

# Fonctionnement hydrologique des zones humides de tête de bassin versant de l'Aude (11)



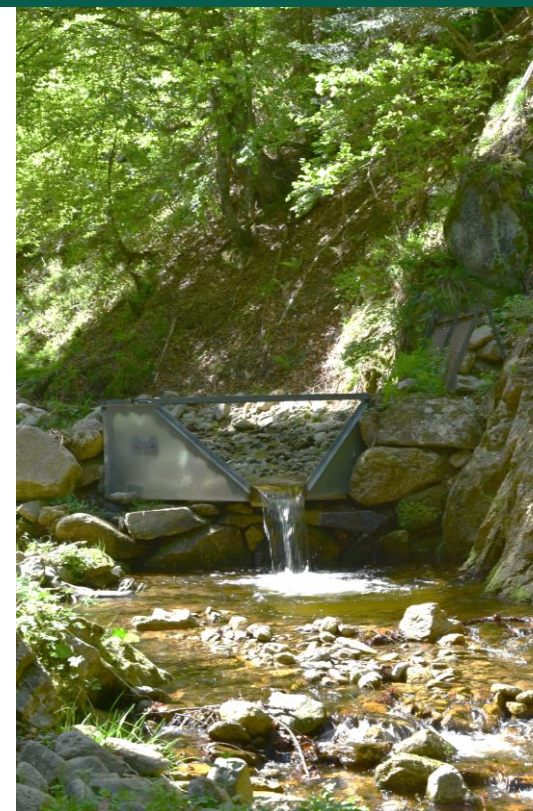
Massif du Madres

Benoît LARROQUE, ONF

Frédéric PARAN, Mines St Etienne

Rencontres naturalistes d'Occitanie – OCnat

15 mars 2024

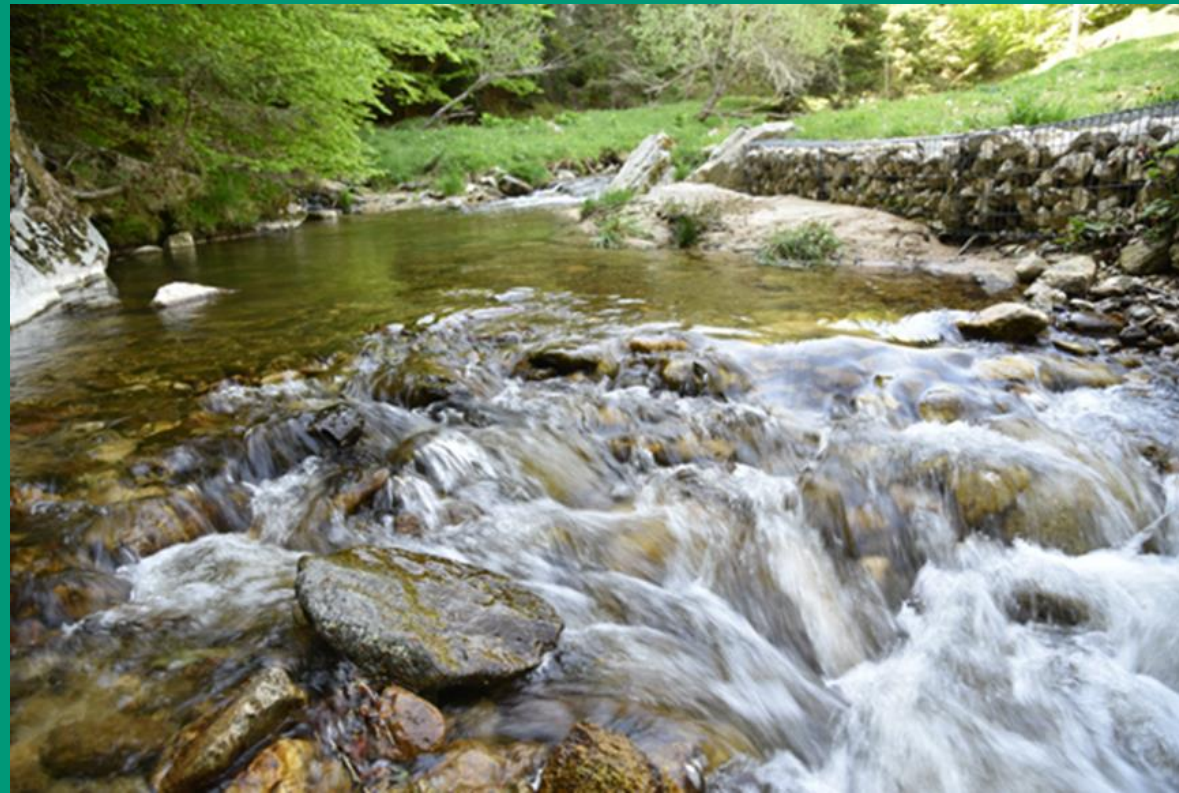


# Plan de la présentation

- 1. Contexte, questionnements, méthodologie**
- 2. Synthèse des apports scientifiques**
- 3. Interprétations vis-à-vis de la gestion conservatoire et préconisations**
- 4. Conclusions et perspectives**

+ Temps d'échange

# 1. Contexte, questionnements, méthodologie



# Contexte et problématique générale

**Déficit hydrique** important du bassin de l'Aude (37 millions de m<sup>3</sup> par an – SMARR, 2009)

Tension sur la ressource avec **contrastes** forts entre :

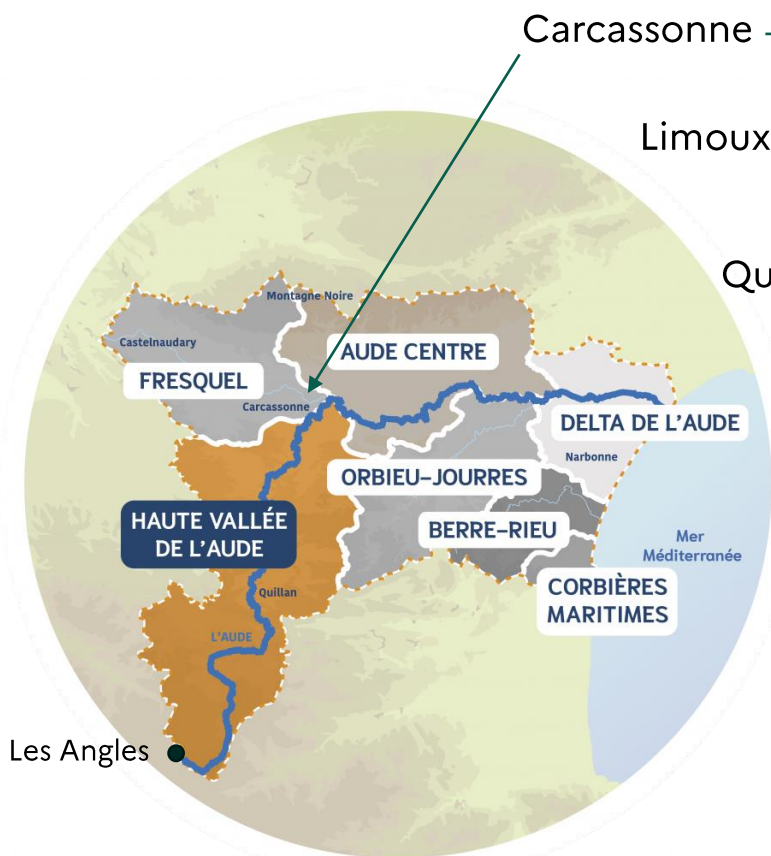
- les besoins en eau des secteurs médian (agglomération de Carcassonne) et aval (plaine agricole)
- les apports de l'amont

