

# Fonctionnement hydrologique Zone humide - Rivière

22 novembre 2021



## Plan de l'intervention

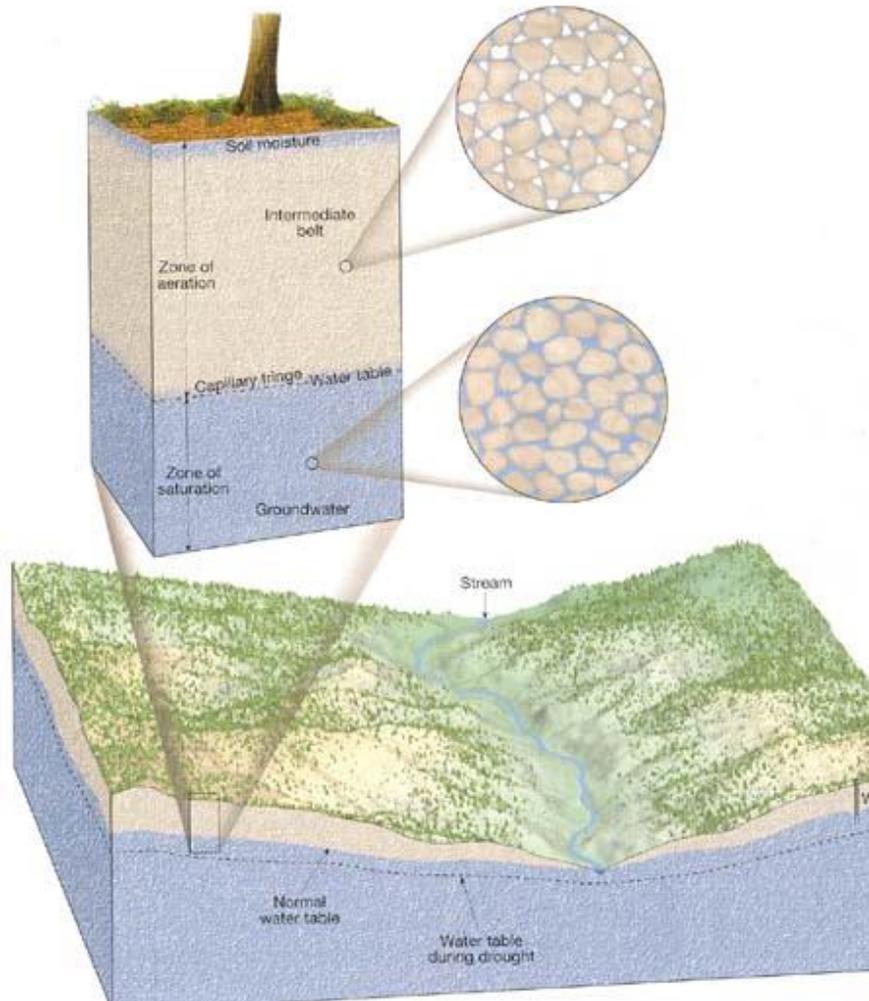
### Zone humide VS eaux souterraines

- Notions d'hydrogéologie: variables physiques importantes
- Circulation d'eau à l'échelle du bas fond
- Typologie des échanges nappe – rivière
- Modification des échanges nappe rivière: processus/impacts

# Notions d'hydrogéologie: variables physiques importantes



- # Notion de nappe libre



## Nappe d'eau souterraine ?

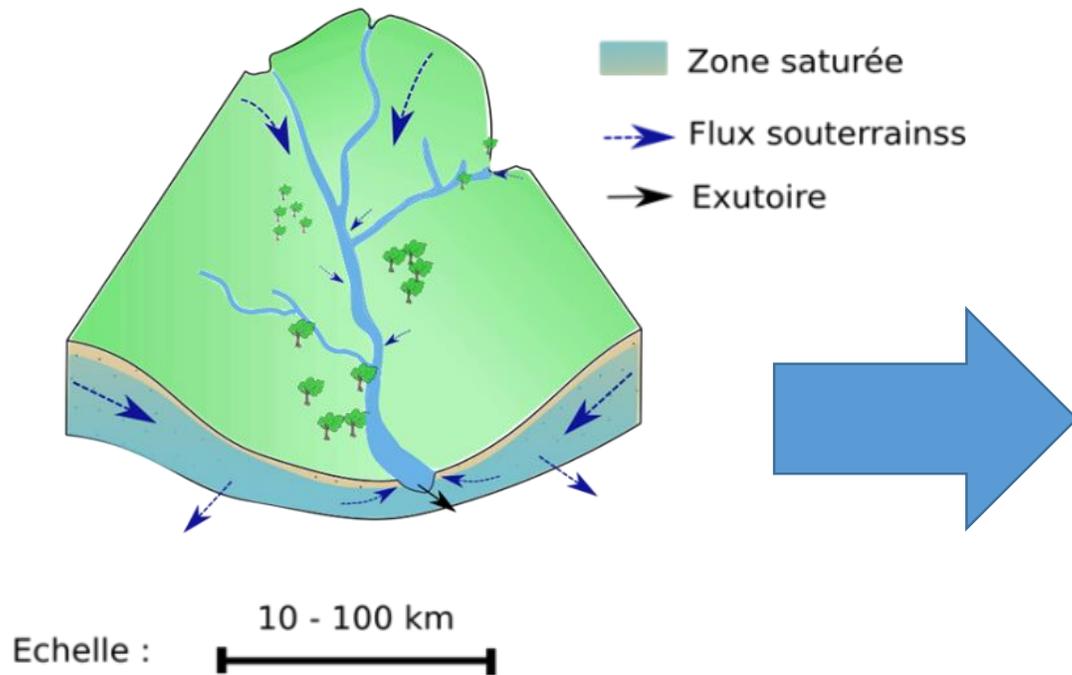
**c'est l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique**

## Un aquifère ?

**c'est un "corps" (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée (ensemble du milieu solide et de l'eau contenue) suffisamment conducteur d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe et le captage de quantités d'eau appréciables. un aquifère peut comporter une zone non saturée**



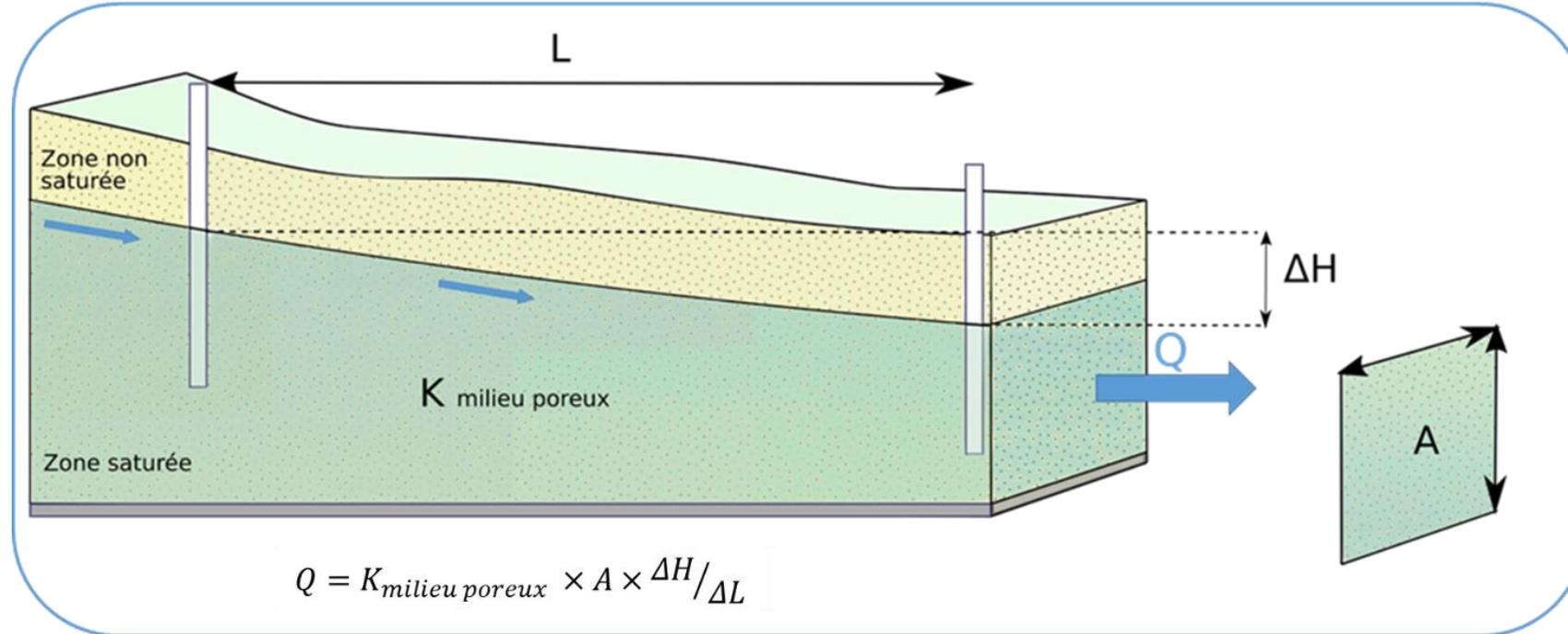
- Echanges nappe rivière: échelle du versant



