



HAL
open science

Diagnostic d'eutrophisation des zones humides chassées des Hauts de France

Elsa Breton, Muriel Crouvoisier, Jacinthe Caillaud, Romain Chartier, Lisa
Pluchart, Dorothée Dewaele

► **To cite this version:**

Elsa Breton, Muriel Crouvoisier, Jacinthe Caillaud, Romain Chartier, Lisa Pluchart, et al.. Diagnostic d'eutrophisation des zones humides chassées des Hauts de France. Université du Littoral Côte d'Opale - ULCO. 2019. hal-04279881

HAL Id: hal-04279881

<https://hal.science/hal-04279881>

Submitted on 10 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Diagnostic d'eutrophisation des zones humides chassées des Hauts de France



Par Dr Elsa Breton¹, Dr Muriel Crouvoisier¹, Dr Jacinthe Caillaud¹, Romain Chartier¹, Lisa Pluchart¹ et Dorothée Dewaele²

1-UMR 8187 LOG, Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences, Université du Littoral Côte d'Opale, CNRS, Université Lille, 62930 Wimereux, France

2- Centre Commun de Mesure, Université du Littoral Côte d'Opale MREI 1. 145 Avenue Maurice Schumann. 59140 Dunkerque, France

Résumé

La Fédération Régionale des Chasseurs (FRC) des Hauts de France a contacté l'Université du Littoral Côte d'Opale et son Centre Commun de Mesures, ainsi que le Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences pour établir un diagnostic d'eutrophisation des zones humides chassées de la région, et trouver des solutions pour endiguer le problème, le cas échéant. En effet, les résultats à un questionnaire de la FRC envoyé à ses membres indiquent que 58% des propriétaires de zones humides chassées ayant répondu (>800) rencontrent des problèmes grandissants de gestion à cause de proliférations d'algues filamenteuses, de lentilles d'eau, d'eaux vertes, et/ou d'envasement important. Le diagnostic, mené d'avril à septembre 2018 sur 26 zones humides chassées réparties équitablement sur les 4 départements, montre que la majorité d'entre-elles sont dans un état physico-chimique et biologique médiocre voire mauvais. Celles du Nord souffrent principalement d'un excès de phosphore et de proliférations de cyanobactéries potentiellement toxiques, rendant les eaux vertes et fortement turbides, tandis que celles de la Somme et de l'Aisne souffrent plutôt d'un excès de nitrates+nitrites engendrant des proliférations d'algues filamenteuses. Pour le Pas-de-Calais, les raisons varient d'une ZH à l'autre. De manière générale, il apparaît que (1) les dynamiques du phosphore et de l'azote Kjeldahl sont indépendantes de celle des nitrates+nitrites, (2) plus l'eau de la zone humide est riche en nitrates+nitrites plus il y a d'algues filamenteuses, et (3) une pollution au phosphore favorise les proliférations phytoplanctoniques dominées par les cyanobactéries potentiellement toxiques, engendrant des eaux vertes et turbides. D'autre part, cette étude montre que l'indice IPLAC, développé en 2016 par l'IRSTEA en collaboration avec l'ONEMA pour évaluer l'état de santé écologique des lacs français d'intérêt public, est applicable aux zones humides. Comme constaté par les auteurs de cet indice, l'indice IPLAC est inversement et significativement lié aux phosphates, au phosphore total, à l'azote Kjeldahl, à la biomasse chlorophyllienne, à la turbidité, et aux proliférations de cyanobactéries. Il est donc un bon indicateur d'une pollution par le phosphore principalement, qui engendre des proliférations de cyanobactéries, une coloration « verte » de l'eau, et une certaine turbidité de l'eau. Par contre, l'indice IPLAC est inefficace pour tracer les pollutions par les nitrates et l'accumulation conséquente d'algues filamenteuses. Un bio-indicateur complémentaire doit donc être développé pour évaluer pleinement l'état de santé écologique d'une zone humide. Des solutions pour mitiger l'eutrophisation des zones humides échantillonnées, lorsque c'est le cas, sont proposées à chaque propriétaire sous forme de fiche individuelle. Cependant, l'idéal serait de traiter les causes plutôt que les symptômes, c'est à dire réduire les sources de pollution à l'échelle du bassin versant. C'est particulièrement urgent pour mitiger les blooms de cyanobactéries potentiellement toxiques, dont les spécialistes prédisent une augmentation importante de leur fréquence, durée, et ampleur, en raison du réchauffement climatique.

I Introduction

Bien que ne couvrant que 2% du territoire français, les zones humides (ZH) fournissent de nombreux services écosystémiques. En effet, ces systèmes de transition entre les systèmes terre-eau-mer, et à la typologie diversifiée, forment généralement un tampon contre la pollution (ex : 40% et 45% de rétention en moyenne de N et P d'origine agricole, Land *et al.* 2016) et les inondations. Elles constituent également un réservoir d'eau, de biodiversité et de matière organique, et un habitat crucial pour une grande variété de faune et flore. Ainsi, rien qu'en France, les ZH abritent 30% des espèces végétales remarquables ou menacées, ainsi que 50% des espèces d'oiseaux et 100% des espèces d'amphibiens et de poissons remarquables et menacés. Elles sont aussi un lieu ludique pour la pêche, la chasse, et/ou le naturalisme.

Malgré leur intérêt majeur, 47% des ZH françaises subissaient une dégradation de la qualité plus ou moins forte en 2011 (Enquête nationale dite d'experts, 2011). Bien que les zones humides dites « ordinaires » soient les plus touchées, leur préservation n'est pas considérée comme prioritaire dans les politiques environnementales (Convention de Ramsar, 1971 ; Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique, Directive Cadre Eau..), contrairement aux zones humides dites « remarquables » pour leur biodiversité exceptionnelle. Pourtant, les zones humides « ordinaires » remplissent au même titre que les autres des fonctions biogéochimiques et écologiques majeures au bon fonctionnement du bassin versant.

Dans la Région Hauts-de-France, les ZH couvrent 2 fois plus de surface que la moyenne française. Dans ce territoire à dominance agricole, où les sols sont principalement de nature crayeuse (figure 1), favorisant ainsi les infiltrations d'eaux, et où la proportion de milieux semi-naturels et forestiers est 2 à 4 fois moins importante que la moyenne nationale, la pression nitrates y est presque aussi forte qu'en Bretagne (Tableau I). En effet, plus de 80% des communes sont vulnérables à cette pollution (Tableau I). En 2014, seulement 12 à 14% des rivières étaient classées comme étant de bonne qualité en nitrates, contre 43% pour la moyenne française. Les cartes détaillées de la qualité des rivières du bassin Artois-Picardie en nitrates et phosphates sont présentées figure 2 (période 2007-2013, Open data Agence de l'Eau). Ainsi, la majorité des rivières de la Région sont de qualité passable à médiocre concernant les nitrates. Concernant les phosphates, ce sont surtout les rivières du Nord qui

affichent une qualité médiocre voire mauvaise. Il en résulte des écosystèmes des eaux de surface majoritairement en mauvais état (figure 3). Il semble que les pollutions par les nitrates s'accroissent d'année en année dans le bassin Artois-Picardie (DREAL 2012). Concernant les sources de pollution, l'agriculture est responsable à 77% des rejets azotés, alors que les activités domestiques sont la principale source de rejets phosphorés, à hauteur de 85%.

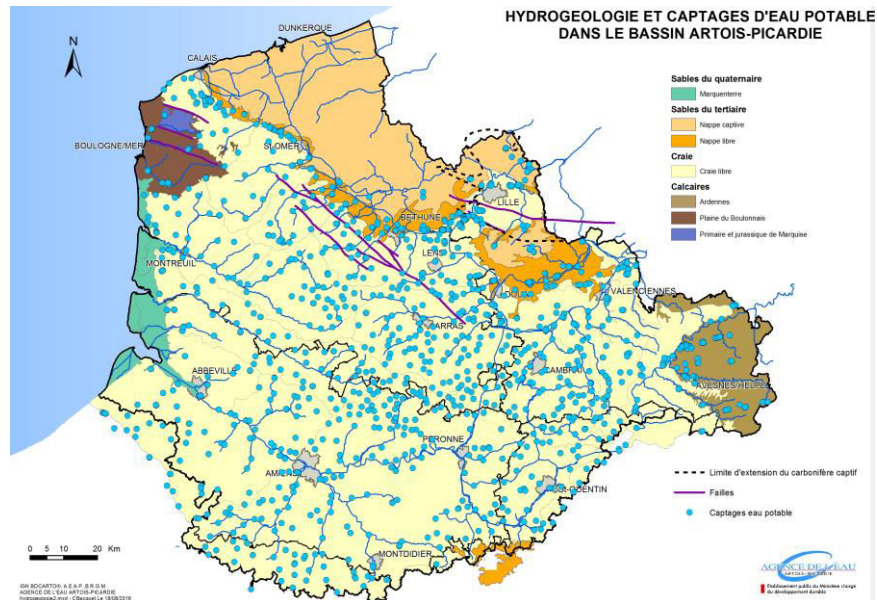


Figure 1 : Hydrogéologie du bassin Artois-Picardie. Cartographie : Agence de l'eau Artois-Picardie.

Tableau I : Contexte économique et environnemental de la Région Hauts-de-France.

| | Unité | Année | NpdC | Picardie | Bretagne | France | Source |
|--|--------|-------|-------|----------|----------|--------|--|
| Territoires agricoles | % | 2012 | 77 | 75 | 80 | 59 | Corine Land Cover |
| Territoires artificialisés | % | 2012 | 14 | 7 | 7 | 6 | Corine Land Cover |
| Forêts et milieux semi-naturels | % | 2012 | 8 | 17 | 13 | 34 | Corine Land Cover |
| Zones humides intérieures | % | 2012 | 0,4 | 0,5 | 0,1 | 0,2 | Corine Land Cover |
| Pression azotée moyenne | kgN/ha | 2007 | 115,6 | 136,0 | 179 | 85,5 | Ministère de l'Agriculture (SSP) |
| Communes vulnérables à "pollution nitrates" | % | 2012 | 95 | 84 | 100 | 52 | Journal Officiel |
| eaux de surface de bonne qualité en nitrates | % | 2014 | 14 | 12 | 5 | 43 | Progr surv. qualité des milieux aquatiques |

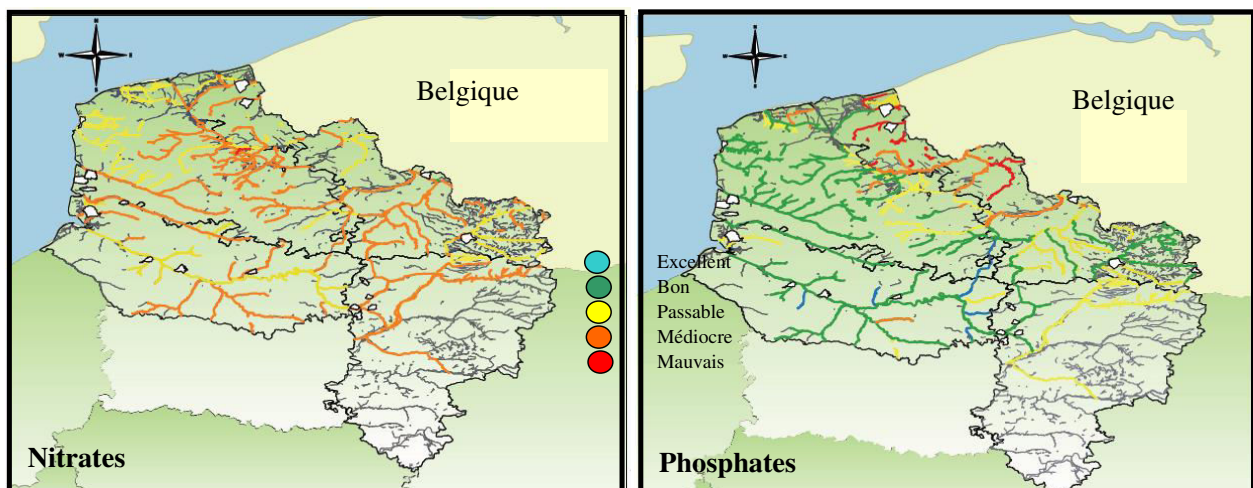


Figure 2 : Qualité physico-chimique des rivières du bassin Artois-Picardie concernant les nitrates et phosphates. Codes qualité selon la DCE. Source : open source Agence de l'Eau 2007-2014. Les communes associées aux zones humides étudiées sont représentées en blanc. Cartographie : R. Chartier.

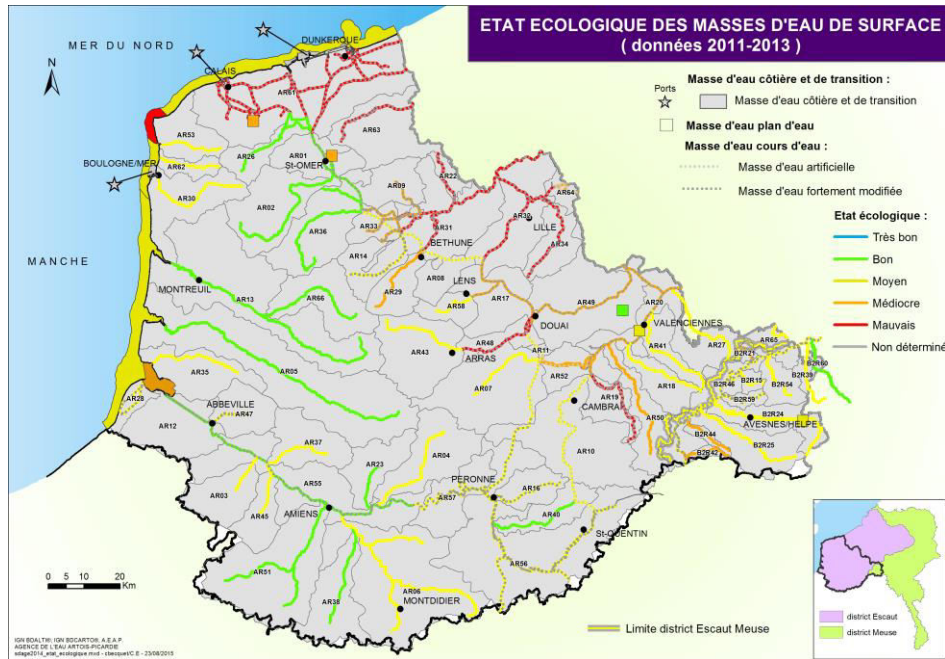


Figure 3 : Etat écologique des masses d'eau de surface dans le bassin Artois-Picardie. Données et Cartographie : Agence de l'eau Artois-Picardie.

Dans ce contexte économique et environnemental, la majorité des masses d'eaux de la Région est vulnérable à l'eutrophisation. L'eutrophisation est le « syndrome d'un écosystème aquatique associé à la surproduction de matières organiques induit par des apports anthropiques en phosphore et en azote ». Le développement excessif de végétation (ex : amas d'algues filamenteuses et efflorescences phytoplanctoniques) et un engorgement progressif d'un système aquatique sont les manifestations les plus visibles. L'eutrophisation engendre également un changement progressif de la composition végétale et une perte de biodiversité.

Les zones humides ordinaires (ZH) du bassin Artois-Picardie semblent particulièrement affectées par l'eutrophisation. En effet, d'après les plus de 800 réponses à un questionnaire de la fédération régionale des chasseurs, envoyé à ses membres dans le but de mieux percevoir les problèmes de gestion des ZH rencontrés, 58% des propriétaires ont de plus en plus de mal à maintenir le bon état de leur ZH, en raison d'un développement croissant d'algues filamenteuses (pour 47% d'entre-eux, figure 2) et de plantes envahissantes (15%), de dépôt de mousses (18%), d'eau vertes (11%, figure 2) et/ou d'un engorgement progressif de leur ZH (12% rencontrent un degré d'engorgement >50%). Quelque soit le symptôme d'eutrophisation rencontré, aucune zone géographique n'est exemptée (figure 4).

Dans le but de trouver des solutions pour rétablir le bon fonctionnement des zones humides chassées des Hauts-de-France, la Fédération Régionale des Chasseurs a contacté l'Université du Littoral Côte d'Opale (ULCO) et son Centre Commun de Mesures (CCM), ainsi que le Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences (LOG) pour établir un diagnostic d'eutrophisation d'une vingtaine de zones humides (ZH) chassées, réparties équitablement sur les 4 départements.

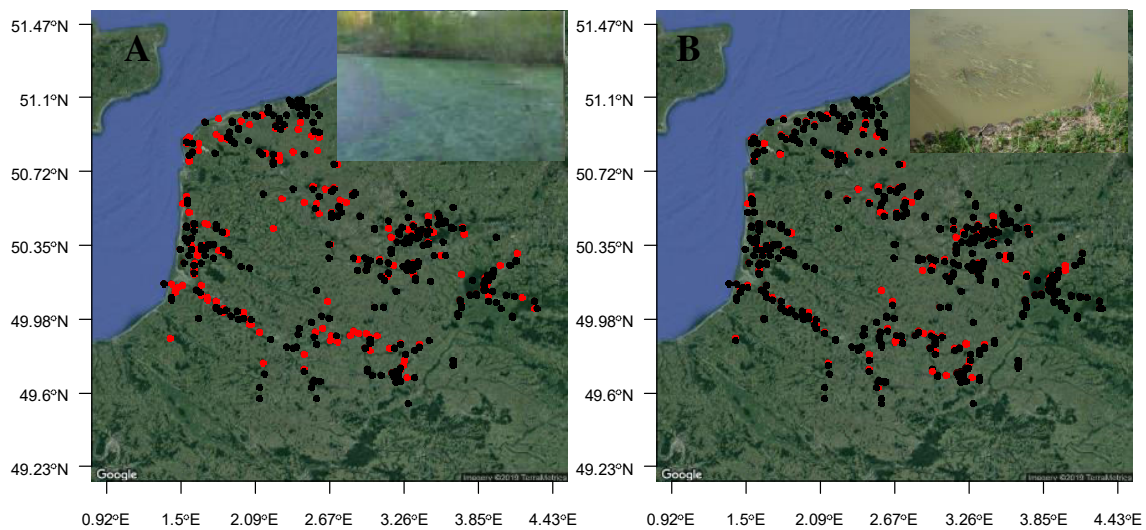


Figure 4 : Localisation des zones humides chassées des Hauts-de-France souffrant de la présence d'algues filamenteuses (A) et d'eaux vertes (B), d'après les réponses recueillies à un questionnaire envoyé par la fédération régionale des chasseurs des Hauts-de-France à ses membres. Rouge = présence d'algues filamenteuses/eaux verdâtres ; noir = absence.

II Matériel et méthodes

Choix des zones humides et des points de prélèvements

Le choix des zones humides (ZH) s'est fait selon deux critères : distribution équitable entre les départements Nord, Pas-de-Calais, Somme, Aisne, en privilégiant celles déjà étudiées dans le cadre d'un suivi des odonates, amphibiens, flore, et avifaune, et essayer d'avoir une échelle d'eutrophisation la plus large possible. Le choix final a porté sur 22 sites pour un total de 26 ZH : 14 obligatoires, 9 choisies d'après les réponses au questionnaire, une choisie pour la perception de son bon état écologique comparée à une adjacente posant des problèmes de gestion à son propriétaire, et deux choisies pour leur utilisation par deux employés du LOG pour la chasse. La localisation des 22 sites est présentée sur la figure 5, et les informations détaillées de chaque zone humide sont recueillies dans le tableau II. A titre d'exemple, les vues d'ensemble de quelques zones humides sont présentées figure 6. L'échantillonnage a été effectué avec une fréquence mensuelle d'avril à septembre pour les sites numérotés de 1 à 12, de juin à septembre pour ceux numérotés de 13 à 20, et uniquement en septembre pour les deux derniers.

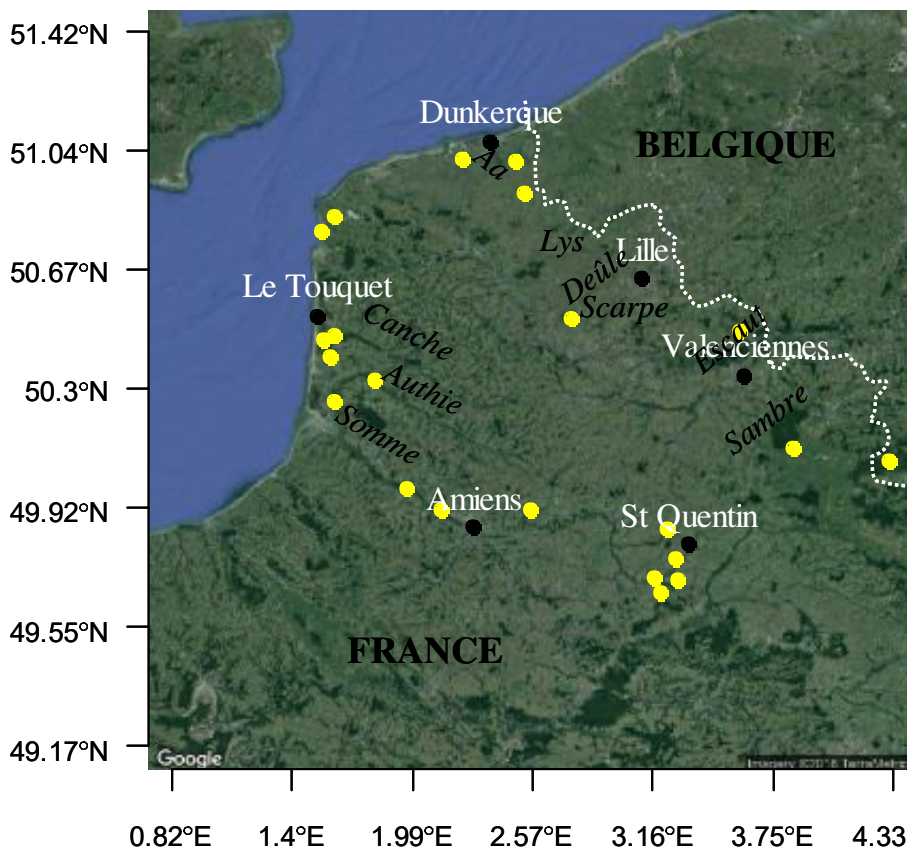


Figure 5 : Localisation des zones humides chassées des Hauts-de-France ayant bénéficié d'un diagnostic d'eutrophisation.

Tableau II. Localisation et informations détaillées sur les zones humides échantillonnées dans les Hauts de France en 2018. Dpt : Département, Lat : latitude, Lon : longitude, Alt : altitude, S : superficie, Pmax : profondeur maximale. La superficie a été estimée par photographies satellitaires.

| n° ZH | Commune | Dpt | Lat °N | Lon °E | S ha | Pmax m | Alt m | Type ZH | Période étudiée |
|--------|---------------------------|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------------------------|-------------------|
| 1 | Moustier-en-Fagne | 59 | 50.094 | 4.21 | 0,17 | 0,8 | 200 | mare artificielle | avril à septembre |
| 2 | Maroilles | 59 | 50.14 | 3.73 | 1,33 | 1,2 | 150 | étang prairial | avril à septembre |
| 3 | Herzele | 59 | 50.88 | 2.56 | 1,08 | 1 | 12 | étang artificiel | avril à septembre |
| 4 | Dury | 02 | 49.752 | 3.132 | 4,99 | 1 | 75 | marais tourbeux anthropisé | avril à septembre |
| 5 | Annois | 02 | 49.708 | 3.154 | 2,3 | 0,6 | 72 | marais tourbeux | avril à septembre |
| 6 | Maissemy | 02 | 49.895 | 3.188 | 2,22 | 0,3 | 80 | marais tourbeux | avril à septembre |
| 7 | Dominois | 80 | 50.334 | 1.85 | 1,11/0,67 | 0,5/2 | 15 | marais tourbeux | avril à septembre |
| 8 | Chaussée Tirancourt | 80 | 49.953 | 2.15 | 0,4 | 1 | 20 | mare artificielle | avril à septembre |
| 9 | Méricourt l'abbé | 80 | 49.952 | 2.565 | 4,61 | 1 | 40 | ancienne tourbière – marais | avril à septembre |
| 10 | St Josse | 62 | 50.4667 | 1.6667 | 0,23 | 0,5 | 35 | marais tourbeux | avril à septembre |
| 11 | Merlimont | 62 | 50.456 | 1.614 | 0,7 | 0,5 | 7 | marais tourbeux | avril à septembre |
| 11-bis | Merlimont | 62 | 50.456 | 1.614 | 0,37 | 1,3 | 7 | marais tourbeux | avril à septembre |
| 12 | Verton | 62 | 50.402 | 1.649 | 0,67/0,62 | 0,8 | 6 | marais tourbeux | avril à septembre |
| 13 | Warhem | 59 | 50.98 | 2.546 | 1,28 | 0,6 | 4 | étang prairial | juin à septembre |
| 14 | Wimereux | 62 | 50.769 | 1.609 | 0,4 | 0,3 | 10 | mare artificielle | juin à septembre |
| 15 | Longprès-les-corps-saints | 80 | 50.013 | 1.992 | 2,1 | 1,5 | 15 | marais | juin à septembre |
| 16 | Rue | 80 | 50.272 | 1.669 | 0,66/0,49 | 0,5 | 10 | mare artificielle | juin à septembre |
| 17 | Clastres | 02 | 49.746 | 3.233 | 1,5 | 1,2 | 75 | mare artificielle | juin à septembre |
| 18 | Fontaine-lès-Clercs | 02 | 49.807 | 3.224 | 3,5 | 1 | 84 | marais tourbeux | juin à septembre |
| 19 | Hergnies | 59 | 50.478 | 3.521 | 0,71 | 0,8 | 16 | étang artificiel | juin à septembre |
| 20 | Cambrin | 62 | 50.519 | 2.75 | 1,09 | 1 | 25 | marais tourbeux | juin à septembre |
| 21 | Bazinghen | 62 | 50.815 | 1.661 | 0,35 | 0,4 | 80 | mare artificielle | septembre |
| 22 | Loon plage | 62 | 50,98 | 2,25 | 0,68 | 0,3 | 10 | étang artificiel | septembre |



Figure 6 : Exemples de zones humides étudiées en 2018. Photos : L. Pluchart

En général, chaque zone humide a bénéficié mensuellement de deux prélèvements d'eau, un à l'entrée de la ZH (zone d'alimentation), l'autre à la sortie (zone d'évacuation de l'eau). Certaines rivières à proximité ont également bénéficié de prélèvements d'eau pour une analyse des sels nutritifs. C'est le cas du canal de la Somme à proximité de la ZH 8, du ruisseau la Tringue pour les ZH 11 et 11bis, et la rivière Le Fliers pour la ZH 12. Un exemple de localisation de points de prélèvements est présenté sur la figure 7.



Figure 7 : exemple de localisation de points de prélèvements. Source : Google Map.

Caractérisation des zones humides et indicateurs d'eutrophisation

Diverses variables environnementales sont généralement estimées pour caractériser une zone humide et évaluer le degré d'eutrophisation d'un milieu aquatique.

Ainsi, la mesure de conductivité permet de nous informer sur le taux de minéralisation de chaque mare. La mesure du pH nous informe sur le degré d'acidité/alcalinité du milieu (un $\text{pH}=7$ est neutre, $\text{pH}>7$ alcalin, et $\text{pH}<7$ acide). L'analyse des phosphates (PO_4^{3-}), nitrates+nitrites ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), phosphore total (PT) et azote Kjeldahl (NK) nous informent sur le degré d'enrichissement de la mare en sels nutritifs, et donc du degré d'eutrophisation. NO_3^- et NO_2^- représentent la part inorganique de l'azote, tandis que NK représente la part organique. PO_4^{3-} représente la part inorganique du phosphore tandis que PT représente à la fois la part inorganique et organique. La turbidité nous informe sur la quantité de matière en suspension dans la mare ; elle peut être un indicateur d'eutrophisation lorsque les teneurs en sels nutritifs sont aussi élevées. La chlorophylle a (Chla, $\mu\text{g/L}$) est un indicateur de biomasse phytoplanctonique. La composition phytoplanctonique peut informer aussi sur le degré d'eutrophisation des zones humides. La dominance par les cyanobactéries est en général typique d'une pollution par le phosphore, tandis que celle d'euglénoides est typique d'une

pollution saprobique. L'IRSTEA en partenariat avec l'ONEMA a développé un indice d'eutrophisation, l'Indice Phytoplancton LACustre (indice IPLAC, Feret et Laplace-Treyture 2016) pour la surveillance de l'état écologique des plans d'eau d'intérêt public dans le cadre de la Directive Cadre Eau (2000). C'est un indice composite prenant en compte à la fois la profondeur du lac, son altitude, la biomasse phytoplanctonique (chlorophylle a) et sa composition lors de la période végétative (avril à septembre), en se focalisant sur un panel de 165 espèces dont l'optimum trophique (cote spécifique) et la tolérance/spécialisation pour un habitat (coefficient de sténoécie) sont connus. Les auteurs ont trouvé une relation très significative entre la teneur en phosphates et/ou phosphore total d'un lac et l'indice IPLAC associé, indiquant que l'excès de phosphore est une cause majeure d'eutrophisation et de détérioration des écosystèmes lacustres. Feret et Laplace-Treyture (2016) ont également trouvé une relation significative entre l'azote Kjeldahl et l'indice IPLAC. En revanche la relation avec les nitrates est faible. L'explication avancée est que généralement le phosphore est l'élément limitant la production phytoplanctonique dans les systèmes lacustres. Cet indice n'a jamais été appliqué aux zones humides qui sont des systèmes particuliers du fait de leur faible profondeur, leur turbidité généralement élevée, et la grande diversité d'organismes qu'ils abritent, en comparaison avec les lacs. Dans le cadre de cet étude, cet indice a été calculé et testé sur les zones humides échantillonnées. Un autre indice, l'indice biologique diatomées (IBD), développé par l'Agence de l'eau Artois-Picardie (Prygiel et Coste 2000) pour caractériser la qualité des eaux de rivières, et utilisé largement au-delà de nos frontières, n'a pu être appliqué à notre étude, du fait de l'absence dans les zones humides échantillonnées de la plupart des espèces nécessaires à son calcul.