## -> Estimer les fonctions des zones humides (ZH) dans le cycle hydrologique

- Caractériser un fonctionnement hydrologique peu étudié, voire méconnu
- Évaluer la **capacité de soutien d'étiage** des zones humides
- Évaluer la **réponse hydrologique des zones humides aux pluies**
- Cerner les processus fonctionnels au sein des zones humides
- Améliorer la gestion des zones humides et des espaces naturels forestiers à l'amont



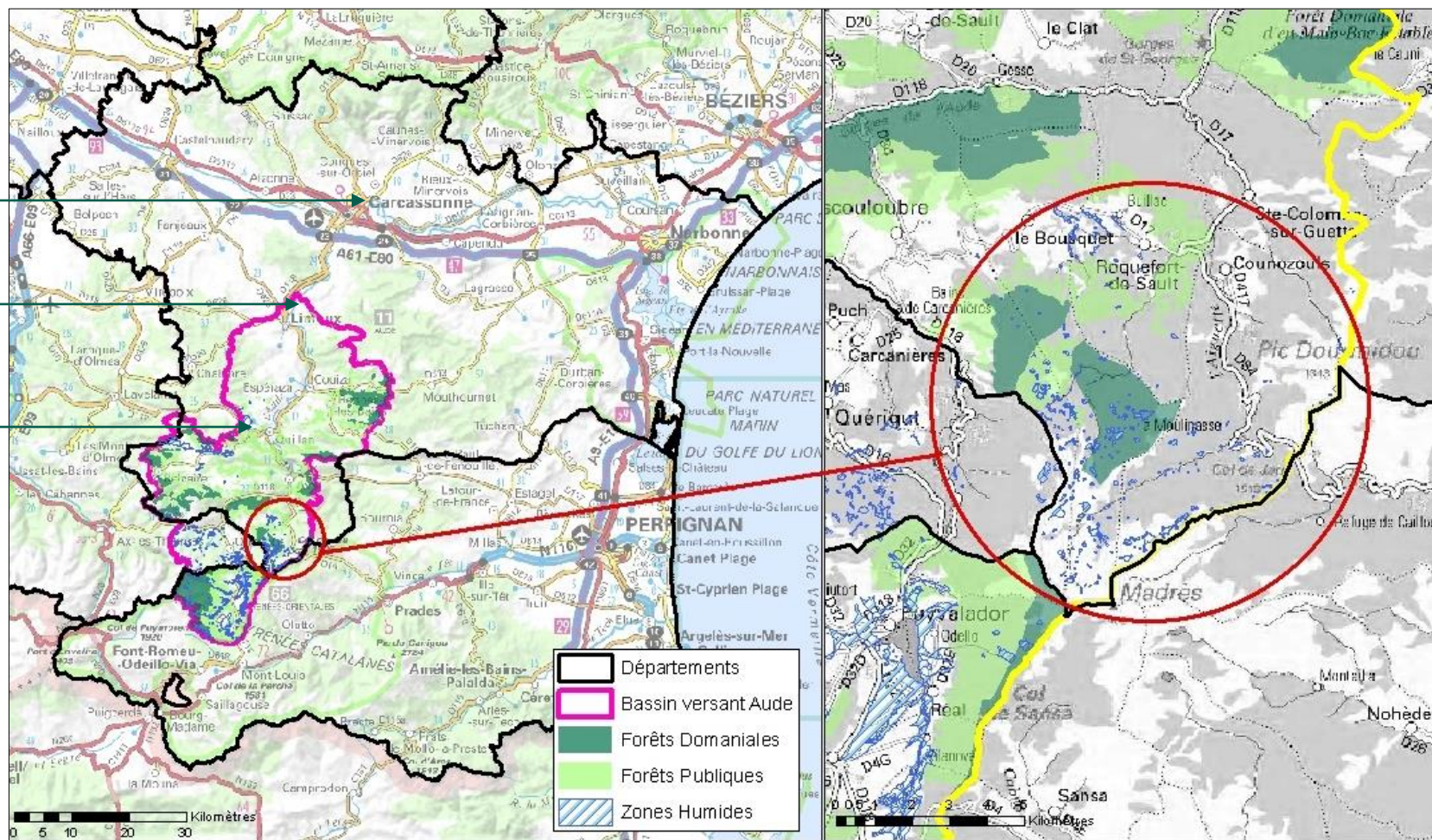
# Localisation : la haute vallée de l'Aude (HVA)



Carcassonne

Limoux

Quillan



Carte - Localisation de la partie amont du bassin versant de l'Aude (en rose) et de la tête de bassin versant de l'Aude sélectionnée dans l'étude (en rouge)

Carte – Localisation du bassin versant de la Haute Vallée de l'Aude en orange

(source : smmar.org)

# Projet conduit entre 2017 et 2022

?  
Soutien d'étiage  
et fonctionnement  
des ZH  
?

