



Z A B R

Journée eau et connaissance

Eaux souterraines

Le maillon invisible d'une seule et même ressource

Lundi 11 décembre 2023

Lyon

Caractérisation des interactions
eaux souterraines/eaux superficielles :
cas des tourbières de Frasne et Luitel (Projet ZHTB)
et du karst de la Cèze (Projet karst/rivière)

Frédéric Paran

Contact : frederic.paran@mines-stetienne.fr



(1) Contexte

Mieux comprendre les interactions eau souterraine / eau superficielle

=

mieux comprendre les échanges d'eau en ces 2 compartiments

- *Dans quel sens est orienté le flux d'eau (ex: nappe vers rivière, rivière vers nappe...) ?*
- *Quelle est la quantité d'eau qui circule (ex: m³/s, m³/jour...) ?*
- *D'où vient cette eau ?*
- *Quelles interactions avec d'autres éléments de l'hydrosystème (ex : îônes, contre-canaux, dérivations, zones humides...) ?*
- *Quelles influences anthropiques (ex : pompes, barrages, seuils...) ?*
- *Quels impacts des changements climatiques ?*

(1) Contexte

(2) Tourbières : Projet ZHTB

- Développement méthodologique
- Principaux résultats

(3) Cèze : Projet karst/rivière

- Développement méthodologique
- Principaux résultats
- Transfert de connaissances

(4) Conclusion et perspectives

Annexes :

- Auteurs et contributeurs
- Références bibliographiques



Contenu

Plan

Contexte territorial / hydrogéologique :

(1) Zones humides de tête de bassins versants

- Interactions eau souterraine/eau superficielle/tourbières (Luitel, Frasne, Haute-vallée de l'Aude)
- Zones stratégiques pour l'alimentation des cours d'eau à l'étiage

(2) Karst

- Guide méthodologique Interactions karst/Cèze
- Zones stratégiques pour l'AEP (réserves peu connues)
- + Ardèche

Projet ZHTB : problématique

Questionnements ?

Stockage et restitution d'eau
Questionnement sur le "rôle d'éponge"

Interaction avec l'hydrosystème
Bilan hydrologique complexe

Typologie et structure
Fonction hydrologique compartimentée (espace/temps)



Scientifiques

- Interactions (fonctionnement)
- Quantification (soutien étage)
- Vulnérabilités (zones humides)

Opérationnelles

- Indicateurs (soutien d'étage)
- Transfert de connaissance
- Protection, gestion, restauration

(2) Tourbières : projet ZHTB

Interactions Eau sout'/Eau sup'/ZH

Quel est le rôle des zones humides (ex : tourbières) dans la fonction hydrologique de soutien d'étage (service de régulation) ?

Planification

- **Phase 1 (2016-2017) – terminée**

Rapport phase 1 disponible sur demande

- état de l'art et choix des sites d'étude
- construction de l'approche méthodologique
- plan d'action

- **Phase 2 (2017-2019) - terminée**

Rapport phase 2 disponible sur demande
Métadonnées : <https://metazabr.irstea.fr/geonetwork>

- instrumentation, mesures et échantillonnage
- réflexion sur le changement d'échelle
- réflexion sur les indicateurs

- **Phase 3 (2019-2022) – terminée**

Rapport phase 3 disponible sur demande

- analyse et interprétation
- changement d'échelle
- synthèse et valorisation

- **Tourbière de Luitel (Isère)**



Office National des Forêts

- **Tourbière de Frasne (Doubs)**

Lien : [projet SoHUMID](#)
BRGM/AFB



- **Autres sites : Tourbière de Praubert (74), Marais de Vaux (01), Tourbière de Montselgues (07)**

Échelle du site



(2) Tourbières : projet ZHTB

Interactions Eau sout'/Eau sup'/ZH

ZHTB : sites d'étude

- **Zones humides de la haute-vallée de l'Aude (massif du Madrès)**



Échelle du bassin versant

(2) Tourbières : projet ZHTB

Interactions Eau sout'/Eau sup'/ZH

Développement méthodologique : personnes impliquées

1. Volet hydrologie - F. Paran, D. Graillot, G. Artigue, F. Dujardin, A. Johannet, G. Bertrand, A. Lhosmot
(Y. Pascoletti, S. Pinel, H. Caldírak, J. Ré-Bahuau)

→ *Suivi hydrologique*

→ *Analyse statistique, modélisation RN*

2. Volet géochimie - V. Lavastre, G. Bertrand, A. Lhosmot

→ *Transfert et mélange d'eau*

3. Volet pédologie - H. Cubizolle, A.M. Dendievel, F. Gallice, V. Lavastre (T. Jolly)

→ *Grande carotte du Luitel / Articulation avec le volet géophysique*

4. Volet géophysique - T. Winiarski, F. Paran (T. Jolly)

→ *Géométrie et structure 3D*

5. Indicateurs de soutien d'étiage - F. Paran, P.O. Mazagol, C. Sacca, J. Riquier (M. Bertrand, S. Sadkou)

→ *Du site au bassin versant*

6. Haute-Vallée de l'Aude (ONF 11) : C. Cocula, E. Ebrard, K. Thomassin, V. Parmain, C. Turlesque, B. Laroque, M. Vion, S. Villarubias

