



## Evaluation des travaux de restauration de zone humide

**Armel DAUSSE**

Forum des Marais Atlantiques – Antenne de Brest

*Montauban de Bretagne, le 22 novembre 2022*

## Objectif FAVORISER LES TRAVAUX DE RESTAURATION DES ZONES HUMIDES



**Accompagnement des territoires**



**Mutualisation et production de référentiels techniques**



**Transferts de connaissances**



**Coordination de projets de recherche-action**



## Pour répondre à des questions émergent des territoires

Basés sur un partenariat entre le FMA et :

### Des partenaires techniques et scientifiques

*Apportent leur expertise et participant à la mise en œuvre des suivis*



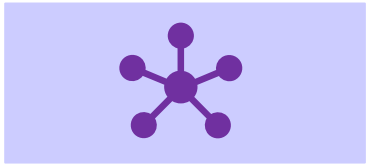
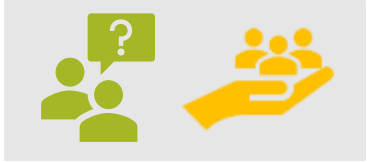
### Des porteurs de projets

*Mettent à disposition les sites*

- Syndicats de bassins-versants
- EPCI
- ...

Montage et coordination de projets de recherche-action

## Les projets

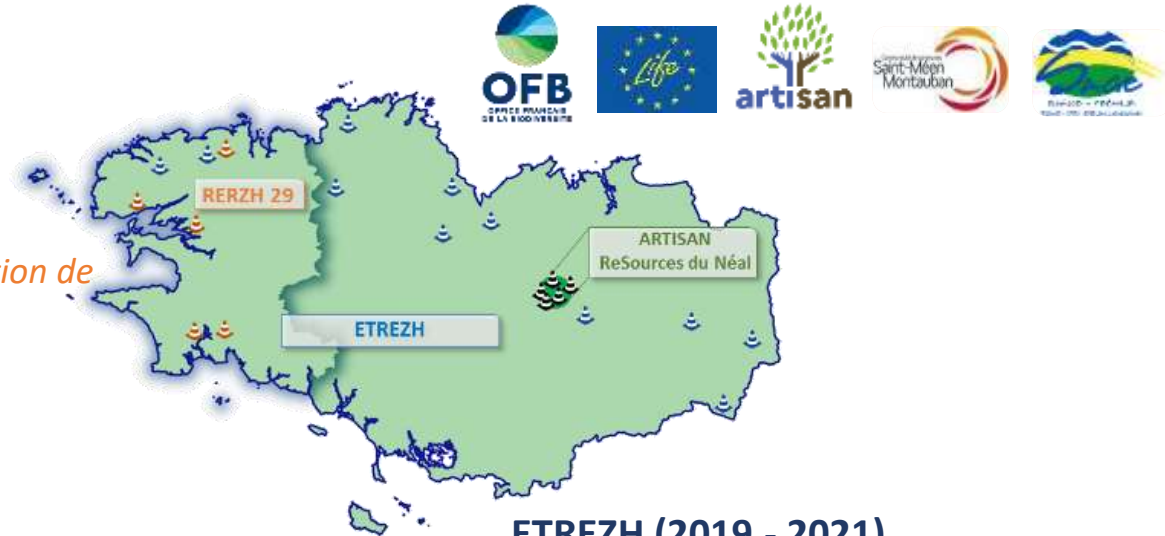


### RERZH 29 (depuis 2013)

Réseau expérimental sur la réhabilitation de zones humides du Finistère.  
Suivi avant-après travaux de 5 sites

### ARTISAN ResSources du Néal (2020 - 2027)

Restauration des milieux aquatiques en tête de bassin versant de Néal pour atténuer les effets du changement climatique sur la ressource en eau en période d'étiage.



### ETREZH (2019 - 2021)

Evaluation de l'effet des travaux de restauration sur les fonctions hydrologiques, biogéochimiques et biologiques des zones humides de Bretagne.

Suivi synchronique de 14 sites (neutralisation de drains enterrés, suppression de remblai)

Montage et coordination de projets de recherche-action

## ETREZH - Evaluation de l'effet de travaux de restauration sur les fonctions des zones humides

### OBJECTIFS PRINCIPAUX

- **Acquisition de connaissances scientifiques** sur l'effet des travaux de restauration sur les fonctions (hydrologiques, biogéochimiques et biologiques) des zones humides
- **Acquisition de connaissances techniques** sur les méthodes de travaux permettant de restaurer les fonctions de zones humides remblayées ou drainées
- **Consolidation de protocoles** de suivis de projets de restauration

**Durée :** 2019 – 2021 + valorisation des résultats en 2022

**Financement :**



## Éléments abordés

- Comment évaluer des travaux de restauration écologique ?
- Comment choisir les indicateurs ?
- Où localiser les relevés ?
- Exemples d'indicateurs de suivis



## Comment évaluer des travaux de restauration écologique ?



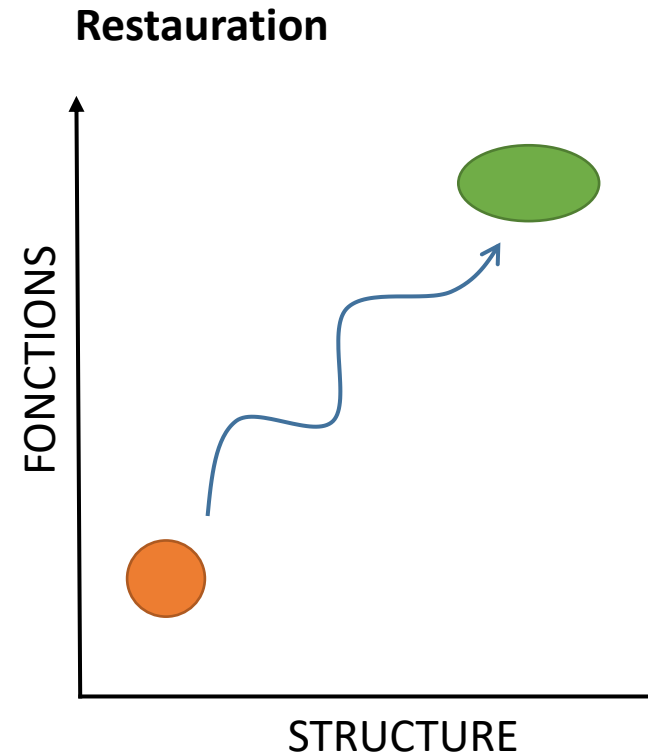
## Qu'est ce que la restauration écologique ?

La restauration écologique est un processus qui **assiste l'autoréparation** (le rétablissement) d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé, détruit...

*Abécédaire de la SER, 2004*

Les travaux de restauration visent à **réamorcer une dynamique** menant à la résilience d'un écosystème

Implique le rétablissement de son intégrité écologique  
= Structure + Fonctions



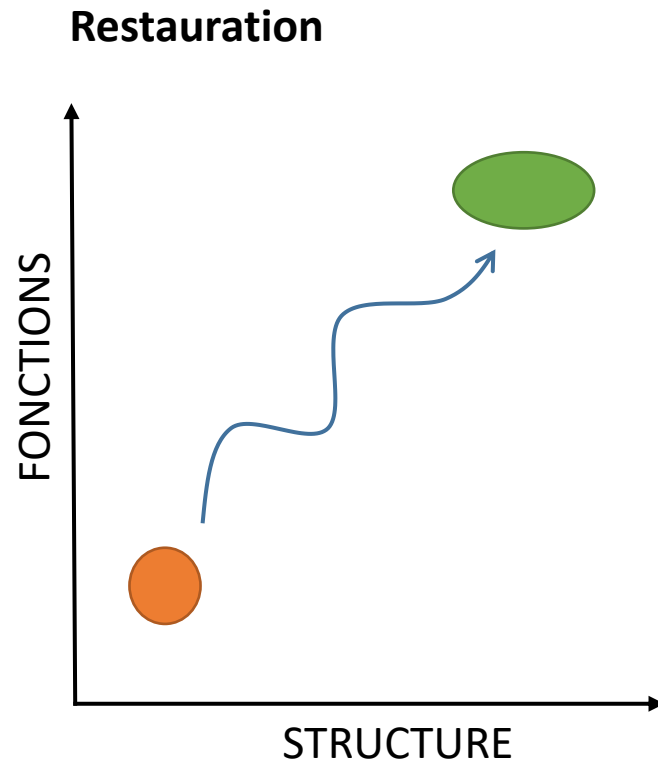
Le réseau REVER



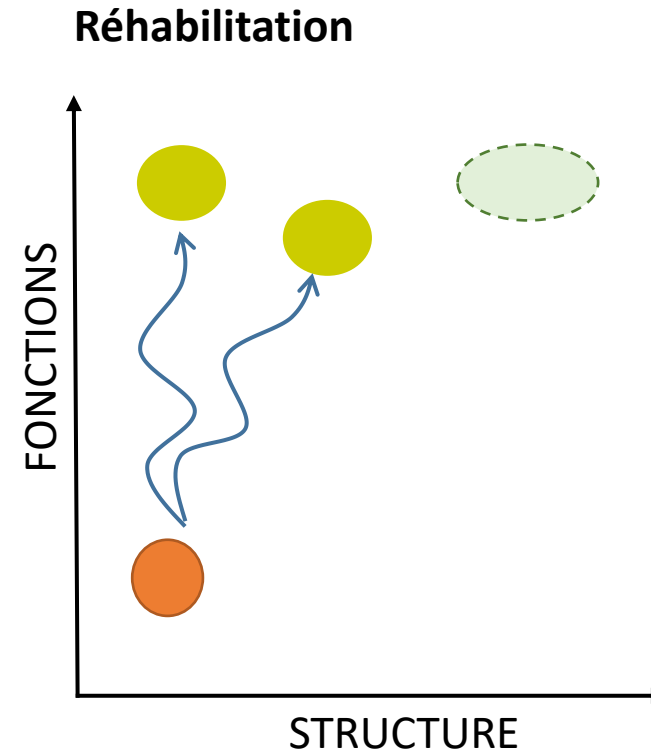
<https://reseau-rever.fr/>



## Qu'est ce que la restauration écologique ?



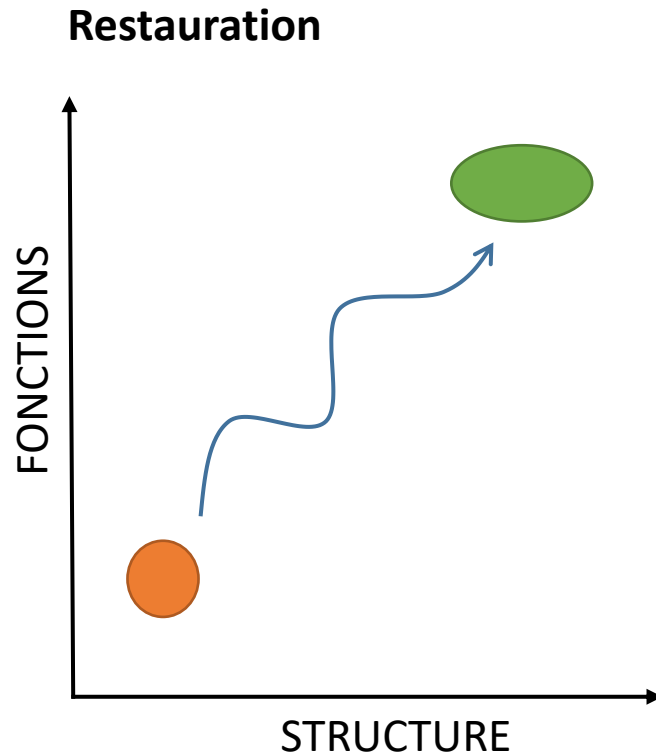
ou



Rétablissement de l'**intégrité écologique**  
(structure + fonctions)

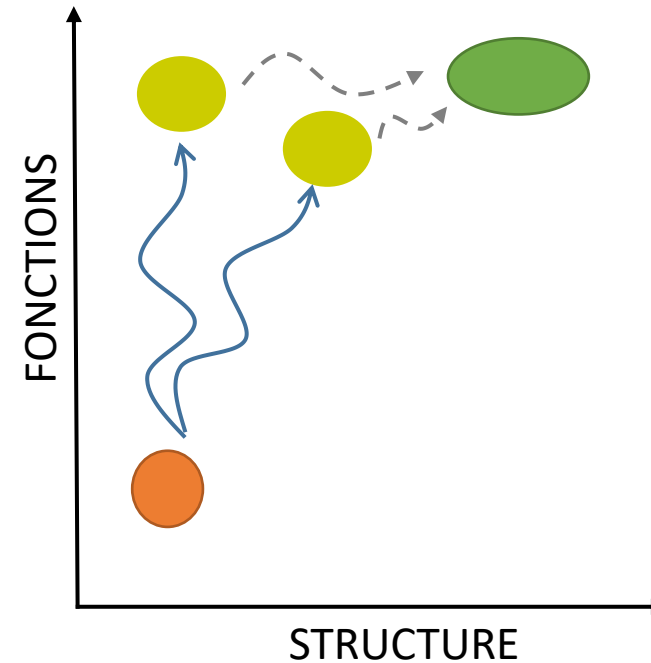
Rétablissement d'**une ou plusieurs fonctions**

## Qu'est ce que la restauration écologique ?



Rétablissement de l'**intégrité écologique**  
(structure + fonctions)

## Evolution de la réhabilitation vers une restauration du milieu



Rétablissement d'**une ou plusieurs fonctions**  
**puis de la structure**

## Evaluer un projet de restauration

Vérifier si on retrouve sur le site, après les travaux de restauration, une structure et des fonctions caractéristique du type de zone humide ciblé



**Suivre dans le temps certaines caractéristiques de la zone humide en comparaison avec un écosystème de référence**



**Choix d'un système de référence**



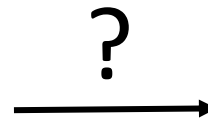
**Choix d'indicateurs de suivi**

## L'écosystème de référence

Ecosystème vers lequel on souhaite tendre suite à la restauration

Un écosystème de référence, ou référence, sert de modèle pour la planification d'un projet de restauration et ensuite pour son évaluation.

*Abécédaire de la SER, 2004*



## L'écosystème de référence

- Choix basé sur l'**historique du site** - ce qu'il était avant son altération
- En l'absence d'historique connu, se base sur:
  - les écosystèmes présents aux alentours dans le même contexte hydro-géomorphologique (**potentiel du site**)
  - des sources bibliographiques (données anciennes ou « données types » pour un milieu donnée)



## Evaluer l'intégrité structurelle et fonctionnelle d'un site

= Comparer la valeur d'un indicateurs de structure ou de fonction du site restauré avec des valeurs de référence

### Les valeurs de référence

Gamme de valeurs obtenues dans des sites fonctionnels

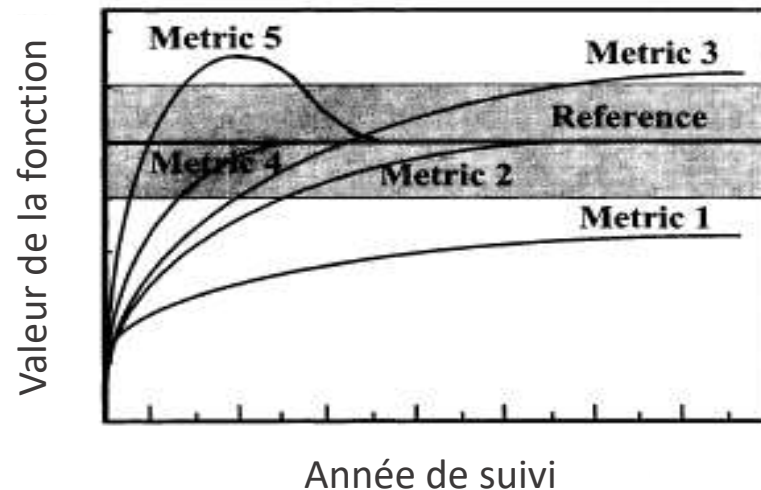
- Sur des bases bibliographiques
- Sur la base de suivis réalisés en parallèle dans un ou des sites témoins (en bon état de conservation)

## Evaluer l'intégrité structurelle et fonctionnelle d'un site

### Choix des fonctions à suivre

Les réponses des indicateurs souvent **non linéaires** dans le temps et **différentes** selon les fonctions suivies

COURBES THÉORIQUES DE SUIVI DE DIFFÉRENTS  
INDICATEURS DE FONCTIONS



➡ Nécessité de se baser sur un suivi de **plusieurs fonctions** et **sur un temps long**



## Evaluer l'intégrité structurelle et fonctionnelle d'un site

Les indicateurs de suivis doivent faire état 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 à la restauration des processus fonctionnels (décomposition de la matière organique, production de biomasse...) et à la colonisation par la faune
- les **processus écologiques**, garants du maintien d'un système fonctionnel dans le temps

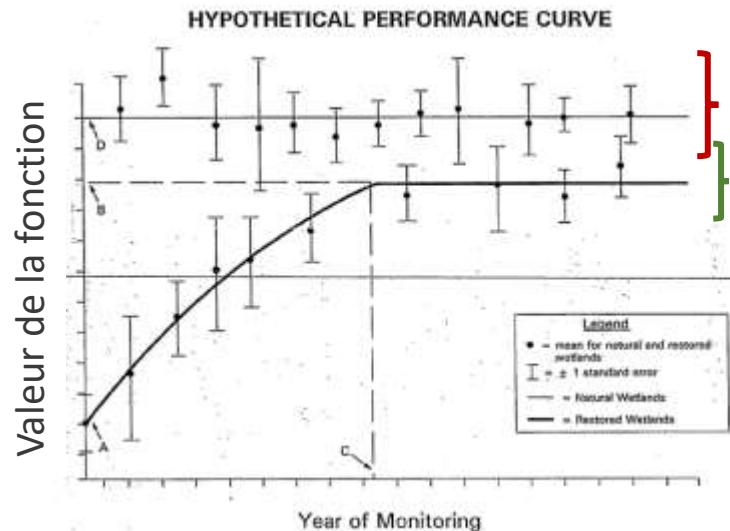
Dans l'idéal, étudier **deux indicateurs minimum pour chacun de ces attributs**, choisis en fonction des objectifs du projet et les moyens pouvant être alloués au suivi.

(Ruiz-Jaen & Mitchell Aide 2005)

## Evaluer l'intégrité structurelle et fonctionnelle d'un site

### Prendre en compte la variabilité des fonctions suivies

Chaque indicateur présente une **variabilité intra-annuelle, inter-annuelle et inter-site** qu'il faut pouvoir intégrer



Sites références: Variabilité interannuelle et inter-site

Site de restauration

Année de suivi

### Plusieurs solutions

- Réaliser les suivis à un **même moment clé** (ex: stade phénologique ou hydrologique)
- Intégrer **plusieurs sites de référence**
- Répéter les suivis sur un **temps suffisamment long**

## 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 avant les travaux
- Permettre de fixer certains objectifs des travaux → niveaux de nappe, espèces à retrouver, type de végétation à cibler etc...
- Permettre de voir après travaux, si la situation s'améliore, même si on n'atteint pas les objectifs fixés
- Déterminer les dossier réglementaires nécessaires (espèces protégées)

## Exemple - Choix des écosystèmes de référence du RERZH 29

- ❑ Un site témoin par site pilote avec un suivi des mêmes indicateurs
- ❑ Un panel de références (21 sites) pour certains indicateurs

L'ensemble des sites est :

- Situé à proximité, dans des conditions hydro-géo-morphologiques similaires et si possible dans le même bassin versant
- En bon état de conservation (absence de perturbation visible)



Site pilote

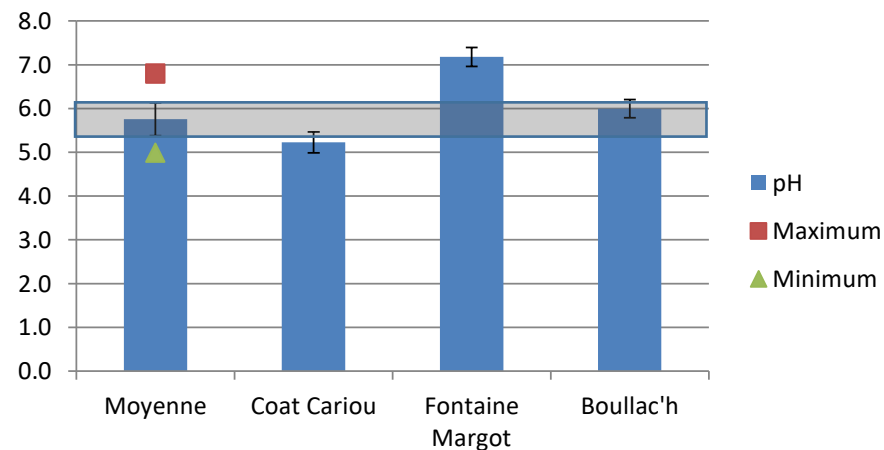


Site témoin

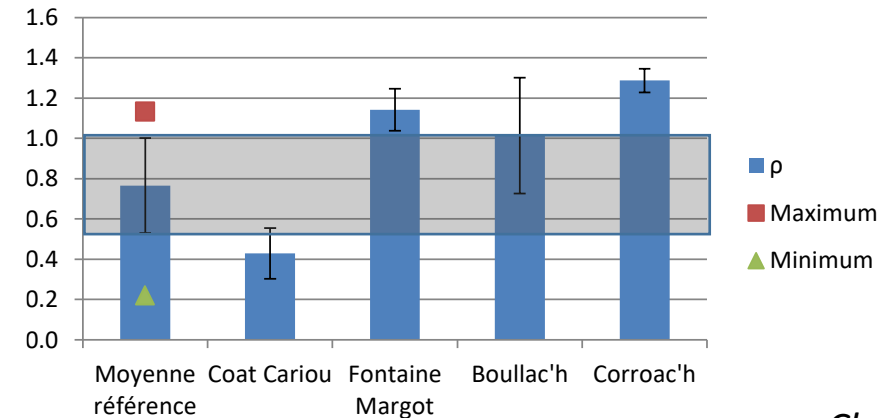
## Exemple RERZH 29 – Comparaison du pH et de la densité apparente du sol

