RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

agence de l'eau RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE

eau & CONNAISSANCE

Lagunes

ESTIMER LES FLUX DE NUTRIMENTS APPORTÉS AUX LAGUNES MÉDITERRANÉENNES :

UNE ÉTAPE CLÉ POUR DÉFINIR UNE STRATÉGIE DE MAÎTRISE DE LEUR EUTROPHISATION

Préconisations méthodologiques

BASSIN RHÔNE-MÉDITERRANÉE

Novembre 2022

SAUVONS L'EAU !

ESTIMER LES FLUX DE NUTRIMENTS APPORTÉS AUX LAGUNES MÉDITERRANÉENNES :

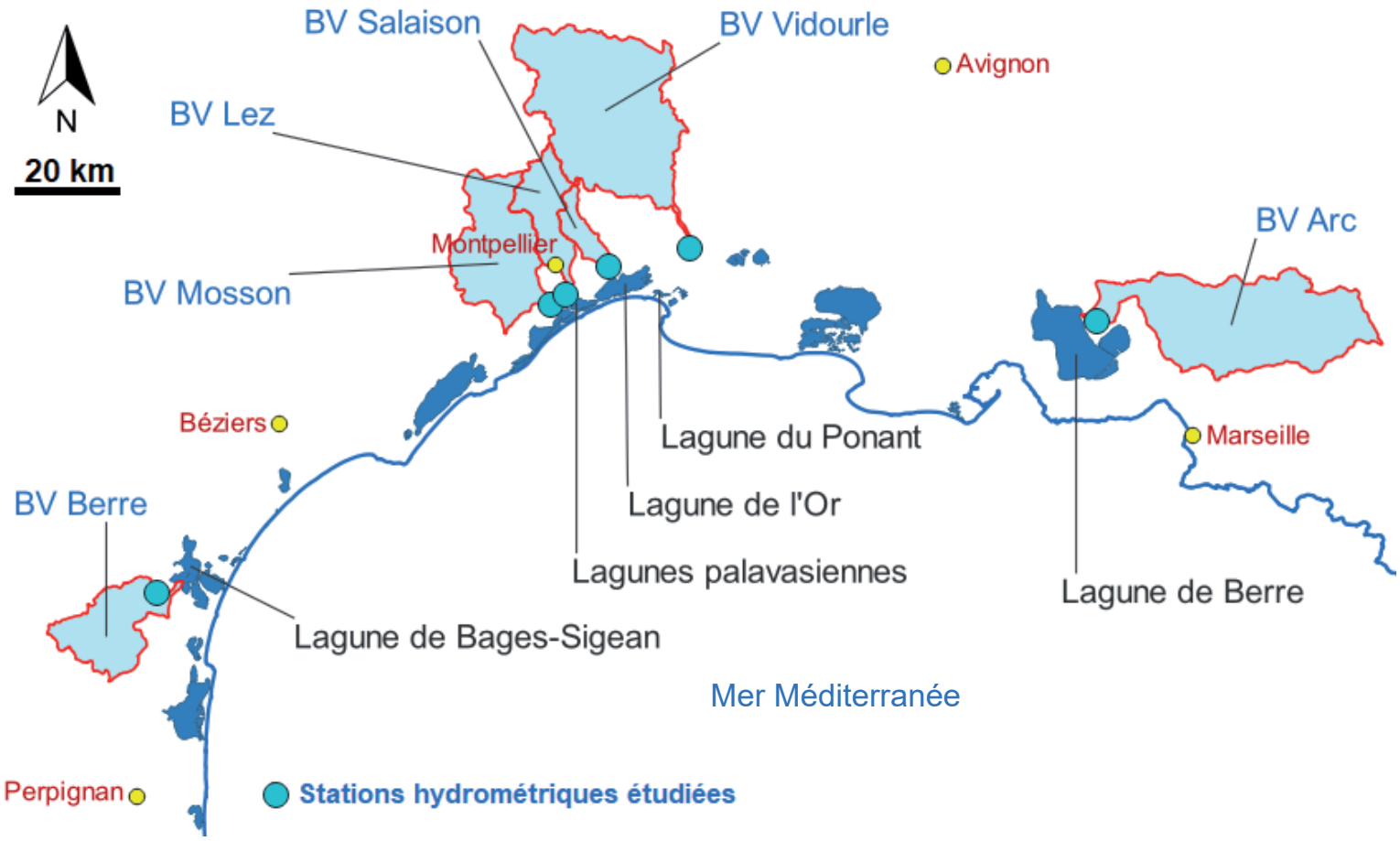
UNE ÉTAPE CLÉ POUR DÉFINIR UNE STRATÉGIE DE MAÎTRISE DE LEUR EUTROPHISATION

Préconisations méthodologiques

Ce document a été réalisé en novembre 2022
par le cabinet Autrement Dit et HYDRIAD Eau et Environnement

avec l'appui d'A. GIRAUD, de S. STROFFEK, H. GIOT et O. FONTAINE de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse.
Crédit photos : HYDRIAD, Agence de l'eau, MEDOBS, Régis Domergue, Anaïs GIRAUD. Illustrations : Big Bang

Les 6 cours d'eau étudiés, tributaires des lagunes



Sommaire

Préambule ..... p. 2

PARTIE 1 :

Protéger les lagunes méditerranéenes de l'eutrophisation

1- Pourquoi agir sur les flux de nutriments, quels enjeux ? ..... p. 8

2- Quelle démarche pour estimer les flux de nutriments admissibles par les lagunes et établir une stratégie de réduction des apports polluants ? ..... p. 15

3- Quels sont les résultats des efforts déjà réalisés pour réduire ces flux ? ..... p. 16

PARTIE 2 :

Estimer les flux de nutriments apportés par les bassins versants : une étape clé pour établir une stratégie de restauration des lagunes dégradées

1- Une étude pilote menée durant cinq années sur six cours d'eau tributaires de lagunes. ..... p. 20

2- Les principaux enseignements à retenir : Que faut-il mesurer ? Quand et comment ? ..... p. 22

3- Préconisations méthodologiques pour l'estimation des flux de nutriments apportés aux lagunes ..... p. 34

Préambule

Les lagunes : des milieux particulièrement fragiles

Les lagunes littorales constituent un **patrimoine naturel emblématique** qui participe à l'image des côtes méditerranéennes. Grâce à leur qualité paysagère, à leur richesse écologique et à leur situation à l'interface terre-mer, ces lagunes constituent des pôles d'attraction :

• **Pour la faune et la flore** aquatiques (herbiers de zostères, hippocampes, anguilles), mais plus largement pour toutes les espèces qui fréquentent les lagunes à un moment ou à un autre de leur cycle de vie (avifaune, reptiles…) parce qu'elles y trouvent des aires de refuge et d'alimentation essentielles.

• **Pour les usages de l'homme,** économiques et non économiques, qui se sont développés dans ces milieux particuliers : pêche, conchyliculture, chasse, ornithologie, sports aquatiques, découverte de la nature, etc.

Les lagunes sont donc des **milieux riches mais elles sont aussi fragiles, car particulièrement exposés aux pollutions et à l'artificialisation** compte tenu de la forte anthropisation de leur bassin versant et et des canaux artificiels périphériques.

Leur vulnérabilité est accentuée par un fonctionnement complexe :
• Les lagunes constituent le réceptacle des apports de leur bassin versant et d'apports par des canaux artificiels.
• Leur faible connexion à la mer les rend naturellement confinées.
• Elles ont ainsi tendance à stocker les polluants dans l'écosystème, la colonne d'eau et les sédiments. Sous certaines conditions, les sédiments relarguent les nutriments qui réalimentent le système et entretiennent une production biologique excessive, conduisant à diverses nuisances telles que des proliférations d'algues, voire des crises anoxiques et des mortalités de coquillages ou de poissons.

Ainsi, la majorité des masses d'eau lagunaires des bassins de Rhône-Méditerranée et de Corse n'est pas en bon état, avec un enjeu particulier sur l'eutrophisation clairement identifié dans les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) de ces bassins[1].
Ces derniers invitent en conséquence les structures de gestion à engager une démarche de flux admissibles.

La localisation et le fonctionnement des lagunes les rendent particulièrement vulnérables aux effets attendus du changement climatique.

Cette alerte doit nous inciter à poursuivre et amplifier les actions de restauration écologique des lagunes pour les rendre plus résilientes face à ces phénomènes. Ainsi, que ce soit pour des enjeux liés à la pérennité des usages nécessitant un milieu de bonne qualité (conchyliculture, pêche, baignade, loisirs nautiques, etc.) ou liés à leur caractère patrimonial, **la reconquête de la qualité des lagunes est une priorité.**

[1] SDAGE Rhône Méditerranée : https://rhone-mediterranee.eaufrance.fr/gestion-de-leau/sdage-2022-2027-en-vigueur
SDAGE Corse : https://corse.eaufrance.fr/gestion-de-leau/dce-sdage

Les flux admissibles, qu'est-ce que c'est ?

Les flux admissibles par un cours d'eau, une lagune ou un plan d'eau correspondent à la charge polluante entrante, provenant de son bassin versant et parfois des canaux qui les traversent et à ne pas dépasser pour que le milieu aquatique puisse fonctionner dans de bonnes conditions et les divers usages s'y exercer. Ce flux admissible ne constitue pas pour autant un droit à polluer. Il s'agit avant tout d'un repère pour comprendre comment, et avec quelle ambition, agir sur les flux polluants, dans le cadre des plans d'actions mis en oeuvre pour la restauration du bon fonctionnement et du bon état écologique de ces milieux emblématiques.

Le flux est défini comme la quantité de polluants apportée dans un temps donné (par jour, par trimestre, par année...). Pour évaluer le flux apporté à un instant donné par un cours d'eau, on multiplie le débit de ce cours d'eau par la concentration en polluants qu'il contient.

Flux =

CONCENTRATION de POLLUTIONS X DÉBIT

Si les concentrations sont stables mais si le débit augmente alors les flux de pollutions augmentent.

Si des petits apports peuvent ne pas avoir d'impact sur les cours d'eau en amont, ils peuvent néanmoins se cumuler et affecter le réceptacle final, à savoir la lagune.

Ce document concerne l'évaluation des flux de nutriments (azote, phosphore), qui, lorsqu'ils arrivent en excès, déstabilisent et dégradent les milieux aquatiques. Néanmoins les plans d'actions à conduire pour réduire la contamination des lagunes devront aussi tenir compte des contaminations par les micro-polluants toxiques (hydrocarbures, pesticides, métaux...) et, plus généralement, de l'objectif d'atteinte du bon état écologique.

Un document d'aide à l'évaluation des flux de nutriments arrivant dans les lagunes méditerranéennes

Ce document de synthèse ainsi que son rapport d'étude associé proposent des éléments méthodologiques et techniques pour engager une démarche d'estimation des flux admissibles par une lagune. Au-delà du concept, les flux admissibles constituent une véritable démarche opérationnelle et concertée qui vise :

- à mieux identifier et quantifier les différents flux de nutriments qui arrivent dans la lagune ;
- à estimer le flux admissible par la lagune au regard de ses capacités à les recevoir sans remettre en cause durablement son fonctionnement écologique ;
- à fixer un objectif global de réduction des flux polluants cohérent avec le flux admissible par la lagune ;
- à définir un programme de restauration pour engager localement et avec l'ensemble des acteurs locaux des actions pertinentes de réduction des apports à la lagune.

