



Une école de l'IMT



Journée technique MNRE – La Défense  
13 février 2020



# Projet ZHTB

Zones Humides, soutien d'étiage, Tête de Bassin  
Interactions ZH/ESO/ESU (2016-2021)

**Frédéric Paron**

Contact : [frederic.paron@mines-stetienne.fr](mailto:frederic.paron@mines-stetienne.fr)

Étude et compréhension du rôle hydrologique et hydrogéologique des Zones Humides de Têtes de Bassins (ZHTB) dans le soutien d'étiage des cours d'eau [2016-2021].



## Contexte et problématique

### Interactions Eso/Esu/ZH

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



**Stockage et restitution d'eau**

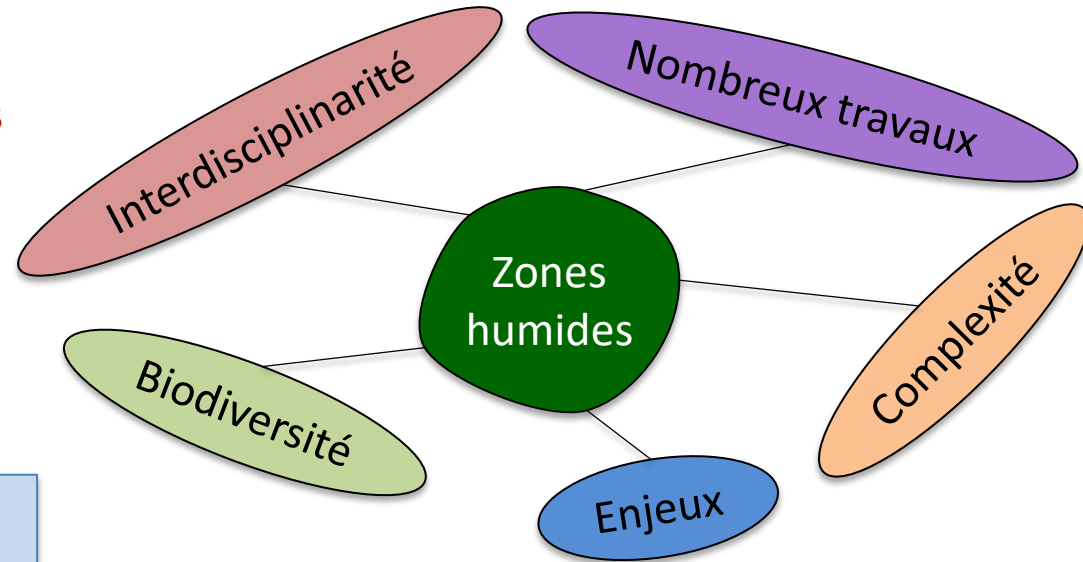
*Questionnement sur le "rôle d'éponge"*

**Interaction avec l'hydrosystème**

*Bilan hydrologique complexe*

**Typologie et structure**

*Fonction hydrologique compartimentée  
(espace/temps)*



# Objectifs et méthodologie

## Approche interdisciplinaire

**Partition/Quantification**  
Origine/cheminement eau

**Stockage/restitution**  
Capacité (critères spatiaux)

**Altérations**  
Pressions anthropiques

### Finalités scientifiques

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

### Finalités opérationnelles

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



**Modélisation**  
Réseaux de neurones, Réservoirs

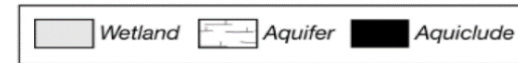
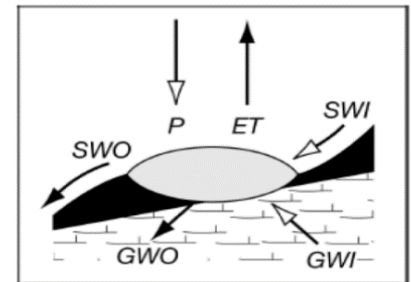
**Bilan Hydrologique**  
Hydrologie, Statistique

**Propriétés hydrodynamiques**  
Hydrologie, Pédologie

**ZHTB**

**Origine de l'eau/Partition**  
Géochimie

**Géométrie**  
Pédologie, Géophysique



*Gilvear et Bradley, 2009*



# Terrains d'étude

## Site de Luitel – premiers résultats

- Réponse et effet mémoire

Réserves souterraines (effet mémoire long)  
Effet des pluies court

- Comportements hydrologiques

5 types pour Fontfroide  
3 types d'écoulement dans la tourbière

- Sectorisation et structure du Luitel

3 réservoirs principaux  
5 secteurs géochimiques  
Structure 3D

- Soutien d'étiage

Indices de l'existence d'un soutien d'étiage  
Soutien d'étiage modélisé faible (0,06 à 0,21 l/s)

- Question suspens

Rôle des zones périphériques ?  
Apports souterrains ?  
Transfert d'eau, mélange, délais ?

