



Une école de l'IMT



# Projet ZHTB

Zones Humides, soutien d'étiage, Tête de Bassin

*Interactions ZH/ESO/ESU*

2016-2021

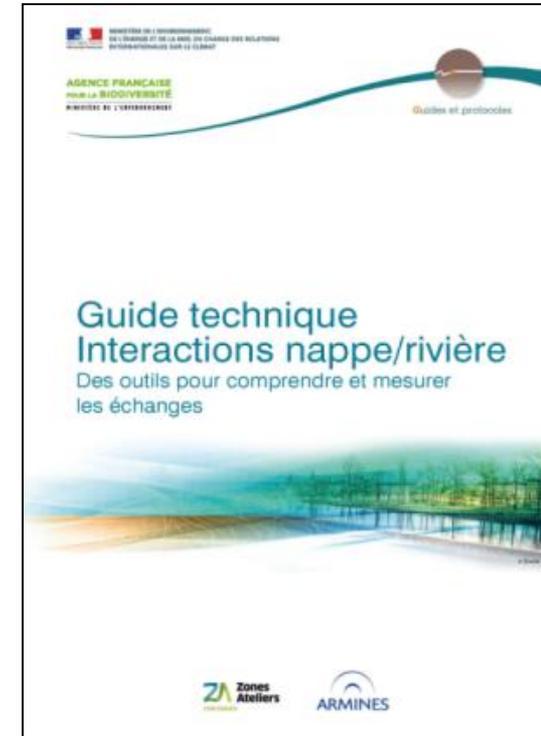
**Frédéric Paran**

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



- **Aquifères/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) [2013-2018]**
  - 1 thèse (H. Chapuis, 2017)
  - 1 guide méthodologique (AE-RMC/Zabr, décembre 2019)
- **ZH/Eso/Esu (Luitel, Frasne) [2016-2021]**
  - projet en cours
  - 1 guide méthodologique ou technique (AE-RMC/Zabr, 2022 ?)



<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)

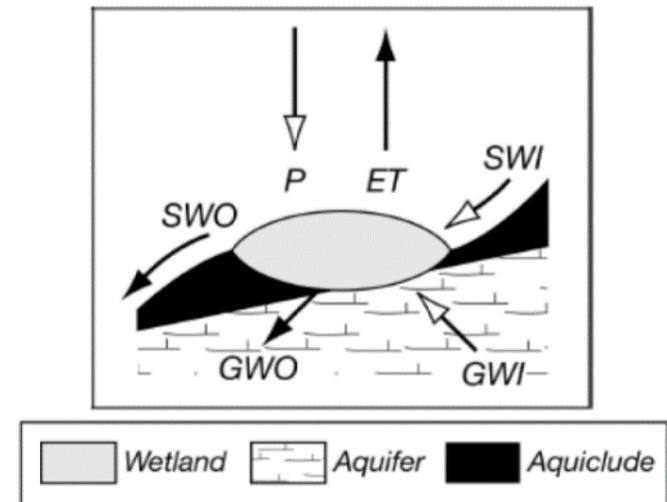
<sup>2</sup> <http://www.onema.fr/Guide-Interactions-nappe-riviere>

## Contexte et objectif du projet ZHTB ZH, soutien d'étiage, tête de bassin

**Zone Humide** = Objet emblématique pour la biodiversité + Enjeux  
+ Complexité + Interdisciplinarité + Nombreux travaux

- ➔ Quel est le rôle des zones humides (ex : tourbières) dans le stockage de l'eau et le soutien d'étiage des cours d'eau ?
- ➔ Questionnement par rapport au rôle réel des ZH ?

- **Comment déterminer l'origine et le cheminement des eaux ?**
- **Comment quantifier le potentiel de stockage et de restitution des zones humides ?**



## Planification du projet ZHTB

3 phases - 2016 à 2021

- **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 (instrumentation, mesures, échantillonnage)

- **Phase 2 (2017-2019) - en voie de finalisation**

Rapport phase 2 prévu pour décembre 2019

Métadonnées : <https://metazabr.irstea.fr/geonetwork>

- instrumentation, mesures et échantillonnage (2 sites)
- réflexion sur le changement d'échelle
- réflexion sur les indicateurs

- **Phase 3 (2019-2021) - en cours**

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

Luitel : bassin versant amont (Chamrousse)



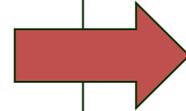
Luitel : bassin versant aval (pertes)



## Apports de l'état de l'art (Phase 1)

### Choix des sites d'études

- **Localisation** : tête de BV RMC, géologie, climat
- **Caractéristiques** : surface, existence d'un exutoire identifié, débit à l'exutoire, épaisseur...
- **Connaissances, données et équipements** : station météo, piézomètres, station de jaugeage, géochimie, géophysique, pédologie, hydrodynamique...
- **Flux d'eau** : simples ou pas trop complexes
- **Travaux de recherche**
- **Accès**



