

Enjeux et défis de l'utilisation des eaux souterraines

A. Dassargues
 Prof. ULg & KULeuven
 22/09/2010





Enjeux et défis de l'utilisation des eaux souterraines

- Introduction
- Eaux souterraines dans le cycle de l'eau
- Physique de base: hydrostatique et loi de Darcy
- Exemples
- Qualité des eaux souterraines
- Contaminations des eaux souterraines
- Vulnérabilité et protection des eaux souterraines

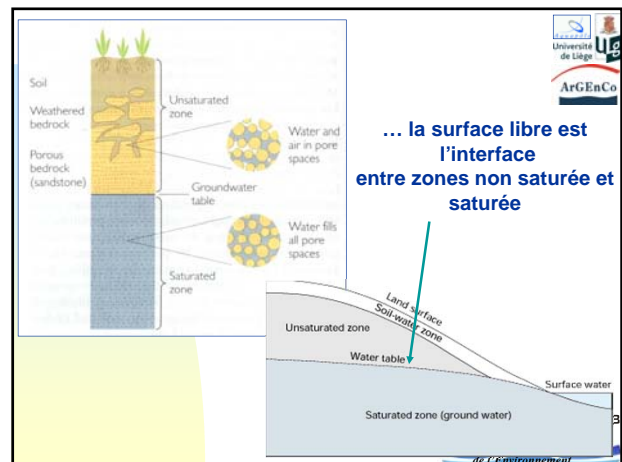


Eaux souterraines en Belgique

Eaux souterraines = ... plus de 70 % de l'approvisionnement en Belgique (81 % Wallonie et Bruxelles; environ 60 % Flandre)

Productivité de quelques grands ensembles aquifères en Belgique (en % de la production totale en eau souterraine):

1. Calcaires du Carbonifère (et assimilés) du synclinorium de Namur	18.6 %
2. Sables du Miocène	15.9 %
3. Calcaires du Carbonifère (et assimilés) du synclinorium de Dinant	11.4 %
4. Crétacé crayeux du bassin de Mons	9.7 %
5. Sables du Bruxellien	7.9 %
6. Crétacé crayeux de Hesbaye (~ 100.000 m³/j)	5.0 %
7. Alluvions de la Meuse (Wallonie)	4.0 %
8. Craies du Maastrichtien (autres)	3.0 %
9. Crétacé crayeux du Brabant	2.6 %
10. Terrasses alluviales de la Meuse	2.6 %
11. Socle ardennais	2.5 %
12. Sables du Landenien	1.8 %
13. ...	
14. ...	
15. ...	

Le grand mythe (dans les médias et le grand public): les 'piscines' et 'rivières' souterraines




→ ...cela ne peut exister que dans le karst !



Enjeux et défis de l'utilisation des eaux souterraines

- Introduction
- Eaux souterraines dans le cycle de l'eau
- Physique de base: hydrostatique et loi de Darcy
- Exemples
- Qualité des eaux souterraines
- Contaminations des eaux souterraines
- Vulnérabilité et protection des eaux souterraines



Bilan hydrologique

Entrée = Sortie +/- variation de stockages

Ruissellement, Précipitations, Evapo-transpiration, Infiltration, Aquifère, Variation des réserves

en un point (sur une petite surface) ... $P = E + R + I$

Précipitations, Evapo-transpiration, Ruissellement, Infiltration

dans un bassin ... $P = E + Q + \Delta Res$

débîts totaux de surface, variation de la réserve

Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement

une étude de bilan doit être réalisée sur un ensemble fermé

ou alors tenir compte de flux entrants et sortants par les frontières latérales

$P + Q_{in} = Q + EvT + Q_{out} + \Delta Res$

Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement

tenir compte de flux entrants et sortants par les frontières latérales

SUD, NORD, Altitude (en m), 0 1 2 km

Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement

Enjeux et défis de l'utilisation des eaux souterraines

- Introduction / Importance des enjeux
- Eaux souterraines dans le cycle de l'eau
- Physique de base: hydrostatique et loi de Darcy
- Exemples
- Qualité des eaux souterraines
- Contaminations des eaux souterraines
- Vulnérabilité et protection des eaux souterraines

Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement

Physique de base: loi de Darcy

... loi expérimentale

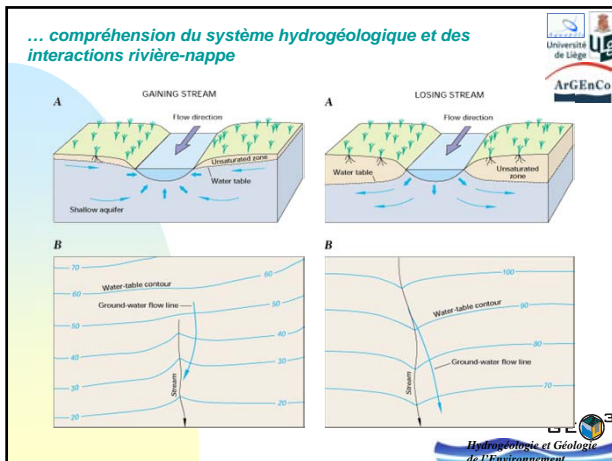
$$Q = K \cdot A \cdot \frac{\Delta h}{L}$$

aire de la section, A, sable, (d'après Hornberger et al., 1998)

Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement

Application de la loi de Darcy à grande échelle

Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement



... coin des mathéux ...
écoulement transitoire en milieu saturé
... principe de conservation de la masse: entrée = sortie + variation d'emménagement

en conditions strictement saturées

$$-\text{div}(\rho \underline{q}) - \rho q = \frac{\partial(n\rho)}{\partial t} = \rho S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

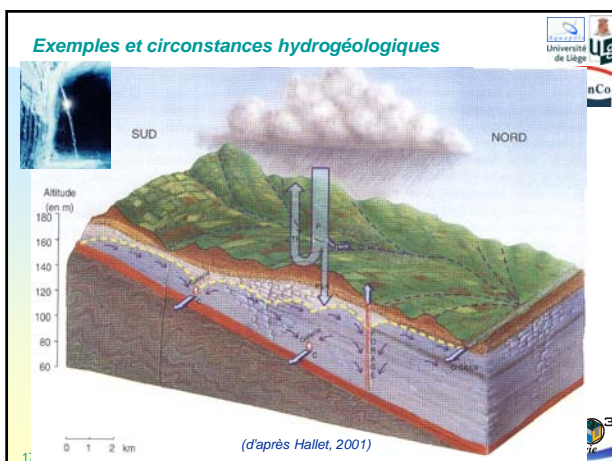
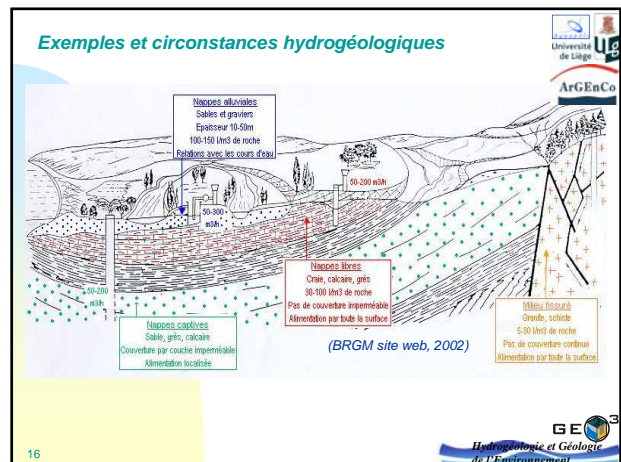
$$\text{div}(\underline{K} \text{grad} h) - q = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) - q_i = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

$$\text{div} \left(\frac{k}{\mu} (\text{grad} p + \rho \cdot g \text{grad} z) \right) - q = S_s \frac{\partial h}{\partial t} = \left(\frac{S_s}{\rho \cdot g} \right) \frac{\partial p}{\partial t}$$

Université de Liège
ArGenCo
Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement

- Enjeux et défis de l'utilisation des eaux souterraines**
- Introduction / Importance des enjeux
 - Eaux souterraines dans le cycle de l'eau
 - Physique de base: hydrostatique et loi de Darcy
 - Exemples
 - Qualité des eaux souterraines
 - Contaminations des eaux souterraines
 - Vulnérabilité et protection des eaux souterraines
- Université de Liège
ArGenCo
Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement



- Enjeux et défis de l'utilisation des eaux souterraines**
- Introduction / Importance des enjeux
 - Eaux souterraines dans le cycle de l'eau
 - Physique de base: hydrostatique et loi de Darcy
 - Exemples
 - Qualité des eaux souterraines
 - Contaminations des eaux souterraines
 - Vulnérabilité et protection des eaux souterraines
- Université de Liège
ArGenCo
Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement

Eléments majeurs et mineurs ...

Majeur (> 5mg/L)		Mineur (.01 – 5 mg/L)	
Ca ²⁺	Calcium	B ^{2+/3+}	Bore
Mg ²⁺	Magnesium	Fe ^{2+/3+}	Fer
Na ⁺	Sodium	NO ₃ ⁻	Nitrate
HCO ₃ ⁻	Bicarbonate	NH ₄ ⁺	Ammonium
SO ₄ ²⁻	Sulphate	K ⁺	Potassium
Cl ⁻	Chlore	Sr ²⁺	Strontium
Si	Silicium	Mn ²⁺	Manganèse

Eléments traces (<.01 mg/L)

Tout le reste!

