

# la Boîte à outils de suivi des zones humides

## Guide méthodologique d'utilisation des indicateurs de la Boîte à Outils RhoMéo pour le suivi des travaux de restauration

*Action 3-3, CPO Trame Bleue « espaces et continuités »*



**Rédacteur : Jérôme PORTERET, CEN Savoie**

*Avec la participation de Delphine Danancher (CEN Rhône-Alpes), Gilles Pache (CBNA), Bernard Pont (RNN Ile de la Platière), Jean-Luc Grossi (CEN Isère) et Régis Dick (CEN Savoie).*

Après des décennies d'assèchement et de destruction, les zones humides constituent aujourd'hui des milieux prioritaires pour des actions de préservation et de restauration. Espaces de transition entre les domaines terrestres et aquatiques, les zones humides, au-delà de leur forte valeur patrimoniale (naturelle et culturelle), assurent de nombreux services pour les sociétés humaines en contribuant à réguler les écoulements et épurer l'eau. Pour ces raisons, les politiques publiques ont, depuis les années 1990 avec la loi sur l'eau de 1992 et les 6<sup>ème</sup> et 7<sup>ème</sup> programmes de mesure des SDAGE (1992, 1996), développé des actions de préservation durable et favorisé l'émergence et la mise en œuvre de projet de restauration des zones humides.

La multiplication des actions soutenues par l'Agence de l'Eau dans le bassin Rhône Méditerranée, la demande croissante d'une rationalisation de l'action publique et l'obligation de résultats sur l'état de conservation favorable des masses d'eau et des milieux naturels (DCE, Habitats) ont fait émerger à la fin des années 2000 le programme RhoMéo (2009 -2014) autour de la question de l'évaluation de l'état des zones humides.

De ce programme sont nés, le 2 février 2014, 13 indicateurs pragmatiques et opérationnels<sup>1</sup>. Aujourd'hui, ils sont largement déployés dans l'ex-région Rhône-Alpes, mais également dans l'ensemble du bassin Rhône-Méditerranée, par les Conservatoires d'Espaces Naturels, les Réserves Naturelles et les collectivités gestionnaires de zones humides.

Aujourd'hui, en raison d'une maîtrise foncière de plus en plus importante, inscrite dans les objectifs du SDAGE et soutenue par l'Agence de l'eau, de nombreux projets de restauration de zones humides émergent. De plus, le Schéma Régional de Cohérence Ecologique définissant les trames vertes et bleues a pour ambition première d'enrayer la perte de biodiversité notamment par la préservation et la remise en état des sites à forte qualité écologique, riches en biodiversité (les réservoirs) et par le maintien et la restauration des espaces qui les relient (les corridors). Les zones humides sont des charnières naturelles entre milieux terrestres et aquatiques et leur restauration contribue à la fois au maintien de la biodiversité et de la connectivité, au rétablissement de leurs grandes fonctions écologiques.

A ce jour, peu de méthodes d'évaluation des effets de ces restaurations existent. Ainsi, il y a une forte demande chez les opérateurs et les financeurs pour utiliser les indicateurs de la Boite à Outils des Zones Humides à cette fin. Comme ces indicateurs sont conçus dans un objectif plus global de suivi de l'évolution de l'état des zones humides et dans un souci de rigueur scientifique, cette note propose d'analyser la faisabilité d'une telle utilisation des indicateurs et le cas échéant de préconiser les adaptations méthodologiques nécessaires.

Ce travail est soutenu par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse et la Région Auvergne-Rhône-Alpes et s'inscrit dans les actions du programme thématique Trame bleue,

---

<sup>1</sup> Boite à Outils de suivi des zones humides - 2014 – Collectif RhoMéo, Conservatoire d'Espaces Naturels de Savoie. 147 p. et annexes. Février 2014 / version 1 - <http://www.rhomeo-bao.fr/>

Espaces et Continuités ». En permettant l'amélioration et la capitalisation de connaissances et la formation des acteurs locaux sur les thématiques de l'espace cours d'eau, des zones humides et de leurs interactions ce programme offre un contexte favorable au développement d'outils d'évaluation des restaurations des zones humides.

Ce guide a donc pour objectif de définir le cadre d'utilisation des indicateurs de la Boîte à Outils, initialement conçus pour le suivi de l'évolution de l'état global des zones humides, pour un nouvel objectif de suivi des effets d'opérations de restauration des zones humides. Nous utilisons ici le terme de restauration écologique dans son sens le plus courant, pour désigner les actions de réparation des dysfonctionnements ou d'amélioration des milieux existants. Si nous n'occultons pas l'abus de langage que cette utilisation représente du point de vue de l'écologie, le terme de restauration reste celui généralement utilisé par les porteurs de projets, utilisateurs des indicateurs de la Boîte à Outils.

## Notions et concepts de la restauration.

Il convient ici de rappeler et préciser quelque peu les différentes notions de la restauration écologique (SER 2004). Nous reprenons ici les concepts largement définis et détaillés dans les ouvrages sur la restauration écologique des milieux aquatiques et plus particulièrement liés aux cours d'eau<sup>2</sup>. L'ensemble de ces définitions sont applicables aux spécificités des zones humides:

### La trajectoire écologique

L'écosystème zone humide évolue spontanément suivant différentes dynamiques qui peuvent être tendancielle, cyclique ou événementielle. Cette évolution sur le temps long qui imbrique des transformations lentes et des épisodes brutaux, peut être d'origine naturelle (climat, géomorphologie, biologie, etc.) ou anthropique : on parle de trajectoire de l'écosystème. Lorsqu'elle correspond à un fonctionnement équilibré (on parle parfois de climax), les mécanismes d'adaptation aux perturbations majeures (résilience) permettent la stabilité des conditions favorables à l'écosystème. Pour les zones humides qui n'ont pas été affectées par des perturbations majeures au cours des dernières décennies, les indicateurs de suivi de l'état de la BAOZH traduisent cette trajectoire écologique et constituent un outil de veille à moyen et long terme de la dynamique d'évolution de l'écosystème.

### Etat de référence

Définir un état ou un fonctionnement de référence qui correspondrait à un « bon état écologique » est impossible dans l'absolu. Toutefois, pour évaluer l'atteinte des objectifs de la restauration, il est indispensable de définir soit :

- un objectif d'état à atteindre. Cet état de référence peut être déterminé suivant différents critères, à partir de connaissances scientifiques générales, mais également sur la base de mesures sur des sites proches ou semblables.
- une référence d'écart, c'est-à-dire une évolution ou un progrès par rapport à la situation de l'écosystème avant restauration. C'est dans cette démarche que

---

<sup>2</sup> Voir l'ouvrage collectif : *Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques. Pourquoi ? Comment ?* – coordonné par B. CHOCAT et piloté par l'Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement, 2013

s'inscrivent les méthodes d'évaluation de l'état des zones humides de la BAOZH RhoMÉO.

## La restauration / réhabilitation

### Exemple :

Réhabilitation de l'ons du vieux Rhône par rétablissement de connexions hydrauliques et piscicoles, et amélioration locale des écoulements du fleuve (débits réservés).

Au sens strict, la restauration désigne le retour du fonctionnement de l'écosystème dans sa trajectoire originelle. Compte tenu des différents paramètres influant sur la dynamique des zones humides, il apparaît aujourd'hui souvent illusoire, voire impossible de retrouver un fonctionnement antérieur aux perturbations et par conséquent de réaliser une véritable restauration. Il conviendrait généralement mieux d'utiliser le terme de réhabilitation pour intégrer les contraintes et forçages anthropiques historiques auxquels il n'est pas possible de remédier.

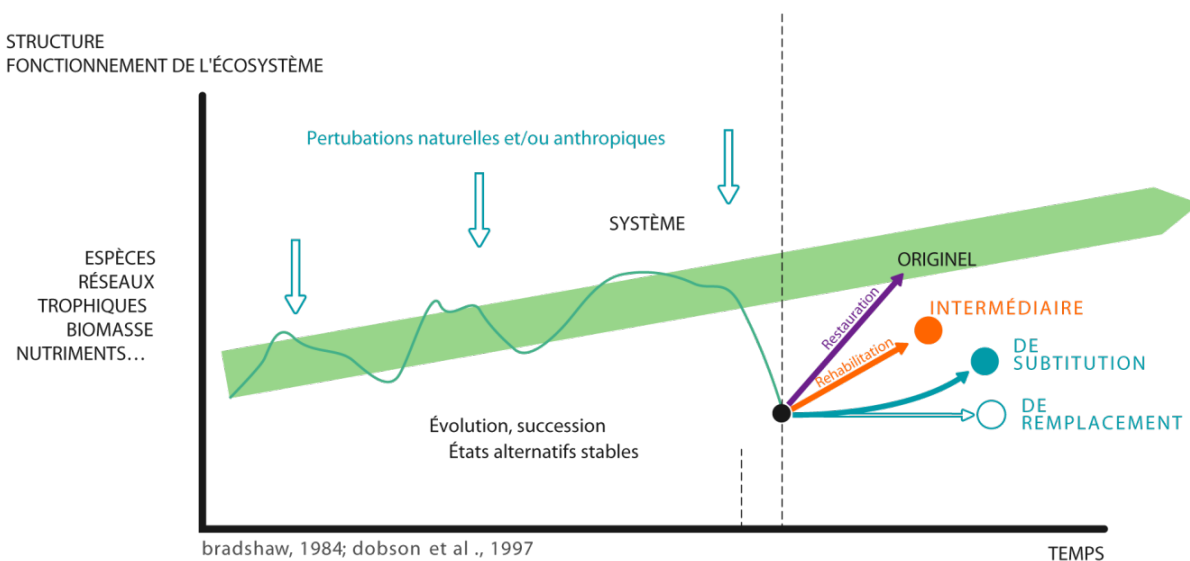
## La réaffectation / création

Lorsque les opérations ne peuvent permettre un retour au fonctionnement originel, elles contribuent à la mise en place d'un nouvel écosystème. On parle alors de réaffectation ou de création d'un nouvel écosystème. Bien que de nature différente, cet écosystème de substitution (ou de remplacement) peut avoir une valeur équivalente à l'écosystème préexistant aux perturbations.

### Exemple :

Réaménagement paysager et réaffectation en étang de pêche de milieux alluviaux (prairie et boisement) après extraction de granulat de la terrasse alluviale.

## Fonctionnement de l'écosystème en fonction du temps et des perturbations



## Les indicateurs de la BAOZH RhoMéo

Ce guide s'appuie également sur les principes, concepts et méthodes ayant permis la création de la Boîte à Outils de suivi des zones humides, publiée le 2 février 2014, fruit du travail du programme RhoMéo entre 2009 et 2014.

Elle permet le suivi de l'évolution de l'état des zones humides au travers de leurs grandes fonctions (hydrologie, biogéochimie, biologie). Par conséquent :

- l'utilisation des indicateurs suivant les préconisations de la BAO n'a pas vocation à répondre à la question spécifique du suivi de la restauration ;
- si ce n'est pas l'objet de l'évaluation, la restauration en modifiant le fonctionnement du milieu peut influencer sur la note indicatrice et la tendance d'évolution des indicateurs de la Boîte à Outils.
- les principes sur lesquels s'appuient les indicateurs et la construction de la Boîte à Outils permettent des adaptations pour répondre à des problématiques émergentes d'évaluation.