- **Tourbière de Luitel (Isère)**



- **Tourbière de Frasne (Doubs)**

**Lien : projet SoHUMID**  
BRGM/AFB



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

# Apports de l'état de l'art (Phase 1)

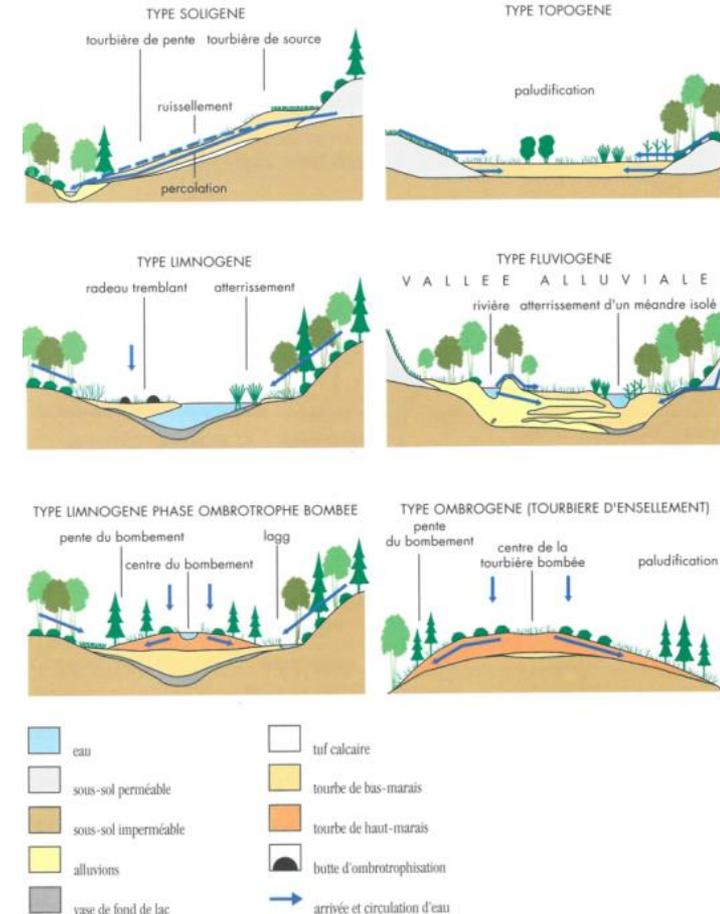
## Points clefs

- **Typologie des ZH** : très nombreux types (dont fonctionnels), structuration en mosaïque
  - ➔ fonction hydrologique compartimentée en plusieurs « réservoirs » aux propriétés différentes dans l'espace et dans le temps
- **Stockage et restitution d'eau par les ZH** : globalement faible voire très faible
  - ➔ rôle d'éponge mis en question (soutien d'étiage, ralentissement des crues)
- **Interaction des ZH avec l'hydrosystème** : bassin versant, eaux souterraines, cours d'eau, climat
  - bilan hydrologique complexe



SCHÉMAS DU FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DES PRINCIPAUX TYPES DE TOURBIÈRES

(d'après G. M. STEINER). Les flèches indiquent les mouvements latéraux ou verticaux de l'eau.

