

Les interactions entre l'eau souterraine et l'eau de surface – des enjeux pour les territoires.

L'exemple de l'Huveaune et de la Sainte-Baume aux Calanques (13 & 83)

Bruno ARFIB

Maître de conférences

arfib@cerege.fr

www.karsteau.fr

**Université du RREN – en partenariat avec le RRGMA :
l'eau et les gestionnaires de milieux face aux enjeux d'aujourd'hui et de demain**

20 septembre 2023, Gréoux les Bains



Projet Karst-Huveaune (2018-2023)



Carte 5E-B : Masses d'eau et aquifères stratégiques pour l'alimentation en eau potable Ressources d'enjeu départemental à régional à préserver

Réalisation:
© Agence de l'eau RMC
Délégation Paca & Corse - Mars 2016

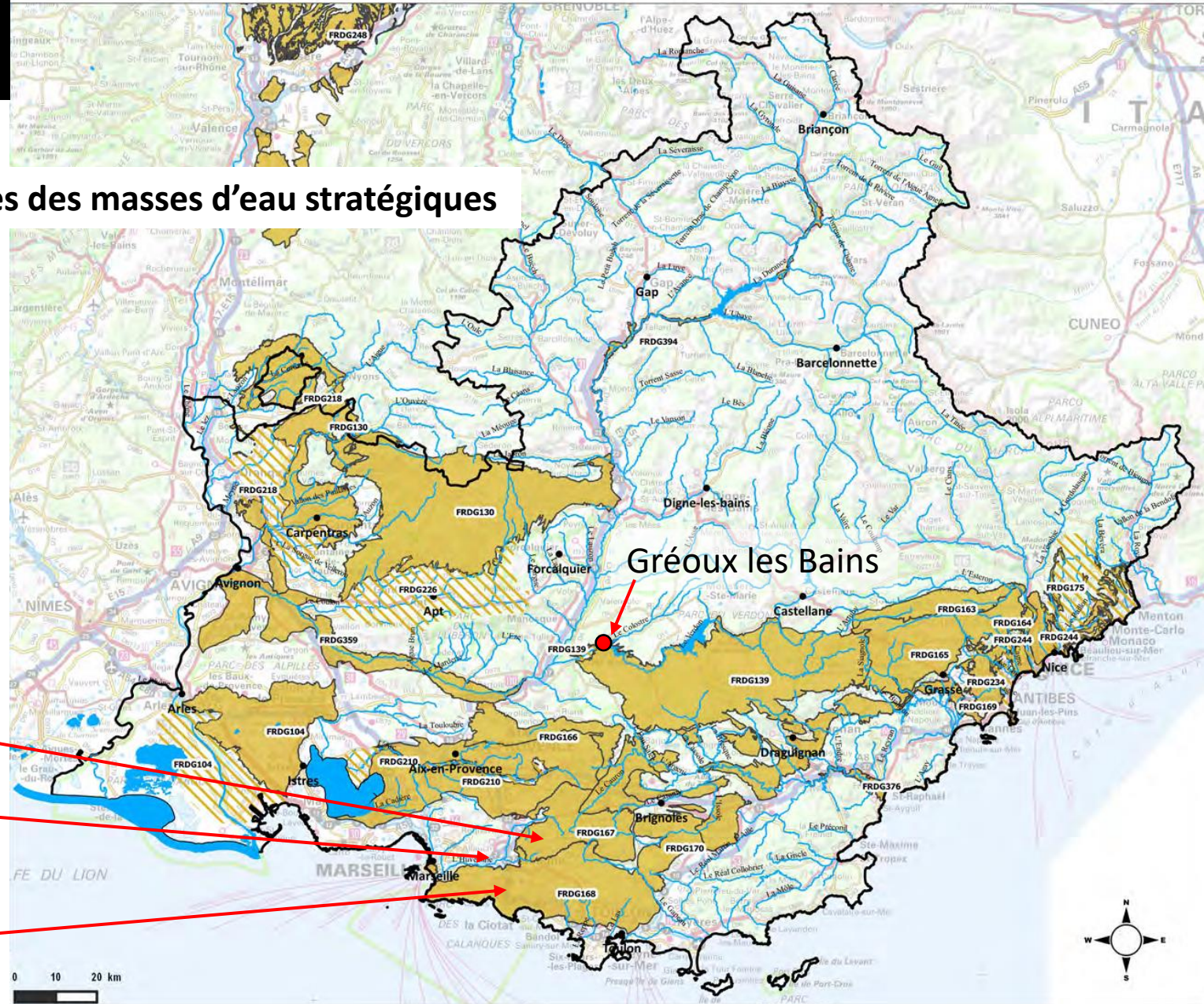


SDAGE 2016-2021

Masses d'eau souterraine dans lesquels sont
à délimiter les zones de sauvegarde

-  Masses d'eau à l'affleurement
-  Masses d'eau souterraine profondes (niveau 1)

Améliorer les connaissances des masses d'eau stratégiques



Sainte-Baume

Huveaune

Calanques -
Beausset

Projet Karst-Huveaune (2018-2023)

hydrodynamique

géologie

hydrochimie

ressource en eau stratégique du bassin de l'Huveaune

Thèse de doctorat : Thibaut Garin (15/12/2022)

Contraire la recharge, les modalités et structures d'écoulement en contexte carbonaté - Application aux ressources en eau des bassins versants de l'Huveaune et du karst de Port-Miou (Sud-Est de la France)

Direction : Bruno Arfib, Julio Goncalves (AMU), Bernard Ladouche, Benoît Dewandel (BRGM)

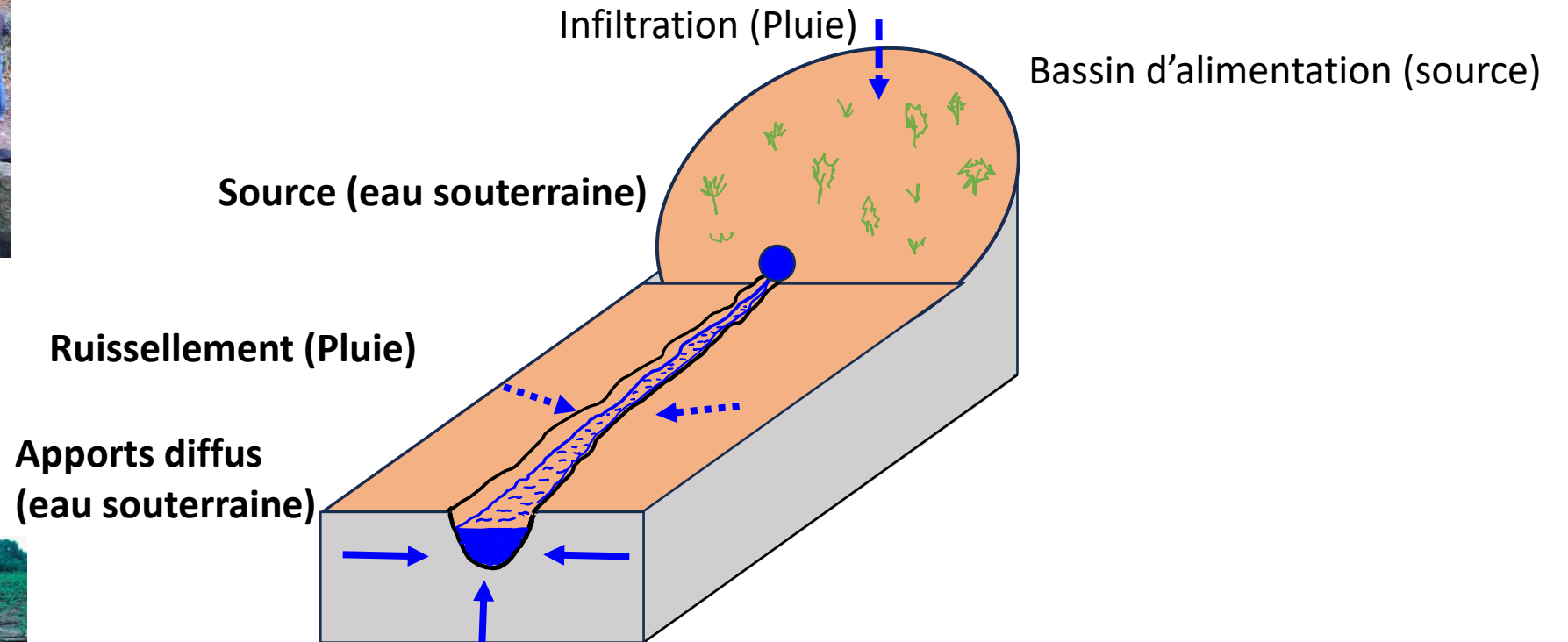
Documents accessibles en ligne



Quels liens entre eau souterraine et eau de surface?