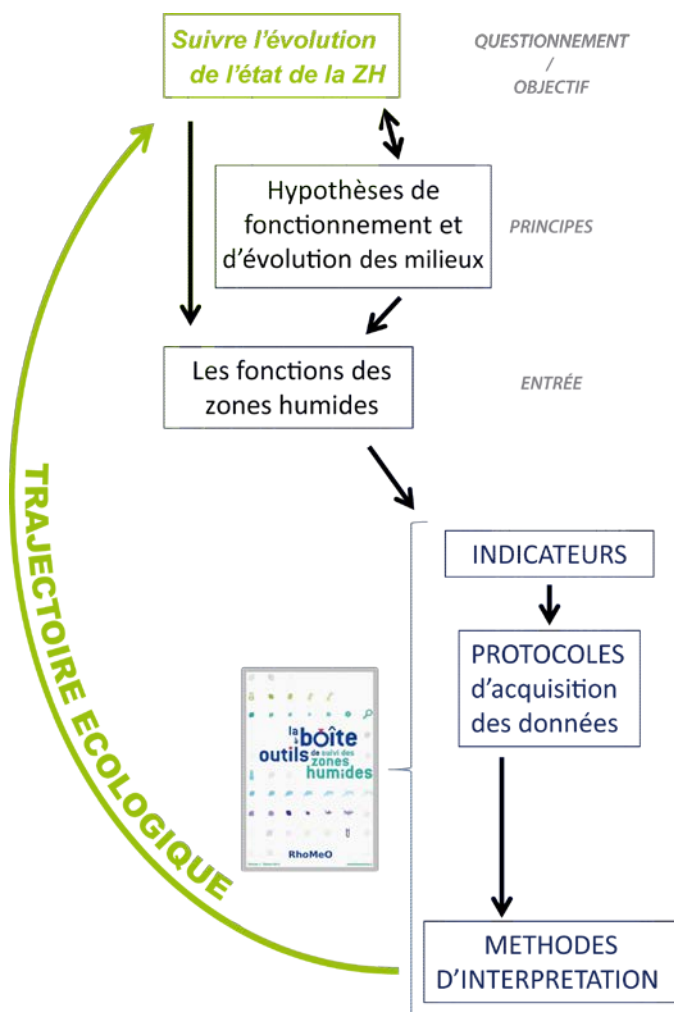


Figure 1- Principes de l'évaluation à travers la BAO RhoMéo

## INDICATEUR

## PROTOCOLE

## INTERPRETATION



### Qu'est-ce-que je mesure ?

**La fiche indicateur** : répond à la question **qu'est-ce-que je mesure avec cet indicateur ?** Les **fondements scientifiques** (quel lien entre l'indicateur et le processus ?), le domaine d'application (toutes les zones humides, ou seulement certaines) et la bibliographie correspondante sont ainsi présentés.

### Comment je le mesure ?

**La fiche protocole** : répond à la question **comment je mesure cet indicateur ?** La méthode de mise en place, le matériel et les compétences nécessaires sont présentés à l'aide d'un exemple. Cette partie est complétée par les fiches de terrain compilées en annexe 1.

### Comment je calcule et j'interprète la valeur ?

**La fiche analyse et interprétation** : répond à la question **comment je calcule la valeur de cet indicateur et j'interprète les résultats ?** Cette partie présente la méthode de calcul de l'indicateur sur la base des données brutes recueillies dans le cadre du protocole correspondant. Les clés d'interprétation de l'évolution de la valeur de l'indicateur sont également présentées ainsi que les résultats obtenus (moyennes, minimum, maximum) sur les sites tests du programme RhoMéo.

La Boîte à Outils contient 11 indicateurs d'état, 2 indicateurs de pressions déclinés en 9 protocoles d'acquisition de données ainsi que 13 fiches permettant le calcul des indicateurs et l'interprétation de leur évolution.

Elle a été construite comme un outil :

- Pragmatique et opérationnel : les indicateurs, les protocoles et les interprétations présentés ont tous été testés et validés sur le terrain par les partenaires du programme RhoMéo sur les 200 sites tests;
- Répondant à différentes questions que se posent les gestionnaires, que ce soit sur l'évolution des pressions sur la zone humide ou de ses fonctions ;
- Pouvant être utilisé par diverses structures et personnes, que ce soit sur le type de compétences maîtrisées (SIG, chimie, biologie...) ou le niveau requis (spécialistes, qualifiés, généralistes) ;
- Permettant de disposer d'une batterie d'indicateurs communs autorisant une synthèse de l'évolution des zones humides à différentes échelles (réseau de sites, bassin versant, département, région, bassin Rhône-Méditerranée)

Tableau 1 - Liste des indicateurs de la BAOZH

I01 : niveau d'humidité du sol - pédologie
I02 : indice floristique d'engorgement
I03 : dynamique hydrologique de la nappe - piézomètres
I04 : dynamique hydrologique de la nappe - substances humiques
I05 : dynamique sédimentaire - orthoptères
I06 : indice floristique de fertilité du sol
I07 : vulnérabilité à l'eutrophisation - phosphore
I08 : indice de qualité floristique
I09 : humidité du milieu - orthoptères
I10 : intégrité du peuplement d'odonates
I11 : intégrité du peuplement d'amphibiens
I12 : pression de l'artificialisation
I13 : pression de pratiques agricoles

Avec la mise à disposition de l'outil de calcul des indicateurs en 2017, l'ensemble des opérateurs dispose d'outils « clef en main » pour mettre en œuvre la démarche d'évaluation, du choix de l'indicateur au calcul de la valeur indicatrice. Pour plus d'informations, nous renvoyons le lecteur au préambule de la Boite à Outils consultable ici :

[http://rhomeo-bao.fr/sites/all/themes/corporateclean/pdf/ZH\\_Boite-outils-seule.pdf](http://rhomeo-bao.fr/sites/all/themes/corporateclean/pdf/ZH_Boite-outils-seule.pdf)

Pour étudier et proposer l'utilisation des indicateurs de la de la Boite à Outils à la restauration, les responsables des groupes de travail et rédacteurs des fiches des indicateurs ce sont réunis afin de :

- Cadrer le nouveau domaine d'application des indicateurs, c'est-à-dire le type de restauration dont on peut suivre l'impact sur l'évolution de l'état de la zone humide.
- Préciser ou adapter les protocoles d'échantillonnage nécessaires à cette évaluation des effets des opérations de restauration.
- Déterminer les indicateurs pertinents pour ce suivi compte tenu de la sensibilité des 13 indicateurs de la Boite à outils des zones humides.

L'ensemble de ces éléments sont présentés dans les pages suivantes.

## Domaine d'application des indicateurs pour l'évaluation de la restauration

Il s'agit ici de bien définir la nouvelle question pour laquelle nous pouvons proposer une utilisation des indicateurs de la Boite à Outils. En effet, les types d'opérations de restauration de milieux humides sont nombreux et variés, comme l'illustrent par exemple les 33 entrées de travaux et 10 objectifs possibles de la *Mallette d'indicateurs de travaux et de suivis en zones humides* conçue par le Forum des Marais Atlantique pour l'Agence de l'Eau Loire Bretagne et la Région des Pays de la Loire (2014).

Pour s'inscrire pleinement dans la démarche d'évaluation de la Boite à Outils, qui va du choix de l'indicateur et du protocole, jusqu'au calcul et l'interprétation de la valeur indicatrice, il n'est pas possible de s'inscrire dans les référentiels proposés par la *Mallette d'indicateurs de travaux et de suivis en zones humides*, qui propose des entrées par type de travaux et non par objectif de restauration.

Il convient donc ici de bien préciser le domaine d'application des indicateurs de la Boite à Outils dans le cadre de la restauration.

### La restauration des fonctions des zones humides

Dans notre démarche, nous faisons le choix d'évaluer l'atteinte des objectifs de la restauration. Par conséquent, l'impact des différents types de travaux n'est pas évalué pour lui-même, mais comme élément contribuant au processus plus global d'évolution de l'état de la zone humide. Dans le cadre d'un document prévisionnel de gestion (plan de gestion document d'objectifs...), ces indicateurs sont donc à mettre en lien avec les objectifs de gestion et permettront d'évaluer leur atteinte.

Afin de s'imbriquer dans le classement des indicateurs par fonctions de la Boite à Outils, les types d'objectifs de restauration sont classés en 3 catégories :

- restauration hydrologique,
- restauration physico-chimique,
- et restauration de la biodiversité.

Il apparaît, au regard des attentes des porteurs de projet et des financeurs, que c'est, prioritairement vers les objectifs de restauration hydrologique et dans une moindre mesure de la restauration physico-chimique, que doit se porter l'attention de ce guide méthodologique. Il n'en demeure pas moins que l'amélioration de la biodiversité, effet induit de restauration hydrologique ou physico-chimique, est un élément clef de validation de l'amélioration du fonctionnement de l'écosystème, c'est-à-dire l'efficacité de la restauration.

En effet, si l'exemple suivant reste caricatural, il illustre bien l'imbrication de ces différentes composantes de l'évaluation. Ainsi, l'atteinte des objectifs d'une restauration

hydrologique de zone humide, réalisée avec des apports importants d'eau de mauvaise qualité, ne peut uniquement être validée par des indicateurs sensibles à l'hydromorphie du sol, l'hygrophyllie de la végétation ou la dynamique de la nappe. Si ces derniers peuvent répondre favorablement à la restauration, le déséquilibre du fonctionnement de l'écosystème lié aux polluants (banalisation du milieu, disparition d'espèces) ne peut ici être évalué qu'en intégrant des indicateurs sensibles à la biodiversité.

➤ Focus sur les objectifs de la restauration hydrologique

La bonne définition des objectifs de la restauration hydrologique passe par une bonne compréhension et analyse des modalités de fonctionnement d'une zone humide. A ce titre, nous rappelons qu'il est, pour cela, utile d'adopter une approche systémique, la zone humide constituant un système au sein duquel entrent, circulent et sortent des flux d'eau. Cette approche systémique du bilan de l'eau est indispensable pour calibrer dans le temps et l'espace l'évolution de l'état attendue.

Il est également important de rappeler ici que les zones humides sont des objets en trois dimensions. Si les travaux de restauration sont généralement effectués pour modifier les flux de surface (ex : effacement de drain, pose de seuil, reméandrage, etc.), il convient de bien prendre en compte la composante souterraine au travers des caractéristiques d'écoulement des horizons superficiels et des relations nappe / rivière ou nappe superficielle / nappe phréatique pour envisager les effets attendus (voir : *La connaissance de l'hydrologie pour la gestion des zones humides*, Les Cahiers techniques – CEN Rhône-Alpes).