← Premiers résultats

- Tourbière de Luitel (Isère)



Tourbière boisée  
(C. Desplanque)



Accès strictement réglementé



- Tourbière de Frasne (Doubs)

Lien : projet SoHUMID  
BRGM/AFB



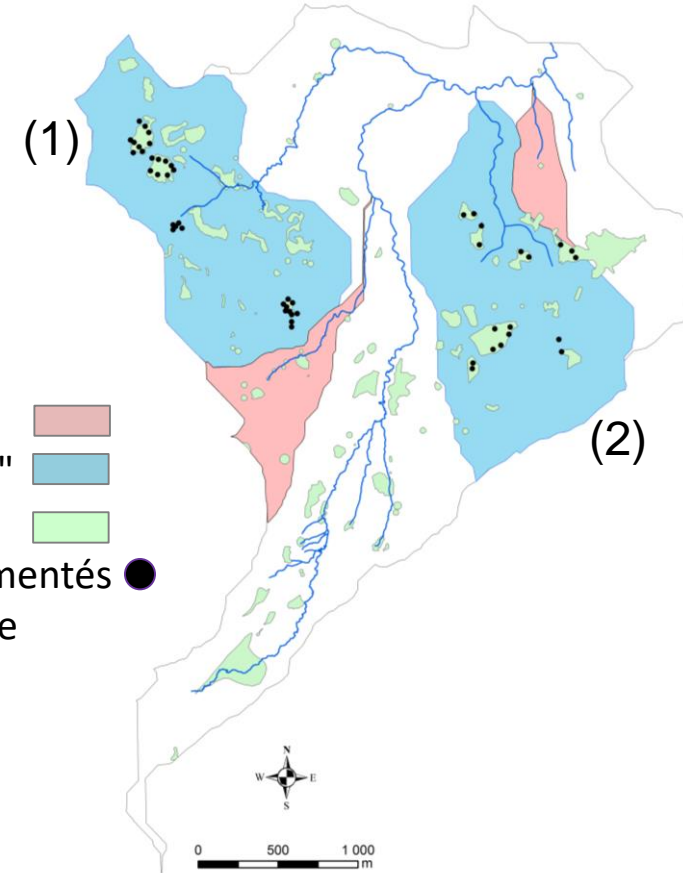
Tourbière "vivante"

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

# Terrains d'étude

## Bassin versant

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



2 couples de BV :

- "témoins"

- "expérimentaux"

Zones Humides

Piézomètres instrumentés ●

Stations de jaugeage

Station météo

- Étude fonctionnelle de ZH (1)

- Étude du déphasage du signal pluie/débit (2)

- Bilan hydrologique à différentes échelles

- Modélisation

# Finalité opérationnelle

## Indicateurs de soutien d'étiage

### Tourbière de tête de bassin versant idéale ?

*Stockage d'eau de pluie  
et transfert vers un cours d'eau (exutoire)*

- 1) pas d'apport souterrain, pas de cours d'eau entrant mais un exutoire clairement identifié
- 2) pluviométrie abondante et faible ETP
- 3) grand volume de tourbière au-dessus de la cote de l'exutoire (zone hydrologiquement active)
- 4) conductivité hydraulique intermédiaire dans la zone hydrologiquement active associée à une faible pente du substratum et forte porosité efficace
- 5) conductivité hydraulique forte en surface pour faciliter l'infiltration de la pluie lorsque la tourbière n'est pas saturée en eau
- 6) très faible pente de surface et présence de végétation susceptible de ralentir le ruissellement
- 7) présence de milieux humides annexes en connexion avec la tourbière (zone tampon)

### A l'échelle du site

- paramètres clefs et gammes de valeurs
- importance relative des critères (hiérarchisation)
- critères de stockage et de restitution
- modélisation : ZH simplifiées théoriques
  
- typologie des zones humides
- jeu d'abaques sur les paramètres clefs
- scénarios climatiques (évolution du potentiel)

### A l'échelle du bassin versant

- identification des variables clefs
- analyse multicritère voire classification des zones humides, machine learning

A suivre...





