

# Etude et diagnostic des fonctions hydriques.

## Document d'aide à la rédaction

### EN RESUME

Ce cahier technique présente les éléments clef pour réaliser l'étude du fonctionnement hydrique d'une zone humide.

Seule une bonne connaissance des flux entrants/sortants et du fonctionnement hydrique interne du site permet de mettre en évidence la nature et l'état des fonctions liées à l'eau, telle que la lutte contre les inondations, le soutien d'étiage, la recharge de la nappe, le recyclage des matières organiques et minérales... Ces mécanismes sont déterminants pour la biodiversité du site ou les usages qui y existent. Pour être efficace et pérenne, la restauration doit porter prioritairement sur ces mécanismes fonctionnels.

Tout plan de gestion doit appréhender les différentes composantes du fonctionnement hydrique de la zone humide considérée. Le CCTP général des plans de gestion de zones humides présente les investigations minimales à mener pour la fonction hydrologique-hydraulique ; le présent document va plus loin en présentant des méthodes à appliquer lorsqu'une étude fine est nécessaire pour bien comprendre le fonctionnement hydrique.

Ce document met en avant les points à identifier (par collecte données bibliographique ou relevés de terrain) et guide les acteurs dans l'élaboration d'un cahier des charges technique pour la prise en compte du compartiment « eau » d'une zone humide. Le contenu du CCTP et de l'étude qui va en découler est bien évidemment à adapter en fonction des particularités de chaque site. Les méthodes présentées ne devront pas être mises en œuvre sur chaque site de manière systématique, mais de façon adaptée aux enjeux du site pour cibler les problématiques principales.

Ce document nécessite une connaissance minimale pour être utilisable, car il se base sur des termes techniques spécialisés, par exemple pour les études du sol, la qualité des eaux, etc.

*Mots-clés : Etude hydrique, hydrogéologie, hydraulique*

### INTRODUCTION : NECESSITE D'UNE ETUDE DE FONCTIONNEMENT HYDRIQUE

Bien que les plans de gestion intègrent systématiquement le volet eau, même à minima de manière succincte et descriptive (drains, sources, mares, évolution supposée), les études spécifiques de fonctionnement hydrique ne sont pas systématisées au démarrage de la rédaction d'un plan de gestion d'une zone humide pour différentes raisons :

- Les contextes simples ou bien connus ne nécessitent pas d'approfondissement ;
- Les moyens financiers lors de la rédaction d'un plan de gestion ne permettent pas de lancer une étude détaillée ;
- La réalisation d'une étude de fonctionnement hydrique peut s'avérer nécessaire au cours d'un plan de gestion en fonction des connaissances acquises ou d'enjeux non appréhendés au démarrage.

Ainsi, il n'est pas rare que la réalisation de cette étude soit inscrite comme une action du plan de gestion.

L'étude du fonctionnement hydrique doit répondre, en s'appuyant sur des observations de terrain, des données existantes ou de nouvelles données à acquérir, et leur interprétation, aux questions suivantes :

- quel est le fonctionnement hydrologique actuel de la zone humide étudiée ?
- quels dysfonctionnement sont observés et quel pourrait être l'état de référence (avant dysfonctionnement), s'il peut être caractérisé ?
- quels sont les pressions (anthropiques, climatiques) à l'origine de dégradations potentielles de la zone humide et en particulier des pertes de l'hydratation du milieu ?
- quelles sont les tendances évolutives de la zone humide ?

L'analyse du fonctionnement hydrique d'un site revient à « *décrire et caractériser les paramètres qui déterminent la saturation en eau du milieu* ».

→ Cf. Cahier technique CREN Rhône-Alpes pour la gestion de zones humides – La connaissance de l'hydrologie

L'objectif final du diagnostic est d'évaluer le fonctionnement et le niveau de menace de la zone humide en vue de fixer des priorités d'action dans le plan de gestion.

L'analyse des paramètres étudiés va permettre au gestionnaire de définir les actions qui peuvent être mises en œuvre pour remédier aux pressions à l'origine des dégradations observées.

## DE QUELLES FONCTIONS PARLE-T-ON ?

Les fonctions des zones humides sont définies comme *l'expression des processus naturels qui se déroulent au sein d'une zone humide. On distingue les fonctions hydrologique/hydraulique, physique/biogéochimique et biologique/écologique. La fonction peut être plus ou moins altérée ; elle est parfois seulement potentielle pour une zone humide fortement dégradée.*

Les fonctions prises en compte dans ce document sont celles qui vont concerner le cycle de l'eau les fonctions hydrologiques/hydrauliques et physiques/géochimiques. Les fonctions biologiques/écologiques, bien qu'indirectement liées à la présence d'eau permanente ou temporaire sur ces sites, ne sont pas étudiées ici.

→ Le cahier technique n°1 « Elaboration des documents de gestion - Cahier des charges de plan de gestion » présente le diagnostic minimal à réaliser sur le site

La définition de ces fonctions a fait l'objet de nombreux documents. Ci-dessous la définition proposée dans la note du secrétariat technique du SDAGE RMC sur les éléments de méthode pour la définition d'un plan de gestion stratégiques des zones humides, à savoir :

- Les fonctions hydrologiques/hydrauliques

*Les zones humides participent à la régulation des régimes hydrologiques. Elles jouent un rôle tampon variable en fonction de la nature de la zone humide en « absorbant » momentanément une partie des excès d'eau de pluie pour les restituer progressivement, lors des périodes plus sèches, dans le milieu naturel (fleuves et*

*rivières situés en aval, recharge des nappes phréatiques). Elles peuvent ainsi limiter l'intensité de certains types de crues (jusqu'à leur saturation) et participer également au soutien des débits des cours d'eau en période d'étiage, basses eaux (exemple: prairies humides, forêts alluviales, tourbières...). Le champ d'inondation contribue à l'expansion des crues et à la protection des biens et des personnes (service écosystémique).*

- Les fonctions physiques/biogéochimiques

*Les zones humides contribuent au maintien et à l'amélioration de la qualité de l'eau. Elles assurent à la fois le rôle de filtre physique (elles favorisent les dépôts de sédiments y piégeant les métaux lourds associés) et biogéochimique (recyclage de matières organiques et minérales, désinfection et destruction de germes pathogènes par les ultraviolets, fixation par les végétaux de substances indésirables ou polluantes).*

## **APPROCHE METHODOLOGIQUE POUR LE DEROULEMENT DE L'ETUDE**

L'étude du fonctionnement hydrique de la zone humide s'intéresse à l'ensemble des processus physiques (naturels ou anthropiques) qui vont conditionner les fonctions hydrologiques/hydrauliques et physiques/biogéochimiques, qu'elles soient réelles ou potentielles. Ces processus sont conditionnés d'une part par le contexte de la zone humide (géologie, hydrogéologie, topographie), d'autre part par ses caractéristiques intrinsèques (forme, nature, réseau hydrique, etc...).

Cette approche à deux échelles (environnement immédiat et zone humide stricto sensu) organise le déroulement de l'étude, hiérarchise les enjeux et de cible les moyens à mettre en œuvre :

- L'étude de l'environnement immédiat, notamment sur base bibliographique, identifie les éléments influençant directement la zone humide : l'espace de bon fonctionnement (EBF), défini comme le périmètre dont dépend la plus grande partie du fonctionnement de la zone humide, sert de base à l'analyse des fonctions.
- A l'échelle de la zone humide, l'étude acquiert des données de terrain pour appréhender les processus physiques, au travers de divers outils (sondages pédologiques, relevés topographiques, analyses en laboratoire, mesures de paramètres in situ, indicateurs tels que les renoncules prairiales ou RhoMÉO, etc...), en fonction des caractéristiques du site d'étude.

↳ Consulter le Cahier technique n°2 « Espace de Bon Fonctionnement (EBF) » pour définir l'Espace de Bon Fonctionnement

## **IDENTIFICATION DES FACTEURS EXTERIEURS INFLUANT LE FONCTIONNEMENT DE LA ZONE HUMIDE**

### **Objectif :**

La caractérisation du contexte physique (géomorphologique, géologique, hydrologique, climatique, anthropique) détermine les interactions possibles entre la zone humide et le milieu environnant. Suivant le contexte, ces interactions peuvent être très importantes et constituer une composante majeure du fonctionnement de la zone humide : le battement d'une nappe libre, les précipitations et le ruissellement qui rechargent une nappe perchée, les inondations qui ennoient les zones humides alluviales, la couverture permanente du sol en zones d'alimentation de captage qui préserve la ressource des contaminations...

L'objectif est de définir **l'EBF qui va servir de base à la réflexion, en identifiant l'ensemble des flux dont la modification va avoir un impact direct par la dégradation du fonctionnement de la zone humide (pressions)**. Par la suite, la réalisation de l'état initial devra être menée au minimum sur cet EBF qui va donc constituer la zone d'étude.

