



**RÉSEAU SUR
LA RESTAURATION
DES ZONES
HUMIDES** DE BRETAGNE

1.6

MÉTHODOLOGIE DE PROJET

ÉVALUER UNE
OPÉRATION DE
RESTAURATION
DE ZONE HUMIDE



**ÉVALUER UNE
OPÉRATION DE
RESTAURATION DE
ZONE HUMIDE**

1.6

01	Pourquoi évaluer les opérations de restauration de zones humides ?	4
02	Comment évaluer une opération de restauration de zones humides ?	5
	■ Principes de l'évaluation	5
	■ À quelle(s) référence(s) comparer ses indicateurs ?	8
	• Choisir l'écosystème de référence	8
	• Obtenir des valeurs de référence	9
	■ Prise en compte de la variabilité interannuelle	10
	■ Sur quelle durée réaliser les suivis ?	11
03	Quels indicateurs choisir ?	12
	■ Des indicateurs dépendants des objectifs du projet et des moyens disponibles	13
	• Le suivi photographique, un minimum	13
	• S'assurer que le site redevienne une zone humide	14
	• Choisir un ensemble cohérent d'indicateurs	16
04	Rendre compte de l'évolution du site: exemple de la roue de rétablissement écologique	17

01

POURQUOI ÉVALUER LES OPÉRATIONS DE RESTAURATION DE ZONES HUMIDES ?

Pour le porteur de projet, l'évaluation permet de **mesurer la bonne atteinte des objectifs** du projet de restauration de la zone humide et, au besoin, d'**apporter des mesures correctives** ou, dans certains cas, de revoir les objectifs. Elle permet également de **rendre compte de l'efficacité des actions** menées auprès des élus, financeurs, riverains...

De façon plus générale, l'évaluation des projets est indispensable dans l'objectif d'**améliorer les connaissances sur la restauration des zones humides**, qui est un type d'action encore émergent et sur lequel il existe relativement peu de retours scientifiques et techniques. La mise en place du suivi des opérations permet de mieux appréhender les contextes favorables à la restauration et les techniques qui fonc-

tionnent et d'affiner les itinéraires techniques pour de futurs travaux. Elle permet également de vérifier l'efficacité de différents types d'actions de restauration pour rétablir les fonctions des zones humides.

Mettre en place un socle commun d'indicateurs de suivi permet, par ailleurs, de comparer des opérations réalisées par différents maîtres d'ouvrage dans des contextes différents et ainsi de déterminer des scénarios d'évolution du milieu en fonction du contexte des projets. Ces connaissances permettront, à terme, de mieux prévoir le devenir des zones humides qui seront restaurées et serviront d'aide à la décision.



Suivis piézométriques d'une zone humide © FMA

02

COMMENT ÉVALUER UNE OPÉRATION DE RESTAURATION DE ZONES HUMIDES ?

Principes de l'évaluation

Selon les principes de l'écologie de la restauration, la restauration d'un écosystème est totalement aboutie si tant la **structure de l'écosystème** (c'est-à-dire la composition spécifique des communautés végétales et animales et leur organisation spatiale) que **ses différentes fonctions** (hydrologiques, biologiques et biogéochimiques) sont rétablies.

Deux paramètres complémentaires peuvent être évalués pour juger du succès d'une opération de restauration :

- Le **gain écologique par rapport à une situation initiale dégradée**, en comparant la valeur d'indicateurs évalués avant et après travaux sur la zone humide à restaurer. L'évaluation consistera à s'assurer que la valeur de l'indicateur après travaux s'amé-

liore par rapport à l'état altéré de la zone humide ;

- La **conformité à un état de référence cible**, en comparant la valeur des indicateurs dans le milieu restauré à des valeurs de référence établies pour un ou des écosystèmes en bon état de conservation et fonctionnels. L'évaluation consistera dans ce cas à vérifier que la valeur mesurée tend vers les valeurs de référence de l'indicateur.

L'évaluation d'une opération de restauration se fait par ailleurs toujours au regard des objectifs fixés, qui dictent le choix des indicateurs de suivi. Les fonctions à évaluer en priorité sont celles dont le rétablissement est nécessaire à la bonne atteinte des objectifs du projet.

Qu'est-ce qu'un indicateur de suivi ?

L'indicateur de suivi vise à renseigner sur l'état d'un écosystème par rapport à un objectif fixé. Un indicateur peut être composé d'un ou plusieurs descripteurs, qui sont des paramètres simples qualifiables ou quantifiables décrivant une composante, un processus ou une fonction de l'écosystème sans présager de son fonctionnement global.

Par exemple, un indicateur « pourcentage de similarité de la végétation » sera basé sur les descripteurs obtenus par le biais des relevés floristiques tels que le pourcentage de recouvrement des espèces présentes ou la présence/absence des espèces.

Un descripteur peut servir d'indicateur si sa valeur suffit à elle seule à fournir l'information recherchée.

Chaque composante de l'écosystème (structure et fonctions) peut avoir une réponse très différente dans le temps à la suite de travaux de restauration et évoluer de façon indépendante des autres (Figure 1). Il est donc conseillé de suivre des indicateurs évaluant plusieurs de ces composantes.

Ainsi, les experts de la restauration¹ conseillent, idéalement, d'utiliser des indicateurs rendant compte de :

- La **diversité spécifique du site**, en se basant de préférence sur des groupes appartenant à différents niveaux trophiques ;

- La **structure de la végétation**, dont la restauration est considérée comme un préalable au rétablissement des processus fonctionnels (décomposition de la matière organique, production de biomasse...) et à la colonisation par la faune ;

- Les **processus biogéochimiques**, garants du maintien d'un système fonctionnel dans le temps.

Dans le cas spécifique des zones humides, une condition nécessaire, mais non suffisante, à la restauration est le retour à une hydrologie favorable au développement de l'écosystème et à son maintien dans le temps. Il conviendra donc d'inclure dans l'évaluation au moins un indicateur relatif au **fonctionnement hydrologique** du site.

