



Limnologie sarl
Phytoplancton
Cyanobactéries
Toxines



1

Chroniques de l'Erdre

Phytoplancton, Cyanobactéries et Toxines

Résumé non technique

24/12/2020

1- Cyanobactéries et toxines

Les cyanobactéries, présentes sur Terre depuis près de 3 milliards d'années, sont des organismes scientifiquement connus, décrits et observés depuis près de deux siècles. Leur capacité à flotter à la surface des lacs et à proliférer dans certaines eaux est particulièrement bien documentée depuis les premières descriptions scientifiques, et l'espèce emblématique des eaux de l'Erdre, *Plankrothrix agardhii*, a par exemple été décrite pour la première fois en 1822.

L'intérêt qui leur est porté depuis les années 80 provient essentiellement de la prise de conscience de leur toxicité potentielle pour l'homme et les animaux, et reste l'objet de travaux de plus en plus nombreux. Alors qu'on associe souvent les proliférations de cyanobactéries et la production de toxines à des conditions chaudes et sèches ou aux zones tropicales, l'analyse de la bibliographie montre clairement qu'on retrouve quasiment toutes les familles de toxines partout à la surface du globe, de l'équateur aux pôles.

Dans le grand Ouest, une étude réalisée sur les 4 départements bretons et la Mayenne a montré que sur 38 plans d'eau suivis chaque année depuis 2004, 30 hébergent chaque année au moins 50 % d'espèces potentiellement toxigènes parmi les cyanobactéries qui y sont observées, alors que les épisodes de présence des cyanobactéries sont en progression constante. Dans les eaux de l'Erdre, suivies chaque année depuis 2004, les cyanobactéries représentent un élément quasiment constant de la flore planctonique. Si l'amont du bassin versant paraît relativement épargné, les secteurs aval de l'Erdre sont chaque année soumis à des proliférations s'étendant de fin juin à fin septembre, voire fin octobre, avec une large dominance d'une unique espèce productrice potentielle de microcystines.

Les cyanobactéries produisent principalement deux types de toxines : les hépatotoxines, qui ciblent le foie, et les neurotoxines, qui visent le système nerveux. D'autres composés parmi lesquels des cytotoxines, qui attaquent certaines fonctions cellulaires, et des dermatotoxines, à l'origine de réactions inflammatoires, ont également été mis en évidence. Les toxines les plus fréquemment détectées en France sont les hépatotoxines du groupe des Microcystines et les neurotoxines de la famille de l'Anatoxine-A, responsable des intoxications de chiens dans le bassin de la Loire en 2017-2018. On peut observer plus rarement d'autres neurotoxines, le groupe des Saxitoxines (plus fréquentes dans les organismes marins) ou la Cylindrospermopsine, une hépatotoxine émergente encore rare et peu documentée.

Les premiers cas de gastro-entérites provoquées par des cyanobactéries ont été rapportés en 1931 aux Etats-Unis. Depuis lors, de nombreux cas d'intoxication ont été rapportés dans la littérature, certains se concluant par des décès (Brésil, 1988 et 1996). La plupart de ces signalements sont antérieurs aux années 2000; suite au premier rapport de synthèse de l'OMS sur le sujet en 1999, la diminution des incidents peut être mise au crédit de l'information du public et des gestionnaires, et à la mise en place de seuils réglementaires, de suivis de contrôle, et à l'amélioration des méthodes de traitement des eaux potabilisées.

En dehors de ces cas d'intoxications aiguës, d'autres effets de l'exposition aux cyanobactéries et à leurs toxines ont été mis en évidence au cours des trente dernières années:

- Effets allergènes: plusieurs études ont permis de détecter des aérosols de toxines et de cellules de cyanobactéries transportés par le vent jusqu'à plusieurs kilomètres et pendant plusieurs jours après un épisode de bloom, induisant des réactions allergiques ou de détresse respiratoire chez les sujets allergiques ou asthmatiques jusqu'à 5 jours après exposition aux aérosols.
- Effets cytotoxiques: l'exposition chronique à de faibles concentrations de toxines, par l'alimentation ou l'eau de boisson, peut causer la promotion de tumeurs et s'accompagne d'une fréquence plus élevée du cancer du foie, notamment chez les enfants.

Enfin plusieurs études récentes se sont intéressées à l'accumulation des toxines dans les parties consommées de végétaux arrosés avec des eaux contenant de la microcystine. Toutes ces études montrent une accumulation rapide des toxines, notamment dans les légumes-racines (carottes, navets, radis etc...), pour atteindre 2 à 5 fois la dose journalière tolérable définie par l'OMS. Ceci implique que l'exposition aux toxines par l'alimentation ne se limite pas à la consommation de produits de la pêche, poissons et coquillages.