Bas fond (Breton)

- Variables physiques importantes

Application de la Loi de Darcy à travers une section d'aquifère



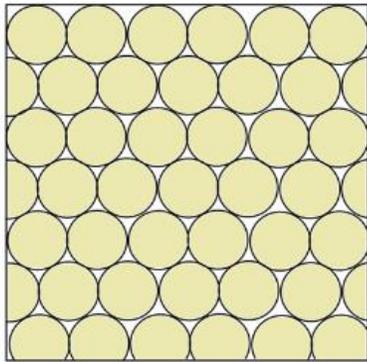
$$Q = K \cdot A \cdot \Delta h / L$$

Gradient hydraulique

Perméabilité

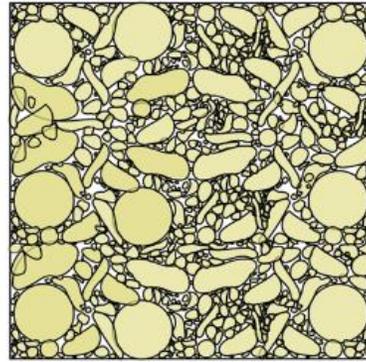
# Porosité et perméabilité

## Porosité et perméabilité



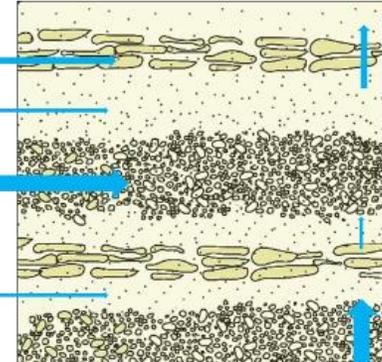
Grains sphériques de taille unique

- Porosité élevée (non dépendante de la taille des grains)
- Perméabilité homogène et isotrope



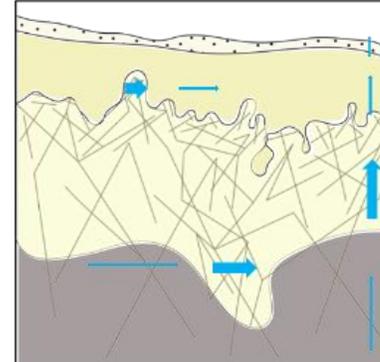
Grains de taille polydispense et d'arrangement aléatoire

- Distribution granulométrique large
- Porosité dépendante de l'arrangement des grains
- Les grains fins qui obstruent les pores diminuent la porosité et donc la perméabilité



Grains de taille polydispense et d'arrangement organisé

- Perméabilité hétérogène et anisotrope
- Variations verticales et horizontales de perméabilité



Alternance de roche typique d'un aquifère de socle à base fissurée (courant en Bretagne)

- Perméabilité hétérogène et anisotrope
- Variations verticales et horizontales de perméabilité

### LEGENDE

- Sédiments grossiers arrondis (ex: graviers)
- Sédiments allongés (ex: coquilles)
- Sédiments fins (ex: argiles)
- Roche saine
- Horizon fracturé
- Altérites
- Largeur proportionnelle à K

- Perméabilité: les ordres de grandeur

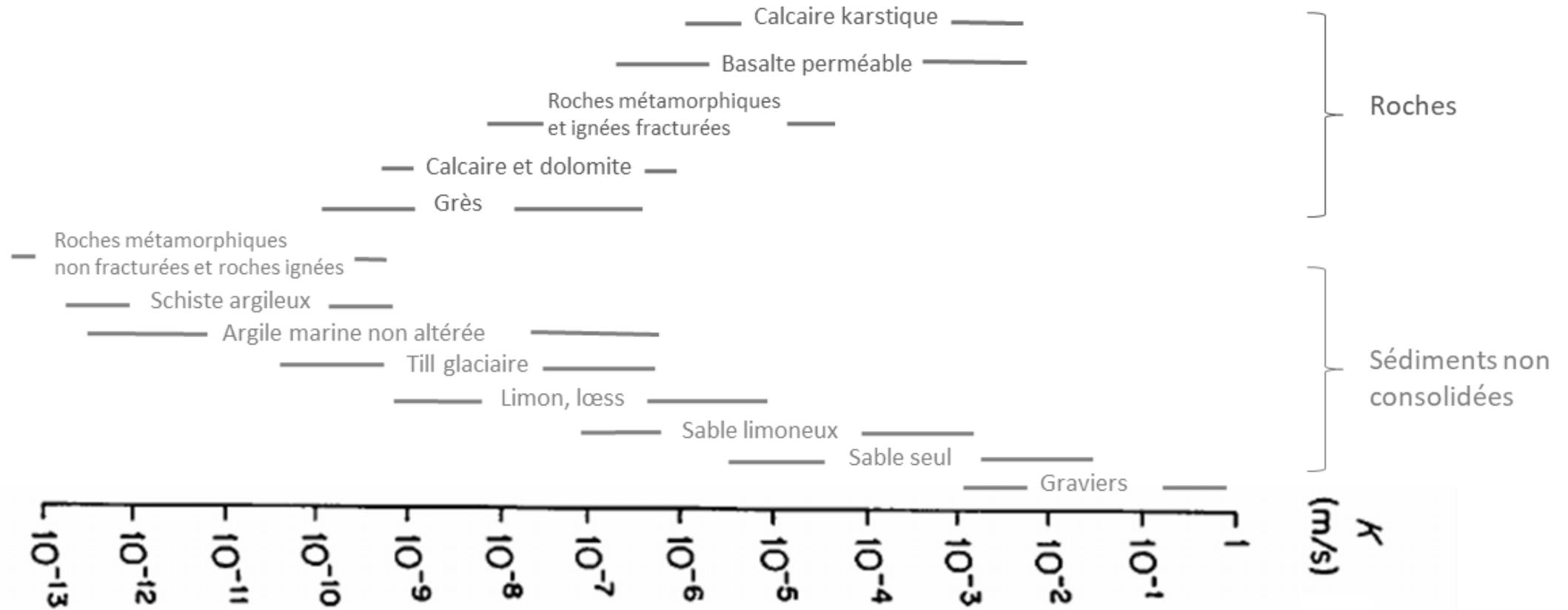
### Degrés de perméabilité

$K$ (m/s)		$10^1$	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$
GRANULOMETRIE	homogène	Gravier pur		Sable pur	Sable très fin	Silt		Argile						
	variée	Gravier gros et moyen	Gravier et sable		Sable et argile-Limons									
DEGRES DE PERMEABILITE		TRES BONNE BONNE				MAUVAISE				NULLE				
TYPES DE FORMATIONS		PERMEABLES				SEMI-PERMEABLES				IMPER.				

limites conventionnelles

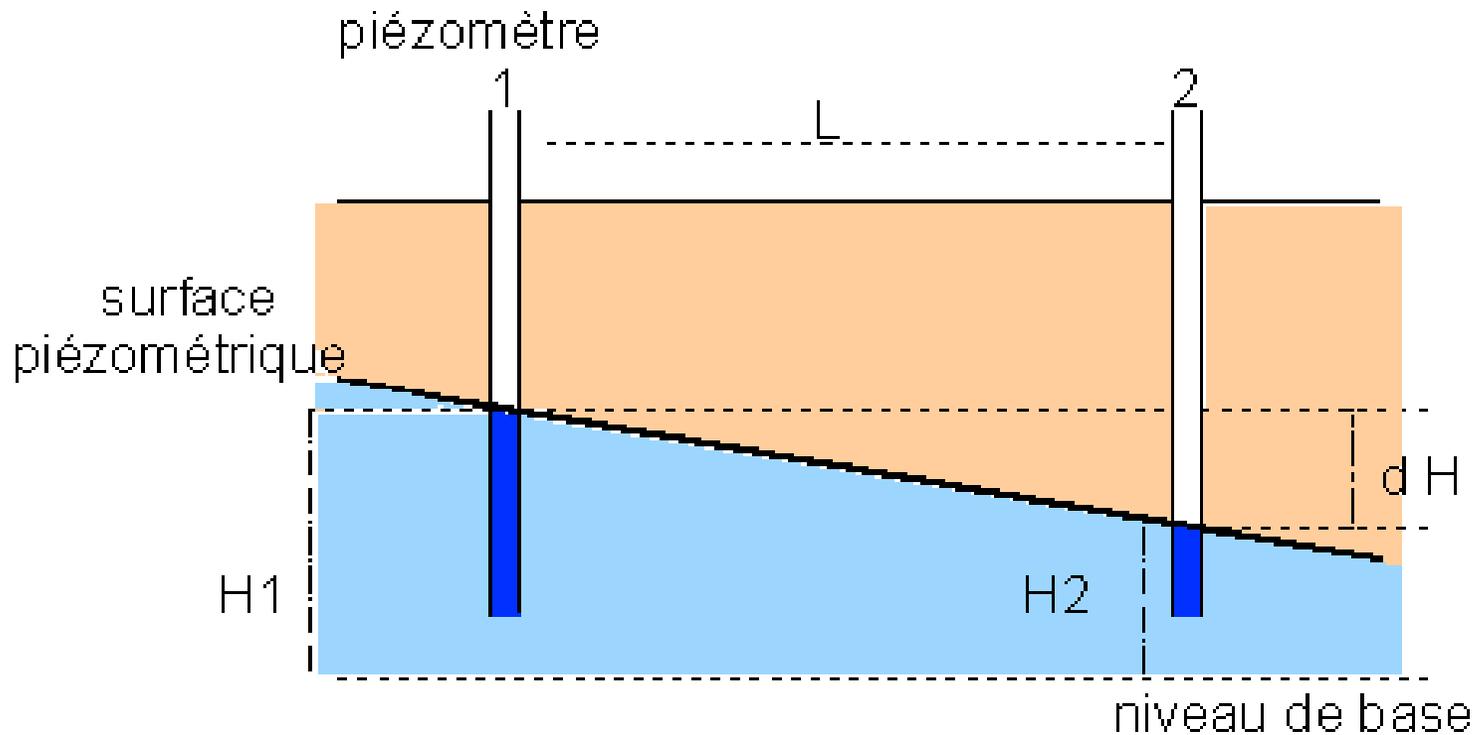
# • Perméabilité et lithologie

Ordres de grandeurs des conductivités hydrauliques en fonction de la nature de la roche