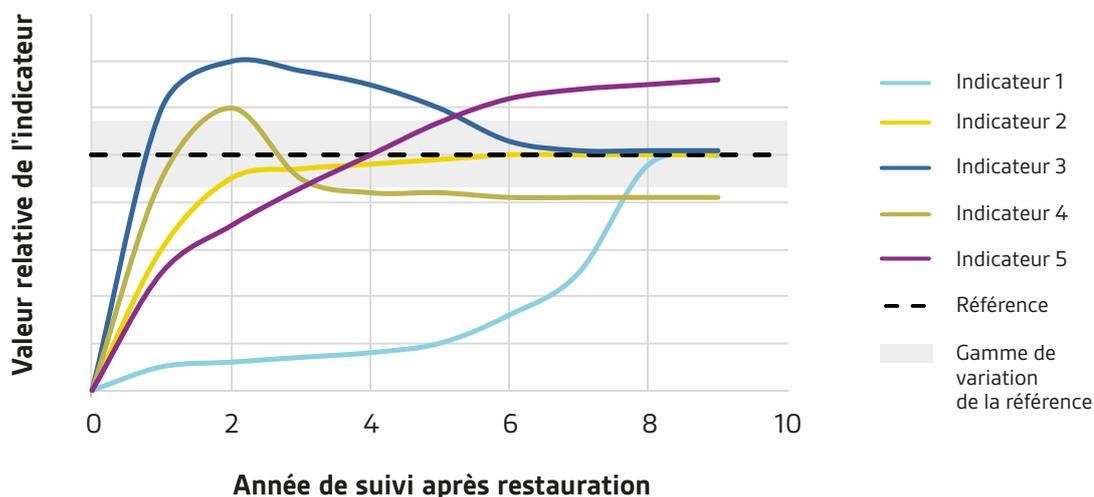


Figure 1 - Réponses théoriques des fonctions écologiques ou d'indicateurs de fonctions de zones humides. La partie grisée correspond à la variabilité inter-sites et dans le temps des valeurs issues de sites références (Inspiré de Kolka et al., 2000²).

Dans la pratique

Il est intéressant de pouvoir évaluer à la fois le gain fonctionnel lié à la restauration par rapport à l'état initial et la conformité du milieu à l'état de référence ciblée. Dans les faits, cela n'est cependant pas toujours possible :

- Si la zone humide est trop dégradée, notamment lorsqu'elle a été remblayée ou artificialisée, la plupart des fonctions de la zone humide ne s'expriment plus. Dans ce cas, il est parfois impossible de mettre en place certains suivis avant travaux, notamment des niveaux de nappe.
- S'il n'est pas possible de trouver une zone humide de référence à proximité du site restauré ou des ré-

férences dans la littérature pour un indicateur particulier. Dans ce cas, l'état avant travaux est le seul point de comparaison possible.

Par ailleurs, pour des questions financières ou de temps, cette double comparaison n'est pas forcément possible. Dans ce cas, le choix de l'une ou l'autre dépend du contexte du site.

Si seule l'hydrologie du milieu a été altérée, comme par exemple par un système de drainage, l'état initial devient indispensable. En effet, si la végétation en place est naturelle ou semi-naturelle (prairies, tourbières, etc.) et n'est pas perturbée pendant les travaux, la réponse du milieu peut être lente à s'expri-

1. Ruiz-Jaen, M.C. & Mitchell Aide, T., 2005. Restoration Success: How Is It Being Measured? *Restoration Ecology*, 13, 569–577

2. Kolka, R., Nelson, E. & Trettin, C., 2000. Conceptual assessment framework for forested wetland restoration: the Pen Branch experience. *Ecological Engineering*, 15, S17–S21.

ÉVALUER UNE OPÉRATION DE RESTAURATION DE ZONE HUMIDE

mer après restauration. Pour peu que les conditions météorologiques soient particulières dans les années qui suivent les travaux, l'interprétation des dynamiques (ou leur absence) devient encore plus difficile à réaliser si on ne connaît pas le fonctionnement hydrologique avant travaux. L'état initial permet alors de mettre en évidence l'importance de l'altération du fonctionnement hydrologique et, en particulier, de savoir si le drainage en place était effectif ou non. Si, au contraire, le site drainé est occupé par une culture agricole ou sylvicole, la modification de la végétation après travaux peut tout autant être liée à la restauration de la végétation qu'à la suppression de drainage. Sans état initial, il est très difficile de distinguer les deux effets.

Enfin, sur des sites qui ont subi une altération importante et qui nécessitent de gros remaniements du terrain (friches industrielles, remblais, etc.), les travaux détruisent totalement l'état initial pour redémarrer une nouvelle dynamique sans lien avec celui-ci. L'analyse de l'état initial du site peut dans ce cas être limitée à une cartographie des altérations. Il peut en aller de même pour certains étangs en contexte très anthropisé (étangs ornementaux bordés de pelouses par exemple). En revanche, si l'étang présente une queue d'étang ou des zones de marnage avec une végétation spontanée, il sera important de réaliser un état initial car ce type de milieu peut abriter des espèces patrimoniales.



Transect et piézomètres combinés pour le suivi conjoint de la flore et des niveaux de la nappe © Vincent Colasse, CBNB

Pourquoi faire un état initial avant travaux si on compare avec une référence ?

- Connaître l'état du site et le niveau de ses différentes fonctions dans son état dégradé afin d'évaluer la plus-value de la restauration.
- Permettre de fixer certains objectifs des travaux par rapport aux propriétés du site, notamment le niveau de nappe, certaines espèces à retrouver, le type de végétation à cibler, etc.
- Déterminer les éventuels dossiers réglementaires à réaliser, notamment ceux liés à la présence d'espèces protégées.

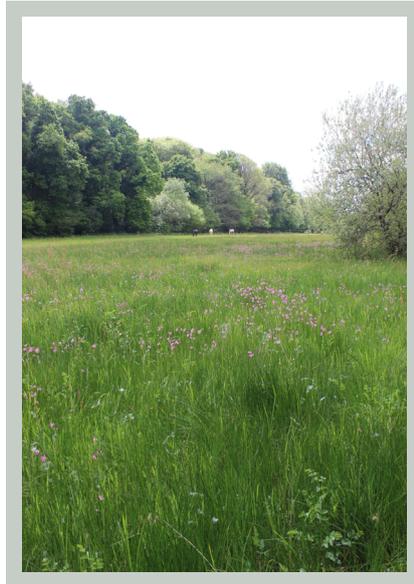
Remarque : La mise en place de protocoles de suivi à des emplacements fixes avant et après travaux, peut se faire même si le site fait l'objet d'un grand remaniement. Il suffit pour cela de pointer leur localisation au GPS et de refaire les suivis aux mêmes endroits post-travaux. Les suivis piézométriques ne font pas exception. Un piézomètre peut être mis en place pour un suivi hydrologique avant travaux, supprimé le temps des travaux, puis remis en place à la fin des travaux. Dans ce cas précis, un relevé topographique est nécessaire en plus du géoréférencement afin de pouvoir interpréter correctement les suivis.