Cette démarche de Flux Admissibles est inscrite dans l'orientation fondamentale 5B du SDAGE Rhône-Méditerranée 2022-2027- « Lutter contre l'eutrophisation des milieux aquatiques » et dans l'orientation fondamentale 2 du SDAGE de Corse (disposition 2A-05 « Adapter les conditions de rejet pour préserver les milieux récepteurs particulièrement sensibles aux pollutions »). L'eutrophisation persiste aujourd'hui dans les lagunes littorales, malgré la mise en œuvre de mesures réglementaires sur les rejets urbains et agricoles (directive « eaux résiduaires urbaines » avec le classement en zones sensibles et directive « nitrates » avec le classement en zones vulnérables).
L'objectif des SDAGE est de réduire et de prévenir les dommages causés aux usages et aux milieux aquatiques par les phénomènes d'eutrophisation liés aux activités humaines. L'eutrophisation peut être jugulée en agissant de façon coordonnée sur ces différents facteurs de contrôle à l'échelle des bassins versants.

Le lecteur peut se référer au rapport d'étude Calculs de flux polluants sur les tributaires des lagunes du bassin Rhône-Méditerranée, HYDRIAD 2020-2022 pour le détail méthodologique
https://www.eaurmc.fr/upload/docs/application/pdf/2022-07/hydriad_flux_lagunes_juin_2022.pdf

Prendre en compte les apports des bassins versants

Une note du secrétariat technique[1] du bassin Rhône-Méditerranée est consacrée à la démarche « Flux Admissibles » sur l'ensemble des milieux aquatiques. La présente synthèse zoome uniquement sur les lagunes des bassins Rhône-Méditerranée et de Corse, et vise à valoriser les dernières connaissances acquises sur les flux apportés par les bassins versants aux lagunes[2].

Un suivi de six cours d'eau (cinq en Région Occitanie : la Berre, la Mosson, Le Lez, le Salaison, le Vidourle et un en Région SUD PACA : l'Arc) a été réalisé pendant cinq ans, y compris en période de crues. De nombreux enseignements sont à tirer de cette étude, notamment des préconisations permettant de travailler sur d'autres bassins versants tributaires des lagunes.

Pour pouvoir agir efficacement et engager les lagunes sur des trajectoires de restauration, la connaissance des flux polluants issus de leur bassin versant et le cas échéant des apports par les canaux qui les traversent est cruciale. En effet c'est sur cette base qu'une stratégie d'action à l'échelle du bassin versant pourra être bâtie.

Comment estimer les flux polluants ? Avec quelles méthodes ? Quels suivis déployer ? sont autant de questions auxquelles cette synthèse vise à répondre.

Elle fournit aujourd'hui aux gestionnaires, aux collectivités et à tous les bureaux d'études qui les accompagnent, des éléments méthodologiques et opérationnels nouveaux.
Le rapport d'étude associé permet d'aller plus loin sur ces différentes questions.
https://www.eaurmc.fr/upload/docs/application/pdf/2022-07/hydriad_flux_lagunes_juin_2022.pdf

Nous vous invitons donc à découvrir et vous servir des résultats de cette présente synthèse qui propose des axes de travail mais n'impose pas de solutions toutes faites. Libre aux gestionnaires d'agir selon la spécificité de leur territoire !

Eutrophisation - Lagune de Campignol à Gruissan

[1] Note du secrétariat technique du SDAGE, 2018. Définir les flux admissibles pour gérer les bassins versants fragiles vis-à-vis des phénomènes d'eutrophisation – Bassin Rhône-Méditerranée.

[2] Calculs de flux polluants sur les tributaires des lagunes du bassin Rhône-Méditerranée, HYDRIAD 2020-2022

Étangs palavasiens

© MEDOBS

PARTIE 1 :

Protéger les lagunes méditerranéenes de l'eutrophisation

1- Pourquoi agir sur les flux de nutriments, quels enjeux ?

Des lagunes fragilisées par les apports de nutriments issus de leur bassin versant

Les lagunes sont des milieux de transition entre le continent et la mer. Les apports polluants provenant des bassins versants sont pour partie consommés par les organismes au sein de la lagune, stockés dans les sédiments et exportés vers la mer. Néanmoins, compte tenu de leur faible connexion avec la mer via des graus naturels ou des canaux artificiels, les lagunes sont des espaces confinés qui accumulent les polluants dans tout le système constitué de la colonne d'eau, des sédiments et de l'écosystème. A noter qu'il s'agit des nutriments apportés en excès aujourd'hui mais aussi par le passé, qui n'ont pas été consommés par le réacteur biologique qu'est la lagune et qui sont alors principalement stockés aujourd'hui dans les sédiments.

Dans beaucoup de cas, les apports d'azote et de phosphore issus des bassins versants de ces lagunes sont trop importants et supérieurs aux quantités qu'elles sont capables d'assimiler sans remettre en cause leur équilibre.

Lorsque les milieux aquatiques reçoivent des apports excessifs en phosphore et/ou en azote issus des bassins versants, on parle d'eutrophisation. Cette eutrophisation cause des déséquilibres biologiques au sein de l'écosystème : désoxygénation, réduction de la biodiversité, nuisances visuelles et olfactives, gène pour les usages récréatifs, risque de développement d'algues émettrices de toxines (cyanobactéries), avec les conséquences sanitaires de ces dérèglements.

Les altérations morphologiques et/ou hydrologiques amplifient les effets de l'eutrophisation. Elles sont multiples : artificialisation des zones périphériques entraînant la disparition des zones humides adjacentes, artificialisation des graux, modification des échanges avec la mer, etc.

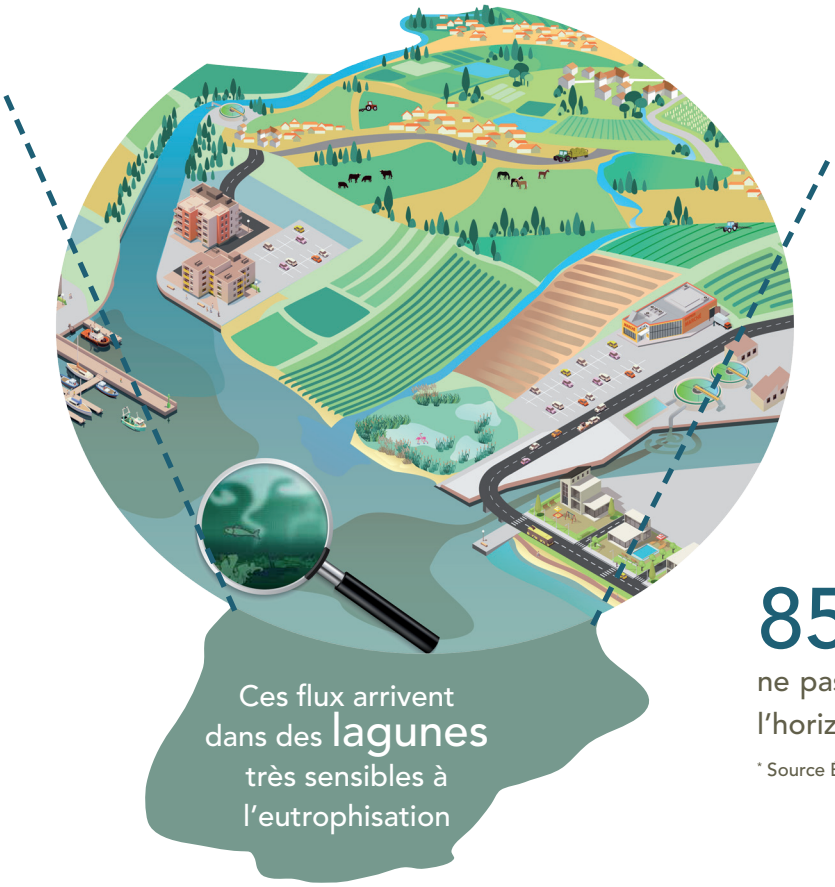
Toutes les lagunes méditerranéennes sont identifiées dans le SDAGE Rhône-Méditerranée 2022-2027 comme fragiles vis-à-vis des phénomènes d'eutrophisation[1].

Ces lagunes doivent faire l'objet d'une vigilance particulière pour assurer la non dégradation de leur situation actuelle et des actions de restauration suffisantes doivent être menées pour se prémunir à long terme de tout risque d'eutrophisation. Le changement climatique renforce la nécessité de prévenir ce risque et de restaurer les secteurs dégradés.

Viser un bon état écologique des lagunes

Le « bon état écologique » correspond aux conditions physico-chimiques et biologiques (présence et diversité des communautés aquatiques) permettant le maintien d'une vie animale et végétale riche et variée. Ainsi, le bon état assume un niveau d'activité humaine qui respecte ce fonctionnement et garantit un certain équilibre entre activités et usages. C'est bien cet objectif qui est visé pour l'ensemble des lagunes.

[1]Orientation fondamentale 5B « Lutter contre l'eutrophisation des milieux aquatiques » et carte 5Ba du SDAGE Rhône-Méditerranée 2022-2027



Les cours d'eau, les canaux, le lessivage des sols génèrent des flux de nutriments depuis les différentes parties du **vaste bassin versant de la lagune** et se concentrent dans l'espace plus restreint que constitue la lagune qui s'en trouve alors fragilisée

85% des lagunes risquent de ne pas atteindre le bon état écologique à l'horizon 2027*

* Source État des lieux du SDAGE Rhône-Méditerranée 2019

Les questions à se poser

1. Quels sont les flux polluants que la lagune peut recevoir sans déstabiliser son état écologique ?
2. Quel est le chemin à parcourir pour protéger et restaurer la lagune : savoir d'où on part, vers quels objectifs tendre et comment restaurer la lagune ?

Les lagunes ont la capacité de se restaurer. Rien n'est irréversible !
Grâce à une gestion concertée entre tous les acteurs, on peut agir.

Quand les lagunes sont fragilisées par les flux de polluants arrivant des bassins versants...

1. Apports des stations d'épuration et des déversoirs d'orage
2. Imperméabilisation forte favorisant le ruissellement des polluants vers la lagune
3. Parcelles agricoles « nues » cultivées en bordure directe de la lagune
4. Cours d'eau recalibrés et artificialisés
5. Zones humides périphériques dégradées
6. Qualité écologique dégradée : faible diversité de poissons et de végétaux aquatiques, forte turbidité de l'eau, dégagement de mauvaises odeurs...

Les bonnes raisons d'agir

- Toutes les lagunes sont sensibles au risque d'eutrophisation.
- Rien n'est irréversible. Cela prend du temps mais les lagunes ont la capacité de se restaurer.
- Il est essentiel de travailler à l'échelle du bassin versant de la lagune pour agir plus efficacement.
- Restaurer la lagune offre des résultats ''gagnant / gagnant'' pour les milieux et les usages : la réduction significative des flux de nutriments a des effets indéniables sur l'état écologique et les usages.

SUPER MARCHÉ
MARCHÉ
1
2
3
4
5
6

... Agir sur les flux de nutriments permet de restaurer l'état écologique des lagunes et de garantir les usages socio-économiques qui s'y exercent

1. Traitement plus poussé sur les ouvrages d'épuration, zones tampons végétalisées et suppression des déversoirs d'orage
2. Désimperméabilisation permettant l'infiltration de l'eau dans les sols, l'auto-épuration, l'amélioration du cadre de vie, la diminution des températures au sol...
3. Plantation de haies et parcelles agricoles cultivées perpendiculairement à la pente pour limiter le ruissellement et l'érosion des sols
4. Restauration des cours d'eau : reméandrage, ripisylves...
5. Restauration des zones humides périphériques : biodiversité, auto-épuration, rétention de l'eau douce
6. Gestion des eaux portuaires (aires de carénage, collecte des déchets et des eaux grises des bateaux...)
7. Bonne qualité écologique : forte diversité de poissons et de végétaux aquatiques, transparence de l'eau...
8. Usages de loisir dans et autour de la lagune

© ...bigbang.fr - Réseau de Suivi Lagunaire/Mine de Rien

1
2
3
3
4
4
5
2
4
7
8

2- Quelle démarche pour estimer les flux de nutriments admissibles par les lagunes et établir une stratégie de réduction des apports polluants ?