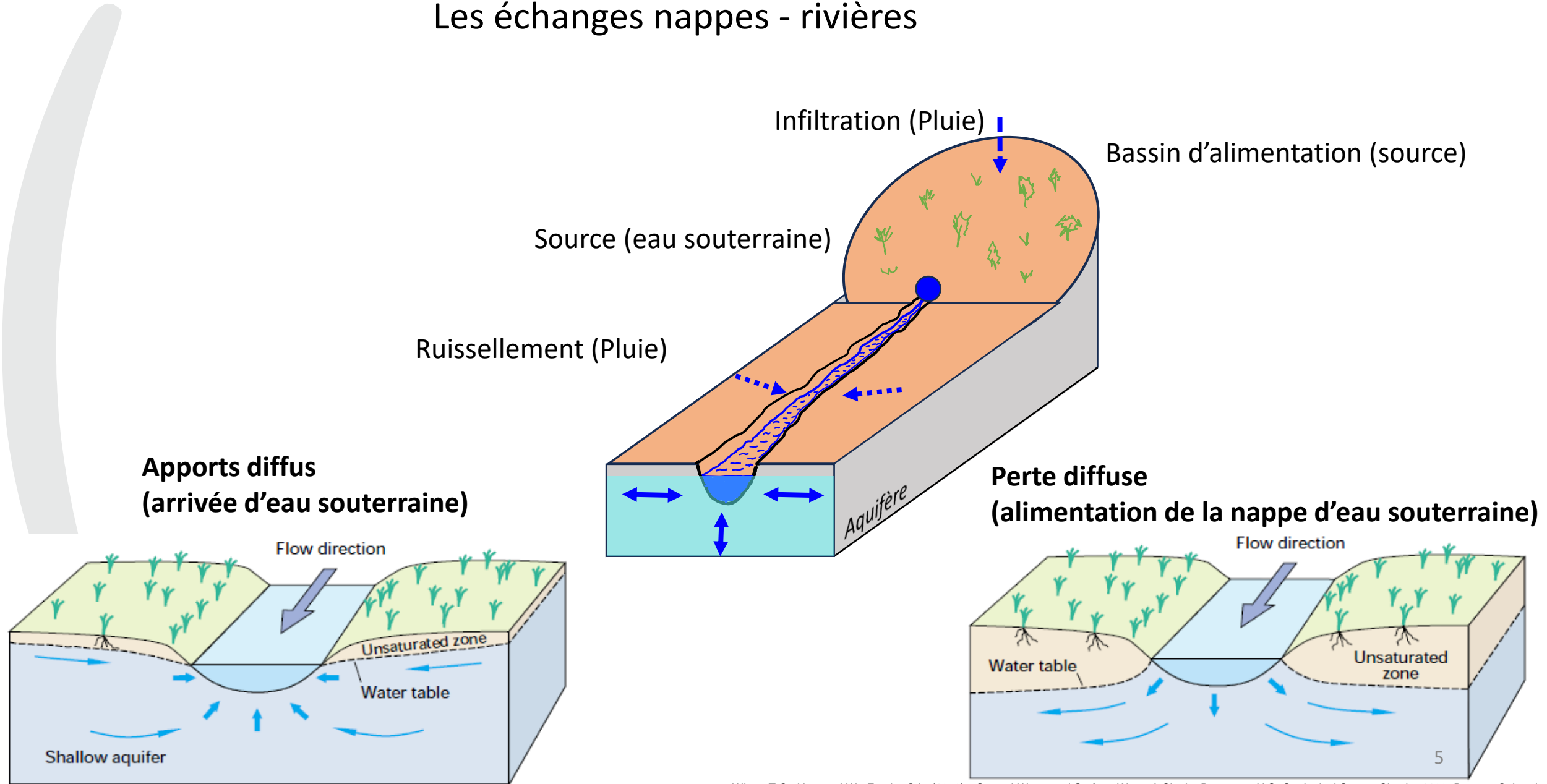
D'où vient l'eau des rivières?

Sans apport anthropique

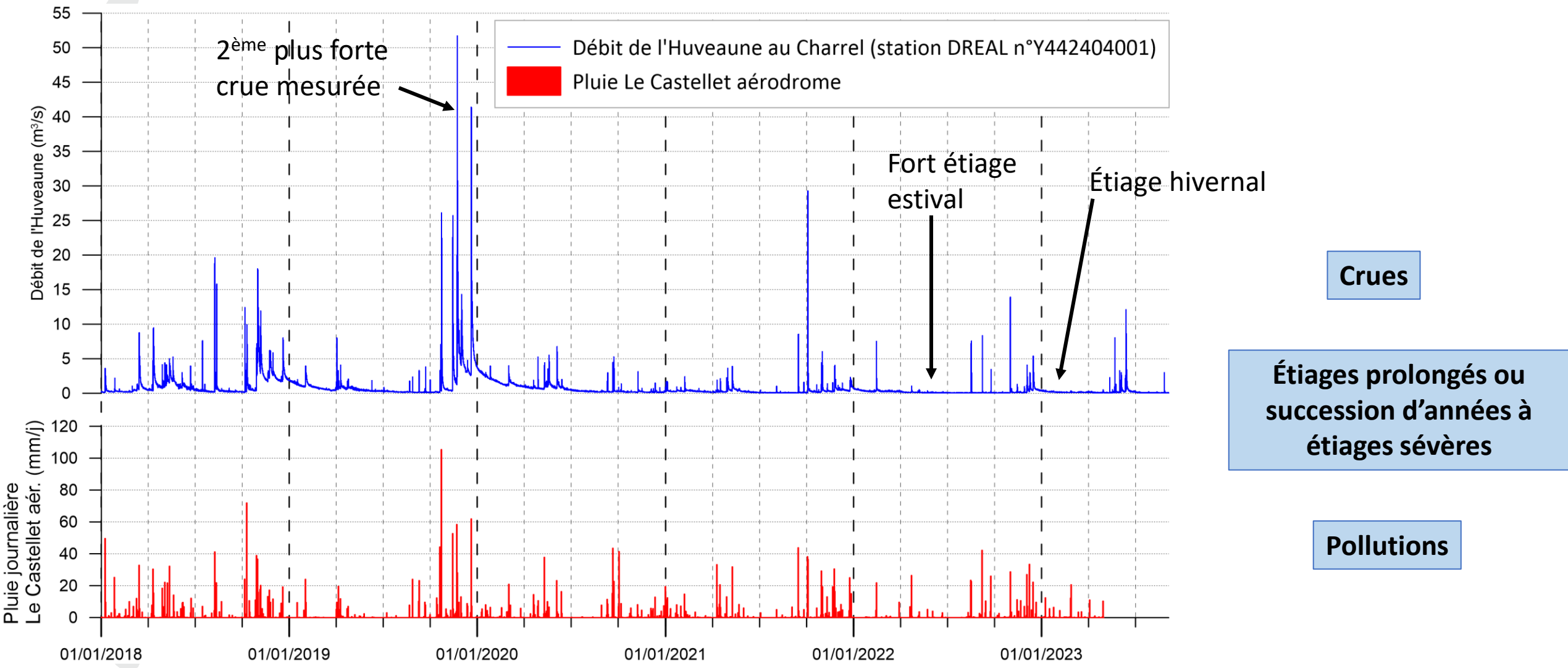


Quels liens entre eau souterraine et eau de surface?

Les échanges nappes - rivières



Les situations à risques sur la quantité et la qualité des eaux souterraines et de surface (vues par l'hydrogéologue)



Quelles solutions pour des prélèvements d'eau durant les étiages?

Solutions (techniques)

- Diminuer les besoins
- Transporter l'eau (intra-bassin, inter-bassins)
- Eau souterraine locale (stock, recharge décalée dans le temps)



