



Juin 2016

# Suivi environnemental du lac de la Crégut (2015-2016)



ATHOS ENVIRONNEMENT  
[www.athos-environnement.fr](http://www.athos-environnement.fr)  
SAS au capital de 151 700 €  
112 avenue du Brezet  
63100 CLERMONT-FERRAND  
tel (33) 04 73 40 50 90  
fax (33) 04 73 40 50 91



**MAITRE D'OUVRAGE :**



**INTERLOCUTEUR PRINCIPAL :**

Hugues Peyret CIH

**TITRE :**

Suivi environnemental du lac de la Crégut (2015-2016)

**MOTS-CLES :**

La Crégut, Le Tact, turbidité, MES, suivi continu, Eau Verte, Tarentaine

**DATE D'EDITION :**

Juin 2016

**STATUT :**

Confidentiel – document de travail

**NOMBRE D'EXEMPLAIRES EDITES :** 0

**NOMBRE DE PAGES :** 90

Parmi le personnel d'ATHOS environnement, ont participé à cette étude :

		Prélèvements	Laboratoire	Rédaction	Relecture	Validation
Directeur	Antoine THOUVENOT	X			X	X
Directeur adjoint	Romain GUIHENEUF	X		X		
Ingénieur de projet	Marie Eve MAUDUIT	X	X		X	
Ingénieur de projet	Emeline VALTON			X		
Chargée d'études	Inès MARTIN	X	X	X		
Chargée d'études	Marion BIGOT	X	X			
Chargée d'études	Alban DUMONT	X				
Technicien Polyvalent	Gilles DEMAIL	X	X			



**ATHOS environnement**

**S.A.S. au capital de 151 700 euros**

112 AVENUE DU BREZET

63100 CLERMONT-FERRAND

☎ 04 73 15 09 38 – Fax 04 73 90 14 87

✉ [contact@athos-environnement.fr](mailto:contact@athos-environnement.fr)

[www.athos-environnement.fr](http://www.athos-environnement.fr)



# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>CONTEXTE GENERAL .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>SUIVI DES FLUX PHYSICO-CHIMIQUES .....</b>	<b>10</b>
2.1	PRESENTATION DES CINQ SITES DE SUIVI DES FLUX .....	10
2.2	HYDROLOGIE .....	14
2.2.1	<i>Principe.....</i>	14
2.2.2	<i>Matériel.....</i>	15
2.2.3	<i>Résultats.....</i>	15
2.3	SUIVI THERMIQUE .....	17
2.3.1	<i>Matériel et méthode .....</i>	17
2.3.2	<i>Résultats.....</i>	17
2.4	MATIERES EN SUSPENSION (TURBIDITE).....	18
2.4.1	<i>Principe.....</i>	18
2.4.2	<i>Signal en continu de la turbidité.....</i>	18
2.4.3	<i>Prélèvements manuels et automatiques .....</i>	22
2.4.4	<i>Corrélation Turbidité / Matières en suspension .....</i>	25
2.4.5	<i>Chroniques brutes de matières en suspension par aménagement.....</i>	29
2.4.6	<i>Bilan des cumuls de MES.....</i>	31
2.5	PHYSICO-CHIMIE DES ENTRANTS ET SORTANTS .....	38
2.5.1	<i>Fréquence de prélèvement .....</i>	38
2.5.2	<i>Matériel et méthode .....</i>	38
2.5.3	<i>Résultats des paramètres physico-chimiques.....</i>	40
<b>3</b>	<b>QUALITE DE L'EAU DU LAC DE LA CREGUT.....</b>	<b>52</b>
3.1	STATIONS DE SUIVI .....	52
3.2	FREQUENCE DE PRELEVEMENT .....	52
3.3	MATERIEL ET METHODE .....	53
3.3.1	<i>Les profils verticaux .....</i>	53
3.3.2	<i>Les prélèvements physico-chimiques.....</i>	53
3.3.3	<i>L'analyse phytoplanctonique.....</i>	53
3.3.4	<i>Le référentiel d'interprétation .....</i>	54
3.4	RESULTATS DES PROFILS VERTICAUX.....	55
3.5	RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES.....	58
3.5.1	<i>Paramètres phosphorés .....</i>	58
3.5.2	<i>Paramètres azotés.....</i>	59
3.5.3	<i>Matières organiques .....</i>	61
3.5.4	<i>Demande biologique en oxygène .....</i>	62
3.6	RESULTATS DE L'ANALYSE PHYTOPLANCTONIQUE.....	63
3.6.1	<i>Dénombrement du phytoplancton .....</i>	63
3.6.2	<i>Chlorophylle a et phéopigments.....</i>	66
3.6.3	<i>Indice Phytoplanctonique LACustre .....</i>	66
3.7	CLASSIFICATION TROPHIQUE DE L'OCDE (VOLLENWEIDER ET KERESKES).....	67
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONS.....</b>	<b>68</b>
<b>ANNEXE 1 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES SONDES DE NIVEAU CNR PARATRONIC ET ENREGISTREUR MAC 10R .....</b>		<b>71</b>



<b>ANNEXE 2 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES CAPTEURS DE TURBIDITE AQUALOGGER 210 TY .....</b>	<b>76</b>
<b>ANNEXE 3 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES CAPTEURS DE TEMPERATURE MINILOG II .....</b>	<b>77</b>
<b>ANNEXE 4 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA SONDE YSI EXO1 .....</b>	<b>78</b>
<b>ANNEXE 5 : CHRONIQUES DE TEMPERATURES PAR SITE DE SUIVI .....</b>	<b>82</b>
<b>ANNEXE 6 : CHRONIQUE DE TURBIDITE ET DE DEBITS PAR AMENAGEMENTS .....</b>	<b>84</b>
<b>ANNEXE 7 : EXTRAIT DE L'ARRETE DU 27 JUILLET 2015 POUR LES RIVIERES .....</b>	<b>87</b>
<b>ANNEXE 8 : EXTRAIT DE L'ARRETE DU 27 JUILLET 2015 POUR LES PLANS D'EAU .....</b>	<b>88</b>

## Table des Figures

Figure 1 : Localisation des stations (Source : Géoportail®, ATHOS Environnement).....	10
Figure 2 : Détermination des débits par station de mesure.....	14
Figure 3 : Capteur de niveau d'eau de la station sortie Lac (à droite) / déchargement de l'enregistreur (à gauche) (Source : ATHOS Environnement).....	15
Figure 4 : Chronique de débit en entrée et en sortie du lac de la Crégut.....	16
Figure 5 : Description du capteur de turbidité AQUALOGGER 210 TY et de son fonctionnement (Source : ATHOS Environnement).....	18
Figure 6 : Installation en place à l'entrée du lac de la Crégut (Source : ATHOS Environnement).....	19
Figure 7 : Photographie d'un capteur de turbidité encrassé (Source : ATHOS Environnement).....	20
Figure 8 : Valeurs brutes de turbidité et débit mesurées du 11/01/2016 au 10/02/2016 en sortie Crégut.....	20
Figure 9 : Schéma de la procédure réalisée lors du traitement des données brutes de turbidité.....	22
Figure 10 : Répartition des sorties terrain par rapport au contexte hydrologique.....	23
Figure 11 : Préleveur automatique déployé sur alerte débit durant l'hiver 2014-2015 (Source : ATHOS Environnement).....	24
Figure 12 : Schéma de la procédure réalisée lors de la construction des relations MES/Turbidité.....	26
Figure 12 : Relations MES/turbidité Eau verte et Tarentaine utilisées pour la conversion du signal turbidité d'après les données du suivi 2013-2014, 2014-2015 et 2015-2016.....	27
Figure 13 : Test d'homogénéité de Pettitt des chroniques de débit.....	28
Figure 14 : Relation MES/Turbidité Entrée Crégut et Entrée Tact.....	28
Figure 15 : Relation MES/turbidité utilisée pour Sortie Crégut.....	29
Figure 16 : Test d'homogénéité de Pettitt des chroniques des concentrations en MES.....	30
Figure 17 : Cumuls de MES en tonnes d'avril 2015 à avril 2016 sur les stations rivière.....	32
Figure 18 : Concentration en MES et débit sur la Tarentaine et l'Eau verte pour les séquences 1, 2 et 3.....	33
Figure 19 : Concentration en MES et débit sur la Tarentaine et l'Eau verte pour les séquences 4 et 5.....	34
Figure 20 : Cumuls de MES en tonnes d'avril 2015 à avril 2016 sur les stations lac.....	35
Figure 21 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 1.....	35
Figure 22 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 2.....	36
Figure 23 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 3.....	36
Figure 24 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 4.....	36
Figure 25 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 5.....	36
Figure 26 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 6.....	37
Figure 28 : Résultats de la température, du pH et de l'oxygène dissous.....	40
Figure 28 : Résultats du taux de saturation en oxygène et de la conductivité.....	41
Figure 30 : Résultats des concentrations en ammonium.....	42
Figure 31 : Résultats des concentrations en nitrates.....	43
Figure 32 : Résultats des concentrations en nitrites.....	44
Figure 32 : Résultats des concentrations en azote Kjeldahl.....	45
Figure 34 : Résultats des concentrations en PO <sub>4</sub> .....	46
Figure 35 : Résultats des concentrations en P total.....	47
Figure 35 : Résultats des concentrations en carbone organique dissous.....	48
Figure 36 : Résultats des concentrations en COT.....	49
Figure 37 : Résultats des concentrations en MES.....	50
Figure 38 : Station de suivi lacustre sur le lac de la Crégut.....	52
Figure 39 : Résultats des profils verticaux de la station A.....	56
Figure 40 : Résultats des profils verticaux de la station B.....	57
Figure 41 : Résultats des concentrations en phosphore total des stations A et B.....	58
Figure 42 : Résultats des concentrations en orthophosphates des stations A et B.....	58



<i>Figure 43 : Résultats des concentrations en ammonium des stations A et B.....</i>	<i>59</i>
<i>Figure 44 : Résultats des concentrations en nitrates des stations A et B.....</i>	<i>59</i>
<i>Figure 45 : Résultats des concentrations en nitrites des stations A et B.....</i>	<i>60</i>
<i>Figure 46 : Résultats des concentrations en azote Kjeldahl des stations A et B.....</i>	<i>60</i>
<i>Figure 47 : Résultats du carbone organique dissous des stations A et B.....</i>	<i>61</i>
<i>Figure 48 : Résultats des matières en suspensions des stations A et B.....</i>	<i>61</i>
<i>Figure 49 : Résultats de la DBO5 des stations A et B.....</i>	<i>62</i>
<i>Figure 50 : Abondance phytoplanctonique des stations A et B.....</i>	<i>63</i>
<i>Figure 51 : Abondance totale et en cyanobactéries toxigènes sur la station A et la station B. ....</i>	<i>64</i>
<i>Figure 52 : Biomasse phytoplanctonique des stations A et B.....</i>	<i>65</i>
<i>Figure 53 : Résultats de la concentration en chlorophylle a et en phéopigments sur les stations A et B.....</i>	<i>66</i>

## Table des Tableaux

<i>Tableau 1 : Synthèse des températures de l'eau par site de suivi</i> .....	17
<i>Tableau 2 : Synthèses des données brutes validées et perdues</i> .....	21
<i>Tableau 3 : Synthèse des analyses MES réalisées en laboratoire et exploitables par aménagement</i> .....	24
<i>Tableau 4 : Moyennes, minimum et maximum des concentrations en MES par aménagement</i> .....	30
<i>Tableau 5 : Bilan des cumuls par aménagement</i> .....	37
<i>Tableau 6 : Heures et dates de prélèvement des échantillons prélevés en rivière</i> .....	38
<i>Tableau 7 : Caractéristiques techniques de la sonde utilisée</i> .....	38
<i>Tableau 8 : Paramètres analysés, laboratoires et normes</i> .....	39
<i>Tableau 9 : Classes de qualité de l'arrêté du 27 juillet 2015</i> .....	39
<i>Tableau 10 : Heures et dates de prélèvement des échantillons prélevés en lac</i> .....	52
<i>Tableau 11 : Paramètres analysés pour le lac, laboratoires et normes</i> .....	53
<i>Tableau 12 : Classes de qualité de l'arrêté du 27 juillet 2015</i> .....	54
<i>Tableau 13 : Classification trophique de l'OCDE</i> .....	54
<i>Tableau 14 : Comparaison des résultats de transparence et d'oxygénation aux valeurs seuil de l'arrêté du 27 juillet 2015</i> .....	55
<i>Tableau 15 : Comparaison des concentrations en phosphore total aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i> .....	58
<i>Tableau 16 : Comparaison des concentrations en ammonium aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i> .....	59
<i>Tableau 17 : Comparaison des résultats de nitrates aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i> .....	59
<i>Tableau 18 : Abondance totale et abondance des cyanobactéries toxigènes et identification des genres dominants par campagne</i> .....	64
<i>Tableau 19 : Niveaux de risques liés aux cyanobactéries (Source : ATHOS Environnement, ARS Auvergne)</i> .....	64
<i>Tableau 20 : Validation des contraintes pour la calcul de l'IPLAC</i> .....	66
<i>Tableau 21 : Résultats du calcul de l'IPLAC (sans contraintes) pour le suivi 2015-2016</i> .....	66
<i>Tableau 22 : Résultats de la classification de l'OCDE</i> .....	67
<i>Tableau 23 : Débits moyens mesurés en entrée Crégut</i> .....	68
<i>Tableau 24 : Bilan de MES dans le lac de la Crégut pour les différentes années de suivi</i> .....	69
<i>Tableau 25 : Valeurs des limites des classes d'état pour les paramètres physico-chimiques généraux pour les cours d'eau</i> .....	87
<i>Tableau 26 : Paramètres physico-chimiques des éléments nutriments et transparence et calculs des valeurs seuils</i> .....	88
<i>Tableau 27 : Valeurs des limites de classes d'état exprimées en EQR pour l'indice phytoplanctonique lacustre (IPLAC)</i> .....	90



## 1 CONTEXTE GENERAL

Les lacs du Tact et de la Crégut sont situés dans le département du Cantal, sur les communes de Trémouille et Champs-sur-Tarentaine, à environ 5 km de Saint-Genès-Champespe. Partie intégrante du complexe hydro-électrique de la Haute-Tarentaine, ces lacs sont utilisés pour le transit des eaux dérivées de la Tarentaine et de l'Eau Verte vers le réservoir de Lastioulles et la centrale d'Auzerette.

Les premières études sur la qualité d'eau ont été réalisées entre 1994 et 2001 par EDF, puis en 2006 et 2007 par l'Université de Clermont Ferrand sous maîtrise d'ouvrage de la communauté de communes « Sumène-Artense » et en 2010 et 2011 par EDF.

La présente étude, débutée en avril 2015 s'appuie sur un renforcement du suivi réalisé en 2010/2011, en 2013/2014 et en 2014/2015 notamment sur le volet transport solide, par la mise en place d'enregistreurs de turbidité en continu (pas de temps horaire) sur les cinq principaux sites du complexe.

Les principaux volets de suivis ont été :

- **Suivi en continu (déchargement des données in situ tous les mois):**
  - **Matières en Suspension (turbidité)** : enregistrement en continu à pas de temps horaire sur cinq points depuis l'entrée du Tact jusqu'à la sortie du lac de la Crégut.
  - **Température** : enregistrement en continu à pas de temps horaire sur cinq points depuis l'entrée du Tact jusqu'à la sortie du lac de la Crégut.
  - **Débit (niveau d'eau et tarage)** : enregistrement en continu à pas de temps horaire sur deux points : entrée et sortie du lac de la Crégut.
- **Suivi mensuel :**
  - **Physico-chimie de l'eau** : mesures ponctuelles, prélèvements et analyses en laboratoire sur cinq points depuis l'entrée du Tact jusqu'à la sortie du lac de la Crégut.
  - **Entretien et déchargement des données des capteurs autonomes**
- **Suivi de la qualité des eaux du lac de la Crégut (4 campagnes) :**
  - **Profils physico-chimiques verticaux** : sur deux points du lac à l'aide d'une sonde multiparamètres,
  - **Mesure de la profondeur de disparition du disque de Secchi,**
  - **Prélèvements d'eau pour analyses physico-chimiques et biologiques:**
    - Intégrés sur la couche euphotique
    - Dans l'hypolimnion, sous la thermocline
- **Sorties exceptionnelles**
  - Mise en place de préleveurs automatiques pour échantillonnage d'eau en vue de doser les matières en suspension en période de forts débits.



# Flux physico-chimiques

---



## 2 SUIVI DES FLUX PHYSICO-CHIMIQUES

### 2.1 PRESENTATION DES CINQ SITES DE SUIVI DES FLUX

Les cinq stations de suivi se situent à l'amont de la retenue de Lastiouilles sur la « branche Nord » du complexe.

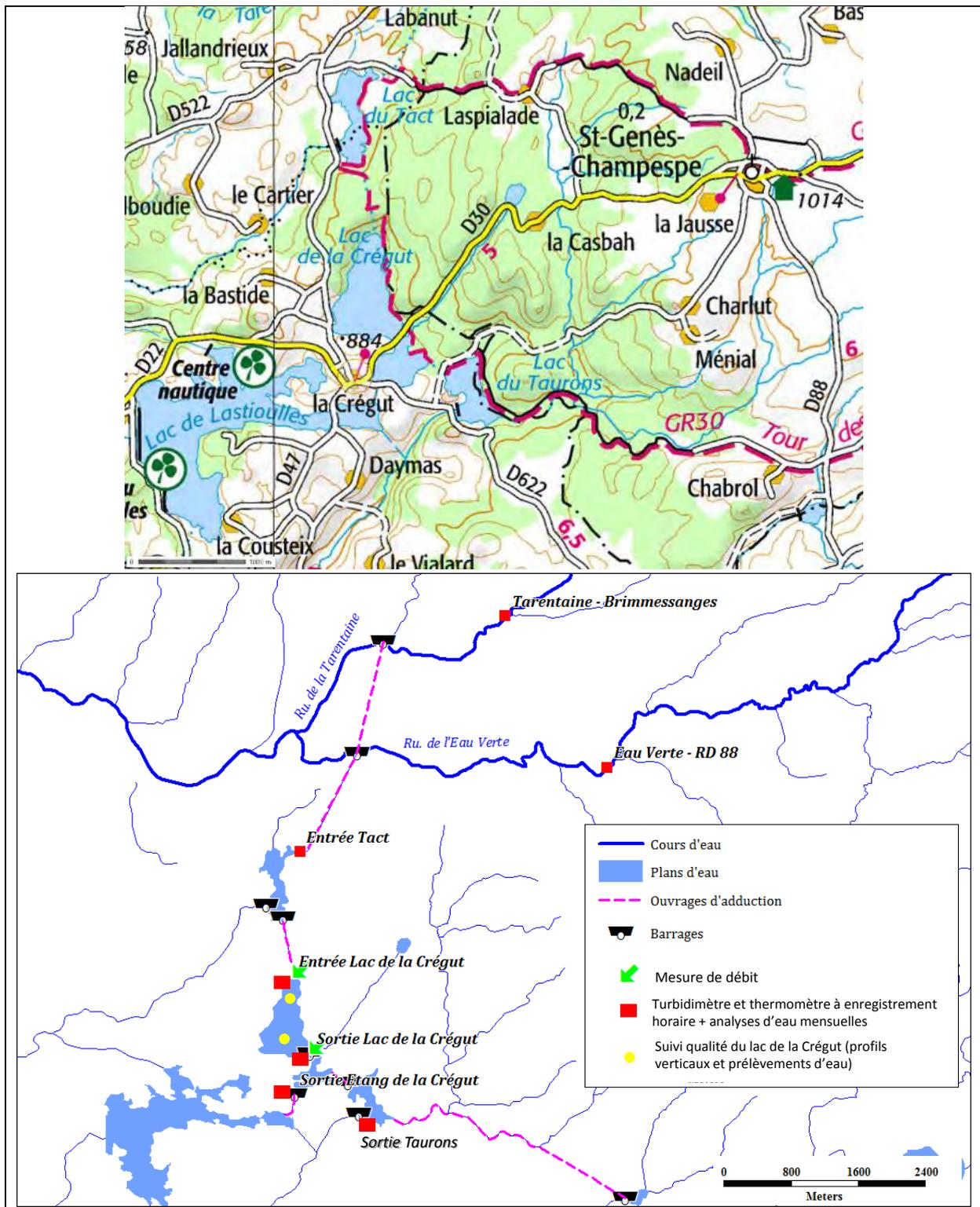
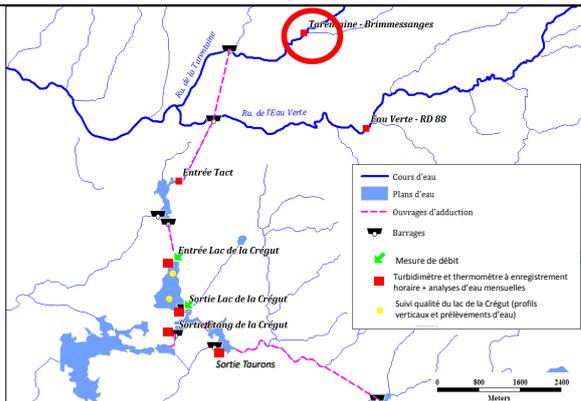


Figure 1 : Localisation des stations (Source : Géoportail®, ATHOS Environnement)



### Station 1 : La Tarentaine en amont de la retenue de Brimessange (Pont D88)



**Description :**

Les capteurs de température et de turbidité sont installés sur un rocher dans le lit principal du cours d'eau, sur la partie aval du pont de la D88.

**Méta données :**

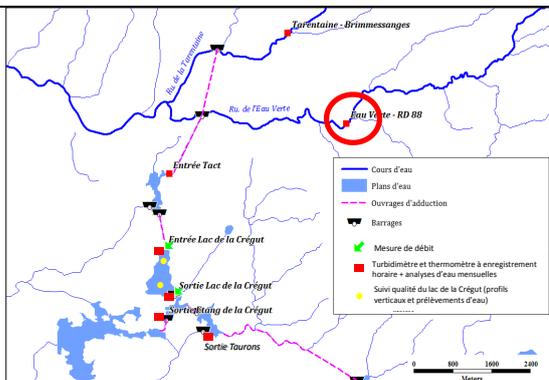
Coordonnées GPS (L93) : X = 677 395,27 Y = 640372,47

Altitude (mNGF) : 935 m

Mise en service : 08/04/2013

Perturbations rencontrées : Le 8 avril 2015, le turbidimètre a été déplacé sur la pile de pont pour faciliter la maintenance. Le 11 juin 2015, le capteur a été repositionné sur la pierre centrale. Le 3 décembre, le turbidimètre a été arrêté et ramené à l'atelier pour une maintenance annuelle, il a été replacé le 4 décembre 2015. Le 16 décembre 2015, le capteur de température a été relancé suite à un arrêt accidentel survenu le 3 décembre 2015.

### Station 2 : L'Eau Verte en amont de la retenue (Pont D88)



**Description :**

Les capteurs de température et de turbidité sont installés en rive droite sur le parement aval du pont de la RD88.

**Méta données :**

Coordonnées GPS (L93) : X = 678 608,7 Y = 6 481 906,5

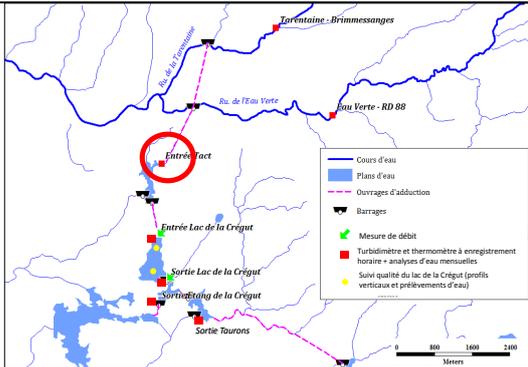
Altitude (mNGF) : 960m

Mise en service : 08/04/2013

Perturbations rencontrées : Le 3 décembre, le turbidimètre a été arrêté et ramené à l'atelier pour une maintenance annuelle, il a été replacé le 4 décembre 2015. Le 16 décembre 2015, le capteur de température a été relancé suite à un arrêt accidentel survenu le 3 décembre 2015.



### Station 3 : Entrée du Tact



#### Description :

Les capteurs de température et de turbidité sont installés en rive droite sur le parement aval de la galerie d'adduction provenant de l'aménagement de l'Eau Verte. Le régime hydrique de ce tronçon est tributaire de la gestion hydraulique au barrage de l'Eau Verte. Ainsi en période d'étiage, ce tronçon peut ne plus être alimenté, en faveur du débit réservé de la Tarentaine et de l'Eau Verte

#### Méta données :

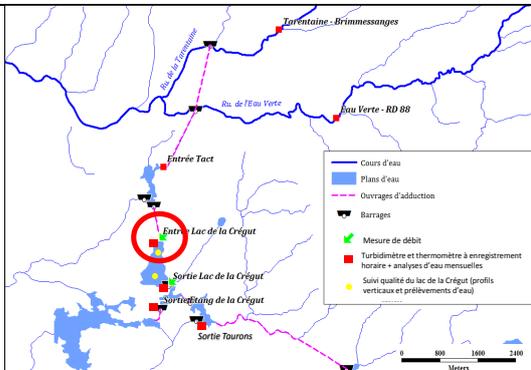
Coordonnées GPS (L93) : X = 678 608,7 Y = 6 481 906,5

Altitude (mNGF) : 885m

Mise en service : 05/04/2013

Perturbations rencontrées : Le 3 décembre, le turbidimètre a été arrêté et ramené à l'atelier pour une maintenance annuelle, il a été remplacé le 4 décembre 2015. Le 16 décembre 2015, le capteur de température a été relancé suite à un arrêt accidentel survenu le 3 décembre 2015.

### Station 4 : Entrée du lac de la Crégut



#### Description :

Les capteurs de température et de turbidité sont installés en rive gauche sur le parement aval de la galerie d'adduction provenant de l'aménagement du Tact. Le capteur de niveau d'eau est installé dans le puits de mesure à la sortie immédiate de la galerie.

#### Méta données :

Coordonnées GPS (L93) : X = 674 876,1 Y = 6 479 411,0

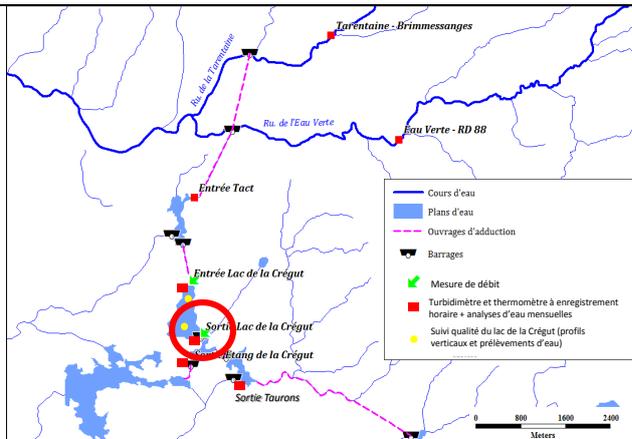
Altitude (mNGF) : 860m

Mise en service : 05/04/2013

Perturbations rencontrées : Encrassement estival (périphyton). Le 3 décembre, le turbidimètre a été arrêté et ramené à l'atelier pour une maintenance annuelle, il a été remplacé le 4 décembre 2015. Le 16 décembre 2015, le capteur de température a été relancé suite à un arrêt accidentel survenu le 3 décembre 2015.



### Station 5 : Sortie du lac de la Crégut



#### **Description :**

Les capteurs de température, de turbidité et de niveau d'eau sont installés en rive gauche sur le parement amont de l'exutoire du lac de la Crégut.

#### **Méta données :**

Coordonnées GPS (L93) : X = 675 075,9 Y = 6 478 499,7

Altitude (mNGF) : 860m

Mise en service : 04/04/2013

Perturbations rencontrées : Encrassement estival (périphyton). Le 3 décembre, le turbidimètre a été arrêté et ramené à l'atelier pour une maintenance annuelle, il a été remplacé le 4 décembre 2015. Le 16 décembre 2015, le capteur de température a été relancé suite à un arrêt accidentel survenu le 3 décembre 2015.

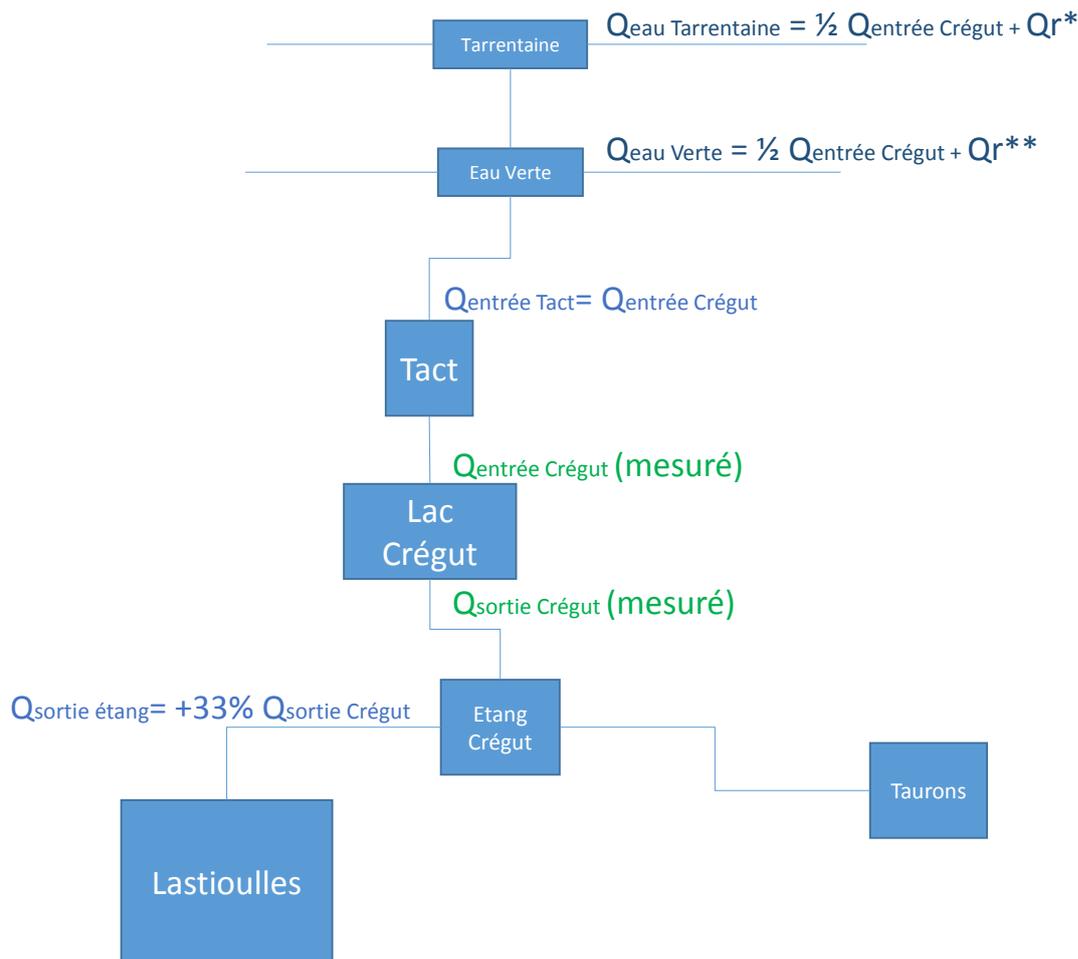


## 2.2 HYDROLOGIE

### 2.2.1 Principe

Des capteurs / enregistreurs de niveaux d'eau ont été installés sur deux stations, à l'entrée et à la sortie du lac de la Crégut. Une courbe de tarage (fournie par EDF) permet ensuite de relier la hauteur d'eau enregistrée à pas de temps horaire à un débit.