Analyse des données  
hydrométéorologiques



2 échelles spatiales imbriquées

Bassins versants  
élémentaires

Analyses statistiques

Comparer les bilans hydrologiques d'un sous-bassin versant « instrumenté », présentant des zones humides, et d'un sous-bassin versant « témoin », sans zone humide

Zones humides  
Sites tourbeux

Modélisation à base physique

Essais de modélisation à l'échelle d'une zone humide

Pilotage /  
coordination et  
appui terrain



En collaboration avec le projet ZHTB  
Analyse à l'échelle de sites tourbeux :  
tourbières de Frasne (25) et du Luitel (38)

# Instrumentation mise en place

## Échelle du bassin versant

### Bassin versant Pountarrou

1 sous-bassin versant pilote avec ZH (rouge pointillés)

1 sous-bassin versant témoin sans ZH (vert pointillés)

- 2 H-Flume<sup>1</sup> (débitmètres) aux exutoires

- Pluviomètre<sup>2</sup> ◆

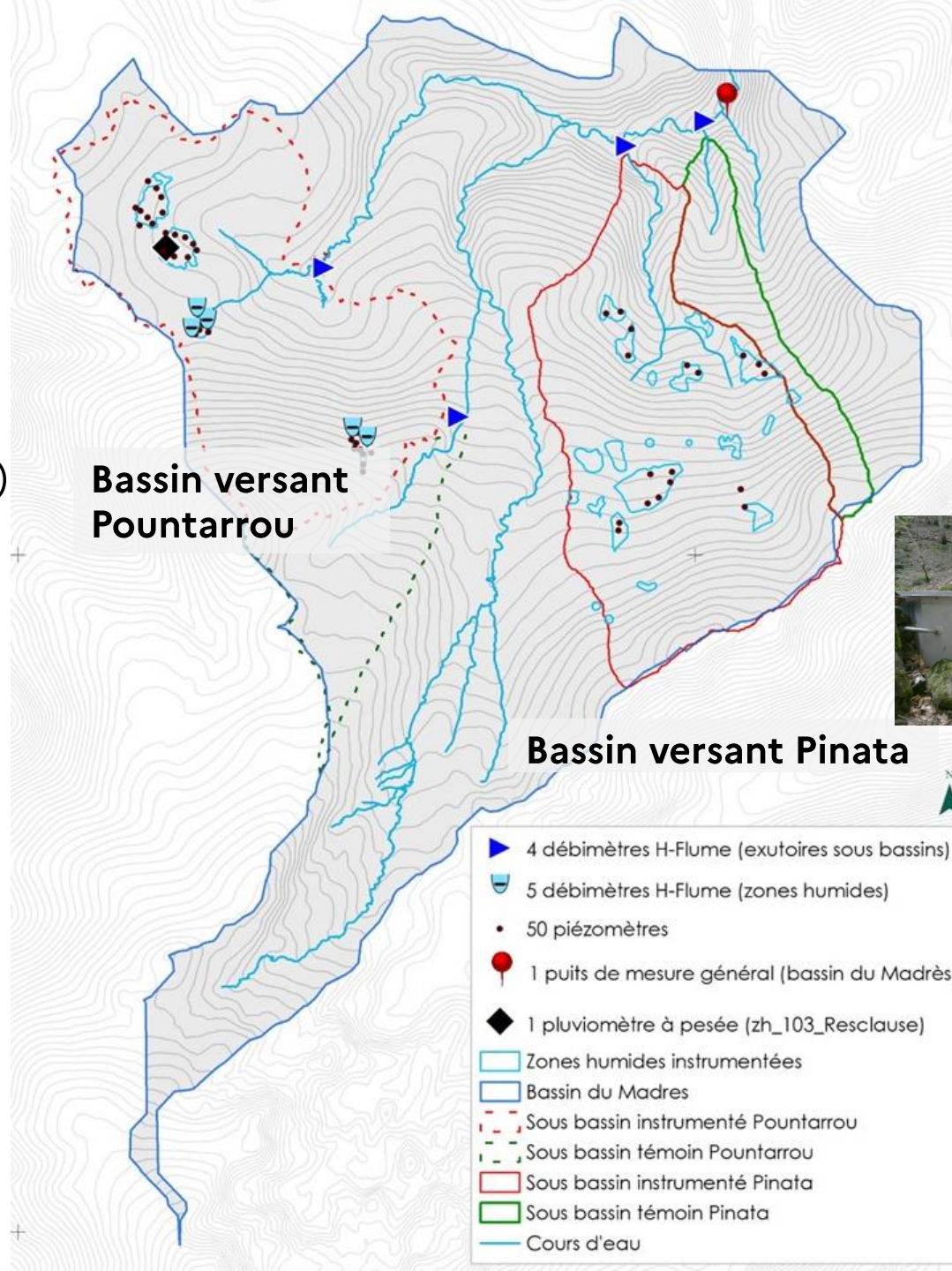
## Echelle de la zone humide

### Bassin versant Pountarrou

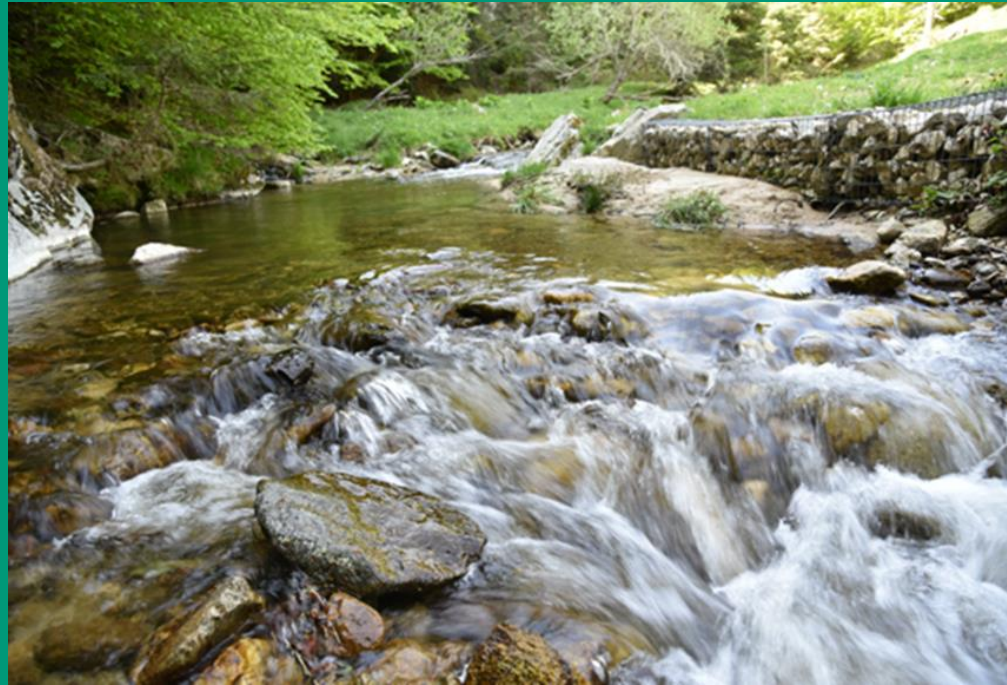
4 ZH instrumentées (contours bleus)