Merci  
de votre attention





## Quelques images

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



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



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



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



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





# Tourbière de Luitel (38)

## Description rapide

- **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

- **Flux entrant** : pluie (principalement), apports de versant, eau souterraine (par le fond ? latéral ?)
- **Flux sortant** : cours d'eau et ETP, eau souterraine (recharge ?)
- **Failles** : pertes
- **Aménagements/usage** : fossés de drainage, prés communs
- **Données disponibles et instrumentation**
  - Météo depuis 2006
  - Piézomètres : relevé estival depuis 2002 ; 6 capteurs de pression depuis 2013
  - Jaugeage exutoire : depuis 2013
  - LIDAR
  - ...

**Soutien logistique / scientifique**  
**Accès facile**



**Accès**  
**strictement réglementé**  
**par la réserve naturelle**



# Tourbière de Frasne (25)

## Description rapide

- **Localisation** : 60 km au sud de Besançon
- **Altitude** : 850 m
- **Age** : 7 000 ans au moins
- **Surface** : 230 ha
- **Épaisseur** : 1 à 7 m
- **Types de milieu** : tourbière bombée, tourbière de pente, bas-marais, tourbière boisées et milieux annexes
- **Géologie** : calcaire (karst), glaciaire



**Accès  
strictement réglementé  
par la réserve naturelle**

- **Flux entrant** : pluie (principalement), eau souterraine (par le fond ? latéral ?)
- **Flux sortant** : cours d'eau et ETP, eau souterraine (recharge ?)
- **Doline** : capacitif (émissif ?)
- **Aménagements/usage** : fossés (drainage, exploitation de tourbe), fossés comblés

### Données disponibles et instrumentation

- Météo depuis 2008
- Piézomètres : 24 manuels (2004, 2014) ; 12 automatiques (2014)
- Jaugeage exutoire : depuis 2014
- LIDAR
- ...