- Comparaison simple de valeurs

pH du sol



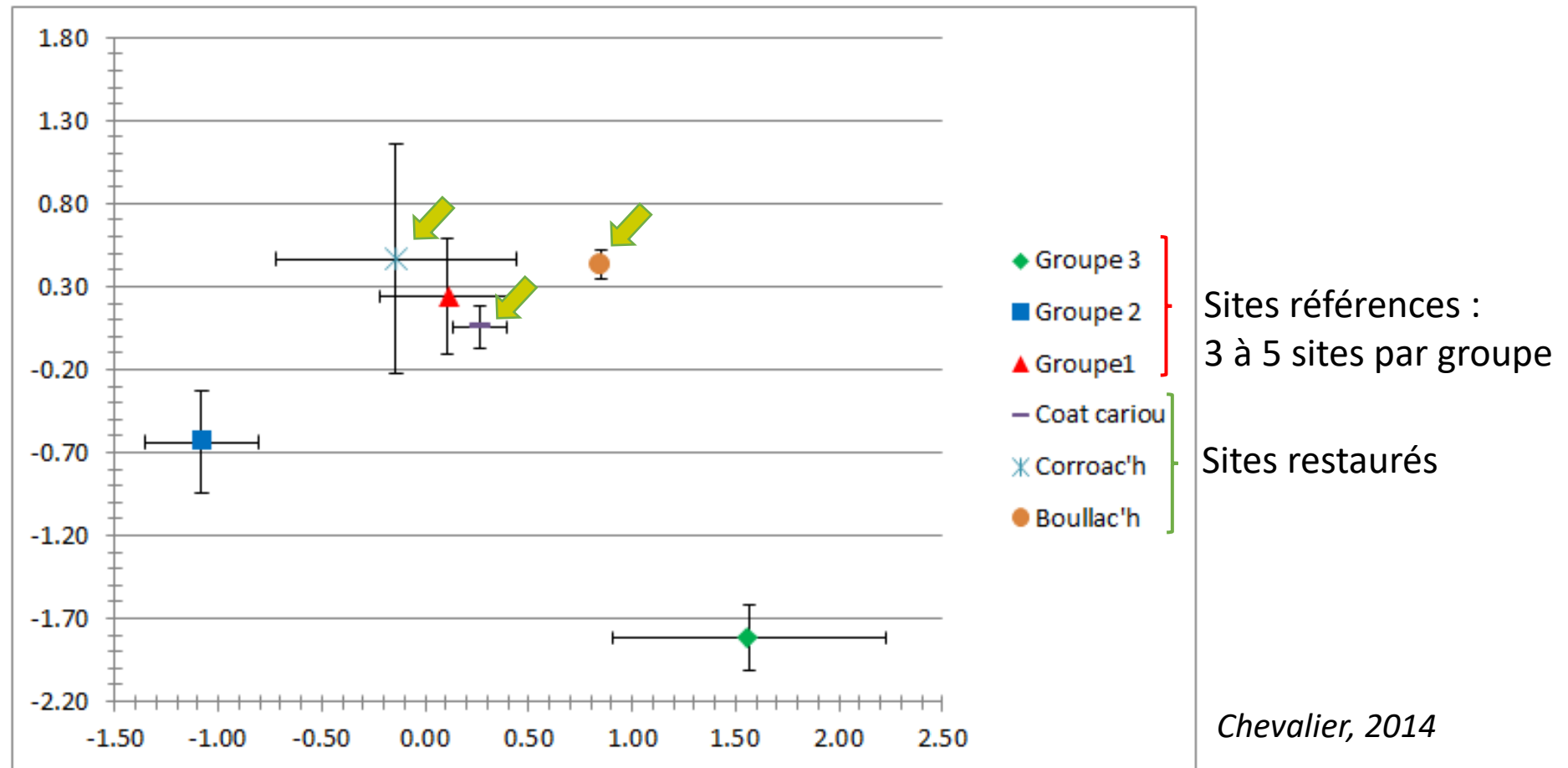
Densité apparente du sol



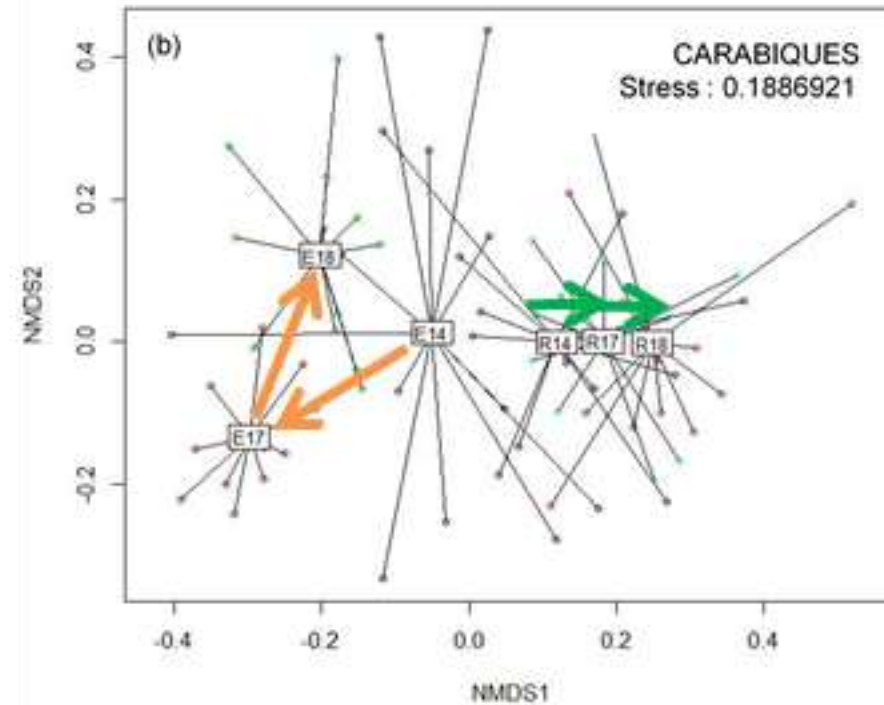
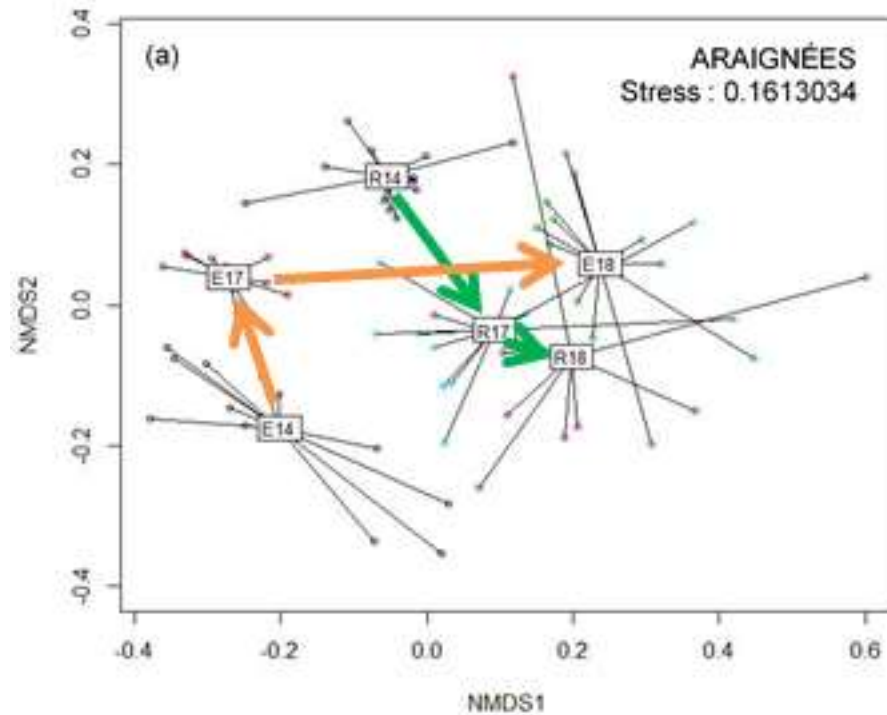
*Chevalier, 2014*

## Exemple RERZH 29 – Comparaison de la composition spécifique des végétations en 2014

Projection des sites dans un référentiel représenté par les espèces présentes dans les relevés phyto-sociologiques (ACP)



## Exemple RERZH 29 – Comparaison de la composition spécifique des communautés d'arthropodes – Dynamique sur trois ans

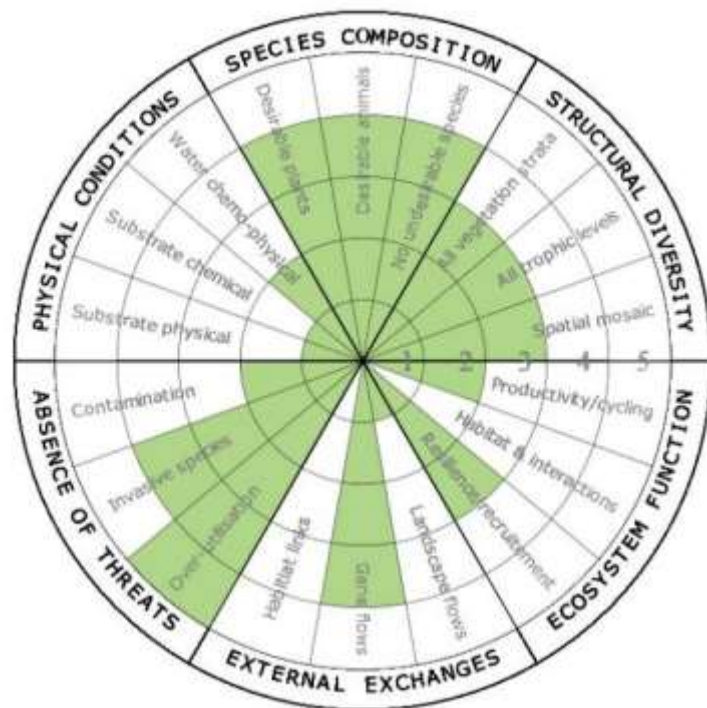


Groupe  
d'Étude  
des Invertébrés  
Américains

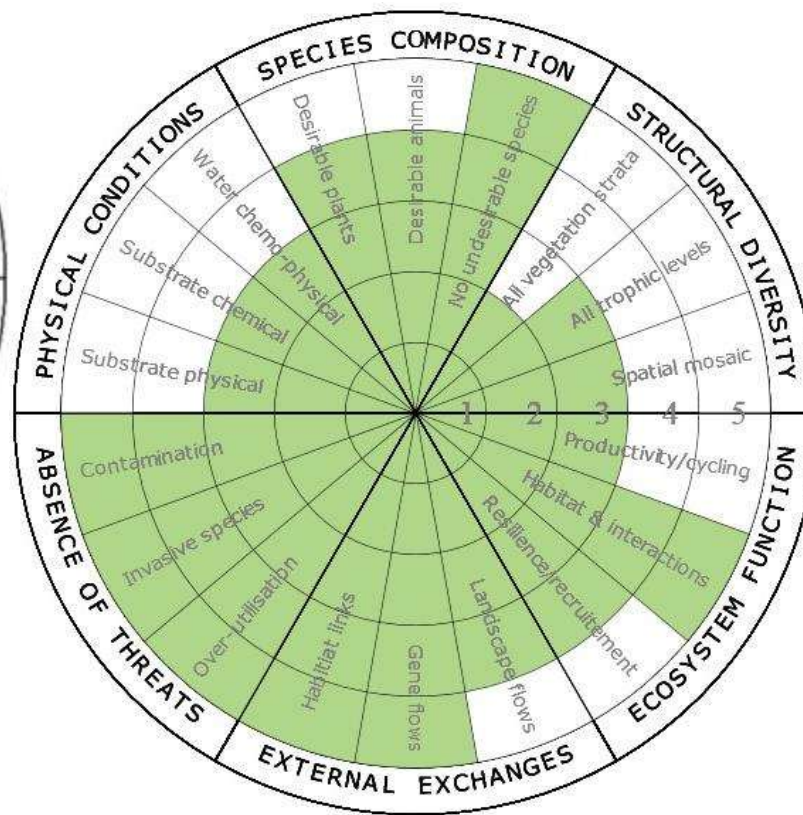
Conrad, 2018



## Recovery wheel ou Roue de la restauration



Avant travaux



3 ans après travaux

18 indicateurs (ou attributs) regroupés en 6 catégories

1. Absence de pressions
2. Etat de l'environnement physique
3. Composition spécifique
4. Diversité structurelle
5. Fonctions de l'écosystème
6. Echanges externes

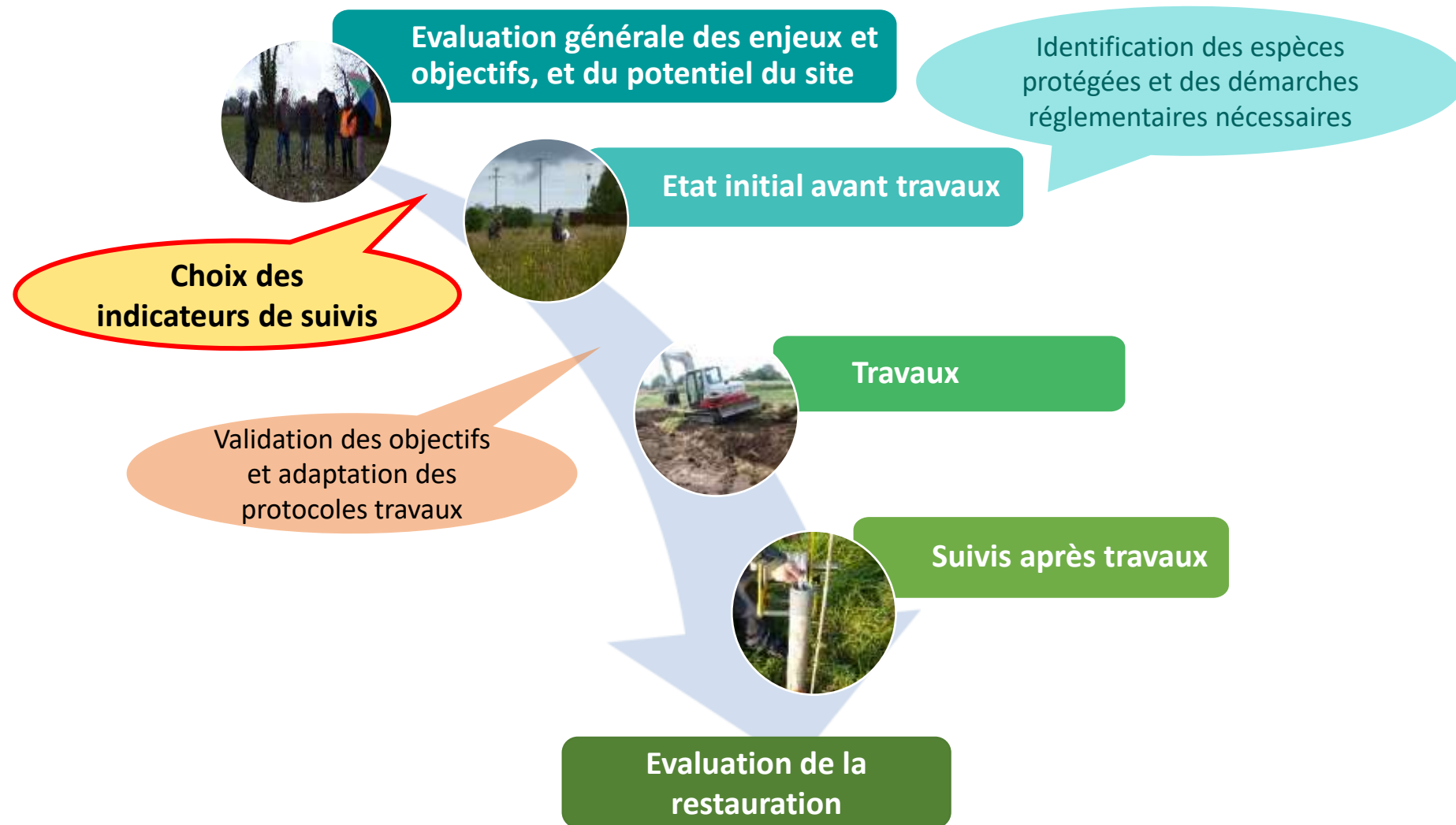
<http://seraustralasia.com/wheel/index.html>





## Choix des indicateurs

# Choix des indicateurs de suivis





## Les questions à se poser

- Comment mesurer ou évaluer l'atteinte des objectifs du projet?
- Dois-je évaluer un potentiel ou mesurer les fonctions?
- Quels indicateurs permettent cette mesure ou évaluation?
- Quels descripteurs composent ces indicateurs ?
- Où réaliser les suivis pour qu'ils soient parlant?

ENJEUX → OBJECTIFS → INDICATEUR



## Notions de base

- **Descripteur** : paramètre simple potentiellement évolutif, qualifiable et quantifiable.  
Décrit l'évolution d'une composante sans présager de l'ensemble du fonctionnement du système (baromètre partiel).  
**Exemple**: nombre de mares avec la présence de macrophytes, teneur en nitrate dans les piézomètres
- **Indicateur de suivi** informe sur les performances (au sens neutre) d'un système par rapport à un objectif ou à un état de référence.  
A pour vocation de résumer soit une information composite, soit celle de plusieurs descripteurs  
**Exemple** : proportion de mares avec la présence de macrophytes par rapport à un objectif donné, abattement d'azote entre l'amont et l'aval du site

Un indicateur peut avoir un ou plusieurs descripteurs

### **Exemple**

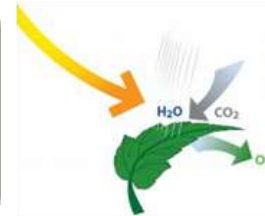
- Indicateur : niveau de pollution d'un cours d'eau
- Descripteurs : concentration en nitrates, taux de matières en suspension, etc.

## Notions de base

Le descripteur comme l'indicateur peuvent concerner différents niveaux

### Structure ou processus biologique

Ex: photosynthèse, dénitrification



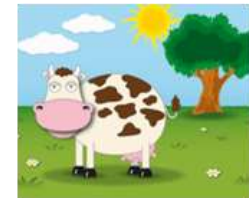
### Fonction

Ex: production de biomasse, abattement d'N dans l'eau



### Service écologique

Ex: production alimentaires, épuration de l'eau



### Bénéfice

Ex: revenu de l'agriculteur, baisse du coût de l'épuration de l'eau potable



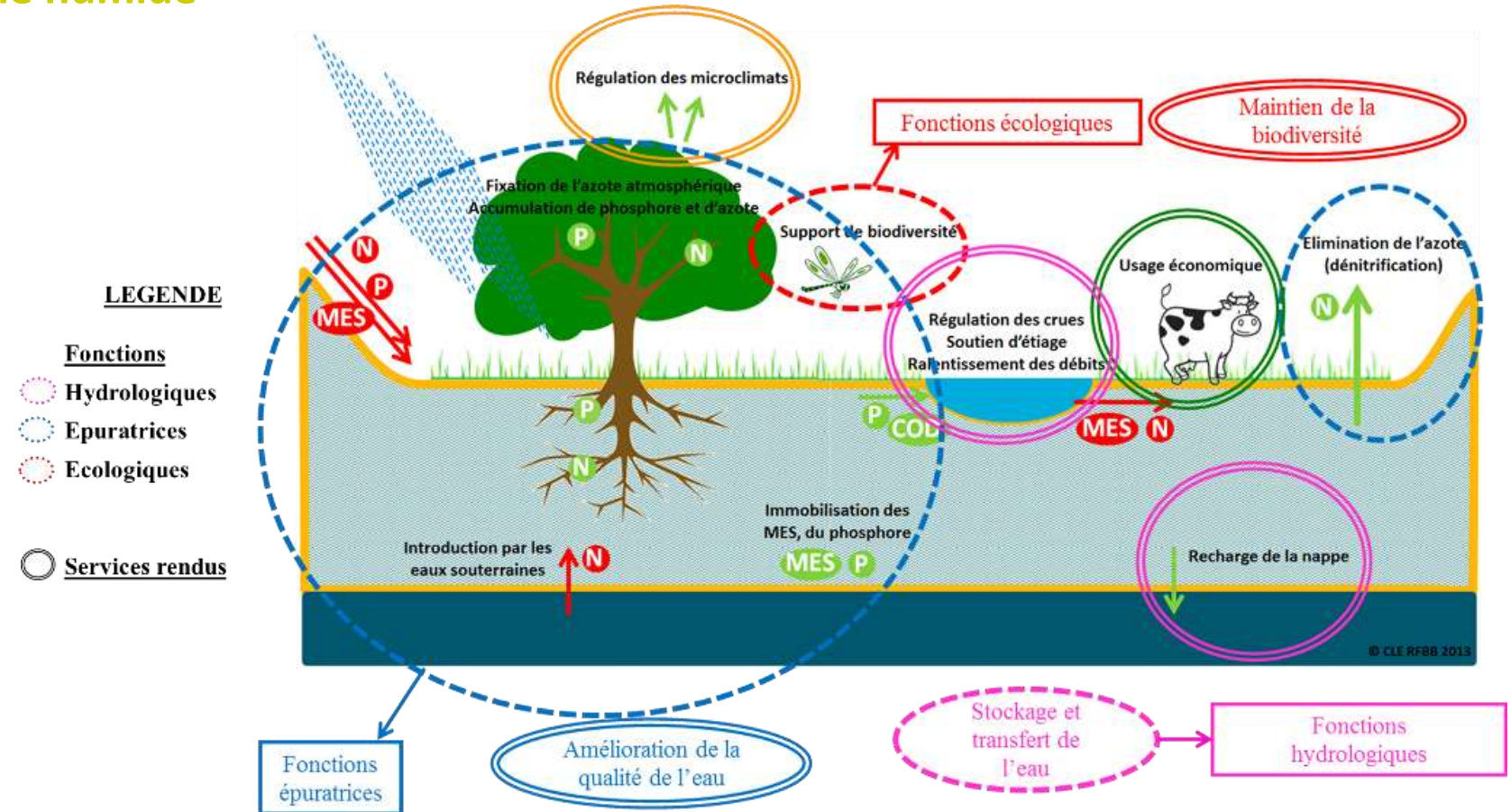
Valeurs économiques,  
sociales et  
patrimoniales