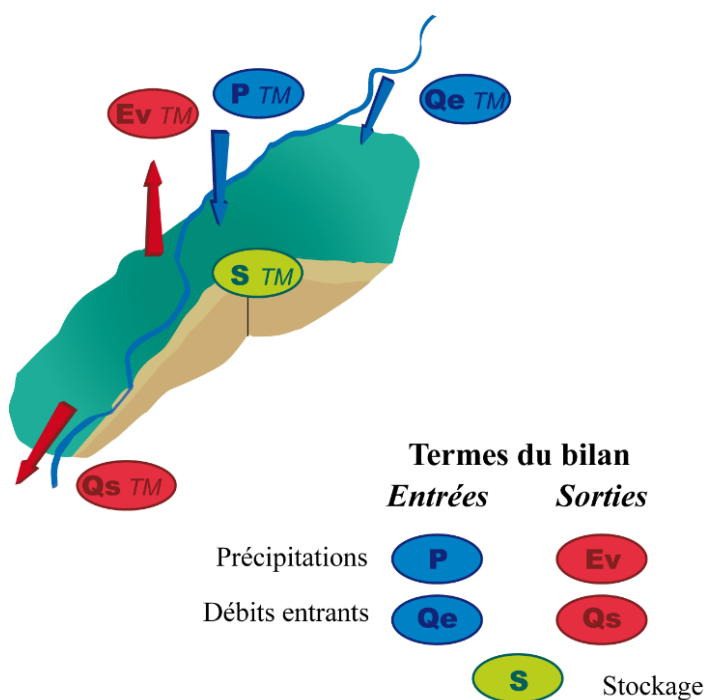


Figure 2 - Paramètres du bilan de l'eau d'une zone humide

Une autre échelle d'analyse doit également être mise en avant ici. Il s'agit de celle de l'espace de bon fonctionnement (voir : *Espace de bon fonctionnement. Élément technique pour l'identification*, Cahier technique N°2 - AERMC) dans la mesure où, si l'évaluation de l'effet de la restauration est réalisée à l'échelle de la zone humide, comme nous le détaillerons plus loin, cet EBF détermine l'évolution des apports d'eau à la zone humide par les écoulements de surface et la nappe.

On distinguera donc les objectifs suivant qui modifient :

- les volumes d'eau dans la zone humide (augmenter les débits entrants, diminuer les débits sortants ou les prélèvements, limiter l'évapotranspiration).
- la dynamique des flux d'eau dans la zone humide (ralentir les vitesses de circulation de l'eau en surface ou dans le sol, gérer les variations du niveau de saturation).

A la page suivante on trouvera un récapitulatif des actions aidées par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, détaillant les dysfonctionnements à résoudre, les fonctions auxquelles elles se rapportent et les objectifs, actions et suivis correspondants.

Tableau 1 : Grands types de situations, objectifs de restauration de zones humides et indicateurs aidés par l'Agence de l'Eau RMC

DYSFONCTIONNEMENT		Fonction	RESTAURATION		SUIVI
Constat	Causes		Objectifs	Actions	Indicateur
Assèchement	Aménagements (drains, fossés...), incision des cours d'eau, prélèvements...	Hydrologique / hydraulique	Amélioration du niveau et fréquence de saturation en eau (nappe)	Comblement de fossés, démantèlement de drainage, gestion des prélèvements et des ouvrages hydrauliques, restauration hydro-morphologique...	I01, I02, I03, I04, I09
Atterrissement	Comblement par des sédiments et/ou par la végétation		Maintien des milieux aquatiques	Etrépage, scarification, déblai, élimination de ligneux, défrichage...	I02, I03
Remblaiement	Stockage de matériaux divers		Reconstitution de la capacité de stockage de l'eau en surface	Déblayer et évacuer les remblais	I01
Accélération des écoulements	Rectification / incision		Ralentissement des écoulements et recréation de connectivité latérale	Régulation du régime hydrique, gestion des niveaux d'eau, reméandrage, mobilité latérale, espace inondable, transport solide...	I02, I03, I04, I05
Minéralisation de la matière organique	Baisse durable du régime hydrique dans le sol : assainissement et drainage, pratiques agricoles inadaptées (retournement, chaulage...)	Physico-chimique	Améliorer le stockage de la matière organique et du carbone	Favoriser la saturation en eau, neutraliser les équipements (drains, fossés), modifier les pratiques agricoles (fauche, pâturage)	I01, I06
Eutrophisation	Excès de nutriments en provenance du bassin versant		Piéger les apports	Mise en place de bandes enherbées et/ou boisées	I06, I07
Salinisation	Modification du trait de côte, apport d'eau douce insuffisant		Laisser faire ou intervenir	Pompage d'eau douce, entretien des réseaux...	
Perte d'habitats et d'espèces humides	Modification de la dynamique végétale : atterrissement, bilan hydrique déficitaire	Biologique	Diversifier les milieux, améliorer la qualité des milieux	Gestion des niveaux d'eau, conforter la gestion pastorale (pâturage, fauche)...	I08, I10, I11
Artificialisation	Modification de l'usage : plantations, retournement du sol, urbanisation, extraction de matériaux...		Renaturer, revégétaliser	Intégration aux plans d'urbanisme, rechercher des mesures compensatoires de qualité...	

## Principe de la double évaluation

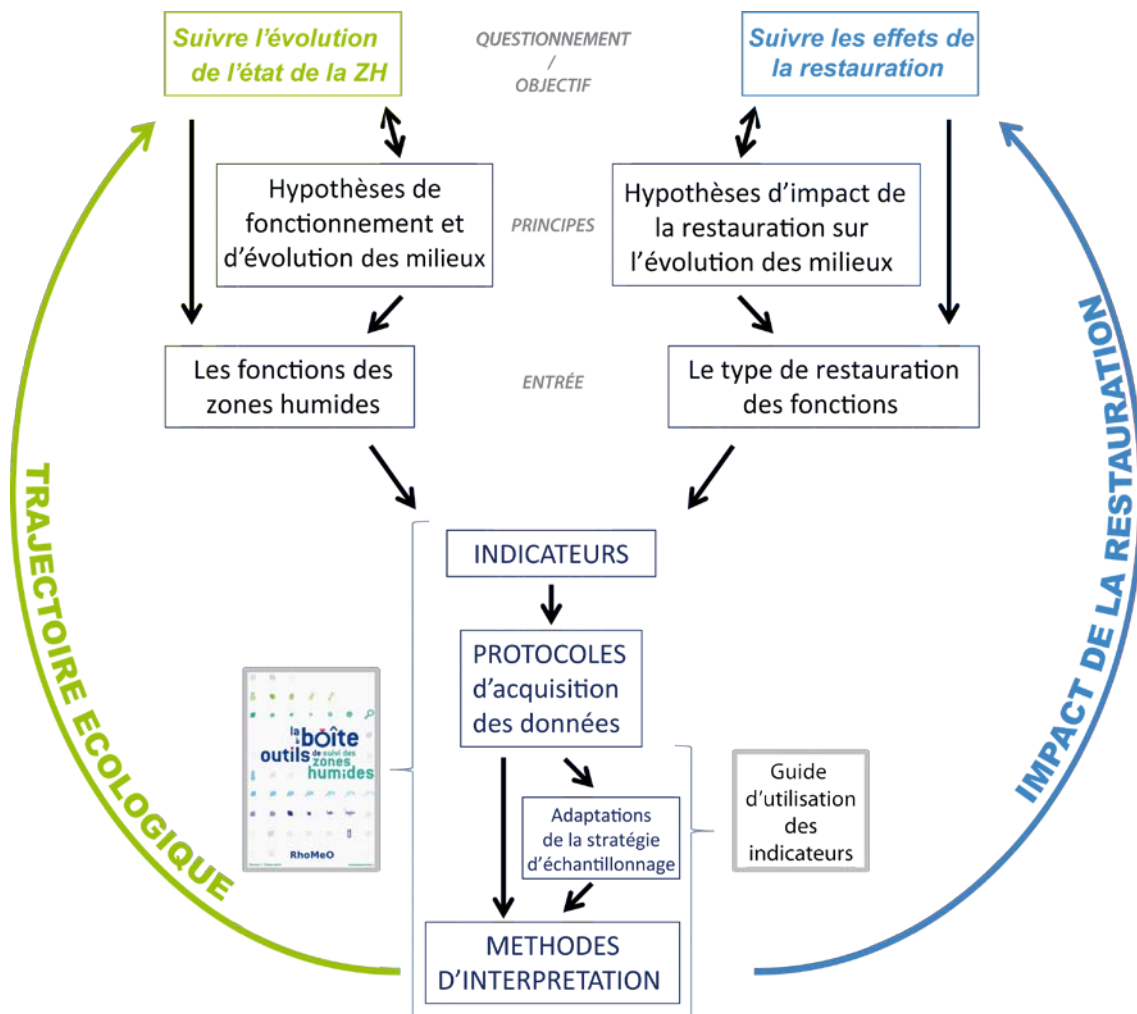
Nous l'avons vu plus avant, l'évaluation de l'efficacité des opérations de restauration implique d'articuler différentes échelles spatiales et temporelles du fonctionnement de l'écosystème zone humide.

Les indicateurs de la BAO RhoMÉO, conçus pour analyser les tendances d'évolution à moyen et long terme constituent de bons outils pour connaître et suivre la trajectoire écologique des zones humides avant et après restauration. Le déploiement de ces indicateurs par les gestionnaire depuis 2014, va permettre pour un nombre grandissant de site de bénéficier d'une évaluation de la cette trajectoire préalable aux opérations de restauration. La durée nécessaire à l'émergence de projets concertés de restauration est longue. Les retours d'expériences sur des projets d'ampleur menés par exemple dans les Conservatoires d'Espaces Naturels ou les Réserves Naturelles, montrent qu'entre des actions d'études, de maîtrise foncière ou de gestion, jusqu'à la réalisation de projets de restauration une décennie peut s'être écoulée. Ce constat ne peut qu'inciter les gestionnaires à mettre en œuvre les indicateurs de la BOA dès le début de la gestion d'un site.

Toutefois, la réalisation d'opération de restauration impose d'envisager une utilisation des indicateurs à des échelles spatiale et temporelle différentes. En effet, il n'est pas toujours possible de réaliser des projets qui permettent de restaurer l'ensemble de la zone humide. Evaluer la restauration doit dans un premier temps valider les effets des opérations à l'échelle de la partie de zone humide que l'on souhaite restaurer. C'est la zone d'impact attendue. Dans cette zone, on souhaitera une réponse plus rapide que celle des tendances décennales définies dans la BAO RhoMÉO. Ainsi, les pas de temps de suivis doivent être plus rapprochés.

Il a donc été retenu le principe d'une double évaluation pour analyser de façon complémentaire l'impact direct de la restauration sur le milieu et son effet sur le fonctionnement global de la zone humide. Nous pouvons détailler les deux niveaux d'analyse de l'effet de la restauration :

- Une évaluation à l'échelle des effets attendus des travaux ou de la gestion du point de vue de restauration du fonctionnement de la zone humide.
- Une évaluation plus qualitative des effets de cette restauration sur le fonctionnement global de l'écosystème « zone humide ».



La combinaison des évolutions des différents indicateurs de la BAO à ces deux échelles permet une analyse fine des effets hydrologiques et biologiques de la restauration. Elle permet en effet de dissocier les effets de l'opération de restauration en elle-même de la trajectoire écologique globale de la zone humide. Une opération de restauration pourrait être jugée comme n'ayant pas été efficace en raison d'une évolution défavorable de la zone humide dans son ensemble se produisant de manière concomitante.

