



Suivi qualitatif régulier des eaux de l'Erdre
« *Observatoire de l'Erdre* »

- *Campagne 2017* -



Rapport final

pour

EDENN

- septembre 2018 -

Suivi qualitatif régulier des eaux de l'Erdre
« *Observatoire de l'Erdre* »

- *Campagne 2017* -

Rapport final

pour

EDENN

- septembre 2018 -

Bi-Eau

15, rue Lainé-Laroche 49000 ANGERS
Tél. : 02.41.88.52.88 - Fax : 02.41.86.86.44

Sommaire

1. Présentation.....	1
2. Protocoles utilisés.....	3
2.1. Calendrier et paramètres.....	3
2.2. Stations du suivi.....	4
3. Les résultats.....	6
3.1. Norts/Erdre.....	6
3.2. Sucés/Erdre.....	12
3.3. Carquefou.....	16
3.4. La Jonelière.....	20
3.5. L'écluse Saint Félix.....	24
3.6. L'évolution amont-aval en 2017.....	28
3.7. Synthèse 2017.....	30
4. Synthèse de l'Observatoire 2005-2017.....	31

Annexes



1. Présentation

Traversant le territoire de Maine et Loire et de Loire-Atlantique, l'Erdre est un cours d'eau qui, par son positionnement et son histoire, intéresse un grand nombre d'interlocuteurs. Sa partie navigable est tout particulièrement suivie car elle a donné, par le passé, des signes d'une eutrophisation accentuée. Les utilisateurs, comme les principaux acteurs, s'appuient ainsi sur l'EDENN qui a mis en place :

- ✓ l'**Observatoire de la qualité de l'eau de l'Erdre**.

Ce dernier a démarré en 2005 et une étude systématique de certains paramètres a débuté, basée notamment sur un travail approfondi préalable mené par le bureau d'étude parisien SETUDE (2003), sur l'eutrophisation de l'Erdre et de son bassin versant.

L'année 2017, dont les résultats font l'objet de ce rapport, est donc la treizième année consécutive, où des données sont engrangées :

- ✓ sur des stations définies à des points fixes (Tabl. 1), considérés comme stratégiques ;
- ✓ selon des protocoles de terrain et de laboratoire figés (méthodes standardisées autant que possible);
- ✓ en utilisant des paramètres de la physico-chimie et de la micro-flore ;
- ✓ selon un calendrier pré-établi (début de printemps, fin d'automne), en accord avec les partenaires de cette étude.

À l'issue de chaque campagne annuelle, une synthèse est rédigée. Notons toutefois que les données détaillées ont été envoyées au fur et à mesure à l'EDENN, commanditaire de l'étude. Au terme de chaque année, une restitution orale des principaux résultats est également faite (public de gestionnaires et d'élus).

Le but ultime de ce travail est aussi d'obtenir un ensemble de données objectives et fiables, à utiliser à moyen-terme, ce qui permettrait d'évaluer les politiques de gestion passées et présentes mises en place progressivement.

Le tableau ci-dessous rappelle comment le suivi a ajouté des stations au fur et à mesure des intérêts qui se dégagent. Ainsi, en 2005 deux stations seulement étaient prospectées sur l'Erdre navigable tandis que depuis 2017 cinq stations sont intégrées dans ce suivi régulier.

Stations	2005 à 2007	2008 à 2010	2011-2016	2017
Nort s/Erdre	x	x	x	x
Sucé s/Erdre		x	x	x
Carquefou (Port-Jean)				x
La Jonelière à Nantes	x	x	x	x
Écluse St Félix à Nantes			x	x

Tabl. 1 : Récapitulatif des stations suivies dans le cadre de l'Observatoire de 2005 à 2017

Actuellement, quatre structures différentes coopèrent au bon déroulé de l'**Observatoire** :

- ✓ **l'EDENN** veille au respect du marché et ventile l'ensemble des informations obtenues, tout en organisant la restitution finale annuelle auprès des élus ; son personnel assure également des échantillonnages en hiver ;
- ✓ **Bi-Eau** prend en charge le travail de terrain de 4 stations, analyse les échantillons de phytoplancton des 5 stations et rédige le rapport final avec l'ensemble des données ;
- ✓ **Nantes Métropole** est chargée de la station la plus à l'aval, positionnée avant l'écluse St Félix et sous-traite les analyses de laboratoire (physico-chimiques et phytoplancton) ;
- ✓ **Inovalys** réalise toutes les analyses physico-chimiques de l'eau en laboratoire (quel que soit l'organisme préleveur), et transmet en fin de saison les résultats à Bi-Eau, sous format informatique.

Cette articulation fonctionne sur toute l'année et assure la pérennité des méthodes employées. Les résultats concernent tous les intervenants, sachant que le but ultime est de comprendre l'évolution non seulement temporelle de chacune des stations (surtout les "historiques", qui possèdent plus de données), mais aussi la dynamique longitudinale de l'Erdre.

2. Protocoles utilisés

2.1. Calendrier et paramètres

En réalité, l'Observatoire de l'Erdre couvre toute l'année, avec toutefois des périodes de plus ou moins grande intensité de prospection. Nort s/Erdre a été, en tout début d'année, la première station à être échantillonnée (le 06/01 - Tabl. 2) ; quant à St Félix, la station a été visitée en avril (04/04) ; puis, le 2 mai commencent les échantillonnages réguliers sur les 5 stations, et cette année ils n'ont fini que le 12 décembre (à l'exception de St Félix, dont le dernier a eu lieu le 21/11).

Les sorties ont été bi-mensuelles de mai à novembre inclus, puis mensuelle le dernier mois de 2017. Ce calendrier vise à couvrir assidument la période de fort développement végétatif, qui a des conséquences directes sur l'Erdre.

2017	06/01	04/04	02/05	16/05	06/06	20/06	04/07	18/07	01/08	22/08	05/09	19/09	03/10	17/10	07/11	21/11	12/12	Σ
Nort	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	16
Sucé			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	15
Carquefou			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	15
Jonelière			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	15
St Félix		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		14

Tabl. 2 : Calendrier du suivi de l'Observatoire en 2017 (Erdre)

Comme illustré dans le tableau 3, à Nort s/Erdre, un suivi allégé est réalisé par le personnel de l'EDENN durant l'hiver, qui vise des dosages de nitrates et d'orthophosphates (Tabl. 3) : les valeurs de ces deux nutriments vont être utilisées pour calculer les flux arrivant par le bassin versant non navigable (de la source jusqu'à Nort), en période hivernale (cette année en janvier seulement).

Comme les prélèvements dans l'écluse de St Félix à Nantes sont réalisés par le personnel de Nantes Métropole, nous tentons, en début de campagne, d'établir un calendrier commun, afin d'avoir des chroniques complètes amont-aval. Malgré cela, quelques dates ne présentent pas la totalité des analyses chimiques prévues.

Les sorties réalisées par Bi-Eau suivent toujours le même circuit (entre Nort et la Jonelière) et se déroulent pendant la matinée (entre 9:00 et 13:00 généralement). C'est après cette dernière station que les échantillons sont déposés, dans la foulée, à Inovalys qui réalise les analyses chimiques en laboratoire, selon des méthodes normalisées. Ce laboratoire est accrédité pour l'ensemble des paramètres figurant dans le tableau 3.

Concernant les échantillons de phytoplancton, ils sont ensuite rapatriés à Bi-Eau qui procède aux analyses (qualitatives et quantitatives). Celles-ci sont faites selon la méthode

de dénombrement Utermöhl au microscope inversé (NF EN 15 204), pour établir les listes des effectifs par millilitre, pour chaque taxon.

	ERDRE		<i>in situ</i>		en laboratoire				
	Paramètres		Mesures <i>in situ</i> Prélèvements		Prélèvements hiver	Analyses			
			Mesures O ₂ , %O ₂ , T°C, pH, Conductivité, Transparence		Prélèvements NO ₃ , PO ₄	NH ₄ , NO ₂ , NO ₃ , N _{klj} , PO ₄ , P _t , DCO	SiO ₃	Chlorophylle <i>a</i> Phéopigments	Phytoplancton
	Intervenant	Bi-Eau	Nantes Métropole	EDENN	Inovalys			Bi-Eau	
stations	Nort s/Erdre port	x		x	x	x	x	x	
	Sucé pont	x			x	x	x	x	
	Carquefou Port Jean	x			x	x	x	x	
	Jonelière ponton	x			x	x	x	x	
	St Félix amont écluse			x		x	x	x	x

Tabl. 3 : Paramètres retenus et répartition des intervenants lors du suivi 2017

2.2. Stations du suivi

L'Erdre draine un bassin de presque 1 000 km². En 2017, une nouvelle station a été ajoutée au suivi de l'Observatoire : elle se situe dans la partie aval du tronçon, sachant que le cours d'eau s'écoule sur une centaine de kilomètres. Cette nouvelle station est Carquefou (Port Jean), située (en rive gauche) entre Sucé et la Jonelière. Comme indiqué (Fig. 1), la station la plus à l'amont demeure Nort s/Erdre (à environ la moitié du parcours), à la limite septentrionale de la zone navigable.

Les emplacements précis des points de prélèvement bénéficient d'un accès relativement facile par la rive. Ils sont supposés donner une bonne représentation (mélange) de la masse d'eau au lieu de collecte. Notons toutefois que la station de Carquefou se trouve dans une anse, franchement sous le vent, et des zones de stagnation ont parfois été observées.

Rappelons enfin qu'il est très difficile de calculer le temps de transit de l'eau dans le sens longitudinal. La fermeture de l'écluse proche de l'île de Versailles transforme le cours d'eau, en milieu lacustre. Généralement, le niveau de l'eau baisse nettement pendant l'été, car les apports directs du bassin versant et les pluies/orages estivaux ne compensent pas les pertes (évaporation, arrosage).

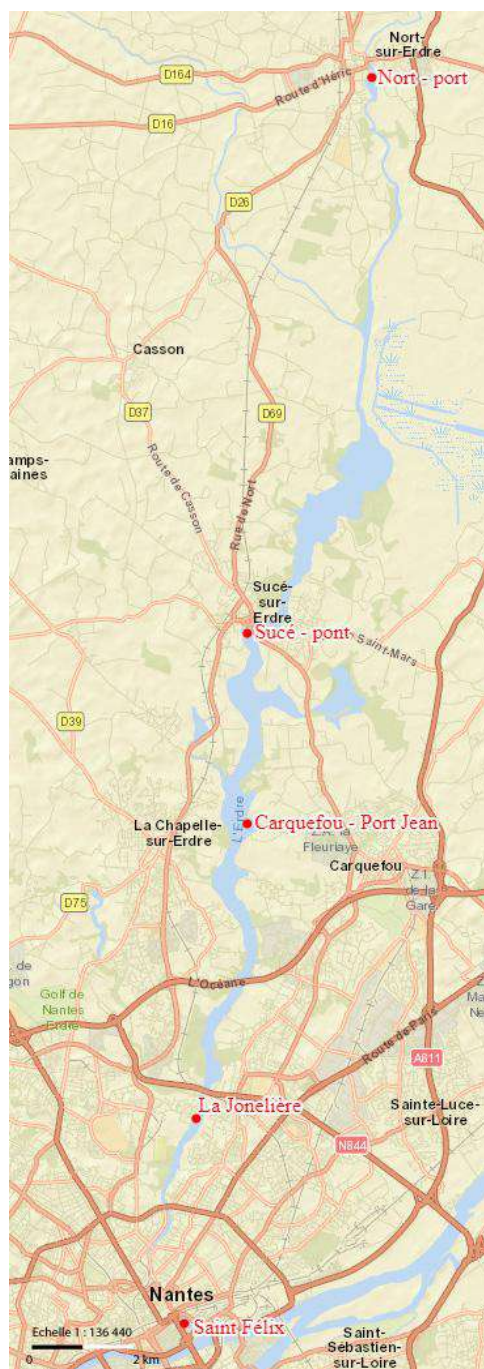


Fig. 1 : Localisation des 5 stations (en rouge) prospectées pour l'Observatoire de l'Erdre, en 2017 (adapté de Géoportail)

Accédant à pied, le préleveur procède donc, dans chaque station, aux mesures *in situ* des paramètres physiques (Tabl. 3), puis réalise les prélèvements destinés aux laboratoires (chimie et phytoplancton).

Dans le chapitre qui suit nous donnerons l'ensemble des résultats obtenus par station, directement ou après analyse (en annexe) ; nous les interpréterons en suivant une logique du comportement longitudinal des stations.

3. Les résultats

3.1. Nort s/Erdre

Juste au débouché de l'Erdre en début de zone navigable, cette station cumule à la fois les résultats physico-chimiques et biologiques (comme les 4 autres stations), mais aussi des valeurs plus générales qui sont issues de :



- ✓ la station de Météo France qui répertorie l'ensoleillement et la pluviométrie ;
- ✓ une station de mesures de débits (Agence de l'Eau Loire-Bretagne), située au moulin de Vaux (en amont du pont St Georges) permettant d'évaluer les volumes apportés par cette partie nord du bassin versant.

Des constatations météorologiques peuvent être faites, au regard de la figure 2. Elle nous permet de retenir relativement à l'ensoleillement, que :

- ✓ le maximum annuel est observé à deux reprises, le 18 juin et le 4 juillet, avec 15h04 de soleil ; seuls quatre jours dépassent les 15h et douze jours la limite de 14h (entre le 25/05 et le 16/07), ce qui est déjà beaucoup pour la région ;
- ✓ l'ensoleillement en 2017 a été très bon (particulièrement au passage fin de printemps - début d'été), avec 2 079 h de soleil (depuis 10 ans, la plus forte valeur avait été de 2 072 h, en 2009).