### **Diagnostic :**

- Caractériser la zone humide et son évolution dans le temps (identification des fonctions majeures et de leurs services) ;

- Identifier les pressions naturelles et anthropiques pesant sur le maintien du caractère humide des milieux (usages et impact sur les fonctions)

### Moyen :

La première approche est bibliographique. On consultera divers documents afin de recueillir un maximum d'informations sur les éléments décrits ci-dessous. Il pourra s'agir des cartes géologiques et topographiques, des bases de données institutionnelles, de la bibliographie locale.

Cette synthèse bibliographique est complétée par une visite de terrain, ainsi que par l'interview de personnes ressources, pouvant apporter des informations non présentes dans la bibliographie telle que la mémoire des évènements majeurs (inondations, sécheresses, etc.) mais renseignant sur la zone humide ou bien l'évolution des sites. L'ensemble de ces éléments permet d'appréhender facilement le contexte de la zone étudiée et les processus en jeu qui vont conditionner les fonctions (tableau ci-après).

	Éléments à consulter à minima	Processus à identifier	Fonctions hydrauliques hydrologiques	Fonctions physiques biogéochimiques	Résultats attendus
<b>Géomorphologie / topographie</b>	Carte IGN au 1/25 000	Concentration des eaux de ruissellement, drainage	+++	+	Tracé du bassin versant topographique, des axes de drainage préférentiels, des modelés topographiques
<b>Géologie/ hydrogéologie</b>	Carte géologique du BRGM au 1/25 000, fiches masses d'eaux, banque de données du sous-sol (ADES), études locales	Formations aquifères/imperméables, relation possible avec des eaux souterraines (alimentation/pertes)	+++	++	Carton géologique, BV hydrogéologique, piézométrie, pertes et émergences Coupe type illustrant la disposition verticale des formations géologiques en place. Propriétés physiques et chimiques des matériaux en place Connaissance du fond hydrogéochimique naturel des eaux souterraines
<b>Hydrologie</b>	Cartes IGN, photos aériennes actuelles et anciennes (Géoportail), cartes anciennes (Cassini, état-major), données hydrométriques (Banque hydro)	Relation avec le réseau hydrographique, lien avec les annexes fluviatiles Débits de cours d'eau	+++	++	Tracé du réseau hydrographique, tracé du lit majeur, évolution dans le temps. Prise en compte des masses d'eau Caractéristiques de cours d'eau à proximité
<b>Climat</b>	Cartes climatiques, données MétéoFrance	Apport des précipitations, pertes par évaporation	++	++	Quantification des précipitations efficaces, évolution
<b>Pressions anthropiques</b>	Bases de données (Corine Land Cover, RPG, ICPE, Agreste, Basias, Basol, etc...)	Activités (présentes ou passées) impactant la zone humide (rejet, modification de la topographie, etc...)	+++	+++	Evolution des pressions humaines quantitatives (drainage, remblaiement) et qualitatives (rejets ponctuels, diffus) Evolution dans le temps
<b>Pédologie</b>	Cartes de sols	Type de flux (infiltration, ruissellement), absorption/désorption de nutriments	++	++	Typologie des sols
<b>Végétation</b>	Carte de végétation, fiches écorégions <sup>1</sup>	Modification de l'évaporation, production de matière organique	++	+++	Typologie de la végétation

<sup>1</sup> Contexte écologique et fiches écorégion du guide pour la reconnaissance des zones humides <http://www.documentation.eaufrance.fr/notice/guide-pour-la-reconnaissance-des-zones-humides-du-bassin-rhone-mediterranee>

## ÉTAT DES LIEUX INITIAL DE LA ZONE HUMIDE

L'objectif est de définir, qualifier et quantifier les processus qui contrôlent les fonctions hydrologiques/hydrauliques et physiques/biogéochimiques à l'échelle de la zone humide, à partir de la description des différents compartiments de l'hydro-système (relief, sol, réseau) et des flux hydriques et de matière.

### TOPOGRAPHIE

#### Objectifs :

- 1) Etudier l'eau dans la zone humide, les sens d'écoulements et les éventuelles dégradations subies.

La forme du relief du site (forme en cuvette, seuil topographique, axes de drainage) conditionne les propriétés de rétention de l'eau dans la zone humide. De plus, l'évolution de la topographie peut renseigner sur l'évolution du site. Par exemple, dans le cas des tourbières drainées par le passé, la comparaison de points de nivellement à différentes époques permet de mettre en avant l'effet de tassement de la tourbe par minéralisation de la matière organique et assèchement de la matière.

- 2) Apporter des éléments techniques pour la rédaction des fiches action (ex : dimensionnement d'ouvrage, impact d'une action, etc.).

L'acquisition des données topographiques est nécessaire pour envisager des travaux de restauration fonctionnelle, par exemple pour caler les hauteurs des ouvrages de régulation (batardeau, seuil) ou évaluer l'emprise des zones inondées.

#### Méthode :

La topographie du bassin versant est généralement abordée sur la base du contexte géomorphologique à partir des cartes topographiques (cf. partie 1 : synthèse bibliographique à l'échelle de l'environnement immédiat). La réalisation de relevés topographiques sur la zone humide sensu stricto est une étape importante, mais difficile à mettre en œuvre au démarrage d'un diagnostic, car assez coûteuse.

Les conditions d'intervention d'une équipe de géomètre sont difficiles en zone humide pour un relevé précis nécessaire dans le cadre des travaux de restauration fonctionnelle. On peut dans ce cas utiliser un GPS différentiel avec précision centimétrique, plus facile à utiliser en milieu fermé que les méthodes terrestres classiques (tachéomètre).

Pour les grandes surfaces, les outils tels que le LIDAR aéroporté est une alternative intéressante qui se démocratise. Les outils d'analyse spatiale disponibles dans les logiciels de SIG (système d'information géographique) permettent de caractériser les formes topographiques.

## Résultats :

Les résultats attendus sont :

- à minima les coordonnées (X, Y, Z) de quelques points singuliers (ex: axe des drains principaux, ouvrages hydrauliques) et/ou répartis sur des transects ;
- au mieux, la réalisation d'un modèle numérique de terrain (MNT) complet sur l'ensemble de la zone humide.

L'analyse des relevés topographiques aboutira aux produits suivants :

- Carte de délimitation de la forme de la zone humide ;
- Appréhension de la forme générale du relief, voire cartographie de la microtopographie de la zone humide (cas du MNT) ;
- Définition des cotes des fils d'eau et des fonds de drain, ainsi que la cote des ouvrages de régulation.

## Mesures associées :

Les relevés topographiques sont indissociables de la cartographie du réseau d'écoulement afin de positionner les transects (transversaux ou selon le drain principal).

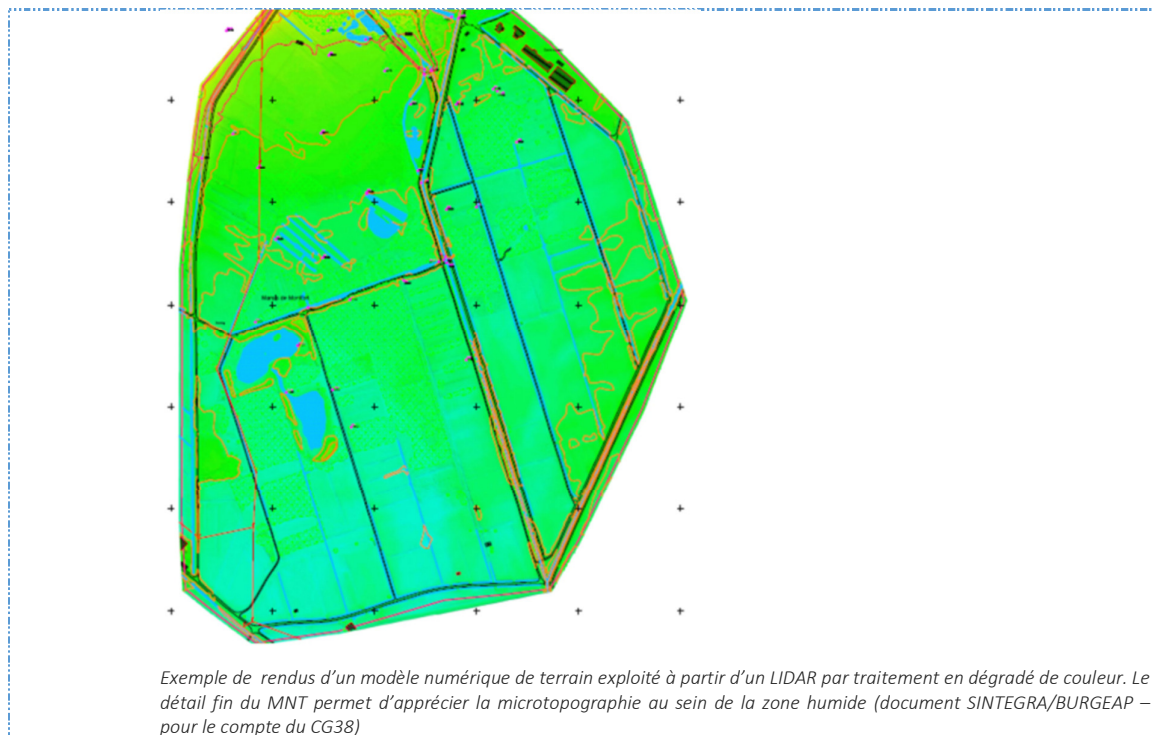
Si des piézomètres ou échelles limnimétriques sont mis en place, leur nivellement est généralement réalisé en même temps que les relevés topographiques.