Les débits des 3 autres stations ont été estimés à partir de ces deux débits et des formules utilisées en exploitation.



\*: Débit réservé ( $Q_r$ ) Tarentaine :

- avant le 01/01/2014 : 171 l/s
- depuis le 01/01/2014 : 360 l/s du 01/11 au 31/03 et 230 l/s du 01/04 au 31/10)

\*\* : Débit réservé Eau Verte :

- avant le 01/01/2014 : 158 l/s
- Depuis le 01/01/2014 330 l/s du 01/11 au 31/03 et 210 l/s du 01/04 au 31/10

Figure 2 : Détermination des débits par station de mesure



## 2.2.2 Matériel

Les capteurs de niveau installés (sonde Paratronic CNR + enregistreur MAC10) mesurent la différence de pression entre l'atmosphère et la profondeur à laquelle ils sont immergés. Par différence la pression mesurée est retranscrite en hauteur d'eau via un signal 4/20mA, et enregistrée à pas de temps horaire (Figure 3).

Les caractéristiques techniques du matériel utilisé sont fournies en Annexe 1.

Les capteurs de niveau ont été déchargés une fois par mois à l'aide d'un ordinateur muni d'une interface RS232 (Figure 3).

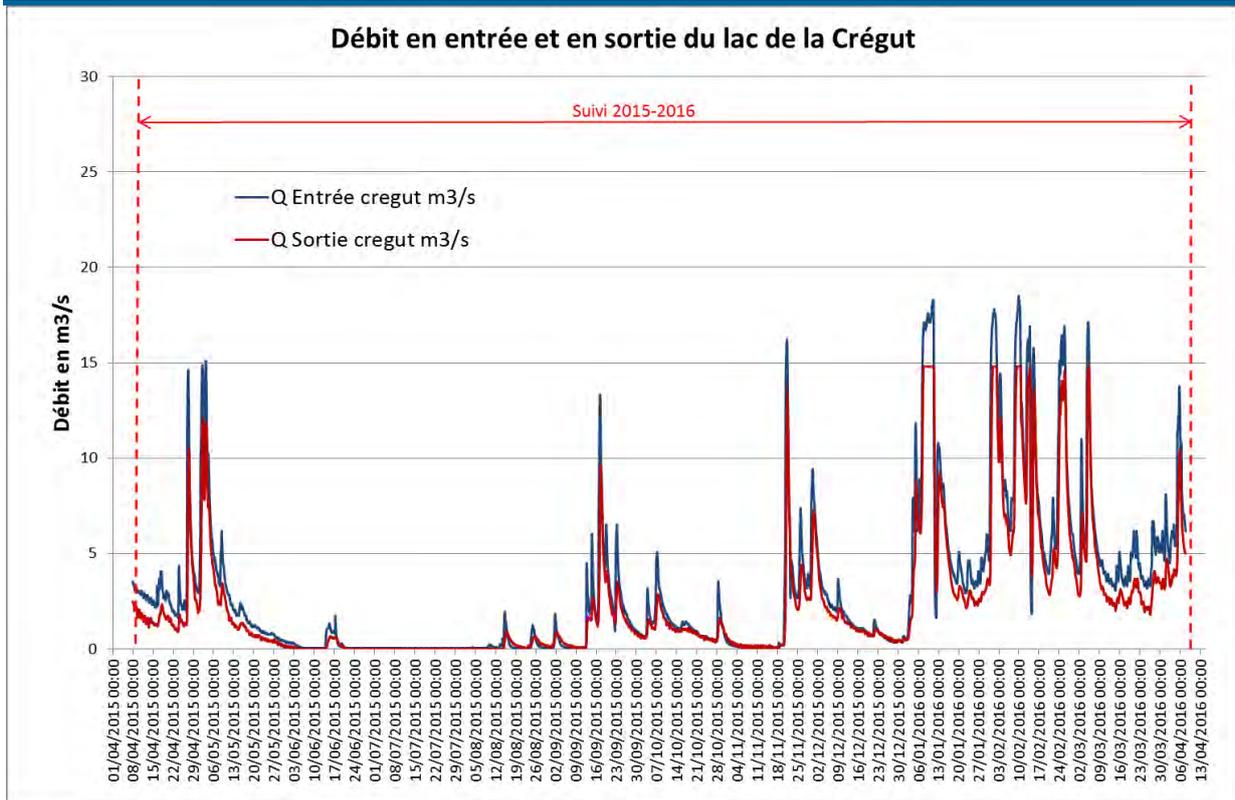


Figure 3 : Capteur de niveau d'eau de la station sortie Lac (à droite) / déchargement de l'enregistreur (à gauche) (Source : ATHOS Environnement)

## 2.2.3 Résultats

La Figure 4 présente les chroniques de débit en entrée et sortie du lac de la Crégut sur la période de suivi d'Avril 2015 à Avril 2016. Le débit moyen annuel entrant du lac de la Crégut du 08 avril 2015 au 08 avril 2016 est de **3,04 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>** (3,3 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> en 2014, 4,2 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> en 2013 et 2 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> en 2011). Sur cette même période, le temps de séjour a été calculé selon la formule ci-dessous. Il est d'environ 13 jours.

$$\text{Temps de séjour} = \frac{\text{Volume du lac}}{\text{Débit moyen entrant}}$$



*Figure 4 : Chronique de débit en entrée et en sortie du lac de la Crégut*

Le débit en entrée Crégut a été défini grâce aux valeurs de hauteur d'eau mesurées par les Capteurs de Niveau d'Eau (CNE) DTG.

Une variation du débit est observée entre l'entrée et la sortie Crégut. Ces différences sont liées à la sous-estimation du flux hydrique en sortie du lac. Aucune extrapolation n'est possible au-delà de 1,5 m dans la courbe de tarage EDF en sortie Crégut (soit au-delà de 14,8 m<sup>3</sup>/s) – (EDF G. SAYSSET 2006 Barème de tarage N°05A1).

Cette année, un déficit hydrique a été observé durant la période estivale avec un débit entrant proche de 0. L'essentiel des apports en eau ont été enregistrés au mois de février.



## 2.3 SUIVI THERMIQUE

### 2.3.1 Matériel et méthode

Les Data Logger VEMCO MINILOG II ont été installés sur les cinq sites d'étude. Leurs caractéristiques techniques sont présentées en Annexe 2.



Specifications			
Temp Range:	-30°C to +80°C	Submersible:	Up to 500m
Temp Accuracy:	Specified: +/- 0.1°C from -5°C to 35°C;	Storage:	1-million samples per deployment
Resolution:	0.01°C	Sample Rates:	1 sample per second to 1 sample per day
Physical:	Length: 9.8 cm Diameter: 2.3 cm Weight: 52.2 g	Start Time:	Delayed or immediate study start date selectable
Clock Stability:	+/-1 minute per month	Thermal Time Constant:	63% at ~2min 30 sec, and 90% at less than 5 min, both in stirred bath
Battery Life:	10 years at typical sampling rates (1 sample per 2 mins)		

Les capteurs ont été installés dans des tubages PVC, ou directement sur des supports naturels (blocs rocheux, racines,...) en veillant à ce qu'ils soient perpétuellement immergés.

Les données enregistrées à pas de temps horaire ont été déchargées tous les mois à l'aide d'un boîtier infrarouge.

### 2.3.2 Résultats

Les températures de l'eau ont varié de 0,01°C sur la Tarentaine à 30,8°C à la sortie Crégut durant la période de suivi (Tableau 1 et Annexe 5). Les températures sont plus fraîches sur la Tarentaine et l'Eau Verte. Globalement l'eau se réchauffe ensuite progressivement d'aménagement en aménagement pour atteindre une moyenne annuelle à la sortie du lac de la Crégut de 12,3°C. La température en amont du Tact est plus fraîche que celle qui rentre dans le lac. Ces résultats sont similaires à ceux de 2014-2015.

*Tableau 1 : Synthèse des températures de l'eau par site de suivi*

	Moyenne	Min	Max
<b>Tarentaine</b>	8.6	0.01	21.0
<b>Eau verte</b>	8.9	0.01	23.4
<b>Entrée Tact</b>	9.2	0.07	32.2
<b>Entrée Crégut</b>	11.8	1.32	29.5
<b>Sortie Crégut</b>	12.3	1.95	30.8

## 2.4 MATIERES EN SUSPENSION (TURBIDITE)

### 2.4.1 Principe

Les concentrations en Matières En Suspension (MES) sont mesurées indirectement à l'aide de turbidimètre. La mesure en continu de la turbidité est convertie en concentration en Matières en suspension (MES) par l'établissement de courbes d'étalonnage  $[MES] = f(\text{turbidité})$ . Ces relations de corrélation sont obtenues par le biais d'analyses ponctuelles échantillonnées lors de sorties exceptionnelles.

### 2.4.2 Signal en continu de la turbidité

#### 2.4.2.1 Matériel

Le matériel utilisé pour le suivi se compose d'un capteur de turbidité Seapoint Turbidity Meter FNU de la marque SEAPOINT Sensor INC., couplé à un enregistreur AQUALOGGER 210 TY de la marque AQUATEC. L'appareil mesure la turbidité de l'eau en détectant la lumière diffusée par les particules en suspension dans l'eau (Figure 5). Une lumière à 880 nm de longueur d'onde est émise par une Diode Electro Luminescente (LED) à travers une fenêtre en époxy dans le volume de mesure où elle est diffusée par les particules en suspension. Une seconde fenêtre contenant une cellule de détection (photo-diode) mesure la quantité de lumière diffusée. La quantité de lumière diffusée étant directement proportionnelle à la turbidité et à la quantité de Matières en Suspension (MES).

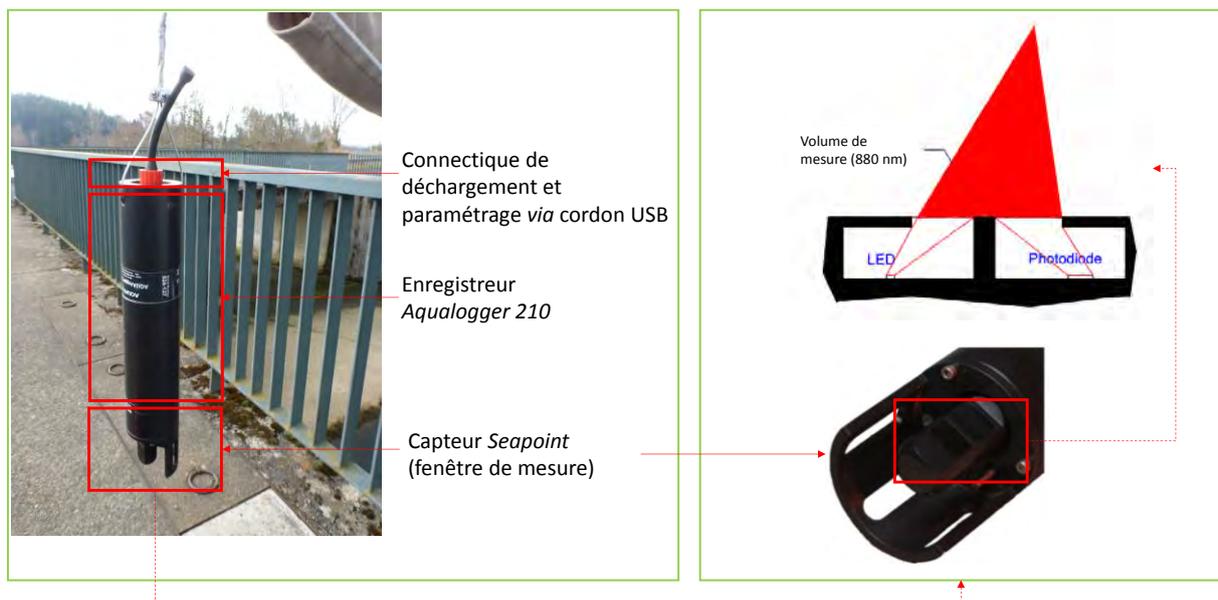


Figure 5 : Description du capteur de turbidité AQUALOGGER 210 TY et de son fonctionnement (Source : ATHOS Environnement)

Les AQUALOGGER 210 TY ne sont pas dotés de dispositif d'auto-nettoyage et ne répondent pas aux exigences de la norme NF EN ISO 7027 relatives à la détermination de la turbidité :

- Mesure à 880 nm au lieu de 860 nm
- Angle de mesure allant de 15° à 150° contre 90° préconisé dans la norme.

Ceci ne remet pas en cause la fiabilité des mesures, en effet ces capteurs ont été choisis pour leur grande précision de mesure (échelle adaptable en fonction de la charge des matières en suspension),



leur très forte autonomie énergétique facilitant leur déploiement sur des sites isolés, leur conception très robuste adaptée aux conditions hostiles (développement en océanographie) et parce qu'en 2012, il s'agissait des seuls capteurs du marché déployables sur des sites isolés ne nécessitant pas de source énergétique permanente et d'infrastructure lourde. A pas de temps horaire, l'autonomie énergétique des enregistreurs est d'environ 6 mois.

La mesure de la turbidité a été configurée sur un enregistrement horaire d'un triplicat de valeurs. Le triplicat se compose de trois valeurs mesurées à 3 secondes d'intervalle chaque heure.

Les instruments, paramétrés et calibrés en usine dans une solution de Formazine, ont été déployés sur site à l'aide de tubage PVC fixés sur le génie civil ou des rochers. A l'extrémité du tube, le capteur est fermement maintenu par des colliers inox pour conserver une position unique durant le suivi. Une fenêtre d'ouverture d'un minimum de 8 cm<sup>2</sup> a été prévue pour s'affranchir des effets de bords qui pourraient perturber la mesure.

Avant l'installation des turbidimètres, chaque emplacement a fait l'objet d'une analyse vidéo afin de visualiser les écoulements et valider la fiabilité du lieu de mesure.



Figure 6 : Installation en place à l'entrée du lac de la Crégut (Source : ATHOS Environnement)

#### 2.4.2.2 Traitement du signal

Les données sont déchargées *in-situ* tous les mois à l'aide d'un ordinateur portable par liaison USB. Lors de chaque intervention les données sont déchargées, les capteurs nettoyés (encrassement visible après 1 mois d'immersion) et déployés.

En cas de dysfonctionnement, détérioration ou maintenance, les capteurs sont rapatriés pour réparation en atelier.

La mesure de la turbidité est une mesure sensible de par son principe de fonctionnement (lecture optique). Un objet ou tout élément qui traverse le volume de mesure perturbera le signal. En milieu naturel, les perturbations peuvent être fréquentes. Elles se manifestent par des valeurs incohérentes ponctuelles inexplicables ou une dérive constante des valeurs liées à un encrassement du capteur. Un traitement du signal est donc nécessaire.



## Développement de biofilm :

En milieu stagnant (sortie Crégut), les capteurs sont sujets à l'encrassement en raison de l'absence de dispositif d'auto-nettoyage. L'encrassement est organique et composé principalement de périphyton. Le développement du film périphytique sur le capteur entraîne une augmentation de la turbidité. La Figure 8 permet d'illustrer ce phénomène qui est observé avant chaque sortie de maintenance sur la station sortie Crégut. L'intervention des opérateurs pour le nettoyage des turbidimètres permet un retour à des valeurs basses. Entre deux maintenances, il arrive que la turbidité chute, la comparaison des valeurs au débit semble correspondre à un nettoyage « naturel » des capteurs suite à une brusque augmentation du débit. En comparaison avec les pics de turbidité enregistrés lors d'un flux important de MES l'augmentation du signal par le dépôt d'un biofilm semble négligeable. Au final, il paraît difficile d'identifier les périodes où les variations de la turbidité sont dues au développement du film périphytique et donc d'y apporter une correction et cela pour deux raisons :

- la présence de pics de turbidité nettement plus importants
- le nettoyage « naturel » des fenêtres optiques lors d'évènements pluvieux intenses.

Pour la poursuite du suivi, il est envisagé d'installer des turbidimètres équipés de système d'auto nettoyage. Ce système aurait pour effet de diminuer l'encrassement des verres et donc d'améliorer le signal pour un meilleur traitement des données.



Figure 7 : Photographie d'un capteur de turbidité encrassé (Source : ATHOS Environnement)

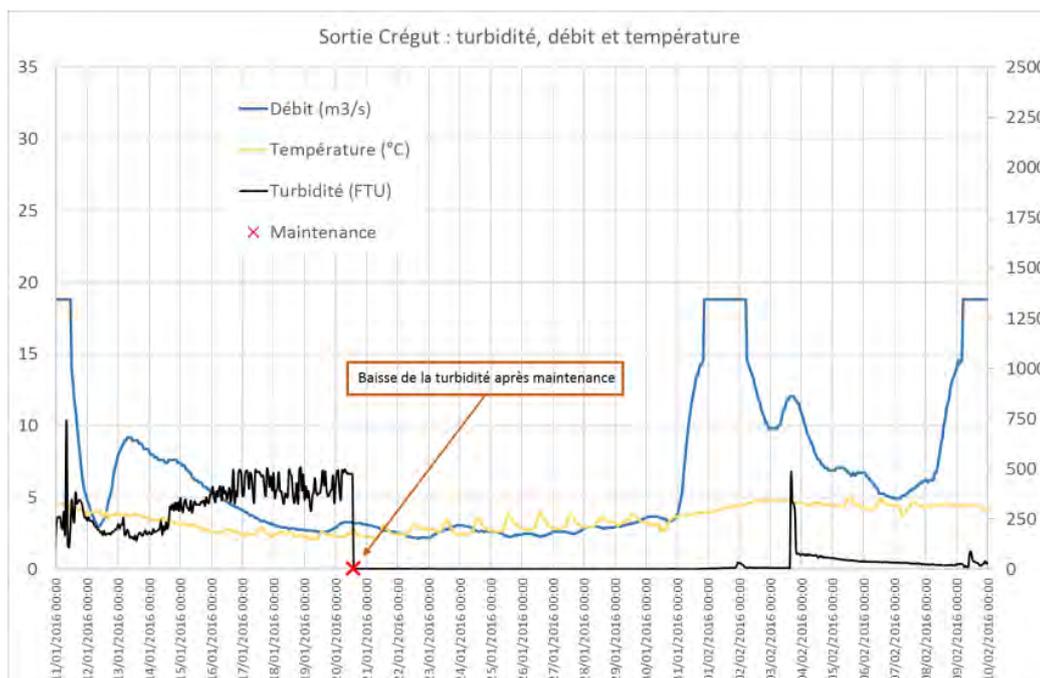


Figure 8 : Valeurs brutes de turbidité et débit mesurées du 11/01/2016 au 10/02/2016 en sortie Crégut



### Pics ponctuels inexplicables :

Chaque donnée a fait l'objet d'une validation ou non et plus particulièrement les valeurs hautes. Pour tous les pics enregistrés une observation de différents paramètres pour la même période a été réalisée lors de la validation. A chaque fois, trois facteurs ont été pris en compte :

- **Débit enregistré en parallèle** à pas de temps horaire : une modification brutale du régime hydrologique liée à des apports météorologiques ou à la fonte nivale peut être concomitante à des apports en MES validant l'augmentation brutale du signal de turbidité.
- **Température de l'eau enregistrée en parallèle** à pas de temps horaire : une variation de la température de l'eau confirme une modification du régime hydrologique et la probabilité d'apports en MES.
- **Quantité de précipitation par archive radar** : L'observation des images radar à pas de temps 15 minutes permet de valider un pic soudain estival lié à des phénomènes pluvieux brefs et intenses.

La Tableau 2 présente le nombre de données brutes validées, le nombre d'enregistrements perdus ou de données douteuses et le pourcentage exploitable. Sur la station Sortie Crégut, le pourcentage d'enregistrements exploitables est bien en dessous des autres sites. Ces valeurs sont dues aux caractéristiques de la station qui se situe dans un milieu stagnant où le phénomène de biofilm est beaucoup plus important.

*Tableau 2 : Synthèses des données brutes validées et perdues*

	<i>Période du 08/04/2015 00h au 08/04/2016 00h</i>		
	Nombre d'enregistrements valides	Nombre d'enregistrements perdus/non valides	% d'enregistrements exploitables
<i>Eau Verte</i>	7400.00	1385.00	<b>81.3%</b>
<i>Tarentaine</i>	8319.00	466.00	<b>94.4%</b>
<i>Entrée Tact</i>	7672.00	1113.00	<b>85.5%</b>
<i>Entrée Crégut</i>	8091.00	694.00	<b>91.4%</b>
<i>Sortie Crégut</i>	5762.00	3023.00	<b>47.5%</b>
<b>TOTAL</b>	<b>37244.00</b>	<b>6681.00</b>	<b>82.1%</b>

### Synthèse du traitement des données brutes de turbidité :

Le premier traitement des données de turbidité consiste à trier les données de FTU extrait directement des turbidimètres. Ce traitement est réalisé tout au long de l'année après chaque sortie mensuelle.

- Validation des données selon le débit, la température et la pluviométrie
- Identification des données perdues (problème de batterie)
- Remplacement des données perdues et douteuses par la moyenne périodique (test de Pettit)

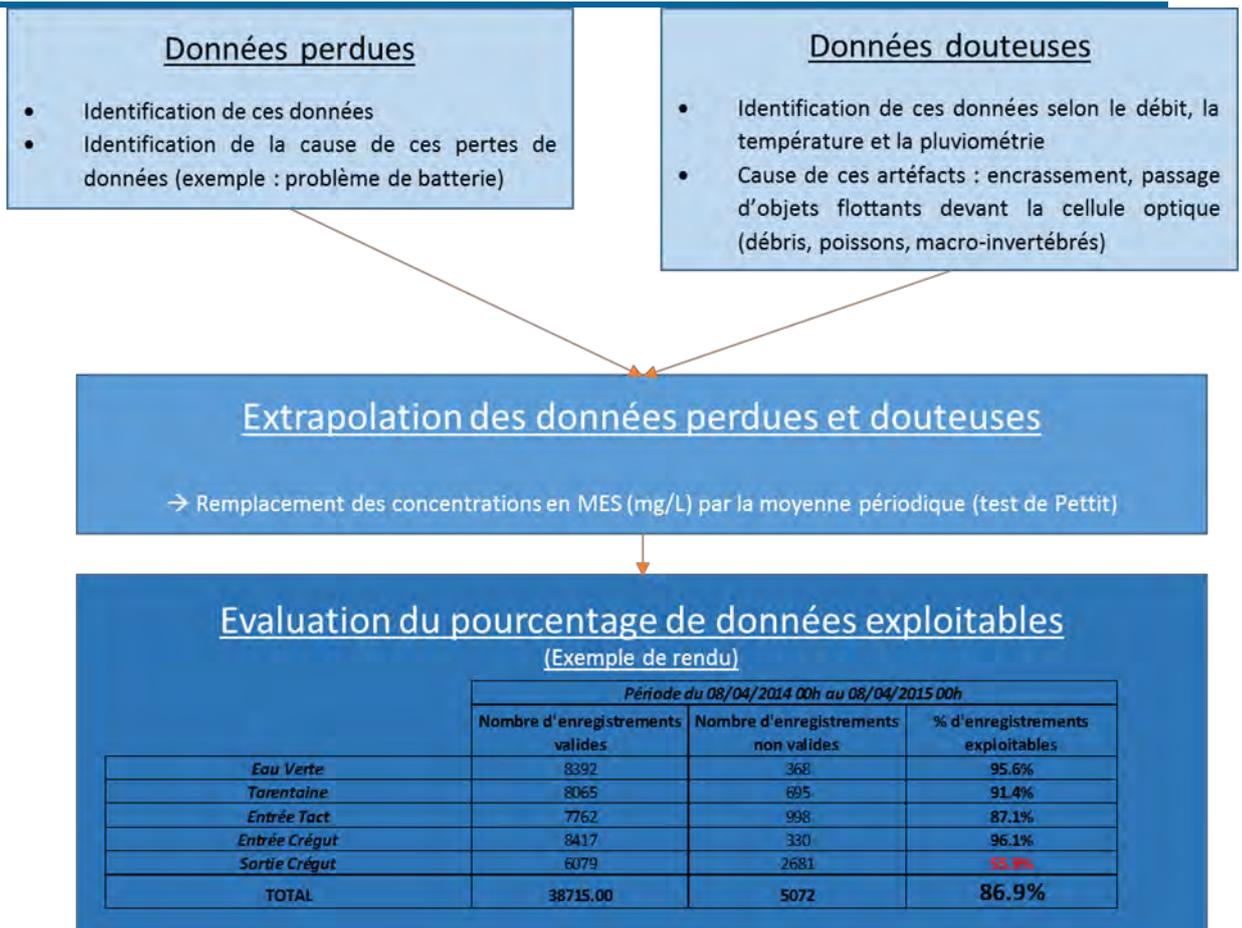


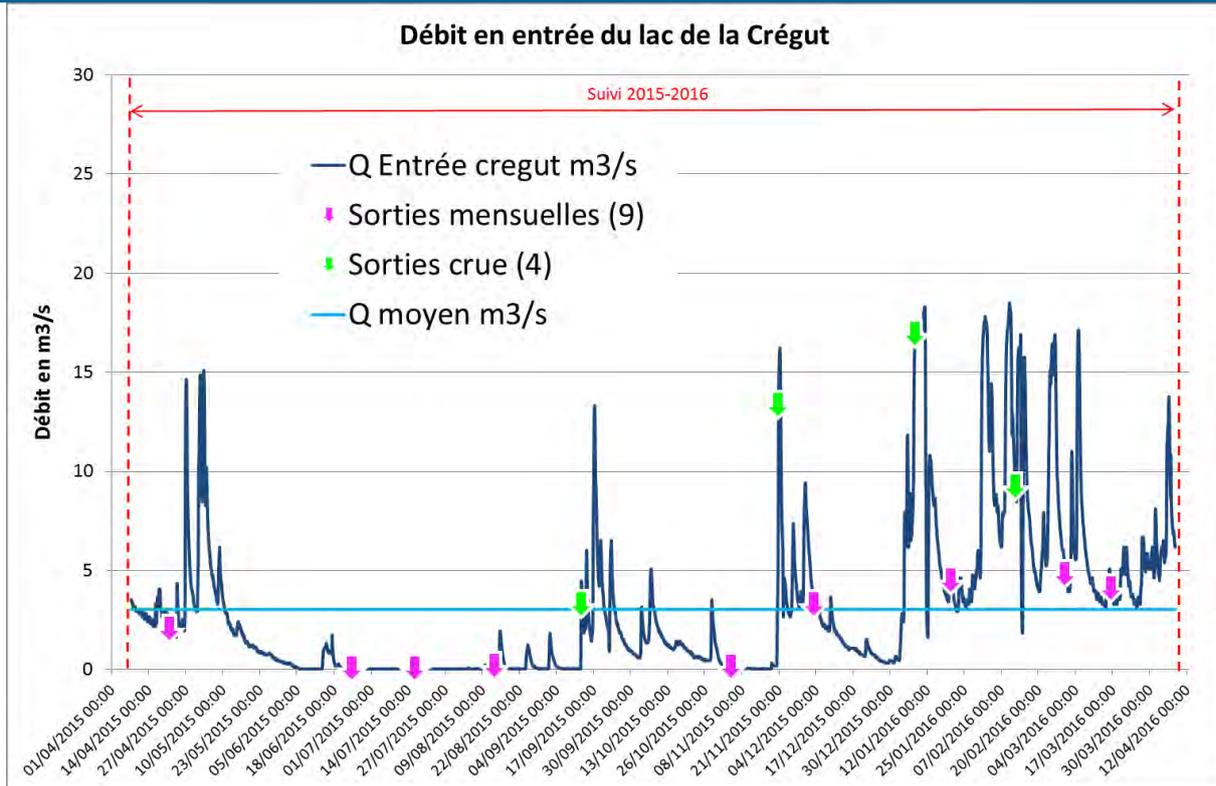
Figure 9 : Schéma de la procédure réalisée lors du traitement des données brutes de turbidité

### 2.4.3 Prélèvements manuels et automatiques

En parallèle de la mesure en continu de turbidité des prélèvements d'eau ont été réalisés pour doser les MES. Deux types de sorties sont concernées :

- Les sorties mensuelles qui correspondent aussi aux sorties de maintenance
- Les sorties exceptionnelles

La Figure 10 présente la répartition des sorties terrain dans le contexte hydrologique du lac de la Crégut. L'essentiel des sorties mensuelles (67%) a été réalisé par faible débit (inférieur au débit moyen annuel de  $3,04\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).



*Figure 10 : Répartition des sorties terrain par rapport au contexte hydrologique*

#### 2.4.3.1 Sorties mensuelles

Tous les mois, lors de l'entretien du matériel installé sur site, deux opérateurs ont effectué des prélèvements manuels sur l'ensemble des sites. Les échantillons ont été analysés en laboratoire par ATHOS Environnement. Globalement, les concentrations obtenues appartenaient à une gamme de valeurs plutôt basses. Lors de l'échantillonnage, il faut que la personne qui opère prélève à une heure la plus proche possible de l'heure de mesure du turbidimètre et bien entendu après maintenance des appareils, ce qui n'est pas si évident en pratique.

#### 2.4.3.2 Sorties exceptionnelles

Contrairement aux sorties mensuelles, les sorties exceptionnelles ont été réalisées lors d'épisodes de fort débit pour établir et étoffer les relations MES/turbidité dans des gammes de valeurs hautes. Pour cela, trois préleveurs automatiques SIGMA SD900 ont été déployés :

- Le premier a été placé à l'**Entrée Tact** pour évaluer le rôle décanteur du Tact, en comparant les valeurs obtenues avec le capteur placé à l'Entrée Crégut.
- Les deux autres ont été mis à l'**Entrée Crégut** et à la **Sortie Crégut** pour identifier la charge entrante et sortante du lac.