- 32 Piézomètres<sup>3</sup> dans les zones humides

- 5 H-Flume (débitmètres) aux exutoires



## 2. Synthèse des apports scientifiques





# Etude du comportement hydrologique d'un bassin versant (ex : Pountarrou)

## Démarche d'étude

- **Variables d'entrée (hydro et météo)** : pluviométrie, température, débits, niveaux de nappe...
- **Comparaison des bilans hydrologiques** des 2 sous-bassins définis par leurs exutoires respectifs (H-Flume)
- **Analyses statistiques** : valeurs caractéristiques, valeurs classées des débits, corrélations simples, autocorrélation et corrélations croisées...
- **Modélisation** : sous-découpage effectué par bandes d'altitude, prise en compte de la fonte de neige différenciée, pas de temps journalier, modèle SOCONT

Bassin versant

=

Un sous-bassin instrumenté (forte densité de ZH) versus un sous bassin témoin (densité de ZH faible)

## Données collectées disponibles



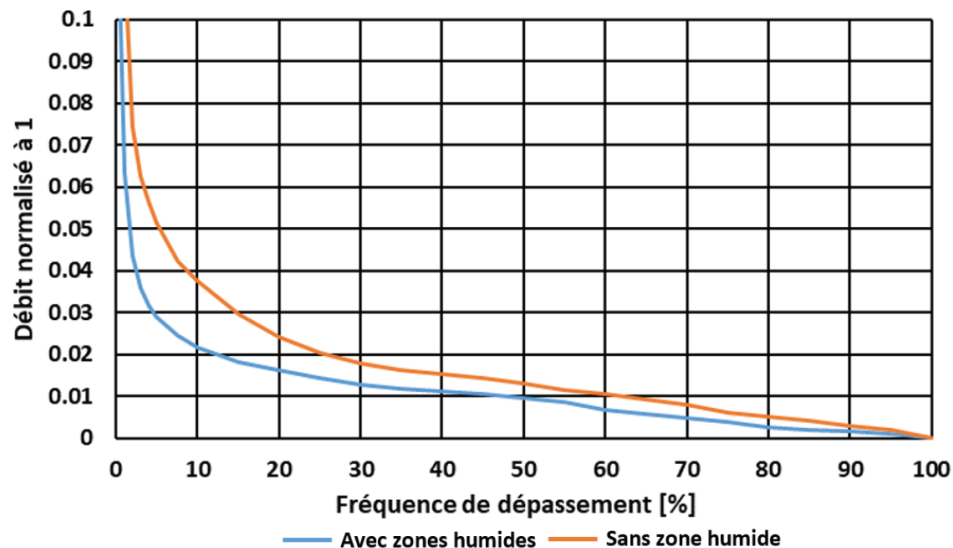
# Résultats de l'étude du comportement hydrologique des sous-bassins

## Contribution des ZH aux écoulements en sortie de BV

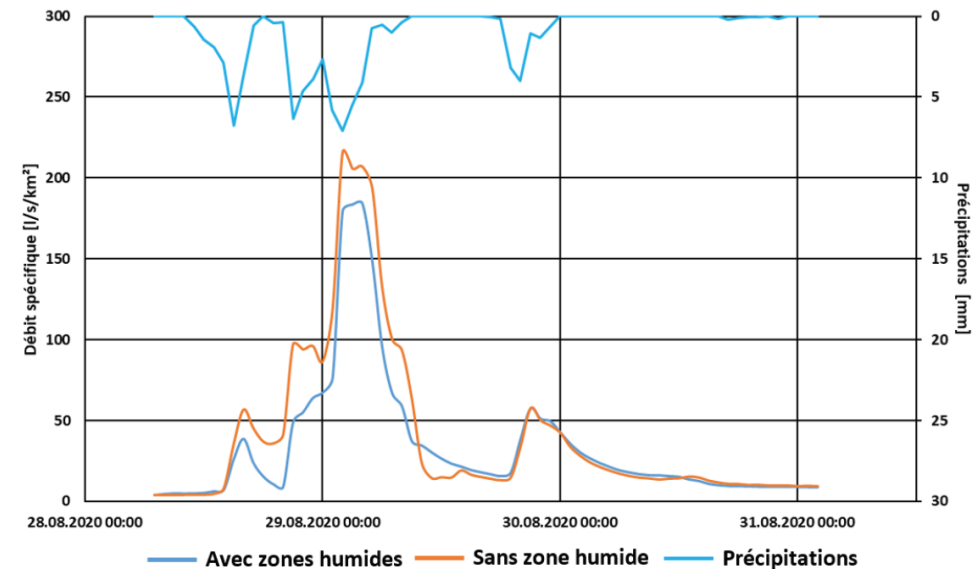
Des différences faibles mais des bénéfices réels :

- Pas de soutien d'étiage
- Fin été : ZH écrêtent les premiers écoulements liés aux crues en se rechargeant

Débits classés - comparaison



Débits comparés lors d'épisodes pluvieux estivaux



# Contribution des ZH au cycle de l'eau

## Schéma d'interprétation des connaissances

**Bassin versant AVEC ZONES HUMIDES**

Forte contribution au cycle local de l'eau

Evapotranspiration plus importante

Précipitations abondantes sur tout le massif

Evapotranspiration moindre

**Bassin versant SANS ZONE HUMIDE**

Faible contribution au cycle local de l'eau

Forte contribution des ZH à l'apparition d'orages de chaleur : bénéfique à un soutien d'étiage « indirect »

En sortie de bassin avec zones humides, écoulements diminués de la composante évapotranspiration

En sortie de bassin sans zone humide, écoulements standards

EN ÉTÉ, ÉCOULEMENTS FAVORISÉS PAR LES ZH SUR TOUT LE MASSIF

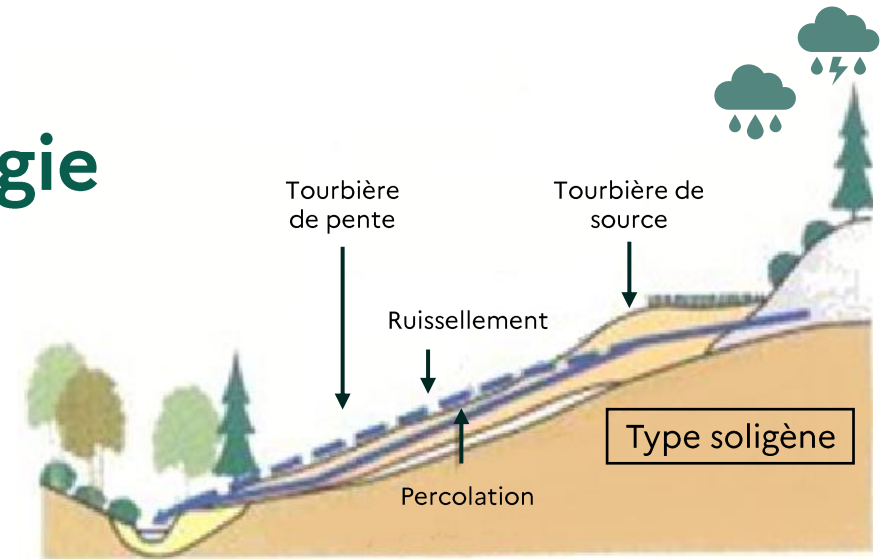
Sensibilité élevée des ZH à l'évapotranspiration : vulnérabilité face à une augmentation des températures liée au changement climatique