À quelle(s) référence(s) comparer ses indicateurs ?

Choisir l'écosystème de référence

Selon les Standards internationaux de la SER, 2019 :

« **Un site de référence** est un site intact (témoin) existant qui présente des attributs et une phase de succession semblables au site du projet de restauration et qui est utilisé pour établir le modèle de référence. Idéalement, le modèle de référence comprendrait des informations provenant de plusieurs sites de référence.



Un site en bon état de conservation, correspondant à l'écosystème ciblé, sert de référence © FMA

Un **écosystème (modèle) de référence** est la représentation d'un écosystème indigène qui est la cible de la restauration écologique. Un écosystème de référence représente généralement une version non-dégradée de l'écosystème avec sa flore, sa faune ainsi que d'autres éléments biotiques et abiotiques, des fonctions, des processus et des états de succession qui auraient pu exister sur le site de restauration s'il n'y avait pas eu de dégradation, et ajusté pour tenir compte des conditions environnementales modifiées ou prédites. »

L'écosystème de référence peut être défini sur la base de **l'historique du site**, c'est-à-dire le type de milieu qui l'occupait avant son altération. Cet historique peut être déterminé en étudiant des photographies aériennes anciennes, des photographies ou cartes postales anciennes, le cadastre napoléonien ou en interrogeant des anciens qui habitent à proximité du site.

En l'absence d'historique connu, les écosystèmes présents aux alentours, dans le même contexte hydrogéomorphologique, peuvent donner une indication de l'évolution possible du site après restauration (**potentiel du site**).

Enfin, des sources bibliographiques peuvent apporter des éléments d'information, notamment des relevés naturalistes anciens pouvant être recueillis auprès d'associations naturalistes ou de conservatoires botaniques.



Points d'attention

La référence choisie doit être en accord avec l'évolution du contexte global. Les écosystèmes sont par exemple soumis à des pressions azotées nettement plus fortes qu'il y a 50 ans et, dans de nombreux cas, il devient illusoire ou très complexe et coûteux de revenir vers des milieux oligotrophes. Par ailleurs, certaines espèces telle que l'orme ont

disparu de nos paysages à cause de maladies et il n'est pas possible de revenir vers des milieux qui seraient dominés par ces essences. Enfin, il est également important de prendre en compte le changement climatique afin d'anticiper l'éventuelle nécessité d'adaptation du milieu.



Évolution du paysage entre 1950 et 2006 d'une zone humide altérée (Source : IGN remonter le temps)

Obtenir des valeurs de référence

La valeur de référence d'un indicateur correspond à sa valeur attendue dans un écosystème en bon état fonctionnel. Ces valeurs de référence peuvent être obtenues à partir de différentes sources comme par exemple :

- **La littérature.** Selon les indicateurs suivis, différentes sources peuvent être mobilisées, telles que des relevés présentés dans des articles scientifiques, les relevés des conservatoires botaniques ou des associations naturalistes, les fiches ZNIEFF ou Natura 2000...

L'utilisation des données de la littérature est limitée par la grande variabilité inter-sites observée en zone humide pour de nombreux paramètres. Ainsi, il est toujours délicat de comparer des sites dont on ne sait pas s'ils se situent dans les mêmes conditions hydrogéomorphologiques et pédoclimatiques.

- **La mesure des mêmes indicateurs dans un ou des sites en bon état de conservation** (sites références) correspondant à l'écosystème ciblé par la restauration^{3,4}.

Remarque

Il est préférable, quand cela est possible, de relever les mêmes indicateurs **dans plusieurs sites de référence** afin d'intégrer la variabilité inter-site. En effet, la comparaison avec un seul site en bon état de conservation permet de montrer un résultat positif si l'indicateur tend vers la même valeur dans les deux sites, mais si elle diffère, il est difficile de savoir s'il s'agit d'un échec de la restauration ou si cela est lié à la variabilité inter-site.

3. Short, F.T., Burdick, D.M., Short, C. A, Davis, R.C. & Morgan, P. A., 2000. Developing success criteria for restored eelgrass, salt marsh and mud flat habitats. *Ecological Engineering*, 15, 239–252

4. Kolka, R., Nelson, E. & Trettin, C., 2000. Conceptual assessment framework for forested wetland restoration: the Pen Branch experience. *Ecological Engineering*, 15, S17–S21.

Prise en compte de la variabilité interannuelle

Dans un écosystème en bon état de conservation et hors événement perturbant, les fonctions et donc les indicateurs qui les évaluent sont relativement stables, bien que sujets à des petites fluctuations dans le temps et dans l'espace. Certains paramètres du milieu peuvent cependant être soumis à des variations interannuelles très marquées, notamment en réponse aux variations météorologiques (par exemple, les effectifs de certains groupes faunistiques) et ne font pas de bons indicateurs. En effet, pour être pertinent, un indicateur devrait présenter une faible variabilité interannuelle, intra-site et inter-sites. Les valeurs extrêmes d'un indicateur ne devraient, dans l'idéal, pas excéder sa valeur moyenne $\pm 20\%$ ³. Dans les faits, en zone humide, cette condition est rarement respectée du fait de la forte variabilité intrinsèque à ces milieux, en particulier pour les indicateurs relatifs aux fonctions hydrologiques et biogéochimiques.

Deux méthodes permettent d'intégrer la variabilité interannuelle :

- Réaliser un **état initial sur un minimum de 3 ans avant travaux**. La variation interannuelle est intégrée en réalisant une moyenne des données obtenues avant travaux sur les trois années. Cette méthode est dans les faits difficile à appliquer du fait des contraintes temporelles de mise en œuvre des travaux. Elle peut être envisagée sur des sites dont

le maître d'ouvrage à la maîtrise foncière et où il n'y a pas d'urgence à réaliser les travaux.