## Notions de base

### Principales fonctions d'une zone humide

- Fonctions hydrologiques
- Fonctions biologiques
- Fonctions biogéochimiques





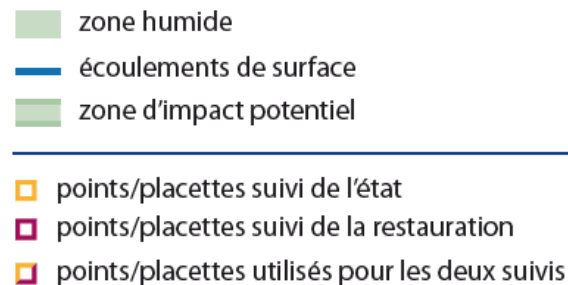
## Localisation des relevés



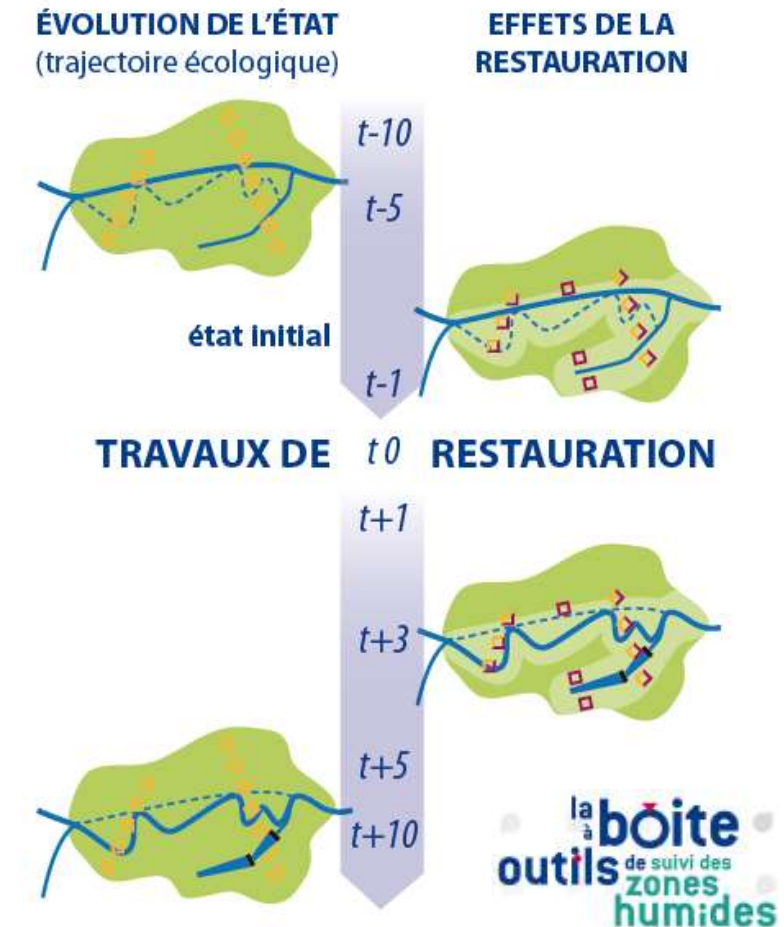
## Choix de la localisation des relevés

### Un bon positionnement des relevés facilite l'interprétation des données

- Anticiper le changement
- Evaluer le besoin de réplication
- Evaluer le besoin de précision spatiale
- Coordonner les différents suivis pour que des croisements de données puissent être possibles



### Exemple de l'imbrication des stratégies d'échantillonnage pour la localisation de transects de placettes / points de suivi des protocoles de la BAOZH



## Exemple

Ancienne pisciculture du Corroac'h (Plomelin, 29) remblayée après arrêt de l'activité



- **Enjeux**

Continuité du cours d'eau et des milieux humides / Biodiversité

- **Objectifs**

Restaurer la continuité longitudinale et latérale du cours d'eau

**Objectifs associés :**

- Colonisation du milieu par une flore et une faune de zone humide
- Restauration des processus liés aux cycles biogéochimiques (N, P, C)



# DONNÉES PIÉZOMÉTRIQUES

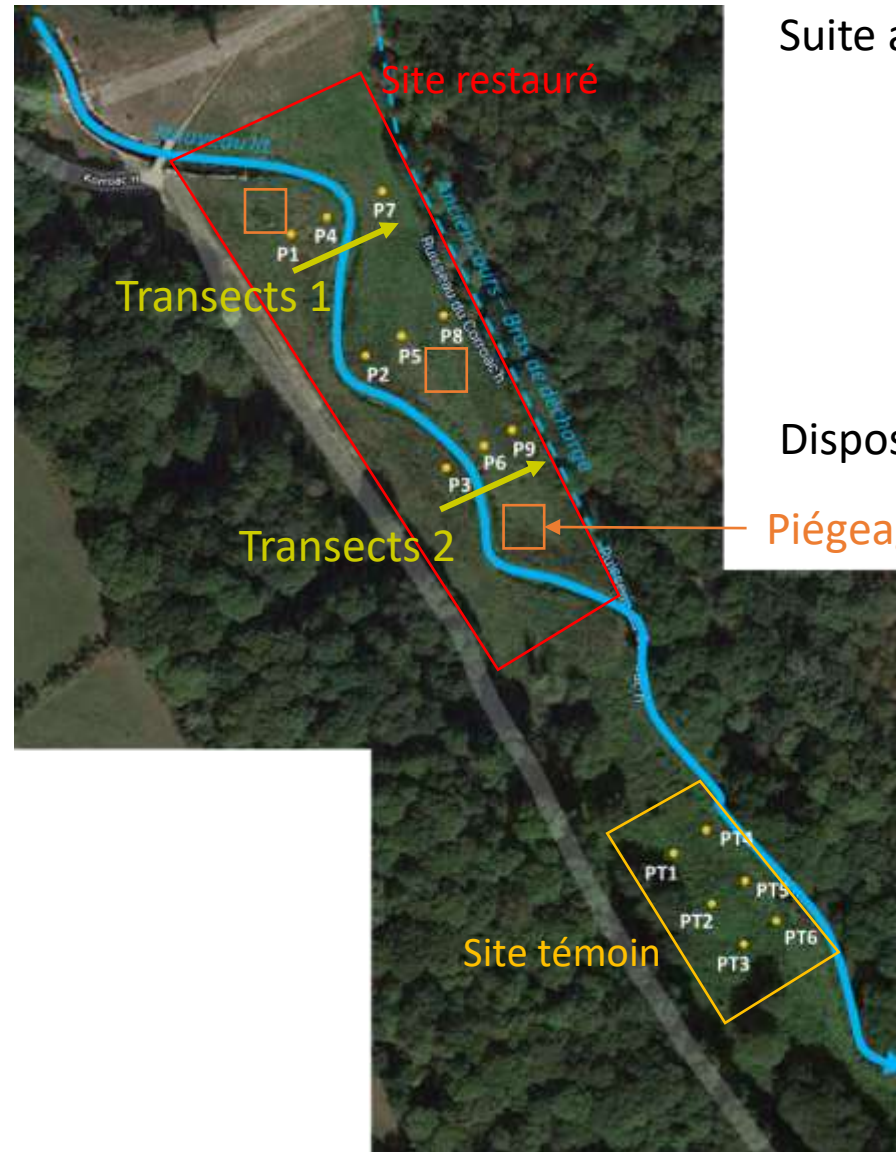
- **Travaux** : Septembre 2016
  - Suppression de 9 750 m<sup>3</sup> de remblai dont 1435 t de béton
  - Création de 180 m de cours d'eau
  - Mise en place d'une rampe rugueuse de 60 m
- **Coût total** prestations (zone humide): 283 680 € HT







Arrêt de l'activité et remblaiement du site



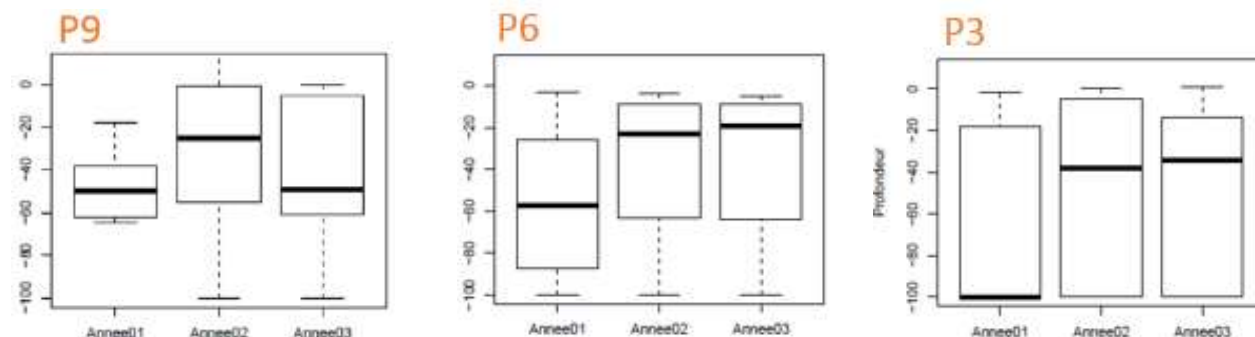
Suite aux travaux de restauration

Dispositif de suivi piézométrique

Piégeage arthropodes

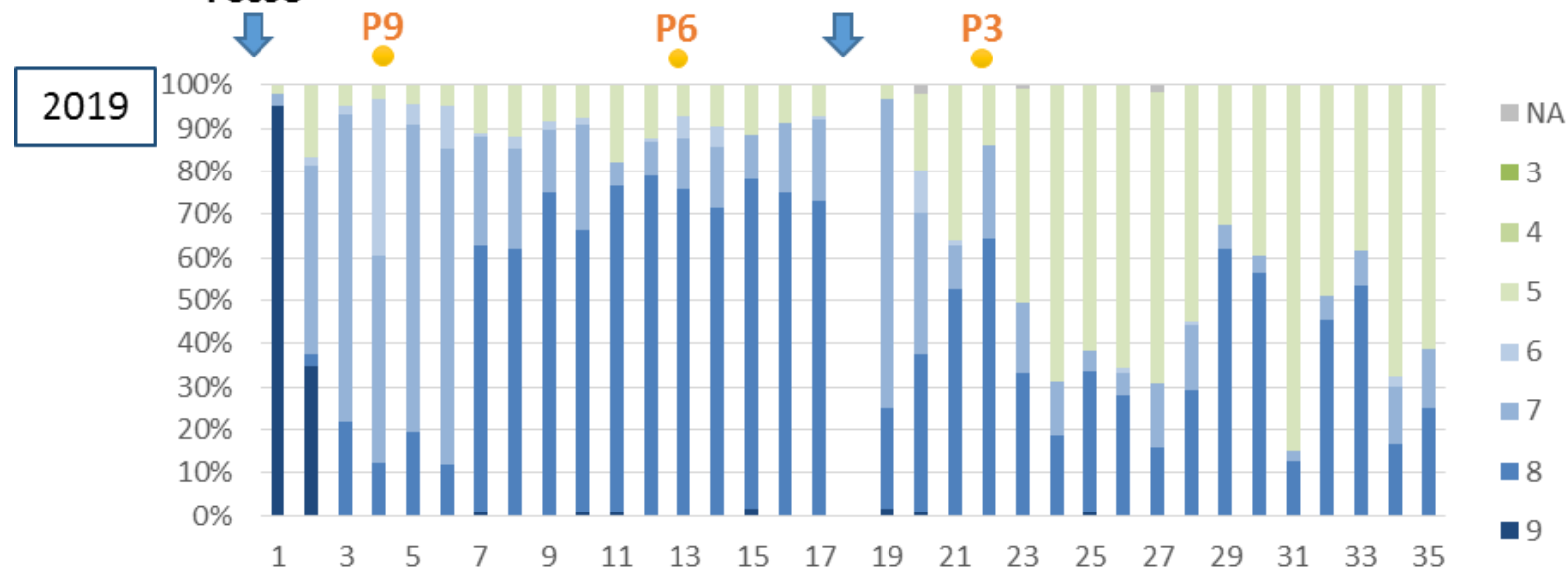
# DONNÉES PIÉZOMÉTRIQUES

Exemple: Corroac'h, Plomelin (29)



Fossé

Cours d'eau





## Exemples d'indicateurs de suivis

## Des méthodes d'évaluation du potentiel fonctionnel des zones humides

Donnent une **estimation du potentiel** d'un site pour la réalisation de différentes fonctions ou services rendus en se basant sur des caractéristiques du site ou le relevé de proxys simples

### Exemples d'outils existants

Méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides

<http://www.onema.fr/sites/default/files/guidezh-complet.pdf>

Guide méthodologique. Etude préalable à un programme pluriannuel d'actions milieux humides (...) *Fiche 11 & Annexes 3 et 4*

[http://www.zoneshumides29.fr/RAPPORT/guide\\_EP\\_modifications\\_2015web.pdf](http://www.zoneshumides29.fr/RAPPORT/guide_EP_modifications_2015web.pdf)





# Exemples d'indicateurs de suivis

## Outils existants



RhoMeO et BAO RhoMeO pour la restauration des zones humides

<http://rhomeo-bao.fr/>



LigerO - l'adaptation de Rhomeo sur le bassin Loire-Bretagne par le FMA et le CEN Val de Loire



Malette d'indicateurs de travaux et de suivis en zones humides (FMA)

<http://www.forum-zones-humides.org/telechargement-mallette-indicateurs.aspx>



Fiches indicateurs RERZH (à venir)



## Les indicateurs de suivi utilisés dans le cadre du RERZH

## Enjeux et fonctions écologiques évaluées sur les sites du RERZH



### Régulation quantitative de l'eau

- Stockage d'eau dans le sol et/ou en surface

Service

Fonction



### Régulation qualitative de l'eau

- Régulation du nitrate
- Régulation du phosphore
- Stockage et recyclage de la matière organique



### Support de biodiversité

- Accueil d'espèces végétales
- Accueil d'espèces animales





## Indicateurs visuels



## SUIVI PHOTOGRAPHIQUE

### Séquences de photos

- Indicateur le plus simple
- Réaliser une suivi à partir de points fixes dans le site
- Photographier aux mêmes période tous les ans
- Très pédagogique



### Time-laps

- Prise de photos à pas de temps déterminé depuis un point fixe avec une caméra





## Indicateurs de services de régulation quantitative



## SUIVIS PIÉZOMÉTRIQUES

### Objectifs possibles

- Connaître la dynamique du niveau de nappe dans le sol
- Vérifier si le sol est bien saturé en eau au moins de façon temporaire à moins de 50 cm de la surface
- Etudier la relation entre la nappe de la zone humide et le cours d'eau → évaluer le rôle de soutien à l'étiage



## SUIVIS PIÉZOMÉTRIQUES

### Mise en œuvre

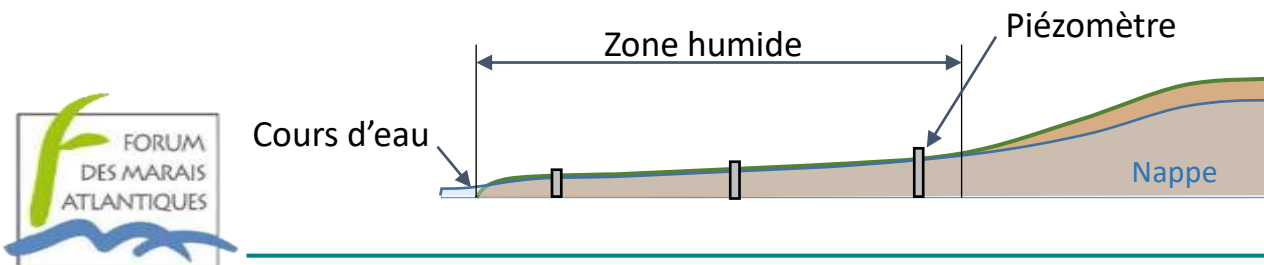
- **Nombre de piézomètres en fonction des objectifs**

**A minima:** 1 piézomètre au centre de la zone humide dans un secteur représentatif de la végétation (et topographie) de la parcelle

**Mieux:** 3 piézomètres sur un transect amont-aval dans la zone humide

Pour évaluer le **sens de circulation de l'eau**: idéalement 3 transects de 3 piézomètres

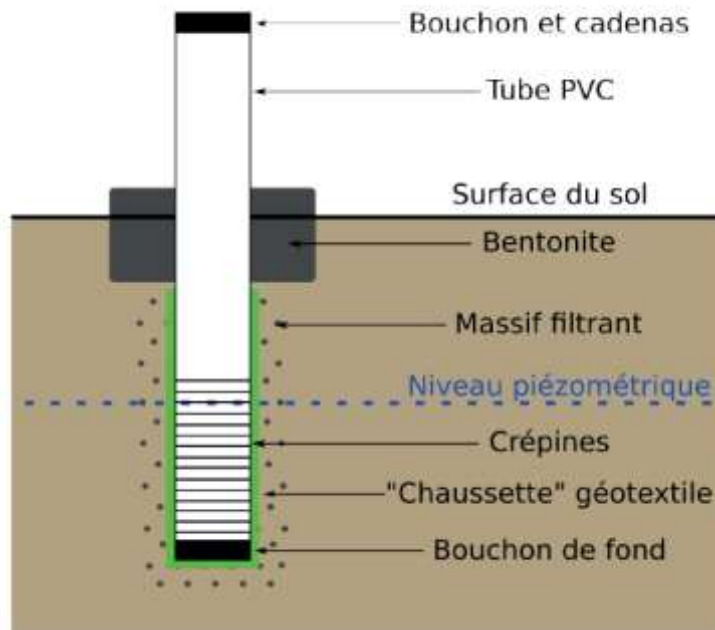
Pour étudier la **relation nappe-rivière** : prévoir un relevé en plus dans le cours d'eau



## SUIVIS PIÉZOMÉTRIQUES

### Mise en œuvre

- Installation du piézomètre



Fiche 1 – Programme Berceau



Piézomètres « artisanaux »



Mise en place d'une protection géotextile



Piézomètres préfabriqués

## SUIVIS PIÉZOMÉTRIQUES

### Précautions

- Marquer le piézomètre au niveau du sol pour s'assurer qu'il ne bouge pas (surtout sur sols tourbeux)
- Marquer l'emplacement des piézomètres avec un repère visible dans la végétation

### Parcelle pâturées

Protection des piézomètre soit au ras du sol avec un repère visible  
soit protégé par des piquets

### Parcelles fauchées

S'assurer que la barre de fauche passe entre deux piézomètres (~ 10 m)

Piézos au ras du sol préférables, mais attention à les rendre visibles par un conducteur de tracteur





## SUIVIS PIÉZOMÉTRIQUES

### Méthode de suivi

**Manuel** : relever les sondes idéalement tous les 10 à 15 jours



**Automatisé** : pas de temps de 20 min à 1 h (en général suffisant)



Sondes sans correction de pression  
→ Nécessité d'associer un baromètre



Sonde avec correcteur  
de pression





## SUIVIS PIÉZOMÉTRIQUES

### Un protocole à adapter selon l'objectif

Suivis des niveau en charge et étiage ou durée de saturation de la surface du sol

→ Suivis tous les 15 jours suffisants

Suivis du fonctionnement hydraulique de la zone humide (capacité de stockage face à un événement pluvieux, échanges ZH-cours d'eau...)