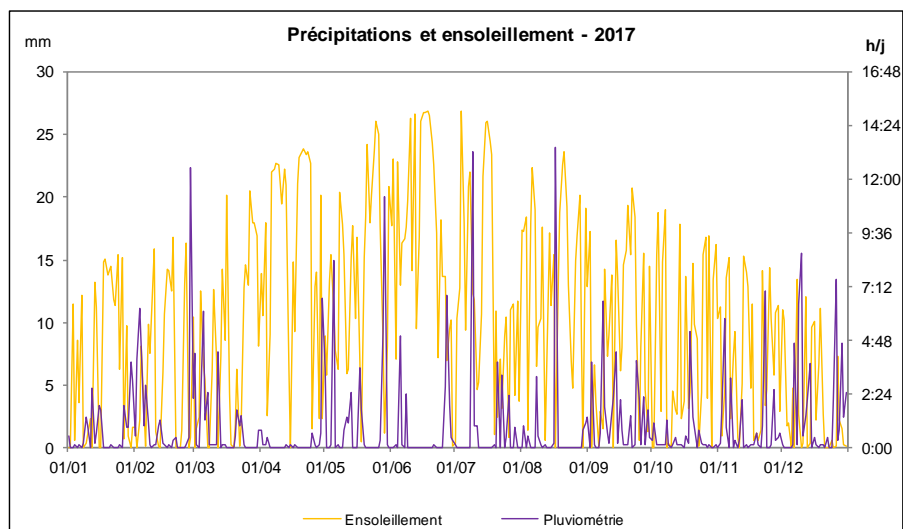


Fig. 2 : Ensoleillement et pluviométrie à Nort s/Erdre en 2017

Considérant la pluviométrie, nous résumons ainsi l'année (Fig. 2) :

- ✓ le total annuel de précipitations a été de 597 mm, c'est assez peu (valeurs inférieures seulement en 2005, 486 mm et 2011, 580 mm) ; la moyenne enregistrée sur les 13 dernières années est de 739 mm dans cette station météo ;

- ✓ il y a eu 156 jours sans pluie (43% de l'année) ; deux périodes de 12 jours sont particulièrement sèches (du 09/06 au 20/06 et du 18/08 au 29/08) ;
- ✓ le maximum annuel n'est pas très élevé, il est constaté le 17 août, avec 24 mm de pluie ; seules trois autres valeurs sont enregistrées au dessus de 20 mm (le 27/02, le 29/05 et le 09/07) ; dans l'année, il n'y a donc pas eu de très grosses précipitations ;
- ✓ la moyenne annuelle (1.64 mm/j) montre une année qui peut être considérée comme assez sèche.

L'année 2017 a donc été la plus ensoleillée de la dernière décennie, et la pluviométrie a été faible.

De la précipitation va dépendre fortement le débit, qui est retracé dans la figure 3. Il en ressort que :

- ✓ un maximum est de 5.09 m³/s (le 02/03), c'est la plus faible valeur que nous enregistrons depuis 2005 (1.68 m³/s cette même année) ;
- ✓ la moyenne annuelle de 0.572 m³/s, est également la plus faible après 2005 (une année normale est autour de 2.30 m³/s) ;
- ✓ le minimum d'étiage a été de 0.020 m³/s, atteint le 1^{er} novembre ;
- ✓ si l'on stipule qu'un étiage marqué présente des valeurs inférieures à 0.2 m³/s, il y en a eu 127 jours ainsi, et notamment 18 consécutifs en juin (du 10/06 au 27/06), puis 68 jours consécutifs (du 04/07 au 09/09).

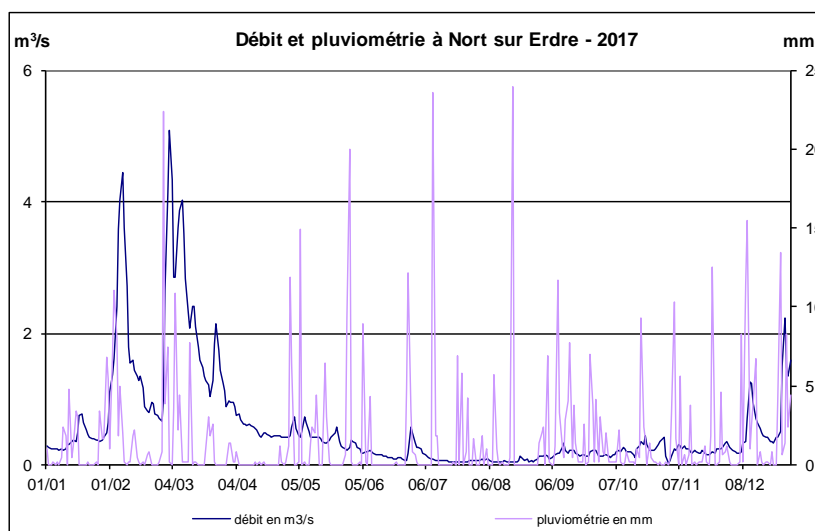
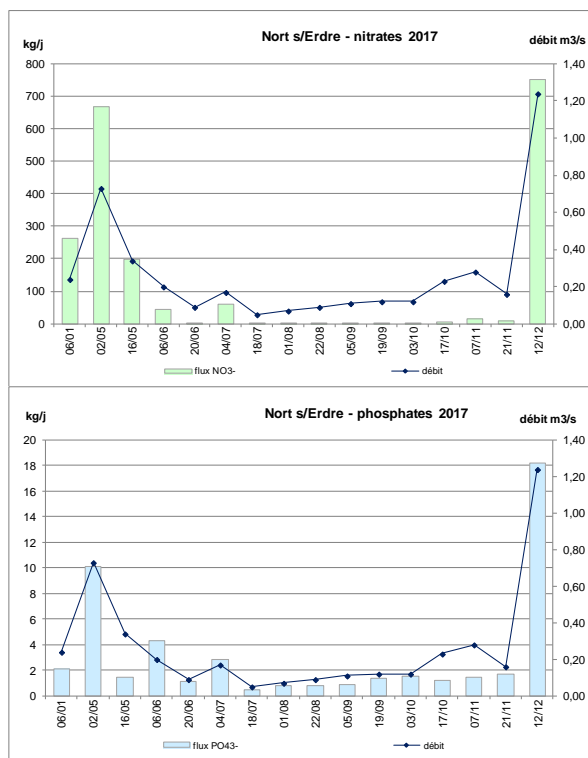


Fig. 3 : Débits à Nort s/Erdre et pluviométrie en 2017

À Nort, les échantillonnages par Bi-Eau ont eu lieu entre le 2 mai et le 12 décembre 2017 (Tabl. 2), par des débits entre 0.020 (étiage maximal) et 1.25 m³/s (le 11/12). L'intervention sur le terrain de l'EDENN, vise généralement les périodes hivernales donc plus pluvieuses, pour permettre le dosage des nitrates et des orthophosphates et le conséquent calcul des flux : cette année, un seul échantillonnage a eu lieu en janvier. Les flux calculés au cours de 16 dates sont illustrés dans la figure 4.



Nort s/Erdre	flux NO ₃ ⁻	flux PO ₄ ³⁻
	kg/j	kg/j
06/01/17	261	2,1
02/05/17	669	10,1
16/05/17	197	1,5
06/06/17	43	4,3
20/06/17	2	1,1
04/07/17	59	2,8
18/07/17	1	0,5
01/08/17	2	0,8
22/08/17	2	0,8
05/09/17	2	0,9
19/09/17	3	1,3
03/10/17	3	1,6
17/10/17	5	1,2
07/11/17	15	1,5
21/11/17	8	1,7
12/12/17	750	18,2

Fig. 4 : Flux de nitrates (en vert) et d'orthophosphates (en bleu) à Nort s/Erdre en 2017 (prélèvements EDENN en grisé et Bi-Eau confondus)

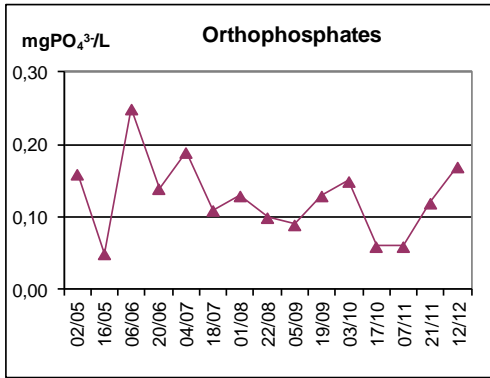
Comme nous pouvons nous en douter, du fait des très bas débits estivaux, les flux sont faibles pendant toute cette période (en dessous de 60 kgNO₃⁻/j pour les nitrates et de 5 kgPO₄³⁻/j pour les orthophosphates - Fig. 4). C'est indubitablement le prélèvement du 12 décembre qui cumule :

- ✓ les maxima de flux des deux nutriments recherchés : 750 kgNO₃⁻/j pour les nitrates, c'est une valeur très basse, depuis que ces calculs sont réalisés (2005) ; notons que le 2 mai une valeur aussi élevée (669 kgNO₃⁻/j - Fig. 4) faisait suite à une pluie de 11.9 mm deux jours auparavant ;
- ✓ ce même 12 décembre, le flux d'orthophosphates est aussi le plus fort de l'année, soit 18.2 kgPO₄³⁻/j.

Les minima sont également concomitants, respectivement 1 kgNO₃⁻/j et 0.5 kgPO₄³⁻/j, ils ont lieu le 18 juillet, c'est le 7^{ème} jour sans pluie.

Notons que pendant les plus forts débits de l'année (février-mars, Fig. 3), les échantillonnages d'eau n'ont pas pu être effectués, ce qui aurait sans doute montré des flux un peu à la hausse relativement à ceux constatés.

Sans doute en conséquence de cela, les eaux de Nort s/Erdre ont enregistré, cette année, une concentration maximale en nitrates de 12.6 mgNO₃⁻/L (06/01), ce qui est faible, pour une moyenne de seulement 5.57 mgNO₃⁻/L (sur 16 dates). Aussi, dans 50% des analyses, le seuil de dosage n'a pas été atteint (<0.5 mgNO₃⁻/L, du 20/06 au 17/10, à l'exception du 04/07).



Quant aux orthophosphates, en revanche, ils paraissent relativement élevés pendant le suivi intensif (Fig. 5), aucune date ne montre une valeur inférieure au seuil (minimum de 0.05 mgPO₄³⁻/L le 16/05).

Ce paramètre est donc abondant et il subit de fréquentes fluctuations, avec un maximum (le plus élevé de l'année sur l'Observatoire) de 0.25 mgPO₄³⁻/L le 6 juin.

Fig. 5 : Orthophosphates à Nort s/Erdre sur toute l'année en 2017

Pour finir avec les principaux nutriments, les silicates sont toujours largement abondants (9 mgSiO₃/L en moyenne) et ne descendent jamais en dessous de 4.7 mgSiO₃/L (le 03/10).

Durant la période du suivi régulier, c'est ici que l'eau est la plus froide en moyenne (17.6 °C), sans doute en raison de son écoulement en provenance de la partie sauvage, au moins une partie de l'année.

La conductivité est, cette année, très élevée (moyenne = 492 µS/cm) fluctuant fortement (amplitude de 348 à 702 µS/cm - Fig. 6) : ces caractéristiques traduisent un manque de dilution certain durant l'été, car l'étiage s'est fortement prolongé.

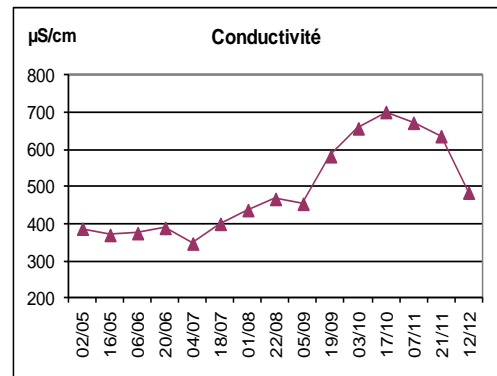
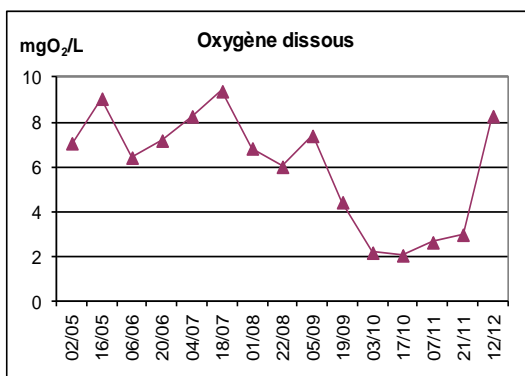


Fig. 6 : Conductivité à Nort s/Erdre en 2017

Dans cette station, la transparence oscille entre 0.45 et 1.10 m (valeur maximale lors de la 1^{ère} sortie), ce qui est globalement un peu mieux que dans les autres stations.

L'Erdre ici est nettement alcaline (pH moy = 7.48) avec des fluctuations inférieures à 2 unités au cours de l'année.



Le milieu est toutefois mal oxygéné, sa moyenne de 6.0 mgO₂/L serait acceptable, si ce n'était trois valeurs proches de 2 mgO₂/L (dont seulement 2.1 mgO₂/L le 17/10 - Fig. 7). En conséquence, il n'y a qu'une seule date à sursaturation (112.6%, le 18/07) et toute la fin de l'été montre une situation problématique.

Fig. 7 : Concentration en oxygène dissous à Nort s/Erdre en 2017

Dans cette station les eaux sont donc assez classiques pour ce type de bassin versant, sinon que cette année, sans doute en lien avec un étiage très long et relativement chaud, le taux de renouvellement d'oxygène dans l'eau a été déficient.

Avec le printemps, vont se développer des populations algales qui contribueront à la production d'oxygène : ce dernier peut être utilisé par de la matière organique (vivante ou inerte) qui jouera sur la balance production/consommation.

En début et fin de campagne, un phytoplancton unicellulaire se met en place, tandis qu'en été, à la faveur de temps de séjour allongés, ce sont les algues pluricellulaires (filamenteuses et coloniales) qui s'installeront (Fig. 8). Cette proportion est ici cependant bien plus faible que dans les 4 autres stations.