- Associer au suivi du site de restauration le **suivi d'un site de référence** en bon état de conservation, qui doit présenter les mêmes conditions hydrogéomorphologiques et doit être composé du ou des écosystèmes ciblés par le projet de restauration (Figure 2). Enfin, il doit se situer de préférence à proximité du site restauré pour s'assurer qu'il est soumis aux mêmes contraintes abiotiques. Les mêmes indicateurs sont suivis simultanément sur les deux sites. Cette option permet de différencier les variations liées à l'évolution induite par les travaux, des variations de la valeur de l'indicateur dues à la variabilité interannuelle. En effet, si on observe les mêmes variations dans les deux sites alors qu'un seul a subi une perturbation liée aux travaux de restauration, il est probable qu'elles soient liées à un événement météorologique plutôt qu'aux travaux.

Dans tous les cas, afin de limiter les biais liés à la variabilité des conditions météorologiques, il faut s'assurer, d'une année sur l'autre, de réaliser les relevés non pas à date fixe, mais aux mêmes périodes clés du cycle de l'écosystème, qui sont dépendantes de ces conditions : **même période phénologique** pour la végétation et la faune, **même stade de l'hydropériode** pour les fonctions dépendantes de l'hydrologie, notamment celles liées aux processus biogéochimiques.

Courbe hypothétique d'évolution de l'indicateur suivi

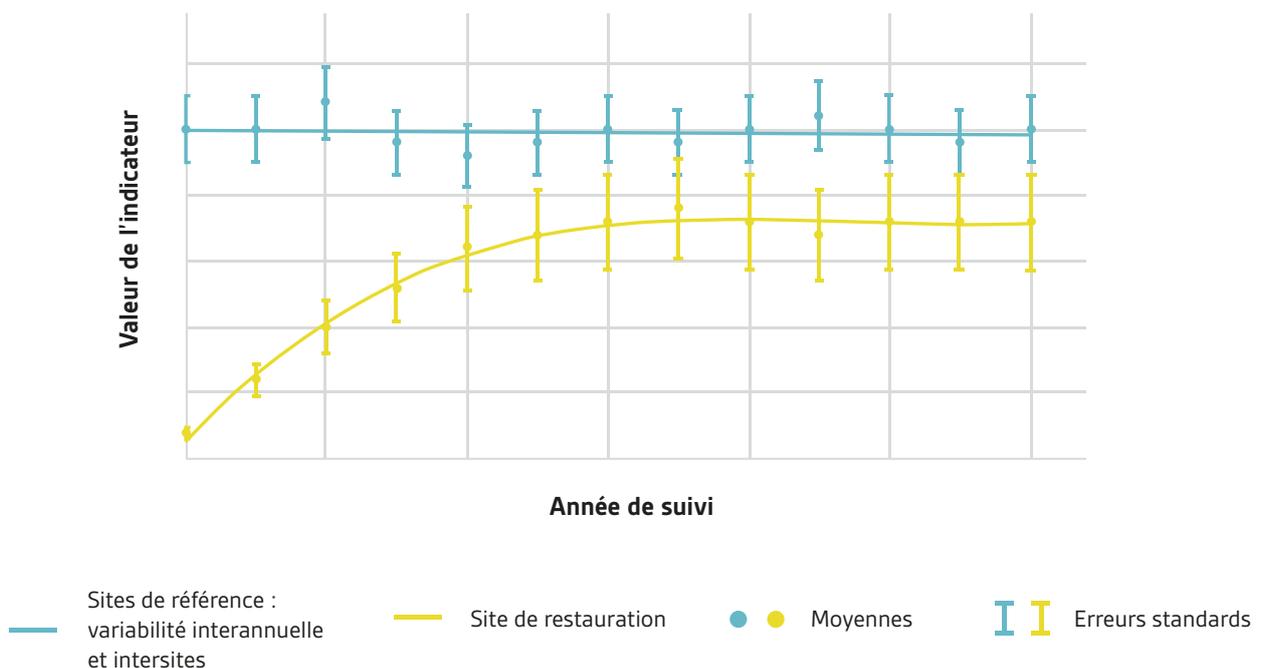


Figure 2 - Exemple théorique de l'évolution dans le temps des valeurs d'un indicateur en comparaison à une référence

Sur quelle durée réaliser les suivis ?

La durée du suivi est à considérer avec attention. En effet, il est rare que la réponse d'un indicateur soit linéaire dans le temps et on peut donc difficilement extrapoler à long terme une réponse obtenue pour un suivi réalisé sur un temps court (1 à 3 ans par exemple).

Certains paramètres de l'écosystème peuvent évoluer très rapidement, comme l'hydropériode qui peut répondre instantanément à une opération de restauration, par exemple par comblement de drains. Sur un milieu dynamique, la végétation peut se stabiliser en 3 à 5 ans. D'autres indicateurs prendront beaucoup plus de temps pour se stabiliser, et notamment certains processus biogéochimiques ou encore la structure du sol (profil pédologique) dont l'évolution peut se faire sur plusieurs décennies, voire plusieurs siècles.

Le plus souvent, suite à l'opération de restauration, l'évolution des indicateurs est très rapide puis tend à se stabiliser dans le temps. Ainsi, il est conseillé de réaliser des suivis annuels pendant quelques années suite aux travaux (par exemple 3 ans) puis de les espacer à mesure que les variations s'atténuent. Des suivis espacés dans le temps (tous les 5 à 10 ans) permettront de vérifier la stabilisation des indicateurs et de s'assurer de la pérennité de la restauration.

Les premières années de suivi sont primordiales pour repérer d'éventuelles dérives dans la trajectoire de l'écosystème par rapport à l'objectif fixé qui nécessiteraient la **mise en place de mesures correctives**. Ces mesures correctives seront moins perturbantes si le milieu n'est pas encore stabilisé. Par ailleurs, il est toujours plus aisé d'obtenir des financements complémentaires pour ces mesures correctives et de faire revenir une entreprise sur site peu de temps après la mise en œuvre des travaux plutôt que plusieurs années après. Il est d'ailleurs conseillé d'anticiper le recours possible à des mesures correctives lors du montage du projet.

Cependant, si les moyens pouvant être alloués aux suivis sont limités, il est préférable d'espacer les suivis dans les premières années (faire un état post-travaux à t+3 uniquement) mais de poursuivre les suivis jusqu'à la stabilisation du milieu, qui se traduit par une stabilisation des indicateurs.

Seule l'**utilisation combinée de différents indicateurs et l'analyse de leur évolution sur un temps suffisamment long** permettra de s'assurer d'une restauration fonctionnelle réussie.