→ Suivis en continu

### Remarque

Coût de l'achat des sondes très vite amorti par rapport au temps passé sur le terrain pour les relevés manuels

1 sonde basique avec compensation de pression: 600 à 800 €

1 sonde sans compensation : environ 350 à 400 € + 1 baromètre par site (350€)

## SUIVIS PIÉZOMÉTRIQUES

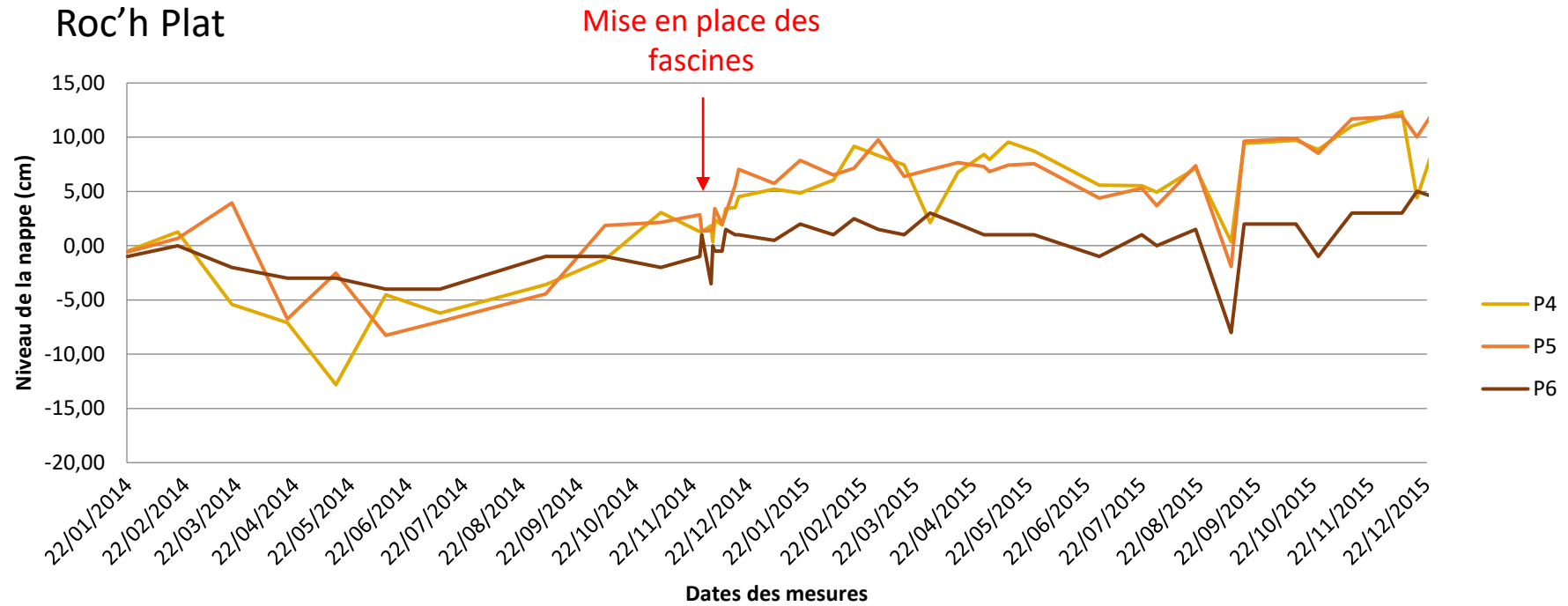
- Exemple** Tourbière de pente de Roc'h Plat, Hanvec
- Fascinage en travers de fossé de drainage



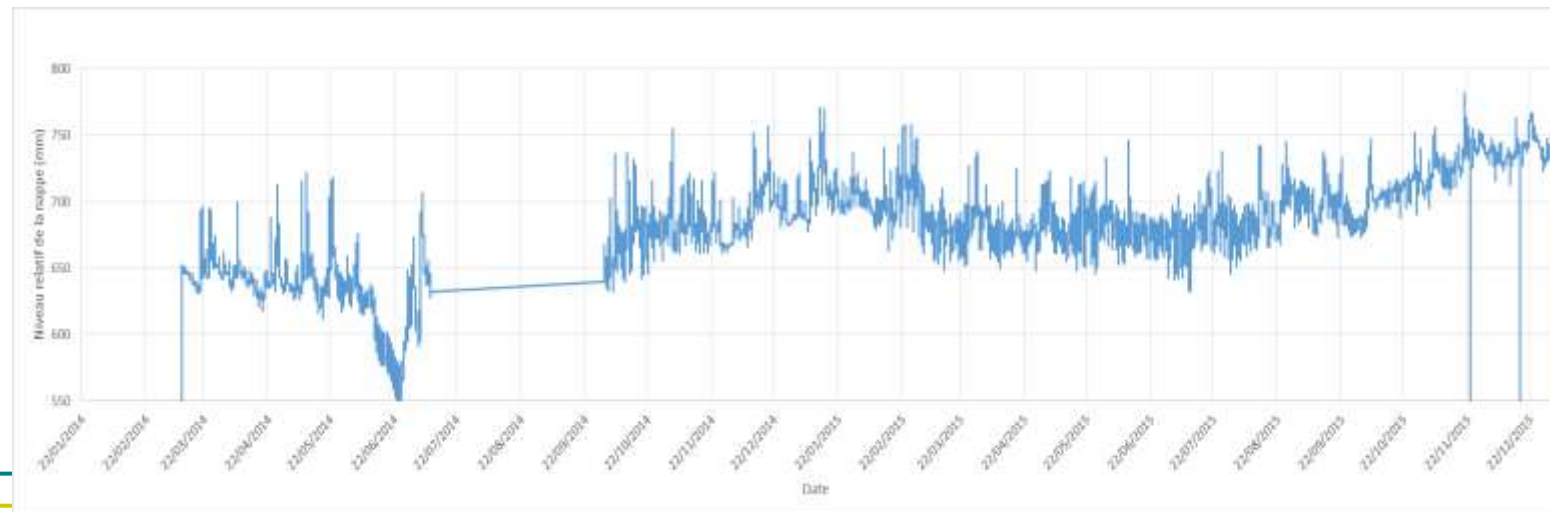
# RÉGULATION QUANTITATIVE DE L'EAU

Relevé

Tous les 15 jours



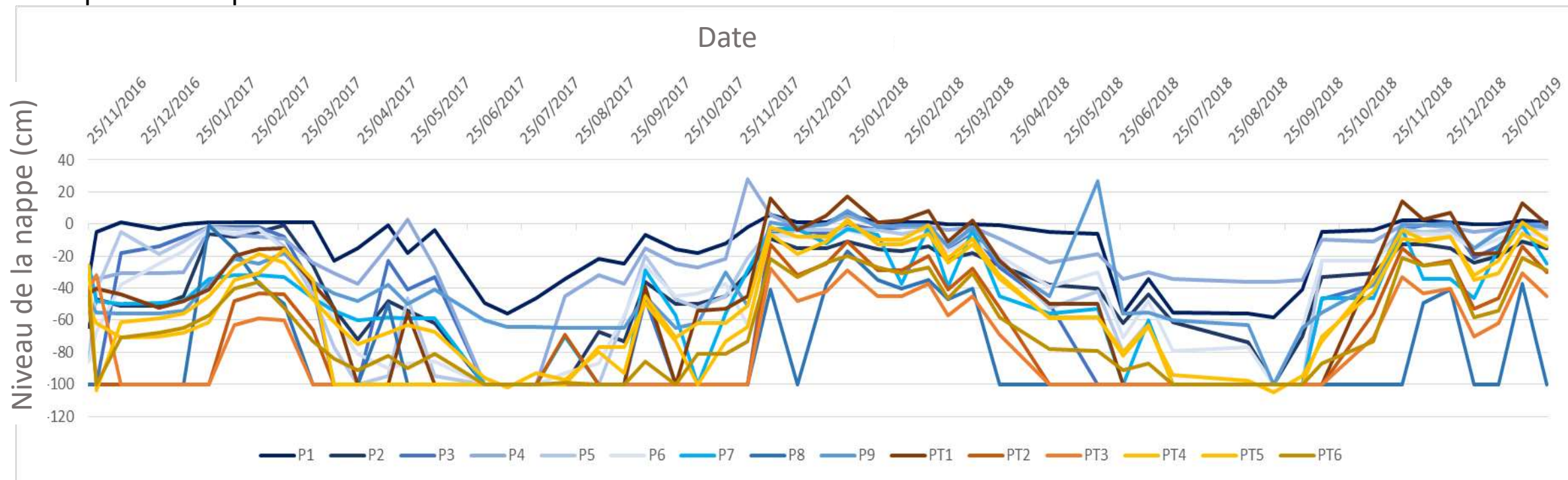
Toutes les 5 min



## Interprétation des données

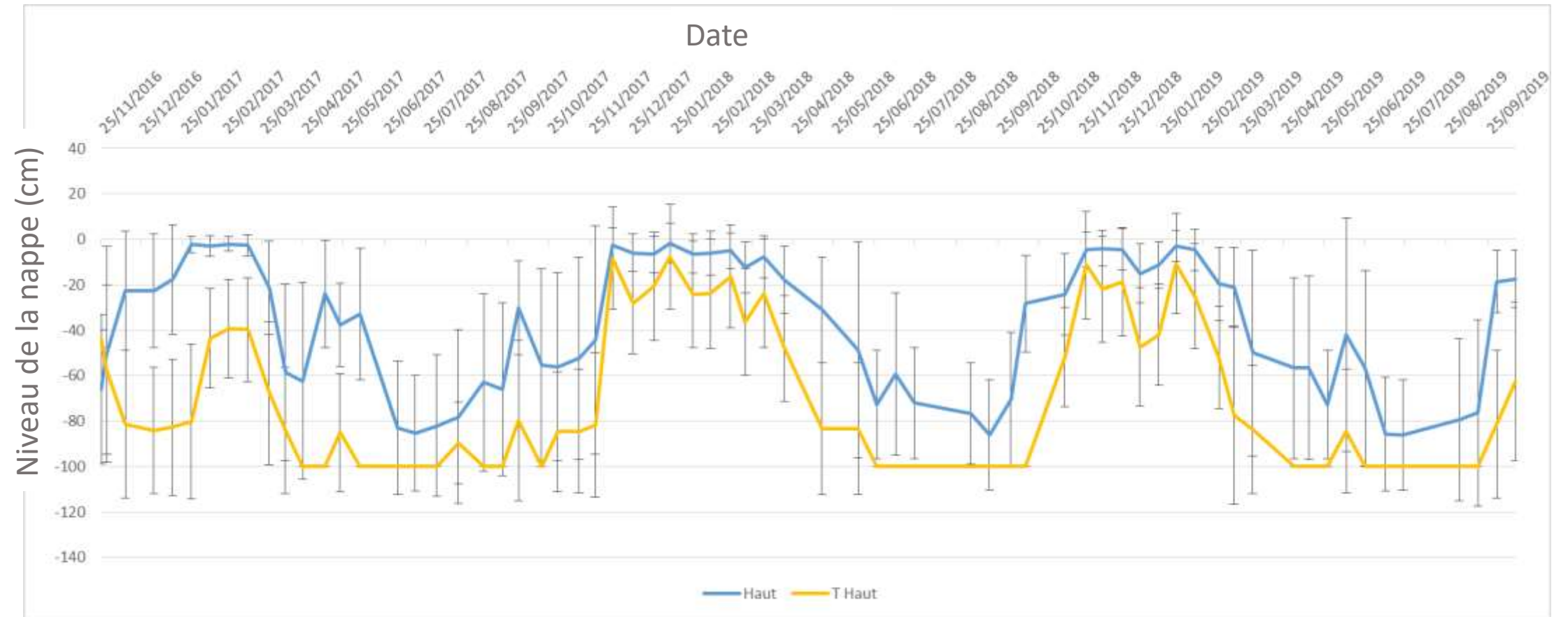
### Exemple de Corroac'h

#### Suivi piézométriques 2016-2019 – Données brutes



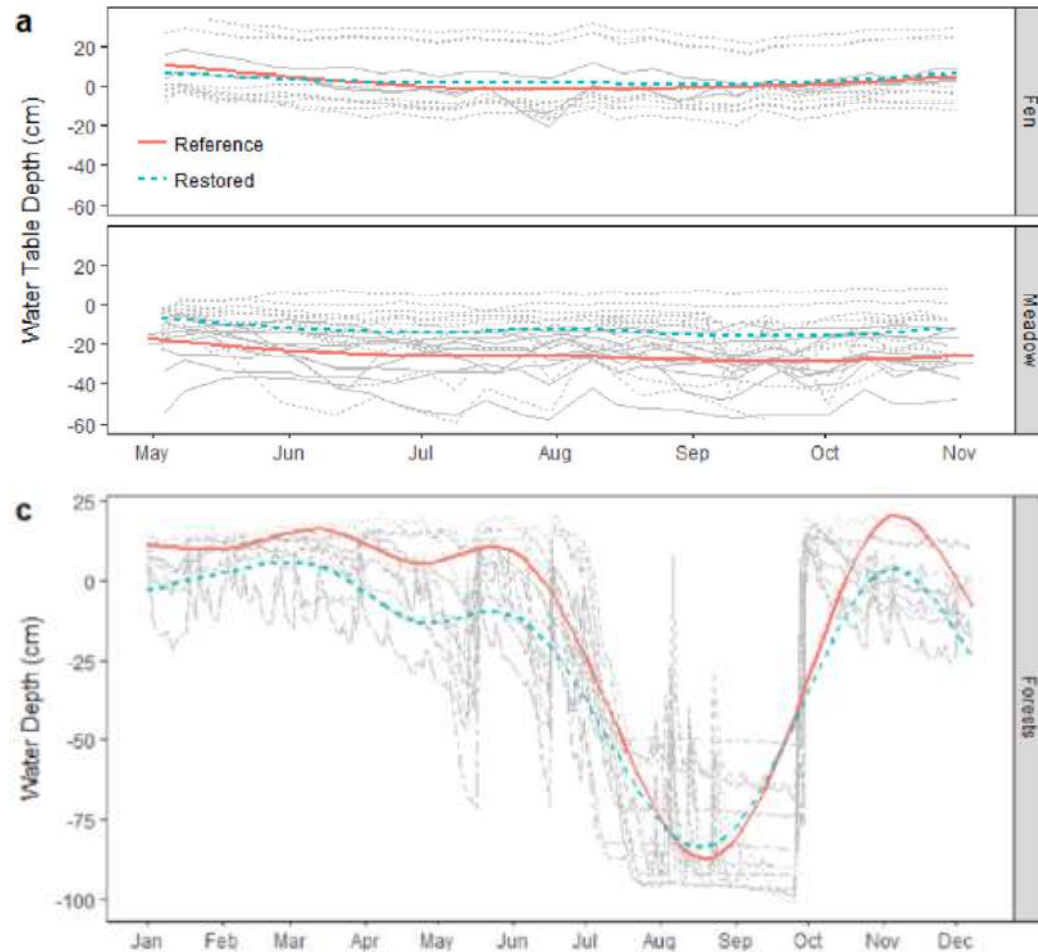


**Moyennes et écart-type** des niveaux des trois piézomètres situés à l'amont sur les sites restauré et témoins





## Moyennes lissées des niveaux d'eau dans les sites de référence et le site restauré



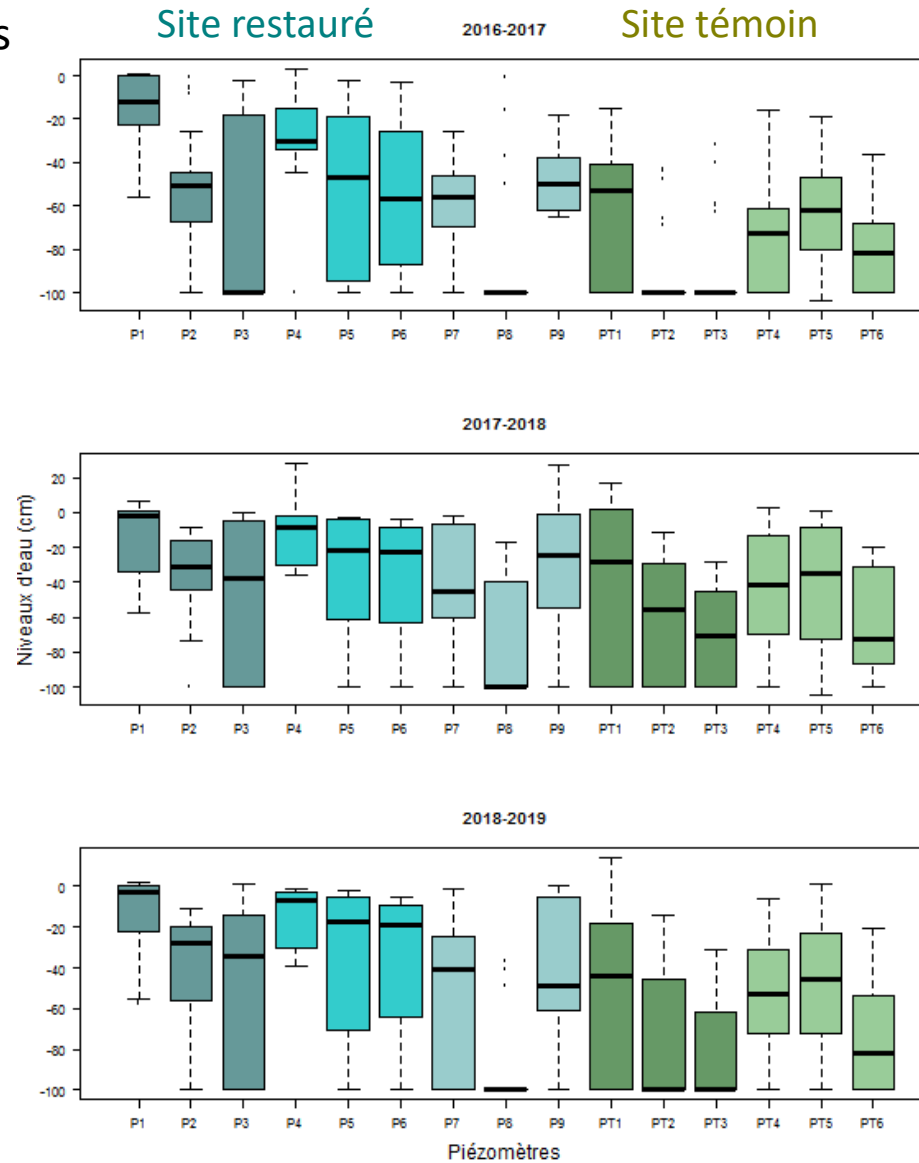
A new approach for hydrologic performance standards in wetland mitigation

Jeremy P. Sueltenfuss\*, David J. Cooper [Journal of Environmental Management 231 \(2019\) 1154–1163](#)