## Adaptation des protocoles de suivi

La double évaluation repose sur l'imbrication d'un échantillonnage spécifique, défini par l'emprise de l'opération de restauration, avec l'échantillonnage du suivi de l'évolution globale de l'état de la zone humide. Ces deux niveaux d'échantillonnage possèdent leur propre échelle spatiale et temporelle de suivi.

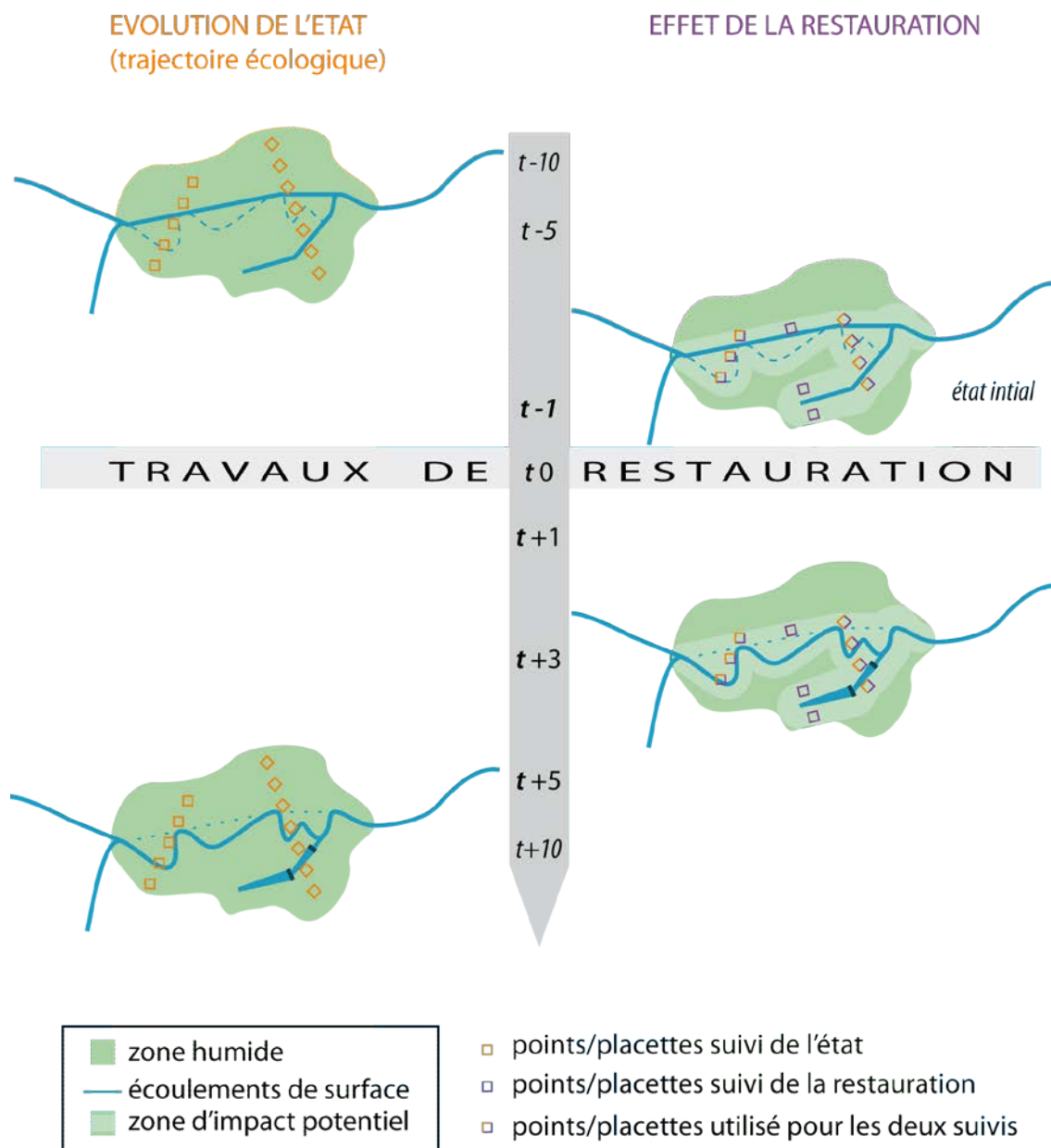
Dans un certain nombre de cas, lorsqu'un suivi de l'état de la zone humide a été mis en place avant le projet de restauration, les points de relevé des protocoles de la BAO ou l'univers d'échantillonnage du suivi de l'évolution globale de la zone humide est suffisant pour évaluation.

## L'univers d'échantillonnage

### ➤ La trajectoire écologique de la zone humide

Pour mémoire, dans le cadre du programme RhoMéo, il a été proposé d'utiliser le contour de la zone humide, délimité dans le cadre des inventaires départementaux réalisés entre 1996 et 2012 dans le bassin Rhône-Méditerranée, comme univers d'échantillonnage (zone dans laquelle les relevés de terrain sont réalisés) de l'évaluation de l'évolution de l'état de la zone humide. Toutefois, il a été précisé, compte tenu de l'hétérogénéité de la précision et de la qualité de ces délimitations, la nécessaire lecture critique de ces données par l'utilisateur et, si nécessaire, l'intérêt de redéfinir les contours de la zone humide suivie. Cet univers d'échantillonnage de la zone humide « d'inventaire » a pour objet de traduire la trajectoire écologique de l'écosystème.

Figure 3 – Exemple de l'imbrication des stratégies d'échantillonnage pour la localisation de transects de placettes / points de suivi des protocoles de la BAO RhoMéo



### ➤ La zone d'impact de la restauration

Cette zone correspond à la surface théorique sur laquelle est attendu un effet de la restauration. On parle de zone d'impact potentiel. Cette zone peut correspondre en totalité à l'emprise de la zone humide « d'inventaire » ou seulement à une partie de celle-ci. Dans le premier cas, l'ensemble des points de suivi sont communs. Seuls la fréquence de suivi doit être donc être modifiée pour permettent de faire la double évaluation. Très souvent, et c'est le cas illustré dans le figure 3, certains points de suivi de la tendance d'évolution de l'état, des protocoles de la BAO RhoMÉO, se situent dans la zone d'impact. Ils permettent donc la double évaluation, mais pour bien évaluer les effets dans cette zone d'impact, il est nécessaire de faire des points de suivi complémentaires.

La zone d'impact prend en compte l'ensemble des effets cumulés attendus de la restauration. Ainsi par exemple, la zone pour laquelle on a l'objectif de rehausser le niveau de la nappe en installant un seuil sur un fossé drainant correspond à cette zone d'impact potentiel. Cette définition de l'emprise spatiale supposée des effets de la restauration est ici essentielle à la bonne utilisation des indicateurs de la BAO. Elle nécessite une bonne connaissance de l'état de la zone humide et de son fonctionnement. Le déploiement des indicateurs doit donc s'appuyer sur une connaissance initiale fine de :

- La stratigraphie, car le type de sol (organique, minéral), et plus particulièrement ses propriétés hydrauliques, détermine le comportement de la nappe ;
- La topographie, car elle détermine la dynamique des écoulements de surface et permet de faire apparaître les différents gradients écologiques.
- Des espèces de la faune et de la flore présentes sur le site. Ces connaissances sont utiles pour analyser la représentativité des données collectées, la variation des populations étant pour certains groupes très dépendante des fluctuations interannuelles des conditions climatiques.

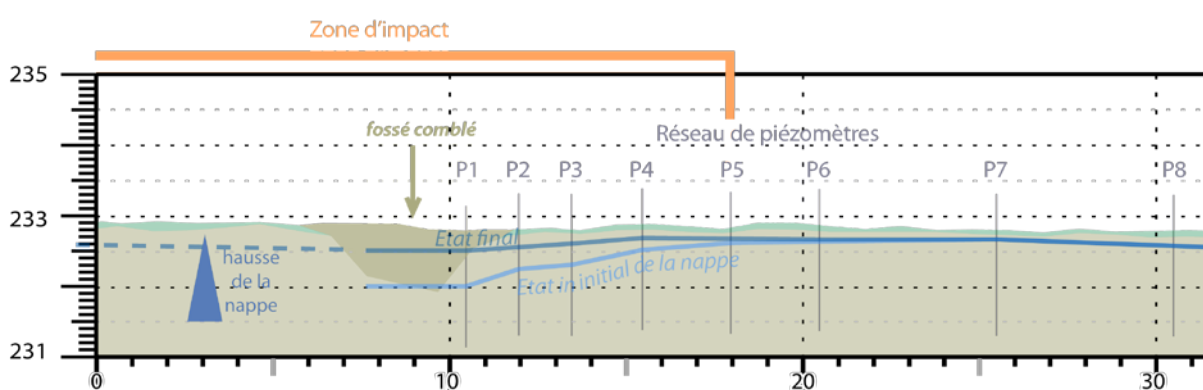
Les caractéristiques de la zone d'impact potentiel ont des implications sur la réactivité des indicateurs à la restauration, les temps de suivi et par conséquent la pertinence d'utilisation des indicateurs de la BAO.

Espace de référence pour l'évaluation de la restauration, il est nécessaire de s'assurer de la pertinence de sa délimitation. Pour cela, nous proposons ici pour les restaurations hydrologiques une méthode de validation de la zone d'impact. Cette méthode repose sur un suivi spatialisé des niveaux de la nappe. Nous préconisons l'installation d'un réseau de piézomètres pour suivre de façon ponctuelle, mais régulière, l'évolution du niveau de la nappe, de la phase de préparation avant travaux jusqu'à la fin du chantier. Cherchant à observer l'impact des travaux sur la saturation en eau en surface, les piézomètres sont peu profonds (1,5 mètres maximum) et crépinés sur la totalité de leur longueur (hors partie du tube sortant du sol et 5 premiers centimètres en surface). Pouvant être installés à la tarière manuelle du fait la faible profondeur, prévus pour un suivi limité dans le temps (enlevés après travaux), ils peuvent être fabriqués en PVC.

Le nombre et la disposition des piézomètres doit être envisagé pour observer l'évolution du gradient de profondeur de la nappe. Que la hausse du niveau de nappe attendue soit liée à la hausse du fil d'eau (pose d'un seuil, hausse du fond du lit), au ralentissement des vitesses d'écoulement (reméandrage, réduction de la pente du lit) ou à l'effacement du drainage (comblement), ce gradient peut être observé :

- dans le sens longitudinal (de l'amont vers l'aval) en fonction de la pente de la surface topographie ;
- et latéralement en fonction de l'incision du lit et de la nature du substrat (perméabilité)

Figure 4 – Exemple de dispositif de suivi et d'impact sur le niveau de la nappe du comblement d'un drain en tourbière (altitudes et distance en mètre)



### Exemple des principes de mise en œuvre de la double évaluation

En s'appuyant sur les illustrations de la figure 5 (p18), nous pouvons synthétiser l'ensemble de la démarche qui permet l'utilisation des indicateurs de la BAO RhoMéo pour le suivi de la restauration.