- Paramètres qui régissent l'écoulement

Gradient hydraulique ( $i$  ou  $\Delta H/L$ )



Bas fonds (zones humides)

- Pentes topographiques très faibles
- Gradients hydrauliques souvent faibles (autour de  $10^{-3}$ )

gradient hydraulique:  $\frac{H1 - H2}{L}$

L

- Contexte zone humide

Débit  $Q = K \cdot A \cdot \Delta h/L$  Gradient hydraulique

Perméabilité : K

- Argiles ( $10^{-9} \text{ m/s} - 10^{-12} \text{ m/s}$ )
- Limon ( $10^{-6} \text{ m/s} - 10^{-9} \text{ m/s}$ )
- Alluvions ( $10^{-2} \text{ m/s} - 10^{-5} \text{ m/s}$ )

Bas fonds (zones humides)

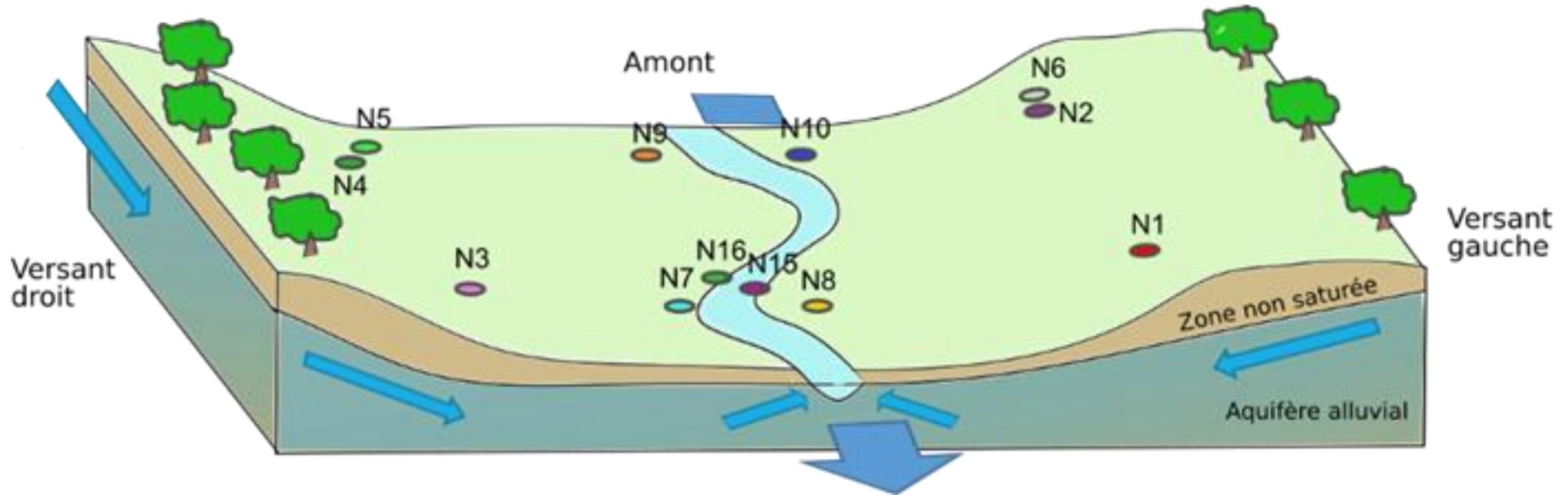
- Pentes topographiques très faibles
- Gradients hydrauliques souvent faibles (autour de  $10^{-3}$ )

Débit théorique pour  $A = 1 \text{ m}^2$

- Argiles :  $Q \sim 10^{-14} \text{ m}^3/\text{s}$  ( $10^{-9} \text{ m}^3/\text{jour}$ )
- Limon :  $\sim 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}$  ( $10^{-6} \text{ m}^3/\text{jour}$ )
- Alluvions:  $\sim 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$  ( $10^{-2} \text{ m}^3/\text{jour}$ )

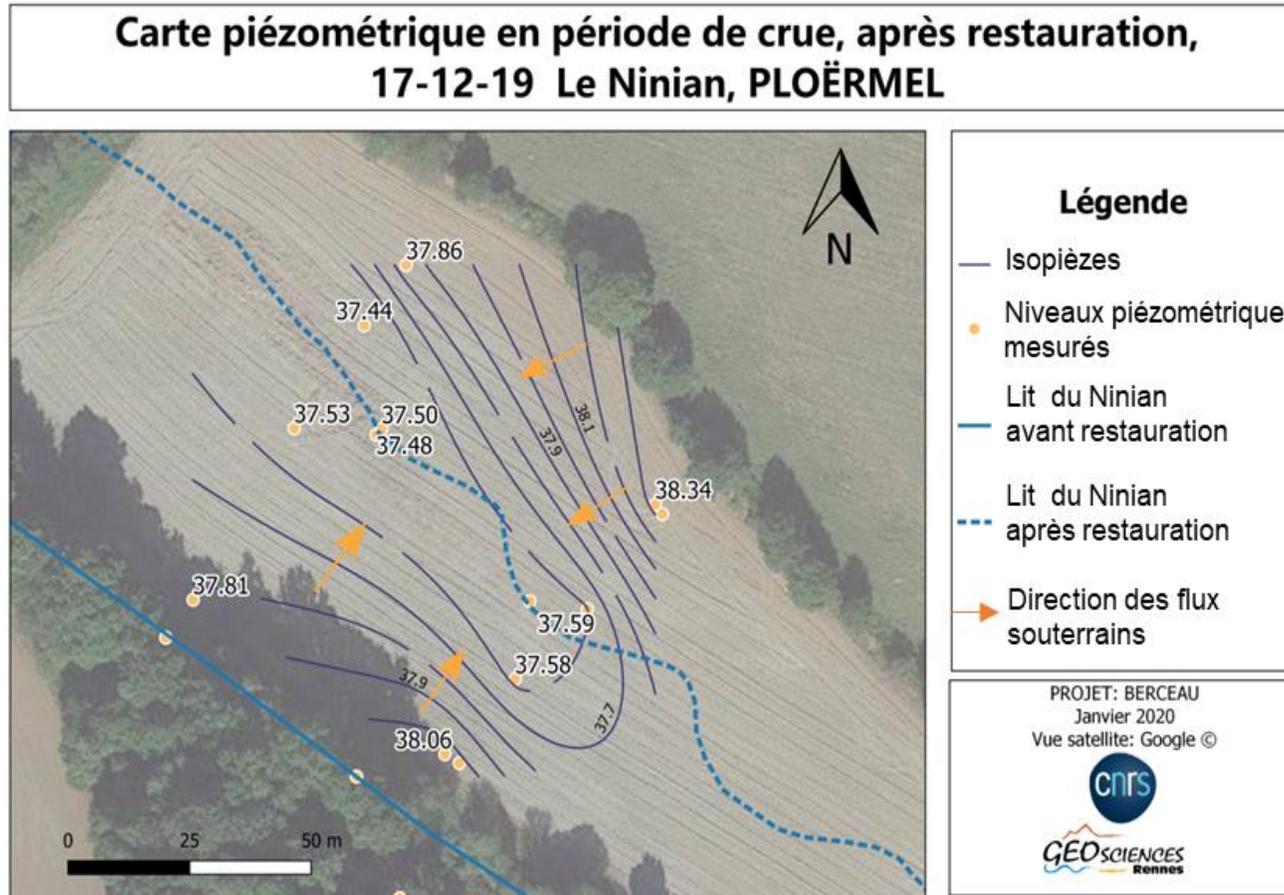
# Circulation d'eau à l'échelle du bas fond

