

# **Les eaux souterraines**

## **De l'importance des connaissances**

**Conférence introductory**

---

**Olivier Banton**  
**Université d'Avignon**

**1<sup>er</sup> octobre 2013, agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse**  
**Journée « Les eaux souterraines dans la gestion des milieux aquatiques »**

# Une ressource majeure en RMC

- **40% des prélèvements, soit 2 milliards de m<sup>3</sup>/an**
  - ✓ 80% de l'eau potable
  - ✓ 50% des eaux industrielles (hors refroidissement centrales électriques)
  - ✓ ~15% pour l'irrigation (pas très bien connu)
- **Fonctionnement des milieux naturels superficiels**
  - ✓ soutien des débits des cours d'eau (rôle vital en étiage)
  - ✓ maintien des zones humides (support de la biodiversité)

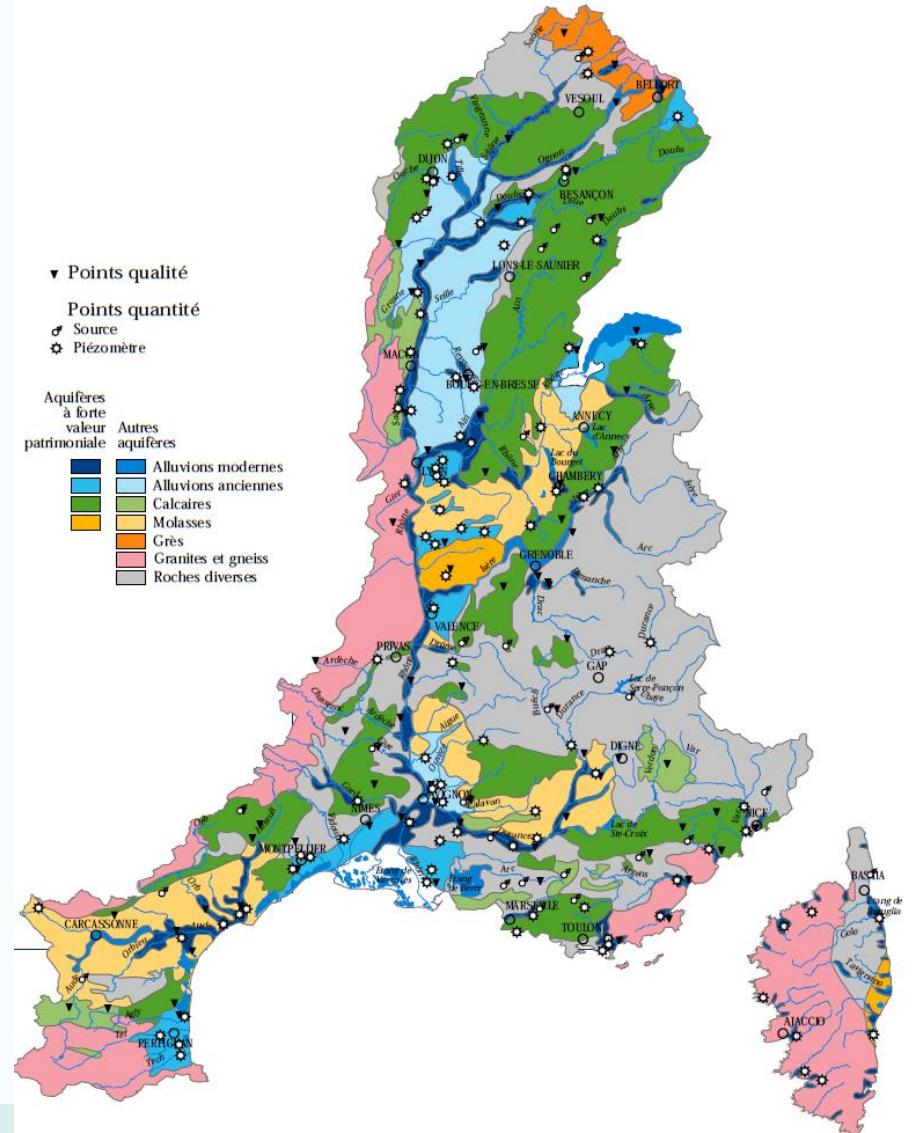
# Diversité géologique en RMC

# Les aquifères des bassins RMC

- **1/3 en cristallin**
  - **1/3 en carbonaté**
  - **1/3 en alluvial et multicouche**

