

Accord Cadre ZABR - Agence de l'Eau

Fiche projet

2019-68-ZHTB-EMSE-Zones humides, tête de bassin versant, soutien d'étiage

TITRE DU PROJET : 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. Recherche d'indicateurs du soutien d'étiage. Phase 3 : 2019-2021

PERSONNES RESSOURCES :

F. Paran, D. Graillot, A. Johannet, G. Artigues, H. Cubizolle, P.O. Mazagol, C. Sacca, V. Lavastre, T. Winiarski

EQUIPES DE RECHERCHES ZABR CONCERNEES :

EMSE, EMA, UJM-UMR 5600 EVS-Isthme, UJM-CNRS UMR 6524 LMV, ENTPE-UMR 5023-Lehna

AUTRES PARTENAIRES :

- Comité de pilotage : AERMC (L. Cadilhac – F. Chambaud - E. Lunaud, M. Pignon, N. Bosc-Bossut, J. Hervo, L. Perrin, C. ZYS), CREN RA (D. Danancher), CEN Savoie (J. Porteret)
- Accord cadre ONF/AERMC : AE-RMC (N. Bosc-Bossut), ONF Aude (C. Cocula, B. Larroque, E. Ebrard)

THEME DE RATTACHEMENT ZABR :

Ressources et changements climatiques

THEME DE RATTACHEMENT AGENCE DE L'EAU -QUESTIONS AGENCE DE L'EAU :

- Q35 Quels échanges aux interfaces eaux souterraines / Eaux superficielles ?
- Q19 Comment appréhender et qualifier l'état et le fonctionnement des zones humides ?

SITE OU OBSERVATOIRE DE RATTACHEMENT ZABR : Rivières cévenoles, Arc-Isère, OHM Vallée du Rhône

RESUME DU PROJET GLOBAL

- Résumé :

L'objectif du projet ZHTB vise à caractériser le rôle des zones humides de tête de bassin versant pour le soutien d'étiage des cours d'eau : 1) quantifier les capacités (stockage et transfert d'eau) des zones humides à soutenir les cours d'eau à l'étiage ; 2) faire la part des origines (pluies, eaux superficielles, eaux souterraines...) des apports d'eau à l'étiage. Ce projet a été planifié en 3 phases. En phase 1 (2016), l'état de l'art a permis de faire le point sur les typologies et l'hydrologie des zones humides. Cette revue bibliographique a conduit à la détermination de critères de choix des sites d'études. Un plan de suivi et d'instrumentation de ces sites a aussi été établi. En phase 2 (2017-2018), ce protocole expérimental pour l'acquisition de données a été mis en œuvre sur les sites sélectionnés (Lac de Luitel et Tourbière de Frasne principalement) : instrumentation (hydrologie) et campagnes de mesures (géophysique, pédologie, géochimie).

La phase 3 (2019-2021), objet de cette fiche, vise à poursuivre l'acquisition et l'analyse des données sur les sites d'étude avec pour objectif : 1) de quantifier le bilan hydrologique ; 2) d'interpréter leur fonctionnement ; 3) de proposer des préconisations en matière de gestion. Dans cette phase il est aussi prévu : 1) de déterminer des indicateurs (ou critères) pertinents vis-à-vis du rôle dans le soutien d'étiage ; 2) de spatialiser ces critères à l'échelle de tête de bassin versant pour déterminer le potentiel de soutien d'étiage des zones humides présentes. Ce travail pourra être réalisé à partir du couplage géomatique (SIG – analyse spatiale) / analyse multi-critère (AMC – méthodes Saaty ou Electre).

En fin de projet, il est prévu une restitution globale des résultats : analyse et interprétation de l'ensemble des chroniques acquises et synthèse des travaux menés (soulignant les principaux enseignements et incluant des propositions pour la valorisation). Par la suite, les résultats pourraient être valorisés par un guide méthodologique et/ou technique à destination des gestionnaires de zones humides (ex. aide au suivi hydrologique, aide à la réalisation de bilan hydrologique pour la caractérisation de la fonction de soutien d'étiage, aide à la restauration hydraulique, aide à la détermination des vulnérabilités pour la protection des ZH, aide à la reconnaissance des ZH...).

LIVRABLES

Rapport final du projet ZHTB ; Indicateurs ; Synthèse de l'analyse et de l'interprétation de l'ensemble des données acquises lors du projet ; Préconisations en matière de gestion des zones humides ; Fournitures d'indicateurs de soutien d'étiages en plusieurs fiches techniques; Propositions en termes de valorisation.

ENCART 2019-XX-ZHTB-EMSE (Responsable : Paran Frédéric)

- Tache de l'équipe dans le projet : pilotage et coordination du projet, lien avec les gestionnaires, coordination de la production des livrables, suivi et analyses hydrologiques et hydrogéologiques, synthèses

L'équipe EMSE est en charge du pilotage et de la coordination du projet. Elle assure le lien avec et entre les partenaires scientifiques et les gestionnaires, notamment ceux des sites d'étude (Luitel, Frasne, ZH BV de l'Aude). Elle coordonne les séances de travail collectif et la production des livrables.