Mesures et analyses

La conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) a été estimée en avril-mai avec un multi-senseur Hanna HI 9828. Le pH (psu) a été mesuré en septembre avec un pHmètre Extech pH110. La turbidité (NTU) a été mesurée d'avril à juin avec un turbidimètre Eutech© TN-100. Les concentrations en phosphates ($\text{mg PO}_4/\text{L}$), nitrites ($\text{mg NO}_2/\text{L}$), et nitrates ($\text{mg NO}_3/\text{L}$) ont été déterminées chaque mois avec un auto-analyseur colorimétrique Seal© AA3 selon la méthodologie décrite dans Aminot et Kerouel (2007). Les limites de détection pour les 4 sels mesurés sont de 0,003 mg NO_2 ou NO_3/L pour NO_2^- et NO_3^- , et de 0,0003 à 0,0006 $\text{mg PO}_4/\text{L}$ pour le PO_4^- . Le dosage du PO_4^{3-} repose sur la réaction de l'acide orthophosphorique (résultant de l'acidification des ions ortho ou polyphosphates par ajout d'acide sulfurique) avec l'acide molybdique (heptamolybdate d'ammonium acidifié), en présence d'antimoine (catalyseur),

pour former le complexe phosphomolybdique, qui est ensuite réduit par l'acide ascorbique en un composé bleu, appelé complexe céruléomolybdique. La réaction se déroule à pH acide (pH~0,8). Le composé bleu absorbe à la longueur d'onde de 820 nm. Les ions nitrites réagissent avec le sulfanilamide en milieu acide (pH<2) pour former un diazoïque qui réagit ensuite avec le dichlorhydrate de N-(1-naphtyl)-éthylènediamine pour former un complexe de couleur rose, qui absorbe à la longueur d'onde de 540 nm. Les concentrations en NO_3^- sont obtenues en effectuant le dosage des $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$, après réduction des NO_3^- en NO_2^- . La réduction est effectuée via une colonne constituée de granulés de cadmium activés par une solution de sulfate de cuivre. Les concentrations en phosphore total ont été estimées par ICP-OES selon la norme NF EN ISO 11885. La limite de détection est de 0.005 mg/L. Les échantillons d'eau brute subissent une minéralisation à l'acide nitrique afin de dissoudre la fraction particulaire. Le dosage du phosphore total (dissous + particulaire) a ensuite été réalisé par ICP-OES (torche à plasma couplée à un détecteur de spectroscopie d'émission optique). Les raies utilisées pour le dosage du phosphore sont les suivantes : 117.495, 178.284, 213.618 et 214.914 nm. L'azote Kjeldahl a été estimé selon la norme NF EN 25663. Les limites de détection varient de 0.5 à 1.25 mg N/L en fonction du volume de l'échantillon. L'azote organique et l'ammoniaque sont d'abord transformés en sulfate d'ammonium (minéralisation à l'aide d'un mélange H_2SO_4 , K_2SO_4 , et CuSO_4), qui est ensuite décomposé en ions ammonium par ajout de thiosulfate de sodium lors d'une étape de distillation en milieu basique. Ces ions sont ensuite réabsorbés dans une solution diluée d'acide sulfurique et sont dosés à l'aide d'une électrode sélective.

La chla a été estimée par fluorimétrie selon les équations de Lorenzen (1967) avec un fluorimètre Turner© AU10, après extraction de la chla et des phaeopigments dans de l'acétone à 90% pendant 12h à l'obscurité et à 4°C. Le phytoplancton et les algues filamenteuses ont été identifiés et mesurés sous microscope inversé Nikon© TS-2000 aux grossissements X100, X200 ou X400. Il est équipé d'une caméra, elle-même reliée à un ordinateur permettant d'effectuer des photographies et des mesures morphométriques avec le logiciel Nikon© NIS-elements. Les amas d'algues filamenteuses à la surface de l'eau ont également été quantifiés de manière ordinaire : 0 (absence), 1(peu), 2(moyen), 3(beaucoup), 4(énormément).

Classification des zones humides selon leur degré d'eutrophisation et leur état de santé écologique

Il n'existe pas de classification officielle des zones humides pour évaluer leur vulnérabilité à l'eutrophisation car elles restent des milieux sous-étudiés. Pour classer les ZH selon leur niveau trophique, nous avons utilisé la classification par l'OCDE des lacs des régions tempérées (OCDE, 1982). A noter qu'un système aquatique peut être eutrophe naturellement, et donc, en aucun cas, la détermination du niveau trophique est indicateur d'une eutrophisation culturelle ayant pour origine les activités humaines. Cette classification se base sur les teneurs en nitrates, phosphates, phosphore total et chlorophylle a. Pour chacune de ces variables, on attribue une classe trophique (oligotrophe, mésotrophe, eutrophe...). Le niveau trophique de la mare est celui qui correspond à celui attribué à la variable la moins bien classée. Par exemple si pour la chlorophylle on obtient « eutrophe », les phosphates et les nitrates « mésotrophe », la ZH est classée « eutrophe ». La qualité physico-chimique et biologique des zones humides a été évaluée à partir des seuils établis par le Système français d'Evaluation de la Qualité de l'Eau des cours d'eau (SEQ-eau), ces seuils étant utilisés par les services de l'Etat dans le cadre de la DCE pour classer les rivières et les lacs de loisirs. Il est établi pour diverses variables environnementales dont la turbidité, le pH, les nitrites, les nitrates, l'azote Kjeldahl, les phosphates, le phosphore total, et la chla. Comme pour le niveau trophique, la variable la moins bien classée donne la classe finale à la zone humide. Par contre, contrairement à la notion de niveau trophique, le SEQ-eau intègre la notion de détérioration de la qualité de l'eau. Enfin, l'indice IPLAC est constitué également de seuils de qualité biologique. Les valeurs seuils de chacun de ces indices sont données dans le tableau III. A noter que les seuils utilisés dans cette étude pour qualifier le degré d'enrichissement d'une zone humide en cyanobactéries sont ceux attribués aux eaux de baignades (seuils d'alerte des cyanobactéries DGS-ministère chargé de la santé). A ce propos, une plaquette a été construite pour informer les propriétaires du danger des proliférations de cyanobactéries (annexe 1).

Indicateurs supplémentaires

Afin d'évaluer le risque d'eutrophisation d'un site abritant une zone humide, la **qualité des rivières à proximité de chaque zone humide** étudiée a été estimée en utilisant les données de l'Agence de l'eau sur la période 2007-2014. Les concentrations en **azote total et phosphore** (équivalent méthode Olsen) **du sol** (données cantonales sur la période 2010-2014) ont été téléchargées en utilisant l'application Geosol (<https://webapps.gissol.fr/geosol/>). **L'indice de Capacité d'Echanges Cationiques** (indice CEC) a également été téléchargé. Cet indice permet d'évaluer la capacité d'un sol à percoler (lessivage), et donc nous informe sur le

Tableau III. Valeurs seuil utilisées pour qualifier la qualité physico-chimique et biologique des zones humides. N'existant pas d'indice pour qualifier les zones humides, les valeurs concernent soit les eaux de surface en général (variables SEQ-eau, Agence de l'eau), ou les lacs (niveau trophique d'après l'OCDE, et indice IPLAC de l'IRSTEA-ONEMA) ou les eaux de baignades (seuils d'alerte des cyanobactéries DGS-ministère chargé de la

| Niveau trophique (OCDE) | Unités | Ultraoligotrophe "très peu nourri" | Oligotrophe "peu nourri" | Mésotrophe "moyennement nourri" | Eutrophe "trop nourri" | Hypertrophe "vraiment trop nourri" |
|---|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--|--|---|
| NO3 | µg/L N-NO3 | | <10 | 10-30 | 30-100 | >100 |
| PO4 | µg/L P-PO4 | | <2 | 2-5 | 5-100 | >100 |
| Phosphore total | µg/L P | <4 | 4-10 | 10-35 | 35-100 | >100 |
| Chlorophylle a | µg/L | <1 | 1-2,5 | 2,5-8 | 8-25 | >25 |
| Qualité physico-chimique (SEQ-eau) | | | | | | |
| | | Excellente | Bonne | Passable | Médiocre | Mauvaise |
| pH | psu | 8 | 8,5 | 9,0 | 9,5 | >9,5 |
| Turbidité | NTU | 15 | 35 | 70 | 100 | >100 |
| NO2 | mg/L N-NO2 | 0,01 | 0,09 | 0,15 | 0,3 | >0,30 |
| NO3 | mg/L N-NO3 | 0,45 | 2,3 | 5,6 | 11 | >11 |
| PO4 | mg/L P-PO4 | 0,03 | 0,16 | 0,33 | 0,65 | >0,65 |
| Phosphore total | mg/L P | 0,05 | 0,2 | 0,5 | 1 | >1 |
| Azote Kjeldahl | mg/L N | 1 | 2 | 4 | 10 | >10 |
| Qualité biologique | | | | | | |
| Chlorophylle a+phaeopigments | µg/L | <10 | 60 | 120 | 240 | >240 |
| Cyanobactéries | 10 ⁶ cell/ml | <0,2 | 2 | 20 | 100 | >100 |
| (DGS - ministère chargé de la santé) | | Pas de recommandations particulières | | Surveillance active Maintien d'une activité | Maintien d'une activité Information du public | Interdiction baignade et consommation de poisson recherche de toxines |
| Indice IPLAC (IRSTEA-ONEMA) | sans unité | 0,8 | 0,6 | 0,4 | 0,2 | <0,2 |
| Algues filamenteuses | ordinal | 0 (aucune) | 1 (peu) | 2 (moyen) | 3 (beaucoup) | 4 (énormément) |

degré de vulnérabilité à l'eutrophisation d'un écosystème peuplant ce sol. Plus la valeur de l'indice est faible moins le sol est capable de retenir les polluants, et donc risque davantage d'être eutrophisé. Une **analyse de l'utilisation des terres** sur 1km de circonférence a également été estimée à partir de photographies aériennes (GoogleMap©) afin de calculer ensuite l'indice d'usage des terres. Cet indice est une analyse géographique qui permet de mesurer l'intensité des activités humaines autour d'une zone humide en fonction de l'usage qui est fait de son sol alentour. Cet indice se base sur les travaux de Lemly *et al.* (2016) qui est une modification de Hauer *et al.* (2002) et Mack *et al.* (2006). La valeur de l'indice d'usage des terres nous informe sur le pouvoir tampon du paysage alentour vis à vis de la pollution. Il tient compte aussi bien de la destruction que de la modification d'un habitat naturel. A chaque catégorie d'usage des sols est attribué un coefficient (tableau IV) variant de 0 (activités humaines intenses) à 1 (aire naturelle, pas d'emprunte humaine). L'indice est la somme des produits de la proportion d'une catégorie par son coefficient, et varie de 0 à 1. Il existe 5 classes du pouvoir tampon des paysages alentours contre les pollutions:

- * <0.4 faible
- * de 0.4 à 0.799 : moyen
- * de 0.8 à 0.949 : bon
- * de 0.95 à 1 : excellent

Tableau IV. Méthodologie de calcul de l'indice d'usage des terres.

| Catégories d'usage des terres | Coefficient | % surface | score |
|--|-------------|-----------|-------|
| routes/parking goudronnés | 0 | | |
| aménagement/structures domestiques, commerciales ou publiques | 0 | | |
| routes non goudronnées, chemins tracteurs/4*4 | 0,1 | | |
| Cultures | 0,2 | | |
| végétation développée de manière intensive (golf, pelouses...) | 0,2 | | |
| conversion de la végétation (déboisement, roseaux, ...) | 0,3 | | |
| base de loisirs (camping, spot de pêche..) | 0,4 | | |
| zone militaire | 0,4 | | |
| pression de broutage intensive (pâturage, densité sauvage importante,..) | 0,4 | | |
| agriculture (vignes, vergers, serres, ...) | 0,5 | | |
| exploitation forestière (50-75% des arbres >50 cm enlevés) | 0,5 | | |
| plantation d'arbres commerciaux/ sapin de Noël | 0,5 | | |
| jâchères récentes dominées par des espèces rudérales et exotiques | 0,5 | | |
| broutage modéré | 0,6 | | |
| modérément fréquenté | 0,7 | | |
| vieilles jâchères | 0,7 | | |
| exploitation forestière modérée (<50% d'arbres >50 cm enlevé) | 0,8 | | |
| faible broutage et moissonage | 0,9 | | |
| peu fréquenté | 0,9 | | |
| aire naturelle/ végétation native entretenue | 1 | | |
| Indice usage des terres | | | |

Analyses statistiques

Une **analyse inter-classe** (Dolédec et Chessel, 1987) a été appliquée sur les données de sels nutritifs pour estimer les parts de variations dans les données associées à la saison d'une part, et à l'espace d'autre part. Il s'agit d'une méthode multi-variée discriminante qui cherche, dans le cas par exemple de variabilité spatiale, à séparer le mieux possible le centre de gravité de chaque zone humide échantillonnée, en s'appuyant sur les différences entre zones humides.

Une **analyse de co-inertie** (Dolédec et Chessel 1994, Dray *et al.* 2003) a été effectuée pour étudier le couplage entre l'état de santé des zones humides échantillonnées (quantité d'algues filamenteuses, de cyanobactéries, et de phytoplancton ; et l'indice IPLAC) et l'environnement (teneurs en sels nutritifs du sol et de l'eau de la zone humide, qualité des rivières en N et P, pH, turbidité, usage des sols alentours, capacité d'échanges cationiques). Cette analyse multi-variée consiste à trouver des axes de co-inertie entre deux tableaux en maximisant la covariance entre les coordonnées des lignes de ces deux tableaux. C'est une méthode exploratoire générale permettant l'analyse de différents types de tableaux avec différentes méthodes analytiques (Analyse en Composantes Principales, Analyse de Correspondance, Analyse de Correspondances Multiples...), et sans restriction du nombre de variables des

deux tableaux. Dans notre cas, une analyse de co-inertie de type ACP-ACP a été effectuée. Le degré de couplage entre les deux tableaux a été évalué par le calcul d'un coefficient de corrélation multidimensionnelle (RV). La significativité statistique des analyses inter-classe et de co-inertie a été testée avec une procédure de permutation de Monte Carlo (Manly, 1997) avec 1000 permutations. Toutes les analyses ont été effectuées sous langage R (R DevelopmentCore Team, 2015) avec les modules « caret » et « ade4 » (Chessel *et al.* 2004, Dray *et al.*, 2007).

III Résultats

Diagnostic d'eutrophisation

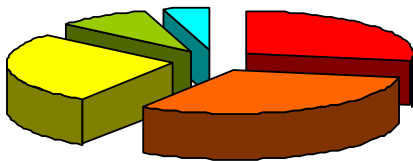
L'analyse inter-classe indique que la distance géographique entre les zones humides est la principale cause de variabilité pour les sels nutritifs. En effet, elle représente 40% de la variabilité alors que le temps ne représente que 8% de variabilité. Les zones humides échantillonnées couvrent la plupart des différentes classes de qualité définies par SEQ-eau, l'ONEMA pour l'indice IPLAC et la DGS pour les cyanobactéries (tableau V), et présentent donc de grandes disparités entre elles. Bien que majoritairement hypertrophes selon la classification trophique de l'OCDE, les zones humides échantillonnées affichent un état de santé physico-chimique et écologique très variable d'une zone humide à l'autre, couvrant toute la gamme de couleurs (figure 8A : SEQ-eau et l'indice IPLAC, B : quantité d'algues filamenteuses et cyanobactéries). **Les résultats montrent que les zones humides échantillonnées sont majoritairement dans un état médiocre voire mauvais (figure 8**

A&C).

Tableau V. Gamme de valeurs enregistrées dans les zones humides échantillonnées et codes qualité correspondants, le cas échéant.

| | Unités | Minimum | Maximum |
|----------------------|-------------------------|---------|----------|
| Conductivité | µS/cm | 3 | 940 |
| pH | psu | 5,05 | 9,09 |
| Turbidité | NTU | 0,08 | 255,5 |
| NO2 | mg NO2/L | 0,003 | 4,16 |
| NO3 | mg NO3/L | 0,003 | 77,85 |
| PO4 | mg PO4/L | 0,0003 | 2,40 |
| Phosphore total | mg P/L | 0,005 | 2,50 |
| Azote Kjeldahl | mg N/L | <0,5 | 12 |
| Chlorophylle a | µg/L | 0,0784 | 120,21 |
| Cyanobactéries | 10 ⁶ cell/ml | 0 | >100 |
| Indice IPLAC | sans unité | 0,32 | 1 |
| Algues filamenteuses | ordinal | absence | beaucoup |

A



C

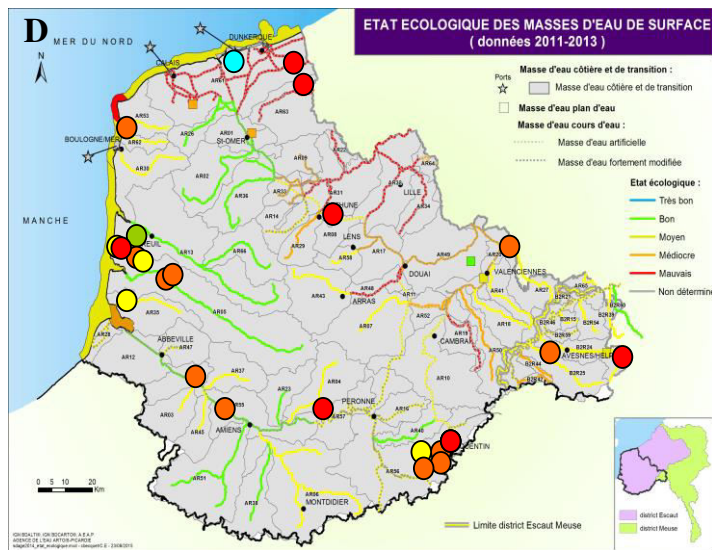
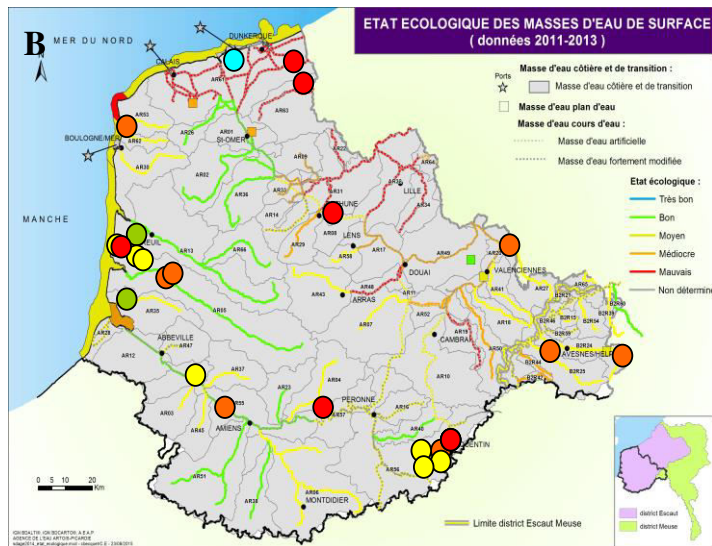
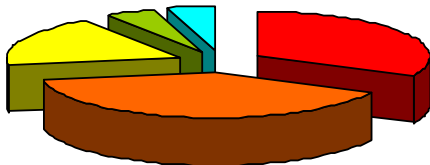


Figure 8 : Bilan de l'état physico-chimique et écologique des zones humides échantillonnées dans les Hauts-de-France. A&B : SEQ-eau et indice IPLAC. C&D : en tenant compte en plus des classes de seuils des abondances de cyanobactéries selon la DGS et la quantité d'algues filamenteuses. Le fond de carte représente l'état écologique des masses d'eau des Hauts de France évalué par l'Agence de l'eau (cartographie : Agence de l'eau Artois-Picardie).

En effet, selon le SEQ-eau et l'indice IPLAC, 6 ZH sont en « mauvais » état, 8 « médiocre », 7 « passable », deux en « bon » état, et 1 seule dans un état « excellent ». Les zones humides mal classées du département du Nord (qualité passable à mauvais, et donc en deçà du seuil de bonne qualité) le sont principalement à cause de concentrations élevées en phosphore (figure 9), le plus souvent d'origine organique, et en chlorophylle a (figure 11), tandis que celles de la Somme et l'Aisne le sont principalement à cause d'un excès de nitrates (figures 8 et 9). Pour le Pas-de-Calais, les raisons varient d'une ZH à l'autre (figures 8 à 11). En tenant compte des abondances de cyanobactéries ainsi que des quantités d'algues filamenteuses, en plus du SEQ-eau et de l'indice IPLAC, une ZH devient rouge, quatre orange, et une jaune. **Les ZH rencontrant des abondances élevées de cyanobactéries sont localisées dans le département du Nord, tandis que les ZH rencontrant des quantités importantes d'algues filamenteuses se situent principalement dans la Somme et l'Aisne.**

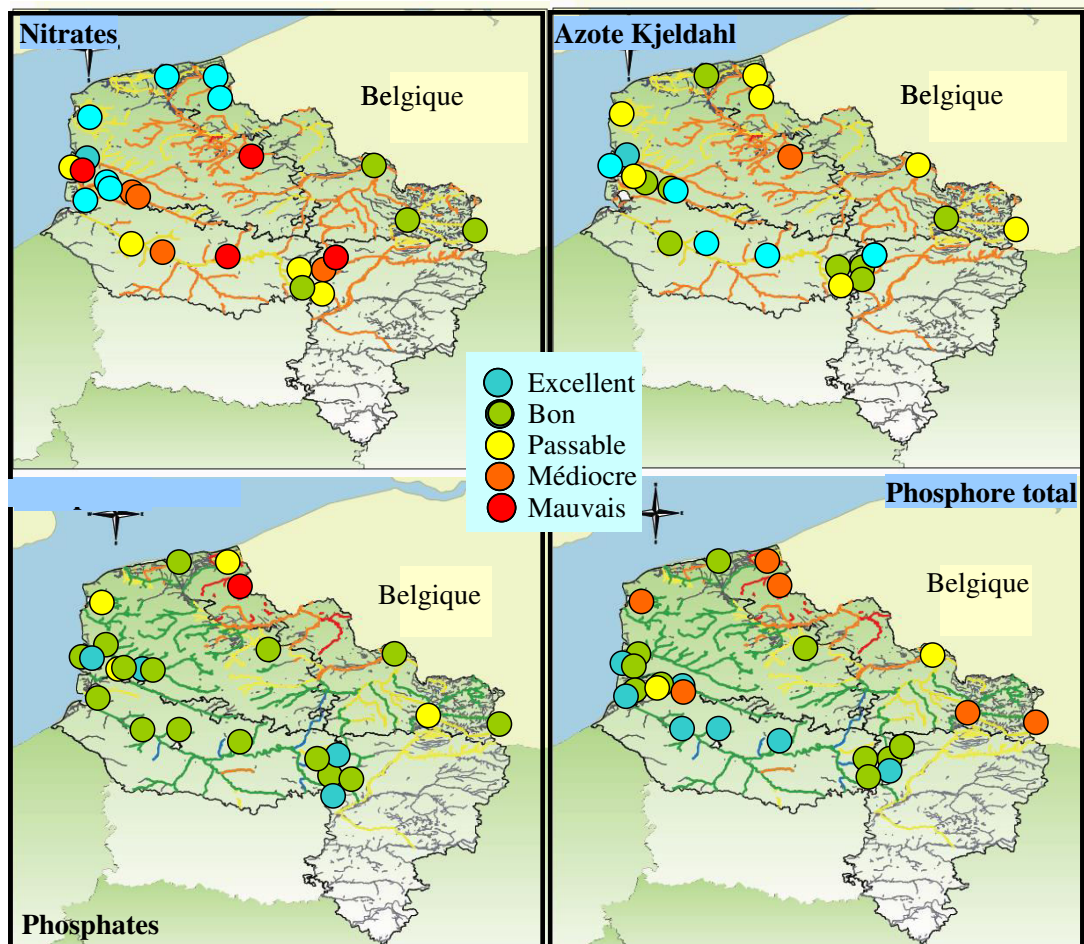


Figure 9 : Classes de qualité des zones humides échantillonnées dans les Hauts-de-France pour les nitrates, azote Kjeldahl, phosphates, et phosphore total. Le fond de carte représente la qualité des eaux de surface des nitrates pour les cartes « nitrates » et « azote Kjeldahl », et phosphates pour les cartes « phosphates » et « phosphore total » des Hauts de France évalué par l'Agence de l'eau (source qualité des rivières : Agence de l'eau Artois-Picardie).

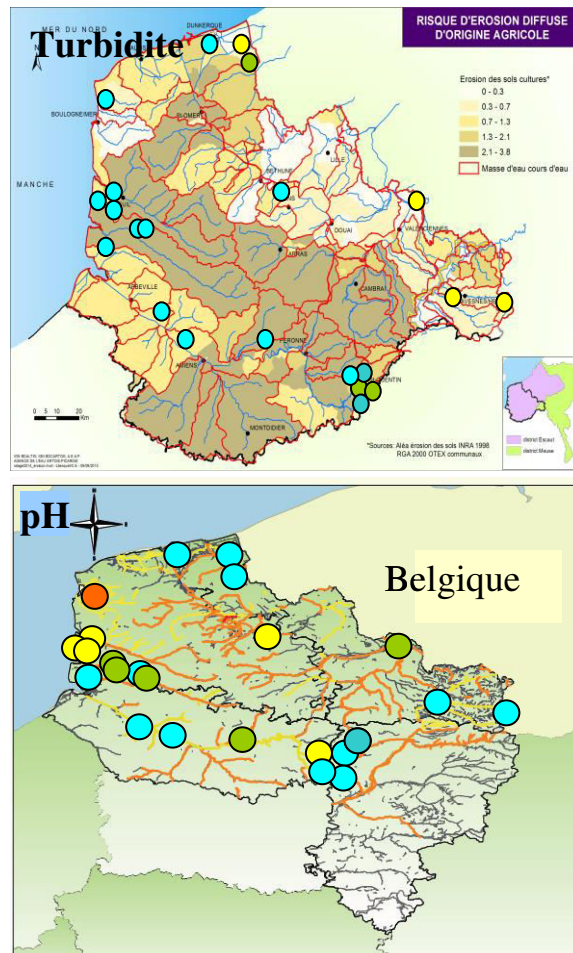


Figure 10 : Classes de qualité des zones humides échantillonnées dans les Hauts-de-France pour la turbidité et le pH. Le fond de la carte de turbidité représente le risque d'érosion d'origine agricole dans les Hauts de France évalué par l'Agence de l'eau (source qualité des rivières : Agence de l'eau Artois-Picardie) ; le fond de la carte pH représente la qualité des rivières pour les nitrates.

Pour chacune des 26 zones humides échantillonnées, une fiche bilan de diagnostic d'eutrophisation a été établie, à destination de chaque propriétaire. Cette fiche comprend trois parties : une carte d'identité de la ZH (figure 12), un tableau bilan des analyses physico-chimiques et biologiques avec les codes qualité associés (Tableau VI), et des solutions possibles de restauration lorsque la ZH souffre d'eutrophisation.

Couplage phosphore-cyanobactéries-eaux vertes et turbides et nitrates-algues filamenteuses

L'analyse de co-inertie (figure 13) entre les variables biologiques à expliquer (chl_a, IPLAC, cyanobactéries, et algues filamenteuses, et turbidité) et les variables environnementales explicatives (sels nutritifs dans l'eau de la zone humide et dans les sols, qualité des rivières en nitrates et phosphates, capacité d'échanges cationiques, pH, et usage des sols) montre que les

dynamiques du phosphore et de l'azote Kjeldahl sont indépendantes de celle des nitrates+nitrites. En effet, ces deux variables appartiennent à des axes de coinertie différents (figure 13B&D). Le couplage biologie-environnement est fortement significatif ($RV=0.65$, $p=0.001$). La dynamique des algues filamenteuses est associée à celle des nitrates+nitrites tandis que celle des cyanobactéries et des eaux vertes et turbides au phosphore et à l'azote Kjeldahl (figure 13). Ainsi **plus l'eau de la zone humide est riche en nitrates+nitrites, plus il y a d'algues filamenteuses ; tandis qu'une pollution au phosphore et/ou à l'azote Kjeldahl favorise les proliférations phytoplanctoniques dominées par les cyanobactéries, engendrant des eaux vertes et turbides.** L'inspection des réponses au questionnaire envoyé aux propriétaires de zones humides chassées montre aussi que les zones humides affectées par les algues filamenteuses ne souffrent généralement pas de prolifération de cyanobactéries. Par contre, elles souffrent en même temps de la présence de plantes envahissantes et de lentilles d'eau. Ce résultat conforte l'association nitrates-algues filamenteuses, trouvée dans notre étude, car les lentilles d'eau sont connues pour se développer dans un milieu riche en nitrates. L'analyse de co-inertie montre aussi que les concentrations en sels nutritifs mesurées dans les zones humides suivent une dynamique opposée de celle de la qualité des rivières en nitrates et phosphates estimée par l'Agence de l'eau. Néanmoins, aucune relation n'a été trouvée entre la qualité des rivières en N et P et une des catégories de végétaux détectées dans les >800 zones humides du questionnaire. De même, la relation entre les concentrations des sols en phosphore et azote fournies par l'application Geosol d'une part, les concentrations en sels nutritifs dans les zones humides échantillonnées, d'autre part, et la capacité d'échange cationique (CEC) doit être considérée avec précaution, car les valeurs CEC des sols visités du bassin Artois-Picardie traduisent une capacité de rétention faible à moyenne (max CEC= 14.96).