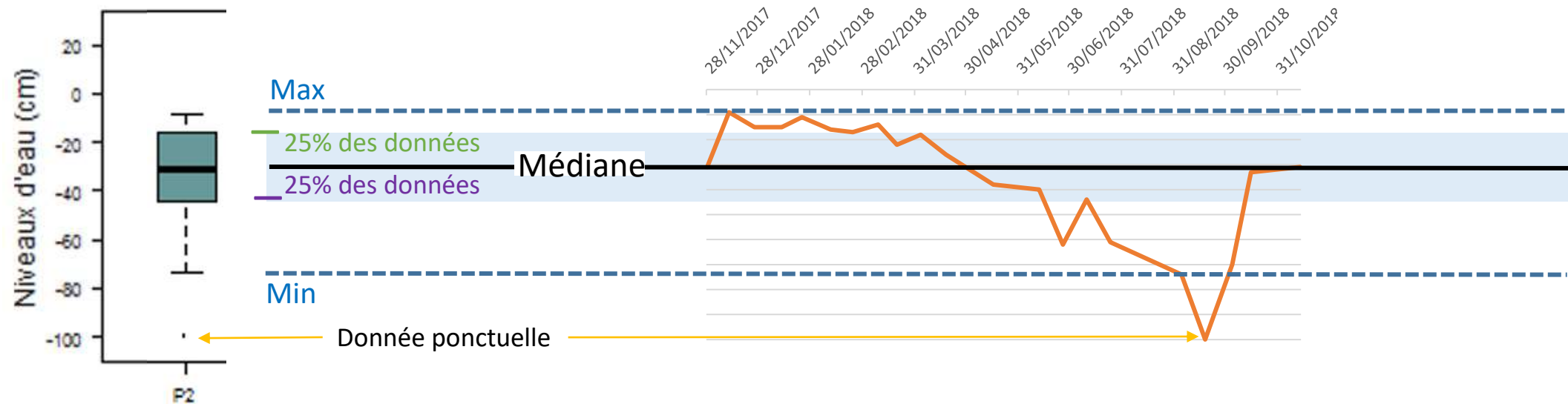
Principe de  
l'indicateur Hydrindic

# DONNÉES PIÉZOMÉTRIQUES

## Les boîtes à moustaches

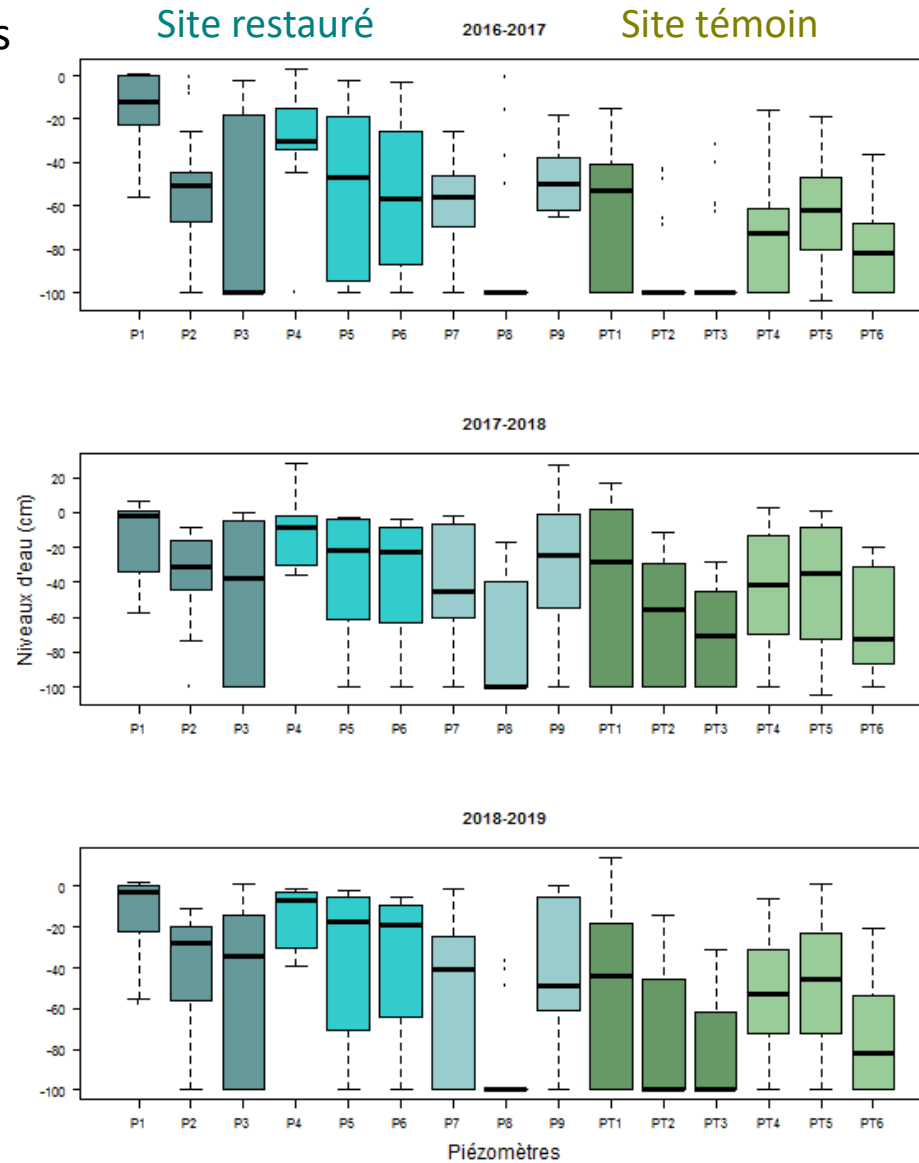


## Interprétation de la boîte à moustache



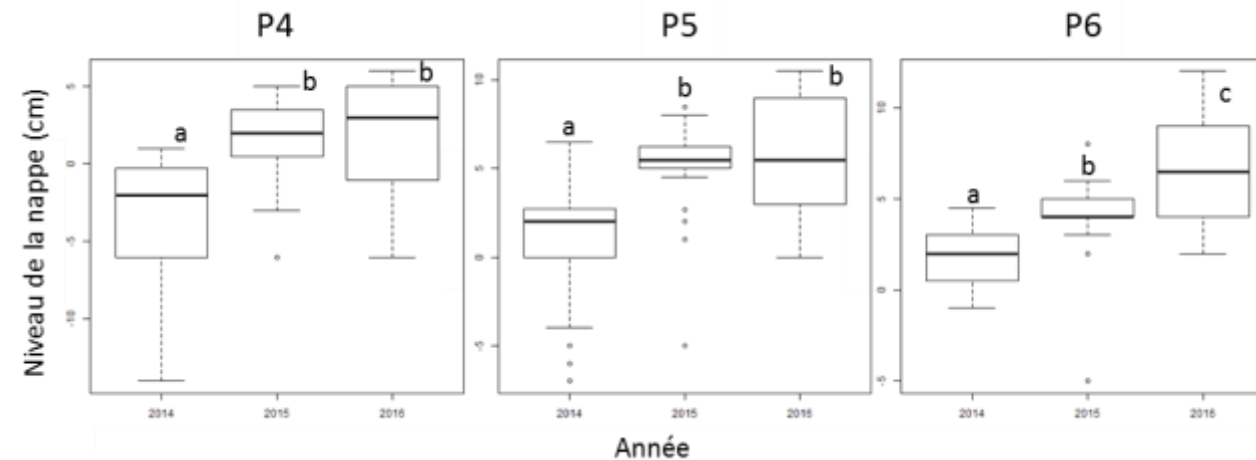
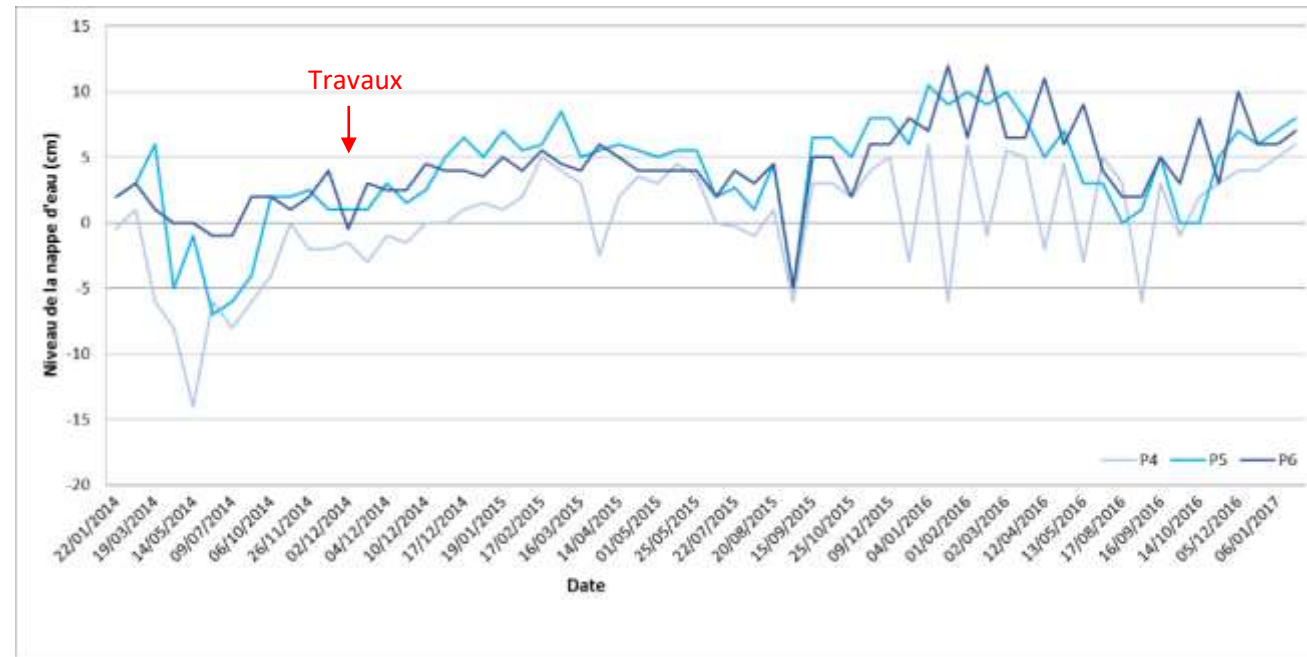
# DONNÉES PIÉZOMÉTRIQUES

## Les boîtes à moustaches



# DONNÉES PIÉZOMÉTRIQUES

Exemple: Roc'h Plat, Hanvec (29)





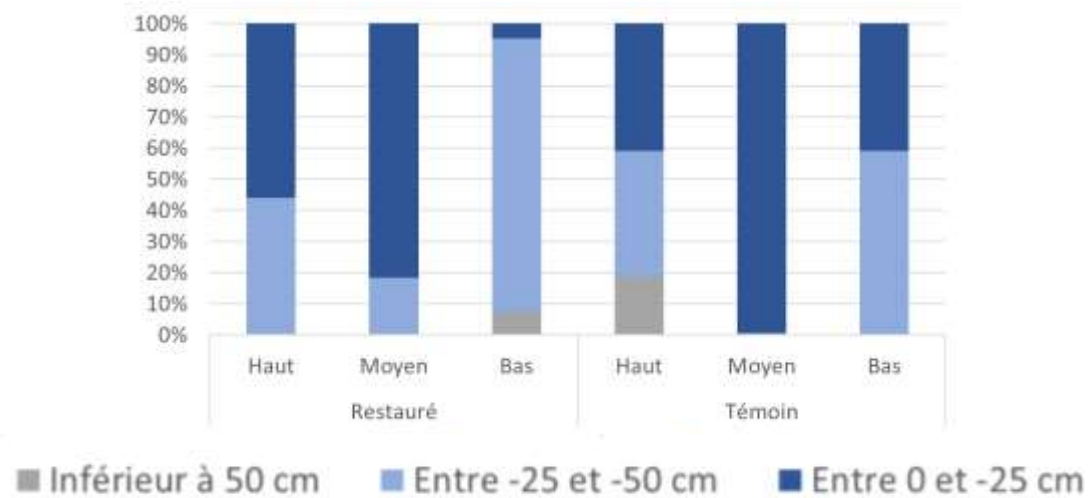
## FRÉQUENCE DE SATURATION DU SOL À – 50 CM

### Fréquence de saturation du sol en surface

- Pégase



- Keravilin



## CAPACITÉ TAMPON

### Comparaison des courbes de récession suite à un évènement pluvieux

- La Haie

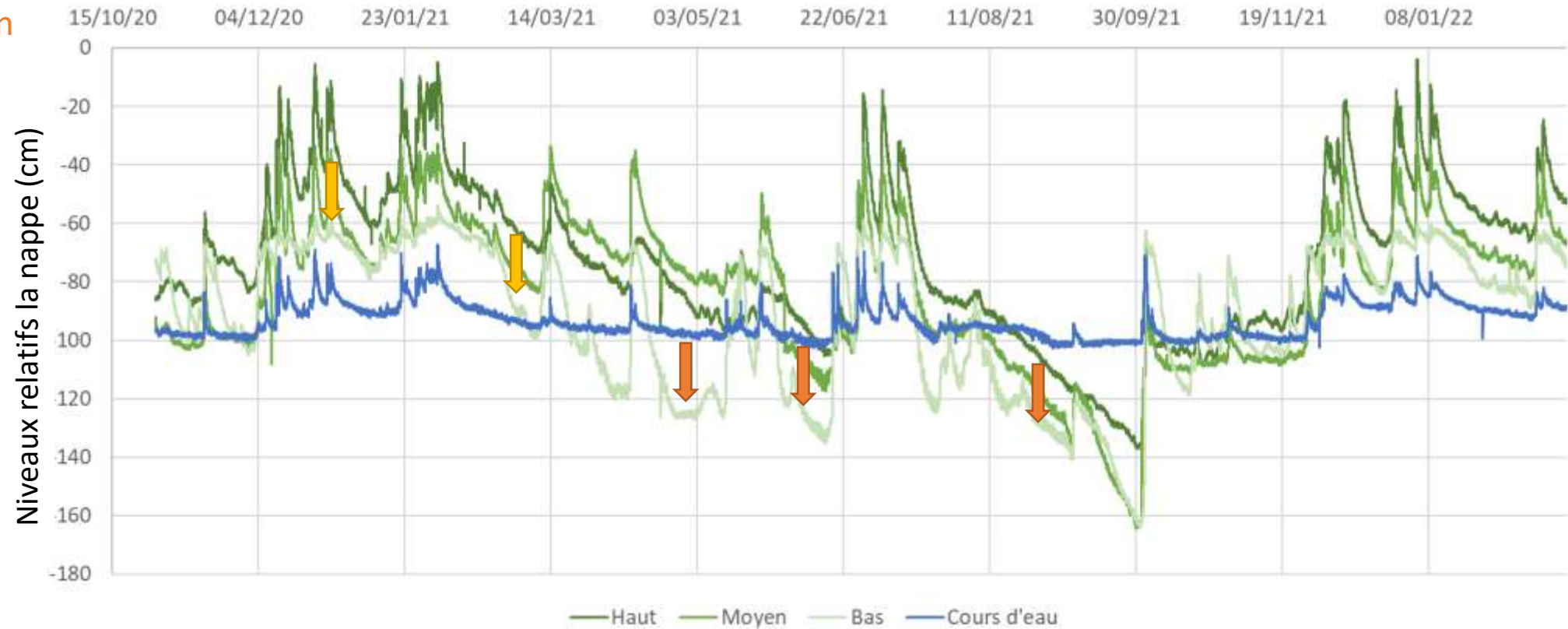


- Bois Orcan

## SOUTIEN DES DÉBITS DU COURS D'EAU

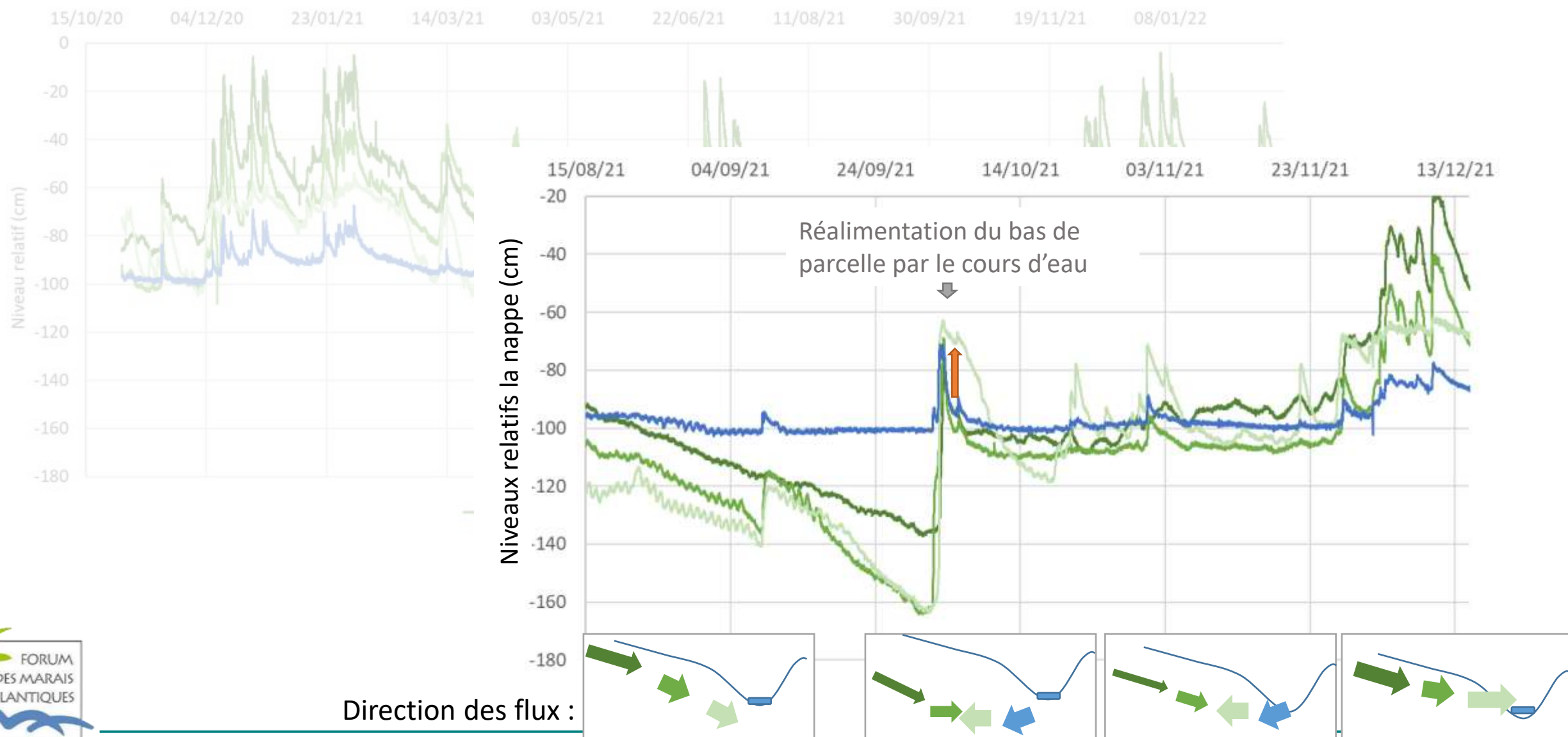
### Analyse des gradients piézométriques + limnimètre

- Bois Orcan



Nappe sous le lit du cours d'eau → ne contribue plus au débit d'étiage du cours d'eau

## SOUTIEN DES DÉBITS DU COURS D'EAU



# DONNÉES PIÉZOMÉTRIQUES - EXPLOITATION

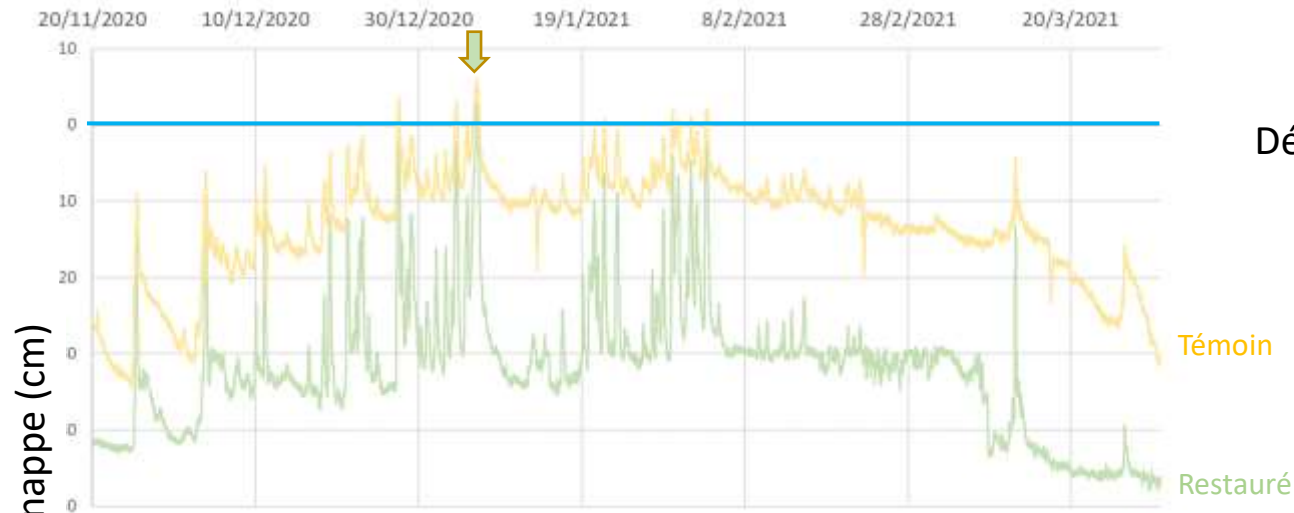
## ECRÊTAGE DES CRUES

Niveau piézométrique au dessus du niveau du sol → inondation du bas de parcelle



A différencier de l'artésianisme

- Keravilin



Débordements ponctuels observés

- Bois Orcan



6 jours d'inondation début 2021  
en bas de parcelle





## Indicateurs de régulation qualitative de l'eau

## BILAN DE NITRATE OU ORTHOPHOSPHATES

- Evolution des teneurs en nitrate et orthophosphates à travers la zone humide

*Objectif:* Connaître la capacité d'autoépuration de la zone humide vis-à-vis des nitrates et des orthophosphates

### Méthode

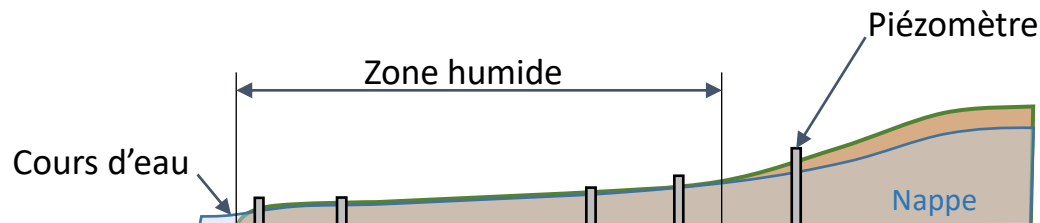
#### Si le site est équipé de piézomètres

Prélèvements d'eau dans les piézomètres (à minima) lors de la remontée du niveau de nappe, en pleine charge et en période de décharge

#### Si le site n'est pas équipé de piézomètres

Prélèvement d'eau dans des trous de tarières dans l'horizon organo-minéral du sol, à la remise en charge et pleine charge de la nappe

△ Ne fonctionne que sur sols relativement perméables



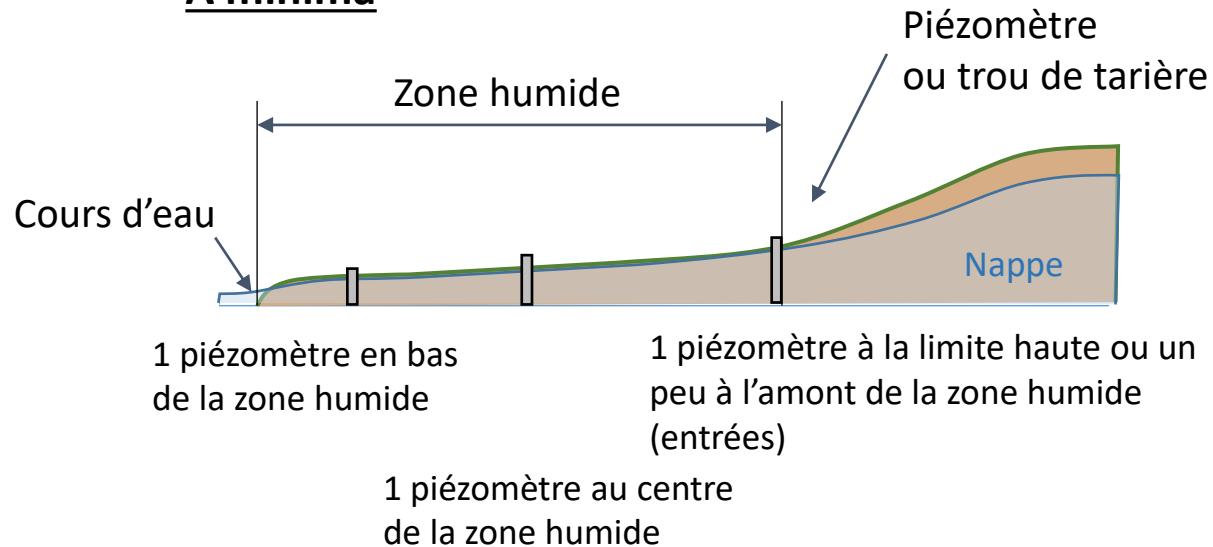
## BILAN DE NITRATE OU ORTHOPHOSPHATES

### Protocole

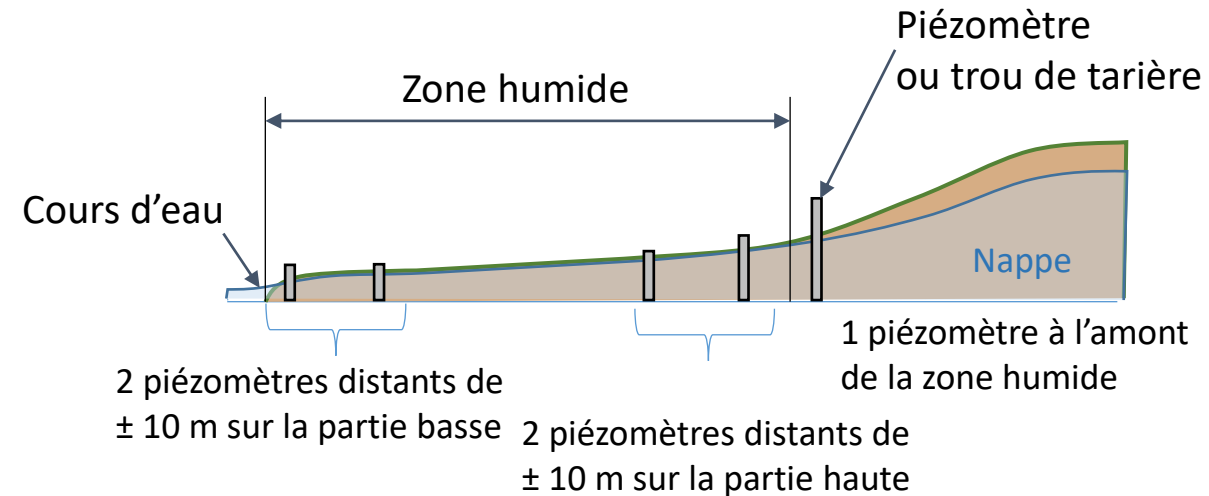
### Emplacement des points de prélèvements

Placer 3 transects de piézomètres (ou trous) dans le sens de la plus grande pente