### **3. Interprétations vis-à-vis de la gestion conservatoire et préconisations**



# Fonctionnalités écologiques et hydrologie

## Morphologie des ZH, hydrologie et communautés végétales



### 1 Morphologie

Taille **restreinte** (*Pinata plages plus vastes*)  
Exposition **Nord** fréquente  
Gestion passée différente

### 2 Hydrologie

Alimentation météorique  
+ apports d'eau souterrains

**Soligènes**  
Minérotrophes  
Tourbières de pente

**Transfert d'eau complexes**  
au sein des tourbières

### 3 Communautés végétales

Alternance de patches de végétation  
témoignant d'une alimentation en eau  
différenciée :

Engorgement permanent  
ou sub-permanent

#### • végétation tourbeuse

buttes **ombrotrophes** à sphaignes rouges  
sphaignes vertes en tapis  
En mélange avec trichophore cespiteux et callune

Périodes d'assec + fréquente

#### • végétation plus ou moins hygrophiles

**carïcaies** à *carex rostrata*  
**jonchaies**

Périodes d'assec très longues

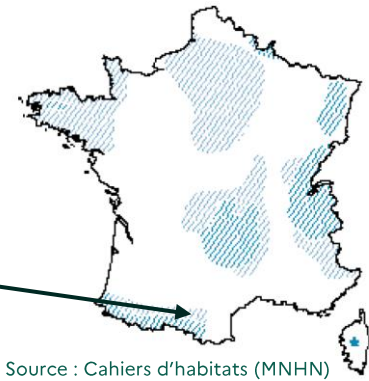
#### • nardaies mésophiles

**Causes :**  
drainage, hausse de  
l'ensoleillement  
accumulation de  
tourbe rehaussement  
topographique

#### Priorité de la gestion

#### Habitat des tourbières hautes actives

7110 (Cahier d'Habitats MNHN)  
51.1 Code Corine Biotope  
(limite méridionale de l'aire)

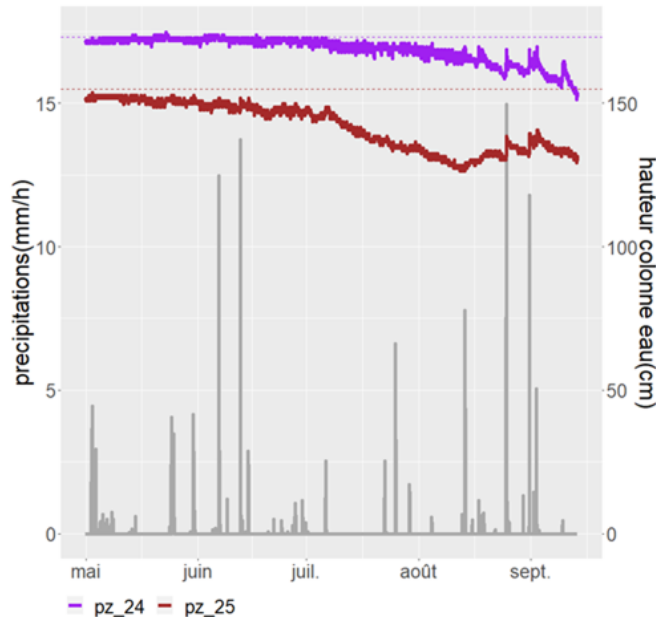


Source : Cahiers d'habitats (MNHN)

# Fonctionnalités écologiques et hydrologie

## Réponse à la pluie

Zone humide secteur du Pinata (altitude 2 100 m)



ONF-2022

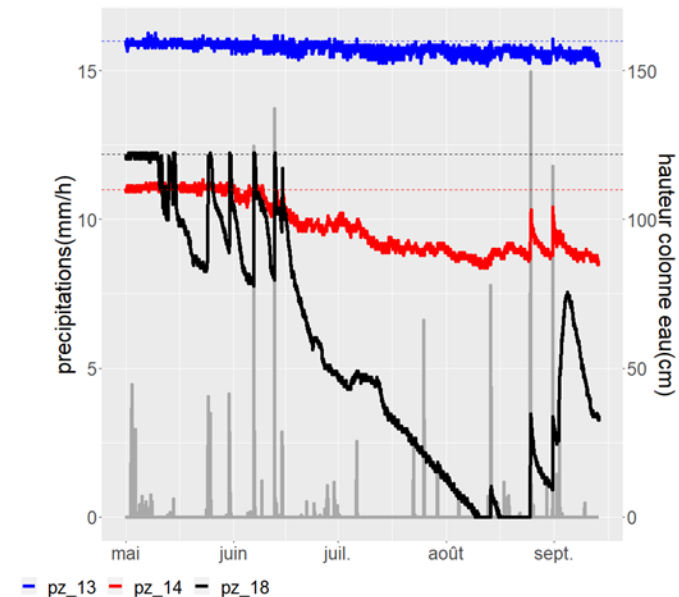
### ZH peu sensible à la pluviométrie

Permanence de l'alimentation en eau (soutien probable par les eaux souterraines)

Faible vulnérabilité aux épisodes courts de chaleur/sècheresse (mais dépendance à la recharge en eau des altérites)

Faible capacité de stockage supplémentaire d'eau et d'amortissement du signal de pluie

Zone humide secteur du Bac Pégulier (altitude 1700 m)