(2) Tourbières : projet ZHTB

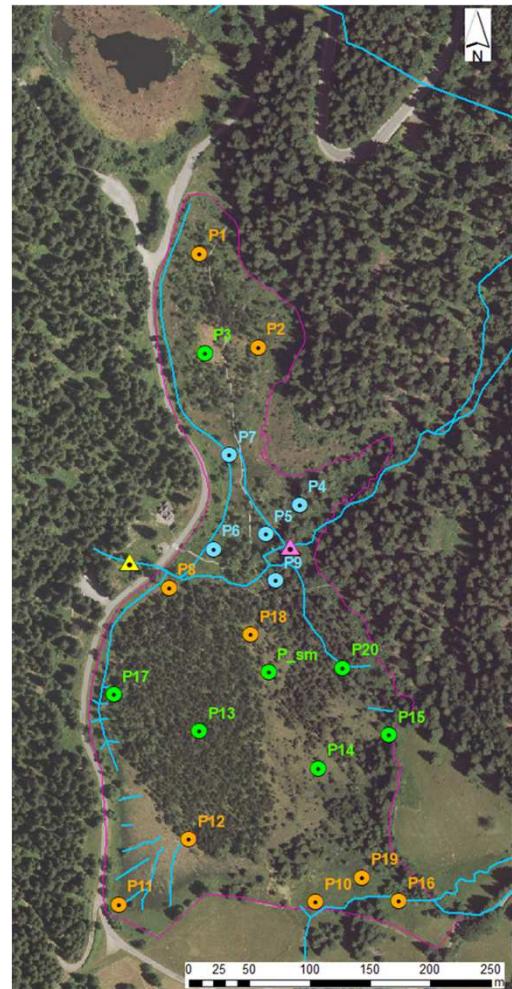
Interactions Eau sout'/Eau sup'/ZH

Tourbière du Luitel

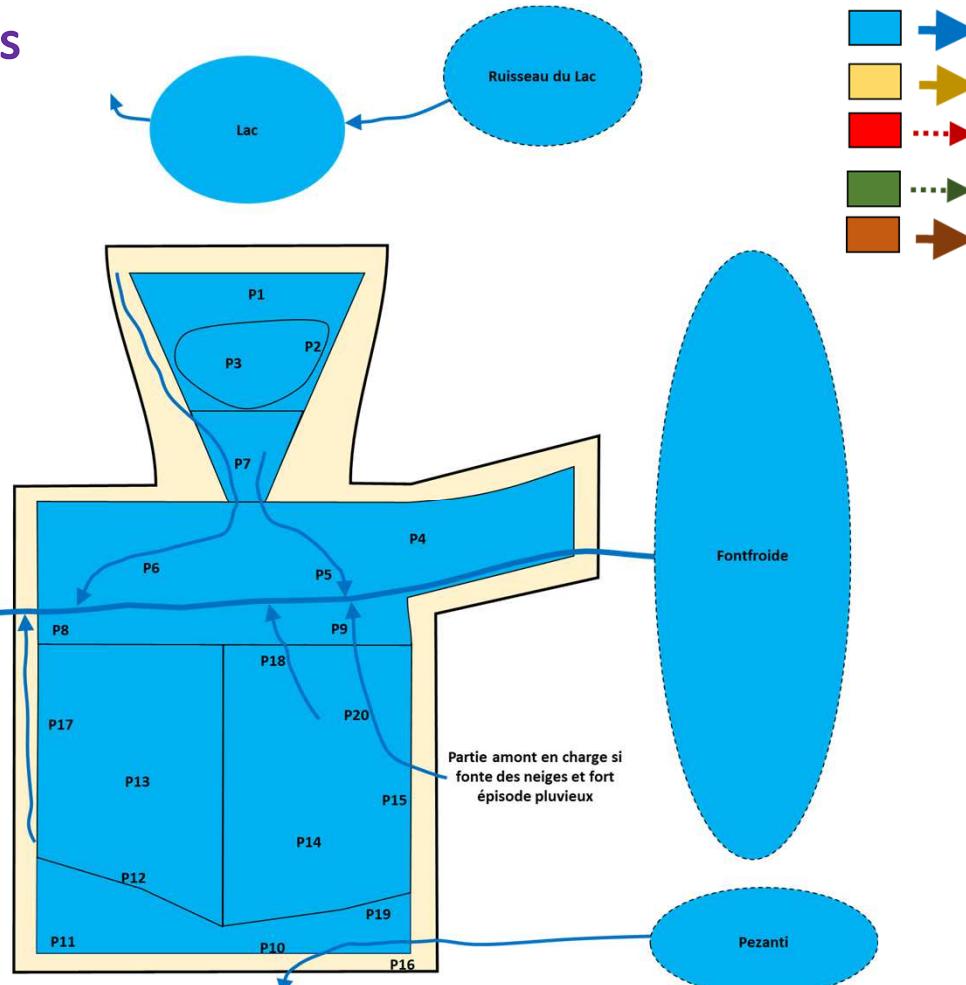
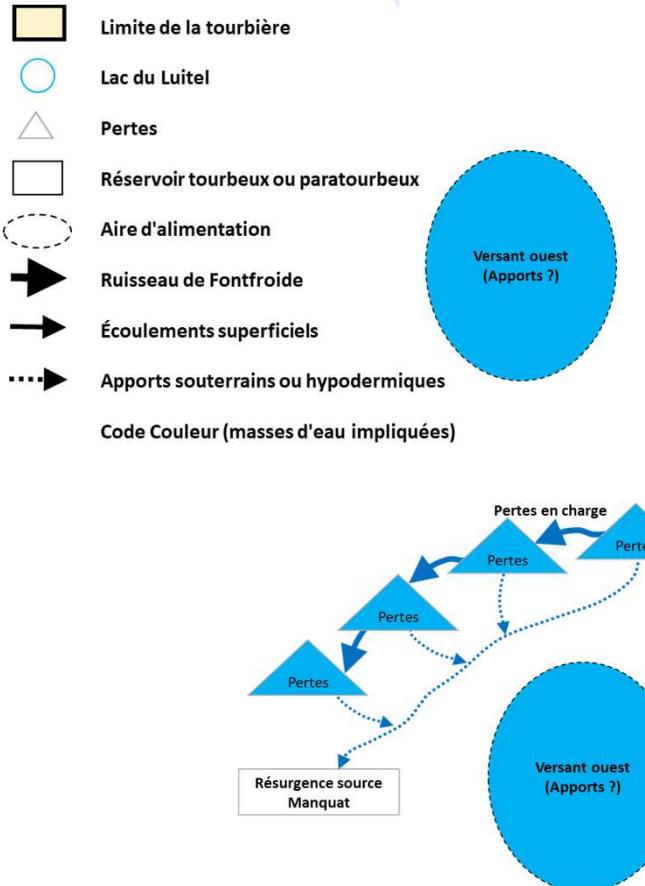
Luitel :

