

## Fonctionnement hydrologique des zones humides de tête de bassin versant de l'Aude.

### Rôle dans le soutien d'étiage et l'amortissement des crues : interprétations sur la sensibilité des habitats naturels.

Larroque Benoît<sup>1</sup>, Paron Frédéric<sup>2</sup>, Parmain Vincent<sup>3</sup>, Turlesque Caroline<sup>4</sup>, Artigue  
Guillaume<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Office national des forêts, 505 rue de la Croix Verte - CS 74208 - 34094 Montpellier cedex 5. Email : benoit.larroque@onf.fr

<sup>2</sup> Mines St Etienne, 29 Rue Pierre et Dominique Ponchardier 42100 Saint-Etienne. Email : paran@emse.fr

<sup>3</sup> Office national des forêts, 8 place des Variétés 66000 Perpignan. Email : vincent.parmain@onf.fr

<sup>4</sup> Office national des forêts, 8 place des Variétés 66000 Perpignan. Email : caroline.turlesque@onf.fr

<sup>5</sup> IMT Mines Alès, 6 av Clavières 30100 Alès. Email : guillaume.artigue@mines-ales.fr

**Mots clés :** zones humides, hydrologie, Aude, étiage, crues

#### Résumé :

Face à une situation de forte tension sur la ressource, les zones humides forestières de la haute vallée de l'Aude ont fait l'objet d'un suivi hydrologique pluriannuel, mené à l'échelle de sous-bassins, visant à estimer leur rôle dans le soutien d'étiage et l'amortissement des crues.

Les résultats montrent que ces zones humides ne contribuent pas significativement à soutenir les faibles débits mais que leur rôle tampon sur le signal de pluie est réel, lorsqu'elles sont en situation de vidange partielle. Les bilans hydrologiques témoignent aussi de la part d'évapotranspiration pouvant être affecté aux zones humides, ceci permettant d'émettre l'hypothèse d'un effet positif sur la génération d'humidité atmosphérique et d'orages bénéfiques aux cours d'eau.

Le suivi piézométrique a également été mis en relation avec les communautés végétales observées et permis de dégager des hypothèses sur les tendances d'évolution des habitats naturels tourbeux.

#### 1. Introduction

L'étude du fonctionnement hydrologique des zones humides de tête de bassin versant de l'Aude (2017-2022) s'est inscrite dans le cadre du XII<sup>ème</sup> programme « Sauvons l'eau » (2019-2024) de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse (AERMC), qui vise une meilleure gestion de l'eau face aux évolutions climatiques. Elle a bénéficié d'un soutien de l'AERMC, du Conseil

départemental de l'Aude, de la Région Occitanie et de l'Office national des forêts (ONF).

L'opération a également permis de mettre en relation ces phénomènes avec la composition végétale de complexes tourbeux reconnus pour leur valeur patrimoniale.

Le bassin versant de l'Aude subit un déficit hydrique conséquent. Il présente

de forts contrastes au niveau des apports et des besoins en eau entre, d'une part l'amont (montagnard, fortement boisé et riche en zones humides) et d'autre part, les zones médiane (urbanisée) et aval (agricole) connaissant une forte tension sur la ressource. La tête de bassin versant de l'Aude occupe ainsi une position stratégique vis-à-vis de l'alimentation des populations audoises. Des zones humides y sont présentes au sein d'espaces naturels forestiers et constituent une composante importante de l'hydrosystème.

Le projet s'est ainsi donné comme objectif d'estimer la fonction de régulation hydrologique des zones humides à travers deux aspects : 1) le **rôle de soutien d'étiage**<sup>1</sup> et 2) leur **rôle de régulation des crues**<sup>2</sup>.

Face à la complexité des phénomènes à appréhender, une équipe pluridisciplinaire regroupant les compétences de l'ONF, de l'Ecole des Mines de Saint-Etienne et d'IMT Mines Alès a été constituée, permettant la mise en œuvre d'une méthodologie et l'interprétation des résultats à différentes échelles.

Le projet en haute vallée de l'Aude s'est déroulé conjointement et en lien avec le programme ZABR<sup>3</sup>/AERMC mené sur les Zones Humides de Têtes de Bassins (ZHTB) entre 2016 et 2022 et piloté par Mines Saint-Etienne. Une telle étude visait à évaluer la part contributive des tourbières de Frasné (Doubs) et du Luitel (Isère) dans l'alimentation des

cours d'eau (ZABR, 2023).

