



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

3.1

**PROTOCOLES ET
INDICATEURS DE SUIVI**

SUIVIS FLORISTIQUES





**SUIVIS
FLORISTIQUES 3.1**

01	Principes de l'évaluation	4
	■ Principe général	4
	■ Définir la végétation de référence	5
	■ Choisir les indicateurs et les protocoles de terrain	5
	■ Aperçu rapide des protocoles et localisation des relevés	10

02	Description des protocoles terrain	12
	■ Inventaire floristique des espèces à enjeu	12
	■ Relevé phytosociologique	14
	■ Placettes permanentes	19
	■ Transects	22
	■ Cartographie des groupements végétaux et des habitats naturels	26

03	Indicateurs	29
	■ Indicateurs écologiques	29
	• Concordance du relevé avec les critères de l'arrêté de délimitation des zones humides	30
	• Caractérisation des habitats préférentiels et groupes socio-écologiques	31
	• Spectre écologique (humidité édaphique)	36
	• Spectre biologique pondéré	42
	■ Indicateurs de biodiversité	43
	• Richesse spécifique totale et moyenne	43
	• Diversité spécifique de Shannon	44
	• Présence d'espèces à enjeu	45
	■ Indicateurs structurels	46
	• Diversité des végétations ou habitats	46
	• Surfaces des végétations ou habitats	46
	• Recouvrement par strate d'un relevé	47

04	Évaluation des travaux de restauration	48
	■ Analyse de l'évolution de la végétation dans le temps (Approche diachronique)	48
	• Analyse de l'évolution de la valeur d'un indicateur	48
	• Bilan de l'indicateur entre deux dates	50
	• Analyse de l'évolution spatiale des groupements végétaux ou habitats	51
	■ Évaluation de la conformité du milieu par rapport à une référence (Approche synchronique)	53
	• Conformité à la qualification réglementaire de zone humide	53
	• Indices de similarité de Jaccard	54
	• Autres indices de similarité	55
	• Comparaison des valeurs d'indicateurs entre site restauré et référence	55
	• Proportion du site couvert par une végétation cible	56

05	Points d'attention sur les suivis de végétations	57
	■ Limites des indicateurs floristiques	57
	■ Choix des protocoles terrain	57
	■ Interprétation des indicateurs	58
	■ Le biais observateur	58
	■ Respect des périodes phénologiques	58

01

PRINCIPES DE L'ÉVALUATION

PRINCIPE GÉNÉRAL

Sur les sites restaurés, comme pour tout site ayant subi une perturbation importante, la végétation peut prendre un certain temps pour se stabiliser suite aux modifications du milieu. Ainsi, dans les premières années, il est souvent difficile de rattacher la végétation du site à des types de végétations connus ou à des habitats. Pour un observateur non expert en botanique, l'interprétation d'un relevé sur la base des espèces présentes est, par ailleurs, très complexe. Des indicateurs peuvent alors être calculés sur la base de différents types de relevés, afin d'aider à leur interprétation. L'objectif de ce carnet est de proposer un certain nombre d'indicateurs, et de protocoles de terrain associés, permettant d'évaluer la restauration d'un milieu humide, selon différents niveaux d'exigence.

Pour plus de précision sur les principes de l'évaluation, se référer au carnet méthodologie de projet "Évaluer un projet de restauration" (à venir).

En fonction de l'objectif de la restauration et du niveau d'information souhaité, différents protocoles de terrain (**Partie 2**) peuvent être utilisés. Ce sont les données recueillies par ces relevés qui entrent dans le calcul des indicateurs et qui permettent de vérifier l'atteinte des objectifs de restauration.

La restauration écologique vise à rétablir à la fois les fonctions et la structure de l'écosystème qui a été altéré. Aussi, pour évaluer la restauration effective du milieu, il convient de s'intéresser à différentes classes d'indicateurs et notamment à des indicateurs de fonction, ici le support de biodiversité végétale, à travers des **indicateurs de biodiversité**, mais aussi des **indicateurs de structures**, renseignant notamment sur l'organisation spatiale des végétations. Par ailleurs, les **indicateurs écologiques**, permettent, en se basant sur les caractéristiques des espèces présentes, de déduire des informations sur les conditions du milieu, notamment l'humidité du sol, mais aussi sur certains dysfonctionnements apparents. Les indicateurs présentés dans ce guide sont classés selon ces trois catégories (**Partie 3**).

L'évaluation du niveau de restauration d'un site (**Partie 4**) peut alors se faire de deux façons, qui peuvent être complémentaires, et dépendent toujours de l'objectif du projet :

- Le suivi dans le temps des végétations du site avant et après travaux, afin d'évaluer les gains biologiques et fonctionnels de la restauration (approche diachronique) ;
- La comparaison de l'état du site à un temps donné avec une référence, afin de vérifier l'atteinte de l'objectif en termes de végétation cible (approche synchronique).

L'ensemble des exemples présentés dans ce document est issu des suivis réalisés dans le cadre du Réseau sur la restauration des zones humides de Bretagne. Pour chaque exemple, le site sur lequel

*a été réalisé le suivi est précisé, afin que le lecteur puisse retrouver l'exemple complet dans les carnets de retour d'expérience et les rapports d'étude sur le **site internet du Réseau**.*

DÉFINIR LA VÉGÉTATION DE RÉFÉRENCE

Le préalable à l'évaluation de tout projet de restauration est de fixer ces objectifs et en particulier la végétation de référence, c'est-à-dire celle que l'on souhaite voir se développer suite aux travaux.

La référence (encore appelée végétation cible) dépend des objectifs généraux du projet et peut être définie avec une précision plus ou moins importante. Par exemple :

- Retrouver une végétation hygrophile (sur tout ou une surface définie) ;
- Retrouver un type spécifique de végétation ou d'habitat hygrophile ;

- Retrouver un niveau fonctionnel équivalant (composition spécifique et structure) à un écosystème en bon état de conservation. L'équivalence fonctionnelle est d'ailleurs une obligation réglementaire pour les projets liés à la compensation écologique.

L'état de référence peut être défini à partir de relevés de terrain réalisés dans des sites et milieux correspondant à l'état "cible" ou bien à partir de données existantes (bibliographie, bases de données de référence).

Le niveau d'exigence de similarité avec la référence peut être plus ou moins important selon l'ambition du projet : une équivalence de la composition spécifique, une équivalence structurelle, une équivalence de surface...

CHOISIR LES INDICATEURS ET LES PROTOCOLES DE TERRAIN

Questions à se poser pour choisir la démarche d'évaluation de la restauration

- Quel est l'objectif de la restauration ?
- Sur la base de quels critères l'atteinte de ces objectifs peut-elle être évaluée ?

- Quels sont les indicateurs qui renseignent ces critères ?
- Quels sont les protocoles de terrain qui permettent de recueillir les données nécessaires au calcul de ces indicateurs ?

Le choix des protocoles d'étude à déployer est guidé par l'objectif du projet de restauration et les indicateurs qui permettent d'évaluer l'atteinte de ces objectifs. En fonction des ambitions du porteur de projet, et notamment du niveau de compréhension

des processus de restauration qu'il souhaite acquérir, des suivis plus ou moins complexes peuvent être mis en place. La mise en œuvre de suivis poussés n'est pas nécessaire sur tous les sites restaurés.

Dans certains contextes, notamment la mise en œuvre des contrats territoriaux milieux aquatiques, l'utilisation des indicateurs MhéO peut être demandée par les financeurs, afin de permettre une remontée de données homogènes au niveau national.

Parmi les indicateurs et protocoles de terrain

décrits dans ce carnet, certains ont des équivalents figurant dans la boîte à outils LigéO, déclinaisons de MhéO au niveau du bassin Loire-Bretagne. Ils sont identifiés avec le logo suivant.



SUIVIS FLORISTIQUES

Les indicateurs et protocoles de terrain associés présentés ici permettent de répondre à un certain nombre d'objectifs. Pour chaque objectif, différents indicateurs sont proposés, permettant d'intégrer des niveaux d'informations croissants :

Base Indicateurs de base, particulièrement conseillés

Pour compléter Indicateurs apportant une précision complémentaire

Pour approfondir Indicateurs pertinents pour une analyse poussée des processus de restauration

OBJECTIFS ET INDICATEURS ASSOCIES

➤ **Évaluer et suivre les enjeux floristiques** à travers la vérification de la présence d'espèces à enjeux (patrimoniales ou exotiques envahissantes). Il est en effet important de connaître l'impact potentiel de son projet sur les espèces protégées ou patrimoniales éventuellement présentes, mais également d'évaluer le risque de dissémination d'espèces exotiques envahissantes.

Base	Liste des espèces à enjeu p. 45
Pour compléter	Richesse spécifique d'espèces à enjeux par catégorie (patrimoniales, exotiques envahissantes) p. 45

➤ **Inventorier, localiser et suivre la répartition des groupements végétaux et/ou des habitats**, permettant d'appréhender les modifications de l'écosystème suite à la restauration sans forcément réaliser des inventaires complets des espèces présentes.

Base	Liste des différentes végétations ou habitats présents p. 31 Evolution spatiale des groupements végétaux ou habitats p. 51
Pour compléter	Répartition et surface par type de végétation ou d'habitat p. 46 Diversité des groupements végétaux ou des habitats p. 46

➤ **Analyser et suivre de façon plus précise l'évolution de la végétation** afin de mieux appréhender la dynamique des communautés végétales suite à la restauration.

- Au niveau de sa composition floristique

Base	Indice de similarité (pour une comparaison dans le temps) p. 54 Spectre écologique d'humidité édaphique p. 36
Pour compléter	Habitats préférentiels p. 31
Pour approfondir	Spectre biologique p. 42 Richesse et diversité spécifique p. 43 p. 44

- Au niveau de sa structure

Pour compléter	Recouvrement par strate p. 47
Pour approfondir	Diversité des groupements végétaux ou des habitats p. 46 Répartition et surface par type de végétation ou habitat p. 46

➤ **Déterminer des indications de modification du milieu**, grâce aux caractéristiques des espèces floristiques présentes et notamment :

- Du degré d'humidité du sol qu'elles indiquent, mais aussi du niveau trophique ou de salinité

Base	Spectre écologique, notamment spectre d'humidité édaphique p. 36
------	---

- De leurs caractéristiques biologiques, qui peuvent indiquer des dysfonctionnements du milieu

Pour compléter	Spectre biologique p. 42
----------------	---------------------------------

➤ **Vérifier le caractère humide du site :**

Base	Concordance avec les critères de l'arrêté de 2008 de délimitation des zones humides p. 53
Pour compléter	Spectre d'humidité édaphique p. 36
Pour approfondir	Habitats préférentiels des espèces présentes p. 31

➤ **Vérifier que les végétations du site correspondent à la végétation cible** que ce soit au niveau :

- Des habitats attendus

Base	Habitats préférentiels p. 31
------	-------------------------------------

- De la composition spécifique

Base	Indice de similarité p. 54
Pour approfondir	Richesse et diversité spécifique p. 43 p. 44

- Des exigences des espèces présentes

Pour compléter	Spectre écologique d'humidité édaphique p. 36
----------------	--

- De la structure des végétations

Pour approfondir	Recouvrement par strate (sauf compensation écologique Base) p. 47
------------------	--

L'arbre décisionnel ci-dessous (Figure 1) résume les possibilités de choix d'indicateurs et de protocoles adaptés en fonction des objectifs du projet. Selon l'approche choisie, diachronique ou synchronique, cet arbre permet aussi d'identifier la ou les données à suivre pour calculer les indicateurs. Parfois, plusieurs protocoles complémentaires devront être combinés pour obtenir l'information nécessaire au calcul de l'indicateur.

OBJECTIFS



INDICATEURS



PROTOCOLES



ÉVALUATION DIACHRONIQUE (SUIVI AVANT ET APRÈS TRAVAUX)

Evaluer et suivre les enjeux floristiques

Inventorier, localiser et suivre la répartition des groupements végétaux et des habitats

Analyser et suivre l'évolution de la composition floristique

Analyser et suivre l'évolution de la structure de la végétation

Analyser et suivre l'évolution du degré d'humidité indiqué par la végétation

Présence et richesse en espèces à enjeu (S) p.45

Liste des groupements végétaux ou d'habitats (S) p.31

Diversité des groupements végétaux ou d'habitats (S) p.46

Répartition et surfaces par type de végétation ou d'habitat (S) p.46

Habitats préférentiels (R) p.31

Spectre écologique d'humidité édaphique (R) p.36
= Indicateur LigéRO d'indice floristique d'engorgement

Spectre biologique (R) p.42

Richesse spécifique (R) p.43

Diversité spécifique (R) p.44

Recouvrement par strate (R) p.47

Indice de similarité (R) p.54

Pour comparer l'évolution d'un relevé dans le temps

Evolution spatiale des groupements végétaux ou habitats p.51

Concordance avec les critères de l'arrêt (juin 2008) de délimitation des zones humides (R) p.30

Inventaire des espèces floristiques à enjeu p.12

Relevé phytosociologique p.14

Cartographie des groupements végétaux ou des habitats naturels p.26

Placette permanente p.19

Transect p.22
Le long d'un gradient

Pertinence des indicateurs

- Base
- Pour compléter
- Pour approfondir

Type d'indicateur

- Indicateurs de biodiversité
- Indicateurs écologiques
- Indicateurs structurels
- Autre type d'indicateur

Echelle de l'indicateur

- R** : échelle du relevé ou d'un ensemble de relevés
- S** : échelle du site

Figure 1 - Logigramme de choix des indicateurs et des protocoles de suivi de terrain associés

OBJECTIFS



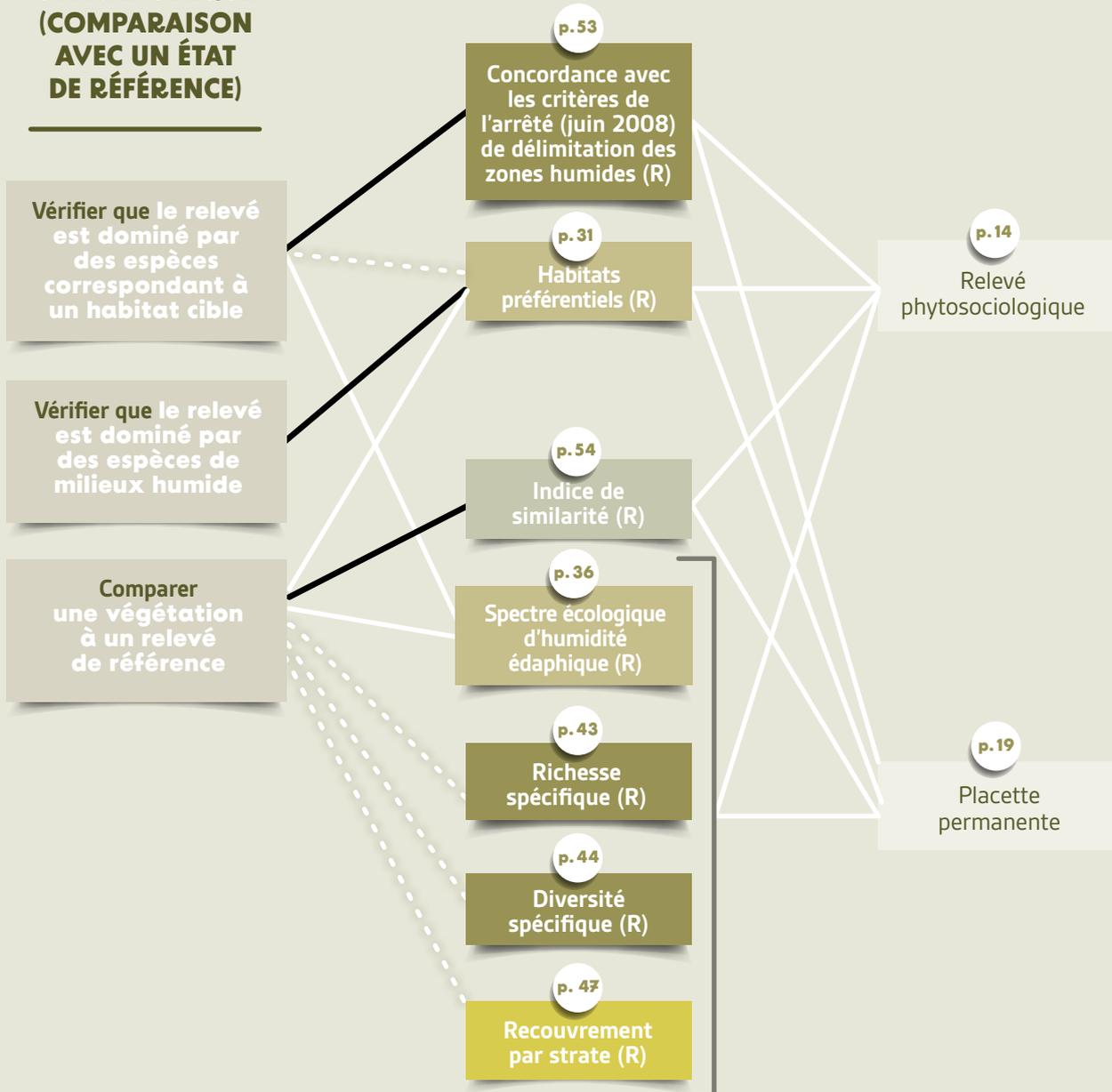
INDICATEURS



PROTOCOLES



ÉVALUATION SYNCHRONIQUE (COMPARAISON AVEC UN ÉTAT DE RÉFÉRENCE)



Pertinence des indicateurs

- Base
- Pour compléter
- - -** Pour approfondir

Type d'indicateur

- Indicateurs de biodiversité
- Indicateurs écologiques
- Indicateurs structurels
- Autre type d'indicateur

Echelle de l'indicateur

- R** : échelle du relevé ou d'un ensemble de relevés
- S** : échelle du site

Figure 1 - Logigramme de choix des indicateurs et des protocoles de suivi de terrain associés

APERÇU RAPIDE DES PROTOCOLES ET LOCALISATION DES RELEVÉS

CHAMP D'APPLICATION DES PROTOCOLES

Le tableau 1 donne un aperçu rapide des différents protocoles généralement utilisés pour évaluer les travaux de restauration de zones humides, leur champ d'application et les données qu'ils permettent de recueillir. Les protocoles eux-mêmes sont détaillés par la suite sous forme de fiches.