Fig. 8 : Abondances cellulaires et algales à Nort s/Erdre en 2017 (Rq. : échelle logarithmique)

La succession phytoplanctonique peut ainsi être résumée :

- ✓ la 1^{ère} sortie se déroule par une très bonne transparence (1.1 m) et la chlorophylle a n'est que de 1.4 µg/L ;
- ✓ un 1^{er} pic se met en place (58 897 cell./mL, pour 46.2 µg/L de chlorophylle a, le 06/06 - Fig. 9), logiquement dû à des Diatomées (80%), particulièrement *Skeletonema potamos* qui domine très fortement, puisque l'indice de Shannon est à son minimum (2.04 bits/ind., pour une richesse de 24 taxa seulement) ;
- ✓ la biomasse produite progresse (max= 10.1 mg/L le 18/07) parallèlement à un peuplement qui se complexifie (67 taxa simultanément le 01/08, puis indice de Shannon = 5.05 bits/ind. le 05/09) ;
- ✓ les algues vertes (Chlorophycées) sont alors bien développées ainsi que les Cyanobactéries, grâce notamment à *Aphanocapsa incerta* (photo - jusqu'au 05/09), constituée de toutes petites cellules, contribuant au maximum de concentration cellulaire le 5 septembre, avec 101 678 cell./mL ;

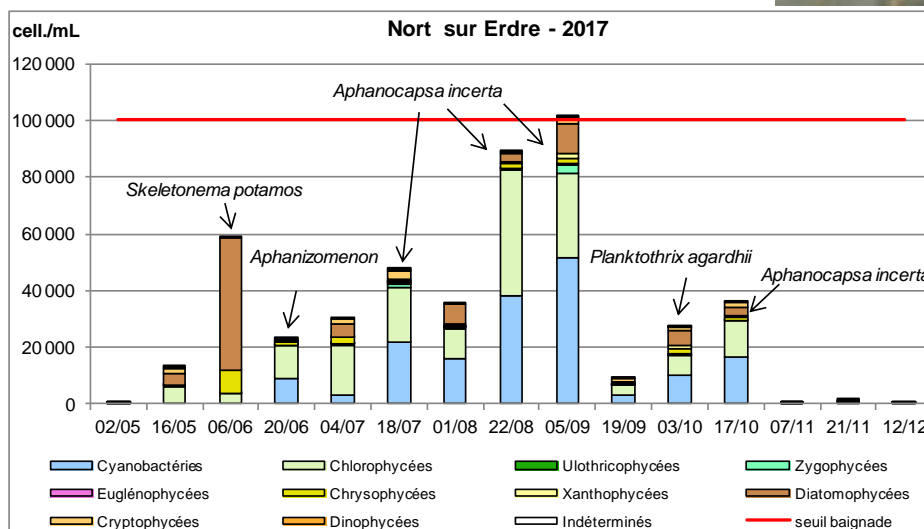
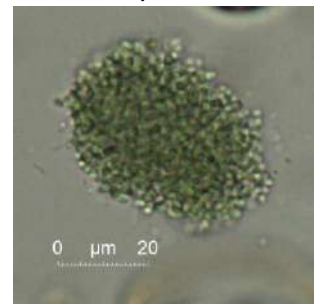
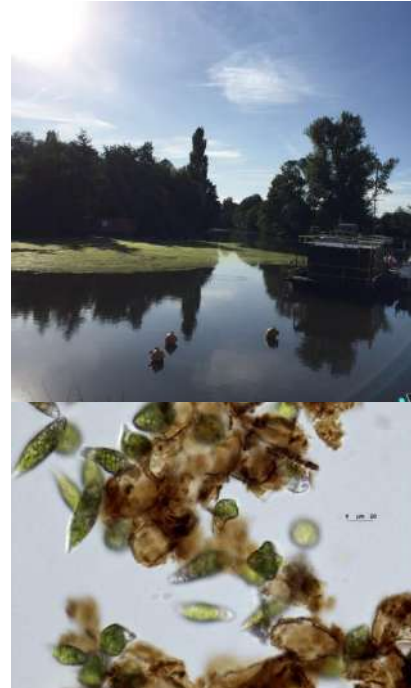


Fig. 9 : Effectifs cellulaires par classe, observés dans le phytoplancton de Nort s/Erdre

- ✓ ce maximum du 5 septembre coïncide avec le maximum de chlorophylle *a* (62.5 µg/L), de pH (8.9) mais avec seulement 7.4 mgO₂/L, taux qui ne cessera de chuter dans les semaines qui suivent ;
- ✓ le 19 septembre, survient un phénomène curieux : lors du prélèvement, des tâches verdâtres en surface avaient été observées, en amont et en aval du ponton de prélèvement ;
- ✓ cette efflorescence est échantillonnée et on constate qu'elle est composée d'une population d'Euglénophycées, soit l'espèce *Euglena proxima* (photo) qui a la particularité de produire des kystes très gras, qui migrent facilement en surface, rendant la prolifération très visible ;
- ✓ ces algues ont la réputation d'apprécier la matière organique, et cette efflorescence, avec une forte désoxygénation en cette fin d'été (des taux < 3 mgO₂/L sur trois sorties successives), nous fait penser à une contamination, peut-être ponctuelle, proche de la station ;
- ✓ en octobre, les Cyanobactéries (*Planktothrix agardhii* et *Aphanocapsa incerta*) sont encore bien présentes mais dès le mois de novembre, les effectifs chutent drastiquement (Fig. 9), parallèlement à la montée progressive des débits (Fig. 3).



La fin de l'année montre un phytoplancton dont la configuration est déjà hivernale, et les paramètres quantitatifs situent les récoltes au même niveau (de chlorophylle *a*, de biomasse) que le tout début de campagne.

L'année 2017 à Nort s/Erdre a montré un phytoplancton avec des concentrations plus élevées que ces dernières années (en cellules et en biomasse) ; malgré un fort déficit en nitrates, les orthophosphates sont toujours restés disponibles.

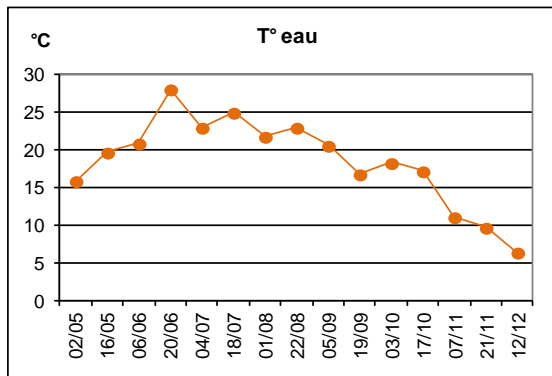
Le très fort et long étiage caractérisant cet été (plus de 4 mois de débits faibles) est en relation avec ces développements, car les temps de séjour sont plus longs et les peuplements ont le temps de se complexifier : d'ailleurs la diversité taxinomique de cette station est fort élevée.

Bien que les Cyanobactéries aient été présentes cette année, c'est surtout une fleur-d'eau due à des Euglènes (septembre) qui sera à retenir : elle semble indiquer des excès de matière organique, qui ont eu pour conséquence un grave déficit en oxygène dissous dans l'eau. Une enquête plus approfondie d'éventuelles sources sauvages (assainissement) dans le port pourrait être menée par la municipalité.

3.2. Sucé s/Erdre

Située en dessous du pont de cette ville (RD37), cette station se trouve à un goulot d'étranglement qui draine toute la plaine de Mazerolles, avant de s'écouler vers Carquefou, et, *in fine*, la Loire.

Peut-être en raison de cette ample exposition préalable au soleil, Sucé a enregistré le maximum de



température de l'eau pour cette année, soit 28.1°C le 20 juin (Fig. 10).



Son pH est toujours largement alcalin (jusqu'à 9.3 le 05/09), mais sa minéralisation ne varie pas beaucoup (entre 390 et 432 $\mu\text{S}/\text{cm}$), contrairement à ce que nous avons observé à Nort.

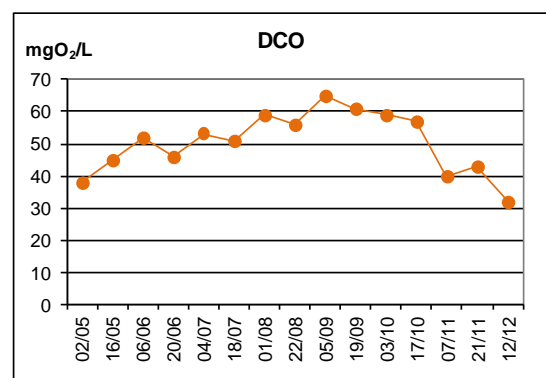
Fig. 10 : Évolution de la température de l'eau, à Sucé en 2017

L'eau y est assez turbide (0.57 m de transparence en moyenne), malgré le fait qu'on y enregistre le maximum de transparence, en toute fin d'année (1.40 m le 12/12, le fond du lit était aperçu).

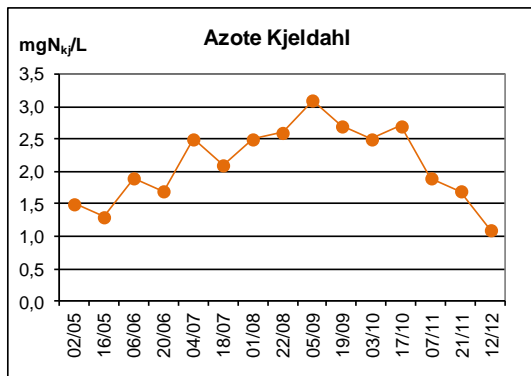
Malgré un pic d'oxygène à 10.4 mgO_2/L le 20 juin (la température de l'eau est alors au plus chaud - 28.1°C, ce qui est curieux), ce gaz peut être relativement déficitaire (5.5 mgO_2/L , le 06/06) et le taux de dissolution peut aussi être faible (58.1% le 07/11) ; ainsi, sans être aussi grave que dans la station amont, cette mauvaise oxygénation de l'eau peut traduire nombre de phénomènes oxydatifs, surtout en fin de saison.

C'est aussi ce que semble indiquer la DCO (Fig. 11), qui est ici très élevée en général (moyenne = 50.5 mgO_2/L). En effet, elle augmente progressivement au fil de la saison, pour atteindre un maximum de 65 mgO_2/L le 5 septembre, (suivi de 61 mg/L , 2 semaines après). Il faudra attendre novembre, pour que les concentrations redescendent franchement.

Fig. 11 : Fluctuation de la DCO à Sucé, en 2017



Ces valeurs traduisent la présence de composés oxydables, qui pourraient être reliés à la forte production de matière organique dans ces eaux. Car, même si les nitrates sont quasiment épuisés (86% de dosages en dessous du seuil d'analyse), ainsi que les nitrites (0.06 mgNO_2/L en moyenne), les orthophosphates sont bien présents, et les algues peuvent s'en servir sans restriction (0.12 $\text{mgPO}_4^{3-}/\text{L}$ en moyenne, et toutes les récoltes sont dosables).



Hypothèse que semble confirmer l'azote organique Kjeldahl (Fig. 12), avec des teneurs toujours supérieures ou égales à 1.1 mgN_{kj}/L et jusqu'à 3.1 mgN_{kj}/L, le 5 septembre. Notons que la moyenne annuelle (2.1 mgN_{kj}/L) est la plus forte de toutes les stations, cette année.

Fig. 12 : Évolution de l'azote Kjeldahl, à Sucé en 2017

Ajoutons que le phosphore total, dont les valeurs sont toujours élevées (moyenne de 0.18 mgP/L, pour un maximum de 0.26 mgP/L le 05/09), dénonce également une production organique intense.

La figure 13 montre l'évolution du phytoplancton dans cette station, et l'on perçoit qu'en dehors des 3 premières récoltes, la composition est assez monotone, les Cyanobactéries dominent de façon impressionnante, et ce jusqu'à dépasser un million de cellules/mL. En moyenne, il y a un facteur 10 entre Nort et Sucé, pour des descripteurs tels que la biomasse et la concentration cellulaire.

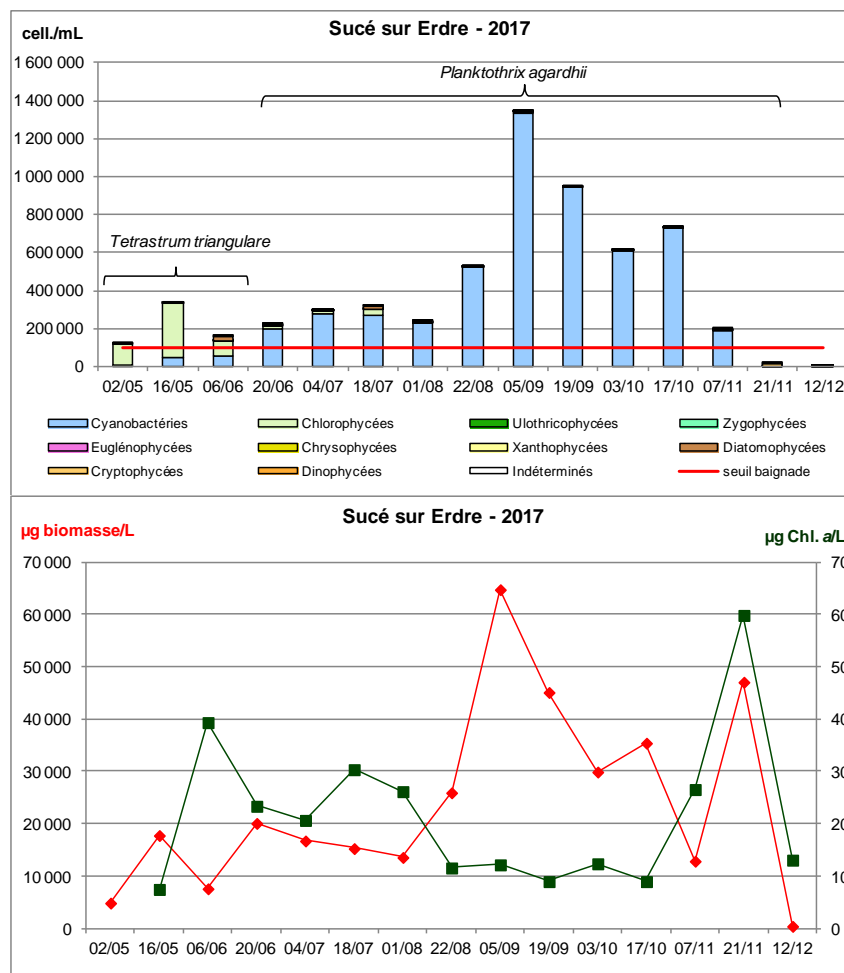
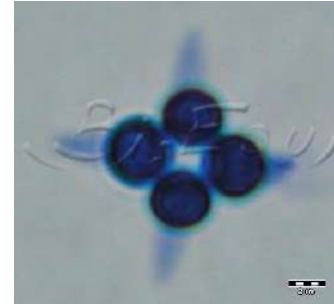


Fig. 13 : Effectifs cellulaires par classe, dans le phytoplancton à Sucé s/Erdre, en 2017 et biomasse algale et chlorophylle a, pour le même intervalle de temps

L'évolution du phytoplancton peut se résumer comme suit :

- ✓ les trois premières récoltes sont les seules où les algues vertes s'expriment réellement, à la faveur sans doute d'une belle transparence (0.70 m le 16/05) : il s'agit surtout de *Tetrastrum triangulare*, dont les effectifs atteignent 257 332 cell./mL, loin devant les autres Chlorophycées (*Coronastrum ellipsoideum* ensuite - photo avec du bleu de méthylène) ;