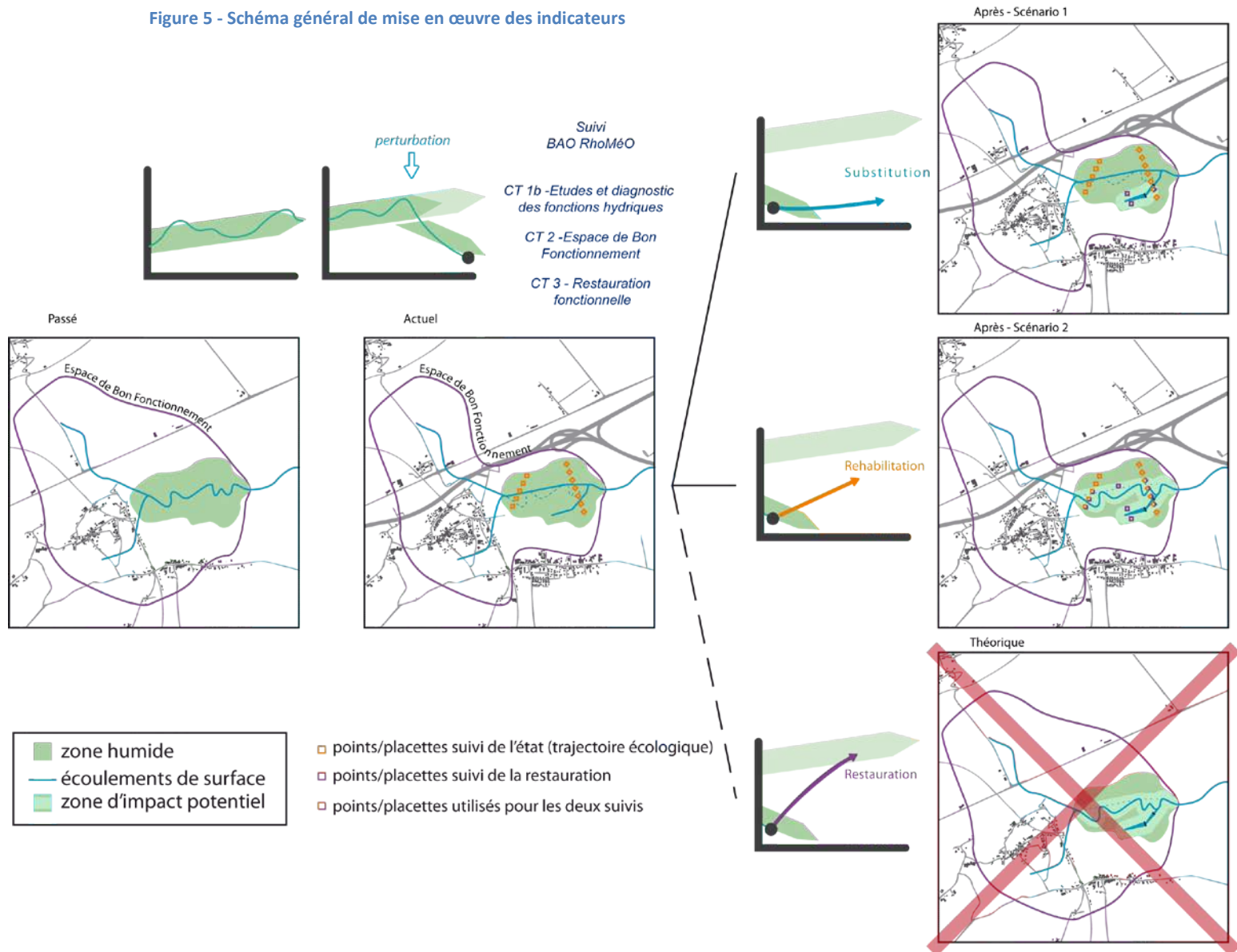
La réalisation d'opération de restauration doit s'appuyer sur des connaissances solides du fonctionnement de la zone humide, des perturbations qu'elle a subies et du contexte dans lequel elle s'inscrit. Pour cela il existe différents outils à mobiliser. Le cahier technique n°1b de la [Boîte à Outils « zones humides »](#) réalisée par l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse précise par exemple l'ensemble des éléments que l'on peut prendre en compte. Comme nous l'avons vu, la mise en œuvre des indicateurs de la BAO RhoMéo permet d'évaluer la trajectoire écologique du milieu. Deux indicateurs de cette BAO présentent ici un intérêt particulier. Il s'agit des indicateurs de pression des pratiques agricoles (I12) et d'urbanisation (I13) qui permettent d'élargir la vision du gestionnaire à la dynamique du territoire et de quantifier des évolutions, souvent constatées, mais mal évaluées. En effet, comme l'illustre la figure, au-delà des impacts directs des modifications du réseau d'écoulement dans la zone humide (création d'un fossé drainant et recalibrage/rectification du tracé du cours d'eau), le développement de l'urbanisation, en imperméabilisant les sols, en collectant et redistribuant les écoulements de surface, en prélevant dans les nappes, les sources où les rivières de l'eau, influent sur le bilan de l'eau de la zone humide.

L'ensemble de ses éléments s'inscrit pleinement dans la démarche d'identification de l'Espace de Bon Fonctionnement de la zone humide, dont la délimitation est préconisée par l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse pour la restauration et la gestion à l'échelle d'entités cohérentes englobant les éléments clés du fonctionnement de la zone humide (cahier technique n°2).

Dans notre exemple, l'ensemble de ces éléments permettent de concevoir deux scénarii de restauration conduisant à la réhabilitation du milieu ou à la mise en place d'un milieu humide de substitution. En effet, compte tenu de l'évolution du contexte du territoire, l'Espace de Bon Fonctionnement englobe la zone d'alimentation en eau la zone humide s'est réduit ne permettant pas de construire un scénario de restauration au sens strict du terme. Pour définir et choisir le scénario, il est possible de s'appuyer sur le Cahier technique n°3 traitant de la restauration fonctionnelle de la Boite à Outils « zones humides ».

Suivant le scénario retenu, il s'agit alors d'adapter la stratégie d'échantillonnage des indicateurs de la BAO RhoMéO pour mettre en place la double évaluation proposée dans ce guide pour le suivi des effets de la restauration. On constatera, ci-dessous, comment la délimitation de la zone d'impact varie dans le cas de l'atténuation de l'effet drainant d'un fossé seule (scénario de substitution) ou accompagnée d'un projet plus global de reméandrage et de rehausse du fond du lit du cours d'eau traversant la zone humide (scénario de réhabilitation). Ces choix influent également sur le besoins de points de suivi complémentaires à mettre en place avant travaux et sur le nombre de points de suivi de la trajectoire écologique (état), également utilisés pour le suivi des effets de la restauration.

Figure 5 - Schéma général de mise en œuvre des indicateurs



## Temps de réaction des indicateurs et durée du suivi

Dans une démarche de comparaison d'un état après restauration à un état antérieur dégradé (référence d'écart), il est indispensable, pour s'assurer de la fiabilité de l'analyse et de l'interprétation, de disposer d'un état initial robuste. Toutefois, à l'image des méthodes d'analyse de la BAO pour l'évaluation de l'état, nous proposons d'analyser, non pas les états du milieu dans la zone d'impact potentiel, mais les tendances d'évolution au travers des variations des valeurs indicatrices. Ainsi, les tendances d'évolution étant construites sur plusieurs campagnes de suivi, les effets de la variabilité interannuelle des différents indicateurs sont réduits. Les temps de réponse et donc de suivi pour conclure sur l'efficacité de la restauration sont bien évidemment liés à la sensibilité des différents indicateurs. Toutefois, il est proposé le cadre général suivant :

▼▲ collecte de données (terrain)

▲ analyse, interprétation

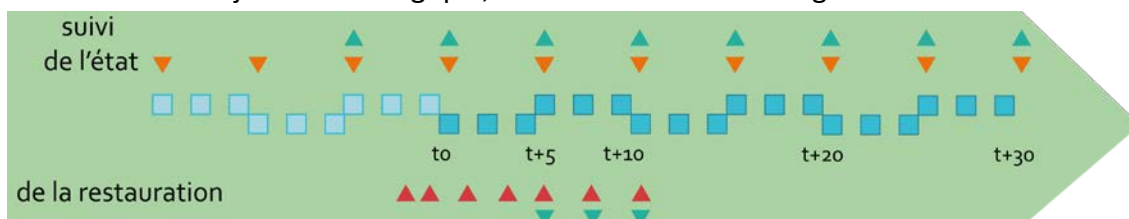
### ❖ Dans la zone d'impact potentiel :

- Une à deux campagnes avant travaux pour définir l'état initial ;
- Suivi biennal les 5 premières années pour établir la tendance d'évolution (R+1, R+3 et R+5) ;
- Poursuite du suivi jusqu'à 10 ans (T+7, T+10) pour confirmer et valider la tendance.

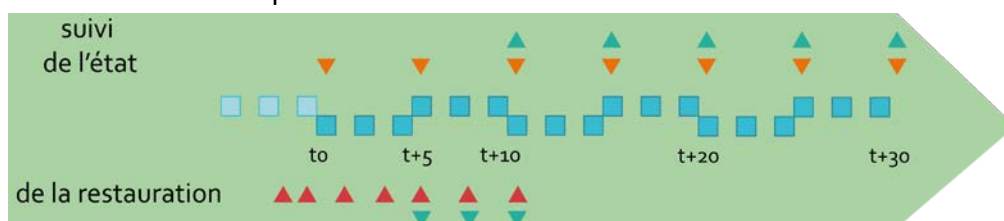
Les premières analyses sont ainsi réalisables après 5 ans, puis sont confirmées après 10 ans (échéance qui marque la fin du suivi de l'efficacité de la restauration).

### ❖ A l'échelle de la zone humide :

- Le suivi de l'état est réalisé au rythme quinquennal à l'échelle de la zone humide pour chaque indicateur selon le pas de temps recommandé dans la boîte à outils.
- Idéalement ce suivi est en place sur la zone humide et la tendance d'évolution, traduisant la trajectoire écologique, est connue et suivi à long terme.



- Si le suivi de l'évolution de l'état à l'échelle de la zone humide est mis en place en parallèle du suivi de l'effet de la restauration à l'échelle de la zone d'impact, la première tendance traduisant la trajectoire écologique du milieu en relation avec les travaux est donc réalisable après 10.



Ce cadre général peut être adapté pour chaque indicateur comme nous allons le voir maintenant.

## Préconisation spécifiques pour l'utilisation des indicateurs

L'ensemble des 13 indicateurs de la Boite à Outils a été passé en revue pour évaluer leur pertinence pour l'évaluation des effets de la restauration. Pour être pertinent, un indicateur doit :

- Réagir dans un temps prévisible (et relativement rapide) aux opérations de restauration. Certains compartiments du sol (sol tourbeux) ou de la végétation (boisements alluviaux) réagissent très lentement et ne sont donc pas pertinents pour l'évaluation à l'échelle de temps des gestionnaires et financeurs.
- Répondre aux critères d'opérationnalité (coûts / compétences) de la BAO dans le cadre de l'adaptation des protocoles pour le suivi de restauration.

Nous présentons ici dans un premier temps le cadre général d'utilisation des indicateurs, puis dans un second temps, au travers d'un cas pratique, le mode de mise en œuvre de l'indicateur dans le cadre de la restauration.