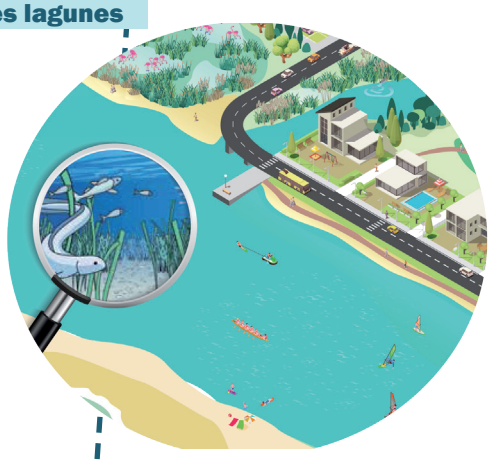
1 Connaître

Des étapes techniques pour estimer les flux admissibles par les lagunes

Apports du bassin versant...

Estimer les flux **(concentrations X débits)** générés par les principaux cours d'eau et canaux puis les flux globaux issus du bassin versant.

... en direction des lagunes



... puis vers la mer

L'export des polluants et le renouvellement de l'eau se fait principalement par la mer

A quoi veut-on aboutir ?

Un inventaire de tous les apports d'eau et de nutriments sur le bassin versant doit être réalisé. Pour chacun de ces apports, les données de débit et de qualité disponibles sont regroupées au sein d'une base de données « Bassin versant » qui permet d'estimer les flux de nutriments :

- Utiliser les données de qualité et de débit disponibles (banque HYDRO et NAIADES, réseaux flux Agence de l'eau, suivis départementaux, inventaires des rejets, etc.).

- Compléter si nécessaire par des suivis ciblés en s'appuyant sur les cahiers des charges disponibles.

Des outils spécifiques aux lagunes existent

L'outil GAMELag conçu spécifiquement pour les lagunes méditerranéennes par IFREMER avec le soutien de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, simule l'évolution des quantités d'azote et de phosphore stockées au sein des principaux compartiments de l'écosystème (sédiments, phytoplancton, macrophytes, colonne d'eau) en fonction des flux de nutriments apportés par les bassins versants et échangés (exportés et importés) avec la mer.

L'outil permet :
- d'estimer les flux admissibles par la lagune ;
- de tester des scénarios visant à améliorer la qualité de la lagune.

Il utilise pour cela les données de qualité des lagunes (DCE et OBSLAG : www.medtrix.fr)

2 Planifier et Agir

Des étapes de concertation et de gestion locale pour restaurer les lagunes

Les connaissances acquises lors des étapes techniques permettent aux acteurs locaux, réunis au sein d'une instance de concertation (CLE, Comités d'étang, etc) :

1. **D'expliquer et de partager les résultats** des différentes étapes techniques (d'où viennent les polluants, pourquoi ils s'accumulent ? Quelle « marche à franchir » pour engager la lagune dans une dynamique de restauration ?).

2. **De partager les objectifs de la démarche,** de valider les étapes clés, de recueillir les questions et attentes des acteurs, d'identifier les freins et leviers.

3. D'établir ensemble **des scénarios de gestion :** réduction des pollutions actuelles et prévention des pollutions nouvelles pour tendre vers les flux admissibles par la lagune.

4. **De définir des objectifs adaptés** de réduction des apports de nutriments dans la lagune.

5. D'élaborer, de partager et de mettre en oeuvre un **plan d'actions** articulé, en termes d'objectifs et d'actions, avec les autres projets du territoire.

6. **De mettre en oeuvre, de suivre et d'évaluer** les actions.

Estimer les flux admissibles et choisir collectivement des actions adaptées pour restaurer la qualité des lagunes permet de les rendre plus résilientes face au changement climatique.

3- Quels sont les résultats des efforts déjà réalisés pour réduire ces flux ?

Les **acteurs des lagunes se mobilisent depuis de nombreuses années** pour améliorer l'état de ces écosystèmes riches et fragiles.

Réduire significativement les flux de nutriments a des effets positifs sur l'état écologique et les usages. **Les efforts engagés ont été bénéfiques.**

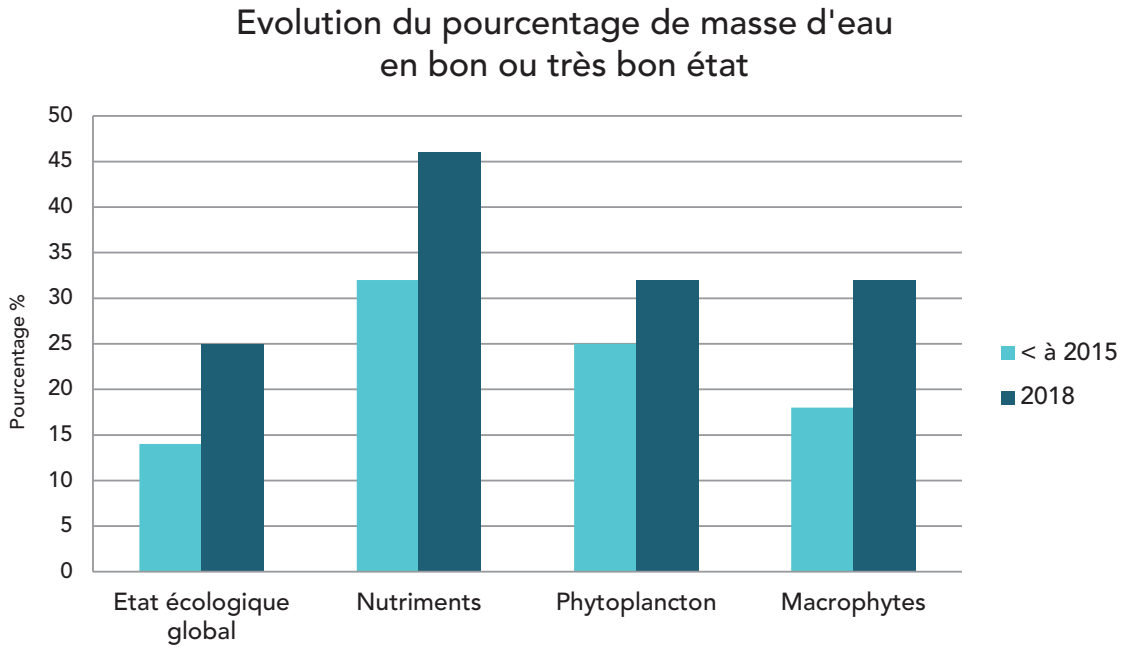
Une réelle dynamique de restauration :
des gains écologiques progressifs encourageants !

25 % des lagunes sont en bon état
(contre 14 % en 2015)

En 2018, l'état écologique s'est amélioré pour 36 % d'entre elles
(gain d'une classe de qualité)

Tous les compartiments des lagunes s'améliorent.

Ces résultats restent à consolider sur le moyen/long terme compte tenu de la fragilité des lagunes amplifiée par les effets du changement climatique.



Agence de l'eau, Ifremer, Tour du Valat, 2021 - État des eaux lagunaires de Rhône Méditerranée et de Corse

La **démarche flux admissibles permet de structurer une acquisition de connaissance** centrée sur l'eutrophisation, principal facteur de dégradation des lagunes et permet d'établir ainsi une stratégie de gestion des apports polluants. La connaissance des flux de nutriments et de leur devenir dans la lagune apporte une réelle plus-value pour cibler les causes de dégradation, pour tester des scénarios de gestion et pour guider efficacement les actions et en évaluer les bénéfices.

La restauration des lagunes s'inscrit sur le moyen / long terme compte tenu de leur inertie. De plus, les stocks de nutriments dans les sédiments constituent un frein qui peut retarder le processus de restauration. Cette particularité doit nous inciter à réduire drastiquement les apports actuels. En parallèle, les suivis de la mise en œuvre du plan d'actions mais également des flux apportés sont importants pour valoriser les dynamiques engagées et les efforts réalisés par les maîtres d'ouvrages et les gestionnaires des lagunes.

Etang de Gruissan

© HYDRIAD

PARTIE 2 :

Estimer les flux de nutriments apportés par les bassins versants : une étape clé pour établir une stratégie de restauration des lagunes dégradées

1- Une étude pilote menée durant cinq années sur six cours d'eau tributaires de lagunes

Depuis 2015, l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse a conduit deux études pour estimer les flux de MES[1] et de nutriments apportés aux lagunes afin de gagner en précision sur la quantification des flux actuels.

• **Entre 2015 et 2020 : un suivi renforcé des concentrations en nutriments apportés à six lagunes méditerranéennes** par leurs principaux tributaires est mis en place. Ce suivi comprenait un échantillonnage bimensuel de chaque cours d'eau et un échantillonnage spécifique durant les épisodes de crues. Ce suivi renforcé visait à étudier le rôle des crues dans l'apport de nutriments aux lagunes.

• **En 2021-2022, l'interprétation de ce suivi** aboutit à la **proposition d'une méthodologie de caractérisation des flux apportés aux lagunes tenant compte du rôle des crues**. La méthodologie proposée devait être applicable et transférable de la manière la plus simple aux autres lagunes méditerranéennes et aux suivis futurs.

Le lecteur peut se référer au rapport d'étude " Calculs de flux polluants sur les tributaires des lagunes du bassin Rhône-Méditerranée, HYDRIAD 2020-2022 disponible sur : https://www.eaurmc.fr/upload/docs/application/pdf/2022-07/hydriad_flux_lagunes_juin_2022.pdf

Pourquoi ces deux études ?

La question des flux polluants apportés aux lagunes a été identifiée de longue date comme un sujet structurant, incontournable mais complexe. Ce sont en effet ces apports qui conditionnent l'état actuel des lagunes et leur capacité à se restaurer.

La complexité de cette question a conduit les acteurs des lagunes à y répondre « pas à pas ». En effet dès 2004, **le défi « eutrophisation »**[2] engagé dans le cadre du 8ème programme de l'Agence de l'eau a permis d'estimer les flux polluants à partir des différentes sources d'apports sur les bassins versants (rejets des stations d'épuration, estimation des pollutions diffuses agricoles et urbaines, etc). Cette approche reste aujourd'hui une méthode pragmatique pour commencer à travailler sur les flux de nutriments apportés aux lagunes.

Les travaux complémentaires menés depuis 2015 conduisent à **des résultats consolidés sur différents volets** :

- la connaissance du fonctionnement hydrologique des bassins versants lagunaires,
- les méthodes de calculs de flux de nutriments préconisées en fonction des objectifs visés,
- les apports en période de crues,
- les différentes méthodes d'estimation des flux à l'échelle d'un bassin versant lagunaire en fonction du contexte et des données disponibles.