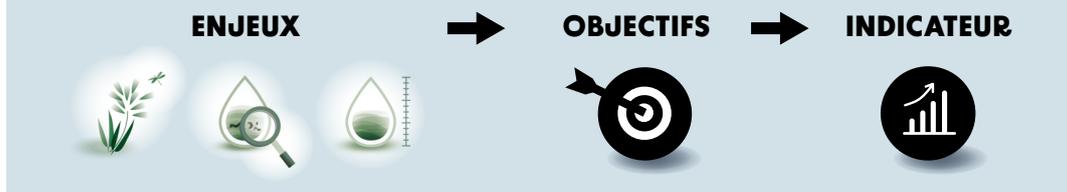


03

QUELS INDICATEURS CHOISIR ?

Les questions à se poser

- Quels sont les enjeux et les objectifs du projet ?
- Comment évaluer l'atteinte des objectifs du projet ?
- Doit-on évaluer un potentiel ou mesurer les fonctions ?
- Quel indicateur permet cette mesure ou cette évaluation ?



Un ensemble de fiches présentant différents indicateurs pour chaque grande fonction des zones humides est proposé dans les **Carnets de protocoles et d'indicateurs de suivis** correspondant à ceux développés et/ou testés dans le cadre du Réseau sur la restauration des zones humides de Bretagne. Pour chaque indicateur, les protocoles nécessaires pour les mesurer ou les calculer sont décrits.

Dans l'objectif de mutualiser les informations sur la restauration des zones humides, il est intéressant de disposer d'une base commune d'indicateurs sur différents projets. Chacun peut néanmoins, en complément, définir ses propres indicateurs en fonction des besoins spécifiques de son projet.

Par ailleurs, d'autres ouvrages ou méthodes permettent de choisir des indicateurs de suivi et peuvent être utilisés en premier lieu ou en complément, selon les objectifs de l'évaluation. On peut citer notamment la démarche nationale **MhéO**, et son adaptation au bassin Loire-Bretagne **Ligéro**,

qui permet d'obtenir une base d'indicateurs de suivi commune à l'ensemble du bassin et est notamment préconisée pour le suivi des opérations en lien avec les contrats territoriaux milieux aquatiques. Ces indicateurs doivent également permettre une remontée de données au niveau national à l'OFB via les bases de données dédiées (voir encart). Certains des indicateurs proposés dans ce guide sont équivalents à ceux de ce dispositif. Ils ont parfois été adaptés pour des sites de plus petite taille, correspondant à la situation des sites de restauration de zones humides rencontrées en Bretagne. Il est également proposé, sur la base des protocoles communs à MhéO, des indicateurs complémentaires permettant d'approfondir l'analyse du fonctionnement de l'écosystème. Un recensement d'indicateurs est également proposé dans la **Malette d'indicateurs de travaux et de suivis en zone humide**, rédigée par le FMA et adaptée au contexte spécifique des marais atlantiques ou des marais endigués.

La remontée des données au niveau national est possible par l'intermédiaire de bases de données dédiées

- **ADES** pour les données piézométriques
- **DONESOL** pour les données pédologiques
- **INPN** pour les données faunes

Les données mobilisées pour calculer les indicateurs MhéO via les calettes sont automatiquement versées dans ces bases de données. **En savoir plus sur les protocoles d'échange.**

Des indicateurs dépendants des objectifs du projet et des moyens disponibles

Dans les faits, le nombre d'indicateurs pouvant être suivis sur un site est limité par les moyens financiers et le temps disponible des porteurs de projets. Il est donc important de bien les choisir pour qu'ils permettent effectivement de mesurer l'efficacité des actions menées au regard des objectifs du projet. Il sera plus pertinent par exemple, sur un site où l'un des objectifs est de participer à l'amélioration de la qualité de l'eau du bassin versant, de suivre en priorité l'évolution de la qualité de l'eau ou d'évaluer le niveau de trophie sur la base des espèces végétales présentes plutôt que d'y recenser la diversité faunistique. A l'inverse, des inventaires floristiques et de différents groupes faunistiques seront pertinents si la reconquête de la biodiversité est l'objectif principal.

Il convient néanmoins de garder en tête qu'une restauration réussie doit permettre à l'écosystème de retrouver l'ensemble de ces fonctions (et sa structure), et non pas uniquement celles qui répondent à l'enjeu premier du porteur du projet. Il peut donc être intéressant de suivre des indicateurs complémentaires pour s'en assurer.

Si les suivis sont anticipés au moment du montage du projet de restauration et des demandes de financements inhérentes, il est en général possible d'obtenir un minimum de financements pour mettre en place ces suivis et les poursuivre dans le temps.

Le suivi photographique, un minimum

Tout site de restauration devrait faire l'objet d'un minimum de suivi afin de s'assurer que la dynamique de l'écosystème correspond, au moins dans les grandes lignes, aux objectifs fixés. Un moyen très simple et peu onéreux de suivre l'évolution d'un site dans le temps est le suivi photographique. En effet, sur cette base, tout technicien ayant un minimum de connaissance des milieux naturels sera en mesure de vérifier que la trajectoire est plus ou moins conforme aux attentes.

Par ailleurs, le suivi photographique est extrêmement pédagogique et intéressant pour présenter les opérations de restauration auprès de publics non spécialistes.

Quelques recommandations doivent être suivies pour réaliser un suivi photographique qui soit exploitable :

- Choisir un certain nombre de points de vue représentatifs du site,
- Réaliser les photos depuis ces points, en respectant le même angle de vue d'une fois sur l'autre,
- Réaliser les photos à pas de temps réguliers aux mêmes moments phénologiques (par exemple, tous les ans au moment de la floraison des annuelles de prairies),
- Éviter de prendre les photos en contre-jour (soleil en face de soi), ce qui nécessite de passer sur le site au bon moment de la journée.

S'assurer que le site redevienne une zone humide

Lorsque les moyens dédiés aux suivis sont très limités, la priorité devra être de vérifier que le site évolue bien vers une zone humide suite aux travaux de restauration. Le choix du suivi devra s'orienter en priorité sur la végétation, un des critères permettant de caractériser une zone humide. Les traces d'hydromorphie pouvant mettre du temps à apparaître, l'étude du sol à travers les critères pédologiques n'est pas pertinente à l'issue des travaux de restauration. Dans certains cas, l'étude de l'hydropériode pourra venir en substitut par le biais d'un suivi piézométrique.