Figure 11 : Préleveur automatique déployé sur alerte débit durant l'hiver 2014-2015 (Source : ATHOS Environnement)

Les sorties ont été déclenchées sur des prévisions de débits du service hydro-météorologie de EDF-DTG. Les préleveurs ont été déployés de sorte à capter le pic de crue. Ces sorties ont permis de collecter 24 x 3 = 72 échantillons supplémentaires en 24 h.

Cette année, 4 sorties exceptionnelles ont été déclenchées :

- 12/09/2015 et 13/09/2015
- 20/11/2015 et 21/11/2015
- 07/01/2016 et 08/01/2016
- 12/02/2016 et 13/02/2016

#### 2.4.3.3 Résultats brutes des sorties mensuelles et exceptionnelles

Le Tableau 3 présente la synthèse des résultats d'analyse des MES sur les prélèvements manuels et automatiques par aménagement. La concentration moyenne mesurée est de 21.4 mg/L. Un maximum a été mesuré sur l'Entrée Tact à 244 mg/l.

Tableau 3 : Synthèse des analyses MES réalisées en laboratoire et exploitables par aménagement

	Nombre d'analyses réalisées (2013-2014)	Nombre d'analyses réalisées (2014-2015)	Nombre d'analyses réalisées (2015-2016)	% d'analyse exploitable pour la relation	[MES] moyenne (mg/l)	[MES] max (mg/l)	[MES] min (mg/l)
Eau Verte	11	12	50	86%	31.3	229.0	0.5
Tarentaine	12	12	51	96%	33.8	244.0	0.8
Entrée Tact	22	84	74	91%	32.8	205.2	0.3
Entrée Crégut	38	107	74	94%	7.2	24.4	0.2
Sortie Crégut	29	107	74	97%	2.0	6.4	0.1
TOTAL / Moy.	112	322	323	93%	21.4	141.8	0.38



#### **2.4.4 Corrélation Turbidité / Matières en suspension**

Le signal de turbidité (unité FTU) a été converti en concentration de MES en mg/l grâce à une relation établie à partir de la turbidité mesurée par les capteurs et des prélèvements manuels d'eau sur lesquels des dosages de MES ont été effectués en laboratoire. Les relations MES/turbidité ont pu être consolidées grâce aux données collectées depuis le suivi de 2013.

##### **2.4.4.1 Résultats**

#### **Méthodologie de constructions des courbes de tendance MES/Turbidité**

La construction d'une relation fiable entre la turbidité et les concentrations en MES est un travail délicat, sensible au biais matériel et humain. Comme expliqué précédemment le signal de turbidité est souvent sujet à des artefacts liés à la présence de débris organiques du type macro-déchets ou de biofilm. Des corrections sont apportées sur les pics présentant des valeurs non cohérentes mais il est plus difficile de corriger les valeurs basses qui ont tendance à se fondre dans la masse de données. Tous ces aspects sont des éléments qui rendent difficile l'élaboration des relations MES/turbidité.



### Concentrations en MES (mg/L)

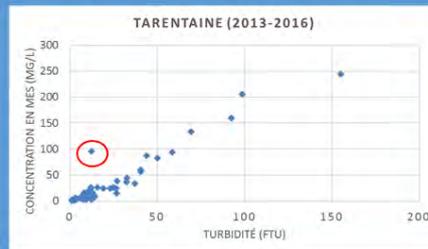
- Issues des sorties exceptionnelles : ces données ont pour objectif d'apporter des valeurs hautes en MES (sorties en période de crue)
- Issues des sorties mensuelles : ces données permettent d'apporter des valeurs supplémentaires pour construire les courbes de corrélations

### Données valides de Turbidité

Ces données sont issues du premier traitement

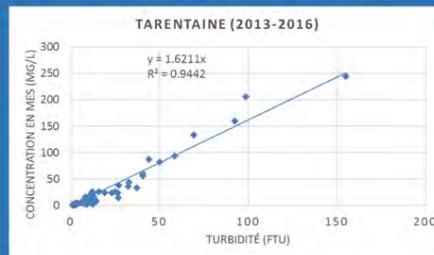
### Mise en parallèle des données de MES et de Turbidité

- Les concentrations en MES et les valeurs de turbidité sont mises en parallèle selon la date et l'heure
- Les données se trouvant à l'écart de l'ensemble du jeu de données sont retirées (voir graphique)



### Création de la courbe de tendance

- Une courbe de tendance du type linéaire est associée au jeu de données traitées
- Cette courbe tendance permet d'obtenir une relation (voir graphique)



### Application de l'équation sur l'ensemble du jeu de données valides

Figure 12 : Schéma de la procédure réalisée lors de la construction des relations MES/Turbidité

Cinq relations ont été constituées permettant ainsi d'obtenir une équation pour chaque station. Il est admis que la granulométrie des sédiments n'est pas de la même nature sur les stations rivières (Tarentaine et Eau verte) et lac (Entrée Tact, Entrée et Sortie Crégut) d'où l'importance de construire des courbes de corrélation indépendante pour chaque site. Pour gagner dans la précision de mesure, une courbe de corrélation a été construite pour chaque station sur l'ensemble des données jusqu'en 2016.

## Eau Verte et Tarentaine

Pour les sites Eau verte et Tarentaine, une sortie exceptionnelle a permis d'intégrer des valeurs hautes dans les relations MES/turbidité établies à partir des données 2013. La Figure 13 présente les différentes relations MES/turbidité établies.

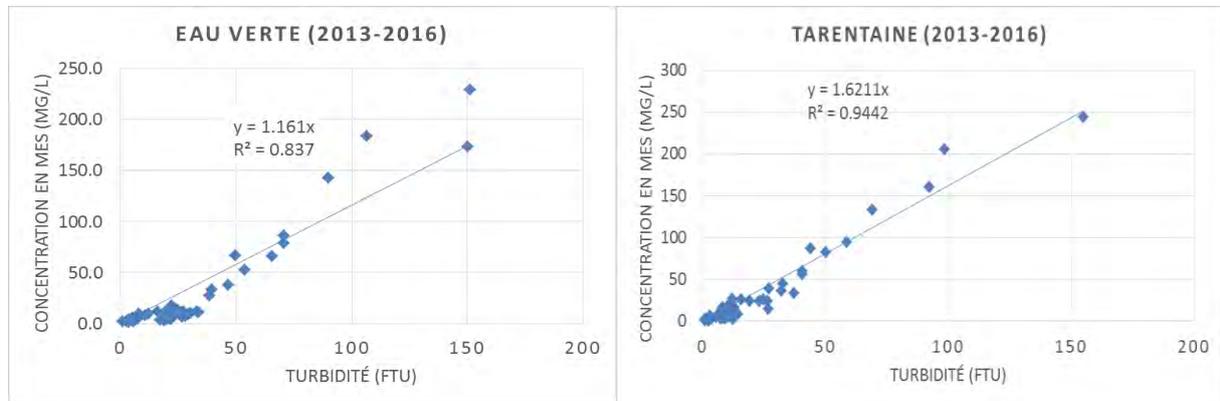


Figure 13 : Relations MES/turbidité Eau verte et Tarentaine utilisées pour la conversion du signal turbidité d'après les données du suivi 2013-2014, 2014-2015 et 2015-2016

## Entrée Crégut et Entrée Tact

L'entrée Crégut et l'entrée Tact présentent des relations moins bonnes ( $R^2$  proche de 0,6). Ceci peut notamment s'expliquer par la présence de biofilm sur la fenêtre optique qui occasionne des biais dans le signal de turbidité. Ces variations sont difficiles à identifier et à corriger.

Lors du traitement des données, nous avons supposé que les matières mobilisées lors des différentes crues ne sont pas forcément de la même nature granulométrique. Si c'est le cas, il est nécessaire d'établir une corrélation pour chaque période identifiée car la granulométrie des MES influence les valeurs de turbidité mesurées. Au niveau hydrologique, deux tendances marquées semblent se dégager sur la période de suivi.

Pour vérifier ce dernier point un test d'homogénéité des chroniques de débit et de concentration en MES a été réalisé (test de Pettitt). Le test de Pettitt est un test statistique non paramétrique. Il s'applique à des données n'ayant pas de distribution gaussienne, il est donc adapté aux données hydrométéorologiques pour lesquelles les distributions sont souvent dissymétriques. Il a pour objectif de détecter des ruptures dans les séries chronologiques. Ce test réalisé sur les données de l'entrée du lac de la Crégut a mis en évidence qu'il existe une date à partir de laquelle il y a un changement dans les données de débit et de turbidité.

Le résultat de ce test sur les débits, présenté dans la Figure 14 indique :

- qu'entre le 08/04/2015 et le 19/11/2015 la moyenne des débits journaliers est basse ( $1,27 \text{ m}^3/\text{s}$ ).
- que du 19/11/2015 au 08/04/2016 les débits moyens ont augmenté ( $5,83 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

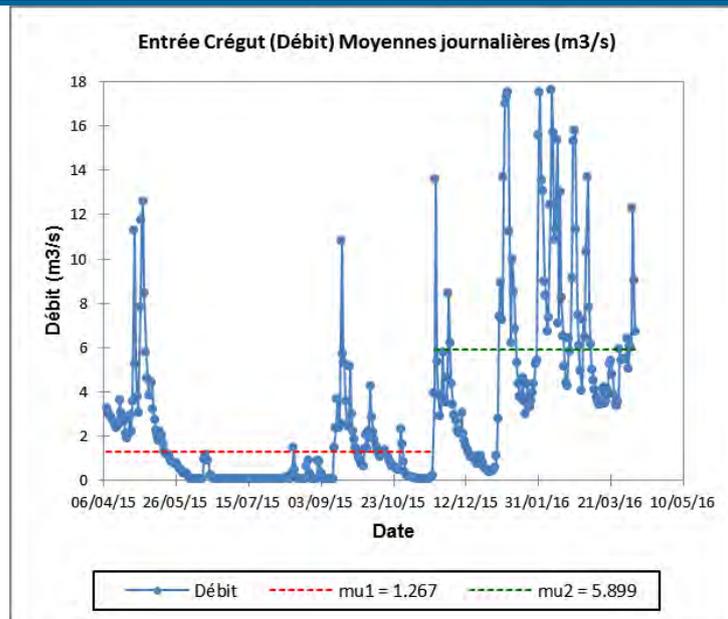


Figure 14 : Test d'homogénéité de Pettitt des chroniques de débit

Aucune courbe de corrélation n'a pu être faite selon les périodes définies par le test de Pettitt car les valeurs exploitables de concentrations en MES appartenaient toutes à la même période.

Les relations utilisées pour la transformation du signal de turbidité en concentration en MES, ont été établies d'après les données de 2013 à 2016 sur l'entrée Crégut et sur l'entrée Tact.

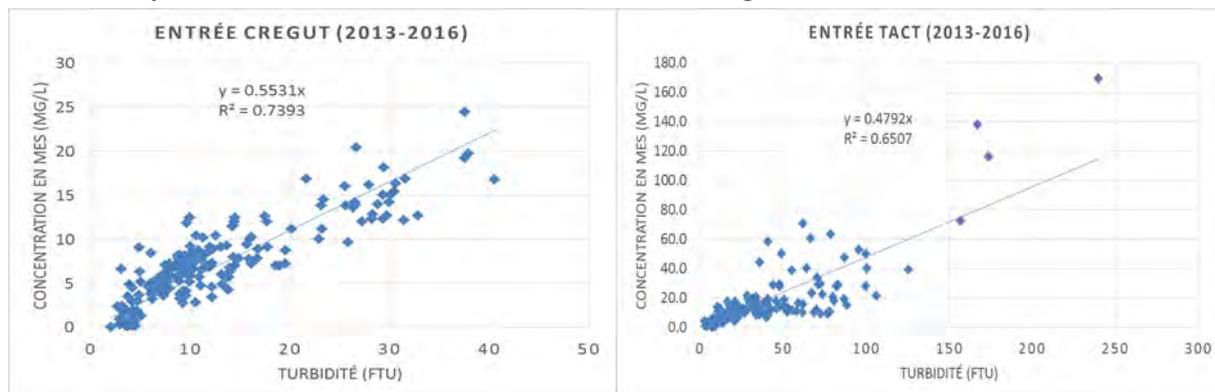
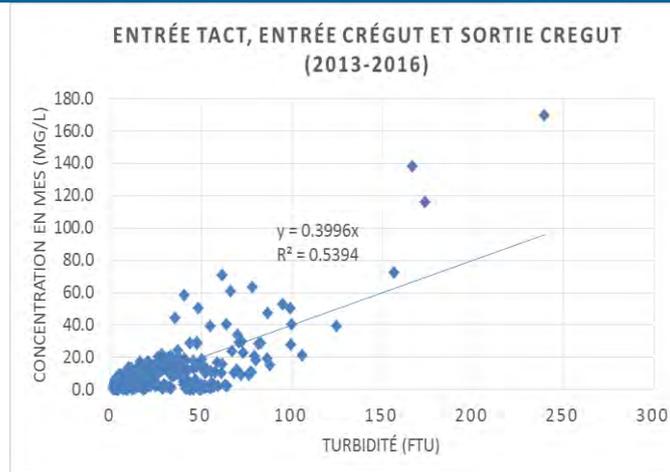


Figure 15 : Relation MES/Turbidité Entrée Crégut et Entrée Tact

### Sortie Crégut

Pour la relation turbidité/MES de la station Sortie Crégut, les données acquises au cours du suivi 2015-2016 n'ont pas été suffisantes pour établir une relation propre au site. Le caractère lentique de la station favorise le développement de biofilm. Le traitement des valeurs est plus important sur cette station et la reconstitution du signal de turbidité est plus compliquée du fait de ce développement périphtyque, ce qui minimise le nombre de données exploitables pour les relations MES/turbidité. Il a donc été décidé d'établir une courbe Entrée Tact, Entrée Crégut et Sortie Crégut comme pour le suivi 2013-2014 afin d'augmenter le nombre de données tout en restant dans le même type de site « lac ».



*Figure 16 : Relation MES/turbidité utilisée pour Sortie Crégut*

### **Intervalle de confiance à 95% pour les courbes de relation linéaire.**

Pour chaque relation linéaire turbidité/MES établie, nous avons regardé le pourcentage de valeurs comprises dans un intervalle de confiance à 95 % autour de la relation linéaire :

- Eau verte : 3.3 % des valeurs sont hors intervalle de confiance
- Tarentaine : 3.1 % des valeurs sont hors intervalle de confiance
- Entrée TACT : 2.7 % des valeurs sont hors intervalle de confiance
- Entrée CR : 2.9 % des valeurs sont hors intervalle de confiance
- Entrée TACT/ Entrée CR/ Sortie CR : 2.1 % des valeurs sont hors intervalle de confiance

Nos courbes de corrélation sont linéaires et sont robustes vis-à-vis de l'intervalle de confiance.

### **2.4.5 Chroniques brutes de matières en suspension par aménagement**

L'annexe 6 présente les chroniques de turbidité et de débit par aménagement:

- Comme en 2014-2015 les concentrations instantanées en MES décroissent de l'amont vers l'aval du complexe de la Crégut.
- Les épisodes de forts débits ne sont pas systématiquement corrélés à de fortes teneurs en MES (pas de corrélation significative au seuil de 5%)
- Comme montré précédemment, deux tendances marquées semblent se dégager sur la période de suivi mis en évidence par le test de Pettitt (Figure 17) :
  - la concentration moyenne en MES (12.4 mg/l) et la variabilité des valeurs sont plus élevées sur la première période (08/04/2015 à 05/06/2015)
  - la concentration moyenne en MES (5 mg/l) a fortement diminué et est plus constante à partir du 05/06/2015

Cette analyse indique que ce sont les événements hydrologiques brefs et intenses (comme des orages estivaux) et épisodes de fonte des neiges en avril/mai qui vont entraîner les plus forts apports en MES. Ces événements sont difficiles à prévoir d'où la difficulté de mise en œuvre de sortie exceptionnelle.

En hiver et en automne, malgré une augmentation des débits, la turbidité reste faible avec quelques pics ponctuels mais d'intensité plus modérée.

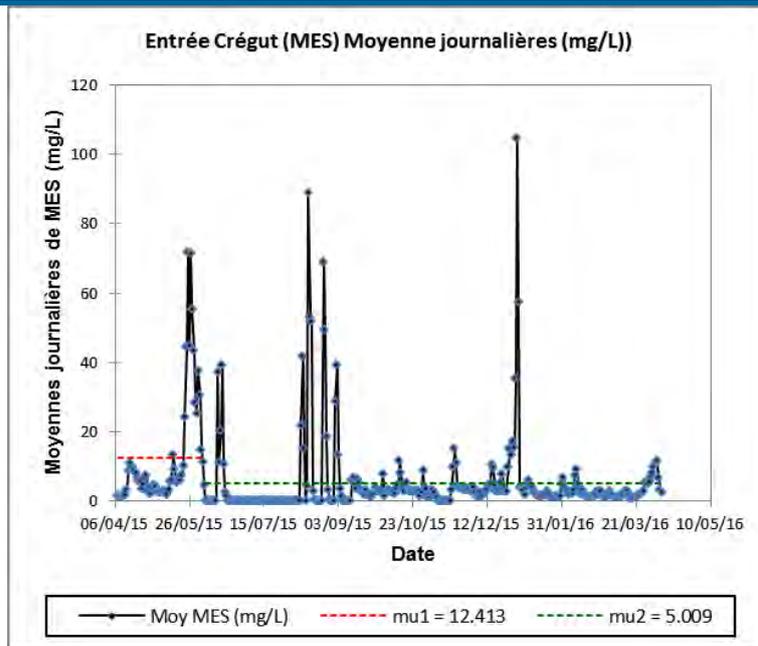


Figure 17 : Test d'homogénéité de Pettitt des chroniques des concentrations en MES

Le Tableau 4 présente la synthèse des moyennes et extrêmes des concentrations en MES issue de la transformation du signal de turbidité. Le maximum a été observé sur la Tarentaine (240.7 mg/L). Si l'on compare cette valeur au SEQ-Eau (système d'évaluation de la qualité de l'eau), la qualité pour le paramètre MES est de qualité « médiocre ».

Tableau 4 : Moyennes, minimum et maximum des concentrations en MES par aménagement

	Concentration en MES (mg/L)		
	<i>moyenne</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<b>Eau verte</b>	10.6	0.7	172.9
<b>Tarentaine</b>	10.2	0.0	240.7
<b>Entrée Tact</b>	8.2	0.0	80.9
<b>Entrée Crégut</b>	2.9	0.0	22.0
<b>Sortie Crégut</b>	2.6	0.0	79.3



## 2.4.6 Bilan des cumuls de MES

### 2.4.6.1 Calcul des flux annuels et bilans

Les concentrations en MES sont calculées à partir d'une relation  $MES=f(\text{turbidité})$  obtenue à l'aide de prélèvements manuels (paragraphe 2.4.4 Corrélation Turbidité / Matières en suspension).

Un flux de MES en gramme par seconde est ensuite calculé en multipliant le débit instantané horaire par la concentration instantanée horaire. La quantité de MES est ensuite calculée par heure et cumulée sur l'année du suivi pour calculer le tonnage annuel qui a transité par point de mesure.

Les données manquantes de turbidité ont été reconstituées à partir des moyennes calculées sur deux périodes. Ces périodes ont été identifiées à partir des débits et selon le test d'homogénéité de Pettitt (voir Figure 14 dans le paragraphe 2.4.4.1). Lorsque la valeur de turbidité n'a pas été validée (jugée douteuse), la concentration en MES a été remplacée par la moyenne de la période concernée.

Un bilan par aménagement a ensuite été calculé (différence entre les flux entrants et les flux sortants).

Afin de comparer les données du suivi horaire 2015-2016 avec les suivis des années 2006 et 2011 (suivis mensuels), et le suivi horaire 2014-2015, les bilans ont également été calculés à partir de la méthode de calcul utilisée en 2011. Le choix de la méthode de calcul des flux découle de l'examen des travaux de Moatar *et al.* -Université de Tours - Cemagref 2009, concernant les mesures hydrologiques et les incertitudes qui en découlent, et plus particulièrement les méthodes de calcul des flux à partir des suivis discrets de concentrations. Les flux physico-chimiques ont été calculés à partir du produit du débit annuel moyen par la concentration moyenne arithmétique. Cette comparaison permet également de discuter l'importance d'un suivi continu par rapport à un suivi discret.



#### 2.4.6.2 Cumuls par site de suivi

Les matières en suspension qui transitent sur le complexe n'ont pas la même nature granulométrique sur les stations rivières (sable) et lac (limons). Les stations situées en lac présentent une granulométrie plus fine que les stations de la Tarentaine et Eau verte, il est donc difficile de comparer des concentrations en MES n'ayant pas la même nature granulométrique (masse volumique différente). Les résultats des cumuls sont présentés en fonction du site (rivière et lac).

#### Les stations rivière

La Figure 18 présente les cumuls de MES calculés sur la période de suivi (du 08 avril 2015 au 08 avril 2016) sur les stations Tarentaine et Eau verte. Sur la durée du suivi 2015-2016, plusieurs évènements ont été repérés. Chaque épisode caractéristique ayant eu un impact sur l'évolution des concentrations en MES a été signalé sur le graphique par des encadrés en pointillés.

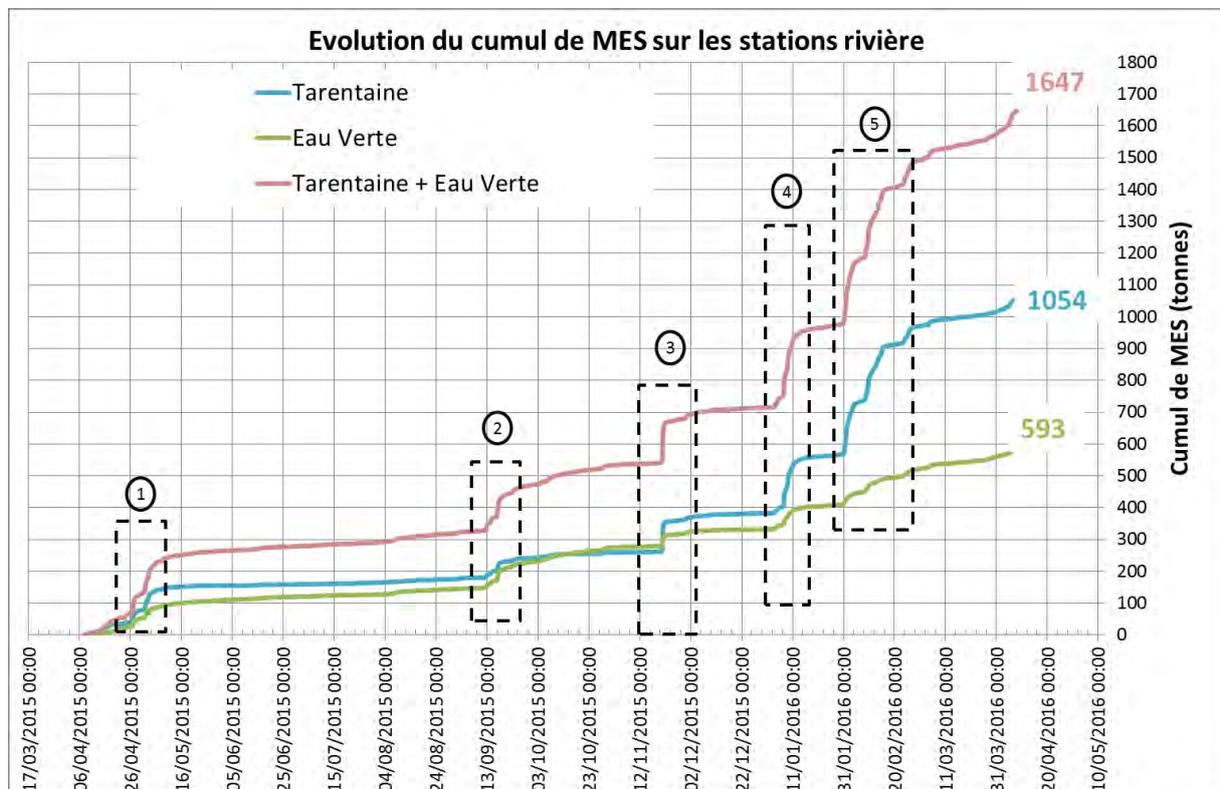


Figure 18 : Cumuls de MES en tonnes d'avril 2015 à avril 2016 sur les stations rivière

Sur la période d'étude, les deux courbes (Tarentaine et Eau verte) suivent la même tendance, les ruisseaux semblent réagir de manière similaire. La charge en MES fournie par la Tarentaine est plus importante que l'Eau verte.

La comparaison entre le débit et les concentrations en MES a révélé cinq séquences caractéristiques :

- Séquence 1 : du 22 avril au 12 mai 2015 (Figure 19)
- Séquence 2 : du 9 septembre au 25 septembre 2015 (Figure 19)
- Séquence 3 : du 12 novembre au 04 décembre 2015 (Figure 19)
- Séquence 4 : du 30 décembre 2015 au 18 janvier 2016 (Figure 20)
- Séquence 5 : du 27 janvier au 28 février 2016 (Figure 20)

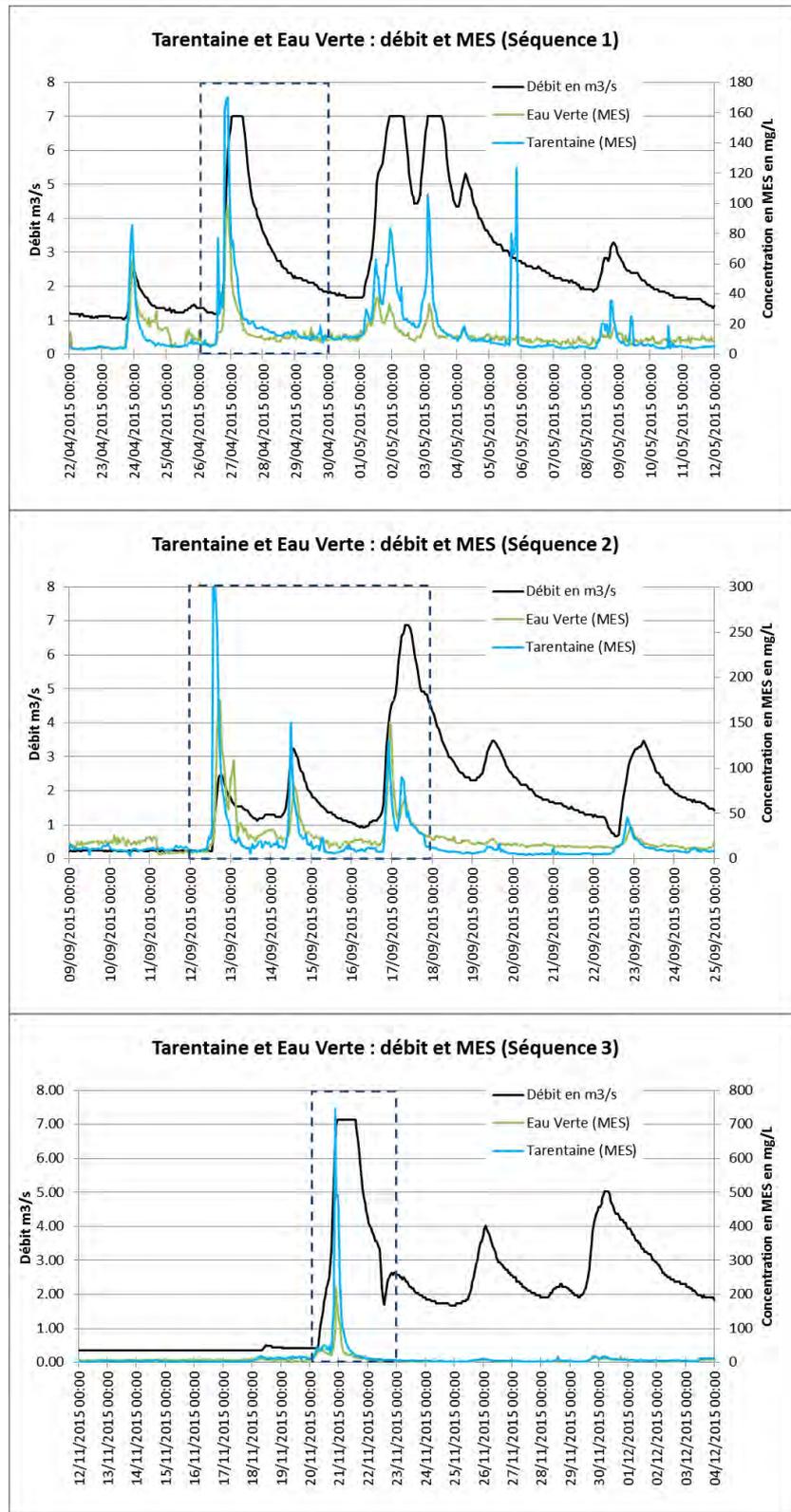


Figure 19 : Concentration en MES et débit sur la Tarentaine et l'Eau verte pour les séquences 1, 2 et 3.