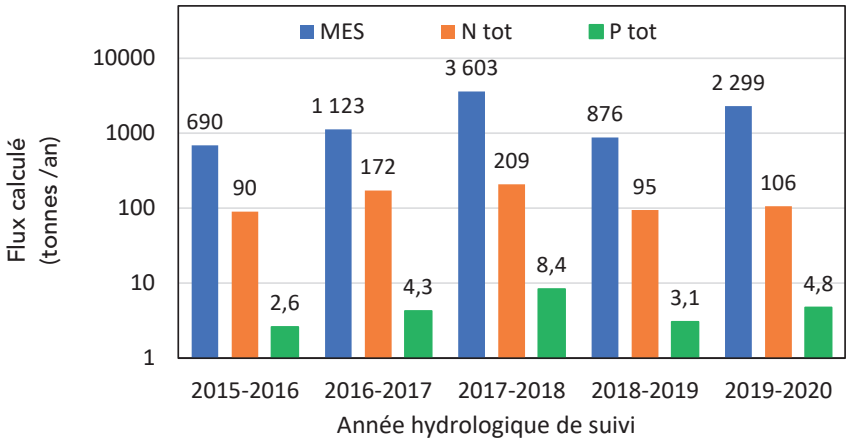
Les 6 cours d'eau étudiés, tributaires des lagunes (voir leur localisation sur la carte présentée en page 2)

Cours d'eau → Lagune

- La Berre → Etang de Bages-Sigean (Aude)
- La Mosson → Etang de l'Arnel (Hérault) et (via le Lez) Etangs palavasiens (Hérault)
- Le Lez → Etangs palavasiens (Hérault)
- Le Salaison → Etang de l'Or (Hérault)
- Le Vidourle → Etang du Ponant (Gard)
- L'Arc → Etang de Berre (Bouches-du-Rhône)

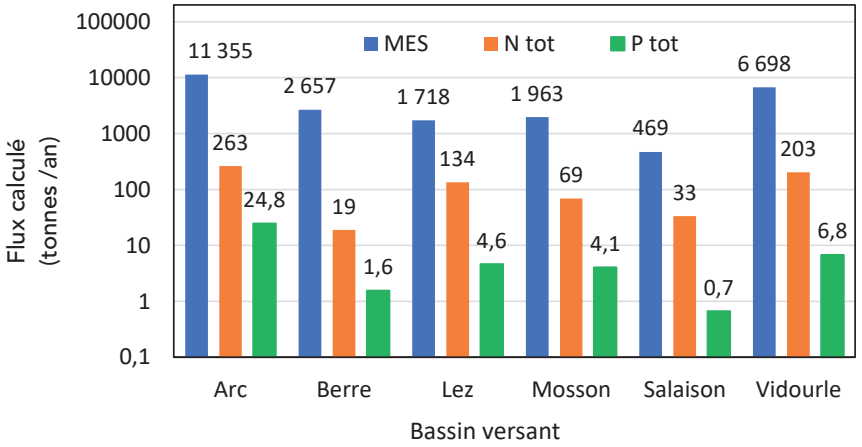
[1] Les matières en suspension (MES) sont classiquement associées aux nutriments dans l'approche car plusieurs nutriments sont directement reliés aux MES (cas par exemple du phosphore adsorbé et de l'azote organique).

[2] Cepralmar, 2006. Défi eutrophisation des lagunes littorales du Languedoc-Roussillon- Etude réalisée dans le cadre du 8ème programme de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse



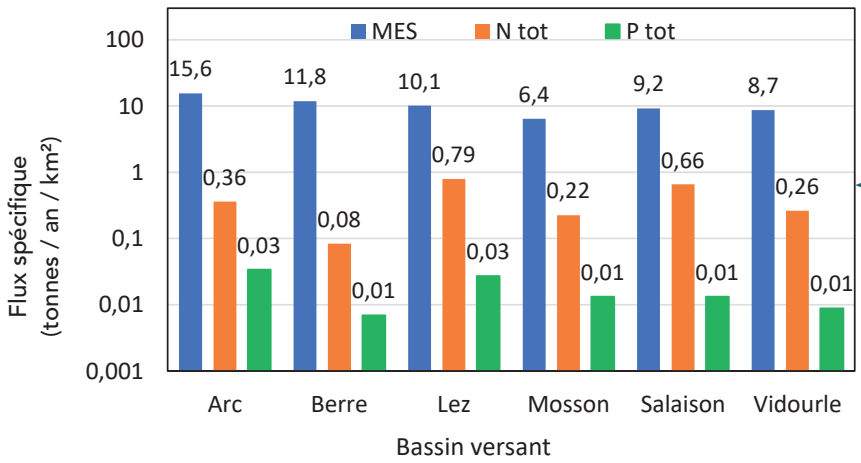
Flux annuels de MES, d'azote total et de phosphore total apportés par le Lez sur la période 2015-2020 - Exemple sur le Lez

Les flux apportés par le Lez varient de façon importante d'une année sur l'autre. Les flux de MES de l'année hydrologique 2017- 2018 sont cinq fois plus forts que ceux de l'année 2015-2016. De façon globale, les flux d'azote total sont 10 fois plus faibles que ceux de MES et ceux de phosphore total plus de 100 fois plus faibles que ceux de MES.



Flux annuels moyens de MES, d'azote total et de phosphore apportés par les six cours d'eau sur la période 2015-2020

Ces flux moyens sont très différents selon les cours d'eau et sont en grande partie proportionnels à la taille de leurs bassins versants.



Flux spécifiques annuels moyens apportés par les six cours d'eau sur la période 2015-2020.

Les flux spécifiques sont calculés en divisant le flux par la surface du bassin versant du cours d'eau. Les flux spécifiques de MES sont peu différents d'un cours d'eau à l'autre, variant d'un facteur 2.5 entre la Mosson et l'Arc. Les flux spécifiques d'azote total (N tot) sont nettement plus variables (d'un facteur 10 au maximum), alors que ceux de phosphore total (P tot) varient d'un facteur 3. Cette variabilité s'explique par l'origine différente de ces éléments : les MES sont principalement liées aux pluies et à l'érosion, alors que l'azote et le phosphore sont directement reliés à l'agriculture et aux rejets urbains.

2- Les principaux enseignements à retenir :

Que faut-il mesurer ? Quand et comment ?

Quel rôle jouent les crues dans l'apport de nutriments ?

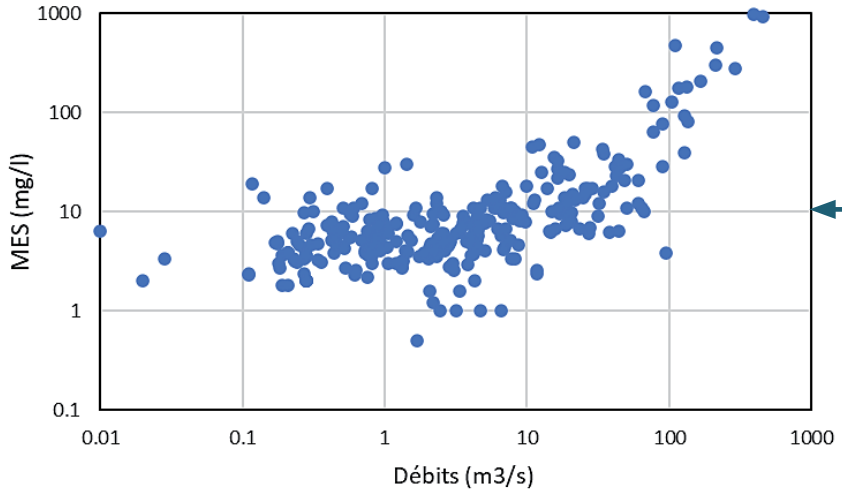
● Sur la façade méditerranéenne, les épisodes pluvieux peuvent être très intenses et représenter une part importante de la pluviométrie annuelle. Ces épisodes méditerranéens (qualifiés de cévenols dans le nord du Gard et de l'Hérault) surviennent généralement en automne lorsque la Méditerranée est encore très chaude et que la masse d'air continentale est plus froide. Ils peuvent usuellement débuter en fin d'été et se poursuivre jusqu'en milieu d'hiver.

Ce phénomène a deux conséquences majeures pour l'évaluation des flux de nutriments :

● La première conséquence est que la majorité des flux d'eau, de MES et de nutriments arrivent en très peu de temps. Il peut en effet pleuvoir quelques centaines de millimètres en quelques heures ou quelques jours, soit l'équivalent du quart ou du tiers de la pluie annuelle.

● La seconde conséquence est que les concentrations sont souvent (mais pas toujours) plus élevées en périodes de crues (cf page 31). En effet, durant ces périodes de pluie, **les vitesses d'écoulement des eaux sur le bassin versant sont très rapides et contribuent à entrainer les nutriments et à éroder les sols**. La concentration des eaux en nutriments dissous ou particulaires peut alors être bien plus importante qu'en temps normal. On observe ainsi des apports d'eau très importants et des eaux bien plus chargées qu'à l'accoutumée. Les flux de nutriments apportés aux lagunes peuvent conséquemment être très élevés durant ces évènements.

Les concentrations de certains éléments, en particulier les matières en suspension, l'azote organique et le phosphore total, sont exacerbées durant les crues.



Relation entre les concentrations de MES et le débit du Vidourle sur la période 2015-2020

Ces concentrations montrent une forte dépendance au débit du Vidourle. Durant les crues, les flux d'eau peuvent être 100 fois plus importants qu'en dehors des périodes de crues. Les concentrations de MES peuvent également être 100 fois plus importantes. Les flux de MES peuvent ainsi être 10 000 fois plus importants en temps de crue qu'en dehors des crues.

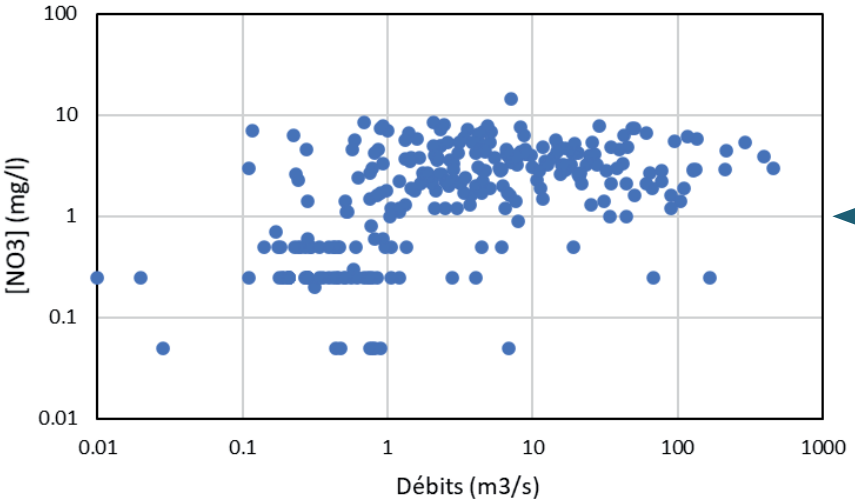
● **La prise en compte des débits de crues et de la relation concentration / débit est donc très importante** pour l'établissement sur un cycle hydrologique annuel de flux représentatifs de la réalité.

L'étude menée sur six tributaires de lagune (disposant d'une station hydrométrique de mesure du débit) a permis de préciser deux aspects de la caractérisation des crues :

● Il ne semble **pas nécessaire de caractériser précisément ce qui se passe durant la crue** (c'est-à-dire quelles sont les concentrations durant la montée de crue et durant la décrue) car de nombreux autres facteurs contrôlent également les concentrations de MES et nutriments durant une crue et d'une crue à l'autre (intensité et localisation de la pluie, état hydrique initial du sol, pratiques agricoles…). **Pour des raisons pratiques de mise en oeuvre, un échantillonnage peu de temps après le passage du pic de crue semble suffisant.**

● Afin de caractériser la relation concentration – débit, **il ne parait pas non plus requis d'échantillonner toutes les crues** survenant durant une étude ou une période de suivi, mais un nombre suffisant de crues statistiquement représentatives.

Le lecteur peut se référer au rapport d'étude pour le détail méthodologique préconisé.
https://www.eaurmc.fr/upload/docs/application/pdf/2022-07/hydriad_flux_lagunes_juin_2022.pdf



Relation entre les concentrations de nitrates et le débit du Vidourle sur la période 2015-2020
Les concentrations de nitrates ne montrent pas de corrélation avec le débit. Dans le cas du phosphore total (graphique non présenté), une corrélation entre ses concentrations et le débit est observée, mais avec une dépendance moindre que pour les MES.

A retenir

Il est nécessaire de connaitre les concentrations de nutriments en période de crue pour estimer convenablement leurs apports aux lagunes. Il n'est cependant pas obligatoire que cette connaissance soit exhaustive. Une caractérisation statistiquement représentative suffit à évaluer le rôle des crues.