- Chemins de l'eau à l'échelle du bas fond

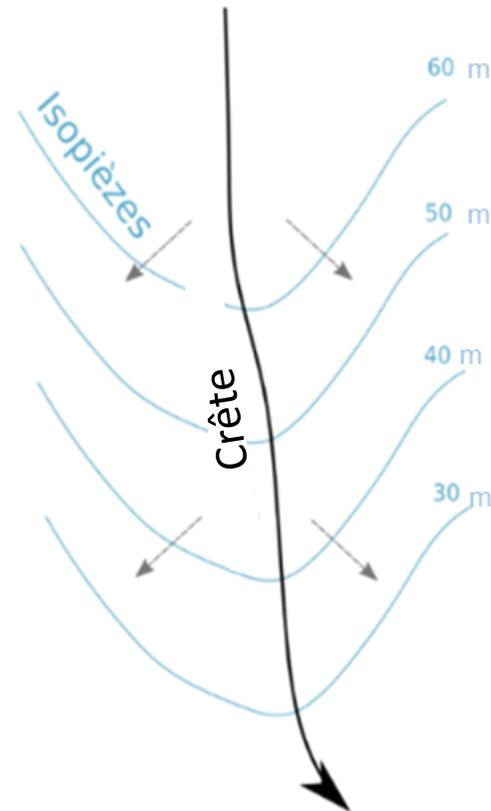
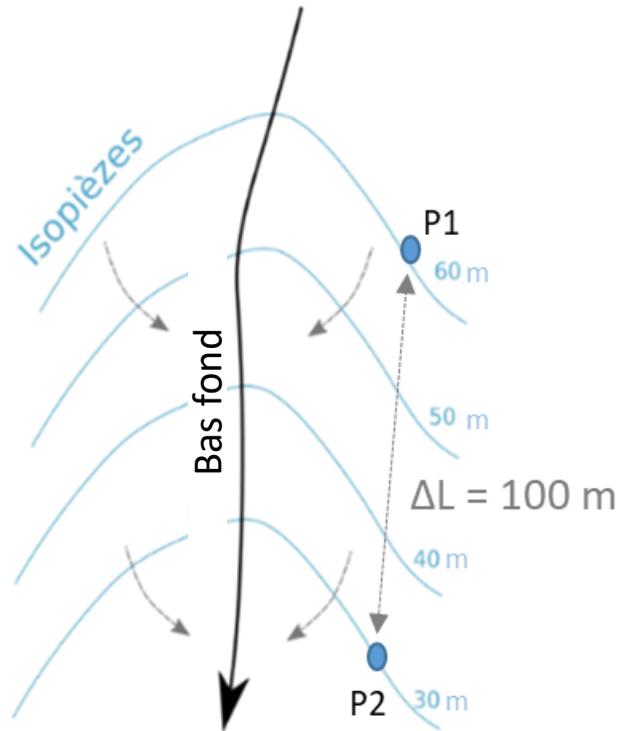


Apport latéraux et longitudinaux

- Carte des ligne des flux : isopièzes



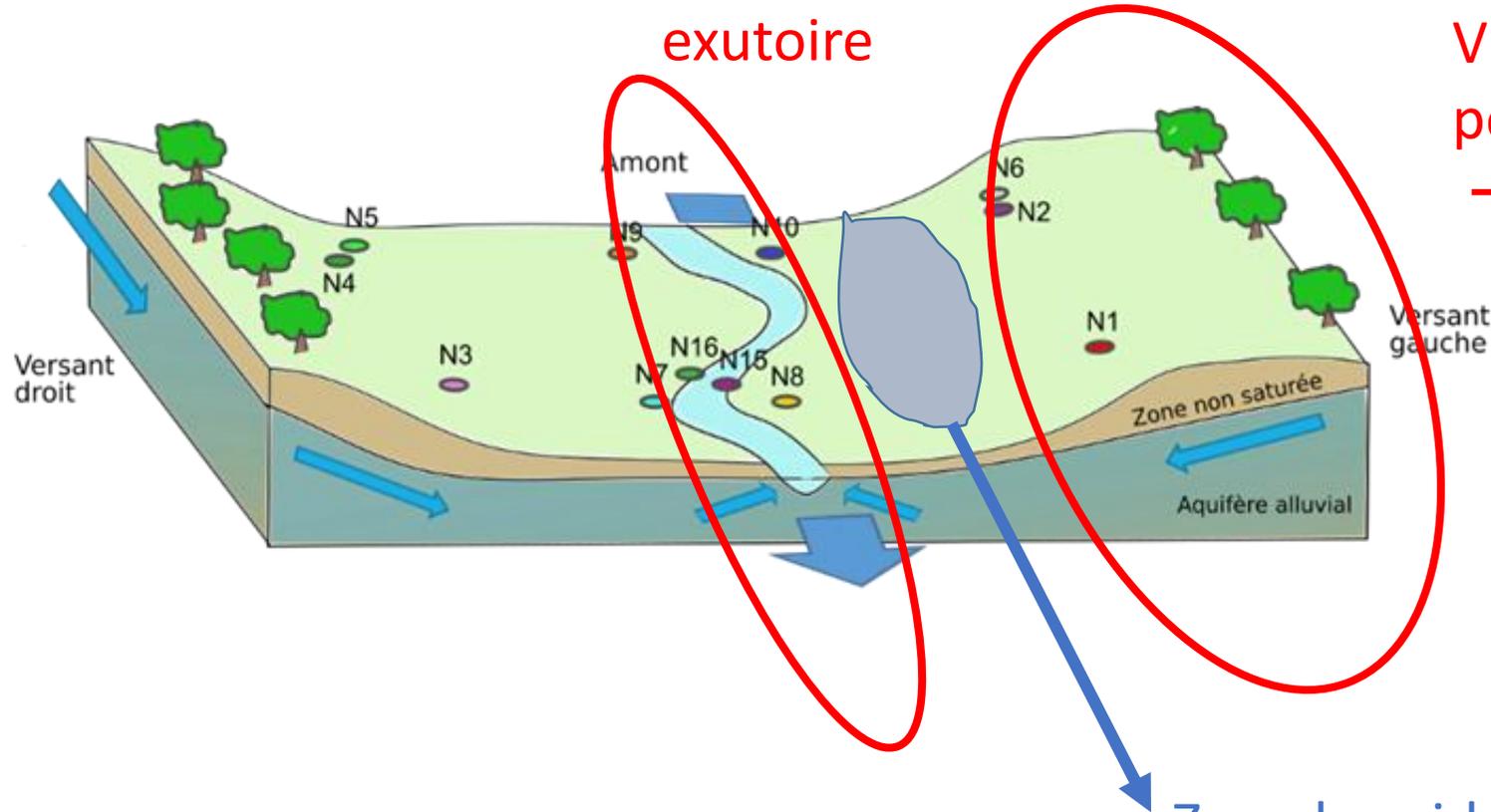
- Carte des ligne des flux : crête et thalweg des isopièzes



- Conditions limites des écoulements

Rivière : point bas  
exutoire

VERSANT :  
point haut, aire drainée  
→ « château d'eau »