Protocoles	Inventaire des espèces à enjeu	Cartographie	Relevé phytosociologique	Placettes permanentes	Transects	
					Par quadrat contigu	Par zone homogène
Élément décrit 	Détection d'espèces à enjeu de conservation ou exotiques envahissantes	Répartition spatiale des communautés végétales	Composition et structure des communautés végétales	Composition spécifique et structure d'un échantillon d'une communauté végétale	Répartition des espèces le long d'un gradient	Répartition des communautés végétales le long d'un gradient
Suivis possibles 	Evolution temporelle des espèces présentes sur le site	Evolution spatio-temporelle des végétations	Evolution temporelle des végétations	Evolution temporelle de la végétation en un point donné	Evolution spatio-temporelle de la répartition des espèces le long d'un gradient	Evolution spatio-temporelle de la répartition des végétations le long d'un gradient
Echelle de temps de suivi 	Court à long terme	Moyen à long terme	Court à long terme	Court à long terme	Court à long terme	Moyen à long terme
Echelle spatiale 	Site entier	Site entier	Zone homogène	Surface donnée d'une zone homogène	Section de site	Section de site
Précision spatiale 	Localisation par pointage GPS ou sur une orthophoto	Plus ou moins précise selon l'échelle de cartographie Limites des végétations souvent observateur dépendantes	Peu précise Pas de limites définies à la zone de végétation homogène prospectée	Très précise	Très précise	Relativement précise Limites des végétations souvent observateur dépendantes
Donnée produite/ Descripteurs 	Liste d'espèces à enjeu repérées	Localisation cartographique des limites des végétations À coupler avec une caractérisation des végétations ou habitats	Liste d'espèces et coefficient d'abondance/dominance de la zone homogène floristique	Liste d'espèces et recouvrement (ou coefficient d'abondance/dominance) par placette	Liste d'espèces et recouvrement (ou coefficient d'abondance/dominance) par quadrat	Liste d'espèces et recouvrement (ou coefficient d'abondance/dominance) dans chaque zone homogène

Tableau 1 - Récapitulatif des protocoles de terrain, de leur application et des données qu'ils permettent de recueillir

LOCALISATION DES RELEVÉS

→ Relevés phytosociologiques et floristiques

Le choix de l'emplacement des relevés phytosociologiques ou floristiques quantifiés se fait sur la base de la **triple homogénéité** du tapis végétal (zones homogènes) : floristique (composition floristique), phytionomique (structure, stratification...) et écologique (topographie, gestion...).

L'emplacement des relevés conservera après travaux la règle de réalisation dans des zones homogènes. Si les limites de répartition des végétations ou les conditions physiques du milieu évoluent après travaux, l'emplacement des relevés sera modifié en conséquence.

→ Placettes permanentes

Les placettes permanentes sont placées dans des zones homogènes, mais peuvent également être placées dans des zones d'interface dont on veut suivre l'évolution. Elles restent au même endroit d'une année sur l'autre.

Si une végétation d'intérêt apparaît suite aux travaux mais n'est pas située dans une placette permanente,

il est tout à fait possible d'en ajouter dans cette nouvelle zone de végétation et de les suivre dans le temps. Il manquera dans ce cas un état initial précis, mais une placette située dans une zone de végétation similaire, avant travaux, pourra servir de comparaison, en notant bien qu'il ne s'agit pas de la même placette.

→ Transects

Les transects doivent être localisés dans le sens du gradient à caractériser, généralement en zone humide, le long de la plus grande pente.

Si on souhaite évaluer l'étendue de l'influence des travaux de restauration, il convient de placer le transect perpendiculairement à la source potentielle d'influence. Par exemple, si la restauration consiste à

comblant un fossé de drainage, le transect sera placé perpendiculairement au fossé.

Plusieurs transects peuvent être réalisés pour évaluer différents secteurs, ou si la zone d'influence est susceptible d'être étendue. Ce sera le cas par exemple pour une neutralisation de drainage sur une parcelle entière ou la suppression d'un remblai.

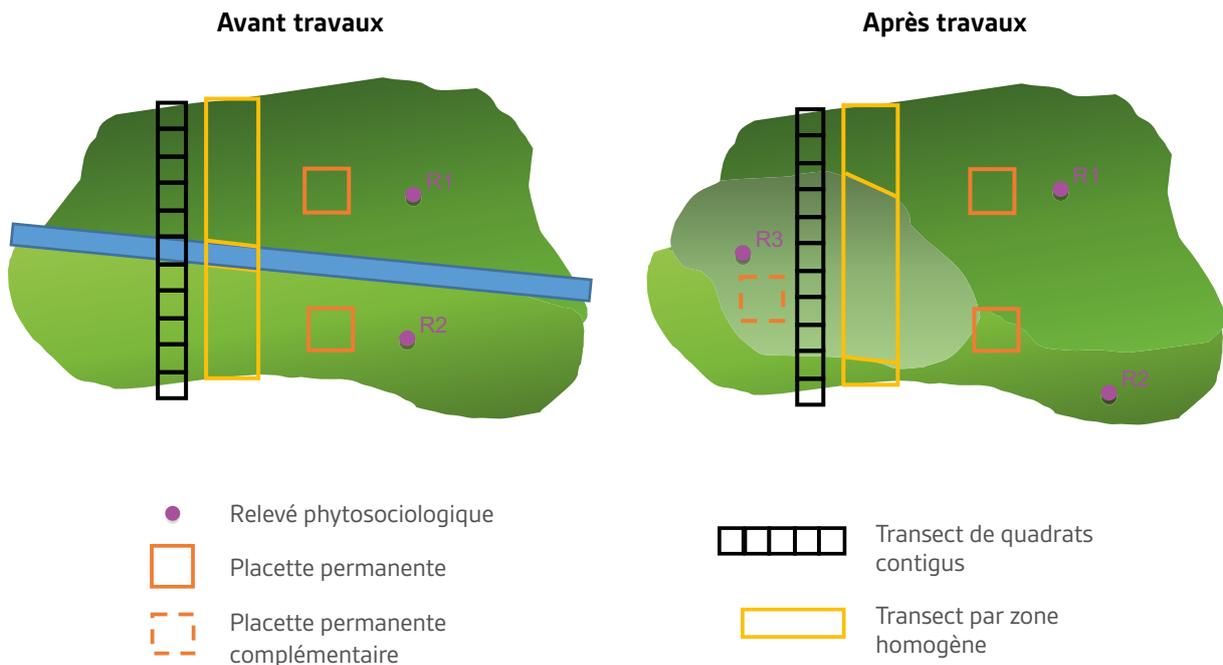


Figure 2 - Emplacement théorique des relevés sur une parcelle en fonction de l'hétérogénéité de la végétation et de l'altération (matérialisée par la ligne bleue symbolisant un fossé de drainage).

02

DESCRIPTION DES PROTOCOLES TERRAIN

PROTOCOLE 1

INVENTAIRE FLORISTIQUE DES ESPÈCES À ENJEU

Dans le cadre de l'évaluation de la restauration d'un site, un inventaire exhaustif de la flore présente sur un site n'est pas utile. En revanche, un inventaire des espèces à enjeu est intéressant pour détecter la présence d'éventuelles espèces à forte valeur patrimoniale ou d'espèces exotiques envahissantes sur un site.



Narthécie des marais, espèce sur la liste "rouge" des espèces végétales rares et menacées du Massif armoricain de 1993
© Armel Dausse

Ce protocole, qui ne relève que la présence des espèces sans la quantifier, est peu pertinent pour évaluer la restauration. Cependant, il permet de mieux prendre en compte ces espèces avant et pendant la réalisation des travaux de restauration.



PROTOCOLE

L'inventaire floristique des espèces à enjeu consiste à parcourir l'ensemble du site en recherchant spécifiquement les espèces à enjeu de conservation et exotiques envahissantes. Ces espèces sont localisées grâce à un pointage GPS ou en reportant leur position sur une photographie aérienne. Les espèces exotiques envahissantes occupant de grandes surfaces peuvent quant à elles, être détournées.

Les espèces à enjeu peuvent être déduites d'un inventaire floristique complet du site mais cette étape n'est pas obligatoire si l'on est en mesure d'identifier directement ces espèces.

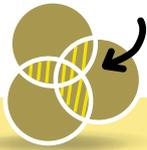
Plusieurs passages doivent être réalisés durant la période optimale de développement de la végétation,

c'est-à-dire entre avril et octobre, afin de pouvoir identifier l'ensemble des espèces selon leur cycle phénologique.

L'évaluation de l'**enjeu de conservation** des espèces se basera sur leur statut de rareté et de menace (listes rouges) et sur leur statut réglementaire (listes d'espèces protégées). D'autres critères tels que la responsabilité biologique régionale pourront être utilisés. Dans ce cadre, la méthode d'évaluation et de hiérarchisation des enjeux établie pour la flore de Bretagne pourra être appliquée (Hardegen & Quéré, 2019).

L'évaluation du **caractère envahissant** des espèces se basera sur les listes régionales existantes (Burguin, 2024).





CHAMP D'APPLICATION ET ADAPTATIONS

Lors de la réalisation de travaux de restauration, il est de la responsabilité du maître d'ouvrage de s'assurer que les travaux ne vont pas porter atteinte à des espèces protégées. Un inventaire floristique permet de détecter ces espèces. Par ailleurs, la présence d'espèces exotiques envahissantes nécessite d'adapter les protocoles travaux afin d'éviter leur dissémination.

Niveau de compétence Formation préalable nécessaire	Difficulté de mise en œuvre Très bonnes connaissances en botanique
Fréquence A réaliser lors de l'état initial à minima Annuellement après travaux si enjeu fort, à tous les 3 à 5 ans si enjeu faible	Date(s) / période(s) Plusieurs passages entre avril et octobre pour intégrer les différents rythmes phénologiques (Voir § "Respect des périodes phénologiques" p. 58)



COÛTS

→ Temps de main-d'œuvre

- Réalisation de l'inventaire : 50 à 100 ha/jour, variable en fonction de l'accessibilité du site, de la facilité à parcourir le site (densité de la végétation), du nombre d'espèces à enjeu présentes...
- Saisie et analyse des données : variable en fonction du site.

→ Matériel

- Orthophotographie du site et/ou GPS



AVANTAGES

- Coût de mise en œuvre faible ;
- Existence de référentiels régionaux et nationaux pour évaluer les enjeux.



INCONVÉNIENTS

- Apporte peu d'information sur l'évolution de la végétation d'un site ;
- Bonnes compétences en botanique nécessaires ;
- Saisonnalité : les relevés ne peuvent être réalisés que durant la saison de développement de la végétation.



CONSEILS

Pour les espèces à forte valeur patrimoniale, des informations supplémentaires telles que la taille des populations de ces plantes peuvent être intéressantes à recueillir en vue de prendre des mesures de conservation destinées à assurer leur préservation. La présence d'espèces exotiques envahissantes peut être matérialisée sur le site, par exemple avec des piquets et de la rubalise, afin qu'elles soient traitées de façon spécifique pour éviter leur dissémination en phase chantier.



Pour aller plus loin

■ HARDEGEN M. & QUÉRÉ E., 2019. **Hiérarchisation des enjeux** : flore vasculaire. Méthode d'évaluation des enjeux de conservation à l'échelle d'un territoire & résultats de la hiérarchisation pour la flore vasculaire indigène de Bretagne. DREAL Bretagne, Région Bretagne. Brest : Conservatoire botanique national de Brest. 8 p., 2 annexes. Disponible sur https://www.cbnbrest.fr/pmb_pdf/CBNB_Hardegen_2019_69988.pdf

■ BURGUIN E., 2024. **Liste des plantes vasculaires exotiques envahissantes en Bretagne**. Mise à jour 2024. DREAL Bretagne, Région Bretagne. Conservatoire botanique national de Brest, 33 p., 4 annexes. Disponible sur https://www.cbnbrest.fr/pmb_pdf/CBNB_Burguin_2024_71957.pdf



PROTOCOLE 2

RELEVÉ PHYTOSOCIOLOGIQUE

L'espèce végétale et, mieux encore, la communauté végétale sont considérées comme ayant un pouvoir informatif élevé sur les facteurs écologiques responsables de la répartition de la végétation (sol, climat, facteurs humains...). La méthode classiquement utilisée pour échantillonner, décrire et étudier les communautés végétales est la **phytosociologie sigmatiste** à travers la réalisation de relevés phytosociologiques.



Réalisation d'un relevé phytosociologique dans une prairie © FMA

Répétés à des intervalles de temps réguliers et comparés entre eux, les relevés phytosociologiques peuvent également permettre de **mettre en évidence une évolution du couvert végétal dans le temps ou d'attester de l'efficacité d'un mode de gestion ou de travaux de restauration**. L'application de cette méthode est un préliminaire essentiel à l'élaboration d'une cartographie des groupements végétaux.



PROTOCOLE

La méthode consiste en l'établissement d'une **liste exhaustive et précise des espèces végétales** présentes sur une zone de végétation homogène.

Le choix de l'emplacement du relevé se fait sur la base de la **triple homogénéité** du tapis végétal : floristique (composition floristique), physionomique (structure, stratification...) et écologique (topographie, gestion...).

La surface du relevé doit être suffisamment importante pour que toutes les espèces constituant la communauté végétale soient notées (= **aire minimale**). Elle est fonction du type de végétation (d'après De Foucault, 1986, Delassus, 2015) :

- | | | |
|--|--|-------------------------------------|
| • Pelouses : 1 à 10 m ² | • Prairies : 16 à 25 (50) m ² | • Fourrés : 50 à 200 m ² |
| • Bas-marais / tourbières : 5 à 20 m ² | • Landes : 50 à 200 m ² | • Forêts : 300 à 800 m ² |
| • Mégaphorbiaies, roselières et cariçaies : 20 à 50 m ² | | |

Chaque taxon de la liste se voit ensuite attribuer un **coefficient d'abondance-dominance**, éventuellement accompagné d'autres coefficients ou indices (sociabilité, vitalité, phénologie...).

Des éléments contextuels (lieu, date, observateur,

recouvrement total et hauteur de la végétation (strates), type de sol...), nécessaires à la description de la communauté végétale et à l'interprétation des résultats du suivi, sont également indiqués. Les relevés sont localisés sur le terrain grâce à un GPS.



Coefficient d'abondance-dominance¹

Le coefficient d'abondance-dominance attribué à chaque espèce est utilisé pour simplifier l'évaluation du recouvrement des espèces en utilisant des gammes de valeurs de recouvrement plutôt que la valeur absolue. Il permet également de lisser le biais d'observateur.

Coefficients d'abondance-dominance :

i : un individu unique de faible recouvrement ;

r : individus très rares et recouvrement < 1 %

+ : individus peu abondants, recouvrement faible (< 5 %) ;

1 : individus nombreux mais recouvrement < 1 % ou nombre d'individus quelconque mais recouvrement de 1 à 5 % ;

2 : individus abondants ou très abondants, recouvrant de 5 à 25 % de la surface

3 : recouvrement de 25 % à 50 % de la surface, abondance quelconque ;

4 : recouvrement de 50 % à 75 % de la surface, abondance quelconque ;

5 : recouvrement supérieur à 75 % de la surface, abondance quelconque.

Coefficients de Braun-Blanquet adaptés par Barkman et al. (1964) pour les coefficients 2 :

2m : individus très nombreux mais recouvrement < 5 % ;

2a : recouvrement de 5 à 15 %, abondance quelconque ;

2b : recouvrement de 15 à 25 %, abondance quelconque ;

L'utilisation des coefficients d'abondance/dominance permet un gain de temps lors de la réalisation de relevés floristiques et limite le biais observateur. Cependant, la plupart des indicateurs étant calculés sur la base de pourcentages de recouvrement, il est conseillé, dans le cadre de suivis menés pour évaluer des travaux de restauration, de **réaliser les relevés en pourcentages de recouvrement**.

→ Rattachement au système de classification phytosociologique (= synsystème)

Les différents relevés phytosociologiques sont rattachés au niveau le plus précis du synsystème, si possible l'association végétale ou une unité de rang supérieur. Cela permet de donner une identité à la communauté végétale décrite sur le terrain et ainsi, grâce à la connaissance acquise sur le même type de végétation dans d'autres sites et dans la bibliographie, d'en déduire ses propriétés : écologie, dynamique, répartition, statut de rareté, menaces ...

Le rattachement des relevés à une unité phytosociologique n'est pas toujours possible sur des faciès en transition, souvent rencontrés les premières années après travaux, ni sur des végétations peu caractérisées (présence de nombreuses espèces généralistes ou opportunistes).

→ Rattachement d'un relevé à un habitat naturel

Lors de la réalisation d'un inventaire ou d'une cartographie des végétations, l'utilisation de la classification phytosociologique n'est pas forcément parlante pour un public non averti. Les relevés peuvent également être rattachés à un habitat naturel selon différentes typologies établies au niveau européen. Le rattachement pourra être plus ou moins précis selon les besoins de l'étude.

Des guides existent pour aider à la reconnaissance des habitats, spécifiques à chaque nomenclature. Les plus utilisés sont :

- **Natura 2000** : Se référer aux **cahiers d'habitats**. Cette nomenclature ne concerne que les habitats visés par la Directive Habitats-Faune-Flore.

- **EUNIS** : Se référer au Guide de détermination des habitats terrestres et marins de la typologie EUNIS (European Nature Information System - guide de terrain) disponible sur le site de **PatriNat** ou de **l'INPN**.

1. BARKMAN, J.J., DOING, H. & SEGAL, S., 1964. Kritische Bemerkungen und Vorschläge zur quantitativen Vegetationsanalyse. Acta Botanica Neerlandica, 13 : 394-419.

BRAUN-BLANQUET, J., 1928. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Biologische Studienbücher 7, Berlin, 330 p.

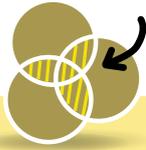


➔ **Qualification du relevé par rapport aux critères de délimitation des zones humides**

Pour simplifier le suivi dans le cadre de projets de restauration dont l'objectif serait uniquement de rendre au site son caractère humide, il est possible de se reporter au protocole de l'arrêté ministériel du **24 juin 2008** modifié le 1^{er} octobre 2009 décrivant les caractéristiques floristiques qui permettent de

définir si une végétation appartient ou non à une zone humide.

Cette méthode ne nécessite pas la réalisation d'un relevé complet de la composition floristique puisqu'elle se base sur le caractère hygrophile des espèces dominantes ou l'identification de l'habitat (voir § "Indicateurs écologiques" p. 29).



CHAMP D'APPLICATION ET ADAPTATIONS

La méthode peut être adaptée en fonction de l'objectif du suivi et de la méthode de description des végétations utilisée :

• **Inventaire des groupements végétaux d'un site**

L'étude des végétations d'un site par la méthode phytosociologique permet d'établir un état des lieux précis et un diagnostic détaillé des groupements végétaux existants et ainsi de mieux comprendre l'espace naturel étudié (types de végétations présents, compositions floristiques, enjeux de conservation, types de dégradations éventuelles...). Ces relevés peuvent être réalisés en préalable à une cartographie des végétations ou mis en œuvre de manière indépendante dans le cadre de la réalisation d'un état initial ou d'un suivi.

L'inventaire des groupements végétaux peut permettre d'établir un état des lieux avant travaux (état initial). Il peut être répété quelques années (minimum 3 à 5 ans) après les travaux, une fois la végéta-

tion stabilisée (équilibre retrouvé entre végétation et conditions du milieu).

• **Suivi des effets d'une mesure de restauration ou de gestion sur la végétation**

Les relevés phytosociologiques sont réalisés toujours au même endroit et répétés à des intervalles de temps réguliers. Il s'agit ensuite de les comparer et d'interpréter les changements observés dans la composition floristique grâce au caractère indicateur des espèces floristiques et de leur assemblage. Dans ce cas, les relevés sont réalisés et analysés à pas de temps régulier.