La végétation

La végétation est utilisée pour caractériser une zone humide car elle est intégratrice des conditions du milieu. Les espèces végétales ne s'implantant que dans des conditions particulières, elles peuvent être indicatrices de certaines caractéristiques du milieu et notamment du degré d'hydromorphie du

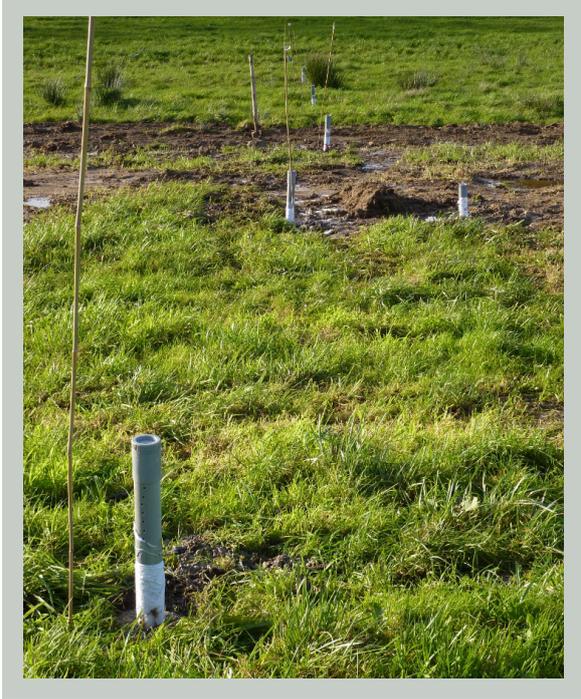
sol. Elles peuvent également donner des indications sur d'autres paramètres édaphiques comme le niveau trophique, le pH... Par ailleurs, l'apparition de certains types de végétaux permet de mettre en évidence certains dysfonctionnements tels que le surpiétinement ou le surpâturage et donnent des indications sur le mode de gestion. Enfin, le type de végétation en place peut renseigner sur la présence de conditions favorables ou non à l'installation de différents groupes faunistiques. Ainsi, sur la base de relevés floristiques, il est possible de s'assurer d'avoir retrouvé une zone humide, mais aussi de calculer différents indicateurs relatifs tant à la végétation qu'à d'autres composantes du milieu.

Voir **carnet de protocoles et d'indicateurs de suivis "Suivis floristiques"**.



Transect de végétation © Vincent Colasse, CBNB

ÉVALUER UNE OPÉRATION DE RESTAURATION DE ZONE HUMIDE



Transect de piézomètres © FMA

L'hydropériode

L'hydropériode correspond à l'évolution dans le temps du niveau de la nappe d'eau souterraine. Pour être considéré comme zone humide, un site doit voir son sol saturé en eau à moins de 50 cm de profondeur une partie de l'année. Dans le cas où l'altération de la zone humide porte sur son fonctionnement hydrologique, notamment via la déviation des sources d'alimentation ou le drainage, un suivi piézométrique est très utile pour s'assurer rapidement - et notamment sans devoir attendre la stabilisation de la végétation après travaux de restauration - que les conditions hydrologiques propices au développement d'une zone humide ont bien été retrouvées. Cette condition est en effet un préalable à la restauration de toutes les fonctions de la zone humide.

Voir [carnet de protocoles et d'indicateurs de suivis "Suivis hydrologiques et biogéochimiques"](#) (à venir).

La faune

Si les objectifs du projet sont axés sur la reconquête de la biodiversité en général ou sur la préservation d'une espèce en particulier, des suivis faunistiques peuvent être associés à ceux de la flore. La diversité des peuplements faunistiques en termes de groupes fonctionnels peut par ailleurs informer sur la stabilisation du milieu suite aux travaux.

Voir [carnet de protocoles et d'indicateurs de suivis "Suivis floristiques"](#).



Choisir un ensemble cohérent d'indicateurs

La grille suivante donne un aperçu de quelques groupes d'indicateurs pouvant être utilisés en fonction des enjeux principaux des porteurs de projets et des objectifs du projet de restauration en termes de gain de fonctions de la zone humide.

Pour choisir plus spécifiquement les indicateurs individuels pertinents, il convient de se référer aux

arbres décisionnels inclus dans les carnets de protocoles et d'indicateurs de suivis correspondants.

Dans la mesure du possible, le choix des indicateurs doit également conserver la logique d'évaluation de l'intégrité structurelle et fonctionnelle de la zone humide.

Enjeu lié au projet	Fonctions associées	Ce que l'on veut montrer	Carnets d'indicateurs de suivi
Régulation qualitative de l'eau	Régulation du nitrate	Présence ou absence d'un abattement de nitrate dans la zone humide	Suivis biogéochimiques
		La présence de conditions favorables à la dénitrification	
Régulation du phosphore	Présence ou absence d'export d'orthophosphate depuis la zone humide		
Atténuation du changement climatique	Stockage de carbone	Stock de carbone du sol	
		Présence de conditions favorables au stockage de carbone	
Régulation quantitative de l'eau	Stockage d'eau dans le sol	Sol saturé d'eau à faible profondeur une partie de l'année	Suivis hydrologiques
		Capacité du sol à retenir l'eau	
	Soutien à l'étiage	Alimentation du cours d'eau par la zone humide	
Support de biodiversité	Habitats d'espèces végétales	Caractéristiques et évolution des végétations	Suivis floristiques
		Présence d'une végétation hygrophile	
		Concordance avec un relevé de référence	
	Habitats d'espèces animales	Caractéristiques et évolution des peuplements faunistiques	Suivis faunistiques
Présence d'espèces animales spécialistes des zones humides			

04

RENDRE COMPTE DE L'ÉVOLUTION DU SITE : EXEMPLE DE LA ROUE DE RÉTABLISSÉMENT ÉCOLOGIQUE

Rendre compte de façon objective et pédagogique de l'évolution globale d'un site suite à sa restauration n'est pas toujours aisée, d'autant plus si elle se base sur de multiples critères d'évaluation qui n'évoluent pas de façon similaire. C'est pourtant une étape essentielle pour effectuer le bilan de l'évolution du site et en rendre compte aux partenaires du projet, notamment les élus et financeurs.

