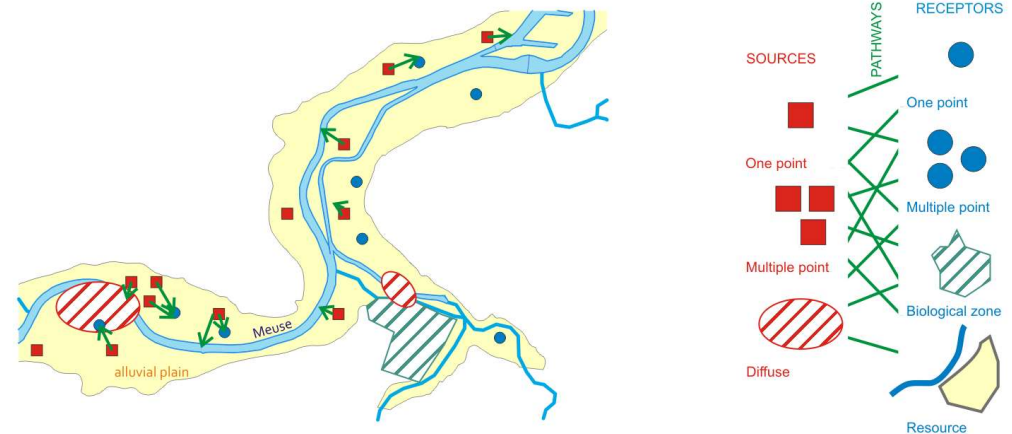


- 1 source de pollution → 1 récepteur
- quid si plusieurs sources / récepteurs ?
- quid si sources / récepteur non « ponctuel »?

### ✘ Cumulative effect of several pollutant sources



### ✘ Spatial distribution of pollutant sources and receptors



# Vers des approches quantitatives de l'ER ESO

---

1. Fondées sur le schéma Source(s) – Cheminement(s) – Récepteur(s)
2. Evaluation des risques sur base de principes physiques régissant la mobilité - réactivité des polluants dans le milieu souterrain et des critères physiques quantifiables (temps de transfert, quantité /concentration du polluant atteignant le récepteur)
3. Cartographiques (SIG) vu l'extension spatiale généralement importante des nappes d'eau souterraine

Dans ce contexte, deux principaux projets:

- Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines (RW DGARNE)
- Flux-based risk assessment of contaminants on water resources and ecosystems FRAC-WECO (BELSPO SSD)



# Vulnérabilité des eaux souterraines

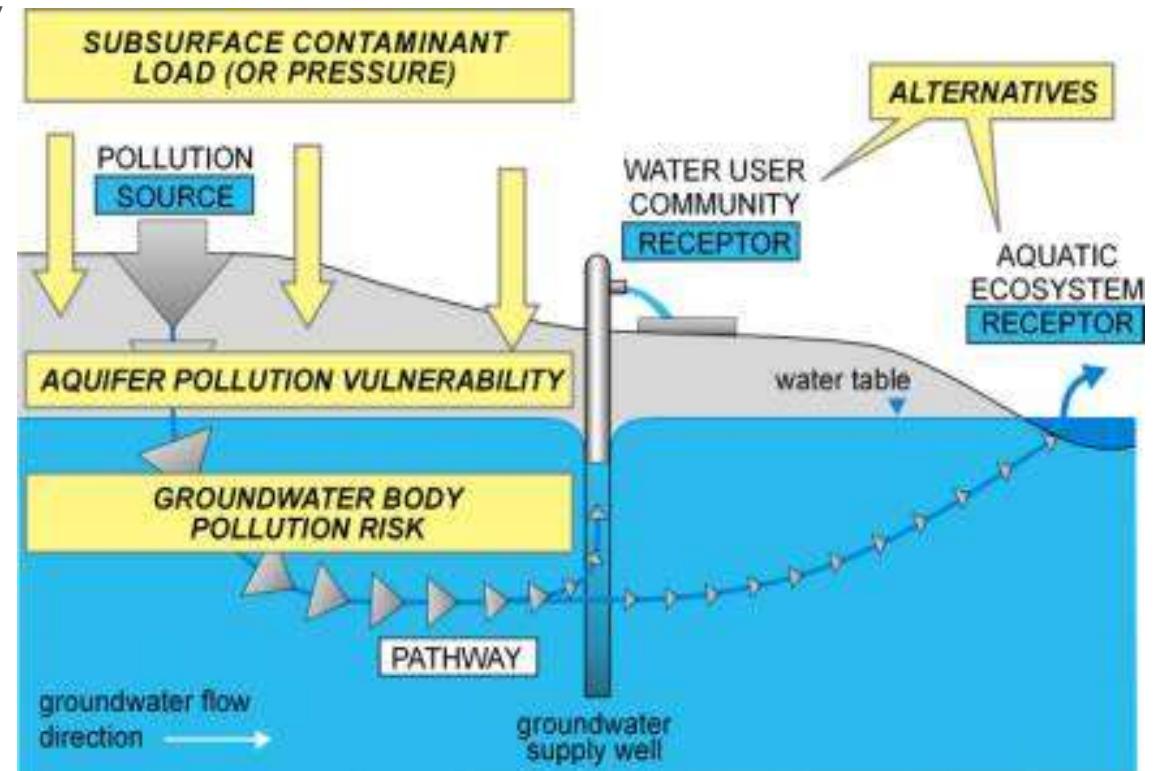
→ Évaluer et cartographier la variabilité spatiale de la sensibilité de l'eau souterraine aux pollutions

## Resource vulnerability

impact sur l'eau souterraine dans sa globalité d'une contamination se produisant à la surface du sol et migrant à travers la zone non saturée surmontant la nappe)