L'équipe EMSE est de plus en charge la conduite des approches hydrologiques et hydrogéologique du projet sur les sites de Luitel et Frasne, en complément des travaux déjà réalisés dans la phase 2. Elle assure (Objectif 1) : 1) le recueil des données existantes, 2) la continuité du protocole de mesure et de suivi (sondes piézométriques, sondes en rivière...), 3) sa mise en œuvre sur le terrain (matériel, mesures, relevé des sondes...), 4) l'analyse des données, 5) l'analyse et l'interprétation des résultats.

Les données et les résultats acquis seront : 1) intégrés dans l'analyse et la synthèse générale des données (Objectif 2), 2) intégrés dans les travaux de modélisation (Objectif 3) notamment sur les aspects bilans hydrologiques et données d'entrée, 3) mobilisés pour la construction d'indicateurs synthétiques (Objectifs 4) et lors des tests de transférabilité (Objectif 5).

Cette équipe coordonne les tâches de travail collectif en vue : 1) de la validation des indicateurs synthétiques et de la synthèse globale et 2) de la co-construction des éléments de restitution et de valorisation (Objectif 6).

ENCART 2019-68-ZHTB- ENTPE-UMR 5023-Lehna (Responsable : Winiarski Thierry)

- Tache de l'équipe dans le projet : géophysique

L'équipe ENTPE-UMR5023-Lehna est en charge la conduite de l'approche géophysique du projet sur les sites de Luitel et Frasne, en complément des travaux déjà réalisés dans la phase 2. Elle assure (Objectif 1) : 1) la continuité du protocole d'acquisition de données GPR (nombre et répartition spatiale des profils, type d'antenne...), 2) sa mise en œuvre sur le terrain (matériel...), 3) l'analyse et l'interprétation des résultats.

Les données et les résultats acquis seront : 1) intégrés dans l'analyse et la synthèse générale des données (Objectif 2), 2) intégrés dans les travaux de modélisation (Objectif 3) notamment sur les aspects géométrie 3D des zones humides et notamment des histosols, 3) mobilisés pour la construction d'indicateurs synthétiques (Objectifs 4) et lors des tests de transférabilité (Objectif 5).

Cette équipe est aussi impliquée dans les tâches de travail collectif en vue : 1) de la validation des indicateurs synthétiques et de la synthèse globale et 2) de la co-construction des éléments de restitution et de valorisation (Objectif 6).

ENCART 2019-68-ZHTB-UJM-CNRS UMR 6524-LMV (Responsable : Lavastre Véronique)

- Tache de l'équipe dans le projet : géochimie

L'équipe UJM-CNRS UMR 6524-LMV est en charge la conduite de l'approche géochimique du projet sur les sites de Luitel et Frasne en complément des travaux déjà réalisés dans la phase 2. Elle assure (Objectif 1) : 1) la continuité du protocole d'échantillonnage, de mesure et de suivi (nombre et répartition spatiale des échantillons et des mesures, types de mesures, éléments à analyser, fréquence des campagnes...), 2) sa mise en œuvre sur le terrain (matériel, échantillonnage, mesures...), 3) l'analyse des échantillons (ions majeurs, isotopes, éléments traces), 4) l'analyse et l'interprétation des résultats.

Les données et les résultats acquis seront : 1) intégrés dans l'analyse et la synthèse générale des données (Objectif 2), 2) intégrés dans les travaux de modélisation (Objectif 3) notamment sur les aspects origines des eaux et équations de mélange, 3) mobilisés pour la construction d'indicateurs synthétiques (Objectifs 4) et lors des tests de transférabilité (Objectif 5).

Cette équipe est aussi impliquée dans les tâches de travail collectif en vue : 1) de la validation des indicateurs synthétiques et de la synthèse globale et 2) de la co-construction des éléments de restitution et de valorisation (Objectif 6).

ENCART 2019-68-ZHTB-UJM-UMR 5600-ISTHME (Responsable : Cubizolle Hervé)

- Tache de l'équipe dans le projet : pédologie (histosols), géomorphologie, géomatique

L'équipe UJM-UMR5600-ISTHME est en charge, d'une part, de la conduite de l'approche pédologique du projet sur le site de Luitel, en complément des travaux déjà réalisés dans la phase 2. Elle assure (Objectif 1) : 1) la continuité du protocole d'échantillonnage et de mesure (nombre et répartition spatiale des échantillons et des mesures, types de mesures, éléments à analyser, fréquence des campagnes...), 2) sa mise en œuvre sur le terrain (matériel, échantillonnage, mesures...), 3) l'analyse des échantillons (texture, perte au feu, C14, diatomées, carbone total...), 4) l'analyse et l'interprétation des résultats.

Les données et les résultats acquis seront : 1) intégrés dans l'analyse et la synthèse générale des données (Objectif 2), 2) intégrés dans les travaux de modélisation (Objectif 3) notamment sur les aspects structure des zones humides et notamment des histosols et propriétés hydrodynamiques, 3) mobilisés pour la construction d'indicateurs synthétiques (Objectifs 4) et lors des tests de transférabilité (Objectif 5).