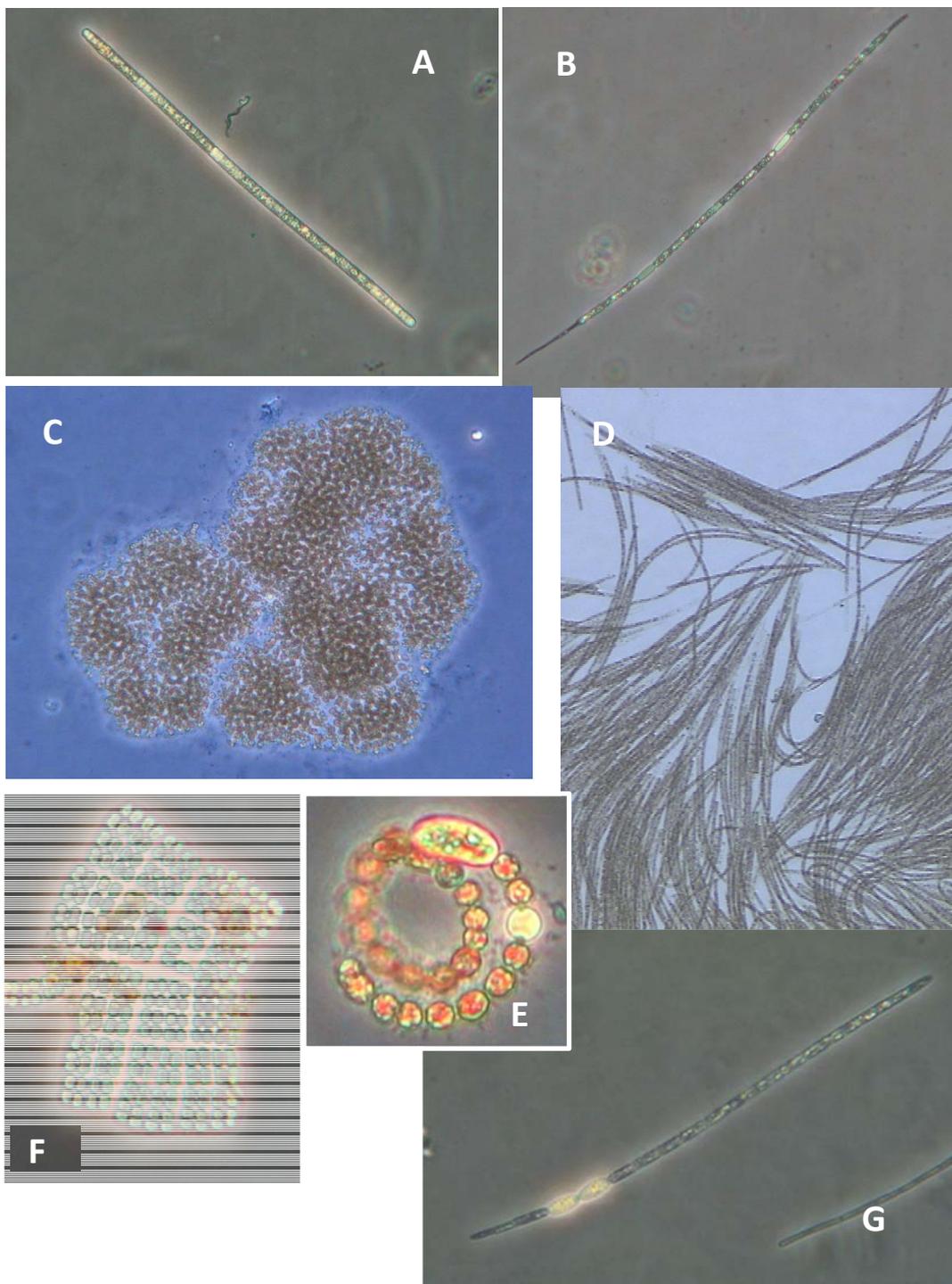


Figure 1- Cyanobactéries communes dans l'Erdre (et fréquences d'observation dans les relevés de l'Observatoire): **A-** *Planktothrix agardhii* (69 %); **B-** *Aphanizomenon/Cuspidothrix issatschenkoï* (43 %), **C-** *Microcystis* (37 %), **D-** *Aphanizomenon flos-aquae* (22 %), **E-** *Anabaena* (22 %); **F-** *Merismopedia* (20 %); **G-** *Cylindrospermopsis raciborskii* (5 %)

2- Phytoplancton et Cyanobactéries

Dans le cadre du suivi de l'Observatoire, le suivi de la flore planctonique est exprimé en effectifs (concentration de cellules par millilitre d'eau), qui sont indépendants de la taille des organismes observés. Pour l'étude de synthèse, ces effectifs ont été convertis en biomasse, ou volume cellulaire, qui représente la quantité de matière vivante représentée par ces ensembles de cellules. En termes d'interprétation, la biomasse présente l'avantage d'être directement proportionnelle à celui des nutriments qui est présent en plus faible quantité (nommé 'élément limitant'); dans l'Erdre cet élément limitant est le phosphore.

