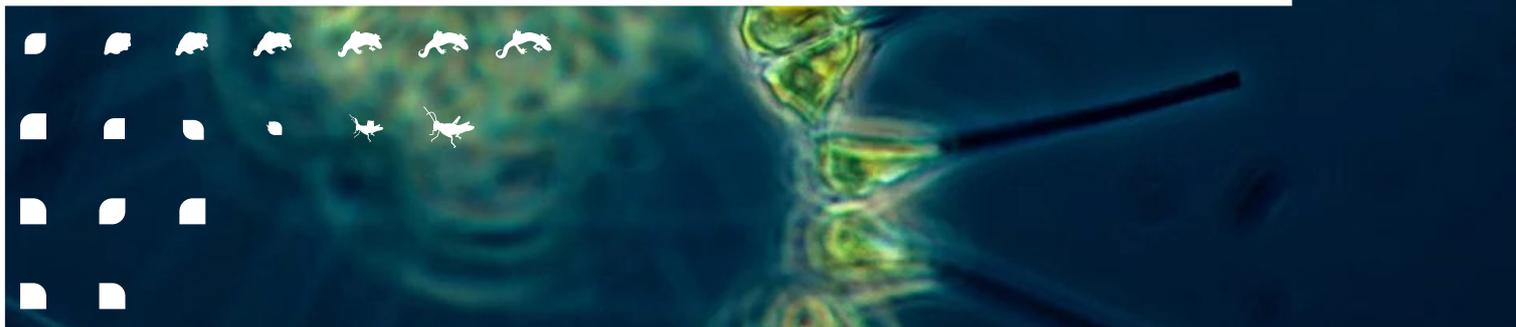


la boîte  
à outils de suivi des  
milieux  
humides

Ligéro

# INDICATEUR TROPHIQUE



## Domaine d'application

3



## Fonction

biologique  
hydrologique  
physico-chimique

## Compétences :



## Coût :

€€€ / €€€

## Description et principes de l'indicateur

L'indicateur trophique en milieu humide repose sur la description fonctionnelle du compartiment planctonique, premier maillon de la chaîne trophique en milieu aquatique.

A travers l'établissement du statut trophique de sites échantillonnés au cours de l'année, il permet de suivre l'évolution tendancielle d'une masse d'eau. Les chroniques obtenues permettent de connaître l'état fonctionnel du milieu aquatique. A l'aide d'enregistrements climatiques et des

régimes hydrologiques des sites, l'indicateur permet la mise en œuvre d'une gestion améliorée ou adaptative. L'indicateur contribue également à l'évaluation de programmes de gestion ou de restauration de zones humides.

L'outil est calibré à ce jour (2020) pour les milieux humides eutrophes semi-naturels ou naturels, tels que les marais rétrolittoraux.

## FONDEMENTS SCIENTIFIQUES DE L'INDICATEUR

Les masses d'eau permanentes ou temporaires des zones humides littorales sont un maillon important de la chaîne alimentaire de l'écosystème. Elles comportent une forte diversité d'organismes à la base de la chaîne alimentaire, notamment le phytoplancton et les chironomides (MOSSE, 1985 ; BODON, 1995). Ces derniers sont même essentiels aux insectivores aériens (odonates et chauves-souris). Le milieu présente plusieurs compartiments trophiques allant des bactéries, protozoaires, phytoplancton, zooplancton, macro-invertébrés aux vertébrés (amphibiens, reptiles et poissons) (figure 1).

Les interactions entre ces compartiments constituent une chaîne trophique. Sa dynamique est largement influencée par les conditions de milieu. Le plancton se situe à l'interface biotique / abiotique ce qui en fait un candidat intéressant pour suivre cette dynamique.

L'indicateur trophique s'articule autour de la description du compartiment planctonique et plus spécifiquement du phytoplancton (figure 1), du zooplancton et des bactéries (FENCHEL & JORGENSEN, 1977), sous l'angle de leurs traits fonctionnels. Ces organismes présentent en effet un certain nombre de propriétés intéressantes

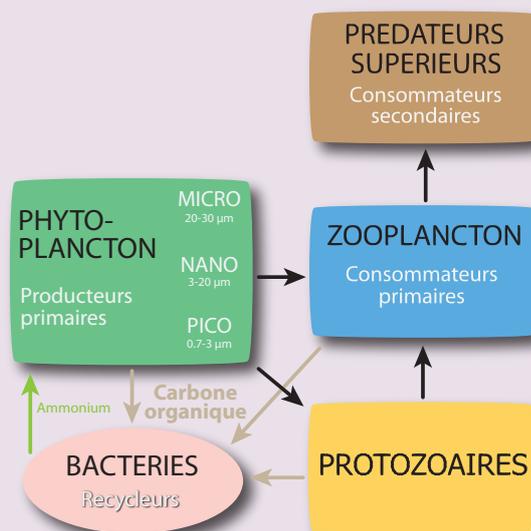


Fig. 1 : Boucle trophique aquatique en marais

pour suivre l'évolution du milieu (réactivité aux perturbations, large répartition spatiale, etc.). La dynamique trophique de la masse d'eau joue également un rôle à part entière vis-à-vis des fonctionnalités écologiques attribuées aux zones humides, parmi lesquelles, la capacité à épurer la masse d'eau ou encore la fonction habitat-nourricerie.