D'autre part, elle est en charge de l'élaboration et du test d'indicateurs synthétiques à l'échelle de bassins versants (BV Luitel et/ou BV Frasne et/ou ZH BV de l'Aude) à partir de critères spatialisables (à déterminer) à l'échelle de la tête de bassin versant pour déterminer le potentiel de soutien d'étiage des zones humides présentes (Objectif 4) ; ceci à partir de la géomatique (SIG – analyse spatiale) et d'une méthode d'analyse multicritère (AMC – méthodes Saaty ou Electre).

Cette équipe est aussi impliquée dans les tâches de travail collectif en vue : 1) de la validation des indicateurs synthétiques et de la synthèse globale et 2) de la co-construction des éléments de restitution et de valorisation (Objectif 6).

ENCART 2019-68-ZHTB-EMA (Responsable : Johannet Anne)

- Tache de l'équipe dans le projet : analyse statistique, réseaux de neurones
- L'équipe EMA est en charge la conduite de la modélisation par réseaux de neurones du potentiel de soutien d'étiage des sites de Luitel et/ou Frasne (voir BV Aude). Elle assure : 1) l'analyse statistique des données nécessaires pour la modélisation, 2) la construction du modèle, 3) le calage et la calibration du modèle (apprentissage, paramétrage...), 4) les simulations, 5) l'analyse et l'interprétation des résultats de modélisation.

Les résultats acquis seront : 1) intégrés dans l'analyse et la synthèse générale des données (Objectif 2), 2) mobilisés pour la construction d'indicateurs synthétiques (Objectifs 4) et lors des tests de transférabilité (Objectif 5).

Cette équipe est aussi impliquée dans les tâches de travail collectif en vue : 1) de la validation des indicateurs synthétiques et de la synthèse globale et 2) de la co-construction des éléments de restitution et de valorisation (Objectif 6).

FINALITES ET ATTENDUS OPERATIONNELS :

Le projet ZHTB repose sur le postulat qu'il existe un rôle important des zones humides dans le stockage et le soutien d'étiage des cours d'eau, voire des nappes. Il existe un fort besoin en termes de connaissance du fonctionnement de la triple interface zones humides/eaux souterraines/eaux de surface : 1) mieux comprendre les interactions cours d'eau/zones humides/eaux souterraines ; 2) mieux comprendre la transformation du signal hydrologique à travers les zones humides ; 3) mieux appréhender les services rendus en termes de soutien

d'étiage (ex : régulation, stockage...) ; 4) préciser les vulnérabilités physiques des ZHTB pour une meilleure protection et gestion

Les résultats du projet seront utiles dans le cadre de la DCE pour l'évaluation du bon état des masses d'eau, le dimensionnement et le suivi d'opérations de restauration ou le « test » milieux humides dépendants des eaux souterraines (ex : identification/typologie, risque/dégradation, surveillance, indicateurs pluridisciplinaires). D'un point de vue opérationnel, il y a des fortes attentes en termes de : 1) transfert de connaissance (ex : guide méthodologique ou technique, extension du domaine d'applicabilité des guides méthodologiques Nappes/Rhône, Naprom et karst/rivière à de nouveaux contextes géomorphologiques et hydrogéologiques) ; 2) production d'argumentaires pour la protection des zones humides ; 3) construction d'indicateurs simples de diagnostic et de suivi (ex : restauration, bon fonctionnement). Les indicateurs qui seront mis en œuvre pourront de plus être intégrés dans des modèles économiques de quantification de services écosystémiques (ex : stockage, régulation, marché du carbone).

Ce projet de recherche est mis en œuvre pour étudier le rôle supposé important des zones humides (ex : tourbière) dans la rétention et le stockage d'eau et sa libération différée assurant une fonction de soutien de débit d'étiage des cours d'eau (voire des eaux souterraines). En d'autres termes, la problématique vise à répondre à la question suivante : *Quel est le rôle des zones humides pour le soutien d'étiage des cours d'eau ?*

L'étiage, dans son acception la plus courante, est une notion statistique et hydraulique qui correspond à la période de l'année durant laquelle le débit d'un cours d'eau (ou d'une nappe souterraine) atteint son niveau le plus faible (basses eaux). Le projet vise à évaluer la faculté des zones humides à constituer un stock hydrique et à le restituer de manière déphasée vers les cours d'eau qui les drainent sur la période pendant laquelle leur soutien par les précipitations est le plus faible (étiage estival et pas hivernal).

Les trois grands objectifs du projet sont les suivants :

- quantifier les capacités de stockage et de transfert d'eau des zones humides ;
- faire la part et quantifier les origines des apports d'eau aux cours d'eau d'amont bassins à l'étiage ;
- déterminer des indicateurs simples du rôle de soutien d'étiage et des critères de présence, maintien et évolution des zones humides.

La réalisation de ces objectifs tiendra compte :

- du contexte altitudinal, géologique, géomorphologique, climatique et des typologies des zones humides ;
- des éventuelles conséquences des pressions anthropiques (ex : prélèvements, drainages, pollutions...) ;
- des incertitudes sur les mesures.