Au sein de la haute vallée de l'Aude, le secteur du Madres (figure 1) a été choisi pour déployer l'expérimentation, considérant sa richesse en zones humides et une variabilité naturelle rendant aisée la mise en place d'un dispositif de comparaison : l'objectif étant de tester l'hypothèse d'une amélioration des réponses hydrologiques dans des bassins versants denses en zones humides, à comparer à des bassins versants dits « témoins » qui en sont dépourvus.

<sup>1</sup> Capacité des zones humides étudiées à retenir l'eau collectée en amont et à la restituer vers l'aval pendant la période d'étiage des rivières. L'étiage correspondant au plus bas niveau des eaux d'un cours d'eau.

<sup>2</sup> Capacité des zones humides étudiées à diminuer ou non les vitesses d'écoulement de l'eau lors des épisodes pluvieux intenses (effet écrêteur de crues).

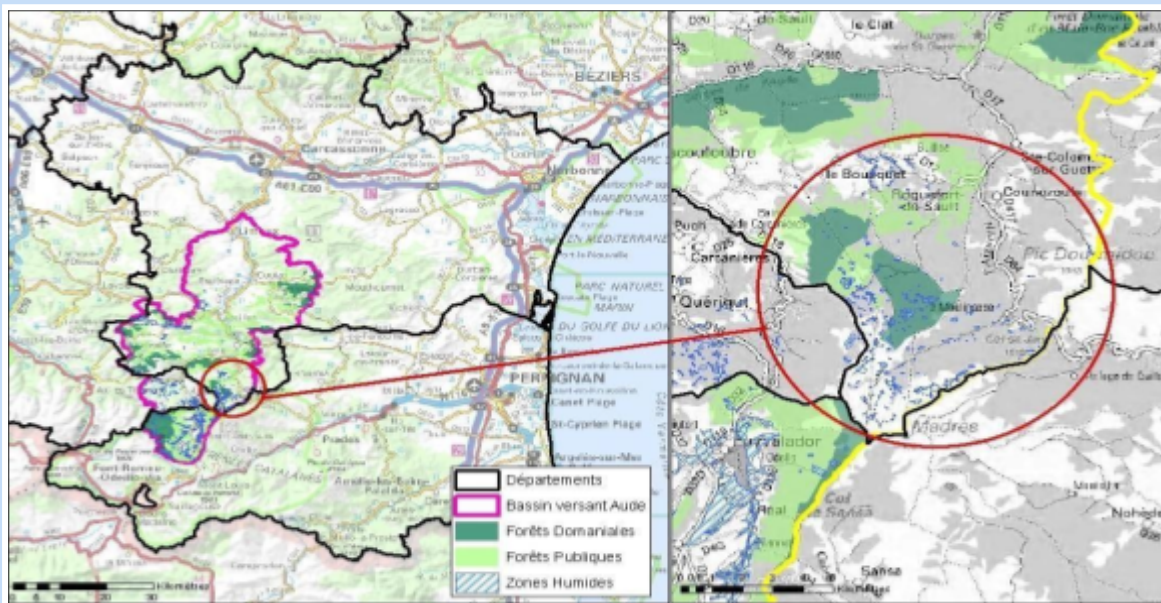
<sup>3</sup> Zone Atelier Bassin du Rhône.