- ✓ malgré un essai timide (le 06/06), jamais les diatomées (*Skeletonema potamos* parmi d'autres centriques) ne réussiront pas à s'imposer, alors qu'il y a un léger pic de chlorophylle *a* (39.4 µg/L - Fig. 13), mais correspondant à une faible production d'oxygène (5.5 mgO₂/L) ;
- ✓ sur le plan taxinomique s'ensuit un pic de 80 taxons (le 20/06 - Fig. 14, en même temps que l'eau est la plus chaude de la saison), coïncidant avec le plus fort indice de Shannon (5.2 bits/ind.) : c'est donc un peuplement extrêmement varié qui se met en place, avant la domination inexorable de *Planktothrix agardhii* (Fig. 13) ;

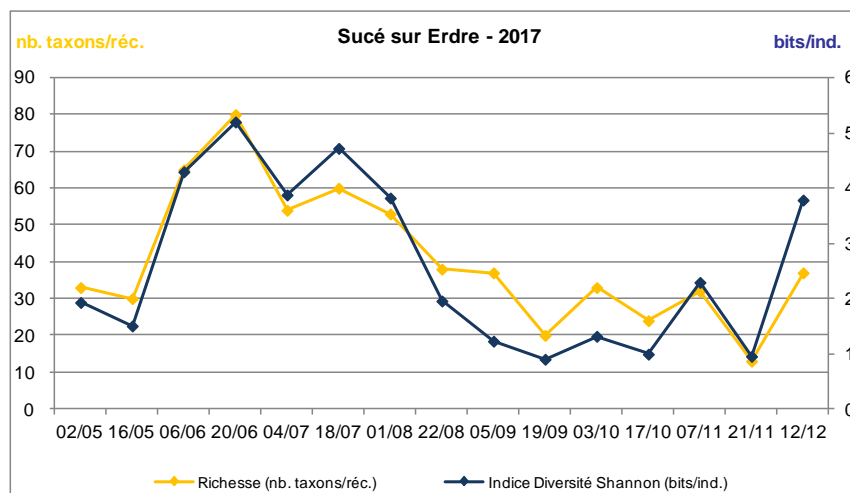


Fig. 14 : Comparatif de la richesse et de l'indice de diversité de Shannon, dans le phytoplancton à Sucé s/Erdre, 2017

- ✓ tant que les abondances cellulaires ne dépassent pas 400 000 cell./mL, le peuplement phytoplanctonique semble relativement contenu (01/08, Fig. 13) : mais dès le 5 septembre, nous observons le maximum annuel (de 1.3 million de cell./mL, à 98% c'est *Planktothrix*), ce qui va provoquer : une saturation de la colonne d'eau (101.8% d'O₂), un pH de 9.3 et le maximum de biomasse de 64.8 mg/L, ce qui est très important ; de même, ce bloom coïncide avec les maxima de phosphore total (0.26 mgP/L) et d'azote Kjeldahl (3.1 mgN_{kj}/L), tout comme de la DCO (65 mgO₂/L) ; pourtant, la chlorophylle *a* ne révèle que 12.2 µg/L (Fig. 13), ce qui est étonnant ;
- ✓ une forte consommation d'oxygène s'ensuit le 19 septembre (saturation à 60% seulement), avec un indice de diversité d'à peine 0.9 bits/ind., alors que la transparence demeure faible (0.35 m du 05/09 au 03/10) ;

- ✓ le peuplement se maintiendra plus ou moins bien jusqu'en novembre, s'en que les teneurs pigmentaires en rendent compte ;
- ✓ mais le phytoplancton chute carrément en fin novembre (Fig. 13) et le maximum de chlorophylle *a* est atteint le 21 novembre, correspondant à une poussée de *Cryptomonas* (sans doute plusieurs espèces - photo) dont la taille non négligeable permet d'atteindre le 2nd pic de biomasse (47.1 mg/L) ;
- ✓ lors de la dernière sortie, le phytoplancton est très pauvre et l'eau au meilleur de sa transparence (1.4 m).



En définitive, seules les premières sorties ont montré un phytoplancton relativement équilibré, car très vite les conditions ont favorisé une seule espèce, qui a pris le dessus sur toutes les autres, et ce pendant cinq mois de l'affilée.

Sucé s/Erdre s'est révélé, encore une fois, comme une station où le phytoplancton reste très productif quelle que soit la saison. La Cyanobactérie *Planktothrix agardhii* est présente dans tous les prélèvements à partir de mai (sauf dans les deux derniers), et domine rapidement toutes les autres populations, déployant des effectifs très importants.

Cette richesse quantitative contraste avec une certaine pauvreté qualitative, il y a ici moins de moyens d'expression pour les autres classes d'algues, qui représentent moins de 10% du total cellulaire dans la plupart des récoltes à partir du début juillet.

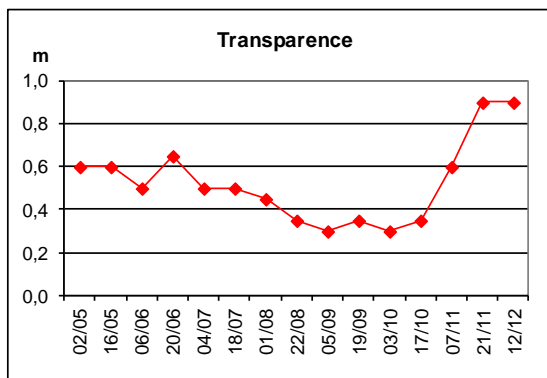
Cette production n'est possible que grâce à l'abondance de phosphore soluble, alors que les nitrates sont presque inexistantes : cette situation favorise d'emblée les Cyanobactéries, moins exigeantes en azote que les autres groupes du phytoplancton. La conséquence de cela, ce sont les taux élevés de DCO, de phosphore total et d'azote Kjeldahl, qui seront fort pénalisants pour la caractérisation de la station.

3.3. Carquefou - Port Jean

Cette campagne 2017 a été la première où cette station était échantillonnée par Bi-Eau. Son positionnement est rappelé sur la carte de la figure 1, et par ailleurs une fiche station détaillée est positionnée en annexe.



Nous prélevons au bout de la jetée de Port Jean (photo du milieu). Rappelons que cette station est un peu encaissée, se trouvant dans le contour nord de la baie de Carquefou (Fig. 1) à mi-chemin entre Sucé et la Jonelière. Les autres stations du suivi sont généralement plus exposées dans le droit fil de l'Erdre.



Les eaux de cette station sont en général assez vertes et turbides, comme le confirme la mesure du disque Secchi (Fig. 15). En effet, la transparence fluctue autour de 0.52 m (moyenne), avec un maximum qui n'atteint jamais 1 m (à savoir seulement 0.9 m, les 21/11 et 12/12).

Fig. 15 : Transparence de l'eau, en 2017 à Carquefou

Une autre caractéristique est que dans cette station la conductivité montre une eau moyennement minéralisée (autour de 390 $\mu\text{S}/\text{cm}$) mais très stable, avec une amplitude d'à peine 33 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dans ce contexte, les variations de pH sont quand même non négligeables (toujours en nette alcalinité - Fig. 16), avec une valeur maximale de 9.58, le 22 août (la plus forte de tout ce suivi).

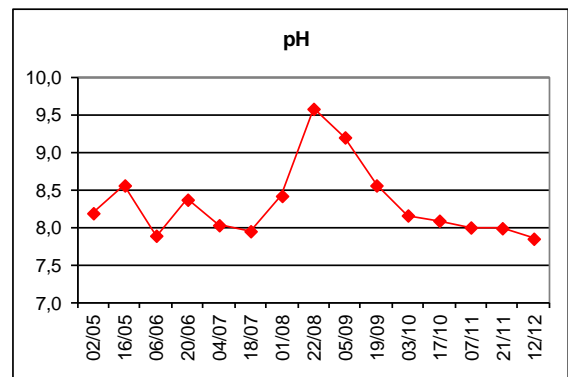


Fig. 16 : Variations du pH, Carquefou en 2017



Cette valeur de fort pH est à relier avec une production importante d'oxygène à la même époque, ce qui se traduit par 12 mgO_2/L (le 22/08) pour une sursaturation simultanée de 139.8%, laissant augurer une forte prolifération algale, visible d'ailleurs à l'œil nu (photo).

À bien des égards, Carquefou ressemble, dans ses concentrations globales, à Sucé s/Erdre, car les ordres de grandeur des différents paramètres sont équivalents. En effet, pendant la période d'étude, c'est une station qui est très riche en nutriments assimilables par les plantes (et pour le phytoplancton de surcroît) :

- ✓ orthophosphates toujours supérieurs au seuil (sauf le 16/05), autour de 0.11 mgPO₄³⁻/L et jusqu'à 0.19 mgPO₄³⁻/L (le 05/09 - Fig. 17) ;
- ✓ silicates (jamais < seuil) mais pouvant descendre à 0.51 mgSiO₃/L (le 18/07, excluant ainsi la division des diatomées).

En revanche, hormis lors de la première et de la dernière sortie, les nitrates font toujours défaut (dans 87% des cas, ils sont < 0.5 mgNO₃⁻/L), ce qui est pénalisant pour certaines classes d'algues.

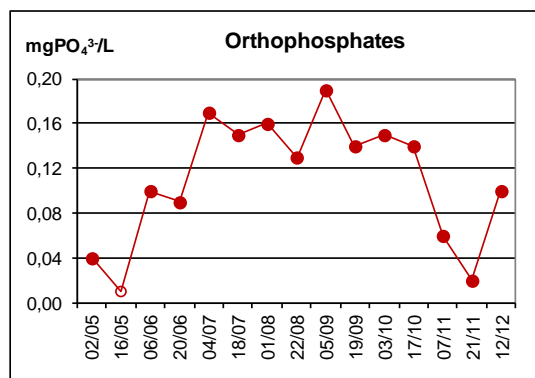


Fig. 17 : Variations des orthophosphates pendant le suivi 2017, à Carquefou

Rq. : en creux, la demi-valeur du seuil

Les nitrites (moyenne de 0.06 mgNO₂⁻/L) et l'ammonium (maxi 0.51 mgNH₄⁺/L, le 04/07) ne sont pas observés dans de fortes concentrations, et fréquemment (en été surtout), ils sont en limite des méthodes de détection.

Nous soulignons ainsi que la balance azote/phosphore est très déséquilibrée, avec des rapports plutôt faibles, ce qui favorise le développement des Cyanobactéries. C'est ce que l'on aperçoit clairement dans la figure 18, qui offre une image proche de celle déjà commentée à Sucé s/Erdre (Fig.13).

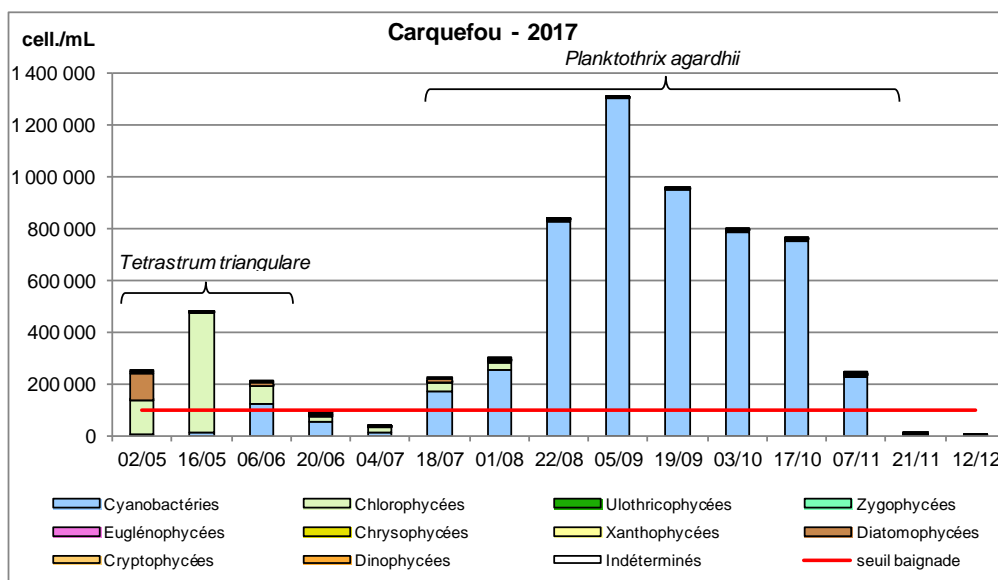
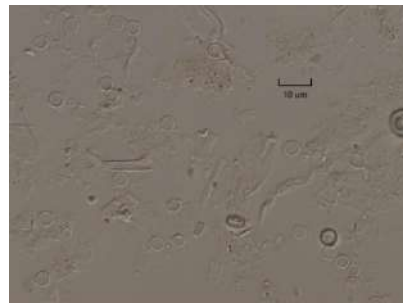


Fig. 18 : Concentration cellulaire du phytoplancton, par classe, à Carquefou, en 2017

En dehors des cinq premières récoltes et des deux dernières, les échantillons varient peu dans leur composition, avec une participation de Cyanobactéries qui atteindra 99.8% à deux reprises (les 19/09 et 17/10).