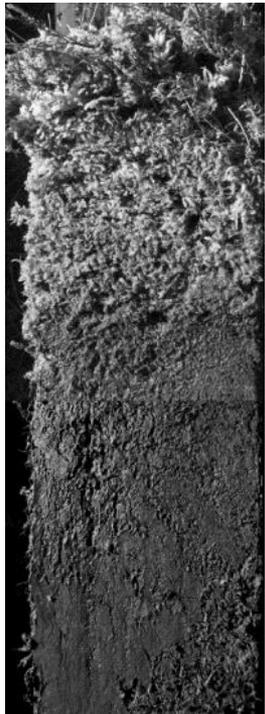


In Manneville et al., 1999

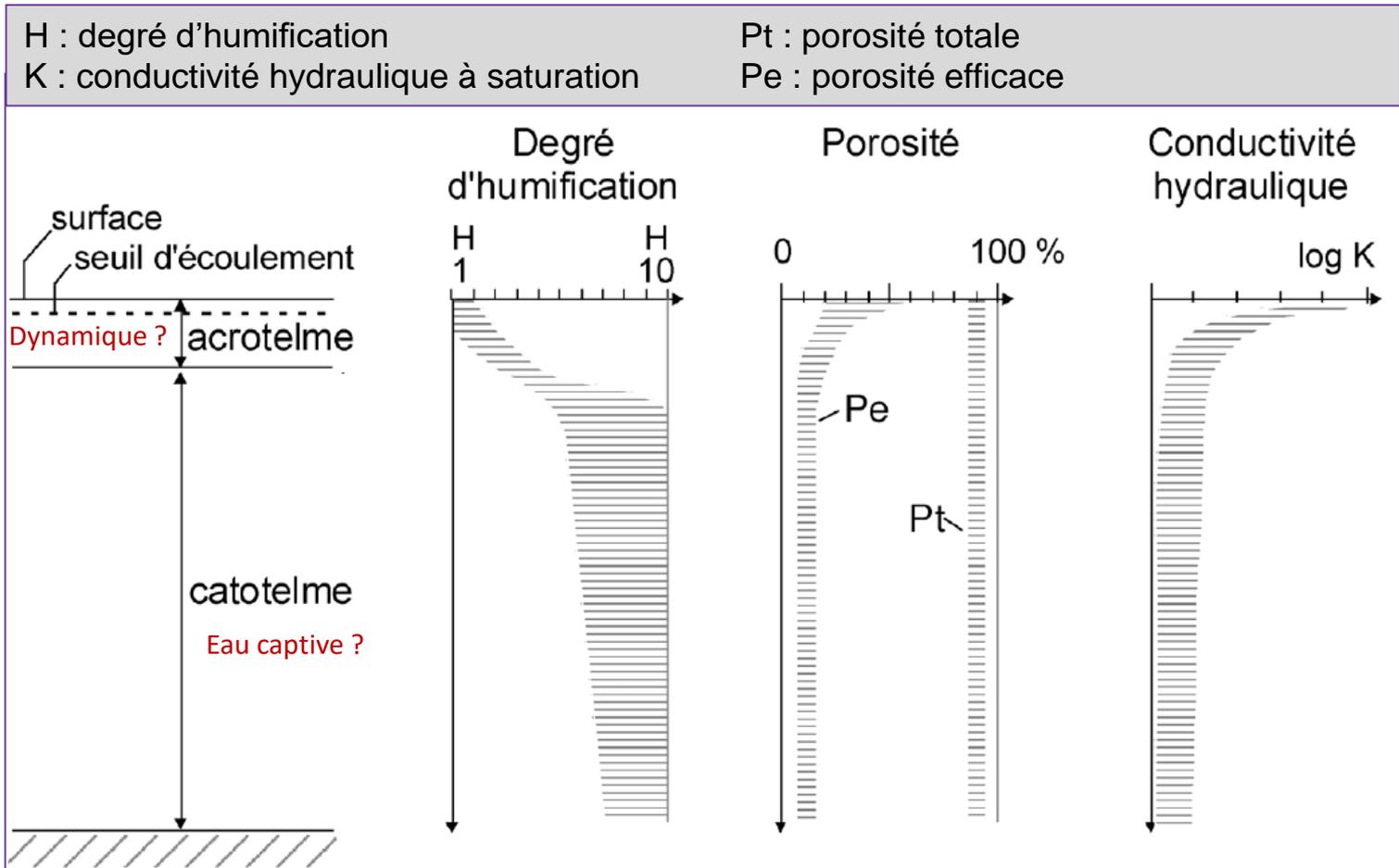
# Apports de l'état de l'art (Phase 1)

## Structuration des tourbières

### Structure diplotelmique ; réservoir organique déformable



Wastiaux, 2008



# Apports de l'état de l'art (Phase 1)

## Paramètres clefs (indicateurs ?)

	Types de facteurs	Stockage : écrêtage et ralentissement dynamique des crues <i>Facteurs pris en compte</i>	Restitution : soutien d'étiage <i>Facteurs pris en compte</i>
FAVORISANT	Permanents	(sup : forte S) <b>Propriétés hydrodynamiques</b> (K et S) de l'acrotelme (inf : K intermédiaire : $10^{-3}$ à $10^{-5}$ m.s <sup>-1</sup> ) - Capacité d'infiltration de l'acrotelme (forte) - Microtopographie (ralentissement ruissellement)	
	Transitoires	Travaux de drainage (court terme) - Forte ETP (espace disponible pour le stockage)	
	Conditionnels	<b>Volume et épaisseur de l'acrotelme</b> (grand) - <b>Géométrie</b> (cote de l'exutoire) - Pente du substratum (<5%)	
DÉFAVORISANT	Permanents	(faible porosité) Propriétés hydrodynamiques du catotelme (faibles K et S) Volume et épaisseur de l'acrotelme (faible) / faible battement de nappe	- <b>ETP</b> / prélèvement végétaux dans nappe (fort)
	Transitoires	Travaux de drainage (long terme) - Fréquence élevée de hauts niveaux piézométriques (peu d'espace de stockage)	
	Conditionnels	Pipes (écoulement préférentiel souterrain)	- Pente du substratum (>5%)