Canal à Signes



Eau du Verdon

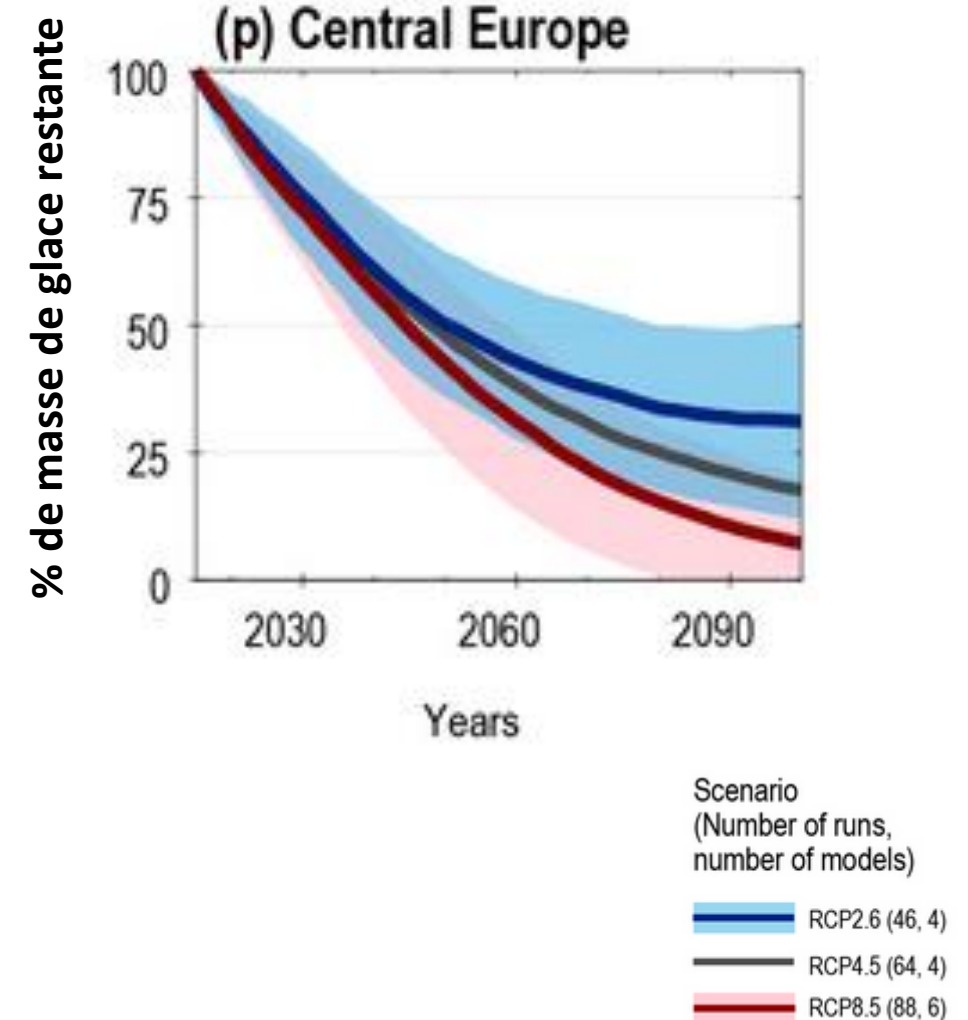
Quelles solutions pour des prélèvements d'eau durant les étiages?

Solutions (techniques)

- Diminuer les besoins
- Transporter l'eau (intra-bassin, inter-bassins)
- Eau souterraine locale (stock, recharge décalée dans le temps)

Les risques (hydrogéologiques)

- Stock d'eau des glaciers diminue avec le CC (fonte + précipitations liquides en hiver)



Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (2019)
<https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-2/>

Quelles solutions pour des prélèvements d'eau durant les étiages?

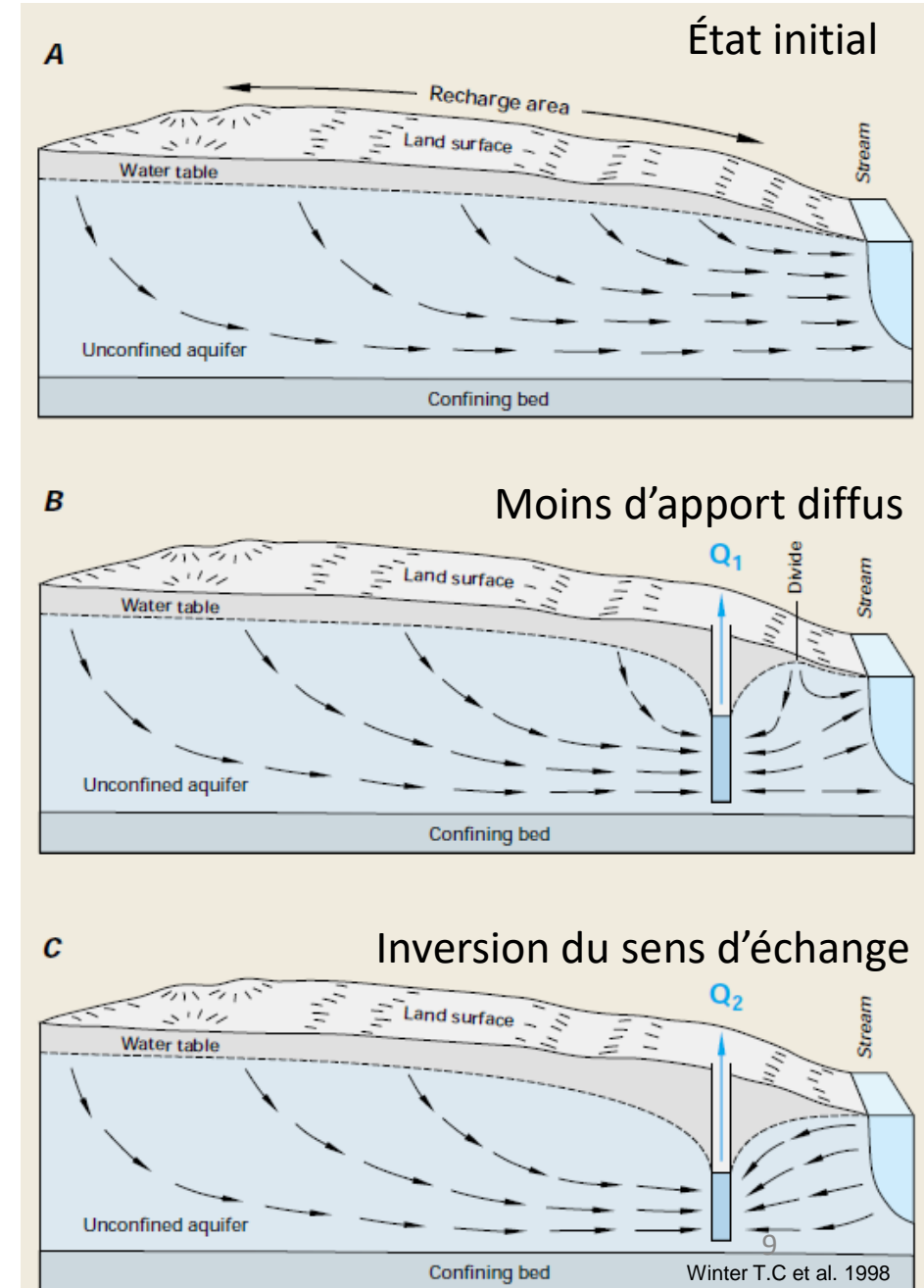
Solutions (techniques)

- Diminuer les besoins
- Transporter l'eau (intra-bassin, inter-bassins)
- Eau souterraine locale (stock, recharge décalée dans le temps)

Les risques (hydrogéologiques)

- Stock d'eau des glaciers diminue avec le CC (fonte + précipitations liquides en hiver)
- Moins d'eau dans les rivières

Pompage en forage : effet sur le débit de la rivière



Quelles solutions pour des prélèvements d'eau durant les étiages?

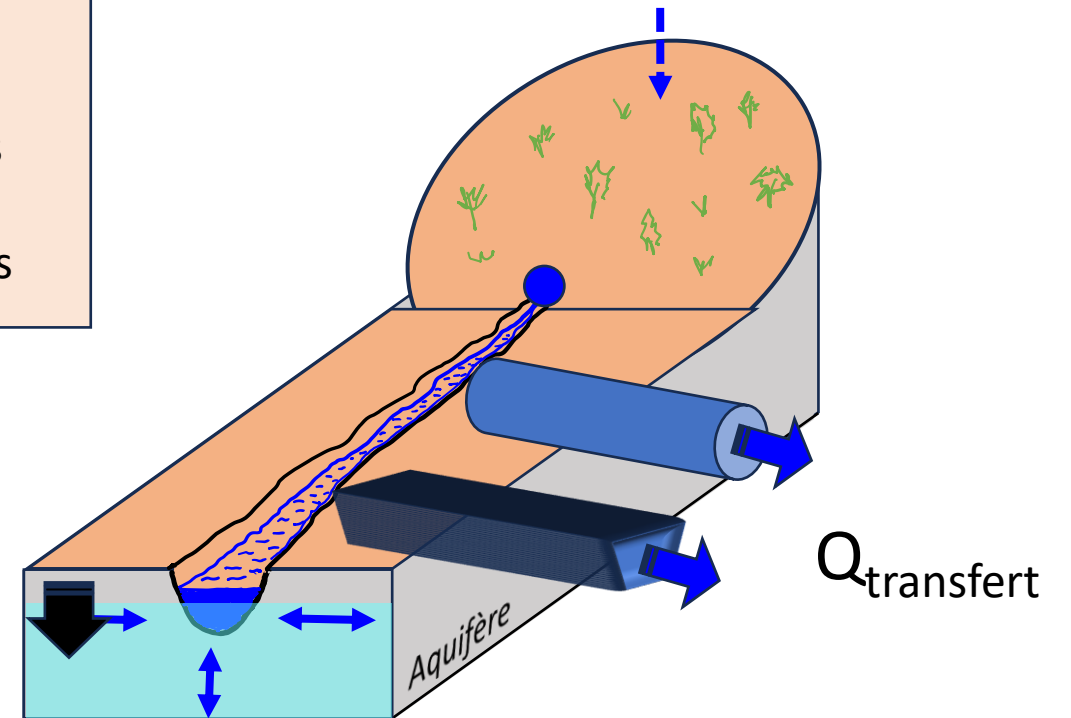
Solutions (techniques)

- Diminuer les besoins
- Transporter l'eau (intra-bassin, inter-bassins)
- Eau souterraine locale (stock, recharge décalée dans le temps)

Les risques (hydrogéologiques)

- Stock d'eau des glaciers diminue avec le CC (fonte + précipitations liquides en hiver)
- Moins d'eau dans les rivières, moins d'apports aux nappes

Effet sur le débit de la rivière et de la nappe



Quelles solutions pour des prélèvements d'eau durant les étiages?