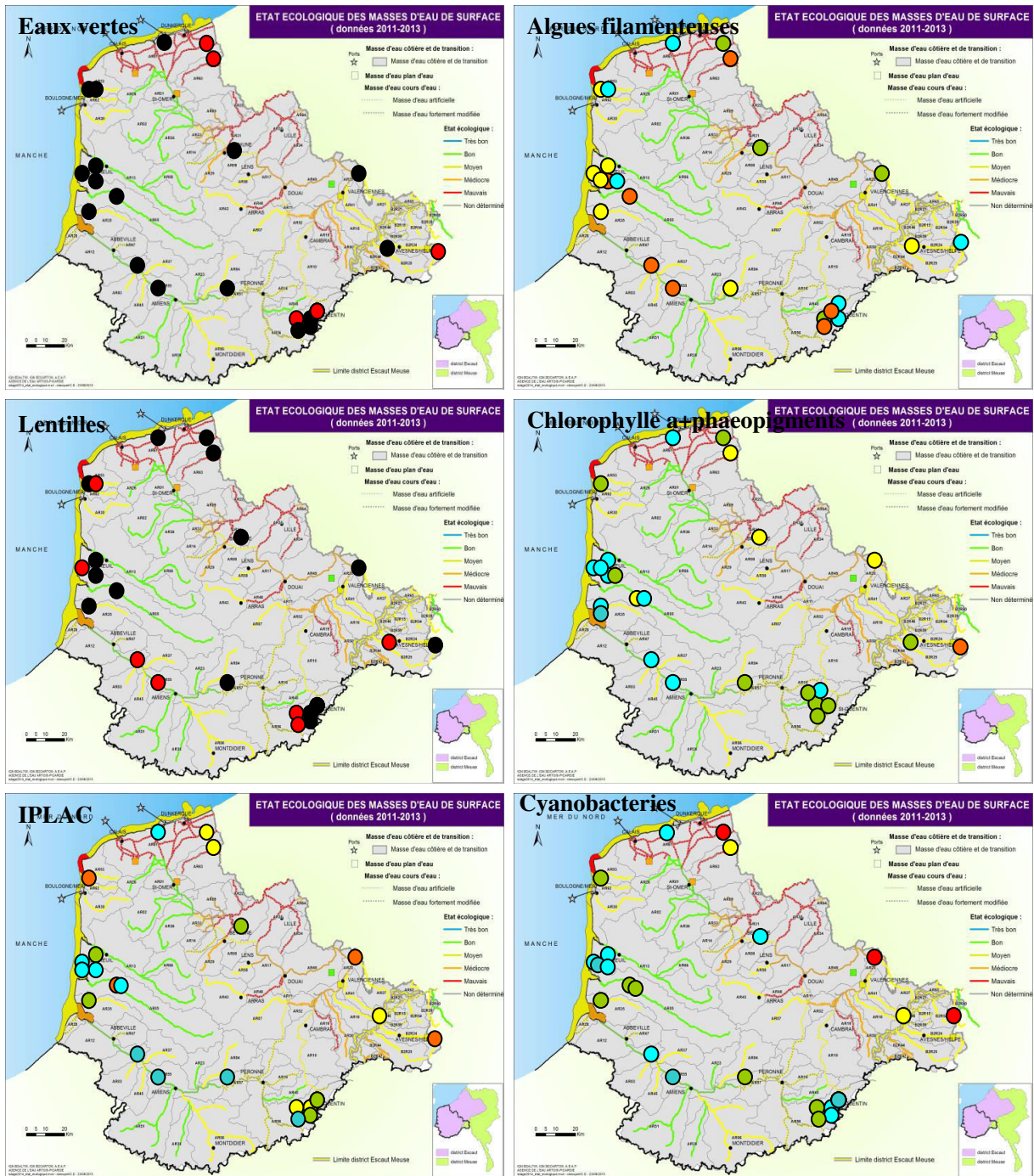


Figure 11 : Présence/ absence (noir/rouge) d'eaux vertes et de lentilles d'eau, et classes de qualité des zones humides échantillonnées dans les Hauts-de-France pour les algues filamenteuses, la chlorophylle+phaeopigments, l'indice IPLAC, et les abondances de cyanobactéries. Le fond de carte représente l'état écologique des masses d'eau des Hauts de France évalué par l'Agence de l'eau (cartographie : Agence de l'eau Artois-Picardie).

| | |
|---|---------------------|
| n° ZH | 8 |
| Commune | Chaussée Tirancourt |
| Département | 80 |
| Latitude (°N) | 49.953 |
| Longitude (°E) | 2.15 |
| Type ZH | mare artificielle |
| *Surface (ha) | 0,4 |
| Profondeur max (m) | 0,4 |
| Altitude (m) | 15 |
| Végétalisation | élevée |
| Ombrage (% surface mare) | 0 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | moyen |
| *% cultures (1 km alentour) | 23 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 42 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire

Qualité des rivières

Profil altimétrique

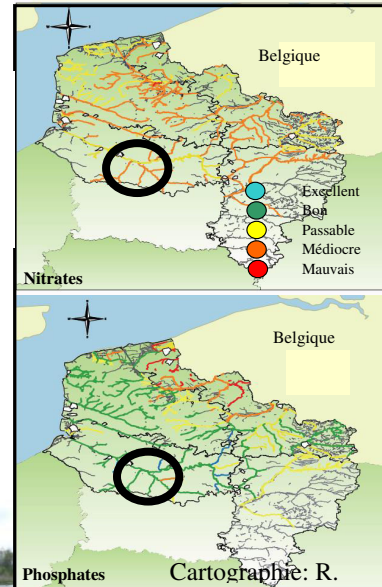
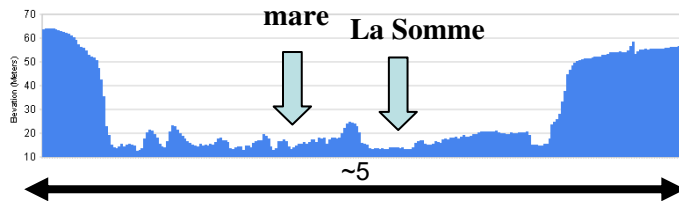


Figure 12 : Exemple type d'une fiche « identité » des zones humides échantillonnées, fiches destinées aux propriétaires.

Tableau VI : Exemple type de tableau « bilan des analyses » d'une zone humide inclus dans les fiches du diagnostic d'eutrophisation des zones humides chassées des Hauts de France, destinées aux propriétaires.

| | Unité | Gamme | Moyenne sur 6 mois | Etat santé mare |
|---|------------|-------------|--|-----------------|
| Conductivité | µS/cm | 32-66 | 49 | |
| Turbidité | NTU | 0,3-1,3 | 0,7 | ● |
| pH | sans unité | | 7,8 | |
| P total | mg P/L | 0,018-0,027 | 0,02(8.1)/0,06(8.2)/0,02(8.3)/0,02(8.4) | ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 0,9 | ● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | 0,32-28,91 | 9,42(8.1)/9,61(8.2)/14,53(8.3)/11,09(8.4) | ● ● ● ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | 0,01-0,09 | 0,04(8.1)/0,01(8.4) | ● |
| Chla | µg/L | 0,3-6 | 0,8(8.1)/2,8(8.4) | ● |
| Bilan niveau trophique | | | | ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● ● ● ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,82 | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Spirogyra/Melosira/Oscillatoria/Microspora/Mougeotia</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | aucune | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | <i>Closterium navicula/Microcrocis irregularis</i> <i>/Cyanosarcina/Tetraedron longispina</i> | ● |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | Lentilles, élodée du Canada | ● |
| Bilan final | | | | ● ● |

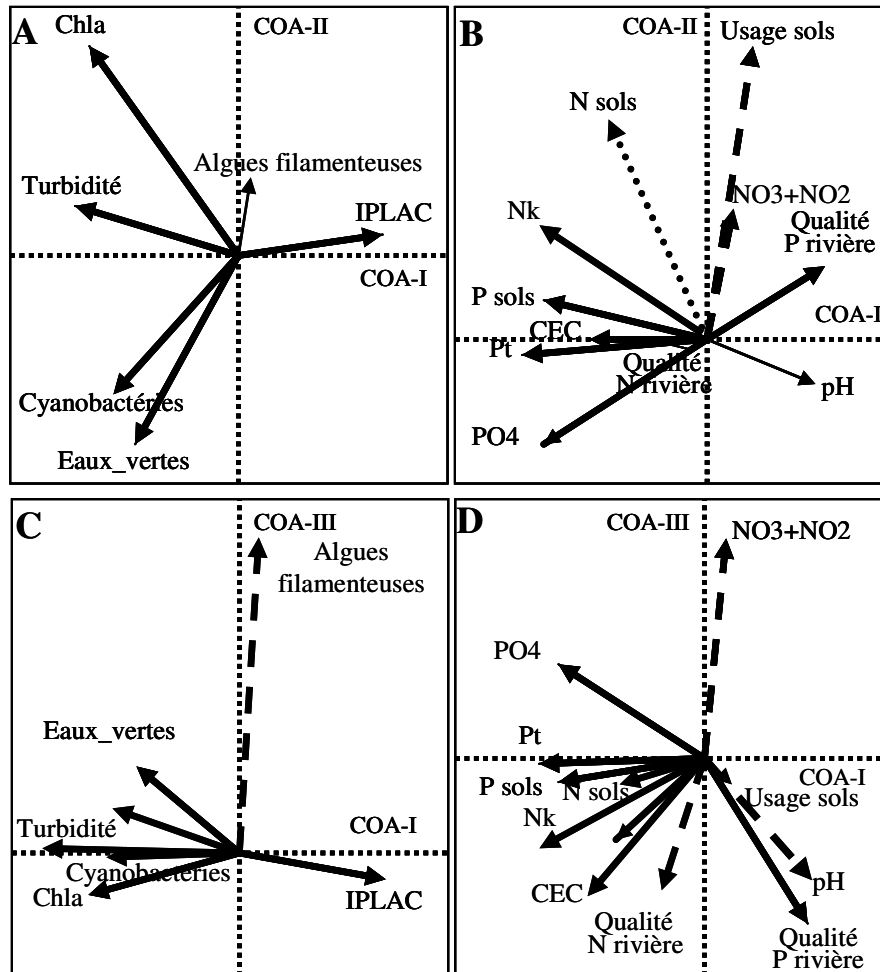


Figure 13 : Résultats de l'analyse de co-inertie montrant le couplage environnement-biologie des zones humides échantillonnées dans les Hauts de France. Les axes COA-I et COAIII représentent respectivement 88% et 4% de la variabilité totale des données. $RV=0.65$, $p=0.001$. Flèches pleines : dépendance avec l'axe COA-I ; longs tirets COA-III, et pointillés les deux axes.

Conséquences de l'utilisation de l'indice IPLAC comme indicateur d'eutrophisation

Cette étude montre que l'indice IPLAC, développé par l'ONEMA pour évaluer l'état de santé écologique des lacs français d'intérêt public, **est applicable aux zones humides**. Les relations entre l'indice IPLAC et la turbidité ($r^2=0.2$), la biomasse phytoplanctonique ($r^2=0.49$), le phosphore total ($r^2=0.61$), les phosphates ($r^2=0.35$), et l'azote Kjeldahl ($r^2=0.55$) trouvées dans notre étude sont du même ordre de grandeur que celles trouvées par les auteurs de l'indice. **Par contre**, l'indépendance, en général, entre les sources de pollution (nitrates+nitrites *versus* phosphore et azote Kejdahl) ainsi qu'entre les symptômes d'eutrophisation (proliférations de cyanobactéries, eaux vertes et turbides *versus* amas d'algues filamenteuses) indiquent que l'indice IPLAC, qui est principalement un indicateur d'eutrophisation par le phosphore et donc de proliférations cyanobactériennes, **est insuffisant pour tracer les pollutions par les nitrates et le développement indésirable d'algues**

filamenteuses. Ainsi, **un bio-indicateur complémentaire doit être construit dans le futur** pour évaluer correctement le degré d'eutrophisation par les nitrates et l'état de santé écologique d'une zone humide.

IV Solutions possibles de restauration

La meilleure solution est de s'attaquer aux causes, c'est à dire réduire voire éliminer les sources de pollution à l'échelle du bassin versant. C'est particulièrement urgent, car les scientifiques prédisent une augmentation de la fréquence, de la durée, et de l'ampleur des blooms de cyanobactéries potentiellement toxiques à cause du réchauffement climatique (Huisman *et al.* 2018).

Néanmoins, la pollution diffuse des nitrates et phosphates due pour une grande part à l'utilisation abusive d'engrais et d'épandage de lisier, rend difficile leur contrôle et abattement. Bien que les pollutions domestiques soient de mieux en mieux maîtrisées (interdiction des polyphosphates contenus dans les lessives, stations d'épuration..), il n'est pas facile de changer, non plus, les politiques agricoles mises en place depuis l'après-guerre. Par conséquent, **la plupart des travaux de remédiation s'attachent à diminuer les symptômes de l'eutrophisation plutôt que les causes. Mais, en aucun cas, ces solutions ne sont idéales et pérennes.**

Beaucoup de solutions existent pour mitiger l'eutrophisation, mais ici, ne sont listées que celles qui n'ont pas d'impact néfaste pour le milieu. Par exemple, l'utilisation d'algicides et solutions chimiques telles que le sulfate de cuivre ne sont pas mentionnées à cause des risques néfastes pour l'environnement. Les principaux types de remédiation retenus, avec chacun leurs avantages et inconvénients, sont listés ci-dessous (tableau VII). Elles sont soit d'ordre chimique, physique, ou biologique. **De manière générale, il existe très peu de retours d'expériences, donc les solutions restent expérimentales** (Austruy 2012).

La végétalisation des berges et de la mare, si ce n'est pas déjà le cas, ainsi que la création d'une zone enherbée de 10-15 m autour de la mare permet de piéger une partie des apports en

Tableau VII. Types de remédiations mises en place pour lutter contre l'eutrophisation des systèmes aquatiques.

| | Avantage | Inconvénient |
|--|---|--|
| Traitement chimique Réoxygénation artificielle | Limite la mort des végétaux aquatiques par anoxie et favorise le piégeage du phosphore par les sédiments | N'empêche pas l'eutrophisation |
| Traitement physique Curage Ultra-sons ballots flottants de paille d'orge | Abattement de sédiments et du P stocké dedans Elimine les proliférations de cyanobactéries Elimine les proliférations de cyanobactéries | Cher et très réglementé Effet sur le reste de la végétation peu connu Retours d'expérience variables |
| Bio-manipulation Végétalisation avec plantes aquatiques gourmandes en N et P Construction de zones humides artificielles Ajout de bivalves | Stabilise les sédiments, fait concurrence au phytoplancton Se nourrissent de phytoplancton | Peut libérer les cyanotoxines Fauchage à la fin de la saison productive Cher, monopolisation de large espaces Risque invasif et modification du cycle de P et N |

N et P (phytoépuration), et donc de réduire l'eutrophisation. A noter que ce n'est pas parcequ'une zone humide est végétalisée que le pouvoir épurateur est bon. De manière générale, une plante est choisie lorsque :

- elle a un bon rendement d'abattement de la pollution,
- elle est déjà implantée dans la région et est résistante aux pollutions et aux sécheresses,
- elle ne doit pas être invasive, ni nuisible aux autres espèces présentes, et ne demande pas trop d'entretien aux gestionnaires.

Pour piéger le phosphore, les espèces *Phalaris arundinacea* (la baldingère), *Salix caprea* (le cornouiller) et *Juncus effusus* (le jonc épars) semblent bien adaptées (De Nardi *et al.* 2010). Pour piéger l'azote, il s'agit principalement des espèces *Scirpus littoralis* (le jonc des chaisiers), *Phragmites australis* (le roseau commun), et *Typha latifolia* (La massette à larges feuilles). Ces plantes peuvent être plantées ou mises sur des structures flottantes (figure 14). Les nénuphars purifient également l'eau. Si le propriétaire souhaite arborer, le saule est un excellent candidat pour réduire les pollutions par les nitrates. Une plantation de saules avec le procédé taillis de saule à très courte rotation (10 à 20 000 plants/ha) (ex entreprises Chicorée Leroux et 5GE dans le Nord pour traiter leurs effluents industriels) permet de réduire les nitrates de 500 kg par an et par hectare de plantation. Dans ce cas, la coupe des arbustes se fait tous les deux trois ans, et le bois (5 à 10 tonnes de matière sèche par hectare et par an) est utilisé pour le chauffage.

Si la surface du site est suffisante, la **construction de bassins de rétention végétalisés**, des sortes de zones humides artificielles, peut être envisagé. Un exemple de ce genre de structure est montré figure 15. Pour que ce genre de structure phyto-épure de manière optimale, il est recommandé de connaître la source de pollution. Ces bassins artificiels sont alors construits entre la source de pollution et la zone humide.



Figure 14. Structures flottantes de végétaux. Source : <http://aquamaintain.com/>.

La réoxygénation artificielle de la zone humide favorise le piégeage du phosphore, et limite la mort des végétaux aquatiques par anoxie. En effet, la libération de l'oxygène au niveau de la surface des sédiments limite le relargage de fer, et donc de phosphore, de manganèse et d'ammonium dans l'eau. Par contre, une telle installation se fait en général lorsque le milieu est stratifié (pas d'échange d'oxygène entre le fond et la surface), ce qui n'est pas le cas des zones humides, étant donné leur très faible profondeur. A noter qu'une réoxygénation artificielle ne semble en aucun cas diminuer les proliférations cyanobactériennes (Levi et al. 2006, Austruy 2012).

Le curage permet d'éliminer la charge interne du phosphore dans les sédiments, et d'augmenter le volume d'eau de la zone humide. La décision d'un curage se fait à l'appréciation. Il n'existe pas de valeurs seuil décisionnelles. Un curage peut être envisagé lorsque la zone humide souffre de proliférations cyanobactériennes et d'envasement, et que la concentration en phosphore total des sédiments est élevée. Mais si la source de pollution en phosphore n'est pas maîtrisée, les cyanobactéries peuvent continuer de proliférer.

L'utilisation d'ultrasons permet de lyser les cellules phytoplanctoniques dont les cyanobactéries et algues filamenteuses. C'est une procédure considérée comme très efficace, à condition qu'elle soit employée bien avant l'apparition d'une prolifération. A noter que, néanmoins, l'application d'ultrasons dans certains endroits (ex Douarnenez, Austruy 2012) n'a jamais réduit ni éliminé les proliférations de cyanobactéries. De plus, les ultrasons ont une

action néfaste (1) sur l'ensemble du phytoplancton, et peut être aussi (2) **sur le reste de la végétation aquatique et la faune peuplant la zone humide**. De plus la lyse des cyanobactéries permet la libération des cyanotoxines. Il faut au préalable effectuer une analyse des cyanotoxines dans la zone humide concernée, avant d'appliquer ce procédé. Si la procédure est appropriée, il faut effectuer plusieurs essais de fréquence et puissance avant d'obtenir le résultat escompté (Devidal, 2007).

L'épandage de ballots flottants de paille d'orge (*Hordeum vulgare*, figure 16) pour éliminer les proliférations de cyanobactéries reste expérimental. Les retours d'expérience montrent que ce procédé a une efficacité mitigée (ex Prygiel *et al.* 2011). La composition en cyanobactéries est une hypothèse avancée pour expliquer que ce procédé ne soit pas toujours efficace pour enrayer les efflorescences de cyanobactéries.

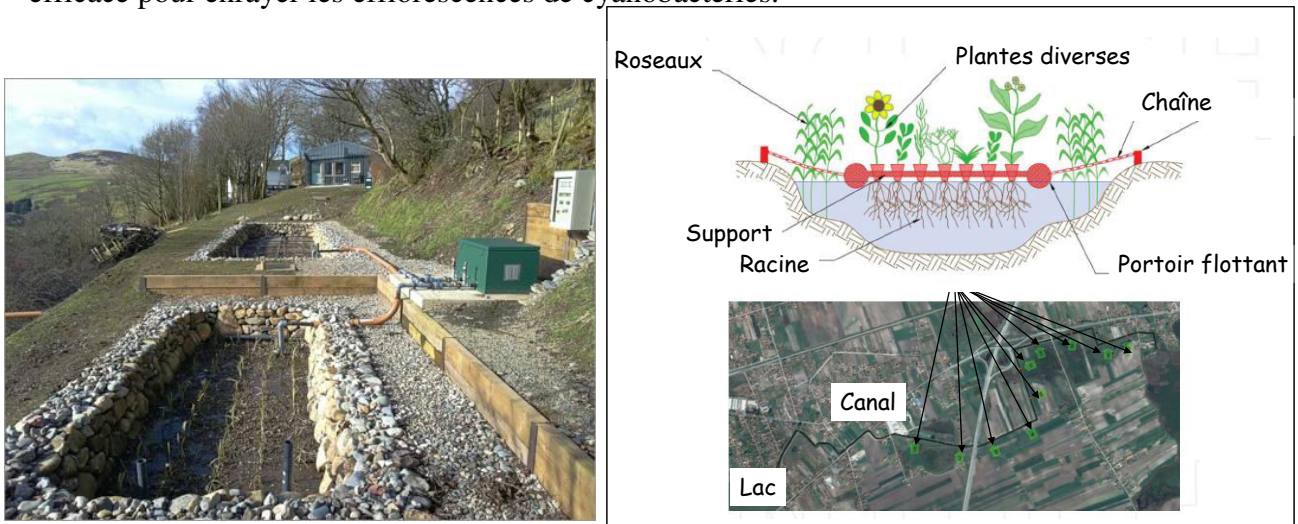


Figure 15. Exemple de remédiation en biomanipulant le système aquatique. Gauche: bassins de rétention végétalisés de phragmites, www.reedbeds.co.uk ; droite : installation de zones humides artificielles, le long d'un canal en amont d'un lac serbe et pollué. d'après Rudic *et al.* 2018.



Figure 16. Ballots flottants de paille d'orge pour limiter les proliférations de cyanobactéries. Source : Prygiel *et al.* 2011.

Enfin, le peuplement du fond de la zone humide par des bivalves tels que la moule Quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*) et la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*) est une alternative récemment proposée pour diminuer l'eutrophisation (Gulati *et al.* 2008, Waaren *et al.* 2016). En effet, les bivalves peuvent épurer les eaux en biofiltrant la matière organique en suspension dans l'eau dont le phytoplancton. Néanmoins, il est impératif d'être sûr que le bivalve choisi ne soit pas une espèce invasive.

V Conclusion

Le diagnostic mené d'avril à septembre 2018 sur 26 zones humides chassées réparties équitablement sur les 4 départements, montre que la majorité d'entre-elles sont dans un état physico-chimique et biologique médiocre voire mauvais. De manière générale, il apparaît que (1) les dynamiques du phosphore et de l'azote Kjeldahl sont indépendantes de celle des nitrates+nitrites, (2) plus l'eau de la zone humide est riche en nitrates+nitrites plus il y a d'algues filamenteuses, et (3) une pollution au phosphore favorise les proliférations phytoplanctoniques dominées par les cyanobactéries potentiellement toxiques, engendrant des eaux vertes et turbides. D'autre part, cette étude montre que l'indice IPLAC, développé en 2016 par l'IRSTEA en collaboration avec l'ONEMA pour évaluer l'état de santé écologique des lacs français d'intérêt public, est applicable aux zones humides. Par contre, il est insuffisant pour tracer tous les symptômes d'eutrophisation, i.e. les pollutions par les nitrates et le développement indésirable d'algues filamenteuses, et donc insuffisant pour qualifier pleinement l'état de santé des zones humides. Ainsi, un bio-indicateur complémentaire doit être développé. Des solutions pour mitiger l'eutrophisation des zones humides échantillonnées, lorsque c'est le cas, sont proposées à chaque propriétaire pour chaque zone humide sous forme de fiche individuelle. Cependant, l'idéal serait de traiter les causes plutôt que les symptômes, c'est à dire réduire les sources de pollution à l'échelle du bassin versant. C'est particulièrement urgent pour mitiger les blooms de cyanobactéries potentiellement toxiques, dont les scientifiques prédisent une augmentation importante de leur fréquence, durée, et ampleur, à cause du réchauffement climatique.

VI Bibliographie

- *Aminot A., Kérouel R., 2007. Dosage automatique des nutriments dans les eaux marines : méthodes en flux continu. Ed. Ifremer, Méthodes d'analyse en milieu marin 188p.
- *Austruy Elodie. 2012. Apports de phosphore et proliférations de cyanobactéries dans le Lac au Duc (Morbihan) : Diagnostic et propositions d'actions préventives et curatives potentielles. Rapport d'étude. Observatoire Départemental de l'Environnement du Morbihan.
- *Chessel, D., Dufour, A.B., Thioulouse, J., 2004. The ade4 package-I-One-table methods. R News 4 pp. 5–10.
- *Dolédec, S., Chessel, D., 1994. Co-inertia analysis: an alternative method for studying species–environment relationships. Freshw. Biol. 31, 277–294.
- *Dray, S., Chessel, D., Thioulouse, J., 2003. Co-inertia analysis and the linking of ecological

data tables. *Ecology* 84 (11), 3078–3089.

*Dray, S., Dufour, A.B., Chessel, D., 2007. The ade4 Package-II: two-table and K-table methods. *R news* 7, 47–52.

*De Nardi, F., C. Puaud, T. Lodé, J. Lecorff, B. Parinet, M. Pontié. 2010. Diagnostic préliminaire et perspectives d'élimination du phosphore en excès dans le lac de Ribou (Cholet, Maine et Loire, France). *Revue des Sciences de l'Eau* 23(2) 159-171.

*Devidal S., 2007. Solutions curatives pour la restauration de lacs présentant des signes d'eutrophisation. Rapport de fin d'étude en master environnement, Université de Rouen, Rouen, 50 p.

*Gulati RD, Pires LMD, Van Donk E et al (2008) Lake restoration studies: failures, bottlenecks and prospects of new ecotechnological measures. *Limnologica* 38:233–247

*Huisman, J. , G. A. Codd, H. W. Paerl, B. W. Ibelings, J. M. H. Verspagen & P. M. Visser, 2018. Cyanobacterial blooms. *Nature Reviews Microbiology*; volume 16, pages471–483

*Laplace-Treytore C., Feret T., 2016. Performance of the Phytoplankton Index for Lakes (IPLAC): A multimetric phytoplankton index to assess the ecological status of water bodies in France. *Ecological Indicators*, 69, 686-698.

*Lévi Y., Harvey M., Cervantès P. (coordinateurs), 2006. Risques sanitaires liés à la présence de cyanobactéries dans l'eau : évaluation des risques liés à la présence de cyanobactéries et de leurs toxines dans les eaux destinées à l'alimentation, à la baignade et autres activités récréatives. AFSSA/AFSSET. 232 p.

<http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/085391856141331010617707867709/cyanobacteries.pdf>

*Lorenzen, C.J. (1967). Determination of chlorophyll and pheopigments : Spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* 12 : 343-346

*OCDE, 1982. Eutrophisation des eaux: méthode de surveillance, d'évaluation et de lutte. OCDE, Paris, pp. 154.

*Lemly, J., Gilligan, L., Wiechmann, C. 2016. Ecological integrity assessment for Colorado wetlands : field manual, version 2.1. Colorado State University. Libraries Colorado Natural Heritage Program

* Hauer, F.R., B.J. Cook, M.C. Gilbert, E.J. Clairain Jr., and R.D. Smith. 2002. A Regional Guidebook for Applying the Hydrogeomorphic Approach to Assessing Wetland Functions of Riverine Floodplains in the Northern Rocky Mountains. U.S. Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center, Environmental Laboratory, Vicksburg, MS. ERDC/EL TR-02-21.

*Mack, J.J.. 2006. Landscape as a predictor of wetland condition: An evaluation of the Landscape Development Index (LDI) with a large reference wetland dataset from Ohio. *Environmental Monitoring and Assessment* 120: 221–241.

*Prygiel, E., A. Charriau, R. Descamps et G. Billon. 2011. Impact d'un traitement à la paille d'orge sur le développement des cyanobactéries dans l'étang du Pont Rouge au Quesnoy. *Rapport scientifique*. 45 p.

* Rudic, Z., B. Vujovic, L. Jovanovic, D. Kiković, I. Kljujev, M. Bozic and V. Raicevic. 2018. Potential and Constraints of Macrophyte Manipulation for Shallow Lake Management. In: *Advances in Bioremediation and Phytoremediation*, ed. EDITOR:Prof. Naofumi Shiomi, DOI: 10.5772/67970.

* Waajen, Guido & C.B. Van Bruggen, Niek & Dionisio Pires, Miguel & Lengkeek, W & Lurling, Miquel. 2016. Biomanipulation with quagga mussels (*Dreissena rostriformis bugensis*) to control harmful algal blooms in eutrophic urban ponds. *Ecological Engineering*. 90. 141-150. 10.1016/j.ecoleng.2016.01.036.