## 2. Instrumentation déployée

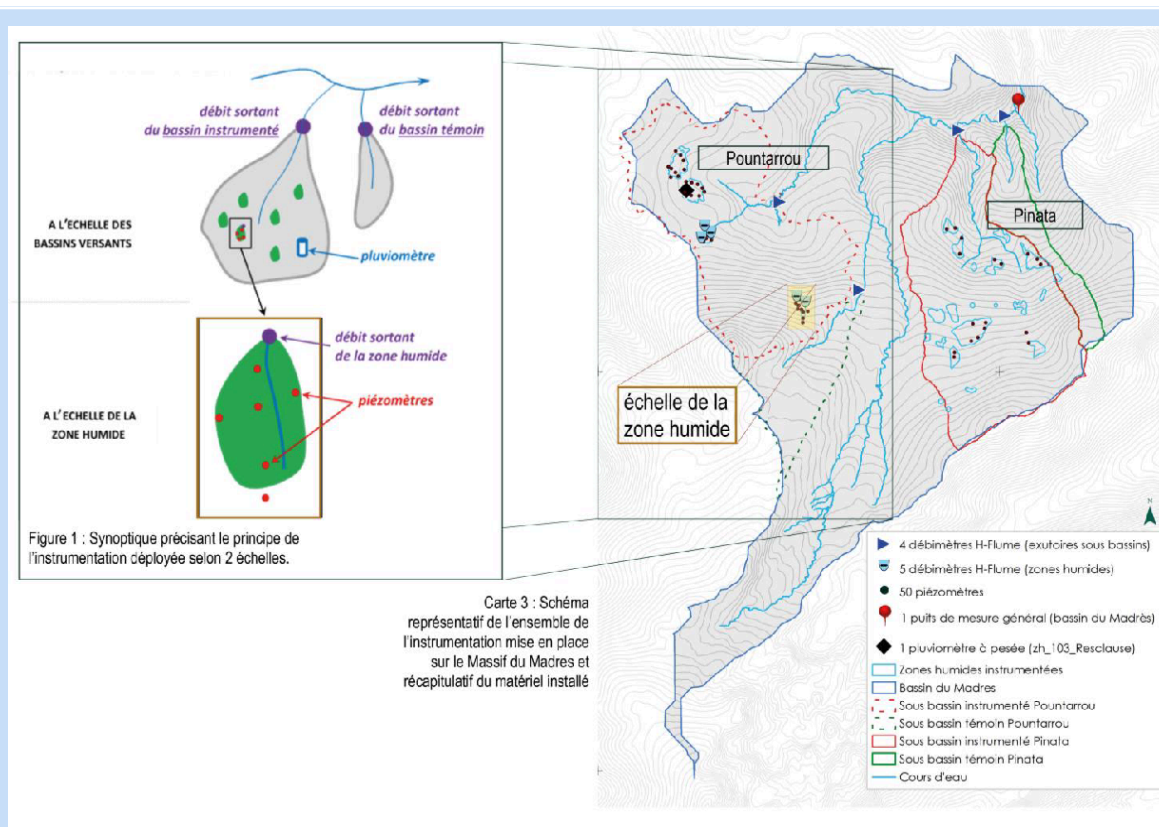
Deux secteurs (Pountarrou et Pinata – figure 2) ont été équipés par un dispositif permettant d'effectuer des bilans hydrologiques selon deux échelles spatiales :

- **A l'échelle du bassin versant (BV)** en comparant, dans chaque secteur, un sous-BV instrumenté riche en zones humides à un sous-BV sans zone humide.

Quatre stations de jaugeage de type H-Flume (débitmètres), équipées chacune d'une sonde, ont été installées aux exutoires de chacun des 4 sous-bassins, pour enregistrer en continu les hauteurs d'eau afin de quantifier les écoulements.



**Figure 1 :** Localisation de la partie amont du bassin versant de l'Aude (en mauve) et de la zone d'étude (en rouge)



**Figure 2 :** Résumé de l'instrumentation mise en place



- A l'échelle de la zone humide élémentaire, à partir d'une sélection de quatre sites sur le secteur du Pountarrou, équipés de piézomètres avec sondes enregistreuses et de stations de mesures de débit de sortie (H-Flume) auxquels se rajoutent 18 piézomètres installées selon un gradient altitudinal dans le secteur du Pinata (les ZH y occupant de vastes plages au sein de la matrice forestière).

Au total, 60 sondes ont été mises en place :

- 50 sondes piézométriques qui mesurent les variations du niveau de la nappe d'eau des zones humides (photo A),
- 9 sondes relevant les débits au niveau des stations de jaugeage de type H-Flume (photo B),
- 1 sonde barométrique + 1 pluviomètre à pesée (station météo – photo C).

### 3. Résultats et interprétation

#### 3.1. Fonctionnalités hydrologiques

Des bilans hydrologiques ont été réalisés sur trois cycles annuels en comparant les flux d'entrée (pluie, neige) aux flux de sortie (débit des cours d'eau, ETP). La synthèse des travaux (ONF, 2022) a permis de dégager différents éléments permettant une meilleure compréhension du fonctionnement hydrologique des bassins versants et des zones humides étudiées.