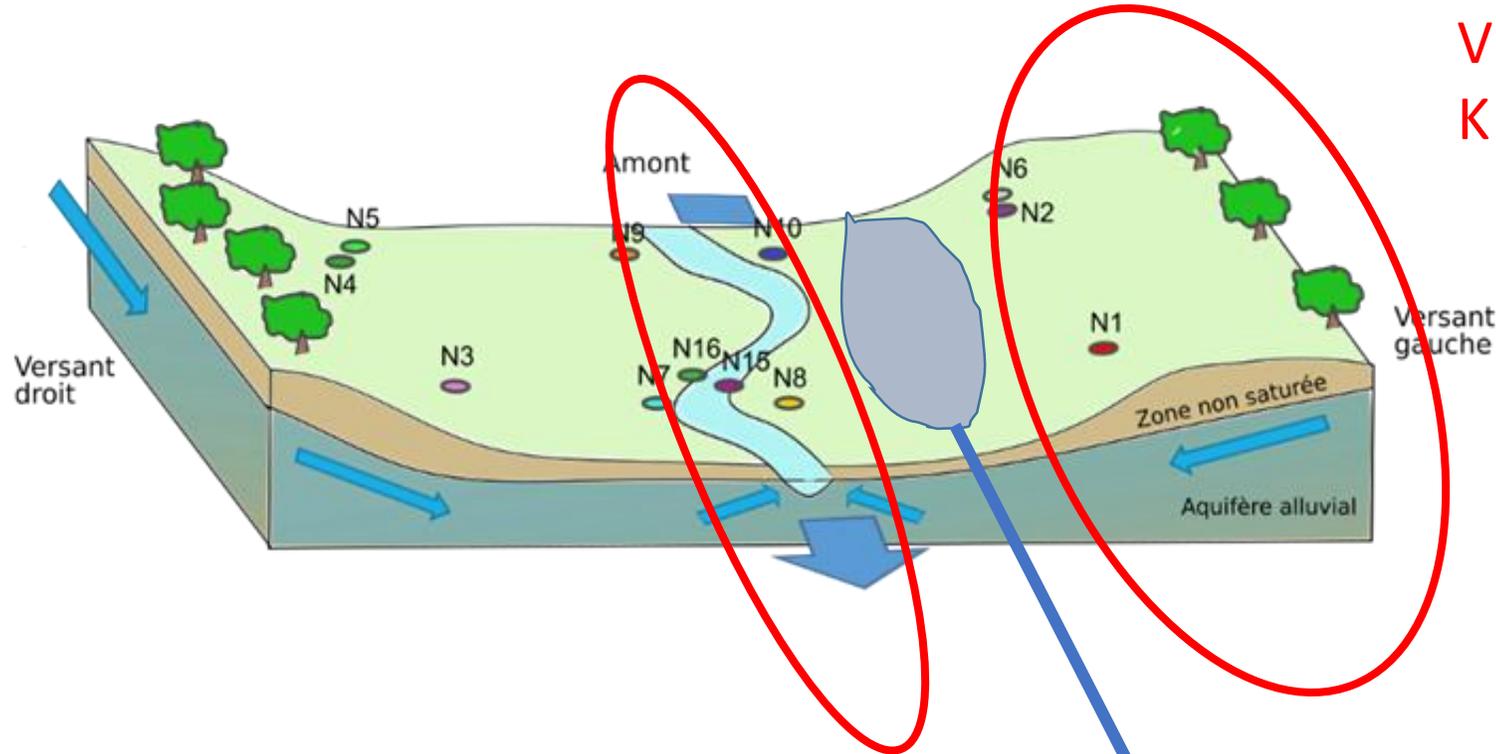


Zone humide: zone tampon

- Conditions limites des écoulements

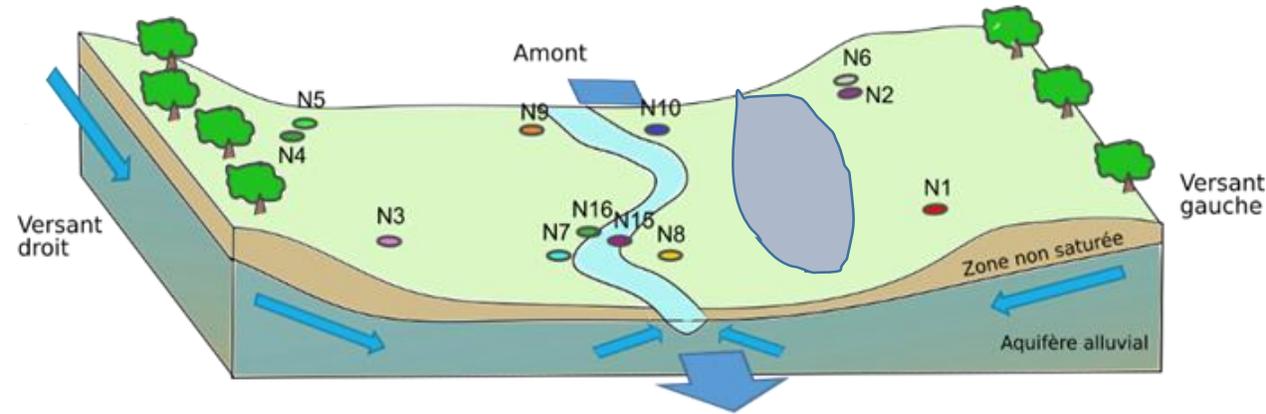
Rivière : K alluvions

VERSANT :  
K sol et altérites



Zone humide: argiles, limon

- Alimentation de la zone humide

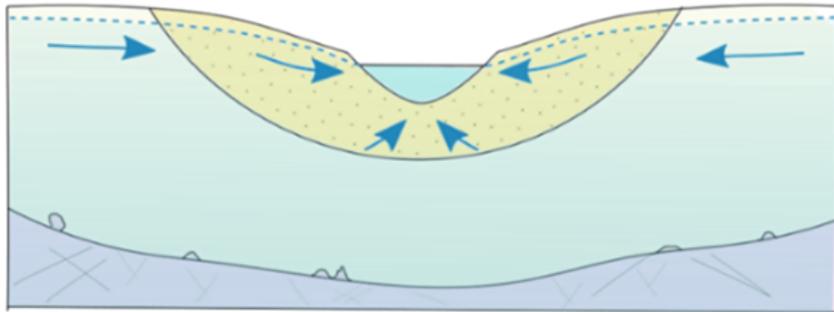


- Les apports d'eau de nappe proviennent des versants (apports latéraux) et de la nappe sous-jacente (apports verticaux).
- L'existence de zone humide dépend donc de la profondeur du toit de la nappe et de la dynamique de celle-ci.

# Typologie des échanges nappe-rivière

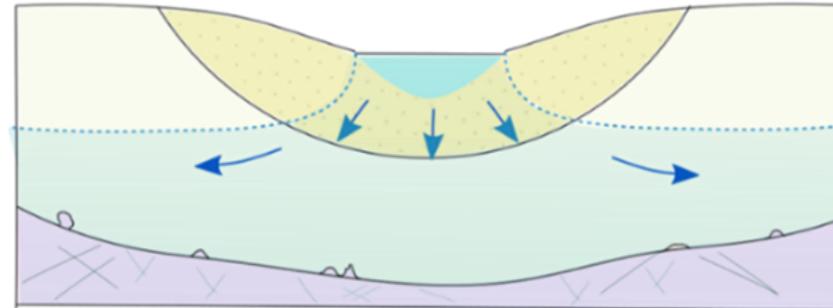
# • Typologie des échanges nappe - rivière

## Typologie des échange nappe-rivière dans un bas-fond de vallée



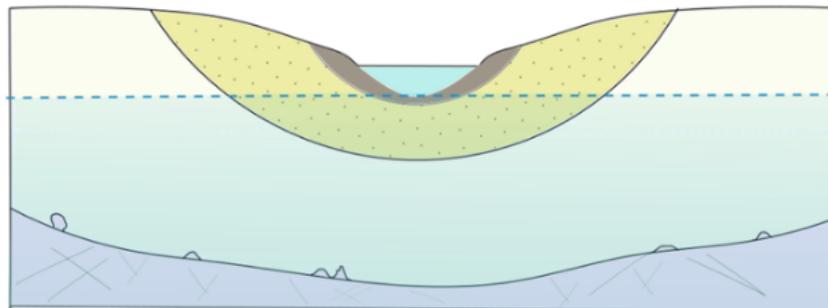
1 La nappe alimente le cours d'eau

Le niveau piézométrique est supérieur au niveau dans le cours d'eau. **La rivière draine l'aquifère.**



2 Le cours d'eau alimente la nappe

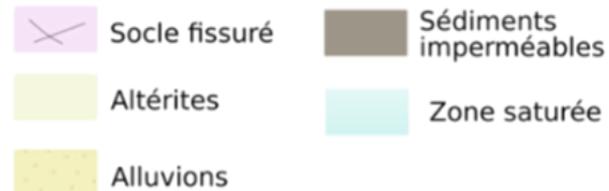
Le niveau dans le cours d'eau est supérieur au niveau piézométrique. **L'aquifère draine la rivière.**



3 Absence d'échanges

Le lit du cours d'eau est recouvert d'une couche imperméable dû au colmatage du lit la rivière. **Il n'y a pas d'échanges entre la nappe et le cours d'eau.**

### LÉGENDE:



----- Toit de la nappe

→ Flux échangés

Echelle : 1- 10 mètres



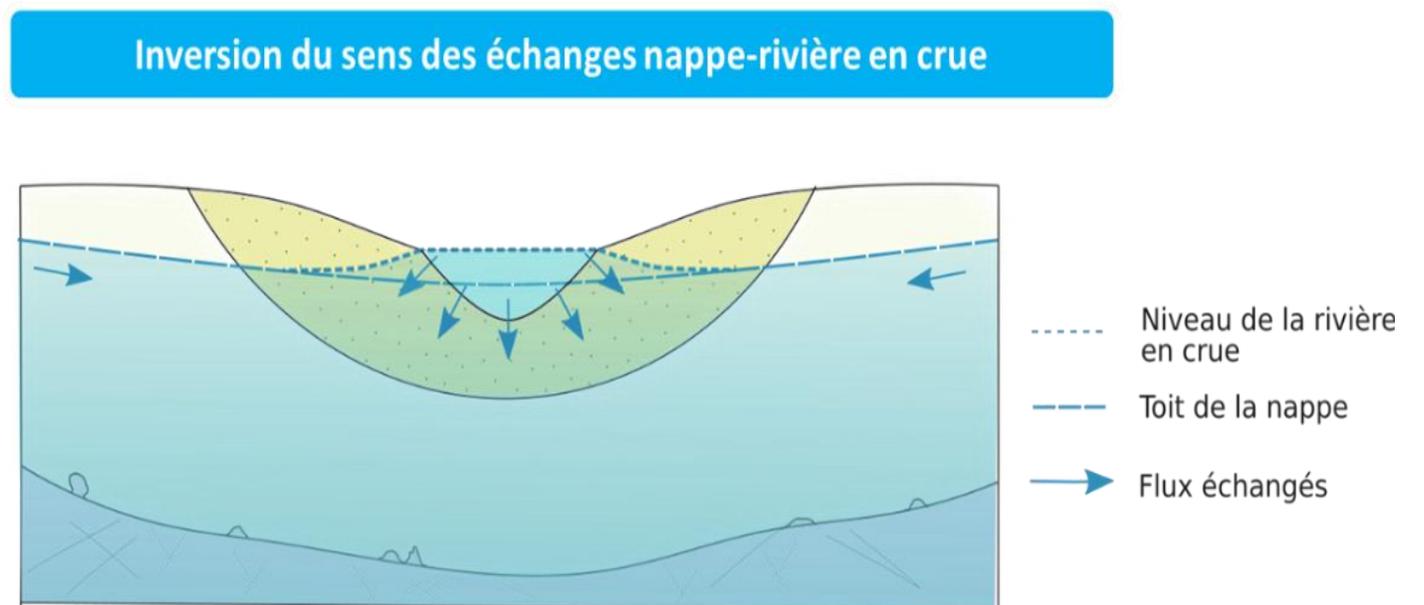
- **Echanges nappe rivière : variations temporelles**