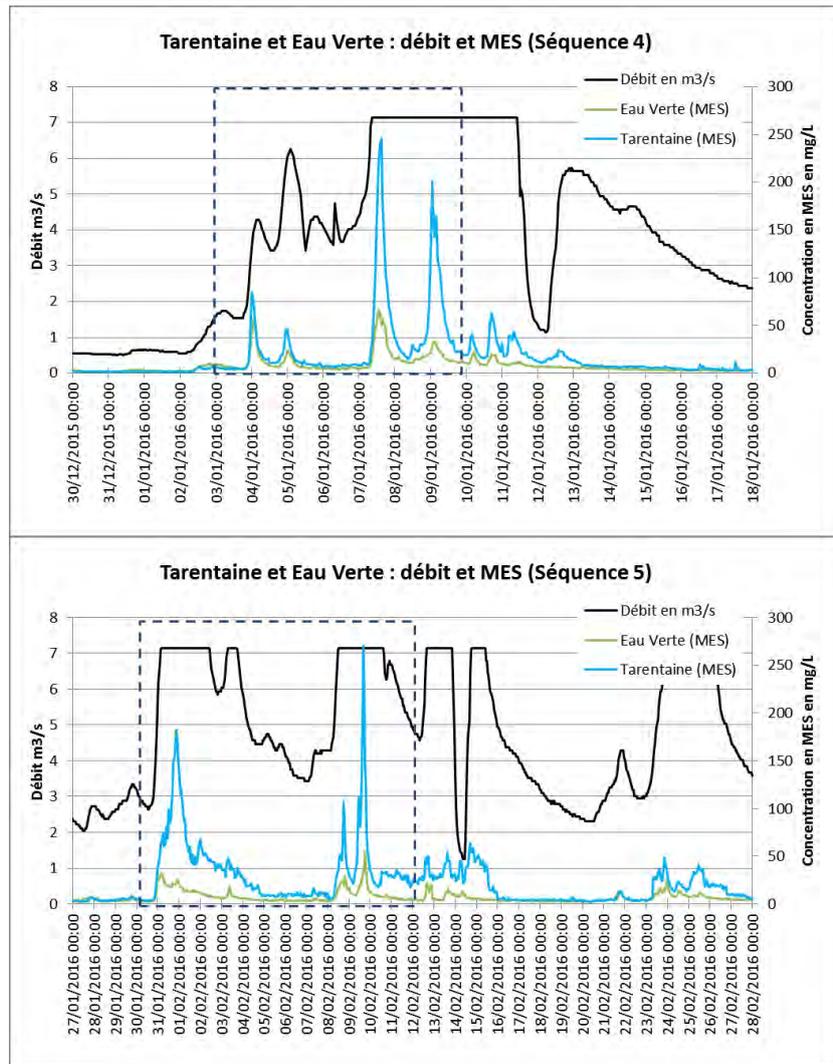


Figure 20 : Concentration en MES et débit sur la Tarentaine et l'Eau verte pour les séquences 4 et 5

Sur les séquences choisies, un pic de MES a été identifié. A chaque fois, les concentrations mesurées sur la Tarentaine sont supérieures à celles de l'Eau verte. Les pic de MES s'accompagnent d'une augmentation soudaine du débit. Les valeurs hautes sont mesurées au début de la crue.



## Les stations lac

La Figure 21 présente le cumul des concentrations en MES sur la durée du suivi de 2015-2016 pour les stations lac. Des évènements distincts ont été identifiés par un encadré en pointillés.

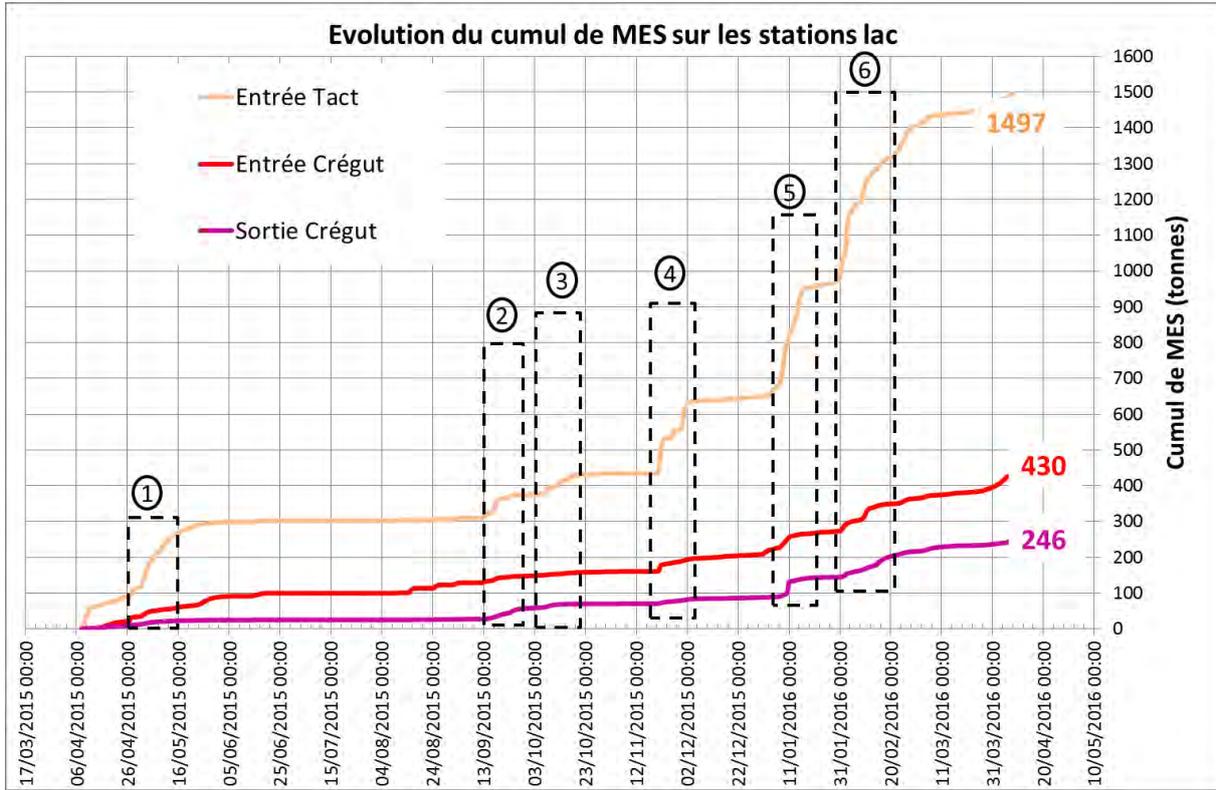


Figure 21 : Cumuls de MES en tonnes d'avril 2015 à avril 2016 sur les stations lac

Sur les trois stations situées en lac, l'entrée Tact présente des concentrations en MES plus élevées. A l'entrée Crégut, le flux de MES transité est moins important qu'à l'entrée Tact révélant le pouvoir décanteur du Tact.

La comparaison entre le débit et les concentrations en MES a révélé six séquences caractéristiques :

- Séquence 1 : du 26 avril au 16 mai 2015 (Figure 22)
- Séquence 2 : du 13 septembre au 30 septembre 2015 (Figure 23)
- Séquence 3 : du 03 octobre au 23 octobre 2015 (Figure 24)
- Séquence 4 : du 16 novembre au 06 décembre 2015 (Figure 25)
- Séquence 5 : du 07 janvier au 23 janvier 2016 (Figure 26)
- Séquence 6 : du 31 janvier au 20 février 2016 (Figure 27)

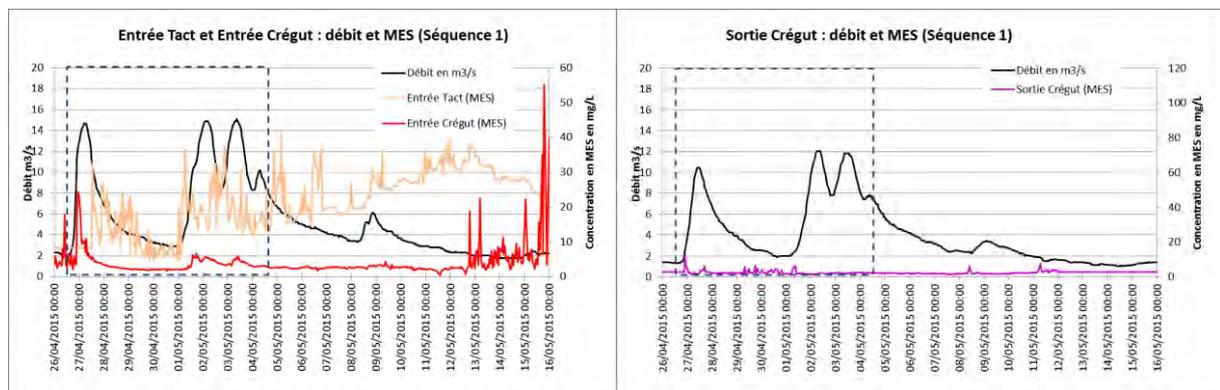


Figure 22 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 1

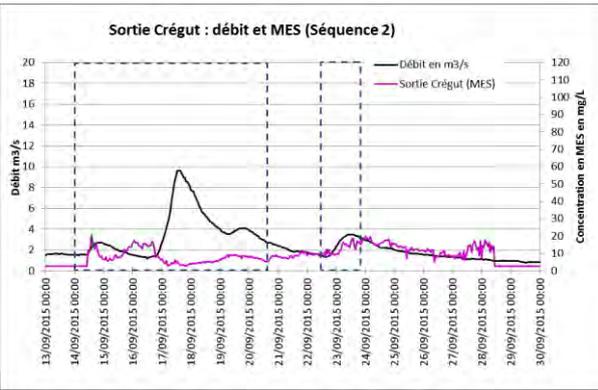
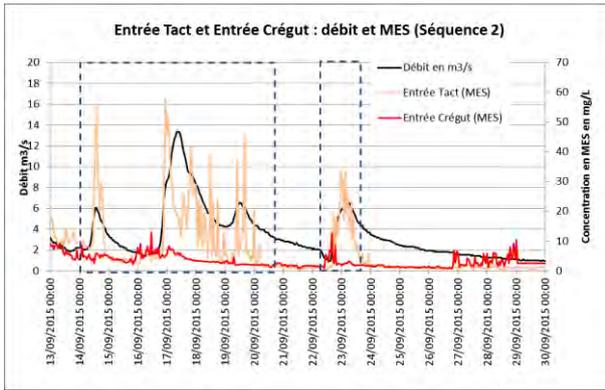


Figure 23 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 2

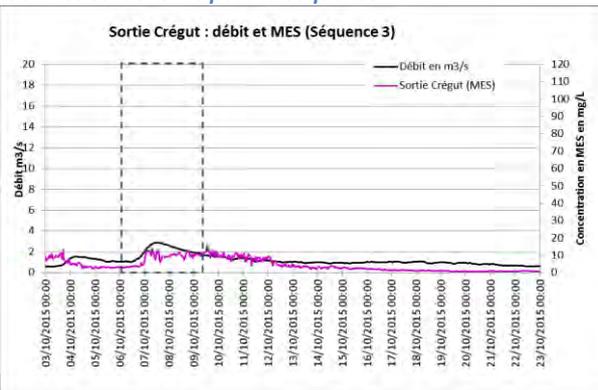
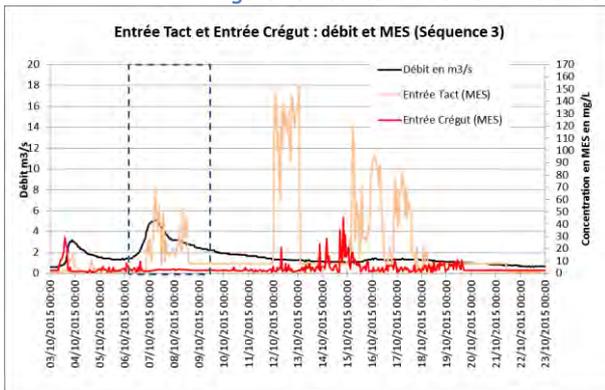


Figure 24 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 3

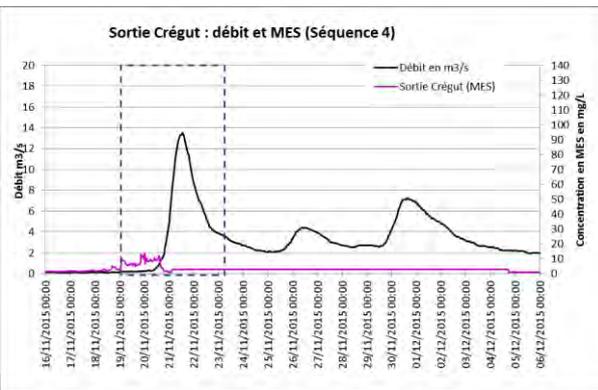
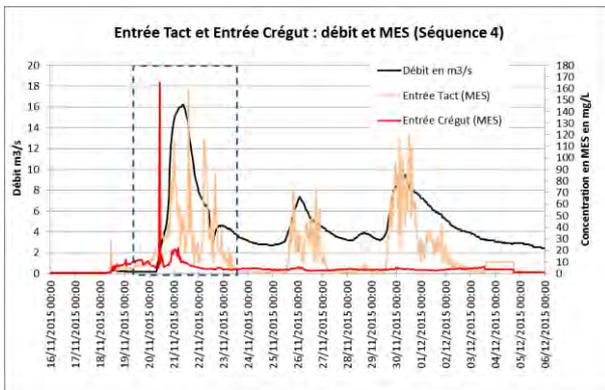


Figure 25 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 4

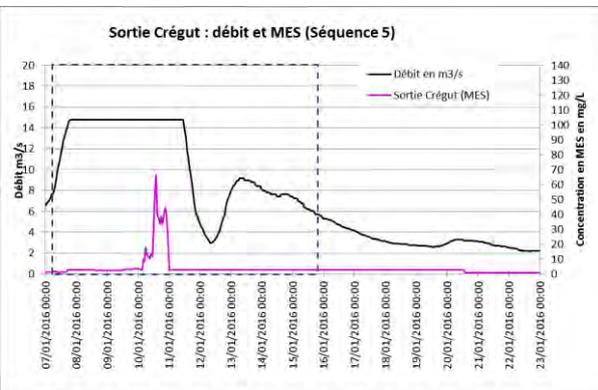
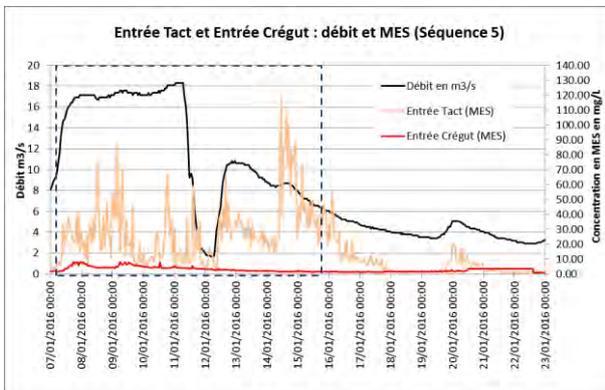


Figure 26 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 5

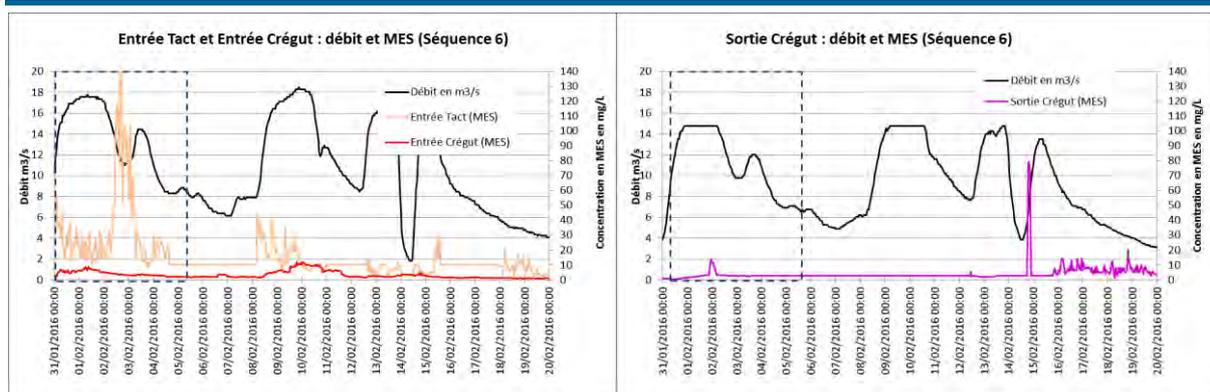


Figure 27 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 6

Des épisodes caractéristiques de la période de suivi ont été détaillés dans les précédents graphiques. Pour chaque augmentation distincte observée sur le cumul, les résultats des concentrations en MES ont été comparés aux valeurs de débit. Sur toutes les séquences identifiées, les pics de MES ont été mesurés en début de crue. Les variations sont plus nettes sur la station du Tact qui reçoit les apports ayant transité par la Tarentaine et l'Eau verte.

Le Tableau 5 présente la synthèse des calculs de stockage sur le Tact et le Lac de la Crégut pour les suivis de 2011, 2013-2014, 2014-2015 et 2015-2016. Deux méthodes de calcul ont été utilisées :

- Le suivi horaire en continu pour les suivis de 2013-2014, 2014-2015 et 2015-2016. (Pour les suivis 2014-2015 et 2015-2016, les relations linéaires ayant permis le calcul du cumul de MES sont les mêmes et ont été obtenues avec les données depuis le début du suivi en 2013.)
- Le suivi mensuel pour le suivi de 2011

D'avril 2015 à avril 2016, environ 1067 tonnes de MES auraient été stockées dans le lac du Tact et environ 184 tonnes dans le lac de la Crégut. Ces résultats révèlent que le suivi de 2011 aurait sous-estimé les flux. Cela est notamment lié à la fréquence de mesure qui n'était que de 12 échantillons par an en 2011 contre 8760 mesures effectuées durant les suivis en continu. Les valeurs de stockage obtenues durant le suivi 2015-2016 sont dans le même ordre de grandeur que celles obtenues durant le suivi 2014-2015. Les conditions hydrologiques observées lors de ces deux années peuvent expliquer ce même ordre de grandeur. Le débit moyen en 2014-2015 était de 3.3 m<sup>3</sup>/s et en 2015-2016 de 3.04 m<sup>3</sup>/s.

Tableau 5 : Bilan des cumuls par aménagement

	Suivi en continu			Suivi ponctuel
	Suivi 2015-2016	Suivi 2014-2015	Suivi 2013-2014	Suivi de 2011
	Relation de 2013-2016			Relation de 2013-2014
Stockage MES Lac du Tact (tonnes)	1067	1264	De 715 à 790	-95,93
Stockage MES Lac de la Crégut (tonnes)	184	172	De 250 à 315	195,53

## 2.5 PHYSICO-CHIMIE DES ENTRANTS ET SORTANTS

### 2.5.1 Fréquence de prélèvement

Le Tableau 6 présente les différentes dates et heures d'interventions sur les points situés en rivière ainsi que le jour de dépôt des échantillons au laboratoire.

Tableau 6 : Heures et dates de prélèvement des échantillons prélevés en rivière

Date de prélèvement	Date de dépôt	Heure de prélèvement (heure d'hiver)				
		Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
21/04/2015	21/04/2015	12:15:00	11:35:00	08:50:00	09:30:00	10:15:00
24/06/2015	24/06/2015	12:20:00	12:00:00	09:50:00	10:10:00	08:15:00
16/07/2015	16/07/2015	13:40:00	13:10:00	10:00:00	10:50:00	12:25:00
13/08/2015	13/08/2015	12:00:00	11:30:00	08:30:00	09:00:00	10:00:00
04/11/2015	04/11/2015	14:15:00	13:50:00	10:30:00	11:00:00	13:10:00
03/12/2015	03/12/2015	10:00:00	10:50:00	14:05:00	13:45:00	12:15:00
20/01/2016	20/01/2016	14:00:00	13:30:00	10:00:00	11:00:00	13:00:00
29/02/2016	29/02/2016	13:30:00	12:45:00	09:30:00	10:30:00	11:05:00
16/03/2016	16/03/2016	11:20:00	10:50:00	07:55:00	08:25:00	09:10:00

### 2.5.2 Matériel et méthode

#### 2.5.2.1 Mesures *in situ*

Les mesures *in situ* ont été réalisées à l'aide d'une sonde Ysi EXO. Le Tableau 7 et l'Annexe 4 présentent les caractéristiques de la sonde.

Tableau 7 : Caractéristiques techniques de la sonde utilisée

Type de sonde	Photographie	Paramètre	Plage de mesure	Résolution	Précision
YSI Ex O1		Température	-5°C à 50 °C	0.001°C	-5°C à 35 °C = ±0.01°C 35°C à 50°C = ±0.05°C
		Oxygène % saturation	0 à 500%	0.1 % sat ; air	0 à 200% = ± 1% 200 à 500% = ± 5%
		Oxygène mg/l	0 à 50 mg/l	0.01 mg/l	0 à 20 mg/l = ± 1 ù de la lecture 20 à 50 mg/l = ± 5% de la lecture
		pH	0 à 14 unités	0.01 unité	± 0.1 unité sur ± 10°C de la température de calibration
		Conductivité	0 à 200 mS/cm	0.0001 à 0.01 mS/cm	0 à 100mS/cm = ± 0.5 % de la lecture 100 à 200 mS/cm = ± 1% de la lecture

#### 2.5.2.2 Prélèvement physico-chimique

Les prélèvements ont été effectués directement dans la veine d'eau selon les recommandations du guide de prélèvement d'échantillons en rivière édité par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne. L'échantillonnage des points nécessite de mettre des gants et de rincer les flacons 3 fois avant remplissage. Ils ont été acheminés vers le laboratoire en malle isotherme à 4°C et à l'obscurité. Les analyses ont été effectuées par le laboratoire sous-traitant CARSO, accrédité COFRAC. Le Tableau 8 présente l'ensemble de ces analyses.



**Tableau 8 : Paramètres analysés, laboratoires et normes**

Paramètres	Intitulés	Normes	Limites de quantification	Unités
Carbone organique total	COT	NF EN 1484	0.2	mg C/L
Carbone organique dissous	COD	NF EN 1484	0.2	mg C/L
Matières en suspension	MES	NF EN 872	2	mg/L
Demande biochimique en oxygène	DBO5	NF EN 1899-2	0.5	mg O2/L
Azote Kjeldahl	NTK	NF EN 25663	1	mg N/L
Phosphore total	Ptot	NF EN ISO 6878	0.01	mg P/L
Ammonium	NH4	Méthode selon NF T90-015-2	0.01	mg NH4/L
Nitrates	NO3	NF EN ISO 13395	0.5	mg NO3/L
Nitrites	NO2	NF EN ISO 13395	0.01	mg NO2/L
Orthophosphates	PO4	selon NF EN ISO 6878	0.01	mg PO4/L

### 2.5.2.3 Référentiel d'interprétation

Pour l'interprétation des résultats, l'arrêté du 27 juillet 2015 a été utilisé. Une fiche synthèse de l'arrêté fixé par la DCE est consultable en Annexe 7. Ce système d'évaluation permet de définir des classes d'état de la qualité des eaux. Le Tableau 9 récapitule les différentes classes de qualité associées à un code colorimétrique.

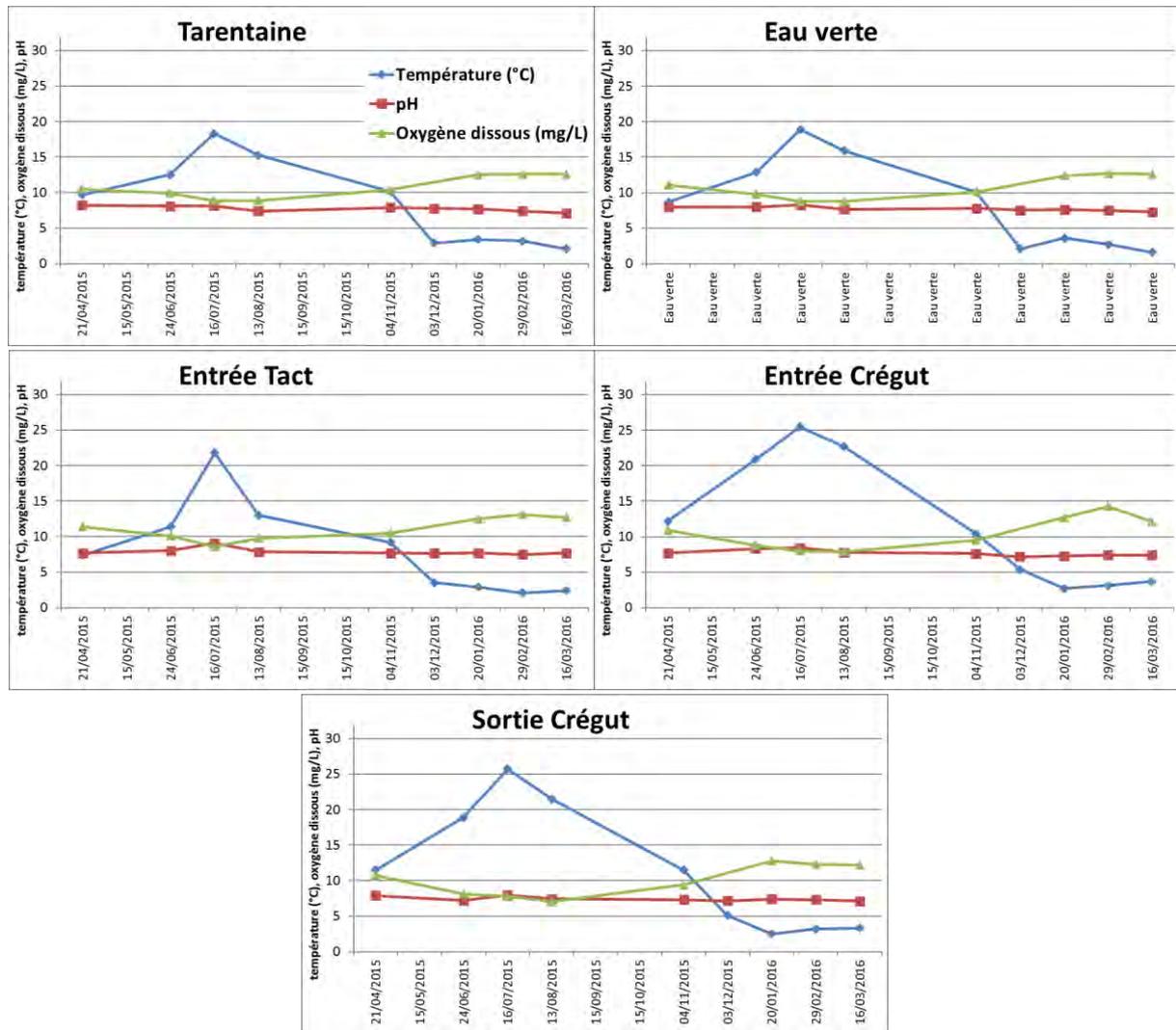
**Tableau 9 : Classes de qualité de l'arrêté du 27 juillet 2015**

Classes de qualité				
Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Informations insuffisantes pour attribuer un état				



## 2.5.3 Résultats des paramètres physico-chimiques

### Température, Oxygène dissous et pH



#### Commentaires :

Les températures sont plus élevées sur les stations situées à l'entrée et à la sortie du lac de la Crégut. Les valeurs de température sont de « très bonne » qualité. Les concentrations en oxygène sont légèrement plus basses sur la partie aval du complexe. Des valeurs plus faibles ont été mesurées durant la période estivale déclassant la qualité de l'eau à la Sortie Crégut en « bon » les autres stations restent selon l'arrêté de 27 juillet 2015 de « très bonne » qualité. Le pH se situe autour de 8. Le calcul du percentile 90 sur la station Entrée Crégut a révélé une valeur légèrement plus haute déclassant la station en qualité « bonne ».

Evaluation de l'état de qualité des paramètres Température, pH et Oxygène dissous selon l'arrêté du 27 juillet 2015					
	Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
Température (°C)*	15.9	16.5	14.8	23.3	22.3
pH (max)*	8.2	8.1	8.2	8.3	7.9
pH (min)**	7.3	7.5	7.6	7.3	7.1
Oxygène dissous (mg/L)*	8.9	8.8	9.4	8.0	7.5

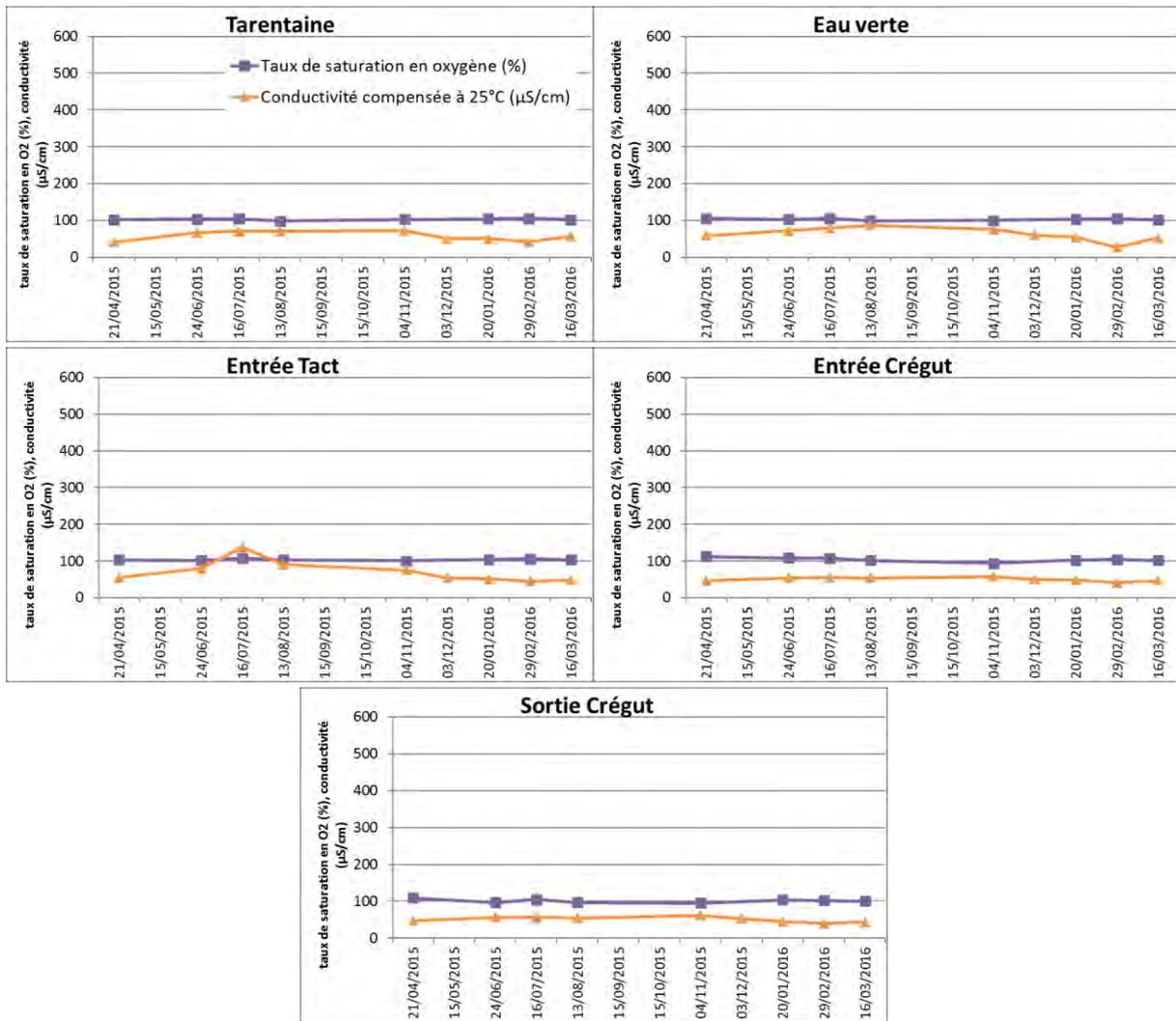
\*Classification selon le percentile 90

\*\*Classification selon le percentile 10

Figure 28 : Résultats de la température, du pH et de l'oxygène dissous



## Taux de saturation en oxygène et conductivité



### Commentaires :

Le taux de saturation est de qualité « très bonne » sur l'ensemble des points. La conductivité est homogène tout au long de l'année et sur l'ensemble du complexe de la Crégut.