### Indicateurs non retenus

Tout d'abord, nous pouvons lister les indicateurs que ne sont pas utilisables. Il s'agit :

- des indicateurs I12 et I13 qui évaluent l'évolution des pressions sur les milieux humides à différentes échelles spatiales en mobilisant l'information géographique.
- des indicateurs I04 et I07, qui présenteraient un intérêt notamment du point de vue de la dynamique du phosphore, mais pour lesquels une expertise supplémentaire serait nécessaire, expertise qui n'a pu être mobilisée dans le cadre de la rédaction de ce guide.
- et des indicateurs I05 et I09, basés sur le relevé des orthoptères, applicables uniquement en Provence-Alpes-Côte-d'Azur en l'absence de liste de référence Rhônealpine. Si la création de cette liste est envisageable et permettrait sans doute d'utiliser ces deux indicateurs pour évaluer les effets de la restauration, elle n'est pour l'heure pas disponible.

### Indicateurs retenus

#### ➤ Faune

Sensibles à la nature des écoulements, les indicateurs liés à la faune sont adaptés à la restauration des compartiments aquatiques des zones humides. Les espèces étant généralement très mobiles, ces indicateurs sont particulièrement intéressants pour traduire à l'échelle de la zone humide, l'effet en terme de qualité des milieux et d'amélioration de la biodiversité, de travaux dans la zone d'impact qui contribuent à la diversification des habitats aquatiques. Pour ces indicateurs, l'adaptation méthodologique principale tient à l'augmentation de la fréquence des suivis.

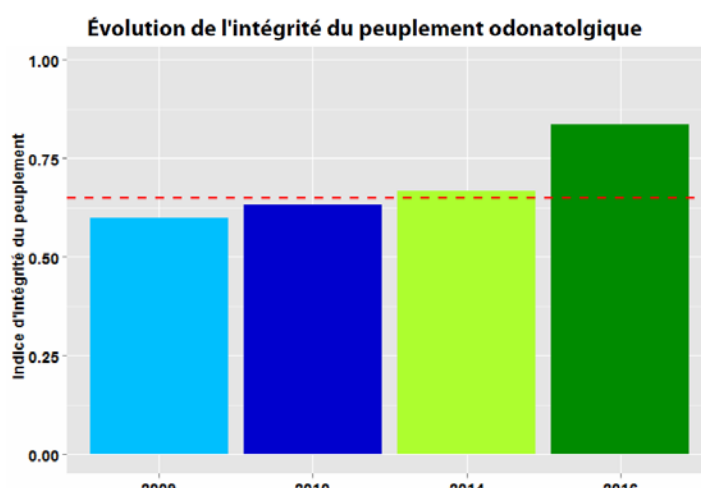
❖ Odonates (I11 – Indice d'intégrité du peuplement d'odonates)

Il constitue un indicateur de dynamique et d'impact sur la biodiversité des opérations de restauration hydrologique. Un indicateur qui répond rapidement à la création d'habitats odonatologiques favorables (aquatiques). Compte tenu de la vitesse et de l'ampleur de l'évolution attendue, qui doit être définie en fonction du type de site, du nombre d'espèces présentes et attendues, un suivi à un rythme biennal peut-être pertinent.

*La plaine alluviale riveraine du vieux Rhône de Péage de Roussillon a bénéficié d'importants travaux de restauration ces dernières années avec l'augmentation du débit réservé depuis le 1er janvier 2014 (débit minimal dans le vieux Rhône en dehors des périodes de hautes eaux et de crue) et la restauration de îles et d'annexes hydrauliques avec suppression de digues d'enrochements (10 sites à partir de 2014). La zone d'impact attendue s'étend le long d'un linéaire de 6 km du vieux Rhône. L'amélioration globale de la qualité de l'hydrosystème, dont ses zones humides, est évaluée par différentes méthodes du programme scientifique Rhonéco avec l'utilisation des indicateurs de la BAO RhoMéO.*

*Dépendant des zones humides pour leurs reproductions, les peuplements d'odonates et d'amphibiens, sont de bons indicateurs des modifications de l'environnement dont la réponse est assez rapide. Suivant le protocole préconisé par la BAO RhoMéO, les suivis sont réalisés sur des transects prédéfinis répartis sur les différentes parties en eau et amphibies du site, de manière à en échantillonner les différents milieux. La réalisation de campagnes de relevés en 2009, 2010, 2014 et 2016 permet de s'appuyer sur un état initial solide (2009 et 2010) avant les opérations de restauration (2014).*

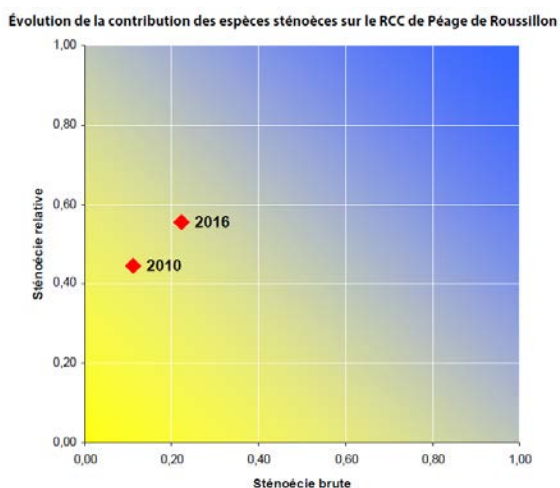
*L'analyse des résultats pour les 9 habitats odonatologiques identifiés montre que 3 habitats ont réagi de manière significative. Au-delà, depuis 2010, année de référence pour les odonates avant restaurations, l'indice d'intégrité du peuplement odonatologique de l'ensemble du site a augmenté de 20 % (apparition d'une dizaine d'espèces). Avec une valeur de 83 %, il s'agit du meilleur indice d'intégrité documenté à ce jour sur le Rhône. Ces résultats permettent donc pour l'heure de confirmer que l'augmentation du débit réservé, combinée à la restauration d'annexes hydrauliques a permis de diversifier le réseau de sites favorables et le peuplement en odonates.*



❖ Amphibiens (I11 – Indice d'intégrité du peuplement d'amphibiens)

Cet indicateur est pertinent vis à vis de la création de milieu, mais présente un domaine d'application restreint. S'il est possible de réaliser un suivi biennuel, le rythme quinquennal paraît adapté pour les amphibiens.

*Nous reprendrons ici l'exemple de la plaine alluviale riveraine du vieux Rhône de Péage de Roussillon ou l'indicateur amphibiens de la BAO RhoMéo a également été utilisé. Entre 2010 et 2016, suite aux opérations de restauration, l'indicateur a évolué positivement tant du point de la sténoécie brute que de la sténoécie relative (Joly et Morand, 1997).*

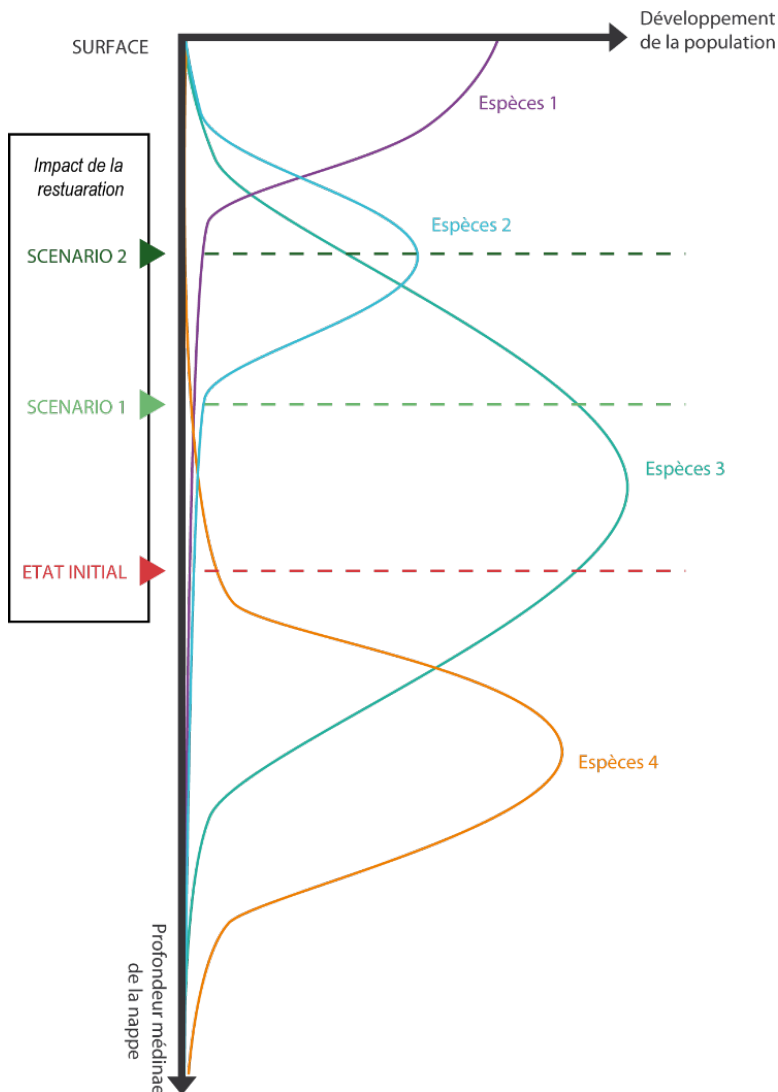


*Cette légère amélioration par rapport à l'état initial, avec apparition d'une nouvelle espèce (la Grenouille agile) et l'augmentation du nombre de sites de reproduction des crapauds communs et calamites, ne doit pas masquer un peuplement d'amphibiens de la plaine alluviale qui reste très incomplet, fragile et déséquilibré au profit de la Grenouille rieuse.*

*L'ensemble des résultats des indicateurs faunistiques utilisés traduit pour conclure, la diversification fonctionnelle du réseau d'annexes hydrauliques. Ils confirment que les communautés amphibiens et terrestres réagissent rapidement et significativement au nouveau fonctionnement initié par le régime réservé modulé. Cette adaptation n'est manifestement pas parvenue à son terme puisque les communautés végétales suivies annuellement évoluent encore entre 2015 et 2016. Leur suivi annuel paraît donc pertinent. Les deux peuplements faunistiques suivis à un rythme plus espacé enregistrent des changements significatifs, qui devront être confirmés par des campagnes supplémentaires dans les années à venir.*

- Flore (I02 – indice floristique d’engorgement, I06 – indice floristique de fertilité, I08 – indice de qualité floristique)

L’ensemble des indicateurs liés à la flore est très pertinent pour l’évaluation de la restauration. La flore nécessite une durabilité des effets de la restauration (changement de structure) et constitue avec l’indicateur I08 de qualité floristique un validateur de l’efficacité sur le plan biologique. Le temps et l’ampleur de la réponse de la végétation aux travaux de restauration doit être envisagé suivant l’état initial de dégradation de l’hydrologie de la zone humide et des habitats qui la compose.



Il est en effet à noter qu’une restauration effective de la zone humide qui se traduirait par une trop faible hausse de la position médiane de la nappe, peut être difficilement observable compte tenu de l’amplitude écologique des espèces hygrophiles. Nous pouvons illustrer notre propos à partir du graphique ci-contre. On constate ainsi que compte tenu de la valence écologique des espèces présentes (1 à 4), le scénario 1 de hausse de la nappe n’entraînerait pas de modifications suffisantes des conditions stationnelles pour que les populations des espèces présentes soient modifiées et par conséquent que l’indicateur réagisse. Pour cela il faut atteindre le niveau du scénario 2 illustré ici. La régression de l’espèce 3 au profit de l’espèce 2 bénéficiant d’un coefficient d’humidité de Landolt plus élevé peut entraîner une variation significative de l’indice d’engorgement.