La fréquence des relevés dépend de l'objectif du suivi. Il peut être intéressant de les répéter tous les ans ou tous les deux ans après travaux afin de décrire les premiers stades de la dynamique puis de les espacer à 3 ou 5 ans pour suivre l'évolution à plus long terme.

<p>Niveau de compétence Formation préalable</p>	<p>Difficulté de mise en œuvre Maîtrise de la méthode phytosociologique et bonnes connaissances en botanique</p>
<p>Fréquence Fonction de l'objectif : tous les ans pour un suivi fin de la végétation sur des transects ou placettes permanentes, jusqu'à tous les 3 à 5 ans pour une caractérisation des dynamiques à plus long terme</p>	<p>Date(s) / période(s) À la saison de développement optimal de la végétation étudiée (= majorité des espèces végétales visibles et facilement identifiables, c'est-à-dire en floraison ou fructification) Fonction du type de végétation (<u>voir § "Respect des périodes phénologiques" p. 58</u>)</p>





COÛTS

→ Temps de main d'œuvre

- Réalisation des relevés : de 5 à 15 relevés/jour en fonction du type de végétation, de l'accès au site, de l'expérience de l'observateur ... ;
- Saisie des relevés : environ 20 relevés/jour ;
- Analyse et interprétation : variable en fonction des objectifs et du rendu attendu.

→ Si matérialisation de la zone de suivi

- Piquet en bois : quelques euros pièce
- Piquet métallique : 5 à 10 € pièce
- Borne de géomètre : 10 à 20 € pièce



AVANTAGES

- Méthode d'analyse fine du tapis végétal, réactivité forte à moyenne de la végétation aux changements (rapide pour les changements d'abondance des espèces présentes, quelques années pour le changement de composition floristique) ;
- Faible coût de mise en œuvre ;
- Existence de référentiels régionaux et nationaux ;
- Nombreuses données disponibles à l'échelle régionale, nationale, voire européenne, pouvant servir de référentiel pour les projets de restauration.



INCONVÉNIENTS

- Bonnes compétences en botanique et phytosociologie nécessaires ;
- Saisonnalité : les relevés ne peuvent être réalisés que durant la saison de développement de la végétation.



CONSEILS

- Pour faciliter la prise de notes et harmoniser le recueil des données sur le terrain, il est conseillé d'utiliser une fiche de relevé standardisée².
- Afin d'effectuer des relevés phytosociologiques tous les ans au même endroit, il est possible de matérialiser l'emplacement du relevé à l'aide d'un repère (piquets enfoncés dans le sol, borne de géomètre...).



POINTS DE VIGILANCE

- Si les relevés effectués dans le cadre d'un tel suivi ne respectent plus les conditions requises par la phytosociologie (aire minimale, triple homogénéité), ils ne doivent plus être appelés "relevés phytosociologiques" mais "relevés de végétation" ou "relevés semi-quantitatifs d'espèces végétales".

2. Une fiche standard réalisée par le CBNB peut être téléchargée au lien suivant : https://www.cbnbrest.fr/pmb_pdf/CBNB_Delassus_2015_bordereau_60091.pdf





Pour aller plus loin

- BOUZILLE J.-B. (coord.) 2014. **Écologie des zones humides. Concepts, méthodes et démarches.** Ed. Lavoisier. 264 p.
- DELASSUS L., 2015. **Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques.** Brest : Conservatoire botanique national de Brest, 25 p. + annexes (Document technique). Disponible sur https://www.cbnbrest.fr/site/pdf/Guide%20relev%C3%A9s%20de%20terrain_juin2015.pdf
- FOUCAULT B. (DE), 1986. **Petit manuel d'initiation à la phytosociologie sigmatiste. Mémoires de la Société linnéenne du Nord de la France**, 1 : 47 p.
- MEDDOUR R., 2011. **La méthode phytosociologique sigmatiste ou Braun-Blanquet-Tüxenienne.** Tizi Ouzou : Université Mouloud Mammeri. Faculté des sciences biologiques et agronomiques, 40 p. Disponible sur http://www.tela-botanica.org/page:methode_phytosociologique_sigmatiste
- **Ressources en ligne :**
Référentiel pour l'identification et la classification de la végétation dans l'Ouest de la France (RNVO). Disponible sur www.cbnbrest.fr/RNVO/ (régions Basse-Normandie, Bretagne et Pays de la Loire)



PROTOCOLE 3

PLACETTE PERMANENTE

Lorsque les conditions nécessaires au relevé phytosociologique (triple homogénéité, aire minimale...) ne sont pas respectées, ou pour réaliser des suivis plus fins de la végétation, les relevés floristiques peuvent être réalisés à l'aide de placettes per-



Placette permanente © Vincent Colasse CBNB

manentes, encore appelées quadrats permanents, ou en alternative, pour des analyses statistiquement plus robustes, avec des quadrats aléatoires. Les placettes permanentes permettent de réaliser un suivi fin dans le temps de l'évolution de la composition floristique d'un milieu.



PROTOCOLE

Les placettes permanentes, ou quadrats permanents, correspondent à des carrés de taille définie, dépendant du type de milieux, au sein desquels on réalise des relevés floristiques en pourcentage de recouvrement, reproduits au même endroit selon un pas de temps défini. Généralement, les placettes sont répétées au sein du site d'étude selon les types de végétation ou les zones à caractériser.

Des éléments contextuels (lieu, date, observateur, recouvrement total et hauteur de la végétation (strates), type de sol...), nécessaires à la description de la communauté végétale et à l'interprétation des résultats du suivi, sont également indiqués. Les relevés sont localisés sur le terrain grâce à un GPS.

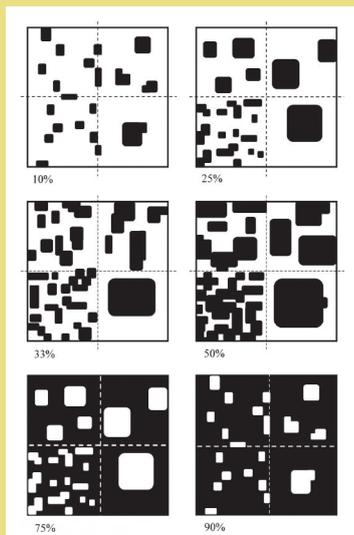


Figure 3 - Représentation schématique de plusieurs taux de recouvrement de végétation (Rodwell, 2006³)

Pourcentage de recouvrement

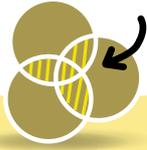
Le pourcentage de recouvrement correspond au pourcentage de la surface d'un relevé occupée par la projection au sol des organes aériens d'une espèce végétale.

Lorsqu'il y a plusieurs strates au sein d'un même relevé, le cumul des recouvrements peut être supérieur à 100 %.

En pratique, afin de limiter le biais observateur, il est conseillé d'estimer le recouvrement des espèces par intervalle minimum de 5 %. Un individu isolé d'une espèce peut se voir attribuer un pourcentage plus faible (par exemple, 1 %).

3. Rodwell, J.S., 2006. *National Vegetation Classification : User's handbook*. Peterborough : Joint Nature Conservation Committee, 61 p. + annexes.





CHAMP D'APPLICATION ET ADAPTATIONS

Les placettes permanentes sont utilisées pour suivre l'évolution des caractéristiques de la végétation dans le temps et de façon spatialisée.

En cas de travaux planifiés, il est intéressant d'installer les placettes dans des secteurs qui ne seront pas directement impactés par les travaux, mais qui sont susceptibles de subir l'influence des modifications du milieu après travaux. Il est également possible, à posteriori, de mettre en place des placettes sur des zones ayant subi directement les travaux afin de suivre leur évolution.

Alternative - Quadrats aléatoires

Pour un suivi plus poussé de la structure et de l'hétérogénéité spatiale au sein d'une zone visuellement homogène, il est possible de recourir à des quadrats

aléatoires. La répétition de ces quadrats au sein d'une même zone permet d'intégrer la variabilité micro-stationnelle du site. Contrairement à l'utilisation de placettes permanentes réalisée toujours au même endroit, à chaque campagne de relevés, les quadrats aléatoires sont replacés au hasard au sein de la zone étudiée. Les quadrats doivent être placés dans une zone de végétation homogène en évitant les zones de transition (effet lisière). Un minimum de 3 quadrats doivent être relevés, idéalement 5, par zone de végétation à caractériser.

Cette méthode est préconisée pour pouvoir réaliser des traitements statistiques plus robustes portant sur la composition de la végétation et son évolution dans le temps, car les relevés réalisés d'une année sur l'autre sont alors indépendants.

<p>Niveau de compétence Formation préalable</p>	<p>Difficulté de mise en œuvre Bonnes connaissances en botanique</p>
<p>Fréquence Fonction de l'objectif : tous les ans pour un suivi fin de la végétation sur des transects ou placettes permanentes, jusqu'à tous les 3 à 5 ans pour une caractérisation des dynamiques à plus long terme</p>	<p>Date(s) / période(s)</p> <ul style="list-style-type: none"> • À la saison de développement optimal de la végétation étudiée (= majorité des espèces végétales visibles et facilement identifiables, c'est-à-dire en floraison ou fructification) • Fonction du type de végétation (<u>voir § "Respect des périodes phénologiques" p. 58</u>)



COÛTS

→ Temps de main-d'œuvre

- Réalisation des relevés : de 5 à 30 placettes ou quadrats/jour en fonction du type de végétation, de l'accès au site, de l'expérience de l'observateur... ;
- Saisie des relevés : environ 20 à 40 relevés/jour ;
- Analyse et interprétation : variable en fonction des objectifs et du rendu attendu.

→ Matérialisation des placettes permanentes

Les placettes permanentes peuvent être matérialisées en positionnant un piquet à chaque angle ou un piquet à un seul angle en reportant la direction et les dimensions de la placette lors du premier relevé.

- Piquet en bois : quelques euros pièce
- Piquet métallique : 5 à 10 € pièce
- Borne de géomètre : 10 à 20 € pièce





AVANTAGES

- Méthode d'analyse fine du tapis végétal, réactivité forte à moyenne de la végétation aux changements (rapide pour les changements de recouvrement des espèces présentes, quelques années pour le changement de composition floristique) ;
- Faible coût de mise en œuvre ;
- Permet le calcul de la plupart des indicateurs.



INCONVÉNIENTS

- Bonnes compétences en botanique nécessaires ;
- Saisonnalité : les relevés ne peuvent être réalisés que durant la saison de développement de la végétation ;
- L'évaluation du pourcentage de recouvrement des espèces est globalement plus chronophage que les relevés en abondance-dominance.



CONSEILS

Afin de gagner du temps sur le terrain, des relevés en indices d'abondance-dominance peuvent également être réalisés dans le cadre de suivis à long terme, mais ne seront pas adaptés pour le calcul des indicateurs utilisés dans le cadre de l'évaluation de la restauration d'un site.



POINTS DE VIGILANCE

Les relevés de placettes permanentes n'étant pas nécessairement homogènes sur les plans floristique, physionomique et écologique, il n'est pas conseillé de les rattacher au système de classification phytosociologique.



PROTOCOLE 4

TRANSECTS

Le transect est un **dispositif d'observation de terrain le long d'un tracé linéaire** destiné à caractériser le milieu, tant du point de vue de la composition floristique que de celui de la structure de la végétation. Il permet ainsi de suivre régulièrement leur évolution.

Les paramètres étudiés sont la **dynamique spatiale des groupements végétaux dans le temps le long des**

transects et l'évolution de la composition floristique de la végétation. À la différence de la plupart des autres méthodes de suivi, la méthode des transects rend compte de l'hétérogénéité du milieu. C'est pourquoi le transect est souvent installé dans le sens de la plus grande différenciation du milieu, le long d'un gradient abiotique observé (topographie, niveau d'humidité du sol...).



Mise en place d'un transect de végétation dans une prairie
© Vincent Colasse CBNB



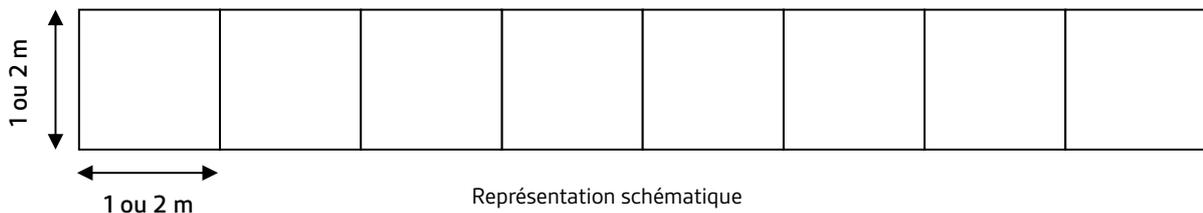
PROTOCOLE

→ **Transect de quadrats successifs ou transect régulier**

Le principe d'un transect par quadrat successif consiste en une succession de relevés quantifiés des espèces présentes dans des quadrats de taille déterminée le long d'un tracé linéaire défini. Le transect se présente ainsi sous la forme d'une bande de quadrats successifs, souvent de 1 ou 2 m². Dans chaque quadrat, les taxons floristiques sont recensés et se voient attribuer un recouvrement (en %). Alternativement, les relevés peuvent être réalisés en utilisant des indices d'abondance/dominance. Il est à noter

cependant que la plupart des indicateurs calculés pour interpréter les suivis se calculent à partir de relevés en pourcentage de recouvrement.

On distingue le **transect de quadrats contigus** (ou transect continu), qui consiste à réaliser les relevés sur tous les quadrats du transect, du **transect de quadrats discontinus**, pour lequel le protocole est allégé en ne relevant qu'un carré sur deux (ou moins). Le second protocole est utilisé surtout pour des transects longs.



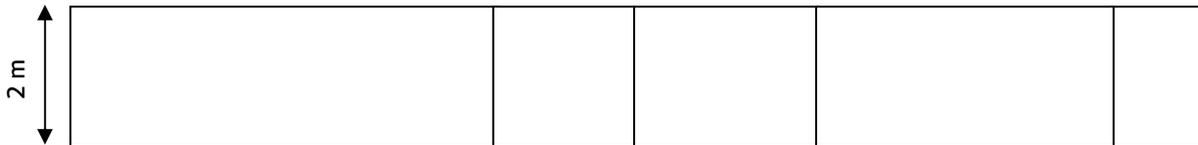
Représentation schématique d'un transect par quadrat contigu



→ Transect par segment homogène ou transect irrégulier

Les transects peuvent également être réalisés par segment de longueur variable, en tenant compte de l'hétérogénéité floristique et structurale de la végétation. Ainsi, à chaque nouveau faciès d'un groupement végétal ou lors de la rencontre d'un nouveau groupement végétal, le positionnement sur le transect de début et de fin de segment est noté. Les rele-

vés sont alors réalisés par segment homogène et non pas par quadrat de taille prédéterminée. La taille des segments peut évoluer dans le temps à mesure de l'évolution spatiale ou structurelle des communautés végétales. Cette méthode ne rend pas compte de l'évolution fine de la répartition des espèces le long du gradient considéré.



Représentation schématique d'un transect irrégulier

→ Comparaison des différents types de transects

Dans le cadre du réseau sur la restauration des zones humides de Bretagne un test a été effectué pour comparer les deux méthodes de transects de végétations (par quadrat régulier ou par zone homogène). Ce test montre des résultats globalement similaires dans le cadre d'un état des lieux de la végétation avec des avantages et des inconvénients liés à chaque méthode.

Le **transect par segment homogène** est rapide à réaliser et respecte l'homogénéité floristique. Le positionnement du transect peut en revanche être délicat lorsque la végétation du site étudié est en cours de stabilisation avec des limites peu marquées entre faciès. Lors d'un suivi pluriannuel, cette méthode peut également être plus sujette à un effet observateur (positionnement des limites entre faciès). L'analyse des données (hors représentativité des groupements végétaux) est plus

complexe avec des segments de taille hétérogène et pouvant varier d'une année sur l'autre.

Ce type de transect peut représenter une méthode alternative à la cartographie des groupements végétaux d'un site en permettant une représentation de la zonation des groupements végétaux sur un secteur représentatif du site.

Le **transect par quadrat contigu régulier**, plus chronophage sur le terrain, donne une lecture fine de la végétation le long du transect et permet une comparaison plus aisée des données dans le cadre d'un suivi de la végétation dans le temps (quadrats toujours au même endroit et de taille homogène, réduction de l'effet observateur). Il est ainsi plus adapté à un suivi à long terme de la végétation suite à des travaux de restauration d'un site.

→ Mise en œuvre

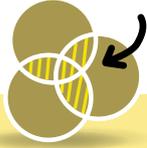
Le transect est positionné dans des zones représentatives du milieu suivi et orienté dans le sens de la plus grande différenciation du milieu. La taille du transect va varier en fonction de l'échelle et de l'objectif du suivi. Par exemple, pour suivre l'impact de la modification du fonctionnement hydraulique liée à l'effacement d'un drainage, les transects sont positionnés perpendiculairement aux fossés sur des longueurs variables en fonction de la végétation et de la zone d'influence des travaux.



Matérialisation d'un transect à l'aide d'un piquet en bois
© Vincent Colasse CBNB

Comme toutes les méthodes utilisant des repères permanents, le transect est délimité par un minimum de deux piquets fixes placés aux deux extrémités. Lors du suivi, un décamètre est déroulé entre les repères permanents. Le transect peut également être localisé par GPS et plusieurs points de repères physiques peuvent être notés sur le terrain afin de faciliter leur repositionnement les années suivantes.





CHAMP D'APPLICATION ET ADAPTATIONS

Dans le cadre de la mise en place d'indicateurs de suivis, cette méthode est **très pertinente pour caractériser les transitions entre communautés végétales et pour faire le lien entre la végétation**

et les conditions stationnelles (humidité du sol, pente...). Dans le cadre de travaux de restauration, elle permet de montrer l'évolution spatio-temporelle du milieu.

Niveau de compétence Formation préalable nécessaire	Difficulté de mise en œuvre Bonnes connaissances en botanique
Fréquence Un suivi tous les ans ou tous les deux ans est recommandé pendant quelques années après travaux avec la possibilité de les espacer ensuite (tous les 4-5 ans).	Date(s) / période(s) <ul style="list-style-type: none"> À la saison de développement optimal de la végétation étudiée (= majorité des espèces végétales visibles et facilement identifiables, c'est-à-dire en floraison ou fructification) Fonction du type de végétation (<u>voir § " Respect des périodes phénologiques " p. 58</u>)



COÛTS

→ Temps de main-d'œuvre

- Recueil des données sur le terrain : 50 à 100 mètres linéaires/jour en fonction de la complexité de la végétation ;
- Saisie et analyse des données : variable en fonction du site et du rendu attendu.

→ Matérialisation du suivi

- Piquet en bois : quelques euros pièce
- Piquet métallique : 5 à 10 € pièce
- Borne de géomètre : 10 à 20 € pièce



AVANTAGES

- Méthode permettant un suivi fin et précis de la végétation.