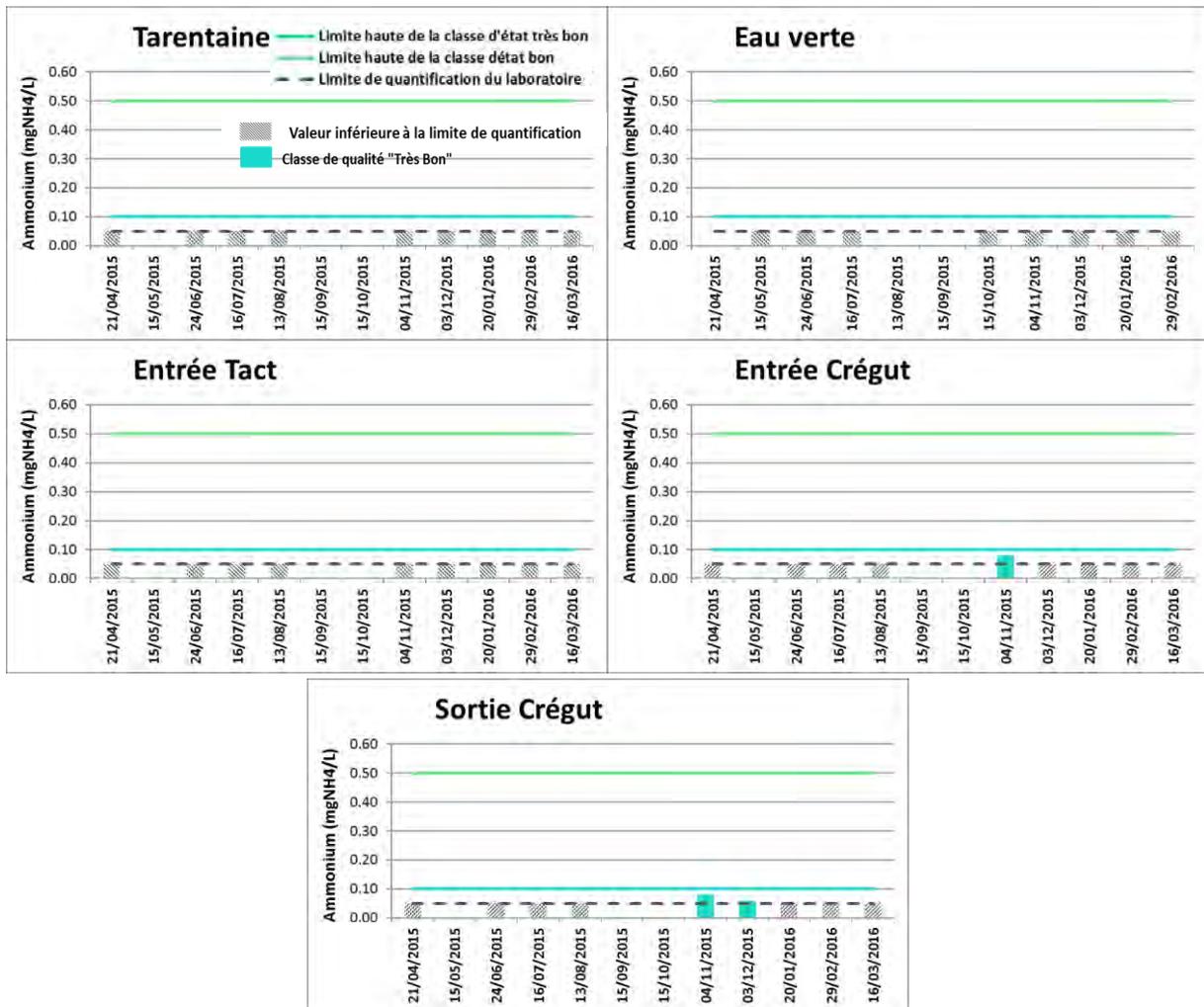
Evaluation de l'état de qualité des paramètres Taux de saturation et Conductivité selon l'Arrêté du 27 juillet 2015					
	Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
Taux de saturation (%)**	101.0	99.8	101.3	99.1	96.1
Conductivité (µS/cm)	71.0	81.1	99.7	55.5	58.3

\*\*Classification selon le percentile 10

Figure 29 : Résultats du taux de saturation en oxygène et de la conductivité



## Ammonium (NH<sub>4</sub>)



**Commentaires :**

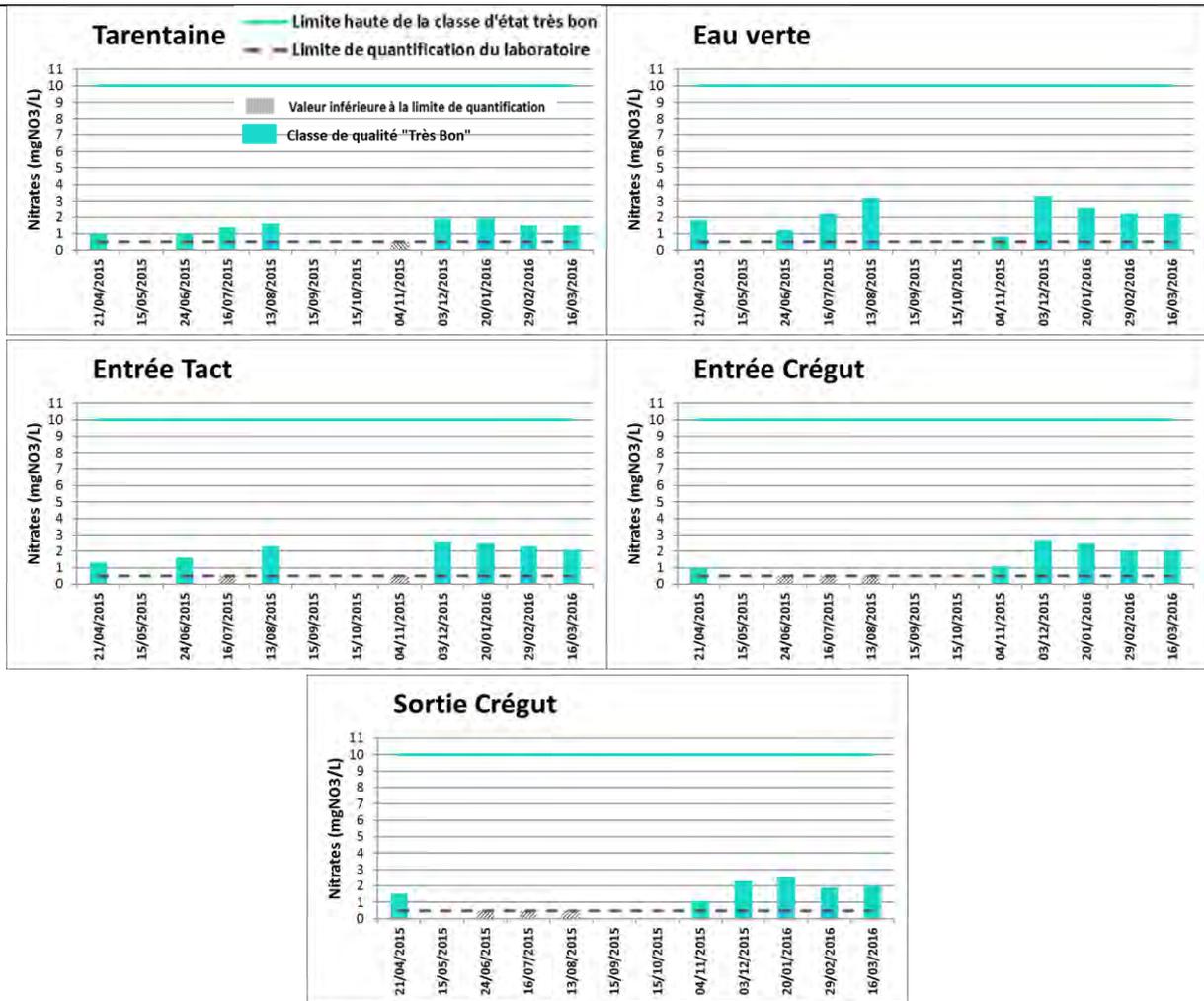
Les concentrations en ammonium sont toutes de « très bonne » qualité selon l'arrêté du 27 juillet 2015. La majorité des valeurs mesurées sont inférieures au seuil de quantification.

<b>Classe de qualité de l'ammonium selon l'Arrêté du 27 juillet 2015 (percentile 90)</b>				
Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
0.025	0.025	0.025	0.036	0.064

*Figure 30 : Résultats des concentrations en ammonium*



## Nitrates (NO<sub>3</sub>)



### Commentaires :

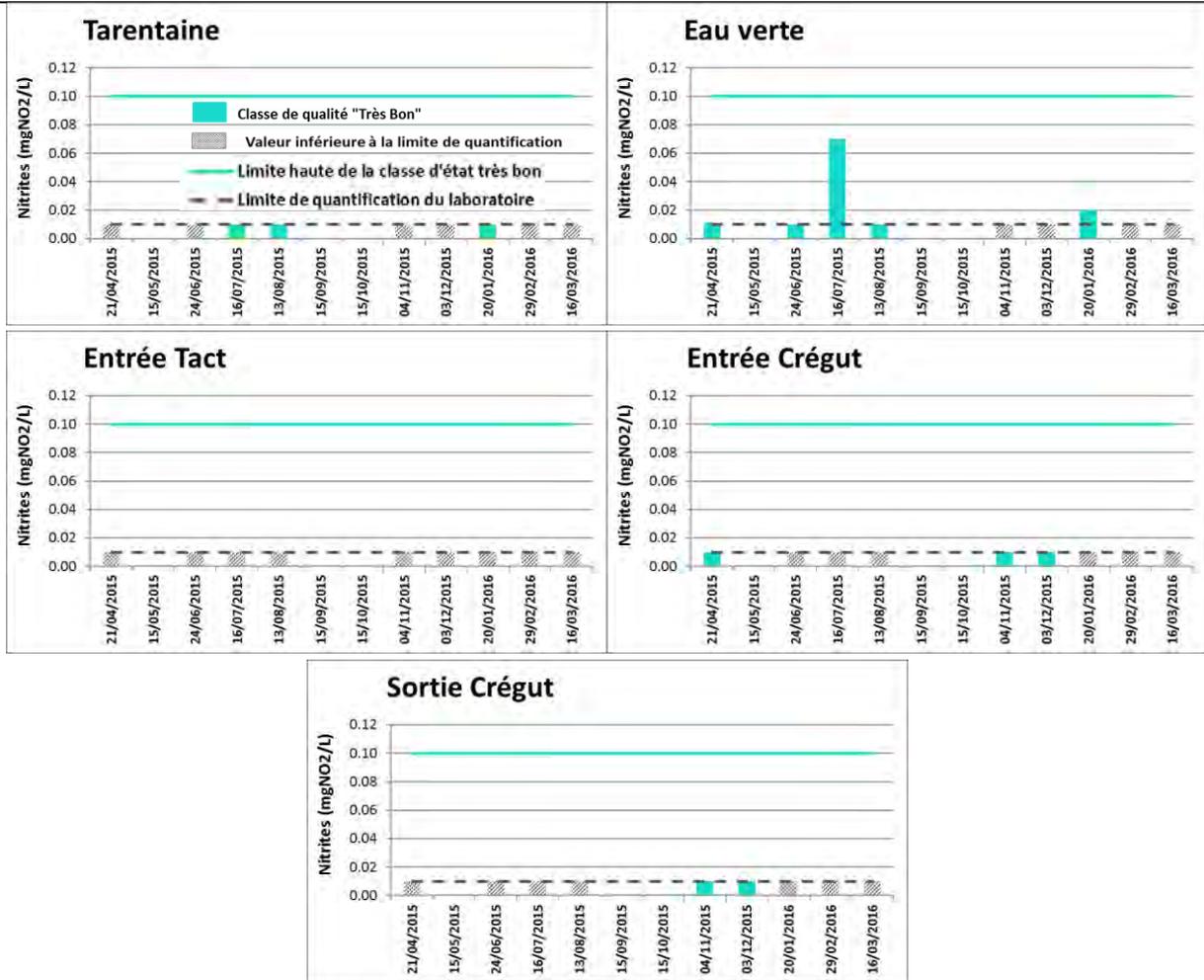
Selon l'arrêté du 25 janvier 2010, les résultats des concentrations en nitrates sont de « très bonne » qualité. Les valeurs ne semblent pas suivre de tendance remarquable au sein du complexe.

Classe de qualité des nitrates selon l'Arrêté du 27 juillet 2015 (percentile 90)				
Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
1.9	3.1	2.5	2.5	2.3

Figure 31 : Résultats des concentrations en nitrates



## Nitrites (NO<sub>2</sub>)



### Commentaires :

Le percentile 90 des valeurs de nitrites classe la qualité de l'eau de toutes les stations en « très bonne ». Une concentration maximale (0.07mg/L) a été mesurée sur l'Eau verte le 16/07

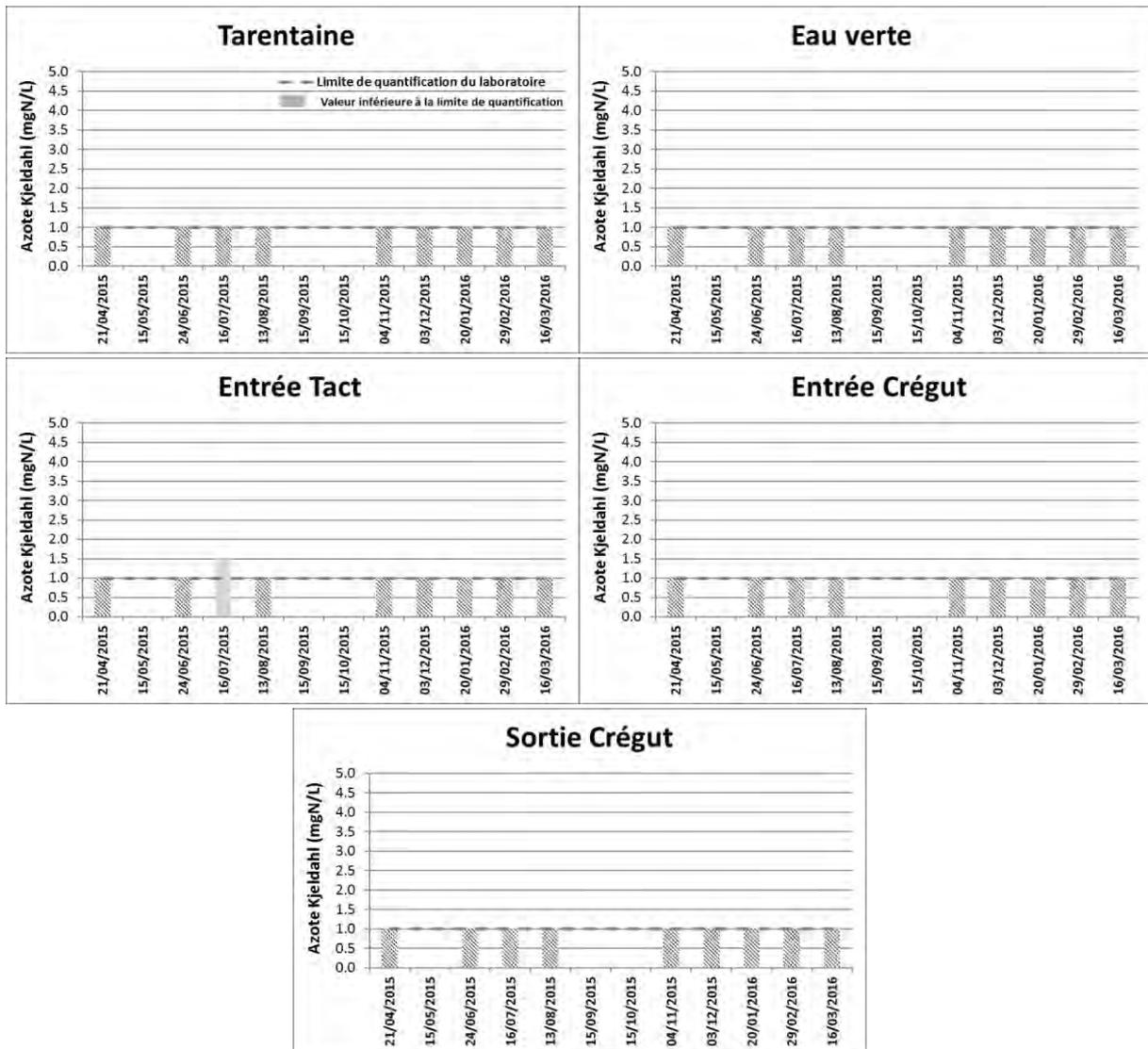
### Classe de qualité des nitrites selon l'Arrêté du 27 juillet 2015 (percentile 90)

Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
0.010	0.030	0.005	0.010	0.010

Figure 32 : Résultats des concentrations en nitrites



## Azote Kjeldahl



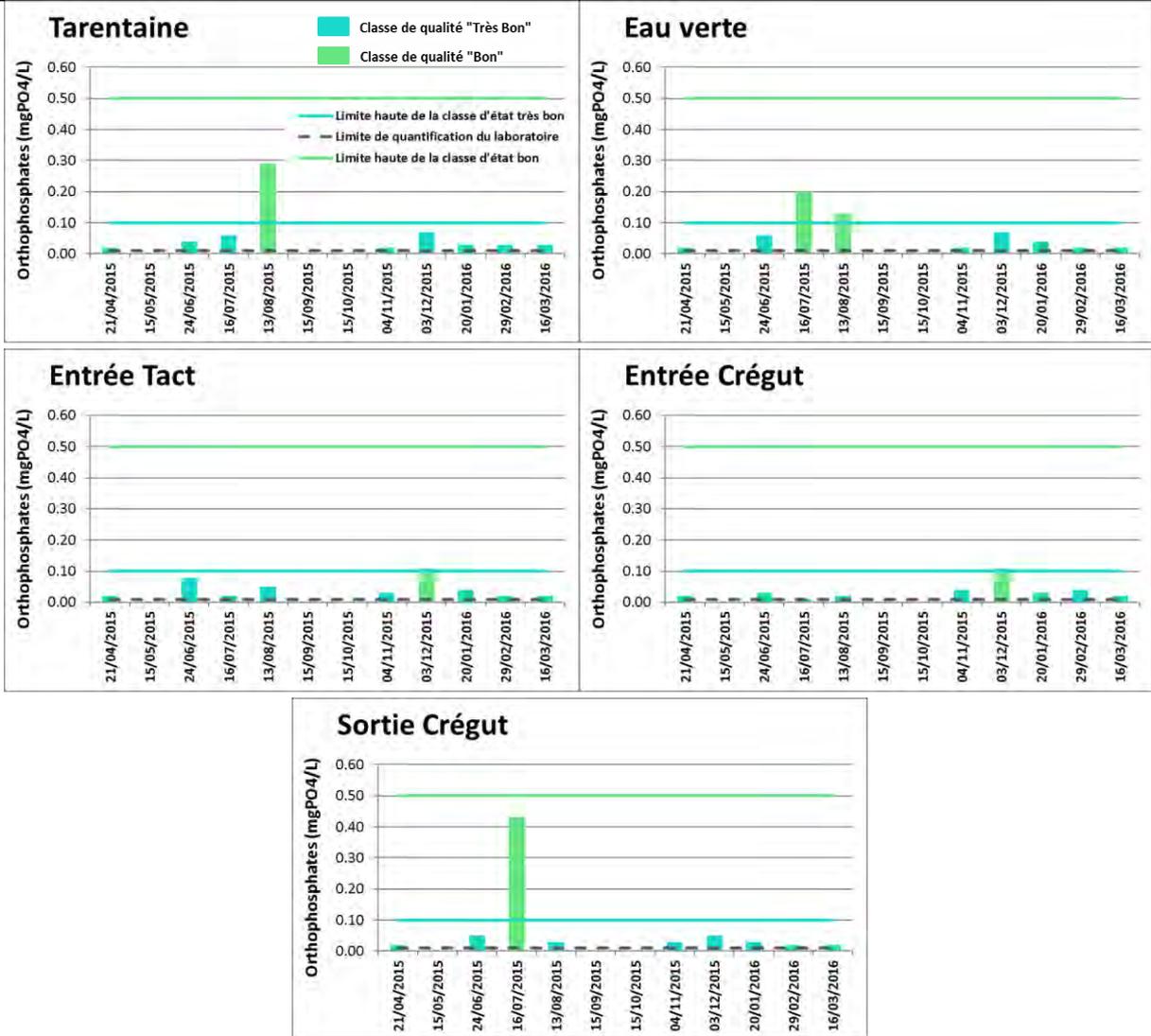
### Commentaires :

Les concentrations en azote Kjeldahl sont toutes inférieures au seuil de quantification du laboratoire (1 mg/L), exceptée une valeur mesurée le 16/07 à l'entrée Tact (1,5 mg/l).

*Figure 33 : Résultats des concentrations en azote Kjeldahl*



## Orthophosphates (PO<sub>4</sub>)



**Commentaires :**

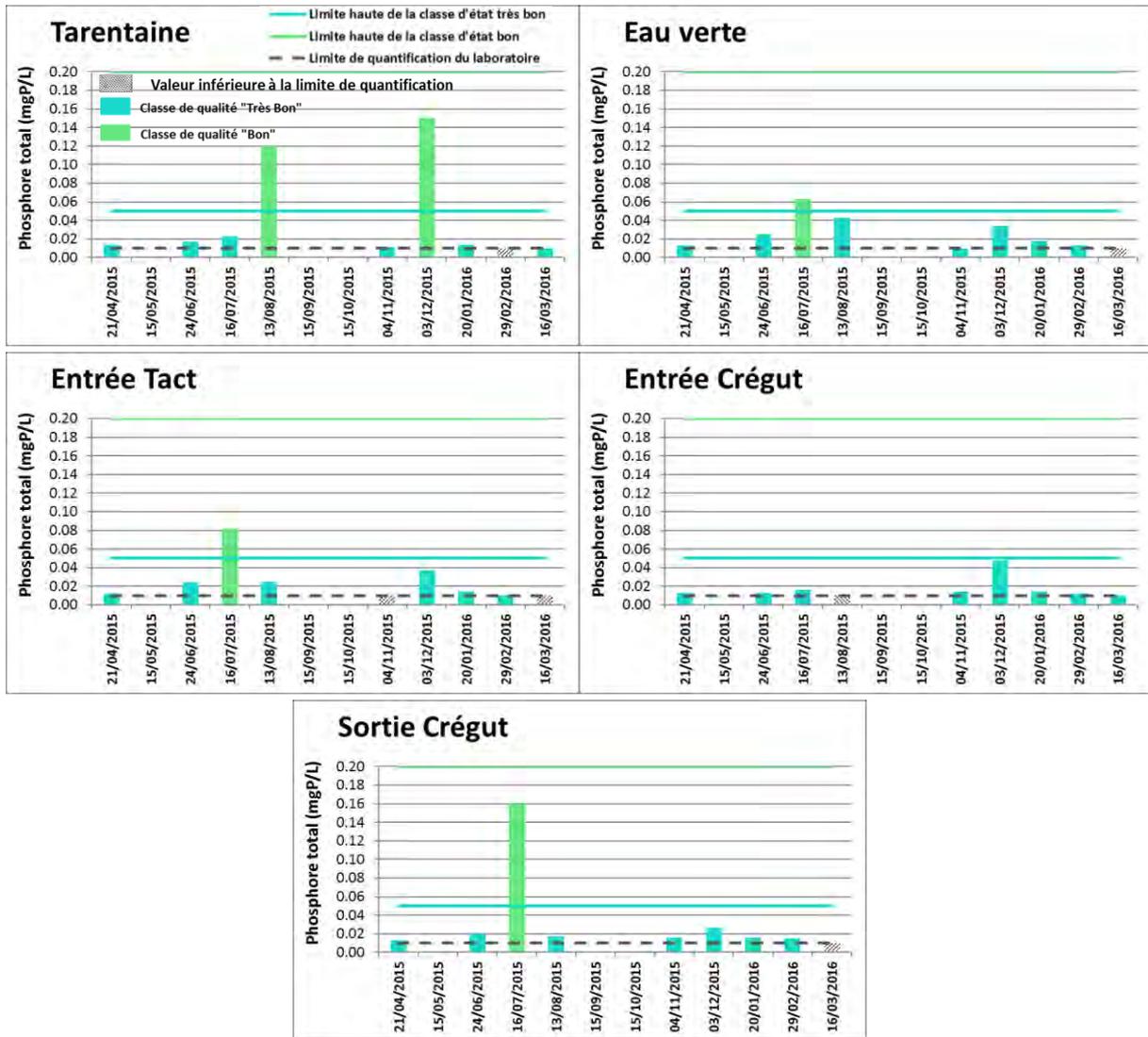
Selon l'arrêté du 27 juillet 2015, les concentrations en orthophosphates sont de qualité « très bonne » à l'entrée du Tact et de la Crégut tandis que sur les autres points la qualité est « bonne ». Les valeurs hautes ont été mesurées principalement pendant l'été.

<b>Classe de qualité de l'orthophosphate selon l'Arrêté du 27 juillet 2015 (percentile 90)</b>				
Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
0.114	0.144	0.086	0.054	0.126

Figure 34 : Résultats des concentrations en PO<sub>4</sub>



## Phosphore total (P total)



**Commentaires :**

Les concentrations les plus élevées ont été mesurées sur la Tarentaine (amont du complexe) et sur la sortie Crégut (aval du complexe) déclassant la qualité de l'eau en « bon ». Au sein du complexe, les valeurs de phosphore total sont de « très bonne » qualité selon l'arrêté du 27 juillet 2015.

### Classe de qualité du phosphore total selon l'Arrêté du 27 juillet 2015 (percentile 90)

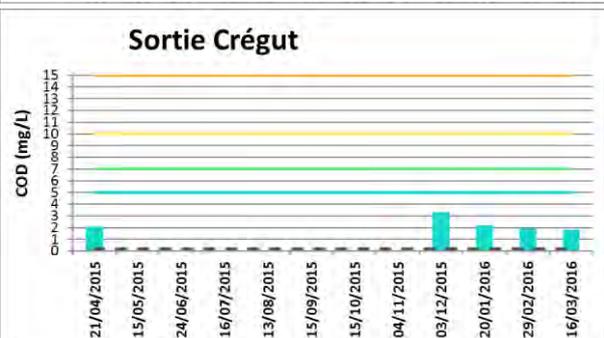
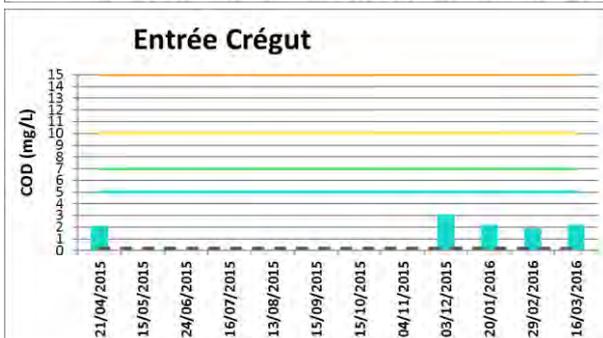
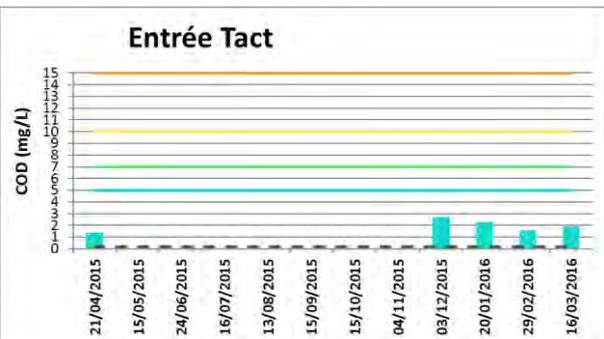
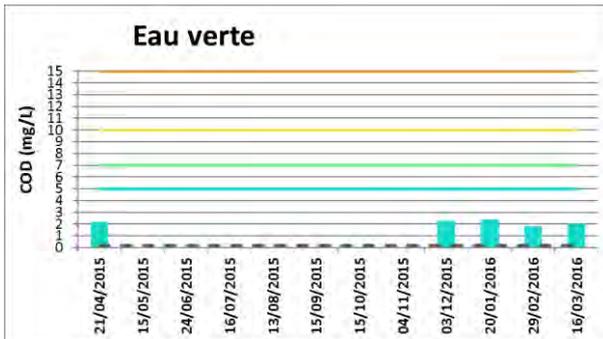
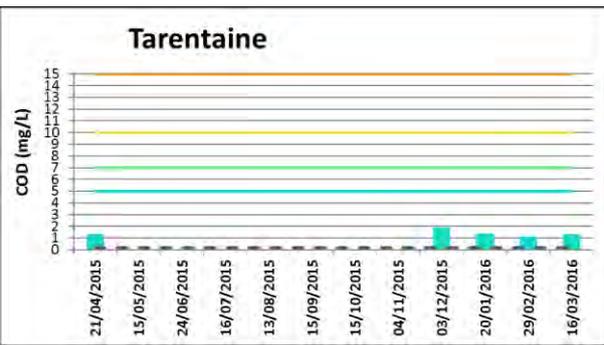
Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
0.126	0.047	0.046	0.022	0.054

Figure 35 : Résultats des concentrations en P total



## Carbone Organique Dissous (COD)

- Limite haute de la classe d'état très bon
- Limite haute de la classe d'état bon
- Limite haute de la classe d'état moyen
- Limite haute de la classe d'état médiocre
- Limite de quantification du laboratoire
- Valeur inférieure à la limite de quantification
- Classe de qualité "Très Bon"



### Commentaires :

Les concentrations en carbone organique dissous sont relativement similaires entre les différentes stations. Selon l'arrêté du 27 juillet 2015, la qualité est « très bonne ».