Le projet ZHTB avait été initialement planifié en 3 phases dont les sous-objectifs étaient les suivants : phase 1 (réalisée en 2016-2017) - État de l'art - Choix des sites, des compétences et de l'instrumentation ; phase 2 (toujours en cours 2017-2018) - Mesures et instrumentation sur 2 sites test – Modélisation -Développement et test des indicateurs de soutien d'étiage ; phase 3 (2019-2021) - Analyse et interprétation des données - Test des indicateurs sur de nouveaux sites - Valorisation

Retour sur les résultats de la phase 1 (terminée) et de la phase 2 (en cours)

La phase 1 du projet ZHTB a permis : 1) de faire un point bibliographique sur les typologies de zones humides et les méthodes de caractérisation du soutien d'étiage ; 2) de sélectionner 2 sites d'étude représentatifs et 3 sites complémentaires sur lesquels ces méthodes seront mises en œuvre.

1. Phase 1 (terminée) : principaux résultats

Livrables : Le rapport de la phase 1 et la fiche de synthèse sont en cours de validation par l'AE-RMC.

1.2. Choix des sites

Environ 25 gestionnaires du bassin versant RMC ont été contactés pour décrire les sites dont ils ont la charge à l'aide de critères prédéterminés. Au total, une trentaine des sites de zones humides a été évaluée selon les critères de sélection. Ensuite, 5 sites ont été retenus pour des visites de terrain, puis hiérarchisés à leurs tours. Au final, l'ordre de classement des sites du plus pertinent au moins pertinent est le suivant : 1) Tourbière de Luitel (Isère) ; 2) Tourbière de Frasne (Doubs) ; 3) Tourbière de Praubert (Haute-Savoie) ; 4) Marais de Vaux (Ain) ; 5) Tourbière de Montselgues (Ardèche). Dans un premier temps de la phase 2, l'instrumentation et l'investigation ont été réalisées sur les sites de Luitel et de Frasne : prospection géophysique au géoradar, installation de sections de jaugeage, équipement complémentaire en sondes pour des piézomètres existants.

1.2. Apports du travail bibliographique (points clefs)

La synthèse de l'analyse bibliographique réalisée en phase 1 a permis de déterminer de manière qualitative les effets positifs ou négatifs des zones humides tourbeuses (en relation avec une nappe ou un cours d'eau), leur rôle hydrologique (stockage et restitution). Le tableau 1 fait ressortir : 1) des « facteurs communs » à toutes les zones humides tourbeuses « en tout temps » (« facteurs permanents ») ; 2) des facteurs qui peuvent présenter des variations interannuelles ou pluriannuelles (« facteurs transitoires ») et 3) des facteurs qui dépendent des particularités de la zone humide (par exemple minérotrophe/ombrotrophe) qui peuvent varier d'un site à l'autre (« facteurs conditionnels »).

Le tableau 2 présente de manière synthétique les points clefs pour l'étude du potentiel de soutien d'étiage des zones humides de têtes de bassins versants, ce qui est névralgique car conditionnant les écoulements de surface à l'aval. Il met aussi en avant les points de vigilance et les points à développer lors de la phase 2 du projet (en cours) et de la phase 3 à venir.

Les sites qui ont été sélectionnés pour la réalisation de la phase 2 du projet ZHTB sont des tourbières de têtes de bassins versants. Pour établir des bilans hydrologiques de ces zones humides dans l'objectif de quantifier le soutien d'étiage il était important de bien connaître les types de zones humides qui allaient être étudiées et instrumentées, ainsi que leurs interactions avec l'hydrosystème afin d'estimer au mieux les sources d'alimentation en eau (flux entrant) et d'export (flux sortant). La bonne connaissance de la structure et de la géométrie 3D des zones humides étudiées était un préalable indispensable pour estimer leur potentiel de stockage/restitution d'eau au cours d'eau. L'apport de la modélisation dans ce travail pourra être prépondérant. Une fois le bilan hydrologique « bouclé », il restera encore à statuer sur le soutien d'étiage à partir d'un référentiel non encore déterminé et à construire. Dès lors, il sera possible de raisonner en termes d'indicateurs à construire en phase 3 sur la base des paramètres décrits dans le tableau 1 et des points clefs du tableau 2.