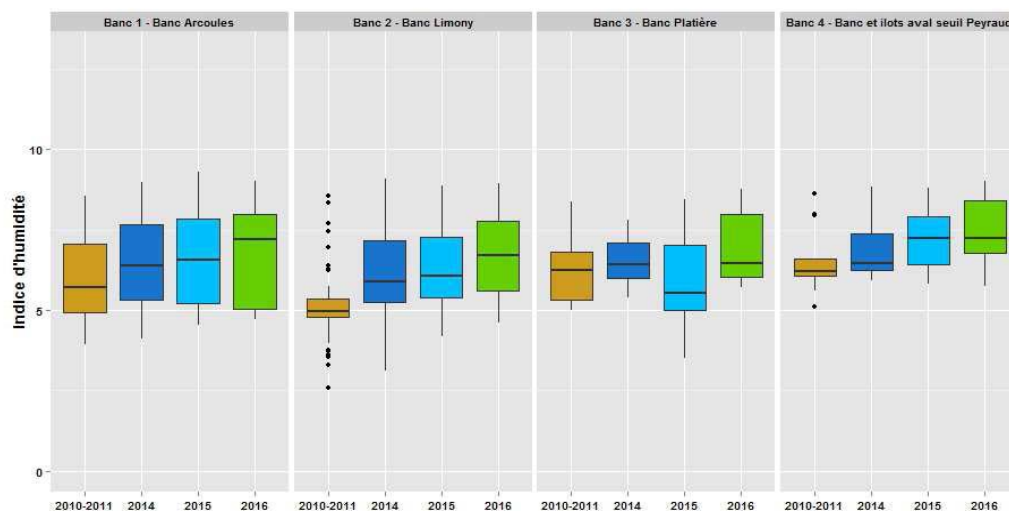
La mise en œuvre des indicateurs basés sur la flore ne nécessite qu’une adaptation mineure du protocole de collecte de données. La localisation des transects de placettes vise donc à traduire l’évolution de la zone d’impact potentielle et s’articule très facilement avec les transects de placettes utilisés pour l’évaluation de l’état global de la zone humide. Si la distance entre placettes s’en trouvera généralement réduite, les préconisations de réalisation sont identiques (taille notamment).

Les pas de temps entre campagnes de suivi proposés sont conformes au cadre général proposé page 14, biennuel les 5 premières années (R+1, R+3 et R+5) et poursuivis jusqu'à 10 ans (T+7, T+10) pour confirmer et valider la tendance.

*Nous pouvons ici illustrer la mise en œuvre des indicateurs liés au protocole « flore » au travers de différents exemples.*

*Tout d'abord, dans le cas de la plaine alluviale riveraine du vieux Rhône de Péage de Roussillon où les grèves, zone d'impact attendu de la restauration des débits réservés, ont été suivies pour calculer les indices floristiques d'engorgement (I02) et de fertilité du sol (I06). Les placettes ont été réparties pour chaque grève le long de transects du bord du fleuve au talus surplombant les grèves.*

*Les résultats peuvent être analysés à l'échelle de la zone d'impact potentiel (ensemble des grèves), mais également pour les différents bancs comme l'illustrent les graphiques ci-dessous. On observe la réaction de l'indicateur d'engorgement (humidité) aux travaux de restauration, laissant apparaître une tendance d'évolution positive du milieu. On notera également ici dans le cas du banc 3, une phase temporaire de diminution de la note d'engorgement (2015) liée aux perturbations de la flore lors de travaux de démontage d'endiguement, phénomène bien décrit en écologie de la restauration.*



*Ce constat sur la dynamique de la réponse du milieu aux travaux est important pour l'utilisation des indicateurs basés sur le relevé de la flore. En effet, lorsque les travaux nécessitent des opérations lourdes, avec remaniement du sol et/ou passage d'engins, l'ensemble du couvert végétal peut être détruit. Dans une première phase, il est alors possible d'observer une diminution de la valeur indicatrice avant que les conditions du milieu se stabilisent et que la végétation plus hygrophile ne s'exprime, entraînant une évolution positive de l'indicateur.*

### ➤ Piézométrie (I03 – Indicateur de dynamique de la nappe)

En caractérisant les dynamiques de la nappe, cet indicateur est très pertinent pour le suivi des effets de la restauration. Le suivi de l'évolution de la nappe pendant et après les travaux est un paramètre de contrôle de la bonne mise en œuvre des opérations de restauration hydraulique. Toutefois, le coût de l'instrumentation pour bien prendre en compte l'effet spatial de la restauration impose de s'interroger sur l'opérationnalité de l'indicateur.

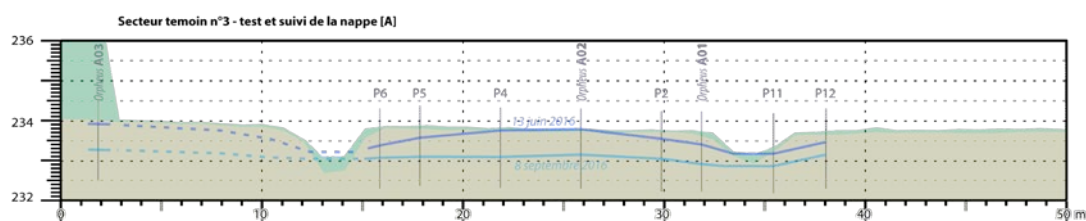
En effet, dans le cas de cet indicateur, il est nécessaire d'envisager non seulement une adaptation du protocole de collecte de données, mais également de la méthode de traitement et d'analyse de l'information. Il s'agit, au-delà de l'analyse de l'évolution temporelle de la dynamique de la nappe, sur laquelle est construit l'indicateur de la BAO, de prendre en compte les variations spatiales des effets de la restauration (zone humide, zone d'impact potentiel).

Ainsi, si l'évaluation de l'évolution de l'état était possible en instrumentant un point de mesure (piézomètre) représentatif des variations de la nappe de l'ensemble de la zone humide, l'évaluation des effets de la restauration nécessite l'instrumentation avec à minima d'un second, voire de plusieurs autres piézomètres en réseau. Ce réseau doit traduire à la fois les évolutions de la zone d'impact potentiel de la restauration et de la zone humide, si ces deux ensembles ne superposent pas. La densité de réseau de suivi doit être envisagée en fonction du type de restauration (augmentation des apports d'eau, suppression du drainage, etc.) et du type de zone humide (zone alluviale, tourbière, etc.). Il s'agit alors de comparer de façon empirique l'évolution des différentes distributions des niveaux de la nappe construites suivant la méthode d'interprétation proposée dans la BAO. En effet, à ce stade, nous ne proposons pas de méthode statistique d'analyse de ces évolutions des distributions.

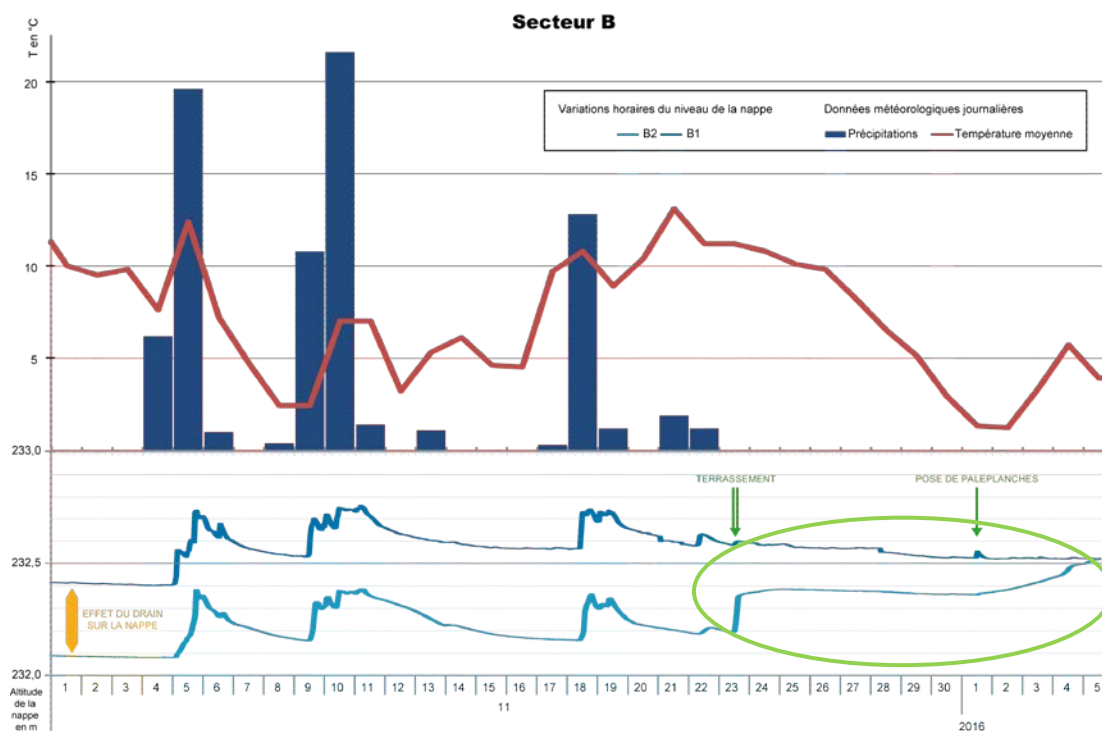
Ici se pose la question du coût du suivi d'un tel réseau, l'indicateur de la BAO nécessitant de collecter une donnée journalière, laquelle est possible en équipant les piézomètres de sonde automatique. Il est possible pour permettre l'évaluation des effets de la restauration de combiner au sein du réseau de piézomètres des relevés journaliers automatiques et des relevés manuels ponctuels. En effet, si dans la majeure partie des cas, comme cela a été montré dans le cadre du programme RhoMÉO, mais également dans différents travaux scientifiques (PORTERET 2008), il est possible d'établir que les niveaux de la nappe fluctuent aux différents points du réseau de manière identiques, il est possible à partir des données ponctuelles de reconstruire un jeu de données journalier pour calculer l'indicateur pour des piézomètres non équipés de sonde automatique.

Pour cela, il est nécessaire dans la phase d'état initial d'établir le niveau de corrélation des variations de la nappe des différents piézomètres du réseau. L'ensemble des précautions utiles à l'analyse de données en statistique doivent être prises pour s'assurer de la validité des valeurs calculées. Si ces pré-requis sont remplis, il est alors possible d'analyser l'évolution de la distribution des niveaux de la nappe de l'ensemble des piézomètres d'un réseau relevés automatiquement et manuellement.

Bien instrumentée, la tourbière alcaline de plaine, appelée marais de Chautagne, permet d'illustrer notre propos sur la stratégie de localisation des piézomètres et la réaction de la nappe aux travaux de restauration. Dans ce type de zone humide où, malgré les effets du drainage et la diminution des fréquences de submersion par les crues du Rhône (aménagement CNR), la nappe ne s'abaisse que très rarement en dessous du premier des six à sept mètres de sol tourbeux, l'effet latéral des fossés drainant est relativement limité compte tenu des propriétés hydrauliques du sol (porosité, perméabilité).