- Autorisation préfectorale
- Partage et acquisition de données : météorologiques, hydrologiques (niveau de nappe, débit en ruisseau), géophysiques, géochimiques, pédologiques
- Instrumentation complémentaire :
 - 2 seuils jaugés amont et aval faibles débits (sondes CTD) + 1 existant forts débits + 1 ruisseau du lac
 - 5 sondes en piézomètres + 7 existantes

- **Localisation** : 20 km au sud-est de Grenoble
- **Altitude** : 1 250 m
- **Age** : 12 000 ans
- **Surface** : 10 ha
- **Épaisseur** : 1 à 10 m
- **Type de milieu** : tourbière bombée, tourbière boisée, radeaux flottants et milieux annexes
- **Géologie** : métamorphique, glaciaire



Luitel : synthèse des résultats



(2) Tourbières : projet ZHTB

Interactions Eau sout'/Eau sup'/ZH

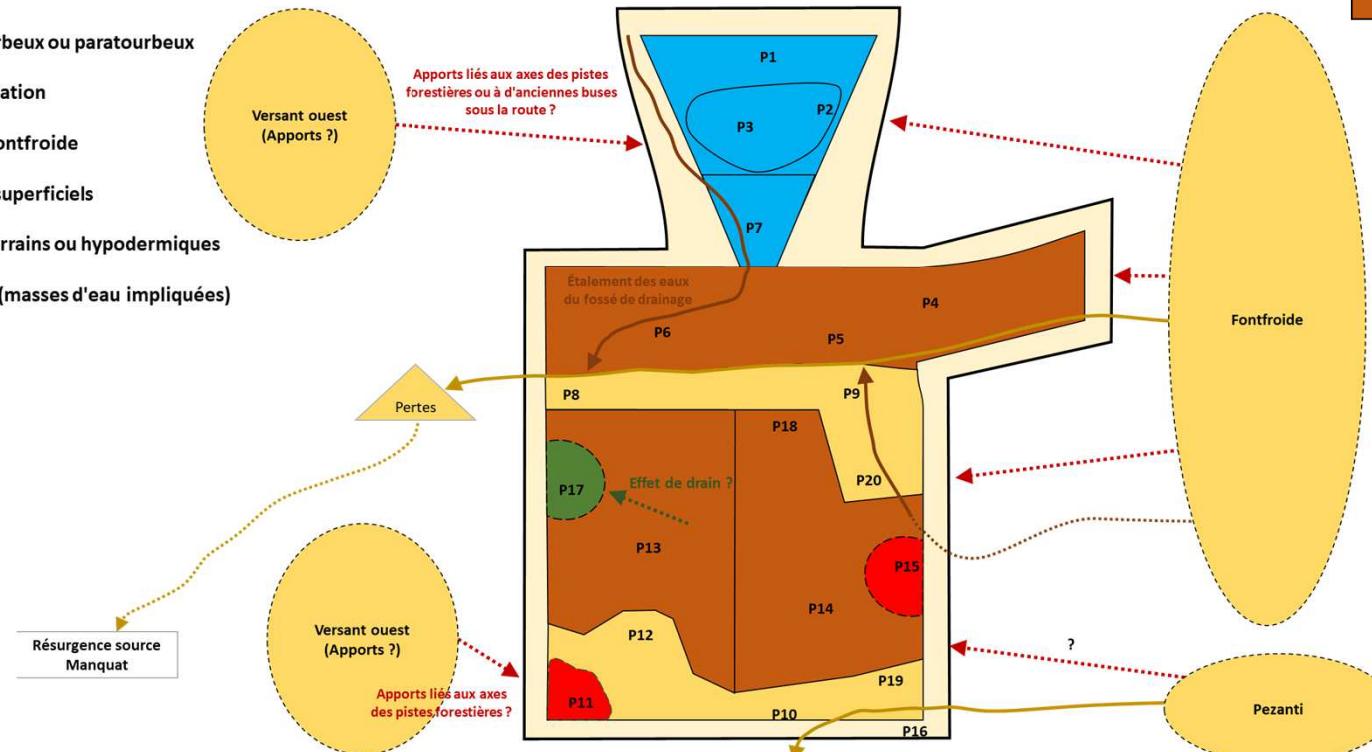
- M1 (Pluie peu modifiée / ruissellement)
- M2 (faibles interactions eau/roches)
- M3 (interactions eau/roches plus fortes)
- M1 + M2 (mélange des masses d'eau 1 et 2)
- M2 + M3 (mélange des masses d'eau 2 et 3)