### Intérêt du LIDAR dans l'étude des zones humides

Le système LIDAR (acronyme de l'expression en langue anglaise « light detection and ranging ») consiste à réaliser un Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la zone d'étude. Le LIDAR émet un faisceau laser lumineux et détecte les ondes réfléchies à la surface du sol. La méthode est similaire à un système RADAR, à la différence près que le RADAR émet un faisceau d'ondes électromagnétiques large et que le LIDAR émet un faisceau laser (ondes lumineuses) dans une direction précise. En pratique, le système est embarqué à bord d'un avion, qui émet le laser en direction du sol. L'avion est équipé d'un GPS qui permet de connaître sa position précise à tout moment. Le signal est réfléchi par la surface du sol, mais aussi par tous les objets présents, comme le toit des maisons et les arbres (canopée). La densité de points dépend de la vitesse d'avancement de l'avion et de la fréquence de balayage du LIDAR). Le post-traitement au bureau permet de supprimer tous les points qui ne correspondent pas à la cible recherchée, ici la surface du sol. La densité de points reste très importante et permet d'obtenir un MNT très précis. La méthode est particulièrement adaptée aux zones humides où les méthodes de topographie terrestre classiques ne permettent pas d'obtenir autant de précision dans les zones à fort couvert végétal. Seules les surfaces en eau ne réfléchissent pas le signal (ou mal, fonction de la profondeur de l'eau et de sa turbidité). Le LIDAR présente un intérêt économique dès que la surface à topographier devient importante. En effet, les frais fixes sont importants (coût du vol), une fois amortis, il est possible de couvrir rapidement de grandes surfaces. La réalisation des mesures se fait par temps dégagé généralement en hiver en l'absence de feuilles sur les arbres.





## RESEAU D'ÉCOULEMENT ET OUVRAGES ASSOCIÉS

### Objectifs :

**Inventorier et caractériser le réseau d'écoulement défini par 3 composantes :**

- Les apports d'eaux vers la zone humide : il peut s'agir de sources, de rivières, de biefs, de fossés temporaires ou non, ou tout autre écoulement concentré de surface. Certains apports d'eau peuvent ne pas être visibles tels que les écoulements superficiels diffus (ruissellement), les apports d'eaux souterraines ou les apports météoriques (précipitations) ;
- Le réseau hydrique interne à la zone humides : réseau de drainage lorsqu'il existe ou cours d'eau transitant dans la zone humide ;
- Les exutoires : ils peuvent être visibles tels les drains exutoire, les cours d'eaux, les pertes karstiques, ou bien masqués (infiltration, évapotranspiration, ruissellement diffus).

L'ensemble de ces éléments peut présenter des ouvrages hydrauliques qui seront également inventoriés (seuil, ouvrage de vidange, déversoir, etc.).

La cartographie de ces trois composantes va permettre **de caractériser l'alimentation en eau de celle-ci.**

## Méthode :

La caractérisation du réseau d'écoulement passe dans un premier temps par l'analyse des fonds cartographiques et des photos aériennes. Elle est complétée par un travail de terrain, consistant en un relevé précis et exhaustif de tous les éléments visibles : drains, sources, rivières, mares, ouvrages, etc. Ce relevé se fait par prise de coordonnées GPS et description de chacun des éléments observés.

Pour la saisie sur site, il peut être utile de disposer d'un outil GPS de prise de données de type PAD adapté au terrain en milieu naturel. Les levés de terrain ne seront pas géolocalisés manuellement (topofil, décamètre, etc.) mais avec un SIG/GPS portable de terrain (Trimble JUNO) équipé des logiciels ARPENTGIS / TERRASYNC compatibles MAPINFO et ARCGIS. Ce protocole permet d'assurer une plus grande précision (de l'ordre du mètre) dans la géolocalisation des différents éléments et une mise au propre plus rapide des données relevées.



Cet inventaire doit être complété par une approche qualitative et/ou quantitative selon le contexte, la faisabilité des relevés et la disponibilité des outils :

- Etat des lieux hydrogéomorphologique pour les drains et cours d'eaux. Cet état des lieux peut se reposer sur les outils existants tels que le REH (réseau évaluation des habitats). Le REH permet de caractériser l'état hydrogéomorphologique des cours d'eau par renseignement des principales caractéristiques des différents compartiments, des activités humaines ayant une influence significative et du niveau d'altération de ces compartiments.
  - o Débit : intensité des cure, fréquence des débordements ;
  - o Ligne d'eau : faciès ;
  - o Lit : sinuosité, granulométrie, incision, végétation aquatique ;
  - o Berge : stabilité, végétation ;
  - o Continuité : obstacles à l'écoulement (seuil, embacles) ;
  - o Annexes : connectivité, bras morts.
- Réalisation de fiches ouvrages : nature, dimension de l'ouvrage, état, propriétaire, gestionnaire, droit d'eau associé ;
- Relevé de tout élément nécessaire à l'élaboration de fiches actions (propriétés foncières, usages, réseaux, etc.).

### Résultats :

Inventaire sous forme de cartographie du réseau d'écoulement et des ouvrages.

### Mesures associées :

Relevé topographique (points singuliers, fossés, côtes des ouvrages de régulation)

## CARACTERISATION DU SUBSTRAT DE LA ZONE HUMIDE : RELEVES PEDOLOGIQUES

### Objectifs :

La nature du substrat résulte des propriétés géologiques des matériaux en place. La pédologie révèle les caractéristiques de la couverture superficielle de la zone humide. Ce contexte doit être connu avec une assez bonne précision, car il joue un rôle essentiel dans le fonctionnement hydrique de la zone étudiée.

En premier lieu, la pédologie nous permet d'identifier le niveau en dessous duquel l'engorgement des terrains par la nappe est permanent et la zone supérieure dans laquelle la nappe présente des battements saisonniers. Cette approche, reposant sur un diagnostic au sens écologique, est compatible avec l'approche réglementaire préconisée pour la détermination des critères de définition de zone humide sur la base des traits d'hydromorphie selon l'arrêté du 01/10/2009. L'engorgement des terrains constitue également l'un des indicateurs de suivi RhoMÉO (Indicateur IO1) et renoncules. Les sondages pédologiques décrivent entre autre :

- la dépendance à l'eau du sol (horizon de gley, taches d'oxydo-réduction, nodules polymétalliques...);
- la zone de battements saisonniers ;
- le toit de l'aquifère alluvial dans les Fluviosols sablo-graveleux.

Si les moyens le permettent, la prolongation des sondages au-delà de la zone de battement saisonnier, permet d'appréhender :

- la rétention de l'eau dans la zone humide ;
- les échanges nappe/zone humide ;
- l'expression d'une éventuelle nappe perchée.

➔ Pour plus d'informations sur l'indicateur IO1, voir la boîte à outils de suivi des zones humides RhoMÉO (<http://www.rhomeo-bao.fr/>)



#### Les sols indicateurs des zones humides

« Les sols des zones humides sont caractérisés par une saturation en eau temporaire ou permanente, qui freine les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère. Il peut en résulter un déficit plus ou moins prolongé en oxygène qui modifie l'activité biologique du sol et ralentit la minéralisation de la matière organique. La microfaune anaérobie du sol puise son énergie dans la réduction d'éléments tels que le fer et le manganèse. L'alternance des périodes saturées et non saturées est l'origine des phénomènes d'oxydoréduction qui caractérisent les sols hydromorphes. La dynamique du fer en fonction de l'état d'oxydoréduction du milieu marque en effet la morphologie du sol et constitue un indicateur du régime hydrique du sol. Le fer (III) oxydé est insoluble tandis que le fer (II) réduit est mobile. Il en résulte qu'une anoxie temporaire se traduit morphologiquement dans le sol par la présence de tâches claires appauvries en fer et de tâches et pellicules de rouille enrichies en fer (III). Un engorgement et une anoxie permanente confèrent au sol une teinte bleue due à la présence de fer (II) en solution, cette couleur se modifiant en présence de l'oxygène de l'air ».