La société d'écologie de la restauration (SER) propose une méthode permettant d'évaluer la restauration d'un site selon un ensemble d'indicateurs préétablis, auxquels sont attribués des notes selon le niveau d'atteinte de l'objectif, et présentés sous

forme d'une roue du rétablissement écologique⁵. Elle consiste en une évaluation multicritères basée sur des indicateurs de suivi de natures différentes. Elle est présentée ici à titre indicatif, chaque porteur de projet pouvant choisir la méthode la plus adaptée au contexte de ses travaux et aux destinataires du bilan.

La roue du rétablissement écologique de base, adaptable en fonction des projets, propose une analyse fondée sur six composantes de l'écosystème, elles-mêmes déclinées en trois indicateurs (Figure 3). Ces éléments sont donnés à titre indicatif et peuvent être adaptés à chaque projet.

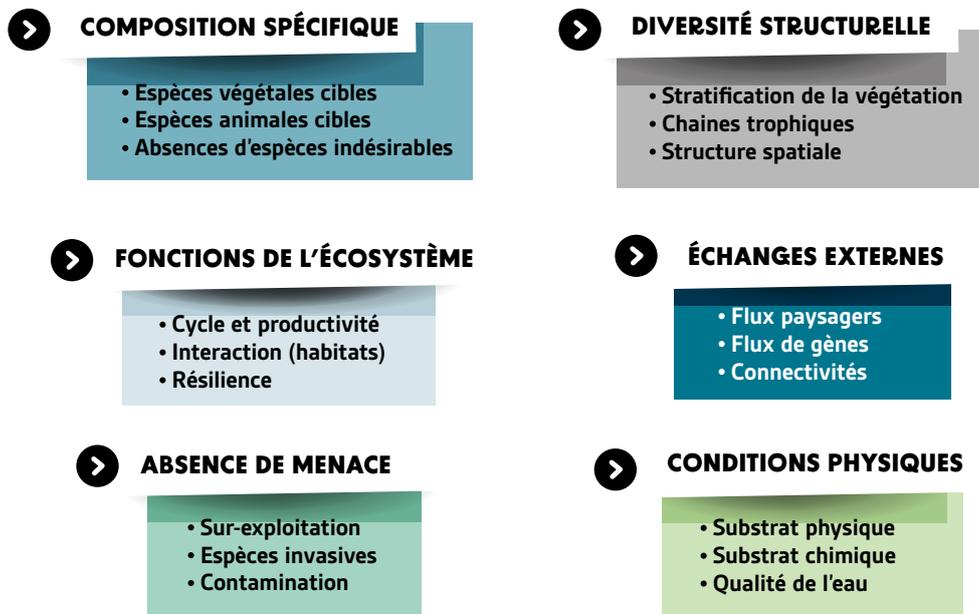


Figure 3 - Composantes de l'écosystème et paramètres associés proposés pour évaluer un projet de restauration (d'après Gann et al., 2019⁵).

5. Gann, G.D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C.R., Jonson, J., Hallett, J.G., Eisenberg, C., Guariguata, M.R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K. and Dixon, K., W., 2019. *International principles and standards for the practice of ecological restoration*. Second edition. *Restor Ecol*, 27: S1-S46. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/rec.13035>;
Exemple d'application : Gallet, S., Salgueiro-Simon, M., Strubois, A., Gélinaud, G., Bourrguis, M., Dauvergne, X., Carpentier, A., Pétilion, J., Dèbre, C., 2023. *Analyser la restauration des petits marais littoraux : origine, montage et principaux apports du programme PEPPS*. *Sciences Eaux & Territoires*, (41), 7–13. Disponible sur : <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2022.41.7433>

Les paramètres de suivi sont renseignés à partir de suivis d'un ou plusieurs indicateurs spécifiques (mention « mesuré ») ou à dire d'expert (mention « évalué »). L'état de chaque paramètre est renseigné sur une échelle de 0 à 5, 0 étant un état très dégradé et 5 un très bon état en comparaison à la référence (évaluation 5 étoiles).

Sans se substituer aux analyses fines pouvant être réalisées pour chaque indicateur, la roue du rétablissement est un outil d'évaluation, de visualisation et de discussion autour de l'évolution d'un site restauré. Son principe est de présenter une synthèse visuelle globale de l'état d'un site restauré, en comparaison avec son état dégradé ou un état de référence.

Un **outil en ligne** permet au porteur de projet d'adapter le contenu de la roue et de renseigner le niveau atteint pour chaque paramètre suivi ou évalué.

Pour exemple, dans le cadre des actions du Réseau sur la restauration des zones humides de Bretagne, une adaptation a été proposée pour la **restauration des zones humides** sur la base des indicateurs suivis dans différents projets de recherche-action. Les paramètres retenus sont :

- **La composition spécifique :**
 - Espèces végétales conformes aux références
 - Espèces animales conformes aux références
 - Hygrophyllie des espèces
- **La diversité structurale :**
 - Stratification de la végétation conforme à la référence

- Diversité d'habitats conformes à la référence
- Composition fonctionnelle d'un groupe faunistique étudié (par exemple, les guildes de chasse pour araignées ou le régime alimentaire des orthoptères) conforme à la référence

- **Les fonctions de l'écosystème :**

- Abattement de l'azote
- Régulation du phosphore
- Régulation des débits
- Support de production agricole

- **Les échanges externes :**

- Flux paysagers (proximité d'un site donneur permettant la dispersion des espèces animales et végétales pour recoloniser le site)
- Connectivités (possibilité pour ces espèces de se déplacer dans le paysage)

- **L'absence de menaces :**

- Surexploitation agricole
- Espèces invasives
- Pollution ponctuelle ou diffuse

- **Les conditions physiques du milieu :**

- Saturation en eau des 50 premiers centimètres du sol
- Teneur en matière organique (ou carbone) du sol
- Qualité de l'eau
- Compaction du sol

Ces paramètres sont donnés à titre indicatif et ne sont pas à renseigner pour tout projet en zone humide.