	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	<ul style="list-style-type: none"> - Propriétés hydrodynamiques (S) des parties supérieures de l'acrotelme (forte macroporosité) - Forte capacité d'infiltration de l'acrotelme (liée à la forte macroporosité de surface) - Microtopographie de surface (ralentissement du ruissellement) 	<ul style="list-style-type: none"> - Propriétés hydrodynamiques (K / S) des parties inférieures de l'acrotelme (perméabilité intermédiaire entre 10^{-3} et 10^{-5} m.s⁻¹)
	Transitoires	<ul style="list-style-type: none"> - Forte ETP (libère de l'espace disponible pour le stockage en période sans précipitation) - Travaux de drainage (effet seulement à court terme) 	<ul style="list-style-type: none"> - Travaux de drainage (effet seulement à court terme)

	Conditionnels	<ul style="list-style-type: none"> - Si fort volume de l'acrotelme (l'épaisseur étant toujours faible, la compensation peut se faire par des grandes surfaces) 	<ul style="list-style-type: none"> - Configuration géométrique des tourbières minérotrophes (cote altimétrique haute de l'exutoire ralentissant potentiellement la décharge des nappes d'accompagnement) - Si fort volume de l'acrotelme (l'épaisseur étant toujours faible, la compensation peut se faire pas des grandes surfaces) - Si pente du substratum faible (<5%)
DÉFAVORISANT	Permanents	<ul style="list-style-type: none"> - Faible épaisseur de l'acrotelme (faible volume disponible pour le stockage) - Propriétés hydrodynamiques (S) du catotelme (faible capacité de stockage) 	<ul style="list-style-type: none"> - Propriétés hydrodynamiques du catotelme (perméabilités faibles et eau pas ou peu mobilisable) - Forte ETP et prélèvement des végétaux directement dans la nappe (l'eau reprise par les plantes n'est plus disponible pour le cours d'eau ou la nappe) - Faible épaisseur de l'acrotelme / Faible battement de nappe (donc faible déstockage)
	Transitoires	<ul style="list-style-type: none"> - Fréquence élevée de hauts niveaux piézométriques (peu d'espace de stockage disponible) - Travaux de drainage (effet à long terme) 	<ul style="list-style-type: none"> - Travaux de drainage (effet à long terme)
	Conditionnels	<ul style="list-style-type: none"> - Si présence d'écoulement préférentiel en conduits souterrains (écoulement souterrain rapide) 	<ul style="list-style-type: none"> - Si pente du substratum forte (>5%) - Si présence d'écoulement préférentiel en conduits souterrains (écoulement souterrain rapide)

Tableau 1 : Synthèse des effets positifs ou négatifs des zones humides tourbeuses (en relation avec une nappe ou un cours d'eau) sur le rôle hydrologique (stockage et restitution)

Paramètres et variables clefs décrivant :

- facteur permanent : commun à toutes les zones humides tourbeuses en tout temps ;
- facteur transitoire : lié à des variations interannuelles ou pluriannuelles ;
- facteur conditionnel : lié aux caractéristiques spécifiques d'une zone humide.

[S : porosité efficace ; K : perméabilité ; ETP : Évapotranspiration]

	Points clefs	Points à développer ou de vigilance
Zones humides	<ul style="list-style-type: none"> - forte diversité de milieux - forte potentialité biologique - présence d'eau permanente ou temporaire 	<ul style="list-style-type: none"> - différence zones humides / milieux humides - définitions différentes selon l'approche
Typologies de zones humides	<ul style="list-style-type: none"> - nombreuses typologies (espèce, milieu, habitat, végétation, pédologie, fonction...) - l'approche hydrogéomorphologique est la plus adaptée au projet ZHTB - le bilan hydrologique des zones humides nécessite une bonne connaissance des typologies 	<ul style="list-style-type: none"> - types intermédiaires (milieux mixtes, mosaïques) - évolution/nouvelles des typologies - changement de type en fonction de l'évolution de la connaissance du milieu
Contexte	<ul style="list-style-type: none"> - présence et maintien des zones humides fortement influencés par le contexte : climatique, hydrographique, géomorphologique - fort lien hydraulique entre les zones humides et l'hydrosystème (cours d'eau, eau souterraine, réseaux de zones humides, entité hydrogéologique, zone hydrographique...) 	<ul style="list-style-type: none"> - développement d'indicateurs contexte dépendant
Têtes de bassins versants	<ul style="list-style-type: none"> - milieux sensibles (notamment zones humides tourbeuses) et zones à forts enjeux - importance de l'échelle considérée 	<ul style="list-style-type: none"> - entités difficiles à cartographier
Étude des zones humides et du soutien d'étiage	<ul style="list-style-type: none"> - approche interdisciplinaire - importance des approches suivantes : géomorphologie (reliefs hérités, paysage, topographie), hydrologie (origine de l'eau alimentant la zone humide, effet retard), hydrodynamique (direction, importance et variation des flux), modélisation, pédologie, géophysique et géochimie - problématiques et approches diversifiés 	<ul style="list-style-type: none"> - à l'heure actuelle, à notre connaissance, il n'existe pas d'indicateur fiable du soutien d'étiage
Bilan hydrologique	<ul style="list-style-type: none"> - flux d'eau (dynamique) entrant et sortant de la zone humide - modalités d'alimentation (eau de surface, eau souterraine, pluie) / constitution d'un stock d'eau dans la zone humide en période humide - modalités de restitution (eau souterraine, eau de surface, évapotranspiration) / restitution du stock d'eau de la zone humide en période sèche - paramètres et variables d'importance : perméabilité, coefficient d'emménagement, teneur en eau libre, teneur en eau utile, volume de réserve, pente, gradient hydraulique, conditions aux limites... 	<ul style="list-style-type: none"> - principe simple, mais difficultés de mise en œuvre pour les zones humides compte-tenu du grand nombre de paramètres et variables - fortes incertitudes possibles sur la quantification du soutien d'étiage
Rôle hydrologique des tourbières	<ul style="list-style-type: none"> - milieu poreux original : matière organique, degré de décomposition variable en fonction de la profondeur, du temps, de la végétation - caractéristiques du milieu : faible densité, grande porosité totale, larges gammes de perméabilité et de porosité efficace (décroissance exponentielle en fonction de la profondeur), structure diplotelmique (acrotelme et catotelme) - évolution du milieu (gonflement/rétractation) : temps pluriannuel (croissance végétale/décomposition), temps cyclique (variation saisonnière de la saturation en eau) / cette évolution affecte la géométrie du milieu et ses propriétés hydrodynamiques 	<ul style="list-style-type: none"> - rôle hydrologique sujet à controverse (seul l'acrotelme semble jouer un rôle) - importance de l'interface tourbière/versant - importance de l'interface acrotelme/catotelme - importance de bien connaître la géométrie et la structuration 3D de la tourbière - rôle hydrologique d'autres types de zones humides
Soutien d'étiage et quantification	<ul style="list-style-type: none"> - notion hydraulicienne, fonction et service écosystémique des zones humides - lié au stockage/restitution d'eau par les zones humides - importance du soutien d'étiage en période de basses-eaux 	<ul style="list-style-type: none"> - difficulté à séparer les contributions des différents compartiments de l'hydrosystème - difficulté à généraliser les résultats d'un site à un autre - nécessité de disposer d'un référentiel sur la qualité/quantité du soutien d'étiage - développement d'indicateurs de zones humides ou de réseaux de zones humides favorables au soutien d'étiage - intérêt de la modélisation