Photo A : Exemple de sonde intégrée au tube piézométrique



Photo B : Station de jaugeage H-Flume à l'exutoire d'une zone humide



Photo C : Station météo et pluviomètre à pesée

À l'échelle du bassin versant, l'analyse statistique des données hydrologiques et météorologiques acquises sur les couples de sous-bassins du Pountarrou et Pinata, ainsi que les essais de modélisation à base physique<sup>1</sup>, ont permis de mettre en avant les éléments suivants :

- sur la série de données étudiées, on ne constate pas de différence de fonctionnement hydrologique majeure entre les différents bassins versants (riches en ZH *versus* pauvres en ZH). Les zones humides ne génèrent pas un soutien d'étiage significatif,
- les bassins versants présentant une forte densité de zones humides semblent soumis à une évapotranspiration potentielle (ETP) plus importante mais ils ne soutiennent pas plus les étiages que les bassins témoins. La plus forte densité de zones humides favoriserait donc l'ETP,
- pour certaines crues en période estivale, on constate un phénomène d'écèlement assez net dans les bassins présentant une plus forte densité de zones humides (figure 3). Cela suggère que l'évapotranspiration a été supérieure et a conduit le bassin à absorber d'abord le déficit de l'évapotranspiration avant de contribuer aux écoulements.

<sup>1</sup> Un modèle à base physique cherche à représenter un fonctionnement hydrologique à partir de variables d'entrées issues de mesures terrain (pluie, neige, température,...).

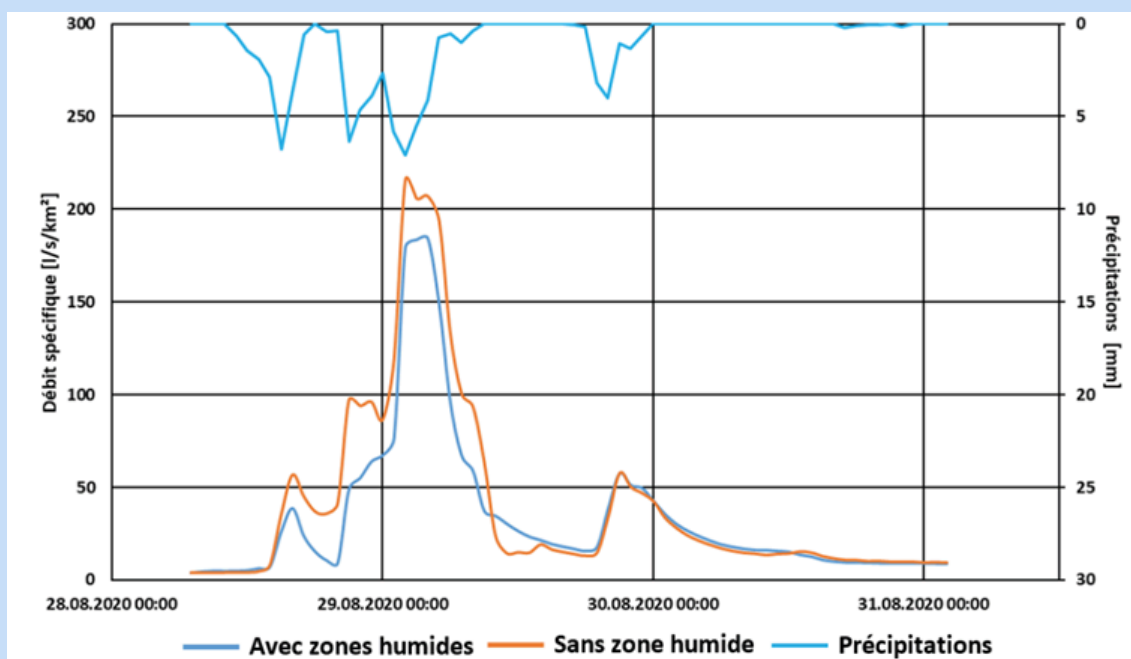
Ces premières analyses nécessitent d'être complétées à l'avenir, en travaillant sur des chroniques plus longues. En conséquence, la portée des conclusions est limitée car : 1) les données acquises ne couvrent pas encore la variabilité climatique locale ; 2) la calibration du modèle reste médiocre et amputée d'une période de validation, ce qui limite fortement la portée de toute conclusion. Pour obtenir des résultats plus solides, il serait nécessaire de travailler a minima sur 5 cycles hydrologiques.