# Organisation (Phase 1)

## Compétences et méthodologie

- Mines Saint-Etienne – UMR 5600 EVS

F. Paran, D. Graillet

- Mines Alès – LGEI

A. Johannet, G. Artigue

- UJM-UMR 5600 EVS-Isthme

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

J. Riquier

- UJM-UMR 6524 LMV

Véronique Lavastre

- ENTPE-UMR 5023 Lehna

T. Winiarski

- AERMC

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

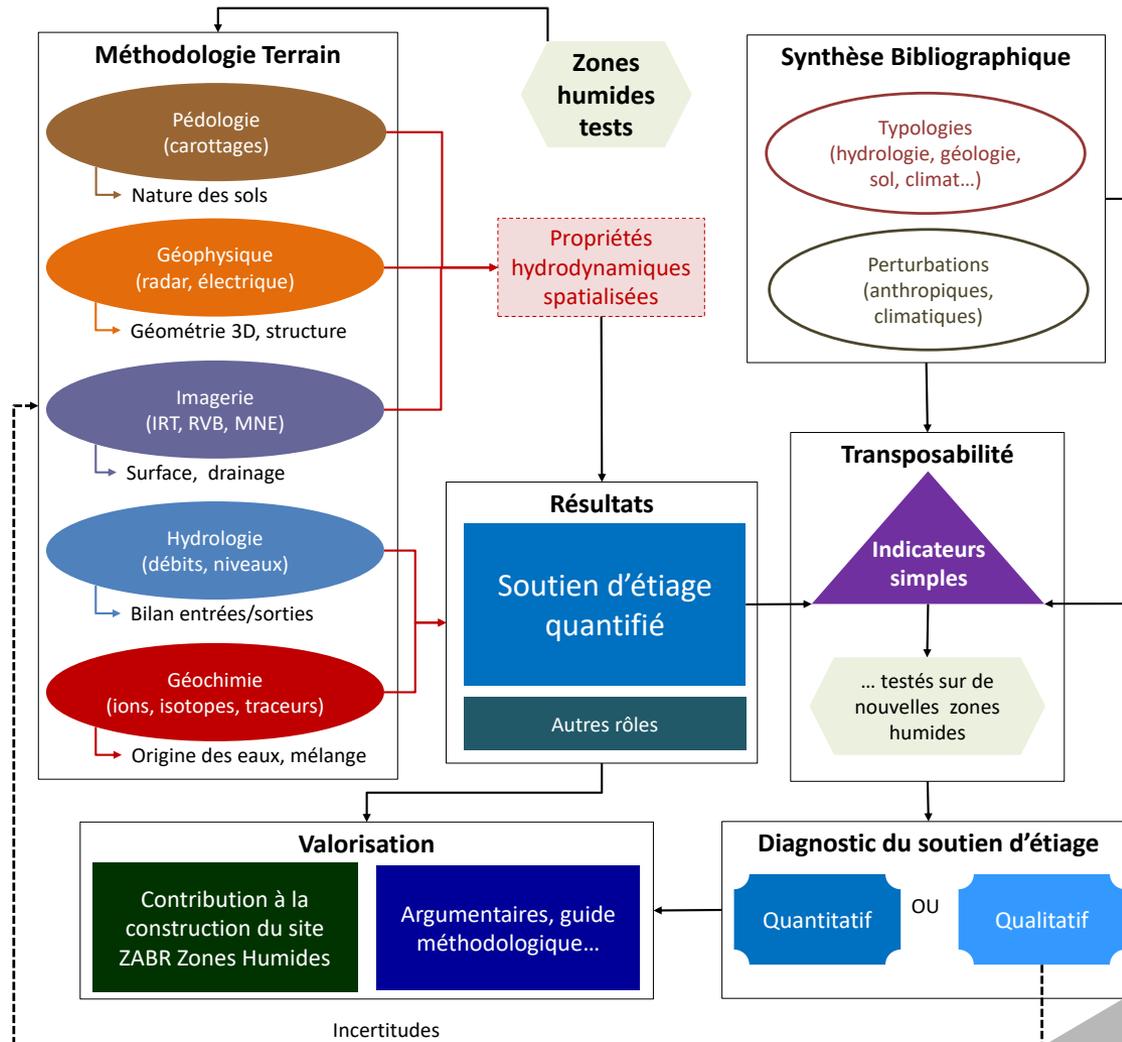
É. Lunaud, C. Zys, L. Perrin, M. Pignon

- ONF Aude

C. Cocula, E. Ebrard, B. Laroque

- Comité de suivi (CEN)