- **Variations saisonnières**

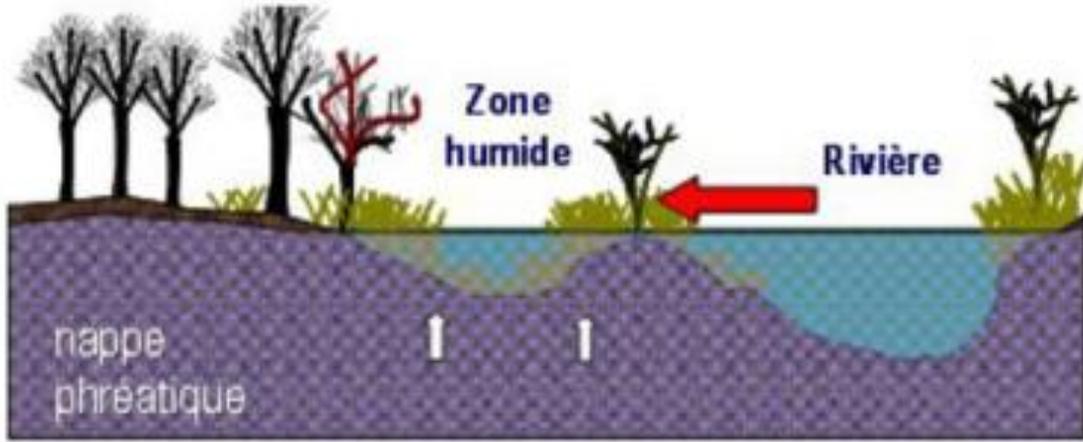
Un cours d'eau peut drainer la nappe en hiver, et inversement en été.

- **Variations des échanges lors de crues (inversion)**

Un cours d'eau peut drainer la nappe en hiver, et inversement en été.



- Echanges nappe rivière : variations temporelles (précision de langage)

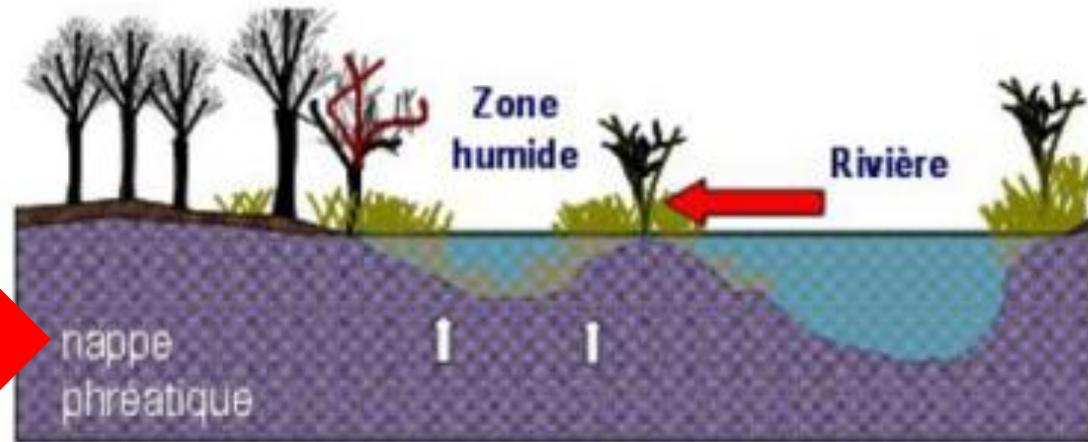


Les zones humides stockent l'eau pendant les périodes de crues.

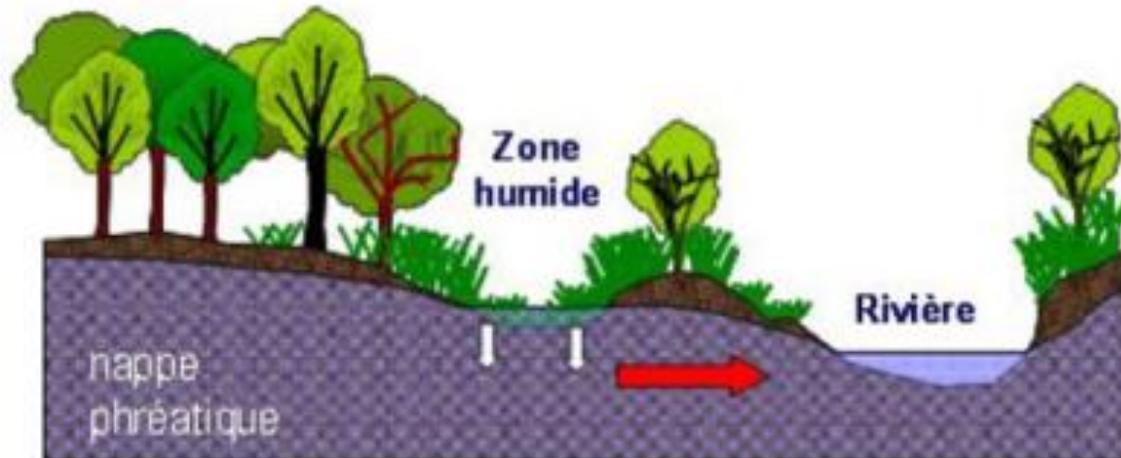


Les zones humides réalimentent les nappes phréatiques et les rivières pendant les périodes d'étiage.

- Echanges nappe rivière : variations temporelles (précision de langage)



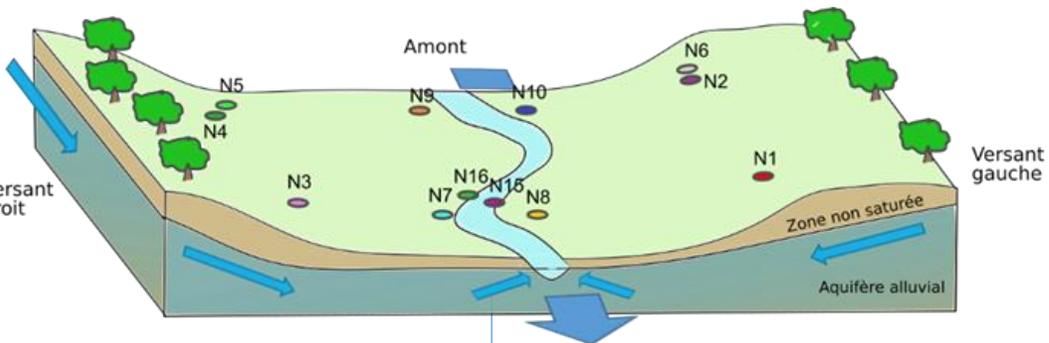
Les zones humides stockent l'eau pendant les périodes de crues.



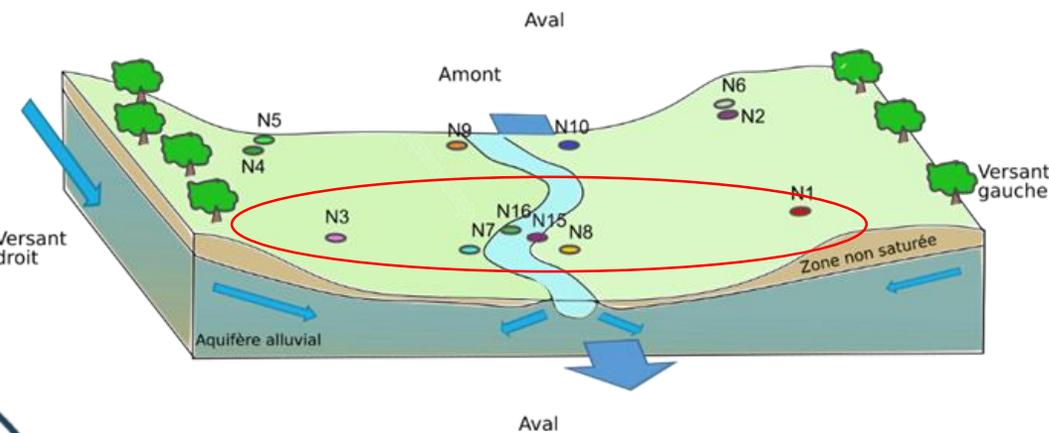
Les zones humides réalimentent les nappes phréatiques et les rivières pendant les périodes d'étiage.