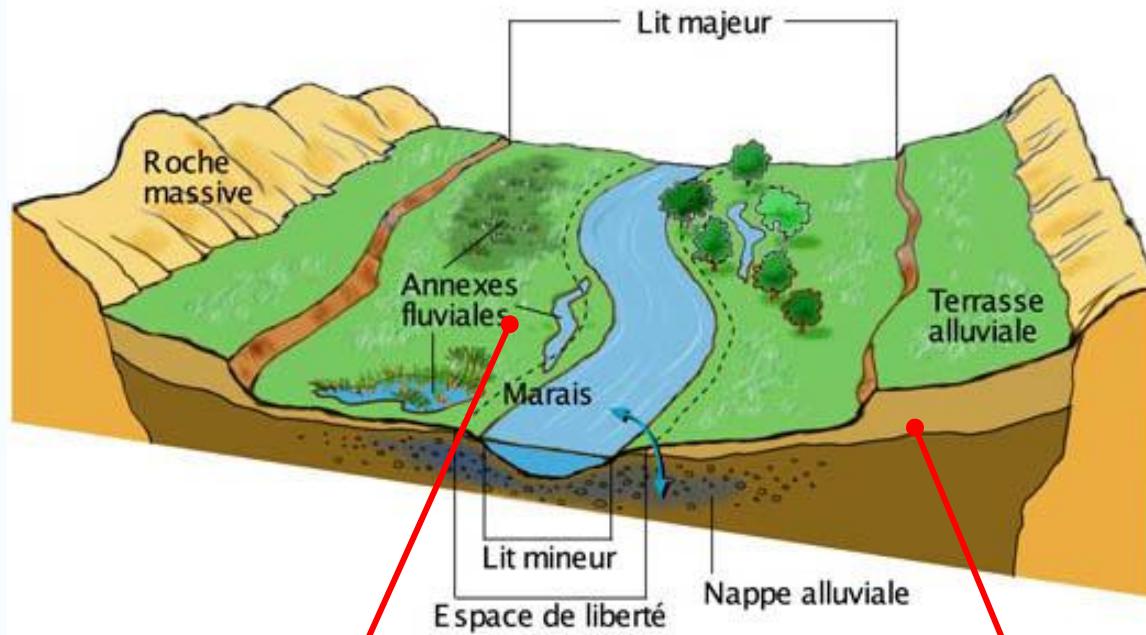
## Comportement de milieux

- fissuré/fracturé
  - karstique
  - poreux



# Une ressource très compartimentée

- Définition des entités hydrogéologiques (BD Lisa)
  - Redécoupage → 700 entités (BD Lisa locale)
- Masses d'eau souterraines : 180 + 9 ME
  - Révision des Masses d'eau souterraines → 239 + 15 ME
- Essentiel des ressources se trouve dans:
  - ✓ dans les alluvions des cours d'eau
  - ✓ dans les formations sédimentaires des dépressions tertiaires
- Terrains de socle, peu perméables, plissés et compartimentés
  - ✓ → ressources assez faibles et/ou très localisées