Solutions (techniques)

- Diminuer les besoins
- Transporter l'eau (intra-bassin, inter-bassins)
- Eau souterraine locale (stock, recharge décalée dans le temps)

Les risques (hydrogéologiques)

- Stock d'eau des glaciers diminue avec le CC (fonte + précipitations liquides en hiver)
- Moins d'eau dans les rivières, moins d'apports aux nappes
- Surexploitation

$$Q_{\text{pompage}} \gg Q_{\text{recharge}}$$

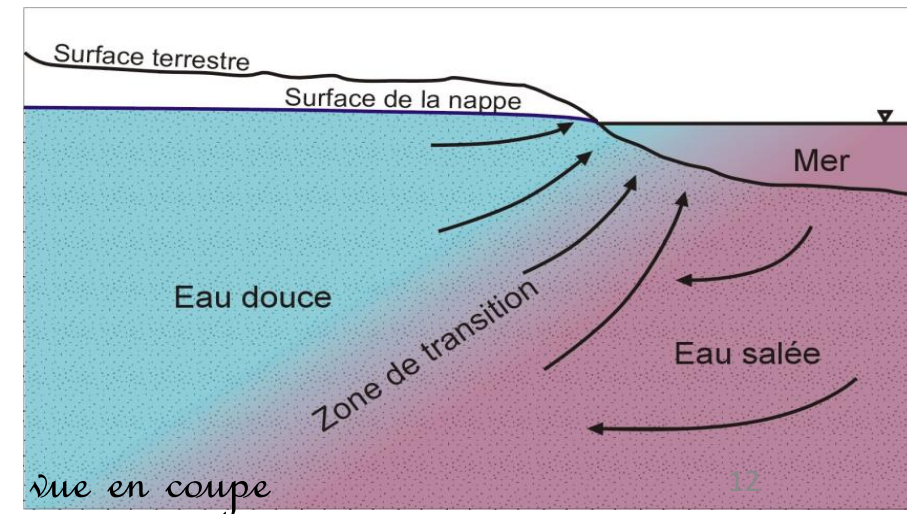
Quelles solutions pour des prélèvements d'eau durant les étiages?

Solutions (techniques)

- Diminuer les besoins
- Transporter l'eau (intra-bassin, inter-bassins)
- Eau souterraine locale (stock, recharge décalée dans le temps)

Les risques (hydrogéologiques)

- Stock d'eau des glaciers diminue avec le CC (fonte + précipitations liquides en hiver)
- Moins d'eau dans les rivières, moins d'apports aux nappes
- Surexploitation
- Intrusion saline (zone côtière)



Quelles solutions pour des prélèvements d'eau durant les étiages?

Solutions (techniques)

- Diminuer les besoins
- Transporter l'eau (intra-bassin, inter-bassins)
- Eau souterraine locale (stock, recharge décalée dans le temps)

Les risques (hydrogéologiques)

- Stock d'eau des glaciers diminue avec le CC (fonte + précipitations liquides en hiver)
- Moins d'eau dans les rivières, moins d'apports aux nappes
- Surexploitation
- Intrusion saline (zone côtière)

Quelles actions ?

- Études (connaissance) : limites de BV, temps de renouvellement de l'eau, volumes, mélanges ...
- Observatoires : réseaux de mesures
- Exemple d'outil de gestion : zones de sauvegarde

Karst-Huveaune

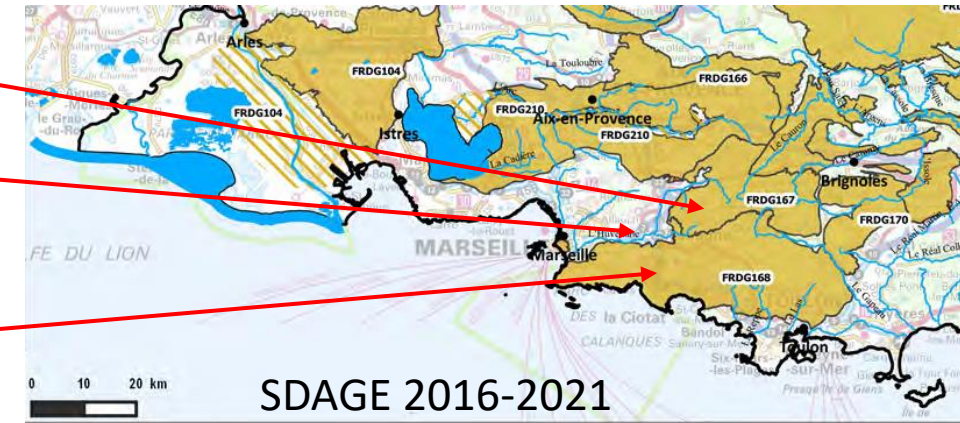
Projet Karst-Huveaune (2018-2023)