#### A minima



#### Dans l'idéal

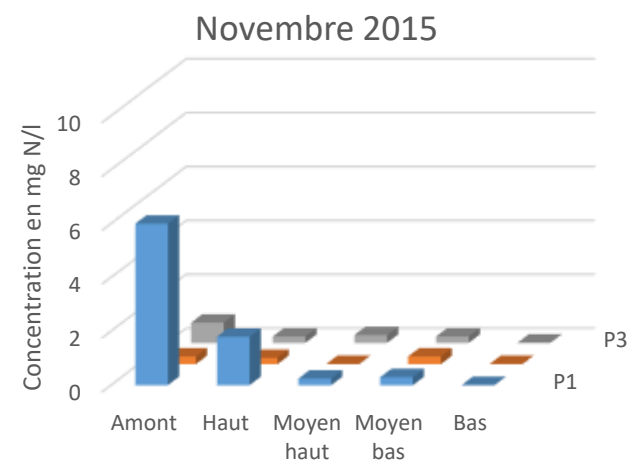
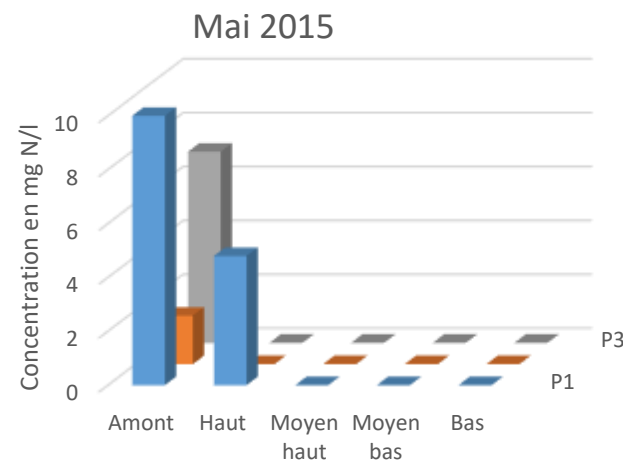
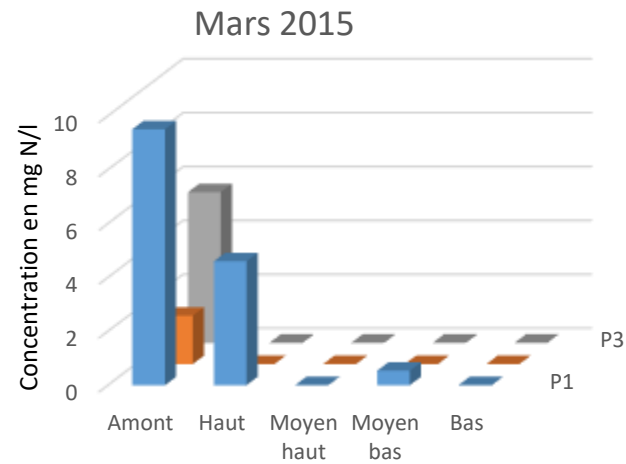


→ 9 échantillons minimum

## BILAN DE NITRATE OU ORTHOPHOSPHATES

### Exemple : Site de Coat Carriou (Saint Evarzec, 29)

Evolution des concentrations en nitrate à travers la zone humide

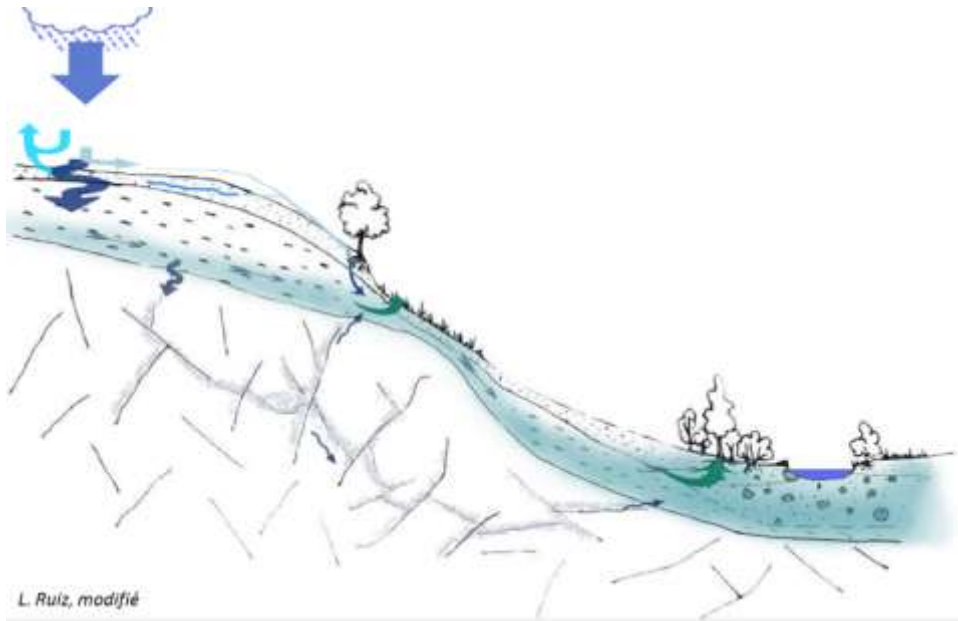


## BILAN DE NITRATE OU ORTHOPHOSPHATES

## Protocole

## Evaluation du bilan de nitrate (et/ou orthophosphates)

- 1) Caractériser le sens de circulation de l'eau en subsurface, en utilisant les niveaux de nappes mesurés dans les piézomètres
- 2) Evaluer les changements de concentrations en nitrate entre piézomètres



- 3) Utiliser les chlorures comme marqueur de dilution (ratio  $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$  constant = dilution)
- 4) Calculer la contribution des processus de dilution à la diminution de la concentration en nitrate entre l'amont et l'aval de la zone humide
- 5) En déduire le bilan de nitrate lié aux processus biogéochimiques.



## POTENTIEL BIOGÉOCHIMIQUE

**Proxys permettant d'évaluer une fonction biogéochimique** ou les conditions générales du sol en regard aux besoins bactérien pour réaliser les processus biogéochimiques

*Objectifs* : Evaluer

- Le potentiel de fuite d'azote minéral
- Le stock de carbone
- Le potentiel de recyclage (dégradation) de la matière organique

**Indicateurs:**

- Taux de matière organique de l'horizon supérieur
- Teneur totale en N, P et C
- Evolution annuelle des teneurs en N minéral du sol (reliquats azotés)



LABOCEA

INRA  
Institut National de la Recherche Agronomique

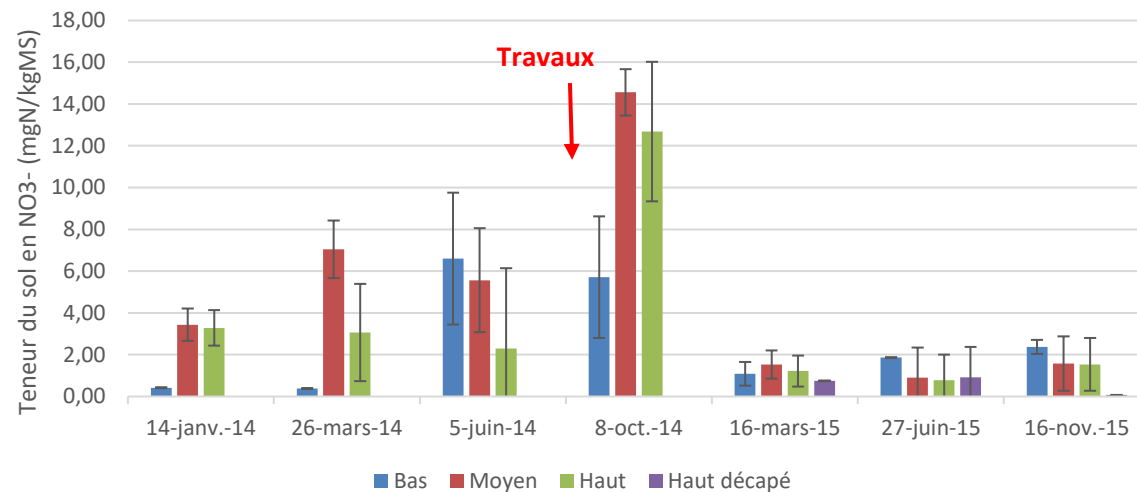
FORUM  
DES MARAIS  
ATLANTIQUES

## POTENTIEL BIOGÉOCHIMIQUE

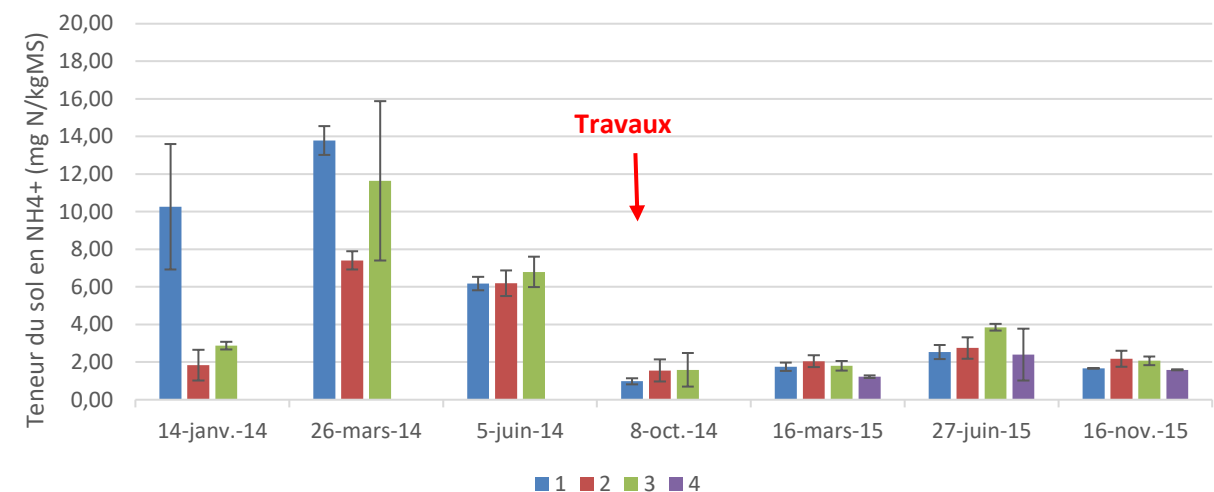
### Exemple:

Evolution annuelle des teneurs en nitrate et ammonium du sol sur le site de Fontaine Margot (Brest)

Evolution du taux de  $\text{NO}_3^-$  extractible dans le sol de FM



Evolution du taux de  $\text{NH}_4^+$  extractible dans le sol du site de FM





## Indicateurs de support de biodiversité



## Indicateurs de support de biodiversité

-

## Végétation

## FLORE ET VÉGÉTATIONS

**Objectif général :** connaître l'évolution spatio-temporelle de la végétation pour déterminer :

- la vitesse de colonisation de la végétation, avec ou sans apports de graines, sur les sites remaniés ;
- la vitesse d'évolution des communautés végétales dans les sites où le sol ne sera pas remanié ;
- le degré de similitude des communautés végétales avec la végétation de sites référence ;
- la distance d'influence des travaux réalisés.

**Méthodes :**

- cartes comparées de la végétation
- transects de végétation (placettes permanentes)





## FLORE ET VÉGÉTATIONS

### Cartes comparées de la végétation

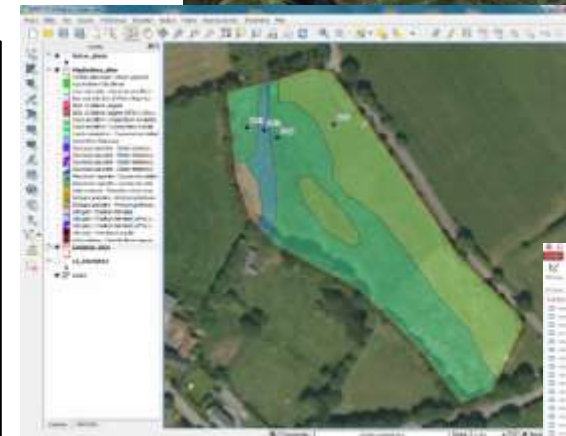
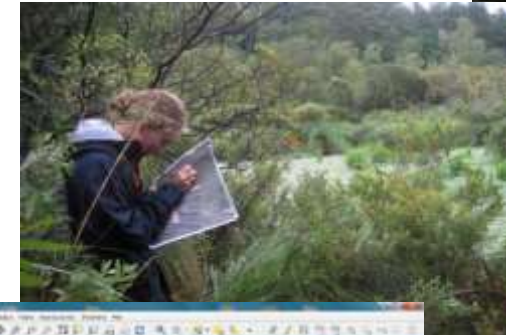
**Objectif :** suivre l'évolution du couvert végétal par comparaison diachronique des cartographies

**Protocole :**

1. Inventaire et typologie des groupements végétaux
2. Recueil des données sur le terrain
3. Numérisation des données
4. Restitution des données

**Fréquence :** avant/après travaux , puis tous les 5 ans minimum

**Facilité de mise en œuvre :** complexe  
(connaissances en botanique, phytosociologie et SIG)







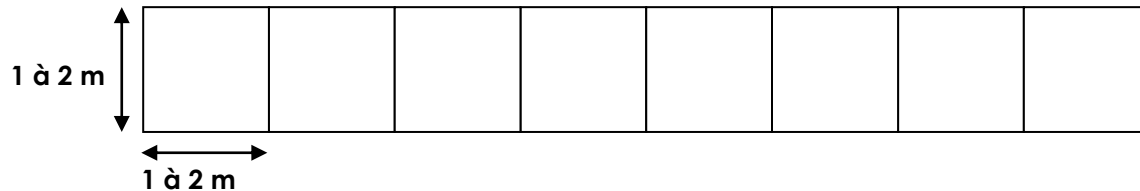
## FLORE ET VÉGÉTATIONS

### Transects de végétation

**Objectif :** suivre l'évolution de la composition floristique de la végétation et de l'occupation spatiale des groupements végétaux par comparaison diachronique des transects

**Protocole : Transect de quadrats continus**

- succession de relevé quantifiés de taxons dans des quadrats de 2 x 2 m le long d'une ligne permanente. Dans chaque carré, les taxons sont recensés et se voient attribuer un recouvrement (en %)
- positionnement dans des zones représentatives du milieu suivi et orienté dans le sens de la plus grande différenciation du milieu : souvent perpendiculairement aux fossés, cours d'eau...
- longueurs variables en fonction de la végétation et de la zone d'influence supposée des travaux



## FLORE ET VÉGÉTATIONS

## Transects de végétation

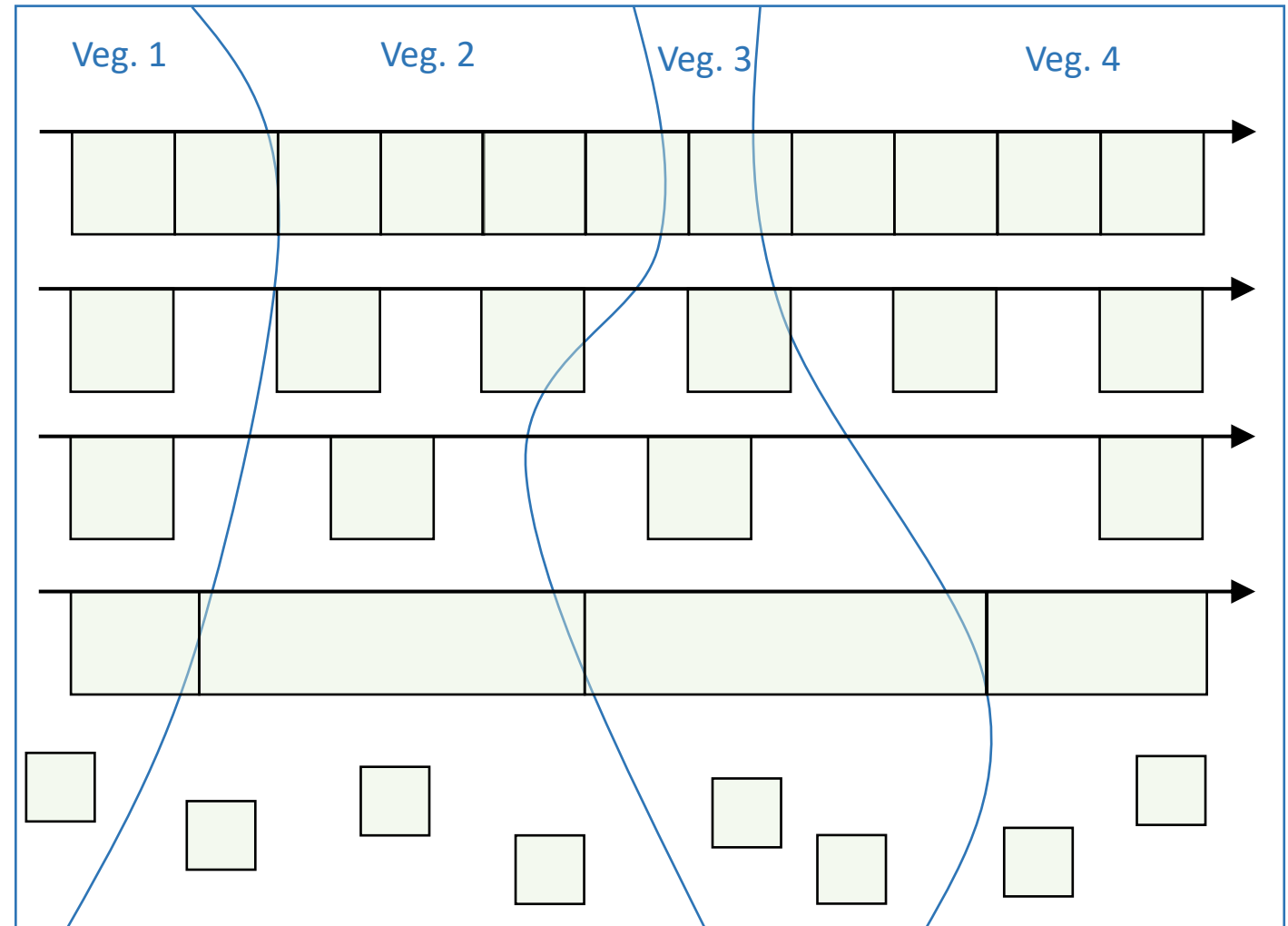
*Variantes du suivi :*

Transects de quadrats continus

Transects de quadrats discontinus  
(intervalle régulier)Transects de quadrats discontinus  
(intervalle selon l'homogénéité)

Transects par segments homogènes

Placettes permanentes



## FLORE ET VÉGÉTATIONS

### Transects de végétation

*Fréquence* : avant/après travaux, puis annuelle pendant quelques années après travaux, tous les 2 à 3 ans ensuite

*Facilité de mise en œuvre* : moyenne (connaissances en botanique)

*Indicateurs et interprétation des données* :

Nombreuses analyses possibles, les indicateurs suivants ont été utilisés dans le cadre du réseau de restauration :

- **Indice de similarité** : analyse comparative permettant d'évaluer la ressemblance de deux listes ( $t_0/t_{+x}$ ) d'espèces en présence-absence

Pour chaque quadrat, la similarité est calculée grâce à l'indice de Jaccard  $SJ_{ij}$

Valeur comprise entre 0 et 1 : plus la valeur est proche de 1, plus la similarité est forte

Indicateur simple permettant d'observer rapidement les éventuels changements dans la composition floristique d'un quadrat entre deux dates → ne permet pas de comprendre la nature des changements

$$SJ_{ij} = \frac{a}{a+b+c}$$

$a$  = nombre d'espèces communes aux relevés  $i$  et  $j$

$b$  = nombre d'espèces présentes seulement dans le relevé  $i$

$c$  = nombre d'espèces présentes seulement dans le relevé  $j$



FLORE ET VÉGÉTATIONS

Transects de végétation

- Indice de similarité : exemple du site de Coat Carriou (transect 1)



| Transect 1      | Ancien fossé |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                 | 1            | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 20bis | 20ter | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   | 30   | 31   | 32   | 33   | 34   | 35   | 36   | 37   |
| 2014-2015 (t+1) | 0.62         | 0.80 | 0.58 | 0.73 | 0.67 | 0.73 | 0.50 | 0.53 | 0.67 | 0.71 | 0.80 | 0.89 | 0.62 | 0.54 | 0.80 | 0.62 | 0.50 | 0.60 | 0.73 | 0.40 |       |       | 0.37 | 0.39 | 0.44 | 0.71 | 0.69 | 0.69 | 0.75 | 0.53 | 0.87 | 0.69 | 0.73 | 0.54 | 0.70 | 0.88 | 0.64 | 0.73 | 1.00 |
| 2014-2016 (t+2) | 0.58         | 0.75 | 0.71 | 0.64 | 0.47 | 0.50 | 0.54 | 0.47 | 0.57 | 0.59 | 0.53 | 0.57 | 0.57 | 0.57 | 0.58 | 0.50 | 0.46 | 0.63 | 0.54 | 0.47 |       |       | 0.45 | 0.41 | 0.50 | 0.63 | 0.67 | 0.63 | 0.64 | 0.73 | 0.88 | 0.64 | 0.71 | 0.41 | 0.47 | 0.88 | 0.50 | 0.42 | 0.89 |
| 2014-2020 (t+6) | 0.19         | 0.21 | 0.17 | 0.21 | 0.38 | 0.41 | 0.43 | 0.37 | 0.32 | 0.53 | 0.33 | 0.33 | 0.44 | 0.38 | 0.40 | 0.47 | 0.46 | 0.56 | 0.44 | 0.35 |       |       | 0.39 | 0.33 | 0.40 | 0.53 | 0.59 | 0.77 | 0.60 | 0.59 | 0.55 | 0.54 | 0.71 | 0.38 | 0.43 | 0.29 | 0.24 | 0.44 | 0.44 |

| Indice de similarité de Jaccard |                       |
|---------------------------------|-----------------------|
| 0 - 0.24                        | Faible similarité     |
| 0.25 - 0.49                     | Similarité moyenne    |
| 0.5 - 0.74                      | Forte similarité      |
| 0.75 - 1                        | Très forte similarité |

## FLORE ET VÉGÉTATIONS

### Transects de végétation

*Indicateurs et interprétation des données :*

**Indicateurs de biodiversité :**

- **Richesse spécifique** : nombre d'espèces présentes dans un quadrat du transect ( $S_i$ ) ou nombre moyen d'espèces à l'échelle du transect ( $S_{moy}$ )

Donne une idée globale de la richesse du milieu

## FLORE ET VÉGÉTATIONS

## Transects de végétation

*Indicateurs et interprétation des données :***Indicateurs de biodiversité :**

- **Richesse spécifique** : nombre d'espèces présentes dans un quadrat du transect ( $S_t$ ) ou nombre moyen d'espèces à l'échelle du transect ( $S_{moy}$ )

Donne une idée globale de la richesse du milieu

- **Diversité spécifique** (Shannon) : diversité spécifique ( $H'$ ) d'un milieu prenant en compte la richesse spécifique et l'abondance relative des espèces au sein d'un quadrat ou du transect

Renseigne sur la structure de la communauté végétale.  $H'$  est d'autant plus petit que le nombre d'espèces est faible et que quelques espèces dominent. Varie habituellement entre 0,5 (diversité faible, dominance d'une ou quelques espèces) et 4,5 (diversité élevée, communauté complexe).

$$H' = - \sum_{j=1}^S \left[ \frac{R_{ij}}{\sum_{j=1}^S R_{ij}} \times \log_2 \left( \frac{R_{ij}}{\sum_{j=1}^S R_{ij}} \right) \right]$$

$R_{ij}$  = recouvrement de l'espèce  $i$  dans le relevé  $j$   
 $S$  = Nombre d'espèces dans le relevé

→ Souvent accompagné de l'indice d'**équitabilité de Pielou** :  $J = H' / H_{\max}$  où  $H_{\max} = \log_2 S$ . Traduit l'écart entre le degré de diversité atteint ( $H'$ ) et un maximum théorique ( $H_{\max}$ ). Varie entre 0 lorsqu'une seule espèce domine la communauté et 1 lorsque toutes les espèces ont une abondance identique.