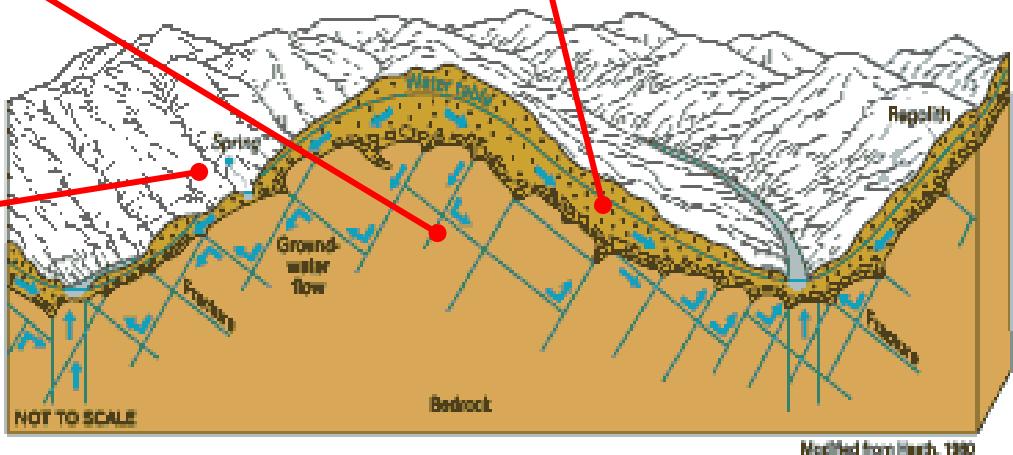


Hétérogénéité  
Anisotropie  
Chenalisation  
Discontinuité  
Echanges



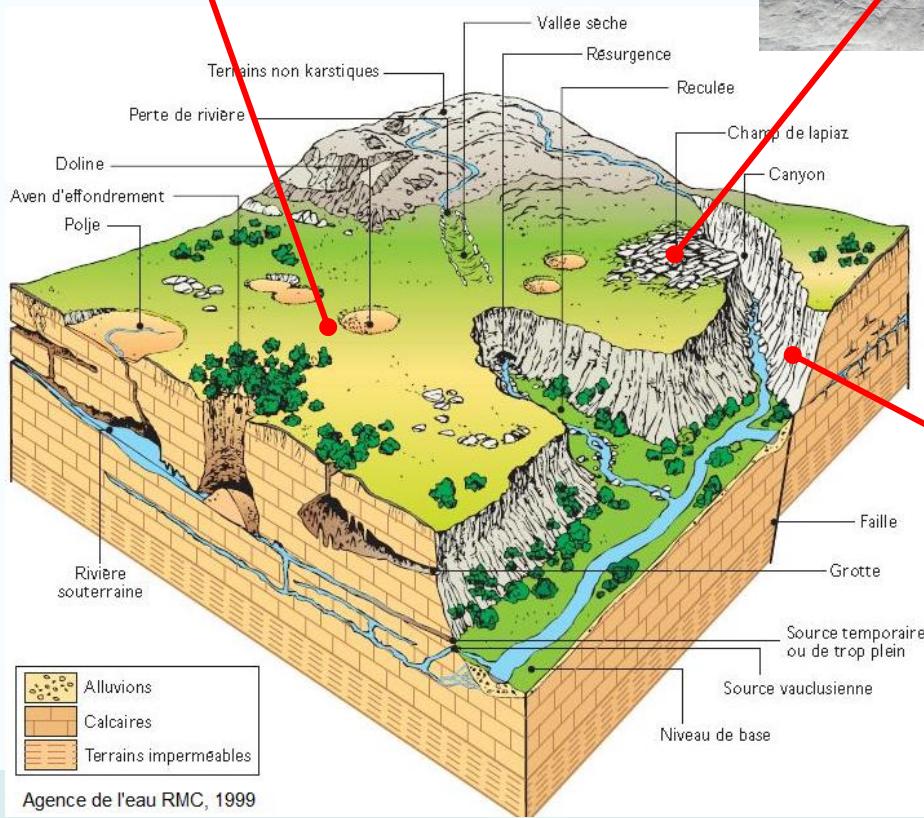


**Discontinuité  
Anisotropie  
Non darcien  
Taille du VER**

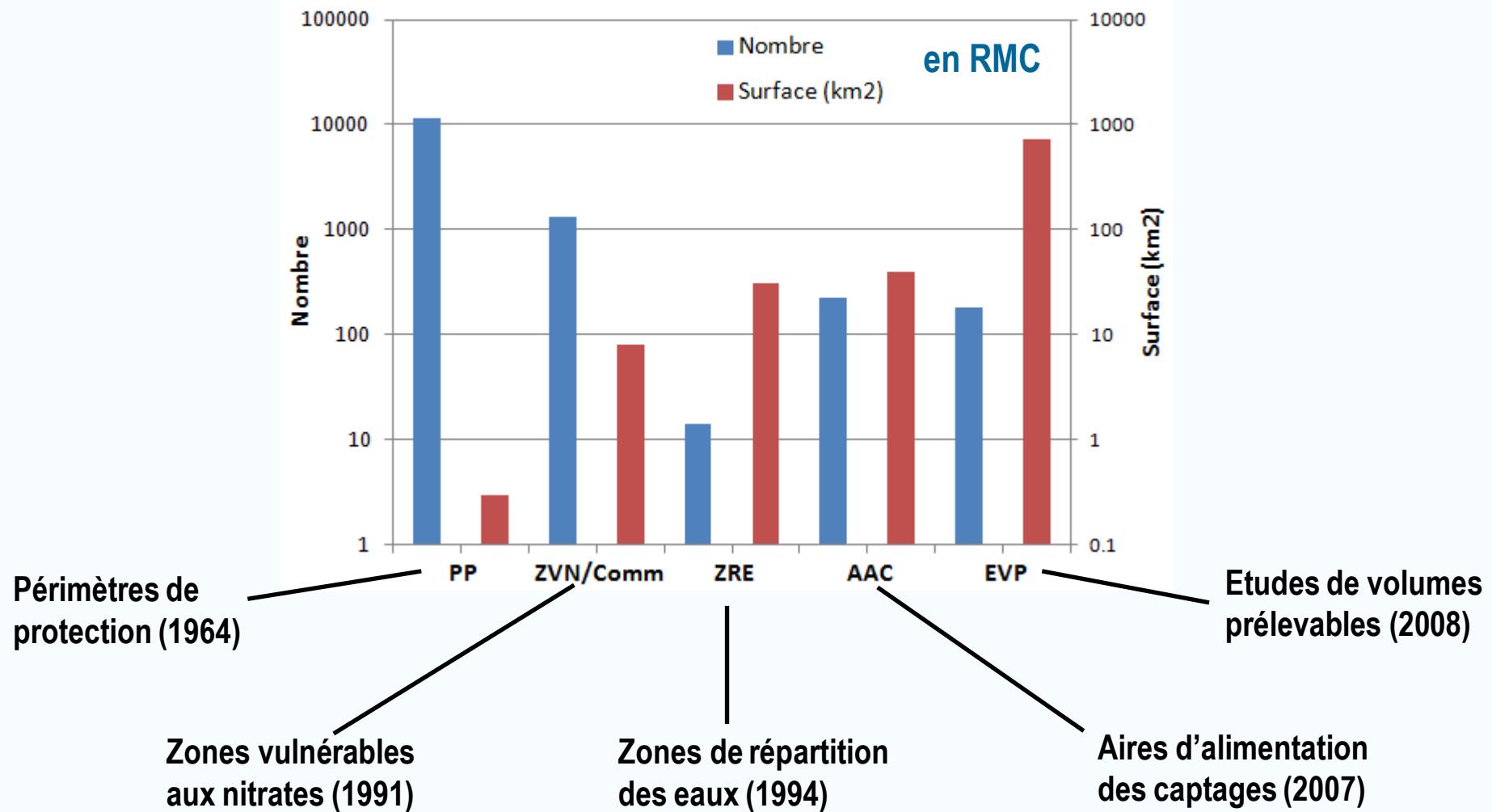




**Discontinuité  
Anisotropie  
Non darcien  
Taille du VER  
Hétérogénéité  
Double porosité**



# Qu'attend-on de l'hydrogéologie?



# Les connaissances requises / ressource

(→ Déficit de connaissance)