Améliorer les connaissances des masses d'eau stratégiques

Sainte-Baume

Huveaune

Calanques -
Beausset

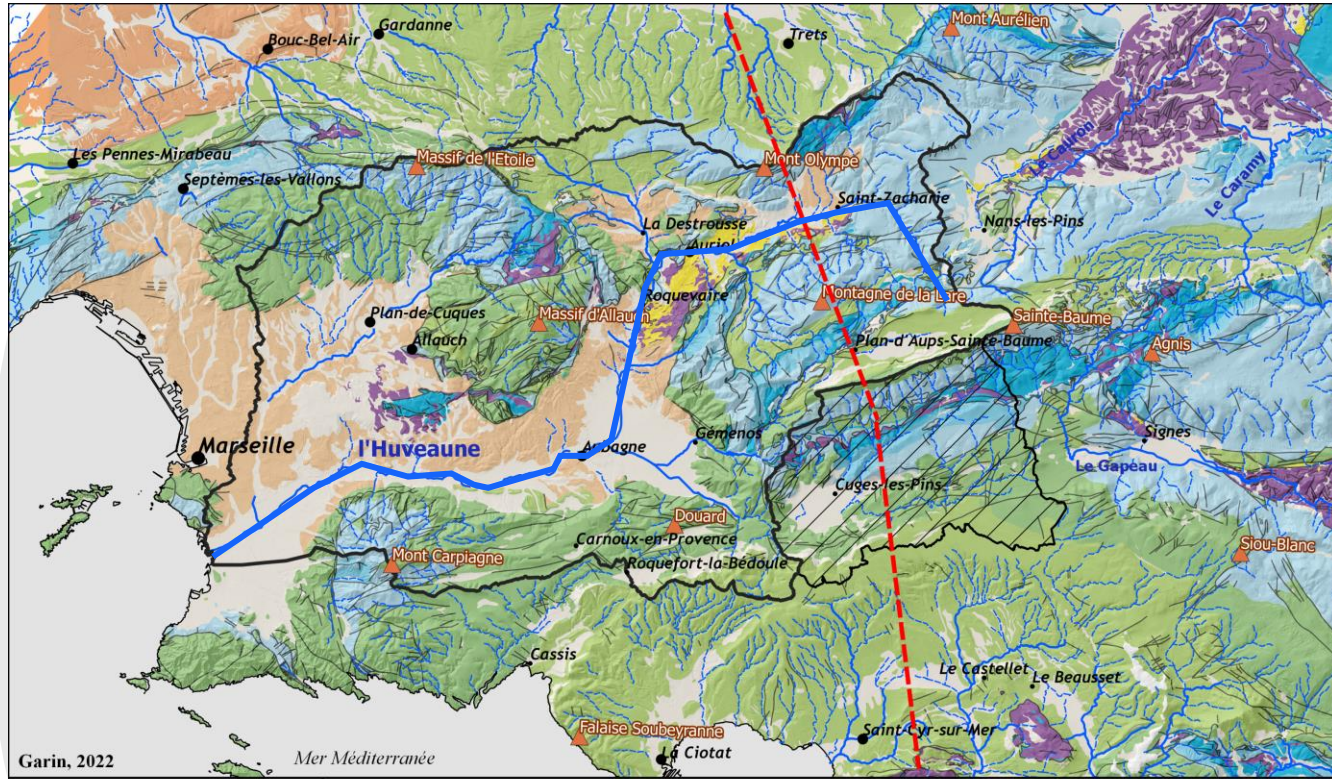


Une sélection de 2 résultats

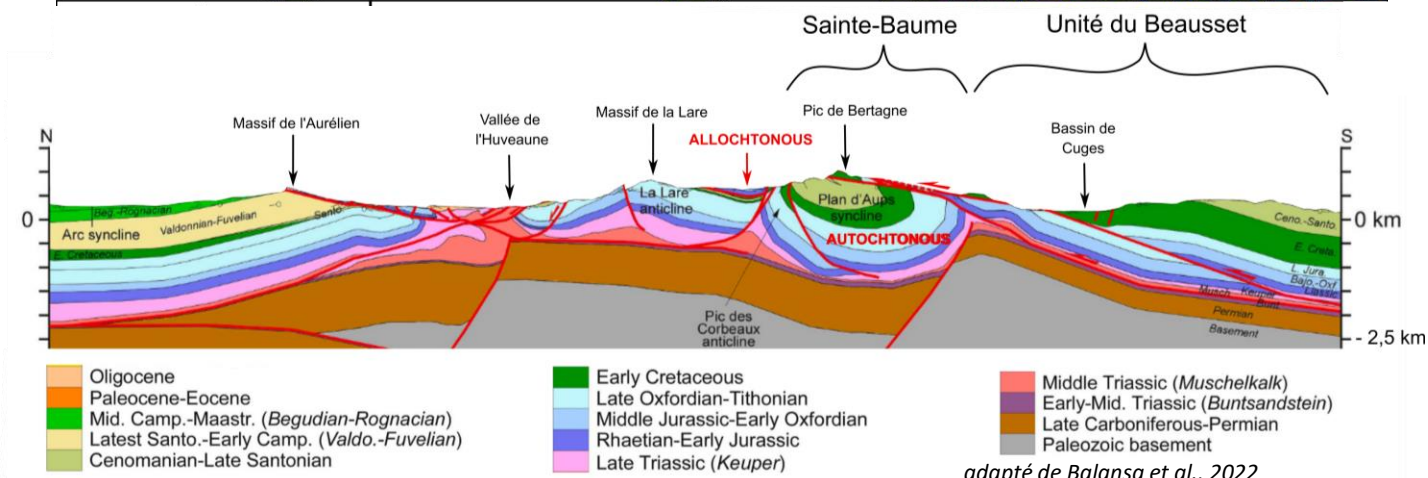
→ L'imbrication des bassins versants de l'Huveaune et de Port-Miou

→ Différencier les masses d'eau souterraines

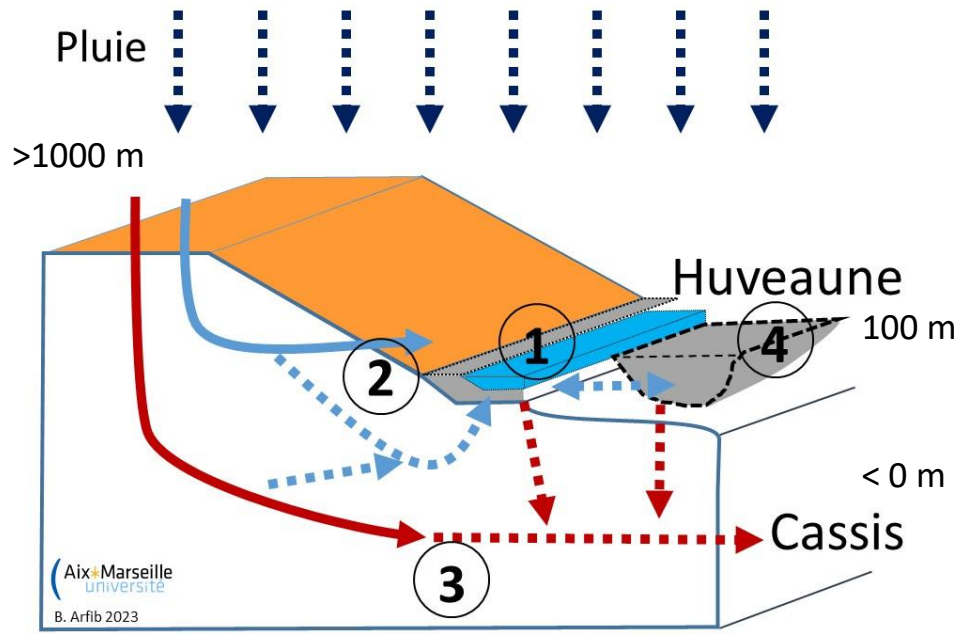
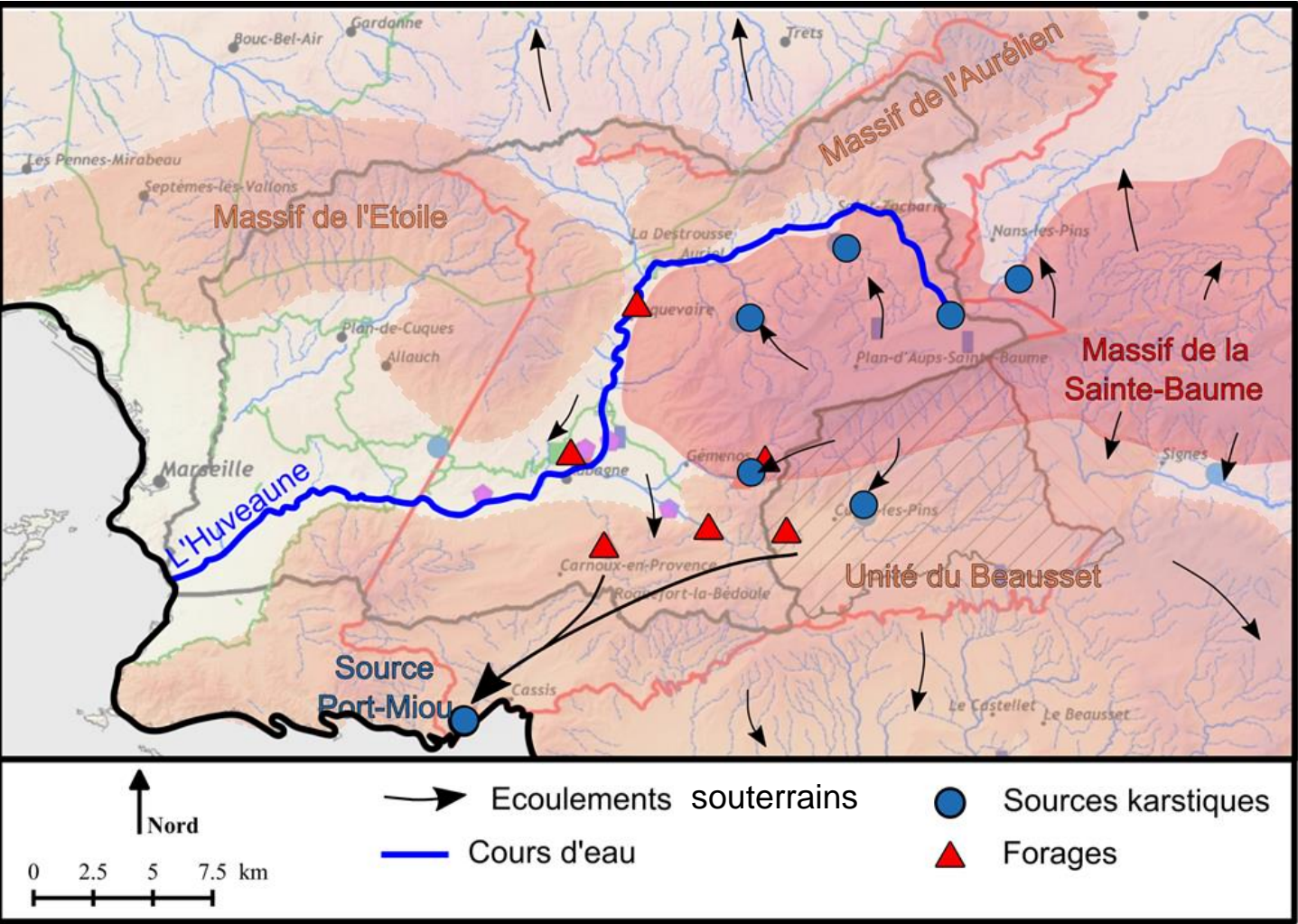
Contexte géologique



- Bassin versant topographique de l'Huveaune (>500 km²)
- Formations calcaires et dolomitiques du Crétacé et Jurassique → Karst
- Grandes structures de chevauchement d'orientation est-ouest (décollement sur le gypse du Trias)