#### Programme national de recherche sur les zones humides, - Cahiers thématiques Caractérisation des zones humides

Un travail d'analyse pédologique en vue de la caractérisation des zones humides a été réalisé par l'Université de Franche-Comté afin de valider l'approche permettant d'évaluer la durée de l'engorgement. On peut conclure à la présence d'une nappe d'eau durant plus de 2 mois à moins de 50 cm de profondeur, lorsque les traces d'hydromorphie se traduisent par :

- des horizons histiques (tourbeux), débutant à moins de 50 centimètres de la surface du sol et d'une épaisseur d'au moins 50 centimètres ;
- des traits réductiques, de couleur uniformément gris-bleuâtre ou gris- verdâtre (fer réduit) ou grisâtre (absence de fer), débutant à moins de 50 centimètres de la surface du sol ;
- des traits rédoxiques, taches rouilles ou brunes (fer oxydé) associées ou non à des taches décolorées et des nodules et concrétions noires (ferro-manganiques), débutant à moins de 50 centimètres de la surface du sol puis se prolongeant ou s'intensifiant en profondeur (avec ou sans traits réductiques) et associée à une teneur en matière organique humifiée élevée.

## Méthode :

La méthode la plus simple est de réaliser des sondages dans la couverture pédologique superficielle (alluvions, colluvions, tourbes) d'une profondeur minimale de 1,20 m pour identifier une zone de battement de nappe ou non et au-delà si les terrains s'y prêtent.

On utilise généralement des outils simples de sondages manuels ou semi-manuels, car les engins motorisés ont une progression difficile dans les zones humides (exception faite des engins légers sur chenille) et sont impactants pour les milieux, notamment vis-à-vis de la flore par le tassement qu'elles provoquent et vis-à-vis de la faune du fait du bruit des machines (utilisation d'un groupe électrogène).

On privilégiera donc des sondages à la tarière manuelle (gouge ou Edelman) et/ou au carottier à tourbe (appelé également carottier russe) et parfois à l'aide d'une tarière motorisée portative. Les machines de forage peuvent rester intéressantes en périphérie.



Exemple de sondage à la tarière (photo BURGEAP)



Exemple de sondage au carottier à tourbe (photo BURGEAP)

Il n'existe pas de règles sur le nombre et la répartition des sondages, l'objectif étant d'avoir un nombre de sondages suffisamment représentatif pour appréhender la répartition spatiale des faciès pédologiques et surtout le rôle de la pédologie dans les fonctions hydriques. La répartition spatiale pour couvrir au mieux la zone devra tenir compte du réseau de drainage et de la topographie pour réaliser des transects d'un point haut vers un point bas (selon le gradient d'écoulement probable) et/ou aux changements de physionomie dans la végétation (pouvant indiquant un changement dans la nature ou l'engorgement des sols). Dans un second temps, il est toujours possible de densifier les mesures en fonction des premiers résultats.

Le gestionnaire a intérêt de faire réaliser un minimum de sondages manuels peu coûteux, une fois amortis les frais fixes de mobilisation d'une équipe de sondages (2 personnes) :

- 5 à 7 sondages au minimum pour une zone humide de quelques hectares ;
- 10 à 20 sondages pour des zones humides de moins 15 hectares au maximum ;
- Un ratio de +/- 1 sondage/hectare pour des zones humides au-delà de 15 hectares.

Ces ratios ne sont qu'indicatifs et doivent également tenir compte des possibilités foncières d'intervention (autorisation des riverains), des conditions d'accès et des variations de faciès pédologiques de la zone humide.

D'autres mesures peuvent être préconisées en complément des sondages pédologiques comme les méthodes de géophysique électrique et/ou électromagnétiques pour caractériser la géométrie des formations sur de grandes surfaces permettant notamment de vérifier les anomalies majeures (surprofondeurs des remplissages palustres, remontée du substratum, présence d'alluvions aquifères, etc.).

## Résultats :

Les éléments qui sont à rechercher et à noter sur les profils lors des prospections pédologiques sont les suivants :

- présence d'un horizon de gley (réductique) ou de pseudogley (rédoxique) ;
- la présence de taches d'oxydo réduction (intensité et profondeur d'apparition). En zones humides avec présence de renoncules prairiales (*R. flammula*, repens, acris et bulbosus) il est possible à partir de cet indicateur de déduire les profondeurs d'apparition dans les sols des horizons réductiques ou redoxiques.



- la présence de concrétions ferro-manganiques et leur profondeur d'apparition ;
- la présence d'horizon organique épais ou de tourbe ;
- la présence de matière organique ;
- l'épaisseur des couches tourbeuses/limoneuses/argileuses et leur qualité ;
- la présence de formations superficielles sous-jacentes à la zone de battement de nappe ;
- la présence d'horizon argileux à faible profondeur.

L'ensemble de ces informations seront reprises dans une coupe détaillée des profils pédologiques. Celles-ci serviront ensuite à la réalisation d'une coupe interprétative selon un ou plusieurs profils pédologiques à l'échelle de la zone humide ou plus étendus si des sondages sont effectués en périphérie du marais.



Tache d'oxydoréduction. Photo Burgéap



Sable limoneux saturé en eau. Photo Burgéap



Tourbe limoneuse, avec débris végétaux. Photo Burgéap



Sable graveleux. Photo Burgéap

### Mesures associées :

Lien avec la topographie : les profils topographiques permettent de réaliser des transects pédologiques si les points de sondages sont intégrés au nivellement.

Pose de piézomètres provisoires : les sondages pédologiques peuvent être équipés de piézomètres provisoires qui serviront au relevé de niveau d'eau souterrain.

## **IDENTIFICATION DES FLUX ENTRANTS ET SORTANTS**

### **Objectifs :**

L'identification flux d'eaux entrant et sortant au travers de la réalisation d'un bilan quantitatif a pour objectif de quantifier la rétention d'eau dans la zone humide et les variations intra-annuelles du stock d'eau disponible pour la végétation hygrophile (alternance dans le temps des hautes et basses eaux).

### **Méthode :**

Le bilan des flux hydriques composant la zone se réalise sur un cycle hydrogéologique qui correspond à un cycle annuel comprenant une période de hautes eaux et une période des basses eaux. Ces deux périodes vont dépendre du contexte climatique et du mode d'alimentation de la zone humide :

- Pour des zones de montagne élevées en altitude, une période de basses eaux en hiver aux températures les plus basses et une période de hautes eaux au printemps à la fonte des neiges ;
- Pour des zones de plaines, une période de basses eaux lors de l'étiage estival et une période de hautes eaux en période hivernales ;
- Pour les zones méditerranéennes, des hautes eaux concomitantes aux crues cévenoles d'automne et des basses eaux généralement l'été ;

Le bilan des flux s'intéresse à l'ensemble des composantes d'un bilan hydrique, à savoir :

- Les apports pluviométriques : ceux-ci ont été étudiés lors de l'étude du contexte de la zone humide. Il s'agit généralement de données des stations Météo-France proches et dans un contexte climatique similaire. On dispose également tout récemment d'un réseau fiable de relevés météorologiques amateurs, disponible en libre accès sur internet. Dans le cas des zones de montagne, il faut tenir compte de l'effet stockage des précipitations en hiver sous forme de neige et leur fonte au printemps (effet de retard dans la restitution) ;
- Les pertes par évapotranspiration : elles aussi sont fournies au travers de données Météo-France, les stations donnant soit la valeur directe soit les éléments permettant de la calculer (températures, précipitations, ensoleillement, humidité de l'air et vitesse du vent) selon une formule empirique et des abaques ;
- Les apports et pertes d'eau superficielle ;
- Les échanges entre eaux souterraine et eaux de surface.

- Quantification des apports et pertes d'eau superficielle

Les apports (alimentation) ou les pertes (drainage) par les sources, cours d'eaux ou système de drainage anthropique qui recoupent la zone humide peuvent être quantifiées en entrée et sortie de la zone humide.

Lorsque les débits sont suffisants, l'utilisation d'un débitmètre (micromoulinet, courantomètre), avec calcul du débit par intégration des vitesses mesurées sur une section définie, peut être envisagée. Dans de nombreux cas, seule une estimation du débit par jaugeage au seau pourra être réalisée.

Dans le cas des zones karstiques, la zone humide peut constituer un système endoréique c'est à dire que l'ensemble des écoulements vont s'infiltrer au fond d'une doline qui va alimenter le réseau

karstique sous-jacent. Dans ces contextes particuliers, des opérations de traçage par coloration sont parfois nécessaires pour identifier et quantifier ces relations.

- Suivi des variations du stock d'eau disponible

La résultante du bilan des flux entre les apports d'eaux et les sorties d'eaux sera la variation des niveaux d'eau dans les zones humides, superficiels et souterrains. La manière généralement la plus simple d'observer les fluctuations du niveau au cours d'un cycle hydrogéologique est d'utiliser des repères topographiques

- Dans les eaux de surfaces (pièces d'eau libres, cours d'eau, drains) au moyen :
  - o soit d'une échelle limnimétrique,
  - o soit de simple mesure de hauteur d'eau au niveau d'un point topographique fixe (ex : mesure de la distance entre le chevet d'un pont et la surface de l'eau) ;
- Dans le substrat de la zone humide au moyen de piézomètres provisoires. Ces piézomètres (cf. RhoMÉO I03 et P03) provisoires sont des tubes PVC crépinés, placés dans les trous nus réalisés à la tarière. Ils ne sont donc pas nécessairement équipés dans « les règles de l'art » (gravillonnage, bouchon d'argile, tête avec capot fermé, développement à l'air) afin de limiter l'impact sur la zone humide et d'être éventuellement enlevés à la suite du suivi. Les mesures de niveaux d'eau (côte de la nappe) dans les piézomètres seront réalisées avec :
  - o Une sonde piézométrique (mesure ponctuelle)
  - o Au moyen de sondes enregistreuses autonomes, avec pas de temps réglable, afin d'obtenir des chroniques fines.