Doit-on obligatoirement bien connaître les débits pour bien estimer les flux de nutriments ?

Beaucoup de cours d'eau ne sont pas équipés d'une station hydrométrique de mesure des débits. Il est donc légitime de se questionner sur la possibilité d'estimer les flux de MES[1] et nutriments apportés aux lagunes par ces cours d'eau.

De nombreuses études antérieures se sont intéressées à cette question. Elles ont montré qu'il était possible d'évaluer les débits par la mise en œuvre d'une modélisation hydrologique. Ce type d'approche nécessite cependant un niveau d'effort et une technicité qui ne sont pas toujours compatibles avec les moyens disponibles.

Les stations hydrométriques sont de bons outils pour la caractérisation des débits, mais elles peuvent comme tout outils présenter des défaillances et imperfections (besoin de maintenance, erreur ou absence de courbes de tarage, détarage de la station, flux hyporhéiques ou écoulements souterrains non pris en compte, crues débordantes et en dehors des courbes de tarage, etc). L'étude a montré qu'en l'absence d'une station hydrométrique, il était possible d'estimer convenablement les flux d'eau à partir d'une information disponible et facilement accessible : les données de pluie et d'évapotranspiration potentielle fournies par les stations météorologiques et les informations fournies par la base nationale des prélèvements d'eau (https://bnpe.eaufrance.fr).

Ces données permettent d'évaluer les débits apportés aux lagunes avec une bonne représentativité. Dans certaines lagunes méditerranéennes, ces apports ne se font pas uniquement par les cours d'eau mais aussi par des eaux souterraines, sous la forme de sources karstiques dans certains cas.

L'étude a montré que la comparaison des flux mesurés sur une station hydrométrique avec les flux estimés à partir des pluies et des prélèvements permet par ailleurs de comprendre certaines caractéristiques du fonctionnement d'un bassin versant (importance relative des écoulements souterrains et superficiels ; apports ou pertes depuis/vers l'extérieur du bassin ...).

La première étape d'une étude de Flux admissibles vise donc à rassembler toute l'information disponible sur la dynamique des écoulements à l'aide d'une station hydrométrique ou d'une estimation à partir des pluies et des prélèvements. Elle permet aussi d'orienter la stratégie de suivi de la qualité des eaux. Cette étape doit également s'appuyer sur toute la connaissance existante (experts et sachants) permettant d'identifier les particularités du bassin versant (pertes, résurgences, apports artificiels, prélèvements ...). Cette connaissance permet en effet d'estimer les débits, mais aussi de consolider la connaissance du fonctionnement hydrologique, utile et nécessaire pour la suite de la démarche.

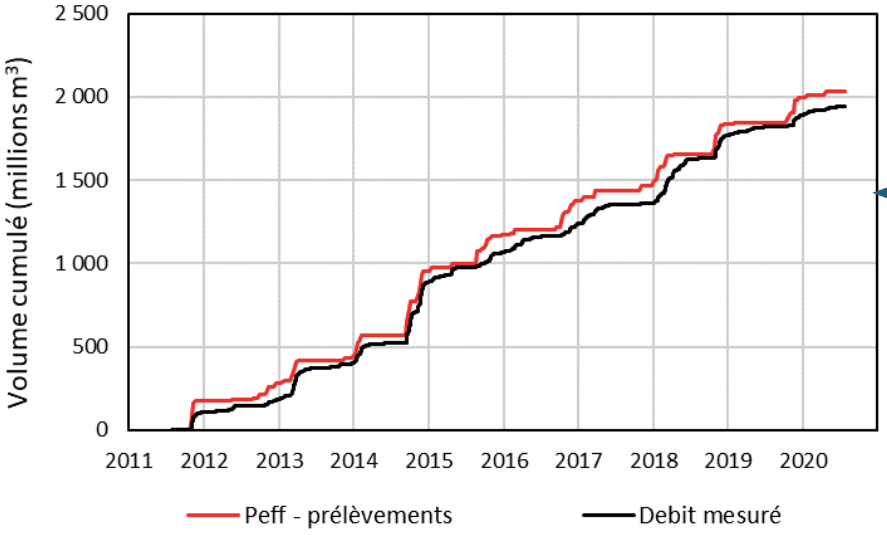
Le lecteur peut se référer au rapport d'étude pour le détail méthodologique préconisé.
https://www.eaurmc.fr/upload/docs/application/pdf/2022-07/hydriad_flux_lagunes_juin_2022.pdf

A retenir

L'estimation des flux de nutriments apportés aux lagunes repose sur la connaissance des débits qui les transportent. Ces derniers ne sont pas toujours mesurés, mais ils peuvent être estimés à partir d'autres données disponibles et généralement bien connues.

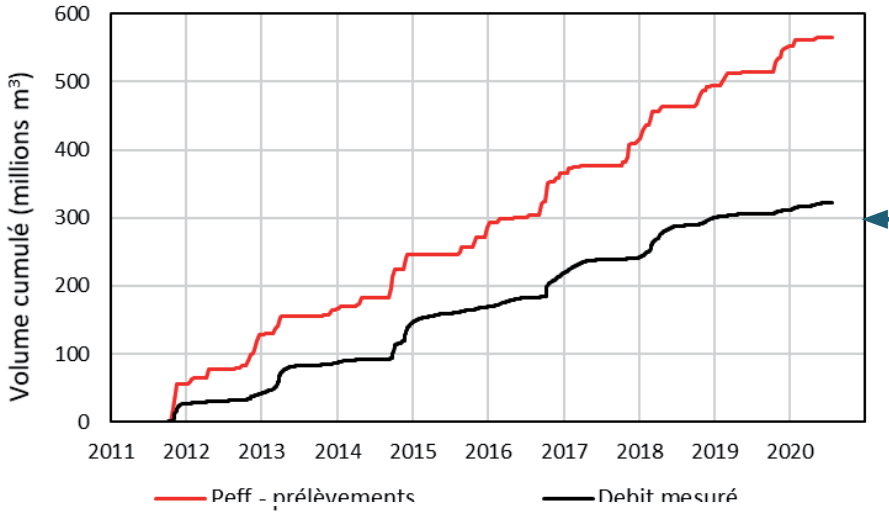
[1] Les matières en suspension (MES) sont classiquement associées aux nutriments dans l'approche car plusieurs nutriments sont directement reliés aux MES (cas par exemple du phosphore adsorbé et de l'azote organique).

Comparaison des volumes d'eau cumulés calculés à partir des débits mesurés ou à l'aide des pluies efficaces (Peff)[1] et des prélèvements anthropiques



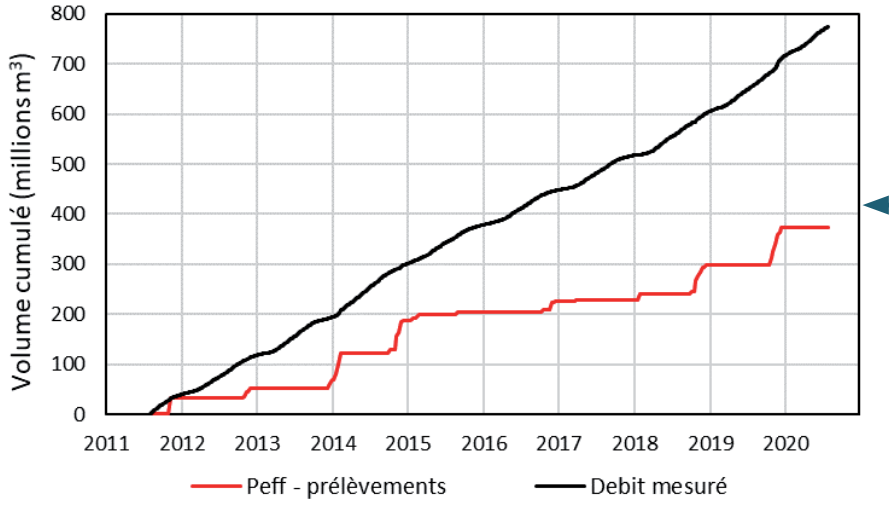
Exemple du Vidourle

La comparaison des volumes cumulés des pluies efficaces desquelles sont déduits les prélèvements anthropiques (courbe rouge) et des débits (courbe noire) montre que les deux informations sont comparables et qu'en l'absence de mesures de débit, les données des pluies efficaces et des prélèvements peuvent être utilisées pour le calcul des flux.



Exemple de la Mosson

La comparaison des mêmes volumes cumulés pour la Mosson montre que les débits mesurés sont bien plus faibles que ceux estimés à partir des pluies efficaces. De fait, une part importante des eaux précipitées sur ce bassin versant est exportée à l'extérieur de ce bassin et alimente de nombreuses sources karstiques extérieures au bassin versant situées autour et dans l'étang de Thau.



Exemple de la Touloubre

La comparaison des volumes cumulés pour la Touloubre montre que les débits mesurés sont considérablement plus élevés que ceux estimés à partir des pluies efficaces. L'excès d'eau écoulé correspond aux retours d'irrigation de la plaine de Salon-de-Provence, qui ont pour origine les eaux de la Durance.

Cette comparaison permet ainsi de vérifier l'établissement des flux hydriques et la représentativité des flux de nutriments calculés.

[1] La pluie efficace correspond à la partie de la pluie restant après que se soit exercée l'évapo-transpiration. C'est donc l'eau restante disponible pour le ruissellement et pour la recharge des nappes.

Le lecteur peut se référer au rapport d'étude pour le détail méthodologique préconisé (https://www.eaurmc.fr/upload/docs/application/pdf/2022-07/hydriad_flux_lagunes_juin_2022.pdf) ainsi qu'à la publication scientifique relative à l'estimation des flux hydriques (Banton et al. 2022 ; Water).

Quelles méthodes de calcul des flux de nutriments utiliser ?

Toute étude d'estimation des flux de nutriments implique de constituer au préalable une base de données sur la qualité des eaux apportées et sur les pressions (occupation du territoire, rejets...) (Cf. page 16 partie 1 - Connaître).
Dans cette étape, la connaissance des acteurs du territoire est importante pour valider et critiquer les données existantes.

● **Plusieurs méthodes de calcul des flux de nutriments ont été développées par la communauté scientifique et testées sur de nombreux cours d'eau** : méthodes des intervalles de débit, des moyennes pondérées, de la dernière concentration... Leur pertinence pour les tributaires des lagunes méditerranéennes, et de façon plus générale pour les cours d'eau méditerranéens, se posait. Ces cours d'eau sont en effet caractérisés par des crues très importantes dues à des épisodes pluvieux très violents. Durant ces périodes, les flux d'eau sont très importants et les concentrations sont parfois exacerbées par l'érosion provoquée par les pluies.
Les flux de nutriments durant ces épisodes peuvent ainsi dominer le bilan total des apports. Les flux de nutriments apportés en quelques jours seulement peuvent ainsi représenter la majeure partie du bilan annuel total des apports.

● Le calcul du flux annuel de nutriments ou MES par la **méthode des intervalles de débit consiste à affecter à chaque débit instantané mesuré (journalier ou horaire) la concentration qui correspond statistiquement à ce débit.**

Il faut donc au préalable établir une relation débit – concentration par intervalle (ou classe) de débit. Pour les bassins versants ne présentant pas d'évolution temporelle majeure (pas de changement drastique d'utilisation du territoire), toutes les données récentes des 10 à 15 dernières années peuvent être utilisées. Ces données doivent inclure des échantillonnages en période de crue. Cette relation peut être utilisée tant que les caractéristiques du bassin versant (occupation des sols, type d'agriculture, urbanisation, rejet des stations d'épuration, etc.) ne sont pas modifiées de façon significative.

L'étude menée a montré que cette méthode était la plus pertinente et parfois la seule à pouvoir estimer de façon fiable les apports.