**FONDEMENTS SCIENTIFIQUES DE L'INDICATEUR (suite)**


À l'aide d'une stratégie d'échantillonnage adaptée, l'indicateur trophique permet de suivre l'évolution tendancielle d'une masse d'eau.

L'analyse de la chaîne trophique de l'eau des zones humides et marais côtiers (naturellement eutrophe) a été réalisée ces dernières années par une équipe de chercheurs du LIENSs à l'Université de La Rochelle (Niquil et coll., 2012, Tortajada et coll., 2012 ; Tortajada, 2013).

Dans ce but, une épure des processus entre groupes fonctionnels a été obtenue, de façon à aboutir à un ensemble de paramètres physiques et biologiques minimum permettant de décrire chaque stade d'évolution trophique du compartiment planctonique au cours d'une année (Tortajada, 2013) (cf. fiche A14)

Pour ce faire, deux paramètres spécifiques, la biomasse de chlorophylle a par classe de taille ainsi que la biomasse bactérienne obtenue par cytométrie en flux, sont traités conjointement à un panel de paramètres abiotiques et environnementaux, l'ensemble étant obtenu simplement à partir d'un échantillon classique d'eau.

Au sein d'un ensemble de milieux eutrophes apparemment homogènes se dégage en réalité des situations trophiques nuancées et évoluant au cours de l'année, un stade trophique succédant à un autre. Les travaux menés durant le développement de l'indicateur démontrent qu'en l'absence de perturbation, ces alternances de stades trophiques sont assez bien conservées d'une année à l'autre. Ce constat a permis l'élaboration et la calibration de 5 patrons d'alternance standardisés propres à 5 grands types de marais rétro littoraux. Ce dispositif permet désormais d'apprécier des altérations ou des accidents (écarts au patron de référence) dont les causes autant climatiques que d'origine humaines peuvent être appréhendées. Cela permet dans la mesure du possible de corriger ces écarts par la gestion du milieu, afin de retrouver un patron se rapprochant du potentiel attendu en matière de fonctions épuratrices et d'habitats aquatiques.

\* Un patron est constitué d'une séquence annuelle de différents type d'état trophique.


**DOMAINE D'APPLICATION DE L'INDICATEUR**


Marais rétro littoraux doux à saumâtres (type SDAGE 3) : canaux, fossé, plan d'eau.

Applicable sous réserves sur types SDAGE 5, 6, 9, 11 (développements à venir)

**Périodicité**

Au minimum 6 prélèvements par an par point d'échantillonnage.

**Bibliographie**

BODON C. (1995). *Ecologie des Chironomidae (Diptera, Nematocera) d'un marais charentais: structure spécifique, phénologie, et densité des populations d'adultes*. Thèse Université de Rennes I, Muséum National d'Histoire Naturelle, France. N°1113. 170 pp + annexes.

NIQUIL N., CHAUMILLON E., JOHSON G.A., BERTIN X., GRAMI B., DAVID V., BACHER C., ASMUSH., BAIRD D., ASMUSR. (2012) *The effect of physical drivers on ecosystem indices derived from ecological network analysis: comparison across estuarine ecosystems*, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 108, 132-143.

FENCHEL T.B., JORGENSEN B.B. (1977). *Detritus food chain of aquatic ecosystems : the role of bacteria. IV. Anaerobic decomposition*. Dans : *Advances in Microbial Ecology*, (ALEXANDER M., Ed.), Plenum Press, New-York. 1-58.

MOSSE J. (1985). *Le phytoplancton des marais du secteur de Moëze-Brouage (Charente-maritime)*, Mémoire de D.E.A., Univ. Paris VI.

TORTAJADA S., NIQUIL N., BLANCHET H., GRAMI B., MONTANIE H., DAVID V., GLE C., SAINT-BEAT B., JOHNSON G.A., MARQUIS E., DEL AMO Y., DUBOIS S., VINCENT D., DUPUY C., JUDE F., HARTMANN H.J., SAUTOUR B. (2012) *Network analysis of the planktonic food web during the spring bloom in a semi enclosed lagoon (Arcachon, SW France)*, *Acta Oecologica*, 40, 40-50.

TORTAJADA S. (2013). *De l'étude du fonctionnement des réseaux trophiques planctoniques des marais de Charente Maritime vers la recherche d'indicateurs*. Thèse de Doctorat, Université de La Rochelle, 2011. 270pp.

# SUIVI DE L'ÉTAT TROPHIQUE D'UNE MASSE D'EAU



## Description et principes du protocole

Cette fiche présente la méthode de déploiement (stratégie et plan d'échantillonnage) de l'indicateur et les modes opératoires pour la récolte des échantillons. Il s'agit de couvrir un espace à l'aide d'un nombre minimum de points de prélèvements pour obtenir une bonne représentativité des caractéristiques fonctionnelles des milieux aquatiques de la zone humide.