Exemple d'échelle limnimétrique avec mise en place de sonde enregistreuse (photo BURGEAP)



Exemple de piézomètre provisoire mis en place dans un trou de sondage à la tarière (photo BURGEAP)

- Quantification des apports d'eau souterraine

Il est possible que les apports souterrains soient diffus ou masqués donc difficiles à observer et à quantifier (apports de versants par exemple). Les apports souterrains peuvent alors :

- Etre qualifiés par des mesures de paramètres in situ dans le suivi qualitatif des eaux de la zone humide, notamment la conductivité et la température :
  - o les eaux souterraines sont généralement plus minéralisées que les eaux météoritiques, excepté dans des contextes très particuliers (cas des massifs granitiques ou assimilés) ;



- la température des eaux souterraines est plus constante dans l'année et subit donc peu ou pas les influences de variations thermiques de surface ;
- Etre qualifiés et quantifiés à partir du réseau d'écoulement souterrain tracé à différentes périodes si le réseau de piézomètres est suffisamment dense. La carte piézométrique peut être tracée dans une nappe intrinsèque à la zone humide (dans les niveaux palustres ou tourbeux équipés de piézomètres), soit d'une nappe généralisée interagissant directement avec la zone humide (ex. : zones humides en plaine alluviale), soit dans les deux. Lorsque l'on connaît la perméabilité des terrains dans lesquels peuvent circuler de l'eau au sein de la zone humide (tourbières), il est possible de quantifier le flux d'eaux qui transite dans le milieu à l'aide des formules fondamentales des écoulements souterrains (formule de Darcy).

- Identification des échanges entre eaux souterraines et eaux de surface

Il existe parfois des niveaux de nappe qui influencent directement ou indirectement les apports d'eaux vers la zone humide. La zone humide existe soit directement par affleurement de la nappe (anciennes gravières), soit par l'existence d'une interface argileuse (limons de crue, bras mort comblé, etc.) qui va retenir l'eau en surface.

Dans le cas des nappes alluviales, il est nécessaire de connaître la piézométrie de la nappe alluviale qui va interagir avec la zone humide. La position de la nappe alluviale va conditionner le potentiel des échanges verticaux avec la zone humide :

- Nappe alluviale en position supérieure par rapport au niveau d'eau dans la zone humide, auquel cas la nappe alluviale peut potentiellement alimenter le marais de manière ascendante ;
- Nappe alluviale en position inférieure par rapport au niveau d'eau dans le marais, auquel cas ce sont les eaux dans la zone humide qui vont pouvoir réalimenter la nappe alluviale de manière descendante.

Deux facteurs vont contrôler les échanges d'eaux verticaux :

- la différence de piézométrie (niveau d'eau) entre la nappe alluviale et la zone humide : les niveaux d'eau obtenus au travers de mesures dans des piézomètres et par lecture d'échelle peuvent alors servir à identifier le sens des écoulements ;
- la perméabilité des terrains à l'interface alluvions/zone humide, identifiée lors des sondages pédologiques, et qui va conditionner le sens et la vitesse des échanges.

Les échanges verticaux se font en général au niveau des interfaces palustres (tourbe, limons, argiles des zones humides) au contact des alluvions aquifères. Lorsqu'elles sont semi-perméables (ex. : tourbes ou limons), les échanges verticaux peuvent se faire de manière lente avec des flux limités (phénomène de drainance ascendante ou descendante). Les échanges peuvent se faire dans un seul sens au cours d'un cycle hydrologique ou changer de sens, au cours de ce même cycle en fonction des variations des niveaux d'eaux de surface et de la nappe alluviale, contrôlées par des systèmes indépendants.

## Résultats :

Bilan chiffré (ou approché) entre entrée et sortie du marais.

Calcul du gradient hydraulique de la nappe et cartographie des sens d'écoulement (rôle de drainage ou d'alimentation de la nappe)

Fluctuations des niveaux d'eaux dans l'année.

### Mesures associées :

Un bilan de flux ne peut pas être réalisé sans une connaissance précise du réseau d'écoulement.

La chimie des eaux (ions majeurs) est un traceur de l'origine des eaux (souterraine, superficielle). Les analyses réalisées dans le cadre du suivi qualitatif de l'eau apportent des éléments importants dans la compréhension des échanges entre eaux souterraines et eaux de surface.

## SUIVI QUALITATIF DES EAUX

### Objectif :

Connaitre la qualité des eaux et leur origine, qui entre, circule dans la zone humide et en sort pour qualifier les principaux flux de matière.

### Moyen :

Le bilan qualitatif repose sur des mesures in situ et des prélèvements d'eau, réalisés sur les eaux superficielles (pièces d'eau libre, cours d'eau, drains, etc.) et souterraines (dans des piézomètres). Le protocole de suivi doit identifier les éléments suivants : localisation des points, fréquence des mesures, paramètres à mesurer et analyser.

La répartition spatiale des points de suivi permet de :

- faire un bilan entre les apports vers la zone humide et les points de sortie : il faut donc prévoir des points en amont et des points en aval la zone humide ;
- identifier l'origine des eaux et donc des flux dans la zone humide : il est donc nécessaire de réaliser des mesures sur l'ensemble des flux entrants visibles.

Concernant la fréquence du suivi, il est conseillé de se caler sur les deux situations de hautes et basses eaux. En fonction de la nature pédologique de la zone humide, les battements saisonniers peuvent provoquer des phénomènes de minéralisation de la matière organique dans la zone humide dont les éléments chimiques vont se retrouver dissous dans l'eau.

De plus, un suivi dans le temps va permettre de vérifier l'évolution de la qualité des eaux sur le long terme.

Les paramètres à suivre vont dépendre du contexte de la zone. On peut différencier les éléments suivants :

- Les paramètres physicochimiques, mesurés in-situ, donnant une indication immédiate et peu coûteuse sur la qualité des eaux et son évolution sur un cycle hydrogéologique, et plus

généralement sur les conditions du milieu : température de l'eau, conductivité électrique (indicateur de la minéralisation globale de l'eau), pH (surtout en tourbière), oxygène dissous et taux de saturation, potentiel d'oxydoréduction. Ces paramètres sont très facilement mesurables sur le terrain à l'aide de sondes multiparamètre ;

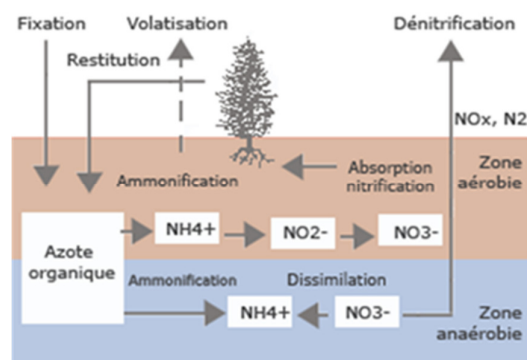
- Les ions majeurs analysés en laboratoire, qui vont permettre de différencier l'origine souterraine des eaux en fonction des éléments dissous (calcium, magnésium, sulfates, chlorures) ;
- L'azote (nitrates, nitrites, ammonium, azote organique total) et le phosphore sous les différentes formes chimiques qui vont permettre d'identifier les conditions du milieu (oxydation, réduction, conditions anoxiques, etc.), mais également les éventuelles perturbations anthropiques (intrants agricoles, rejets domestiques d'eaux usées) ;
- Les micropolluants (hydrocarbures, HAP, métaux lourds, phytosanitaires, PCB) qui sont des indicateurs de pollution, en lien avec des activités passées ou présentes qui pourraient impacter la zone humide. C'est l'analyse des pressions anthropiques qui va dicter le choix de ces paramètres analytiques qui peuvent être coûteux.



### Les mécanismes biogéochimiques dans les milieux humides (<http://www.zones-humides.eaufrance.fr>)

Les processus biogéochimiques participent à la transformation et la dégradation des composés introduits par les eaux dans les milieux humides.