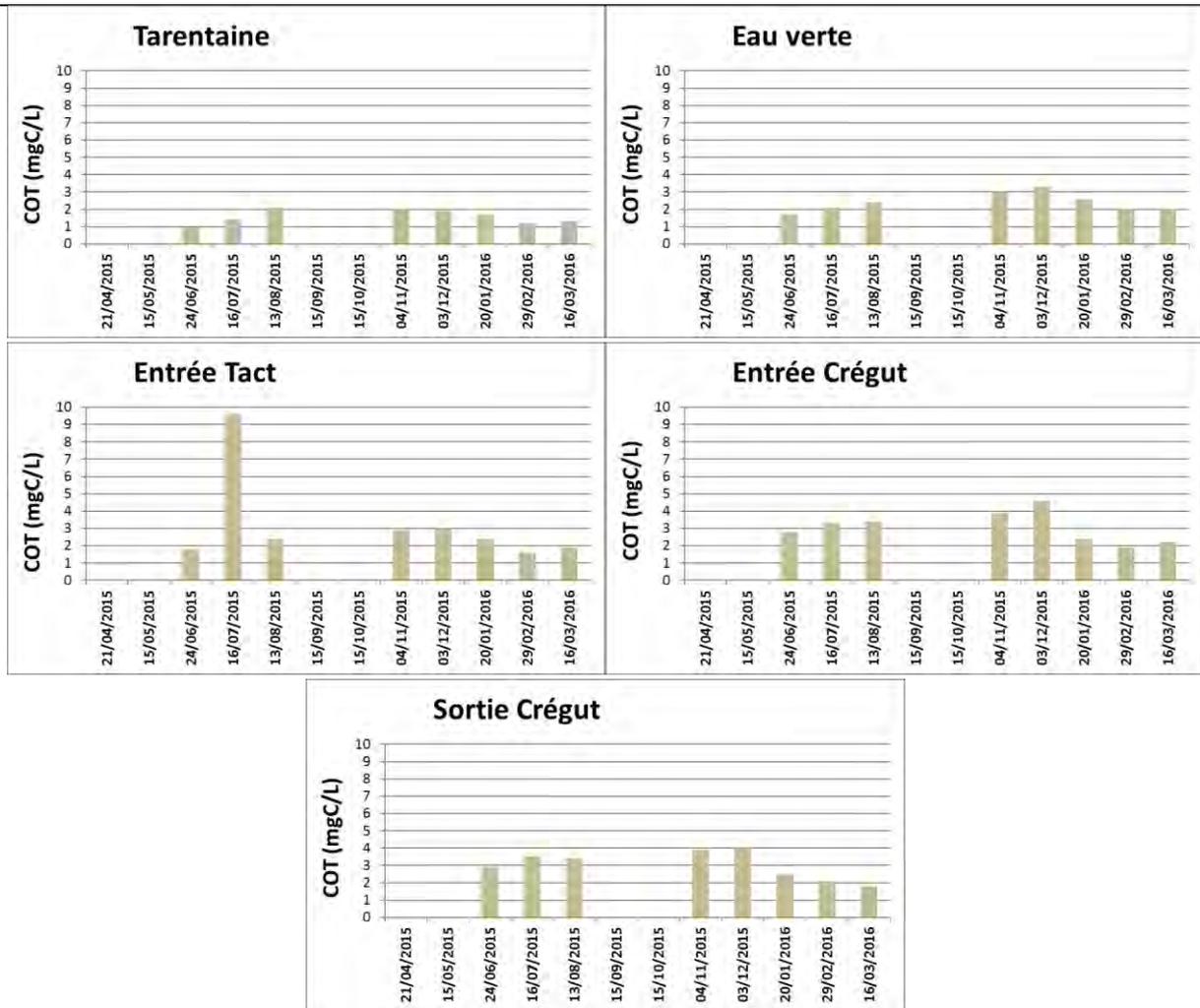
### Classe de qualité du Carbone Organique Dissous selon l'Arrêté du 27 juillet 2015 (percentile 90)

Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
1.7	2.4	2.5	2.7	2.9

Figure 36 : Résultats des concentrations en carbone organique dissous



### Carbone organique total



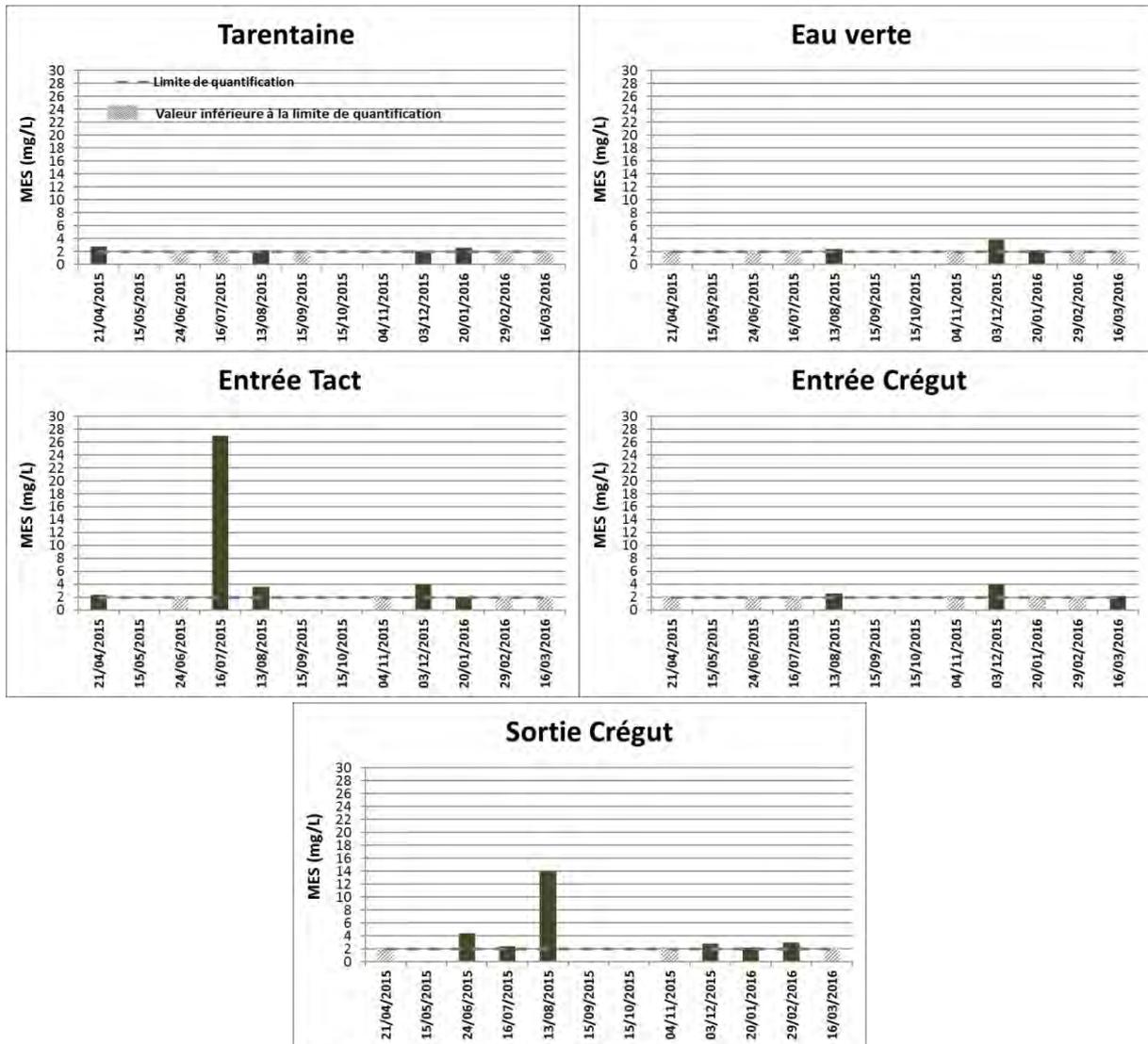
**Commentaires :**

Les concentrations en carbone organique total sont peu élevées, la majorité des valeurs sont inférieures à 5 mg/l. Une valeur haute a été mesurée le 16/07 sur l'Entrée Tact (9,6 mg/l).

Figure 37 : Résultats des concentrations en COT



## Matières en suspension (MES)



### Commentaires :

La concentration la plus élevée est retrouvée sur le site d'entrée Tact (27 mg/L) correspondant à une qualité « moyenne » selon le référentiel du SEQ-Eau. Les autres valeurs restent de faibles et nettement inférieures au seuil de « bonne » qualité du SEQ-eau qui est de 25 mg/L.

Figure 38 : Résultats des concentrations en MES



# Qualité de l'eau du lac de la Crégut

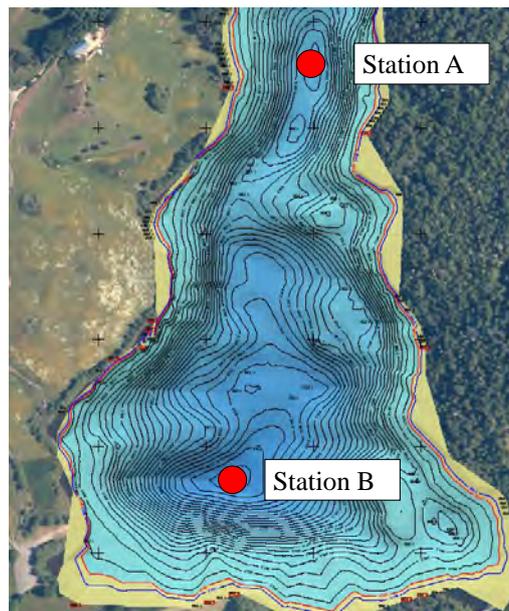
---

### 3 QUALITE DE L'EAU DU LAC DE LA CREGUT

#### 3.1 STATIONS DE SUIVI

Deux stations ont été suivies (Figure 39) :

- **Station A** : station située à l'amont du lac, à proximité des entrants, dans la première cuvette du lac (profondeur maximale d'environ 16m)
- **Station B** : station située sur la partie aval du lac, au droit de la zone la plus profonde (environ 26 m).



*Figure 39 : Station de suivi lacustre sur le lac de la Crégut*

#### 3.2 FREQUENCE DE PRELEVEMENT

Les profils verticaux et les analyses physico-chimiques ont été effectués 4 fois dans l'année :

- Le 08 juin 2015
- Le 30 juillet 2015
- Le 5 novembre 2015
- Le 17 mars 2016

Le Tableau 10 présente les dates et heures de prélèvements ainsi que la date de dépôt des échantillons.

*Tableau 10 : Heures et dates de prélèvement des échantillons prélevés en lac*

Date de prélèvement	Date de dépôt	Heure de prélèvement (hiver)	
		Station A	Station B
08/06/2015	08/06/2015	09:40	10:30
30/07/2015	30/07/2015	09:25	10:15
05/11/2015	05/11/2015	10:10	11:00
17/03/2016	17/03/2016	10:35	11:40



### 3.3 MATERIEL ET METHODE

Sur chaque station, il a été réalisé :

- Un profil vertical
- Une mesure de la transparence
- Des prélèvements physico-chimiques en deux points de la colonne d'eau (zone euphotique et hypolimnion)
- Une analyse de la communauté phytoplanctonique sur la zone euphotique

#### 3.3.1 Les profils verticaux

Les profils ont été enregistrés à l'aide d'une sonde multiparamètres mesurant la profondeur, l'oxygène dissous, la température, le pH et la conductivité. Les caractéristiques de la sonde Ysi EXO ont été présentées dans le paragraphe 2.5.2.

#### 3.3.2 Les prélèvements physico-chimiques

Les prélèvements d'eau ont été réalisés à l'aide d'une bouteille fermante à 1 m du fond et dans la zone euphotique par prélèvement intégré. Ils ont été acheminés vers le laboratoire en malle isotherme à 4°C et à l'obscurité. Les analyses ont été effectuées par CARSO, accrédité COFRAC.

Tableau 11 : Paramètres analysés pour le lac, laboratoires et normes

Paramètres	Intitulés	Normes	Limites de quantification	Unités
Carbone organique dissous	COD	NF EN 1484	0.2	mg C/L
Matières en suspension	MES	NF EN 872	2	mg/L
Demande biochimique en oxygène	DBO5	NF EN 1899-2	0.5	mg O2/L
Azote Kjeldahl	NTK	NF EN 25663	1	mg N/L
Phosphore total	Ptot	NF EN ISO 6878	0.01	mg P/L
Ammonium	NH4	Méthode selon NF T90-	0.01	mg NH4/L
Nitrates	NO3	NF EN ISO 13395	0.5	mg NO3/L
Nitrites	NO2	NF EN ISO 13395	0.01	mg NO2/L
Orthophosphates	PO4	selon NF EN ISO 6878	0.01	mg PO4/L
Chlorophylles a	CHLORO	NF T90-117	0.5	µg/l
Phéopigments	PHEOP	NF T90-117	0.5	µg/l

#### 3.3.3 L'analyse phytoplanctonique

Les communautés phytoplanctoniques ont été observées et dénombrées à partir des échantillons de la zone euphotique (station A et B) lors de chaque campagne. Une observation préalable est réalisée sous une loupe binoculaire à différents grossissements. Les dénombrements sont ensuite réalisés selon la méthode Utermöhl (*NF EN 15.204 (2006) « guide pour le dénombrement du phytoplancton par microscopie inversée »*). Les échantillons d'eau sont mis à décanter dans des cuves à sédimentation, le volume étant défini selon la concentration phytoplanctonique. Une fois le temps de sédimentation requis écoulé, les échantillons sont observés sous un microscope inversé (CKX 41 Olympus en contraste équipé d'une caméra numérique). Les déterminations sont effectuées à l'aide des ouvrages classiques de détermination (Bour Elly, Ko Marek) et les biovolumes calculés à partir de données issues de la littérature ou de mesures. Les dénombrements sont effectués par champs optiques, transects ou fractions de la cuve de sédimentation en fonction de l'abondance cellulaire.



La concentration en chlorophylle *a* et en phéopigments a été mesurée sur ces mêmes échantillons selon la norme NF T90-117 par le laboratoire CARSO.

### 3.3.4 Le référentiel d'interprétation

#### 3.3.4.1 Arrêté du 27 juillet 2015

Pour l'interprétation des résultats, l'arrêté du 27 juillet 2015 a été utilisé. Une fiche synthèse de l'arrêté fixée par la DCE est consultable en Annexe 8. Ce système d'évaluation permet de définir des classes d'état de la qualité des eaux. Le Tableau 9 récapitule les différentes classes de qualité associées à un code colorimétrique.

Tableau 12 : Classes de qualité de l'arrêté du 27 juillet 2015

Classes de qualité				
Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Informations insuffisantes pour attribuer un état				

#### 3.3.4.2 Classification trophique de l'OCDE (Vollenweider et Kerekes)

Dans un rapport préparé pour l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE), Wollenweider et Kerekes ont proposé une classification des niveaux trophiques. Trois critères sont pris en compte dans cette méthode : la concentration en phosphore total, la concentration en chlorophylle *a* et la mesure de transparence (disque de Secchi).

Tableau 13 : Classification trophique de l'OCDE

Catégorie trophique	P total moyenne/an (µg/L)	Chloro a moyenne/an (µg/L)	Chloro a max/an (µg/L)	Transparence moyenne/an (m)	Transparence minimale/an (m)
<b>Ultra oligotrophe</b>	≤ 4	≤ 1	≤ 2.5	≥ 12	≥ 6
<b>Oligotrophe</b>	≤ 10	≤ 2.5	≤ 8	≥ 6	≥ 3
<b>Mésotrophe</b>	10-35	2.5-8	8-25	6-3	3-1.5
<b>Eutrophe</b>	35-100	8-25	25-75	3-1.5	1.5-0.7
<b>Hypereutrophe</b>	≥ 100	≥ 25	≥ 75	≤ 1.5	≤ 0.7



### 3.4 RESULTATS DES PROFILS VERTICAUX

La Figure 40 et la Figure 41 reprennent les résultats des profils verticaux. Sur la station A, une thermocline a été observée lors de la campagne de juillet à environ 5 m de profondeur. Une désoxygénation des eaux est observée en profondeur lors de la campagne de juillet.

Sur la station B, la stratification du plan d'eau est plus marquée. La thermocline est bien visible en juillet et novembre. Sur ces mêmes campagnes, une désoxygénation des eaux profondes est également observée.

Le Tableau 14 compare les résultats de transparence et d'oxygène aux valeurs seuil de l'arrêté du 27 juillet 2015. Pour ces paramètres l'arrêté s'applique sur minimum 3 campagnes en période estivale. Les 3 campagnes correspondantes sont juin, juillet et novembre.

Le calcul de la médiane de la profondeur du Secchi a été calculé sur l'ensemble du jeu de données, le résultat classe la qualité de l'eau en « très bonne » pour les deux stations. Le déficit en oxygène de l'hypolimnion entre la surface et le fond est supérieur à 50% sur la station B (au point le plus profond).

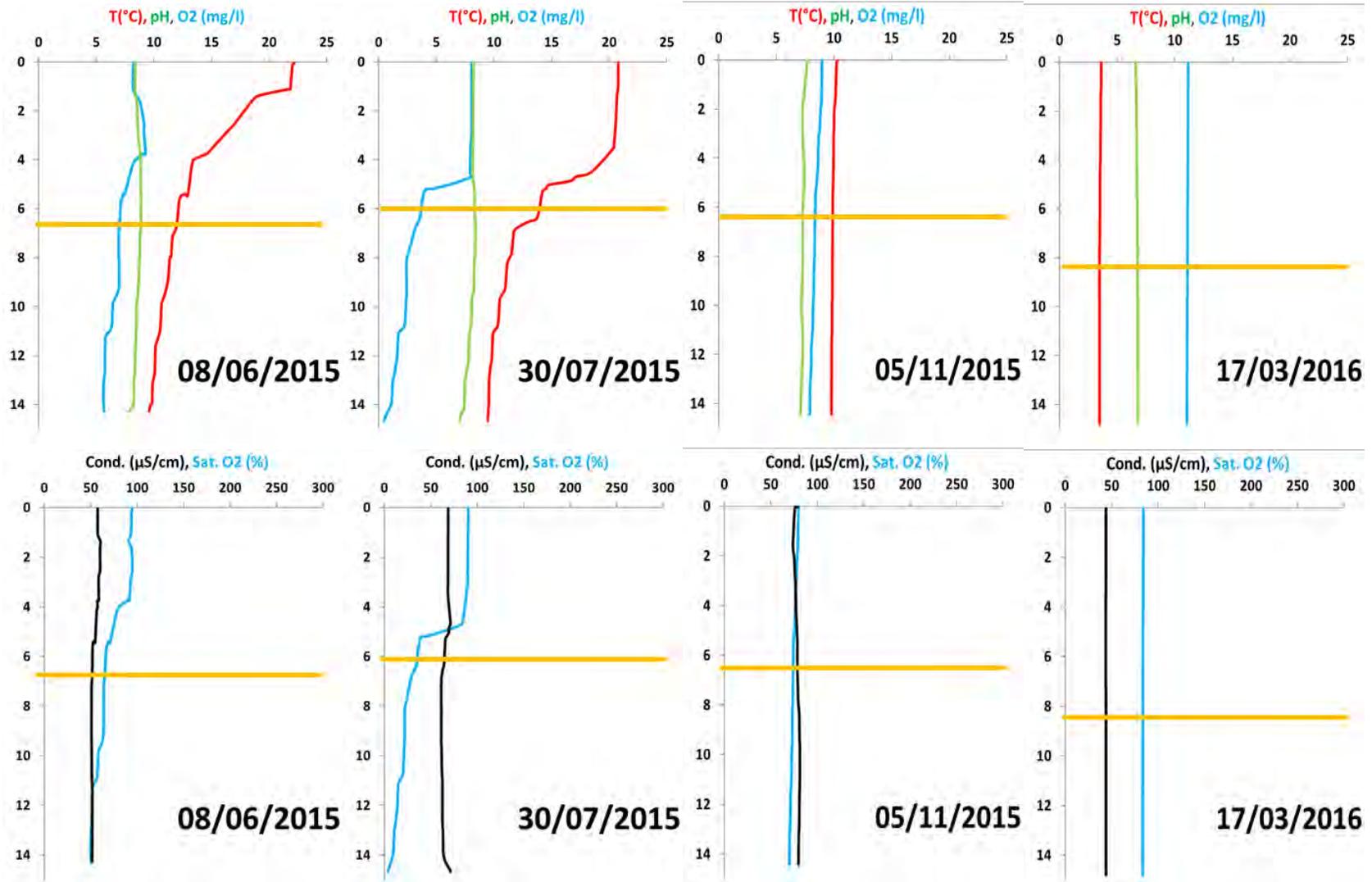
*Tableau 14 : Comparaison des résultats de transparence et d'oxygénation aux valeurs seuil de l'arrêté du 27 juillet 2015*

	Station A	Station B
Profondeur médiane du Secchi (m)	2.55	2.4
Désoxygénation de l'hypolimnion en % du déficit observé entre la surface et le fond pendant la période estivale (pour les lacs stratifiés)*	42%	79%

*\*l'élément de qualité est classé en état bon si la désoxygénation est inférieure à 50%*



### STATION A



— Limite de la zone euphotique

Figure 40 : Résultats des profils verticaux de la station A



**STATION B**

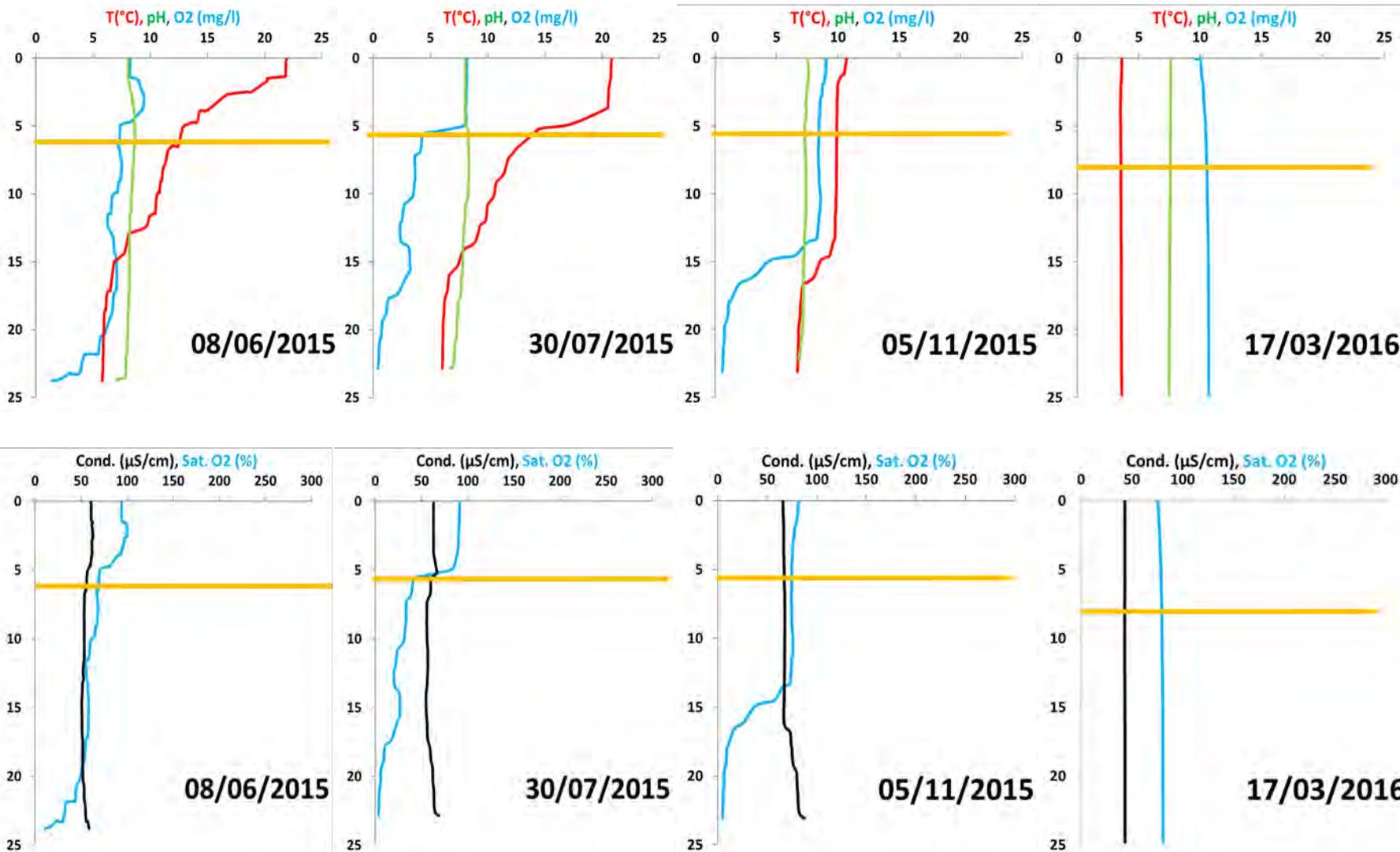


Figure 41 : Résultats des profils verticaux de la station B

— Limite de la zone euphotique



### 3.5 RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES

#### 3.5.1 Paramètres phosphorés

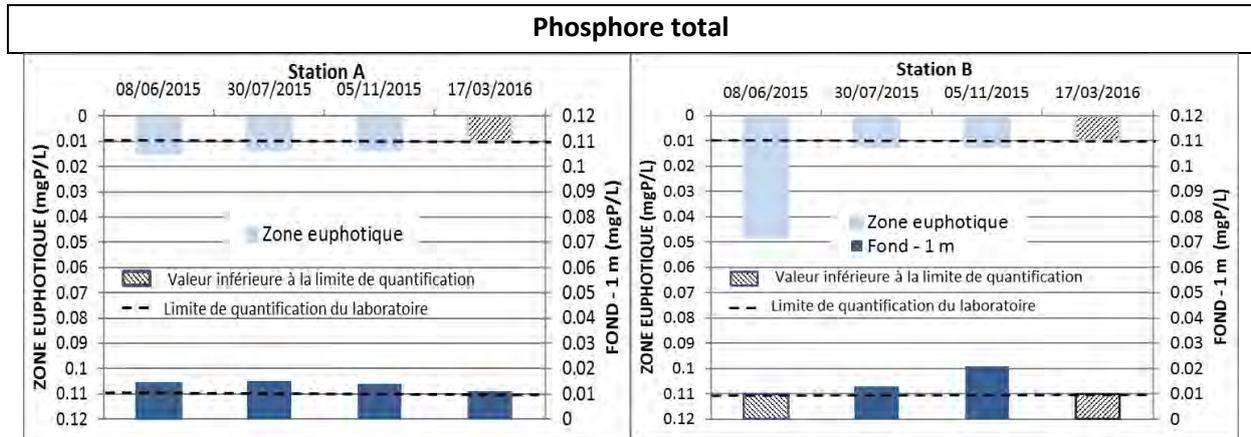


Figure 42 : Résultats des concentrations en phosphore total des stations A et B

Tableau 15 : Comparaison des concentrations en phosphore total aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015

	Station A	Station B
Médiane des valeurs observées (mgP/L)	0.013	0.012

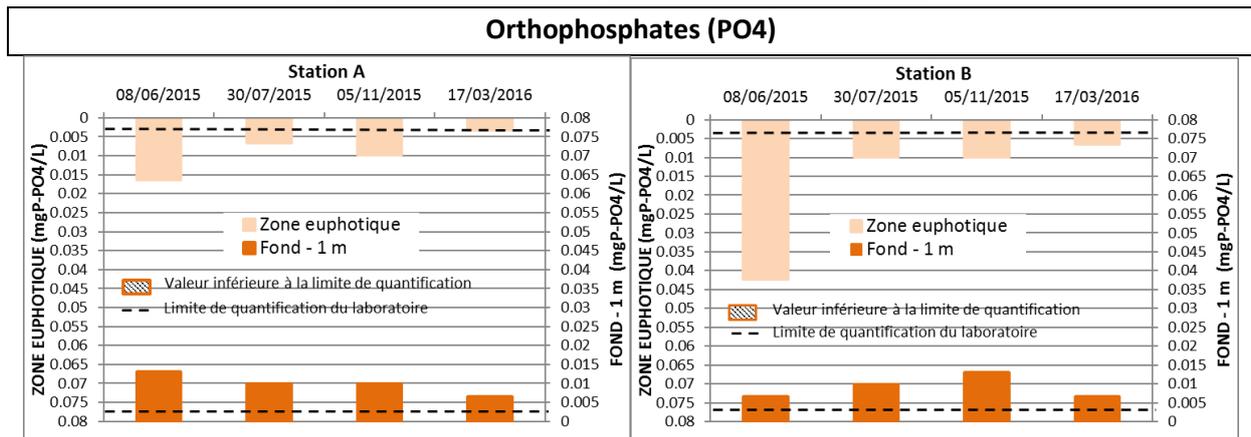


Figure 43 : Résultats des concentrations en orthophosphates des stations A et B

**Commentaires :**

La médiane calculée à partir des concentrations en phosphore total classe les deux stations en « très bonne » qualité. Les concentrations en orthophosphates suivent la même tendance que le phosphore total, aucune classification n'est prévue pour ce paramètre dans l'arrêté du 27 juillet 2015.