L'évaluation de la santé trophique du compartiment aquatique en marais aménagé à l'aide de cet outil, nécessite de déployer un plan d'échantillonnage de type stratifié. Les points de prélèvement sont positionnés sur des canaux de façon à garantir une réponse pertinente à une question de gestion. Des

critères hydrographiques et hydrologiques président à ces choix (points de confluences et/ou épices de casiers hydrauliques, selon que l'on évalue les zones et/ou les axes d'acheminement de l'eau au sein du marais...). Ils sont également positionnés en prenant en compte des enjeux internes et externes au territoire concerné (ex. présence de rejets de STEP, zone de résurgence ou de fuite dans la nappe d'accompagnement, écoulements agricoles diffus en bordure de marais...) dont on peut évaluer la zone d'influence en se rapprochant de ces sources ponctuelles ou diffuses. Ces éléments pris en compte constituent le cœur de la stratégie d'échantillonnage.

## Méthode de mise en place

### Plan d'échantillonnage

Le plan minimum d'échantillonnage comprend au moins **6 prélèvements d'eau par an** (janvier / mars-avril / juin / septembre / novembre). En simultané, sont récoltées les données d'environnement décrites ci-après.

Un nombre d'échantillon plus important peut être envisagé afin d'améliorer la finesse du diagnostic. Cela pourra prendre une éventuelle importance dans le cas de régimes hydrologiques très perturbés et/ou désynchronisés par rapport aux régimes naturels.

### Type de données collectées

Un prélèvement d'eau est réalisé selon la méthodologie préconisée dans le cadre de la DCE<sup>1,2</sup>.

Les analyses physico-chimiques classiquement exploitées dans le cadre de la DCE (azote, phosphore, carbone) sont renforcées par deux analyses biologiques : la chlorophylle a par classe de taille et l'abondance bactérienne (Cf. fiche A14). Ces analyses sont réalisées de préférence par un laboratoire accrédité.

La physicochimie est mesurée *in-situ* : température de l'eau, pH, conductivité, concentration et saturation en oxygène dissous.

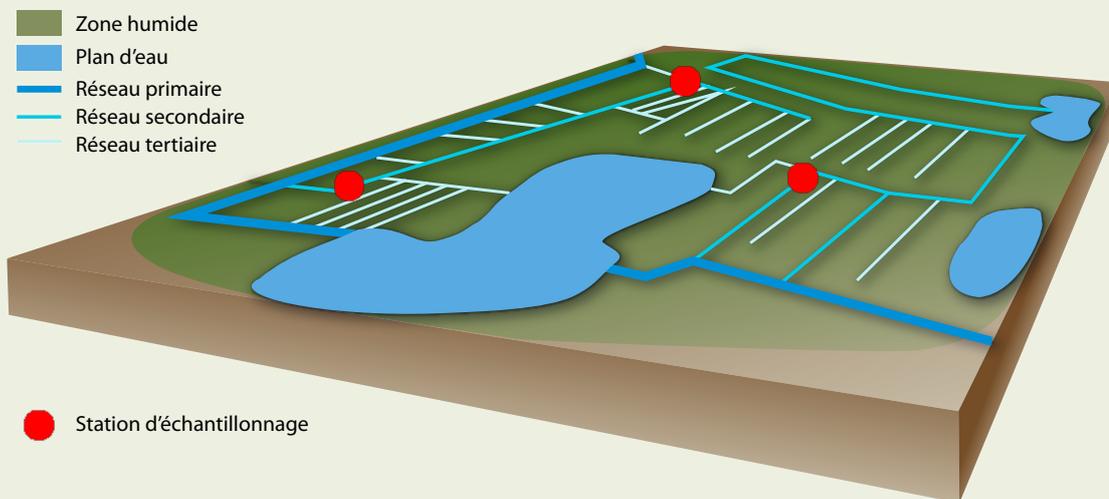
Ces données serviront à établir le statut trophique par le calcul.

Les informations d'environnement immédiat sont également collectées : courant (oui/non), couleur de l'eau, ensoleillement/nébulosité, ombrage du site (absence/faible/fort), présence de macrophytes (absence/faible/fort). Ces descripteurs et les protocoles de relevés sont décrits dans la «Mallette d'indicateurs de travaux et de suivis en zones humides» téléchargeable sur le site internet du FMA<sup>3</sup>.

A l'échelle de l'année hydrologique, le maître d'œuvre du suivi doit consigner toutes les informations utiles pour l'aide à l'interprétation ultérieure : régimes hydrologiques, modes d'écoulement, modes de gestion, date et amplitude des manœuvres d'ouvrages structurant les casiers hydrauliques, etc.