- **Géologie**

- ✓ Stratigraphie (nature des matériaux, porosité primaire, hydrochimie)
- ✓ Tectonique (**fracturation, géométrie, porosité secondaire**)
- ✓ Altération (**porosité tertiaire**, hydrochimie)

- **Géométrie**

- ✓ Limites (**aquifère sous couverture**)
- ✓ Nombre de couches (multicouche, **drainance**)
- ✓ Topographie (ruissellement/recharge, axe de drainage, **voie préférentielle**)

- **Conditions aux limites**

- ✓ Recharge (précipitations, ETP, **ruissellement**)
- ✓ **Echanges** avec les eaux superficielles (drainage, alimentation)

- **Techniques de mesure et d'investigation**

- ✓ Variabilité spatiale et temporelle
- ✓ Hétérogénéité et anisotropie

# Que savons-nous de ces ressources?

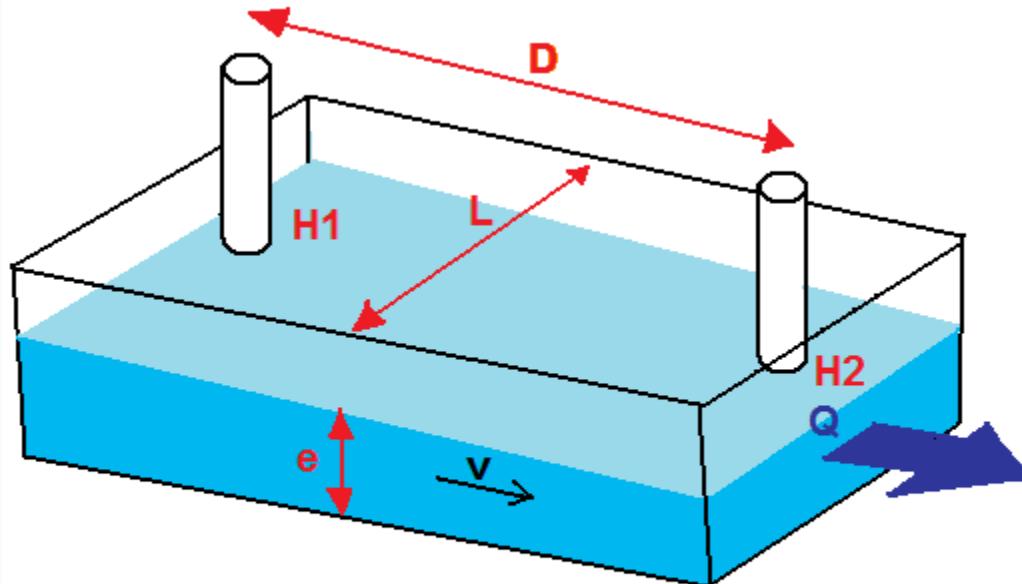
→ Un long apprentissage

- ‘Hydrogéologie ‘descriptive: Palissy, 1580
- Géologie: Lavoisier, 1765
- Hydrochimie: Vauquelin, 1808
- Hydrogéologie explicative: Héricart de Thury, 1829
- Prospection hydrogéologique: Paramelle, 1856
- Hydrogéologie quantitative: Darcy, 1856
- Carte piézométrique: Delesse, 1862
- Géophysique: Schlumberger, 1919
- Hydrologie isotopique: Friedman, 1953
- Modélisation hydrogéologique: Pinder, 1968

## Du côté quantitatif



# L'écoulement selon Darcy (1856)



$$Q = T L \frac{(H_2 - H_1)}{D}$$

$$Q = K e L i$$

T : transmissivité ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

K : perméabilité ( $\text{m}/\text{s}$ )

i : gradient piézo. (-)

$$\text{vitesse d'écoulement } v = \frac{1}{n_c} K i$$

$n_c$  : porosité cinématique (-)

T -> déterminé par pompages d'essai (presque toujours)

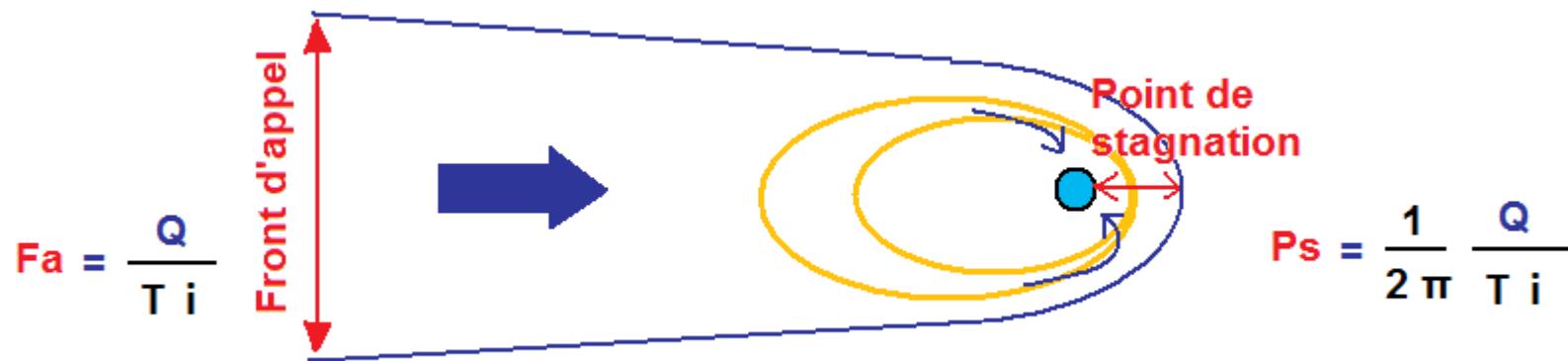
e -> connu par les logs de forage (généralement)