En période d'engorgement, les microorganismes (bactéries, champignons...) présents dans les sols saturés en eau et dépourvus d'oxygène mettent en place des processus d'oxydoréduction qui leur permettent de respirer : ils utilisent successivement plusieurs composés contenant de l'oxygène (nitrates, oxyde de fer, sulfate...), présents dans la matière organique, qui sont alors réduits. Suite à ce changement d'état, ces composés sont assimilables par les animaux et les organes souterrains des végétaux (racines...). Ces processus interviennent dans différents cycles de la matière. Les plus étudiés sont ceux de carbone, de l'azote et du phosphore. Par exemple, les milieux humides contribuent à réguler l'azote en général et les nitrates en particulier. Dans les sols gorgés d'eau, des bactéries décomposent les nitrates pour en prélever l'oxygène pour leur respiration, libérant l'azote sous forme atmosphérique. Ce phénomène peut avoir un impact considérable, en éliminant jusqu'à 400 kilos d'azote par hectare et par an !



Le cycle de l'azote dans un milieu humide présentant un assèchement saisonnier en surface - d'après Barnaud Fustec 2007

Selon l'acidité du sol, les microorganismes présents dans les zones humides diffèrent :

- dans les sols acides (pH de 3 à 6), il se développe principalement des champignons microscopiques et des levures
- dans les sols neutre à alcalins (pH de 6 à 9), les bactéries prolifèrent ;

Dans les sols de mangroves très acides, on rencontre des bactéries très adaptées, du genre *Thiobacillus*, impliquées dans la dégradation du soufre.

## Résultats :

Concentrations et valeurs de paramètres mesurés/analysés

Evolution dans le temps des paramètres physicochimiques et chimiques

Carte des espèces chimiques.

## Mesures associées :

La connaissance des flux entrants et sortants est indispensable pour caractériser les phénomènes biogéochimiques en jeu, qui ne peuvent pas être correctement interprétés à la seule lecture des résultats d'analyse.

## DIAGNOSTIC DU FONCTIONNEMENT HYDRIQUE DE LA ZONE HUMIDE

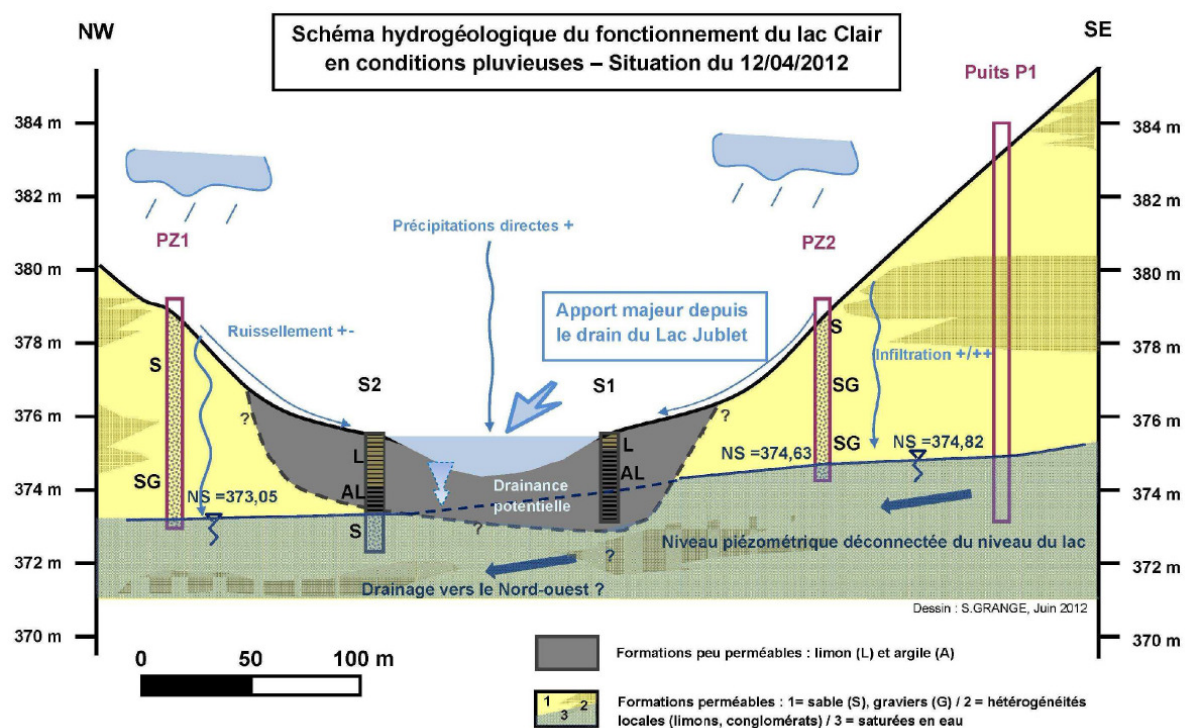
L'analyse des facteurs extérieurs à la zone humide et de son contexte général a pour objectif de déterminer une esquisse du fonctionnement hydrique attendu en décrivant les principaux processus en jeux et leur importance relative. Il s'agit d'une première étape qui aura permis d'affiner la réalisation de l'état initial en ciblant les processus majeurs.

Ainsi, la valorisation et le croisement des éléments techniques relevés lors de l'état initial de la zone humide vont permettre de dresser le diagnostic fonctionnel : l'interprétation des résultats mettra en évidence les fonctions en jeu sur la zone humide et les dysfonctionnements existants.

## FONCTIONNEMENT HYDRIQUE DE LA ZONE HUMIDE

Chaque composante de l'état initial a pour but une meilleure connaissance de la zone humide afin d'appréhender son fonctionnement hydrique, à savoir :

- d'identifier les origines de l'eau arrivant au site et de formuler un avis sur la variabilité des apports en eau dans le temps et leur qualité ;
- de caractériser les eaux s'écoulant dans le réseau hydrographique de surface en termes de flux (quantité, qualité) ;
- de déterminer le sens d'écoulement et le gradient hydraulique de la nappe et ses relations avec le réseau hydrographique superficiel traversant le site ;
- de caractériser l'eau présente dans la zone humide, d'un point de vue qualitatif et quantitatif, et d'identifier son évolution entre hautes et basses eaux ;
- d'identifier les risques potentiels de dysfonctionnement hydrique, d'assèchement ou de pollution du site et de hiérarchiser les principaux facteurs régissant le maintien du caractère humide de la zone et de la qualité des eaux.

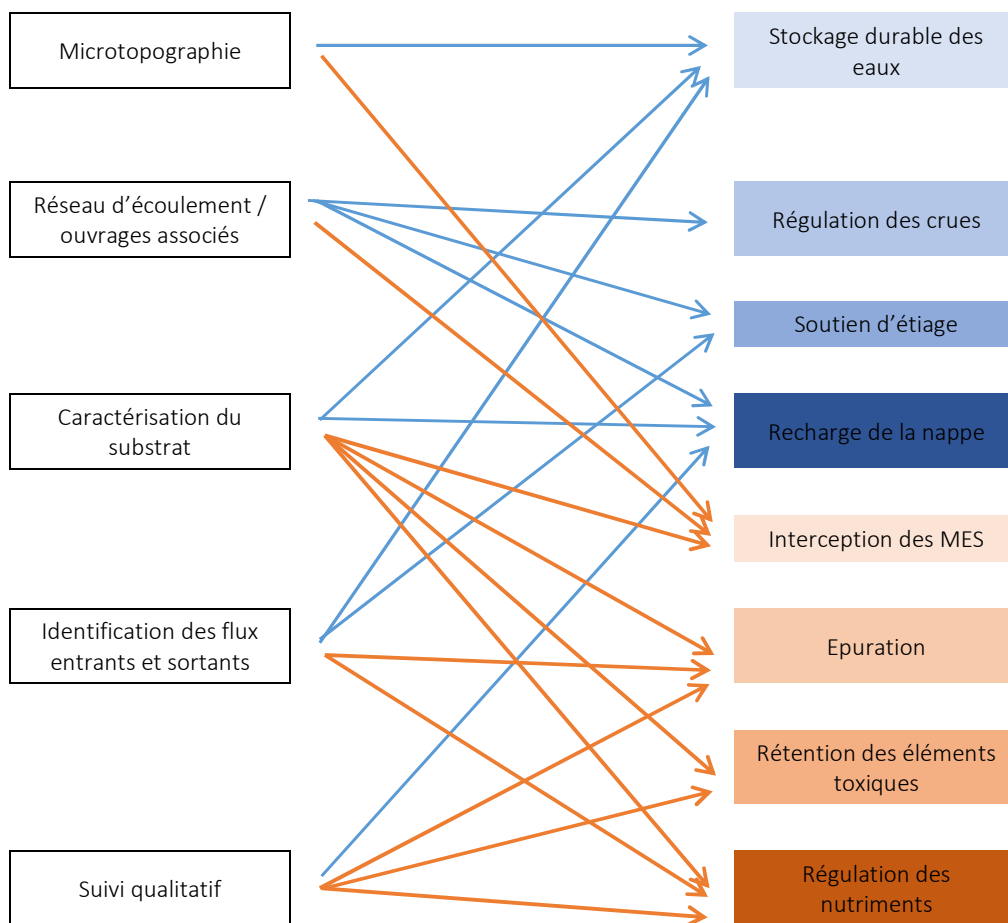


Exemple de schéma simplifié de l'alimentation en eau d'une zone humide (BURGEAP)

L'objectif premier d'une étude de fonctionnement hydrique est donc bien d'aboutir à la compréhension des phénomènes en jeu dans l'alimentation en eau du site et du maintien de son caractère humide.