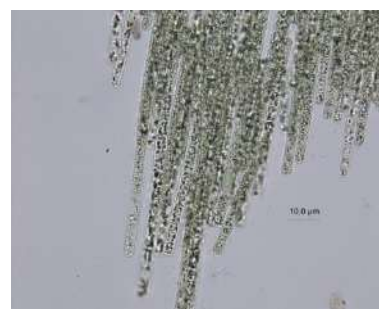
Nous pouvons résumer ainsi la succession algale en 2017, à Carquefou :

- ✓ lors de la première récolte, les diatomées centriques occupent plus de 40% du peuplement : elles sont minuscules (\varnothing 4-5 μm), et même avec des préparations dédiées à leur examen, il est impossible de les identifier (photo) ; ce n'est qu'en microscopie électronique (MEB) qu'il a été possible de conclure qu'il s'agissait de *Discostella pseudostelligera* ; quoi qu'il en soit, cette population est sans doute responsable de la disparition des nitrates (5 mgNO_3^-/L le 02/05), et des orthophosphates (0.04 $\text{mgPO}_4^{3-}/\text{L}$ le 02/05, Fig. 17) : ces deux sels deviennent indétectables dès la sortie suivante ;



- ✓ les algues vertes, déjà importantes le 2 mai (54.7% - Fig. 18), prennent ensuite la relève, avec surtout *Tetrastrum triangulare* (364 245 cell./mL), déjà cité à Sucé ; ce n'est cependant que le 6 juin qu'une valeur de chlorophylle *a* élevée est observée (41.2 $\mu\text{g}/\text{L}$) ;
- ✓ les Cyanobactéries commencent déjà à prendre de l'essor en termes de participation, et il faut rappeler que le 20 juin, malgré des effectifs faibles (pour la station), la température de l'eau est au maximum (27.8°C) ; toutefois, si la richesse est excellente (77 taxa), les effectifs sont faibles, ensuite un net creux est observé le 4 juillet, alors que la conductivité montre sa valeur la plus élevée (403 $\mu\text{S}/\text{cm}$), sans doute en relation avec une montée des orthophosphates et de l'ammonium (0.51 mgNH_4^+/L), ce qui peut faire penser à un apport ponctuel ;

- ✓ se mettent en place alors des populations à morphologie filamenteuse, quelques Ulothricophycées (*Planctonema lauterbornii*) ou Diatomophycées (*Aulacoseira ambigua* fo. *japonica*), mais surtout des Cyanobactéries, telles qu'*Aphanizomenon* (photo), *Cuspidothrix issatschenkoi* ou *Dolichospermum mendotae*, mais surtout *Planktothrix agardhii* (Fig. 18) ;



- ✓ le 22 août est constaté une très forte production d'oxygène (12 mgO_2/L pour 139.8% de saturation), ce qui va faire augmenter le pH (9.58 - Fig. 16) ; la DCO est alors élevée (59 mgO_2/L), et elle va perdurer ainsi pendant les deux sorties suivantes, ce qui sera déclassant ; car début septembre l'abondance cellulaire dépasse aisément le million de cell./mL (1 308 710 cell./mL, 05/09), avec un record de phosphore total (0.28 mgP/L), d'orthophosphates (0.19 $\text{mgPO}_4^{3-}/\text{L}$), d'azote Kjeldahl (2.8 $\text{mgN}_{\text{Kj}}/\text{L}$) et une faible transparence (0.3 m) ; curieusement, la chlorophylle *a* ne détecte à cette date que 16.6 $\mu\text{g}/\text{L}$, alors que nous avons estimé la biomasse à 64.4 (64 345 $\mu\text{g}/\text{L}$ - Fig. 19).

Par son ampleur, sa composition et la durée dans le temps, ce développement estival de *Planktothrix* est très proche de ce qui a été rencontré à Sucé, à la même

période : il nous semble que la situation du phytoplancton des deux stations est assez similaire, malgré la distance qui les sépare.

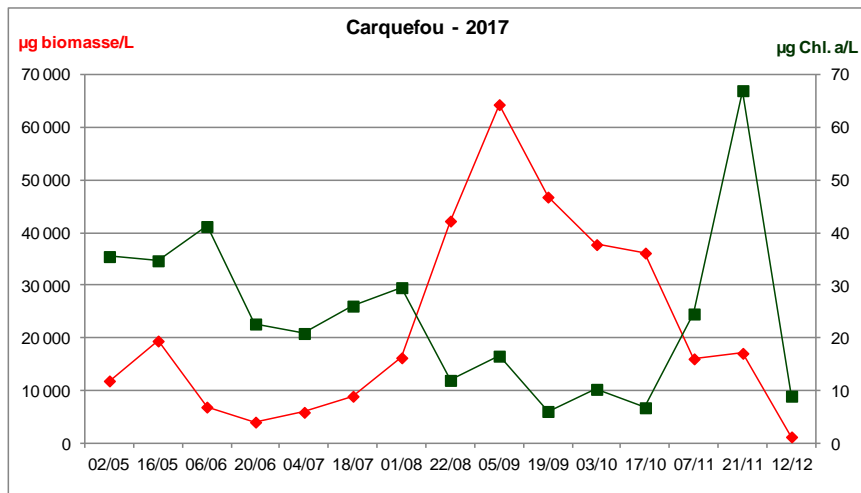


Fig. 19 : Comparaison entre la biomasse et la chlorophylle a à Carquefou en 2017

Très curieusement, le maximum pigmentaire (Fig.19), assez élevé (67 µg chl. a/L), est enregistré très tardivement (le 21/11), alors que les effectifs cellulaires totaux sont en dessous de 15 000 cell./mL (et la biomasse en dessous de 20 mg/L) ; parallèlement, l'eau est la plus transparente de l'année (0.9 m lors des deux dernières sorties), ce qui plaide pour une faible production chlorophyllienne.

Sur le plan du phytoplancton, la fin de l'été est d'une grande monotonie, avec un déclin progressif des biomasses, mais ce n'est qu'à partir du 21 novembre (ce qui est assez tard, mais en relation avec un étiage prolongé), que les effectifs (Fig. 18) et les biomasses (Fig. 19) chutent drastiquement.

Echantillonnée pour la 1^{ère} fois en 2017 selon les mêmes méthodes que celles adoptées par l'Observatoire de l'Erdre, la station de Carquefou présente un comportement très proche de celui de Sucé.

Malgré un positionnement de la station assez différent, cette nouvelle station semble peu différente de la précédente, comme si, cette année, la morphologie et les conditions physiques particulières des emplacements n'avaient pas de poids déterminant dans la composition floristique.

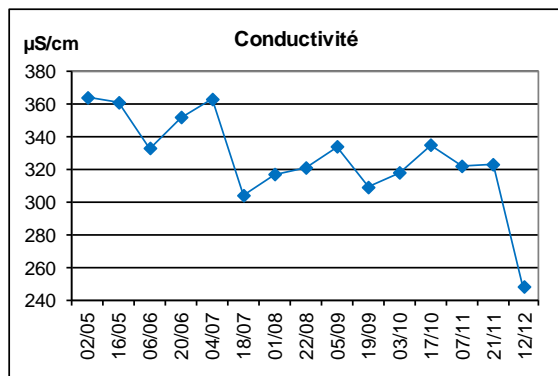
Très favorisées par des rapports N/P faibles, les Cyanobactéries deviennent rapidement très dominantes, et les formes filamenteuses sont avantagées dans un milieu relativement turbulent : nous assistons à la surreprésentation de l'espèce "reine" de l'Erdre, *Planktothrix agardhii*.

Du point de vue de la chimie, les nitrates sont ici rapidement épuisés, mais les orthophosphates demeurent disponibles pratiquement tout le temps ; ce qui favorise la production, avec de fortes teneurs en azote Kjeldahl, en phosphore total et en DCO. *In situ*, la prolifération algale entraîne (de jour) une sursaturation en oxygène, qui fait augmenter le pH à des limites élevées, peu habituelles dans la région.

3.4. La Jonelière

Nettement plus ouverte que la station précédente, cette station se trouve face à un fréquent passage de bateaux.

Avec un pH toujours nettement alcalin (minimum 7.38 le 06/06), cette station a une oxygénation correcte (moyenne autour de 8.1 mgO₂/L) et son taux d'oxygénation ne descend pas en dessous de 65% (le 07/11).



La conductivité ici est moyenne et varie avec une amplitude de seulement 116 µS/cm (Fig. 20). La plus forte minéralisation est observée lors de la première sortie (364 µS/cm, le 02/05) et la plus faible au cours de la dernière (248 µS/cm le 12/12) : celle-ci illustre une arrivée d'eau (pluie) qui provoque une dilution.

Fig. 20 : Conductivité, à la Jonelière (2017)

La transparence est un peu meilleure qu'à Carquefou, mais à peine, et le maximum de 1 m est enregistré seulement lors des deux derniers prélèvements. Le minimum est de 0.35 m (le 05/09).

Aussi, à la Jonelière la hauteur de la colonne d'eau a diminué progressivement tout au long du suivi, en partant de 1.9 m, pour retrouver à nouveau cette valeur en fin d'année (le 12/12 - Fig. 21). Notons que le niveau le plus bas illustre le fort étiage, soit 1.6 m entre le 17 octobre et le 21 novembre.

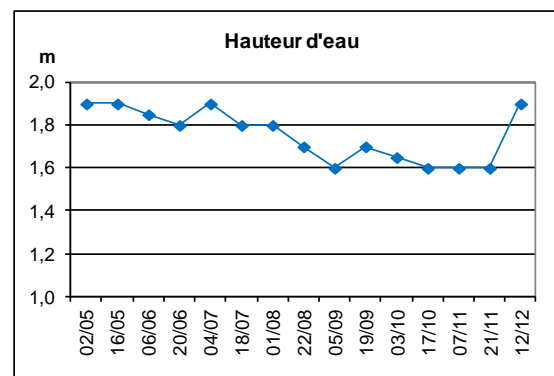


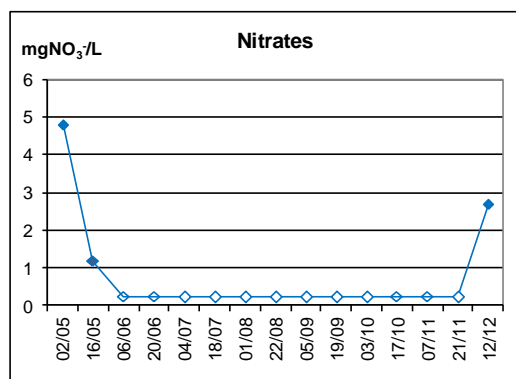
Fig. 21 : Fluctuation du niveau d'eau pendant le suivi 2017 à la Jonelière

Les nutriments, quoique abondants dans l'absolu, sont ici moins disponibles que dans les stations précédentes. Ainsi :

- ✓ les orthophosphates (en dessous du seuil de détection le 21/11), montrent une moyenne de seulement 0.08 mgPO₄³⁻/L et ne dépassent jamais 0.16 mgPO₄³⁻/L (dernière sortie) ;
- ✓ l'ammonium (indétectable à 4 reprises), présente ici une moyenne de 0.11 mgNH₄⁺/L (comme à Sucé et à Carquefou), mais le maximum (0.31 mgNH₄⁺/L) est ici plus bas (identique à celui de Nort) ;

- ✓ les nitrates viennent à manquer ($< 0.5 \text{ mgNO}_3^-/\text{L}$) à partir du 6 juin, et ce jusqu'à l'avant dernière date (Fig. 22) : les algues qui pourraient en être très dépendantes (les Chlorophycées, par ex.), seront donc très limitées à la Jonelière ;

Fig. 22 : Variations des nitrates en 2017 à la Jonelière



- ✓ d'autres algues, telles les Diatomophycées, ont besoin de silicates en tant qu'éléments nutritifs : ceux-ci ne cessent de diminuer jusqu'au 1^{er} août ($0.3 \text{ mg SiO}_3^-/\text{L}$), c'est la plus basse teneur enregistrée dans l'Erdre cette année, et elle pourrait mettre en difficulté la multiplication de ces algues (Fig. 23).

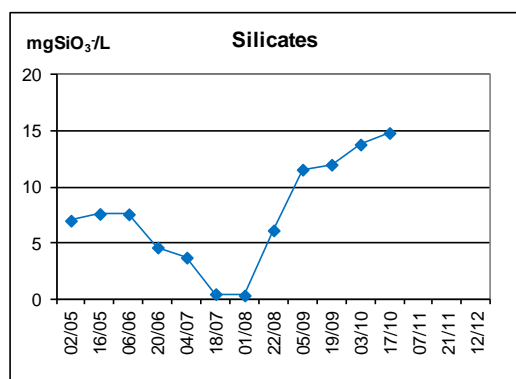


Fig. 23 : Variations des silicates en 2017 à la Jonelière

La Jonelière se caractérise donc par des éléments nutritifs qui sont disponibles seulement en début de saison, et qui se raréfient par la suite. C'est leur régénération permanente qui permet, malgré tout, au phytoplancton de se maintenir, produisant des valeurs élevées de phosphore total ($0.15 \text{ P}_i/\text{L}$ en moyenne) et d'azote organique ($1.64 \text{ mgN}_{\text{org}}/\text{L}$ en moyenne). De ce fait, la demande chimique en oxygène (DCO) est elle aussi relativement élevée ($38 \text{ mgO}_2/\text{L}$, en moyenne). Dans un milieu fortement ouvert et bien brassé (vent et navigation), les algues qui vont se développer sont clairement adaptées aux milieux turbulents.

Relativement aux deux stations précédentes, la Jonelière affiche, du point de vue algal, une certaine baisse quantitative : ceci est vrai pour la moyenne de la biomasse, mais aussi pour celle des abondances cellulaires (totales et en Cyanobactéries - Fig. 24). En revanche, la succession temporelle suit le même schéma déjà commenté dans les chapitres précédents :

- ✓ dès la première récolte (02/05), les diatomées centriques dominent largement le peuplement : il s'agit encore de minuscules *Discostella pseudostelligera* qui poussent dans une eau normalement minéralisée ($364 \mu\text{S}/\text{cm}$) avec encore des nitrates ($4.8 \text{ mgNO}_3^-/\text{L}$) et des nitrites ($0.19 \text{ mgNO}_2^-/\text{L}$) ; le cortège est alors faiblement varié (29 taxa) ;
- ✓ *Tetrastrum triangulare* (Chlorophycée) prend ensuite aisément le 1^{er} rang dans le phytoplancton (16/05), contribuant à une excellente oxygénation de l'eau ($9.4 \text{ mgO}_2/\text{L}$) ; mais cette suprématie est fugace, car déjà rapidement le cortège se complexifie (86 taxa au maximum le 20/06, pour un fort indice de diversité de $5.29 \text{ bits}/\text{ind.}$) ; les Cyanobactéries coloniales de petites cellules deviennent dominantes (*Aphanocapsa incerta* et *A. conferta*) jusqu'en août ;