i -> déterminé par la carte piézométrique (pas toujours)

$n_c$  -> déterminé par traçage (quasi jamais!)

Mais cas des aquifères discontinus et/ou non darciens ?

# Le transfert selon Bear & Jacob (1965)



$$x = \frac{y}{\tan(2\pi \frac{T i}{Q} y)}$$

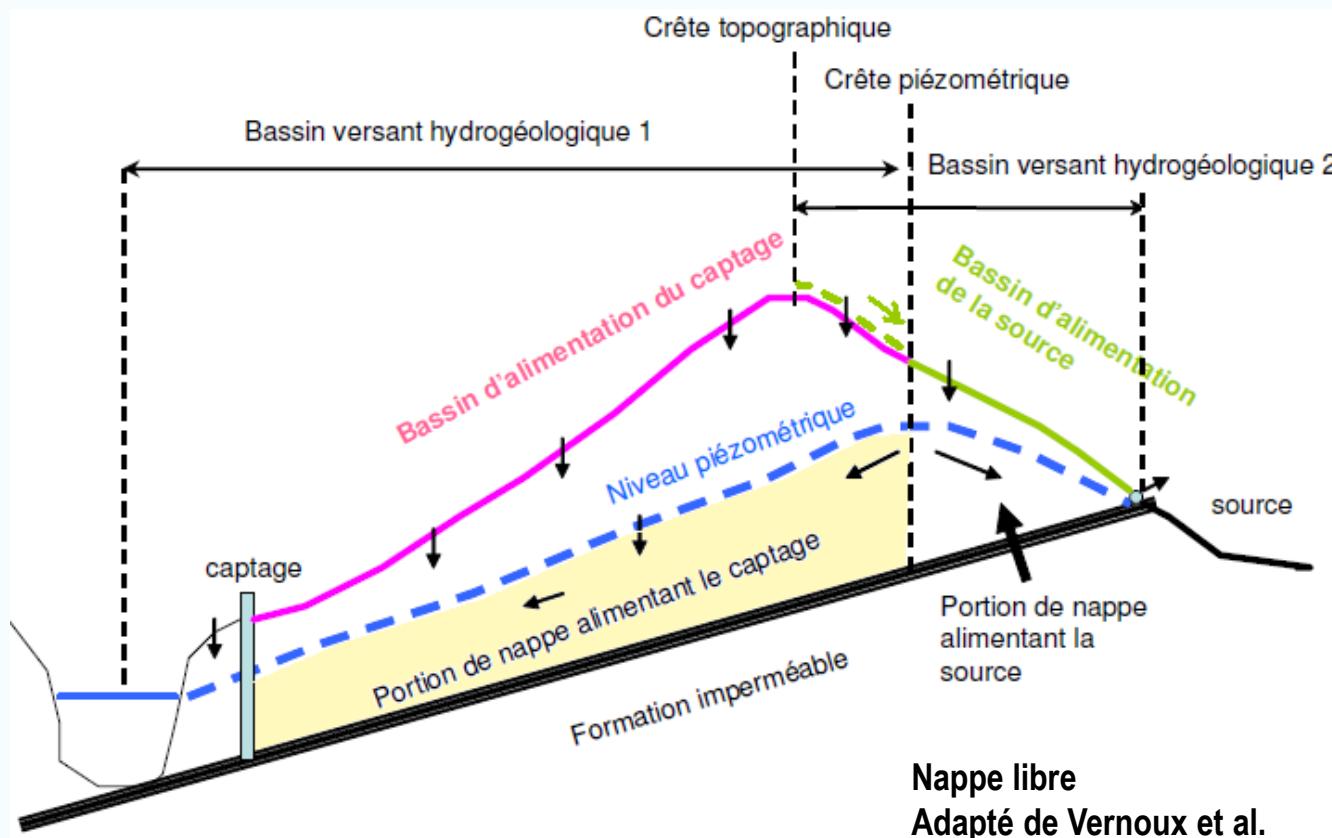
isochrones

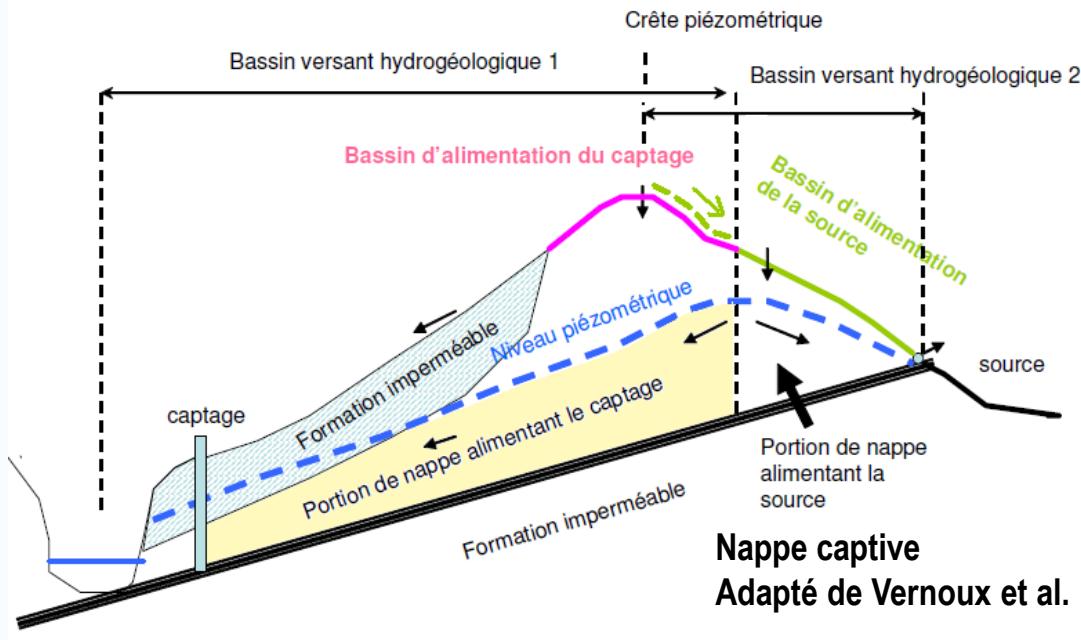
