



# 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 Paron**

Contact : [frederic.paron@mines-stetienne.fr](mailto:frederic.paron@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: m<sup>3</sup>/s, m<sup>3</sup>/jour...) ?*
- *D'où vient cette eau ?*
- *Quelles interactions avec d'autres éléments de l'hydrosystème (ex : lônes, contre-canaux, dérivations, zones humides...) ?*
- *Quelles influences anthropiques (ex : pompages, barrages, seuils...) ?*
- *Quels impacts des changements climatiques ?*

## Contenu

### Plan

#### (1) Contexte

#### (2) Tourbières : Projet ZHTB

- Développement méthodologique
- Principaux résultats

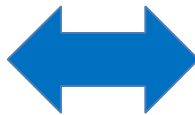
#### (3) Cèze : Projet karst/rivière

- Développement méthodologique
- Principaux résultats
- Transfert de connaissances

#### (4) Conclusion et perspectives

#### Annexes :

- Auteurs et contributeurs
- Références bibliographiques



#### Contexte territorial / hydrogéologique :

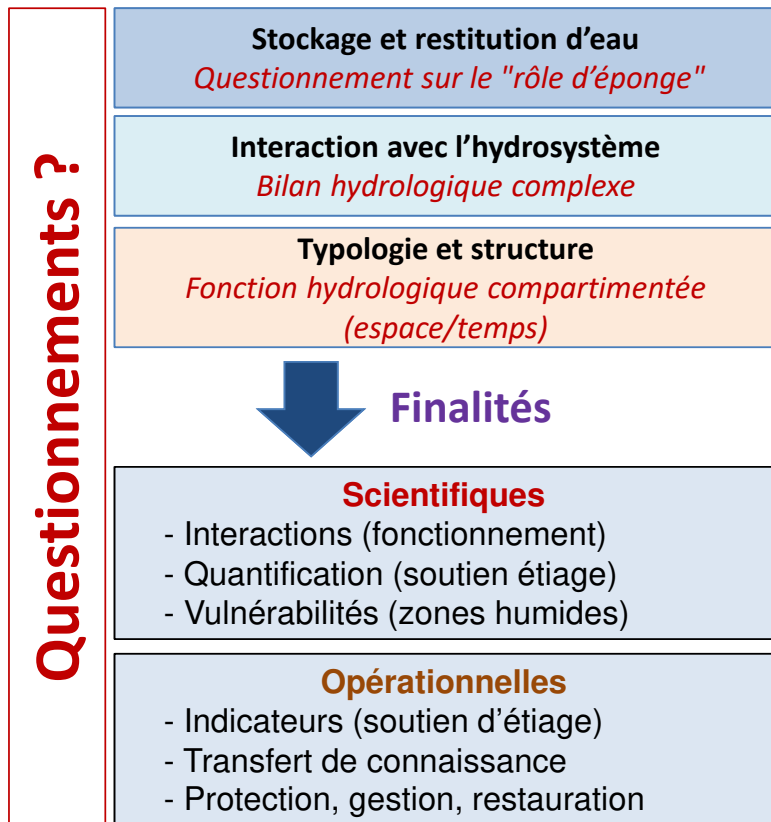
#### (1) Zones humides de tête de bassins versants

- 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



## (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'étiage (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)**



Tourbière boisée  
(C. Desplanque)



Accès  
strictement réglementé



- **Tourbière de Frasne (Doubs)**

Lien : projet SoHUMID  
BRGM/AFB



Tourbière "active"

- **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. Caldirak, J. Ré-Bahuaud)