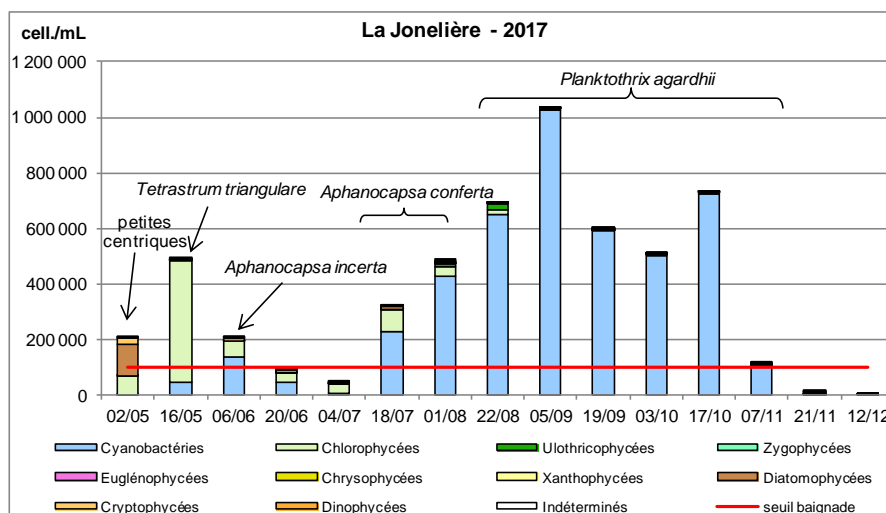


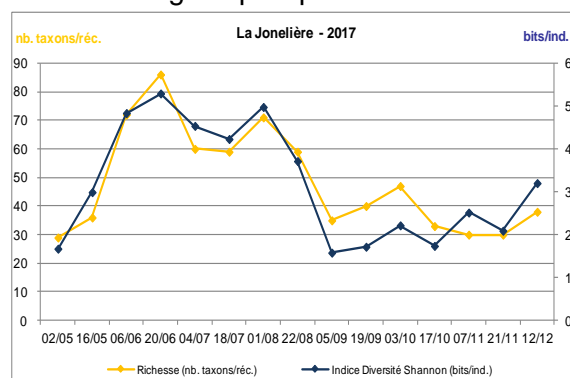
Fig. 24 : Concentration cellulaire du phytoplancton, par classe, à la Jonelière, en 2017

- ✓ notons que dès le 1^{er} août les nitrates (Fig. 22), tout comme la silice (Fig. 23) ou l'ammonium sont au plus bas ; mais les orthophosphates restent disponibles, ce qui permet aux Cyanobactéries, nettement moins exigeantes en azote, de continuer à se multiplier, pour atteindre le maximum d'abondance (un peu plus d'1 million de cell./mL, Fig. 24) ainsi que de biomasse (50.4 mg/L) le 5 septembre ; la DCO est alors au maximum (47 mgO₂/L) dénonçant une richesse élevée en matières oxydables (paramètre déclassant) ; il s'agit encore une fois de *Planktothrix agardhii* (95% des cellules présentes), qui fait chuter la transparence à 0.35 m et l'indice de Shannon à 1.58 bits/ind. ;
- ✓ cette population va se maintenir en effectifs conséquents jusqu'en novembre, où le phytoplancton est divisé par 10 (le 07/11) relativement au pic ; lors des deux dernières sorties le disque de Secchi atteint 1 m, indiquant une transparence déjà correcte ; toutefois, la chlorophylle a affiche son maximum le 21 novembre (79.7 µg/L), valeur difficilement compréhensible, malgré la présence de populations riches en pigments, appartenant au genre *Cryptomonas* (Cryptophycée) ;
- ✓ en décembre, le phytoplancton est devenu rare (349 cell./mL - Fig. 24), et plus aucune Cyanobactérie n'est identifiée ; les orthophosphates (0.16 mgPO₄³⁻/L) et l'ammonium (0.31 mgNH₄⁺/L) sont à leur maximum, mais les conditions climatiques ne sont plus propices au phytoplancton.

Dans cette station aussi, la balance azote/phosphore est très déséquilibrée, avec des rapports plutôt faibles, ce qui favorise le développement des Cyanobactéries. C'est ce que l'on aperçoit clairement dans la figure 24, qui offre une image à peu près aussi monotone que celle déjà commentée à Sucé s/Erdre (Fig.13) ou à Carquefou (Fig. 18).

Il est néanmoins intéressant de constater qu'un stock important de diversité existe dans ce milieu (Fig. 25), même si seules quelques espèces s'épanouissent en nombre.

Fig. 25 : Richesse et indice de Shannon 2017



La station située à la Jonelière offre une succession temporelle très comparable à celles de Sucé et de Carquefou.

Une tentative de développement de la part de groupes tels que les Diatomophycées ou les Chlorophycées est bien effective, mais de courte durée et seulement en fin de printemps. Dès le mois de juin, les Cyanobactéries s'imposent définitivement jusqu'en novembre. Ici aussi, la principale espèce est de très loin *Planktothrix agardhii*.

Signalons toutefois que cette année, et comparant la Jonelière aux deux précédents sites, nous constatons un développement qui est ici un peu moins massif (dépassant à peine 1 million de cell./mL).

Si les besoins en azote se suffisent d'un recyclage interne, un tel mécanisme n'est pas nécessaire pour les orthophosphates qui, à une exception près, sont toujours disponibles.

3.5. L'écluse Saint Félix

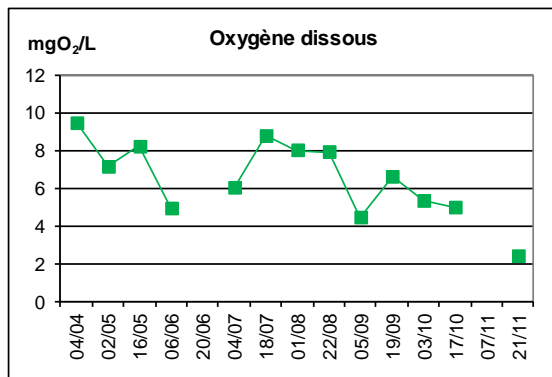
Cette station est la seule à être entièrement prise en charge par Nantes Métropole (Tabl. 3), qui, comme pour les autres sites, confie les échantillons aux mêmes laboratoires, d'où une continuité de méthodes.

Rappelons seulement qu'ici les échantillonnages ont débuté plus tôt, le 4 avril (Tabl. 2) et ont terminé le 21 novembre.



C'est dans cette station que l'on observe la plus grande profondeur, soit 3.7 m (le 18/07). Les eaux sont toujours largement alcalines (pH autour de 7.5), à une exception près (pH = 6.9 le 22/08) et la transparence fluctue entre 0.5 et 1.37 (dernière mesure).

La conductivité de l'Erdre à St Félix est plus forte aux dates extrêmes du suivi (421 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 02/05), et tourne autour de 330 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au plus fort de l'été.



L'oxygène dissous décline au fil du temps (Fig. 26), et la valeur la plus problématique est enregistrée le 21 novembre (2.4 mgO₂/L pour une saturation de 21.2%), ce qui traduit des phénomènes d'oxydation *in situ*. Pour ce paramètre, ce déficit est proche de celui déjà constaté à Nort s/Erdre cette année.

Fig. 26 : Évolution de l'oxygène dissous à St Félix en 2017

Pour ce qui concerne les paramètres chimiques en laboratoire, nous disposons ici d'un nombre restreint de résultats, seules environ la moitié des dates ont été analysées. Nous résumons les principales informations disponibles :

- ✓ les nitrates sont rares, mais curieusement présents en été, alors qu'ils ne le sont pas dans les autres stations (encore 1 mgNO₃⁻/L, le 18/07, date à laquelle est également observé un pic de nitrites, 0.18 mgNO₂⁻/L) ;
- ✓ l'ammonium (Fig. 27) présente ici des valeurs un peu élevées (0.61 mgNH₄⁺/L, le 17/10), rendant compte de phénomènes de réduction probables dans cette station ;
- ✓ les orthophosphates sont souvent (dans plus de la moitié des analyses) indétectables, et ne dépassent pas 0.11 mgPO₄³⁻/L (le 18/07).

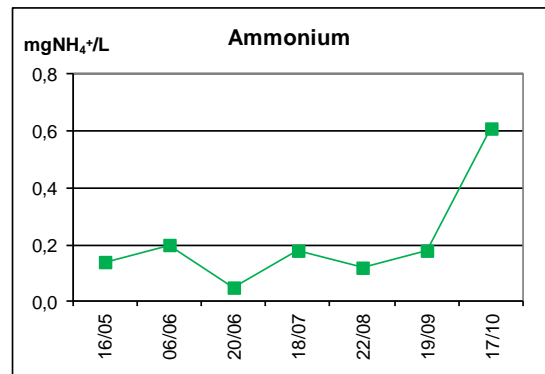


Fig. 27 : Évolution de l'ammonium à St Félix en 2018

Hormis à Nort s/Erdre, où les nitrates sont abondants, ils sont à St Félix un peu plus présents que dans les trois stations intermédiaires. Pour ce qui est des orthophosphates, ils semblent moins disponibles. Des mécanismes de réduction pourraient occasionner une certaine richesse en ammonium.

Dans la figure 28 nous décrivons les principaux éléments phytoplanctoniques dans cette station, et constatons que :

- ✓ l'allure générale du graphique se distingue assez de ce qui a déjà été vu entre Sucé (Fig. 13) et la Jonelière (Fig. 24) : la domination des Cyanobactéries semble ici moins écrasante durant l'été ;
- ✓ seules 4 récoltes (sur 14) voient le pourcentage de cellules de Cyanobactéries dépasser 50% du total cellulaire ; seuls 3 prélèvements dépassent 100 000 cell.cyanos/mL (entre le 19/09 et le 17/10) ;
- ✓ le maximum de production est de 345 015 cell./mL, le 16 mai, et les Cyanobactéries ne sont pratiquement pas impliquées (Fig. 28) ; ce pic coïncide avec celui de la biomasse, qui est de 15.5 mg/L.

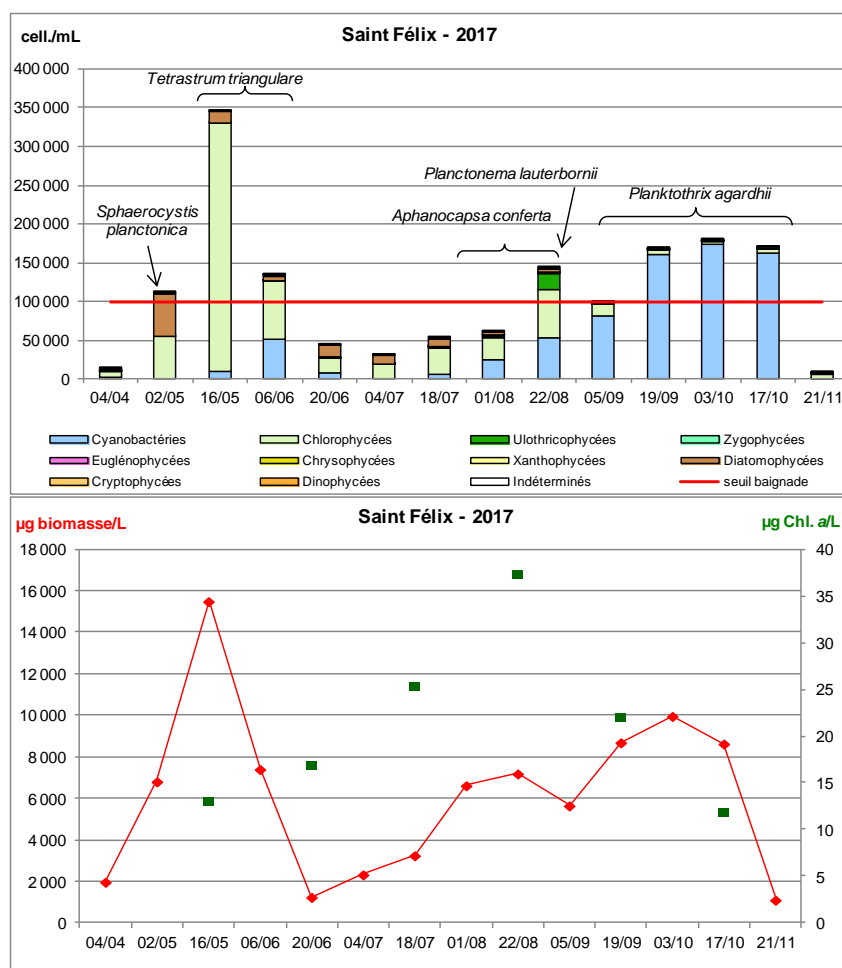


Fig. 28 : Effectifs cellulaires par classe, dans le phytoplancton à l'écluse de St Félix, 2017 et biomasse algale et chlorophylle a (6 dates), pour le même intervalle de temps

Pour ce qui est de la succession algale, nous constatons que :

- ✓ la 1^{ère} récolte paraît encore peu concentrée (13 154 cell./mL), mais elle a été commencée un mois avant celles des autres stations ;

- ✓ comme en amont, un développement de diatomées se met en place début mai (02/05), elles sont toutes petites (*Discostella pseudostelligera*) et leur biomasse est faible ; une algue verte l'accompagne, qui est coloniale : c'est *Sphaerocystis planctonica* (photo) ; le reste du cortège reste discret (minimum de la richesse, 29 taxa et de l'indice de Shannon, 2.47 bits/ind.) ;



- ✓ c'est alors que prolifère une autre Chlorophycée, provoquant un très important pic le 16 mai (345 015 cell./mL, avec une chlorophylle a de 13 µg/L - Fig. 28, ce qui nous paraît sous-estimé) : il s'agit toujours de *Tetrastrum triangulare*, apparemment très favorisé de 2017 à cette période ;
- ✓ suivent des prélèvements où les algues sont en général relativement peu abondantes (Fig. 28), mais il faut dire que les nutriments se font rares : le 20 juin, les nitrates, nitrites, orthophosphates, ne sont pas détectables, ce qui doit juguler la croissance du phytoplancton ;

- ✓ les récoltes deviennent plus abondantes à partir de la mi-juillet (pluie ?), avec une arrivée de phosphore (0.11 mgPO₄³⁻/L), maximum de la station, ainsi qu'un regain de sels d'azote : les effectifs vont retourner à la hausse, avec une part de Cyanobactéries qui s'affirme au cours du temps, malgré une forte richesse du peuplement (richesse = 70 taxa, pour 5.23 bits/ind., le 22/08) : à noter la part remarquable de l'Ulothricophycée *Planctonema lauterbornii* (photo), assez discrète habituellement, contribuant sans doute au maximum de chlorophylle a de ce site (37.3 µg/L) ;



- ✓ enfin, à partir du 5 septembre *Planktothrix agardhii* (Cyanobactérie) s'impose enfin, il était déjà très présent en amont immédiat (la Jonelière) dès le 18 juillet ; cette espèce va dominer à partir du 22 août toutes les récoltes jusqu'à l'avant dernière, et le maximum de Cyanobactéries sera "seulement" de 174 550 cell./mL (le 03/10), sachant que nous avons observé dans les autres stations des effectifs supérieurs à 1 million de cell./mL ;
- ✓ la dernière récolte signe déjà l'automne, elle enregistre les minima de biomasse (1.1 mg/L), d'abondances algale (2 592 alg./mL) et cellulaire (8 270 cell./mL).