Hautes-eaux :
système tourbeux
et hydrosystème à
saturation
(hypothèse
homogène)

Massé d'eau 1 (M1)
prépondérante
(Pluie peu modifiée
et ruissellement
rapide)

Luitel : synthèse des résultats

- Limite de la tourbière
- Lac du Luitel
- △ Pertes
- Réservoir tourbeux ou paratourbeux
- (---) Aire d'alimentation
- Ruisseau de Fontfroide
- Écoulements superficiels
- Apports souterrains ou hypodermiques
- Code Couleur (masses d'eau impliquées)



(2) Tourbières : projet ZHTB

Interactions Eau sout'/Eau sup'/ZH

- M1 (Pluie peu modifiée / ruissellement)
- M2 (faibles interactions eau/roches)
- M3 (interactions eau/roches plus fortes)
- M1 + M2 (mélange des masses d'eau 1 et 2)
- M2 + M3 (mélange des masses d'eau 2 et 3)

Moyennes-eaux :
système tourbeux en
transition
hydrologique
(ressuyage)

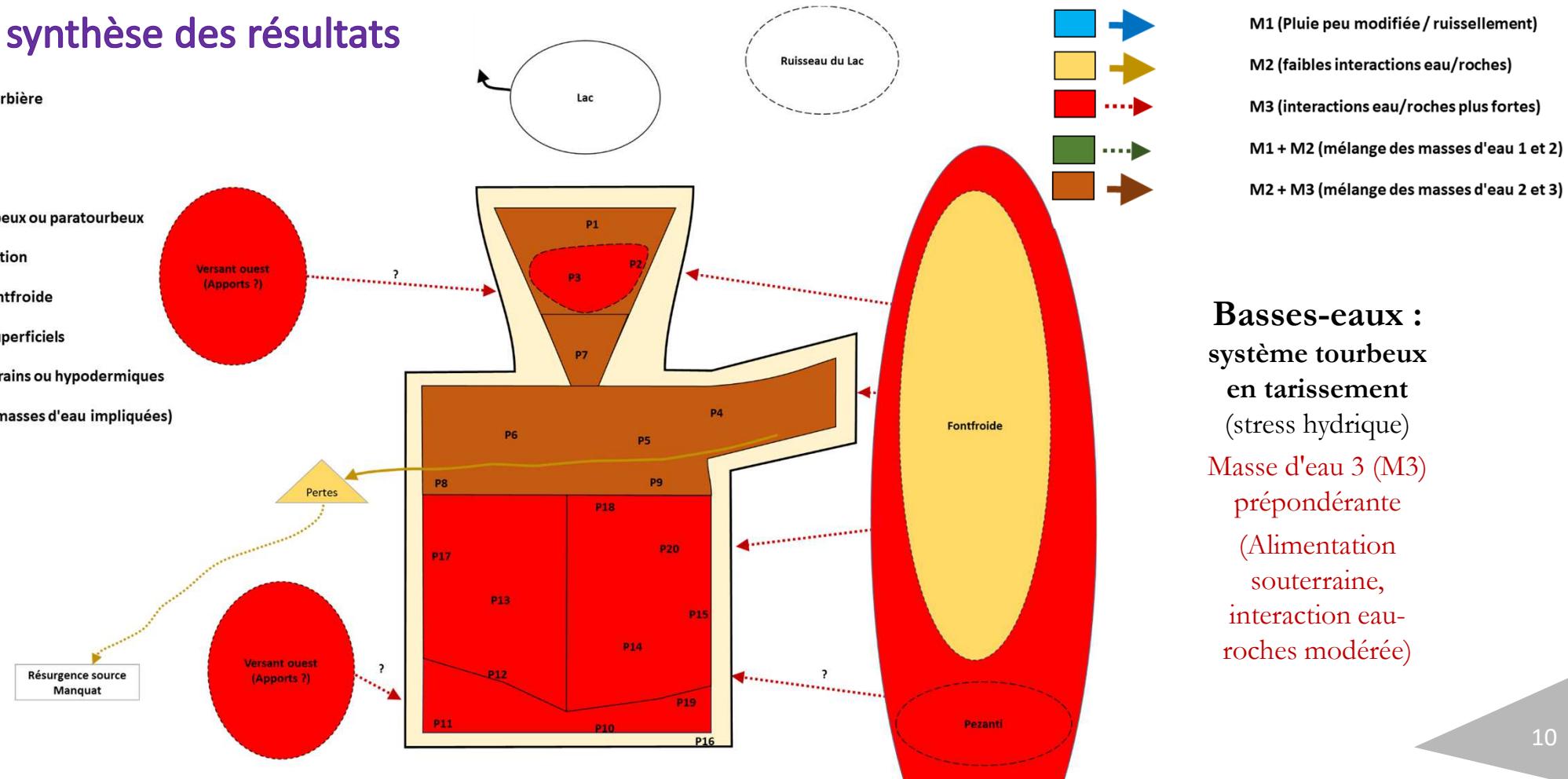
Masse d'eau 2 (M2)
prépondérante
(Alimentation de
versant, interactions
eau-roches faible)

(2) Tourbières : projet ZHTB

Interactions Eau sout'/Eau sup'/ZH

Luitel : synthèse des résultats

- Limite de la tourbière
- Lac du Luitel
- △ Pertes
- Réservoir tourbeux ou paratourbeux
- Aire d'alimentation
- Ruisseau de Fontfroide
- Écoulements superficiels
- Apports souterrains ou hypodermiques
- Code Couleur (masses d'eau impliquées)



(2) Tourbières : projet ZHTB

Interactions Eau sout'/Eau sup'/ZH

Conclusion : Soutien d'étiage ? Soutien de tourbière ?