→ *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

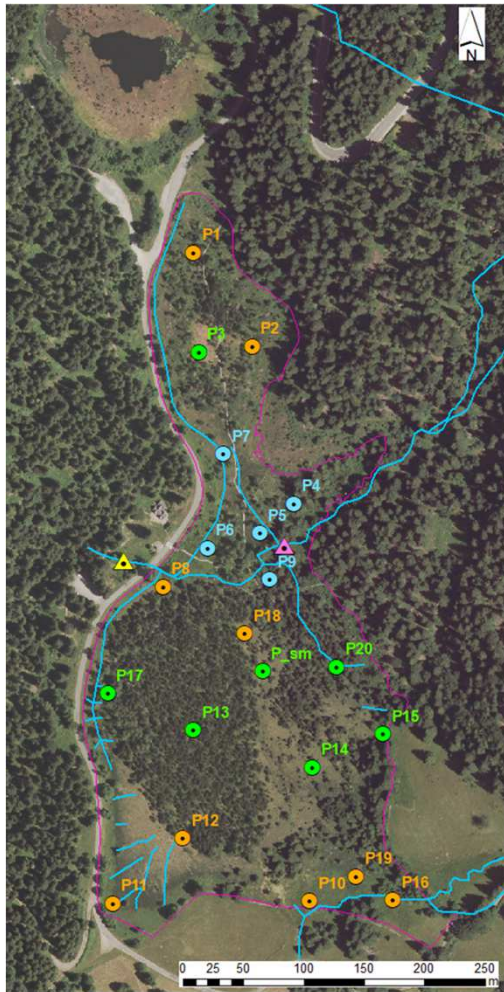
*Interactions Eau sout'/Eau sup'/ZH*

### 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

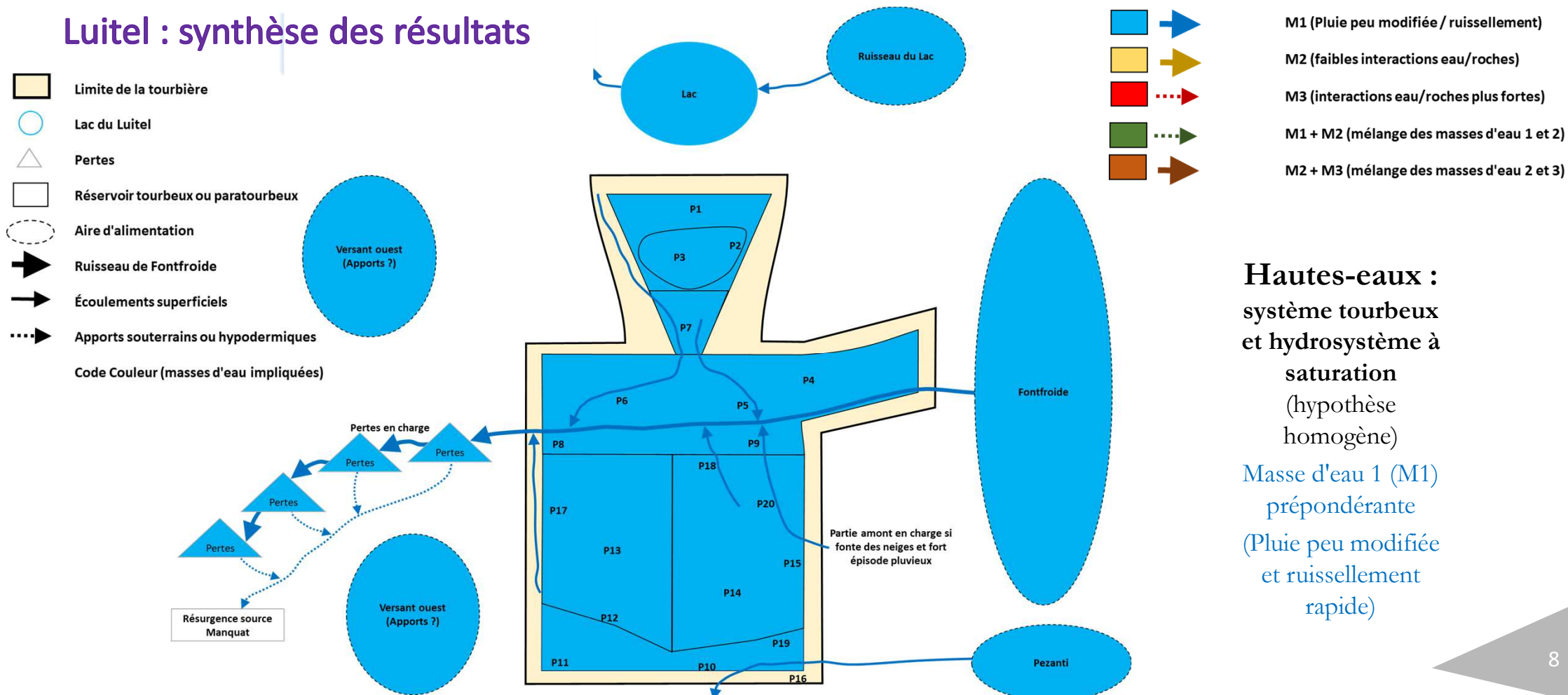
- **Localisation** : 20 km au sud-est de Grenoble
- **Altitude** : 1 250 m
- **Age** : 12 000 ans
- **Surface** : 10 ha
- **Épaisseur** : 1 à 10 m
- **Type de milieu** : tourbière bombée, tourbière boisée, radeaux flottants et milieux annexes
- **Géologie** : métamorphique, glaciaire