L'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse dispose d'un outil de calcul permettant de mettre à disposition sur demande les résultats de calcul de flux de nutriments annuels sur les 6 cours d'eau étudiés.

Définition

La méthode des intervalles de débit

Le calcul des flux annuels de nutriments par la méthode des intervalles de débit consiste à affecter à chaque débit instantané mesuré (journalier ou horaire) la concentration qui correspond statistiquement (théoriquement) à ce débit. Il faut donc au préalable établir une relation débit – concentration. Cette relation est définie par intervalle (ou classe) de débit.

Bassin versant	Tendance de la relation entre le débit et la concentration en …		
	MES	Azote	Phosphore
Arc	→	↘	→
Berre	∪	↗	∪
Lez	↗	↗	↗
Mosson	↗	→	↗
Salaison	↗	→	↗
Vidourle	↗	↗	↗

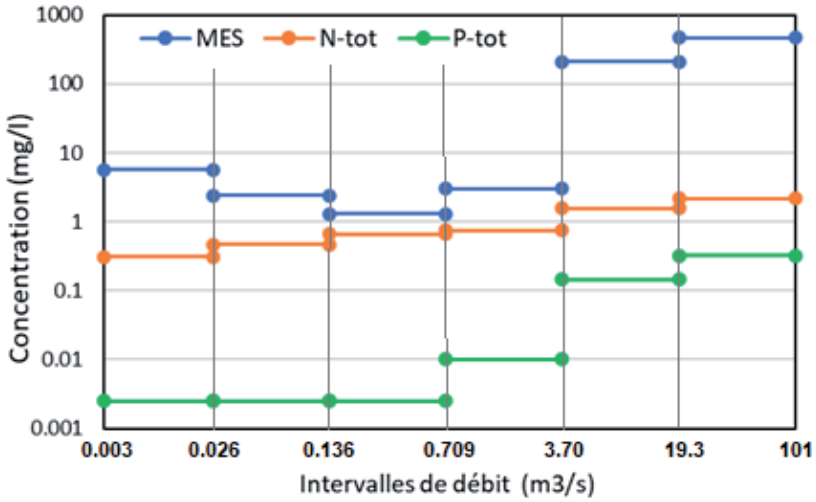
→ Une flèche horizontale indique que la concentration est assez indépendante ou peu corrélée avec le débit du cours d'eau.

↗ Une flèche croissante ou décroissante indique au contraire une dépendance au débit du cours d'eau, la concentration augmentant (exacerbation) ou diminuant (dilution) avec une augmentation du débit du cours d'eau.

∪ Une flèche en U indique que la concentration commence par diminuer avec l'augmentation du débit (dilution) puis augmente par la suite proportionnellement au débit (exacerbation).

Forme de la relation entre les concentrations en MES ou nutriments et le débit du cours d'eau.

Ce tableau montre que l'évolution des concentrations en MES ou nutriments avec celle du débit dépend du cours d'eau et du paramètre. La tendance globale est une exacerbation des concentrations avec l'augmentation du débit. L'Arc se différencie nettement des autres cours d'eau en ne montrant pas d'exacerbation des concentrations. La Berre montre d'abord une phase de dilution des concentrations puis leur exacerbation pour les débits forts. Les MES et le phosphore total présentent des tendances très similaires, ce qui est cohérent avec le fait que le phosphore se trouve principalement sous forme adsorbée sur les particules d'argile. L'azote est quant à lui principalement présent sous forme nitrique (nitrates) et dissous dans l'eau.



Relation débit/concentration définie par intervalle de débits pour la Berre.

Cette relation peut utiliser des données provenant de différentes années. La relation statistique concentration – débit peut être valable pour plusieurs années. Dans ce cas, le flux annuel de nutriments est principalement (ou exclusivement) conditionné par la dynamique des écoulements.

● Le **calcul des flux par la méthode des moyennes pondérées** s'effectue en trois étapes. On calcule d'abord le flux instantané de nutriments ou MES (concentration x débit) de chaque échantillon. On calcule ensuite la moyenne pondérée de ces flux instantanés (division de leur somme par la somme des débits). Finalement, le flux annuel de nutriments ou MES est obtenu en multipliant la moyenne pondérée ainsi obtenue par le volume annuel d'eau écoulé (flux hydrique). Cette méthode utilise les seules données de concentration et de débits de la période sur laquelle est calculé le flux de nutriments ou MES.

Cette méthode, plus classiquement utilisée pour l'estimation des flux, s'avère délicate à utiliser dans le cadre des cours d'eau méditerranéens, en particulier pour le calcul des flux de MES et de phosphore total. La prise en compte d'un trop grand nombre de données de crue surestime les flux, et inversement un trop petit nombre d'échantillons de crue sous-estime les flux calculés.

Ces sur- et sous-estimations peuvent dépasser un ordre de 10. Autrement dit, les flux peuvent être plus de 10 fois trop forts ou trop faibles. Cette méthode ne peut donc pas être appliquée au calcul des flux de MES et phosphore total dans le cas des cours d'eau méditerranéens. Elle peut par contre être appliquée au calcul des flux de formes dissoutes des nutriments, à celle de l'azote total par exemple.

● La **méthode de la dernière concentration** consiste à affecter à tous les débits instantanés consécutifs à une mesure de concentration cette dernière valeur (jusqu'à ce qu'une nouvelle mesure soit disponible, et ainsi de suite tout au long de la série de données). Si la fréquence de mesure des concentrations est suffisante (par exemple au 15 jours), et si les crues sont également échantillonnées, cette méthode donne de bons résultats, proches de ceux de la méthode des intervalles de débits.

● Si les données ne sont pas suffisantes pour mettre en œuvre une des méthodes présentées, alors **le simple produit du flux cumulé d'eau et de la concentration moyenne des données disponibles permet d'obtenir une estimation de l'ordre de grandeur des flux.** La valeur moyenne des concentrations peut être calculée par la moyenne arithmétique, la moyenne géométrique ou la médiane des données disponibles. Ces trois valeurs peuvent être utilisées pour encadrer la valeur probable.

A retenir

Différentes méthodes de calcul des flux de nutriments ou MES existent. Toutes ne sont malheureusement pas adaptées aux cours d'eau méditerranéens à cause de leur régime particulier d'écoulement qui exacerbe les concentrations lors des périodes de crue. La méthode la plus fiable est celle des intervalles de débit, mais elle requiert une certaine connaissance des concentrations survenant lors des crues. La méthode des moyennes pondérées n'est pas applicable au calcul des flux de MES et de phosphore total car elle peut entrainer une forte sur- ou sous-estimation de ces flux.

Si aucune des méthodes présentées ne peut être appliquée, il semble préférable d'utiliser le simple produit du flux d'eau cumulé et de la concentration moyenne issue des données disponibles.

Le lecteur peut se référer au rapport d'étude pour le détail méthodologique préconisé (https://www.eaurmc.fr/upload/docs/application/pdf/2022-07/hydriad_flux_lagunes_juin_2022.pdf) ainsi qu'à la publication scientifique relative à l'estimation des flux de nutriments (Banton et al. 2022 ; Hydrology).

Quels sont les principaux nutriments à prendre en compte ?

Le suivi renforcé mené durant cinq ans et l'interprétation réalisée sur les données acquises ont montré que **tous les paramètres qui dominent les apports sont les matières en suspension, les nitrates, l'azote organique (principale forme de l'azote oxydable Kjeldahl) et le phosphore total.**

Les matières en suspension (MES) sont constituées des sédiments résultant de l'érosion et les débris organiques qui y sont associés. Leur analyse est facile et fiable.

Les nitrates sont présents sous forme dissoute et représentent la forme dominante de l'azote (la quasi-totalité dans la plupart des cas). Leur analyse est facile et fiable.

L'azote organique est principalement présent sous forme particulaire. Il est analysé au sein de l'azote Kjeldahl qui regroupe aussi l'ammonium. La méthode d'analyse de ce paramètre présente une limite de détection trop élevée vis-à-vis des concentrations généralement présentes dans les eaux naturelles, ce qui conduit à des valeurs fréquemment inférieures aux limites de détection (LD) ou de quantification (LQ). **Ce paramètre est donc pertinent, mais pour les seules valeurs supérieures à cette limite de détection/quantification.** Il peut être judicieux d'affecter aux valeurs inférieures à la LD ou LQ, la valeur LD/2 ou LQ/2, plutôt que la valeur 0 ou celle de la LD ou LQ.

Le phosphore total est principalement constitué de phosphore adsorbé sur les argiles (donc relié à la charge en MES) et des ortho-phosphates présents sous forme dissoute. Son analyse est facile et fiable.

Les autres formes des nutriments sont en concentrations bien plus faibles et souvent inférieures aux limites de détection/quantification. Leur pertinence dans la caractérisation des concentrations et des flux apportés est donc moindre et discutable.

A retenir

De nombreuses formes des nutriments peuvent être apportées aux lagunes. Certaines dominent et s'avèrent les plus pertinentes à caractériser : nitrates, azote organique, phosphore total et MES comme indicateur de la charge potentielle en nutriments. Ce sont celles sur lesquelles doivent a minima porter les analyses.

Canal de la Réunion - Etang de Campignol (Gruissan)

Comment estimer les apports du bassin versant de la lagune ?

● La plupart des lagunes méditerranéennes sont alimentées par **un cours d'eau de plus ou moins grande taille, qualifié de principal tributaire**. Ce cours d'eau n'est cependant **pas le seul tributaire** possible. Des cours d'eau de moindre importance, voire intermittents, existent.

● Tous ces cours d'eau ne sont pas non plus les seules voies potentielles d'apport de nutriments aux lagunes. **Le ruissellement direct et les eaux souterraines peuvent aussi contribuer de façon significative aux apports**. Chaque lagune dispose ainsi d'un bassin versant qui lui est propre et qui contribue de différentes façons à lui apporter des nutriments.

● L'estimation des flux apportés à la lagune devrait donc **prendre en compte l'intégralité du bassin versant de la lagune et non les seuls bassins versants des cours d'eau suivis.** Malheureusement, les apports provenant des bassins versants des cours d'eau mineurs et des zones sans cours d'eau ne sont souvent pas, ou très mal, connus. Plusieurs approches peuvent être envisagées pour estimer la contribution totale du bassin versant d'une lagune.

● **L'apport total à la lagune peut être considéré au prorata de la surface des bassins versants** lorsque l'un des tributaires a bénéficié d'un **suivi** des flux. Par exemple, si le bassin versant du principal tributaire représente la moitié du bassin versant total de la lagune, l'apport total pourrait être considéré en première approximation comme pouvant être le double de celui du seul tributaire. Cette approche permet de dimensionner les apports potentiel à grande échelle, mais une étude sur le bassin de l'Etang de l'Or[1] a montré les limites d'une telle approche.

Si les apports souterrains à une lagune sont importants, leur contribution doit également être prise en compte dans le bilan. Ceci peut être réalisé en tenant compte des concentrations mesurées sur les eaux souterraines et des débits d'apport souterrain estimés.