## FLORE ET VÉGÉTATIONS

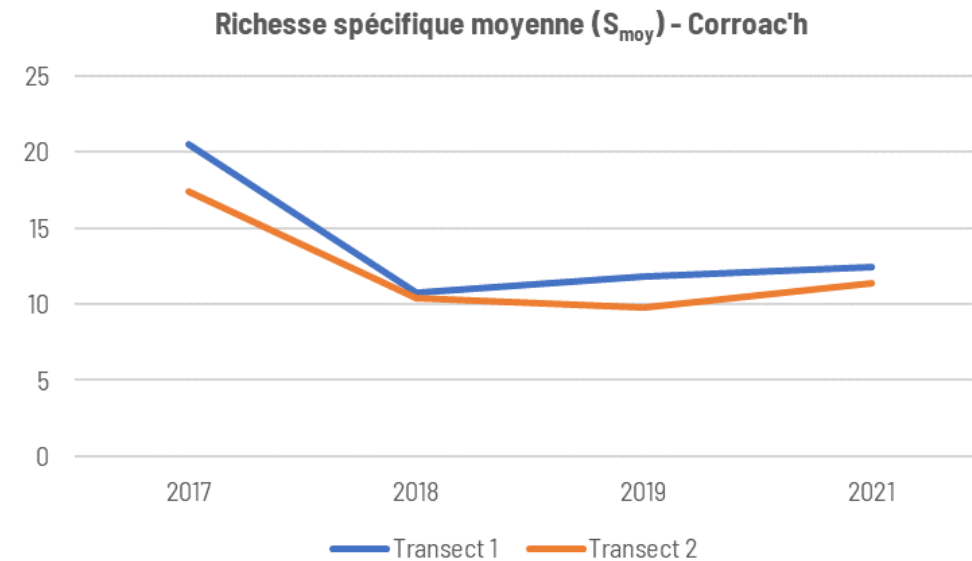
## Transects de végétation

*Indicateurs et interprétation des données :*

**Indicateurs de biodiversité :** exemple du site de Corroac'h



|            | <b>S<sub>moy</sub> - Corroac'h</b> |             |             |             |
|------------|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|            | <b>2017</b>                        | <b>2018</b> | <b>2019</b> | <b>2021</b> |
| Transect 1 | 20.5                               | 10.8        | 11.9        | 12.4        |
| Transect 2 | 17.4                               | 10.4        | 9.8         | 11.4        |



## FLORE ET VÉGÉTATIONS

## Transects de végétation

*Indicateurs et interprétation des données :*

**Indicateurs écologiques :**

- **Contribution spécifique de groupes socio-écologiques d'espèces :** permet d'évaluer la proportion d'espèces d'un relevé ou d'un ensemble de relevés par habitat préférentiel et d'observer leur évolution lors d'un suivi dans le temps

Calcul : contribution spécifique  $CS_i$  de chaque taxon dans le transect qui est le rapport (en %) entre la fréquence  $FSC_i$  d'un taxon  $i$  et la somme des fréquences de tous les taxons du quadrat. Evalue, de façon quantitative, l'importance relative de chaque espèce dans les transects

$$CS_i\% = \frac{FSC_i \times 100}{\sum FSC_i} \quad \text{où } FSC_i = \frac{n_i}{N}$$

$n_i$  = nombre de quadrats du transect où le taxon a été noté

$N$  = nombre de quadrats du transect

Possibilité d'observer l'évolution d'ensembles d'espèces cibles en regroupant les espèces par affinités d'exigences écologiques (= groupes socio-écologiques)



## FLORE ET VÉGÉTATIONS

## Transects de végétation

*Indicateurs et interprétation des données :***Indicateurs écologiques :**

- **Recouvrements moyens de groupes socio-écologiques d'espèces** : en procédant de la même manière avec le recouvrement, il est possible d'évaluer le recouvrement moyen de chaque espèce ou groupe socio-écologique d'espèces dans les transects
- **Spectre écologique (humidité édaphique)** : la définition du spectre écologique d'un relevé est basée sur les valeurs indicatrices de chaque espèce qui quantifient leur exigence pour certains facteurs écologiques dont l'humidité édaphique

Plusieurs référentiels utilisables en Bretagne : **Baseflor** pour la France (Julve, 2022) et **Plantatt** pour le Royaume-Uni (Hill *et al.*, 2004)

Valeurs indicatrices pour l'humidité édaphique :

1 : hyperxérophiles

2 : perxérophiles

3 : xérophiles

4 : mésoxérophiles

5 : mésohydriques

6 : mésohygrophiles

7 : hygrophiles (durée d'inondation en quelques semaines)

8 : hydrophiles (durée d'inondation en plusieurs mois)

9 : amphibies saisonnières (hélrophytes exondés une partie minoritaire de l'année)

10 : amphibies permanentes (hélrophytes semi-émergés à base toujours noyée)

11 : aquatiques superficielles (0-50 cm) ou flottantes

12 : aquatiques profondes (1-3 m) ou intra-aquatiques

$$R_{\text{moy}} \% = \frac{\sum R_i}{N}$$

$R_i$  = recouvrement du taxon dans le quadrat

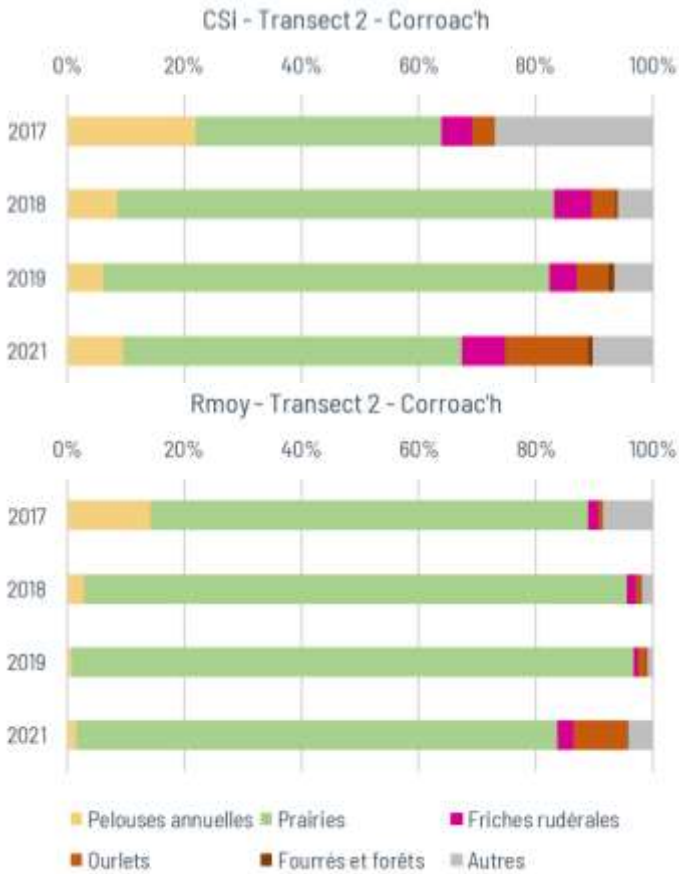
$N$  = nombre de quadrats du transect

FLORE ET VÉGÉTATIONS

Transects de végétation

Indicateurs et interprétation des données :

Indicateurs écologiques : exemple du site de Corroac’h (transect 2)



Plantes annuelles pionnières

Prairiales généralistes  
Prairiales hygrophiles

Prairiales hydrophiles

Ray-grass semé

|                                 |                                                  | Transect 2 - Corroac'h      |      |       |      |                        |      |      |      |
|---------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|------|-------|------|------------------------|------|------|------|
|                                 |                                                  | Contribution spécifique (%) |      |       |      | Recouvrement moyen (%) |      |      |      |
| Groupes socio-écologiques (GSE) |                                                  | 2017                        | 2018 | 2019  | 2021 | 2017                   | 2018 | 2019 | 2021 |
| Pelouses annuelles              | Pelouses annuelles mésophiles surpiétinées       | 5.5                         | 0.2  | -     | 1    | 1                      | 0.02 | -    | -    |
|                                 | Pelouses annuelles hygrophiles                   | 5.9                         | 1.5  | 0.2   | 0.5  | 8.1                    | 0.8  | 0.02 | 0.02 |
|                                 | Annuelles commensales des cultures               | 10.6                        | 6.8  | 6     | 8    | 4.7                    | 2.1  | 0.8  | 1.5  |
| Prairies                        | Prairies (espèces généralistes)                  | 15                          | 27.7 | 27.7  | 18.1 | 7                      | 26.8 | 36.4 | 31.8 |
|                                 | Prairies hygrophiles mésotrophiles à eutrophiles | 10.7                        | 22.7 | 29.8  | 29.5 | 4.7                    | 26   | 31.2 | 46.8 |
|                                 | Prairies hygrophiles tourbeuses acidiphiles      | 5.2                         | 9.8  | 12.33 | 5.5  | 1                      | 9    | 25.8 | 3.2  |
|                                 | Prairies hygrophiles longuement inondables       | 7.8                         | 9.2  | 1.6   | 2.2  | 23.1                   | 11.9 | 0.2  | 0.5  |
|                                 | Prairies mésophiles                              | 0.1                         | 0.4  | 0.9   | 2    | 0.02                   | 0.4  | 0.5  | 1.9  |
| Friches rudérales               | Prairies temporaires (semées)                    | 2.9                         | 4.8  | 3.7   | 0.5  | 36.3                   | 17   | 6.3  | 0.1  |
|                                 | Friches annuelles nitrophiles                    | 2                           | 0.7  | -     | 1    | 1                      | 0.2  | -    | 0.05 |
|                                 | Friches vivaces nitrophiles                      | 3.3                         | 5.9  | 4.7   | 6.3  | 0.7                    | 1.3  | 0.7  | 2.7  |
| Ourlets                         | Ourlets vivaces eutrophiles                      | 0.5                         | 0.4  | 0.2   | 1.5  | 0.1                    | 0.1  | 0.2  | 0.6  |
|                                 | Mégaphorbaies                                    | 3.5                         | 3.5  | 4.7   | 11.1 | 0.7                    | 0.7  | 1.3  | 8.3  |
|                                 | Roselières et grandes cariçaies                  | -                           | -    | 0.5   | 1.5  | -                      | -    | 0.1  | 0.5  |
| Fourrés et forêts               | Arbres et arbustes                               | -                           | 0.4  | 0.9   | 0.9  | -                      | 0.1  | 0.1  | 0.02 |
| Autres                          | Végétations basses des sources et suintements    | 9                           | 2    | 3     | 2.2  | 2.0                    | 0.2  | 0.3  | 0.5  |
|                                 | Autres                                           | 17.9                        | 4.1  | 3.7   | 8    | 6.4                    | 1.8  | 0.8  | 4.0  |

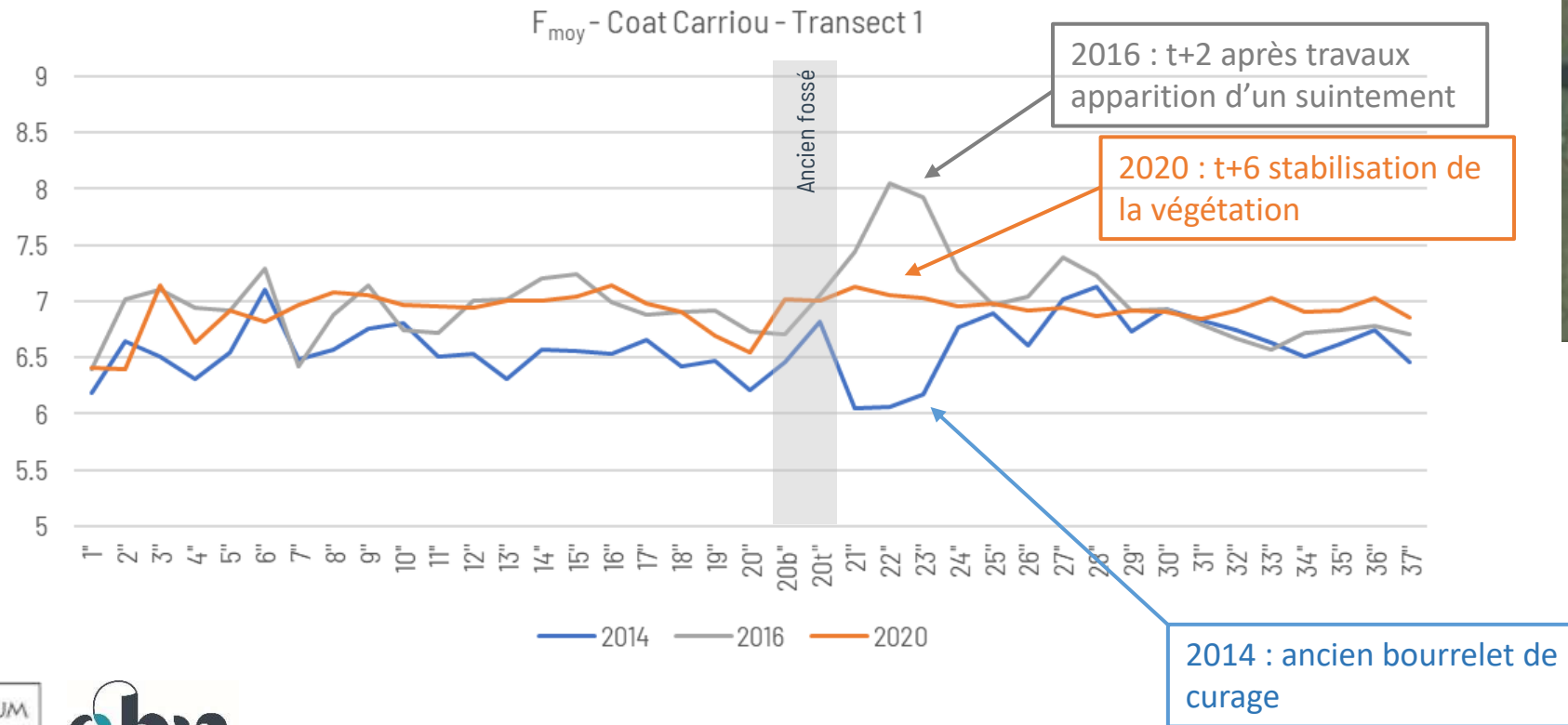
tendance d'évolution depuis 2017 : en orange = < - 5 %, entre - 6 et - 10 % = rouge, < + 5 % = vert clair, entre + 6 % et + 10 % = vert foncé)

## FLORE ET VÉGÉTATIONS

## Transects de végétation

*Indicateurs et interprétation des données :*

**Indicateurs écologiques :** exemple du site de Coat Carriou (transect 1)



| $F_{\text{moy}}$ - Coat Carriou |      |      |      |
|---------------------------------|------|------|------|
|                                 | 2014 | 2016 | 2020 |
| Transect 1                      | 6.58 | 6.98 | 6.92 |

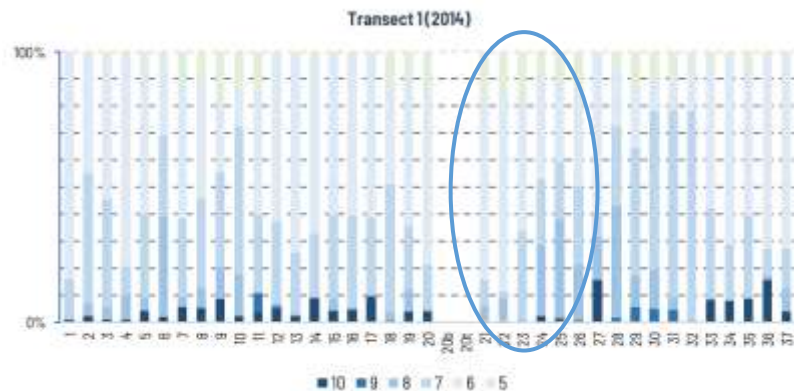
## FLORE ET VÉGÉTATIONS

## Transects de végétation

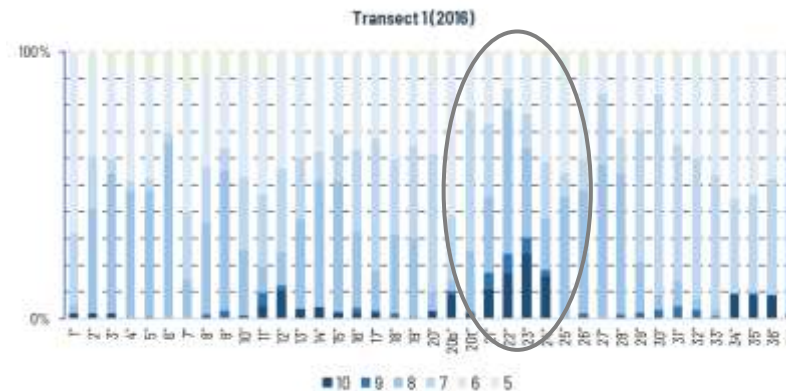
*Indicateurs et interprétation des données :*

**Indicateurs écologiques :** exemple du site de Coat Carriou (transect 1)

2014 : ancien bourrelet de curage



2016 : t+2 après travaux  
apparition d'un suintement



2020 : t+6 stabilisation de  
la végétation





## Indicateurs de support de biodiversité

-

### Faune



## MACROFAUNE DU SOL



### Peuplements de carabes et d'araignées

*Objectif:* Evaluation de la stabilité du milieu

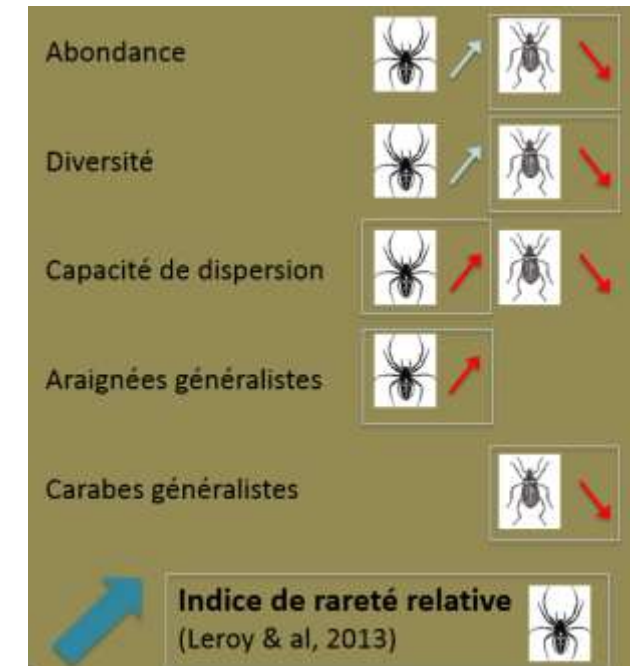
*Méthode:* Suivi quantitatif par piégeage des peuplements de carabes et araignées

- Piégeage au pièges Barber
- Evaluation des modifications des peuplements en termes d'espèces et de traits fonctionnels



Rq: les carabes et araignées sont sensibles aux conditions micro-stationnelles

Les araignées répondent particulièrement bien aux modifications des conditions d'humidité



## MACROFAUNE DU SOL



### Exemple Fontaine Margot (Brest)

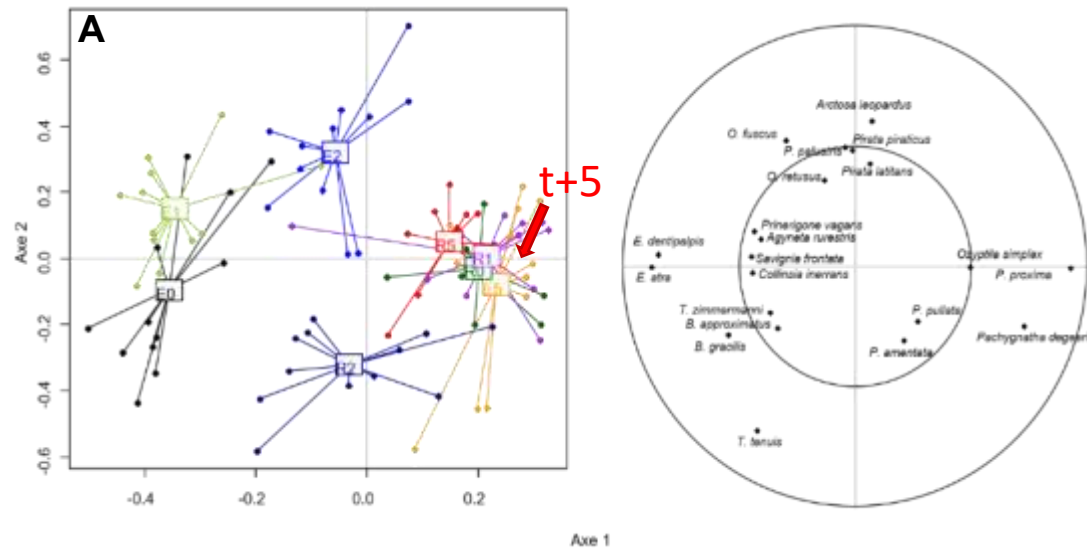
Suppression de remblai, suppression de fossé de drainage et conversion d'une culture en prairie  
+ essais de semis