INCONVÉNIENTS

- Méthode assez lourde à mettre en œuvre ;
- Bonnes compétences en botanique nécessaires ;
- Saisonnalité : les relevés ne peuvent être réalisés que durant la saison de développement de la végétation.



CONSEILS

Utiliser des repères visuels assez hauts pour qu'ils dépassent de la végétation en phase de développement végétatif maximal, afin de repérer facilement les transects d'un passage à l'autre.

Adapter ces repères en fonction de la gestion du site. Pour un site pâturé, des piquets robustes seront nécessaires. Sur un site fauché, privilégier des repères en bord de parcelle ou au ras du sol pour éviter leur destruction ou les dommages aux barres de fauche.

Sur des suivis à long terme, des repères métalliques peuvent être placés dans le sol puis retrouvés à l'aide d'un détecteur à métaux.

Quelle que soit la méthode utilisée pour matérialiser la localisation, un pointage GPS complémentaire permet de se rapprocher des repères afin de les retrouver facilement.



POINTS DE VIGILANCE

Le pointage GPS seul n'est pas suffisant pour repérer finement le début et la fin du transect.





Pour aller plus loin

- FIERIS V., 2004. **Guide pratique : principales méthodes d'inventaire et de suivi de la biodiversité.** Quétigny : Réserves naturelles de France, 263 p. (Les guides scientifiques ; 2).
- QUÉRÉ E., 2005. **Guide méthodologique pour la mise en place de suivis de la végétation dans les sites Natura 2000.** DREAL Bretagne. Brest : Conservatoire botanique national de Brest, 95 p. Disponible sur https://www.cbnbrest.fr/pmb_pdf/CBNB_2005_Quere_2593.pdf



PROCOLE 5

CARTOGRAPHIE DES GROUPEMENTS VÉGÉTAUX ET DES HABITATS NATURELS

Cette méthode a pour objectif de localiser les groupements végétaux présents à un moment donné sur un site. Le but est d'obtenir un état des lieux précis et complet de la répartition des groupements végétaux existants qui, s'il est répété dans le temps, permet de suivre l'évolution du couvert végétal par comparaison diachronique des cartographies. Ce type de cartographie permet également d'observer l'évolution des végétations et de leur répar-



Recueil des groupements végétaux et des habitats naturels sur le terrain © Agnès Lieurade CBNB

tion suite aux travaux de restauration du milieu. C'est une base intéressante pour mieux connaître et gérer un espace naturel (répartition des types de végétation, des enjeux de conservation, des éventuelles dégradations...). Elle permet également d'établir un lien entre conditions du milieu et organisation spatiale des végétations. Une telle cartographie est toujours couplée à un inventaire préalable des groupements végétaux.



PROCOLE

La méthode de cartographie des groupements végétaux comporte plusieurs étapes successives :

1) Inventaire préalable des groupements végétaux :

En préalable à la cartographie, un inventaire des groupements végétaux spontanés du site doit être réalisé à partir de **relevés phytosociologiques** (voir **protocole correspondant p. 14**). Cet inventaire doit permettre une caractérisation fine des groupements végétaux et aboutit à une **typologie des groupements végétaux** du site, si possible **au niveau de l'association végétale** (unité élémentaire du système de classification en phytosociologie sigmatiste). Pour les végétations artificielles (semées ou plantées) et les milieux entièrement artificiels et/ou non végétalisés, la typologie de référence est une typologie d'habitats (typologie EUNIS) qui peut également être utilisée pour la cartographie des milieux naturels d'un site, mais qui fournit une information moins précise

qu'une cartographie des groupements végétaux étayée par des relevés phytosociologiques.

2) Recueil des données sur le terrain :

Chaque groupement végétal individualisable (ou habitat) est délimité sur un support cartographique (orthophotographies papiers ou numériques). Si plusieurs groupements sont imbriqués et s'il est impossible d'en distinguer les limites, le recours à la cartographie d'unités composites permet la représentation de plusieurs groupements végétaux dans une seule unité de cartographie. L'échelle de cartographie de terrain conseillée pour un suivi est au moins égale ou inférieure au 1/1 500.

Certaines données relatives à l'identité du relevé (date, observateur...) et aux caractéristiques du relevé (numéro de l'unité de cartographie, code et recouvrement du groupement végétal observé...) doivent nécessairement être relevées sur le terrain.



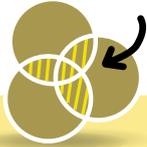
3) Numérisation des données

Les données spatiales sont saisies dans une base de données géographiques. Les contours des unités de cartographie délimitées sur le terrain sur support papier sont numérisés sur fonds numériques géoréférencés. La numérisation des unités de cartographie (polygones) doit être réalisée avec le plus de précision possible pour ne pas dénaturer la précision des limites relevées sur le terrain. Les polygones doivent avoir des relations strictement topologiques, c'est-à-dire que les contours des polygones voisins doivent être parfaitement jointifs et que chaque point de l'espace ne doit être inclus que dans une seule zone.

Pour les relevés réalisés directement sur support numérique (tablette de terrain), une vérification topologique des polygones peut être nécessaire au retour au bureau.

4) Restitution des données

La restitution correspond à une synthèse et à une mise en forme des données brutes. Elle est souvent composée d'une base d'informations géographiques (couche SIG + table attributaire + table alphanumérique), d'un rapport de synthèse accompagné d'un atlas cartographique et de métadonnées.



CHAMP D'APPLICATION ET ADAPTATIONS

Dans le cadre de la mise en place de suivis, cette méthode est surtout utile pour **suivre l'évolution du couvert végétal à l'échelle d'un site.**

<p>Niveau de compétence Formation préalable nécessaire</p>	<p>Difficulté de mise en œuvre Bonnes connaissances en botanique, connaissances en géomatique (utilisation d'un Système d'information géographique - SIG). Idéalement, maîtrise de la méthode phytosociologique. Si la typologie des groupements végétaux existe déjà, les compétences nécessaires en botanique et phytosociologie sont moindres.</p>
<p>Fréquence Variable en fonction de la vitesse des processus dynamiques et de l'échelle de travail : minimum 3 à 5 ans entre deux cartographies pour être en mesure d'observer des changements.</p>	<p>Date(s) / période(s)</p> <ul style="list-style-type: none"> • À la saison de développement optimal de la végétation étudiée (= majorité des espèces végétales visibles et facilement identifiables, c'est-à-dire en floraison ou fructification) • Fonction du type de végétation (<u>voir § "Respect des périodes phénologiques" p. 58</u>)



COÛTS

→ Temps de main-d'œuvre

- Cartographie de terrain : 10 à 50 ha/jour en fonction de la complexité de la végétation et de l'expérience de l'observateur ;
- Numérisation des données : environ 0,5 j / jour de terrain ;
- Analyses et restitutions : variable en fonction du site et du rendu attendu.

→ Matériel

- Support de cartographie : variable en fonction de la méthode utilisée, par exemple l'utilisation de fonds cartographiques imprimés ou de la numérisation directe sur tablette de terrain.
- Logiciel SIG : gratuit à plusieurs milliers d'euros en fonction du logiciel.





AVANTAGES

- Méthode de suivi bien adaptée à l'échelle d'un site ;
- Coût de mise en œuvre moyen ;
- Suivi à moyen ou long terme d'un site.



INCONVÉNIENTS

- Méthode potentiellement lourde à mettre en œuvre, notamment si la végétation est très diversifiée ;
- Bonnes compétences en botanique et géomatique et, idéalement, en phytosociologie ;
- Saisonnalité : les relevés ne peuvent être réalisés que durant la saison de développement de la végétation. Néanmoins, la période pour réaliser la cartographie peut être plus étendue que pour la caractérisation des groupements car il n'est pas nécessaire d'identifier toutes les espèces présentes pour reconnaître un groupement qui aura préalablement été caractérisé.



CONSEILS

Pour faciliter la prise de notes et harmoniser le recueil des données sur le terrain, il est utile de préparer un bordereau qui reprend l'ensemble des éléments à renseigner pendant la phase de cartographie (exemple en annexe 9 du Guide Laurent et al., 2017). L'utilisation d'un tel bordereau standardisé évite notamment des oublis et facilite la saisie ultérieure des données dans la base d'informations géographiques.



POINTS DE VIGILANCE

Les photographies aériennes représentent un outil indispensable à l'inventaire et à la cartographie des groupements végétaux mais, dans le cadre du suivi de la végétation, elles présentent l'inconvénient de n'être réalisées qu'au moment de la réactualisation de la couverture du département par l'IGN ; la date de la mission ne correspond donc pas toujours avec celle désirée. Il est possible d'avoir recours à des missions spécifiques ou à des images prises à l'aide d'un drone.



Pour aller plus loin

- CLAIR M., GAUDILLAT V., HERARD K., 2006. **Cartographie des habitats naturels et des espèces végétales appliquée aux sites terrestres du réseau Natura 2000. Guide méthodologique.** Muséum national d'histoires naturelles / Fédération des Conservatoires botaniques nationaux, 66 p.
- HARDEGEN M., 2014. **Inventaire et cartographie de la végétation en espaces naturels. Eléments pour la rédaction d'un cahier des charges pour la cartographie de la végétation des sites Natura 2000 et des Espaces naturels sensibles de Bretagne.** Brest : Conservatoire botanique national de Brest, 25 p., annexes (Document technique).
- LAURENT E., DELASSUS L., HARDEGEN M., 2017. **Méthodes d'inventaire et de cartographie des groupements végétaux. Guide méthodologique.** Brest : Conservatoire botanique national de Brest, 42 p. + annexes (Programme " Connaissance et cartographie des végétations sur de grands territoires : étude méthodologique "). Disponible sur https://www.cbnbrest.fr/pmb_pdf/CBNB_Laurent_2017_64615.pdf
- QUÉRÉ E., 2005. **Guide méthodologique pour la mise en place de suivis de la végétation dans les sites Natura 2000.** DREAL Bretagne. Brest : Conservatoire botanique national de Brest, 95 p.



03

LES INDICATEURS

Différentes échelles de calcul

La plupart des indicateurs décrits peuvent être calculés à différentes échelles pour rendre compte de l'état ou de l'évolution du site :

- Le **relevé** : c'est le calcul de base, décrit ci-dessous pour chaque indicateur et qui permet ensuite d'envisager des analyses aux autres échelles ;
- Un **ensemble de relevés spécifiques** : pour mettre en évidence des tendances par transect, par secteur ou le long de gradients ;
- Le **site** : pour évaluer l'opération de restauration dans sa globalité.

INDICATEURS 1

INDICATEURS ÉCOLOGIQUES

Référentiels mobilisables pour le calcul d'indicateurs écologiques

Certains calculs d'indicateurs écologiques se basent sur le caractère indicateur des espèces végétales qui se répartissent dans l'espace et dont la vitalité dépend de leur tolérance aux conditions du milieu. Ainsi, une fois la végétation stabilisée après une perturbation (ici les travaux de restauration), la composition spécifique d'un relevé reflète certaines caractéristiques du milieu telles que l'humidité du sol, le niveau trophique, la salinité...

Différentes bases de données regroupant les indices liés aux préférendums des espèces végétales peuvent être mobilisées pour le calcul des indicateurs écologiques. Les référentiels ci-dessous sont parmi les plus accessibles :

Plantatt (Hill et al., 2004)

Plantatt⁴ est une base de données d'attributs sur la flore britannique et irlandaise. Elle propose notamment une adaptation des valeurs indicatrices d'Ellenberg pour le domaine atlantique dont certaines peuvent être mobilisées pour évaluer la restauration d'une zone humide :

- F : Moisture values
- S : Salt tolerance
- N : Nitrogen

Baseflor (Julve, 2022)

Baseflor⁵ est un index botanique, écologique et chorologique de la flore de France développé par le botaniste français Philippe Julve. Dans le cadre des indicateurs visant à **évaluer la restauration d'une zone humide**, les données pouvant être mobilisées sont les suivantes :

- **Valence écologique** (Julve 2005 - 2020)
 - HE : Humidité édaphique
 - S : Salinité
 - N : Niveau trophique
- **Type biologique**
- **Caractérisation écologique** (Habitat optimal) encore appelé habitat préférentiel

Annexe II de l'arrêté du 24 juin 2008 précisant les critères de définition et de délimitation des zones humides

D'un point de vue réglementaire, un certain nombre d'espèces et d'habitats ont été répertoriés comme caractéristiques de zones humides. Ils sont listés dans l'annexe II de l'arrêté de 2008⁶ portant sur les critères de délimitation d'une zone humide.

4. HILL, M.O., PRESTON, C. D., ROY, D.B., 2004. Plantatt : attributes of British and Irish plants : status, size, life history, geography and habitats. Centre for Ecology and Hydrology. Natural Environment Research Council, 73 p. Disponible sur : <https://www.brc.ac.uk/biblio/plantatt-attributes-british-and-irish-plants-spreadsheet>

5. JULVE, P., 2022. Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la Flore de France. Version 18 juillet 2022. Programme Catminat. Disponible sur : <https://www.tela-botanica.org/projets/phytosociologie/porte-documents/>

6. Arrêté du 24 juin 2008 précisant les critères de définition et de délimitation des zones humides en application des articles L. 214-7-1 et R. 211-108 du Code de l'environnement





© Vincent Colasse (CBNB)

INDICATEUR ÉCOLOGIQUE 1.1

CONCORDANCE DU RELEVÉ AVEC LES CRITÈRES DE L'ARRÊTÉ DE DÉLIMITATION DES ZONES HUMIDES



Ce que montre l'indicateur

Concordance d'un relevé avec les critères de l'arrêté ministériel du 24 juin 2008, modifié le 1er octobre 2009, spécifiant les caractéristiques floristiques qui permettent de définir si un relevé appartient ou non à une zone humide.

Il précise :

"Sa végétation, si elle existe, est caractérisée par :

- *Soit des espèces identifiées et quantifiées selon la méthode et la liste d'espèces figurant à l'annexe 2.1 au présent arrêté complétée en tant que de besoin par une liste additionnelle d'espèces arrêtées par le préfet de région sur proposition du conseil scientifique régional du patrimoine naturel, le cas échéant, adaptée par territoire biogéographique ;*
- *Soit des communautés d'espèces végétales, dénommées "habitats", caractéristiques de zones humides, identifiées selon la méthode et la liste correspondante figurant à l'annexe 2.2 au présent arrêté."*



Calcul

Pour les espèces, la méthode précise que le relevé correspond à une zone humide si, parmi les espèces aux recouvrements les plus forts, dont le cumul permet d'atteindre 50 % de recouvrement du relevé (+ les espèces dont le recouvrement est supérieur ou égal à 20 % non pris en compte dans ces premiers 50 %), la moitié des espèces fait partie de la

liste des espèces déterminantes donnée en annexe 2 de l'arrêté.

Pour un relevé auquel un habitat a été attribué (voir Relevé phytosociologique), vérifier sa présence dans la liste de l'annexe 2.2 de l'arrêté.



Interprétation

La conformité d'un relevé avec les critères de l'arrêté de délimitation des zones humides peut être utilisée pour vérifier si les travaux permettent bien le rétablissement d'une zone humide au sens réglementaire du terme.

C'est l'indicateur le plus simple pour évaluer des travaux de restauration car il permet de vérifier si le site a bien évolué vers une zone humide. Cependant, il ne présume en rien de la correspondance de la végétation du site restauré à une végétation de référence plus précise.

Cet indicateur ne sera pertinent qu'une fois la végétation stabilisée. Néanmoins, une fois les travaux achevés, il peut être suivi dans le temps afin d'évaluer la vitesse à laquelle on retrouve une conformité aux critères de l'arrêté.



Représentation

L'indicateur est binaire : conforme ou non conforme.



INDICATEUR ÉCOLOGIQUE 1.2**CARACTÉRISATION DES HABITATS PRÉFÉRENTIELS ET GROUPES SOCIO-ÉCOLOGIQUES**

Les espèces végétales présentes dans les relevés peuvent être regroupées selon leurs habitats préférentiels ou selon des profils écologiques semblables (groupe socio-écologique) pour faire ressortir une information spécifique, par exemple la proportion d'espèces appartenant à un type de végétation ou un type d'habitat cible.

L'habitat préférentiel d'une espèce peut être identifié en utilisant la donnée de **caractérisation écologique** (habitat optimal) de Baseflor. Des **groupes socio-écologiques** peuvent être définis en regroupant certains types d'habitats préférentiels (par exemple, en regroupant toutes les espèces de prairies humides, sans différencier leur niveau trophique, ou en regrou-

pant les espèces de landes humides et de tourbières) ou selon des caractères écologiques communs (espèces de milieux humides/non humides, espèces de milieux ouverts/fermés...). Ceci permet de diminuer le nombre de classes présentes ou de mettre en avant une caractéristique particulière du milieu, rendant ainsi l'interprétation de la donnée plus aisée.

Deux indicateurs peuvent être calculés pour évaluer les habitats préférentiels les plus représentés sur un relevé : la **contribution spécifique** par habitat préférentiel et le **recouvrement** par habitat préférentiel. Ces deux indicateurs fournissent des informations complémentaires qu'il est possible de combiner pour l'analyse.

› Variante 1 : Contributions-spécifiques par habitat préférentiel**Ce que montre l'indicateur**

La proportion d'espèces selon leur habitat préférentiel (ou groupe socio-écologique) présentes dans un relevé.

Sur les projets de restauration de zones humides, il est intéressant d'évaluer la proportion d'espèces dont l'habitat préférentiel est humide en regroupant ces habitats de façon cohérente par rapport à la référence ciblée par la restauration. On pourra par exemple évaluer la proportion d'espèces de prairies

humides (quel que soit le degré d'hygrophyllie), de landes humides..., ou rechercher la proportion d'espèces d'un habitat bien particulier.

**Calcul**

Somme des contributions spécifiques des espèces regroupées selon leur habitat préférentiel ou par groupe socio-écologique.

Fréquences et contributions spécifiques

La fréquence spécifique et la contribution spécifique permettent d'évaluer, de façon quantitative, l'importance relative de chaque espèce dans un ensemble de relevés. Elles ne sont calculées que si un nombre important de relevés sont réalisés. Elles sont généralement calculées sur la base d'un ensemble de placettes ou de quadrats aléatoires placés au sein d'une même communauté végétale ou sur l'ensemble des relevés réalisés sur un site.

La fréquence spécifique d'une espèce sur un site ou dans les quadrats d'un transect représente le nombre de relevés dans lesquels l'espèce est présente sur le nombre total de relevés réalisés sur le site.

La contribution spécifique est le rapport (en %) entre la fréquence spécifique (FSC_i) d'une espèce i et la somme des fréquences spécifiques de toutes les espèces du relevé.

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

n_i = nombre de relevés où l'espèce i a été notée
 N = nombre total de relevés

La contribution spécifique est peu utilisée en tant que telle mais sert au calcul d'indicateurs écologiques.





Interprétation

Permet d'évaluer sur un ensemble de relevés, la proportion d'espèces regroupées par habitat préférentiel. Cet indicateur permet ainsi de savoir si le relevé se rapproche ou non des habitats ou grands types de végétation ciblés par les travaux de restauration.