- Echanges nappe rivière : dynamique échanges lors de certaines crues

Avant la crue



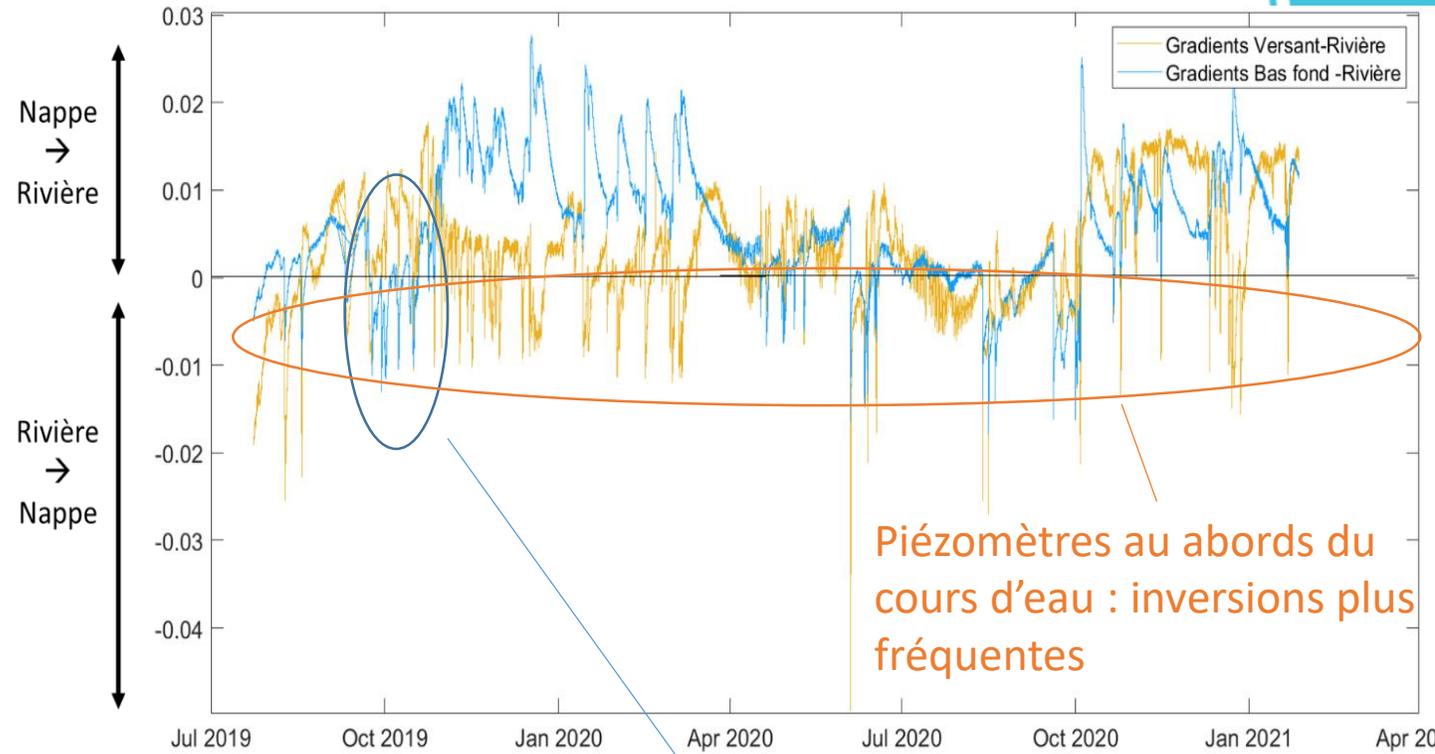
Pendant la crue



● Piézomètres

→ Direction des

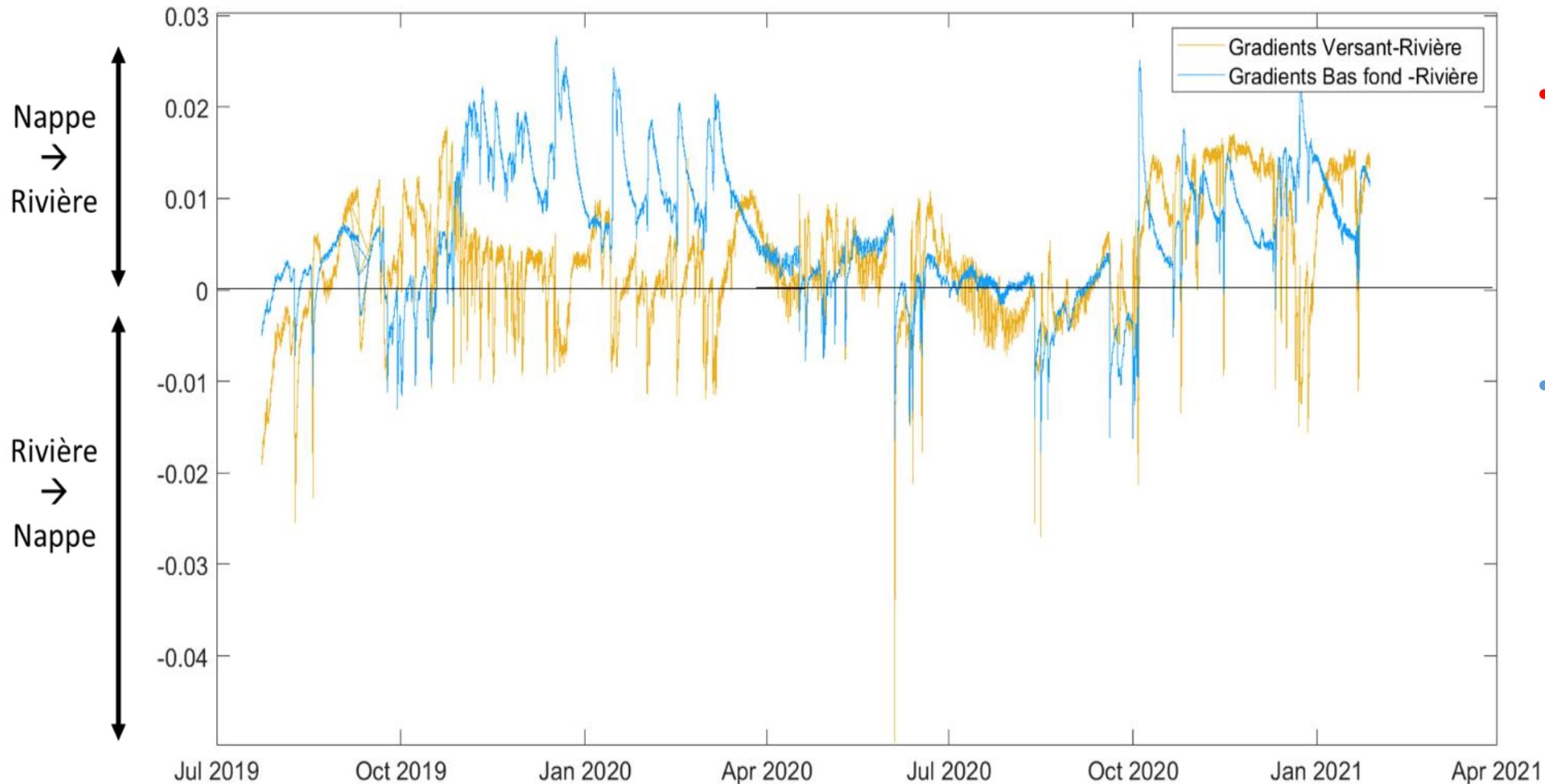
écoulements souterrains Formation piézométrie – Novembre 2021



Inversion **niveau versant/rivière** seulement lors de crues en **été** (niveau de nappe très bas sur les versants)



- Echanges nappe rivière : dynamique échanges lors de certaines crues



- Piézomètres au abords du cours d'eau : inversions plus fréquentes

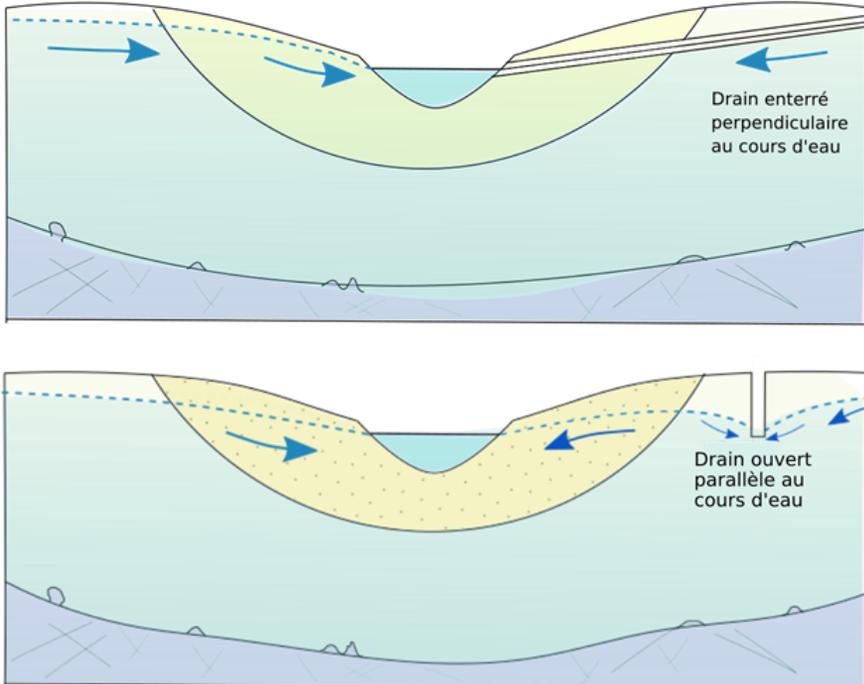
- Inversion niveau versant/rivière seulement lors de crues en été (niveau de nappe très bas sur les versants)