**Soutien logistique / scientifique**  
**Accès facile**



# Organisation

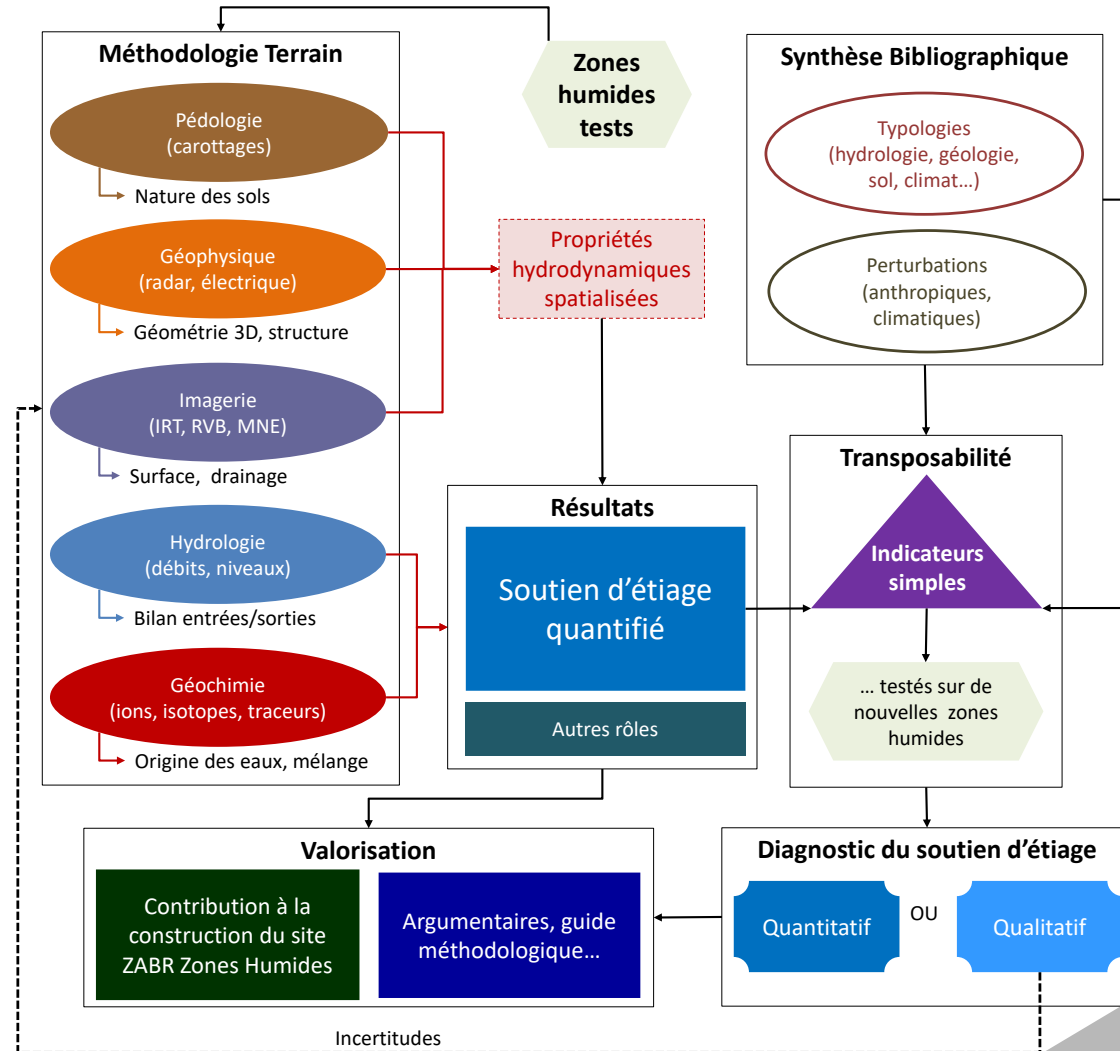
## Méthodologie interdisciplinaire



Carotte de tourbe (Luitel)



Pertes de Fontfroide (Luitel)





# Organisation

## Personnes impliquées

- **Mines Saint-Etienne – UMR 5600 EVS**

**Hydrologie, Hydrogéologie, Modèles réservoirs**

F. Paran, D. Graillot, F. Dujardin

J. Ré-Bahuaud, Y. Pascoletti

- **Mines Alès – LGEI**

**Hydrologique, Statistique, Réseaux de neurones**

A. Johannet, G. Artigue

S. Pinel, H. Caldirak

- **UJM-UMR 5600 EVS-Isthme**

**Pédologie, Géomatique, Multicritère, Maching learning**

H. Cubizolle, P.O. Mazagol, C. Sacca J. Riquier

T. Jolly

- **UJM-UMR 6524 LMV**

**Géochimie**

Véronique Lavastre, June Chevet

- **ENTPE-UMR 5023 Lehna**

**Géophysique**

T. Winiarski

- **AERMC**

L. Cadilhac, F. Chambaud, N. Bosc-Bossut,

É. Lunaud, C. Zys, L. Perrin, M. Pignon

- **ONF Aude**

C. Cocula, E. Ebrard, B. Laroque

- **Comité de suivi (CEN)**

D. Danancher, J. Porteret

- **Tourbière de Luitel**

ONF Isère : C. Desplanque

Université de Grenoble IGE : J.P. Laurent

- **Tourbière de Frasne**

Epape Haut-Doubs Haute-Loue : G. Magnon, L.

Collin, T. Van-Rijswijk, V. Berthus

Communauté de communes Frasne Drugeon :

T. Van-Rijswijk, V. Berthus

Laboratoire Chrono-environnement - UMR 6249

CNRS-UFC: C. Bertrand, G. Bertrand, M.L.