L'une des particularités des prélèvements à St Félix en 2017 a été la part importante des algues pluricellulaires, et ce presque depuis le début (Fig. 29).

En définitive, cette station a montré, en 2017, des signes d'eutrophisation moins accentués que par le passé. Surtout, la montée en puissance des Cyanobactéries et plus particulièrement de *Planktothrix agardhii* a été retardée d'environ 2 mois, par rapport à l'amont (par exemple, Sucé).

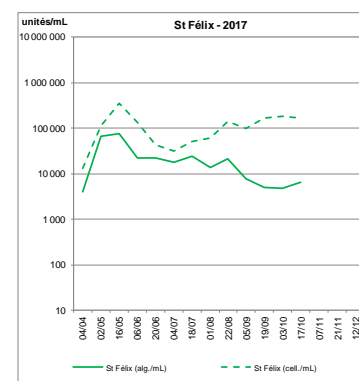


Fig. 29 : Abondances cellulaires et algales à St Félix, 2017 (Rq. : échelle logarithmique)

Le comportement de l'écluse St Félix a été, en 2017, assez particulier : contrairement aux années passées, où la Cyanobactérie *Planktothrix agardhii* prédominait durant une grande partie du suivi, cette année elle ne s'est fait remarquer qu'en toute fin d'été, début d'automne. La rémanence des populations d'algues vertes (au sens large) est peut-être à relier à une certaine rareté en nutriments, notamment en orthophosphates, alors que les sels d'azote pourraient être ici plus disponibles que dans les autres stations.

Nous retiendrons également la très grande richesse taxinomique de cette station, où de nombreuses populations se maintiennent, même si la grande majorité n'occupe jamais les premiers rangs.

Les éléments quantitatifs du phytoplancton que sont la biomasse, l'abondance algale et cellulaire, montrent ici un compartiment moins sur-abondant que dans les autres stations (à l'exception de Nort). En revanche, cette station est sans doute le siège d'une intense décomposition, la matière organique morte en voie d'oxydation révèle des taux de saturations très faibles en oxygène, ce qui est très pénalisant en termes de qualité de l'eau.

Dans le sens longitudinal, nous pressentons donc un gradient décroissant du phytoplancton, déjà amorcé à la Jonelière ; ainsi c'est le secteur moyen du cours d'eau navigable (Sucé-Carquefou) qui reste extrêmement eutrophisé.

3.6. L'évolution amont-aval en 2017

Des observations qui précèdent, nous avons pu constater des évolutions distinctes sur le plan longitudinal (Fig. 30), que nous pourrions résumer ainsi :

- ✓ les éléments nutritifs indispensables à la croissance algale vont diminuer au fil de l'eau, Nort étant sans conteste la station la plus riche ; un regain discret de nitrates est constaté à Carquefou et un autre d'orthophosphates semble avoir lieu à St Félix ;
- ✓ de la matière organique est produite en quantité, principalement entre Nort et Sucé, remarquée sous forme d'azote Kjeldahl et de phosphore total. Elle décline généralement ensuite, mais reste encore forte à St Félix ;

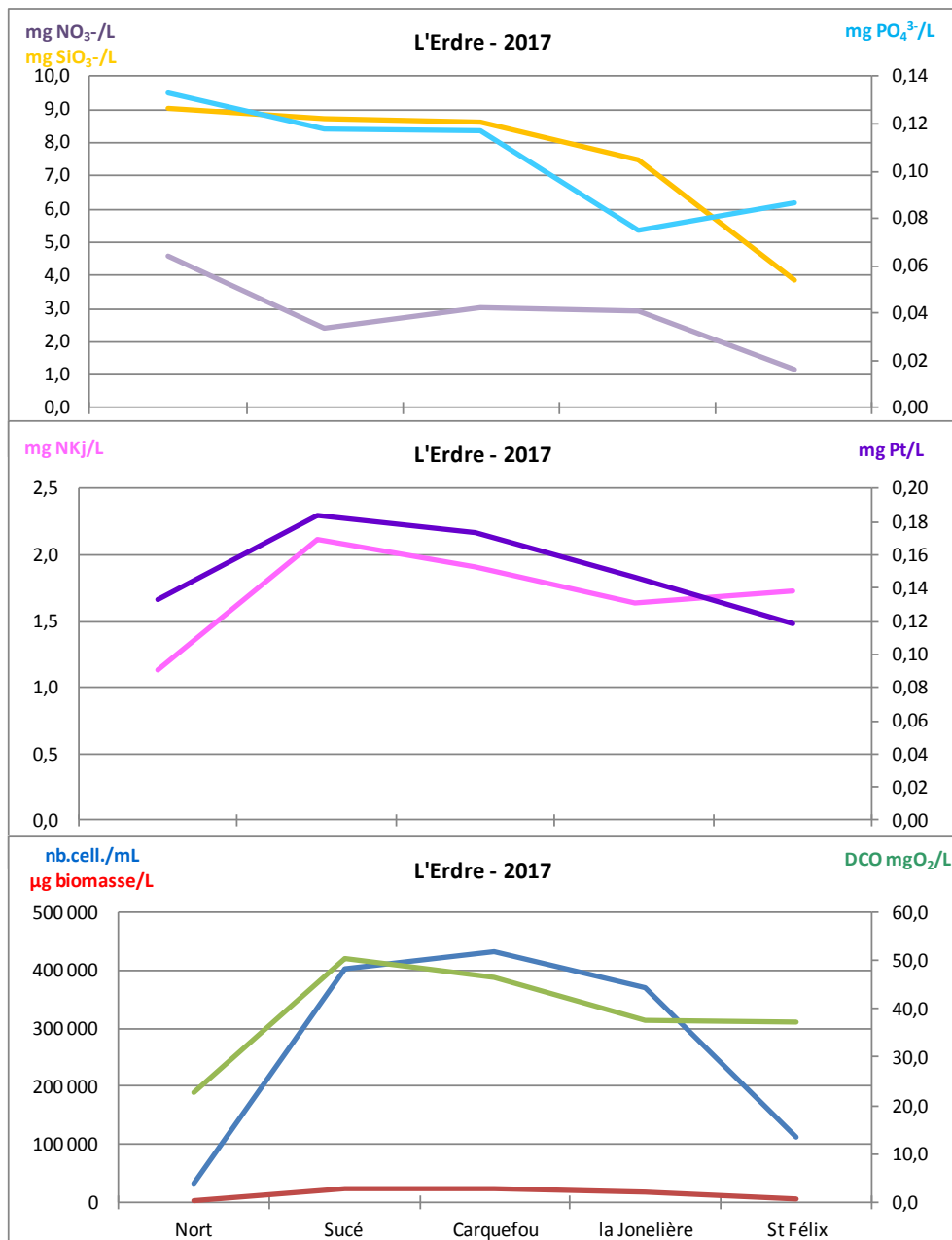


Fig. 30 : Comparaison entre les moyennes par station, des nitrates, silicates orthophosphates, N_{Kj}, phosphore total, densité cellulaire, biomasse, DCO, en 2017

- ✓ ce très fort enrichissement en matériel organique peut être quantifié grâce à la DCO, paramètre global d'oxydation, mais aussi grâce à des approches plus directes telles que l'abondance de cellules phytoplanctoniques ou la conséquente biomasse produite (Fig. 30) ; notons à cet égard les plus fortes valeurs à Carquefou pour les effectifs phytoplanctoniques (en cellules), mais qui ne semblent pas occasionner une plus forte biomasse pour autant (relativement à Sucé, par ex.).

Retenons cependant la conséquence de cette très forte production algale : elle va avoir tendance, un jour ou l'autre, à se dégrader en raison de mécanismes oxydatifs, ce qui va réduire de beaucoup l'oxygène libre disponible : ceci peut poser des problèmes aux différentes populations aérobies colonisant ce milieu.

Le fait que l'année 2017 ait été une année très sèche et subissant un étiage fort et prolongé, a pu accentuer les tendances spatiales, comme le montre la figure 31. Pour cela nous avons utilisé SEQ_{Eau} , sachant néanmoins que selon les stations le nombre de dates retenu n'est pas le même et que tous les paramètres exigés par ce système d'évaluation ne sont pas recherchés dans l'Observatoire. Le tableau ci-dessous nous donne cependant une idée approximative des principaux problèmes rencontrés.

2017	Nantes				
	Nort s/Erdre	Sucé s/Erdre	Carquefou	la Jonelière	St Félix
MOOX	très mauvaise	mauvaise	mauvaise	mauvaise	très mauvaise
AZOTE	passable	passable	passable	passable	passable
NTR	bonne	très bonne	très bonne	bonne	bonne
PHOS	bonne	passable	passable	bonne	bonne
PRVE	passable	passable	mauvaise	mauvaise	mauvaise

très mauvaise
 mauvaise
 passable
 bonne
 très bonne

Fig. 31 : Évaluation de la qualité globale des 5 stations étudiées au cours du suivi 2017 selon 5 altérations

Nous signalons donc que (Fig. 31):

- ✓ **Nort** propose un large éventail de nutriments disponibles, mais parfois, l'oxygène est en très faible concentration, ce qui pénalise gravement (très mauvaise qualité) ce site (teneurs en $O_2 < 2.5$ mg/L) ; il est possible que de la matière organique non autochtone arrive directement dans la station ;
- ✓ à **Sucé**, les nitrates sont entièrement consommés et la production de matière organique se révèle au travers de fortes DCO (> 60 mg O_2 /L), déclassant la station en mauvaise qualité ;
- ✓ **Carquefou** produit un peu plus de phytoplancton (et de Cyanobactéries) que Sucé, et en dehors de la DCO, deux autres paramètres vont en rendre compte : le nombre d'algues produites et le pH (parfois > 9) qui devient trop élevé (dans la séquence de la production diurne d'oxygène, qui alcalinise l'eau) ; la qualité de la station est donc mauvaise aussi ;

- ✓ c'est le même jugement qui sera retenu pour **la Jonelière** (mauvais) pour les mêmes raisons (DCO et nb. unités algales) ; toutefois, la situation du phosphore semble ici plus favorable que dans les deux stations précédentes ;
- ✓ à l'extrême aval, St Félix, est à nouveau considérée comme une station en très mauvais état global : ici encore, c'est la teneur en oxygène dissous qui est parfois trop faible, tout comme le % d'oxygénation (de l'ordre de 20%) ; ce qui relègue ce site en très mauvaise qualité (comme Nort).

Ainsi, les deux stations limitant la zone d'intérêt de l'Observatoire sont connotées en très mauvaise qualité d'eau (Fig. 3). Toutefois, à Nort nous soupçonnons des arrivées externes de matière organique, tandis qu'à St Félix, il s'agit sans doute de la dégradation du phytoplancton produit localement et plus en amont.

3.7. Synthèse 2017

Caractérisée par un étiage particulièrement long après un printemps froid, l'année 2017 a produit pendant assez longtemps un phytoplancton très concentré.

La station Carquefou a été prospectée pour la première fois, et elle s'est avérée très productive en phytoplancton (Fig. 32). Curieusement, elle ressemble fortement à Sucé s/Erdre, alors que la Jonelière s'est montrée un peu plus modérée cette année.

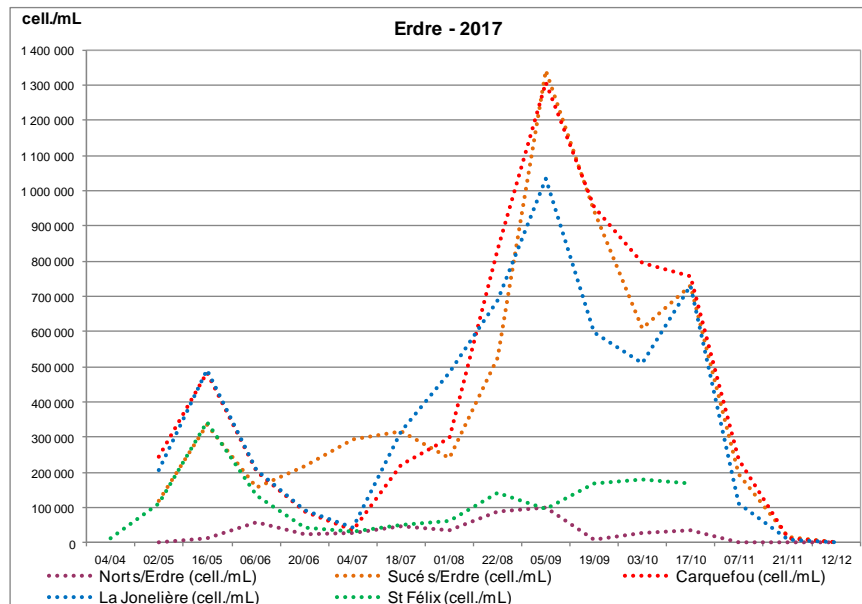


Fig. 32 : Évaluation comparée de l'abondance phytoplanctonique (en cellules) des 5 stations étudiées au cours du suivi 2017

Enfin, les Cyanobactéries s'imposent dès le début de l'été (le pic printanier a été dû aux Chlorophycées) et *Planktothrix agardhii* reste l'espèce privilégiée dans l'Erdre aval.

4. Synthèse de l'Observatoire 2005 - 2017

Voici 13 années d'affilée qu'un protocole d'approche de la qualité de l'eau identique est appliqué sur l'Erdre. Nous pouvons ainsi aisément comparer les renseignements engrangés avec un recul considérable.

Pour ce qui est des facteurs climatiques (Tabl. 4), nous pouvons constater que :

- ✓ 2005 est restée une année exceptionnellement sèche (tant en débit maximal qu'en moyenne) ;
- ✓ 2007 a vu le flux maximal en orthophosphates (740 kgPO₄³⁻/j - Fig. 33) ;
- ✓ 2012 a montré le maximum en flux de nitrates (44 190 kgNO₃⁻/j) ;
- ✓ 2014, année très pluvieuse, a enregistré le débit maximal (63.9 m³/s) et la plus forte moyenne aussi ;
- ✓ 2017 a été, jusqu'à présent, la plus ensoleillée (2 079 h) ; mais le débit maximal a été le plus faible (5.1 m³/s) ainsi que son débit moyen (à l'exception de 2005).