## (2) Tourbières : projet ZHTB

### *Interactions Eau sout'/Eau sup'/ZH*

## Luitel : synthèse des résultats



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

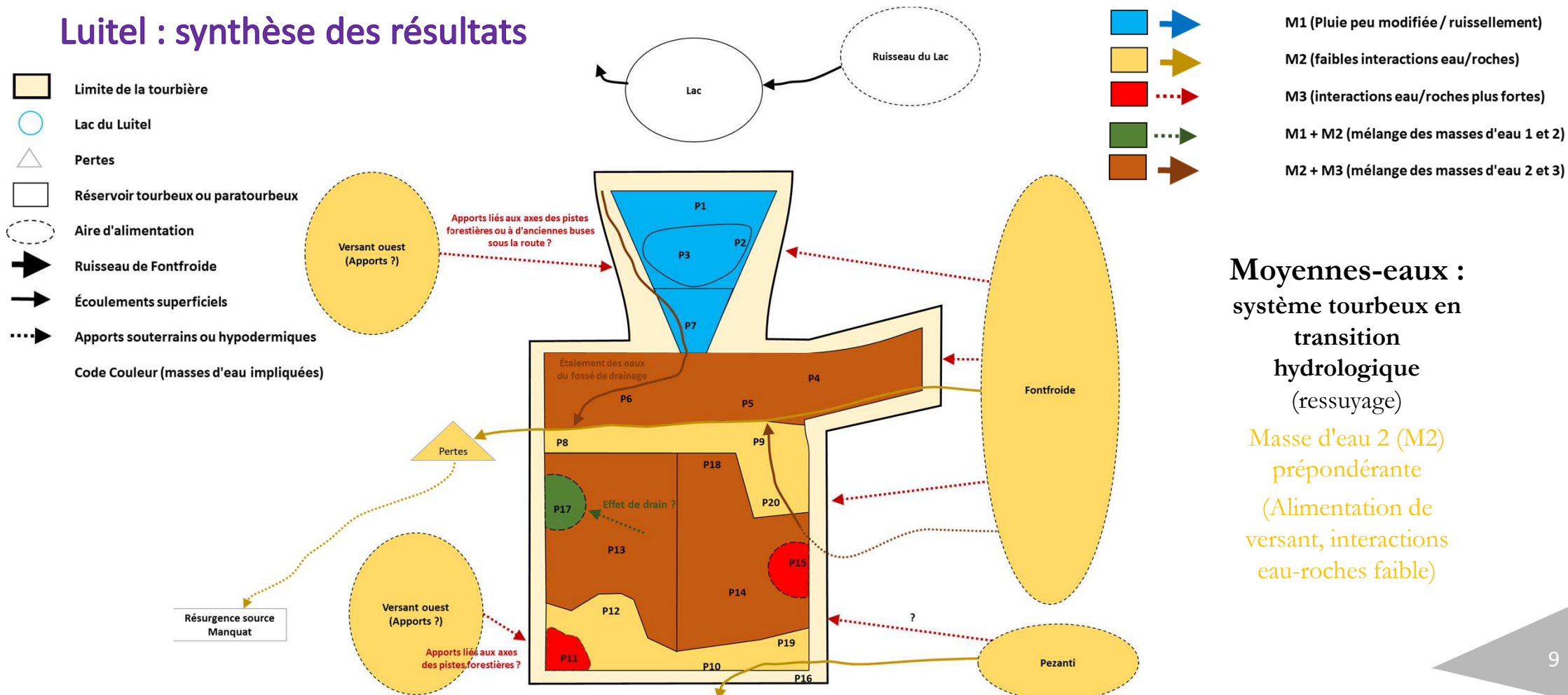
Masse d'eau 1 (M1)  
prépondérante  
(Pluie peu modifiée  
et ruissellement  
rapide)