**A l'échelle de la zone humide** des essais de modélisation hydrologique à base physique ont été mis en œuvre. Ceux-ci n'ont pas permis d'établir une relation pluie/débit solide. Toutefois, les premiers résultats suggèrent que :

- la vidange des tourbières de pente génère des débits à l'échelle locale en limite de zone humide mais également à l'échelle du bassin versant. En l'état, ceux-ci ne constituent pas un soutien d'étiage à proprement parler,
- l'effet potentiellement « écrêteur de crues » de la zone humide semble envisageable en été lorsque les niveaux d'eau dans les piézomètres sont faibles. À saturation, lorsque les piézomètres sont pleins, cet effet est faible ou nul.

En cela, les résultats issus de cette approche corroborent les bilans

hydrologiques réalisés à l'échelle des sous-bassins.



**Figure 3 :** Comparaison de la réponse en débit spécifique au signal de pluie entre bassins versants avec (trait bleu) et sans zones humides (trait orange).

Enfin, l'étude des données météorologiques permet de faire l'hypothèse que l'humidité de l'air entretenue par les zones humides en tête de bassin (flux d'eau verte), n'est certainement pas étrangère à la fréquence des orages qui frappent le massif montagneux en saison estivale, contribuant ainsi à une composante courte du cycle de l'eau sur la zone. Les orages alimentent le système par endroits, concourant au soutien d'étiage plus bas dans la vallée et à la baisse des températures.

Les zones humides joueraient ainsi un rôle de soutien d'étiage « indirect » à travers des apports aux cours d'eau sous forme d'averses. (figure 4).

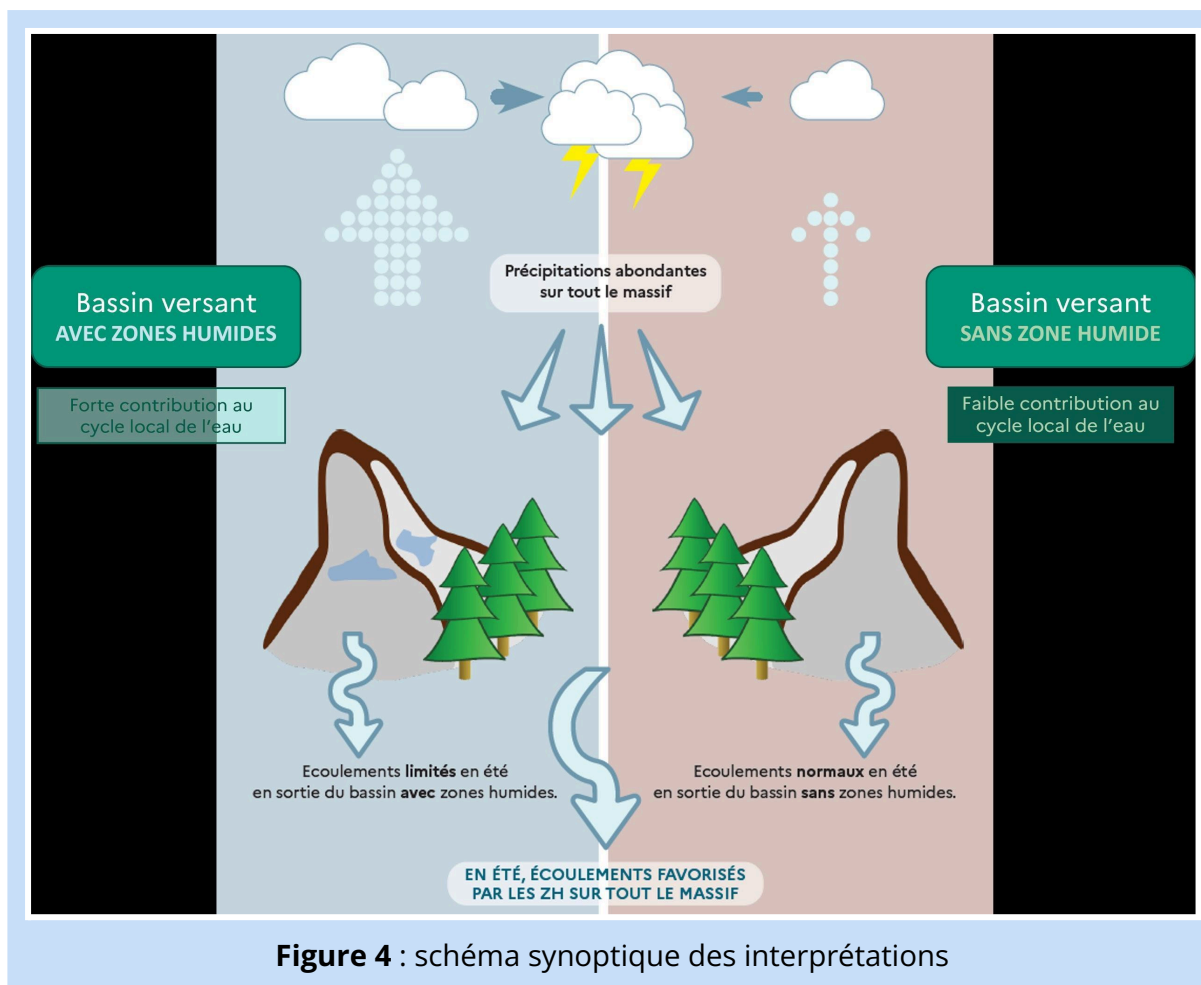
Toutefois, cela reste supposé mais difficilement quantifiable actuellement compte tenu du manque de données à cette échelle.