ONF-2022

### ZH sensible à la pluviométrie

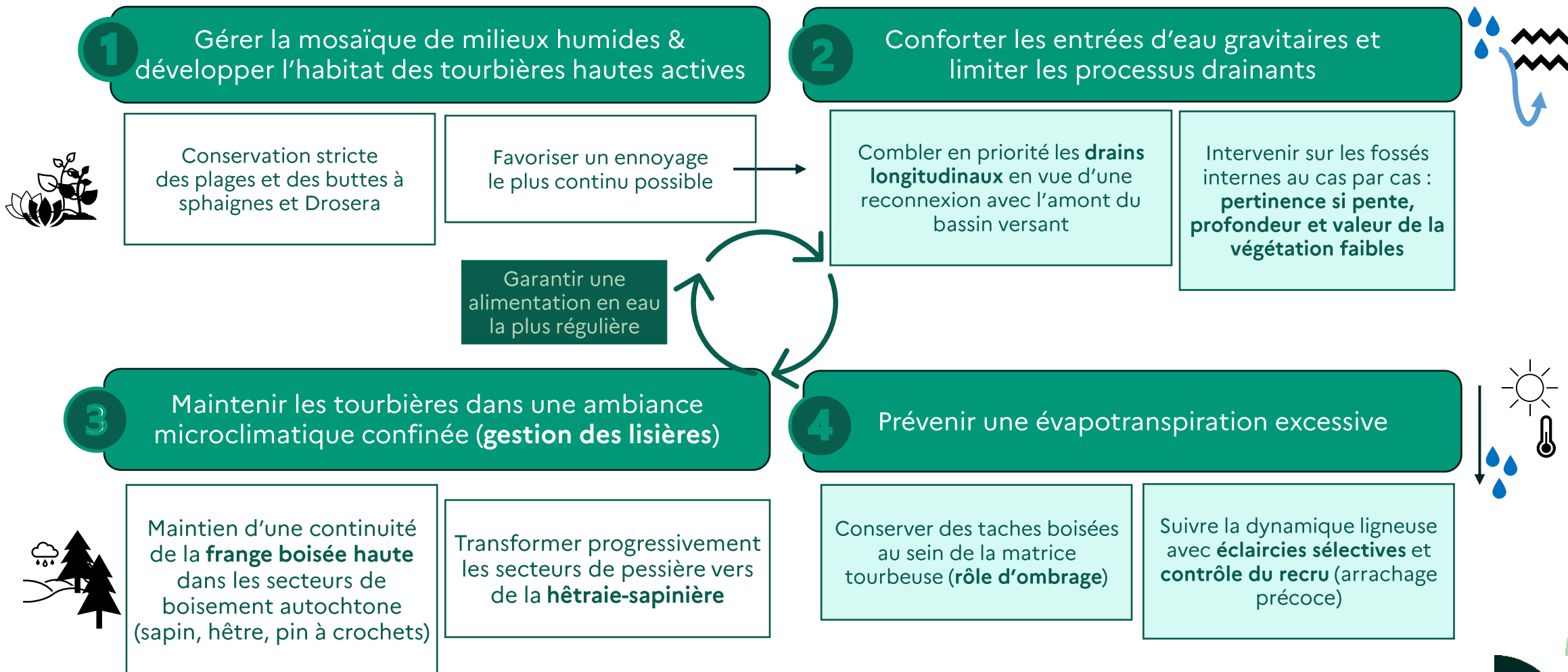
Effet significatif de la pluie sur le remplissage de la ZH

Situation de vulnérabilité : dépendance à la pluie

En situation de vidange, capacité à stocker de l'eau et à amortir le signal de pluie

# Préconisations de gestion

## Quelques principes de gestion



# Illustrations des principes de gestion

Ex : zone humide en amont du bac Pégulier

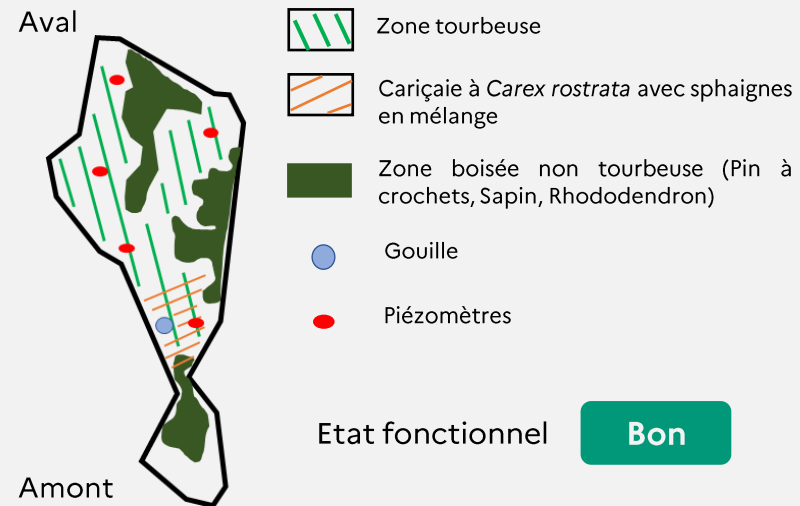
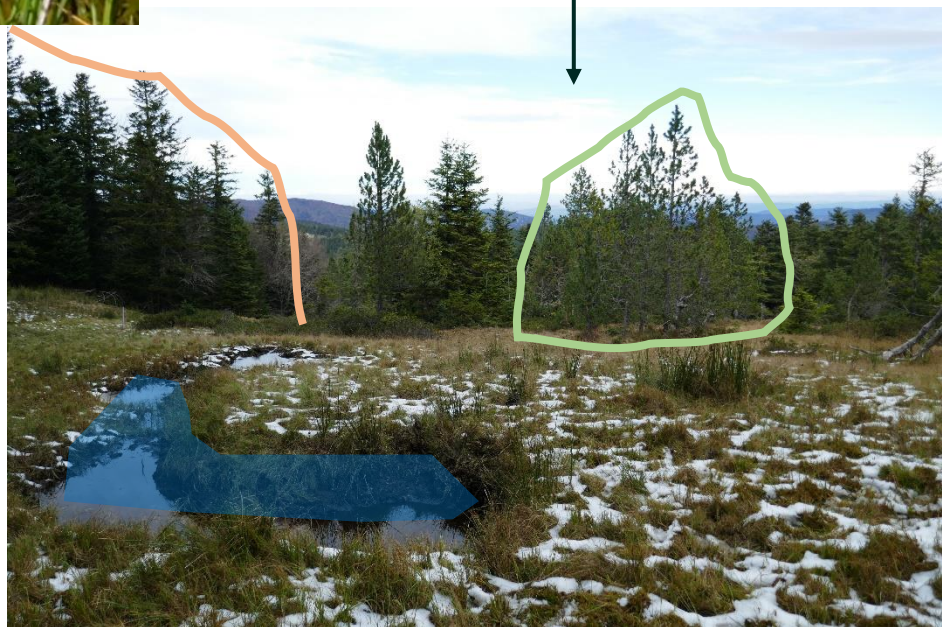