Une fois exprimée en biomasse, la composition de la flore montre de nettes différences entre les stations amont et aval de l'Erdre (fig. 2):

- En amont (à Nort s/Erdre), les organismes présents sont majoritairement des algues vertes, rouges et brunes (Chlorophycées, Diatomées et Chrysophytes), qui constituent 77 % du total à elles seules. Les Cyanobactéries représentent en moyenne près de 10 % de la biomasse, avec un maximum proche de 30 % au cours de leur pic annuel fin septembre.

- Dans les stations aval (Sucé s/Erdre et la Jonelière), la biomasse totale du phytoplancton est en moyenne 15 fois plus élevée qu'en amont. Les Chlorophycées, Diatomées et Chrysophytes en constituent près de 50 %, et les Cyanobactéries près de 40 % (soit 4 fois plus qu'à Nort), voire jusqu'à 65 % du total en début d'automne.

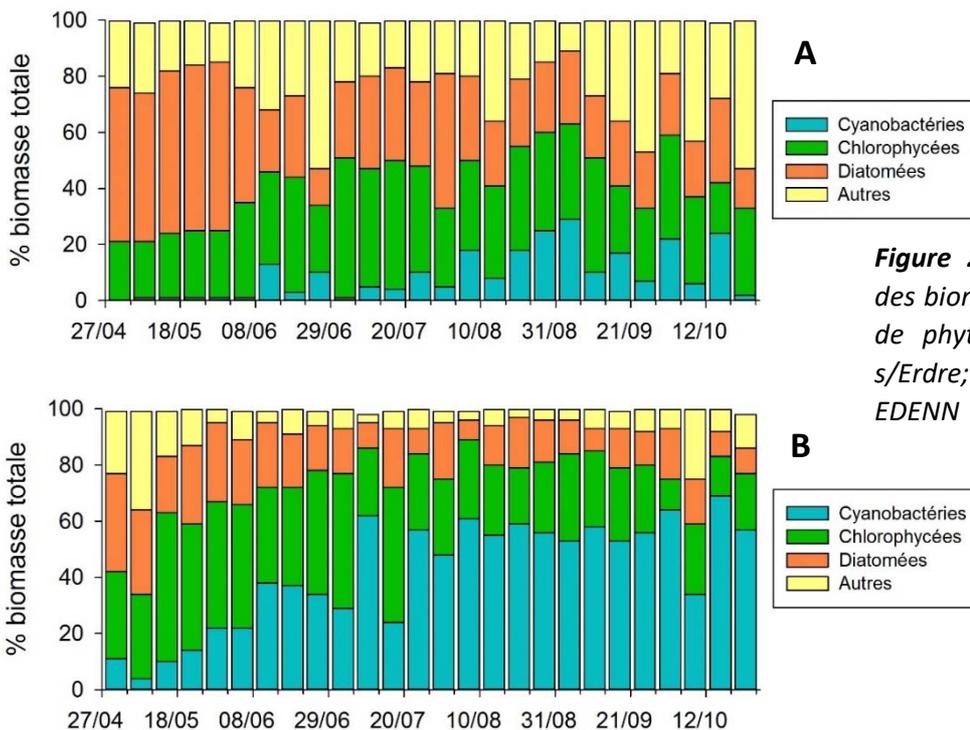


Figure 2- Distribution moyenne annuelle des biomasses pour les principaux groupes de phytoplancton dans l'Erdre. A- Nort s/Erdre; B- Stations aval. Données brutes EDENN

Dans l'ensemble des stations, le développement des Cyanobactéries a un impact majeur sur la diversité du phytoplancton de l'Erdre.

En début de suivi, chaque année diversité et biomasse augmentent de concert, ce qui confirme que quand les conditions du milieu sont favorables au développement de la flore, tous les embranchements ont tendance à réagir dans le même sens avec l'apparition puis le développement d'un maximum d'espèces différentes.

Au-delà d'un certain point, les Cyanobactéries prennent le pas sur les autres algues et on observe une chute rapide de la diversité de celles-ci (fig. 3), avant que leur biomasse ne commence à diminuer devant celle des *Planktothrix*.

Cette succession (chute de la diversité, puis de la biomasse des espèces concurrentes) laisse supposer que le potentiel invasif des *Planktothrix* se déploie en 3 temps:

- 1- élimination chimique (allélopathie, ou lutte biologique) du maximum de concurrents les plus fragiles;
- 2- colonisation lente du milieu pour atteindre une biomasse significative, environ 100 fois plus élevée qu'à l'étape précédente;
- 3- élimination des concurrents restants par pression de compétition sur les nutriments.