### 3.2. Hydrologie et développement des habitats naturels

Les zones humides du Madres sont rattachées à l'ensemble des Tourbières hautes actives. Cet habitat complexe regroupe une grande diversité de formations végétales élémentaires dans une multitude de déclinaisons selon les régions biogéographiques. D'après la nomenclature des Cahiers d'Habitats les tourbières du secteur oriental pyrénéen sont intégrées au groupe des communautés continentales et boréales et donc ici plutôt situées en limite

méridionale d'aire. Ceci leur confère un niveau supérieur de patrimonialité mais

aussi une fragilité certaine face aux évolutions du climat.



### 3.3. Hydrologie et développement des habitats naturels

Les zones humides du Madres sont rattachées à l'ensemble des Tourbières hautes actives. Cet habitat complexe regroupe une grande diversité de formations végétales élémentaires dans une multitude de déclinaisons selon les régions biogéographiques. D'après la nomenclature des Cahiers d'Habitats les tourbières du secteur oriental pyrénéen sont intégrées au groupe des communautés continentales et boréales et donc ici plutôt situées en limite

méridionale d'aire. Ceci leur confère un niveau supérieur de patrimonialité mais aussi une fragilité certaine face aux évolutions du climat.

Outre le caractère mosaïque des tourbières, la littérature considère que dans la plupart des cas c'est la forme dite fragmentaire (surface < 4 ha) qui s'observe avec des parties tourbeuses réparties au sein d'un ensemble plus vaste de groupements végétaux plus ou moins hygrophiles de zones humides.

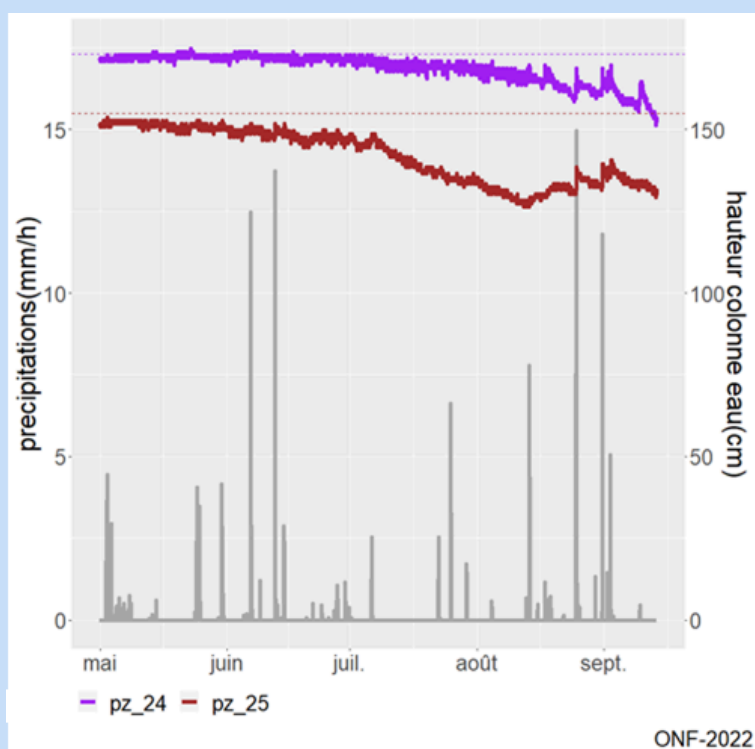
Cette définition correspond à la physionomie des tourbières observées,

tendant vers ce qu'il est d'usage de considérer comme une forme caractéristique de ces tourbières de pente.