Représentation

La contribution spécifique par habitat peut être représentée sous forme d'histogramme à barres verticales ou horizontales. Les barres horizontales facilitent la lecture lorsqu'un grand nombre d'habitats préférentiels figure sur un relevé (Figure 4). En revanche, si ces derniers sont peu nombreux ou regroupés par groupe socio-écologique supérieur, des diagrammes empilés peuvent être plus illustratifs (Figure 5).

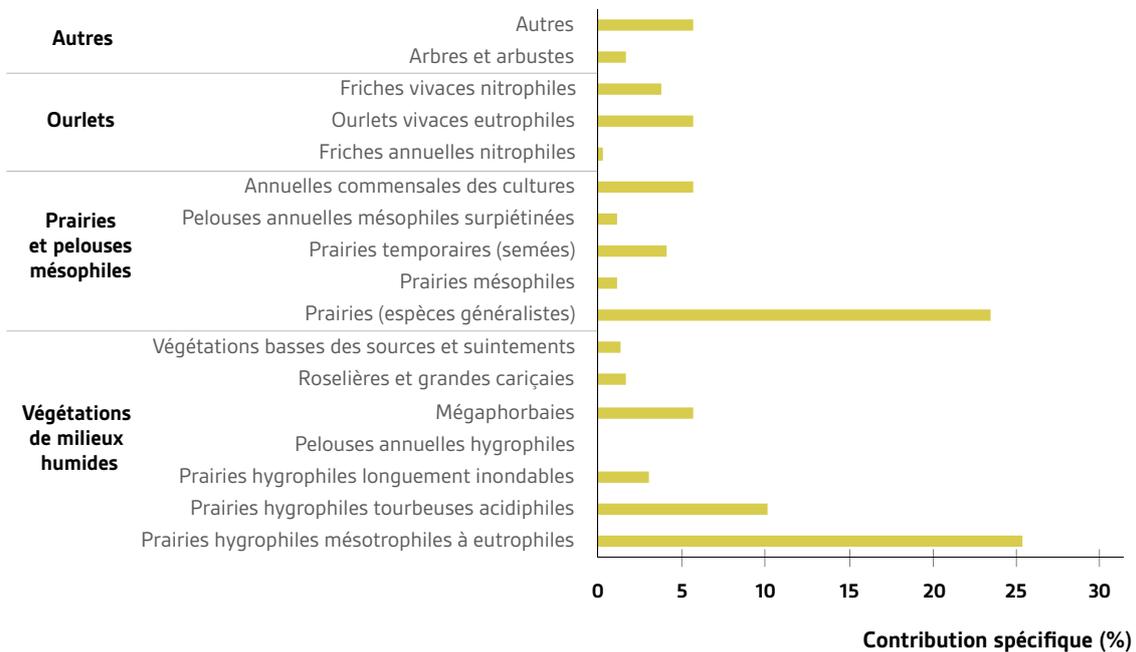


Figure 4 - Contributions spécifiques par habitat préférentiel. Diagramme horizontal. Exemple issu des suivis réalisés sur le site de Corroac'h (Finistère).

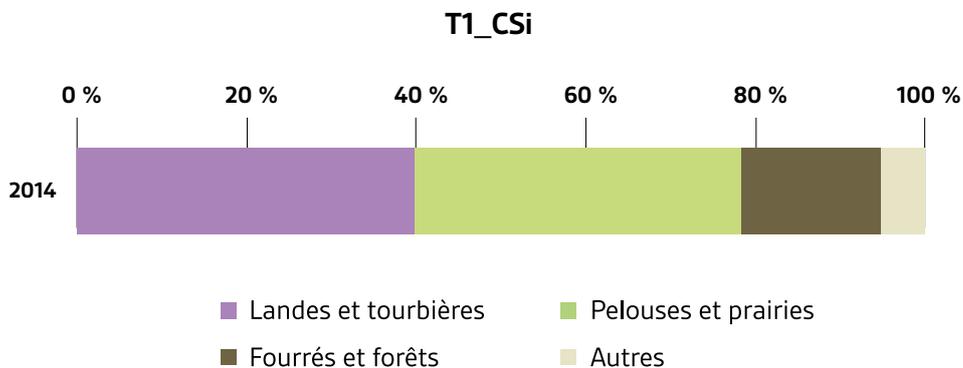


Figure 5 - Contributions spécifiques par habitat préférentiel. Diagramme empilé. Exemple issu des suivis réalisés sur site de Roc'h Plat (Finistère).



› Variante 2 : Recouvrements par habitat préférentiel



Ce que montre l'indicateur

La proportion relative d'un relevé ou d'un ensemble de relevés occupée par des espèces, regroupées selon leurs habitats préférentiels (ou groupe socio-écologique).



Calcul

Pour un relevé : Cumuler le recouvrement des espèces ayant le même habitat préférentiel.

Pour un ensemble de relevés : Calculer le recouvrement moyen (Rmoy) pour chaque habitat préférentiel identifié, en faisant la moyenne des recouvrements cumulés obtenus pour chaque relevé.

Conversion de coefficients d'abondance-dominance en valeur numérique

Pour le calcul de certains indicateurs ou traitements statistiques de la donnée, il est nécessaire d'avoir une valeur numérique du recouvrement des espèces présentes.

Les relevés réalisés en abondance-dominance peuvent être traduits en pourcentages de recouvrement en utilisant la valeur médiane de la classe :

Coefficient d'abondance-dominance	Recouvrement médian (%)
r	0,1
+	0,5
1	2,5
2	15
(2a)	(10)
(2b)	(20)
3	37,5
4	62,5
5	87,5

Cette conversion induit néanmoins une **perte importante de précision** et peut affecter le calcul d'un certain nombre d'indicateurs. Il est donc préférable, lorsque c'est possible, de relever directement les pourcentages de recouvrement sur le terrain.



Interprétation

Deux informations principales peuvent ressortir de cet indicateur :

- Déterminer si le relevé est dominé par des espèces dont l'habitat préférentiel est humide afin de vérifier le caractère humide de la végétation à l'emplacement du relevé ;
- Déterminer si les proportions d'espèces présentes par habitat correspondent à celles attendues dans l'habitat visé par l'opération de restauration.

Dans le projet ETREZH (Évaluation de l'effet de travaux de restauration sur les fonctions des zones humides de Bretagne), un seuil de 50 % de végétation hygrophile avait été fixé pour évaluer le caractère humide d'un relevé. Il peut être adapté en fonction des exigences du projet et notamment par rapport au recouvrement typique d'espèces hygrophiles dans les communautés ciblées par le projet.



 **Représentation**

La représentation peut être la même que pour les contributions spécifiques.

L'exemple ci-dessous illustre le classement des espèces par habitat préférentiel (Figure 6) puis dans une version simplifiée par groupe socio-écologique permettant de connaître simplement leur appartenance à des milieux humides et le niveau de colonisation du site par des espèces ligneuses (Figure 7).

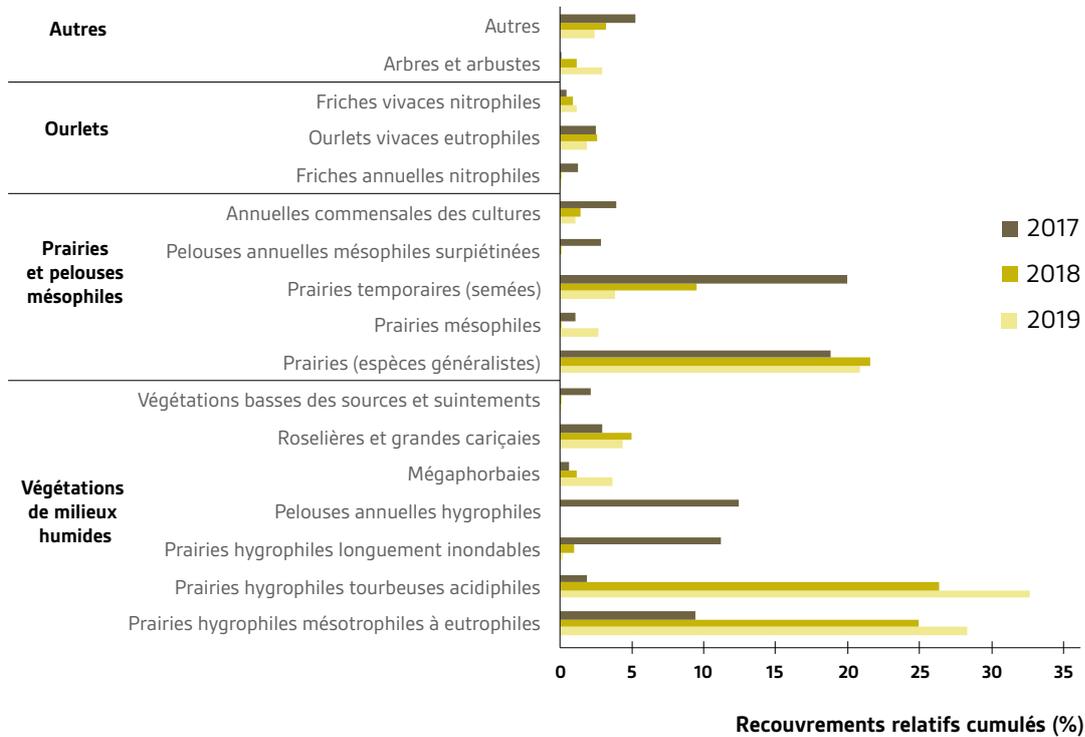


Figure 6 - Évolution des recouvrements relatifs cumulés par habitat préférentiel détaillé le long du transect 1 (site du Corroac'h). On observe une augmentation des recouvrements des espèces de prairies hygrophiles méso- et eutrophes et des espèces de prairies hygrophiles tourbeuses au détriment des espèces des pelouses annuelles hygrophiles et des prairies temporaires semées. La représentation de l'ensemble des habitats d'espèces considérés, bien qu'informatif, rend la donnée difficilement lisible.

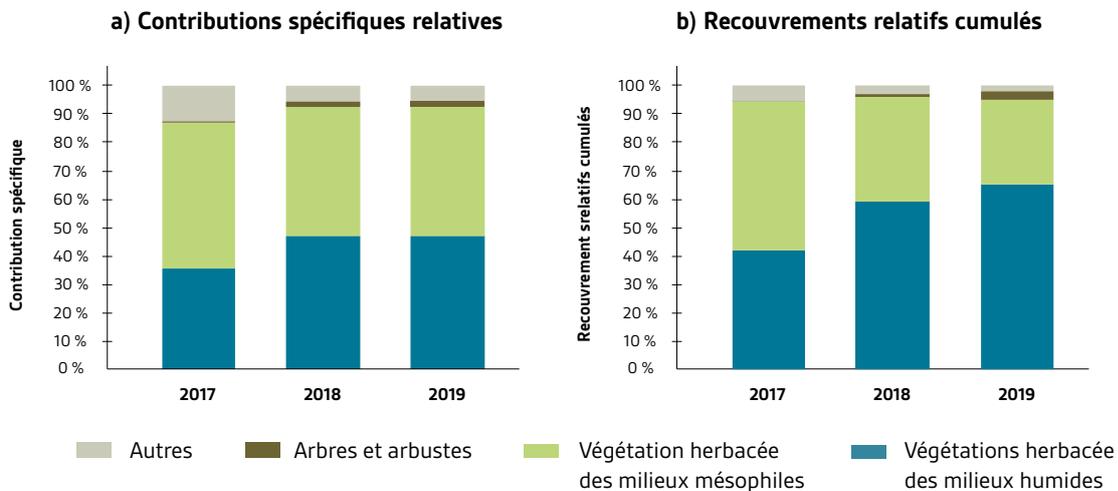


Figure 7 - Le résumé de la donnée par grand type de milieu permet d'identifier rapidement la part d'espèces d'habitats de milieux humides. Le calcul des deux indicateurs permet de compléter l'information : ici, le nombre d'espèces de milieux humides reste stable entre 2018 et 2019 mais leur recouvrement augmente et on observe également une petite augmentation du recouvrement des espèces arborées à nombre d'espèces constant. Exemple issu du suivi du transect 1 du site du Corroac'h (Finistère).



› Complémentarité entre contribution spécifique et recouvrement moyen

Les deux indicateurs contribution spécifique (*CSi*) et recouvrement moyen (*Rmoy*) sont complémentaires. En effet, des groupes d'espèces ayant le même habitat préférentiel à recouvrement équivalent peuvent être composés de peu d'espèces mais avec de forts recouvrements ou de nombreuses espèces avec des faibles recouvrements.

Ainsi, la contribution spécifique permet d'apporter une information complémentaire relative au nombre d'espèces présentes dans le groupe. Même si *Rmoy* donne une meilleure idée de l'occupation du sol par les espèces, *CSi* peut mettre en évidence l'apparition de nouvelles espèces qui prendront progressivement

plus de place, ou des espèces restant ponctuelles mais qui peuvent être indicatrices de conditions particulières. Par ailleurs, si seul le recouvrement est calculé, les représentations graphiques masquent la présence d'espèces à très faible recouvrement (voir exemple figure 7). Enfin, si l'on souhaite mettre en avant une dynamique, les espèces à faible recouvrement, parfois indicatrices, ont leur importance car elles peuvent soit disparaître, soit prendre de l'ampleur par la suite.

Ces indicateurs peuvent être illustrés sur un graphe commun en utilisant des graphiques combinés par exemple (figure 8).

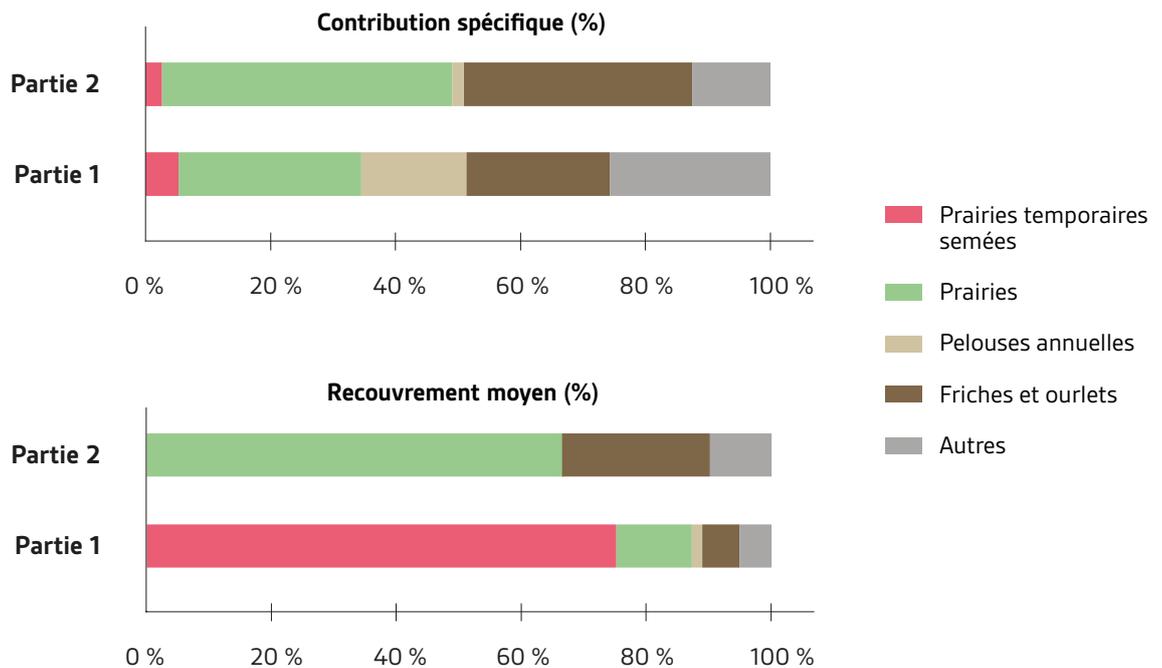


Figure 8 - Exemple de représentation. Contribution spécifique et recouvrement moyen par groupe socio-écologique d'espèces sur un transect de quadrats contigus. Exemple issu des suivis réalisés sur le site de Keravilin (Finistère). Cette figure montre que pour la partie 1 du site, les espèces semées sont peu nombreuses mais ont un recouvrement important. Dans la partie 2 du site, les espèces semées sont moins nombreuses et ont un recouvrement négligeable et les espèces prairiales ont le recouvrement le plus important, malgré un nombre équivalent d'espèces de friches et ourlets.

INDICATEUR ÉCOLOGIQUE 1.3**SPECTRE ÉCOLOGIQUE (HUMIDITÉ ÉDAPHIQUE)**

La définition du spectre écologique d'un relevé se base sur les valeurs indicatrices de chaque espèce qui qualifient leur exigence pour certains facteurs écologiques dont l'humidité du sol, utilisée ici.

La valeur indicatrice pour l'humidité édaphique (F de

Plantatt ou HE de Baseflor) donne une valeur optimale de développement de chaque espèce végétale sur une échelle de 1 à 12 (espèces des milieux les plus secs vers les milieux les plus humides).

Espèces hygrophiles
au sens large

- 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

Correspondance entre indice d'humidité édaphique et niveau d'hygrophyllie des espèces

› Variante 1 : Indice moyen d'humidité édaphique

Cet indicateur correspond à l'indicateur MhéO-LigéO Indice floristique d'engorgement



Les fiches associées à cet indicateur sont :

- Fiche indicateur : IO2 - Indice floristique d'engorgement
- Fiche protocole : PO2 - Protocole Flore
- Fiche analyse et interprétation : AO2 -Indice floristique d'engorgement

Les variantes proposées ci-après permettent d'avoir des indications complémentaires à celle données par cet indice, sur la base des mêmes données.

Point de vigilance : Pour le calcul de l'indice floristique d'engorgement, les indices d'humidité édaphique de Julve de BaseFlor ont été adaptés. Tous les indices égaux ou supérieurs à 10 prennent la valeur 10.





Ce que montre l'indicateur

La tolérance moyenne de l'ensemble des espèces d'un relevé à l'humidité du sol.



Calcul

Moyenne des valeurs indicatrices des espèces du relevé pondérées par leur recouvrement relatif dans le relevé :

Indice moyen d'humidité édaphique H_e =

$$\frac{\sum R_{ij} \times x_i}{\sum R_{ij}}$$

R_{ij} = recouvrement de l'espèce i dans le relevé j

x_i = valeur indicatrice de l'espèce



Interprétation

Les valeurs indicatrices moyennes permettent d'évaluer le niveau d'engorgement en eau du sol à l'emplacement d'un relevé et d'observer son évolution en **comparant les relevés entre eux**, le long d'un gradient ou dans le temps.