## Source / well vulnerability

impact sur un point de prélèvement d'eau souterraine (captage, émergence) d'une contamination se produisant à la surface du sol et migrant à



## Risk assessment

### Specific vulnerability

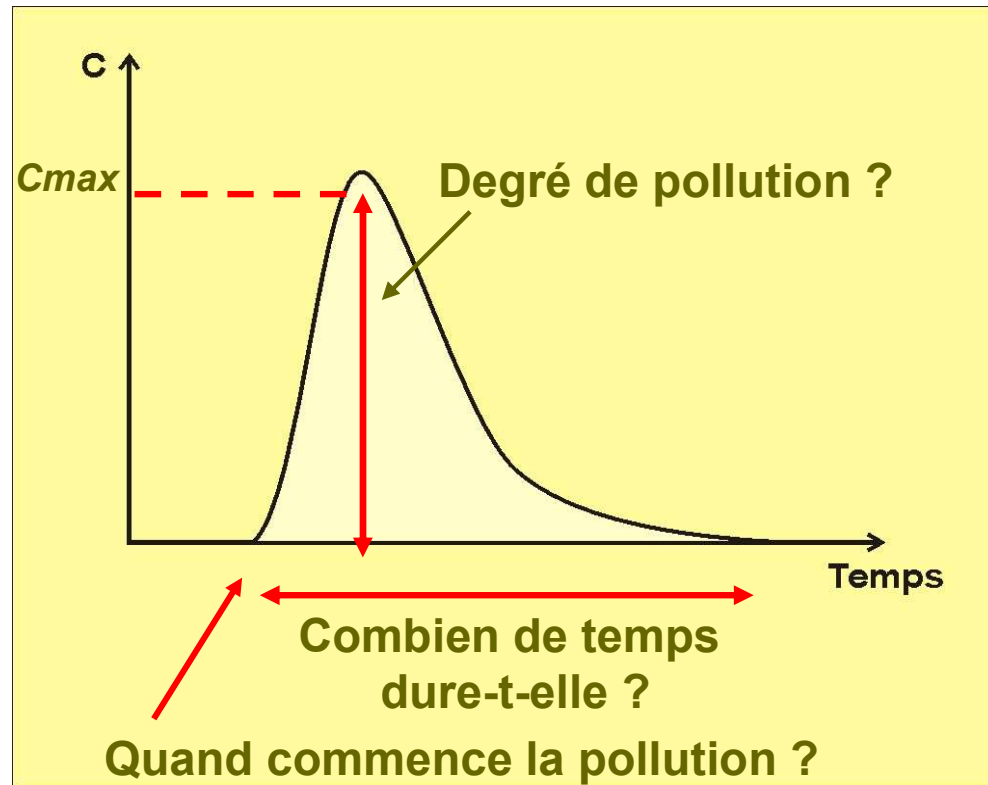
#### Intrinsic vulnerability

inherent geological, hydrological and hydrogeological characteristics that control the impulse response of the aquifer system to a Dirac-type input of conservative contaminant

+ chemical behaviour of contaminant  
in the underground

+ mass of contaminant  
+ critical concentration  
+ input function

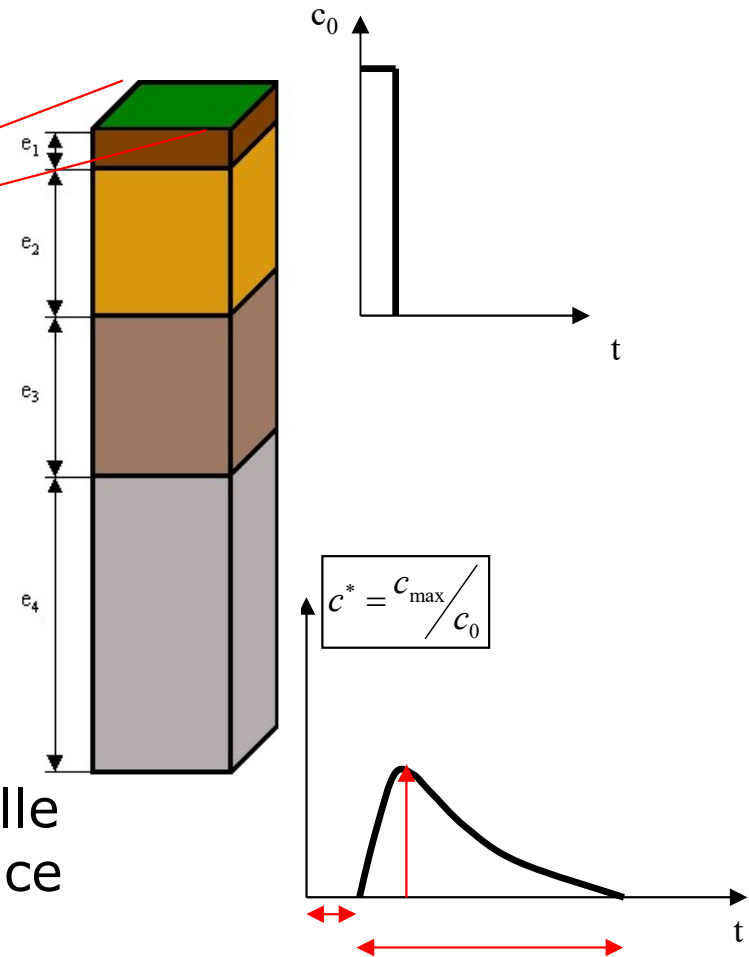
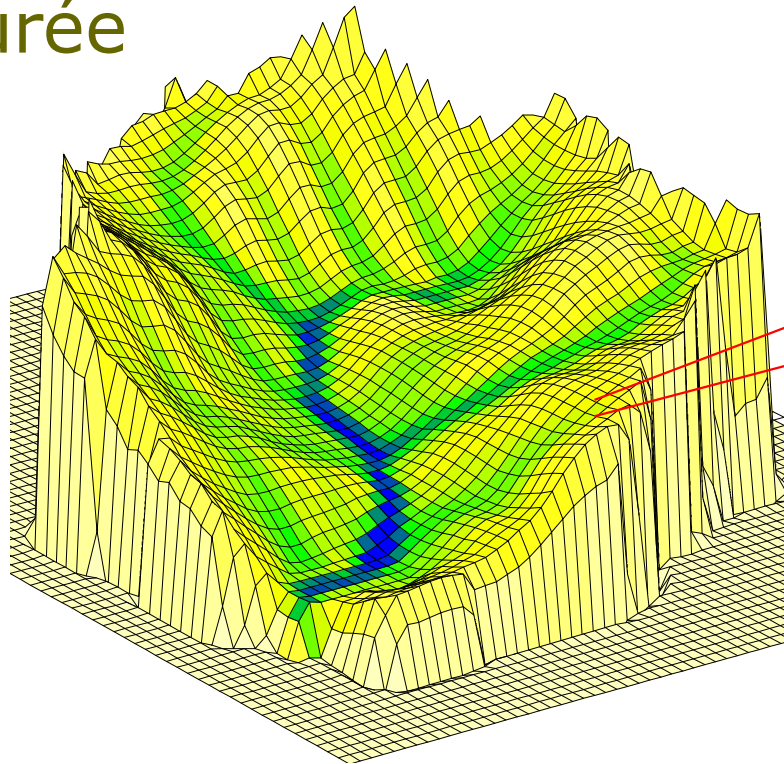
## Trois questions