## Méthode de mise en place (suite)

**Figure 1 : Exemple de plan d'échantillonnage dans un marais aménagé.** Selon les questions à traiter, les stations peuvent être placées sur le réseau secondaire qui récapitule les ensembles tertiaires (objectif connaissance). Dans le cadre d'un suivi « tendanciel » (bancaisation) ou « bilan » (CTMA), les stations de prélèvement seront plutôt positionnées à proximité de l'exutoire du marais sur le réseau primaire et leurs résultats pourront ainsi être comparés entre eux.



## Représentativité des données

La représentativité des données est très dépendante du plan d'échantillonnage retenu et dimensionné pour répondre spécifiquement à une problématique donnée. Par exemple, dans le cadre d'un suivi « tendanciel » (bancaisation) ou « bilan » (contrats territoriaux), les stations de prélèvement seront plutôt positionnées à proximité de l'exutoire du marais sur les réseaux 1<sup>aire</sup> et 2<sup>aire</sup> et

leurs résultats pourront ainsi être comparés entre eux. Pour d'autres approches plus spécifiques (suivi ponctuel de travaux, suivi du confinement de casier hydraulique, suivi de la biodiversité...), les stations pourront être distribuées spatialement (sur le réseau tertiaire par exemple...) et temporellement (maintien des 6 campagnes/an à minima) selon l'échelle des phénomènes étudiés.

## Mode opératoire

### Prélèvement sur site

Il est important de préciser que les caractéristiques du site échantillonné (dimensions, écoulements...) conditionnent significativement la réponse de l'indicateur.

Le prélèvement d'eau est réalisé en surface (30 premiers centimètres) et conditionné dans un flacon adapté au contexte normatif en vigueur. Dans la mesure du possible, il est préférable de fractionner la prise d'eau (selon les préconisations AQUAREF) afin de recueillir un échantillon « moyen » plus représentatif des conditions de milieu.

De même, l'opérateur s'assurera de prélever à une distance raisonnable depuis les berges en tenant compte du sens d'écoulement de l'eau.

Rappel : Il conviendra également de recueillir simultanément certaines observations relatives aux conditions de prélèvement (météo, présence d'un corps étranger, etc...), mais également, les conditions d'écoulement ou bien encore la présence d'un couvert macrophytiques. Croisées avec les données physico-chimiques, ces éléments de contexte permettent de faciliter l'interprétation des résultats de l'indicateur trophique. S'il s'agit d'un prestataire, il est impératif qu'il soit missionné pour ces observations et qu'il les restitue à l'opérateur de suivi.

### Conservation, transport

Les échantillons devront être conservés dans une enceinte isotherme garantissant un transport à de 1 à 5°C jusqu'à leur prise en charge par un laboratoire.



## Représentativité des données (suite)

Les analyses chimiques et biologiques sont réalisables par tout laboratoire d'analyse, y compris pour le paramètre spécifique « chlorophylle par classes de taille », ainsi que le paramètre spécifique « dénombrement de la charge en bactéries » s'il dispose d'un cytomètre de flux.

### Les analyses physico-chimiques classiques

Parmi les analyses de chimie générale utilisées classiquement dans le cadre de la DCE, les paramètres suivants doivent être dosés pour pouvoir à la fois enrichir le modèle et réaliser l'interprétation les résultats de l'indicateur trophique.

Ces analyses sont de préférence réalisées par un laboratoire accrédité en mesure de travailler selon les normes suivantes :

Ammonium	NF EN ISO 11732
Nitrites	NF EN ISO 13395
Nitrates	NF EN ISO 13395
Azote Kjeldahl	NF EN 25663
Phosphates	NF EN ISO 15681-2
Carbone Organique Dissous	NF EN 1484

Ces analyses sont complétées par les paramètres physico-chimiques *in-situ* : **T°**, **pH**, **Conductivité**, **Oxygène dissous**.

### Les paramètres spécifiques

- **La chlorophylle a par classe de taille**

Le protocole de dosage de la chlorophylle a par classe de taille est adapté de la norme NF T90-117. L'échantillon est d'abord filtré « en cascade » sur des filtres de porosité décroissante (20µm, 3µm, 0.7µm). L'étape d'extraction se fait sous agitation à 4°C dans l'acétone pendant 12 à 15h avant dosage par spectrophotométrie.

- **Le dénombrement de la charge en bactérie**

Le dénombrement de la charge en bactérie se fait par cytométrie en flux. Cette méthode consiste à dénombrer les particules contenues dans l'échantillon en étudiant les propriétés de ces dernières lorsqu'elles sont bombardées par un jeu de lasers de différentes couleurs.

Une méthode interne d'analyse a été développée par le Laboratoire QUALYSE (partenaire du projet de développement de l'indicateur trophique). Cette méthode (présentant les conditions de calibration des appareils, de préparation des échantillons, d'analyse et de mise en forme des résultats) est disponible auprès de l'UNIMA pour permettre à tout laboratoire disposant d'un cytomètre en flux de réaliser cette analyse.

Dans un souci de conformité des échanges entre laboratoires et opérateurs de suivis, les deux techniques décrites ci-dessus ont fait l'objet d'une codification par le SANDRE\* (Tab.1).