$$t = \frac{x n_c}{K_i} - \frac{Q n_c}{2\pi e (K_i)^2} \ln \frac{\sin[\frac{2\pi e K_i}{Q} y + \theta]}{\sin \theta} \quad \text{avec } \theta = \arctan \frac{y}{x}$$

Mais cas des aquifères discontinus et/ou non darciens et/ou hétérogènes et/ou complexes ?

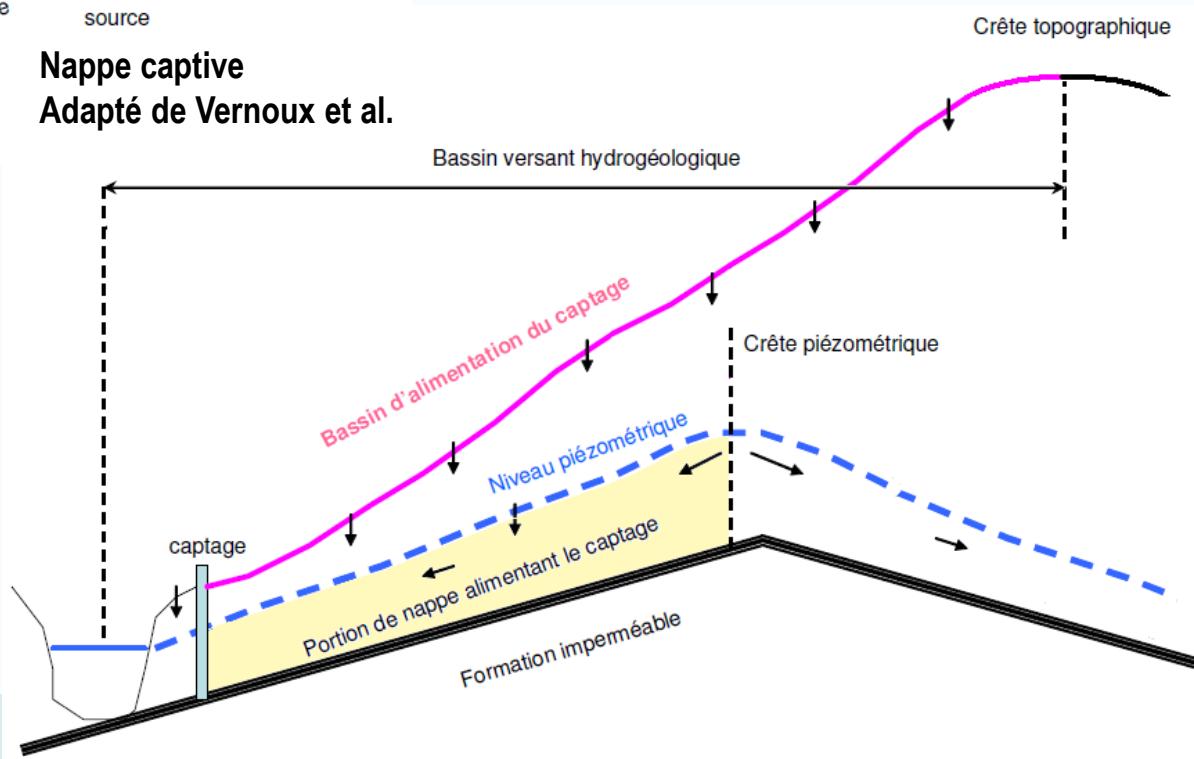
# Exemple: Aire d'Alimentation des Captages