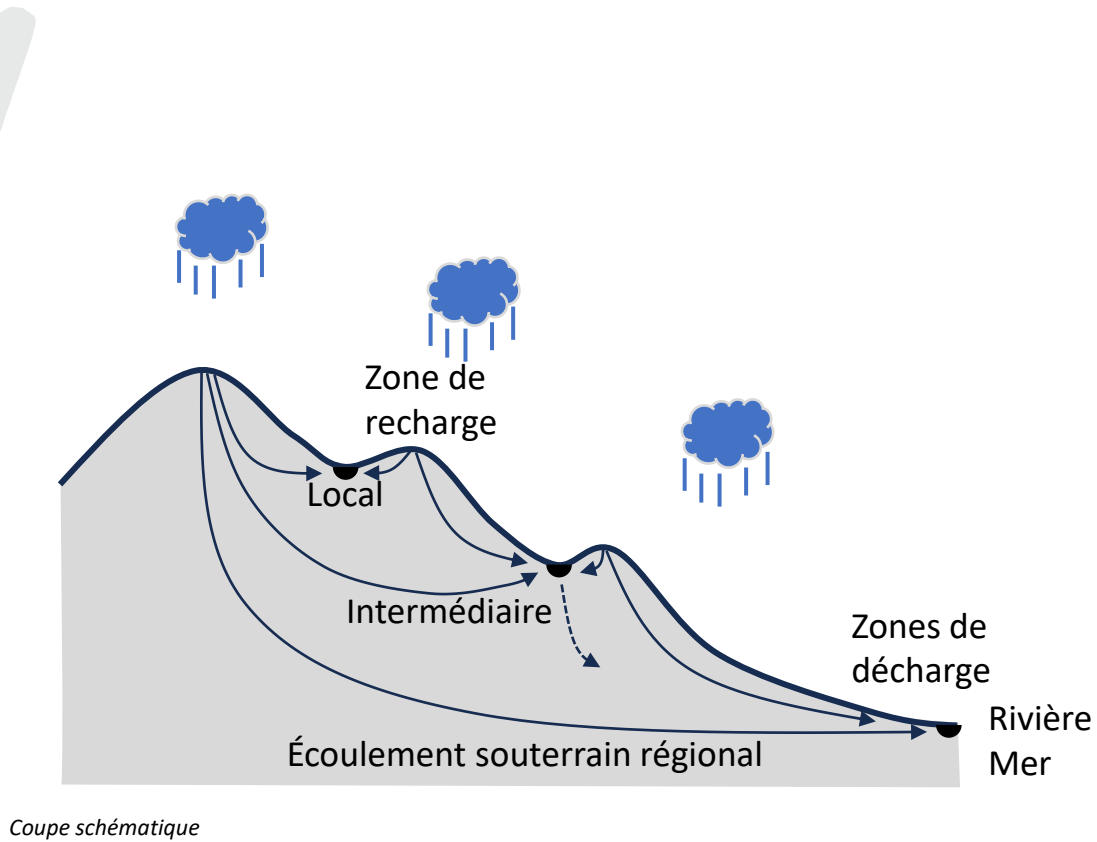


2 bassins versants superposés !



(Aix-Marseille université)
B. Arfib 2023

Les masses d'eau et les écoulements

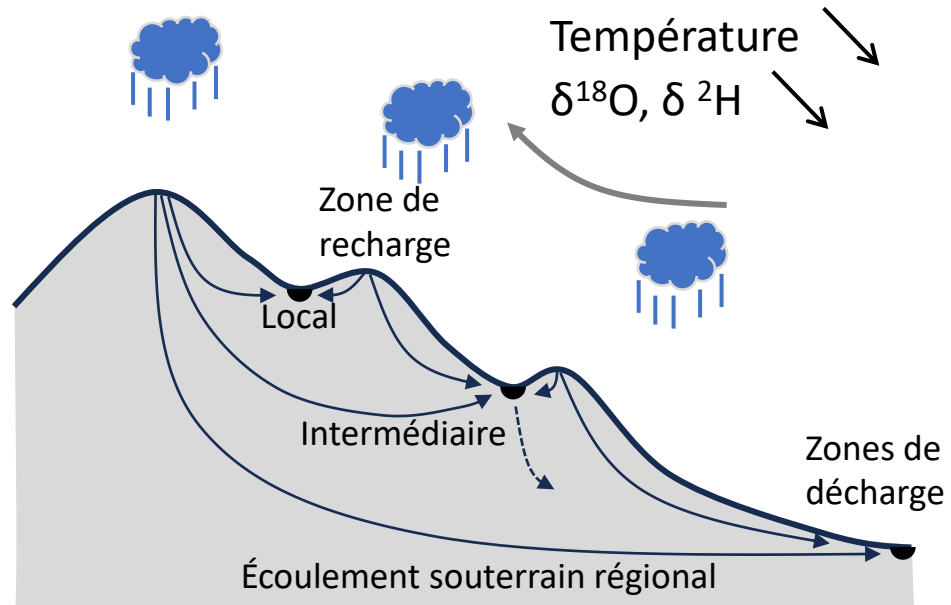


Écoulement local ↔ Écoulement régional

☹️ Moins d'eau dans les écoulements de surface locaux

😊 Une configuration qui permet de capter l'eau souterraine sur l'écoulement régional pour limiter l'impact sur les écoulements de surface locaux

Comment différencier les masses d'eau?



Comment différencier les masses d'eau?

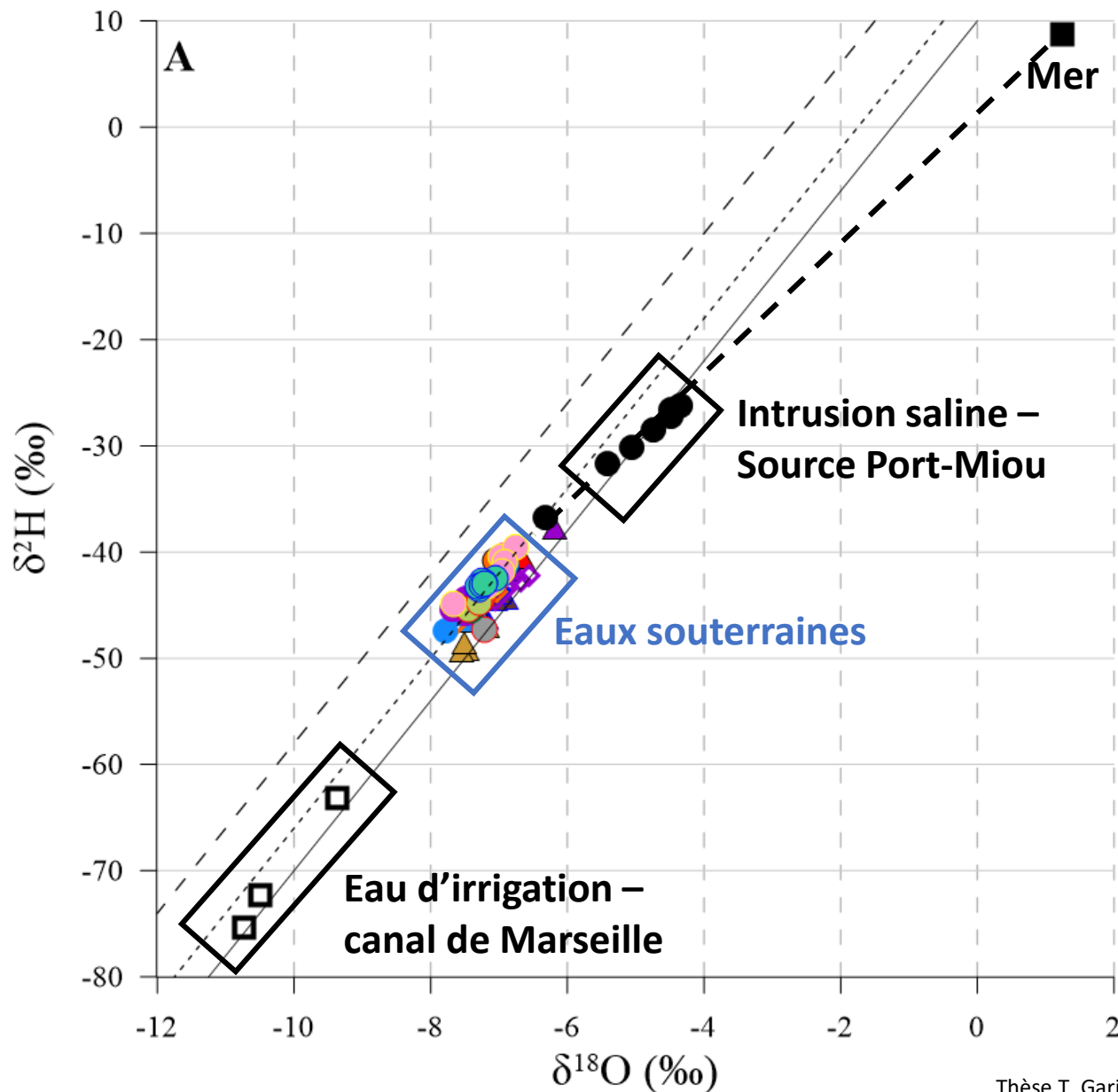
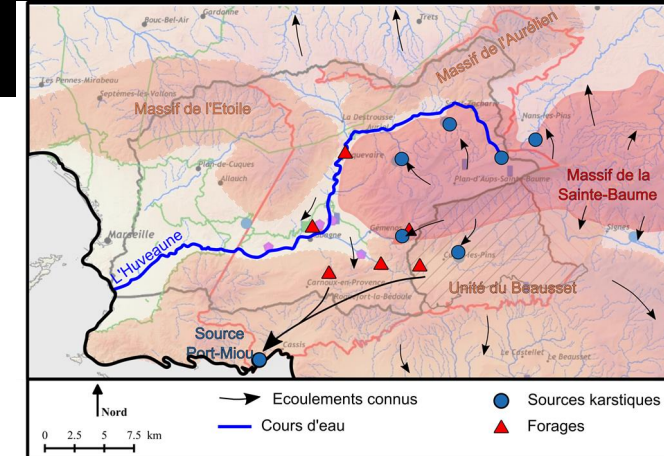
Exemple d'une méthode d'hydrochimie utilisant les isotopes stables de l'eau (H₂O)