## FONCTIONNALITES DE LA ZONE HUMIDE

Toutefois, la connaissance fine du fonctionnement hydrique est indissociable de l'identification des fonctions de la zone humide et de l'état de conservation de celles-ci. En effet, à chaque composante de l'état initial, plusieurs fonctions peuvent être associées. Ainsi, il s'agit d'analyser les résultats composante par composante mais aussi de réaliser une intégration et un croisement de l'ensemble des informations pour une meilleure compréhension des phénomènes en jeu et pouvoir identifier sur quelles fonctions les actions du plan de gestion doivent jouer afin de supprimer tout dysfonctionnement.



Rôle des éléments caractéristiques de la zone humide dans la réalisation des fonctions

	Éléments collectés sur le terrain	Fonctions hydrauliques hydrologiques	Fonctions physiques biogéochimiques	Diagnostic fonctionnel	Dysfonctionnements
<b>Microtopographie</b>	Forme de la zone humide Côte des fils d'eau	Stockage durable des eaux	Interception des MES	Déterminer le volume de stockage de surface de la zone humide	Drainage de la zone humide
<b>Réseau d'écoulement / ouvrages associés</b>	Cartographie du réseau Etat des éléments superficiels	Régulation des crues Soutien d'étiage Recharge de la nappe	Interception des MES	Espace de mobilité des cours d'eau, zones inondables, connexions avec les cours d'eau	Risque de pollution et d'envasement (rejets en cours d'eau) Déconnexion hydrique Modification des flux entrants / sortants
<b>Caractérisation du substrat</b>	Descriptions des profils pédologiques Présence de taches d'oxydoréduction, des couches imperméables, de tourbe...	Stockage durable des eaux Recharge de la nappe	Interception des MES Rétention des éléments toxiques Epuration Régulation des nutriments	Calcul de réserve utile Caractérisation des échanges nappe/eau de surface Identification d'une nappe superficielle + Fonction écologique : substrat pour la végétation	Risque d'assèchement de la zone humide Identification des pressions anthropiques (ex : exploitation tourbe)
<b>Identification des flux entrants et sortants</b>	Bilan chiffrée des entrées/sorties d'eau Gradient hydraulique de la nappe Sens d'écoulement Fluctuation des niveaux d'eau	Stockage durable des eaux Soutien d'étiage	Régulation des nutriments Epuration	Bilan hydrique (calcul de la réserve utile) Volume stockés en hautes eaux/basses eaux/crues Temps de présence de l'eau sur la zone humide, favorable aux processus d'épuration + Fonction écologique : permanence ou non de l'eau conditionnant la présence d'espèces animales et végétales	Accélération des flux Modification des flux entrants/sortants Risques d'assèchement de la zone humide
<b>Suivi qualitatif</b>	Concentrations des éléments recherchés Mesures des paramètres in situ Carte d'évolution dans le temps	Recharge de la nappe	Rétention des éléments toxiques Epuration Régulation des nutriments	Caractérisation des apports d'eau (origine) Processus biochimiques	Pressions polluantes



## Fonctions hydraulique /hydriques

Les fonctions hydriques et hydrauliques sont principalement mises en évidence et définies au travers des composantes « géographiques » de l'état initial, à savoir la microtopographie, le réseau d'écoulement et le substrat, ainsi que par l'étude des flux.

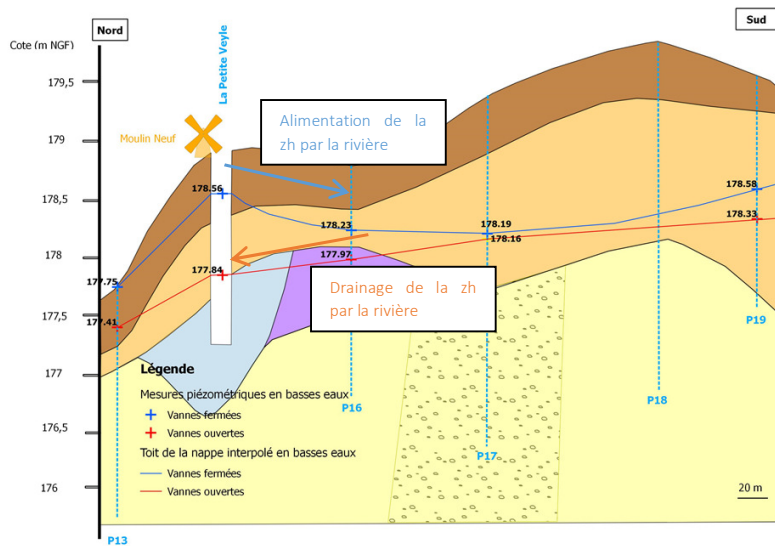
La microtopographie du site de la zone humide, si elle est précise et exhaustive, c'est-à-dire notamment si elle est tirée d'un LIDAR réalisé sur l'ensemble de la zone humide avec réalisation d'un MNT, va permettre d'identifier les zones de stockage potentielles en surface (étang, drains, canaux, fossés, etc.).

Toutes ces zones vont pouvoir faire l'objet d'un calcul de volume estimatif, rendant compte de la capacité de stockage de la zone humide : stockage durable des eaux ou stockage temporaire, notamment avec rôle de régulation des crues s'il s'agit d'une zone humide connexe à un cours d'eau. Une évolution de la microtopographie va donc influencer fortement sur la fonction de stockage de l'eau de la zone humide. Elle peut aussi fortement impacter une autre composante majeure qui est le réseau d'écoulement au sein du site, en modifiant par exemple les chemins ou les sens d'écoulement et perturber ainsi le fonctionnement hydrique du site.

Le réseau d'écoulement d'une zone humide constitue le support d'une part parfois importante des flux d'eau superficielle. Associée à la cartographie de la topographie locale, la connaissance de l'ensemble des linéaires parcourant le site va permettre d'établir, sur la base d'une connaissance de l'hydrologie locale, une carte des zones inondables et définir ainsi le rôle que peut jouer la zone humide dans la régulation des crues.

De même, par sa capacité de stockage superficiel et souterrain et sa position vis-à-vis des écoulements superficiels, la zone humide peut permettre l'alimentation des réseaux d'eau superficiels et jouer ainsi un rôle de soutien d'étiage. L'identification des flux et des échanges superficiel/souterrain va permettre d'affiner ces fonctions hydriques.

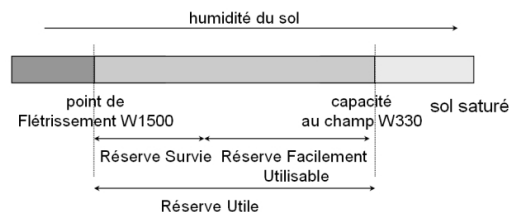
D'autre part, les ouvrages présents sur le réseau peuvent directement influencer les flux d'eau au sein de la zone humide, en jouant sur les niveaux d'eau superficiels et ainsi sur les écarts de cote d'eau entre nappe et réseau superficiel. Ainsi, la présence de moulin sur un cours d'eau peut être à l'origine ou permettre le maintien d'une zone humide annexe car il maintient artificiellement un niveau d'eau dans le cours d'eau supérieur au niveau de la nappe, assurant ainsi des flux d'eau depuis la rivière vers la zone humide et donc l'installation d'une végétation inféodées aux milieux humides. Le relevé des ouvrages, associé au relevé des côtes de fil d'eau et des côtes piézométriques, va ainsi permettre de définir le rôle de chacun d'eux et permettre de définir une gestion appropriée de ces ouvrages dans un objectif de maintien du caractère humide du site.



Exemple de modification des niveaux d'eau superficiels par l'ouverture de vannage entraînant une modification du sens des échanges nappe/rivière (BURGEAP – SMVV)

La description des profils pédologiques renseigne directement sur la présence d'eau dans le sol, leur localisation (identification de formations aquifères subsuperficielles – tourbe – ou souterraines – graviers, sables ; d'horizons argileux responsables d'une nappe perchée), les variations intra-annuels (au travers de la profondeur d'apparition et de l'intensité des tâches d'oxydoréduction). La connaissance fine de la pédologie nous donne donc des informations sur la fonction de stockage de la zone humides, mais également sur les échanges possibles entre eaux de surface et eau souterraine et donc sur le rôle de la zone humide dans la recharge de la nappe.