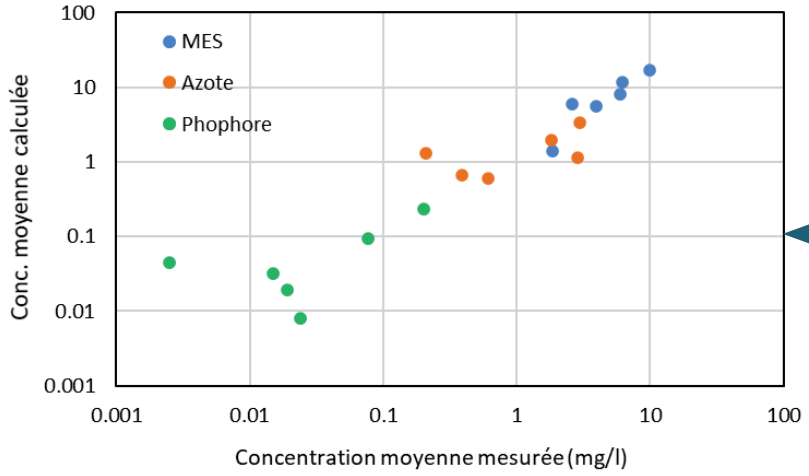
● **L'occupation des sols du bassin versant conditionne la nature et l'importance des flux de nutriments**. L'étude montre qu'une corrélation semble exister entre les concentrations mesurées et certaines caractéristiques du bassin versant (pente moyenne, pluie, densité des cours d'eau, population, type et pourcentage d'agriculture…). Les résultats de cette corrélation ont été appliqués sur des lagunes non suivies dans le cadre de cette étude et ont montré une bonne concordance avec les flux estimés par d'autres méthodes. La méthodologie développée peut ainsi être appliquée en première approximation au bassin versant de toute lagune méditerranéenne sur lequel on ne dispose pas de données de concentrations mesurées. Elle peut également être appliquée à tout cours d'eau méditerranéen pour en estimer les flux de nutriments potentiellement générés.

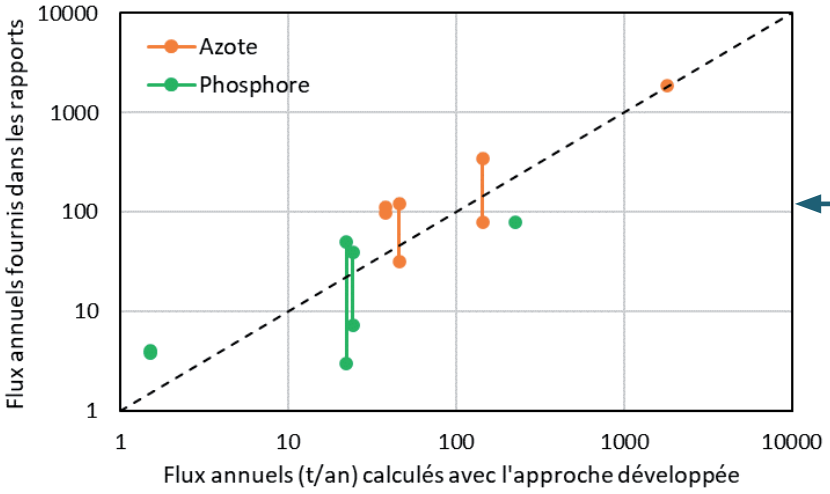
Le lecteur peut se référer au rapport d'étude pour le détail méthodologique préconisé : https://www.eaurmc.fr/upload/docs/application/pdf/2022-07/hydriad_flux_lagunes_juin_2022.pdf)

A retenir

Tout le bassin versant d'une lagune peut contribuer à apporter des nutriments, et non le seul principal cours d'eau l'alimentant. C'est donc tout ce bassin versant qui doit être pris en compte dans l'évaluation des apports. Les connaissances disponibles sur les apports de nutriments par le principal tributaire peuvent constituer une première approximation. En l'absence de telles connaissances, les caractéristiques du bassin versant permettent d'estimer l'importance des apports potentiels.

[1] Colin & al., 2017. Apports d'eau aux lagunes côtières méditerranéennes - Propositions méthodologiques pour la quantification des écoulements basées sur des mesures légères et des modèles synthétiques.





Comparaison des concentrations calculées à l'aide des caractéristiques du bassin versant à celles mesurées par le suivi qualité du cours d'eau

Les concentrations estimées sont assez bien corrélées aux valeurs mesurées. La figure suivante compare les flux annuels calculés à partir des caractéristiques du bassin versant, de la pluie efficace et des prélèvements (donc sans donnée mesurée de débit et de concentration) avec les flux issus d'études détaillées menées sur l'étang de Bages-Sigean, l'étang de Thau, l'étang de l'Or et l'étang de Berre. Les flux de MES n'ont pas été estimés dans ces études. Ici encore, les flux calculés par l'approche développée se comparent bien aux résultats des études détaillées.

Comparaison des flux estimés à l'aide des concentrations calculées à ceux estimés à l'aide des concentrations mesurées (flux apportés aux étangs de Bages-Sigean, de Thau, de l'Or et de Berre)

Les flux estimés avec les concentrations calculées ont des ordres de grandeur cohérents avec les flux obtenus par les études détaillées.

Bages-Sigean

Comment quantifier l'importance des apports par les eaux souterraines ?

Les eaux souterraines peuvent représenter une part importante des flux d'eau d'un bassin versant. Leur rôle dans les apports de nutriments peut cependant être très variable.

Dans le cadre des lagunes méditerranéennes, **trois cas peuvent se présenter :**

- **Les apports souterrains peuvent être très limités de par la nature argileuse des dépôts lagunaires et marins formant le fond de la lagune.** Dans ce cas, les apports souterrains sont issus du débordement de la nappe sur la limite amont de la lagune. Dans le cadre d'une thèse sur l'étang de l'Or[1], il a été montré que les flux souterrains apportés à cette lagune étaient très faibles au regard des flux d'eau et de nutriments apportés par les différents tributaires. Ceci serait le cas de toutes les lagunes présentant le même type de géologie.

- D'autres lagunes peuvent bénéficier d'un **apport diffus sur leur limite amont ou par le fond.** Les flux d'eau sont difficiles à mesurer à cause de leur caractère diffus et de leur faible importance devant les autres apports. De même, la caractérisation des concentrations entrant par ce biais dans la lagune est très difficile voire impossible. Ces concentrations en nutriments peuvent cependant être estimées par des échantillonnages dans des puits et forages situés en amont immédiat de la lagune. Seuls les nutriments en solution (nitrates et ortho-phosphates principalement) peuvent être apportés par les entrées diffuses d'eau souterraine.

- **Certaines lagunes bénéficient d'un apport d'eau plus ou moins localisé au niveau d'émergences karstiques** (ex : Thau, Salses-Leucate). Bien que difficiles à mesurer, les flux d'eau et de nutriments sont assez localisés et quand même plus faciles à estimer que les apports diffus.
Les nutriments seront principalement ceux sous forme dissoute, mais des formes particulaires peuvent être présentes. Les concentrations sont représentatives du bassin versant du réseau karstique dont la superficie peut souvent être bien supérieure à celle du bassin versant hydrographique de la lagune.

A retenir

Les apports d'eau souterraine aux lagunes sont très variables selon la géologie. Dans un contexte lagunaire argileux, les apports souterrains peuvent être considérés comme négligeables. Ailleurs, les apports sont généralement diffus et difficiles à quantifier en termes de débit et de flux de nutriments.

Dans le cas particulier des environnements karstiques, des émergences très localisées peuvent se présenter dont les débits et les flux de nutriments peuvent être mesurés ou estimés au moyen d'approches adaptées.

[1] DAVID Marine. 2019. Influence des apports d'eaux souterraines sur le fonctionnement hydrologique et biogéochimique des lagunes côtières méditerranéennes. Cas de la lagune de l'Or. Thèse de l'Université de Montpellier - IFREMER – BRGM – CEREGE.

Quelle contribution peuvent avoir les canaux connectés aux lagunes ?

Trois grands types de canaux peuvent être connectés aux lagunes et contraindre leur fonctionnement : les canaux de drainage des zones humides limitrophes des lagunes, les canaux d'irrigation et de dérivation des eaux superficielles, les canaux de navigation. Ces trois types de canaux ont des fonctionnements différents et des contributions différentes aux lagunes.

● **Les canaux de drainage des zones humides** peuvent apporter des flux importants d'eau correspondant aux précipitations efficaces tombant sur ces zones humides et aux eaux qu'elles reçoivent de leur propre bassin versant par ruissellement et écoulement souterrain. Les charges en nutriments de ces eaux dépendent donc de l'occupation des zones humides et de leur bassin versant (généralement naturelle ou agricole). **Ces canaux ne bénéficient pas de station hydrométrique** mais l'importance de leur contribution peut être évaluée par quelques mesures ponctuelles de débits et un bilan entrée-sortie réalisée sur leur bassin versant. Les concentrations peuvent être mesurées sans contraintes particulières. La **principale difficulté** dans la mesure des débits et des concentrations sera le **choix des moments d'échantillonnage**. Ces canaux et les zones humides en équilibre avec eux sont en effet soumis au rythme des marées et aux conditions météorologiques. Les marées, même si elles sont faibles en Méditerranée, conditionnent les entrées et sorties d'eau des lagunes et leur temps de renouvellement Les flux peuvent donc s'inverser selon les conditions de marées, de vent et d'écoulement du bassin versant.

● **Les canaux d'irrigation et de dérivation des eaux** ont une dynamique propre qui n'est pas directement reliée aux précipitations et aux écoulements du bassin versant. L'alimentation de ces canaux est en effet contrôlée par un jeu de barrages et martelières. Ce fonctionnement anthropique relève souvent du seul besoin d'irrigation ou, de façon secondaire, de considérations autres comme l'écrêtement de crue ou le maintien du débit d'étiage du cours d'eau dérivé. La qualité des eaux de ces canaux est directement reliée à celle du cours d'eau dérivé et à l'influence du territoire traversé.

● **Les canaux de navigation** ont un rôle particulier. Dans le cas des lagunes, ces canaux côtiers sont généralement en connexion plus ou moins directe avec la mer et les étangs. Les échanges d'eau entre les canaux et les lagunes sont complexes et principalement gérés par les marées, les vents et les conditions hydriques de la lagune. La qualité de l'eau échangée résulte du mélange des eaux de la mer, de la lagune et des cours d'eau croisant le canal, et des différents rejets anthropiques qui y sont exercés. Sur le court terme (sur la durée d'une étude par exemple), les flux hydriques et les apports corollaires peuvent être caractérisés grâce à une instrumentation adaptée et à un suivi à haute fréquence (en quasi continu). A plus long terme (pour le bilan pluriannuel des apports), les échanges d'eau et de nutriments ne peuvent être approchés que de façon statistique ou au moyen d'une modélisation hydrologique et hydrodynamique complexe.

A retenir

Les canaux peuvent représenter des apports importants aux lagunes. Les débits des canaux d'irrigation et de dérivation sont contrôlés par l'ouverture des barrages et martelières et la qualité de leurs eaux par celle des cours d'eau dérivés et par l'occupation du territoire traversé. Les canaux de drainage des zones humides limitrophes des lagunes ont un fonctionnement naturel mais directement influencé par les marées et les vents. Les canaux de navigation constituent un pôle d'échange complexe influencé par la mer, la lagune et les cours d'eau connectés.

3- Préconisations méthodologiques pour l'estimation des flux de nutriments apportés aux lagunes en vue de leur réduction

● **Les crues jouent un rôle important dans les apports de nutriments** aux lagunes du fait des importants volumes d'eau apportés par ces épisodes. Par ailleurs, les concentrations peuvent être bien plus élevées durant ces périodes qu'en temps normal. Pour certains nutriments et certains cours d'eau, les crues engendrent donc des apports très importants d'eau pouvant présenter des concentrations très fortes. Les apports instantanés en temps de crue peuvent être ainsi plusieurs milliers de fois plus importants que durant le reste de l'année.

Cette dynamique particulière des crues implique que les échantillonnages de suivi de la qualité des eaux apportées doivent aussi inclure une caractérisation de ces évènements. Il n'est cependant pas possible ni pertinent de caractériser de façon exhaustive ou détaillée toutes les crues, ni toutes les phases d'une crue (montée, pic, descente). De façon pratique et pour des raisons de sécurité des opérateurs de terrain, une caractérisation des phases de décrue semble suffisante pour établir la signature des eaux en période de crues. Il demeure cependant requis de caractériser de la sorte plusieurs crues, puisque les concentrations en période de crue dépendent aussi d'autres facteurs comme l'intensité de pluie, la saison, l'occupation des sols, l'état hydrique des sols, etc.