Luitel

Pas de soutien d'étiage de la tourbière au ruisseau de Fontfroide

Au contraire, la tourbière est soutenue à l'étiage par des eaux souterraines

Soutien d'étiage assuré par des eaux souterraines

Pour les 2 sites

Variabilité spatiale et temporelle des masses d'eau prépondérantes pour l'alimentation des 2 tourbières et des cours d'eau

Fonctionnement hydrologique intègre : compartiments complexe tourbeux + hydrosystème local voire régional (bassin versant, aire d'alimentation, climat, karst/réseau de failles)

Forte dépendance aux précipitations

Effets des changements climatiques ?

Frasne

Soutien d'étiage potentiel assuré par 2 réservoirs tourbeux (tourbière active et cœur de tourbière soumis à l'évaporation)

Soutien de la tourbière et soutien d'étiage assurés par des eaux souterraines (karst, moraine)

Préconisations de gestion de complexes tourbeux

Protéger les impluvium superficiels et souterrains en lien avec les cours d'eau et les zones humides

Favoriser les entrées d'eau régulières et durables (saturation au moins 9 mois)

Limiter les sorties d'eau (comblement de fossés, barrière hydraulique, seuils...)

Maintenir l'ambiance microclimatique locale

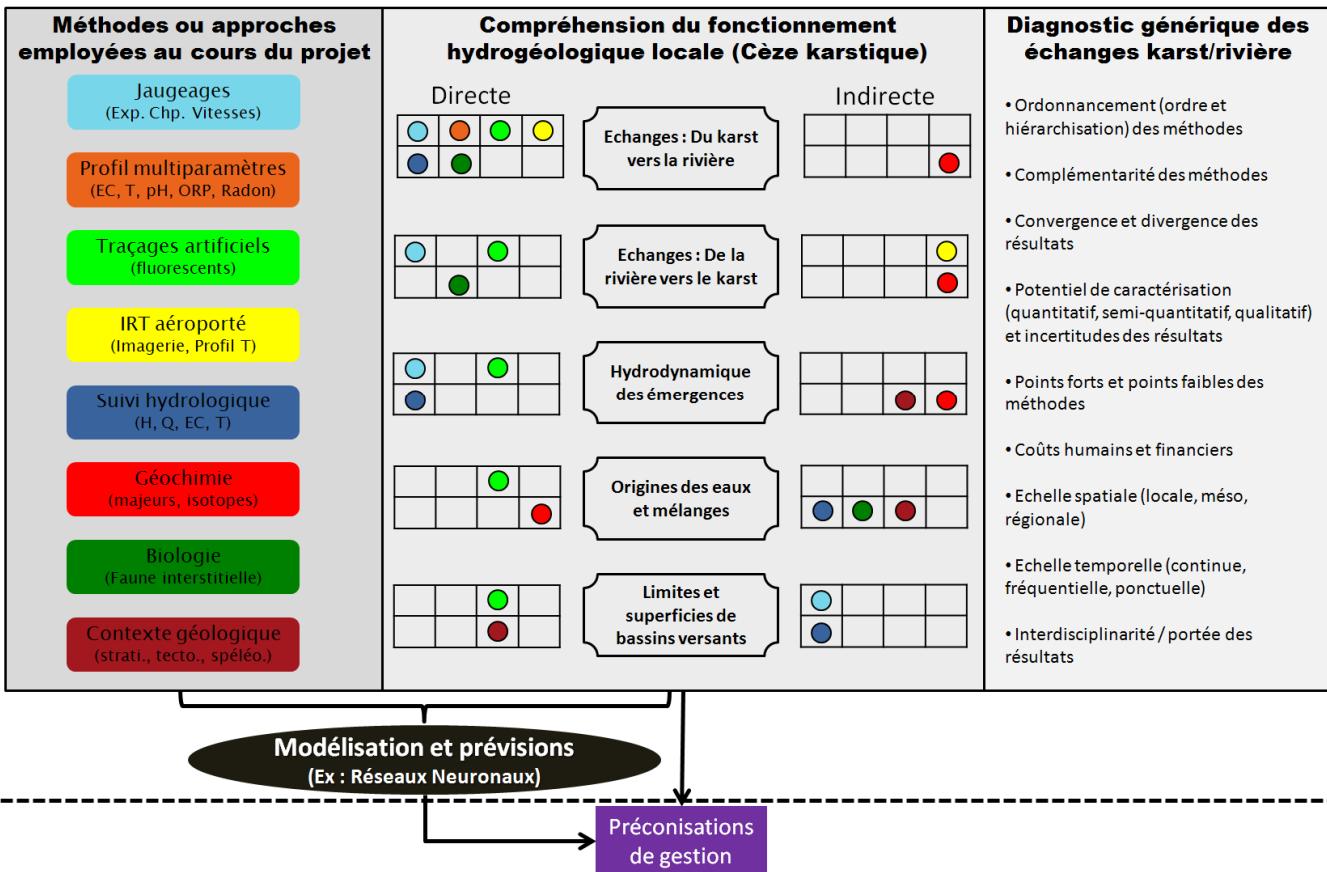
Maintenir ou restaurer les connexions hydrauliques amont locales à régionales