Tableau 2 : Synthèse des travaux de la phase 1 : points clefs et points de vigilance

2. PHASE 2 (en cours) : mesures et instrumentation (résultats attendus)

Livrables : Rapport de la phase 2 et fiche de synthèse prévus pour janvier 2019

2.1. Méthodologie interdisciplinaire

La phase 1 du projet a donc conduit à la sélection de 2 sites d'études principaux, la tourbière de Luitel (Isère, France) et la tourbière de Frasne (Doubs, France). Le travail bibliographique réalisé sur les typologies des zones humides et les méthodes de caractérisation du soutien d'étiage a conduit à l'élaboration et à la validation d'une méthodologie interdisciplinaire (Figure 1), de plans d'instrumentation et d'acquisition de données sur les 2 sites d'étude principaux.

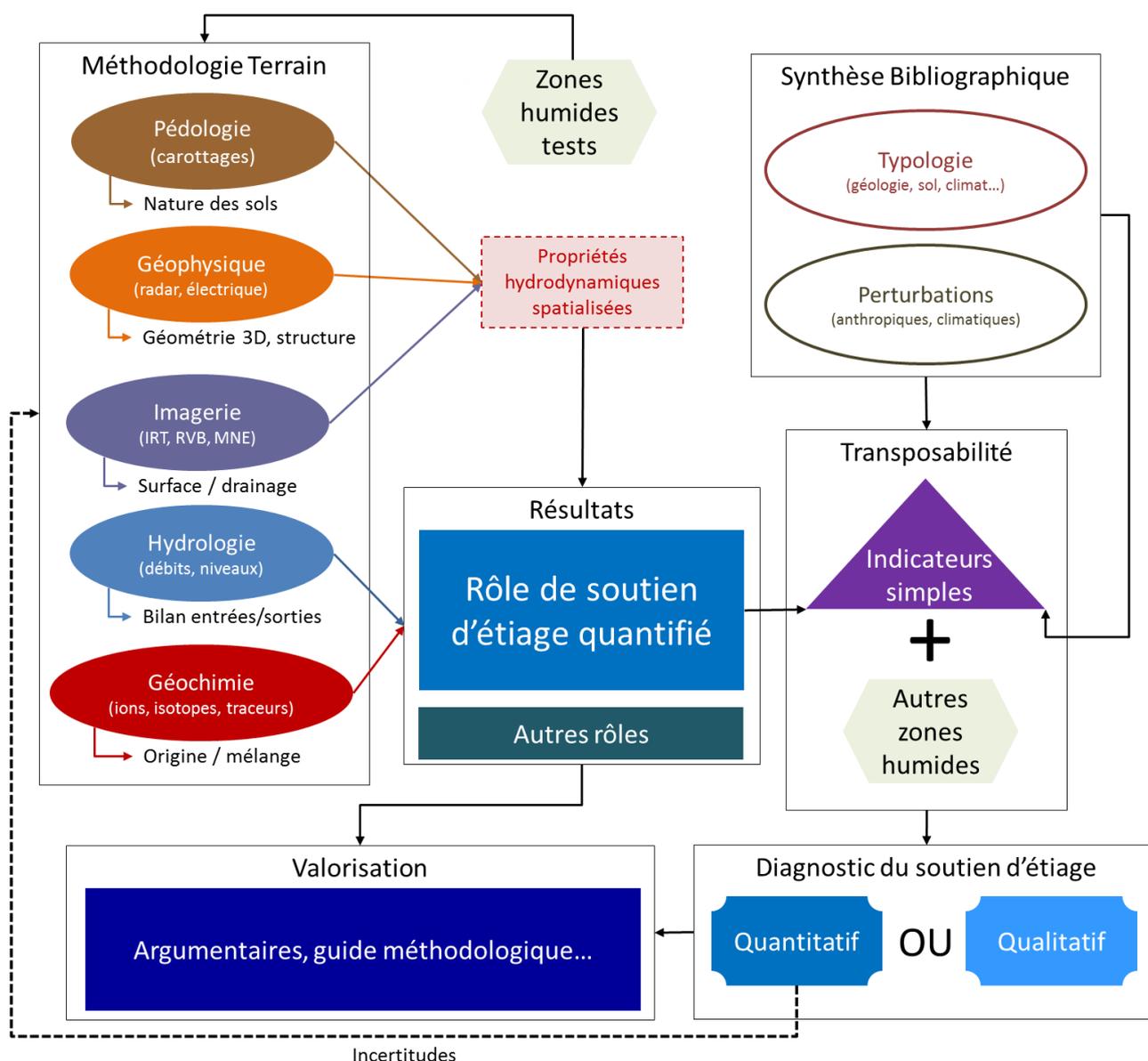


Figure 1 : Articulation interdisciplinaire du projet ZHTB (Phase 1, 2 et 3)

2.2. Points clés

Ainsi, l'instrumentation et les campagnes de mesures réalisées et encore en cours visent à acquérir ou à compléter les connaissances pédologiques (avril 2018 – stage de master 2 en cours), géophysiques (février 2018 et décembre 2018), hydrologiques (printemps 2018), hydrogéologiques et géochimiques (printemps 2018). La quantification du soutien d'étiage nécessite de : 1) « boucler » de manière précise les bilans hydrique et hydrologique du site en identifiant et en quantifiant les sources d'apport localisées ou diffuses (ex : pluie, ruisseau, aquifère dont drainage) et d'export (ex : évapotranspiration, surverse, infiltration) ; 2) caractériser en 3D la

géométrie (parfois variable dans le temps) de la zone humide et ses propriétés hydrodynamiques (ex : perméabilité, porosité).

L'accent est plus particulièrement mis sur la caractérisation de deux interfaces : 1) l'interface tourbière / versant pour estimer les apports et les pertes diffuses liés à des écoulements souterrains ; 2) l'interface catotélme / acrotélme pour déterminer les propriétés hydrodynamiques de la zone hydrauliquement dynamique de la tourbière. Les données et connaissances acquises jusque-là sont actuellement utilisées pour modéliser (stage de master 2 en cours) le comportement de stockage / restitution d'eau des tourbières sur un ou plusieurs cycles hydrologiques et valider ainsi les paramètres et variables clefs identifiés en phase 1 (Tableau 1 et 2) ; ceci en vue d'élaborer des indicateurs pertinents de soutien d'étiage qui seront construits et testés en phase 3.