## (2) Tourbières : projet ZHTB

### *Interactions Eau sout'/Eau sup'/ZH*

## Luitel : synthèse des résultats



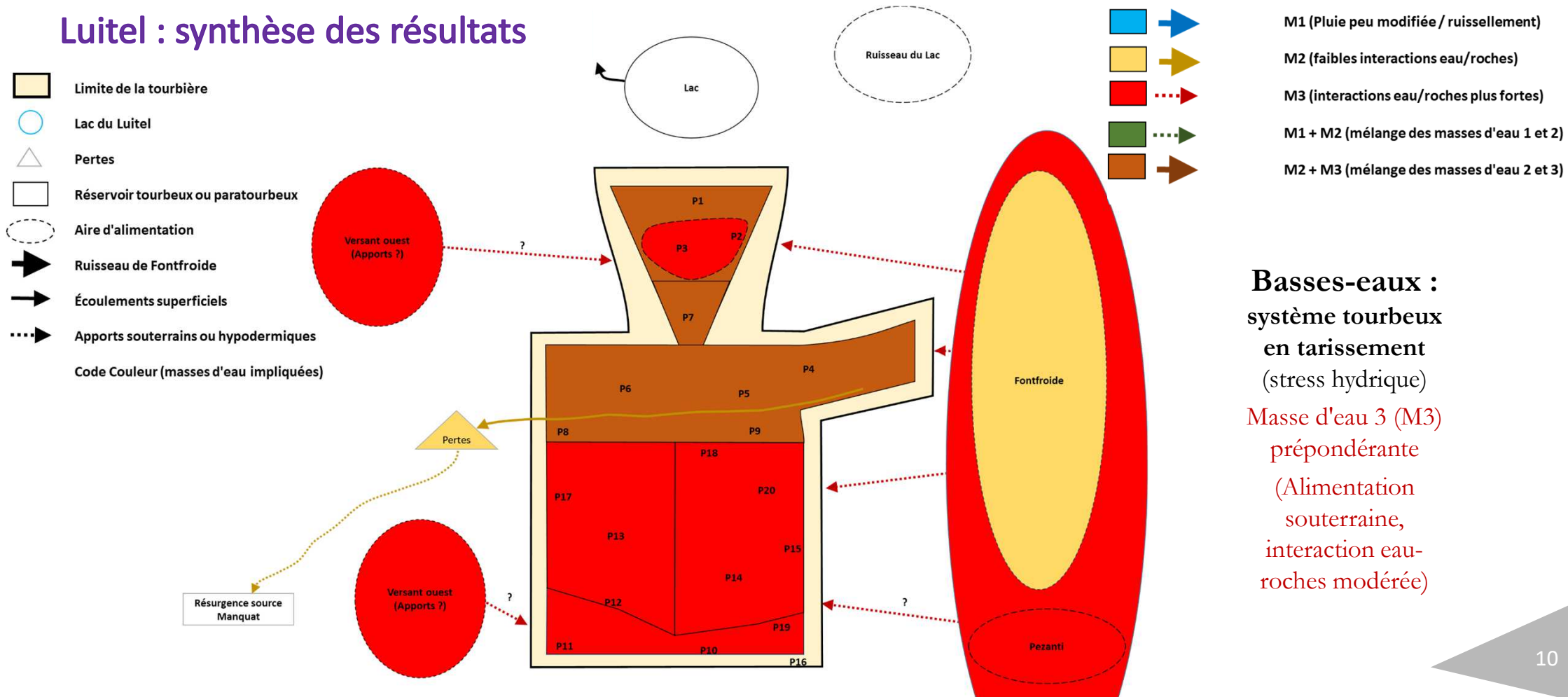
**Moyennes-eaux :**  
système tourbeux en  
transition  
hydrologique  
(ressuyage)