Au-delà des approches hydrologiques développées ci-dessus, le suivi piézométrique couplé à l'observation des communautés végétales est riche d'enseignements et permet de dégager des hypothèses sur l'évolution des habitats naturels.

Deux exemples contrastés sont illustrés ici, sachant qu'il est important de préciser que les mouvements piézométriques sont très variables au sein d'une zone humide, ceci suggérant l'existence de différentes masses d'eau plus ou moins indépendantes au sein d'une même entité.

#### Zone humide secteur du Pinata (altitude 2 100 m – Forêt domaniale du Madre



**Figure 5** : Variation des niveaux de nappes dans les piézomètres 24 et 25 (mai à septembre 2022)

Figure 5 - Cette tourbière montre un engorgement jusqu'en surface quasi permanent tout au long de l'année (tarissement quasi nul). La recharge par la pluie paraît limitée et détectable uniquement pour les épisodes les plus

importants avec des apports souterrains sans doute prédominants.

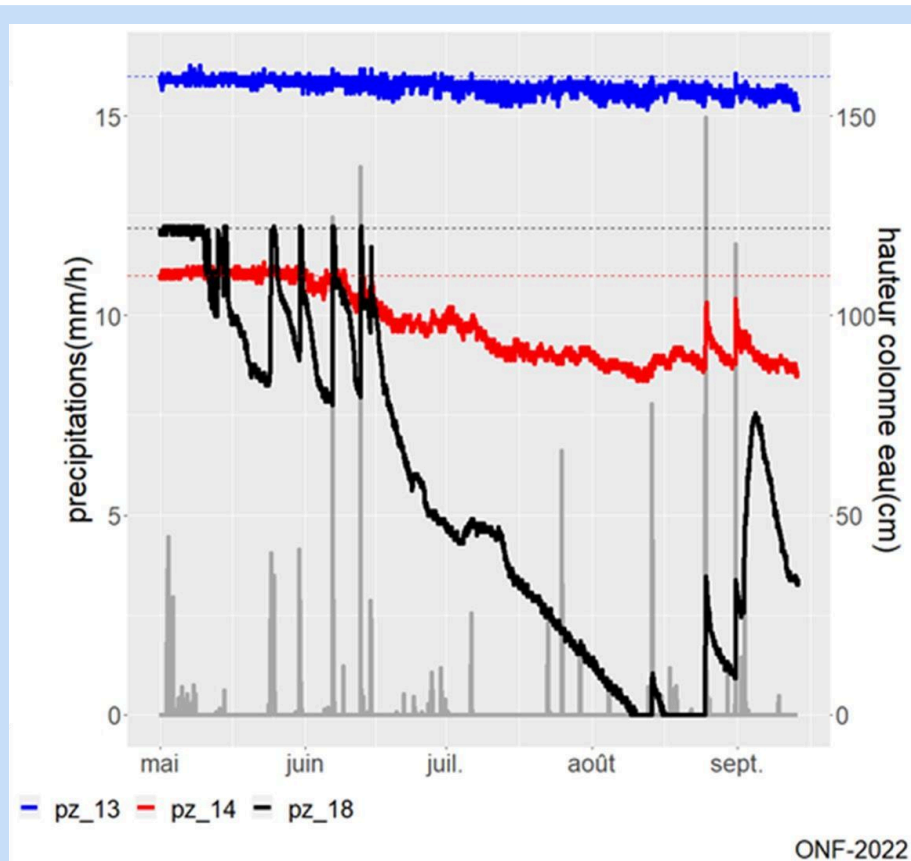
On est ici en présence d'un système en bon état fonctionnel pour sa composante habitats naturels. Le



potentiel offert pour l'amortissement des crues semble en revanche faible du

fait de la saturation permanente du milieu en eau.