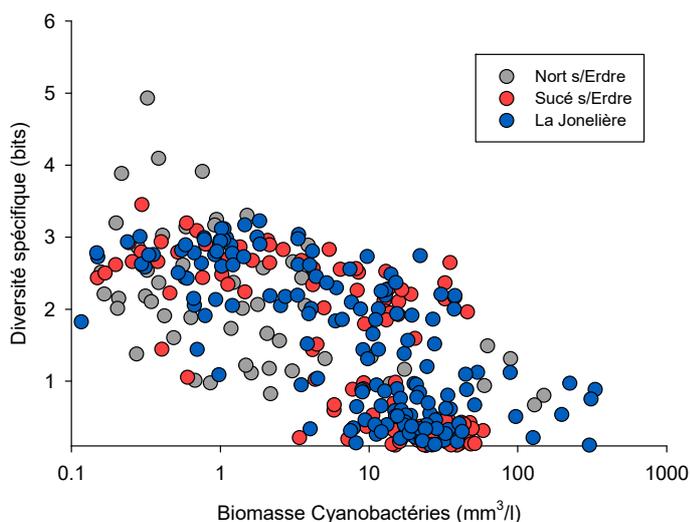


Figure 3- Relation entre diversité spécifique et biomasse des cyanobactéries dans les stations de l'Erdre.

Données brutes EDENN

Les résultats de l'étude montrent donc que les Cyanobactéries de l'Erdre ont un impact négatif sur la diversité du phytoplancton (qui constitue la base des chaînes alimentaires) dès qu'elles apparaissent à une concentration de quelques milliers de cellules/ml, bien avant de dominer la flore par leur seule capacité de prolifération. En ce sens, stabiliser ou réduire les apports de phosphore à un niveau suffisant pour atténuer les épisodes de blooms ne signifie pas que la biodiversité planctonique sera restaurée; il faudrait pour cela garantir que le phosphore dans les stations aval ne dépasse pas les niveaux observés dans l'amont du bassin.

3- Toxines

Dans l'Erdre, les microcystines (MCs) sont particulièrement présentes avec des fréquences significatives dès les faibles densités cellulaires, avec un maximum de 92 % d'échantillons positifs jusqu'à 100 000 cell/ml. Exprimés en fonction de la biomasse, les taux de détection présentent un maximum de 83 % de détections pour 1 à 2 mm³/litre.

Rappelons que les microcystines regroupent plus de 200 formes différentes. Dans le cadre du suivi sanitaire de l'Erdre, seules 4 formes (MC-LR, -RR, -YR et -LA, réputées les plus fréquentes) sont analysées en routine.

Une étude récente sur plusieurs retenues du grand Ouest, dont des sites proches (départements 44 et 85) a cependant montré que pour des populations de Cyanobactéries similaires à celles de l'Erdre, donc dominées par *Planktothrix*, ces formes "classiques" ont été détectées dans 33 à 51 % des échantillons, et étaient loin d'être

majoritaires: des formes déméthylées, non prises en compte dans le suivi de l'Erdre, étaient détectées dans 51 à 58 % des échantillons. Ces formes déméthylées représentaient également les concentrations maximales en toxines, devant les formes classiques.

Pour ce qui est des autres familles de toxines, la même étude montrait que dans les sites dominés par des *Planktothrix*, des neurotoxines du groupe des Anatoxines (responsables des mortalités animales dans le bassin de la Loire en 2016 et 2018) étaient présentes dans 42 % des échantillons.

Le suivi actuel des toxines n'apparaît donc pas optimal vis-à-vis des toxines dont la présence est prévisible et devrait intégrer au minimum les anatoxines et les formes déméthylées des microcystines pour rendre correctement compte des risques associés à l'exposition aux espèces toxigènes caractéristiques de l'Erdre.

Compte-tenu de la fréquence d'observation des toxines dans l'Erdre, près de 3 fois plus élevée que dans les départements bretons ou la Mayenne, et de la présence de MCs à des niveaux significatifs même si les effectifs de cyanobactéries paraissent faibles, la recherche de microcystines avec les tests bandelettes déjà employés par EDENN devrait être réalisée chaque semaine indépendamment du suivi sanitaire dès lors qu'un seuil de 0.5 mm³/l de cyanobactéries est atteint ou dépassé.

4- Perspectives d'évolution du système

Pour évaluer des tendances, il a été nécessaire de rechercher les relations existant entre nutriments, climat, hydrologie et biomasse des Cyanobactéries.

- La température est le premier paramètre à évaluer dans un contexte de changement climatique. Pour Nantes et sa région, il est facile de faire apparaître une tendance au réchauffement avec un taux de +3°C par siècle, aussi bien pour l'année complète que pour les périodes favorables (mai à octobre) ou défavorable (octobre à mai) pour le plancton. Cette augmentation des températures est concentrée sur les mi-saisons : les mois d'avril à juin suivent une pente de +3.5 à +5°C par siècle, et les mois d'octobre et novembre de +3 à +4°C par siècle.