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



## (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

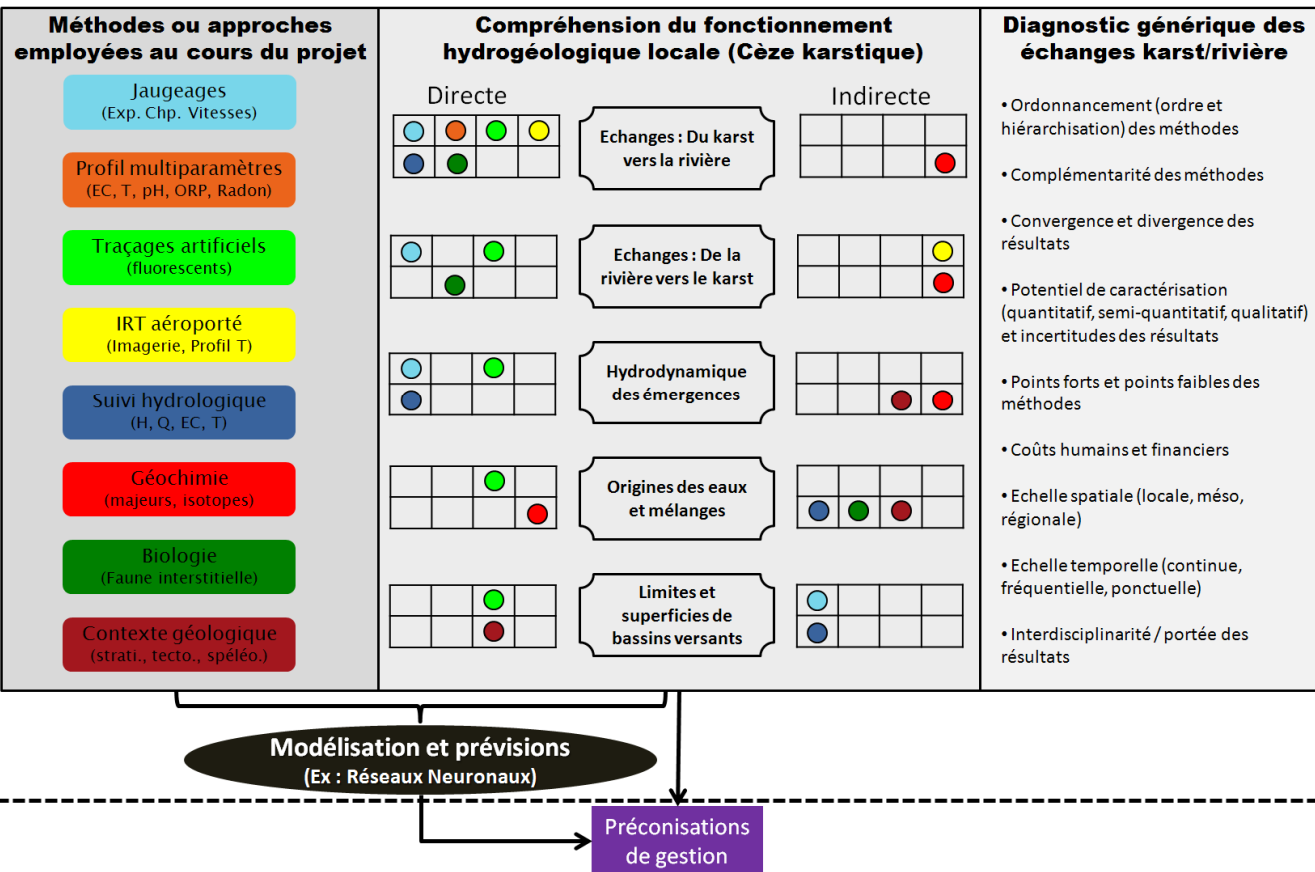
Maintenir ou restaurer les connexions hydrauliques amont locales à régionales