L'ensemble des données de laboratoire et de terrain est finalement recueilli par le maître d'ouvrage pour permettre leur traitement (cf. fiche traitement des données).

Nb : Le Forum des Marais Atlantiques\* peut accompagner le maître d'ouvrage dans la rédaction du cahier des charges intégrant les différents aspects relatifs à la collecte et à l'analyse des échantillons.

\*SANDRE : le Service d'Administration National des Données et Référentiels sur l'Eau a pour mission d'établir et de mettre à disposition le référentiel des données sur l'eau du SIE (système d'information sur l'Eau).

Analyses chimiques (suite)

Tableau 1 : codification SANDRE associée aux paramètres spécifiques développés dans le cadre de la création de l'indicateur trophique.

Abondance bactérienne par cytométrie en flux				
Paramètre	Fraction	Support	Méthode	Unités
Ab.bact [7728]	Liquide [1]	Eau [3]	Cyto flux [915]	Cellules/mL [451]
Dosage fractionné de la Chlorophylle A				
Paramètre	Fraction	Support	Méthode	Unités
Chla [1439]	Faction algale > 20µm [267]	Eau [3]	Chl.fract [927]	µg/L [133]
Chla [1439]	Faction algale 3 - 20µm [269]	Eau [3]	Chl.fract [927]	µg/L [133]
Chla [1439]	Faction algale < 3µm [268]	Eau [3]	Chl.fract [927]	µg/L [133]

Opérationnalité de la collecte

Compétences requises

L'étape de prélèvement ne présente pas de spécificité particulière. L'opérateur doit toutefois être en mesure de détecter tout phénomène de nature à remettre en cause la pertinence du prélèvement. De même l'opérateur doit être en mesure de décrire les conditions environnementales du prélèvement.

L'étape de collecte peut intégrer la prestation du laboratoire partenaire de la démarche ou être réalisée en régie. Dans ce cas, il est important d'anticiper certains coûts de fonctionnement tels que l'acquisition d'une sonde multiparamètre (son étalonnage et son entretien), d'une perche de prélèvement, etc... A titre informatif, un chiffrage de ces différents éléments est présenté ci-dessous :

Prix indicatif (T.T.C sur la base de 5 stations)		Unité
<b>Sondes multiparamètres</b>		-
achat	3000 €	/an
entretien	300 €	/an
étalonnage	300 €	
<b>Coût de prélèvement</b>	150 €	/st et par date
<b>Matériel de prélèvement</b>	300 €	-

Temps moyen de collecte

La collecte des échantillons est assez rapide. Un opérateur rompu à l'exercice est en mesure de s'acquitter du prélèvement en une dizaine de minutes par station. L'accessibilité à la zone de prélèvement peut évidemment influencer cette durée.

Matériel

Dans le cas où le prélèvement est réalisé en régie, le matériel d'échantillonnage comprend les bidons adaptés à chaque type de paramètres analysés, une perche télescopique de prélèvement, ainsi qu'un système correctement étalonné permettant de relever les paramètres physico-chimiques in situ (T°, pH, Conductivité, Oxygène dissous). Les échantillons seront conservés dans une enceinte isotherme réfrigérée garantissant un transport de 1 à 5°C jusqu'à leur prise en charge par un laboratoire accrédité.

Coûts

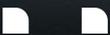
Le montant d'un tel suivi est dépendant du type d'organisation choisie au regard des besoins et des ressources du gestionnaire (réalisation des prélèvements en régie, nombre de stations à prélever, etc...). Toutefois, l'enveloppe globale est estimée entre 10 et 15 k€ par an pour un panel de 5 stations.

À raison de 6 prélèvements annuels, le coût global par échantillon est donc estimé entre 330 et 500€, répartis comme suit :

- Prélèvements et mesures in situ : 140 à 160€ / station
- Analyses chimiques : 60 à 70€ / échantillon
- Chlorophylle a fractionnée, abondance bactérienne (dont transfert) : 110 à 200€ / échantillon.



# SUIVI DE L'ÉTAT TROPHIQUE D'UNE MASSE D'EAU



## Description et principe

L'indicateur s'attache à décrire la dynamique trophique d'une masse d'eau. Cette dernière est représentée par une alternance d'états trophiques calculés pour chaque prélèvement. La chronique de données ainsi obtenue est comparée à un schéma d'alternance standard. Le cas échéant, un écart à cette référence est susceptible de traduire un fonctionnement altéré de la masse d'eau.

ma d'alternance standard. Le cas échéant, un écart à cette référence est susceptible de traduire un fonctionnement altéré de la masse d'eau.



## Principes



### Principes

En règle générale, une station passe par différents stades de 'maturation' de la chaîne trophique représentés ci-après par un gradient de couleurs (fig. 1) :

1. **HIVER.** Durant la période hivernale, les espèces planctoniques peuplant la colonne d'eau ne disparaissent pas totalement. En réalité, un réseau trophique minimal subsiste.