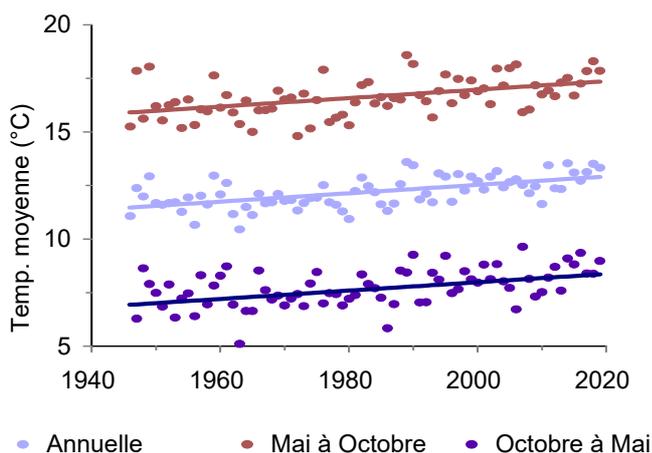


Figure 4- Evolution des températures moyennes mensuelles pour Nantes depuis 1947.

Données brutes ECA&D

- le rayonnement global est en augmentation de 48 kW/m² par siècle pour la période mai-octobre et 59 kW/m² par siècle pour la période hivernale. Comme pour la température, cette évolution s'observe principalement pendant les mi-saisons, avec depuis 1985 des augmentations de 13 à 20 % pour les mois de février à avril et 5 à 12 % en septembre et octobre.

- La pluviométrie est également en légère augmentation, avec + 30 mm par siècle pour mai-octobre et + 93 mm par siècle pour la période hivernale. Alors que quelques mois tendent à être plus secs (février, mars, mai, juillet, septembre), les précipitations augmentent régulièrement en avril, juin, et d'octobre à décembre. Ceci se traduit par des fins de printemps plus humides et des fins d'été plus sèches, compensées par des pluies d'automne plus précoces et plus importantes à partir du mois d'octobre.
- Le débit de l'Erdre, enfin, tend à diminuer en fin d'hiver (de mars à mai) mais à augmenter en début d'été. Il est par contre légèrement décroissant de juillet à septembre, puis franchement croissant à partir d'octobre. Sachant qu'un renouvellement faible des eaux est très favorable au développement de la flore, cette diminution peut être cruciale pour une apparition précoce des Cyanobactéries quand elle est conjuguée à l'augmentation des températures et du rayonnement aux mois de mars à mai.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année	Mai-Oct.	Oct.-Mai
Température (°C/siècle)	2.6	0.8	2.6	4.9	3.7	4.1	2.6	1.6	2.2	4.0	3.1	2.0	2.9	3.1	2.6
Pluviométrie (mm/siècle)	10	-30	-23	7.6	-2	47	-23	30	-39	16	55	55	106	30	93
Rayonnement (kW/m²/siècle)	2	11	13	26	4	13	10	2	16	3	0	4	103	48	59
Débit Nort s/E. (m³/s/siècle)	4.7	-1.3	-1.6	-1.2	-1.7	0.6	-0.2	-0.1	-0.2	0.2	3.2	4.4	0.6	-0.3	0.5

Tableau 1- Taux d'évolution par siècle des principaux paramètres hydroclimatiques à Nantes depuis 1972
Données brutes MétéoFrance et BDHydro

- Le phosphore total est globalement en hausse depuis 2007, après avoir connu des valeurs décroissantes des années 1990 jusqu'en 2005-2006.

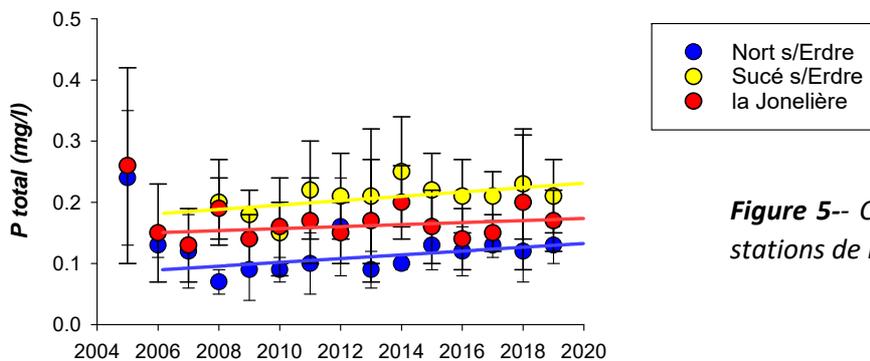


Figure 5-- Concentrations en P total dans les stations de l'Erdre depuis 2004

- La distribution des formes d'azote, enfin, ne montre pas de tendance particulière sur ces séries courtes. Elle sera considérée comme constante pour la suite, et égale à la moyenne des observations depuis 2004.

Une fois intégrées dans un modèle polynomial et appliquées à la situation des 15 dernières années (fig. 6 page suivante), ces données montrent que dans l'amont du bassin (Nort s/Erdre), les Cyanobactéries peuvent atteindre des biomasses supérieures aux autres algues pour des concentrations en phosphore total supérieur à 0.22 mgP/l. Dans les stations aval, les Cyanobactéries présentent également des biomasses maximales systématiquement croissantes avec la charge en phosphore, et dépassent les autres algues à partir de 0.15 mgP/l.