### (3) Cèze : Projet karst/rivière

#### Échanges karst/Cèze

#### Méthodologie EVEREST-K2

(Evaluation des Volumes Échangés entre Rivières et Eaux SouSerraines en milieu Kartsique et pseudoKartsique)



#### Développement méthodologique



Grotte des fées et gorges de la Cèze



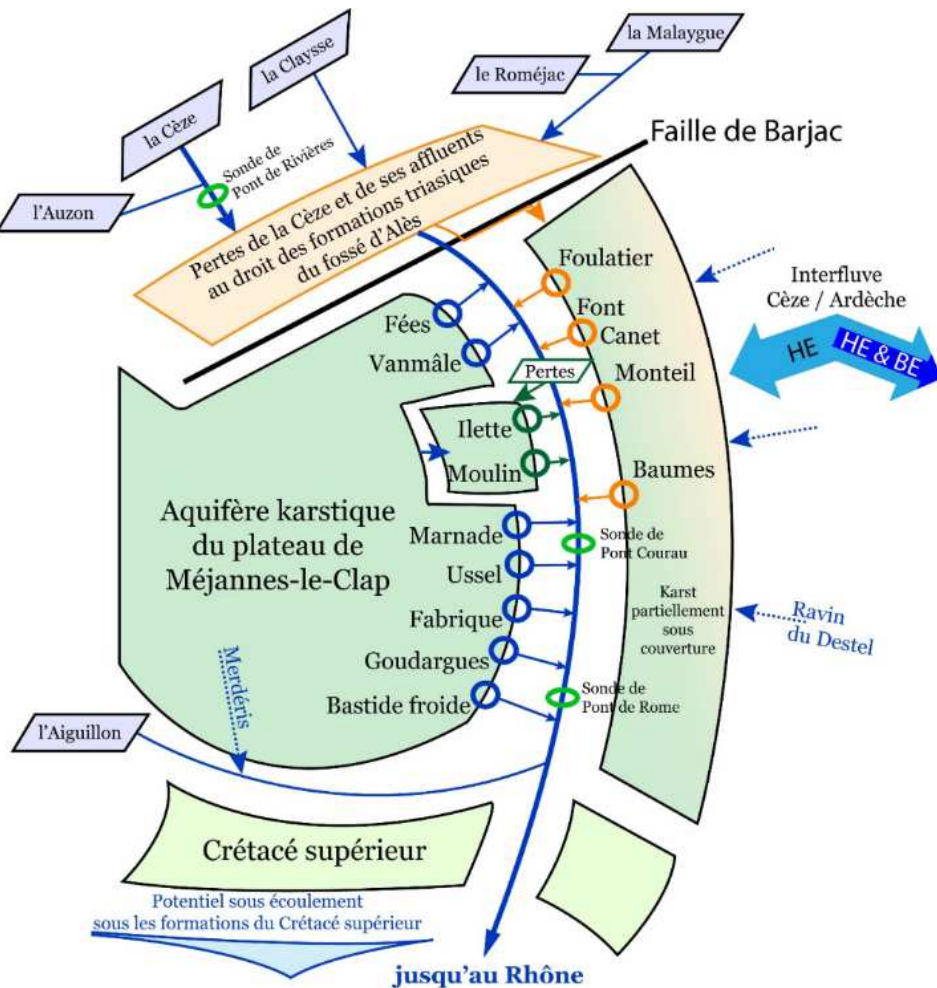
Photos : J. Ré-Bahaud



### (3) Cèze : Projet karst/rivière

#### Échanges karst/Cèze

#### Résultats : flux d'eau



Contributions karstiques à la Cèze :