(3) Cèze : Projet karst/rivière

Échanges karst/Cèze

Méthodologie EVEREST-K2

(Evaluation des Volumes Echangés entre Rivières et Eaux SouTerraines en milieu Kartsique et pseudoKarstique)



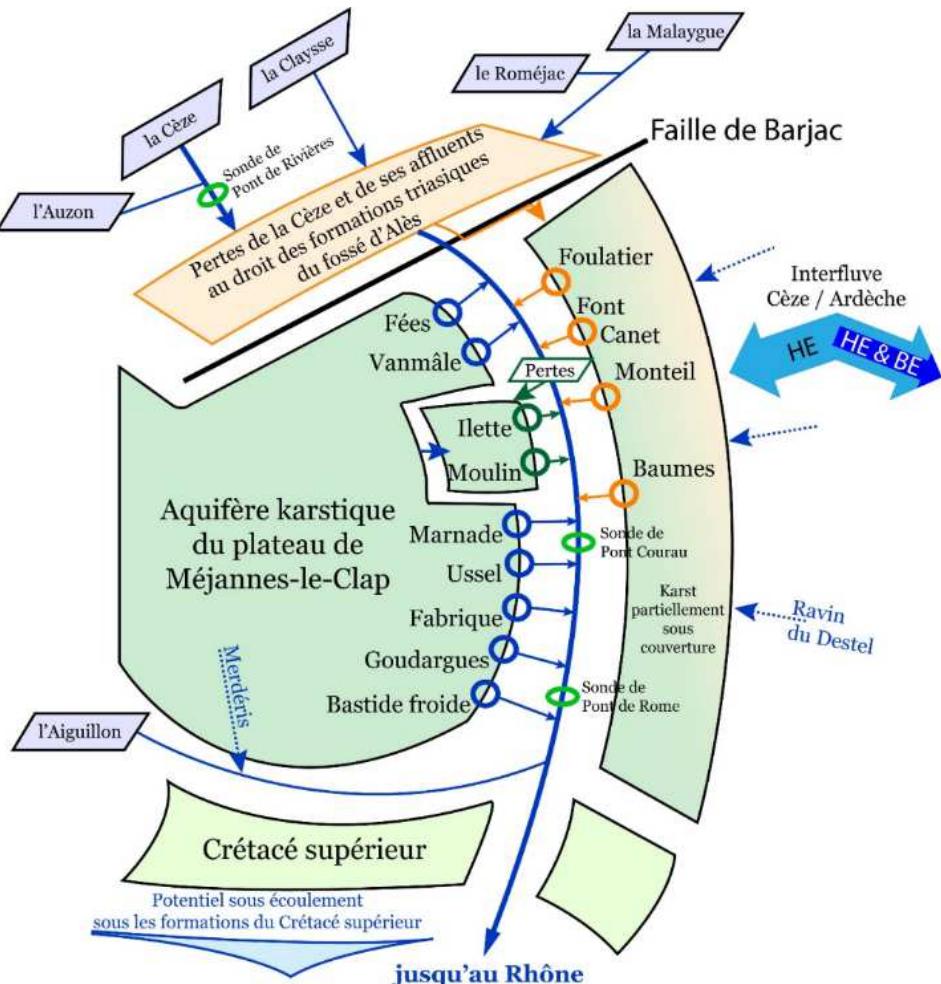
Développement méthodologique



Grotte des fées et gorges de la Cèze



Photos : J. Ré-Bahuaud



(3) Cèze : Projet karst/rivièrē

Échanges karst/Cèze

Résultats : flux d'eau

Contributions karstiques à la Cèze :

→ entre 48 et 60 % en basses-eaux

(2m³/s en juin 2015)

Légende :

- Écoulement continu
- Écoulement seulement en période de fortes précipitations
- La Cèze (cours d'eau principal)
- Ⓐ → Ⓑ Apport de l'entité A
- Ⓐ → Ⓑ vers l'entité B
- Apport ESO : 80-100% karstique
- Apport mélange ESO / ESU infiltrée des pertes de la Cèze du fossé d'Alès : 40-70% karstique
- Apport mélange ESO / ESU infiltrée des pertes de la Cèze de Baumes Salène : 40-65% karstique
- Karst (Urgonien)
- Crétacé supérieur
- Eocène / Oligocène
- ... Cours d'eau
- Sondes CTD laissées à la disposition d'AB Cèze
- Écoulement souterrain en hautes eaux (HE)
- Écoulement souterrain en basses eaux (BE)