**Ilot central arboré :**  
éclaircie périphérique possible en conservant les sujets les plus âgés (ombrage et biodiversité)

Privilégier un débardage à cheval

**Lisière hétérogène**  
à conserver

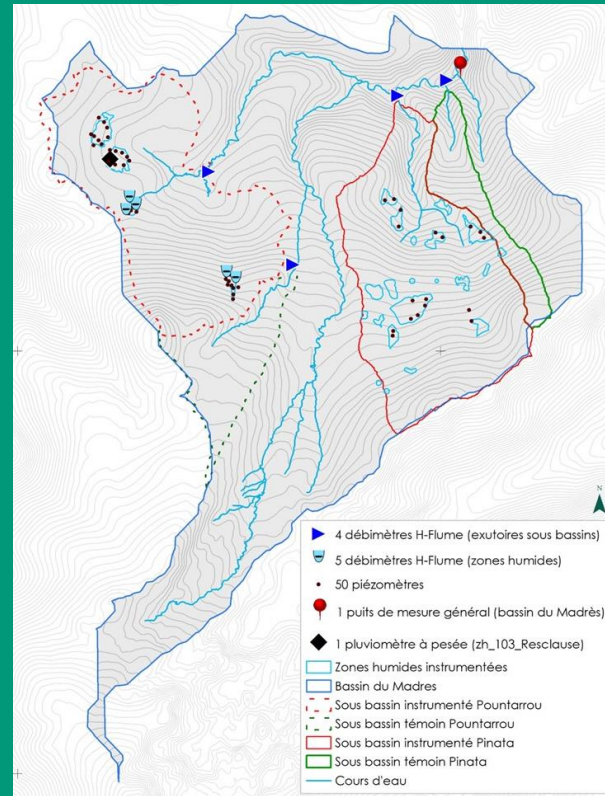
« **Gouille** » (intérêt patrimonial)  
Eviter le creusement artificiel d'autres points d'eau



**Pin à crochets sur bombement tourbeux :**  
à maintenir



# 4. Conclusions et perspectives



# Bilan du projet

## Récapitulatif des acquis de la phase 3

Phase 1 : Sélection du secteur à instrumenter (2017-2018)

Massif du Madres

Phase 2 : Mise en place de l'instrumentation (2018-2019)

4 sous-bassins versants et zones humides

Phase 3 : Structuration, analyse et interprétation des données récoltées (2019-2022)

Résultats

### Le projet a permis :

1. De **mettre à l'épreuve l'instrumentation**, d'en obtenir une meilleure maîtrise en termes de maintenance et de comprendre les modalités nécessaires au bon fonctionnement du dispositif
2. De **structurer la base de données** afin de récolter et partager correctement les jeux de données
3. D'exploiter les **données récoltées sur 3 cycles hydrologiques**, afin :
  - d'analyser les données des débitmètres à l'échelle de bassins versants élémentaires,
  - de produire un travail de modélisation à l'échelle d'une zone humide.
4. D'informer les gestionnaires quant aux vulnérabilités physiques des zones humides étudiées et de permettre leur **meilleure prise en compte**

# Perspectives

- **Intérêt à pérenniser le suivi hydrologique sur 3 à 6 ans**  
→ Fiabiliser les modélisations
- **Mieux connaître les réservoirs souterrains**  
→ investigations géophysiques (géométrie, structure interne)
- **Préciser l'origine et le cheminement des eaux**  
→ analyses géochimiques des eaux et des roches
- **Dissocier le rôle hydrologique des zones humides et de la forêt**  
→ influence sur l'ETP, interception de la pluie, ...
- **Etudier l'évolution des habitats en relation avec l'hydrologie**



Merci pour votre attention

## Comprendre les zones humides forestières du bassin versant de l'Aude

Dans l'Aude, sur le bassin du Madres, l'ONF mène à bien des études hydrologiques afin de mieux évaluer le rôle des zones humides forestières dans la régulation des cours d'eau.

Explications et vidéo.

19/12/2019

+ Partager

Par sa position géographique et l'influence croissante du changement climatique propre au climat méditerranéen, le bassin versant de l'Aude est un **territoire** particulièrement **sensible**. L'amont de la vallée, montagnard et rural, présente de vastes espaces naturels forestiers. La moyenne vallée est quant à elle largement urbanisée avec l'agglomération de Carcassonne et la partie aval, très viticole. Alors que **leurs besoins en eau sont très importants**, ces territoires connaissent des **déficits d'approvisionnement** très forts en été et sont **vulnérables aux crues** par temps de pluie et de dépressions de type cévenoles.



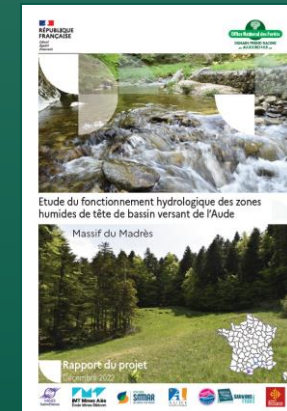
**FICHE TECHNIQUE N°1**  
— Mise en place d'une instrumentation adaptée