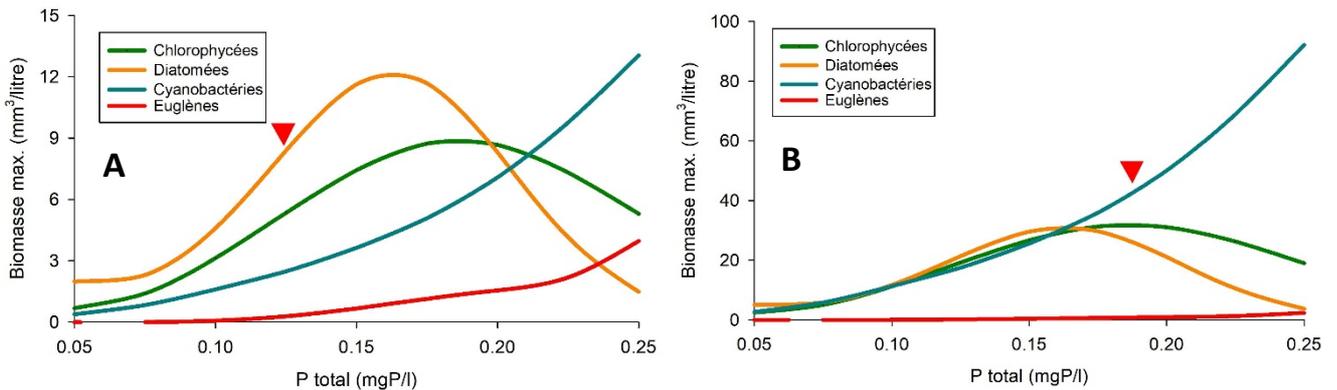


Figure 6- Simulation des conditions actuelles: biomasse en fonction de la concentration en phosphore total dans les stations amont (A) et aval (B).

Globalement la seule augmentation de la charge en phosphore (+ 50 % de l'amont vers l'aval) n'explique pas à elle seule l'augmentation plus rapide de la biomasse des cyanobactéries dans les stations aval. Celle-ci dépend également de la typologie des nutriments disponibles et de la nature du milieu : une plus forte proportion d'azote réduit (NH_4) indique un milieu chimiquement plus réducteur en aval qu'en amont, donc comportant des formes plus facilement assimilables du fer et du soufre (oligo-éléments indispensables aux Cyanobactéries).

Dans le même temps, le renouvellement plus rapide des eaux en amont permet également de tempérer le réchauffement estival des eaux : le ralentissement du débit vers l'aval se traduit, à température de l'air égale, par un écart moyen de +2°C entre Nort et les stations aval.

Pour établir des projections à moyen terme, sur 30 ans, nous avons repris les paramètres hydroclimatiques et trophiques, et appliqués les taux d'évolution calculés plus haut pour 5 scénarii couvrant la plupart des situations-types: un scénario moyen et des scénarii chaud/sec, exceptionnellement chaud et sec, frais/humide et exceptionnellement frais/humide. Les détails des calculs de définition de ces scénarii sont inclus dans l'étude complète.

Si on applique la situation trophique actuelle dans ces différents scénarii, il n'apparaît pas de différence entre les biomasses simulées actuelles et à 30 ans, en amont comme en aval: le paramètre 'cyanobactéries' n'est dans l'ensemble pas affecté par l'évolution des seuls paramètres climatiques, et les biomasses, durées de présence ou fréquence d'observation des toxines sont similaires aux observations actuelles.

Si par contre on y ajoute les prévisions sur les teneurs en phosphore et les formes d'azote (fig. 7 page suivante), le modèle fait apparaître des augmentations de la biomasse sensibles en amont et substantielles en aval: à Nort s/Erdre, pour les contextes chauds et secs, on pourrait ainsi observer un quasi-doublement de la biomasse de cyanobactéries. Dans les stations aval, dans tous les scénarii, on aboutirait à une augmentation par un facteur de 2 à 3 selon les scénarii.

En amont comme en aval, les durées de présence des cyanobactéries seraient plus étendues en contexte chaud/sec: elles pourraient alors être 30 % plus longues en amont, et 16 % plus longues en aval, ce qui suffit pour couvrir toute la durée annuelle de suivi, de mai à octobre.