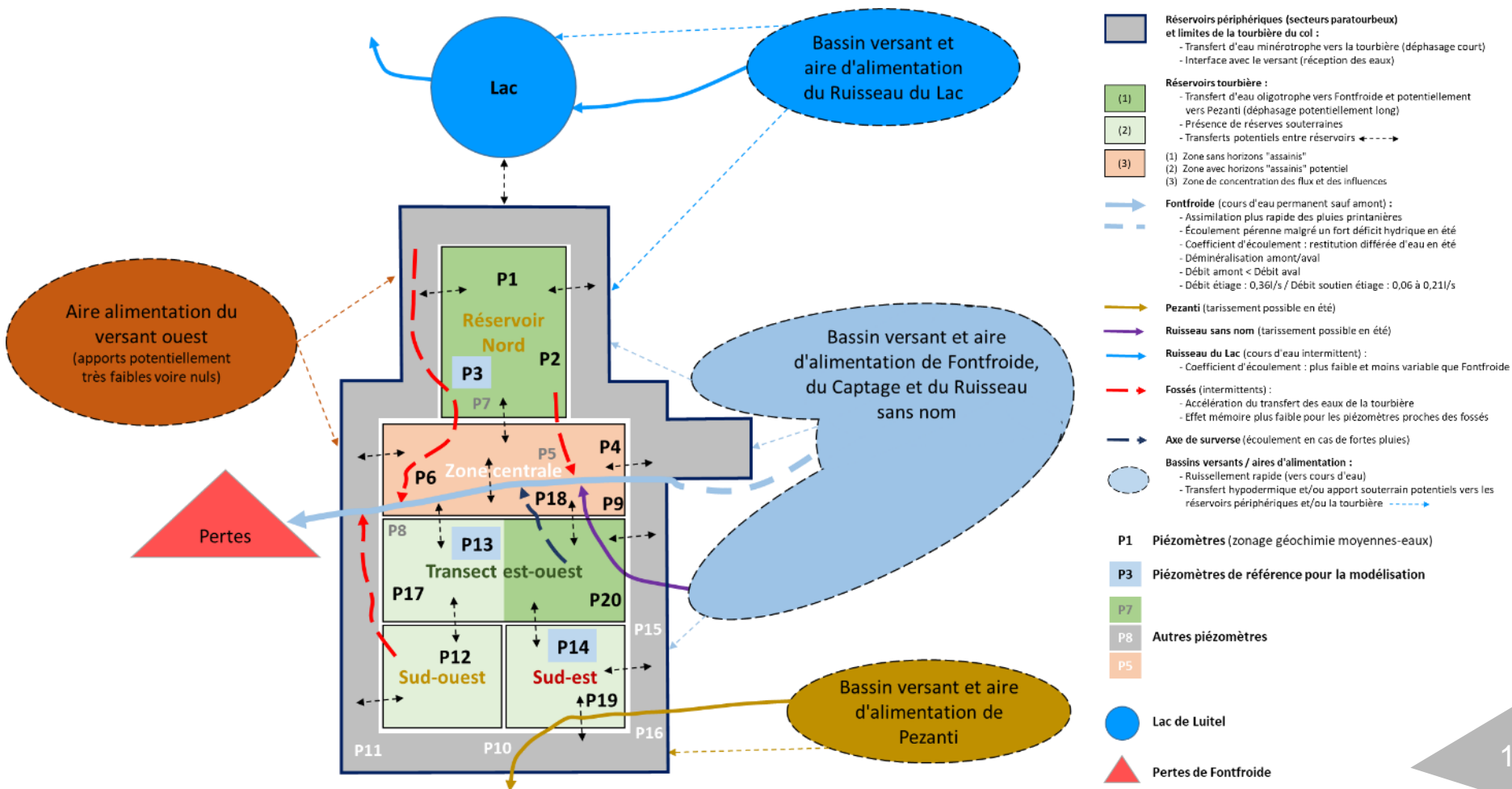
Toussaint, A. Lhosmot



# Carte de synthèse

## Fonctionnement hydrologique : Luitel

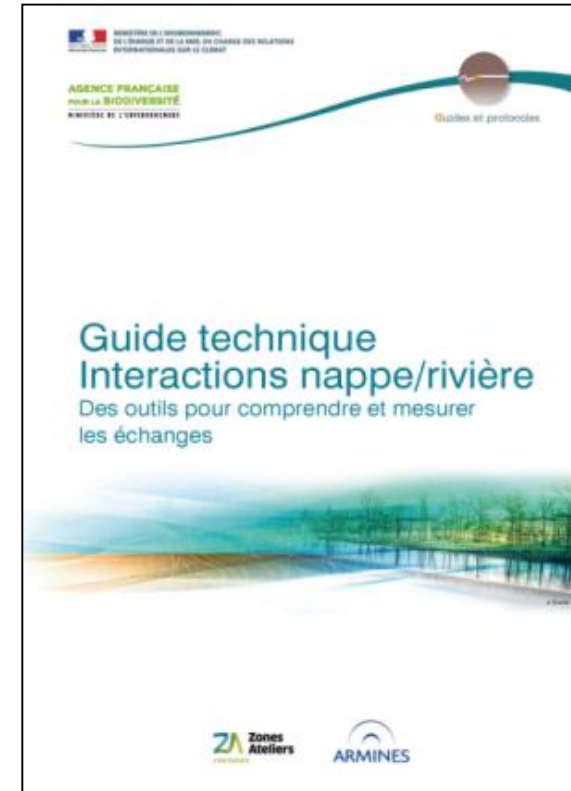
### Carte de synthèse du fonctionnement hydrologique du Luitel



# Projets

## Interactions Eso/Esu

- **Aquifères alluviaux/rivière (Rhône) [2006-2015]**
  - 1 thèse (E. Lalot, 2014)
  - 1 guide méthodologique<sup>1</sup> (AE-RMC/Zabr, 2015)
  - 1 guide technique<sup>2</sup> (AFB, 2017)
- **Karst/rivière (Cèze, Gard) [2013-2020]**
  - 1 thèse (H. Chapuis, 2017)
  - 1 guide méthodologique (AE-RMC/Zabr, 2020)
- **ZH/Eso/Esu (Luitel-38, Frasné-26) [2016-2021]**
  - projet en cours
  - 1 guide méthodologique ou technique (AE-RMC/Zabr, 2022 ?)
- **Caprice (Chaîne des Puys, Veyre, Côte) [2019-2022]**
  - projet en cours
  - contexte volcanique



<sup>1</sup> [http://www.graie.org/zabr/zabrdoc/Guides\\_methodo/Guide\\_Echanges\\_NR\\_RMC\\_VF.pdf](http://www.graie.org/zabr/zabrdoc/Guides_methodo/Guide_Echanges_NR_RMC_VF.pdf)

<sup>2</sup> <http://www.onema.fr/Guide-Interactions-nappe-riviere>



## Références bibliographiques

### ZHTB

- Paran F., Ré-Bahuaud J., Graillot D. (2017) Étude et compréhension du rôle hydrologique et hydrogéologique des zones humides de têtes de bassins dans le soutien d'étiage des cours d'eau. Recherche de références dans les contextes très contrastés du bassin du Rhône. Rapport phase 1. Zabr, AE-RMC, UMR 5600 EVS, Mines Saint-Étienne.