**FICHE TECHNIQUE N°2**  
— Structuration d'une base de données

**FICHE TECHNIQUE N°3**  
— Fonctionnement hydrologique des zones humides de la Haute Vallée de l'Aude

**FICHE TECHNIQUE N°4**  
— Indicateurs de soutien d'étiage

**FICHE TECHNIQUE N°5**  
— Préconisations de gestion des zones humides



# Indicateurs de soutien d'étiage


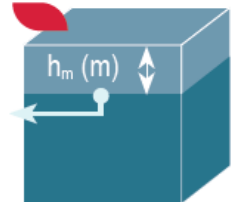
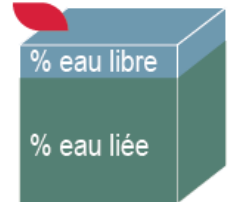
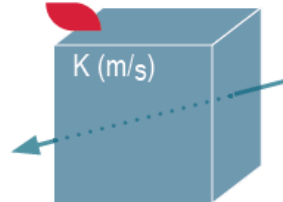
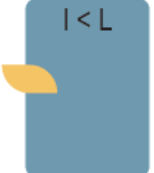
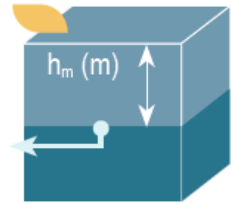
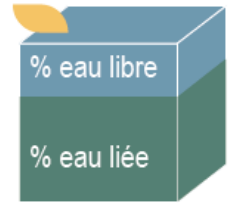
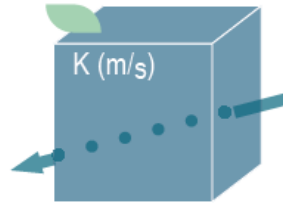
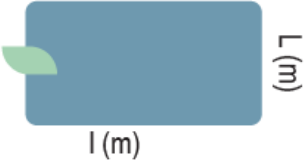
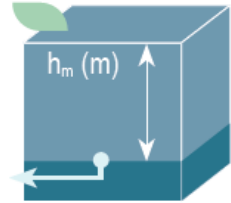
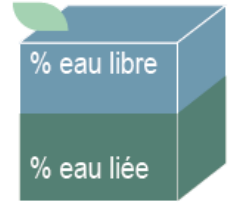
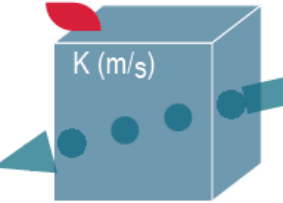
## Echelle du site tourbeux

Site tourbeux

=

un réservoir : la zone humide  
+ un exutoire principal : le cours d'eau

Quelques éléments de définition : 5 paramètres utilisés dans l'équation de Boussinesq

Différents potentiels pour chaque variable	Géométrie du réservoir		Propriétés hydrodynamiques du réservoir	
	Surface et forme $I \times L$ : surface (ha) $I/L$ : ratio de forme	Hauteur d'eau au-dessus du niveau de l'exutoire $h_m$ : charge hydraulique (m)	Déstockage par gravité $\Phi$ : Porosité efficace (eau libre, %) [vs eau liée non déstockable, %]	Facilité avec laquelle un flux liquide traverse le réservoir $K$ : conductivité hydraulique (m/s)
faible				
moyen				
fort				

# Indicateurs de soutien d'étiage

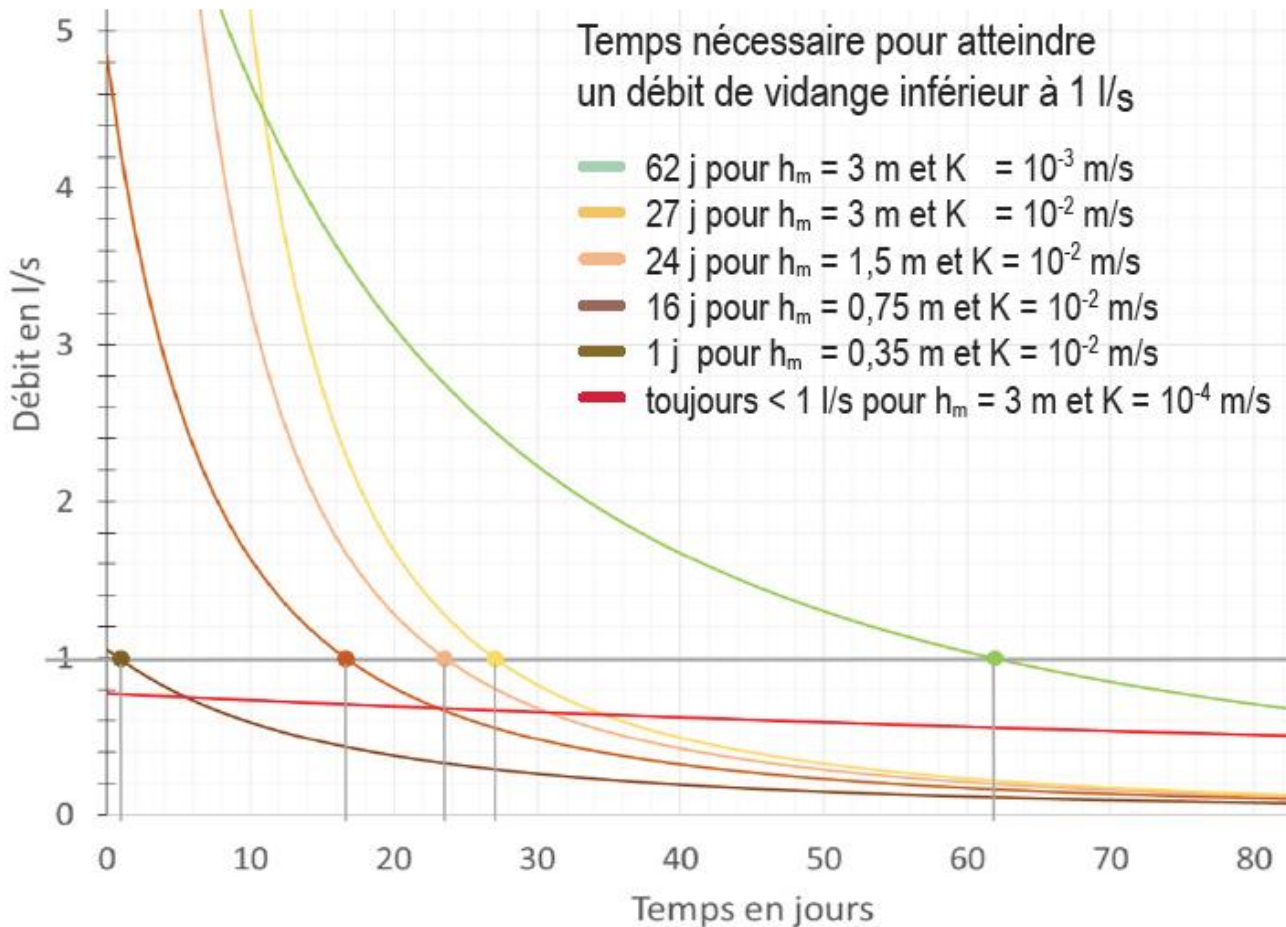
## Echelle du site tourbeux

Site tourbeux

= un réservoir : la zone humide  
+ un exutoire principal : le cours d'eau

Interprétation : cas des zones humides du Massif du Madres

Exemple de résultat :



Prises individuellement, les ZH du Madres présentent une combinaison de paramètres peu favorables au soutien d'étiage :

- **petite surface** (souvent inférieure à 10 ha)
- longueur > largeur (**forme allongée** dans le sens de la pente et de l'écoulement)
- faible charge hydraulique (**épaisseur mouillée de moins de 1 m**)
- une **conductivité hydraulique faible** voire très faible ( $< 10^{-4}$  m/s voire moins).