Exemple de représentation

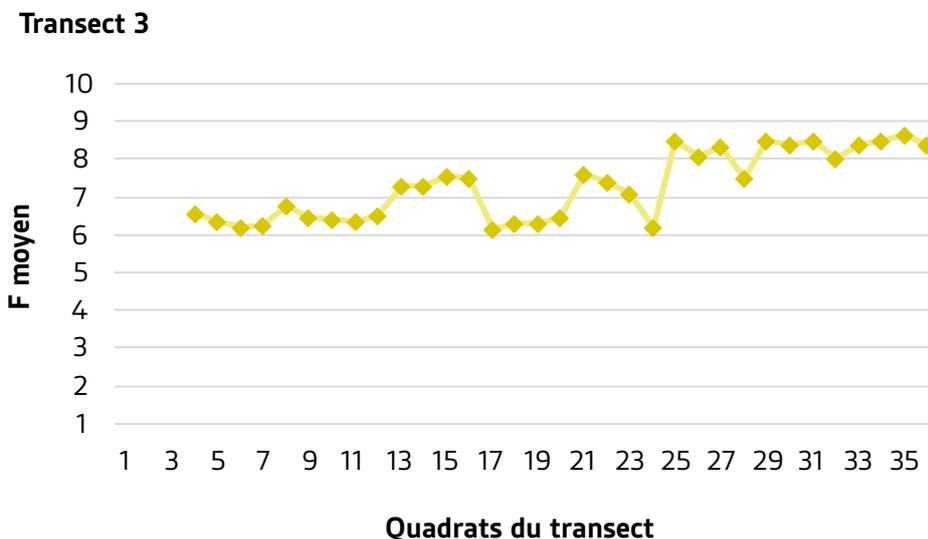


Figure 9
Indice d'humidité édaphique moyen par quadrat le long d'un transect. Exemple issu des suivis réalisés sur site de Roc'h Plat (Finistère)



› Variante 2 : Proportion relative ou contributions spécifiques cumulées d'espèces hygrophiles



Ce que montre l'indicateur

La proportion d'espèces hygrophiles présentes dans un relevé par rapport au nombre total d'espèces présentes.



Calcul

Pour un relevé : Calculer la proportion d'espèces hygrophiles (espèces dont l'indice d'humidité édaphique est compris entre 6 et 10) par rapport au nombre total d'espèces du relevé.

Pour un ensemble de relevés : Calculer la contribution spécifique cumulée des espèces hygrophiles en utilisant le même calcul que pour la contribution spécifique par habitat préférentiel, en regroupant les espèces selon leur valeur d'indice d'humidité édaphique.



Interprétation

Cet indicateur donne une information sur la dominance numérique d'espèces hygrophiles. En phase de restauration récente, certaines espèces peuvent devenir dominantes du fait de leurs caractéristiques biologiques, en lien avec les ressources trophiques disponibles. C'est le cas d'espèces comme la Houlique laineuse (*Holcus lanatus*). L'intérêt de calculer cet indicateur à partir de la présence/absence des espèces est qu'il tient uniquement compte du niveau de tolérance de l'espèce à l'humidité du sol, sans biais lié à d'autres facteurs environnementaux qui peuvent avoir une forte influence sur le recouvrement des espèces.

› Variante 3 : Spectre d'humidité édaphique cumulé



Ce que montre l'indicateur

La proportion relative d'un relevé occupée par les espèces regroupées selon leur valeur indicatrice d'humidité du sol.



Calcul

Cumul du recouvrement des espèces ayant la même valeur indicatrice d'humidité édaphique, rapporté au recouvrement total de la végétation du relevé.

$$R_a = \frac{\sum_{F=a} R_{ij}}{\sum R_{ij}} \times 100$$

R_{ij} = recouvrement de l'espèce i dans le relevé j
 a = valeurs écologiques indicatrices F variant de 1 à 12





Interprétation

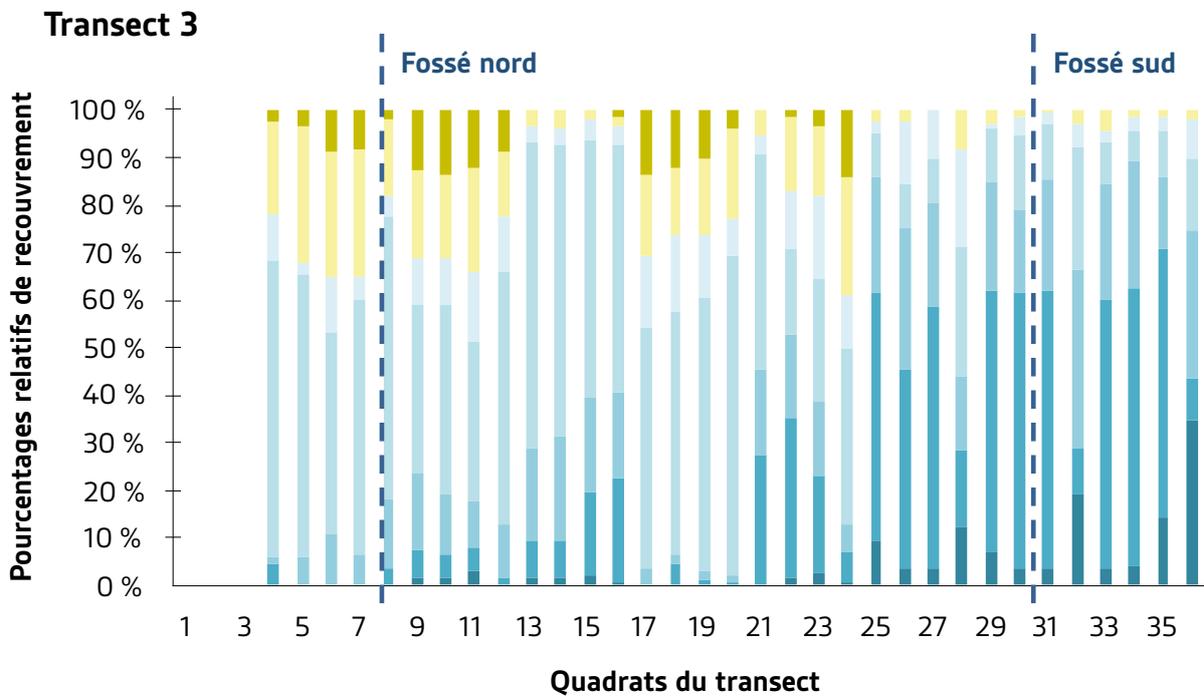
Le calcul du spectre d'humidité édaphique cumulé permet d'évaluer la proportion des relevés occupés par des espèces plus ou moins hygrophiles.

En fonction de la proportion des espèces présentes et de leur exigence écologique vis-à-vis de l'humidité du sol, il permet d'avoir une idée des conditions d'humidité d'un relevé ou d'un site et de suivre son évolution.



Exemple de représentation

La représentation graphique permet de visualiser rapidement la répartition des espèces selon leur tolérance à l'humidité du sol et, si l'opération est répétée dans le temps, de visualiser l'évolution de ces proportions.



Indices d'humidité édaphique

- | | | | | | | | | |
|---|--|-----------------|---|--|-------------|----|--|-----------------------|
| 4 | | Mésoxérophiles | 7 | | Hygrophiles | 9 | | Amphibie saisonnières |
| 5 | | Mésophiles | 8 | | Hydrophiles | 10 | | Amphibie permanentes |
| 6 | | Mésohygrophiles | | | | | | |

Figure 10 - Pourcentages de recouvrements spécifiques cumulés par valeur indicatrice d'humidité édaphique par quadrat le long d'un transect. Plus le bleu est foncé et plus les espèces du relevé tolèrent un engorgement prolongé du sol. Exemple issu des suivis réalisés sur le site de Roc'h Plat (Finistère)



› Variante 4 : Recouvrements cumulés d'espèces hygrophiles



Ce que montre l'indicateur

La proportion du relevé recouverte par des espèces hygrophiles au sens large, c'est-à-dire des espèces ayant des valeurs indicatrices d'humidité édaphique comprises entre 6 (mésohygrophiles) et 10 (amphibies permanentes).



Calcul

Somme des recouvrements des espèces ayant une valeur indicatrice comprise entre 6 et 10, rapporté au recouvrement total de la végétation du relevé.

$$R_{hygro} = \frac{\sum_{F=6}^{10} R_{ij}}{\sum R_{ij}}$$

R_{ij} = recouvrement de l'espèce i dans le relevé j



Interprétation

Cet indicateur permet de déterminer le recouvrement total d'un relevé par des espèces hygrophiles et ainsi d'apprécier le degré d'humidité général d'un site, sans permettre de spécification sur le degré d'hydromorphie du relevé ou des espèces présentes.

› Comparaison des indicateurs liés à l'humidité édaphique

Selon le niveau de précision désiré, il est possible de valoriser différemment les indicateurs choisis. L'exemple ci-dessous, issu de l'analyse des valeurs indicatrices d'humidité édaphique sur la première partie du transect 1 du site de Corroac'h (Plomelin, Finistère), illustre le degré de précision de l'information selon la méthode choisie.

Les représentations en figure 11 illustrent l'augmentation du niveau d'information d'une méthode à l'autre. En c) on constate une forte proportion d'es-

pèces amphibies sur la fin du transect en 2017, liées au tassement du sol pendant le chantier. Ces espèces régressent la seconde année et, en troisième année, on retrouve un recouvrement important d'espèces hydrophiles. Cette information est perdue si l'on ne retient que le recouvrement total d'espèces hygrophiles au sens large a) ou le F moyen b). On s'aperçoit notamment que pour des valeurs de F moyen équivalentes en 2017 et 2019, on observe des répartitions des espèces par indice d'humidité édaphique très différentes.



SUIVIS FLORISTIQUES

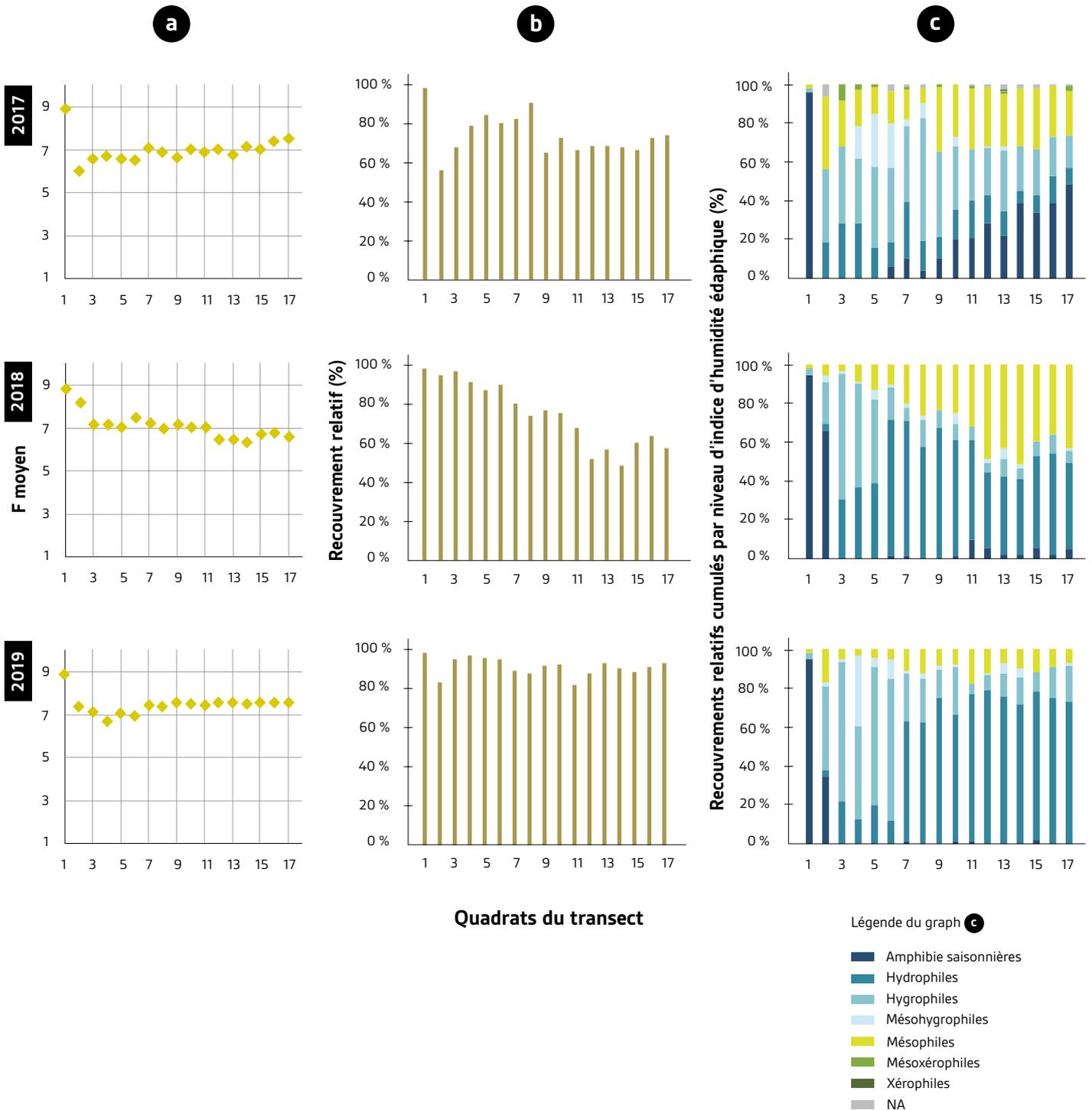


Figure 11 - Exemples de modes d'exploitation des données basées sur l'utilisation des valeurs indicatrices d'humidité édaphique le long d'un transect de quadrats contigus entre 2017 (1 an après travaux) et 2019. a) Évolution de l'indice moyen d'humidité édaphique. b) Évolution du recouvrement relatif cumulé d'espèces hygrophiles au sens large. c) Évolution des recouvrements relatifs cumulés par niveau d'humidité édaphique.



› Autres utilisations du spectre écologique

Les mêmes indicateurs peuvent être calculés pour d'autres facteurs écologiques qui peuvent également avoir un intérêt par rapport aux objectifs du projet de restauration. Par exemple :

- Dans le cadre d'une restauration de zone humide littorale, la valeur indicatrice pour la salinité (S) peut être utilisée ;

- L'utilisation de la valeur indicatrice du niveau trophique (N) des espèces permet d'identifier d'éventuels signes d'eutrophisation du milieu qui risquent de venir contrecarrer les efforts de restauration de certains types de végétation cible.

Cet indicateur est comparable à l'indicateur MhéO-LigéRO Indice floristique de fertilité du sol, mais **en utilisant les valeurs données par Julve dans BaseFlor**.



Les fiches associées à l'indicateur RoMhéO sont :

- Fiche indicateur : I06 - indice floristique de fertilité du sol
- Fiche protocole : P02 - Protocole Flore
- Fiche analyse et interprétation : A06 - indice floristique de fertilité du sol

INDICATEUR ÉCOLOGIQUE 1.4

SPECTRE BIOLOGIQUE PONDÉRÉ



Ce que montre l'indicateur

Un fort recouvrement par des espèces de certains types biologiques peut donner des indications sur l'avancée de la recolonisation de la végétation après la mise à nu du sol ou sur un défaut de gestion du milieu par rapport aux objectifs fixés (par exemple, sur-piétinement).



Calcul

Se référer aux types biologiques des espèces présentes en utilisant un référentiel tel que BaseFlor. Calculer le recouvrement cumulé des espèces regroupées par type biologique, rapporté au pourcentage total de recouvrement du relevé.



Interprétation

L'interprétation de cet indicateur dépend du type de milieu et des objectifs de conservation ou de gestion. Par exemple :

- L'abondance importante des thérophytes (espèces annuelles) dans une prairie peut traduire, au-delà d'un certain seuil (10 % de recouvrement en général), une trop forte exploitation du milieu ;
- L'abondance importante des hémicryptophytes à rosettes peut traduire un sur-piétinement, notamment dans les lieux touristiques ;
- L'abondance importante des espèces ligneuses dans un milieu qui a vocation à rester ouvert peut traduire une sous-exploitation du milieu.



INDICATEURS 2

INDICATEURS DE BIODIVERSITÉ

INDICATEUR DE BIODIVERSITÉ 2.1

RICHESSSE SPÉCIFIQUE TOTALE ET MOYENNE



Ce que montre l'indicateur

Le nombre d'espèces présentes dans un relevé ou le nombre moyen d'espèces présentes dans un ensemble de relevés.



Calcul

Richesse spécifique totale (St) : dénombrer les espèces présentes dans un relevé.

Richesse spécifique moyenne (Smoy) : pour un ensemble de relevés ou un transect, réaliser la moyenne du nombre d'espèces par relevé ou quadrat.



Interprétation

La richesse spécifique, suivie dans le temps, donne une idée globale de la **richesse du milieu** sans présumer de sa "valeur écologique". La richesse spécifique à elle seule ne renseigne en rien sur le succès d'une opération de restauration.

Exemple d'application : Typiquement, suite à une perturbation dans le milieu, la richesse spécifique augmente du fait de l'apparition d'espèces opportunistes ou à large spectre et diminue par la suite lorsque la communauté végétale se stabilise vers une composition spécifique adaptée aux conditions du milieu. Il est intéressant d'étudier la richesse spécifique suite à un semis notamment, afin d'évaluer l'apparition de nouvelles espèces et donc la diversification de la végétation.



Représentation

Cet indicateur n'est en général pas représenté graphiquement.



INDICATEUR DE BIODIVERSITÉ 2.2**DIVERSITÉ SPÉCIFIQUE DE SHANNON****Ce que montre l'indicateur**

La diversité spécifique d'un milieu, en tenant compte de la richesse spécifique et de l'abondance relative des espèces au sein de la communauté relevée.

**Calcul**

Pour un relevé :

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

R_i = recouvrement de l'espèce i dans le relevé
 S = nombre d'espèces dans le relevé

Pour un ensemble de relevés :

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

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

Pour un ensemble de relevés : réaliser la moyenne de la diversité spécifique (H') de chaque relevé.

**Interprétation**

La diversité spécifique 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. Il varie habituellement entre 0,5 (diversité faible, dominance d'une ou quelques espèces) et 4,5 (diversité élevée, communauté complexe).

L'indice de Shannon est souvent accompagné de l'indice d'équitabilité de Piélou : $J = H' / H_{\max}$ où $H_{\max} = \log_2 S$. Il traduit l'écart entre le degré de diversité

atteint (H') et un maximum théorique (H_{\max}). Il varie entre 0 lorsqu'une seule espèce domine la communauté et 1 lorsque toutes les espèces ont une abondance identique.

Exemple d'application : Dans le cadre de suivis post-travaux de restauration, le calcul de ces deux indicateurs permet de vérifier qu'une ou quelques espèces opportunistes ne s'installent pas au détriment des autres espèces.

**Représentation**

Cette valeur n'est en général pas représentée graphiquement.



INDICATEUR DE BIODIVERSITÉ 2.3

PRÉSENCE ET RICHESSE EN ESPÈCES À ENJEU



Ce que montre l'indicateur

La présence d'espèces végétales à enjeu (exotiques envahissantes ou patrimoniales) et leur importance sur le site.



Calcul

Calculer la richesse spécifique (**Spat** ou **SEEE**) et éventuellement le recouvrement moyen (ou relatif) de ces espèces à l'échelle du site.



Interprétation

Ces indicateurs permettent de vérifier la présence ou la persistance des espèces à enjeu dans le temps et de la quantifier.

Exemple d'application : Avant de réaliser des travaux de restauration, il est important de détecter la présence d'espèces protégées afin de pouvoir mettre en place des mesures d'évitement ou de réduction des impacts sur ces espèces. De même, la présence d'espèces exotiques envahissantes nécessite la prise de précautions particulières lors des travaux.