- Paran F., Pascoletti Y., Graillot D., Dujardin F., Artigue G., Pinel S, Caldirak H., Johannet A., Winiarski T., Cubizolle H., Jolly T., Mazagol P.M., Sacca C., Riquier J., Lavastre V., Chevet J., Cocula C., Ebrard E., Laroque B. (2019) Étude et compréhension du rôle hydrologique et hydrogéologique des zones humides de têtes de bassins dans le soutien d'étiage des cours d'eau – Mise en œuvre sur les sites de Luitel et Frasné. Rapport phase 2. Zabr, AE-RMC, 183p + annexes.

### Guides et thèses : interactions eso/esu

- Paran F., Arthaud F., Novel M., Graillot D., Bornette G., Piscart C., Marmonier P., Lavastre V., Travi Y., Cadilhac L. (2015) Caractérisation des échanges nappes/rivières en milieu alluvionnaire – Guide méthodologique. Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse – Eau et connaissance, 178p.
- Lalot E. (2014) Analyse des signaux piézométriques et modélisation pour l'évaluation quantitative des échanges hydrauliques entre aquifères alluviaux et rivières – Application au Rhône. Thèse de Doctorat. Mines Saint-Étienne
- Paran F., Augeard B. (coordinateurs) (2017) Guide technique Interactions nappe/rivière : des outils pour comprendre et mesurer les échanges. Agence française pour la biodiversité, collection Guides et protocoles, 102p.
- Chapuis H. (2017) Caractérisation, évaluation, modélisation des échanges entre aquifères karstiques et rivières – Application à la Cèze (Gard, France). Thèse de Doctorat. Mines Saint-Étienne.