2. **STADE IMMATURE.** Au début du printemps, la biomasse des différents compartiments est faible, les interactions entre ces compartiments le sont aussi. Toutefois, l'ensemble des acteurs étant présent, le réseau est qualifié de mutivore faible. Ce dernier présente d'ores et déjà des potentialités intéressantes vis-à-vis de l'écosystème.

Le développement des microalgues assure l'abattement des teneurs en sels nutritifs tout en main-

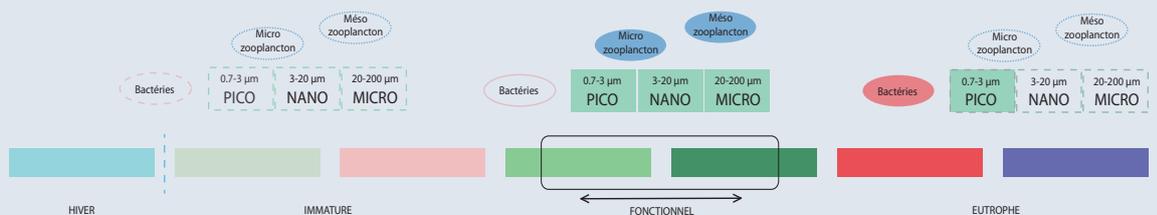


Figure 1 : alternance des stades de maturation trophique au cours des saisons, et représentation des contributions des compartiments micro et méso-biologiques à l'expression du stade trophique.

C'est ce pool d'organismes qui va permettre, lorsque les conditions de milieu le permettront, d'initier le développement de la chaîne trophique aquatique.

Durant cette période, l'activité biologique est réduite au strict minimum, la masse d'eau entre en quelque sorte en dormance.

L'apparition de ce type de réseau en dehors de la période hivernale a déjà été observée lorsque la masse d'eau est colonisée par des macrophytes. Ces dernières entrent en compétition avec le phytoplancton dont le développement est alors perturbé.

tenant des conditions d'habitat satisfaisantes.

3. **MATURATION.** La saison avançant, la biomasse des différents compartiments augmente et les interactions entre ces derniers deviennent plus intenses. L'importante quantité de prédateurs (zooplancton) permet d'éviter le développement massif de microalgues, créant en quelques sortes un équilibre dynamique de type proies-prédateurs.

D'un point de vue fonctionnel, ces réseaux présentent un fort potentiel écologique.

L'abattement des teneurs en sels nutritifs est important et le développement conjoint des différents compartiments planctoniques permet de favoriser la fonction de nourricerie de ces milieux, offrant un large spectre de ressources aux mailles supérieures tout en préservant une fonction habitat satisfaisante (absence d'anoxie, etc.).

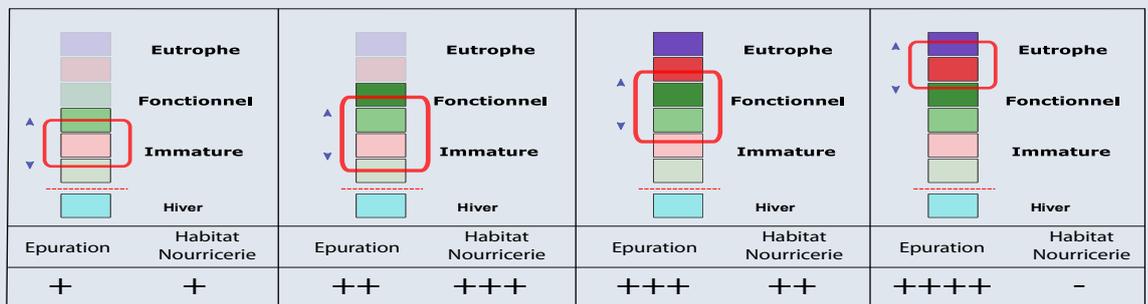
## Principes (suite)

4. **STADE EUTROPHE.** Sous certaines conditions (absence de réalimentation, fortes teneurs en sels nutritifs, etc.) l'équilibre entre production et consommation est rompu, le développement massif de microalgues n'est plus compensé par la prédation et la situation évolue vers la dystrophie.

En termes de fonctionnalités, c'est généralement dans les masses d'eau eutrophes que l'abatement des sels nutritifs est le plus important. Toutefois, cette forte capacité épuratoire se fait au détriment des autres fonctions écologiques associées aux marais. Ces réseaux sont le siège d'une production importante de matière organique dont la dégradation (recyclage) par les bactéries entraîne une chute drastique de la saturation en oxygène.

La capacité de la masse d'eau à offrir des conditions d'habitat satisfaisante est dès lors remise en question. En situation eutrophe, la chaîne trophique s'articule principalement autour du compartiment bactérien et de la fraction picophytoplanctonique, l'aspect nourricier du milieu est également compromis.