Annexe

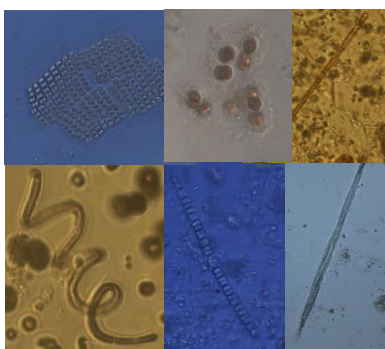


UNIVERSITÉ
DU LITTORAL
CÔTE D'OPALE

Précautions à prendre en juillet et août

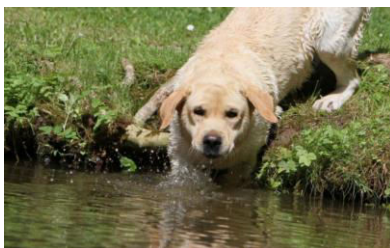


Les cyanobactéries (ou algues bleu-vertes) sont des bactéries photosynthétiques qui peuplent la Terre depuis 3,8 milliards d'années. Elle jouent un rôle très important dans la production d'oxygène (20-30%), et le cycle de l'azote, étant fixatrices d'azote atmosphérique. Une température élevée, un milieu bien ensoleillé, et riche en phosphore les favorisent.



Source: E. Breton

Elles sont considérées comme de vraies sentinelles de l'état de santé d'un écosystème car généralement un développement excessif est annonciateur de la dégradation d'un écosystème. Elles peuvent provoquer également des problèmes sanitaires du fait de leur **toxicité potentielle**. En France (Pays de Loire, Bretagne, Bourgogne-Franche Comté, Occitanie...) de nombreux cas de mortalité subites chez les chiens après ingestion d'eau de la rivière ou eaux stagnantes ont été attribués à la présence excessive de cyanobactéries toxiques. **Tous les cas de mortalité ont été recensés en été, principalement au mois d'août.**



Source: Le Parisien

Par mesure de prévention, il est fortement recommandé de ne pas laisser les chiens approcher de l'eau si vous détectez des amas d'algues, ou de l'écume blanchâtre, ou une coloration de l'eau en bleu-vert.



Source : Google Maps montrant la coloration typique d'une mare envahie par des cyanobactéries



Source :
http://aplsi.com/env_cyanobacteries.php

Tutoriel accompagnant les fiches des zones humides chassées des Hauts-de-France

Qu'est ce que l'eutrophisation ?

L'eutrophisation est le « syndrome d'un écosystème aquatique associé à la surproduction de matières organiques induit par des apports anthropiques en phosphore et en azote ». Le développement excessif de végétation (ex : amas d'algues filamenteuses et efflorescences phytoplanctoniques) et un envasement progressif de la zone humide sont les manifestations les plus visibles. L'eutrophisation engendre également un changement progressif de la composition végétale et la perte de biodiversité.

Comment savoir si une zone humide est impactée par l'eutrophisation ?

L'impact des activités humaines sur les zones humides est souvent évalué en adoptant une approche multi-échelles et multi-variée. Dans le cadre de cette étude, nous avons choisi d'effectuer :

- des analyses physico-chimiques pour estimer le taux de minéralisation de la mare, le pH, les teneurs en sels nutritifs, et la turbidité ;
- des analyses de biomasse (dont la chlorophylle a) et de composition phytoplanctonique/algues filamenteuses pour évaluer l'état de santé écologique de la mare.

Analyses physico-chimiques

Diverses variables environnementales ont été mesurées pour caractériser chaque mare et pour évaluer le degré d'eutrophisation. Ainsi, la mesure de conductivité permet de nous informer sur le taux de minéralisation de chaque mare. La mesure du pH nous informe sur le degré d'acidité/alcalinité du milieu (un pH=7 est neutre, pH>7 alcalin, et pH<7 acide). L'analyse des phosphates (PO_4^{3-}), nitrates+nitrites ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), phosphore total (PT) et azote Kjeldahl nous informent sur le degré d'enrichissement de la mare en sels nutritifs, et donc du degré d'eutrophisation. Un excès en phosphore total mais pas en phosphates, et un excès en azote

Kjeldahl indiquent une pollution organique. Les excès de nitrates+nitrites et de phosphates indiquent une pollution inorganique. La turbidité nous informe sur la quantité de matière en suspension dans la mare ; elle peut être un indicateur d'eutrophisation lorsque les teneurs en sels nutritifs sont aussi élevées. La chlorophylle a (Chla) est un indicateur de biomasse phytoplanctonique.

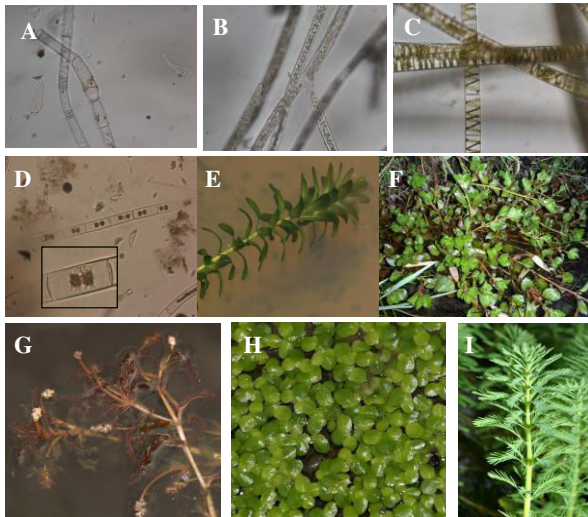
Il n'existe pas de classification des zones humides car elles restent des milieux sous-étudiés. Pour classer les ZH selon leur niveau trophique, nous avons utilisé la classification par l'OCDE des lacs des régions tempérées. Cette classification se base sur les teneurs en nitrates, phosphates, phosphore total et chlorophylle a. Pour chacun de ces paramètres, on attribue une classe trophique. Le niveau trophique de la mare est celui qui correspond à celui attribué au paramètre le moins bien classé. Par exemple si pour la chlorophylle on obtient « eutrophe », les phosphates et les nitrates « mésotrophe », la ZH est classée « eutrophe ». La qualité physico-chimique des zones humides a été évaluée à partir des seuils établis par le Système français d'Evaluation de la Qualité de l'Eau des cours d'eau (SEQ-eau), cet indice étant utilisé par les services de l'Etat dans le cadre de la DCE pour classer les rivières et les lacs de loisirs. De même, pour le bilan de la qualité physico-chimique de chaque zone humide, le paramètre le moins bien classé donne la classe finale à la zone humide.

Classification utilisée pour classer les zones humides selon un niveau trophique et la qualité physico-chimique des eaux. Valeurs seuil utilisées pour qualifier la qualité physico-chimique et biologique des zones humides. N'existant pas d'indice pour qualifier les zones humides, les valeurs concernent soit les eaux de surface en général (variables SEQ-eau, Agence de l'eau), soit les lacs (niveau trophique d'après l'OCDE, et indice IPLAC de l'IRSTEA-ONEMA) ou les eaux de baignades (seuils d'alerte des cyanobactéries DGS-ministère chargé de la santé).

| Niveau trophique (OCDE) | Unités | Ultraoligotrophe "très peu nourri" | Oligotrophe "peu nourri" | Mésotrophe "moyennement nourri" | Eutrophe "trop nourri" | Hypertrophe "vraiment trop nourri" |
|------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--|--|---|
| NO3 | µg/L N-NO3 | | <10 | 10-30 | 30-100 | >100 |
| PO4 | µg/L P-PO4 | | <2 | 2-5 | 5-100 | >100 |
| Phosphore total | µg/L P | <4 | 4-10 | 10-35 | 35-100 | >100 |
| Chlorophylle a | µg/L | <1 | 1-2,5 | 2,5-8 | 8-25 | >25 |
| Qualité physico-chimique (SEQ-eau) | | Excellente | Bonne | Passable | Médiocre | Mauvaise |
| pH | psu | 8 | 8,5 | 9,0 | 9,5 | >9,5 |
| Turbidité | NTU | 15 | 35 | 70 | 100 | >100 |
| NO2 | mg/L N-NO2 | 0,01 | 0,09 | 0,15 | 0,3 | >0,30 |
| NO3 | mg/L N-NO3 | 0,45 | 2,3 | 5,6 | 11 | >11 |
| PO4 | mg/L P-PO4 | 0,03 | 0,16 | 0,33 | 0,65 | >0,65 |
| Phosphore total | mg/L P | 0,05 | 0,2 | 0,5 | 1 | >1 |
| Azote Kjeldahl | mg/L N | 1 | 2 | 4 | 10 | >10 |
| Qualité biologique | | Pas de recommandations particulières | | Surveillance active Maintien d'une activité | Maintien d'une activité Information du public | Interdiction baignade et consommation de poisson recherche de toxines |
| Chlorophylle a+phaeopigments | µg/L | <10 | 60 | 120 | 240 | >240 |
| Cyanobactéries | 10 ⁶ cell/ml | <0,2 | 2 | 20 | 100 | >100 |
| Indice IPLAC (IRSTEA-ONEMA) | sans unité | 0,8 | 0,6 | 0,4 | 0,2 | <0,2 |
| Algues filamenteuses | ordinal | 0 (aucune) | 1 (peu) | 2 (moyen) | 3 (beaucoup) | 4 (énormément) |

Utilisation de bioindicateurs d'eutrophisation

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé l'Indice Phytoplancton LACustre (indice IPLAC, Feret et Laplace-Treyture 2016) développé par l'IRSTEA en partenariat avec l'ONEMA pour la surveillance de l'état écologique des plans d'eau dans le cadre de la Directive Cadre Eau (2000). Il a été construit à partir des données de deux cent plans d'eau français d'intérêt public. Plusieurs macrophytes et algues filamenteuses sont également indicatrices d'eutrophisation, comme l'élodée du Canada et les lentilles d'eau (figure ci-dessous), dont leur développement excessif témoigne d'une pollution par les nitrates. La présence du genre *Zygnema* traduit un écosystème en bon état de santé, alors que le genre *Spirogyra* se rencontre dans des milieux méso- à eutrophes, et une forte abondance des genres *Oedogonium* et *Rhizoclonium* traduit une perturbation trophique ou saprobique de l'écosystème (Laplace-Treyture 2015).



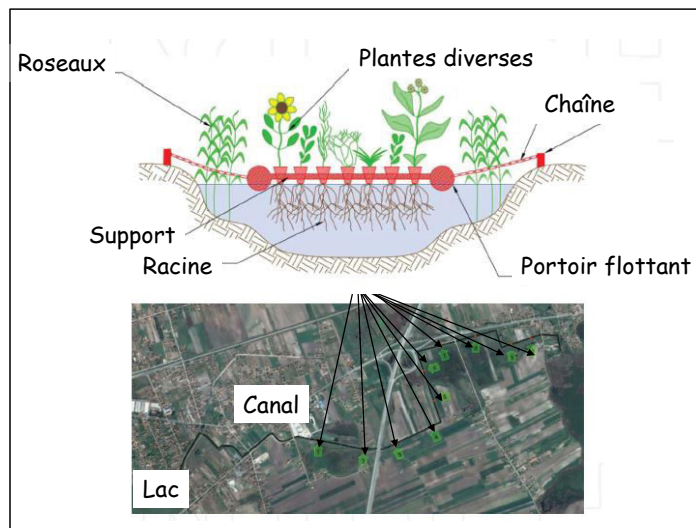
Exemple d'algues filamenteuses et de macrophytes bio-indicatrices d'eutrophisation ou de dystrophie d'un milieu aquatique. Les genres d'algues filamenteuses *Oedogonium* (A), *Rhizoclonium* (B), *Spirogyra* (C) et *Zygnema* (D) et la présence de lentilles d'eau (H) traduisent le niveau trophique d'un milieu aquatique. La présence de l'Elodée du Canada (E), et/ou du Potamot crépu (G) et/ou de la Myriophylle du Brésil (I) indique une dystrophie du milieu. Source: L. Pluchart (A à D) et <http://www.fauneflore-massifcentral.fr/> (E à I)

Enfin, la dominance en terme de biovolume ou de biomasse d'Euglènes, de Cyanobactéries et des familles d'*Hydrodictyaceae* et de *Selenastraceae* de la classe des Chlorophycées (cf figure ci-dessus) traduit typiquement un milieu aquatique eutrophisé (Bellinger et Sigee 2010). A noter que beaucoup de cyanobactéries sont potentiellement toxiques, pouvant engendrer, par conséquent, des problèmes sanitaires graves.

Comment restaurer une zone humide ?

La meilleure solution est de s'attaquer aux causes, c'est à dire réduire les sources de pollution. Néanmoins, bien que les pollutions domestiques soient de mieux en mieux maîtrisées

(interdiction des polyphosphates contenus dans les lessives, stations d'épuration..), il n'est pas facile de changer, par exemple, les politiques agricoles mises en place depuis l'après-guerre. Par conséquent, la plupart des travaux de remédiation s'attachent à diminuer les symptômes de l'eutrophisation plutôt que les causes. En aucun cas, ces solutions ne sont idéales et pérennes. Les principaux types de remédiation, avec chacun leurs avantages et inconvénients, sont listés ci-dessous. Elles sont soit d'ordre chimique, soit biologique. La végétalisation des berges et de la mare, ainsi que la création d'une zone enherbée de 10-15 m autour de la mare permettent de piéger une partie des apports en N et P, et donc de réduire l'eutrophisation.



Exemple de remédiation en biomanipulant le système aquatique. Gauche: bassins de rétention végétalisés de phragmites, www.reedbeds.co.uk ; droite : installation de zones humides artificielles, le long d'un canal en amont d'un lac serbe pollué. D'après Rudic *et al.* 2018.

Types de remédiations mises en place pour lutter contre l'eutrophisation des systèmes aquatiques.

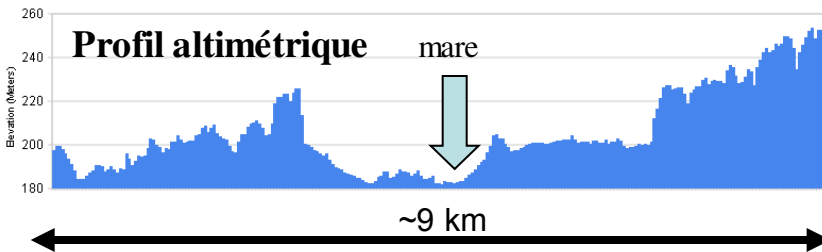
| | Avantage | Inconvénient |
|---|---|---|
| Traitement chimique Réoxygénation artificielle | Limite la mort des végétaux aquatiques par anoxie et favorise le piégeage du phosphore par les sédiments | N'empêche pas l'eutrophisation |
| Traitement physique Curage Ultra-sons ballots flottants de paille d'orge | Abattement de sédiments et du P stocké dedans Elimine les proliférations de cyanobactéries Elimine les proliférations de cyanobactéries | Cher et très réglementé Effet sur le reste de la végétation peu connu Retours d'expérience variables |
| Biomanipulation Végétalisation avec plantes aquatiques gourmandes en N et P Construction de zones humides artificielles Ajout de bivalves | Stabilise les sédiments, fait concurrence au phytoplancton Se nourrissent de phytoplancton | Peut libérer les cyanotoxines Fauçage à la fin de la saison productive Cher, monopolisation de large espaces Risque invasif et modification du cycle de P et N |

DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

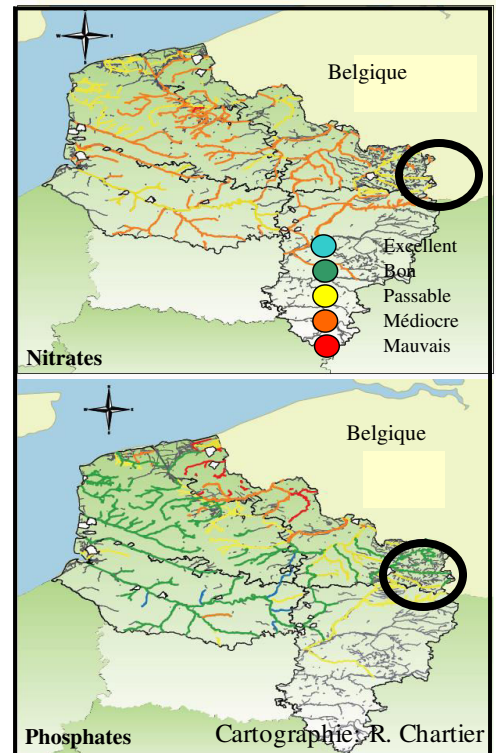
I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

| | |
|---|-------------------|
| n° ZH | 1 |
| Commune | Moustier-en-Fagne |
| Département | 59 |
| Latitude (°N) | 50.094 |
| Longitude (°E) | 4.21 |
| Type ZH | mare artificielle |
| *Surface (ha) | 0.17 |
| Profondeur max (m) | 0,8 |
| Altitude (m) | 160 |
| Végétalisation | inexistante |
| Ombrage (% surface mare) | 0 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | moyen |
| *% cultures (1 km alentour) | 11 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 0 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire



Qualité des rivières



Vues d'ensemble et aérienne de la mare



II-RESULTATS DES ANALYSES

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

| Conductivité | Unité | Gamme | Moyenne sur 6 mois | Etat santé mare |
|---|------------|-----------|---|-----------------|
| Turbidité | NTU | 148-169 | 158,55 | ● |
| pH | sans unité | 19-102,5 | 67 | ● |
| P total | mg P/L | 0,08-1,41 | 6,2 | ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 0,77 | ● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | 0,04-2,21 | 5,54(1.2)/6,77(1.3) | ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | 0-0,53 | 0,64(1.2)/0,71(1.3) | ● |
| Chla | µg/L | 18,5-120 | 0,16(1.2)/0,19(1.3) | ● |
| Bilan niveau trophique | | | 59 | ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,34 | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | aucune | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | <i>Limnothrix redekei/ Planktothrix/Anaebena Microcystis/Aphanocapsa/</i> | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | aucune | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | aucune | |

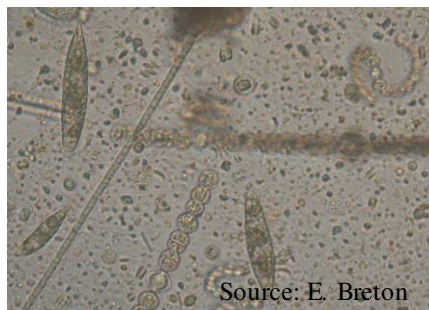
Bilan final

●

III-BILAN

Bien que les teneurs en phosphates et nitrates soient acceptables selon la classification des eaux de surface par l'Agence de l'eau, les teneurs élevées en P total et azote Kjeldahl traduisent une eau de qualité médiocre du fait d'une pollution organique. La mare est également turbide et chargée en phytoplancton. La présence et la forte concentration de plusieurs cyanobactéries potentiellement toxiques reflètent un écosystème en mauvais état. La quantité significative d'euglénoides reflète la forte turbidité de l'eau. **L'état de santé de cette mare est globalement médiocre et il y a un risque sanitaire important. Il convient d'empêcher le chien de boire l'eau de la mare, surtout en août.**

Eau de la mare au X400 en juillet montrant la grande quantité de sédiments et la présence de cyanobactéries (bâtons et spirales) et des euglènes (ellipses).



Source: E. Breton

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

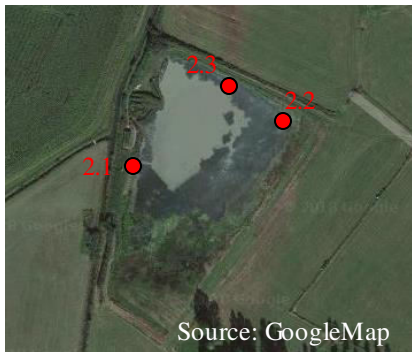
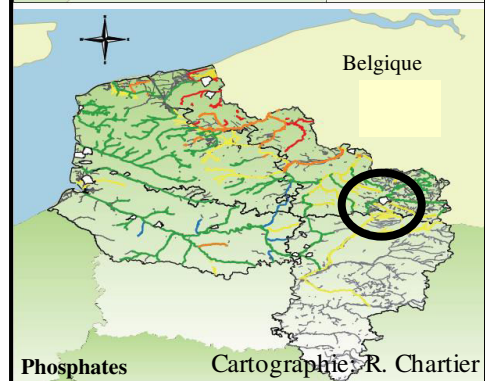
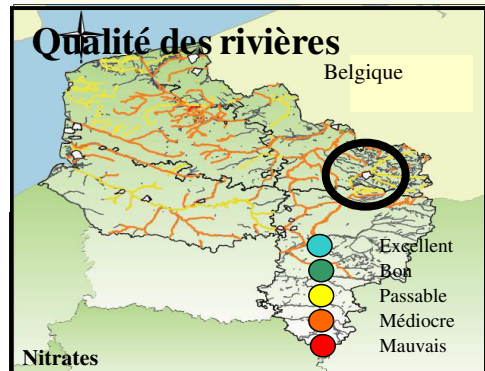
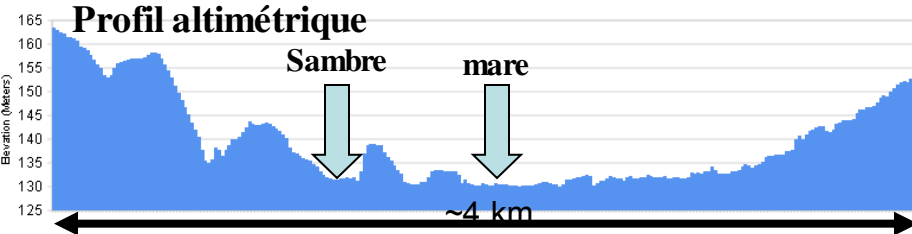
La localisation de la mare dans une cuvette rend difficile un détournement des sources de pollution en Phosphore (P). De plus, les rivières de cette région sont de mauvaise qualité en P, et les proliférations de cyanobactéries ne sont pas isolées dans la région, suggérant une pollution de grande échelle par le P. Néanmoins, il est possible que cet excès de P soit dû au relargage de P par les sédiments. Pour mitiger les problèmes rencontrés, un curage peut être effectué, à condition que l'excès de P provienne d'un relargage de P des sédiments. Une analyse des sédiments doit être effectuée pour connaître sa charge interne, et être sûr qu'il ne s'agisse pas d'une pollution extérieure. Si les proliférations de cyanobactéries sont due à une pollution extérieure, le curage n'aura qu'un effet bénéfique à court terme. L'oxygénation artificielle permet de limiter le relargage de P par les sédiments. Pour diminuer les proliférations de cyanobactéries et la turbidité de l'eau, il y a aussi la possibilité de peupler le fond de la zone humide de moules Quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*). Mais, le procédé le plus communément utilisé est la végétalisation de la mare et des berges (avril à juin) avec des plantes gourmandes en P telle que la baldingère (*Phalaris arundinacea*), le cornouiller (*Salix caprea*) et le jonc épars (*Juncus effusus*). Végétaliser permettrait de piéger une partie du P, et faire ainsi de la concurrence au phytoplancton dont les cyanobactéries potentiellement toxiques, et diminuer la turbidité en stabilisant les berges et le fond de la mare. Afin de permettre la végétalisation, les berges devraient avoir une inclinaison de 30° max. Une faible inclinaison favorise le dépôt et la germination de graines amenées par divers animaux et le vent. Une bande enherbée d'au moins 10 m autour de la mare est préconisée. Une fois la mare végétalisée, un faucardage annuel à la fin de l'été est nécessaire pour se débarrasser des sels nutritifs piégés dans cette végétation, et de la biomasse produite. Les déchets verts doivent être stockés impérativement à au moins 900m de la mare pour ne pas restituer à la mare les sels nutritifs reminéralisés lors de la décomposition des végétaux, ou doivent être placés sur une plate-forme étanche.

DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

| | |
|---|----------------|
| n° ZH | 2 |
| Commune | Maroilles |
| Département | 59 |
| Latitude (°N) | 50.14 |
| Longitude (°E) | 3.73 |
| Type ZH | étang prairial |
| *Surface (ha) | 1,33 |
| Profondeur max (m) | 1,2 |
| Altitude (m) | 130 |
| Végétalisation | faible |
| Ombrage (% surface mare) | 0 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | moyen |
| *% cultures (1 km alentour) | 47 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 0 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire



Source: GoogleMap

Vues
d'ensemble et
aérienne de la
mare



Source: L. Pluchart

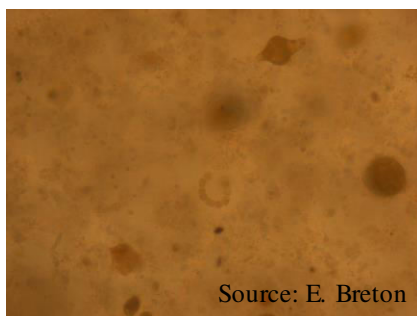
II-RESULTATS DES ANALYSES

| | Unité | Gamme | Moyenne sur 6 mois | Etat santé mare |
|---|------------|-----------|--|-----------------|
| Conductivité | µS/cm | 148-169 | 158,55 | |
| Turbidité | NTU | 31-102,5 | 73 | ● |
| pH | sans unité | | 7,90 | ● |
| P total | mg P/L | 0,03-1,47 | 0,61 | ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 1,83 | ● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | 0,04-1,19 | 0,54(2.1)/0,36(2.2) | ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | 0-0,64 | 0,15(2.1)/0,32(2.2) | ● |
| Chla | µg/L | 34-120 | 37 | ● |
| Bilan niveau trophique | | | | ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,54 | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Spirogyra/Mougeotia</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | <i>Planktothrix/Anabaena/Phormidium</i> | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | <i>Chroococciopsis/Pseudogoniochloris tripus/ Ophiocytium capitatum/Lacunastrum gracillimum /Verrucodesmus/Schroederiella/Tetraedron longispinum</i> | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | Elodée du Canada, lentilles | ● |
| Bilan final | | | | ● |

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

III-BILAN

Les teneurs en phosphore total et azote Kjeldahl sont élevées, traduisant une pollution organique. La mare est aussi très turbide et chargée en phytoplancton. La présence et la forte concentration de plusieurs cyanobactéries potentiellement toxiques reflètent un écosystème en mauvais état. La quantité significative d'euglénoïdes reflète la forte turbidité de l'eau.



Source: E. Breton

Eau de la mare au X400 en juillet montrant la grande quantité de sédiments et la présence de cyanobactéries (collier de perle) et des euglènes (ellipses bombées).

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

La localisation de la mare dans une cuvette rend difficile un détournement des sources de pollution en Phosphore (P). De plus, les rivières de cette région sont de mauvaise qualité en P, et les proliférations de cyanobactéries ne sont pas isolées dans la région, suggérant une pollution de grande échelle par le P. Néanmoins, il est possible que cet excès de P soit dû au relargage de P par les sédiments. Pour mitiger les problèmes rencontrés, un curage peut être effectué, à condition que l'excès de P provienne d'un relargage de P des sédiments. Une analyse des sédiments doit être effectuée pour connaître sa charge interne, et être sûr qu'il ne s'agisse pas d'une pollution extérieure. Si les proliférations de cyanobactéries sont due à une pollution extérieure, le curage n'aura qu'un effet bénéfique à court terme. L'oxygénation artificielle permet de limiter le relargage de P par les sédiments. Pour diminuer les proliférations de cyanobactéries et la turbidité de l'eau, il y a aussi la possibilité de peupler le fond de la zone humide de moules Quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*). Mais, le procédé le plus communément utilisé est la végétalisation de la mare et des berges (avril à juin) avec des plantes gourmandes en P telle que la baldingère (*Phalaris arundinacea*), le cornouiller (*Salix caprea*) et le jonc épars (*Juncus effusus*). Végétaliser permettrait de piéger une partie du P, et faire ainsi de la concurrence au phytoplancton dont les cyanobactéries potentiellement toxiques, et diminuer la turbidité en stabilisant les berges et le fond de la mare. Afin de permettre la végétalisation, les berges devraient avoir une inclinaison de 30° max. Une faible inclinaison favorise le dépôt et la germination de graines amenées par divers animaux et le vent. Une bande enherbée d'au moins 10 m autour de la mare est préconisée. Une fois la mare végétalisée, un faucardage annuel à la fin de l'été est nécessaire pour se débarrasser des sels nutritifs piégés dans cette végétation, et de la biomasse produite. Les déchets verts doivent être stockés impérativement à au moins 900m de la mare pour ne pas restituer à la mare les sels nutritifs reminéralisés lors de la décomposition des végétaux, ou doivent être placés sur une plate-forme étanche.