- PNAC (portion de la nappe alimentant le captage)
- AAC = PNAC + BV associé (BAC)





**Nappe captive**  
Adapté de Vernoux et al.



# Importance des connaissances / PP et AAC

## Constats :

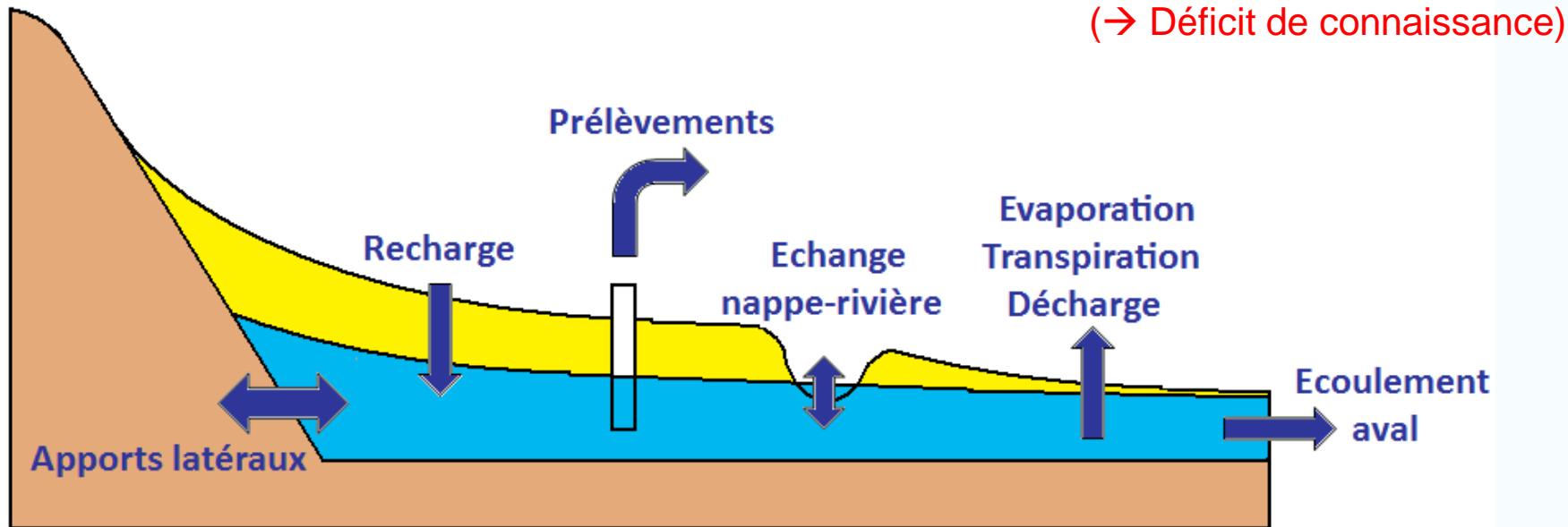
- Malgré un guide → définition de PNAC très variables / BE
- Différences marquées avec les PP (→ AAC globale!)
- Surface importante → zone d'intervention prioritaire  
(voire AAC proximale ou préférentielle)

(→ Déficit de connaissance)

## Besoin de connaissances :

- Extension des aquifères
- Direction d'écoulement et crête piézométrique (incertitude + variabilité)
- Recharge et échange avec les eaux superficielles
- Rôle du ruissellement
- Drainance (aquifère multicouche, nappes semi captives)

# Le bilan de la ressource



- **Recharge (précipitations, ETP, ruissellement)**
- **Echanges latéraux**
- **Relations nappes / rivières (nappes d'accompagnement, inféroflux)**
- **Prélèvements (milieux humides, volumes prélevés, nappes impactées)**