INDICATEURS 3

INDICATEURS STRUCTURELS

Selon les objectifs du projet de restauration, la structure des végétations est tout aussi importante que leur composition spécifique. C'est le cas notamment des opérations de compensation écologique pour lesquelles une équivalence fonctionnelle est recherchée. Dans ce cas, la composition spécifique et la structure de la végétation doivent être évaluées pour vérifier l'équivalence. Il existe de nombreux indicateurs structurels dont trois, très simples, sont présentés ici.

INDICATEUR STRUCTUREL 3.1

DIVERSITÉ DES VÉGÉTATIONS OU HABITATS



Ce que montre l'indicateur

Le potentiel d'accueil et de réalisation du cycle de vie pour différentes espèces sur le site d'étude. Globalement, des conditions hétérogènes (à l'exception de la fragmentation) favorisent l'accomplissement du cycle biologique d'un plus grand nombre d'espèces que dans des milieux très homogènes. Elles offrent en effet, des conditions écologiques variées susceptibles de correspondre aux besoins des différentes espèces⁷.



Interprétation

Une diversité d'habitats au sein d'un même site peut être un indicateur du potentiel d'accueil du site pour une diversité plus ou moins importante d'espèces floristiques et faunistiques.

L'intérêt de l'indicateur repose sur son utilisation pour comparer l'hétérogénéité spatiale du site restauré et d'un site de référence.



Calcul

Nombre de végétations ou d'habitats différents identifiés sur le site.

INDICATEUR STRUCTUREL 3.2

SURFACES DES VÉGÉTATIONS OU HABITATS



Ce que montre l'indicateur

La surface renseigne sur l'étendue de la végétation identifiée au sein du site.



Interprétation

Plus la surface d'un type de végétation est importante, plus les espèces l'utilisant pour réaliser leur cycle de vie auront une chance de pouvoir y trouver les conditions nécessaires à leur survie.

L'intérêt de l'indicateur repose essentiellement sur la comparaison dans le temps des surfaces occupées par chaque type de végétation afin d'évaluer le degré d'implantation des végétations cibles sur le site et leur évolution.



Calcul

Pour chaque type de végétation identifié, additionner les surfaces de chaque polygone correspondant, délimité lors de la cartographie du site.

7. GAYET, G., BAPTIST, F., BARAILLE, L., CAESSTEKER, P., CLÉMENT, J.-C., GAILLARD, J., GAUCHERAND, S., ISSELIN-NONDEDEU, F., POINSOT, C., QUÉTIER, F., TOUROULT, J., BARNAUD, G., 2016. Méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides – version 1.0. Fondements théoriques, scientifiques et techniques. Onema, MNHN, p. 310. Rapport SPN 2016 – 91.



INDICATEUR STRUCTUREL 3.3**RECOUVREMENT PAR STRATE D'UN RELEVÉ****Ce que montre l'indicateur**

Le recouvrement par strate fournit deux informations, l'une sur la complexité structurelle du milieu, l'autre sur la conformité d'un relevé par rapport à une végétation cible. Cet indicateur peut notamment être intéressant lors de la phase de transition de la végétation. Il permet de mettre en évidence une fermeture du milieu, par exemple par des ligneux.

**Calcul**

Noter directement le recouvrement cumulé par strate lors de la réalisation du relevé floristique ou additionner les pourcentages de recouvrement des végétations pour chaque strate identifiée sur le relevé.

Identification des différentes strates de végétation⁸

- **Strate arborescente (A)** : arbres > 8 m,
- **Strate arbustive haute (a1)** : arbustes et jeunes arbres de 4 à 8 m,
- **Strate arbustive basse (a2)** : arbustes et jeunes arbres de 1 ou 2 à 4 m,
- **Strate herbacée (h)** : espèces herbacées (y compris chaméphytes, jeunes ligneux) généralement hautes de moins de 1 ou 2 m,
- **Strate bryo-lichénique (m)** : bryophytes et lichens se développant sur le sol (respect de l'homogénéité écologique).

**Interprétation**

Cet indicateur permet de vérifier la conformité structurelle d'un relevé par comparaison des valeurs recueillies avec celles obtenues dans un relevé de référence. Selon la végétation ciblée, il permet également de déterminer si des strates indésirables sont présentes dans le milieu, notamment lorsque des objectifs précis sont définis en termes de faciès souhaités. Par exemple, la présence de strates arbustives ou arborées montre que l'objectif de maintien d'un milieu prairial n'a pas été atteint.

Variante : Si les strates n'ont pas été notées lors du relevé de végétation, il est possible de regrouper les espèces selon différents groupes socio-écologiques (par exemple, espèces de milieux ouverts, espèces de fourrés, espèces de boisements...) (**voir § "Surfaces des végétations ou habitats" p. 46**). Cette méthode ne permet pas de discriminer les espèces par strate car elle est basée sur les habitats préférentiels et non sur les caractéristiques propres des espèces. Ainsi, les plantules d'arbres font partie de la strate herbacée, et des espèces herbacées peuvent être typiques de milieux fermés. Elle permet néanmoins d'obtenir une indication sur la fermeture du milieu.

8. LAURENT, E., DELASSUS, L., HARDEGEN, M., 2017. Méthodes d'inventaire et de cartographie des groupements végétaux. Guide méthodologique. Brest : Conservatoire botanique national de Brest, 42 p. + annexes (Programme "Connaissance et cartographie des végétations sur de grands territoires : étude méthodologique"). Disponible sur https://www.cbnbrest.fr/pmb_pdf/CBNB_Laurent_2017_64615.pdf



04

ÉVALUATION DES TRAVAUX DE RESTAURATION

1

ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DE LA VÉGÉTATION DANS LE TEMPS (APPROCHE DIACHRONIQUE)

Les modifications d'un milieu peuvent s'évaluer simplement en étudiant le sens de l'évolution des valeurs des différents indicateurs ci-dessus dans le temps et/ou dans l'espace.

Des indices spécifiques, tels que les indices de similarité, permettent également de quantifier le chan-

gement de la végétation d'un relevé dans le temps ou la différence entre deux relevés.

Un ensemble d'outils statistiques sont également utilisables mais ne seront pas développés dans ce document, qui souhaite rester focalisé sur des analyses faciles d'accès.

1.1

ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DE LA VALEUR D'UN INDICATEUR

Pour faciliter l'analyse de l'évolution de la valeur d'un indicateur, différentes représentations peuvent être utilisées :

- La forme de tableau permet d'avoir accès directement à la donnée chiffrée, mais n'est pas très facile à interpréter au premier abord au-delà de quelques valeurs ;

- Le graphique permet de résumer la donnée et de visualiser rapidement des changements dans le temps et/ou l'espace.

Il convient donc de trouver la meilleure forme de représentation en fonction des données à interpréter et du public destinataire des données.



Exemple de représentation de l'évolution de la richesse spécifique

	Richesse spécifique moyenne (Smoy)		
	2017	2018	2019
Transect 1	20,5	10,8	11,9
Transect 2	17,4	10,4	9,8

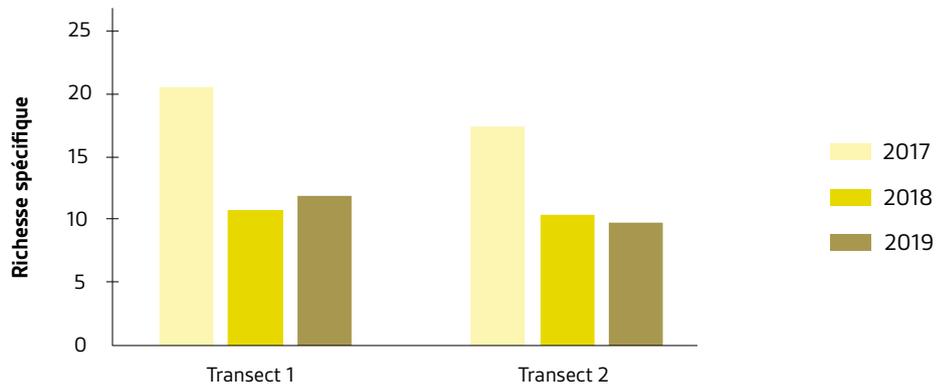


Figure 12 - Exemples de tableau et de graphique montrant l'évolution de la richesse spécifique moyenne (Smoy) par quadrat sur deux transects (Corroac'h, Finistère)

Exemple de représentation de l'évolution de contributions spécifiques

Les contributions spécifiques peuvent être représentées sous forme d'histogrammes en barre ou empilés. Dans le second cas, une représentation en pourcentage relatif facilite l'interprétation.

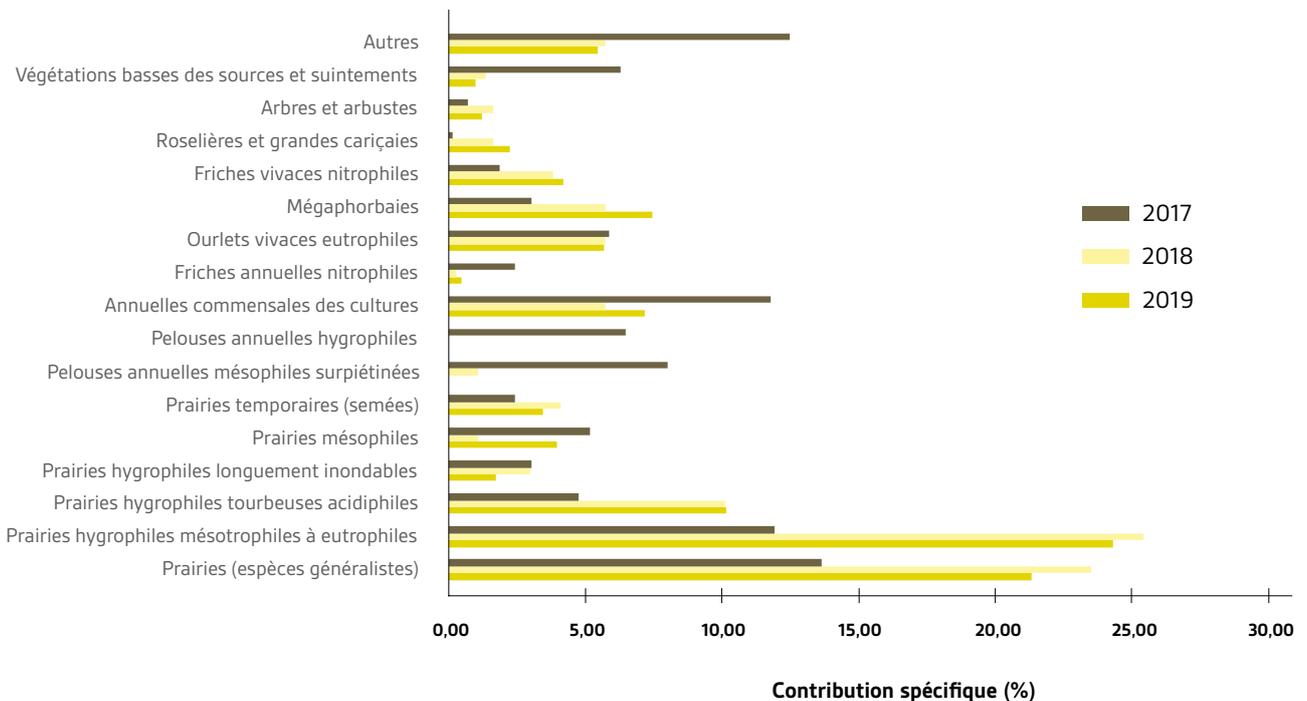


Figure 13 - Exemple de représentation des contributions spécifiques des espèces en fonction de leur habitat préférentiel. On remarque, entre autres, une diminution des espèces annuelles commensales des cultures, des espèces de pelouses annuelles hygrophiles et mésophiles au profit des espèces de prairies hygrophiles et généralistes, ainsi qu'une progression régulière des espèces de mégaphorbaies. Exemple issu du site de Corroac'h, Finistère.

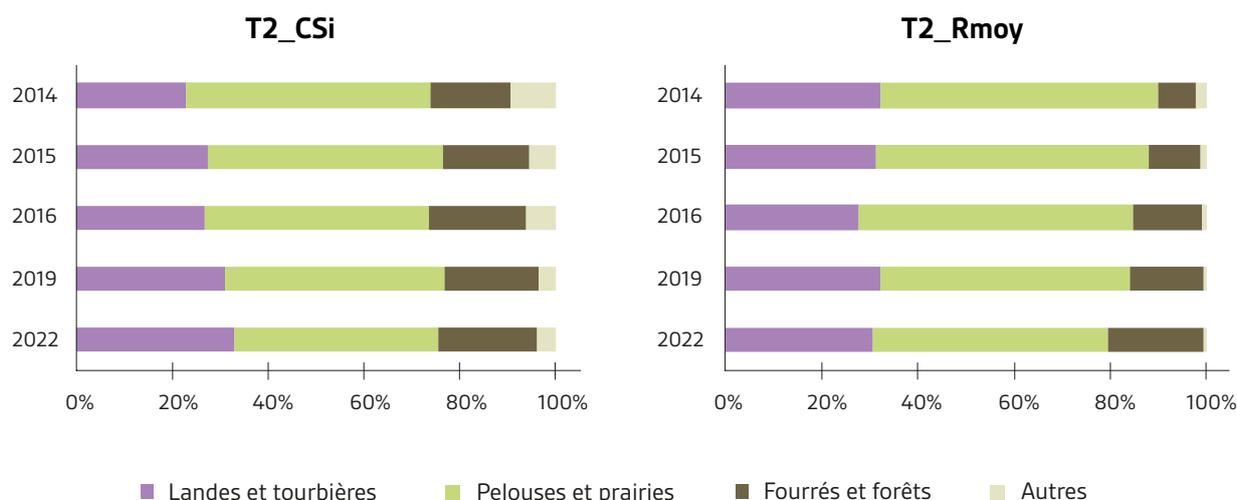


Figure 14 - Exemple d'évolution des contributions spécifiques (%) ; à gauche) et des recouvrements moyens (%) ; à droite) selon les habitats préférentiels des espèces. On observe ici une relative stabilité du cortège floristique, avec une légère augmentation du nombre d'espèces de lande et tourbière, mais dont le recouvrement moyen reste stable. On observe par contre une augmentation du recouvrement des espèces de fourrés et forêts, montrant la fermeture progressive du milieu au détriment des espèces de pelouse et prairie. Exemple issu du site de Roc'h Plat, Hanvec, Finistère.

1.2

BILAN DE L'INDICATEUR ENTRE DEUX DATES

Pour certaines données, et notamment le recouvrement, il est possible de calculer la différence de valeur de l'indicateur entre deux dates (ΔRi) afin de quantifier l'évolution de cet indicateur.

$$\Delta Ri = Ri_{(t+n)} - Ri_{(t)}$$

$Ri(t+n)$ = recouvrement de l'espèce ou du groupe d'espèces à un temps $t+n$ après travaux

$Ri(t)$ = recouvrement de l'espèce ou du groupe d'espèces avant travaux ou à une date t après travaux

Un bilan positif montre une augmentation du recouvrement de l'espèce ou du groupe d'espèces entre les deux dates.

Un bilan négatif montre une régression du recouvrement entre les deux dates.

Ce mode de calcul peut tout à fait s'envisager pour d'autres indicateurs tels que la contribution spécifique des espèces ou la moyenne du spectre écologique.



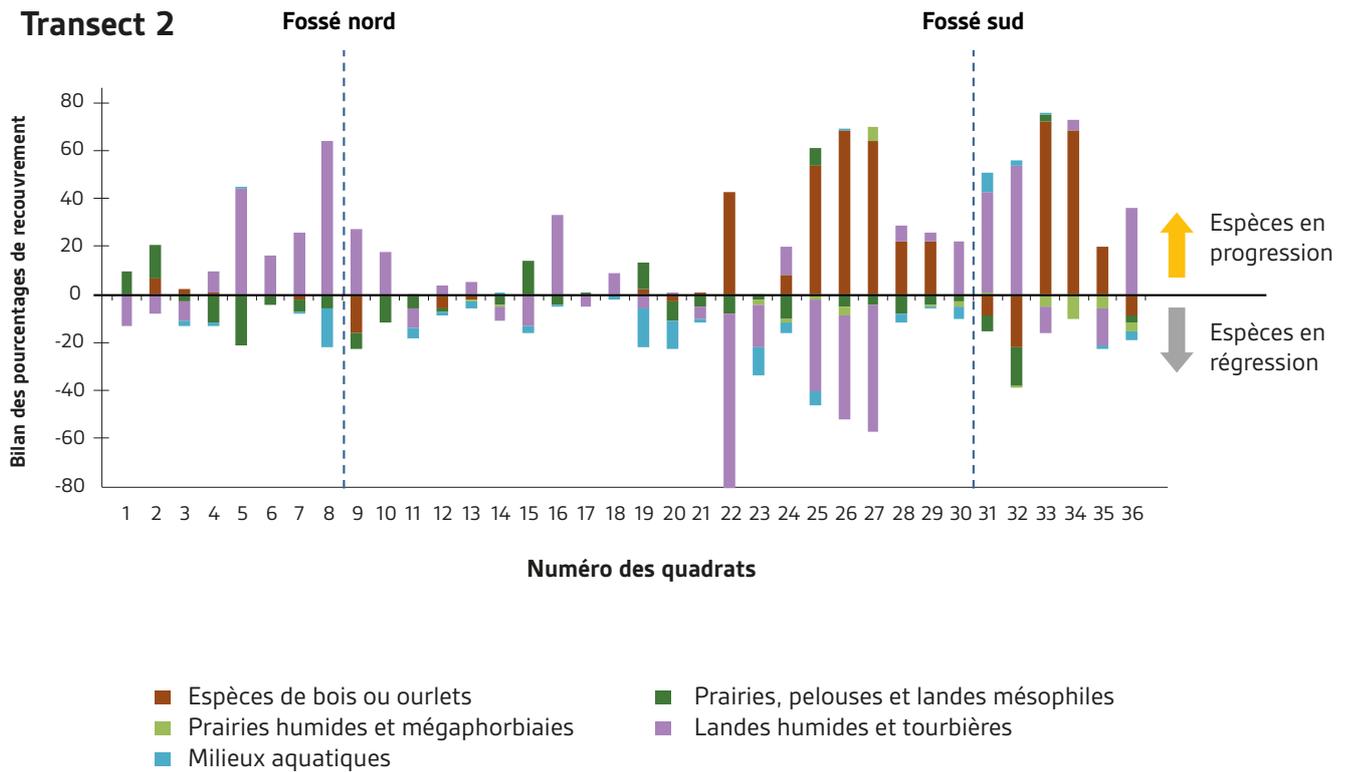


Figure 15 - Exemple de figure illustrant la différence de recouvrement des espèces selon leur habitat préférentiel entre 2014 (avant travaux) et 2019 (5 ans après travaux) dans les quadrats le long d'un transect, suite au comblement de deux fossés (localisés par les pointillés bleus). Les valeurs négatives montrent une régression du recouvrement des espèces d'un habitat préférentiel et les valeurs positives, une progression. Ici, la dynamique montre clairement la progression des espèces de tourbière et de lande humide de part et d'autre du premier fossé comblé (fossé nord) et le boisement du site en fin de transect, à l'exception de la proximité immédiate du second fossé comblé (fossé sud) où les espèces de tourbière et lande humide progressent également. Exemple issu du suivi du site de Roc'h Plat (Hanvec, Finistère).