En l'absence d'un renouvellement significatif de la masse d'eau, le retour à des fonctionnements plus équilibrés (dématuration) est improbable. L'alternance des réseaux trophiques décrite ci-dessus est certes classique en marais doux, mais ne représente pas l'intégralité des situations rencontrées en milieu naturel.



## Mode de calcul et méthode d'interprétation

Les données biologiques et chimiques sont traitées simultanément à l'aide d'un modèle statistique capable de caractériser le stade trophique de la masse d'eau à une date précise (cf. chap. Opérationnalité, ci-après).

*Nb : Ce modèle est explicité dans le rapport final d'étude 2019, disponible sur le site Internet du FMA et prochainement à partir de l'interface de traitement des données en ligne, qui sera mis à disposition des utilisateurs.*

La dynamique trophique d'une station est ensuite reconstruite à l'échelle d'une année et comparée à un des patrons standardisés propres à 5 grands types de marais retro-littoraux déjà identifiés (Fig. 3).

Il est important de souligner que la «trajectoire trophique» standard de chaque patron est étroitement liée aux conditions hydrologiques qui participent à déterminer le degré de confinement de la masse d'eau.

Ceci induit une certaine variabilité pour chacune des 5 trajectoires de référence.

A l'instar d'un intervalle de confiance, la zone grisée suggère une amplitude de variation admissible vis-à-vis de cette trajectoire standard dans laquelle la succession annuelle de la station étudiée (ligne rouge) vient se positionner.



## Interprétation (suite)

— Trajectoire standard  
— Trajectoire annuelle

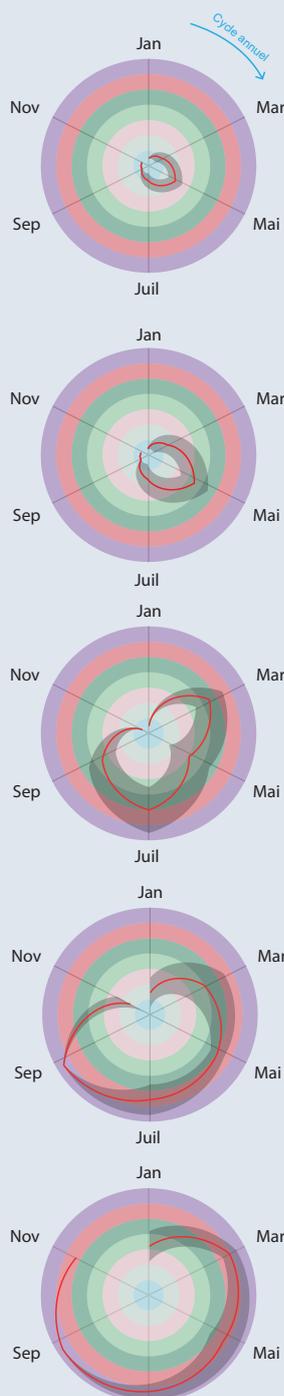


Figure 3 : types de schémas d'alternances

Les figures suivantes présentent 5 types de schémas d'alternances courants.

**Type 1.** Dans ce type de schéma d'alternance, le compartiment planctonique présente une très faible activité. Ce type de fonctionnement est observé sur des hydrosystèmes très fortement réalimentés comme des rivières canalisées ou plus ponctuellement sur des marais mouillés au cours d'années présentant une hydrologie favorable. Il faut souligner que ce type de fonctionnement peut révéler une altération comme par exemple la présence d'entrées salines régulières limitant le développement d'un réseau trophique mature et fonctionnel.

**Type 2.** Le compartiment planctonique présente en période de production un caractère immature alors qu'en période hivernale il perd son activité. La mise en action d'un réseau mature peut être observée ponctuellement une nouvelle fois au gré d'un changement climatique (printemps) ou hydrologique (limitation des écoulements). Ces blooms correspondant à un optimum de fonctionnalité du compartiment planctonique, le système reste résilient et peut revenir à un fonctionnement moins mature au regard de l'évolution des conditions environnementales. Ce type de fonctionnement est observé sur des marais présentant une très forte réalimentation (artificielle ou naturelle) et sans rupture significative d'écoulement.

**Type 3.** Le compartiment planctonique présente en période de production un caractère mature fonctionnel tout en perdant son activité en période hivernale. Le système reste résilient et peut revenir à un fonctionnement moins mature au regard de l'évolution des conditions environnementales. Ainsi, les blooms planctoniques sont majoritairement observés au printemps avec des conditions favorables (température et lumière) ainsi qu'au cœur de l'étiage (renouvellement d'eau limité). Si ces facteurs de maturation sont un peu plus marqués, des réseaux eutrophes peuvent apparaître ponctuellement. Ce type de fonctionnement est observé dans des marais disposant d'une réalimentation en eau significative. Il est toutefois aussi rencontré sur des grands canaux stagnants où la lame d'eau (de l'ordre de 2 m) tamponne les phénomènes de maturation.