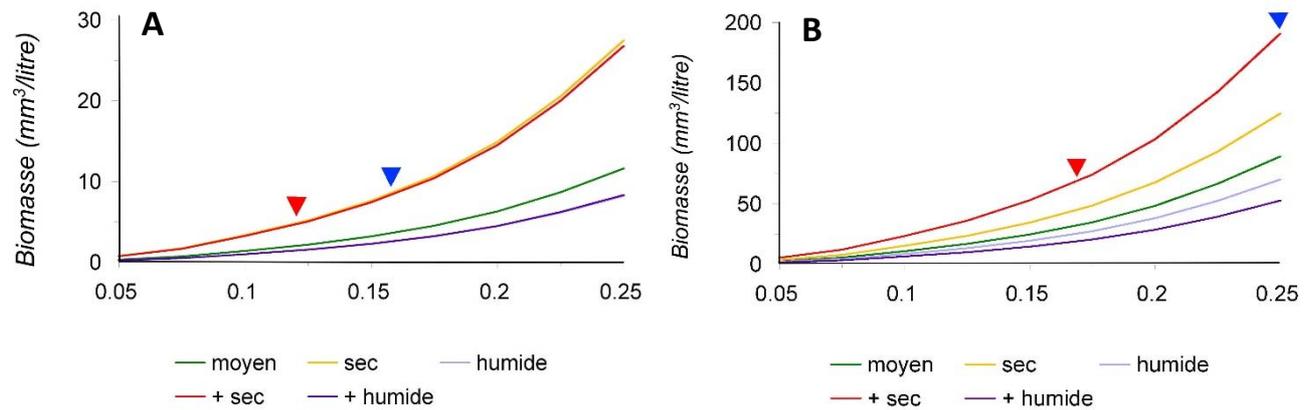


Figure 7- Simulation des conditions à 30 ans: biomasse des cyanobactéries en fonction de la concentration en P_{total} dans les stations amont (A) et aval (B), pour 5 scenarii hydroclimatiques.

Les concentrations en microcystines, enfin, évoluent conjointement à la biomasse des cyanobactéries. Elles augmenteraient alors de 20 % en amont (à Nort) et de 30 % en aval (Sucé et la Jonelière), pour atteindre régulièrement des maximales de 8 à 10 $\mu\text{g/l}$.

5- Bilan de l'étude

Cyanobactéries et toxines

Dans les eaux de l'Erdre, suivies chaque année depuis 2003, les cyanobactéries représentent un élément constant de la flore planctonique. Si l'amont du bassin versant est encore relativement épargné, les secteurs aval de l'Erdre sont chaque année soumis à des proliférations s'étendant de fin juin à fin septembre, voire fin octobre, avec une large dominance d'une unique espèce potentiellement toxigène.

Les cyanobactéries peuvent produire principalement deux types de toxines : les hépatotoxines et les neurotoxines, ainsi que d'autres composés parmi lesquels des cytotoxines et des dermatotoxines. Parmi les hépatotoxines, les microcystines constituent le groupe le mieux suivi en France, alors que des neurotoxines comme les Anatoxines commencent tout juste à attirer l'attention sur elles, notamment en raison de leur implication dans les cas d'intoxication d'animaux domestiques intervenus ces dernières années, y compris dans le bassin de la Loire.

Des études conduites dans des retenues proches de l'Erdre, en Bretagne et Pays de Loire, ont montré que quand les cyanobactéries sont dominées par des *Planktothrix*, on peut observer une majorité de microcystines, dont des formes qui ne sont pas actuellement recherchées par le suivi sanitaire mais sont tout aussi toxiques, ainsi que des neurotoxines (anatoxines) dans plus de 40 % des cas.

Si on combine ces deux observations, présence de toxines à faible concentration de cyanobactéries et présence potentielle de neurotoxines, il apparaît important de réformer le suivi en place pour le compléter en recherchant un plus grand nombre de familles de toxines, et de le compléter avec des méthodes de terrain fournissant un résultat sous des délais plus courts que les analyses classiques. L'utilisation de tests bandelettes, applicables aux toxines les plus courantes, pourrait ainsi permettre de gagner en réactivité pour les activités de loisirs nautiques.

Phytoplancton et diversité

Parmi les nutriments majeurs, azote (N), carbone (C) et phosphore (P), celui qui est le moins disponible est qualifié d'élément limitant. Dans l'Erdre, ce rôle est joué par le phosphore. Ceci signifie que la concentration en biomasse maximale, en présence de suffisamment d'azote et de carbone, sera directement proportionnelle à la concentration en phosphore assimilable dans le milieu.

En termes de biomasse justement, toutes années confondues on peut nettement distinguer l'amont et l'aval de l'Erdre fluviale : en amont, Nort héberge une flore composée de 8 % de cyanobactéries et 92 % d'autres embranchements, alors qu'en aval Sucé s/Erdre et la Jonelière hébergent 39 % de cyanobactéries et 61 % d'autres taxons.

En termes de composition du phytoplancton, les cyanobactéries ont un impact majeur sur la diversité de la microflore: au-delà d'une biomasse de 1 mm³/l, on peut observer une chute rapide de la diversité qui touche tous les groupes d'algues, y compris les cyanobactéries concurrentes des Planktothrix.