D. Danancher, J. Porteret



# Approche méthodologique (Phase 1)

## Articulation : mesures, instrumentation, échantillonnage

- **Bilan hydrologique / Analyse statistique**

Suivis hydrologique, hydrogéologique et météorologique

- **Géométrie**

Carottes pédologiques, géophysique, topographie, types de végétations

- **Propriétés hydrodynamiques**

Carottes pédologiques

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

Géochimie

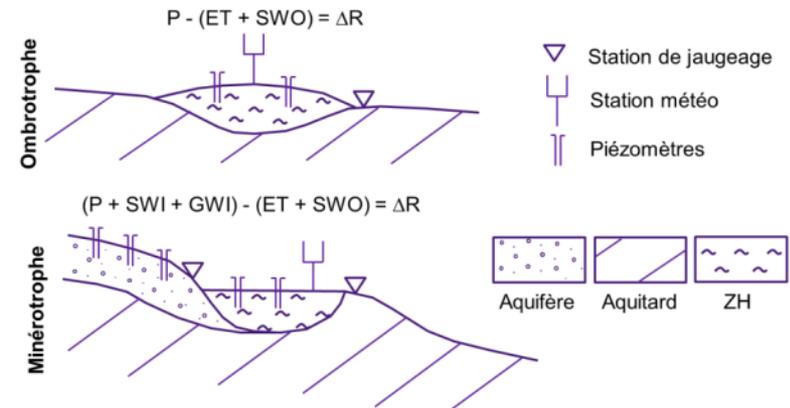
+

+

+

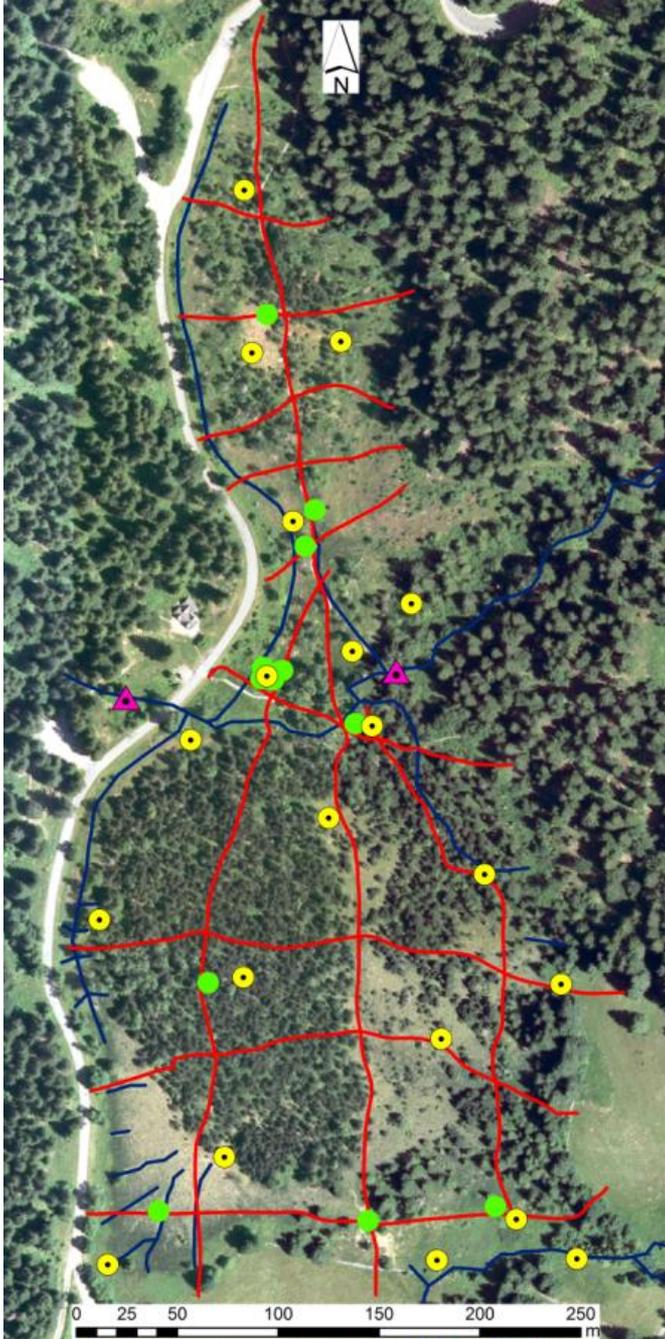


Seuil amont Fontfroide (Luitel) en octobre 2018  
(C. Desplanque)



**Stockage/restitution**

**Origine/cheminement de l'eau**



## Mise en œuvre au Luitel (Phase 2)

### Tâches en cours

- **Autorisation préfectorale**
- **Partage de données** : météorologiques, hydrologiques (niveau de nappe, débit en ruisseau) et géophysiques
- **Instrumentation complémentaire** :
  - 2 seuils jaugés amont et aval ▲ les débits (sondes CTD)
  - + 1 existant forts débits
  - 5 sondes en piézomètres + 7 existantes ●
- **Nivellement des piézomètres**
- **Géophysique** :
  - 12 profils — GPR (2700m) complémentaires de ceux réalisés en 2008
  - Géométrie tourbière, interface acrotelme/catotelme, interface tourbière/versant
- **Pédologie**: stage master 1 et 2, T. Jolly ●
- **Modélisation** : stage master 2, Y. Pascoletti
- **Géochimie** : ions majeurs, isotopes H<sub>2</sub>O

# Mise en œuvre au Luitel (Phase 2)

## Chroniques – Fontfroide

- 1 Atténuation du pic de crue
- 2 Etiage prolongé (débit très faibles /  $Q_{\text{amont}} > Q_{\text{aval}}$ ) – soutien d'étiage ?
- 3 Dénoyage de la sonde aval (sous-écoulement persistant  $Q < 0,5\text{l/s}$ )

Chroniques - moyennes journalières : Fontfroide (avril à novembre 2018)