## Trois critères

- temps de transfert
- niveau de concentration
- durée

□ Calcul des critères par modélisation simplifiée (1D) du transport de polluant à travers la zone non saturée

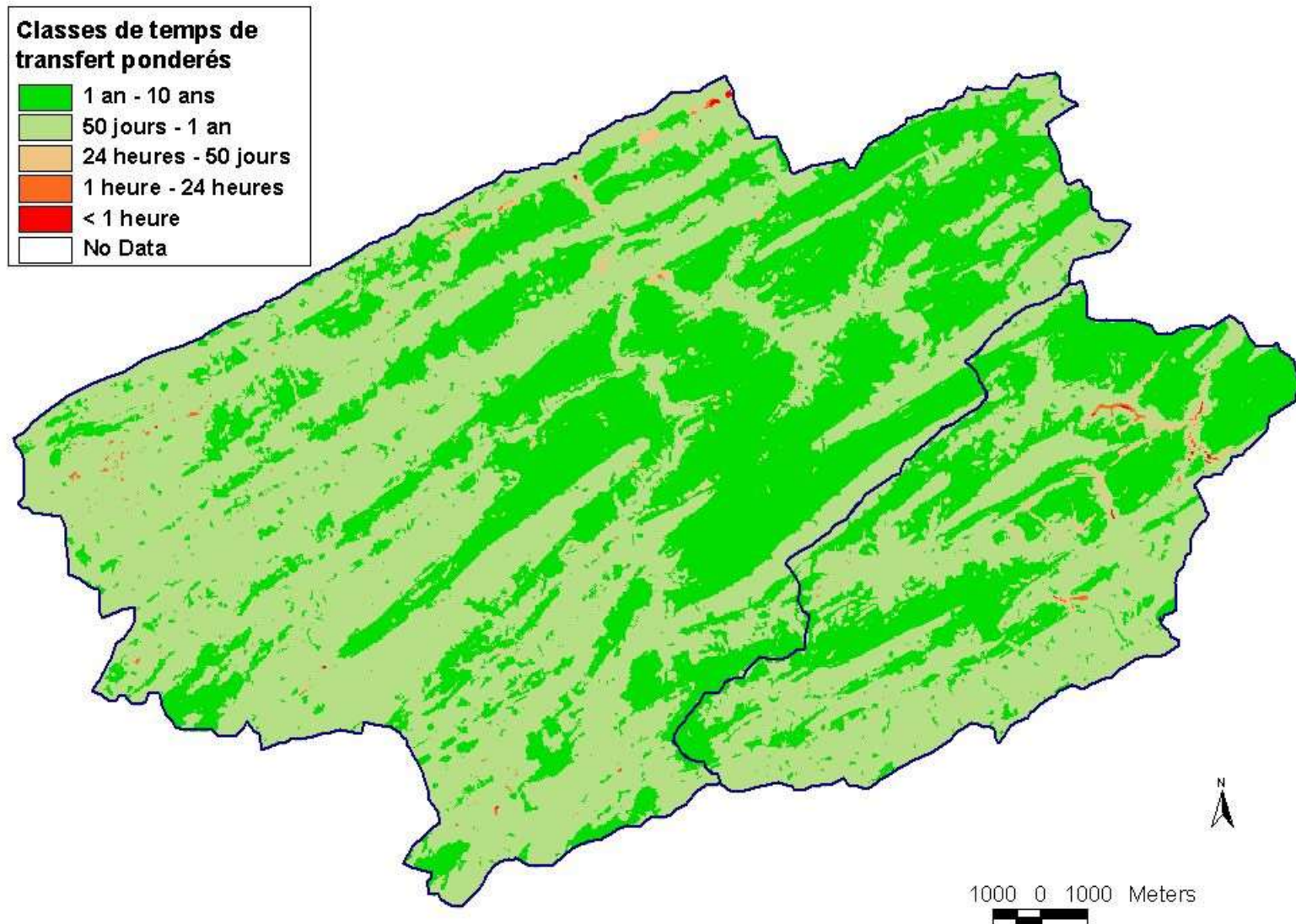


+ adaptations aux systèmes karstiques pour possible infiltration latérale préférentielle après ruissellement (dangerosité de la surface du sol)