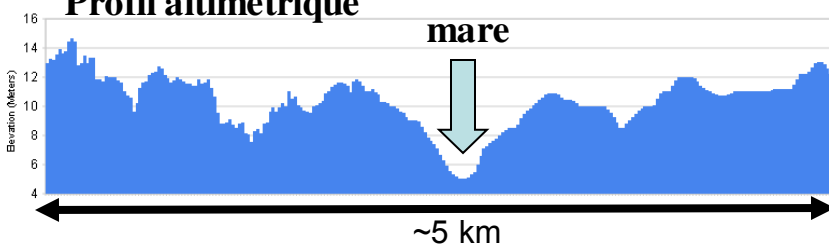
DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

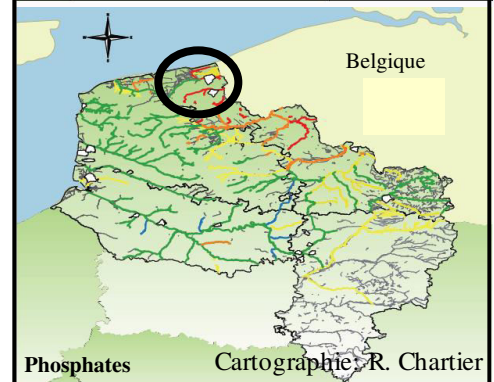
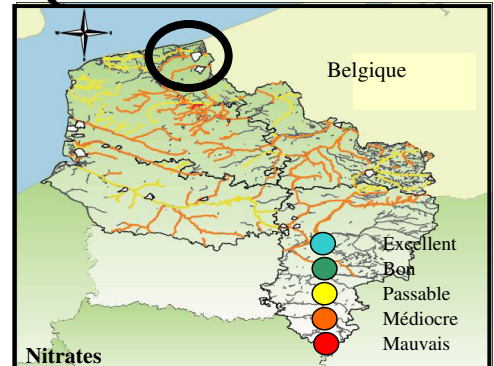
| | |
|---|------------------|
| n° ZH | 3 |
| Commune | Herzeele |
| Département | 59 |
| Latitude (°N) | 50.88 |
| Longitude (°E) | 2.56 |
| Type ZH | étang artificiel |
| *Surface (ha) | 1,08 |
| Profondeur max (m) | 1 |
| Altitude (m) | 3 |
| Végétalisation | inexistante |
| Ombrage (% surface mare) | 0 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | moyen |
| *% cultures (1 km alentour) | 90 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 0 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire

Profil altimétrique



Qualité des rivières



Vues d'ensemble et aérienne de la mare



Source: GoogleMap



Source: L. Pluchart

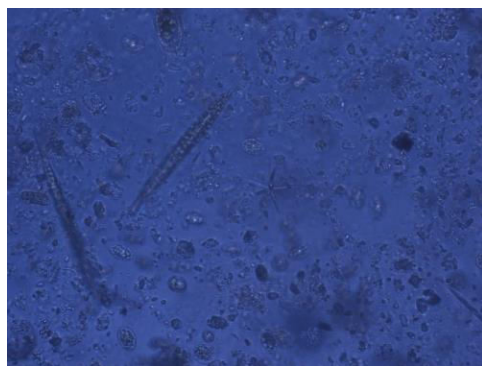
II-RESULTATS DES ANALYSES

| Conductivité | Unité | Gamme | Moyenne sur 6 mois | Etat santé mare |
|---|------------|-----------|---|-----------------|
| Turbidité | µS/cm | 12-161 | 48,4 | |
| pH | NTU | | 68 | ● |
| P total | sans unité | | 6,92 | ● |
| N-kjeldahl | mg P/L | 0,3-1,41 | 0,8 | ● |
| NO ₃ ⁻ | mg N/L | | 3,43 | ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg NO3/L | 0,07-0,98 | 0,4 | ● |
| Chla | mg PO4/L | 0,05-0,68 | 0,31 | ● |
| | µg/L | 8-57 | 33 | ● |
| Bilan niveau trophique | | | | ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,55 | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Spirogyra/Mougeotia</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | <i>Cylindrospermum/Phormidium/Microcystis</i> | ● |
| | | | <i>Planktothrix/Oscillatoria/Anabaena/Limnotherix redekei</i> | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | <i>Centritractus africanus/Pseudostaurastrum limneticum/</i> | |
| | | | <i>Pediastrum boryanum var longicorne/Lacunastrum gracillimum</i> | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | potamot crépu, élodée du Canada | ● |
| Bilan final | | | | ● |

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

III-BILAN

Les fortes teneurs en phosphore totale, la turbidité élevée, et les fortes concentrations en cyanobactéries potentiellement toxiques reflètent une eau de qualité médiocre et un écosystème en mauvais état.



Eau de la mare au X400 en mai montrant la grande quantité de sédiments et la présence d'euglénoïdes (ellipses).

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

La localisation de la mare dans une cuvette rend difficile un détournement des sources de pollution en Phosphore (P). De plus, les rivières de cette région sont de mauvaise qualité en P, et les proliférations de cyanobactéries ne sont pas isolées dans la région, suggérant une pollution de grande échelle par le P. Néanmoins, il est possible que cet excès de P soit dû au relargage de P par les sédiments. Pour mitiger les problèmes rencontrés, un curage peut être effectué, à condition que l'excès de P provienne d'un relargage de P des sédiments. Une analyse des sédiments doit être effectuée pour connaître sa charge interne, et être sûr qu'il ne s'agisse pas d'une pollution extérieure. Si les proliférations de cyanobactéries sont due à une pollution extérieure, le curage n'aura qu'un effet bénéfique à court terme. L'oxygénation artificielle permet de limiter le relargage de P par les sédiments. Pour diminuer les proliférations de cyanobactéries et la turbidité de l'eau, il y a aussi la possibilité de peupler le fond de la zone humide de moules Quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*). Mais, le procédé le plus communément utilisé est la végétalisation de la mare et des berges (avril à juin) avec des plantes gourmandes en P telle que la baldingère (*Phalaris arundinacea*), le cornouiller (*Salix caprea*) et le jonc épars (*Juncus effusus*). Végétaliser permettrait de piéger une partie du P, et faire ainsi de la concurrence au phytoplancton dont les cyanobactéries potentiellement toxiques, et diminuer la turbidité en stabilisant les berges et le fond de la mare. Afin de permettre la végétalisation, les berges devraient avoir une inclinaison de 30° max. Une faible inclinaison favorise le dépôt et la germination de graines amenées par divers animaux et le vent. Une bande enherbée d'au moins 10 m autour de la mare est préconisée. Une fois la mare végétalisée, un faucardage annuel à la fin de l'été est nécessaire pour se débarrasser des sels nutritifs piégés dans cette végétation, et de la biomasse produite. Les déchets verts doivent être stockés impérativement à au moins 900m de la mare pour ne pas restituer à la mare les sels nutritifs reminéralisés lors de la décomposition des végétaux, ou doivent être placés sur une plate-forme étanche.

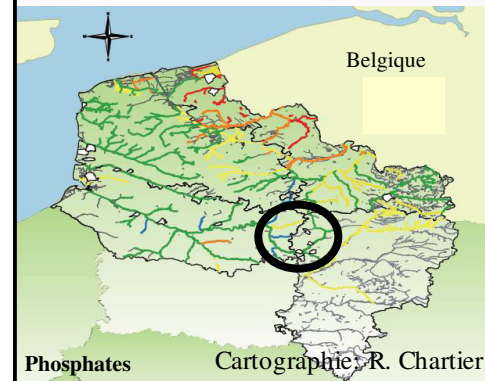
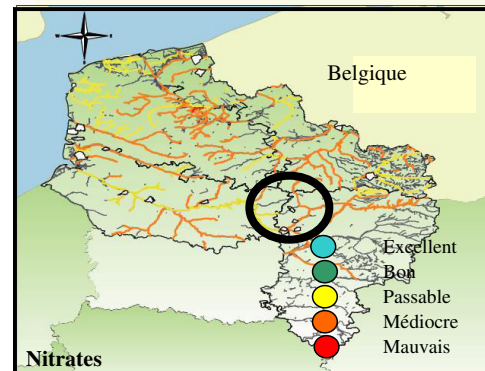
DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

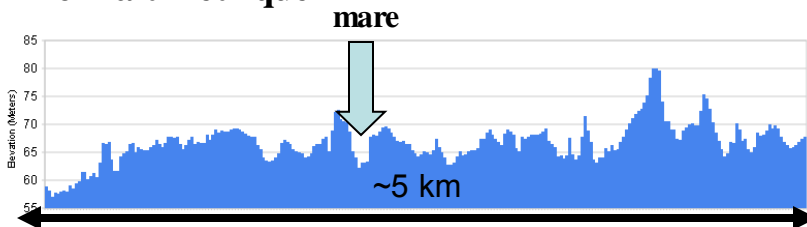
| | |
|--|----------------------------|
| n° ZH | 4 |
| Commune | Dury |
| Département | 02 |
| Latitude (°N) | 49.752 |
| Longitude (°E) | 3.132 |
| Type ZH | marais tourbeux anthropisé |
| *Surface (ha) | 4,99 |
| Profondeur max (m) | 1 |
| Altitude (m) | 61 |
| Végétalisation | élevée |
| Ombrage (% surface mare) | 20 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | faible |
| *% cultures (1 km alentour) | 64 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1 km alentour) | 17 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire

Qualité des rivières



Profil altimétrique



Vues d'ensemble et aérienne de la mare



Source: L. Pluchart

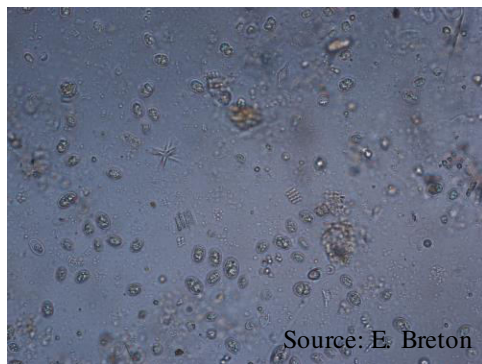
II-RESULTATS DES ANALYSES

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

| | Unité | Gamme | Moyenne sur 6 mois | Etat santé mare |
|---|------------|------------|---|--|
| Conductivité | µS/cm | 48-101 | 74,5 | |
| Turbidité | NTU | 1,7-6,6 | 3(4.1)/4(4.2) | ● |
| pH | sans unité | | 8,73 | ● |
| P total | mg P/L | 0,02-0,29 | 0,13 | ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 1,69(4.1)/0,68(4.2) | ● ● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | 0,06-21,54 | 1,17(4.1)/4,39(4.2) | ● ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | 0,02-0,21 | 0,15(4.1)/0,07(4.2) | ● ● |
| Chla | µg/L | 1,6-39 | 19(4.1)/13(4.2) | ● |
| Bilan niveau trophique | | | | ● ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,56 | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Spirogyra</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | <i>Aphanocapsa/Oscillatoria/Planktothrix</i> | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | <i>Lacunastrum gracillimum/Pseudopediastrum boryanum var brevicorne/Anthophysa vegetans/Goniochloris mutica/Goniochloris fallax/Pediastrum bidenticulatum/Pseudogoniochloris tripus</i> | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | Lentilles | ● |
| Bilan final | | | | ● |

III-BILAN

L'eau de l'étang dans la zone 4.2 est riche en nitrates. L'état de l'écosystème y est aussi moyen. Bien que des cyanobactéries potentiellement toxiques soient présentes, leur faible concentration ne pose aucun risque sanitaire. Les concentrations en algues filamenteuses et lentilles d'eau sont également relativement acceptables.



Eau de l'étang au X400 en juin.

Source: E. Breton

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

Cet étang a une zone tampon relativement bien végétalisée. Néanmoins, si les apports en nitrates de la zone 4.2 ne peuvent être détournés ou contrôlés, pour se débarrasser des lentilles d'eau, il faudrait végétaliser cette zone de l'étang et les berges (avril à juin) avec des plantes gourmandes en N (typiquement les hélophytes hautes *Scirpus littoralis* (le jonc des chaisiers), *Phragmites australis* (le roseau commun), et *Typha latifolia* (La massette à larges feuilles)). La création d'un filtre rocheux et végétal en serpentif avant d'arriver dans le plan d'eau est une bonne idée. Déboiser pour diminuer le temps de résidence de ces apports riches en nitrates risque de répandre le problème plus en aval. Végétaliser permettrait de piéger une partie de ces nitrates, faire de la concurrence aux lentilles. Afin de permettre également une végétalisation naturelle, les berges devraient avoir une inclinaison de 30° max. Une faible inclinaison favorise le dépôt et la germination de graines amenées par divers animaux et le vent. Une fois la mare végétalisée, un faucardage annuel de ces hélophytes est nécessaire pour se débarrasser des sels nutritifs piégés dans la végétation, et de la biomasse produite. Les déchets verts doivent être stockés impérativement à au moins 900m de la mare pour ne pas restituer à la mare les sels nutritifs reminéralisés lors de la décomposition des végétaux ou placés sur une plate-forme étanche.

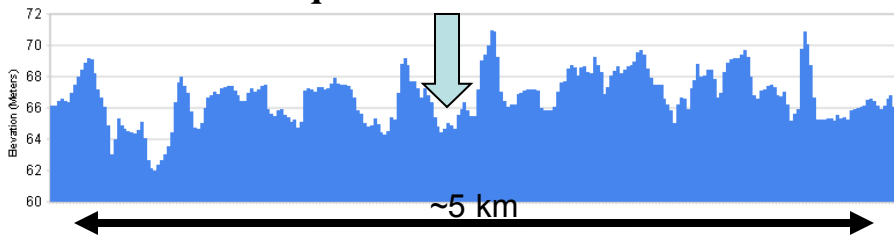
DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

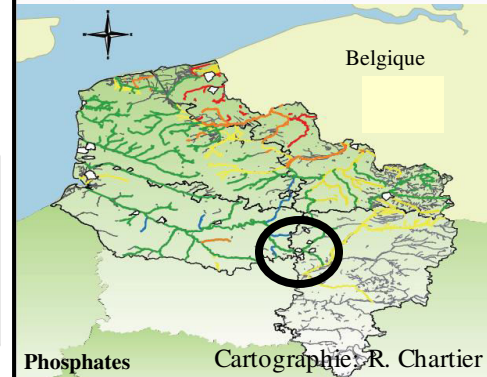
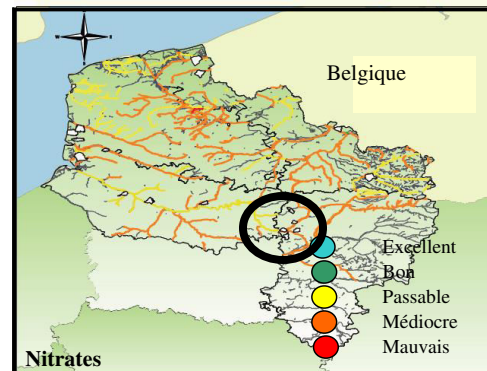
| | |
|---|-----------------|
| n° ZH | 5 |
| Commune | Annois |
| Département | 02 |
| Latitude (°N) | 49.708 |
| Longitude (°E) | 3.154 |
| Type ZH | marais tourbeux |
| *Surface (ha) | 2.3 |
| Profondeur max (m) | 0,6 |
| Altitude (m) | 64 |
| Végétalisation | très élevée |
| Ombrage (% surface mare) | 20 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | moyen |
| *% cultures (1 km alentour) | 45 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 0 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire

Profil altimétrique mare



Qualité des rivières



Vues d'ensemble et aérienne de la mare



Source: GoogleMap



Source: L. Pluchart

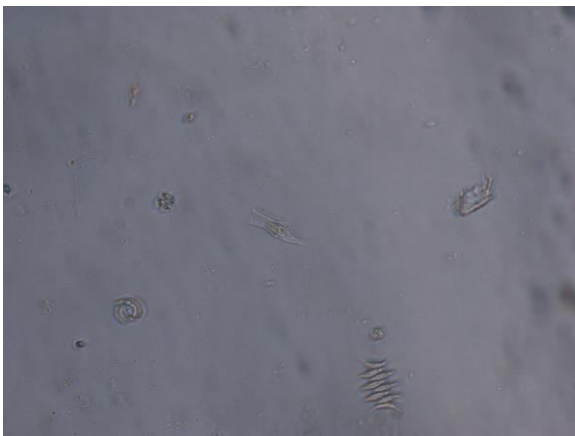
II-RESULTATS DES ANALYSES

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

| | Unité | Gamme | Moyenne sur 6 mois | Etat santé mare |
|---|------------|-----------|--|---------------------------------------|
| Conductivité | µS/cm | | 13 | |
| Turbidité | NTU | 2-8 | 3,4 | ● |
| pH | sans unité | | 7,49 | ● |
| P total | mg P/L | 0,02-0,04 | 0,03 | ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 1,07 | ● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | 0,26-0,9 | 0,55 | ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | 0,01-0,05 | 0,02 | ● |
| Chla | µg/L | 1,6-15 | 8,3 | ● |
| Bilan niveau trophique | | | | ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,73 | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | aucune | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | <i>Aphanocapsa/Microcystis/Planktothrix</i> | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | <i>Goniochloris muticum/Echinosphaerella limnetica/Pseudogoniochoris tripus/Gloeocystis minor/Parapediastrium biradiatum/Ophiocytium cochleare/Hyaltheca dissiliens/Pseudopediastrium boryanum var brevicorne/Pediastrium boryanum rugulosus/Parapediastrium alternans/Staurodesmus mamillatus var. maximus/Staurastrum margaritaceum/closterium diana/Tetraedriella quadratum</i> | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | aucune | ● |
| Bilan final | | | | ● |

III-BILAN

L'eau de la mare est de bonne qualité physico-chimique selon la classification des eaux de surface par l'Agence de l'eau. Il en est de même d'un point de vue écosystémique.



Eau de la mare au X400 en juillet

Source: E. Breton

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

Cette zone humide, d'après les analyses, ne nécessite aucun plan de restauration. La diminution de la roselière n'est pas dû à un problème de qualité de l'eau, qui est de bonne qualité. Y a t il de grandes variations de niveau d'eau? Certains roseaux y sont vulnérables. La présence de rats musqués, friands des racines de roseaux, peuvent être ravageur de roselière.

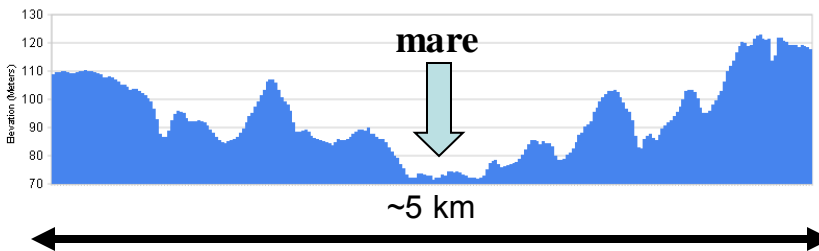
DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

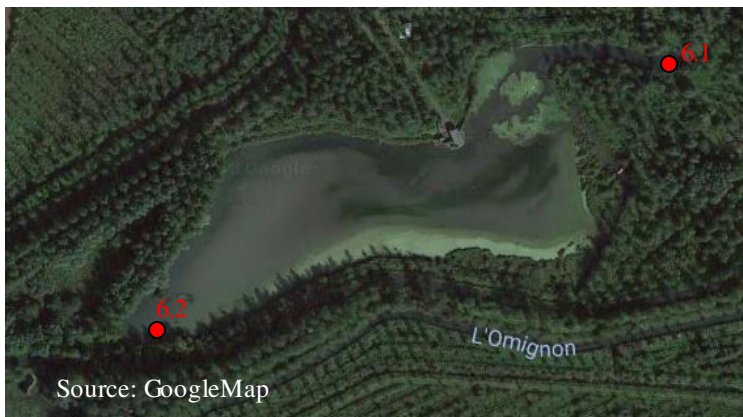
| | |
|---|-----------------|
| n° ZH | 6 |
| Commune | Maissemy |
| Département | 02 |
| Latitude (°N) | 49.895 |
| Longitude (°E) | 3.188 |
| Type ZH | marais tourbeux |
| *Surface (ha) | 2,22 |
| Profondeur max (m) | 0,3 |
| Altitude (m) | 70 |
| Végétalisation | élevée |
| Ombrage (% surface mare) | 20 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | faible |
| *% cultures (1 km alentour) | 48 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 0 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire

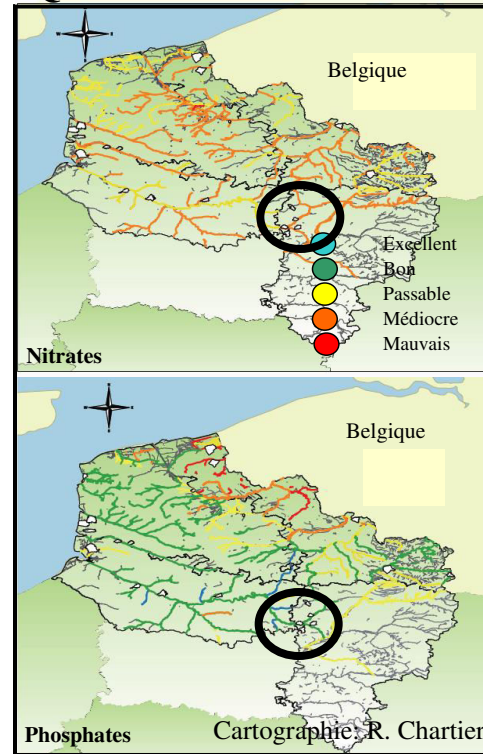
Profil altimétrique



Vues d'ensemble et aérienne de la mare



Qualité des rivières



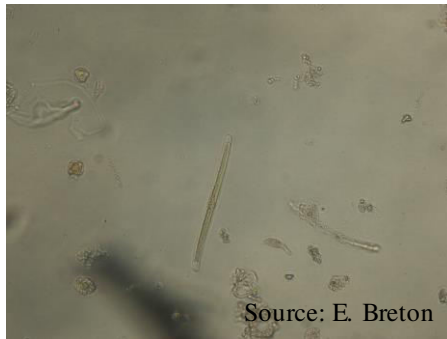
II-RESULTATS DES ANALYSES

| Conductivité | Unité µS/cm | Gamme | Moyenne sur 6 mois 30 | Etat santé mare |
|--|----------------|------------|--|-----------------|
| Turbidité | NTU | 1-4 | 2,4(6.1)/2,2(6.2) | ● |
| pH | sans unité | | 7,705 | ● |
| P total | mg P/L | 0,01-0,11 | 0,03 | ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 0,86 | ● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | 1,42-46,19 | 14,93(6.1)/17,64(6.2) | ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | 0-0,04 | 0,01(6.1)/0,01(6.2) | ● |
| Chla | µg/L | 0,7-10 | 3,6(6.1)/4,8(6.2) | ● |
| Bilan niveau trophique | | | | ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,88 | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Spirogyra/Melosira/Oscillatoria/Klebsormidium/Zygnema</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | aucune | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | <i>Tribonema minor</i> | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | aucune | ● |
| Bilan final | | | | ● |

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

III-BILAN

La mare est de mauvaise qualité en terme de nitrates et de par les teneurs importantes d'algues filamenteuses.



Eau de la mare au X400 en juillet.

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

La localisation de la mare dans une cuvette rend difficile un détournement des sources de pollution en nitrates (N). Il faudrait végétaliser le marais et ses berges (avril à juin) avec des plantes gourmandes en N (typiquement les héliophytes hautes *Scirpus littoralis* (le jonc des chaisiers), *Phragmites australis* (le roseau commun), et *Typha latifolia* (La massette à larges feuilles)). Végétaliser permettrait de piéger une partie de ces nitrates, faire de la concurrence aux algues filamenteuses. Afin de permettre également une végétalisation naturelle, les berges devraient avoir une inclinaison de 30° max. Une faible inclinaison favorise le dépôt et la germination de graines amenées par divers animaux et le vent. Une fois la mare végétalisée, un faucardage annuel de ces héliophytes est nécessaire pour se débarrasser des sels nutritifs piégés dans la végétation, et de la biomasse produite. Les déchets verts doivent être stockés impérativement à au moins 900m de la mare pour ne pas restituer à la mare les sels nutritifs reminéralisés lors de la décomposition des végétaux ou placés sur une plate-forme étanche.

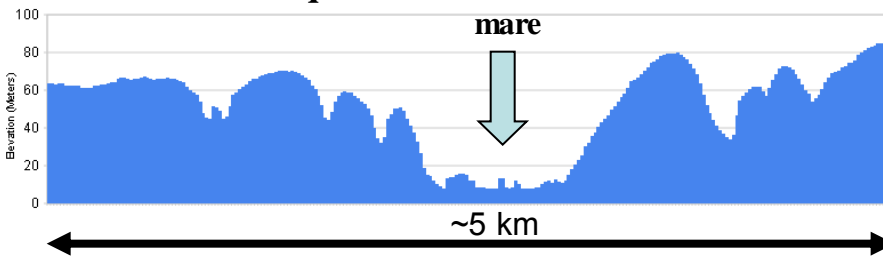
DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

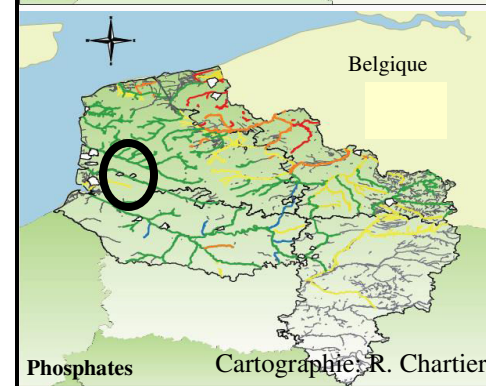
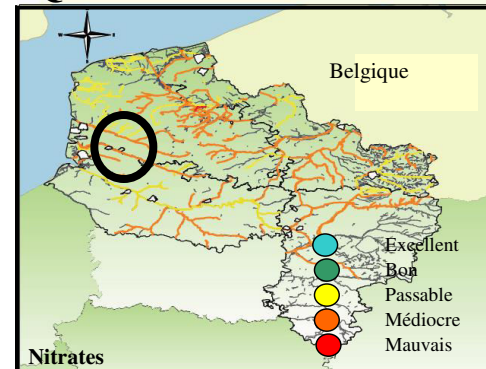
| | |
|---|---------------------------------|
| n° ZH | 7 |
| Commune | Dominois |
| Département | 80 |
| Latitude (°N) | 50.334 |
| Longitude (°E) | 1.85 |
| Type ZH | marais tourbeux |
| *Surface (ha) | 1,11(maison)/ 0,5 (près Authie) |
| Profondeur max (m) | 2(maison)/0,5(près Authie) |
| Altitude (m) | 15 |
| Végétalisation | moyenne |
| Ombrage (% surface mare) | (1)50/(2) 0 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | moyen |
| *% cultures (1 km alentour) | 32 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 0 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire

Profil altimétrique



Qualité des rivières



Vues d'ensemble et aérienne de la mare



Source: L. Pluchart

II-RESULTATS DES ANALYSES

Mare devant la maison

| | Unité | Gamme | Moyenne sur 6 mois | Etat santé mare |
|---|------------|----------|--|-----------------|
| Conductivité | µS/cm | 14-45 | 27 | |
| Turbidité | NTU | 0,08-95 | 0,7(7.3)/0,8(7.4) | ● ● |
| pH | sans unité | | 8,01(7.3) | ● |
| P total | mg P/L | 0,02-2,1 | 0,04(7.3)/0,03(7.4) | ● ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 0,91(7.3) | ● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | 0-39,78 | 12,28(7.3)/9,04(7.4) | ● ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | 0-0,25 | 0,04(7.3)/0,04(7.4) | ● ● |
| Chla | µg/L | | 1,45(7.3)/2,9(7.4) | ● ● |
| Bilan niveau trophique | | | | ● ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,81(7.3) | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Spirogyra/Melosira/Klebsormidium</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | <i>Snowella</i> | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | <i>Klebsormidium/Goniochloris fallax</i> | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | aucune | ● |
| Bilan final | | | | ● ● |

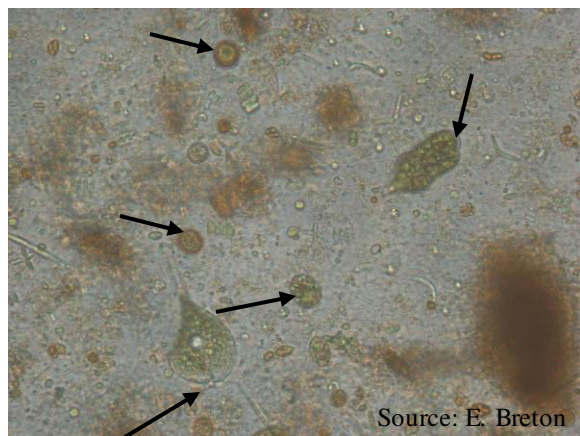
Mare au milieu du domaine

| | Unité | Gamme | Moyenne sur 6 mois | Etat santé mare |
|---|------------|----------|--|-----------------|
| Conductivité | µS/cm | 14-45 | 27 | |
| Turbidité | NTU | 0,08-95 | 39(7.1) | ● |
| pH | sans unité | | 5,05(7.1) | ● |
| P total | mg P/L | 0,02-2,1 | 0,6(7.1)/0,55(7.2) | ● ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 1,22(7.1) | ● ● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | 0-39,78 | 9(7.1) | ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | 0-0,25 | 0,09(7.1) | ● |
| Chla | µg/L | | 26(7.1) | ● |
| Bilan niveau trophique | | | | ● ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,32(7.1) | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Spirogyra/Melosira/Klebsormidium</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | <i>Snowella</i> | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | <i>Klebsormidium/Goniochloris fallax</i> | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | aucune | ● |
| Bilan final | | | | ● ● |

III-BILAN

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

Les deux mares sont de mauvaise qualité chimique: excès de nitrates pour les deux, et excès de phosphore total pour celle éloignée le plus de la maison. L'excès de nitrates concerne toutes les mares échantillonnées de la Somme et l'Aisne, et représente donc une pollution de grande échelle (agriculture intensive?). L'excès de nitrates favorise le développement excessif d'algues filamenteuses, tandis que l'excès de phosphore dans la mare au milieu du domaine engendre une qualité écosystémique médiocre (cf IPLAC). La fleur d'eau blanchâtre observée en juin mais non prélevée est peut-être du pollen de graminées. L'analyse sera faite en juin prochain (2019).



Eau de la mare 7.1/7.2 au X400 en juillet montrant la quantité notable de sédiments et la présence d'euglénoides (ellipses).