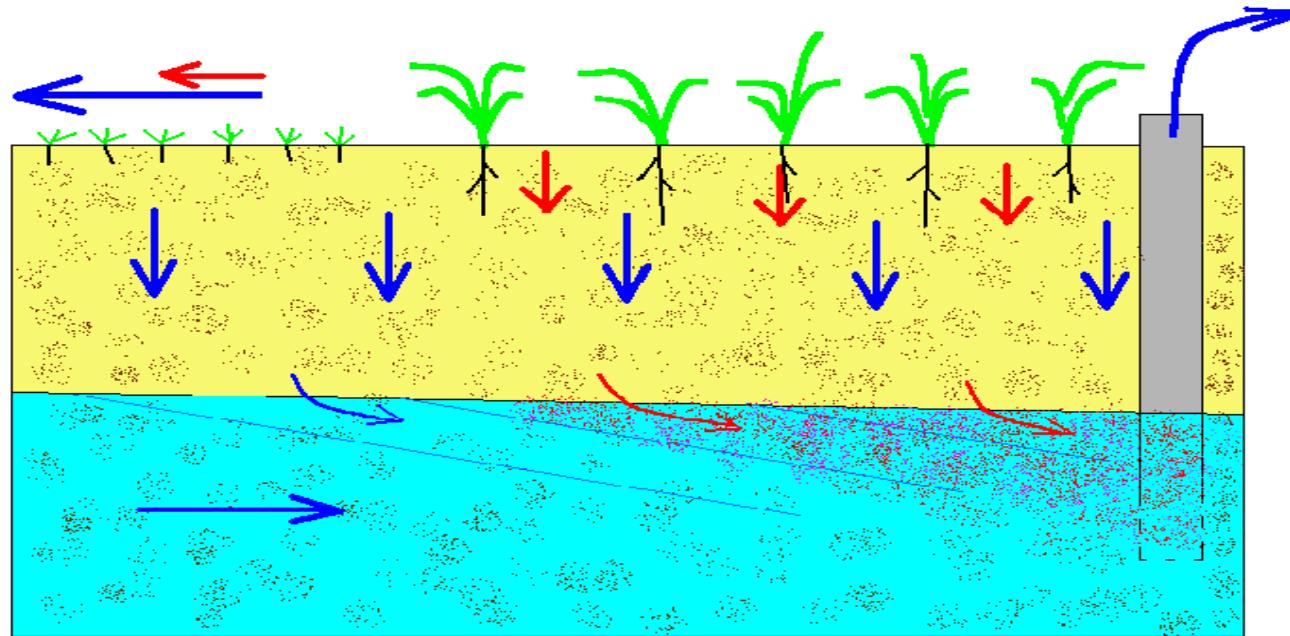
# Importance des connaissances / Bilan

- **Capacité support de la ressource**
  - ✓ taux de renouvellement naturel / résilience
  - ✓ variabilité temporelle
- **Quantification des déficits**
  - ✓ causes du déficit (climat / prélèvements)
  - ✓ moyens de sa résorption
- **Définition des ‘Volumes Prélevables’**
  - ✓ notion d'équilibre de la ressource
  - ✓ niveaux de référence (historique, points de suivi)
  - ✓ maintien des usages naturels
- **Allocation de la ressource**
  - ✓ Eaux souterraines / Eaux superficielles
  - ✓ Cas des nappes trans-BV

## Du côté qualitatif



# La pollution des ressources



- **Dynamique ruissellement / infiltration / évaporation**
- **Transfert d'eau et de contaminants au travers:**
  - ✓ du sol
  - ✓ de la zone non saturée
  - ✓ de l'aquifère

# Importance des connaissances / pollution

- **Au niveau de la protection des captages**
  - ✓ Détermination des isochrones → 50j ~ PPR
  - ✓ Zones vulnérables aux nitrates
  - ✓ Vulnérabilité des Aires d'Alimentation de Captage
- **Au niveau de la récupération de la ressource**
  - ✓ Résilience / ‘récupérabilité’
  - ✓ Atténuation / décontamination
- **Au niveau de la protection et de la reconquête des ME**
  - ✓ Etat naturel / Bon état (2015)
  - ✓ Priorisation des ME et des zones d'action

# Besoins de connaissances / pollution

(→ Déficit de connaissance)

- **Recharge** (précipitation, ETP, ruissellement)  
→ détermine le potentiel d'apport et de dilution
- **Vitesse de transfert dans**
  - ✓ le sol
  - ✓ la zone non saturée (**pas connu**; par traçage dont isotopique)
  - ✓ l'aquifère (**peu connu** ; par traçage dont isotopique)
- **Transfert en nappe**
  - ✓ Vitesse de transfert (**gradient piézométrique, porosité cinématique**)
  - ✓ **Dispersion** (par traçage, très rarement, mais pas si important)
- **Persistante de la pollution**
  - ✓ **Temps de renouvellement** (peu connu, par traçage et modélisation)
  - ✓ **Atténuation** (peu connu, mais assez limitée)

## En résumé



# Acquisition de connaissances

## Scientifiques (répondre aux questions)

- **Structure et limites des aquifères (ex. multicouche)**
- **Fonctionnement des aquifères (ex. drainance)**

## Techniques (répondre aux attentes)

- **Caractérisation (isotopie, géophysique, traçage)**
- **Modélisation (bilan, transfert)**

## Méthodologiques

- **Choix des approches méthodologiques (ex. PNAC)**
- **Priorisation des territoires d'intervention**

# Perspectives scientifiques

- **fonctionnement des hydrosystèmes**
  - ✓ limites, structure d'écoulement
- **origine des eaux et renouvellement des ressources**
  - ✓ recharge, ZNS
- **échanges nappes / eaux superficielles**
  - ✓ rivière, plan d'eau et lagunes, zones humides
- **transfert et persistance des polluants**
  - ✓ ZNS, atténuation, inertie
- **'récupérabilité' – reconquête des captages**
  - ✓ hiérarchisation / captages prioritaires
- **modèles de gestion eaux souterraines / superficielles**
  - ✓ gestion active , priorisation des ressources à préserver

A scenic view of a river flowing through a rocky landscape. The river has clear, turquoise-colored water. In the foreground, there are large, light-colored rocks. On the left, a small tree with green leaves grows from a rock. The background features a large, light-colored cliff face with some green vegetation at the top. The overall scene is natural and peaceful.

**Merci de votre attention**

- <http://www.eaurmc.fr/espace-dinformation/actes-des-colloques.html>