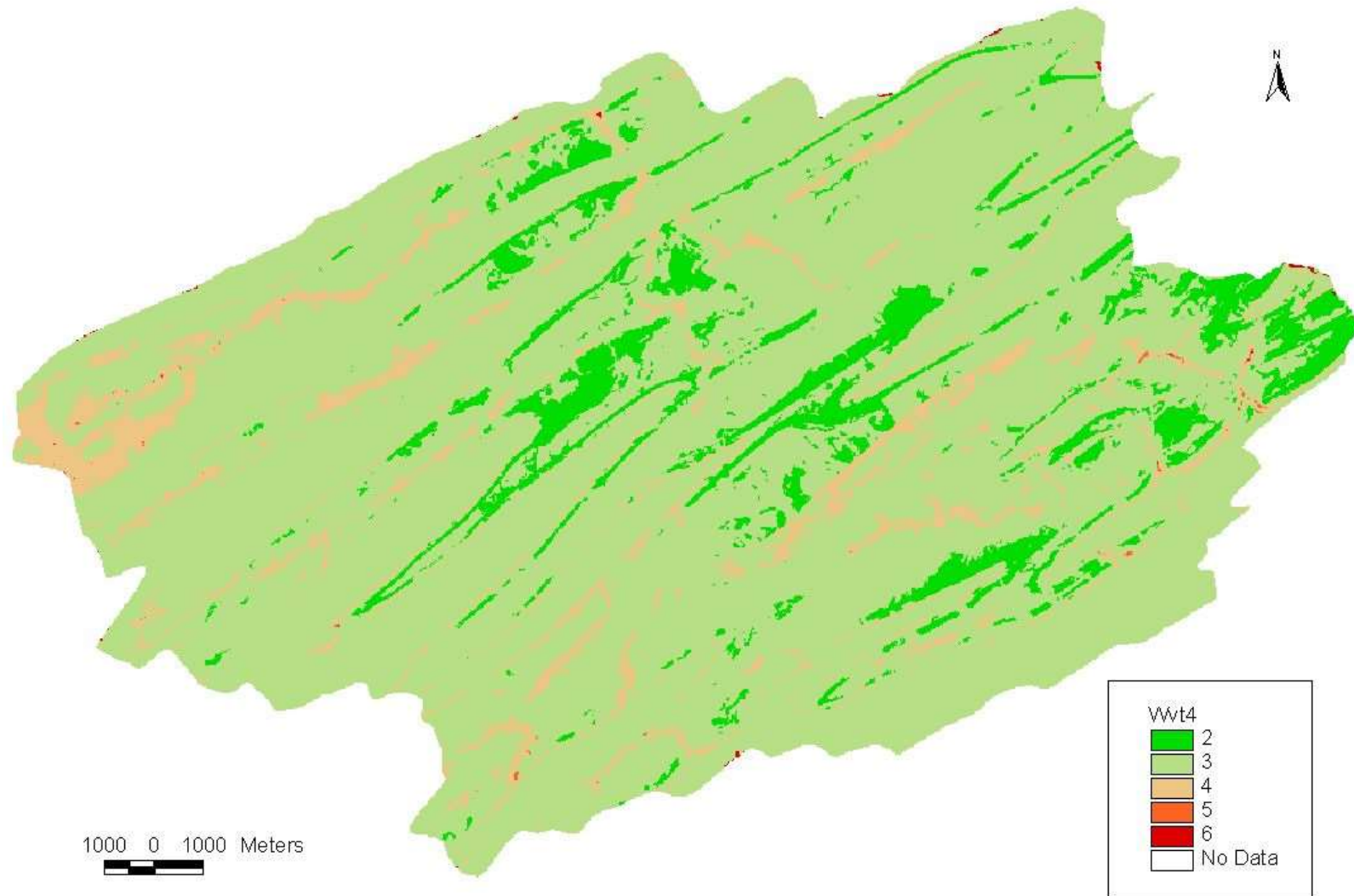
## □ Classification des critères de vulnérabilité

<b>Critère</b>	<b>High vulnerability</b>	<b>Moderate vulnerability</b>	<b>Low vulnerability</b>
<b>Temps de transfert</b>	court (ex: 24 h)	moyen (ex: 50 j)	long
<b>Atténuation / concentration</b>	Faible / élevée	moyenne	Élevée / faible
<b>Durée de pollution</b>	longue	moyenne	courte