Zone humide secteur du Bac Pégulier (altitude 1700 m - propriété du Conseil départemental de l'Aude)



**Figure 6 :** Variation des niveaux de nappes dans les piézomètres 13,14 et 18 (mai à septembre 2022)

Figure 6 - À l'instar de la zone humide précédente, le piézomètre n°13 (en bleu) signale une présence d'eau constante dans cette partie de la tourbière. À contrario, le piézomètre n°18 (en noir), montre une sensibilité à l'assèchement estival à partir de la mi-juillet, traduisant une vulnérabilité de la tourbière et une dégradation probable en cas d'assecs répétés. Le

piézomètre 14 (en rouge) montre aussi une tendance à l'assèchement estival, mais ici les épisodes de pluie d'intensité modérée permettent une recharge rapide.

Cette tourbière illustre l'interrelation entre fonctionnalité des habitats et processus hydrologiques, et pose la question du potentiel de régulation des débits vis-à-vis de l'état du milieu : la

désaturation hydrologique offre une capacité supérieure de stockage d'eau mais hypothèque aussi significativement la pérennité des habitats en les soumettant à un stress hydrique conséquent.

#### **4. Conclusion : réflexion sur les tendances d'évolution et l'action de gestion**

L'évolution des tourbières avec assèchement progressif du substrat peut être considérée comme un processus naturel lié à la génération de tourbe. Le gestionnaire ne peut méconnaître ce phénomène écologique de succession vers des formations végétales dominées par les dryades<sup>2</sup>.

Il doit donc s'efforcer de faire la part entre : 1) des systèmes où les mécanismes naturels sont bien en place et permettent au milieu d'assurer son propre développement et 2) des systèmes plus altérés où les latitudes offertes par la gestion doivent être utilisées pour améliorer l'expression des processus morphogènes et ainsi les fonctionnalités.

L'alimentation des zones humides du Madres, issue à la fois des apports pluie/neige (ombrotrophe) et des apports souterrains (minérotrophe) limite la possibilité de jouer sur l'approvisionnement pour garantir un niveau suffisant d'eau aux entités souffrant manifestement d'assecs croissants. Ceci, associé à la tendance générale au réchauffement et à des

pluviométries plus aléatoires, permet de poser le constat d'une forte fragilité de ces formations tourbeuses sur le moyen terme.

Face à cette vulnérabilité, la place laissée à l'action du gestionnaire est étroite mais elle n'est cependant pas nulle.

Le maintien de l'intégrité stricte des zones humides est indispensable. Afin de contenir les phénomènes d'évapotranspiration, il est nécessaire d'agir favorablement sur leur confinement (gestion des lisières, maintien de bouquets d'arbres...) dans un continuum de gestion avec la matrice forestière. L'amélioration des conditions hydrauliques, par interventions exclusives de génie écologique peut s'envisager ponctuellement (ex : suppression de drains ou de fossés...) mais doit être réfléchie au cas par cas à l'aune de l'appréciation à dire d'expert entre bénéfice espéré et risque d'altération supplémentaire.

En définitive, le gestionnaire doit se placer dans une posture de contrôle souple, guidé par l'idée d'un accompagnement des processus naturels, partiellement inéluctables, en y apportant les inflexions positives offertes par des interventions ciblées. Ces dernières n'ont pas vocation à changer radicalement l'état et le devenir de ces zones humides, mais peuvent concourir à l'expression de leurs différentes fonctionnalités.

En facilitant le maintien d'une mosaïque d'habitats humides – avec une part la

<sup>2</sup> Espèces de fin de succession écologique (s'oppose à la notion de pionnière).

plus substantielle possible d'activité turfigène - on participe du bon état écologique et par-là même à la contribution des zones humides au cycle de l'eau.

Pour plus d'information sur les résultats de ce projet, il est possible de se référer aux fiches techniques de synthèse (ONF 2022).

### Références bibliographiques

- ONF 2022 - Étude du fonctionnement hydrologique des zones humides de tête de bassin versant de l'Aude. Phase 3 – Artigue G., Graillot D., Cocula C, Ebrard E., Larroque B., Nouguier L., Paron F., Thomassin K., Turlesque C. Agence de l'eau RMC, Conseil départemental de l'Aude, Région Occitanie. Rapport du projet. 167 p.
- ONF 2022 - Fiches techniques issues du programme d'étude du fonctionnement hydrologique des zones humides de tête de bassin versant de l'Aude - Disponibles sur [www.onf.fr](http://www.onf.fr).