### TEST D'EFFACEMENT DE L'EFFET DRAINANT DES FOSSÉS



Le comblement ou l'obturation de fossé dans ce type de milieu se traduit relativement rapidement, en quelques heures, par le réajustement du niveau de la nappe. L'effet de la restauration se traduit, en termes de valeurs indicatrices, par une diminution de l'écart relatif entre les distributions des niveaux de la nappe mesuré par le ou les piézomètres situés dans la zone d'impact et celui situé hors zone d'impact pour le suivi de l'état de la zone humide.

Si cela est déjà envisagé dans les fiches « analyses et interprétation » de la BAO, il apparaît ici que la collecte de variables de contrôle climatiques ou hydrologiques est indispensable au processus d'évaluation parce que l'analyse de la réponse attendue du milieu doit être réalisée dans un temps beaucoup plus court que l'évaluation de l'évolution globale du milieu. Pour cela la mobilisation des valeurs de normale climatique ou hydrologique est un bon outil pour contextualiser la situation climatique et hydrologique pendant et après restauration.

➤ Pédologie (I01- indicateur d'hydromorphie du sol)

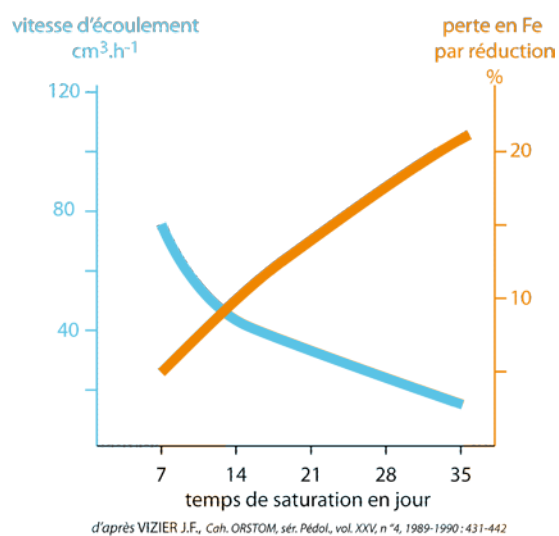
L'utilisation de cet indicateur ne peut être envisagée sans une connaissance préalable du type de sol en place, car ce dernier détermine la vitesse de réaction du milieu à la restauration et par conséquent le pas de temps de suivi à mettre en place.

Ainsi dans les sols minéraux on pourra attendre une réaction rapide des traces d'hydromorphie (taches d'oxydation et réduction du fer) suite à la restauration.

A contrario, dans les sols à composante organique, l'impact de la restauration sur l'arrêt de la dégradation de la matière organique ou la remise en place d'un processus d'accumulation de tourbe ne peut raisonnablement pas être évalué par l'indicateur. En effet, un sol tourbeux minéralisé l'est irrémédiablement et sa réhydratation ne permettra pas d'améliorer sa

note d'hydromorphie. Pour qu'elle évolue positivement, il faudra attendre que le processus de formation de la tourbe, par non dégradation de la matière organique, se remette en place, grâce à la saturation en eau du sol, processus qui prend plusieurs centaines, voire milliers d'années, pour former des épaisseurs significatives.

Ainsi, on ne retiendra ici que l'utilisation de l'indicateur pour les zones humides sur substrat minéral. Comme pour l'indicateur de dynamique de la nappe (I03), il faut envisager ici, pour l'utilisation dans le cadre de la restauration, d'adapter la méthode de calcul de l'indicateur. En effet, au-delà des changements de type d'hydromorphie, pertinents à l'échelle de la zone humide pour traduire les tendances à moyen et long terme, les opérations de restauration peuvent produire des évolutions plus fines des profondeurs des différents horizons hydromorphes. Pour bien les traduire, plus rapidement, nous proposons donc ici une nouvelle méthode de calcul de la valeur indicatrice qui intègre la variation de l'épaisseur des horizons.



La valeur d'hydromorphie du sol au point de relevé est calculée de la manière suivante :

soit :

les horizons :  $hz_1, hz_2, \dots, hz_x$

la valeur d'hydromorphie de chaque horizon :  $V_{hz}$

les profondeurs minimales et maximales de chaque horizon :  $P_{hz}^{\min}$  et  $P_{hz}^{\max}$

alors :

$$Hy = \text{note d'hydromorphie du point de relevé} = \sum_{i=hz_1}^{hz_x} \frac{P_{hz}^{\max} - P_{hz}^{\min}}{\max p_{\text{Point de Relevé}}} \times V_{hz}$$

Il faut noter ici que la valeur indicatrice, plus sensible à la variation de la limite de la saturation en eau permanente et temporaire, l'est également au biais d'observation et de notation de la profondeur des limites d'horizon. Une vigilance particulière doit donc être portée à cette observation dans l'application du protocole pour le suivi des effets de la restauration.

*Comme l'ont montré les travaux sur la dynamique du fer dans les sols hydromorphes, l'évolution des conditions de saturation en eau et d'anoxie qui en découle (absence d'oxygène) entraînent des transformations rapides du potentiel d'oxydo-réduction (Vizier J.F. – 1986, 1990, 1991, MUNCH, J.C. - 2010).*

*Pour cette raison, l'utilisation du protocole de description du sol pour le calcul de l'indicateur I01 d'hydromorphie peut traduire rapidement l'effet d'une restauration hydrologique qui conduit à augmenter le niveau de saturation en eau des sols minéraux. La valeur calculée dans le cadre du suivi de l'évolution de l'état de la zone humide (trajectoire écologique) évolue significativement si le type d'hydromorphie évolue (passage de l'oxydation à la réduction ou inversement), notamment à proximité de la surface (25 premiers centimètres), comme l'illustre l'exemple ci-dessous.*

ETAT INITIAL						ETAT RESTAURÉ						Scénario 1						ETAT RESTAURÉ						Scénario 2					
Hz	P min	L	Gr	Go	Note Hy	Hz	P sup	L	Gr	Go	Note Hy	Hz	P min	L	Gr	Go	Note Hy	Hz	P min	L	Gr	Go	Note Hy	Hz	P min	L	Gr	Go	Note Hy
1	0	1	0	0	2	1	0	1	0	0	2	1	0	1	0	0	2	1	0	1	0	0	2	1	0	1	0	0	2
2	3	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0
3	32	0	0	1	1	3	27	0	0	1	1	3	15	0	0	1	1	3	15	0	0	1	2	3	15	0	0	1	2
4	45	0	2	0	2	4	45	0	2	0	2	4	45	0	2	0	2	4	45	0	2	0	2	4	45	0	2	0	2
Note du point de relevé					1,25	Note du point de relevé					1,25	Note du point de relevé					1,50												

*Avec : L – litière, Gr – horizon réduit et Go – horizon avec traces d'oxydation*

*On notera ici qu'une évolution de la limite supérieure de l'horizon oxydé en dessous des 25 premiers centimètres ne se traduirait pas par une évolution de la note.*

Avec la nouvelle méthode de calcul, on obtiendrait les résultats suivants :

ETAT INITIAL						ETAT RESTAURÉ						Scénario 1						ETAT RESTAURÉ						Scénario 2											
Hz	P min	L	Gr	Go	Note Hy	Hz	P min	L	Gr	Go	Note Hy	Hz	P min	L	Gr	Go	Note Hy	Hz	P min	L	Gr	Go	Note Hy												
1	0	1	0	0	0,1	1	0	1	0	0	0,1	1	0	1	0	0	0,1	1	0	1	0	0	0,1												
2	3	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0												
3	32	0	0	1	0,22	3	27	0	0	1	0,3	3	15	0	0	1	1	3	15	0	0	1	1												
4	45	0	2	0	0,5	4	45	0	2	0	0,5	4	45	0	2	0	0,5	4	45	0	2	0	0,5												
<b>Note du point de relevé</b>						<b>0,82</b>						<b>Note du point de relevé</b>						<b>0,9</b>						<b>Note du point de relevé</b>						<b>1,60</b>					

Avec : L – litière, Gr – horizon réduit et Go – horizon avec traces d'oxydation

Ainsi même de faibles variations des niveaux sont perceptibles, comme l'illustre l'évolution entre l'état initial et le scénario 1.

## Tableau de synthèse

<b>la question du gestionnaire</b>	quelle est la trajectoire écologique du site que je gère? Comment évolue-t-il ?	La restauration hydraulique que j'ai mise en œuvre a-t-elle été efficace? Ai-je atteint mon objectif de restauration?
<b>la méthode d'évaluation (la variable d'intérêt)</b>	les grandes fonctions des zones humides: hydrologique, biodiversité, physico-chimique	
<b>Indicateurs</b>	13 indicateurs :	7 indicateurs :
	I01 : niveau d'humidité du sol - pédologie	I01 : niveau d'humidité du sol - pédologie
	I02 : indice floristique d'engorgement	I02 : indice floristique d'engorgement
	I03 : dynamique hydrologique de la nappe - piézomètres	I03 : dynamique hydrologique de la nappe - piézomètres
	I04 : dynamique hydrologique de la nappe - substances humiques	
	I05 : dynamique sédimentaire - orthoptères	
	I06 : indice floristique de fertilité du sol	I06 : indice floristique de fertilité du sol
	I07 : vulnérabilité à l'eutrophisation - phosphore	
	I08 : indice de qualité floristique	I08 : indice de qualité floristique
	I09 : humidité du milieu - orthoptères	
	I10 : intégrité du peuplement d'odonates	I10 : intégrité du peuplement d'odonates
	I11 : intégrité du peuplement d'amphibiens	I11 : intégrité du peuplement d'amphibiens
	I12 : pression de l'artificialisation	
I13 : pression de pratiques agricoles		
<b>protocoles</b>	ceux décrit dans la BAO	ceux décrits dans la BAO avec: 1) application sur un autre univers d'échantillonnage (zone d'impact potentiel) 2) une autre pression d'échantillonnage (fréquence des passages et nombre de points de relevés)
<b>interprétation</b>	analyse des tendances d'évolution entre deux indicateurs calculés	analyse de la tendance d'évolution entre l'état initial et des états post travaux.
<b>domaine d'application</b>	suivi de l'état des zones humides, évaluation de l'impact d'une restauration sur la ZH dans son ensemble, mise en contexte de l'effet d'une restauration	Evaluation de l'effet de la restauration

## Références utiles

- *L'abcdaire sur l'écologie de la restauration de la SER internationale*, traduit par C. Fontaine et J. Aronson (CEFE/CNRS, Montpellier) - *The SER International Primer on Ecological Restoration*, 2004. Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. [www.ser.org](http://www.ser.org)
- *Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques. Pourquoi ? Comment ?* – coordonné par B. CHOCAT et piloté par l'Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement, 2013 - ONEMA
- *Réponse des communautés amphibiennes et terrestres à l'augmentation du débit réservé sur le vieux Rhône de Péage de Roussillon*, 2016 – B. Pont, A. Labroche et Y Prat-Mairet, RN de l'île de la Platière