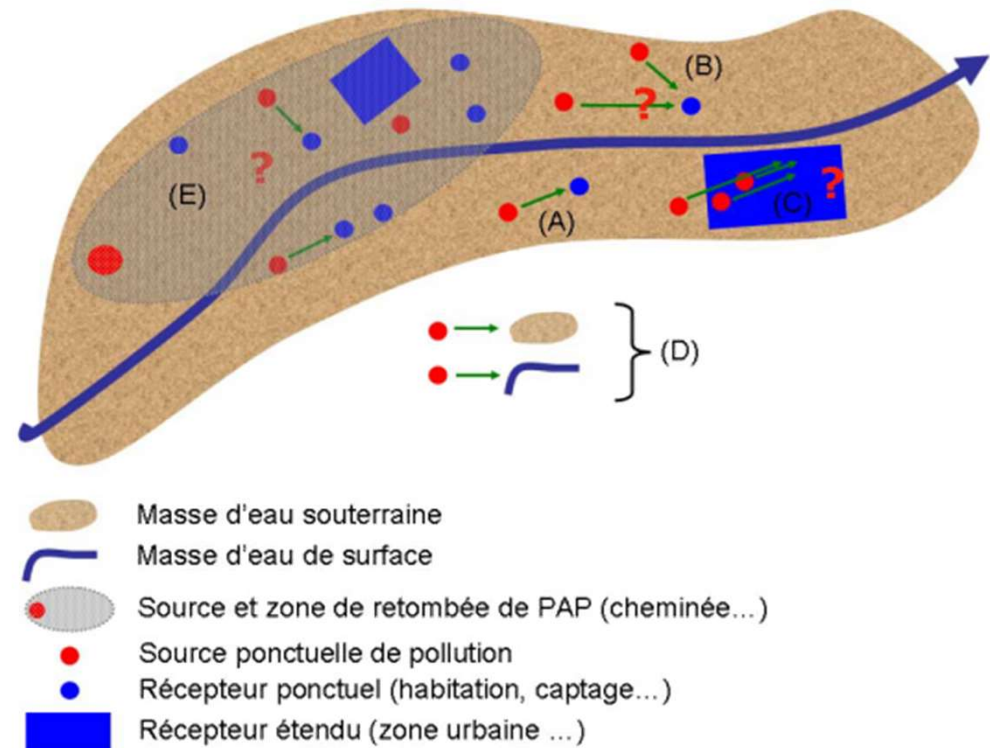
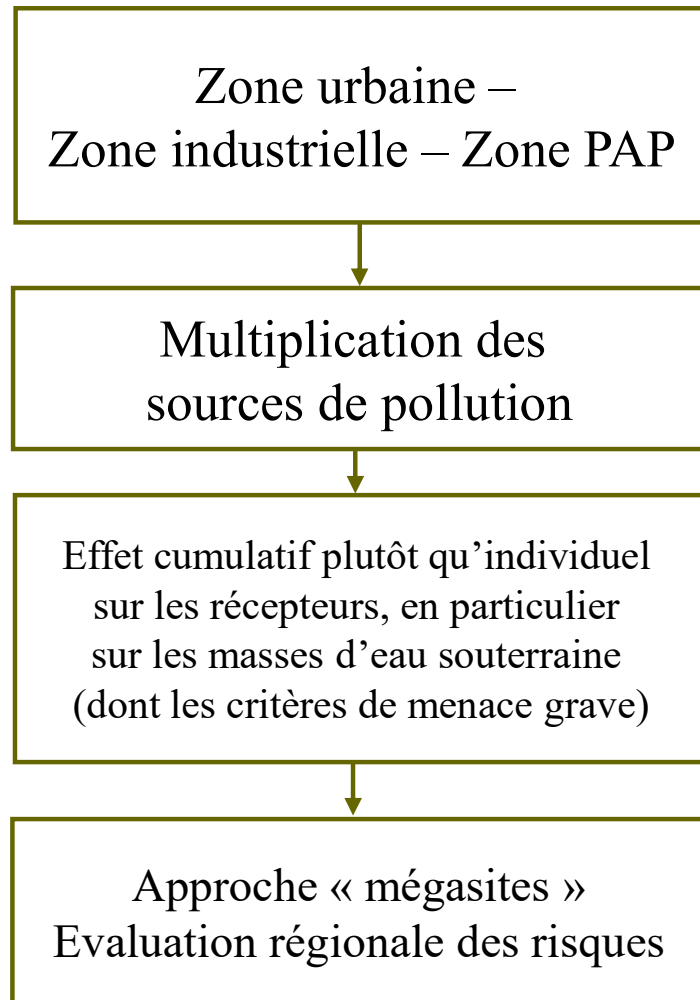
## Bassins du Hoyoux - Néblon



Carte de vulnérabilité finale, résultant de la pondération (au choix du « end-user ») des critères physiques cartographiés



# Impact des sites contaminés sur les ressources ESO



+ DCE: état qualitatif des masses d'eau souterraine, en particulier celles soumises à la pression industrielle

- approche cartographique (SIG)
- effet cumulatif des flux de polluants

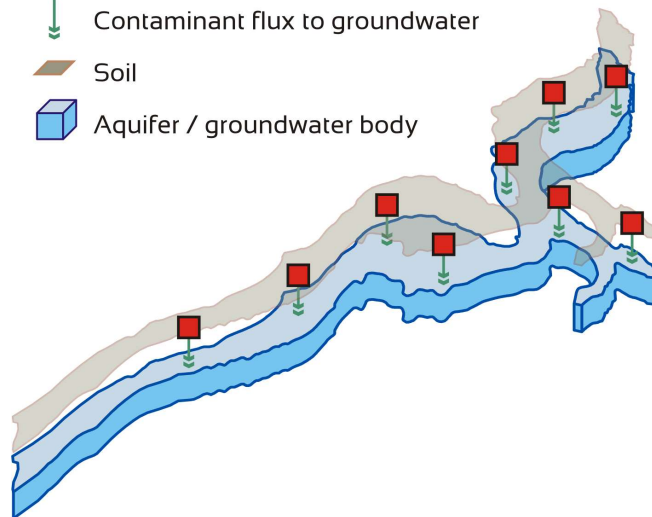


## A : Creation et alimentation d'une geodatabase

## B : Matrice activités (occ. du sol) - polluants

Hydrocarbures aromatiques				
Dénomination	CAS number	ENECS	Formule brute	Solubilité moyenne en mg/L à 25°C
Benzène	71-43-2	200-753-7	C6H6	1830

- Contaminant source
- ↓ Contaminant flux to groundwater
- Soil
- Aquifer / groundwater body



## C : Définition de la couche d'information sur les sources de pollution affectant potentiellement les eaux souterraines

**D** : Modélisation numérique écoulement – transport pour calcul de lessivage et dispersion des polluants vers et dans la masse d’eau souterraine