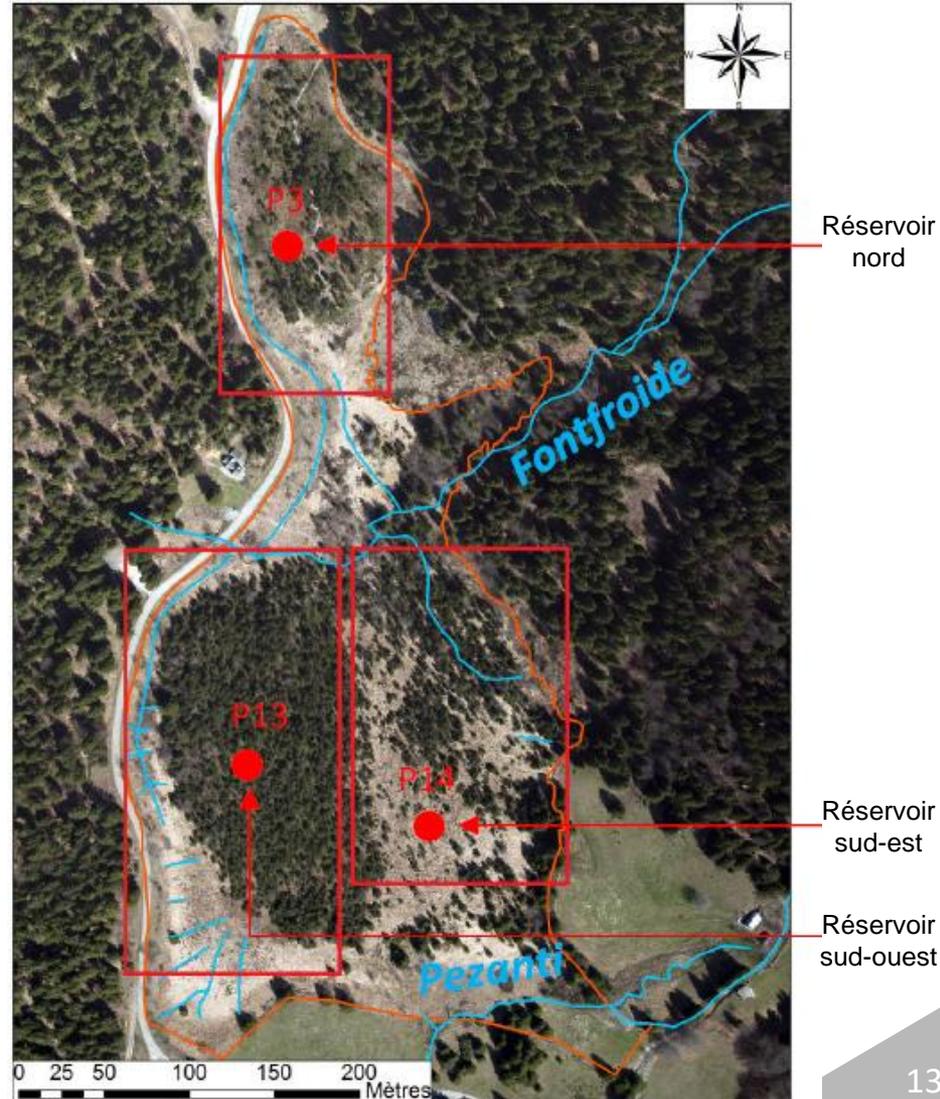
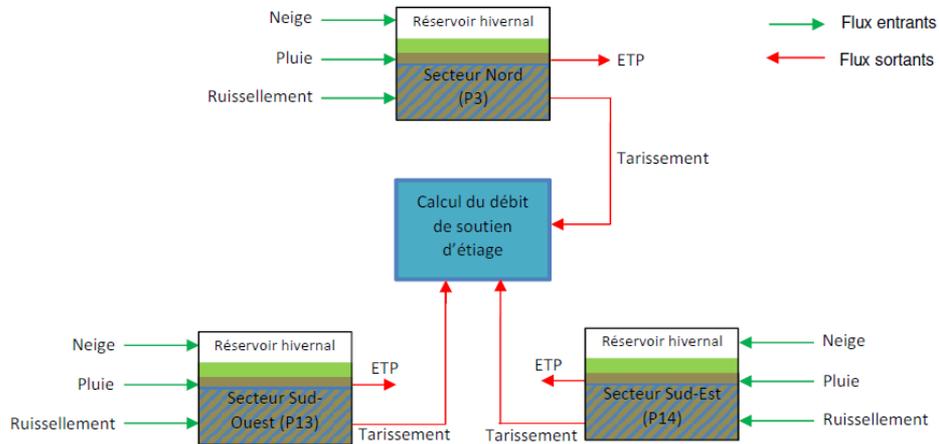