Nort sur Erdre		Etude 2002-2003	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Précipitations (mm)	Total	-	486	869	769	810	780	721	580	822	898	893	710	672	597
	Débit (m ³ /s)														
	Maximum	-	1,7	15,5	38,2	22,4	25,4	21,9	24,0	32,6	44,0	63,9	17,6	17,0	5,1
	Moyenne	-	0,303	1,552	3,155	2,827	2,174	2,422	1,325	2,474	4,413	4,506	1,902	2,235	0,572
Ensoleillement (en h)	Total	-	-	-	1 867	1 817	2 072	2 054	1 979	1 970	1 876	2 030	2 012	1 853	2 079
	Flux Nitrates (kg/j)														
	Maximum	22 000	77,4	31 400	35 600	13 825	17 664	30 012	12 566	44 190	29 405	37 550	20 404	15 965	750
	Moyenne	-	14,0	5 167	5 608	4 717	3 402	5 114	2 616	5 306	5 320	5 019	2 904	3 712	126
Flux Orthophosphates (kg/j)	Maximum	250	2,7	490	740	56	528	189	134	702	393	683	276	88	18
	Moyenne	-	1,0	58	78	19	158	38	19	63	47	71	32	19	3

Tabl. 4 : Rappel des paramètres conditionnant les flux en nitrates et en orthophosphates engrangés depuis 2005, pour le compte de l'Observatoire

Notons que les flux entrants (nitrates et orthophosphates) semblent avoir été assez faibles aussi en 2017 (le manque de données assidues en hiver ne permet pas de l'affirmer). Toutefois, si l'on considère le rôle prépondérant des orthophosphates pour le contrôle de l'eutrophisation, sur les 16 mesures de flux effectuées cette année, seules 4 ont dépassé le seuil préconisé par la SETUDE (2006), et encore de peu (au plus, 1.7 fois la valeur du seuil, ce qui n'est pas excessif - Fig. 33).

À Nort s/Erdre, depuis 2013, une baisse progressive des orthophosphates semble se dessiner, mais ce ne sera qu'en face d'une année pluvieuse que l'on pourra en être sûr.

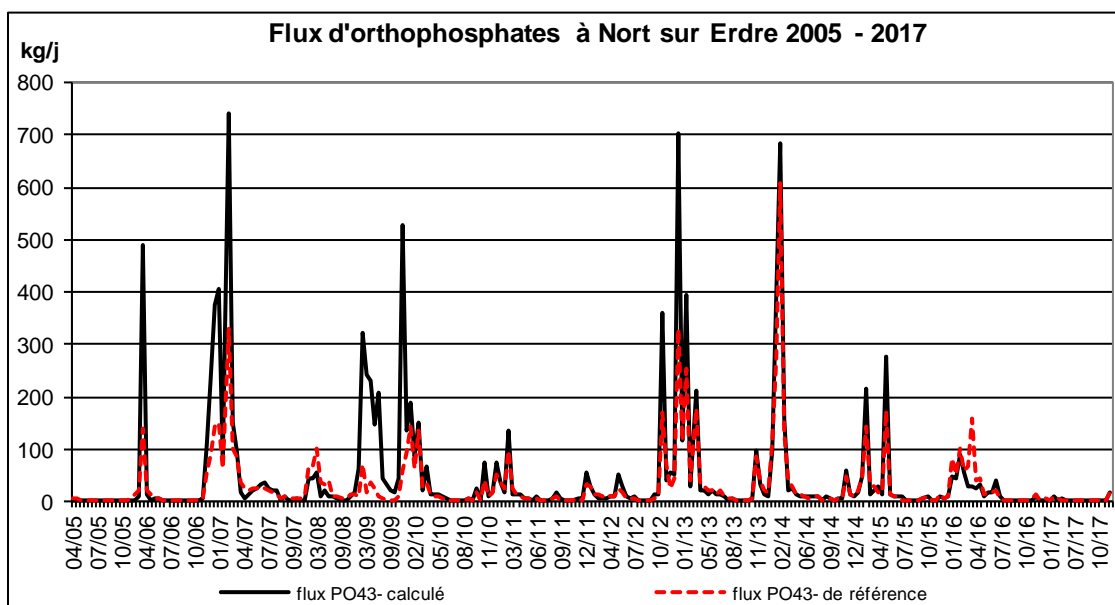


Fig. 33 : Évolution du flux d'orthophosphates estimé depuis 2005, et du flux de référence, issu du calcul théorique (selon SETUDE)

Si l'on se réfère aux stations "historiques" de l'Observatoire, (Nort et la Jonelière suivies depuis 2003, Sucé depuis 2009 et St Félix depuis seulement 2011), nous pouvons réfléchir à l'évolution du phytoplancton en se basant sur la biomasse produite (Fig. 34, avec la même échelle d'ordonnées) sur une période identique, à savoir 2011 à 2017.

De cette figure, nous pouvons rapidement apercevoir que deux tendances opposées se dégagent clairement :

- ✓ à Nort la biomasse phytoplanctonique semble en progression ; différents groupes d'algues (réunis sous forme de classes) s'expriment, généralement les Chlorophycées (2003 à 2006, 2015) et les Diatomophycées (2003, 2005 et 2006, 2013, 2016) ; cette année, toutefois, des épisodes à Euglénophycées ont donné lieu à des manifestations visibles macroscopiquement, ce qui semble indiquer une forte disponibilité en matière organique ; c'est un signal assez négatif ;
- ✓ St Félix, *a contrario*, semble sur une pente décroissante de biomasse ; néanmoins, des algues non dénombrées sont souvent en décomposition, ce qui ponctionne l'oxygène dissous, donnant une connotation réductrice au milieu.

Pour Sucé et la Jonelière, les conclusions sont moins franches, sinon que toutes deux sont des stations avec une biomasse algale excessive. Sucé nous a semblé très eutrophisée dès la 1^{ère} année de suivi, où la limite de 1 g/L de biomasse n'était pas loin d'être atteinte. Depuis, elle semble décroître légèrement, mais un dépassement de 1 million de cell./mL a encore eu lieu en 2017 (Fig. 35). À la Jonelière, les pics de biomasse tournent plutôt autour de 50 mg/L, et ici aussi, le million de cellules/mL a également été dépassé cette année.

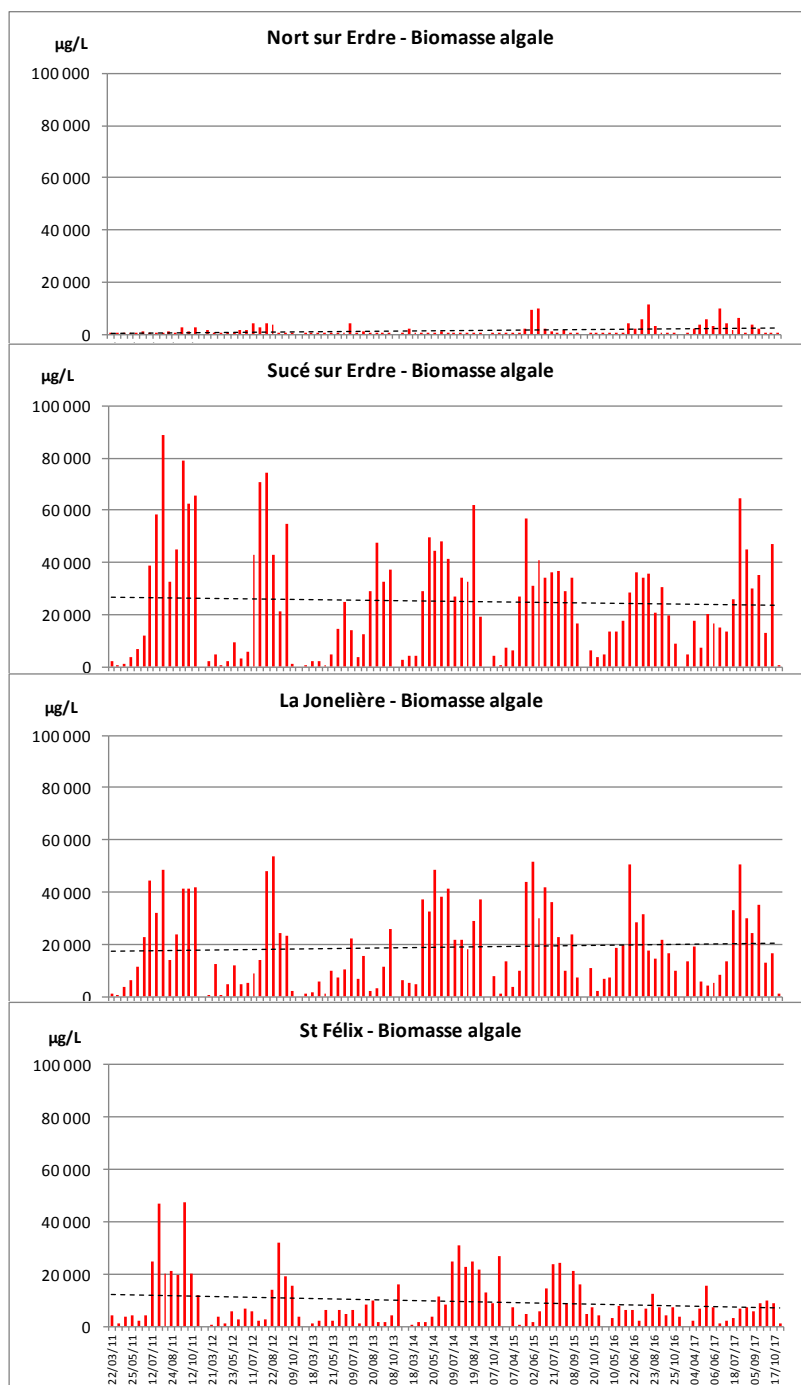


Fig. 34 : Comparaison des biomasses algales dans les 4 stations, entre 2011 et 2017

Par comparaison, et bien que ce soit la première année d'observation, la station de Carquefou semble s'approcher davantage de Sucé que de la Jonelière, mais ceci reste à confirmer.

Depuis maintenant plus de 10 ans, les Cyanobactéries dominent largement les cortèges estivaux (Fig. 35). Parmi les espèces dominantes, *Planktothrix agardhii* s'installe systématiquement dans les différentes stations (celle de Nort exclue, selon les années). C'est une espèce à mauvaise réputation, tant sur le plan écologique (connotation hyper-eutrophe) que sur le plan sanitaire (potentiellement toxique). On ne peut pas affirmer qu'elle est en récession.

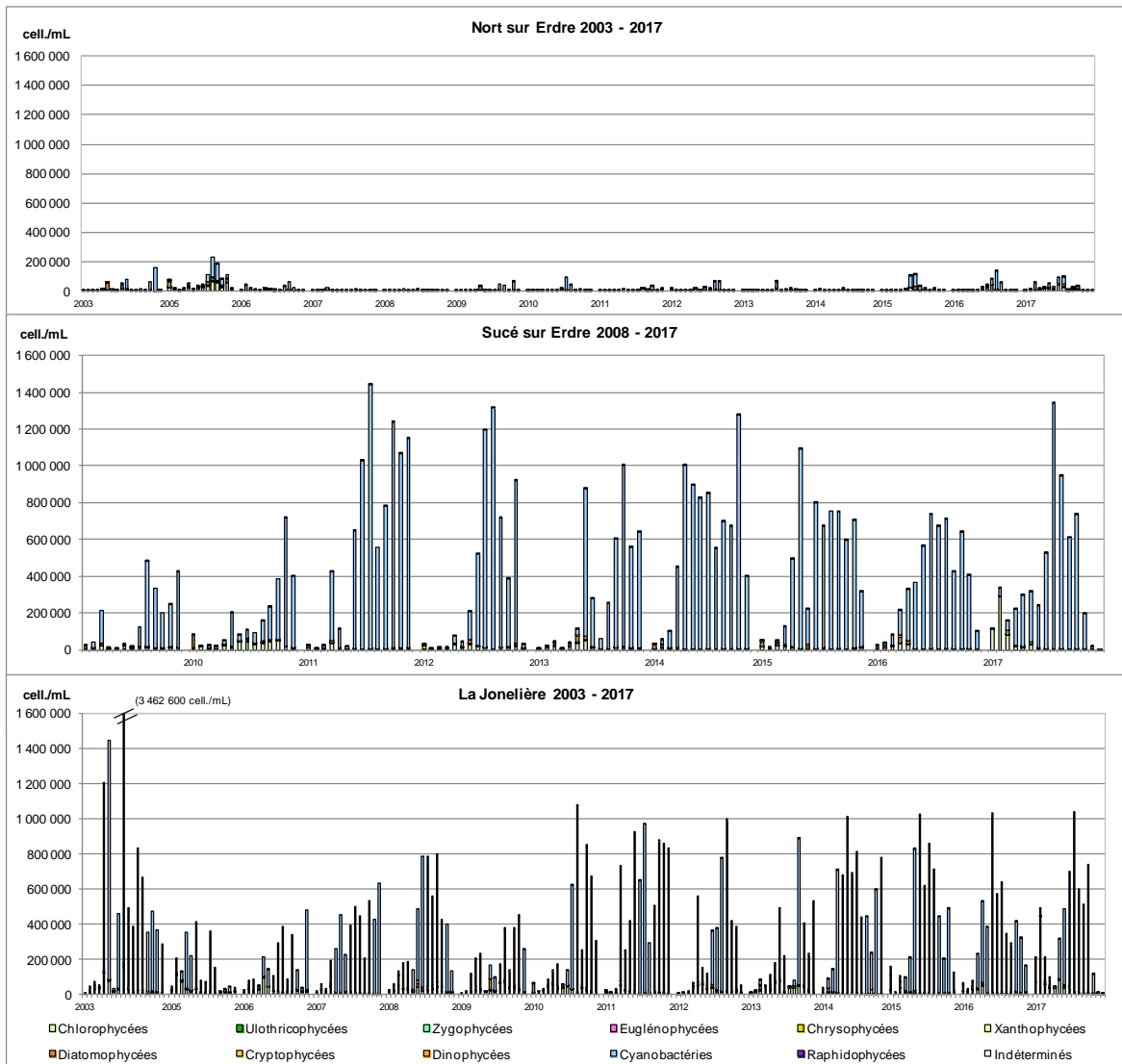


Fig. 35 : Concentration cellulaire dans 3 stations, avec la part de Cyanobactéries (en bleu)

Sur un plan nettement plus positif, notons que la richesse taxinomique de l'Erdre est très importante, de très nombreuses populations cohabitent avec *Planktothrix agardhii* (particulièrement à la Jonelière), même si elles n'arrivent pas à la concurrencer en été. Ce cours d'eau détient une réserve surprenante de biodiversité, malgré une apparente monotonie de ses cortèges floristiques estivaux.