● **Les méthodes de calcul des flux de nutriments sont plus ou moins bien adaptées aux lagunes méditerranéennes à cause de l'importance des crues dans le fonctionnement hydrologique de leur bassin versant.** Parmi les deux méthodes les plus communément utilisées, la méthode des moyennes pondérées s'avère très délicate à utiliser car un sous-échantillonnage des crues entraine une forte sous-estimation des flux apportés, et inversement pour une sur-représentativité des crues dans les échantillons. Cette sur- ou sous-estimation ne concerne cependant que les formes particulaires (MES, phosphore total, azote organique).

A l'inverse, la méthode des intervalles de débits ne souffre pas de ce problème de sur- ou sous-échantillonnage des crues. Cette méthode ne requiert pas non pus que les crues soient caractérisées chaque année. Il est possible d'établir une relation entre concentrations et débits en utilisant toutes les données disponibles et d'utiliser cette relation au-delà des années échantillonnées. Cette relation statistique demeure en effet valable tant que le bassin versant ne subit pas de modifications majeures dans son occupation et son utilisation du territoire. Une série d'échantillonnages peut être mise en œuvre de temps à autre (tous les 5, 10 ou 15 ans) afin de vérifier et préciser la relation concentrations – débits.

● **Parmi les paramètres généralement suivis, les plus pertinents pour la caractérisation des flux sont les MES, l'azote total et le phosphore total.** Le phosphore total est principalement relié au phosphore adsorbé sur les particules d'argiles, alors que l'azote total est dominé par les nitrates (et dans une moindre mesure par l'azote organique). L'ammonium et les nitrites sont généralement présents en faible concentration, souvent inférieure aux limites de quantification. La technique de mesure de l'azote oxydable (méthode Kjeldhal) s'avère inefficace pour la plupart des échantillonnages et devrait être améliorée ou abandonnée.

● **Il est possible d'estimer les flux apportés à une lagune par son bassin versant même en l'absence d'un suivi des débits, voire même d'une connaissance des concentrations des nutriments apportés.** L'utilisation des données de pluie, d'évapotranspiration et de prélèvements permettent d'estimer les apports hydriques à la lagune avec une bonne fiabilité. L'étude a également montré qu'il est possible de fournir une estimation réaliste des concentrations et des flux de nutriments et MES à partir des principales caractéristiques d'un bassin versant. Dans le cas des bassins versants présentant des échanges importants avec l'extérieur (par exemple des apports d'irrigation, des pertes karstiques, etc.), la prise en compte d'une connaissance « à dire d'expert » permet d'ajuster les volumes apportés.

● D'après des études antérieures, **la contribution des eaux souterraines est très variable selon les lagunes.** Pour les lagunes méditerranéennes d'Occitanie et de PACA, la contribution des eaux souterraines est négligeable lorsque le soubassement de la lagune est composé d'argiles. D'autres lagunes bénéficient d'apports karstiques, directement dans la lagune ou à son pourtour immédiat. Dans ce cas, les apports peuvent être importants et ne pas refléter la contribution du bassin versant de la lagune, mais de bassins versants voisins.

● Finalement, **plusieurs lagunes sont en connexion avec des réseaux de canaux de drainage, d'irrigation ou de navigation qui compliquent la dynamique des écoulements et les échanges entre des masses d'eau voisines**.
Les canaux de drainage ne font que modifier la dynamique interne de fonctionnement du bassin versant de la lagune. Ils sont souvent l'héritage d'une pratique historique d'assainissement des zones humides. Les canaux d'irrigation sont responsables d'un apport d'eau extérieure dont la quantité et la qualité sont souvent difficiles à caractériser et dépendent de pratiques et de décisions anthropiques. Les canaux de navigation sont sources d'échanges complexes, fortement contraints par la marée et par les conditions de pluie et de vent.

Indépendamment de la dynamique des crues discutées précédemment, il est donc nécessaire pour des lagunes contraintes par de tels échanges avec des canaux de caractériser les différentes situations d'entrées et de sorties : temps calme, vent fort de beau temps (mistral, tramontane), vent de mer lié aux épisodes méditerranéens, très hautes marées et fortes houles également reliées à ces épisodes méditerranéens, période d'irrigation, vidange des rizières, lâchers d'eau pour le contrôle des inondations, etc.

A retenir

Une étude visant l'estimation des flux de nutriments apportés à une lagune doit identifier les différentes voies possibles d'apports, les hiérarchiser, puis dimensionner pour les plus importantes d'entre elles les flux hydriques et de nutriments mis en jeu. Il est impossible ou difficilement concevable de mettre en place de façon pérenne un réseau de suivi de tous les affluents, canaux et passes échangeant avec une lagune. Il est donc nécessaire de caractériser le fonctionnement du bassin versant d'une lagune avant de lancer une campagne de caractérisation des flux hydriques et des concentrations de nutriments qui y sont associées. Il serait en effet préjudiciable de ne pas faire porter l'effort sur les flux dominant les apports d'eau et de nutriments. Il est requis d'approcher les apports de façon aussi exhaustive que possible sur une période de temps raisonnable (un cycle hydrologique par exemple) avant d'éventuellement mettre en place un suivi plus long sur les principaux contributeurs.

Un cheminement méthodologique d'estimation des flux de nutriments apportés à une lagune est proposé en page suivante. Ce canevas ne prétend pas être exhaustif ni universel. Il doit être adapté à chaque lagune, en fonction des apports et des échanges dont elle bénéficie. Mais il montre que même en l'absence de suivis réguliers, il est possible de démarrer les réflexions et d'estimer les flux potentiellement apportés à une lagune par son bassin versant. Ceci permet aussi de planifier la mise en œuvre d'un suivi. Ce suivi permettra de préciser les données et d'identifier les principaux contributeurs afin identifier les actions de réduction à mener. La démarche peut donc être progressive et itérative.

Estimations des FLUX HYDRIQUES

Les tributaires des lagunes disposent-ils d'une **station de jaugeage des débits à son exutoire ?**

OUI

NON

Le cas échéant :
Prise en compte du **reste du bassin versant et des canaux**

Le principal tributaire ne représente pas la totalité des apports d'eau et de nutriments à une lagune. Des échanges peuvent également avoir lieu par des affluents mineurs, par le drainage des zones bordières de la lagune ou des zones humides ou par des masses d'eau voisines par le bais de canaux de drainage, d'irrigation ou de navigation. Ces échanges doivent faire l'objet d'une attention particulière et d'une caractérisation car ils peuvent représenter des volumes d'échanges importants et être difficiles à quantifier.

Le bassin versant dispose-t-il d'une **station météorologique pertinente ?**

OUI

On peut alors **calculer les flux d'eau en tenant compte des précipitations, de l'évapotranspiration et des prélèvements**

Si le tributaire ne dispose pas d'une station hydrométrique, le flux hydrique peut être évalué, entre autres, à l'aide de données de pluie et d'évapotranspiration potentielle. Les précipitations efficaces peuvent être calculées à l'aide d'outils tel que le logiciel ESPERE du BRGM.

NON

OUI

Pour les prélèvements, utliser les données de la BNPE *bnpe.eaufrance.fr*

Les prélèvements exercés sur le bassin versant doivent également être pris en compte dans l'estimation des flux hydriques.

Echanges (apports - pertes) avec l'extérieur

Des connaissances « à dire d'expert » sont également requises quant aux apports et pertes d'eau échangés avec l'extérieur du bassin versant. Ces apports peuvent correspondre à un apport d'eau d'irrigation ou à l'émergence de sources alimentées par un autre bassin versant. Des pertes peuvent également survenir et alimenter des sources ou émergences situées à l'extérieur du bassin versant, voire même en mer.

Dispose-t-on **d'images radar de pluie ?**

S'il n'existe pas de station météorologique pertinente, les données des images radar de pluie peuvent être utilisées pour évaluer la pluie tombée. Ces données radar sont assez facilement disponibles, mais leur traitement est complexe et requiert des routines de calcul qui ne sont pas encore disponibles pour les acteurs de terrain.

Estimation des concentrations de nutriments

Méthodes utilisables pour estimer les flux de nutriments apportés à la lagune

Les tributaires de la lagune disposent-ils également d'un **suivi de qualité ?**

OUI

De nombreux cours d'eau disposent déjà de stations de suivi de la qualité des eaux (stations RCO/RCS)

NON

Les tributaires de la lagune disposent-ils d'un **suivi avec des données en temps de crue ?**

L'étude 2015-2022 a montré que les apports par les épisodes de crues pouvaient être importants. Il est dès lors nécessaire de disposer d'une information sur la qualité des eaux en temps de crue.

OUI avec des données actuelles

MES et Phosphore total → Utiliser les **méthodes des intervalles de débit** ou de **la dernière concentration**

Formes dissoutes (en particulier de l'azote) → Utiliser les **méthodes de la moyenne pondérée, des intervalles de débit** ou de **la dernière concentration**

OUI mais qu'avec des données historiques → Utiliserla méthode d**es intervalles de débit**

NON → Utiliser la méthode de la **moyenne pondérée** ou de **la dernière concentration**

Les tributaires et pôles d'échange de la lagune disposent-ils de **données de qualité ?**

OUI

Des données historiques sporadiques peuvent exister

NON

Calculer les **valeurs moyennes**

Il est recommandé d'en calculer la moyenne arithmétique plutôt que la médiane car cette dernière reviendrait très vraisemblablement à diminuer encore la valeur du flux calculé.

Rechercher les **caractéristiques du bassin versant**

OUI

En générer des **concentrations moyennes probables**

Si le bassin versant ne dispose pas de données de qualité ou de données trop éparses, une évaluation de la concentration moyenne probable peut être réalisée à l'aide des caractéristiques du bassin versant. Les données requises sont disponibles dans diverses bases de données existantes et sont faciles à traiter sous SIG.

Produit simple volume annuel X concentration moyenne

Pour en savoir + le lecteur peut se référer au rapport d'étude
https://www.eaurmc.fr/upload/docs/application/pdf/2022-07/hydriad_flux_lagunes_juin_2022.pdf

Notes personnelles

ESTIMER LES FLUX DE NUTRIMENTS APPORTÉS AUX LAGUNES MÉDITERRANÉENNES :

ÉTAPE CLÉ POUR DÉFINIR UNE STRATÉGIE DE MAÎTRISE DE LEUR EUTROPHISATION

Préconisations méthodologiques

Le SDAGE Rhône-Méditerranée identifie les masses d'eau fragiles vis-à-vis des phénomènes d'eutrophisation dans son orientation fondamentale 5B - Lutter contre l'eutrophisation des milieux aquatiques. Il s'agit de milieux qui présentent déjà des phénomènes d'eutrophisation et/ou qui sont fragiles compte tenu des pollutions par les nutriments qu'ils subissent, de leurs caractéristiques morphologiques, hydrologiques et des effets du changement climatique. Cette orientation préconise notamment d'engager des démarches « flux admissibles » sur les bassins versants concernés par ces masses d'eau fragiles.

Les lagunes sont toutes concernées par cette orientation fondamentale. En effet, ces masses d'eau sont des milieux riches, au fonctionnement complexe et particulièrement exposés aux pressions physiques et aux pollutions. Les enjeux de restauration de ces écosystèmes sont forts, notamment dans un contexte de changement climatique.

Ce document propose des éléments méthodologiques et techniques pour progresser sur l'estimation des flux de nutriments apportés aux lagunes, première étape pour définir une stratégie de maitrise de leur eutrophisation.

© photographie couverture : Hydriad

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

agence de l'eau RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE

Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
2-4 allée de Lodz
69363 LYON CEDEX 07
Tél. 04 72 71 26 00