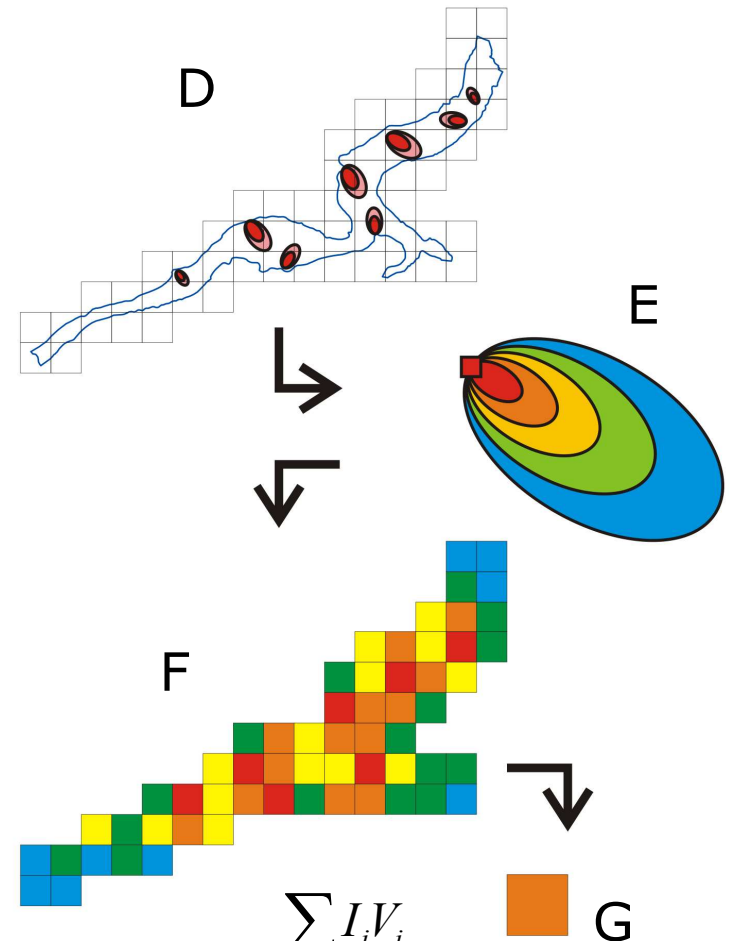
**E** : Classification des panaches de polluants (nature + concentrations) à l’aide du Système d’Evaluation de la Qualité des eaux souterraines SEQ-ESO habituellement utilisé par le SPW

**F** : Cartographie à l’échelle de la masse d’eau des indicateurs SEQ-ESO

**G** : Calcul d’un index global de qualité / dégradation / risque pour la masse d’eau souterraine

Avantages

- Compatible avec la législation wallonne en matière d’évaluation de la qualité des eaux souterraines (utilisation du SEQ-ESO)
- Compatible DCE vu la production d’un indicateur global de qualité + possibilité de suivre l’évolution au cours du temps / tester l’effet de mesures
- Aggregation de different types de polluants
- Evaluation du risque possible par comparaison des indicateurs de qualité et des classes SEQ-ESO définies en Région wallonne



$$I_{global} = \frac{\sum I_i V_i}{V_{GW}}$$

$I_{global}$  : global quality index for the whole groundwater body at time t [-]  
 $V_{GW}$  : volume of groundwater comprised in the zone where the risk is assessed [V]  
 $V_i$  : volume of water into the cell i [V]  
 $I_i$  : quality index for the cell i [-]

## □ Application sur la nappe alluviale de la Meuse en région liègeoise (Masse d'eau RWM073)

- Selection de trois polluants problématiques: Benzene, Benzo(a)pyrene, Trichloroethene et extraction des activités potentiellement génératrices + friches industrielles + stations services

Matrice\_activite\_polluant : Formulaire

### Matrice activités / polluants

1 - Cocher une des deux cases sur la droite selon le choix de critères  
2 - Sélectionner une activité ou un polluant dans la liste déroulante associée

Note : Les caractéristiques des polluants sont affichés dans le cadre bleu en dessous du résultat

Rechercher par activité

Rechercher par polluant

Benzène

Résultats :

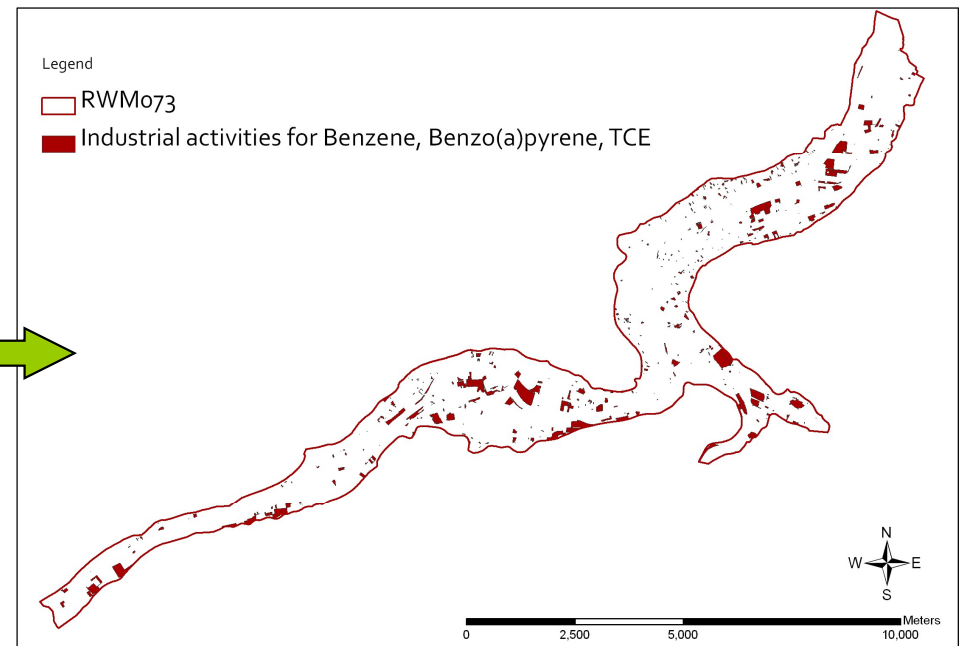
Culture et production animale, chasse et services annexes	01
Fabrication de textiles	13
Industrie du cuir et de la chaussure	15
Cokéfaction et raffinage	19
Industrie chimique	20
Fabrication de produits en caoutchouc et en plastique	22
Métallurgie	24
Fabrication de produits métalliques, à l'exception des machines et des équipements	25
Dépollution et autres services de gestion des déchets	39
Génie civil	42
Travaux de construction spécialisés	43