Keravilin rive gauche

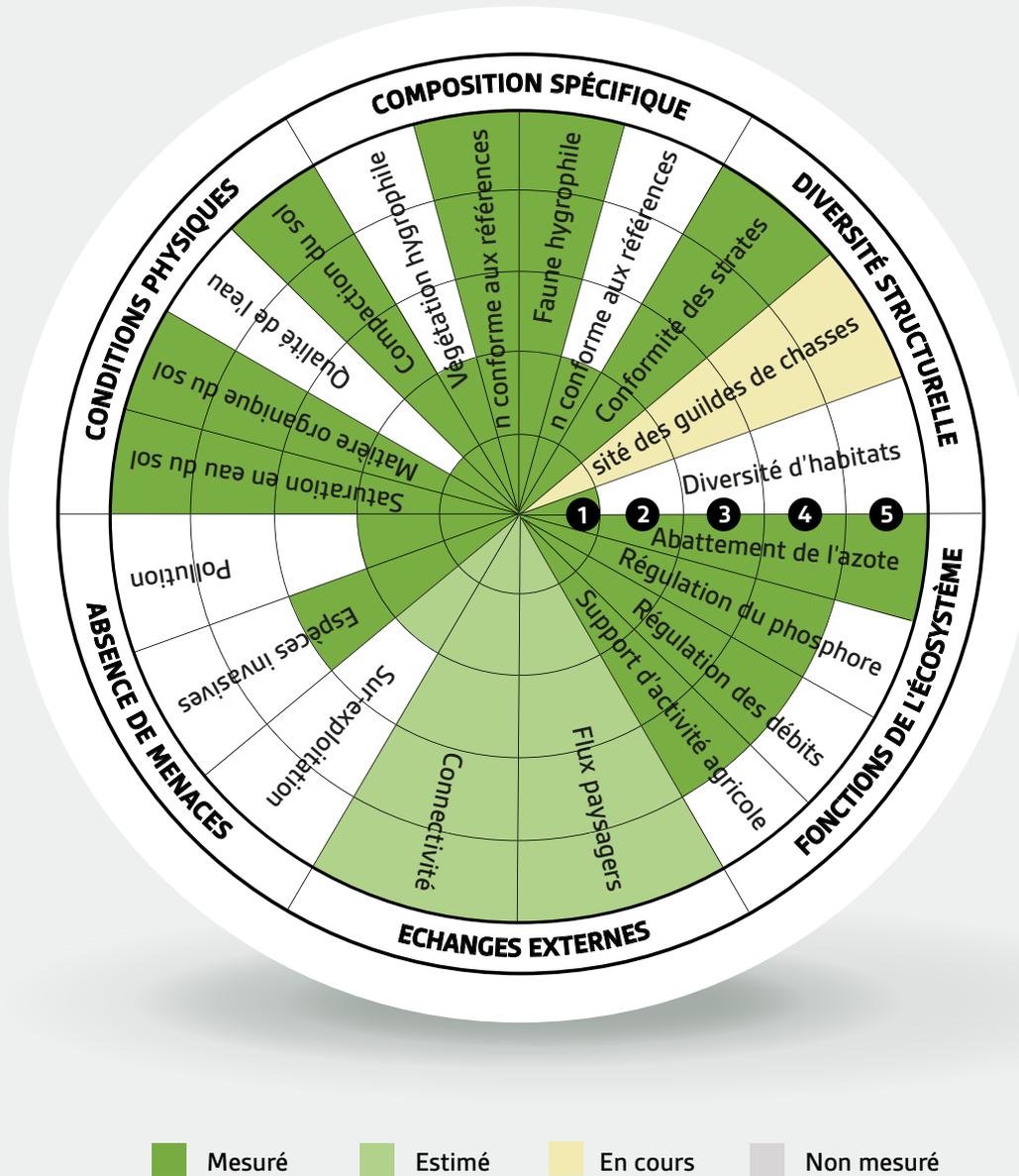


Figure 4 - Exemple de roue de rétablissement écologique sur une zone humide 2 ans après suppression d'un remblai.



NOTES ...

Horizontal dotted lines for notes.





NOTES ...

A series of horizontal dotted lines for writing notes.





NOTES ...

Horizontal dotted lines for notes.





Rédaction : Armel Dausse, Forum des Marais Atlantiques / Antenne de Brest

Relecture : Armel Dausse, Alix Augier, Anaëlle Magueur et Oriana Garcia, Forum des Marais Atlantiques / Antenne de Brest

Ce document est référencé comme suit :

Dausse A., 2024 - Évaluer une opération de restauration de zone humide. Carnet technique du réseau sur la restauration des zones humide de Bretagne. Agence de l'eau Loire-Bretagne / Région Bretagne / DREAL Bretagne. Forum des Marais Atlantiques, Brest. 24 p.

Photos : 1^{ère} de couverture : Vincent Colasse (CBNB), 4^{ème} de couverture : FMA

Création graphique : Virginie Gaude - www.crayonmagique.fr



**RÉSEAU SUR
LA RESTAURATION
DES ZONES
HUMIDES** DE BRETAGNE



Ce carnet fait parti d'un ensemble de documents méthodologiques et techniques rédigés par le Forum des Marais Atlantiques, intégrant les enseignements issus du suivi de projets portés par différents maîtres d'ouvrage et étudiés dans le cadre de projets de recherche appliquée coordonnés dans le cadre du réseau sur la restauration des zones humides de Bretagne. Ces carnets, classés par thématique, sont disponibles sur le site internet du réseau : rerzh.forum-zones-humides.org.

Les partenaires du réseau sur la restauration des zones humides de Bretagne

Les partenaires techniques et financiers (comité de suivi)



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

Liberté
Égalité
Fraternité



agence de l'eau
Loire-Bretagne



Région
BRETAGNE



**PRÉFET
DE LA RÉGION
BRETAGNE**

Liberté
Égalité
Fraternité



artisan
Le climat change, adaptons-nous
avec la nature



Ille & Vilaine
LE DÉPARTEMENT



DÉPARTEMENT
Finistère
Penn-ar-Bed

Et la participation dans le comité de suivi



Côtes d'Armor
le Département



MORBIHAN



OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ



agence bretonne de la
biodiversité
#biodiversitéBZH

Les partenaires scientifiques et techniques des projets de recherche appliquée



Territoires
Urbanscoffon
Biodiversité
Environnement



UBO
Université de Bretagne Occidentale



SAS



INRAE



L'INSTITUT
agro



GÉOSCIENCES
Rennes



ECOBIO
Rennes



Université
de Rennes



LETG
RENNES



UNIVERSITÉ
RENNES 2



cbn
CONSERVATOIRE
BOTANIQUE NATIONAL
BREST

Avec la participation dans le Finistère



Bretagne Vivante
Une voix pour la nature



Groupe
d'Etude
des Invertébrés
Armoricains



Groupe
d'Etude
des Invertébrés
Armoricains

Les maîtres d'ouvrage des travaux de restauration des sites étudiés