2.3. Résultats attendus pour la phase 2

- Première analyse des données existantes (Luitel et Frasne) : écologie (végétation), géophysique, géochimie, géomorphologie, pédologie, hydrologie, météorologie...
- Première analyse des données hydrologiques acquises (Luitel et Frasne) :
 - chronique de débits entrant et sortant de la zone humide
 - chronique de niveaux d'eau souterraine
 - chronique météo (pluie, ETP)
 - premiers bilans hydrologiques (+ modélisation stockage/déstockage sur Luitel uniquement)
- Première analyse des données physico-chimiques acquises (Luitel et Frasne) :
 - chroniques T°C et conductivités (eaux souterraines, cours d'eau)
 - détermination des contrastes géochimiques
 - estimation des mélanges d'eau si les contrastes sont suffisants (détermination des apports diffus) / amélioration des bilans hydrologiques
- Caractérisation de la géométrie 3D du Luitel :
 - analyse des profils du radar géophysique (recherche des interfaces)
 - analyse des carottes de tourbe (structure pédologique et propriétés hydrodynamiques)
 - validation et calibration des profils radar avec les données pédologiques et détermination d'unités au fonctionnement hydrologique homogène par croisement des données radar, pédologiques et écologiques (végétation)
 - interpolation croisées des profils radar validés et calibrés / géométrie 3D de la zone humide / amélioration du bilan hydrologique
- Précision des bassins-versants topographiques et des aires d'alimentation souterraines de la tourbière de Frasne à partir des données radar, hydrologiques, géochimiques, pédologiques et écologiques (végétation)
- Prédétermination d'indicateurs de soutien d'étiage (à tester en phase 3)

OBJECTIFS ET METHODOLOGIE DE LA PHASE 3 : ANALYSE, INTERPRÉTATION DU FONCTIONNEMENT, INDICATEURS DE SOUTIEN D'ÉTIAGE ET PRÉCONISATIONS EN MATIÈRE DE GESTION

Les objectifs initialement définis dans cette phase 3 lorsque le projet a été accepté pour les phases 1 et 2 ont été affinés et complétés :

Objectif 1 (2019 et années suivantes) : suite de l'acquisition d'information et de données (hydrologiques, géochimiques, pédologiques, géophysiques) pour couvrir au moins 1 cycle hydrologique complet supplémentaire.