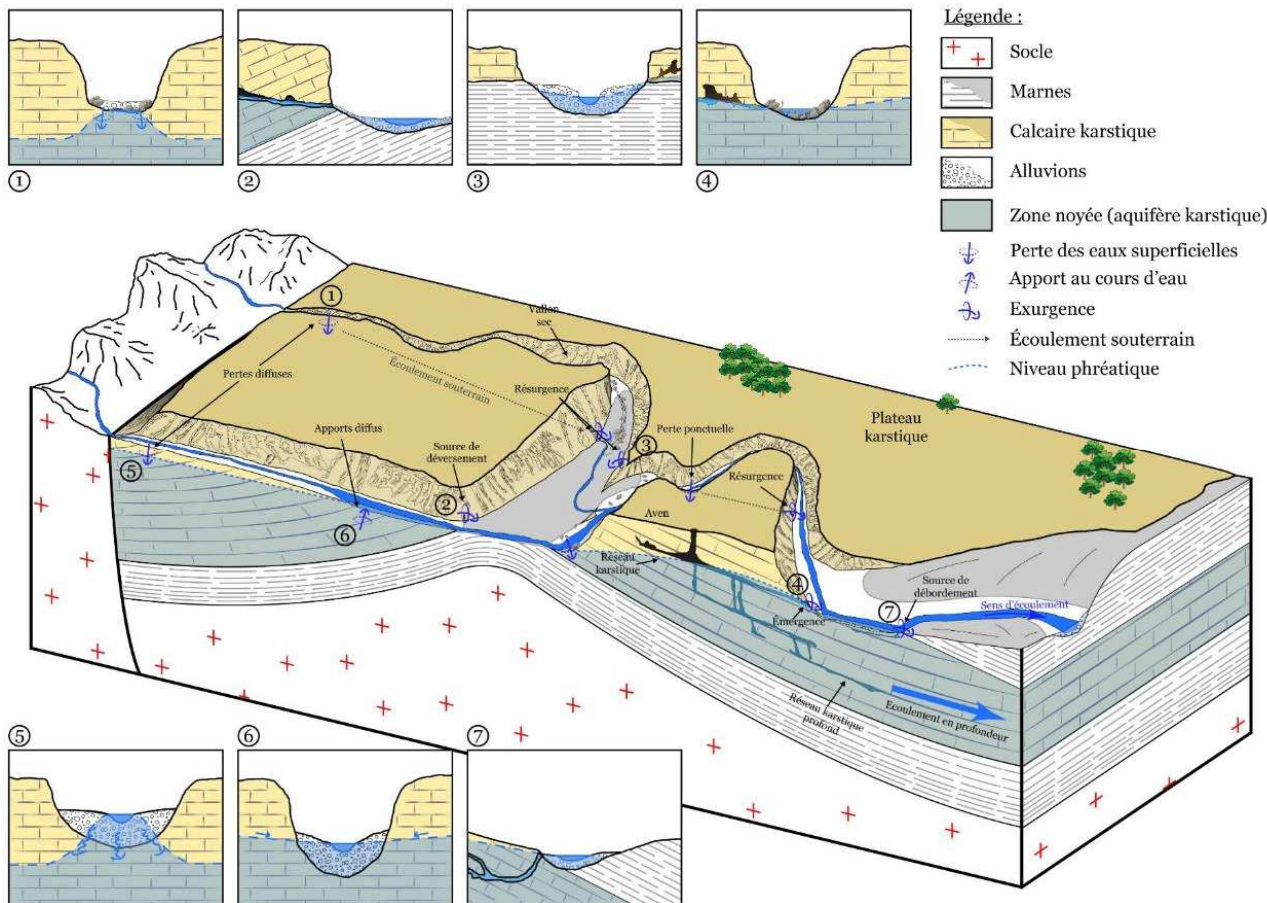
→ entre 48 et 60 % en basses-eaux

(2m<sup>3</sup>/s en juin 2015)