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

Il faudrait végétaliser les deux mares et leurs berges (avril à juin) avec des plantes gourmandes en N (typiquement les héliophytes hautes *Scirpus littoralis* (le jonc des chaisiers), *Phragmites australis* (le roseau commun), et *Typha latifolia* (La massette à larges feuilles). Une bande enherbée d'au moins 10 m autour de la mare est préconisée. Végétaliser permettrait de piéger une partie de ces nitrates, et faire de la concurrence aux algues filamenteuses. Afin de permettre également une végétalisation naturelle, les berges devraient avoir une inclinaison de 30° max. Une faible inclinaison favorise le dépôt et la germination de graines amenées par divers animaux et le vent. Une fois la mare végétalisée, un faucardage annuel de ces héliophytes est nécessaire pour se débarrasser des sels nutritifs piégés dans la végétation, et de la biomasse produite. Les déchets verts doivent être stockés impérativement à au moins 900m de la mare pour ne pas restituer à la mare les sels nutritifs reminéralisés lors de la décomposition des végétaux ou placés sur une plate-forme étanche.

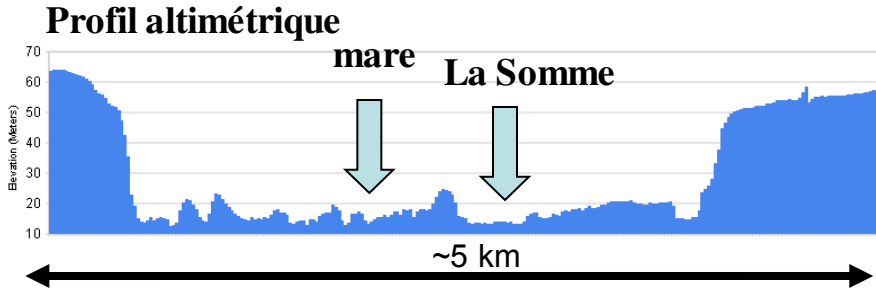
Par ailleurs, la mare au milieu du domaine souffre aussi de trop de P, qui est dû probablement à l'envasement significatif de cette mare. En effet, les sédiments piègent le P au cours du temps, ce qui engendre un relargage de P dans l'eau. L'idéal serait de curer la mare pour éliminer cette charge en P. Mais étant donné le coût de ce genre d'intervention, il est nécessaire au préalable d'effectuer une analyse des sédiments pour connaître sa charge interne. Dans le cas d'une pollution externe, le procédé le plus communément utilisé est la végétalisation de la mare et des berges (avril à juin) avec des plantes gourmandes en P telle que la baldingère (*Phalaris arundinacea*), le cornouiller (*Salix caprea*) et le jonc épars (*Juncus effusus*).

DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

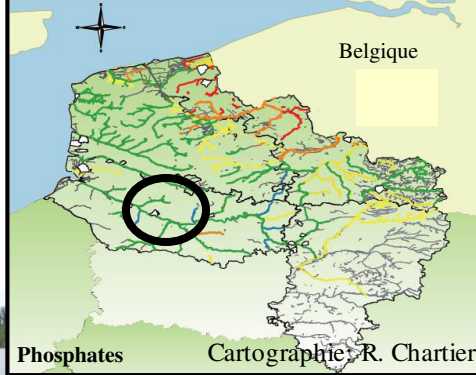
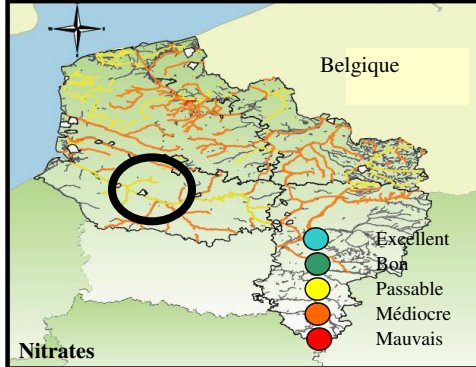
| | |
|---|---------------------|
| n° ZH | 8 |
| Commune | Chaussée Tirancourt |
| Département | 80 |
| Latitude (°N) | 49.953 |
| Longitude (°E) | 2.15 |
| Type ZH | mare artificielle |
| *Surface (ha) | 0,4 |
| Profondeur max (m) | 0,4 |
| Altitude (m) | 15 |
| Végétalisation | élevée |
| Ombrage (% surface mare) | 0 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | moyen |
| *% cultures (1 km alentour) | 23 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 42 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire



Source: L. Pluchart

Qualité des rivières



Cartographie: R. Chartier

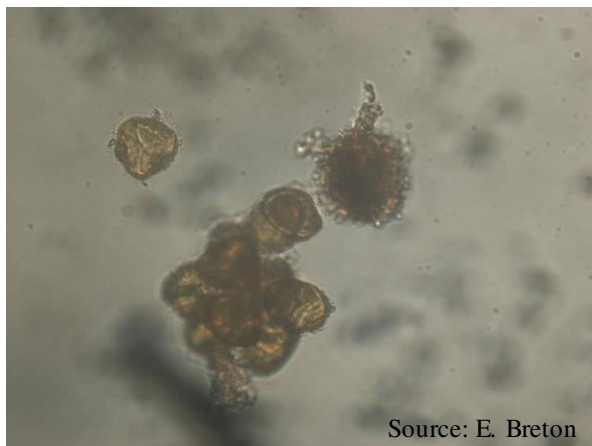
II-RESULTATS DES ANALYSES

| | Unité | Gamme | Moyenne sur 6 mois | Etat santé mare |
|---|------------|-------------|--|-----------------|
| Conductivité | µS/cm | 32-66 | 49 | |
| Turbidité | NTU | 0,3-1,3 | 0,7 | ● |
| pH | sans unité | | 7,8 | ● |
| P total | mg P/L | 0,018-0,027 | 0,02(8.1)/0,06(8.2)/0,02(8.3)/0,02(8.4) | ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 0,9 | ● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | 0,32-28,91 | 9,42(8.1)/9,61(8.2)/14,53(8.3)/11,09(8.4) | ● ● ● ● ● ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | 0,01-0,09 | 0,04(8.1)/0,01(8.4) | ● |
| Chla | µg/L | 0,3-6 | 0,8(8.1)/2,8(8.4) | ● |
| Bilan niveau trophique | | | | ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● ● ● ● ● ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,82 | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Spirogyra/Melosira/Oscillatoria/Microspora/Mougeotia</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | aucune | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | <i>Closterium navicula/Microcrocis irregularis /Cyanosarcina/Tetraedron longispina</i> | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | Lentilles, élodée du Canada | ● |
| Bilan final | | | | ● ● |

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

III-BILAN

L'eau de la mare est de mauvaise qualité en terme de nitrates.; ce qui engendre un développement excessif d'algues filamenteuses, de lentilles, et d'élodée du Canada. Les quantités de sels nutritifs dans le contre-fossé et dans le canal de la Somme n'ont été mesurées qu'en avril. Le canal de la Somme était plus riche en nitrites mais moins riche en nitrates que le contre-fossé. Il semble donc que le canal de la Somme n'alimente pas le contre-fossé.



Eau de la mare au X400 en juillet

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

La localisation de la mare dans une cuvette rend difficile un détournement des sources de pollution en nitrates (N). Il faudrait végétaliser le marais et ses berges (avril à juin) avec des plantes gourmandes en N (typiquement les hélrophytes hautes *Scirpus littoralis* (le jonc des chaisiers), *Phragmites australis* (le roseau commun), et *Typha latifolia* (La massette à larges feuilles)). Végétaliser permettrait de piéger une partie de ces nitrates, et faire de la concurrence aux algues filamenteuses. Afin de permettre également une végétalisation naturelle, les berges devraient avoir une inclinaison de 30° max. Une faible inclinaison favorise le dépôt et la germination de graines amenées par divers animaux et le vent. Une fois la mare végétalisée, un faucardage annuel de ces hélrophytes est nécessaire pour se débarrasser des sels nutritifs piégés dans la végétation, et de la biomasse produite. Les déchets verts doivent être stockés impérativement à au moins 900m de la mare pour ne pas restituer à la mare les sels nutritifs reminéralisés lors de la décomposition des végétaux ou placés sur une plate-forme étanche.

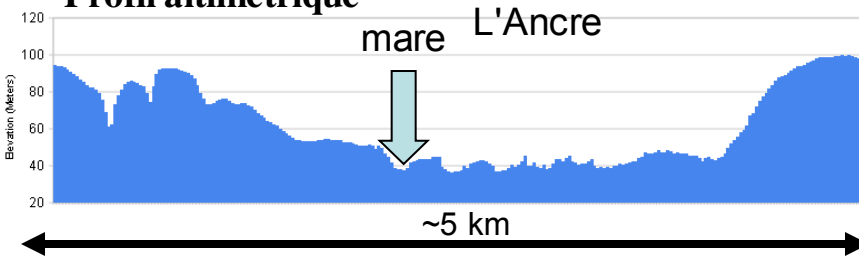
DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

| | |
|---|------------------|
| n° ZH | 9 |
| Commune | Méricourt l'abbé |
| Département | 80 |
| Latitude (°N) | 49.952 |
| Longitude (°E) | 2.565 |
| Type ZH | marais tourbeux |
| *Surface (ha) | 4,61 |
| Profondeur max (m) | 1 |
| Altitude (m) | 40 |
| Végétalisation | moyenne |
| Ombrage (% surface mare) | 10 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | faible |
| *% cultures (1 km alentour) | 37 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 19 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire

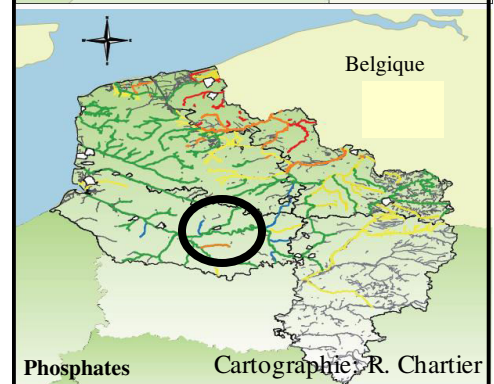
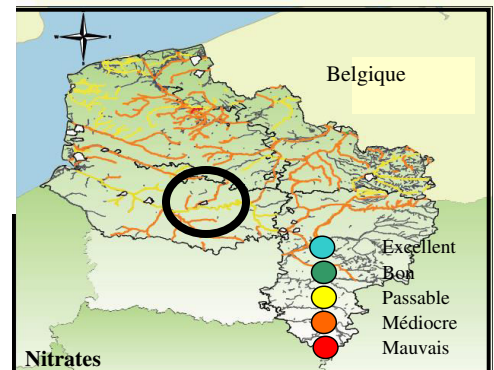
Profil altimétrique



Vues d'ensemble et aérienne de la mare



Qualité des rivières



II-RESULTATS DES ANALYSES

| | Unité | Gamme | Moyenne sur 6 mois | Etat santé mare |
|---|------------|------------|--|-----------------|
| Conductivité | µS/cm | 96-208 | 152 | |
| Turbidité | NTU | 0,3-7,6 | 4,4(9.1)/2,3(9.3) | ● |
| pH | sans unité | | 8.27 | ● |
| P total | mg P/L | 0,01-0,09 | 0,03(9.1)/0,04(9.3) | ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 0,9 | ● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | 1,11-51,09 | 10,31(9.1)/16,26(9.3) | ● ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | 0-0,18 | 0,03(9.1)/0,05(9.3) | ● ● |
| Chla | µg/L | 0,3-29,6 | 4,4(9.1)/2,3(9.3) | ● |
| Bilan niveau trophique | | | | ● ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,95 | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Spirogyra/Oedogonium/Melosira</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | <i>Plankthotrix</i> | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | <i>Johanseniema constrictum/Cylindrocystis crassa</i> <i>Microcrocis geminata/Draparnaldia sp./Tetraedron longispina</i> <i>Tetraedriella quadratum/Lacunastrum gracillimum/Microcrocis irregulare</i> | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | aucune | ● |
| Bilan final | | | | ● |

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

III-BILAN

L'eau de la mare est de mauvaise qualité en terme de nitrates, ce qui est responsable du développement notable d'algues filamenteuses. La qualité de la sortie de la mare est pire que l'entrée, indiquant une mauvaise efficacité d'abattement de la zone humide en nitrates. La quantité de cyanobactéries potentiellement toxiques est sans danger.



Eau de la mare au X400 en juillet

Source: E. Breton

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

La localisation de la mare dans une cuvette rend difficile un détournement des sources de pollution en nitrates (N). Il faudrait végétaliser le marais et ses berges (avril à juin) avec des plantes gourmandes en N (typiquement les héliophytes hautes *Scirpus littoralis* (le jonc des chaisiers), *Phragmites australis* (le roseau commun), et *Typha latifolia* (La massette à larges feuilles)). Végétaliser permettrait de piéger une partie de ces nitrates, faire de la concurrence aux algues filamenteuses. Afin de permettre également une végétalisation naturelle, les berges devraient avoir une inclinaison de 30° max. Une faible inclinaison favorise le dépôt et la germination de graines amenées par divers animaux et le vent. Une fois la mare végétalisée, un faucardage annuel de ces héliophytes est nécessaire pour se débarrasser des sels nutritifs piégés dans la végétation, et de la biomasse produite. Les déchets verts doivent être stockés impérativement à au moins 900m de la mare pour ne pas restituer à la mare les sels nutritifs reminéralisés lors de la décomposition des végétaux ou placés sur une plate-forme étanche.

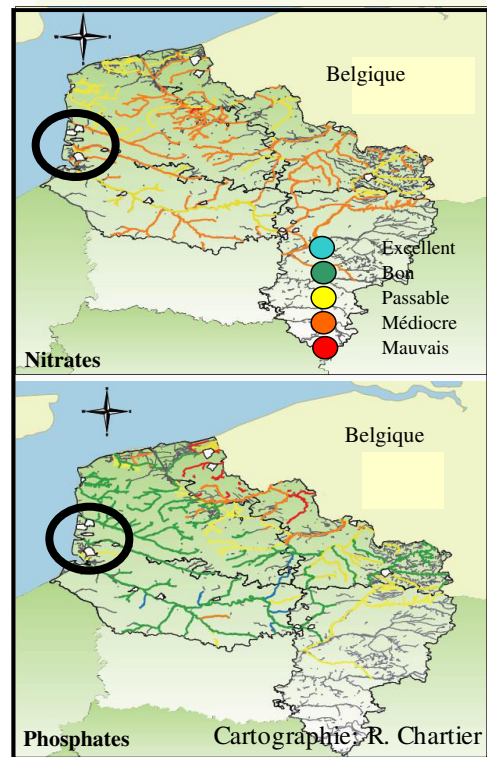
DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

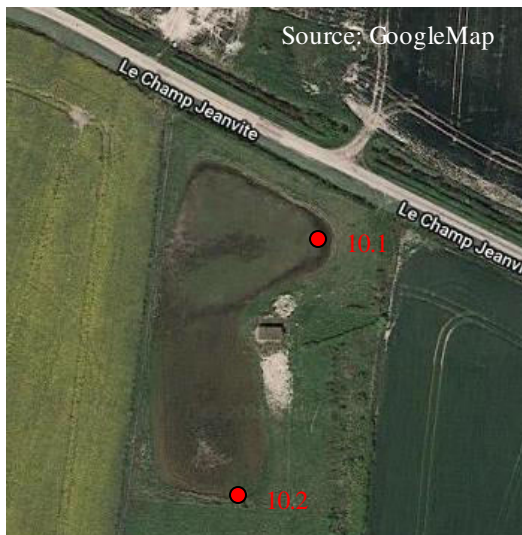
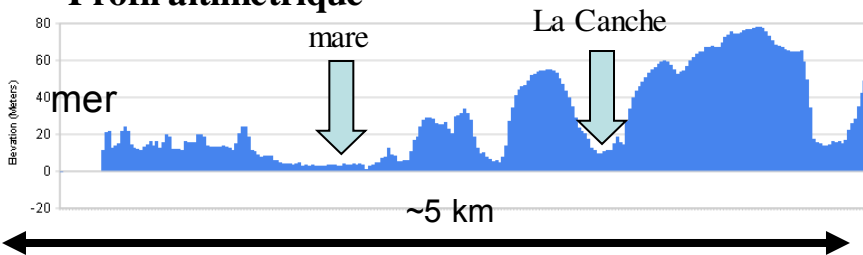
| | |
|---|----------------|
| n° ZH | 10 |
| Commune | St Josse |
| Département | 62 |
| Latitude (°N) | 50.4667 |
| Longitude (°E) | 1.6667 |
| Type ZH | mare tourbeuse |
| *Surface (ha) | 0,23 |
| Profondeur max (m) | 0,5 |
| Altitude (m) | 1 |
| Végétalisation | faible |
| Ombrage (% surface mare) | 0 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | faible |
| *% cultures (1 km alentour) | 80 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 2 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire

Qualité des rivières



Profil altimétrique



Vues d'ensemble et aérienne de la mare



II-RESULTATS DES ANALYSES

| Conductivité | Unité μS/cm | Gamme | Moyenne sur 6 mois | Etat santé mare |
|---|----------------|-----------|---|-----------------|
| Turbidité | NTU | 0,3-3 | 1,7 | ● |
| pH | sans unité | | 8,6 | ● |
| P total | mg P/L | 0,02-0,31 | 0,09(10.1)/0,09(10.2) | ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 0,61 | ● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | 0,02-0,79 | 0,29(10.1)/0,35(10.2) | ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | 0,01-0,27 | 0,09(10.1)/0,08(10.2) | ● |
| Chla | μg/L | 0,3-5,6 | 2,4(10.1)/3,3(10.2) | ● |
| Bilan niveau trophique | | | | ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,95 | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Oedogonium/Mougeotia/Sirogonium</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | <i>Anabaenopsis</i> | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | <i>Closterium abruptum/Staurastrum manfeldtii/Chlorobion obtusum</i> <i>Komvophoron rostratum/Closterium diana/Euastrum dubium</i> | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | aucune | ● |
| Bilan final | | | | ● |

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

III-BILAN

L'eau de la mare est de bonne qualité physico-chimique et écosystémique. Néanmoins, elle souffre d'un développement notable d'algues filamenteuses.



Eau de la mare au X400 en juillet

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

Végétaliser la mare avec des plantes gourmandes en N (typiquement les hélrophytes hautes *Scirpus littoralis* (le jonc des chaisiers), *Phragmites australis* (le roseau commun), et *Typha latifolia* (La massette à larges feuilles). permettrait de piéger ces sels nutritifs et faire de la concurrence aux algues filamenteuses. Afin de permettre également une végétalisation naturelle, les berges devraient avoir une inclinaison de 30° max. Une faible inclinaison favorise le dépôt et la germination de graines amenées par divers animaux et le vent. Une fois la mare végétalisée, un faucardage annuel est nécessaire pour se débarrasser des sels nutritifs piégés dans la végétation, et de la biomasse produite. Les déchets verts doivent être stockés impérativement à au moins 900m de la mare pour ne pas restituer à la mare les sels nutritifs reminéralisés lors de la décomposition des végétaux ou placés sur une plate-forme étanche.

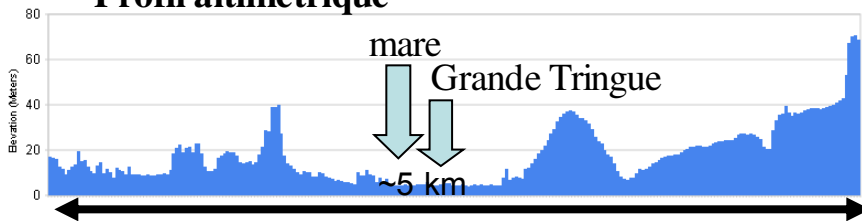
DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

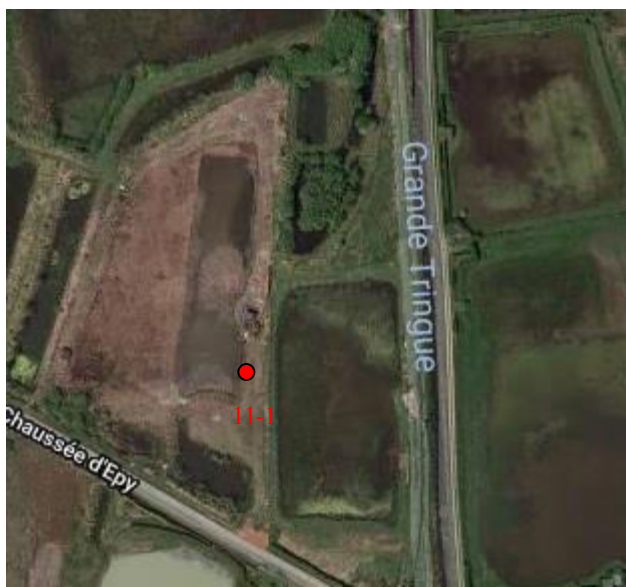
| | |
|---|-----------------|
| n° ZH | 11 |
| Commune | Merlimont |
| Département | 62 |
| Latitude (°N) | 50.456 |
| Longitude (°E) | 1.614 |
| Type ZH | marais tourbeux |
| *Surface (ha) | 0,7 |
| Profondeur max (m) | 0,5 |
| Altitude (m) | 7 |
| Végétalisation | inexistante |
| Ombrage (% surface mare) | 0 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | moyen |
| *% cultures (1 km alentour) | 0 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 29 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire

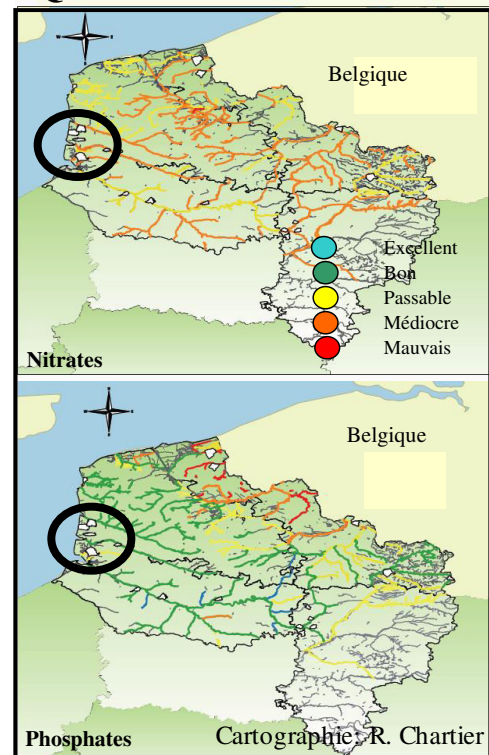
Profil altimétrique



Vues d'ensemble et aérienne de la mare



Qualité des rivières



II-RESULTATS DES ANALYSES

| Conductivité | Unité | Gamme | Moyenne sur 6 mois | Etat santé mare |
|---|------------|------------|--|-----------------|
| Turbidité | NTU | 1,4-4 | 11,8 | ● |
| pH | sans unité | | 2,2 | ● |
| P total | mg P/L | 0,04-0,25 | 8,56 | ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 0,08-(Tringue)0,05 | ● ● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | 0,02-11,14 | 1,05-(Tringue)0,52 | ● ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | 0-0,15 | 2,65-(Tringue)21,72 | ● ● |
| Chla | µg/L | 2-4,8 | 0,04-(Tringue)0,05 | ● |
| Bilan niveau trophique | | | 3,3 | ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 1 | ● ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Spirogyra/Oscillatoria/Fragillaria</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | <i>Schizothrix/Cyanophanon minus/Aphanocapsa</i> | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | <i>Tetraedriella jovetii / Draparnaldia sp./Pseudogoniochloris tripus/Docidium undulatum/Pleurotaenium tridentulum/Microcrocis pulchella</i> | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | aucune | ● |
| Bilan final | | | | ● |

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

III-BILAN

La mare est de qualité moyenne en terme de nitrates. Elle souffre également d'un développement notable d'algues filamenteuses. Il est recommandé de ne pas pomper l'eau de la Tringue, trop chargée en nitrates.



Eau de la mare au X400 en juillet

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

Il faudrait végétaliser le marais et ses berges (avril à juin) avec des plantes gourmandes en N (typiquement les héliophytes hautes *Scirpus littoralis* (le jonc des chaisiers), *Phragmites australis* (le roseau commun), et *Typha latifolia* (La massette à larges feuilles). Végétaliser permettrait de piéger une partie de ces nitrates, faire de la concurrence aux algues filamenteuses. Afin de permettre également une végétalisation naturelle, les berges devraient avoir une inclinaison de 30° max. Une faible inclinaison favorise le dépôt et la germination de graines amenées par divers animaux et le vent. Une fois la mare végétalisée, un faucardage annuel de ces héliophytes est nécessaire pour se débarrasser des sels nutritifs piégés dans la végétation, et de la biomasse produite. Les déchets verts doivent être stockés impérativement à au moins 900m de la mare pour ne pas restituer à la mare les sels nutritifs reminéralisés lors de la décomposition des végétaux ou placés sur une plate-forme étanche.

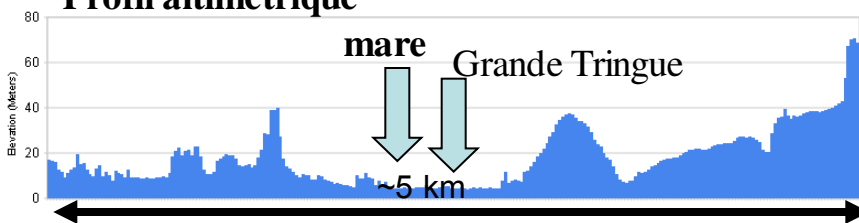
DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

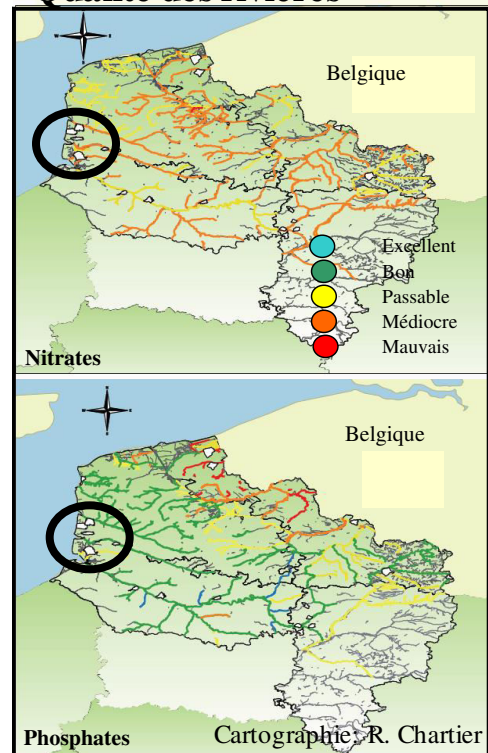
| | |
|---|-----------------|
| n° ZH | 11bis |
| Commune | Merlimont |
| Département | 62 |
| Latitude (°N) | 50.456 |
| Longitude (°E) | 1.614 |
| Type ZH | marais tourbeux |
| *Surface (ha) | 0,37 |
| Profondeur max (m) | 1,3 |
| Altitude (m) | 7 |
| Végétalisation | inexistante |
| Ombrage (% surface mare) | 0 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | moyen |
| *% cultures (1 km alentour) | 0 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 29 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire

Profil altimétrique



Qualité des rivières



Vues d'ensemble et aérienne de la mare



Source: GoogleMap



Source: L. Pluchart

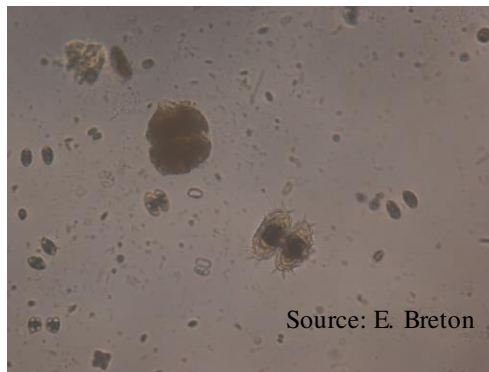
II-RESULTATS DES ANALYSES

| | Unité | Gamme | Moyenne sur 6 mois | Etat santé mare |
|---|------------|------------|---|-----------------|
| Conductivité | µS/cm | | 8,6 | |
| Turbidité | NTU | 1,2-3,1 | 2 | ● |
| pH | sans unité | | 8,79 | ● |
| P total | mg P/L | 0,02-0,04 | 3,44-(Tringue)5,19 | ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 1,14-(Tringue)0,52 | ● ● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | 0,02-77,85 | 13,06-(Tringue)21,72 | ● ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | 0-0,05 | 0,02-(Tringue)0,05 | ● |
| Chla | µg/L | 1,6-9,8 | 4,4 | ● |
| Bilan niveau trophique | | | | ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,99 | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Zygnema/Sirogonium/Oedogonium/Mougeotia</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | <i>Anabaena/Aphanocapsa/Snowella/Woronichinia/Planktothrix/Microcystis/Anabaenopsis/Aphazinomenon</i> | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | <i>Pseudopediastrum boryanum var brevicorne/Staurodesmus gladius/Klebsormidium Anthophysa vegetans/Tribonema minus/Staurodesmus brevispina/Closterium diana</i> | |
| | | | <i>Cosmarium bioculatum depressum/C. speciosum var. simplex/Staurastrum manfeldtii Gonatozygon monotaenium/Geminella minor/Gomphosphaeria aponina</i> | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | lentilles | ● |
| Bilan final | | | | ● |

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

III-BILAN

La mare est de mauvaise qualité en terme de nitrates. Elle souffre également d'un développement notable d'algues filamenteuses et de lentilles, typique d'une pollution par les nitrates. Il est recommandé de ne pas pomper l'eau de la Tringue, trop chargée en nitrates.



Eau de la mare au X400 en juillet

Source: E. Breton

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

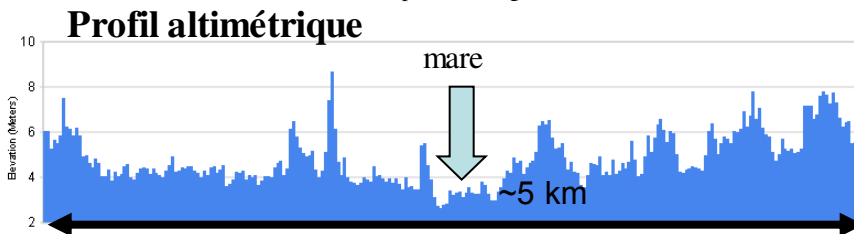
Il faudrait végétaliser le marais et ses berges (avril à juin) avec des plantes gourmandes en N (typiquement les héliophytes hautes *Scirpus littoralis* (le jonc des chaisiers), *Phragmites australis* (le roseau commun), et *Typha latifolia* (La massette à larges feuilles)). Végétaliser permettrait de piéger une partie de ces nitrates, faire de la concurrence aux lentilles et algues filamenteuses. Afin de permettre également une végétalisation naturelle, les berges devraient avoir une inclinaison de 30° max. Une faible inclinaison favorise le dépôt et la germination de graines amenées par divers animaux et le vent. Une fois la mare végétalisée, un faucardage annuel de ces héliophytes est nécessaire pour se débarrasser des sels nutritifs piégés dans la végétation, et de la biomasse produite. Les déchets verts doivent être stockés impérativement à au moins 900m de la mare pour ne pas restituer à la mare les sels nutritifs reminéralisés lors de la décomposition des végétaux ou placés sur une plate-forme étanche.

DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

| | |
|---|------------------|
| n° ZH | 12 |
| Commune | Verton |
| Département | 62 |
| Latitude (°N) | 50.402 |
| Longitude (°E) | 1.649 |
| Type ZH | marais tourbeux |
| *Surface (ha) | (1)0,67/ (2)0,62 |
| Profondeur max (m) | 0,8 |
| Altitude (m) | 3 |
| Végétalisation | moyenne |
| Ombrage (% surface mare) | 0 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | faible |
| *% cultures (1 km alentour) | 37 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 0 |

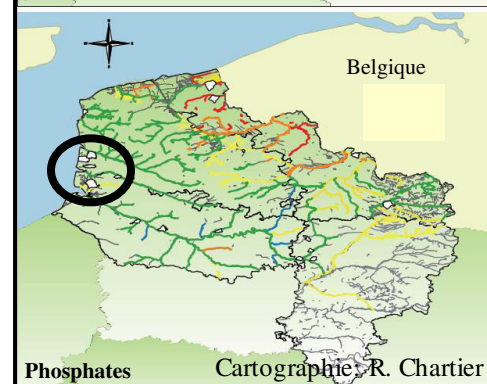
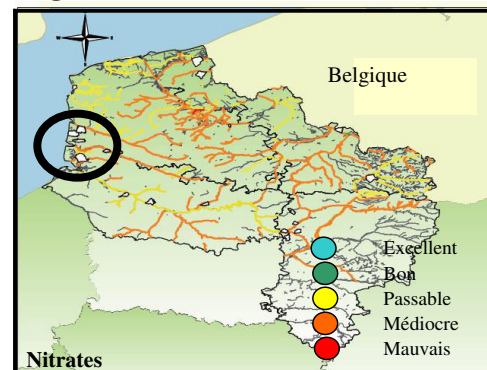
*calculé à partir d'imagerie satellitaire



Vues d'ensemble et aérienne de la mare



Qualité des rivières



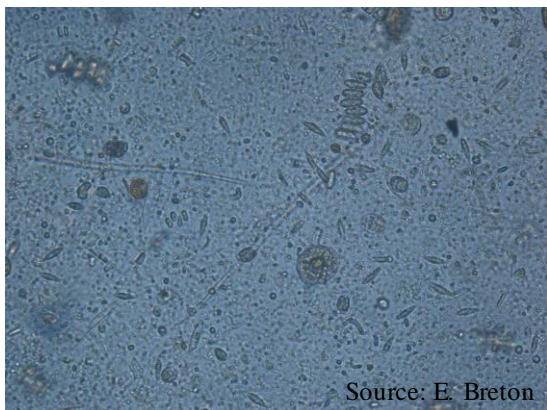
II-RESULTATS DES ANALYSES

| | Unité | Gamme | Moyenne sur 6 mois | Etat santé mare |
|---|------------|------------|--|-----------------|
| Conductivité | µS/cm | | 6,6(12.1)/15,8(12.2) | |
| Turbidité | NTU | | 5,2(12.1)/5,6(12.2) | ●● |
| pH | sans unité | | 8,21(12.1)/8,18(12.2) | ●●● |
| P total | mg P/L | 0,04-0,97 | 0,36(12.1)/0,12(12.2)/0,57(Fliers) | ●●●● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 2,14(12.1)/1,21(12.2)-(Flier)1,18 | ●●●● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | 0,092-1,87 | 0,44(12.1)/0,05(12.2)-(Flier)14,41 | ●●●● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | 0,02-1,81 | 0,42(12.1)/0,08(12.2)-(Flier)1,20 | ●●●● |
| Chla | µg/L | 0,8-20 | 3(12.1)/9,8(12.2) | ●● |
| Bilan niveau trophique | | | | ●●●● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ●●●● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,68(12.1)/0,78(12.2) | ●● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Spirogyra/Mougeotia/Oedogonium/Trichodermus variabilis</i> | ●●●● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | <i>Aphanizonemon/Anabaenopsis/Oscillatoria/Nostoc/cylindrospermopsis raciborskii</i> | ●● |
| Espèces phytoplactoniques rares | sans unité | | <i>Komvophoron schmidlei / Pediastrum boryanum var longicorne/ P. muticum</i> | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | <i>Klebsormidium/Botrydiopsis intercedens</i> Elodée du Canada | ●● |
| Bilan final | | | | ●● |

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

III-BILAN

L'eau de la mare la plus récente (12.1) est de qualité moyenne en terme de phosphore total et azote Kjeldahl, tandis que l'ancienne (12.2) est de bonne qualité. Le marais 12.1 souffre donc d'une légère pollution organique. En plus, la mare souffre d'un développement notable d'algues filamenteuses et d'élodée du Canada. Il est recommandé de ne pas pomper d'eau dans Le Flier, vu sa qualité médiocre voire mauvaise en terme de phosphates et nitrates.



Eau de la mare au X400 en juillet

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

Le marais 12.2 ne nécessite pas de plan de restauration. En revanche, le marais 12.1 devrait être végétalisé avec des plantes gourmandes en N (typiquement les héliophytes hautes *Scirpus littoralis* (le jonc des chaisiers), *Phragmites australis* (le roseau commun), et *Typha latifolia* (La massette à larges feuilles)). Végétaliser permettrait de piéger une partie de ces nitrates, faire de la concurrence aux algues filamenteuses et à l'élodée du Canada. Afin de permettre également une végétalisation naturelle, les berges devraient avoir une inclinaison de 30° max. Une faible inclinaison favorise le dépôt et la germination de graines amenées par divers animaux et le vent. Une fois la mare végétalisée, un faucardage annuel de ces héliophytes est nécessaire pour se débarrasser des sels nutritifs piégés dans la végétation, et de la biomasse produite. Les déchets verts doivent être stockés impérativement à au moins 900m de la mare pour ne pas restituer à la mare les sels nutritifs reminéralisés lors de la décomposition des végétaux ou placés sur une plate-forme étanche.

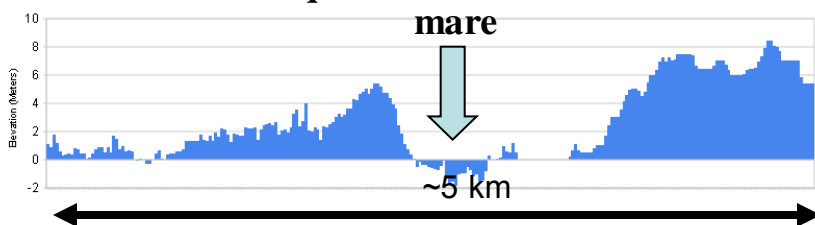
DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

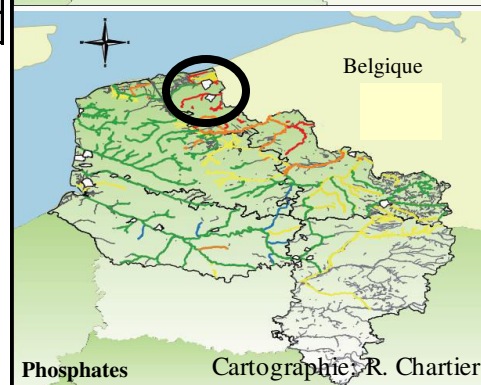
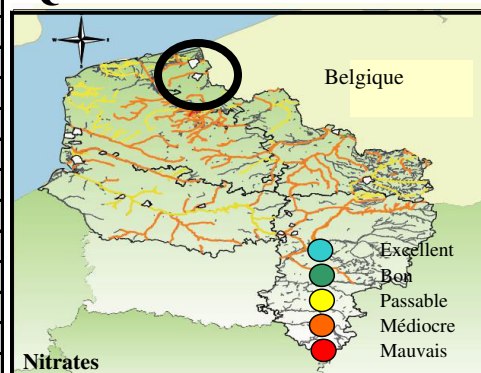
| | |
|---|----------------|
| n° ZH | 13 |
| Commune | Warhem |
| Département | 59 |
| Latitude (°N) | 50.98 |
| Longitude (°E) | 2.546 |
| Type ZH | étang prairial |
| *Surface (ha) | 1,28 |
| Profondeur max (m) | 0,6 |
| Altitude (m) | 0 |
| Végétalisation | faible |
| Ombrage (% surface mare) | 0 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | faible |
| *% cultures (1 km alentour) | 84 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 0 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire

Profil altimétrique



Qualité des rivières



Vues d'ensemble et aérienne de la mare



II-RESULTATS DES ANALYSES

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

| Conductivité | Unité | Gamme | Moyenne sur 4 mois | Etat santé mare |
|--|------------|-----------|--|--|
| Turbidité | NTU | 10,4-14,4 | 12,4 30(13.1)/29(13.2) | ● |
| pH | sans unité | | 6,96 | ● |
| P total | mg P/L | 0,33-2,47 | 0,41(13.1)/1,11(13.2)/0,35(13.3) | ● ● ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 3,84 | ● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | 0,03-0,49 | 0,18(13.1)/0,17(13.2)/0,08(13.3) | ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | 0,1-2,4 | 0,67(13.1)/1,04(13.2)/0,27(13.3) | ● ● ● |
| Chla | µg/L | 1-54 | 26(13.1)/18(13.2) | ● |
| Bilan niveau trophique | | | | ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● ● ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,41 | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Oedogonium/Rhizoclonium</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | <i>Limnothrix redekei/ Planktothrix/Anabaena</i> | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | <i>Staurastrum bloklandii & St. sexcostatum/Lacunastrum gracillimum Pediastrum privum & P. longicorne/Mesotaenium macrococcum Pseudostaurastrum limneticum</i> | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | Elodée du Canada | ● |
| Bilan final | | | | ● ● |

III-BILAN

L'eau de la mare est de qualité médiocre en terme de phosphates, mauvaise en terme de phosphore total, et moyenne en terme d'azote Kjeldahl. Elle est également de qualité médiocre voire mauvaise d'un point de vue écosystémique, de par le développement important d'algues filamenteuses, ainsi que d'élodée du Canada, et une abondance notable des cyanobactéries potentiellement toxiques. **L'état de santé de cette mare est globalement médiocre mais il n'y a pas de risque sanitaire important. Il convient, toutefois par précaution, d'empêcher le chien de boire l'eau de la mare, surtout en août.**



Source: E. Breton

Eau de la mare au X400 en juillet montrant la grande quantité de sédiments et la présence de cyanobactéries (bâtons et spirales) et des euglènes (ellipses).

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

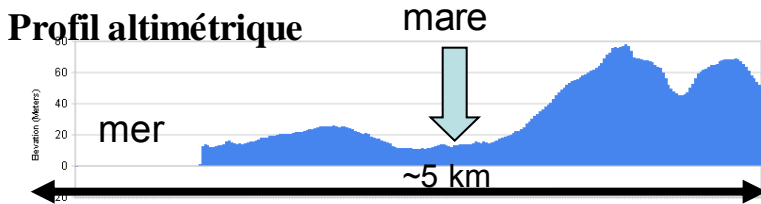
La localisation de la mare dans une cuvette rend difficile un détournement des sources de pollution en Phosphore (P). De plus, les rivières de cette région sont de mauvaise qualité en P, et les proliférations de cyanobactéries ne sont pas isolées dans la région, suggérant une pollution de grande échelle par le P. Néanmoins, il est possible que cet excès de P soit dû au relargage de P par les sédiments. Pour mitiger les problèmes rencontrés, un curage peut être effectué, à condition que l'excès de P provienne d'un relargage de P des sédiments. Une analyse des sédiments doit être effectuée pour connaître sa charge interne, et être sûr qu'il ne s'agisse pas d'une pollution extérieure. Si les proliférations de cyanobactéries sont due à une pollution extérieure, le curage n'aura qu'un effet bénéfique à court terme. L'oxygénation artificielle permet de limiter le relargage de P par les sédiments. Pour diminuer les proliférations de cyanobactéries et la turbidité de l'eau, il y a aussi la possibilité de peupler le fond de la zone humide de moules Quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*). Mais, le procédé le plus communément utilisé est la végétalisation de la mare et des berges (avril à juin) avec des plantes gourmandes en P telle que la baldingère (*Phalaris arundinacea*), le cornouiller (*Salix caprea*) et le jonc épars (*Juncus effusus*). Végétaliser permettrait de piéger une partie du P, et faire ainsi de la concurrence au phytoplancton dont les cyanobactéries potentiellement toxiques, et diminuer la turbidité en stabilisant les berges et le fond de la mare. Afin de permettre la végétalisation, les berges devraient avoir une inclinaison de 30° max. Une faible inclinaison favorise le dépôt et la germination de graines amenées par divers animaux et le vent. Une bande enherbée d'au moins 10 m autour de la mare est préconisée. Une fois la mare végétalisée, un faucardage annuel à la fin de l'été est nécessaire pour se débarrasser des sels nutritifs piégés dans cette végétation, et de la biomasse produite. Les déchets verts doivent être stockés impérativement à au moins 900m de la mare pour ne pas restituer à la mare les sels nutritifs reminéralisés lors de la décomposition des végétaux, ou doivent être placés sur une plate-forme étanche.

DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

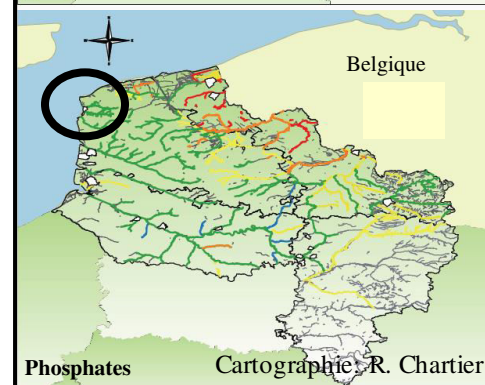
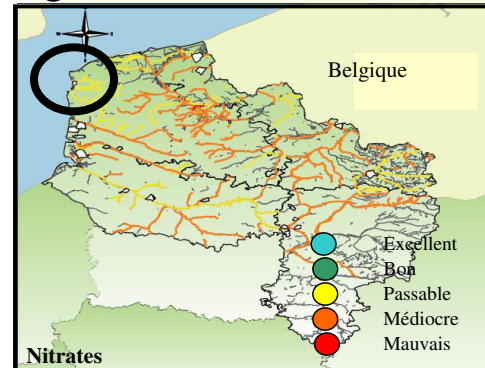
| | |
|---|-------------------|
| n° ZH | 14 |
| Commune | Wimereux |
| Département | 62 |
| Latitude (°N) | 50.769 |
| Longitude (°E) | 1.609 |
| Type ZH | mare artificielle |
| *Surface (ha) | 0,4 |
| Profondeur max (m) | 0,3 |
| Altitude (m) | 10 |
| Végétalisation | inexistante |
| Ombrage (% surface mare) | 0 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | moyen |
| *% cultures (1 km alentour) | 15 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 17 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire



Vues d'ensemble et aérienne de la mare

Qualité des rivières



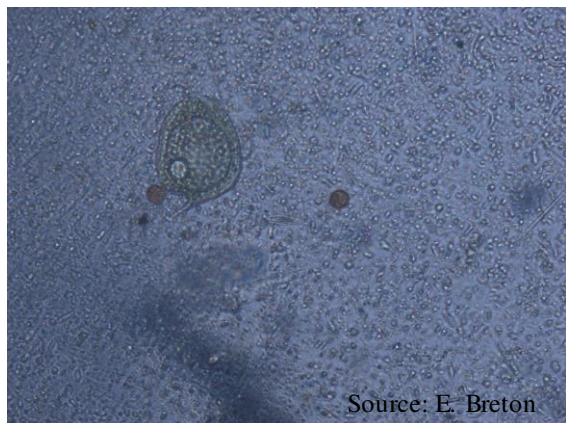
II-RESULTATS DES ANALYSES

| Conductivité | Unité | Gamme | Moyenne sur 4 mois | Etat santé mare |
|---|------------|-----------|--------------------------------|-----------------|
| Turbidité | µS/cm | | nd | |
| pH | NTU | | 11,7 | ● |
| P total | sans unité | | 9,09 | ● |
| N-kjeldahl | mg P/L | 0,4-1,15 | 0,56 | ● |
| NO ₃ ⁻ | mg N/L | | 3,33 | ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg NO3/L | 0,01-0,11 | 0,05 | ● |
| Chla | mg PO4/L | 0,13-0,30 | 0,24 | ● |
| Bilan niveau trophique | µg/L | | 35,6 | ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,4 | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Spirogyra/Oedogonium</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | <i>Anabaena</i> | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | <i>Lacunastrum gracillimum</i> | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | aucune | ● |
| Bilan final | | | | ● |

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

III-BILAN

L'eau de la mare est de qualité médiocre en terme de phosphore total et moyenne en terme d'azote Kjeldahl. Elles témoignent d'une pollution organique. Il en résulte une mauvaise qualité écosystémique. La mare souffre également d'un développement notable d'algues filamenteuses.



Eau de la mare au X400 en juillet

Source: E. Breton

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

La localisation de la mare dans une cuvette rend difficile un détournement des sources de pollution en Phosphore (P). Il est possible que cet excès de P soit dû au relargage de P par les sédiments. Pour mitiger les problèmes rencontrés, un curage peut être effectué, à condition que l'excès de P provienne d'un relargage de P des sédiments. Une analyse des sédiments doit être effectuée pour connaître sa charge interne, et être sûr qu'il ne s'agisse pas d'une pollution extérieure. L'oxygénation artificielle permet de limiter le relargage de P par les sédiments. Mais, le procédé le plus communément utilisé est la végétalisation de la mare et des berges (avril à juin) avec des plantes gourmandes en P telle que la baldingère (*Phalaris arundinacea*), le cornouiller (*Salix caprea*) et le jonc épars (*Juncus effusus*). Végétaliser permettrait de piéger une partie du P, et faire ainsi de la concurrence au phytoplancton dont les cyanobactéries potentiellement toxiques, et diminuer la turbidité en stabilisant les berges et le fond de la mare. Afin de permettre la végétalisation, les berges devraient avoir une inclinaison de 30° max. Une faible inclinaison favorise le dépôt et la germination de graines amenées par divers animaux et le vent. Une bande enherbée d'au moins 10 m autour de la mare est préconisée. Une fois la mare végétalisée, un faucardage annuel à la fin de l'été est nécessaire pour se débarrasser des sels nutritifs piégés dans cette végétation, et de la biomasse produite. Les déchets verts doivent être stockés impérativement à au moins 900m de la mare pour ne pas restituer à la mare les sels nutritifs reminéralisés lors de la décomposition des végétaux, ou doivent être placés sur une plate-forme étanche.

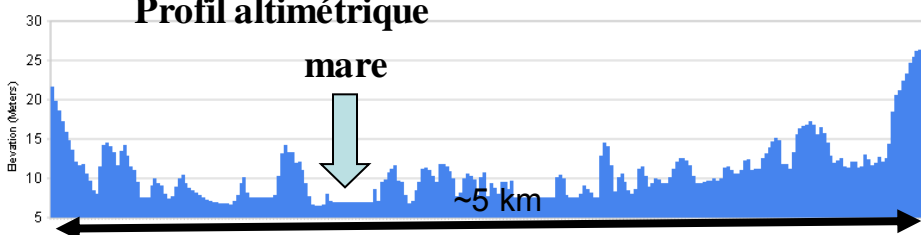
DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

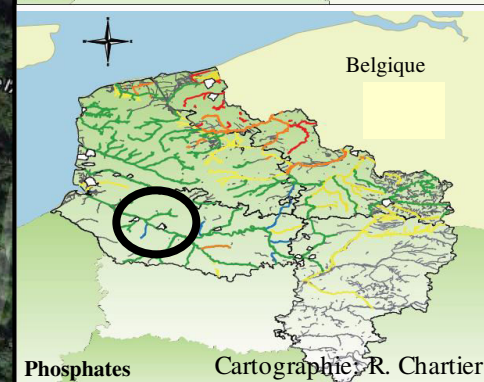
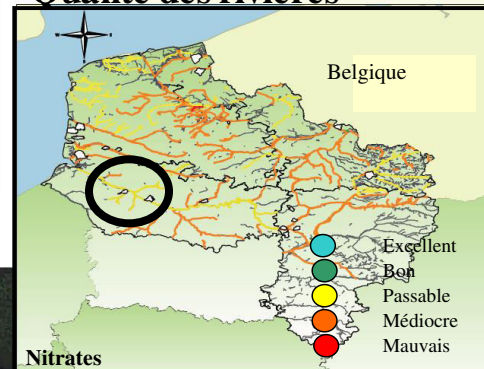
| | |
|---|---------------------------|
| n° ZH | 15 |
| Commune | Longprès-les-corps-saints |
| Département | 80 |
| Latitude (°N) | 50.013 |
| Longitude (°E) | 1.992 |
| Type ZH | marais |
| *Surface (ha) | 2,1 |
| Profondeur max (m) | 1,5 |
| Altitude (m) | 7 |
| Végétalisation | élevée |
| Ombrage (% surface mare) | 12 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | moyen |
| *% cultures (1 km alentour) | 6 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 88 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire

Profil altimétrique



Qualité des rivières



Vues d'ensemble et aérienne de la mare



Source: Google Map

II-RESULTATS DES ANALYSES

| | Unité | Gamme | Moyenne sur 4 mois | Etat santé mare |
|---|------------|------------|-----------------------------------|-----------------|
| Conductivité | µS/cm | 58-73 | 67 | |
| Turbidité | NTU | | 1,5(15.1)/2,2(15.2) | ● |
| pH | sans unité | | 7,935 | ● |
| P total | mg P/L | 0-0,09 | 0,02(15.1)/0,03(15.2) | ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 1 | ● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | 2,17-11,07 | 3,83(15.1)/6,32(15.2) | ● ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | 0,01-0,15 | 0,04(15.1)/0,06(15.2) | ● |
| Chla | µg/L | 0,2-6,9 | 3,4(15.1)/2,6(15.2) | ● |
| Bilan niveau trophique | | | | ● ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,98 | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Spirogyra/Oedogonium</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | aucune | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | <i>C acutum</i> + 2 chrysophycées | ● |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | Lentilles | ● |
| Bilan final | | | | ● |

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

III-BILAN

L'eau de la mare est de mauvaise qualité en terme de nitrates, engendrant un développement excessif d'algues filamenteuses et des lentilles d'eau.



Eau de la mare au X400 en juillet

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

Végétaliser la mare avec des plantes gourmandes en N ((typiquement les hélophytes hautes *Scirpus littoralis* (le jonc des chaisiers), *Phragmites australis* (le roseau commun), et *Typha latifolia* (La massette à larges feuilles).) permettrait de piéger les sels nutritifs, faire de la concurrence au lentilles d'eau et algues filamenteuse. Il faudrait vérifier quelle espèce de roseau peuple actuellement la zone, car toutes les espèces de roseaux ne sont pas gourmandes en N, ou alors la roselière n'est pas assez développée. Pour rappel, les berges doivent avoir une inclinaison de 30° max. Une faible inclinaison favorise le dépôt et la germination de graines amenées par divers animaux et le vent. Une fois la mare végétalisée, un faucardage annuel est nécessaire pour se débarrasser des sels nutritifs piégés dans la végétation, et de la biomasse produite. Les déchets verts doivent être stockés impérativement à au moins 900m de la mare pour ne pas restituer à la mare les sels nutritifs reminéralisés lors de la décomposition des végétaux ou placés sur une plate-forme étanche.

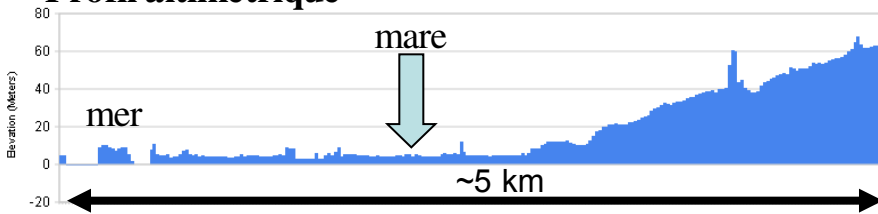
DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

| | |
|---|-------------------|
| n° ZH | 16 |
| Commune | Rue |
| Département | 80 |
| Latitude (°N) | 50.272 |
| Longitude (°E) | 1.669 |
| Type ZH | mare artificielle |
| *Surface (ha) | (1) 0,66/(2) 0,49 |
| Profondeur max (m) | 0,5 |
| Altitude (m) | 5 |
| Végétalisation | 0 |
| Ombrage (% surface mare) | 0 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | moyen |
| *% cultures (1 km alentour) | <1 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 17 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire

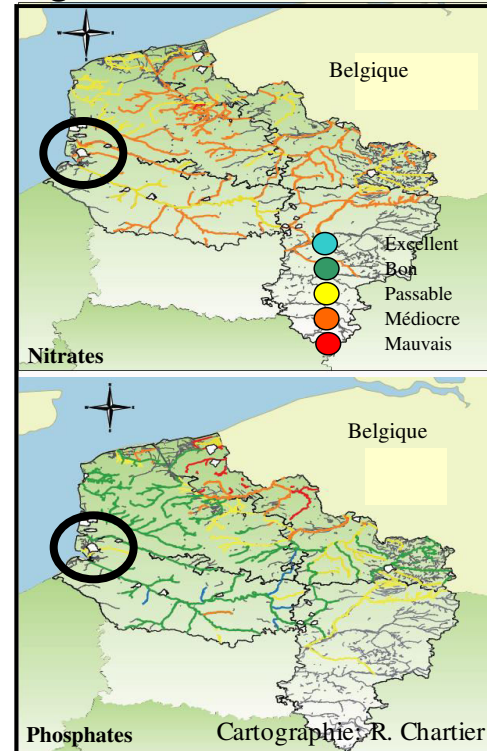
Profil altimétrique



Vues d'ensemble et aérienne de la mare



Qualité des rivières



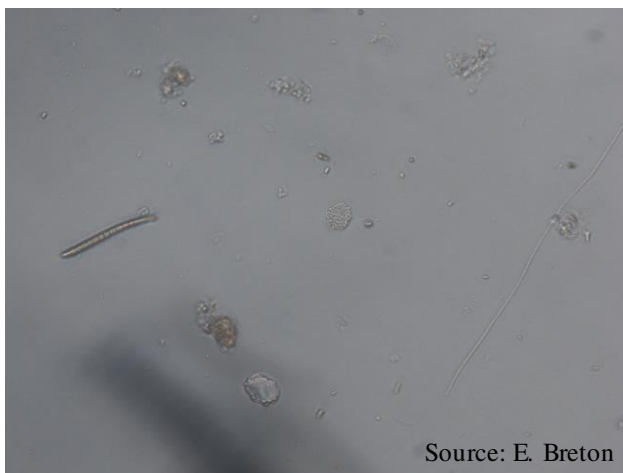
II-RESULTATS DES ANALYSES

| | Unité | Gamme | Moyenne sur 4 mois | Etat santé mare |
|---|-----------------------|-----------|--------------------------------|-----------------|
| Conductivité | µS/cm | | 51 | |
| Turbidité | NTU | | 1,9(16.1)/0,35(16.2) | ● |
| pH | sans unité | | 7,92(16.1)/7,6(16.2) | ● |
| P total | mg P/L | 0,01-0,1 | 0,04(16.1)/0,09(16.2) | ● ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | non déterminé | |
| NO ₃ ⁻ | mg NO ₃ /L | 0,02-1,15 | 0,12(16.1)/0,41(16.2) | ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO ₄ /L | 0,01-0,12 | 0,07(16.1)/0,06(16.2) | ● |
| Chla | µg/L | 0,3-4 | 1,8(16.1)/0,3(16.2) | ● |
| Bilan niveau trophique | | | | ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,75 | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Oedogonium/Rhizoclonium</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | aucune | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | <i>Closterium navicula</i> | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | Elodée du Canada | ● |
| Bilan final | | | | ● |

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

III-BILAN

L'eau des 2 mares est de bonne qualité physico-chimique selon la classification des eaux de surface par l'Agence de l'eau. Il en est de même d'un point de vue écosystémique. A noter, néanmoins, un développement significatif d'algues filamenteuses, malgré les teneurs relativement faibles en nitrates.



Eau de la mare au X400 en juillet

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

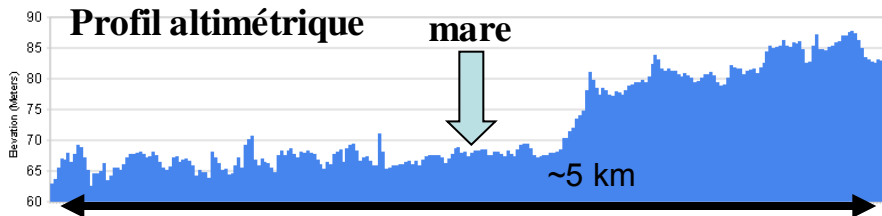
Il faudrait identifier l'espèce de jonc tapissant l'une des mares pour savoir s'il s'agit d'une espèce gourmande en N. Si ce n'est pas le cas, végétaliser la mare et ses berges avec des plantes gourmandes en N (typiquement les hélophytes hautes *Scirpus littoralis* (le jonc des chaisiers), *Phragmites australis* (le roseau commun), et *Typha latifolia* (La massette à larges feuilles) permettrait de piéger les nitrates, afin faire de la concurrence aux algues filamenteuses. Une bande enherbée d'au moins 10 m autour de la mare est préconisée. Afin de permettre également une végétalisation naturelle, les berges devraient avoir une inclinaison de 30° max. Une faible inclinaison favorise le dépôt et la germination de graines amenées par divers animaux et le vent. Une fois la mare végétalisée, un faucardage annuel est nécessaire pour se débarrasser des sels nutritifs piégés dans la végétation, et de la biomasse produite. Les déchets verts doivent être stockés impérativement à au moins 900m de la mare pour ne pas restituer à la mare les sels nutritifs reminéralisés lors de la décomposition des végétaux ou placés sur une plate-forme étanche.

DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

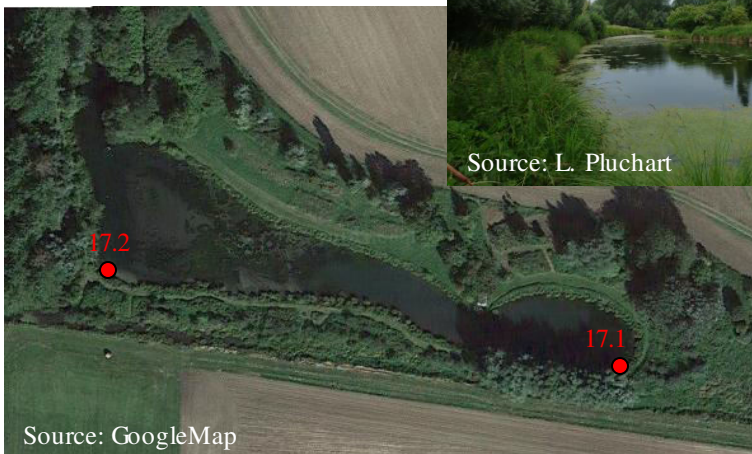
I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

| | |
|---|-------------------|
| n° ZH | 17 |
| Commune | Clastres |
| Département | 02 |
| Latitude (°N) | 49.746 |
| Longitude (°E) | 3.233 |
| Type ZH | mare artificielle |
| *Surface (ha) | 1,5 |
| Profondeur max (m) | 1,2 |
| Altitude (m) | 66 |
| Végétalisation | élevée |
| Ombrage (% surface mare) | 12 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | faible |
| *% cultures (1 km alentour) | 77 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 8 |

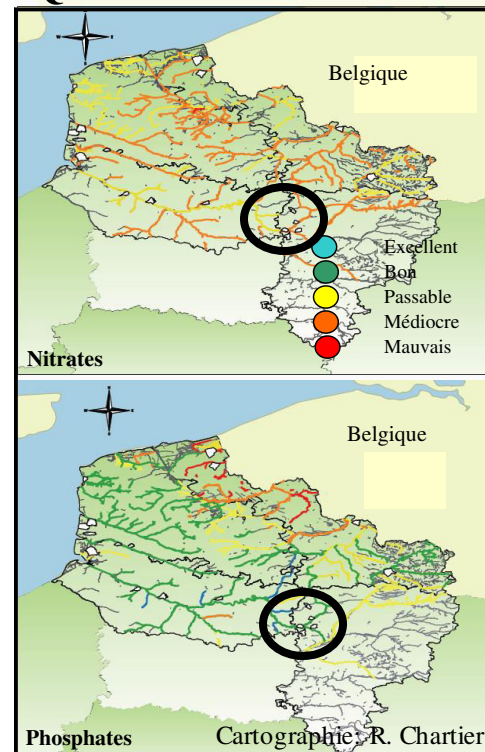
*calculé à partir d'imagerie satellitaire



Vues d'ensemble et aérienne de la mare



Qualité des rivières



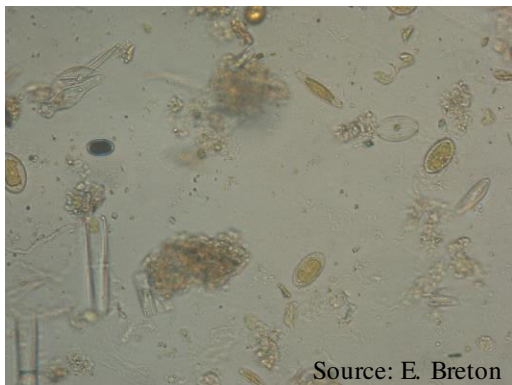
II-RESULTATS DES ANALYSES

| | Unité | Gamme | Moyenne sur 4 mois | Etat santé mare |
|---|-----------------------|------------|--|-----------------|
| Conductivité | µS/cm | | 503(17.1)/193(17.2) | |
| Turbidité | NTU | 0,2-19,5 | 7,9(17.1)/2,3(17.2) | ● |
| pH | sans unité | | 6,935 | ● |
| P total | mg P/L | 0,02-0,54 | 0,13(17.1)/0,16(17.2) | ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 1,24 | ● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO ₃ /L | 0,42-13,40 | 5,28(17.1)/6,46(17.2) | ● ● ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO ₄ /L | 0,01-0,05 | 0,04(17.1)/0,03(17.2) | ● |
| Chla | µg/L | 2,5-19 | 14,6(17.1)/5,6(17.2) | ● ● |
| Bilan niveau trophique | | | | ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,76 | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Melosira/Oedogonium/Rhizoclonium/Microspora</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | aucune | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | aucune | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | Lentilles | ● |
| Bilan final | | | | ● |

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

III-BILAN

L'eau de la mare est de bonne qualité physico-chimique selon la classification des eaux de surface par l'Agence de l'eau. Il en est de même d'un point de vue écosystémique. A noter, néanmoins, un développement excessif d'algues filamenteuses, dont la cause est difficile à identifier. En effet, les algues filamenteuses sont généralement favorisées dans des milieux riches en nitrates, ce qui n'est pas le cas ici, d'après les analyses. Le manque de poissons ne peut être dû non plus à un excès en nitrates.



Eau de la mare au X400 en juillet

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

Il faudrait végétaliser le marais et ses berges (avril à juin) avec des plantes gourmandes en N (typiquement les hélophytes hautes *Scirpus littoralis* (le jonc des chaisiers), *Phragmites australis* (le roseau commun), et *Typha latifolia* (La massette à larges feuilles)). Végétaliser permettrait de piéger une partie de ces nitrates, faire de la concurrence aux lentilles et aux algues filamenteuse, friandes en nitrates. Afin de permettre également une végétalisation naturelle, les berges devraient avoir une inclinaison de 30° max. Une faible inclinaison favorise le dépôt et la germination de graines amenées par divers animaux et le vent. Une fois la mare végétalisée, un faucardage annuel de ces hélophytes est nécessaire pour se débarrasser des sels nutritifs piégés dans la végétation, et de la biomasse produite. Les déchets verts doivent être stockés impérativement à au moins 900m de la mare pour ne pas restituer à la mare les sels nutritifs reminéralisés lors de la décomposition des végétaux ou placés sur une plateforme étanche.

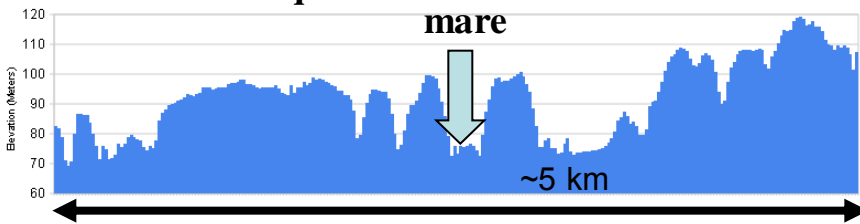
DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

| | |
|---|---------------------|
| n° ZH | 18 |
| Commune | Fontaine-lès-Clercs |
| Département | 02 |
| Latitude (°N) | 49.807 |
| Longitude (°E) | 3.224 |
| Type ZH | marais tourbeux |
| *Surface (ha) | 3,5 |
| Profondeur max (m) | 1 |
| Altitude (m) | 70 |
| Végétalisation | très élevée |
| Ombrage (% surface mare) | 20 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | moyen |
| *% cultures (1 km alentour) | 25 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 48 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire

Profil altimétrique

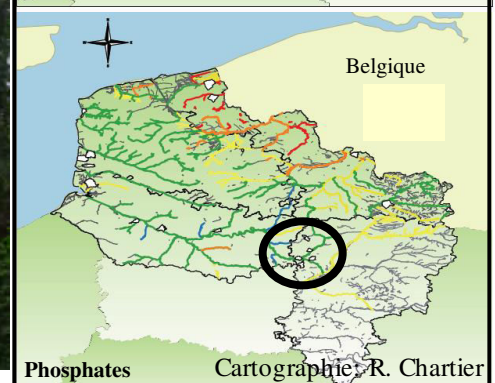
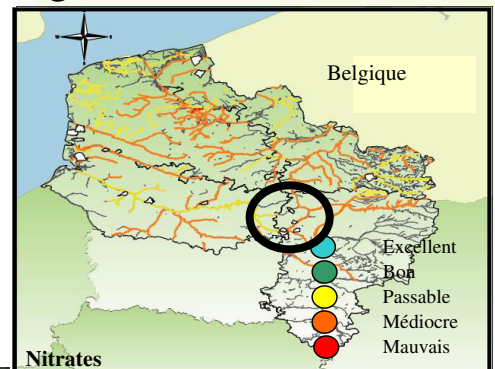


Vues d'ensemble et aérienne de la mare



Source: L. Pluchart

Qualité des rivières



Phosphates

Cartographie: R. Chartier

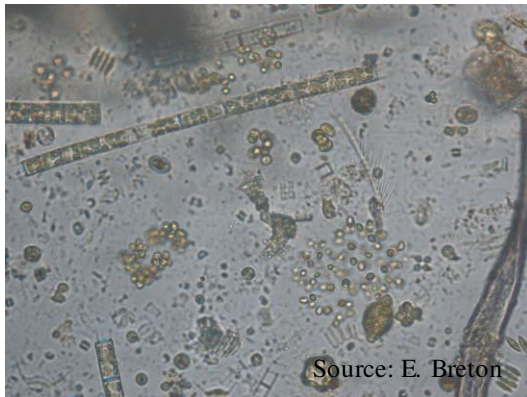
II-RESULTATS DES ANALYSES

| | Unité | Gamme | Moyenne sur 4 mois | Etat santé mare |
|---|------------|-----------|---|-----------------|
| Conductivité | µS/cm | 157-463 | 310 | |
| Turbidité | NTU | 2,8-7,4 | 4,8(18.1)/5,6(18.2) | ● |
| pH | sans unité | | 7,615 | ● |
| P total | mg P/L | 0,06-0,19 | 0,12(18.1)/0,13(18.2) | ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 1,24 | ● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | 0,66-5,77 | 1,91(18.1)/3,22(18.2) | ● ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | 0,02-0,09 | 0,04(18.1)/0,07(18.2) | ● |
| Chla | µg/L | 4,2-38,6 | 20(18.1)/14(18.2) | ● |
| Bilan niveau trophique | | | | ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,58 | ● ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Melosira</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | <i>Microcystis</i> | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | <i>Romeria gracilis/Centrifragus africanus/Dicellula Pseudostaurastrum limneticum+muticum/Pediastrum longicornae Tetradriella limbata/Lacunastrum gracillimum/Verrucodesmus/Coelastropsis costata</i> | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | aucune | ● |
| Bilan final | | | | ● |

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

III-BILAN

L'eau de la mare est de bonne qualité physico-chimique selon la classification des eaux de surface par l'Agence de l'eau, sauf pour les nitrates, pour laquelle elle est de qualité moyenne. La qualité écosystémique est bonne à moyenne. Le point 18-1 est qui est l'arrivée de la surverse du canal de Saint Quentin est de meilleure qualité en nitrates qu'au point 18.2. Les teneurs en phosphore sont très faibles, ce qui permet d'affirmer que l'oxygénation artificielle qui est mise en place pour limiter le relargage de phosphore des sédiments est devenu inutile. Néanmoins, pour en être sûr, il faudrait effectuer une analyse des sédiments en phosphore.



Eau de la mare au X400 en juillet

Source: E. Breton

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

Cette zone humide, d'après les analyses, ne nécessite aucun plan de restauration.

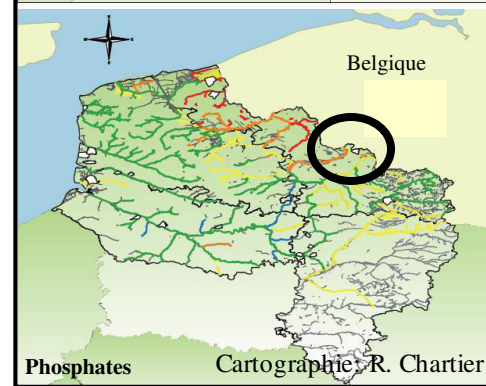
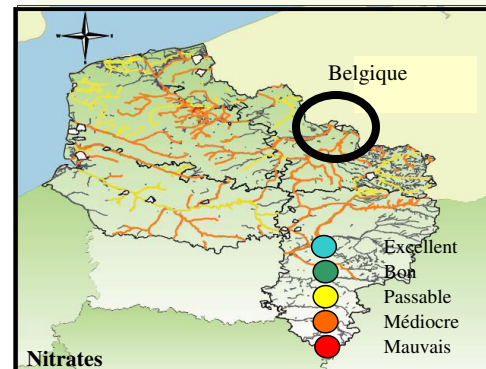
DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

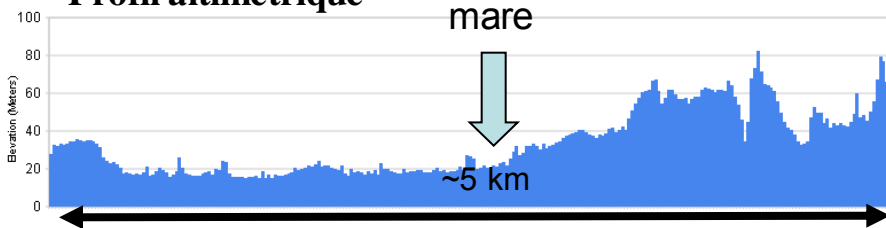
| | |
|---|------------------|
| n° ZH | 19 |
| Commune | Hergnies |
| Département | 59 |
| Latitude (°N) | 50.478 |
| Longitude (°E) | 3.521 |
| Type ZH | étang artificiel |
| *Surface (ha) | 0,71 |
| Profondeur max (m) | 0,8 |
| Altitude (m) | 16 |
| Végétalisation | inexistante |
| Ombrage (% surface mare) | 0 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | moyen |
| *% cultures (1 km alentour) | 7 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 7 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire

Qualité des rivières



Profil altimétrique



Vues d'ensemble et aérienne de la mare



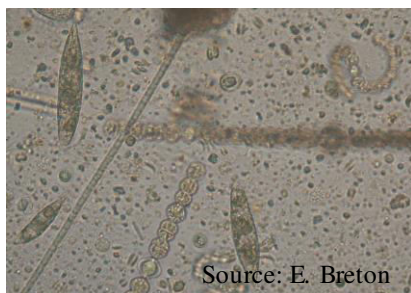
II-RESULTATS DES ANALYSES

| Conductivité | Unité | Gamme | Moyenne sur 4 mois | Etat santé mare |
|---|------------|-----------|--|-----------------|
| Turbidité | µS/cm | 71-101 | 90 | ● |
| pH | NTU | 48-87 | 62 | ● |
| | sans unité | 7.1 | | ● |
| P total | mg P/L | 0,19-0,96 | 0,22(19.1)/0,40(19.2) | ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 2,76 | ● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | 0,01-9,40 | 1,20(19.1)/2,37(19.2) | ● ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | 0,03-0,16 | 0,05(19.1)/0,10(19.2) | ● |
| Chla | µg/L | 71-101 | 86 | ● |
| Bilan niveau trophique | | | | ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,35 | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Oedogonium/Rhizoclonium</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | <i>Microcystis/Planktothrix/Limnothrix redekei</i> | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | <i>Pseudostaurastrum limneticum</i> | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | aucune | ● |
| Bilan final | | | | ● |

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

III-BILAN

L'eau de la mare est de qualité physico-chimique moyenne. L'état de santé de l'écosystème est relativement médiocre, les cyanobactéries potentiellement toxiques sont en quantité importante. **Il y a un risque sanitaire important, et Il convient donc d'empêcher le chien de boire l'eau de la mare, surtout en août.**



Eau de la mare au X400 en juillet

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

Les rivières de cette région sont de mauvaise qualité en P, et les proliférations de cyanobactéries ne sont pas isolées dans la région, suggérant une pollution de grande échelle par le P. Néanmoins, il est possible que cet excès de P soit dû au relargage de P par les sédiments. Pour mitiger les problèmes rencontrés, un curage peut être effectué, à condition que l'excès de P provienne d'un relargage de P des sédiments. Une analyse des sédiments doit être effectuée pour connaître sa charge interne, et être sûr qu'il ne s'agisse pas d'une pollution extérieure. Si les proliférations de cyanobactéries sont due à une pollution extérieure, le curage n'aura qu'un effet bénéfique à court terme. L'oxygénation artificielle permet de limiter le relargage de P par les sédiments. Pour diminuer les proliférations de cyanobactéries et la turbidité de l'eau, il y a aussi la possibilité de peupler le fond de la zone humide de moules Quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*). Mais, le procédé le plus communément utilisé est la végétalisation de la mare et des berges (avril à juin) avec des plantes gourmandes en P telle que la baldingère (*Phalaris arundinacea*), le cornouiller (*Salix caprea*) et le jonc épars (*Juncus effusus*). Végétaliser permettrait de piéger une partie du P, et faire ainsi de la concurrence au phytoplancton dont les cyanobactéries potentiellement toxiques, et diminuer la turbidité en stabilisant les berges et le fond de la mare. Afin de permettre la végétalisation, les berges devraient avoir une inclinaison de 30° max. Une faible inclinaison favorise le dépôt et la germination de graines amenées par divers animaux et le vent. Une bande enherbée d'au moins 10 m autour de la mare est préconisée. Une fois la mare végétalisée, un faucardage annuel à la fin de l'été est nécessaire pour se débarrasser des sels nutritifs piégés dans cette végétation, et de la biomasse produite. Les déchets verts doivent être stockés impérativement à au moins 900m de la mare pour ne pas restituer à la mare les sels nutritifs reminéralisés lors de la décomposition des végétaux, ou doivent être placés sur une plate-forme étanche.

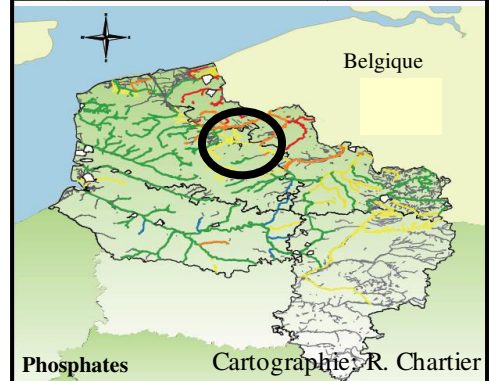
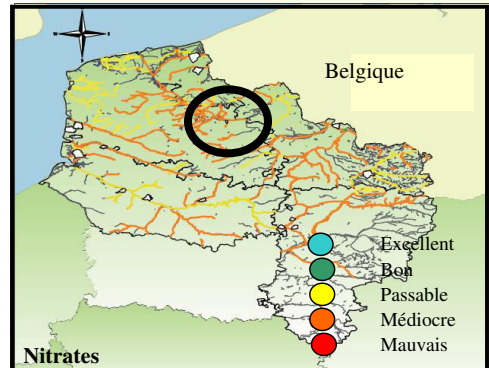
DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

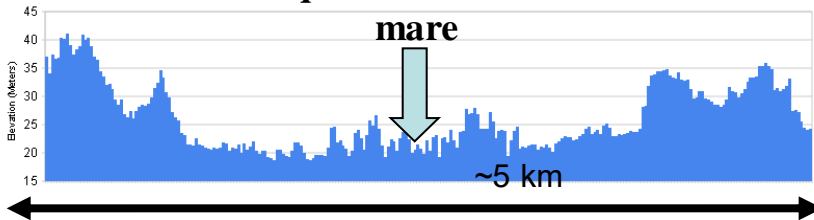
| | |
|---|-------------------|
| n° ZH | 20 |
| Commune | Cambrin |
| Département | 62 |
| Latitude (°N) | 50.519 |
| Longitude (°E) | 2.75 |
| Type ZH | mare artificielle |
| *Surface (ha) | 1,09 |
| Profondeur max (m) | 1 |
| Altitude (m) | 20 |
| Végétalisation | moyenne |
| Ombrage (% surface mare) | 5 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | moyen |
| *% cultures (1 km alentour) | 22 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 51 |

*calculé à partir d'imagerie satellitaire

Qualité des rivières



Profil altimétrique



Vues d'ensemble et aérienne de la mare



Source: GoogleMap



Source: L. Pluchart

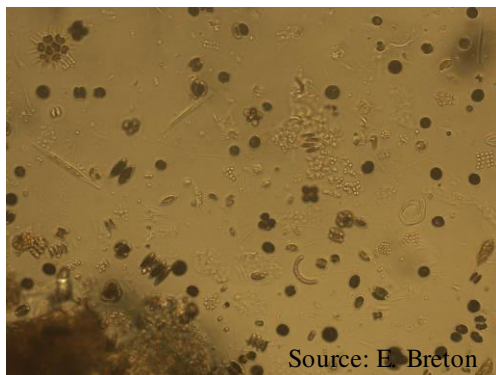
II-RESULTATS DES ANALYSES

| | Unité | Gamme | Moyenne sur 4 mois | Etat santé mare |
|---|------------|------------|---------------------------------|-----------------|
| Conductivité | µS/cm | 11,5-940 | 940(20.1)/11,5(20.2) | |
| Turbidité | NTU | | 11,2(20.1)/11,36(20.2) | ● |
| pH | sans unité | | 8,955 | ● |
| P total | mg P/L | 0,15-0,23 | 0,16(20.1)/0,16(20.2) | ● |
| N-kjeldahl | mg N/L | | 4,74 | ● |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | 4,55-61,86 | 17,91(20.1)/21,73(20.2) | ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | 0,01-0,10 | 0,06(20.1)/0,06(20.2) | ● |
| Chla | µg/L | 9,5-71 | 34(20.1)/45(20.2) | ● |
| Bilan niveau trophique | | | | ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | ● |
| indice IPLAC | sans unité | | 0,78 | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | <i>Spirogyra</i> | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | aucune | ● |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | aucune | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | Potamot crépu, élodée du Canada | ● |
| Bilan final | | | | ● |

● Excellent ● Passable ● Mauvais
● Bon ● Médiocre

III-BILAN

L'eau de la mare est de mauvaise qualité en terme d'azote. Néanmoins, l'état de santé écosystémique de la mare est bonne.



Eau de la mare au X400 en juin.

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTAURATION

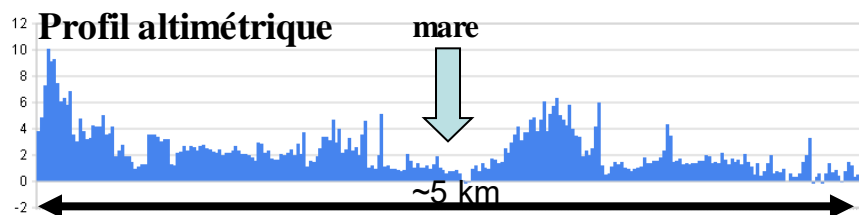
Il faudrait végétaliser la mare et ses berges (avril à juin) avec des plantes gourmandes en N (typiquement les héliophytes hautes *Scirpus littoralis* (le jonc des chaisiers), *Phragmites australis* (le roseau commun), et *Typha latifolia* (La massette à larges feuilles)). Végétaliser permettrait de piéger une partie de ces nitrates, faire de la concurrence à l'élodée du Canada. Afin de permettre également une végétalisation naturelle, les berges devraient avoir une inclinaison de 30° max. Une faible inclinaison favorise le dépôt et la germination de graines amenées par divers animaux et le vent. Une fois la mare végétalisée, un faucardage annuel de ces héliophytes est nécessaire pour se débarrasser des sels nutritifs piégés dans la végétation, et de la biomasse produite. Les déchets verts doivent être stockés impérativement à au moins 900m de la mare pour ne pas restituer à la mare les sels nutritifs reminéralisés lors de la décomposition des végétaux ou placés sur une plate-forme étanche.

DIAGNOSTIC D'EUTROPHISATION DES ZONES HUMIDES CHASSEES DES HAUTS-DE-FRANCE

I-IDENTITE DE LA ZONE HUMIDE

| | |
|---|-------------------|
| n° ZH | 22 |
| Commune | Loon plage |
| Département | 59 |
| Latitude (°N) | 50.094 |
| Longitude (°E) | 4.21 |
| Type ZH | mare artificielle |
| *Surface (ha) | 0.17 |
| Profondeur max (m) | 0,8 |
| Altitude (m) | 1 |
| Végétalisation | inexistante |
| Ombrage (% surface mare) | 0 |
| *Pouvoir tampon du paysage (1 km alentour) | faible |
| *% cultures (1 km alentour) | 98 |
| *% paysage non modifié par l'homme (1km alentour) | 0 |

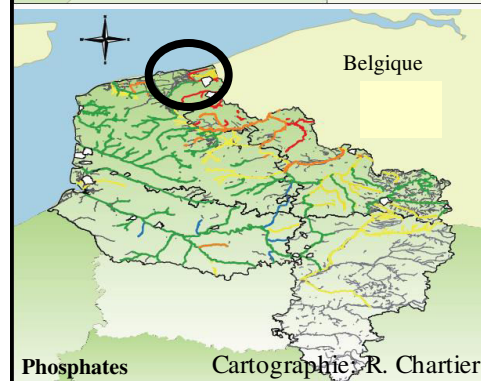
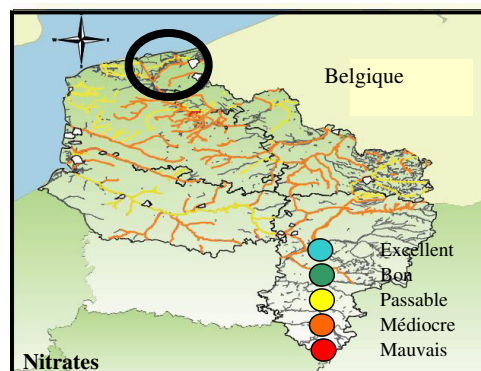
*calculé à partir d'imagerie satellitaire



Vue aérienne de la mare



Qualité des rivières



II-RESULTATS DES ANALYSES

- Excellent
- Bon
- Passable
- Médiocre
- Mauvais

| Conductivité | Unité | Gamme | prélèvement unique (septembre) | | Etat santé mare |
|---|------------|-------|--------------------------------|--------|---------------------------------------|
| Turbidité | NTU | | | 1,75 | ● |
| pH | sans unité | | | | |
| P total | mg P/L | | | 0,09 | ● |
| N-kjeldahl | | | | 1,1 | ● |
| N total | mg N/L | | | | |
| NO ₃ ⁻ | mg NO3/L | | | 0,03 | ● |
| PO ₄ ³⁻ | mg PO4/L | | | 0,04 | ● |
| Chla | µg/L | | | 2 | ● |
| Bilan niveau trophique | | | | | ● |
| Bilan Qualité SEQ | | | | | ● |
| indice IPLAC | sans unité | | | 0,98 | ● |
| Algues filamenteuses | sans unité | | | aucune | ● |
| Cyanobactéries potentiellement toxiques | sans unité | | | aucune | |
| Espèces phytoplanctoniques rares | sans unité | | | | |
| Espèces végétales invasives | sans unité | | | aucune | ● |
| Bilan final | | | | | ● |

III-BILAN

La qualité physico-chimique de l'eau de la mare est bonne, et la qualité écosystémique excellente. Il n'y a, donc, aucune restauration à envisager.



Eau de la mare au X400 en septembre

IV-SOLUTION POSSIBLE DE RESTORATION

Néant