Propriétés polluant : **Hydrocarbures aromatiques**

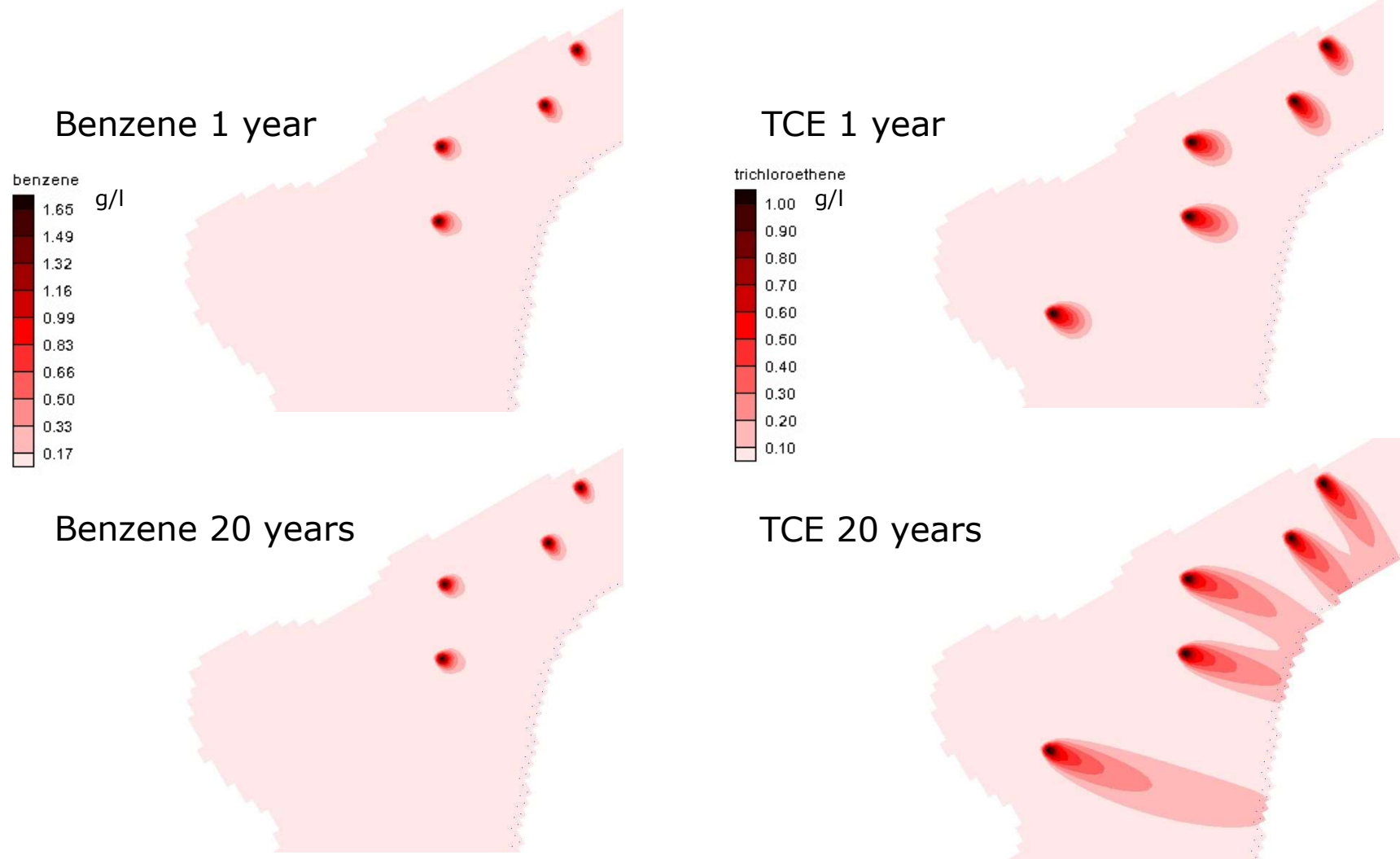
Dénomination	CAS number	EINECS	Formule brute	Solubilité moyenne en mg/L à 25°C
Benzène	71-43-2	200-753-7	C6H6	1830

Densité (-)					
Liquide	Solide	Vapeur	Log Koc (L/Kg)	Log Kow à 20-25°C (log (L/Kg))	Masse molaire (g/mol)
0,879		2,7	1,82	2,13	78,11