### 3.5.2 Paramètres azotés

#### Ammonium (NH<sub>4</sub>)

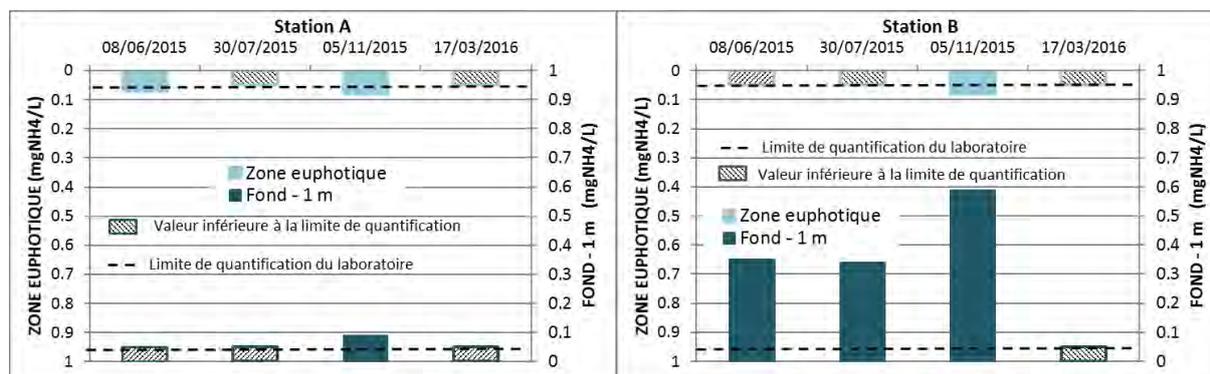


Figure 44 : Résultats des concentrations en ammonium des stations A et B

Tableau 16 : Comparaison des concentrations en ammonium aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015

	Station A	Station B
Valeur maximale pour l'ammonium (mgNH <sub>4</sub> /L)	0.08	0.08

#### Nitrates (NO<sub>3</sub>)

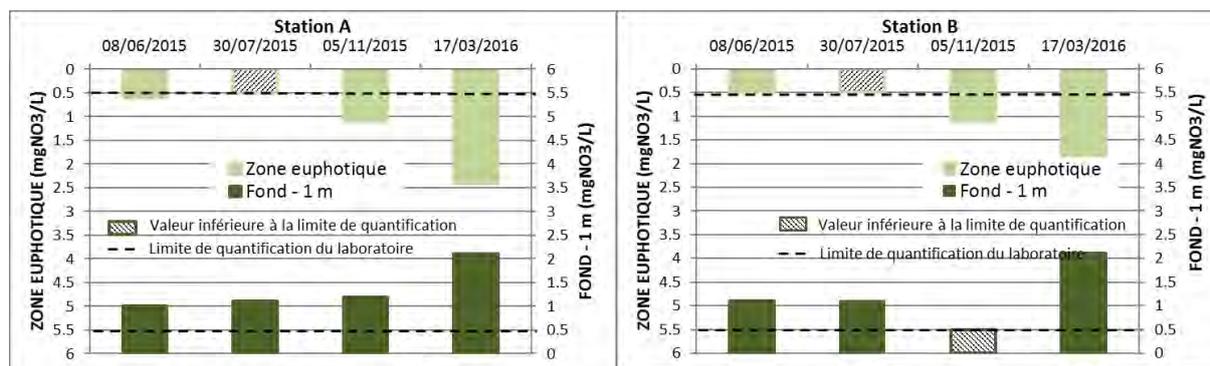


Figure 45 : Résultats des concentrations en nitrates des stations A et B

Tableau 17 : Comparaison des résultats de nitrates aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015

	Station A	Station B
Valeur maximale pour les nitrates (mgNO <sub>3</sub> /L)*	2.4	2.2

\*Valeurs seuils applicables aux cours d'eau

#### Commentaires :

Sur l'ensemble du jeu de données des concentrations en ammonium, c'est la valeur maximale qui permet de classer la qualité de l'eau. D'après l'arrêté du 27 juillet 2015, les deux stations sont de « très bonne » qualité.

Lorsque le plan d'eau a un temps de séjour inférieur à 30 jours, les résultats de nitrates sont classés selon les valeurs seuils applicables aux cours d'eau. Les valeurs maximales mesurées sur les deux stations classent la qualité de l'eau en « très bon ».



## Nitrites (NO<sub>2</sub>)

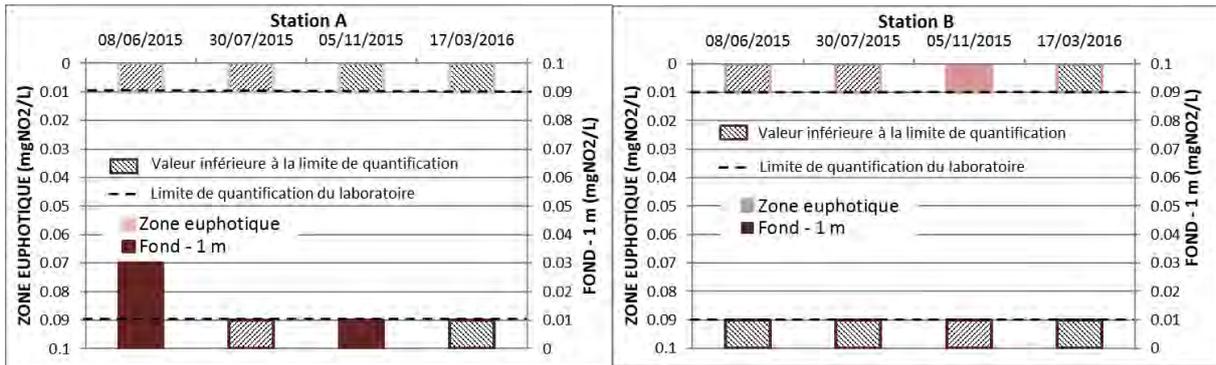


Figure 46 : Résultats des concentrations en nitrites des stations A et B

## Azote Kjeldahl (NTK)

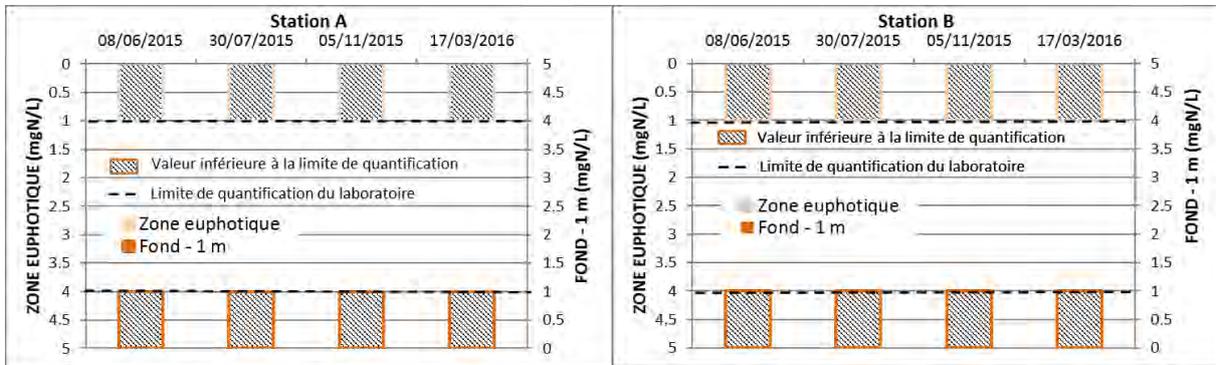


Figure 47 : Résultats des concentrations en azote Kjeldahl des stations A et B

### Commentaires :

Les concentrations en nitrites sont relativement faibles. Des valeurs légèrement plus hautes ont été mesurées sur fond -1m le 08/06 sur la station A.

Les concentrations en azote Kjeldahl sont toutes en dessous de la limite de quantification du laboratoire.



### 3.5.3 Matières organiques

#### Carbone Organique Dissous (COD)

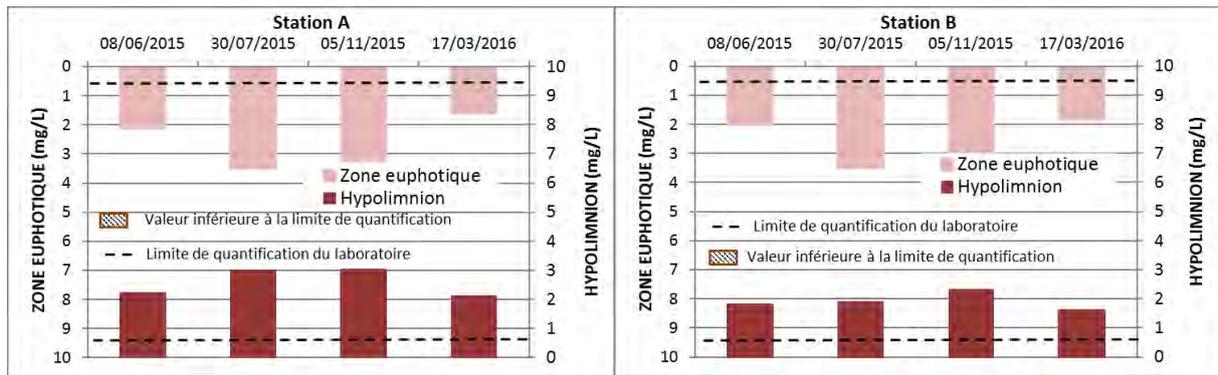


Figure 48 : Résultats du carbone organique dissous des stations A et B

#### Matières en suspensions (MES)

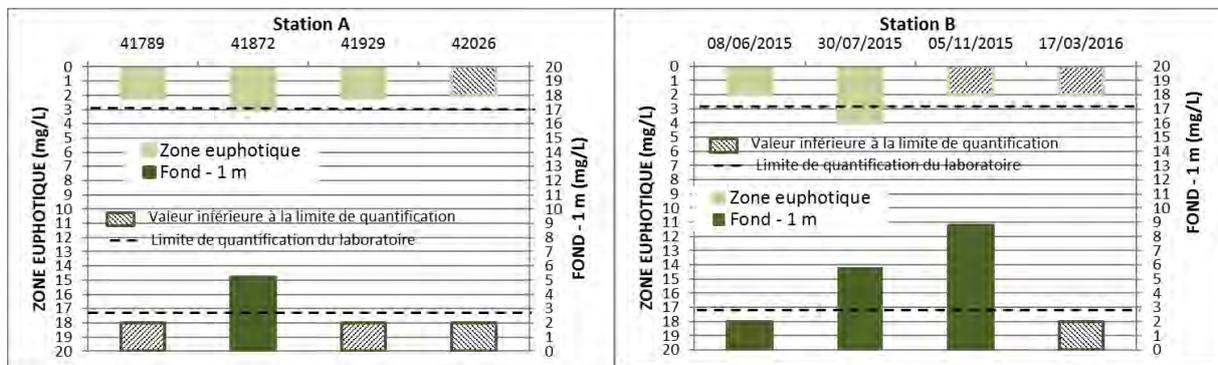


Figure 49 : Résultats des matières en suspensions des stations A et B

#### Commentaires :

Les concentrations en COD les plus hautes ont été mesurées sur les campagnes de juillet et novembre. Sur les stations A et B, les valeurs varient entre 1,6 et 3,5 mg/L.

Les concentrations en MES sont légèrement plus élevées sur la station B, notamment à Fond-1m. L'ensemble des valeurs mesurées sur les deux stations sont inférieures à 10 mg/L.



### 3.5.4 Demande biologique en oxygène

#### Demande biologique en oxygène (DBO5)

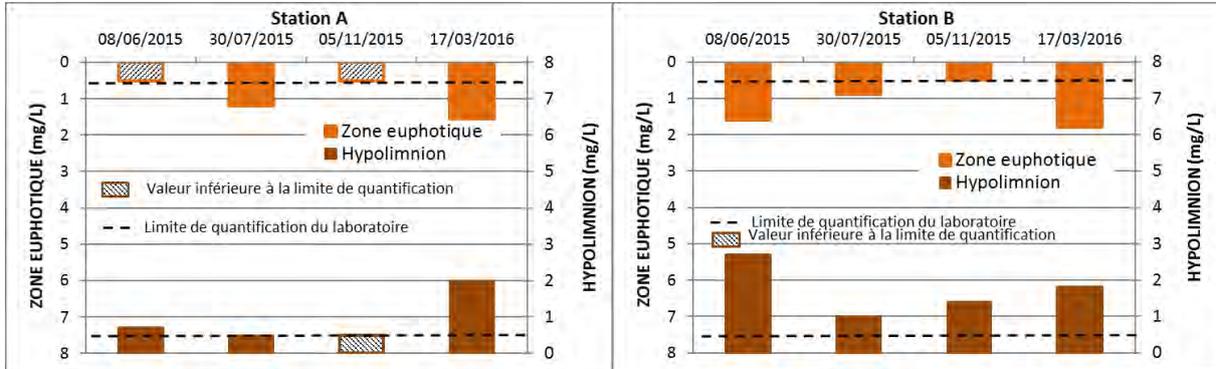


Figure 50 : Résultats de la DBO5 des stations A et B

#### Commentaires :

Les concentrations en DBO5 sont toutes inférieures à 3 mg/L. Les valeurs mesurées sur la station B sont globalement légèrement supérieures à celles de la station A.



## 3.6 RESULTATS DE L'ANALYSE PHYTOPLANCTONIQUE

### 3.6.1 Dénombrement du phytoplancton

La Figure 51 présente les résultats des dénombrements de phytoplancton sur les deux stations en nombre de cellules/ml.

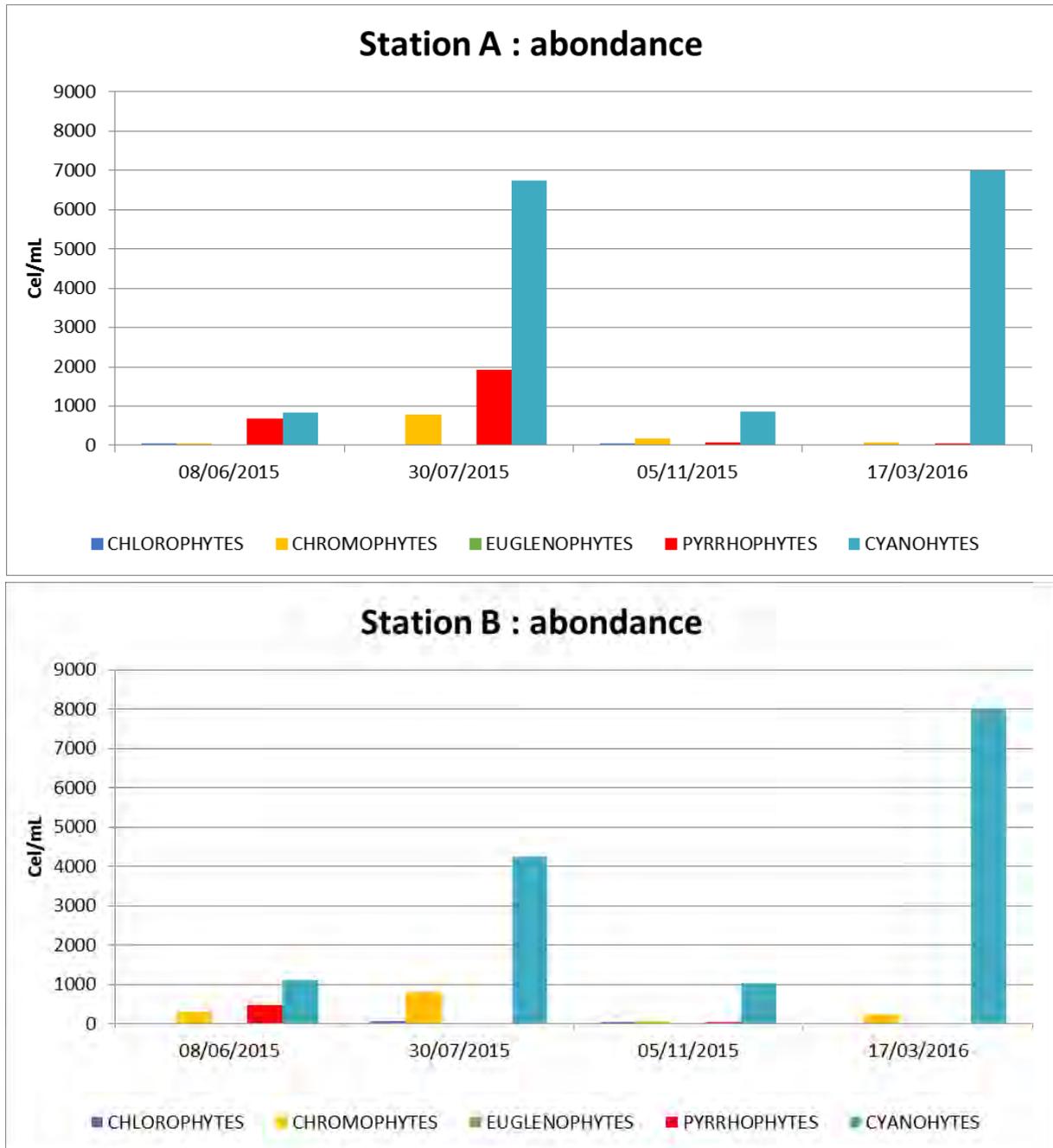


Figure 51 : Abondance phytoplanctonique des stations A et B

#### Commentaires :

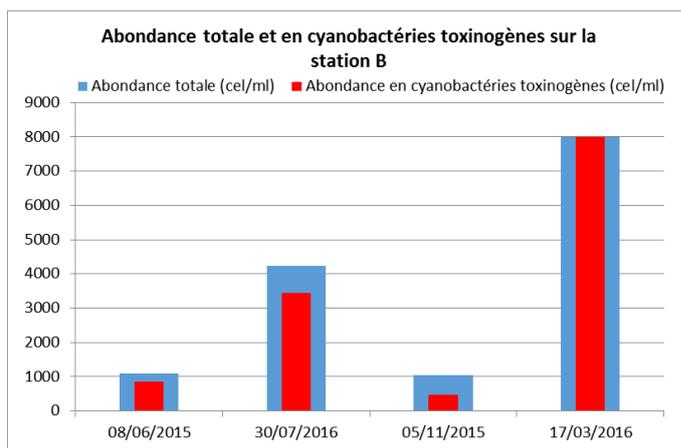
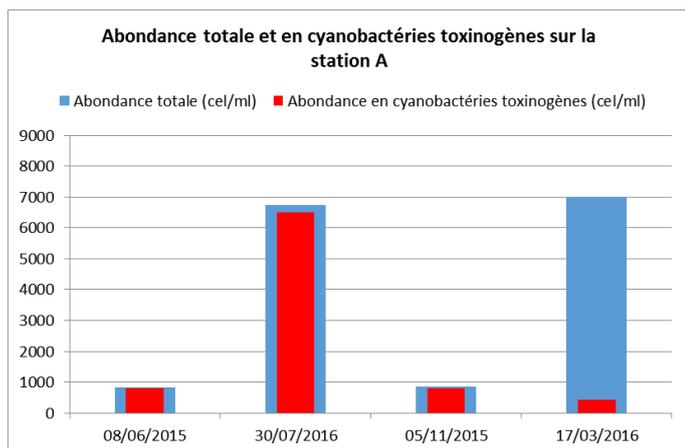
La station A présente des abondances plus importantes que la station B mais les variations sont similaires. Les cyanobactéries dominent le peuplement quel que soit la date de prélèvement et le lieu d'échantillonnage. Les campagnes de juillet et de mars sont les deux dates où l'abondance phytoplanctonique est la plus importante. En juillet ? les cyanobactéries toxigènes représentent 96% de l'abondance totale sur la station A et 81% sur la station B. En octobre, le dénombrement de phytoplancton a révélé la présence de cyanobactéries toxigènes sur la station A (6%) mais le genre dominant n'est pas producteur de toxine (*Synechocystis* sp.). A cette même date, les abondances dénombrées sur la station B ont montré que la totalité du peuplement était composé de cyanobactéries toxigènes dominées par le genre *Synechococcus* sp.



**Tableau 18 : Abondance totale et abondance des cyanobactéries toxigènes et identification des genres dominants par campagne**

		08/06/2015	30/07/2015	05/11/2015	17/03/2016
<b>Station A</b>	Abondance totale (cel/ml)	825	6750	866	6996
	Abondance en cyanobactéries toxigènes (cel/ml)	800	6500	811	440
	Genre dominant*	<i>Synechococcus sp</i>	<i>Synechococcus sp</i>	<i>Anabaena flos aquae</i>	<i>Synechocystis</i>
<b>Station B</b>	Abondance totale (cel/ml)	1095	4239	1035	7988
	Abondance en cyanobactéries toxigènes (cel/ml)	845	3454	475	7988
	Genre dominant*	<i>Synechococcus sp</i>	<i>Synechococcus sp</i>	<i>Aphanocapsa holsatica</i>	<i>Synechococcus sp</i>

\*En rouge : genre toxigène



**Figure 52 : Abondance totale et en cyanobactéries toxigènes sur la station A et la station B.**

D'après la détermination des différents genres de cyanobactéries, la plupart des individus produisent des toxines. Si l'on compare ces données aux niveaux de risques des baignades liés aux cyanobactéries (source : ARS Auvergne), le lac de la Crégut est classé dans le niveau **la** quel que soit les campagnes car le nombre de cellules toxigènes/ml ne dépasse pas 20 000 (Tableau 19).

**Tableau 19 : Niveaux de risques liés aux cyanobactéries (Source : ATHOS Environnement, ARS Auvergne)**

Niveau	Cellules toxigènes / ml	Gestion	Dénombrement des cyanobactéries
<b>Ia</b>	20 000	Activité normale	Bimensuel
<b>Ib</b>			Hebdomadaire + recherche de toxines hebdomadaire
<b>IIa</b>	100 000	Limitation ou interdiction de la baignade en fonction des observations terrain	Hebdomadaire + recherche de toxines hebdomadaire
<b>IIb</b> Présence de toxines		Interdiction de la baignade – Limitation des loisirs nautiques	Hebdomadaire + recherche de toxines hebdomadaire
<b>III</b> Formation de mousse ou écume de cyanobactéries		Interdiction de la baignade et de tout autre loisir nautique – prévenir tout contact de personnes et animaux avec l'eau	Hebdomadaire + recherche de toxines au moins bi-mensuelle

\* surveillance : transparence, changement de coloration, irisation, signalements du public, autres paramètres.



La Figure 53 présente les résultats de la biomasse phytoplanctonique calculée à partir du dénombrement.

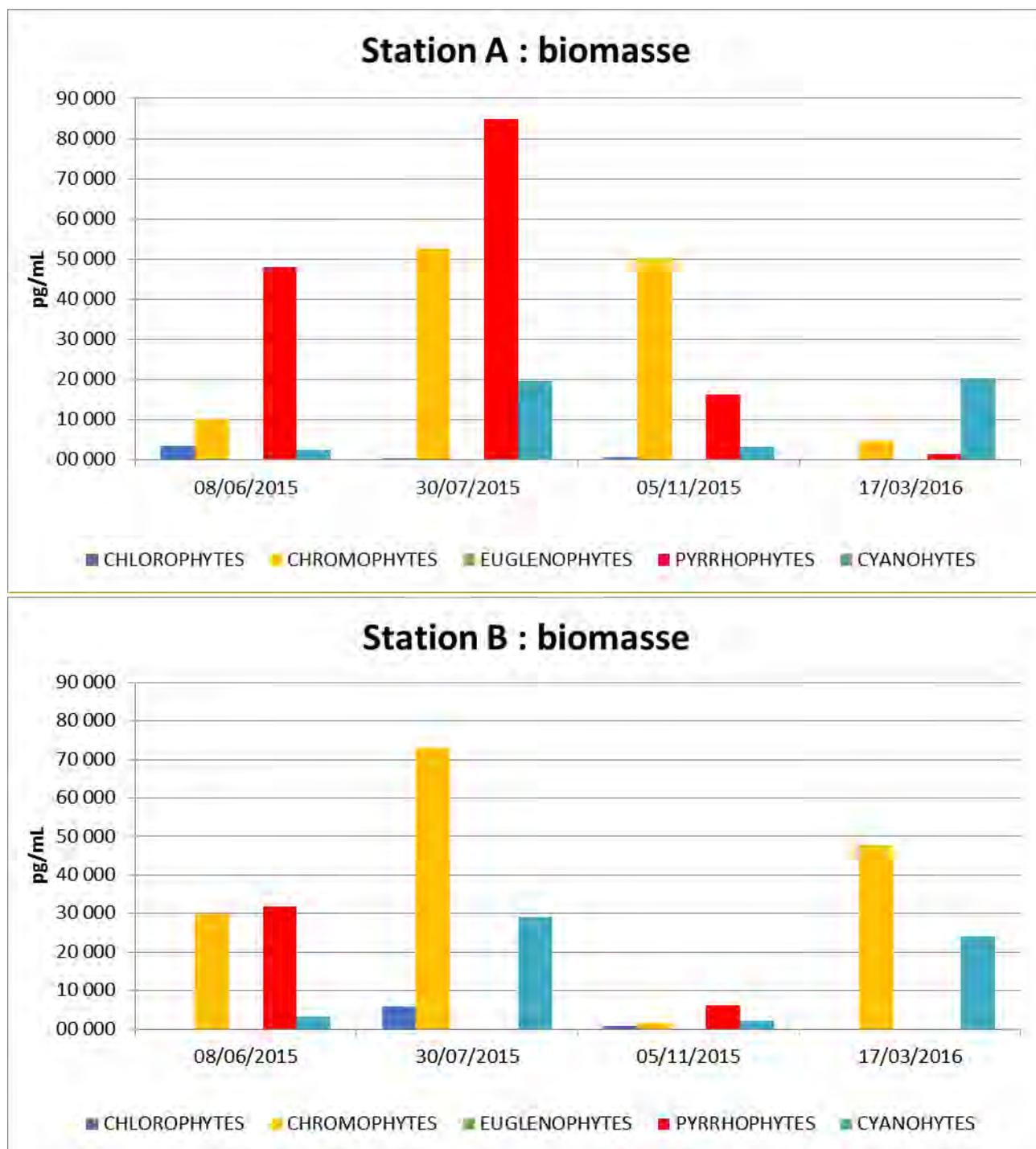


Figure 53 : Biomasse phytoplanctonique des stations A et B

Commentaires :

La biomasse du phytoplancton est plus importante sur la station A que sur la station B. Contrairement à l'abondance, les cyanophytes ne sont pas dominantes en termes de biomasse. Sur la station A, ce sont les pyrrophytes qui représentent la majorité de la biomasse tandis que sur la station B, ce sont les chromophytes. Sur les deux points d'échantillonnage, la campagne de juillet est celle où la biomasse est la plus importante.



### 3.6.2 Chlorophylle a et phéopigments

La Figure 54 présente les résultats de la chlorophylle a et des phéopigments mesurés sur la zone euphotique des deux stations.

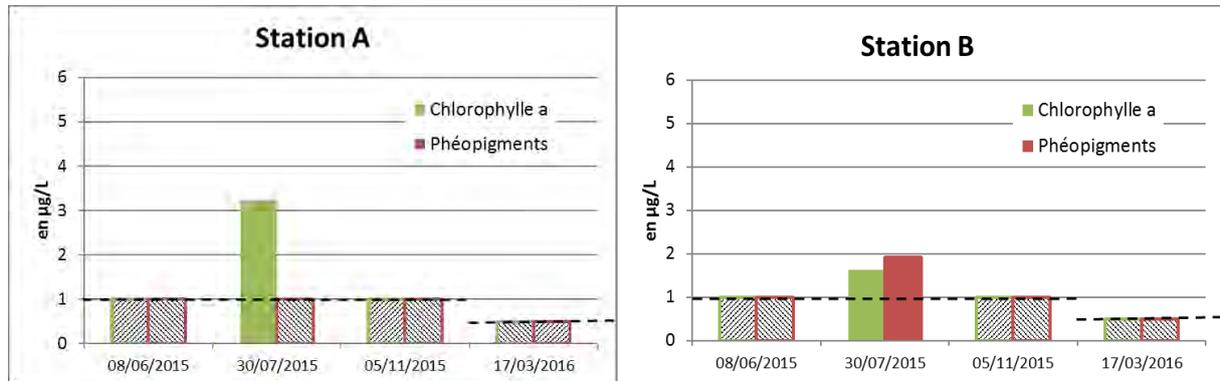


Figure 54 : Résultats de la concentration en chlorophylle a et en phéopigments sur les stations A et B

#### Commentaires :

Excepté la campagne de juillet, toutes les valeurs de chlorophylle a et de phéopigments sont inférieures au seuil de quantification. Les valeurs mesurées en juillet restent malgré tout relativement basses inférieures à 5µg/L.

### 3.6.3 Indice Phytoplanctonique LACustre

IPLAC a pu être calculé pour l'élément phytoplanctonique mais sans contrainte. En effet le nombre de taxons contributifs n'est pas assez conséquent pour pouvoir déterminer l'IPLAC avec contrainte. Les contraintes sont résumées dans le Tableau 20.

Contraintes		2015-2016
Période	Du 01/05 au 31/10	NA
Nombre de campagne minimum	3	OK
Minimum de taxons contributifs	5	NA
Minimum de taxons totaux	10	NA
Maximum de genre (%)	30	NA
Maximum d'indéterminés (%)	10	OK

Tableau 20 : Validation des contraintes pour la calcul de l'IPLAC.

L'IPLAC (sans contrainte) classe le lac en qualité « bonne » pour le suivi 2015-2016.

	Station A	Station B	Classe de qualité selon l'arrêté 27 juillet 2015
IPLAC	0.80	0.87	0.83

Tableau 21 : Résultats du calcul de l'IPLAC (sans contraintes) pour le suivi 2015-2016



### 3.7 CLASSIFICATION TROPHIQUE DE L'OCDE (VOLLENWEIDER ET KEREKES)

Le niveau trophique du lac a été estimé selon la méthode de Vollenweider et Kerekes, 1982. Le Tableau 22 présente les résultats de la classification de l'OCDE.

Catégorie Trophique	P total moyenne/an ( $\mu\text{g/L}$ )	Chloro a moyenne/an ( $\mu\text{g/L}$ )	Chloro a max/an ( $\mu\text{g/L}$ )	Transparence moyenne/an (m)	Transparence minimale/an (m)
<b>Ultra oligotrophe</b>	$\leq 4$	$\leq 1$	$\leq 2.5$	$\geq 12$	$\geq 6$
<b>Oligotrophe</b>	10	2.5	$\leq 8$	$\geq 6$	$\geq 3$
<b>Mésotrophe</b>	10-35	2.5-8	8-25	6-3	3-1.5
<b>Eutrophe</b>	35-100	8-25	25-75	3-1.5	1.5-0.7
<b>Hypereutrophe</b>	$\geq 100$	$\geq 25$	$\geq 75$	$\leq 1.5$	$\leq 0.7$

*Tableau 22 : Résultats de la classification de l'OCDE*

Pour le paramètre phosphore total, la moyenne annuelle est de  $13.8 \mu\text{g/L}$ , cette valeur classe le lac dans la catégorie trophique « mésotrophe ».

La moyenne de la chlorophylle a classe le lac dans la catégorie « ultraoligotrophe », tandis que la valeur maximale de la chlorophylle a est de la classe trophique « oligotrophe ». La moyenne annuelle est de  $0.92 \mu\text{g/L}$  et la valeur maximale de  $3.24 \mu\text{g/L}$ .

Les mesures de transparence caractérisent la masse d'eau de lac eutrophe. Les valeurs de transparence moyenne (2.6 m) et minimale (2.2 m) sont légèrement faibles en raison d'une teinte de l'eau naturellement colorée par les acides humiques.

L'évaluation de l'état trophique du lac est à prendre avec précaution. Dans ce document, sa caractérisation se fait à l'échelle annuelle contrairement au suivi DCE qui est réalisé tous les 6 ans.



## 5 CONCLUSIONS

Le suivi s'est déroulé du 08 avril 2015 au 08 avril 2016.

### Hydrologie :

Le débit mesuré au cours de l'année 2015-2016 se situe dans des conditions hydrologiques intermédiaires entre 2011 et 2013-2014.