# Modification des échanges nappe rivière: processus/impacts

- Processus modifiant la hauteur de nappe dans le bas fond

- **Drains**

Effet du drainage sur le toit de la nappe



**LÉGENDE:**

Socle fissuré	Alluvions
Altérites	Zone saturée
Toit de la nappe	Echelle : 1- 10 mètres
Flux échangés	

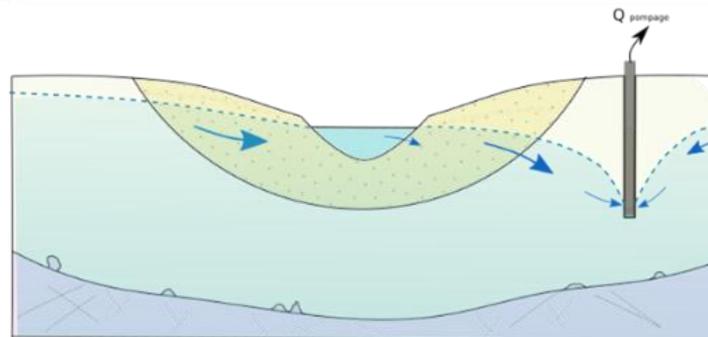
- Diminution du niveau de nappe

- Diminution des apports nappe → rivière

# Processus modifiant les échanges nappe-rivière

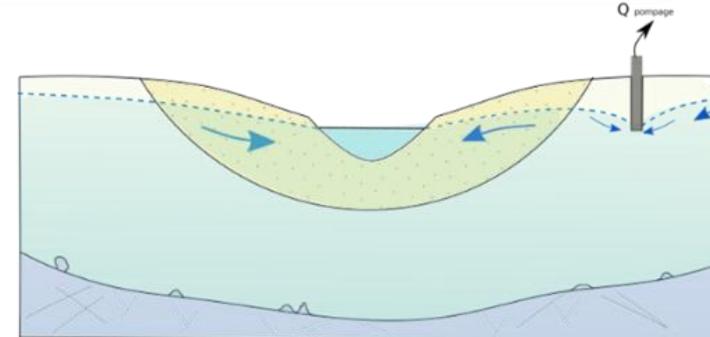
## Pompages

### Impact des pompages sur les échanges nappe rivière



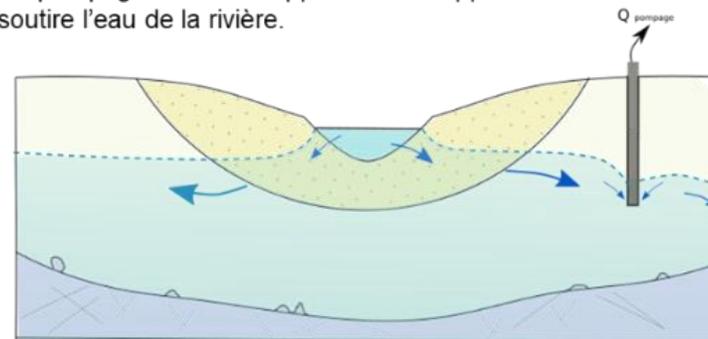
1 Le pompage soutire l'eau de la rivière

Le pompage diminue l'apport de la nappe vers la rivière et soutire l'eau de la rivière.



2 Le pompage ne soutire pas l'eau de la rivière

Le pompage diminue l'apport de la nappe vers la rivière mais ne soutire pas d'eau à la rivière.



3 Le pompage augmente le débit provenant de la rivière

La rivière alimente la nappe et le pompage amplifie le débit soutiré à la rivière

#### LÉGENDE:

- Socle fissuré
  - Alluvions
  - Altérites
  - Zone saturée
  - Toit de la nappe
  - Flux échangés
- Echelle : 1- 10 mètres

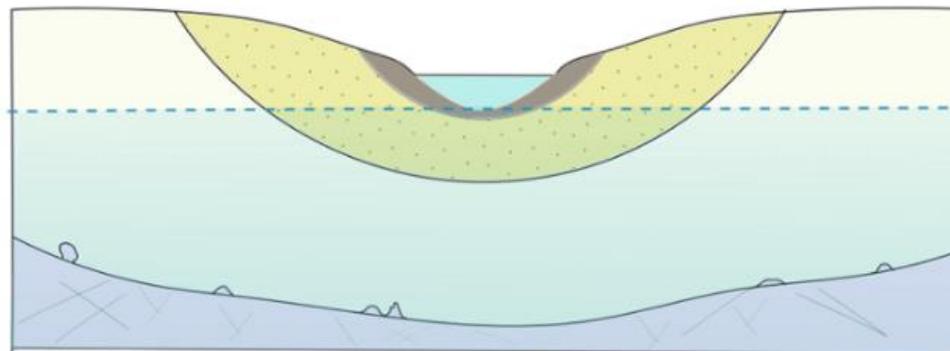
Modifié d'après Daum et al., 1997 dans Vernoux et al., 2010



- Processus modifiant les échanges nappe-rivière

- **Colmatage**

Le colmatage des berges et du lit des cours d'eau représente l'obstruction des interstices dans l'interface nappe rivière, par le dépôt de sédiments fin ou le développement important d'un biofilm à la surface ou dans les sédiments du lit des cours d'eau. S'il est à un stade avancé, il peut empêcher les flux entre la nappe et la rivière



3

Absence d'échanges

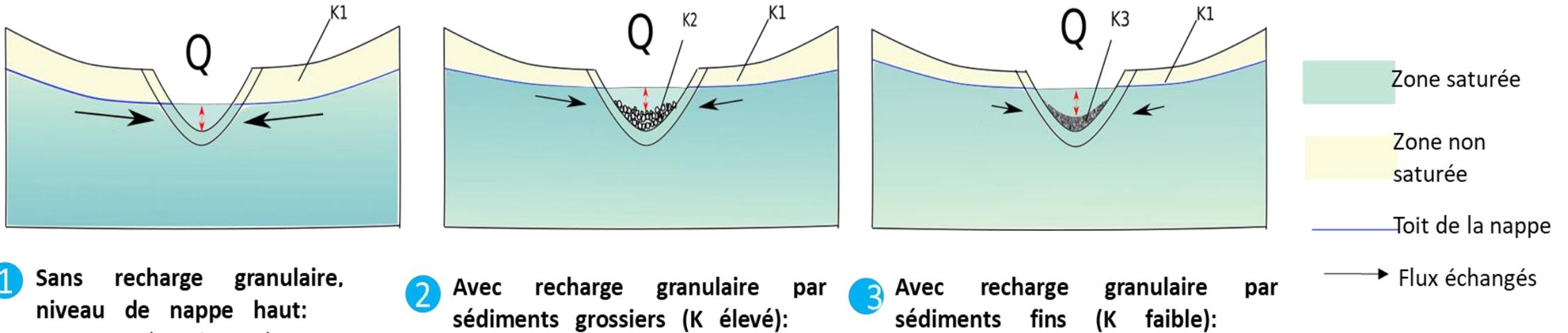
Le lit du cours d'eau est recouvert d'une couche imperméable dû au colmatage du lit la rivière. **Il n'y a pas d'échanges entre la nappe et le cours d'eau.**

- Processus modifiant les échanges nappe-rivière
- ***Cours d'eau anthropisé ou déplacé***

Déplacer un cours d'eau pour des raisons urbaines ou agricoles, ou **modifier ses caractéristiques structurelles et morphologiques (gabarit, chenalisation, revêtement ou modification des berges, suppression des méandres, endiguement, etc..)** modifie quantitativement et qualitativement les échanges entre le cours d'eau et la nappe adjacente.

# • Processus modifiant les échanges nappe-rivière

## • *Recharge granulaire*



Impacts: - augmentation du niveau d'eau dans la rivière → augmentation locale du niveau de nappe  
- si Q petit, risque de disparition du niveau d'eau libre

- ⇒ Les principales grandeurs physiques qui contrôlent les interactions nappe rivière sont : **les gradients hydrauliques de nappe et la conductivité hydraulique (K) des substrats.**
- ⇒ Les échanges entre la nappe et la rivière varient au cours de l'année **en fonction de l'état de saturation du bassin versant.**
- ⇒ La dynamique des **zones humides** est principalement **contrôlée par les variations de hauteur de nappe.**
- ⇒ Les **modifications sur les cours d'eau** peuvent **modifier le sens, l'amplitude et la fréquence des échanges nappe-rivière.**
- ⇒ **Toute implantation** sur un versant ou dans le fond de la vallée **de drains** (enterrés /à ciel ouvert) **ou de pompage accélère le transfert de l'eau en aval et diminue la capacité de stockage dans la nappe.**
- ⇒ **La pérennité des débits d'étiage et des zones sources** dépend des infiltrations d'eau dans les sous-sol des versants et **de l'alimentation de la nappe à l'échelle du bassin versant.**