### (3) Cèze : Projet karst/rivière

#### *Échanges karst/Cèze*

#### Résultats : typologie des échanges





## (3) Cèze : Projet karst/rivière

### *Échanges karst/Cèze*

## Transfert de connaissance

### Un support méthodologique

#### Fondements : projet échanges karst/rivière (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](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/rivière
- étudier et analyser les échanges karst/rivière
- 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





### (3) Cèze : Projet karst/rivière

## Échanges karst/Cèze

## Développement méthodologique

### ÉTAPE 1 IDENTIFIER

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

Karst → Rivière  
Rivière → Karst  
Fonctionnement  
Quantification

			✓	
✓				
✓				
✓	✓	✓		

### ÉTAPE 2 CARACTÉRISER

- Jaugeage différentiel
- Instrumentation hydrologique
- Analyses corrélatoires
- Analyses fréquentielles

✓	✓			✓
✓	✓			✓
✓			✓	
✓			✓	

### ÉTAPE 3 PRÉCISER

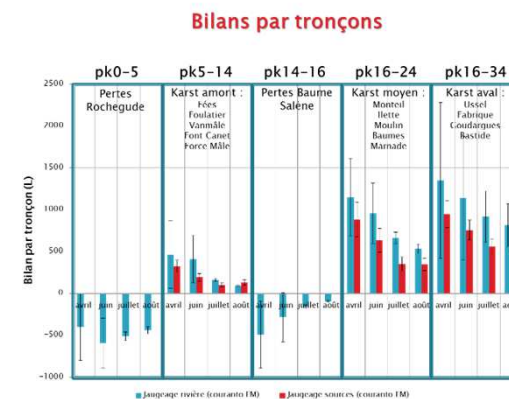
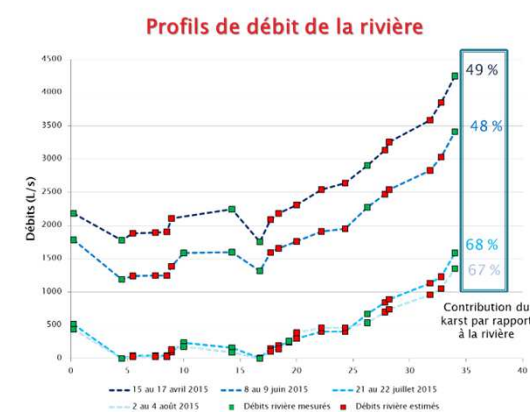
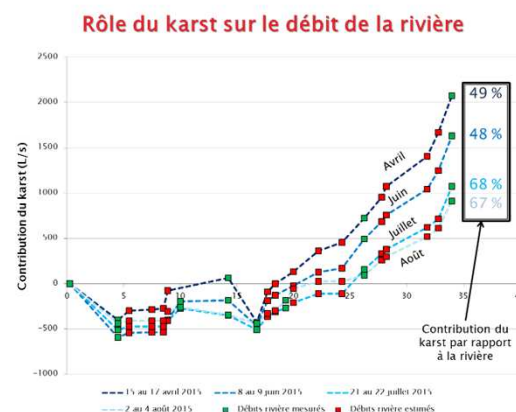
- Éléments majeurs
- Isotopes
- Proportions de mélanges
- Communautés d'invertébrés

✓	✓			
✓	✓	✓	✓	✓
✓	✓			✓
✓	✓			

### ÉTAPE 4 MODÉLISER

- 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

Merci  
de votre attention





## Quelques images du projet ZHTB

...



*GPR by night au Luitel  
(C. Desplanque, mars 2018)*



*Relevé de sonde  
(C. Desplanque, 11-2019)*



*GPR à Frasné  
(G. Magnon, Janvier 2019)*



*Relevé de sonde  
(C. Desplanque, 11-2019)*



*Géochimie au Luitel  
(C. Desplanque, juillet 2019)*