1.3

ANALYSE DE L'ÉVOLUTION SPATIALE DES GROUPEMENTS VÉGÉTAUX OU HABITATS

L'analyse de ce type de suivi se fait par **comparaison diachronique de plusieurs cartographies** réalisées à des dates différentes. Il est alors possible d'observer les changements de répartition des groupements végétaux et de les interpréter en lien, par exemple, avec des travaux de réhabilitation.

L'analyse peut se faire de différentes façons, selon le degré de précision voulu :

- Observation visuelle
- Évolution des surfaces

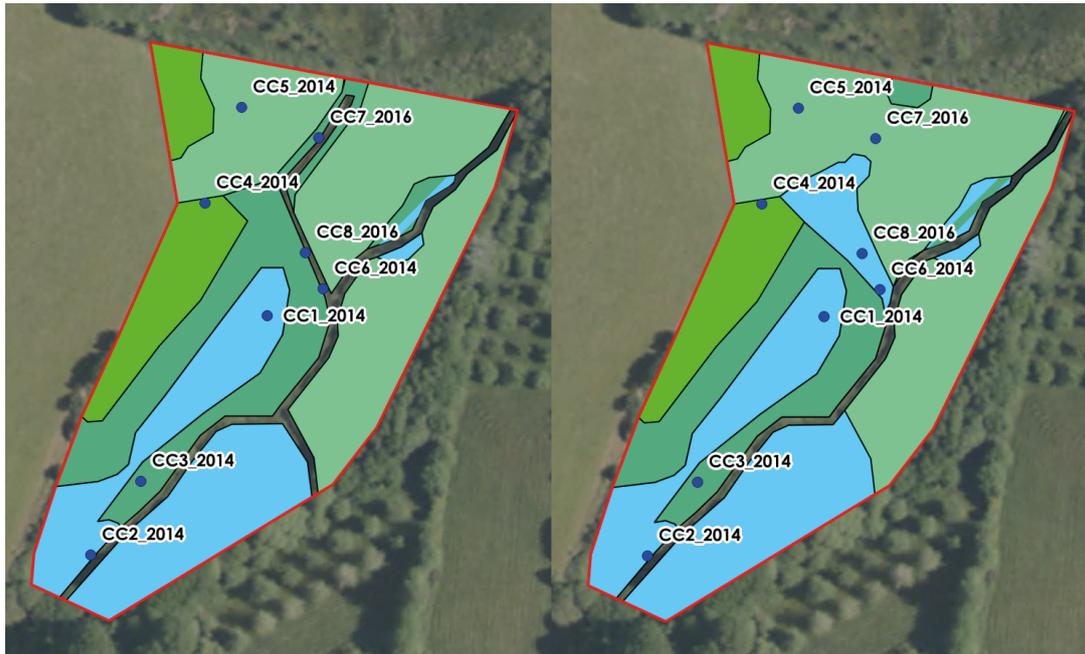
- Par intersection du contour des végétations des cartes à deux dates distinctes et caractérisation des polygones en résultant, selon que l'on observe une régression, une progression ou une stabilisation de la végétation.

Afin de caractériser ces progressions, il existe également des outils statistiques tels que les matrices de transitions⁹ qui permettent d'automatiser le calcul de surfaces évoluant d'une communauté à une autre et de spatialiser les dynamiques plus précisément.

9. GALLET, S., SAWTSCHUK, J., 2015. Évaluation de la dynamique des sites naturels par l'analyse des cartes de végétation. Penn-ar Bed, 220 : 37-41



SUIVIS FLORISTIQUES



Source : BD Ortho® © IGN-2012 - Réalisation : Conservatoire botanique national de Brest, 29/11/2016

● Relevés phytosociologiques

Groupements végétaux

-  Agrostietea stoloniferae
-  Junco acutiflori - Cynosuretum cristati
-  Potentillo anserinae - Alopecuretum geniculati
-  Ranunculo repentis - Cynosurion cristati
-  Ranunculo repentis - Cynosurion cristati (50 %) x Potentillo anserinae - Alopecuretum geniculati (50 %)



0 25 50 m

Figure 16 - Exemple de suivi réalisé par comparaison de cartographies de groupements végétaux : cartographies du site restauré de Coat Carriu (Finistère) en 2014 et 2016 et localisation de relevés qui ont permis leur caractérisation.



2

ÉVALUATION DE LA CONFORMITÉ DU MILIEU PAR RAPPORT À UNE RÉFÉRENCE (APPROCHE SYNCHRONIQUE)

Lors d'une opération de restauration, si on se réfère aux principes de l'écologie de la restauration, un des objectifs doit être d'atteindre un état référence ou "végétation cible".

Cette référence peut être basée soit sur un ou des sites témoins (en bon état de conservation), soit sur des relevés de références obtenus via des données préexistantes dans la littérature ou les bases de données (conservatoires botaniques, associations naturalistes...).

L'atteinte d'une végétation stable prend le plus souvent plusieurs années, le temps qu'un équilibre entre la végétation et les nouvelles conditions du milieu s'installe.

Plusieurs approches peuvent être utilisées pour évaluer la conformité entre un relevé réalisé dans un site restauré et une référence :

- la comparaison de listes d'espèces ;
- l'utilisation d'indices de similarité basées sur la présence/absence ou sur les abondances ;
- la comparaison des valeurs de différents indicateurs calculés dans le site restauré et dans des relevés de référence.

Par ailleurs, l'atteinte de l'objectif de restauration peut être partiel, sur une partie du site uniquement. Une approche surfacique peut alors venir compléter l'analyse.

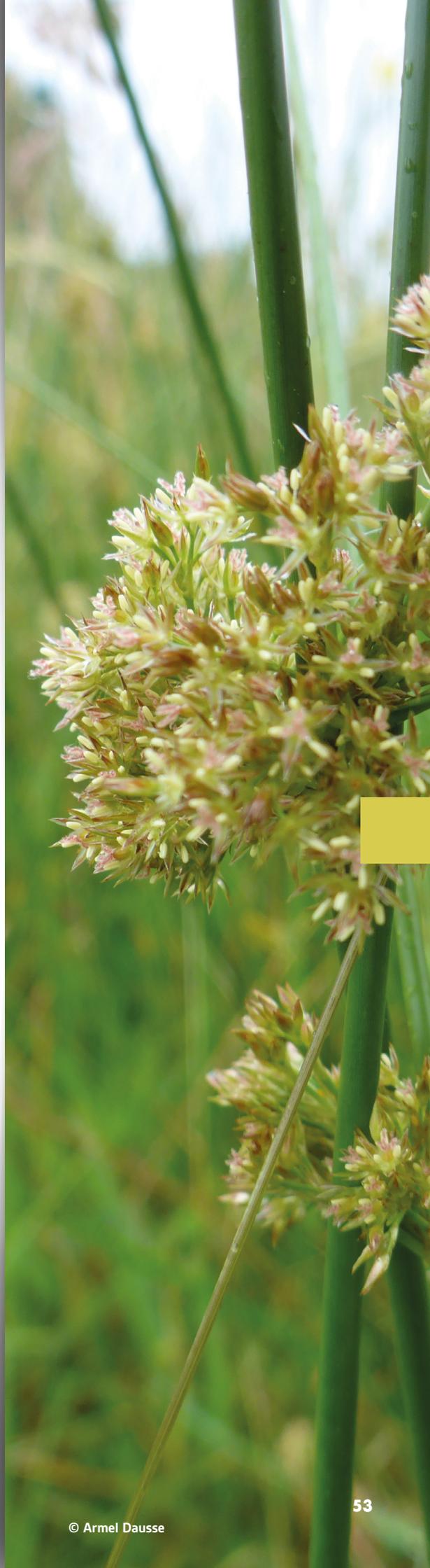
2.1

CONFORMITÉ À LA QUALIFICATION RÉGLEMENTAIRE DE ZONE HUMIDE

L'arrêté ministériel du **24 juin 2008** modifié le 1er octobre 2009 spécifie les caractéristiques floristiques qui permettent de définir si une végétation appartient ou non à une zone humide, sur la base des espèces présentes sur un site et de leur recouvrement.

Ce critère peut être utilisé pour vérifier si les travaux permettent bien de retrouver une zone humide au sens réglementaire, une fois la végétation stabilisée.

Voir également § "Indicateurs écologiques" p. 29



2.2

INDICES DE SIMILARITÉ DE JACCARD



Ce que montre l'indicateur

Permet une analyse comparative de deux listes d'espèces en présence-absence afin de mettre en évidence la similarité entre les deux.

Cet indice peut s'utiliser pour comparer un relevé réalisé sur le site restauré à un relevé de référence ou pour évaluer les modifications de la composition spécifique d'un relevé répété dans le temps et ainsi mettre en évidence la stabilisation de la végétation.



Calcul

La similarité est calculée grâce à l'indice de Jaccard SJ_{ij} qui mesure la proportion d'espèces communes à deux relevés i et j par rapport au total des espèces qu'ils contiennent ensemble :

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

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



Interprétation

L'indice de similarité de Jaccard prend une valeur comprise entre 0 et 1. Plus la valeur est proche de 1, plus la similarité est forte.

Une forte similarité entre relevés sur un site restauré et de référence tend à montrer l'atteinte de la végé-

tation cible. Cependant, l'indicateur ne prend pas en compte le recouvrement des espèces qui peut différer entre sites malgré un indice fort.

Une similarité forte entre deux relevés réalisés à des temps différents montre la stabilité de la végétation.

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

Transect 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
2017-2018	0,60	0,09	0,14	0,26	0,33	0,19	0,25	0,31	0,18	0,29	0,33	0,35	0,39	0,30	0,27	0,24	0,24
2018-2019	0,60	0,73	0,40	0,82	0,75	0,67	0,77	0,50	0,50	0,91	0,90	0,57	0,56	0,62	0,73	0,50	0,57

Figure 17 - Exemple de calcul de la similarité de Jaccard sur les relevés le long d'un transect entre différentes années de relevés après restauration. On observe une forte variation de la composition spécifique la première année et une évolution moins marquée entre la seconde et la troisième année post-restauration (2018 - 2019), montrant une possible stabilisation de la végétation. Exemple issu du suivi du site de Corroac'h (Finistère).



2.3

AUTRES INDICES DE SIMILARITÉ

Différents indicateurs décrits dans la littérature peuvent venir alimenter l'interprétation des relevés floristiques réalisés sur les sites restaurés en les comparant avec des végétations de référence.

On peut citer par exemple :

- **Community Structure Integrity Index**¹⁰ : Cet ensemble de 3 indices est basé sur la comparaison des recouvrements spécifiques entre les relevés réalisés dans le site restauré et des relevés de références.
- **Vegetation conservation status**¹¹ : Cet indicateur se base sur la différenciation au sein d'un relevé d'espèces "typiques" et "non-typiques" de la végé-

tation ciblée, ainsi que d'éventuelles espèces "neutres", à large spectre. La typicité des espèces est évaluée sur la base des espèces présentes dans des relevés de références ou sur la base de la bibliographie décrivant les habitats cibles.

- **Ecological Quality Assessment (EQA)** : Cette méthode se base sur des analyses multivariées et mesure de la distance entre un relevé et une référence. Elle permet de représenter, si les relevés sont répétés dans le temps, des trajectoires écologiques post-restauration.

2.4

COMPARAISON DES VALEURS D'INDICATEURS ENTRE SITE RESTAURÉ ET RÉFÉRENCE

La conformité d'un relevé avec une référence peut également être évaluée en comparant différents indicateurs écologiques, biologiques ou structurels relevés dans le site restauré et dans les relevés de référence. Peuvent être comparés par exemple :

- Le spectre d'humidité édaphique

- La proportion d'espèces (contribution spécifique) ou de recouvrement d'espèces par habitat préférentiel
- La richesse et la diversité spécifique
- Le recouvrement par strate

10. JAUNATRE, R., BUISSON, E., MULLER, I., MORLON, H., MESLEARD, F., DUTOIT, T., 2013. New synthetic indicators to assess community resilience and restoration success. *Ecological indicators*, 29 : 468-477.

Disponible sur : https://scholar.google.com/scholar?hl=fr&as_sdt=0%2C56q=J+aunatre+et+al.+2013.+New+synthetic+indicators+to+assess+community+resilience+and+restoration+success.+Ecological+indicators%2C&btnG=

11. JUNG, V., MOREL, L., BONTHOUX, S., CHOLLET, S., 2021. Integrating species pools and abundance distribution in habitat conservation status assessment: A new index. *Ecological indicators*, 121. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107183>



2.5

PROPORTION DU SITE COUVERT PAR UNE VÉGÉTATION CIBLE



Ce que montre l'indicateur

La part du site occupée par une végétation cible, en se basant sur un ou plusieurs critères d'évaluation de la végétation (dominance des espèces hygrophiles, habitats préférentiels dominants correspondant à la végétation cible, similarité avec une végétation de référence...)



Calcul

En se basant sur la cartographie du site, surface cumulée des taches de végétation homogène répondant au critère d'évaluation voulu, rapportée à la surface totale du site.



Interprétation

Vérifier si une proportion jugée acceptable du site, décidée au préalable, atteint l'objectif fixé pour la restauration du site.

L'objectif à atteindre peut être plus ou moins ambitieux et plus ou moins précis selon les projets. Il peut être fixé arbitrairement (par exemple, atteindre 50 % du site occupé par un habitat humide) ou être plus détaillé (par exemple, atteindre un habitat spécifique à un endroit donné).



05

POINTS D'ATTENTION SUR LES SUIVIS DE VÉGÉTATIONS

LIMITES DES INDICATEURS FLORISTIQUES

Même si, dans la plupart des cas, les indicateurs déduits de la composition floristique donnent des résultats pertinents du fait de la forte intégration par la végétation des conditions du milieu, leur analyse peut dans certain cas poser des problèmes. Il s'agit en particulier des sites où la végétation en place ne permet pas de déduire les conditions écologiques du milieu, notamment lorsqu'elle a été semée (végéta-

tion non spontanée) ou lorsqu'elle est dominée par des espèces généralistes à large amplitude écologique (faible pouvoir indicateur), ce qui se produit fréquemment suite à une perturbation du milieu. Dans ces cas, il est nécessaire d'utiliser d'autres indicateurs non basés sur la végétation pour évaluer les travaux de restauration.

CHOIX DES PROTOCOLES TERRAIN

Au moment de choisir les protocoles d'étude, il est important de définir les indicateurs que l'on souhaite utiliser afin de s'assurer que les données nécessaires à son calcul soient bien relevées sur le terrain.

Par exemple, il est tentant de réaliser des relevés en abondance-dominance qui permettent un gain de temps important sur le terrain. Cependant, la plupart des indicateurs proposés sont calculés à partir

du pourcentage de recouvrement des espèces rencontrées. Ainsi, même s'il est possible de convertir les coefficients d'abondance-dominance en pourcentage de recouvrement moyen pour le calcul de différents indicateurs, cette opération engendre une forte perte de précision.



INTERPRÉTATION DES INDICATEURS

Les indicateurs proposés ont vocation à faciliter l'interprétation par des non-spécialistes des relevés floristiques réalisés sur le terrain et à évaluer l'évolution de la végétation dans le temps. Ils synthétisent la donnée selon des critères définis et, ce faisant, entraînent la perte d'une part de l'information. Leur interprétation doit donc faire l'objet d'une at-

tention particulière, tout en gardant en tête les limites propres à chacun d'entre eux. Toute valeur inattendue doit amener à vérifier sa cause par une analyse de la composition spécifique du relevé.

L'utilisation d'indicateurs va de pair avec une bonne connaissance du site acquise en s'y rendant de façon régulière et qui facilite la compréhension des changements constatés.

LE BIAIS OBSERVATEUR

Les relevés étant basés sur une estimation du recouvrement des espèces, qu'il soit traduit en coefficient d'abondance-dominance ou en pourcentage de recouvrement, cette estimation est observateur dépendant. Ainsi, si plusieurs observateurs réalisent les relevés, il est préconisé d'en réaliser quelques-uns en commun afin de "calibrer" les valeurs entre observateurs.

Suivis réalisés par plusieurs observateurs

Lorsque les suivis sont réalisés d'une année sur l'autre par des observateurs différents, notamment des stagiaires, attention à toujours utiliser la même nomenclature et les mêmes

numéros de relevés. Idéalement, une base de données doit être structurée au début de la mise en œuvre des suivis et complétée au fil du temps afin de faciliter l'analyse des résultats.

RESPECT DES PÉRIODES PHÉNOLOGIQUES

Le moment phénologique de réalisation des relevés a une grande influence sur les espèces rencontrées et leur recouvrement, notamment dans les milieux riches en espèces annuelles. Il convient d'y prêter attention et, pour un suivi sur plusieurs années, de réaliser ces relevés à la même période phénologique, dont la **date peut varier selon les conditions météorologiques de l'année**.

Il peut également être utile, pour certains protocoles et notamment les inventaires d'espèces, de prévoir deux passages pour intégrer la présence des annuelles précoces et des espèces plus tardives.

D'une manière globale, cette période s'étend entre juin et juillet mais dépend des conditions météorologiques de l'année qui peuvent entraîner des déca-

lages phénologiques, avec quelques spécificités pour certains milieux :

- Prairies humides : la gestion agricole impose souvent d'effectuer les relevés à une période qui ne correspond pas à l'optimum phénologique de la plupart des espèces, parfois dès fin mai. Elle dépendra de l'humidité des parcelles et de la possibilité de faucher ou de la faire pâturer ;
- Tourbières : la période optimale s'étend de mi-juillet à mi-septembre ;
- Prés-salés : la période s'étend de début juillet à fin septembre, notamment pour l'identification des salicornes.



SUIVIS FLORISTIQUES



Rédaction : Armel Dausse, Forum des Marais Atlantiques
Vincent Colasse, Conservatoire botanique national de Brest
Sébastien Gallet, Laboratoire Géoarchitecture, Université de Bretagne Occidentale

Relecture : Bernard Clément, Maître de conférences de l'université de Rennes 1, retraité
Marion Hardegen, Conservatoire botanique national de Brest
Alix Augier, Oriana Garcia, Anaëlle Magueur / Forum des Marais Atlantiques

Ce document est référencé comme suit :

Dausse A., Colasse V., Gallet S., 2024. Suivis floristiques. Carnets de protocoles et indicateurs de suivis du Réseau sur la restauration des zones humides de Bretagne. Agence de l'eau Loire-Bretagne Région Bretagne / DREAL Bretagne. Forum des Marais Atlantiques, Brest. 60 p.

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

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)



Et la participation dans le comité de suivi



Les partenaires scientifiques et techniques des projets de recherche appliquée



Avec la participation dans le Finistère



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