# Mise en œuvre au Luitel (Phase 2)

## Essai de modélisation du soutien d'étiage (Y. Pascoletti)

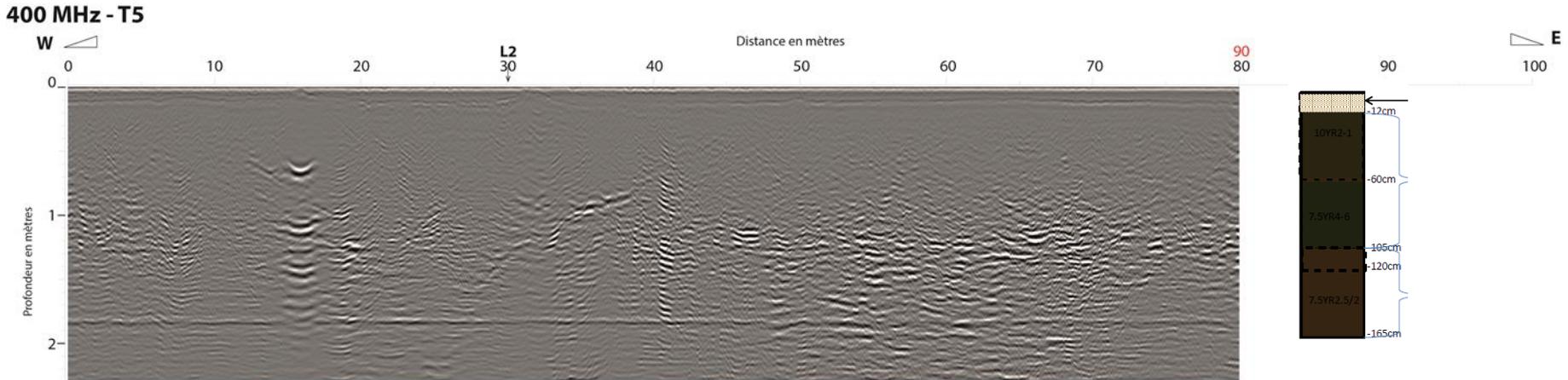
### • Modèle réservoir (Vensim)

Période	Débit moyen de Fontfroide (L/s)	Débit moyen de soutien d'étiage (L/s)	Pourcentage
Été 2014	8,36	0,21	2,52 %
Été 2015	11,74	0,06	0,53 %
Été 2016	4,56	0,07	1,45 %



## Mise en œuvre au Luitel (Phase 2)

### Géophysique + pédologie : Géométrie 3D (T. Jolly)



- **Phase 2**
  - + Géométrie de la cuvette (GPR 2008)
  - + Recherche des interfaces dans la tourbière (GPR 2018)
  - + Caractérisation pédologique (2018)
- **Phase 3**
  - Validation et calibration des profils GPR
  - Interpolation de la structure 3D de la tourbière
  - Interprétation fonctionnelle du point de vue hydraulique



Carotte de tourbe – mai 2019  
(C. Desplanque)

## Bilan (Phase 2)

- Questionnement sur le rôle de soutien d'étiage des ZH
- Détermination de paramètres clefs favorables au soutien d'étiage et nécessaires pour sa quantification (tourbières)
- 2 sites d'études principaux (Luitel et Frasne)
- Intégration de la ZH dans son hydrosystème (bilan hydrologique)
- Prise en compte de la complexité des ZH (fonction hydrologique compartimentée en plusieurs réservoirs)
- Changement d'échelle : du site au bassin versant (ZH BV Aude, ONF)
- Vers des indicateurs pour l'évaluation du soutien d'étiage



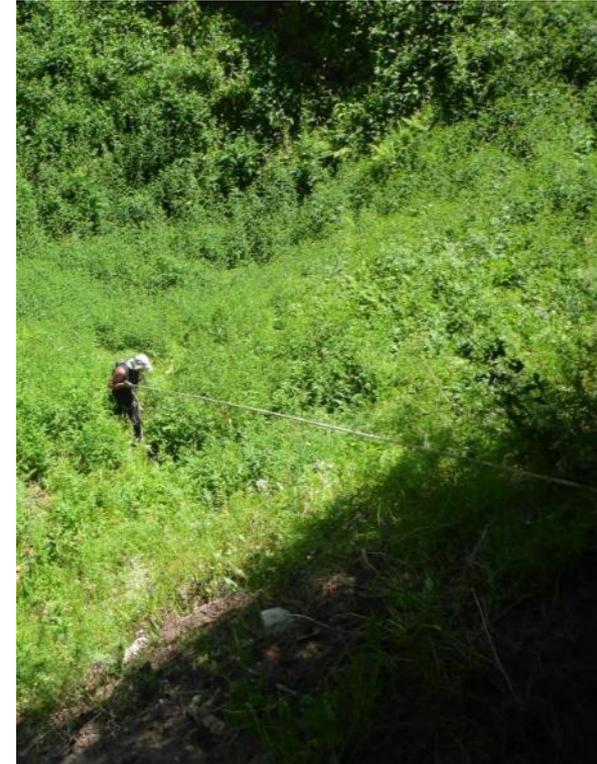
*GPR à Frasne  
(G. Magnon, Janvier 2019)*



## Suite du projet

### Tâches prévues en phase 3

- **Poursuite de l'acquisition de données et d'informations**
- **Analyse et synthèse des données**
- **Poursuite des travaux de modélisation**
- **Élaboration d'indicateurs synthétiques d'évaluation du soutien d'étiage**
  - à l'échelle du site (Frasne et Luitel)
  - à l'échelle du bassin versant - approche géomatique multicritère, ZH BV Aude)
- **Test et transférabilité des indicateurs**
  - sites présélectionnés en phase 1
  - ZH du BV de l'Aude
- **Restitution et valorisation**