(3) Cèze : Projet karst/rivière

Échanges karst/Cèze

Résultats : typologie des échanges

① ⑤ Pertes diffuses ou ponctuelles

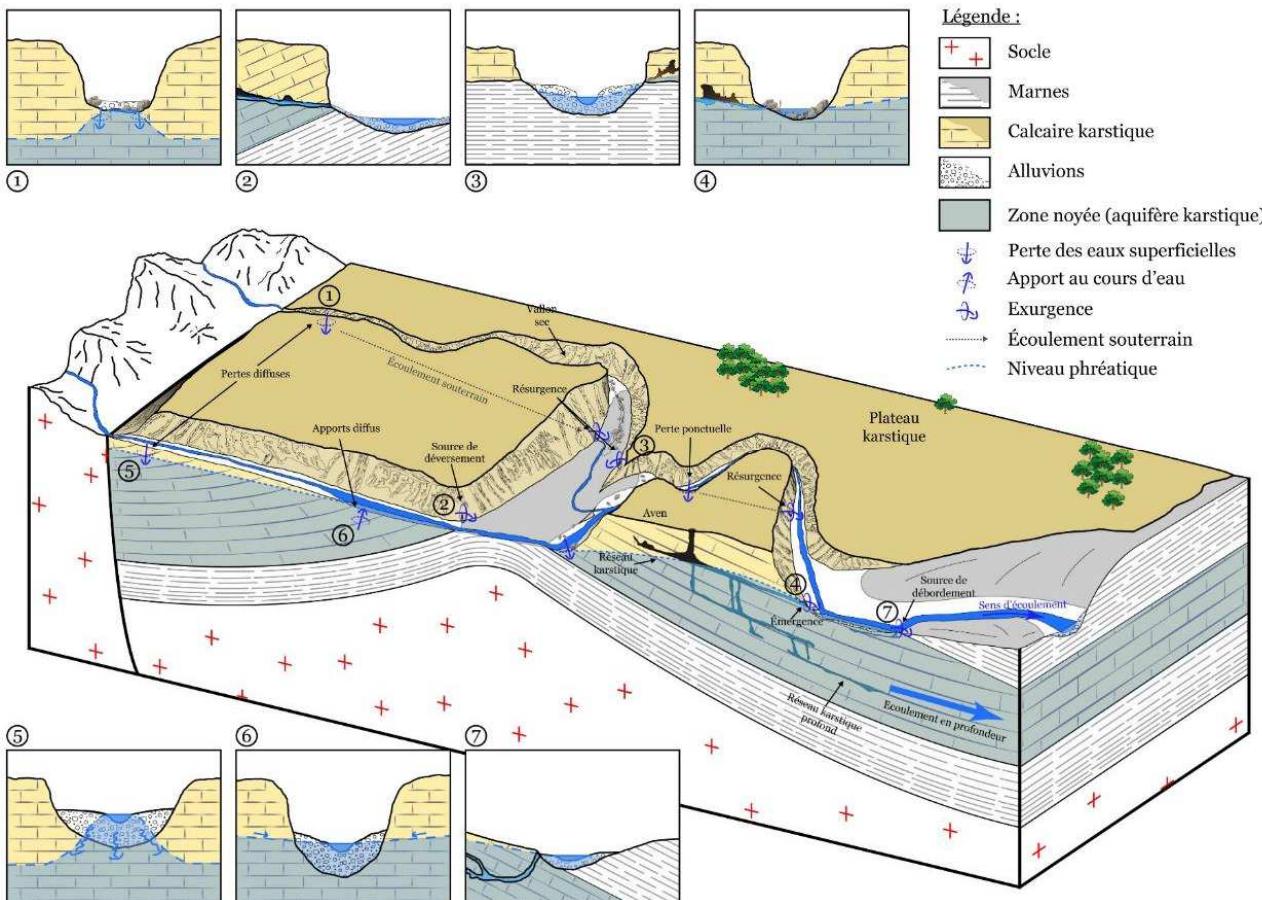
② Source de déversement

③ Exurgence

④ Émergence

⑥ Apports diffus

⑦ Source de débordement



(3) Cèze : Projet karst/rivièbre

Échanges karst/Cèze

Transfert de connaissance

Un support méthodologique

Fondements : projet échanges karst/rivièbre (2014-2022)

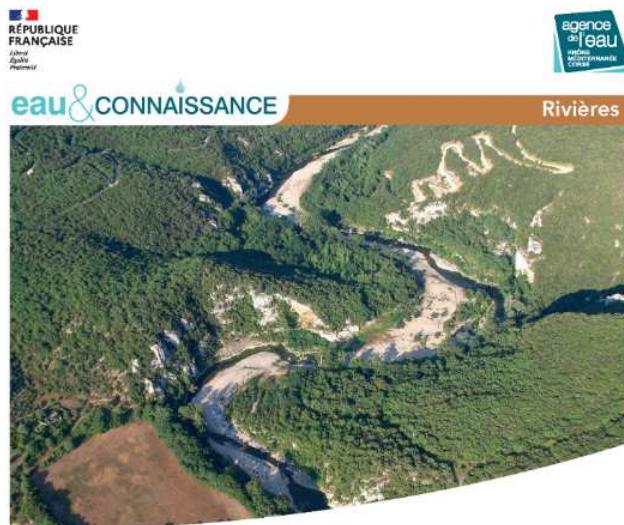
- valoriser la méthodologie mise au point sur la Cèze
 - mettre à profit l'expérience acquise sur la Cèze
 - adapter et transposer la méthodologie à d'autres rivières traversant des plateaux calcaires
- https://www.eaurmc.fr/upload/docs/application/pdf/2022-05/support_methodo_karst_riviere_vf.pdf

Concept et objectif du guide :

- comprendre le karst
- connaître et quantifier les échanges karst/rivièbre
- étudier et analyser les échanges karst/rivièbre
- quels outils ?
- comment utiliser et mettre en œuvre ces outils

Destinataires :

Bureaux d'études, Syndicats, Collectivités...