Résidu sec = TDS (Total Dissolved Solid)
(après évaporation complète: résidu solide)

19

Enjeux et défis de l'utilisation des eaux souterraines

- Introduction / Importance des enjeux
- Eaux souterraines dans le cycle de l'eau
- Physique de base: hydrostatique et loi de Darcy
- Exemples
- Qualité des eaux souterraines
- Contaminations des eaux souterraines
- Vulnérabilité et protection des eaux souterraines

20

Exemples de contaminations des eaux souterraines

(d'après Press & Siever, 2000, modified from US EPA)

21

Sources de contaminations des eaux souterraines

(d'après 'Sustainable use of groundwater: Problems and Threats in the European Communities', Ministerseminar, nov.1991, Den Haag)

22

... coin des matheux... équations de transport de solutés au sein des eaux souterraines

Advection, dispersion, diffusion + adsorption/désorption + dégradation

- dans les aquifères :

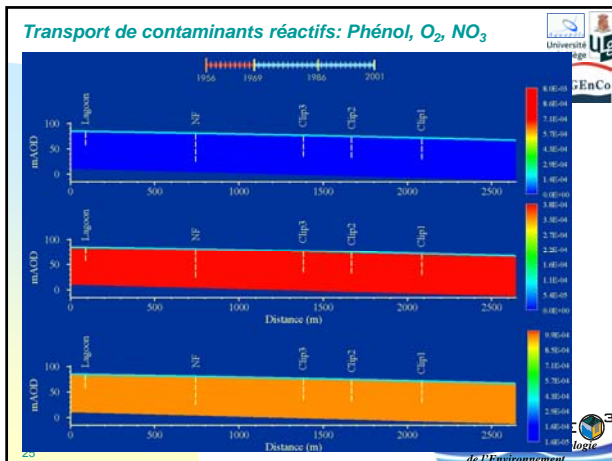
$$R \cdot \rho \cdot \frac{\partial C}{\partial t} = \rho \cdot \text{div} (D_n \cdot \text{grad} C - v_e \cdot C) - \lambda \cdot \rho \cdot C \cdot R + \rho^* \cdot C \cdot \frac{q'}{n_e}$$
 avec $R = \left[1 + \left(\frac{\rho_b}{n_e} \right) K_d \right]$
- dans les couches peu perméables:

$$R \cdot \rho \cdot \frac{\partial C}{\partial t} = \rho \cdot \text{div} \left(D_n \cdot \text{grad} C + \frac{n_e}{n} \cdot D_n \cdot \text{grad} C - \frac{n_e}{n} \cdot v_e \cdot C \right) - \lambda \cdot \rho \cdot C \cdot R + \rho^* \cdot C \cdot \frac{q'}{n}$$
 avec $R = \left[1 + \left(\frac{\rho_b}{n} \right) K_d \right]$

23

Contaminations et transport de contaminants solubles

24



Enjeux et défis de l'utilisation des eaux souterraines

- Introduction / Importance des enjeux
- Eaux souterraines dans le cycle de l'eau
- Physique de base: hydrostatique et loi de Darcy
- Exemples
- Qualité des eaux souterraines
- Contaminations des eaux souterraines
- Vulnérabilité et protection des eaux souterraines

Université de Liège
ArGENCo
Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement

Estimation du risque de contamination de l'eau souterraine

Aléa et Risque (Hazard and Risk)

Risque = Aléa (naturel et induit) convolué avec
Vulnérabilité (des territoires/infrastructures qu'il affecte)

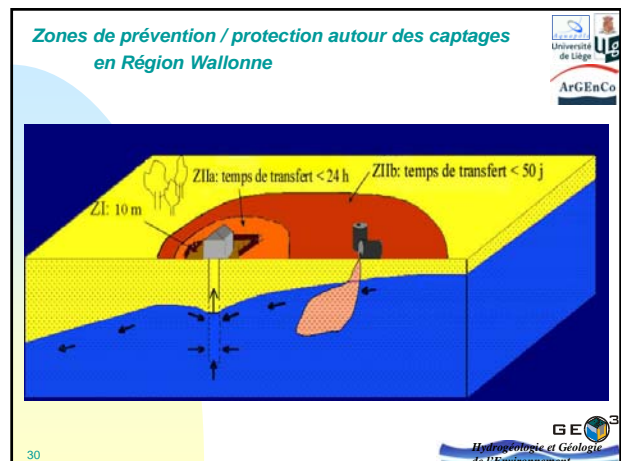
Bonne analyse de risque:

- étudier et quantifier les phénomènes naturels (ou induits), leurs intensités, occurrences, zones affectées, ... cartes d'aléas, ...
- étudier et quantifier la vulnérabilité du territoire, du sous-sol, des infrastructures par rapport à ces processus cartes de vulnérabilité, ...

→ enjeux sont importants à estimer
→ carte de risque

...peut être subjective (relative aux enjeux jugés les plus importants conventionnellement)

Université de Liège
ArGENCo
Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement





http://www.argenco.ulg.ac.be/geo3_rech_hydro.php

Alain.Dassargues@ulg.ac.be

http://reflexions.ulg.ac.be/cms/c_22004/que-deviendront-nos-reserves-deau-souterraine-avec-les-changements-climatiques
http://reflexions.ulg.ac.be/cms/c_21237/reduire-les-incertitudes-sur-les-eaux-souterraines
http://reflexions.ulg.ac.be/cms/c_18204/suivre-les-polluants-a-la-trace

Université de Liège
ArGENCo
GE3
Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement