

Syndicat Mixte EDENN  
32 quai de Versailles  
44000 NANTES



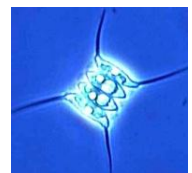
**Le Lac de Vioreau :**  
Etude-diagnostic de l'Eutrophisation  
Plan d'actions

**Synthèse**

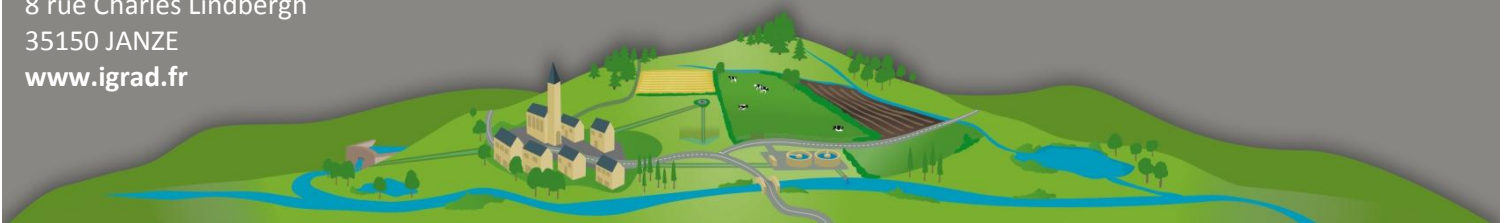
**2017**



Limnologie sarl

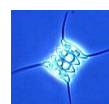


8 rue Charles Lindbergh  
35150 JANZE  
[www.igrad.fr](http://www.igrad.fr)



## SOMMAIRE

I.	Fonctionnement hydraulique de Vioreau .....	3
II.	Diagnostic des sources de Phosphore à l'échelle du bassin versant .....	4
III.	Fonctionnement hydrobiologique de Vioreau .....	6
III.1.	Le Vioreau comparé aux lacs suivis par l'AELB .....	6
III.2.	Le suivi sanitaire estival des eaux de baignade de Vioreau .....	7
III.3.	Paramètres intervenant dans le soutien des blooms .....	7
III.4.	Secteurs d'apparition des cyanobactéries .....	8
III.5.	Le domaine climatique .....	9
III.6.	Statut trophique et nutriments .....	10
III.7.	Morphologie lacustre .....	11
III.8.	Le régime des vents .....	12
III.9.	Déstratification des eaux .....	13
III.10.	Autres sources interne de phosphore: pêcheurs, oiseaux et poissons .....	13
IV.	Conclusions du diagnostic – Vers des actions de reconquête .....	15



## I. Fonctionnement hydraulique de Vioreau

Le lac de Vioreau constitue un grand réservoir d'une capacité d'environ 7 Mm<sup>3</sup>, destiné en priorité à l'alimentation du canal de Nantes à Brest. Sur ce plus grand plan d'eau navigable de Loire Atlantique se développent également des activités nautiques et de baignade, qui se voient régulièrement perturbées lors de la saison estivale, en raison du risque sanitaire lié aux récurrents blooms de cyanobactéries.

Ce lac artificiel s'inscrit dans un grand bassin versant de 84,9 km<sup>2</sup>, incluant trois plans d'eau en cascade : Poitevineière (62 ha), Provostière (75 ha) et Vioreau (178 ha). Les investigations réalisées sur le terrain en 2016, ont conduit à redéfinir les limites actuelles de son bassin versant d'alimentation (Figure 1). La partie Est de ce grand BV n'est aujourd'hui plus connectée à Vioreau (depuis au moins 5 ans), tandis que le sous-bassin versant de l'Estival (partie Ouest) envoie une partie de ses eaux vers Vioreau. La taille du bassin versant d'alimentation est diminuée, passant de 84,9 km<sup>2</sup> à 44,2 km<sup>2</sup>.

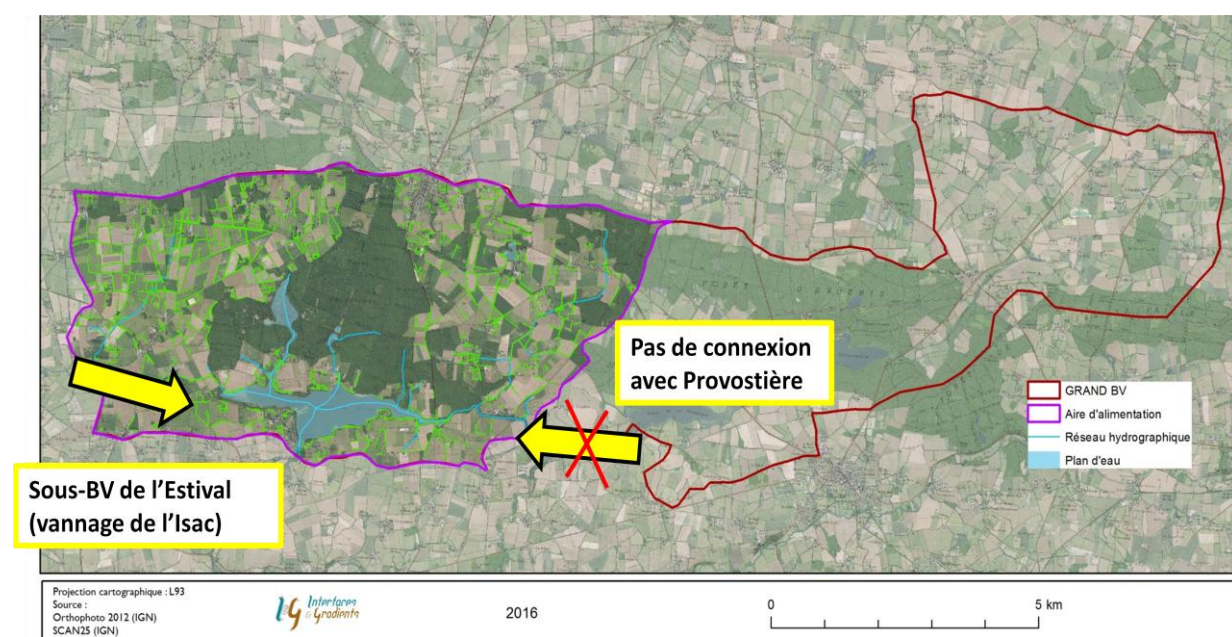


Figure 1 : Redéfinition des limites actuelles du bassin versant d'alimentation de Vioreau

Ce fonctionnement hydraulique n'est cependant pas figé dans le temps. Selon les besoins de remplissage en eau du Vioreau, la connexion avec Provostière pourrait être rétablie via la rigole des Ajots. Quelle que soit la taille du bassin versant envisagée, le territoire présente une importante surface boisée (43 % à l'échelle du BV complet) et une densité élevée du linéaire de haies (70 ml/ha) : ce qui place ce secteur dans un contexte relativement préservé vis-à-vis du risque lié à l'érosion des terres agricoles.

## II. Diagnostic des sources de Phosphore à l'échelle du bassin versant

La recherche des sources de Phosphore à l'échelle du bassin versant recoupe tous les usagers, urbains et ruraux (Figure 2). Le parc d'assainissement collectif, réduit sur le BV de Vioreau est localisé sur la commune de la Meilleraye-de-Bretagne avec une boue activée (1900 EH) et un filtre planté de roseaux (10 EH). La STEP de 1900 EH produit le seul rejet d'effluent traité, dont les résultats du suivi de performance épuratoire concluent à un bon fonctionnement de la station. Le flux de Phosphore rejeté dans le milieu est faible au regard du flux théorique véhiculé dans les cours d'eau du BV.

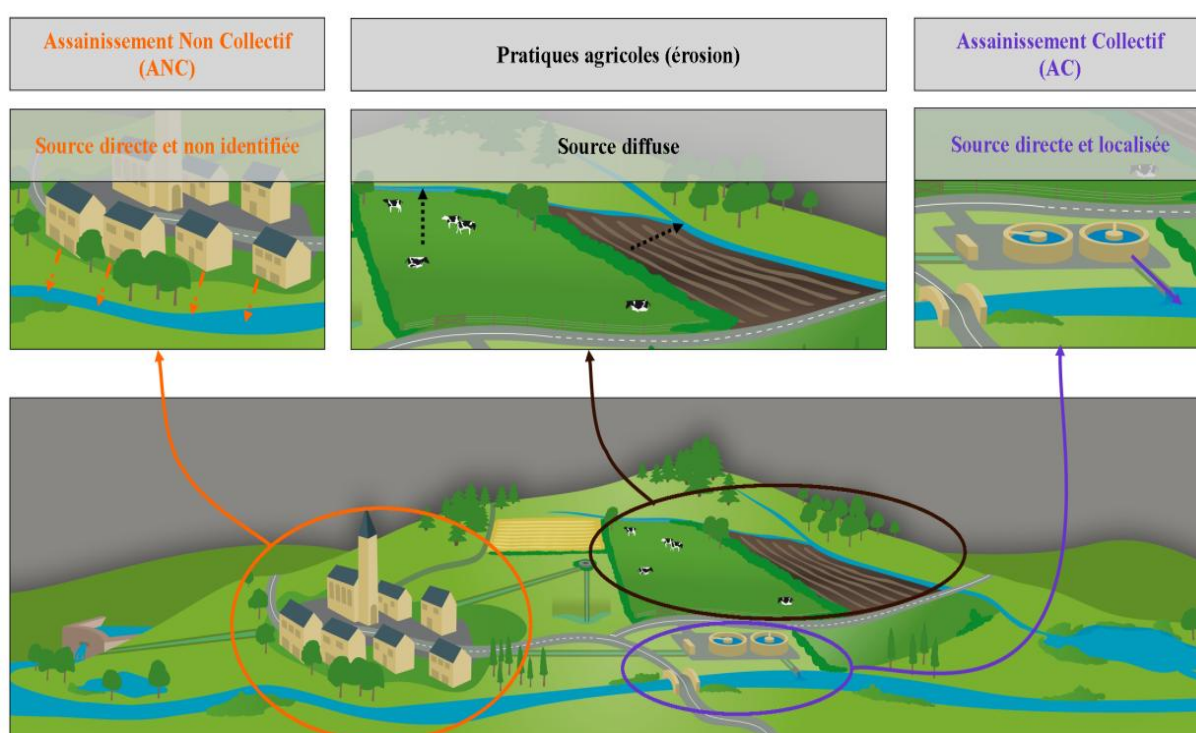
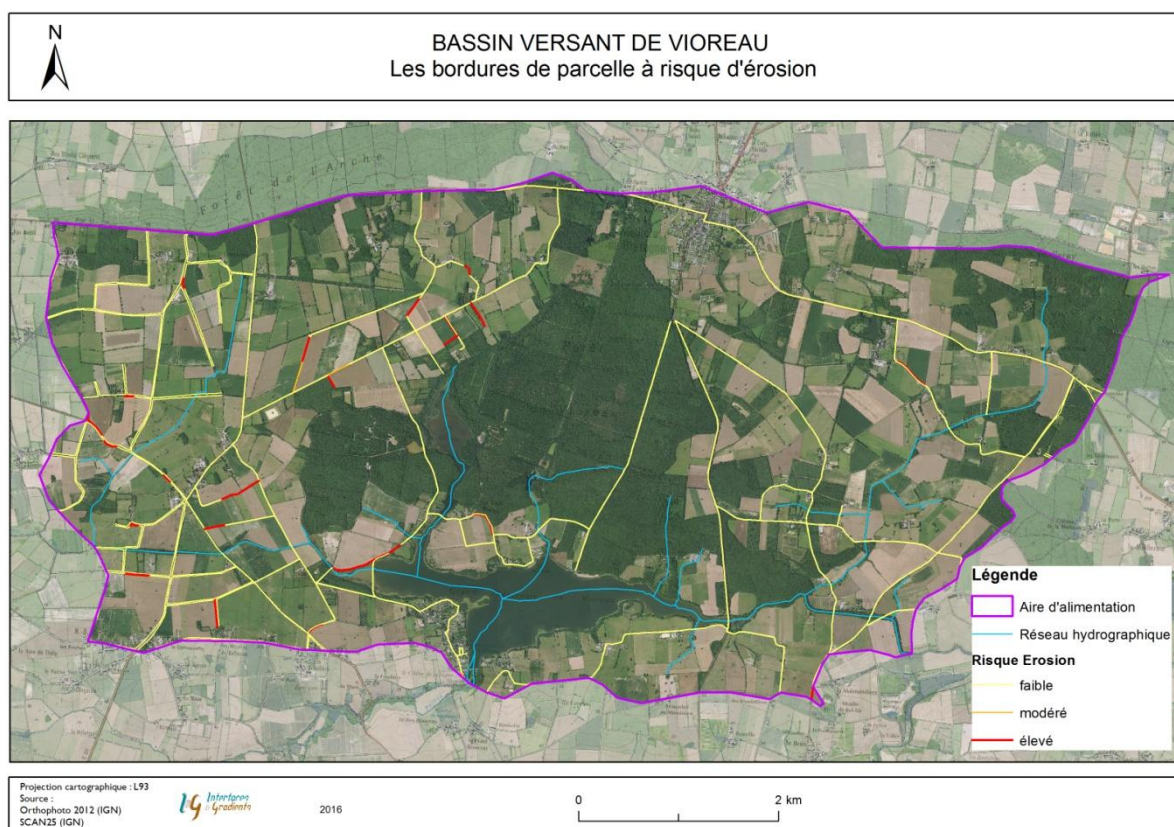


Figure 2 : Les différentes sources de Phosphore à l'échelle du bassin versant (Interfaces et G.)

Le poids de l'assainissement non collectif, estimé sur la base d'une hiérarchisation des habitations par rapport à leur distance aux cours d'eau/plan d'eau, n'apparaît pas non plus être une source discriminante pour Vioreau. L'assainissement autonome, dispersé n'est pas dense ni localisé près du réseau hydrographique.

La pression liée à l'érosion potentielle des terres agricoles a été déterminée grâce à une approche terrain focalisée sur les parcelles potentiellement sources d'érosion, indirectement connectées au cours d'eau. Ce sont les fossés circulants qui jouent le rôle de lien hydraulique, pouvant dans certaines configurations court-circuiter la fonction de protection de la bande enherbée le long du cours d'eau.

L'ensemble du linéaire des bordures de parcelles du bassin versant de Vioreau a été classé selon un risque potentiel d'érosion et de transfert, faible à élevé (Figure 3). Pour les bordures de parcelles classées à risque potentiel élevé d'érosion (peu nombreuses), il n'a pas été possible de les traduire en un risque avéré d'érosion, étant donné les conditions climatiques rencontrées lors des hivers 2015 et 2016. Le prolongement d'étéage, exceptionnellement tardif a limité les phénomènes de ruissellement sur ces sols agricoles, peu couverts à cette période (blé d'hiver).



**Figure 3 : Classement des bordures de parcelles selon un risque d'érosion et de transfert des particules de sols au fossé sur le bassin versant de Vioreau**

Au final, le lac de Vioreau présente une pression anthropique faible à l'échelle de son bassin versant : ce qui le différencie des nombreux lacs et réservoirs du Grand Ouest, que nous avons pu étudier ces 15 dernières années.

Les actions de sensibilisation et de communication qui seront préconisées à cette échelle d'investigation, seront destinées à maintenir ce "faible" degré d'impact du bassin versant sur Vioreau.

### III. Fonctionnement hydrobiologique de Vioreau

#### III.1. Le Vioreau comparé aux lacs suivis par l'AELB

Les principales caractéristiques du lac de Vioreau ont été comparées à un ensemble de 48 lacs situés en Centre-Limousin et en Bretagne-Pays de Loire (source AELB).

La disponibilité des nutriments ne paraît poser aucune limitation pour la croissance de la biomasse, et le rapport entre azote et phosphore indique un milieu particulièrement favorable aux proliférations de cyanobactéries. Alimentées par des eaux provenant essentiellement de massifs schisteux, les eaux du Vioreau sont en outre riches en fer, soufre, et autres oligo-éléments indispensables au développement des algues. Les sédiments du lac sont principalement de nature minérale et montrent une faible accumulation de matière organique, ce qui paraît indiquer un recyclage de la matière organique relativement rapide.

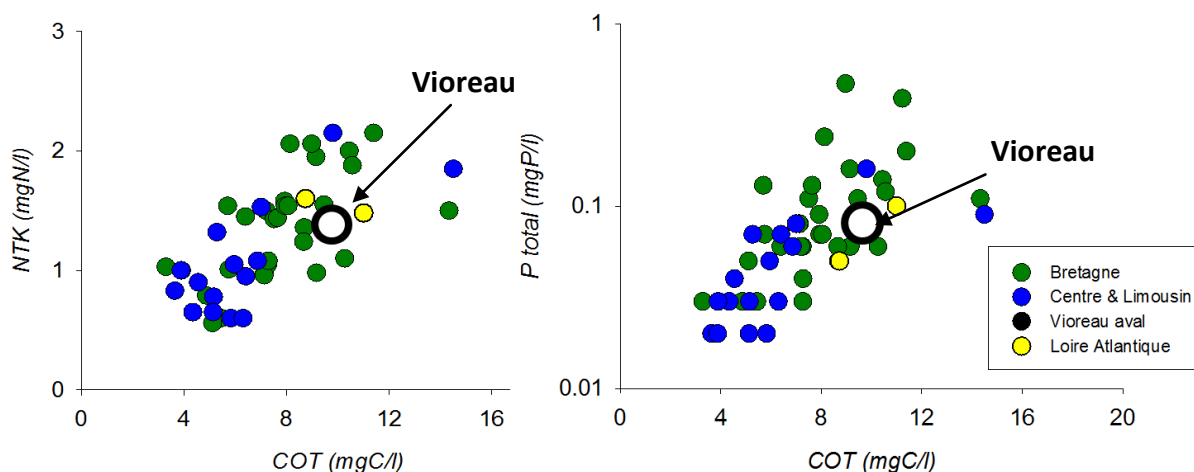
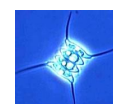


Figure 4 : Etat trophique (concentrations moyennes en azote, phosphore, carbone) des eaux des lacs suivis par l'Agence de l'Eau Loire Bretagne

#### • Bilan :

Le lac de Vioreau apparaît similaire aux lacs de plaine du Grand Ouest, peu profonds, non stratifiés, de faible volume et fréquemment eutrophes (riches en nutriments). Ces retenues tendent à restituer en permanence ces nutriments des vases vers la masse d'eau (par recyclage, diffusion et relargage), ce qui permet d'alimenter en continu la potentielle production de biomasse algale et de cyanobactéries.



### III.2. Le suivi sanitaire estival des eaux de baignade de Vioreau

En période estivale, un suivi sanitaire de la qualité des eaux de baignade est réalisé par l'Agence régionale de santé (ARS). Depuis 2004, la présence de Cyanobactéries dans la zone de baignade est avérée et récurrente.

De 2004 à 2015, les dépassements estivaux sont fréquents. Au niveau de la plage, les dépassements du niveau sanitaire 1 (>20 000cell/ml) sont en effet observés chaque année. Le passage au-delà du niveau 3 (> 100 000 cellules/ml) a été mesuré 9 années sur 11. La durée du bloom estival peut s'étendre sur plus de la moitié de la période estivale ( ex : de 2008 à 2013).

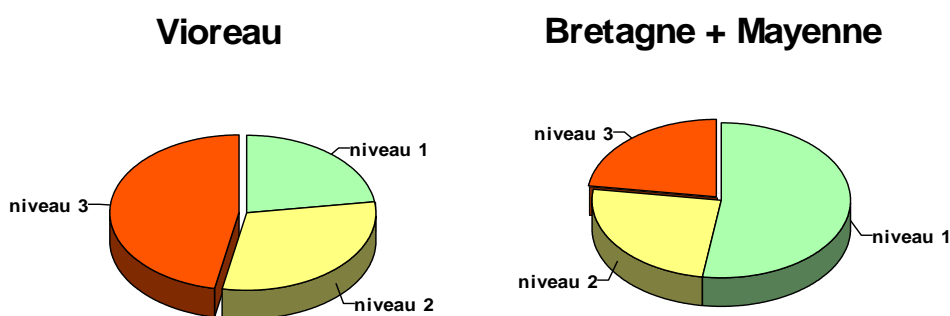


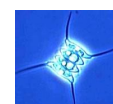
Figure 5 : Fréquence de distribution des seuils d'alerte OMS dans le Lac de Vioreau, entre 2004 et 2015

### III.3. Paramètres intervenant dans le soutien des blooms

Un lac n'est pas un système fermé, mais un réacteur biologique ouvert qui reçoit des nutriments et de l'énergie (sous forme de chaleur et de lumière) et les convertit en biomasse, phytoplancton puis zooplancton et faune, piscicole et aviaire principalement ; c'est-à-dire en matières organiques.

On a pu localiser les zones d'émergence et de recrutement des blooms dans les secteurs attendus, envasés et peu profonds. Bien exposées, peu profondes et alimentées en nutriments par les tributaires, elles hébergent les premières étapes de développement du plancton.

Les zones médianes sont les secteurs de transfert entre amont et aval, souvent peu chargés en flore planctonique. Les zones aval, à proximité du barrage, constituent des zones d'accumulation de la flore produite plus en amont. Dans ces secteurs, la disponibilité des nutriments est marginale et leur renouvellement est soumis à l'intensité et à la fréquence des relargages de l'azote et du phosphore depuis les sédiments, ainsi qu'au mélange des eaux profondes (riches en nutriments) et des eaux de surface (riches en biomasse mais pauvres en nutriments).



### III.4. Secteurs d'apparition des cyanobactéries

Les mesures réalisées début juin 2015 montraient que les densités cellulaires maximales étaient rencontrées entre 1,5 et 2,5 mètres sous la surface, et augmentaient de l'amont à l'Est vers l'aval au Sud.

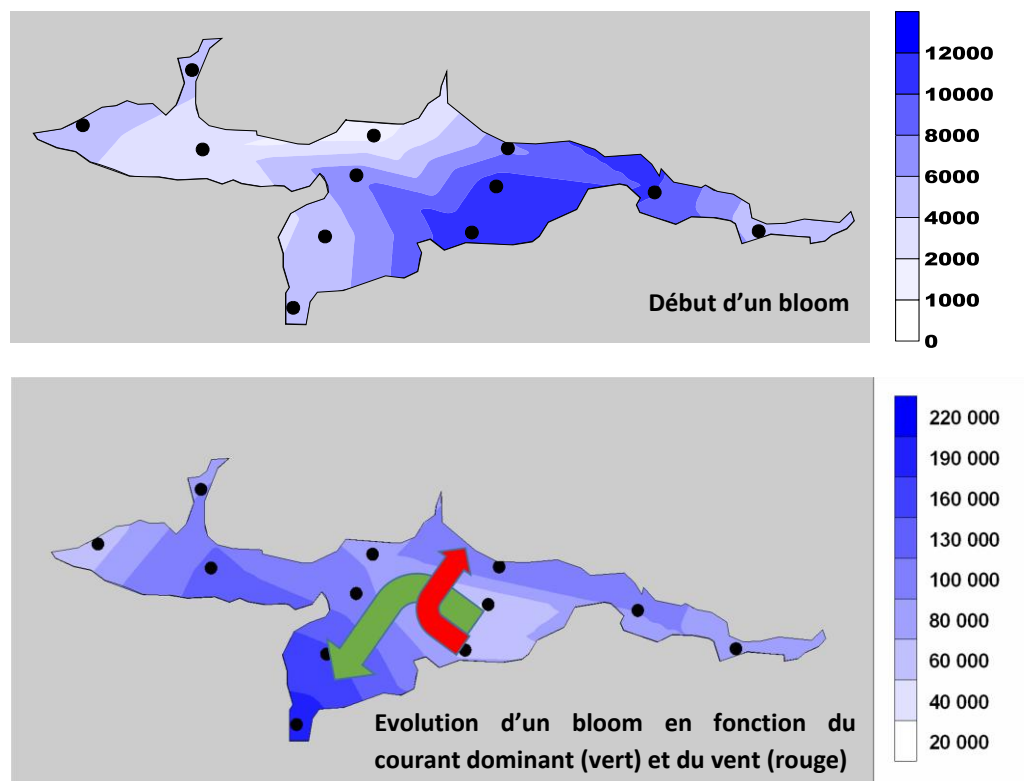


Figure 6a 6b : Répartition spatiale des densités de cyanobactéries présentes à la surface des vases en début de période de bloom (cell/ml), au printemps et lors du développement du bloom en place.

Les secteurs d'apparition de la flore doivent recevoir de la lumière, il s'agit donc de zones peu profondes s'étendant de -1 mètre jusqu'à -4 à -5 mètres sous la surface. La croissance de la biomasse nécessite également un soutien trophique. Les zones de fort déficit en oxygène dissous ( $O_{2d}$ ), sujettes à des phases d'anoxie ponctuelle, peuvent assurer l'alimentation de la biomasse grâce à la charge interne au lac.

Par recoupement, les zones favorables à l'émergence des cyanobactéries comprennent les secteurs exposés à la lumière jusqu'au fond sur les bords de la plaine centrale du lac, et sur les flancs Sud-Ouest et Nord-Est des queues de retenue. Ces zones de recrutement peuvent, de plus, remonter vers l'amont au fur et à mesure de la stabilisation des conditions météorologiques en cours d'été : les températures plus élevées permettent le recyclage rapide de la matière organique et la fourniture de nutriments au bloom naissant.

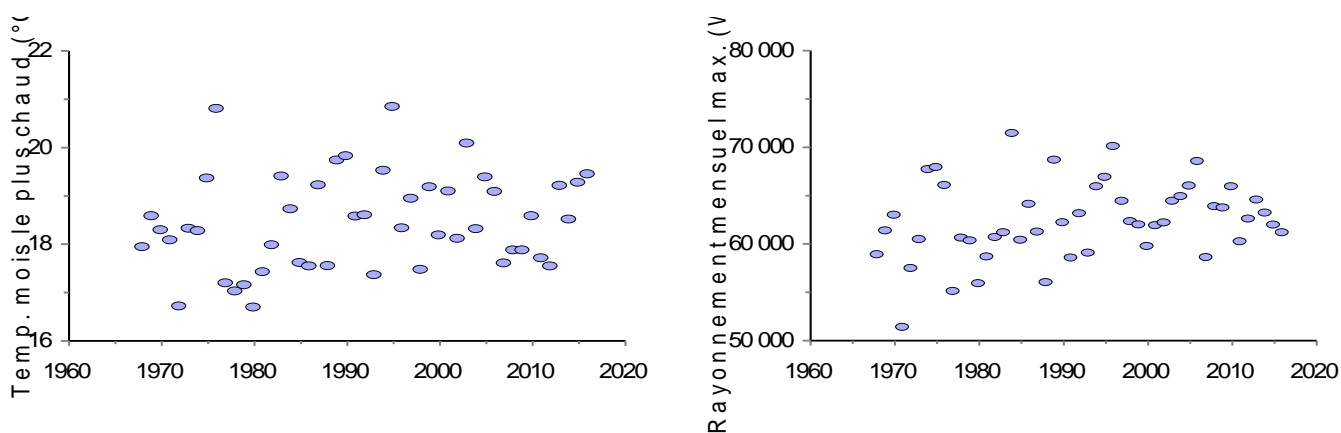


En termes de progression spatiale, les cyanobactéries, partant du fond sur le flanc Est, colonisaient la masse d'eau du fond vers la surface au droit de la zone de baignade (ref figure 6b). Elles suivaient ensuite les écoulements préférentiels dans un vaste virage vers le Sud pour atteindre leur maximum au niveau du barrage.

### III.5. Le domaine climatique

On peut noter, en comparaison avec la Bretagne et la Mayenne, que les caractéristiques climatiques du Vioreau se situent dans des gammes optimales pour la plupart des espèces de cyanobactéries potentiellement toxiques, notamment pour les *Anabaena* et *Microcystis*. Pourtant, si le Vioreau est situé dans un domaine globalement chaud et ensoleillé, pour la période mai-octobre les températures et les cumuls de rayonnement restent, depuis les années 2000, en recul sensible par rapport à la décennie précédente.

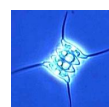
Ce recul est d'autant plus significatif que dans le même temps les moyennes et cumuls annuels étaient en progression régulière : en 50 ans, les températures moyennes annuelles ont augmenté de 0,7°C, la pluviométrie de 25 % (avec des maxima qui ont quasiment doublé), et le rayonnement global de 5 % par rapport aux moyennes de 1968-1978.



**Figure 7 : Evolution des températures moyennes et de l'ensoleillement cumulé pour les mois les plus chauds (90<sup>ème</sup> centile) depuis 1968 à Nort sur Erdre**

Cette évolution semble traduire des passages de perturbations plus fréquents pendant les mois les plus chauds (juillet et août :

Figure 7), et pourrait contribuer à contenir l'expansion des cyanobactéries.



### III.6. Statut trophique et nutriments

L'utilisation de l'indice Carlsson-OCDE montre que la disponibilité des nutriments, bien qu'élevée, ne figure pas parmi les plus fortes des plans d'eau du grand Ouest, ce qui est, à priori, en contradiction avec les valeurs de densité et de durée des épisodes de prolifération enregistrés à la plage. Cet indice ne rend cependant pas compte de l'évolution de la disponibilité des nutriments au sein du lac, au cours du trajet des cyanobactéries entre les zones d'émergence et les points de suivi.

Ces différences ont été mises en évidence au travers des mesures de quotas cellulaires, qui représentent la fraction d'azote et de phosphore disponible dans chaque cellule (réserves cellulaires). On peut alors noter que les cellules paraissent se recharger en azote et en phosphore dans les queues de retenue au début de leur parcours vers l'aval. Leurs réserves s'érodent ensuite graduellement vers la confluence, puis continuent à décroître vers le barrage.

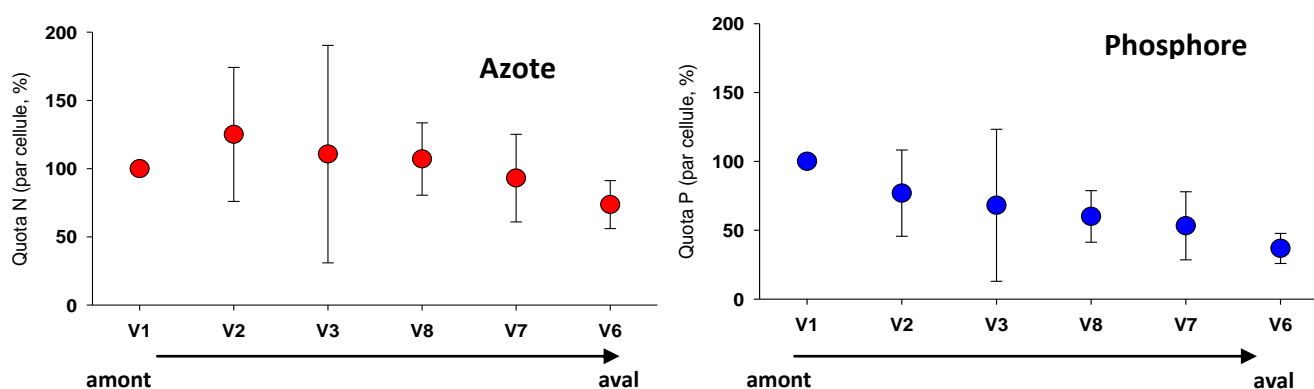
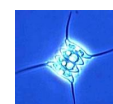


Figure 8 : Evolution des quotas intracellulaires de N et P selon l'axe de circulation principal

On peut en déduire que les cyanobactéries, qui ont constitué des réserves de nutriments en amont (queues du lac), arrivent dans le secteur aval en état de carence cellulaire. Il est donc nécessaire qu'elles puissent reconstituer leurs réserves, et toute source de phosphore va donc s'avérer déterminante pour la suite de leur développement.

Cette source aval n'est pas mise en évidence en 2015 et 2016, et le bloom tend à s'effondrer en fin de progression.



### III.7. Morphologie lacustre

Les plans d'eau peu profonds présentent des conditions plus favorables aux fortes densités cellulaires, notamment grâce à un réchauffement plus rapide des eaux dans les zones de haut fonds, ce qui facilite le recrutement des cyanobactéries en début de saison. La taille du bassin-versant du Vioreau, faible par rapport au volume du lac, agit comme un facteur aggravant, au travers d'un faible renouvellement des eaux conjugué à un réchauffement rapide au printemps.

Au vu de la taille réduite de son bassin versant actuel, le lac de Vioreau se situe dans la gamme des renouvellements en eau faibles, qui favorisent les fortes concentrations de microcystines, ce qui est cohérent avec les observations disponibles (Vioreau : microcystines détectées dans 33 % des échantillons analysés contre 7 % des échantillons en Bretagne et Mayenne).

Compte-tenu des débits disponibles sur l'ensemble du bassin d'alimentation, une réduction des cyanobactéries par gestion hydraulique des temps de séjour paraît difficilement réalisable, puisqu'il faudrait réduire encore le volume du lac à un niveau incompatible avec sa vocation de soutien d'étiage et d'alimentation du canal.

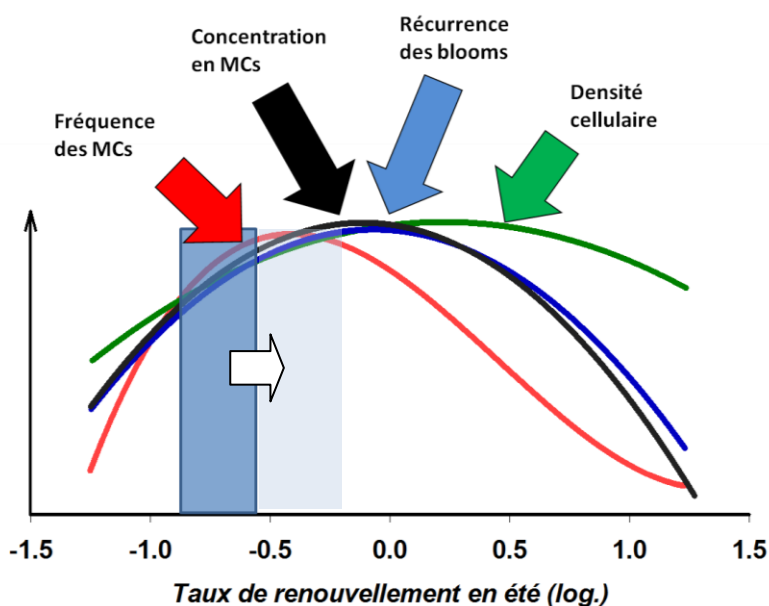
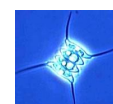


Figure 9: Positionnement du Vioreau vis-à-vis des cyanobactéries et toxines pour son bassin versant actuel (à gauche) ou pour son bassin complet (à droite)

Le taux de renouvellement serait plus important si l'ensemble du BV était à nouveau connecté via la rigole des Ajots. La situation du lac se décale sur la droite sur la figure 9, pas suffisamment pour apporter une réponse positive à la lutte contre les cyanobactéries.



### III.8. Le régime des vents

Le régime des vents a été identifié comme l'un des paramètres aggravants vis-à-vis des cyanobactéries observées au niveau de la plage, face au Sud-Ouest.

Les vents provenant d'un secteur 140 à 230° N, majoritaires pendant la période mai-octobre (Figure 10) auront tendance à repousser les cyanobactéries flottantes (potentiellement toxiques) vers la zone de baignade (sens contraire du courant dominant).

Puis, le régime des vents évolue pendant la période estivale : les vents d'Ouest sont majoritaires en début d'été (juin à août) avec une fréquence diminuant jusqu'en septembre.

Les vents de Sud-Ouest tendent au contraire à augmenter à partir de juin, pour devenir dominants en août (période de plus forte fréquentation) et septembre.

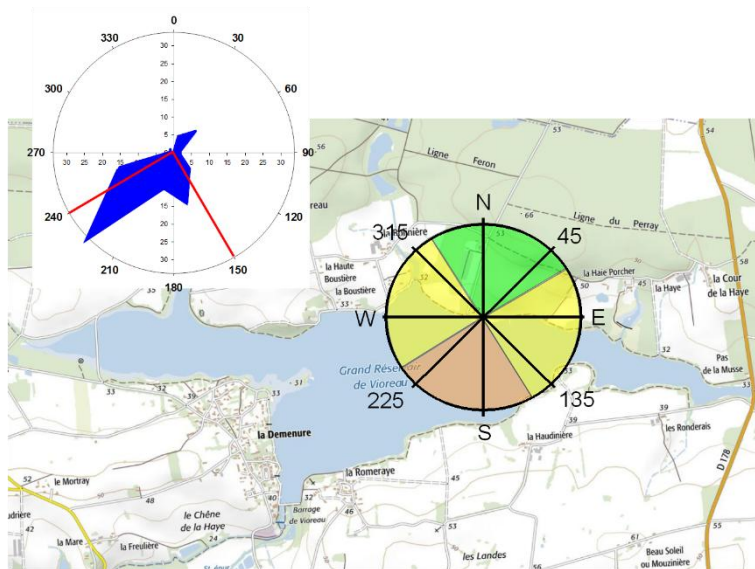


Figure 10 : Orientation de la plage et vents dominants enregistrés à la station de Nort-sur-Erdre

Sur le long terme, un basculement des dominances est observé et se doit d'être pris en compte : les vents dominants étaient ainsi exclusivement d'Ouest au cours des années 1995 à 2005 (entre 240 et 300°N), et sont majoritairement de Sud-Ouest depuis une dizaine d'années (donc vers la plage).

Globalement, en raison des déplacements de cyanobactéries sous l'action du vent, ces trois paramètres (orientation de la plage, évolution saisonnière des vents et basculement à long terme des vents dominants) ont contribué à amplifier les risques d'exposition aux cyanobactéries en augmentant la fréquence, la durée et l'intensité des dépassements des seuils OMS.

### III.9. Déstratification des eaux

Le régime des vents peut également contribuer à l'alimentation de la flore en nutriments grâce aux épisodes de déstratification. Au cours de l'été, une fraction importante du phosphore est présente, sous formes dissoutes, biodisponibles, dans les eaux profondes en anoxie, sous la thermocline.

Les résultats de mesure en continu de la température au fond du lac montrent que celui-ci a connu, d'août à septembre 2016, entre 1 et 3 épisodes de déstratification par semaine, et que ces épisodes pouvaient durer de 4 à 48 heures. Pendant leur période de croissance estivale, les cyanobactéries ont ainsi accès plusieurs fois par semaine aux ressources trophiques accumulées dans les eaux profondes, et les nutriments des eaux profondes (phosphore, fer, soufre, ammoniacque...) viennent s'ajouter aux nutriments disponibles dans la lame d'eau superficielle.

### III.10. Autres sources interne de phosphore: pêcheurs, oiseaux et poissons

#### • *Pêche et appâtage*

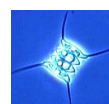
L'impact de l'appâtage, qui est un apport de phosphore externe au système lac + bassin versant, a été évalué en couplant des mesures de la capacité de relargage en phosphore de farines d'appâtage et l'enquête de fréquentation réalisée par la Fédération Départementale de la Pêche pendant l'été 2016. Il atteint près de 35 kg de P en 6 mois, dont 12 kg sous forme de phosphates, directement assimilables par la flore. La moitié de ces apports est assurée par le seul enduro carpe du mois de septembre.

#### • *Oiseaux*

L'impact des oiseaux d'eau a été évalué à partir des relevés réalisés par la LPO: les effectifs totaux évoluent ainsi, au cours de la saison estivale, de 140-160 individus en mai-juin à un maximum de 1 000 à 1 900 individus en septembre et octobre. Au total, les apports associés aux oiseaux représentent un total de 32 kg en 6 mois, dont 11 kg sous forme de phosphates assimilables. Ces apports peuvent avoir une origine mixte, interne au lac (oiseaux piscivores) ou au bassin versant, mais également externe (oiseaux se nourrissant à l'extérieur du système lac + bassin).

#### • *Poissons*

Nous avons estimé la distribution de la biomasse piscicole avec l'avis du BE Fishpass et des résultats des pêches organisées pour le RCS (données AELB). Cette distribution permet d'estimer les apports de phosphore à environ 95 kgP en 6 mois, dont 47 kg sous forme de phosphates directement assimilables par les cyanobactéries et la flore.



• **Bilan**

Ces trois sources conjuguées que constituent la pêche, les oiseaux et les poissons peuvent contribuer, en première approximation, à un apport équivalent à 140 kg de Phosphore dans la masse d'eau du Vioreau pendant les 6 mois favorables à la croissance des cyanobactéries. Ces apports ne sont cependant pas distribués de manière homogène sur la saison: les apports de phosphore suivent une augmentation du printemps vers l'automne. En fin d'été, le cumul des populations aviaires, de la forte fréquentation et de l'enduro carpe comptent alors pour ¼ de l'ensemble des apports sur 6 mois.

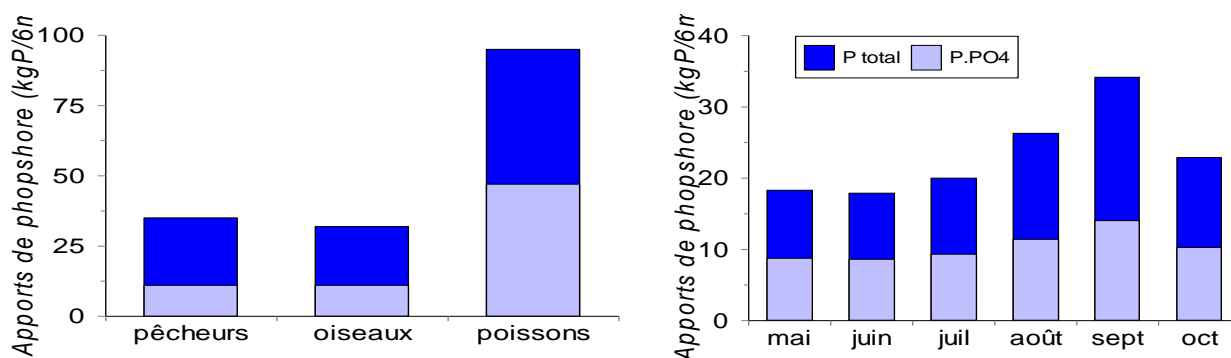
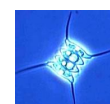


Figure 11 : Distribution des formes de phosphore par catégories et par mois

Ces sources ne sont cependant pas équivalentes : les farines d'appâtage sont strictement externes au système, et constituent des apports nets à la masse d'eau. Le régime alimentaire des oiseaux est d'origine mixte, pour partie externe au bassin-versant. Les apports des poissons, en revanche, sont strictement internes au lacs (si on excepte la part constituée par les farines) et représentent plus un mécanisme d'accélération du recyclage qu'un apport au sens strict du terme.

C'est dans les secteurs d'émergence que ces apports de phosphore facilement assimilable sont le plus efficaces pour supporter le développement intempestif du phytoplancton, et plus spécifiquement de cyanobactéries. Leur effet starter peut compenser l'absence de flux d'un bassin versant en période estivale.



#### IV. Conclusions du diagnostic – Vers des actions de reconquête

Les résultats du diagnostic conduit à l'échelle du bassin versant, ont souligné une pression anthropique relativement faible, qui implique qu'aucune action curative supplémentaire n'est proposée à cette échelle. Une information ciblée par type d'acteurs cherchera à maintenir une incidence la plus faible possible sur les qualités des eaux superficielles du BV.

Il est ici possible de travailler sur le plan d'eau lui-même, sans risque de voir effacer en une ou deux saisons ces actions intra lac, par des apports non contrôlés de nutriments depuis les versants.

Le comportement hydrobiologique du lac a été étudié lors de deux saisons estivales (2015 et 2016), dans un contexte particulièrement sec. La principale zone d'émergence des cyanobactéries a été identifiée au niveau de l'anse Est, en aval du pont de la Musse. Les eaux y sont peu profondes et l'anse est encore liée avec les apports amont. Cependant sur ces 2 années d'étude, les apports étaient particulièrement faibles car les débits des ruisseaux n'ont pas été soutenus dès le mois de juin.

La zone d'émergence étant en partie alimentée en phosphore par le sédiment en place, l'action prioritaire vise à retirer le stock de phosphore disponible dans ce secteur. Cette solution devra s'accompagner de mesures complémentaires pour ne pas poursuivre l'enrichissement de cette anse en phosphore biodisponible, à proximité de la plage (par exemple : déplacement d'un des secteurs de pêche à la carpe).

Le plan d'actions, élaboré sur la base des éléments du diagnostic, a pour objectif la pérennisation des usages récréatifs de Vioreau (baignade, activités nautique, pêche). Il n'est pas possible de supprimer toute apparition de cyanobactéries dans ces eaux douces, mais juste de les cantonner sur des périodes hors activités récréatives, en venant perturber les conditions aujourd'hui réunies pour leur développement précoce au printemps (eaux peu profondes, source de phosphore, ensoleillement optimal et réchauffement rapide).

Les actions de reconquête de la qualité de l'eau, ne doivent pas omettre l'aspect hydraulique du site et la vocation première de Vioreau, dédiée à l'alimentation du canal de Nantes à Brest. Il est nécessaire de tenir compte des besoins premiers du site, à savoir un remplissage en eau maximum pour le début de la saison d'exploitation. Le classement de ce site artificiel sous la protection Natura 2000 induit également une gestion spécifique des niveaux d'eau.

L'amélioration des connaissances sur le fonctionnement hydro-biologique du Lac de Vioreau doit être poursuivie. La recherche des relations de causes à effet entre l'activité biologique du lac et les variations hydrologiques locales nécessite la mise en place d'une réelle station d'observation en continu (chronologie en continu des hauteurs d'eau, des températures, du vent), station qui deviendrait également un outil de gestion des activités nautiques.