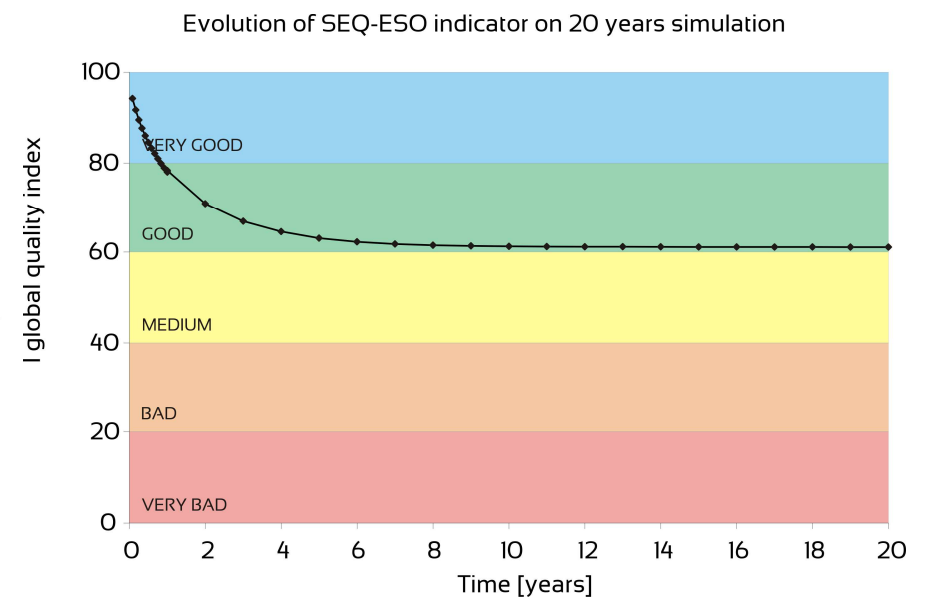
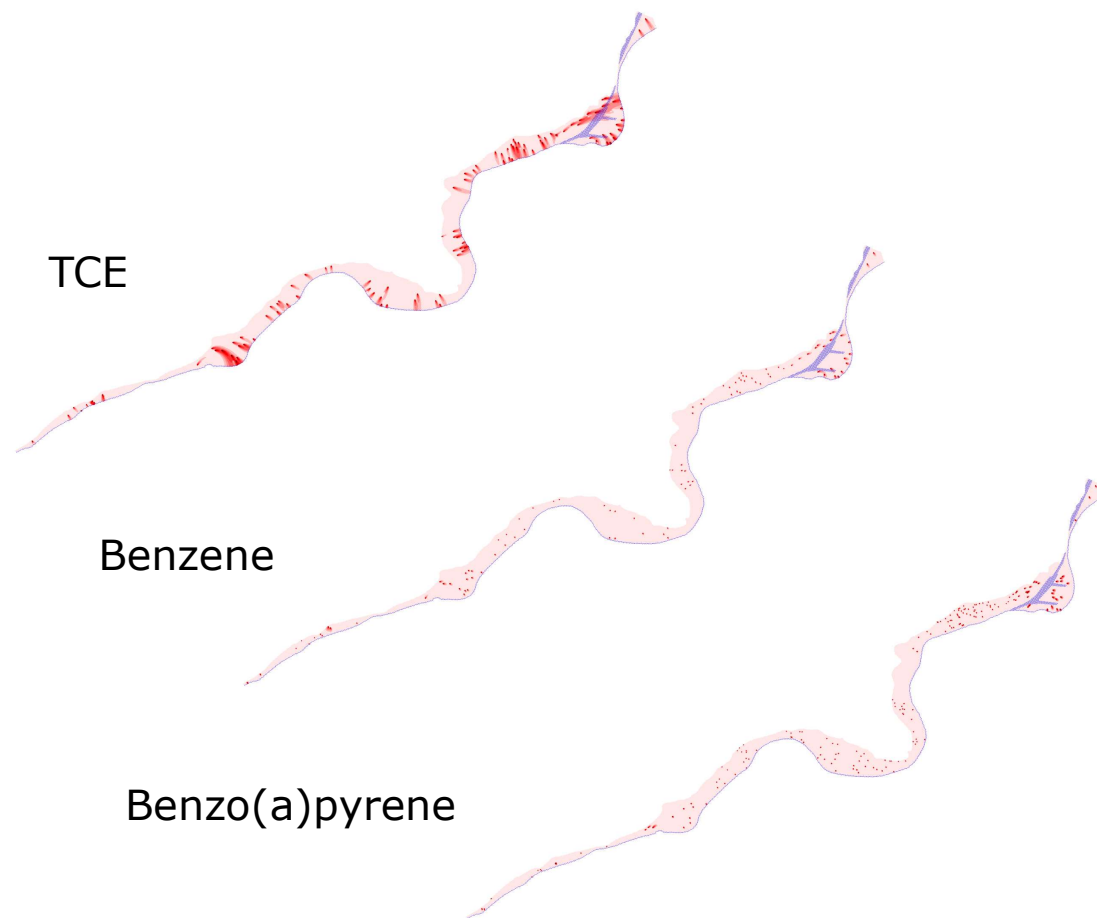
Pression de vapeur (mm/Hg à 25°C)	Constante de Henry à 25°C	Diffusion eau (cm²/s)	Diffusion air (cm²/s)
95	0,227	9,8e-006	0,088



□ Worst case scenario -> **Toutes les sources pollutant**



□ Worst case scenario -> **Toutes les sources polluent**



# Conclusions et perspectives

---

- Approches cartographiques → outils d'aide à la décision en matière de gestion des eaux souterraines et d'aménagement du territoire
  - Où protéger / où assainir en priorité ?
  - Où implanter les activités à risque ?
  
- Approches basées sur des principes et des critères physiques
  - Cartes « thématiques » (temps de transfert, niveau de dégradation ...)
  - Aggrégation supplémentaires aux bons soins du décideur
  
- Présent et à venir ...
  - Cartographie / caractérisation plus détaillées des sources potentielles ou avérées (localisation, historique, importance, état effectivement pollué...): élément clé pour la fiabilité de l'évaluation des risques réels!
  - Développement module régional SIG
  - Couplage avec module socio-éco (coûts plans de mesures ...)