La seule information pédologique ne permet pas de quantifier la fonction de recharge de la nappe, mais met en évidence sa plus ou moins grande importance et surtout les éventuels dysfonctionnements en cours. Par contre, une description fine des textures de sol (ratio argile/limon/sable) va permettre la quantification de la fonction de stockage de l'eau. En effet, le calcul de la réserve utile maximum (RUM) d'un sol se base sur l'identification de la capacité au champ (quantité d'eau contenue dans les sols en conditions de saturation et après ressuyage durant 48h) et du point de flétrissement (quantité d'eau minimum sans qu'il y ait dépérissement irréversible des végétaux). Il existe de multiples fonctions pour quantifier la RUM à partir de données de texture des sols. Les équations de régression linéaire de Rawls ont l'avantage d'être simples.



avec :

- W330 teneur en eau à -330 hPa (en mm/m)
- W15000 teneur en eau à -15 000 hPa (en mm/m)
- Ar : teneur en argile (en %)
- Sa : teneur en sable (en %)
- MO : teneur en matière organique (en %)

La réserve utile (RU) en mm est calculée pour chaque horizon par la fonction suivante :

$$W330 = 257,6 - (2 \times Sa) + (3,6 \times Ar) + (29,9 \times MO)$$

$$W15000 = 26 + (5 \times Ar) + (15,8 \times MO)$$

$$RU = (W330 - W15000) \times h$$

- h : épaisseur de l'horizon (en m)

Formule de Rawls : calcul de la Réserve Utile Maximale

Il est alors possible d'approcher la réserve utile réelle du sol au travers d'un bilan hydrique, faisant intervenir la RUM et les caractéristiques climatiques (précipitations, ETP). Ce calcul permet de caractériser la réserve en eau du sol pour en estimer le volume stocké à l'hectare et identifier ainsi le rôle de la zone humide dans le stockage de l'eau et sa contribution au soutien d'été.

Enfin les fonctions hydrologiques et hydriques peuvent aussi transparaître au travers de l'étude des flux entrants et sortants, et du suivi qualitatif.

Les variations observées sur les bilans de flux entre les hautes eaux et les basses eaux indiquent sur la zone humide joue un rôle majeur dans le soutien d'été (état des niveaux d'eau en basses eaux) et/ou dans la régulation des crues (niveaux d'eau en hautes eaux et période de crues).

D'autre part, les résultats d'analyses en laboratoire et les mesures des paramètres in situ, sans apporter d'éléments sur les fonctions associées aux zones humides, renseignent toutefois sur l'origine des apports d'eau et permettent de mieux appréhender le fonctionnement hydriques et donc les risques potentiels pesant sur l'alimentation et le maintien en eau du site. La température des eaux souterraines est plus constante dans l'année que celle des eaux superficielles car ne subit peu ou pas les influences de variations thermiques de l'air. Ainsi des eaux d'origine souterraine vont s'établir aux alentours de 10-12° C tout au long de l'année, alors que la température des eaux superficielles peut présenter de fortes amplitudes entre la période hivernale et la période estivale. La conductivité renseigne également sur l'origine de l'eau : les eaux météoriques sont très faiblement minéralisées (< 200 µS/cm) alors que les eaux souterraines peuvent présenter une forte conductivité du fait de la présence d'ions majeurs, variable selon le substrat géologique en place, ainsi qu'un impact important des nitrates et sulfates.

## Fonctions physiques / biochimiques

Les fonctions physiques et biochimiques sont principalement mises en évidence et définies au travers de la nature du substrat de la zone humide et des bilans de flux d'eau et de matières.

L'eau qui alimente les zones humides apporte des matières minérales sous forme particulières (sable ou limon transportés par les crues des fleuves), dissoutes (ions) ou organiques.

Concernant les matières sous forme particulières, les composantes structurelles de la zone humide (topographie, réseau) vont avoir une influence sur le sens et la vitesse des écoulements et jouer ainsi

essentiellement sur le transport et/ou le dépôt des fines et particules en suspension, c'est à dire sur les processus mécaniques intervenant dans les fonctions physiques et biochimiques.

Les autres composés vont subir des transformations au sein de la zone humide selon des processus biogéochimiques par lesquels des éléments minéraux ou organiques sont stockés et/ou transformés par l'action des êtres vivants et des conditions du milieu (ph, saturation en eau, oxygénation).

Le substrat joue un rôle majeur dans cette fonctionnalité épuratoire des zones humides, en étant le support de nombreuses réactions et/ou interactions.

Le ralentissement des flux qui entrent dans la zone humide permet à l'eau et aux contaminants qu'elle véhicule de s'infiltrer dans le sol. Or la capacité d'infiltration du sol est alors déterminante pour que la sédimentation intervienne et permette la décantation des particules en suspension véhiculées par les eaux de ruissellement. Cette capacité d'infiltration est étroitement liée à la nature pédologique du substrat (texture, pierrosité, structure, porosité) bien qu'elle soit également liée au bon développement du système racinaire de la végétation en place.

Toutefois, l'atténuation des flux de contaminant n'est réellement effective que si les processus complémentaires de sorption et de dégradation se déroulent correctement dans le sol. Celui-ci joue donc également un rôle dans la rétention des éléments toxiques, les contaminants pouvant s'adsorber à la surface des particules de sol. La présence de micro-organismes du sol, qui disposent d'un vaste potentiel de transformation des substances chimiques grâce à leurs systèmes enzymatiques, favorise la dégradation biotique des contaminants. Cette voie de dégradation transforme les substances organiques en métabolites plus ou moins stables pour finalement aboutir à leur minéralisation complète en composés des grands cycles géochimiques. La dénitrification fait partie des processus de dégradation biotique et correspond à une réduction des nitrates en produits gazeux (oxydes d'azote et azote moléculaire). C'est un mode de respiration alternatif des bactéries en milieu anoxique qui utilisent alors l'oxygène inclus dans la molécule du nitrate comme accepteur d'électrons. Les sols peuvent aussi être le support de la dégradation abiotique, mettant en jeu des réactions chimiques qui ne sont pas catalysées par des systèmes enzymatiques mais qui modifient la composition et la structure des molécules organiques et aboutissent là aussi à la formation de métabolites. Les principales transformations abiotiques sont des réactions d'oxydo-réduction ou d'hydrolyse.

Certains des processus biochimiques en jeu seront mis en évidence au travers des résultats d'analyse en laboratoire, programmés suite à des prélèvements d'eau souterraine et superficielle. En effet, les flux vont rentrer dans les cycles biogéochimiques naturels qui ont lieu dans la zone humide : azote, phosphore, calcium, carbone, soufre. Il existe des signatures géochimiques propres à chaque situation. L'aspect fonctionnel va dépendre de ce cycle avec potentiellement des phénomènes de stockage (stockage du carbone dans les tourbières) ou au contraire des déstockages (par exemple, par minéralisation de la matière organique dans les zones humides asséchées). Les mécanismes en jeu sont complexes, et il est par conséquent difficile d'en appréhender toutes les composantes, mais une première approche du fonctionnement pourra être réalisée en comparant les résultats au cours d'une année (alternance hautes eaux basses / eaux) et en différents lieux de la zone humide (selon le réseau de suivi).

Enfin, l'étude des entrées et sorties d'eau, bien qu'elles renseignent surtout sur les flux en présence et donc sur l'état des fonctions hydriques et hydrologiques, peuvent permettre d'identifier les conditions favorables ou non à des processus de régulation des nutriments ou d'épuration.

Par exemple, la principale voie d'élimination de l'azote est biologique, par dénitrification : la transformation de l'azote en forme gazeuse N<sub>2</sub> représente ainsi une diminution nette pour le milieu aquatique puisque le nutriment rejoint l'atmosphère. Toutefois, la dénitrification nécessite des conditions anoxiques : la connaissance des flux et donc de la présence d'eau ou non en certaines périodes de l'année renseigne sur la présence de conditions favorables à ces réactions.

De même, les processus épuratoires nécessitent un temps de présence important au sein de la zone humide. Des vitesses élevées ne sont pas favorables à l'aboutissement des processus : l'étude des flux peut permettre un calcul estimatif des temps de présence de l'eau dans la zone humide et donc l'identification de la réalisation ou non des processus épuratoires.



#### Pour en savoir +

##### Biblio :

Les zones humides et la ressource en eau. Guide technique. Nanterre : Agence de l'eau Seine Normandie. Classeur. (études sur l'eau n°89).

Programme national de recherche sur les zones humide Cahier thématique Les zones humides et l'eau. Cahier technique CEN Rhône-Alpes pour la gestion de zones humides – La connaissance de l'hydrologie Guide pour la reconnaissance des zones humides du bassin Rhône Méditerranée. AE RMC Juin 2012 (<http://www.documentation.eaufrance.fr/notice/guide-pour-la-reconnaissance-des-zones-humides-du-bassin-rhone-mediterranee0>)

D. BAIZE, Ch. Ducommun. Reconnaître les sols de zones humides. Difficultés d'application des textes réglementaires. Etude et gestion des Sols, volume 21, 2014 – p 85 à 101

##### Liens utiles :

Portail national d'accès aux informations sur les zones humides <http://www.zones-humides.eaufrance.fr>