Oxygène 18 : δ¹⁸O
Deutérium : δ²H

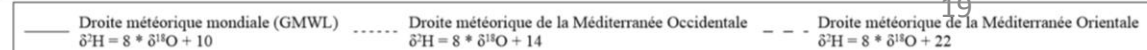
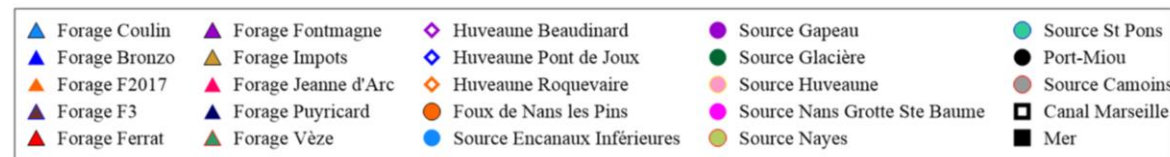
24 points de prélèvements

- 10 sources
- 9 forages
- 3 points sur l'Huveaune
- 1 sur le canal de Marseille

Identification des masses d'eau par les isotopes stables de l'eau

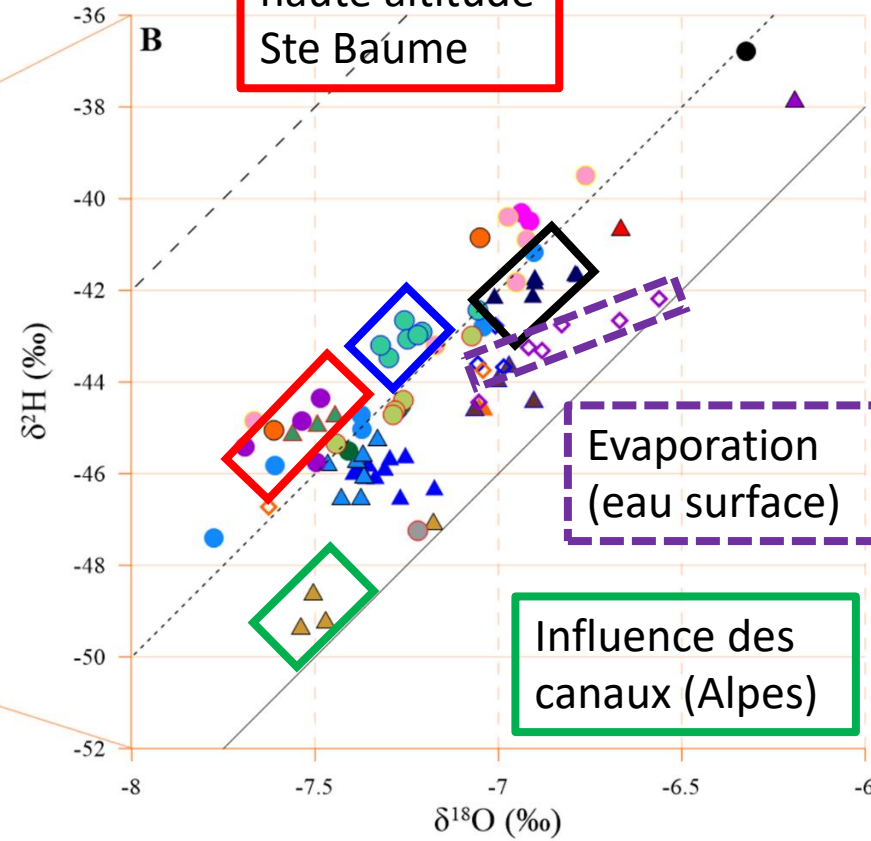
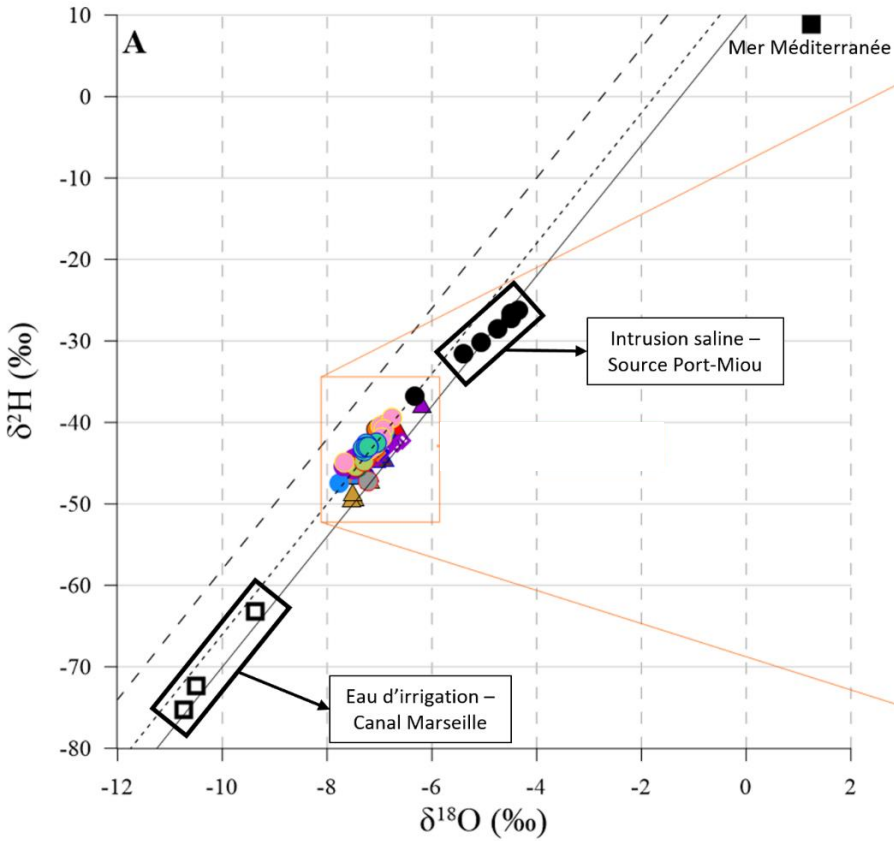


- Eau des Alpes (transport par les canaux)
- Intrusion saline (karst de Port-Miou)
- Variabilité dans les eaux souterraines



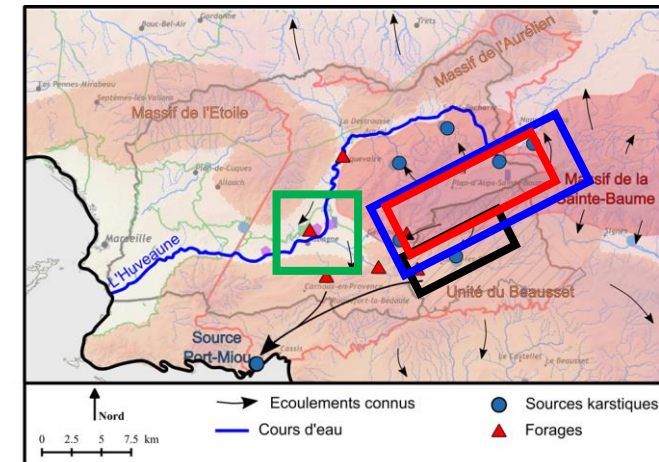
Outil de classification régionale des masses d'eau douce par les isotopes stables de l'eau