CONNAÎTRE ET QUANTIFIER
LES ÉCHANGES HYDRAULIQUES
KARST / RIVIÈRE

Recommandations méthodologiques

Retour d'expérience d'études menées
sur les gorges de la Cèze (30)

BASSINS RHÔNE-MÉDITERRANÉE ET DE CORSE

Mai 2022

ÉTAPE 1 IDENTIFIER

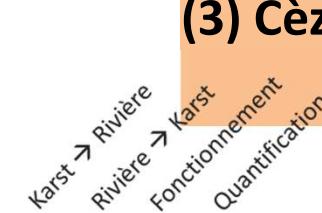
ÉTAPE 2 CARACTÉRISER

ÉTAPE 3 PRÉCISER

ÉTAPE 4 MODÉLISER

(3) Cèze : Projet karst/rivière Échanges karst/Cèze

Développement méthodologique

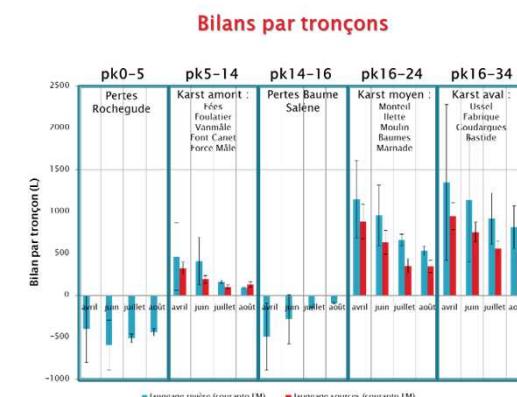
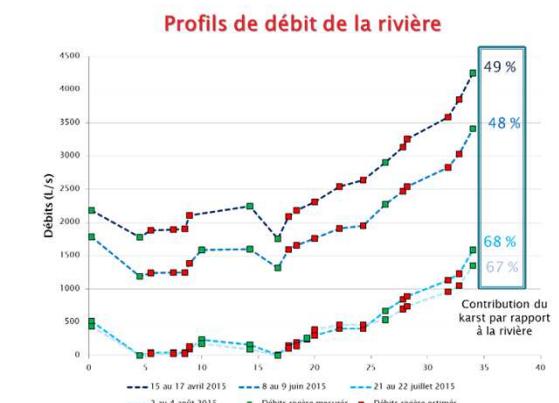
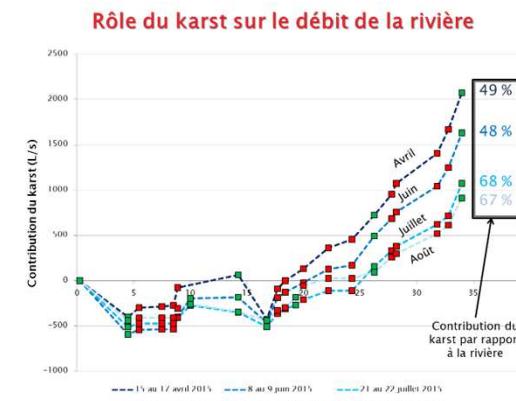


Diagnostic géologique			✓
Variation CE et T° (rivière et sources)	✓		
IRT	✓		
Traçage artificiel	✓	✓	✓

Jaugeage différentiel	✓	✓		✓
Instrumentation hydrologique	✓	✓		✓
Analyses corrélatoires	✓		✓	
Analyses fréquentielles	✓		✓	

Eléments majeurs	✓	✓		
Isotopes	✓	✓	✓	✓
Proportions de mélanges	✓	✓	✓	✓
Communautés d'invertébrés	✓	✓		

Conceptualisation			✓	
KarstMod	✓		✓	
Scénarios de prévision	✓		✓	✓



(3) Cèze : Projet karst/rivière *Échanges karst/Cèze*

Transfert de connaissance et transférabilité

- Pêche aux outils Karst – Graie-Zabr : 22 septembre 2022 à Barjac - Présentation du guide Karst et démonstration
- Continuité du suivi "allégé" sur la Cèze (ABCèze)
- Projet sur le BV de l'Ardèche (2020-2025) - Cofinancement : AE-RMC et région Aura :

- devenir et gestion des réserves souterraines (karst, trias, socle) de trois cours d'eau : **Ardèche, de la Baume et du Chassezac**
- en contexte de changement climatique (CC)

Objectifs :

- rôle des eaux souterraines sur l'hydrologie (étiage)
- impacts du CC sur les ressources en eaux
- intérêt pour l'alimentation en eau dans le futur



Conclusion et perspectives

Intérêt opérationnel des travaux effectués

- **Biodiversité et fonctions de régulation hydrologique**
→ soutien d'étiage et tamponnage thermique en période estivale, maintien des zones humides...
- **Alimentation en eau potable**
→ recherche de zones de réserves stratégiques
- **Aspects sanitaires**
→ transfert de pollution
- **Réglementation**
→ irrigation, débit objectif d'étiage
- **Services écosystémiques**
→ stockage de carbone, autoépuration, soutien d'étiage...
- **Changements globaux dont changement climatique**
→ maintien des zones humides, capacité de soutien d'étiage des aquifères...



Une école de l'IMT



A large, dark-toned photograph of a classical-style building with many windows and a prominent pediment, illuminated from within. To the right, a large metal ship's steering wheel (helm) hangs vertically against a dark background, suggesting a nautical or industrial theme.

Merci
de votre attention





Quelques images du projet ZHTB

Journée eau et connaissance – Lyon – Lundi 11 décembre 2023

...



GPR à Frasne
(G. Magnon, Janvier 2019)