Objectif 2 (2019 et années suivantes) : analyse et synthèse des données acquises en phases 2 et 3.

Objectifs 3 (2019) : poursuite des travaux de modélisation / modèles réservoirs (commencés en phase 2) et réseaux de neurones

Il serait intéressant de travailler des scénarios de modélisation tenant compte, par exemple, de l'influence de la géométrie et des propriétés hydrodynamiques, de la variation des flux entrants ou de perturbations du système (ex : fossés de drainage, forçage climatique...). Jusque-là la modélisation ne prend en compte que les données antérieures et acquises lors de la phase 2 du projet (ex : pluie, débit entrant, débit sortant, ETP...). Ces autres paramètres ne sont pas encore tous accessibles et les scénarios restent à construire.

Objectif 4 (2020) : élaboration d'indicateurs synthétiques permettant d'évaluer le soutien d'étiage des zones humides. Ce travail pourrait être conduit à 2 échelles :

- à l'échelle de la zone humide sur la base de l'instrumentation et des mesures réalisées sur les sites référents (Luitel, Frasne). À titre d'exemple, on peut citer quelques indicateurs possibles (ex : ratios volume ZH/débit à l'exutoire, pluie efficace/débit à l'exutoire, temps de vidange de la ZH, déphasage entre le débit à l'exutoire et la pluie cumulée sur plusieurs pas de temps à définir...). Ces indicateurs pourront être utiles pour préciser et valider les typologies fonctionnelles de zones humides sur les têtes de bassins versants établies en phase 1 et 2.
- à l'échelle du sous-bassin versant voire du bassin versant pour déterminer le potentiel de soutien d'étiage d'un réseau de plusieurs zones humides. Ce travail pourra être effectué à partir de critères spatialisables (à déterminer) à l'échelle de la tête de bassin versant pour déterminer le potentiel de soutien d'étiage des zones humides présentes ; ceci à partir de la géomatique (SIG – analyse spatiale) et d'une méthode d'analyse multicritère (AMC – méthodes Saaty ou Electre). Les critères du « Guide pour la reconnaissance des zones humides du bassin Rhône-Méditerranée » (ex : écorégions, lithologie, géomorphologie, végétation, pédologie...) et ceux issus des travaux de Suzanne Catteau « Tests méthodologiques pour la localisation des zones humides dans le bassin Rhône-Méditerranée et la qualification des fonctions et pressions » (localiser les ZB en tête de BV, envisager leur contributions hydrologiques et fonctionnelles à l'échelle de BV) pourront être mobilisés.

Objectif 5 (2020) : test et transférabilité des indicateurs

- sur de nouveaux sites (issus entre autres de la prospection réalisée en phase 1).
- sur les zones humides de l'Aude (lien accord cadre AERMC/ONF). Un accord cadre AERMC/ONF concernant l'étude des zones humides du bassin versant de l'Aude a été signé en 2017. Une articulation entre cette étude et le projet ZHTB est prévu pour la phase 3. Toutefois, dès la phase 2 du projet ZHTB des échanges et des réunions de travail ont eu lieu : 1) information sur le contexte, les spécificités et les problématiques des zones humides de l'Aude ; 2) assistance méthodologique à l'ONF pour l'étude de ces zones humides ; 3) visite de terrain. Sur le bassin versant de l'Aude, il est prévu de comparer le fonctionnement et le comportement de sous-bassins versants avec et sans zones humides.

Objectif 6 (2021) : restitution et valorisation

- sur le plan scientifique (en fin de projet) : rapport, publication, communication (SNO tourbières,...). En fin de projet, il est prévu une restitution globale des résultats. Celle-ci contiendra l'analyse et l'interprétation de l'ensemble des données acquises lors du projet. Une telle synthèse sera complétée par des préconisations en matière de gestion des zones humides et des propositions de valorisation.
- sur le plan opérationnel (en fin de projet) : fiches techniques indicateurs de soutien d'étiage
- sur le plan opérationnel (à la suite du projet) : guide (technique) destiné aux gestionnaires pour qu'ils puissent évaluer le soutien d'étiage des zones humides à l'aide d'indicateurs synthétiques.

DUREE DU PROJET : Le délai de réalisation de l'action est sur 3 ans (2019-2021)

	2019		2020		2021	
Mesures et données complémentaires		-----	-----	-----		
Modélisation des zones humides						
Analyse et interprétation des données			-----	-----		
Élaboration d'indicateurs synthétiques SIG / AMC						
Test et transférabilité indicateurs						
Restitution (synthèse et préconisations)						

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Paran, F., Ré-Bahaud, J. et 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-Etienne, 117p + annexes.