Un nouvel outil pour le territoire



Sud St-Baume

+ points à signal variable :
transfert rapide de la pluie

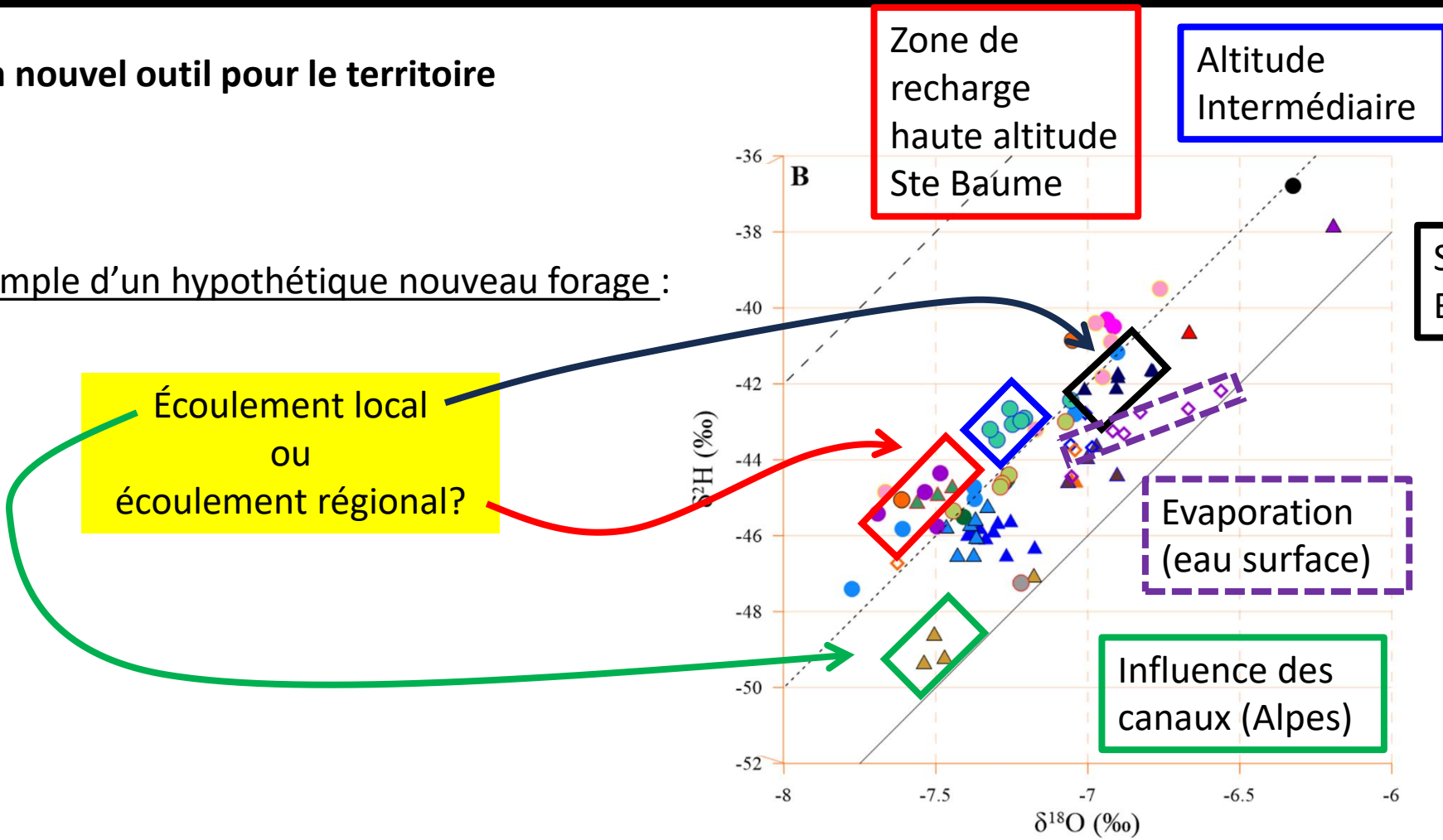


- | | | | | |
|-----------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| ▲ Forage Coulin | ▲ Forage Fontmagne | ◇ Huveaune Beaudinard | ● Source Gapeau | ● Source St Pons |
| ▲ Forage Bronzo | ▲ Forage Impots | ◇ Huveaune Pont de Joux | ● Source Glacière | ● Port-Miou |
| ▲ Forage F2017 | ▲ Forage Jeanne d'Arc | ◇ Huveaune Roquevaire | ● Source Huveaune | ● Source Camoins |
| ▲ Forage F3 | ▲ Forage Puyricard | ● Foux de Nans les Pins | ● Source Nans Grotte Ste Baume | ■ Canal Marseille |
| ▲ Forage Ferrat | ▲ Forage Vèze | ● Source Encanaux Inférieures | ● Source Naves | ■ Mer |
- Droite météorique mondiale (GMWL) $\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 10$
 - - - Droite météorique de la Méditerranée Occidentale $\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 14$
 - · - Droite météorique de la Méditerranée Orientale $\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 22$

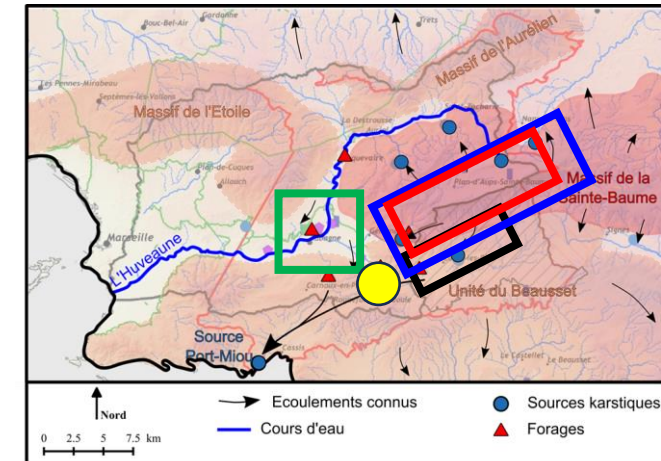
Outil de classification régionale des masses d'eau douce par les isotopes stables de l'eau

Un nouvel outil pour le territoire

Exemple d'un hypothétique nouveau forage :



+ points à signal variable :
transfert rapide de la pluie



- | | | | | |
|-----------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| ▲ Forage Coulin | ▲ Forage Fontmagne | ◇ Huveaune Beaudinard | ● Source Gapeau | ● Source St Pons |
| ▲ Forage Bronzo | ▲ Forage Impots | ◇ Huveaune Pont de Joux | ● Source Glacière | ● Port-Miou |
| ▲ Forage F2017 | ▲ Forage Jeanne d'Arc | ◇ Huveaune Roquevaire | ● Source Huveaune | ● Source Camoins |
| ▲ Forage F3 | ▲ Forage Puyricard | ● Foux de Nans les Pins | ● Source Nans Grotte Ste Baume | ■ Canal Marseille |
| ▲ Forage Ferrat | ▲ Forage Vèze | ● Source Encanaux Inférieures | ● Source Naves | ■ Mer |

— Droite météorique mondiale (GMWL) $\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 10$ - - - Droite météorique de la Méditerranée Occidentale $\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 14$ - - - Droite météorique de la Méditerranée Orientale $\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 22$

Exemple : Quelles solutions pour des prélèvements d'eau durant les étiages?

Solutions (techniques)

- Diminuer les besoins
- Transporter l'eau (intra-bassin, inter-bassins)
- Eau souterraine locale (stock, recharge décalée dans le temps)

Les risques (hydrogéologiques)

Quels outils réglementaires de gestion pour minimiser les risques et tenir compte des enjeux multiples?

Quelles actions ?

- Études (connaissance) : limites de BV, temps de renouvellement de l'eau, volumes, mélanges
- Observatoires : réseaux de mesures

Des enjeux multiples

- Ressource en eau
- Gestion des milieux aquatiques
- Stations d'épuration
- Prévention des inondations
- Impacts socio-économiques
- ...

Remerciements

Les doctorants : T. Cavalera, A. Fournillon, A. Tassy, C. Baudement, J. Jouves, T. Garin

Thèse de doctorat et rapport de projet Karst-Huveaune :

Thibaut Garin (2022) Contraindre la recharge, les modalités et les structures d'écoulement en contexte carbonaté karstique par une approche pluridisciplinaire - Application aux ressources en eau des bassins versants de l'Huveaune et de Port-Miou (SE France). Thèse de doctorat de l'université Aix-Marseille. Co-direction : J. Goncalves, B. Arfib, B. Ladouche. 368 pages. tel-04078228v1

Mémoire (368 pages) : http://www.karsteau.fr/telechargement/These_Thibaut_Garin_2022_KarstHuveaune.pdf

Ou : <https://theses.hal.science/tel-04078228v1>

Présentation de soutenance de thèse : http://www.karsteau.fr/telechargement/Soutenance_ThibautGarin_KarstHuveaune_151222web.pdf