Ce seuil de biomasse à partir duquel la diversité s'effondre est très bas: il correspond à des densités de 10 à 15 000 cellules/ml et ne représente que quelques % des densités maximales observées chaque année dans le secteur aval. Comme la biomasse des cyanobactéries est directement proportionnelle à la disponibilité du phosphore, il est nécessaire d'identifier, de quantifier et de réduire les sources de phosphore alimentant l'Erdre pour préserver la diversité de la flore planctonique, base des chaînes alimentaires dans le milieu aquatique, réduire la fréquence et la durée des épisodes de prolifération et les occurrences des toxines.

Evolution probable de l'Erdre fluviale

Les données de l'Observatoire ont permis de construire un modèle de la biomasse des cyanobactéries intégrant météo, hydrologie et nutriments. Celui-ci permet de reproduire assez fidèlement les variations interannuelles pour illustrer les possibilités d'évolution à moyen terme de l'Erdre en relation avec les modifications de températures et de temps de séjour des eaux, ainsi que les projections sur les formes d'azote et de phosphore.

Les paramètres climatiques de la région de Nantes montrent en effet des évolutions sensibles depuis les années 70, avec par exemple une augmentation moyenne des températures de près de +3°C par siècle en été, une augmentation du rayonnement de 7 à 12 % pour les mois d'été, et une augmentation de 190 mm des précipitations sur l'année dont 30 % entre mai et octobre. Dans le même temps le débit tend à diminuer en fin d'hiver et en période estivale, alors que la charge des eaux en phosphore subit une augmentation significative et régulière depuis 2007-2008.

Dans les stations amont et aval de l'Erdre, le modèle confirme que le phosphore et la température sont les principaux paramètres activateurs des proliférations de cyanobactéries, alors que le renouvellement des eaux joue un rôle de modérateur, à la fois sur les températures de l'eau et sur la biomasse des cyanobactéries.

Les projections à 30 ans montrent une évolution significative de la situation actuelle, notamment dans les scénarii les plus chauds et secs: si les conditions du milieu poursuivent les tendances actuelles, la biomasse des cyanobactéries pourrait être multipliée par 2 (en amont) à 2.5 (en aval). Leur durée de présence au-dessus des seuils permettant la détection de toxines augmenterait de 16 à 30 %, et comme les concentrations en microcystines sont proportionnelles à la biomasse de cyanobactéries, les teneurs maximales en toxines pourraient atteindre plus de 10 µg/l dans les stations aval (contre 6 à 8 µg/l actuellement).

Ce modèle montre que la dynamique des proliférations de cyanobactéries dépend avant tout de leur capacité à exploiter pleinement les conditions 'normales' du milieu plus que de profiter de conditions extrêmes en termes de température ou de charge en phosphore. En ce sens, l'augmentation prévisible de l'intensité des épisodes de prolifération et de production de toxines est davantage attribuable à l'augmentation graduelle et continue de la charge en nutriments dans les eaux de l'Erdre qu'à l'évolution climatique.

Celle-ci peut en revanche intervenir comme agent facilitateur, notamment avec l'augmentation de la fréquence des épisodes chauds et secs, en forte progression depuis les années 1970. Dans ce cadre, l'évolution climatique devrait se traduire par une fréquence plus élevée des années à forte biomasse de cyanobactéries, et non par une intensité plus forte des épisodes de prolifération.

C'est donc le contrôle des sources de nutriments, donc de phosphore et d'azote (notamment d'azote réduit), qui permettra de réduire les proliférations et leur impact sanitaire dans l'Erdre.

L'examen des séries d'analyses des années 1990 montre que les concentrations en phosphore total de l'Erdre ont connu une diminution lente jusqu'au début des années 2000, mais sont désormais en augmentation depuis 2007-2008. Au rythme déduit des données de l'Observatoire, ces concentrations devraient avoir retrouvé d'ici 30 ans des niveaux équivalents à ce qu'ils étaient initialement, soit 0.2-0.3 mgP/l, annulant ainsi les progrès réalisés depuis la fin du siècle dernier.

Toutes les sources de nutriments ne sont pas simples à caractériser et à contrôler, comme par exemple celles relevant de l'érosion du bassin-versant et de la minéralisation des sédiments. Il existe en revanche un premier levier d'action: l'assainissement, dont les études réalisées pour EDENN (Interfaces et Gradients, 2019) montrent qu'il peut être responsable de 65 à 80 % des apports de phosphore et d'azote réduit pendant les années sèches qui sont les plus critiques pour les Cyanobactéries.

Enfin, dans un premier temps, il est prévisible que les occurrences d'épisodes chauds et secs vont continuer à augmenter. Il est alors important d'intervenir au plus vite pour casser la dynamique des apports de phosphore dans l'Erdre, qui paraissent devoir doubler dans les 25-30 ans à venir.

Cette première étape pourra progressivement s'accompagner d'objectifs complémentaires visant à réduire graduellement la charge trophique des eaux, donc les manifestations d'eutrophisation telles que les proliférations de cyanobactéries ainsi que leur impact sur la qualité sanitaire des eaux et la diversité des chaînes trophiques.