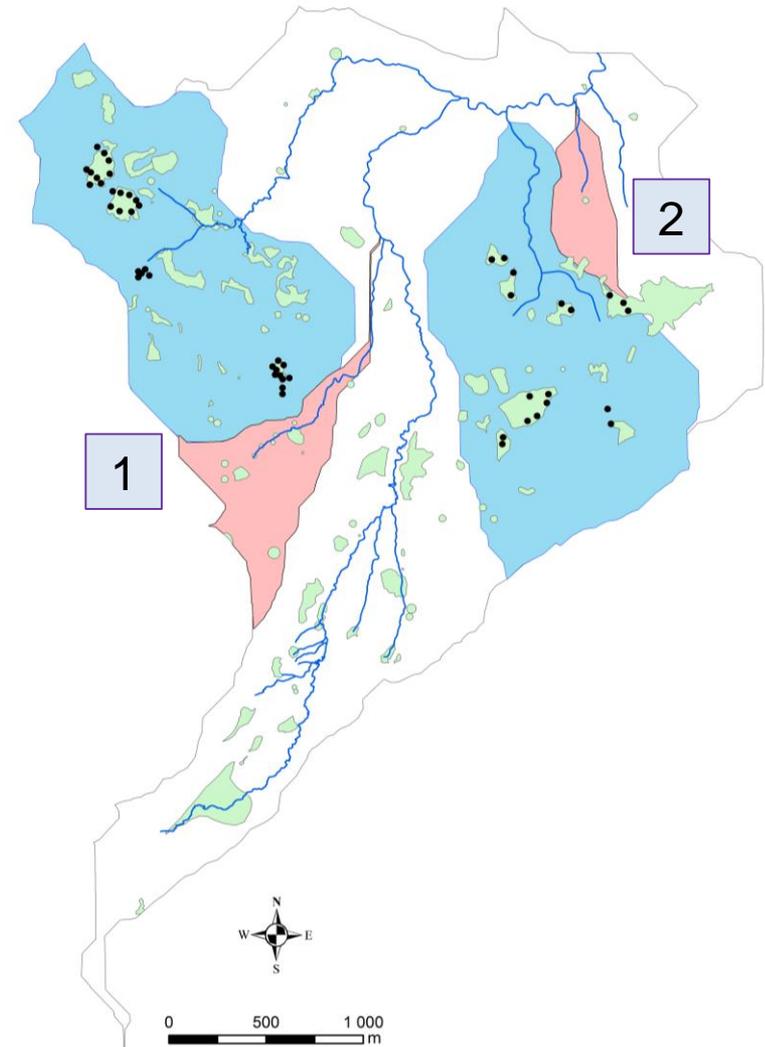


*Installation d'une sonde CTD  
au Creux du lard (Frasne)  
en juin 2018*

## Projet en lien (ONF)

### ZH de la haute-Vallée de l'Aude

- **Bassin du Madres**
- **2 couples de bassins versants :**
  - témoins  peu de ZH 
  - expérimentaux  ombreuses ZH 
- **Instrumentation :**
  - Piézomètres avec sonde de pression 
  - Station météo (1 par couple)
  - Seuils jaugés
- **Objectifs :**
  - Étude fonctionnelle de ZH (couple 1)
  - Étude du déphasage du signal pluie/débit (couple 2)
  - Bilan hydrologique à différentes échelles



## Special thanks

Post-doc, stagiaires et gestionnaires,  
chercheurs...

- **Post-doc** : Jordan Ré-Bahuaud, Sébastien Pinel
- **Stagiaires de master** :
  - Yvan Pascoletti
  - Thomas Jolly
- **Tourbière de Luitel** :
  - ONF - Carole Desplanque
  - IGE - Jean-Paul Laurent
- **Tourbière de Frasne** :
  - SMHDHL : Geneviève Magnon, Louis Collin, Thibault Van Rijswijk, Vincent Bertus, Michel Sauret
  - Chrono Environnement : Catherine Bertrand, Marie-Laure Toussaint, Guillaume Bertrand
  - Marie de Frasne : Philippe Alpy (déneigement et autorisation de circulation)
  - Gîte de la Sauge à Mignovillard : Mr et Me Salomon





Merci  
de votre attention



## 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**

# 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

- **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**

## Références bibliographiques

- 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.
- 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.
- Gilvear D.J., Bradley C. (2009) Hydrological dynamics II: groundwater and hydrological connectivity. In *The Wetlands Handbook* (eds E. Maltby & T. Barker), pp. 169–193. Wiley-Blackwell, Chichester, UK.
- Manneville O., Vergne V., Villepoux O. (1999) *Le monde des tourbières et des marais*. Delachaux et Niestlé ed. Lausanne (Switzerland)-Paris, 320p
- Wastiaux C., 2008. Les tourbières sont-elles des éponges régularisant l'écoulement ? *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 50, 2008, 57-66.
- Desplanque C. (2011) Plan de Gestion 2011-2020.
- Desplanque C., Garambois S. (2010) Caractérisation de la paléotopographie de la tourbière ombrotrophe du Luitel au moyen de méthodes géophysiques. *Ann. Sci. Rés. Bios. Trans. Vosges du Nord-Pfälzerwald*, 15, pp. 305-3015.