**Type 4.** Le compartiment planctonique mature progressivement tout au long de la saison et présente un réseau eutrophe en fin d'étiage. En hiver, le retour à un réseau en dormance n'est pas systématique et il est fréquent d'observer lors d'hivers secs le maintien de réseaux immatures. Dans ces cas, les réseaux eutrophes peuvent souvent apparaître plus précocement dans la saison et se maintenir toute la période de production. Ce schéma est caractéristique des marais non réalimentés avec un renouvellement hivernal plus ou moins marqué.

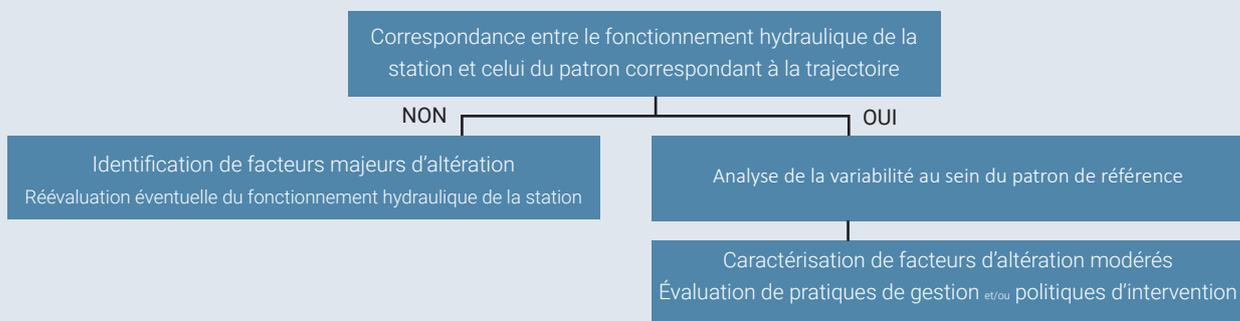
**Type 5.** Le compartiment planctonique se maintient presque systématiquement dans des réseaux eutrophes. La période hivernale peut connaître éventuellement un retour vers des conditions de réseau trophique immature. Ce schéma traduit un état très altéré de la masse d'eau lié à du sur-confinement ou des intrants très significatifs (STEP).

## Interprétation (suite)

Tableau 1 : clefs de lecture des typologies de fonctionnement des marais littoraux

	Périodes de production	Période hivernale	Variabilité
Fonctionnement à pic immature	Absence d'activité	Absence d'activité	Apparition ponctuelle d'un pic immature (selon climatologie et hydrologie)
Fonctionnement à pic mature	Réseaux immatures	Absence d'activité	Apparition ponctuelle d'un pic mature (selon climatologie et hydrologie)
Fonctionnement mature à blooms multiples	Alternance entre réseaux immatures et matures	Absence d'activité	Apparition des phénomènes matures en début (climatologie) et fin de saison de production (hydrologie)
Fonctionnement eutrophe à maturation progressive	Maturation progressive jusqu'au réseau eutrophe	Maintien régulier d'un réseau immature	Maturation plus ou moins rapide selon le renouvellement hivernal (proportion de réseau mature vs eutrophe)
Fonctionnement dystrophe	Réseau eutrophe	Maintien régulier d'un réseau mature	Maintien possible d'un réseau eutrophe pendant toute la période de production

Le travail d'interprétation s'appuie sur le principe suivant :



## Opérationnalité

### Accès aux outils numériques

A l'heure actuelle, l'équipe en charge du développement technique de l'indicateur travaille sur l'élaboration d'une plateforme web permettant un accès simplifié aux ressources propres à cet outil.

L'utilisateur aura notamment la possibilité de générer un support interactif de visualisation de ses données. Un exemple fonctionnel de ce type de rendu est disponible à l'adresse suivante : [https://unima.fr/ex\\_tdb.html](https://unima.fr/ex_tdb.html)

Cette plateforme aura pour vocation de centraliser toute la documentation produite dans le cadre du projet mais également d'offrir un point d'entrée unique vers l'interface de traitement des données.

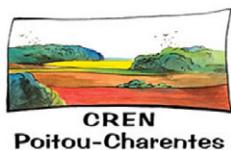


### Contact

Unima, 28 avenue de Vaucanson, ZI de Périgny, 17180 Périgny. 05 46 34 34 10  
Forum des Marais Atlantiques, Quai aux vivres, 17300 Rochefort. 05 46 87 08 00

# LE PROGRAMME LIGÉRO

## STRUCTURES PARTICIPANTES ET PARTENAIRES FINANCIERS





Ce document a été produit dans le cadre du projet LigéO. Il présente, sur la base de la BAOZH Rhoméo et du guide méthodologique d'utilisation des indicateurs pour le suivi des travaux de restauration, les méthodes nécessaires à la mise en place de six indicateurs de suivi des milieux humides testés à l'échelle du bassin de la Loire. Ce document présente aussi l'indicateur trophique, testé sur les marais de la façade atlantique et de la Manche.



## Avec le soutien de :



Cette opération est cofinancée par l'Union européenne, L'Europe s'engage en région Centre-Val de Loire avec le Fonds Européen de Développement Régional.