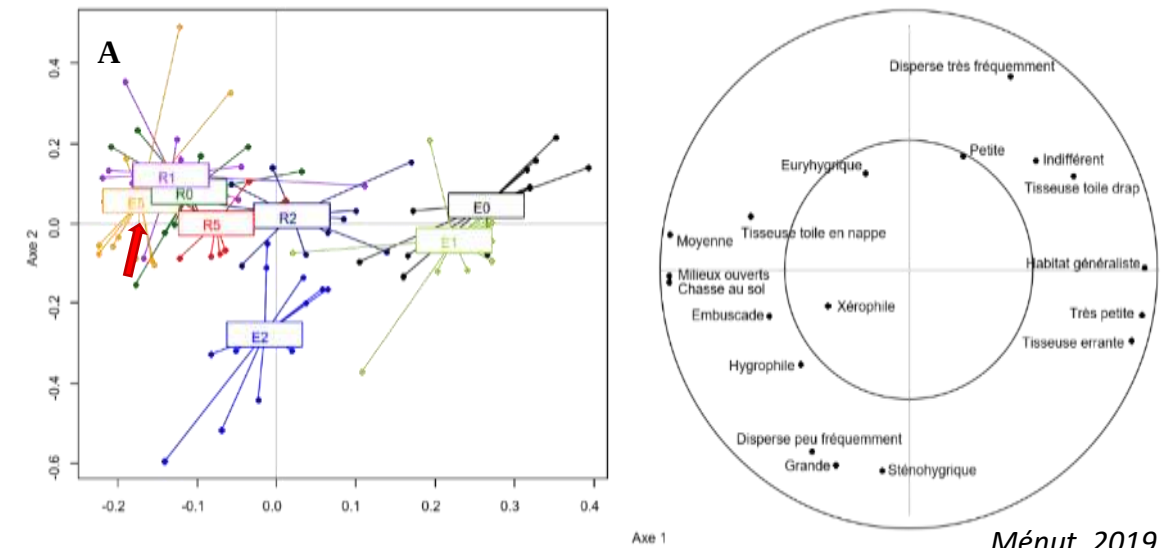
### Exemple Fontaine Margot (Brest)

Ordination de la **composition spécifique** des communautés d'araignées en fonction de l'année (ACP)



Après 5 ans: Dominance de Lycosidae (majoritairement *Pardosa proxima*) et faible densité de Linyphiidae

Ordination de la **composition fonctionnelle** des communautés d'araignées en fonction de l'année (ACP)



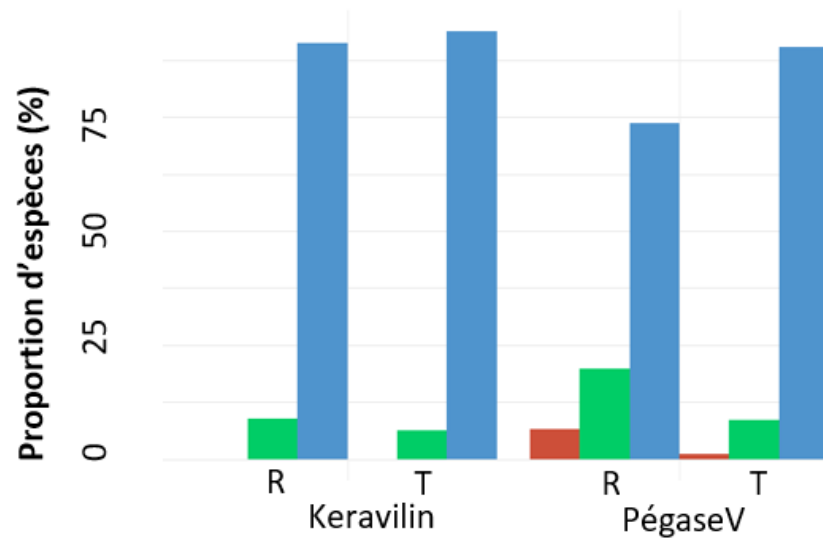
Dominance d'hygrophiles

Ménut, 2019

→ Montre une forte similarité spécifique et fonctionnelle entre les site restaurés et témoins 5 ans après travaux

## HYGROPHILIE DES ESPÈCES

Comparaison du pourcentage d'espèces hygrophile avec un site témoin ou son évolution dans le temps



R: Site restauré  
T: Site témoin

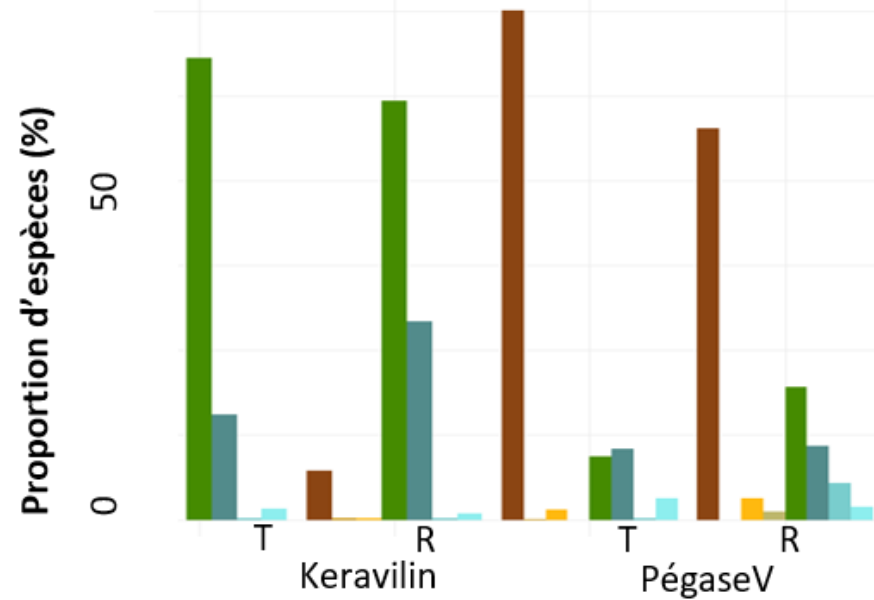
**Catégorie 1** : espèces inféodées aux **milieux secs**

**Catégorie 2** : espèces n'ayant **pas de préférence** pour le milieu

**Catégorie 3** : espèces inféodées aux **milieux humides**

## INTÉGRITÉ STRUCTURELLE DU PEUPLEMENT — GUILDES DE CHASSE- **ARAIGNÉES**

Postulat : Dans un milieu stable, l'ensemble des guildes de chasses est représenté



**Chasseuse au sol**

**Chasseuse dans la végétation**

**Chasse en embuscade**

**Poursuiveuse**

**Tisseuse errante**

**Tisseuse toile drap**

**Tisseuse toile espace**

**Tisseuse toile orbitale**



## DIVERSITÉ DE DIFFÉRENTS GROUPES FAUNISTIQUES

**Descripteurs:**

-  Amphibiens → cf fiche LigerO
-  Lépidoptères
-  Orthoptères → cf fiche RhoMeO
-  Odonates → cf fiche LigerO

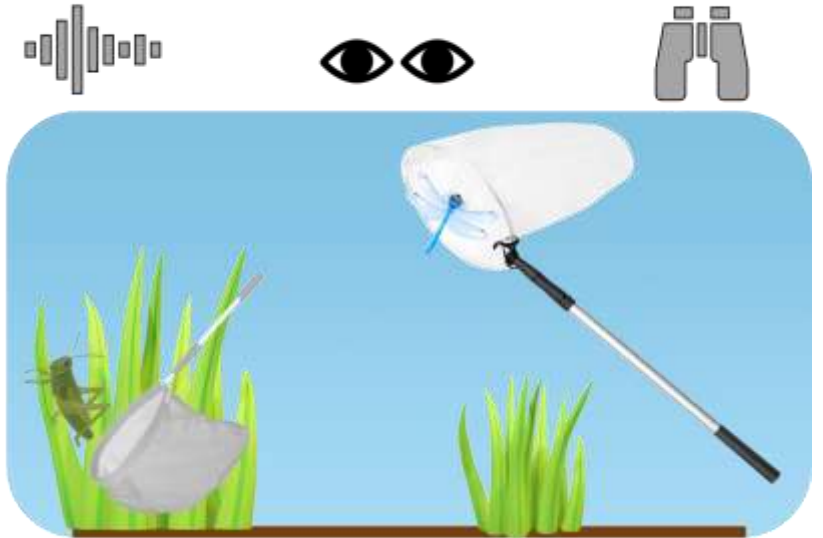
**Objectif:** Avoir une idée globale de la diversité d'un site

**Méthode:** Inventaires qualitatifs → Présence-Absence des espèces avant et après travaux

### Interprétation:

- Analyse du niveau d'inféodation aux zones humides
- Recherche d'espèces indicatrices de modifications du milieu

RhoMéo - LigerO



## DIVERSITÉ DE DIFFÉRENTS GROUPES FAUNISTIQUES

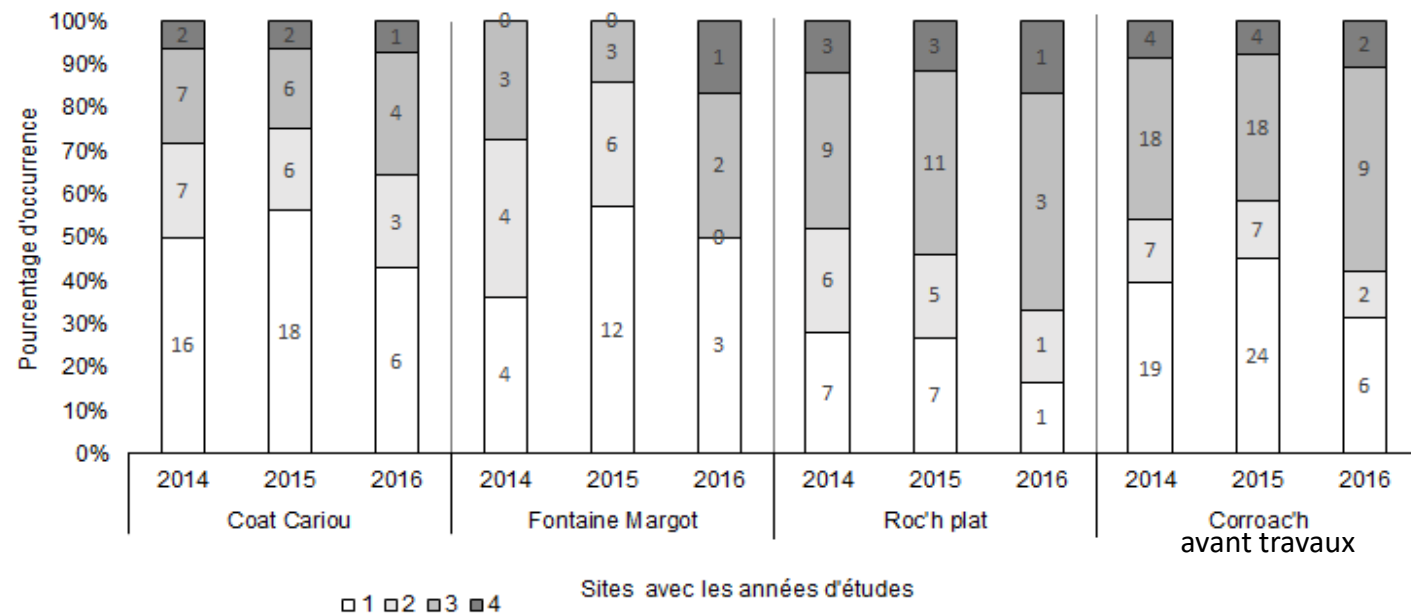
### Evolution du niveau d'inféodation

Traduction des listes d'espèces en présence absence en niveau d'inféodation aux zones humides

Niveaux d'inféodation des espèces aux zones humides, basé sur la littérature (atlas, site INPN...)

- 1 - espèces très généralistes
- 2 - espèces avec un faible niveau d'inféodation
- 3 - généralistes exclusifs de milieux humide,
- 4 - espèces spécialistes d'un type particulier de zone humide

Exemple de l'évolution du niveau d'inféodation des espèces rencontrées sur les sites du RERZH avant (2014) et 2 ans après travaux



## DIVERSITÉ DE DIFFÉRENTS GROUPES FAUNISTIQUES

### Indicateurs d'humidité du milieu

Utilisation du degré d'hygrophilie des espèces pour déterminer l'évolution de l'humidité du milieu

**I09** INDICATEUR

FICHES LIÉES **P05** **A09**



**HUMIDITE DU MILIEU - ORTHOPTERES**

|                                                                              |                                                                                                                                         |                                                                                                             |                       |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Domaine d'application</b><br>1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8;<br>9; 10; 11; 12; 13 | <b>Fonction / pression</b><br>toutes les fonctions<br> | <b>Compétences :</b><br> | <b>Coût :</b><br>€/€€ |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|

**Description et principes de l'indicateur**

L'indicateur définit un degré d'humidité moyen de la zone humide (humidité stationnelle) au niveau du sol et de la strate herbacée, à partir des peuplements d'orthoptères (criquets, sauterelles et grillons) observés par rapport à une liste d'espèces potentielles.

L'indicateur est un pourcentage correspondant au ratio entre une note obtenue en additionnant les valeurs indicatrices d'hygrophilie de chaque espèce observée (quatre classes de valeur : 0, 1, 3, 5

correspondant à la région biogéographique concernée) et celle des espèces potentielles (cf. tableau de référence des espèces potentielles pour chaque type de zone humide et pour chaque unité biogéographique).

Il est à noter que cet indicateur reflète également d'autres fonctionnalités écologiques des zones humides car la présence des orthoptères est conditionnée aux fluctuations des niveaux d'eau ou au rapport surface / isolement de l'habitat.

## DIVERSITÉ DE DIFFÉRENTS GROUPES FAUNISTIQUES

### Indice d'intégrité de peuplement

Utilisé par Rhoméo et LigerO pour Odonates et Batraciens

Consiste à comparer les espèces présentes sur les site restauré avec des communautés types du milieu considéré

**A10** ANALYSE & INTERPRÉTATION

FICHES LIÉES **P06** **I10**

  **INTEGRITÉ DU PEUPLEMENT D'ODONATES**



**Description et principes du protocole**

Un inventaire des odonates selon une pression d'échantillonnage calibrée, évaluée et reproductible a été conduit durant la phase terrain. L'indicateur est construit en comparant cet inventaire à une liste d'espèces attendues sur la zone humide en fonction des habitats

odonatologiques qu'elle contient et de sa situation biogéographique. La proportion d'espèces au rendez-vous constitue l'expression numérique de l'intégrité du peuplement d'odonates.



## DENSITÉ DE PRÉSENCE DE MICROMAMMIFÈRES SEMI-AQUATIQUES

### Traces de présence du Campagnol amphibie

**Objectif:** Evaluer l'impact potentiellement négatif des travaux

**Méthode:** Relevés des traces de présence

#### Valorisation:

- Cartographie des traces de présence des espèces sur le site
- Densité de traces de présence le long de transects



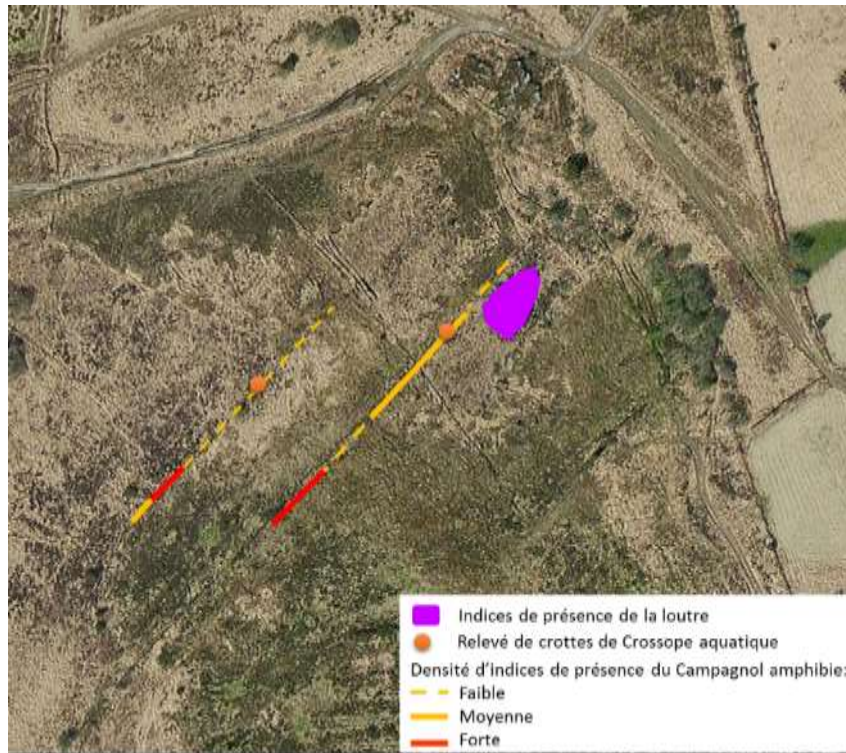


## DENSITÉ DE PRÉSENCE DE MICROMAMMIFÈRES SEMI-AQUATIQUES

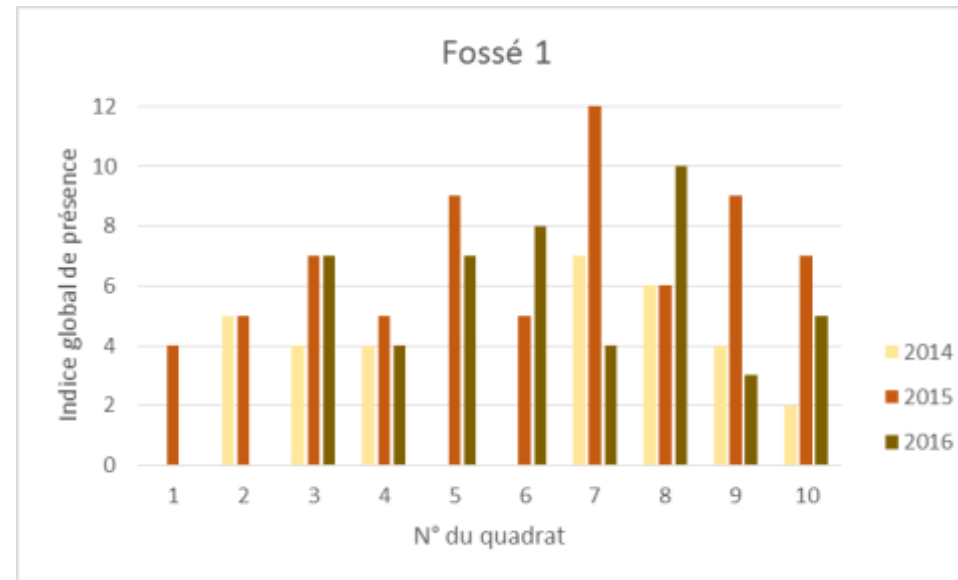
### Traces de présence du Campagnol amphibie

Exemple: Roc'h Plat, Hanvec (29)

Evaluation simple de l'importance des traces de présence



Relevé précis sur des quadrats de 2 x 2 m de chaque côté du fossé, tous les 10 m



Indice global de présence calculé en additionnant le nombre de réfectoires, de crottiers et d'entrées de galerie et un indice d'abondance de coulées :

0 : pas de coulée

3 : recouvrement au sol de 25 à 32%

1 : recouvrement au sol de 0 à 9%

4 : recouvrement au sol de 33 à 50 %

2 : recouvrement au sol de 10 à 24%

5 : recouvrement au sol > 50%



## Ressources

**Rapports complets et synthèses** des suivis réalisés sur 3 sites du Réseau sur la réhabilitation des zones humides du Finistère disponibles sur : <https://rerzh.forum-zones-humides.org/projets/rerzh29/rapports-detude/>

Méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides  
<http://www.zones-humides.org/guide-de-la-m%C3%A9thode-nationale-d%C3%A9valuation-des-fonctions-des-zones-humides>

Guide méthodologique. Etude préalable à un programme pluriannuel d'actions milieux humides (...)  
*Fiche 11 & Annexes 3 et 4*  
[http://www.zoneshumides29.fr/RAPPORT/guide\\_EP\\_modifications\\_2015web.pdf](http://www.zoneshumides29.fr/RAPPORT/guide_EP_modifications_2015web.pdf)

RhoMeO et BAO RhoMeO pour la restauration des zones humides  
<http://rhomeo-bao.fr/>

LigerO - l'adaptation de Rhomeo sur le bassin Loire-Bretagne par le FMA et le CEN Val de Loire  
<http://www.ligero-zh.org/telechargements/Indicateurs-Protocoles/>

Malette d'indicateurs de travaux et de suivis en zones humides (FMA)  
<http://www.forum-zones-humides.org/telechargement-mallette-indicateurs.aspx>



## Evaluer des travaux de restauration de zone humide

**Armel DAUSSE**

Forum des Marais Atlantiques – Antenne de Brest

[adausse@forum-marais-atl.com](mailto:adausse@forum-marais-atl.com)

*Montauban de Bretagne, le 22 novembre 2022*