Le débit moyen enregistré durant le suivi de 2006 n'est pas disponible (pas d'acquisition en 2006). L'année a toutefois été considérée comme humide en comparaison au suivi de 2011.

*Tableau 23 : Débits moyens mesurés en entrée Crégut*

	<b>2006</b>	<b>2011</b> (1 <sup>er</sup> janvier au 31 décembre)	<b>2013-2014</b> (1 <sup>er</sup> avr. 2013 au 1 <sup>er</sup> avr. 2014)	<b>2014-2015</b> (8 avril 2014 au 8 avril 2015)	<b>2015-2016</b> (8 avril 2015 au 08 avril 2016)
<b>Débit moyen en entrée Crégut</b>	NC	2.0 m <sup>3</sup> /s	4.3 m <sup>3</sup> /s	3.3 m <sup>3</sup> /s	3.04 m <sup>3</sup> /s

### Flux de Matières en Suspension (MES) :

Comme pour 2014-2015, ce suivi a fait l'objet d'une instrumentation de capteurs autonomes mesurant la turbidité au pas de temps horaire. Au cours de l'année 2015-2016, 5 points ont été suivis. La mesure de turbidité a été convertie en concentrations de MES par la réalisation d'étalonnages à partir de mesure de MES en laboratoire. Les principales observations et conclusions sont les suivantes :

- Les valeurs en MES mesurées manuellement lors des sorties exceptionnelles ont permis d'obtenir des valeurs hautes. Des concentrations hautes ont été obtenues sur les sites de l'Eau Verte, de la Tarentaine et de l'Entrée Tact, avec des valeurs maximales respectives de 229 mg/L, 244 mg/L et 205.2 mg/L. La concentration moyenne annuelle pour chaque site est comprise entre 2,0 mg/L (Sortie Crégut) et 33.8 mg/L (Tarentaine). Ces valeurs révèlent une meilleure gestion dans la mise en place des préleveurs automatiques lors de forts épisodes de pluie.
- Sur l'ensemble du cycle de suivi, les concentrations en MES obtenues à partir de la transformation du signal a mis en évidence des concentrations généralement faibles, inférieures à 25 mg/L en moyenne (seuil de bonne qualité du SEQ Eau).
- Le rôle de décanteur du lac du Tact a été mis en évidence. 71 % des matières en suspension entrant dans le Tact ont été stockés sur la période de suivi, représentant environ 1067 tonnes.
- Durant le suivi 2015-2016, environ 184 tonnes de MES se seraient stockées dans le lac de la Crégut représentant environ 43% du flux entrant (Tableau 24).



- En 2011 le tonnage stocké était moins important. La faible hydraulicité de l'année 2011 peut expliquer cet écart. Notons également que le suivi a été renforcé depuis 2013-2014, passant d'un suivi ponctuel de la concentration en MES en 2011 (1 mesure bimensuelle + mesures en forts débits) à un suivi instrumenté en continu depuis 2013-2014 (1 mesure par heure de la turbidité) améliorant la précision d'évaluation des flux.
- Le pourcentage de flux entrant a été plus important pour le suivi de 2015-2016, cela peut s'expliquer par l'amélioration du traitement du signal. Les courbes de corrélation ont été obtenues grâce à un plus grand nombre de points (relations établies à partir des données obtenues depuis 2013).
- C'est en 2006 que le stock le plus important a été évalué en l'absence de données précises de débit.

**Tableau 24 : Bilan de MES dans le lac de la Crégut pour les différentes années de suivi**

	<b>2006</b>	<b>2011</b> (1 <sup>er</sup> janvier au 31 décembre)	<b>2013-2014</b> (1 <sup>er</sup> avr. 2013 au 1 <sup>er</sup> avr. 2014)	<b>2014-2015</b> (8 avril 2014 au 8 avril 2015)	<b>2015-2016</b> (8 avril 2015 au 8 avril 2016)
<b>Stockage de MES Lac Crégut</b>	550 tonnes	140 tonnes	250 à 315 tonnes	172 tonnes	184 tonnes
<b>Pourcentage du flux entrant</b>	50%	30%	27 à 34 %	38%	43%

#### **Qualité d'eau entrants / sortants :**

- La qualité de l'eau inter-aménagements est globalement « bonne » à « très bonne » selon l'arrêté du 27 juillet 2015.
- Les mesures *in situ* révèlent une légère augmentation de la température entre l'amont et l'aval du complexe. Ce phénomène a été observé lors des précédents suivis. Les résultats de température, de pH, d'oxygène et de conductivité sont de qualité « très bonne », sauf pour le paramètre « Oxygène dissous » au site Sortie Crégut qui est classé en qualité « bonne ». Comme les années précédentes aucune anomalie n'est à remarquer.
- En 2011, le carbone organique total mesuré a permis de conclure à une tendance à l'exportation des matières organiques produites au sein du lac. Les résultats de cette année semblent aboutir aux mêmes conclusions pour le carbone organique dissous dont les concentrations augmentent tout au long du complexe. Contrairement au suivi 2014-2015, les concentrations en carbone organique dissous classent les cinq sites en qualité « bonne ».
- Les concentrations en éléments phosphorés semblent légèrement plus élevées sur les stations Eau verte, Tarentaine et Sortie Crégut. L'augmentation de ces concentrations sur les sites amont peut être liée aux activités anthropiques sur le bassin versant. En entrée du Tact, les concentrations sont généralement moins importantes que sur l'Eau Verte ou la Tarentaine (effet de mélange des eaux).



- Un relargage vers le lac de la Crégut, depuis le Tact, de composés organiques azotés, phosphorés et carbonés est perceptible mais ne peut pas être affirmé et quantifié au regard des incertitudes liées au pas d'acquisition et aux faibles concentrations concernées.

### **Qualité du lac de la Crégut :**

- Selon l'arrêté du 27 juillet 2015, la qualité de l'eau du lac de la Crégut apparaît «très bonne » au regard des concentrations en ammonium, en nitrates, en phosphores total. De même la valeur de la transparence du Secchi classe le lac en qualité « très bonne ». Seule la valeur de désoxygénation de l'hypolimnion est un paramètre déclassant pour la qualité de l'eau du lac (classe « médiocre »). Une amélioration de la classe de qualité du lac est observée par rapport au suivi 2014-2015, qui classait le lac en qualité « mauvaise ».
- La désoxygénation de la colonne d'eau est un phénomène récurrent sur le lac de la Crégut. Cette désoxygénation a été observée sur les deux stations durant la campagne de juillet et également sur la station B durant la campagne de novembre. Les concentrations en oxygène ont progressivement diminué pour atteindre des valeurs proches de 0 mg/L à 15 m (station A) et 21 m (station B) de profondeur. Le phénomène de relargage par le sédiment en conditions anoxiques n'a pas été limité dans le temps, contrairement en 2014-2015, où la désoxygénation n'avait pas eu lieu en octobre et seulement sur le site B.
- L'OCDE classe la qualité du lac de la Crégut en eutrophe pour l'année 2015-2016. Le paramètre déclassant reste la faible transparence de l'eau. Or la valeur de ce paramètre est généralement faible en raison d'une teinte de l'eau naturellement colorée par les acides humiques. Ces observations restent dans la continuité des observations faites lors des précédents suivis.

## ANNEXE 1 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES SONDES DE NIVEAU

### CNR PARATRONIC ET ENREGISTREUR MAC 10R

T36F-0112

**PARATRONIC**  
SURTENSIONS ET MESURES

NOTICE TECHNIQUE



Constructeur Français

#### CAPTEUR DE NIVEAU IMMERGE CNR

##### 1 Caractéristiques\*.

Etendue de mesure	0 – 0,5mH <sub>2</sub> O à 0 – 30mH <sub>2</sub> O.
Tension d'alimentation	6V à 38V continu.
Signal de sortie	4 / 20mA.
Température d'utilisation	-20°C à +60°C (en phase liquide).
Température de stockage	-20°C à +80°C avant 1ère utilisation / 0°C à +80°C après 1ère utilisation.
Précision	< +/- 0.3% PE.
Dérive en température (0°C à 40°C)	< +/- 0.02% PE / °C**.
Répétitivité et hystérésis	< +/- 0.30% PE***.
Linéarité (à 25°C)	< +/- 0.15% PE****.
Domaine de non détérioration	1,5 fois la pleine échelle.
Temps de chauffe	< 300ms.
Temps de réponse	< 150ms.
Transitoires rapides	Niveau 4.
Tenue choc foudre	20kA (onde 8/20).
Normes : (Marquage CE) (ACS)	EN61000-6-2 - EN61000-6-3 - EN60950-1.  Attestation de conformité sanitaire.
Dimensions	Ø 21.4mm +/- 0.1mm, Longueur = 170.5mm +/- 0.2mm.
Poids	180g + 50g par mètre de câble standard.
Matière	Acier inoxydable 316L passivé.
Câble standard	Double peau, sans capillaire. Gaine extérieure en polyéthylène de couleur bleue. Blindage électrique, 2 conducteurs 0,80 mm <sup>2</sup> (80 mΩ/ m de câble), Ø 7 mm +/-0,5 mm, poids 50 g par mètre.
Câble renforcé (Option)	Triple peau, sans capillaire. Gaine extérieure en polyuréthane de couleur bleue limitant les effets de l'abrasion. Tresse extérieure en inox haute densité assurant une protection efficace contre les agressions mécaniques (coupures, rongeurs...). Filin porteur en kevlar, blindage électrique, 2 conducteurs 0,80 mm <sup>2</sup> (80 mΩ/ m de câble), Ø 9 mm +/-0,5 mm, poids 100 g par mètre.
Mise en oeuvre	Suspension par le câble.



##### 2 Précautions d'installation et d'utilisation.

La mise à l'atmosphère du capteur de pression au travers du câble nécessite des précautions d'installation:

- Le suspendre avec la pince de serrage fournie.
- S'assurer que l'extrémité du câble se trouve à la pression atmosphérique et qu'elle ne soit jamais noyée.
- Ne pas blesser ou percer le câble
- Lors de son utilisation, le capteur CNR ne doit pas être exposé au gel.
- Eviter le nettoyage «agressif» (haute pression, produits agressifs, etc...) du capteur.

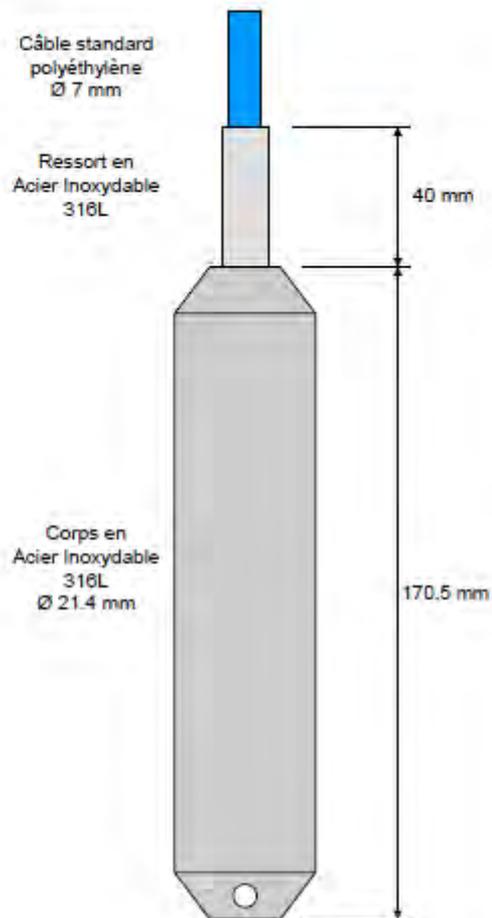
PARATRONIC – ZI - Rue des Genêts - 01600 REYRIEUX - FRANCE

Tél. : +33 4 74 00 12 70 - Fax : +33 4 74 00 02 42

E mail: info@paratronic.fr - WEB: http://www.paratronic.fr - Téléchargement: ftp://ftp.paratronic.info

1

### 3 Encombrement



### 4 Schéma fonctionnel





## 5 Principaux avantages.

Cellule de mesure piézo résistive à support céramique ou silicium :

**La mesure est effectuée par application directe de la pression sur la cellule sensible.  
L'absence de membrane et donc d'huile, évite tout risque de pollution.**

Capteur de température :

**Compensation continue en température.**

Transmission directe de la pression atmosphérique ; Absence de capillaire :

**Fiabilité, simplicité et robustesse.  
Aucun risque d'obturation ou de dégradation de la mise à l'atmosphère  
Permet l'utilisation dans des conditions d'humidité extrême.**

Protection foudre :

**Auto-protégées, les CNR supportent, dans tous les cas et sans protection  
additionnelle, des chocs jusqu'à 20 kA.**

Protection contre les inversions de polarité :

**Robustesse et facilité d'installation.**

Câble (standard ou renforcé) 2 conducteurs, avec blindage électrique :

**Souplesse et haute résistance aux agressions physiques et chimiques.**

Raccordement sans connecteur spécifique :

**Permet la compatibilité avec tous les standards d'acquisition : Automates,  
télégestions, data-logger.**

Alimentation 6 à 38 V :

**Permet la compatibilité avec tous les standards d'acquisition : Automates,  
télégestions, data-logger.**

Signal 4 – 20 mA sur 2 fils :

**Standard de mesure.  
Pas de limitation de résistance de ligne.**

Matériel en contact avec le liquide :

Corps Inox 316L passivé

Câble standard en polyéthylène double peau

**Ces matériaux rendent utilisable le capteur CNR aussi bien en eau potable qu'en  
assainissement (Ph faible ou élevé, eau brute ou traitée, ...).**

**Ce choix vous assure une sécurité d'utilisation optimale permettant au capteur CNR de  
bénéficier de l'attestation de conformité sanitaire « ACS », obligatoire pour une  
utilisation en eau potable.**

Fixation par pince serre câble fournie :

**Simplicité et sécurité optimale de mise en œuvre.**

Entièrement démontable :

**Permet la modification de l'échelle de mesure, le réétalonnage, le changement de câble  
ou toute intervention sur l'électronique du capteur.**

Aucune maintenance particulière :

**Facilité optimale d'utilisation.**

\* : Les valeurs données sont des valeurs typiques

\*\* : Valeur donnée pour des pleines échelles  $\geq 4m$ , Dérive en température (-20°C à 60°C) +/- 0,03% PE / °C

\*\*\* : Valeur donnée pour des pleines échelles > 1m, Répétitivité et hystérésis PE < 1m : +/- 3 mm.

\*\*\*\* : Valeur donnée pour des pleines échelles <= 10m, Linéarité > 10m : +/- 0,20% PE.

Les caractéristiques décrites dans ce document peuvent être modifiées sans préavis par le constructeur

PARATRONIC – ZI - Rue des Genêts - 01600 REYRIEUX - FRANCE

3

Tél. : +33 4 74 00 12 70 - Fax : +33 4 74 00 02 42

E mail: info@paratronic.fr - WEB: <http://www.paratronic.fr> - Téléchargement: <ftp://ftp.paratronic.info>

## ENREGISTREUR MAC10R

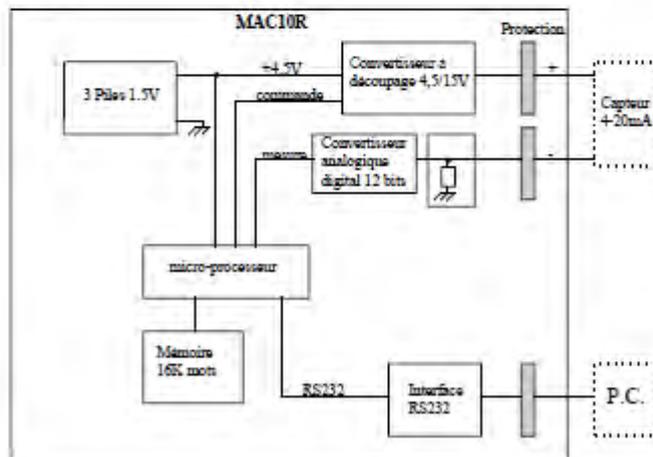
### Présentation générale

L'enregistreur MAC10R mémorise 1 analogique 4-20 mA.  
Les données sont récupérées et traitées sur ordinateur IBM PC ou compatible via une liaison RS232 par le logiciel APX.

### Caractéristiques techniques

- alimentation: 3 piles LR20 1,5 V (tension minimum: 3,2 V)
- capteur 4-20 mA alimenté par le MAC10R ( tension disponible: 10V) ou par une alimentation externe.
- consommation moyenne: 580  $\mu$ A avec une mesure de 12 mA toutes les 2 minutes, soit une autonomie de 1 an avec des piles alcalines.
- mémoire: 16000 mots
- période d'enregistrement: 1 à 60 mn
- enregistrement à période fixe, sur seuil ou sur variation de l'entrée analogique.
- interface de communication: RS232
- protocole: JBUS esclave
- presse étoupes pour câbles  $\phi$  5 mm à 7 mm
- boîtier: IP67.

### Schéma de principe

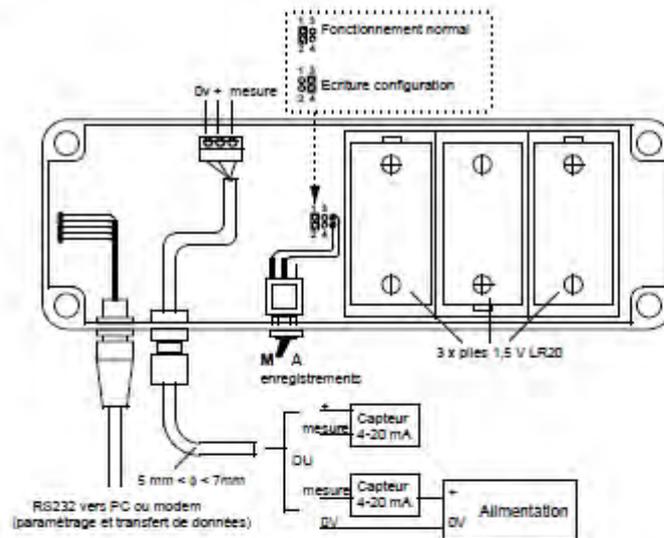


Les caractéristiques décrites dans ce document peuvent être modifiées sans préavis par le constructeur

PARATRONIC Zone Industrielle 01600 REYRIEUX - Tél.: 04.74.00.12.70 - Fax.: 04.74.00.02.42

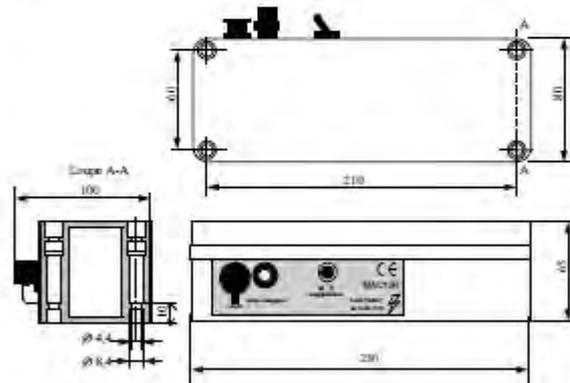


## Raccordement



## Encombrement

- poids: 1,2 Kg
- fixation par 4 vis  $\varnothing 4$



## Précautions d'utilisation

Vérifier l'interconnexion des terres de l'environnement. Si un modem est connecté au MAC10R, placer des parafoudres sur les entrées alimentation et ligne téléphonique du modem.

Afin de prévenir toute infiltration d'eau en cas d'immersion, le presse-étoupe du câble ainsi que le couvercle du MAC10R devront être suffisamment serrés.

En cas d'utilisation d'une sonde nécessitant une mise à la pression atmosphérique par le câble, veillez à prendre en compte le fait que l'intérieur du boîtier MAC10R est isolé de cette pression.

Les caractéristiques décrites dans ce document peuvent être modifiées sans préavis par le constructeur

PARATRONIC Zone Industrielle 01800 REYRIEUX - Tél.: 04.74.00.12.70 - Fax.: 04.74.00.02.42



## ANNEXE 2 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES CAPTEURS DE TURBIDITE AQUALOGGER 210 TY



### AQUAlogger 210TY Turbidity Logger

The AQUAlogger 210 series of instruments offer compact oceanographic instrument capability. They comprise fully self-contained data loggers, with a high speed data connection for configuration, data download, and real time telemetry.

The AQUAlogger 210 sensor logger operates with a variety of third party oceanographic sensors such as turbidity, conductivity, fluorescence, PAR etc, and includes optional temperature and pressure sensors. The 210TY includes a built-in turbidity sensor using the optical backscatter approach.

#### Logger Specification

<b>Extra Inputs</b>	2 channels 0-5V external
<b>Controls</b>	External trigger input or output
<b>Communication</b>	RS232 or RS485 and USB 1.1, bus powered
<b>Burst Sampling</b>	Bursts every 1 – 255 seconds or 1 – 255 minutes
<b>Within-Burst Rate</b>	From 1 Hz to once every 30 seconds
<b>Burst Averaging</b>	Bursts may be averaged to a single data value
<b>Data Storage Capacity</b>	Nominal 4M sets - number of parameters measured, in non-volatile FLASH
<b>Real-Time Data Option</b>	NMEA formatted data string
<b>Logging Lifetime</b>	Typically 1 year, with data retention > 10 years
<b>Battery</b>	3 x 3.6V Lithium 'AA' cell pack
<b>Software</b>	AQUAtalk for Windows for configuration and download
<b>Dimensions</b>	300 mm (11.8") long x 60 mm (2.4") diameter
<b>Weight</b>	1100 g (39 oz) in air; 460 g (16 oz) in water
<b>Attachment</b>	Single point attachment through mounting hole or use clamp
<b>Maximum depth</b>	1000 m or 2 x pressure range, whichever is lower



Ordering Guide	
AQUAlogger 210TY	Turbidity only
AQUAlogger 210TYT	Turbidity, Temperature
AQUAlogger 210TYTpp	Turb, Temp, Pressure pp
Pressure Range	Specify when ordering

#### Sensor Specifications

The AQUAlogger 210TY uses the tried and tested SeaPoint STM turbidity meter. The STM has four switchable gain ranges. These can be pre-set by the user or automatically selected by the AQUAlogger for maximum dynamic range in field deployment conditions.

<b>Light Source Wavelength</b>	880 nm	
<b>Scatterance Angles</b>	15 – 150 degrees	
<b>Linearity</b>	<2% deviation 0 – 750 FTU; above 750 FTU, sensor is non-linear, with optional polynomial correction equation	
<b>Measurement Range</b>	0.01 FTU to 2500 FTU over four automatically switched gain ranges.	
<b>Optional Sensors</b>	<b>Temperature</b>	<b>Pressure</b>
<b>Sensor Type</b>	Thermistor	Piezo-resistive Bridge, Absolute
<b>Ranges</b>	-2 to 30°C standard, other ranges on request	1.6, 4, 10, 16, 25, 40, 60, 100 bar
<b>Resolution</b>	better than 0.0015°C	better than 0.005% full scale
<b>Accuracy</b>	±0.05°C	typically better than 0.2% full scale
<b>Time Constant</b>	better than 5 seconds	N/A

#### Calibration

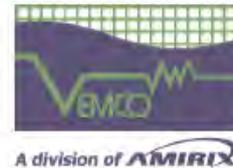
All instruments are calibrated for temperature and pressure, where applicable using our in-house, ISO 9001 compliant calibration system using a temperature bath and pressure calibrators. Third party UKAS calibrations are also available from our carefully selected calibration partners. We do not recalibrate the turbidity sensor, but perform a cross check using polymer bead suspensions as a verification standard.



## ANNEXE 3 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES CAPTEURS DE TEMPERATURE MINILOG II

**DATA LOGGERS**

### Minilog-II-T Submersible Temperature Data Logger



**Rugged, waterproof, fully submersible, 10-year temperature data logger used in variety of studies**

The Minilog-II-T fully submersible, 10-year temperature data logger measures and stores temperature at specified sampling intervals. Designed for monitoring in the harsh conditions of a deep marine environment (up to 500 metres), the Minilog-II-T is used in any application where temperature readings are desired. The Minilog-II-T data logger is manufactured to withstand both fresh and saltwater environments. Applications include:



- ▶ Monitoring temperatures in alpine lakes
- ▶ Small stream management programs
- ▶ Measuring temperature changes in lakes and ocean areas to determine the impact on local marine life
- ▶ Soil temperature measurements and monitoring
- ▶ Aquaculture site observation
- ▶ Waste water temperature monitoring
- ▶ Long line thermistor chains with multiple data loggers
- ▶ Food, drug and medical supply transportation monitor

#### Used with the Autonomous VEMCO Field Reader

Offload data in the field without a laptop using the autonomous VEMCO Field Reader, a rugged, water resistant handheld Reader. A fast optical communication interface with the Reader allows typical study samples of ~10,000 to offload in 7 seconds. The Reader also indicates if your data logger battery or memory is low.



Specifications			
Temp Range:	-30°C to +80°C	Submersible:	Up to 500m
Temp Accuracy:	Specified: +/- 0.1°C from -5°C to 35°C;	Storage:	1-million samples per deployment
Resolution:	0.01°C	Sample Rates:	1 sample per second to 1 sample per day
Physical:	Length: 9.8 cm Diameter: 2.3 cm Weight: 52.2 g	Start Time:	Delayed or immediate study start date selectable
Clock Stability:	+/-1 minute per month	Thermal Time Constant:	63% at ~2min 30 sec, and 90% at less than 5 min, both in stirred bath
Battery Life:	10 years at typical sampling rates (1 sample per 2 mins)		

VEMCO Division  
AMIRIX Systems Inc.

211 Horseshoe Lake Drive  
Halifax, Nova Scotia  
Canada B3S 0B9

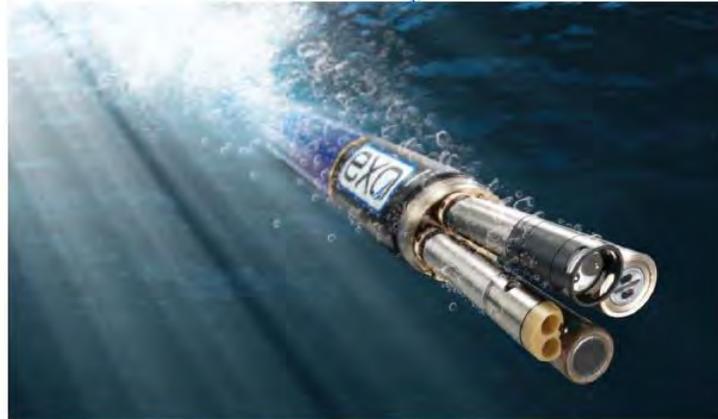
Tel: (902) 450-1700  
Fax: (902) 450-1704

www.vemco.com



## ANNEXE 4 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA SONDE YSI EXO1

Plateforme avancée  
Multi-paramètres de  
Surveillance de la  
Qualité des eaux



Copyright © AnHydre 2012 – Caractéristiques modifiables sans préavis

ExO matérialise l'intersection de l'Environnement et de l'Observation, elle représente une nouvelle génération de techniques de surveillance





## Surveillance des eaux superficielles et souterraines :

*Capter des données précises dans les milieux aquatiques est facile avec ExO.*

Dès le déballage ExO est prête à partir :

- Capteurs pré installés pour paramétrer facilement des systèmes pré configurés en usine
- Communication sans fil pour réduire le nombre de câbles de terrain
- Diagnostics embarqués pour éliminer les erreurs de configuration et de paramétrage

Calibration de multiples capteurs en simultanément, typiquement en 15 minutes, aucun câble n'est requis



### Calibration rapide et simple

Terminez la calibration en moins de 15 minutes grâce aux capteurs intelligents et à l'interface intuitive du logiciel KOR. Les sondes peuvent maintenant être récupérées et redéployées dans l'intervalle typique d'échantillonnage.

### Partez sans fil

Paramétrez, calibrez et déployez votre instrument sans un seul câble. Plus d'arrivée sur le terrain en découvrant que vous n'avez pas les bons câbles. Le terminal et la sonde sans fil font une paire parfaite.

### Réduction du bio-fouling

On ne peut pas échapper au bio-fouling avec les mesures en immersion. Pour conserver ses influences à distance, ExO utilise des pièces en alliage de cuivre et des racleurs anti-fouling pour prolonger les déploiements et augmenter la précision des données.

### Contrôles intelligents pour données de qualité

Une calibration guidée et un retour des capteurs font l'ExO une plate-forme de surveillance des eaux extrêmement fiable. Des messages guides et un enregistrement interne des calibrations ne se contentent pas d'écouter la calibration, ils réduisent les possibilités d'erreur.

### Capteurs intelligents, connexions intelligentes

Aucune inquiétude sur la compromission de données par un mauvais capteur. La surveillance active de connexion détecte automatiquement les capteurs et si un capteur se trouve endommagé, elle ferme la connexion afin d'empêcher une propagation à la sonde ou autres capteurs.

### Sonde intelligente

Les systèmes de surveillance embarquée scrutent automatiquement les erreurs de configuration, surveillent l'état de la mémoire, vérifient le fonctionnement des capteurs. De nombreux tests embarqués garantissent le succès des déploiements.



### Terminal ExO

Le terminal ExO crée une interface portable étanche extrêmement durable pour les sondes ExO. Le terminal utilise une version mobile du logiciel KOR.

Caractéristiques standards:

- GPS
- Baromètre compensé en température
- Clavier alphanumérique rétro-éclairé
- Microphone – haut parleur
- Connexion sans fil
- Communication Bluetooth
- Ecran couleur LED
- Mémoire 2Go
- Accepte les accumulateurs



Interfacez la sonde ExO avec le terminal ExO

### Logiciel interface KOR

Le logiciel KOR offre aux utilisateurs la capacité de gérer facilement, de visualiser, d'organiser de grandes quantités de données. KOR produit aussi une interface avec les produits ExO pour une calibration, une programmation rapides, AQ/CQ et la collecte de données.

- Nouveaux processus de calibration conçus spécifiquement pour la surveillance à long terme
- Interface opérateur graphique pour une analyse rapide des données
- Multilingue



### Plusieurs options de sortie des données

La sortie de la sonde est lisible par le terminal ExO, le logiciel interface KOR et les modules de transmission. En complément au câble (standard) ces interfaces de communication sont proposées :

#### Adaptateur de signal Sortie / Collecteur

Se connecte en extrémité du câble au travers de fils libres, convertit les signaux en RS-232 ou SDI-12 pour les applications de centralisation de données.

#### Adaptateur USB

Permet la connexion entre sonde ExO et PC. Technologie Bluetooth Active une connexion entre une sonde et un utilisateur au laboratoire et le pré déploiement sur le terrain.



Adaptateur de signal Sortie / Collecteur



Adaptateur USB

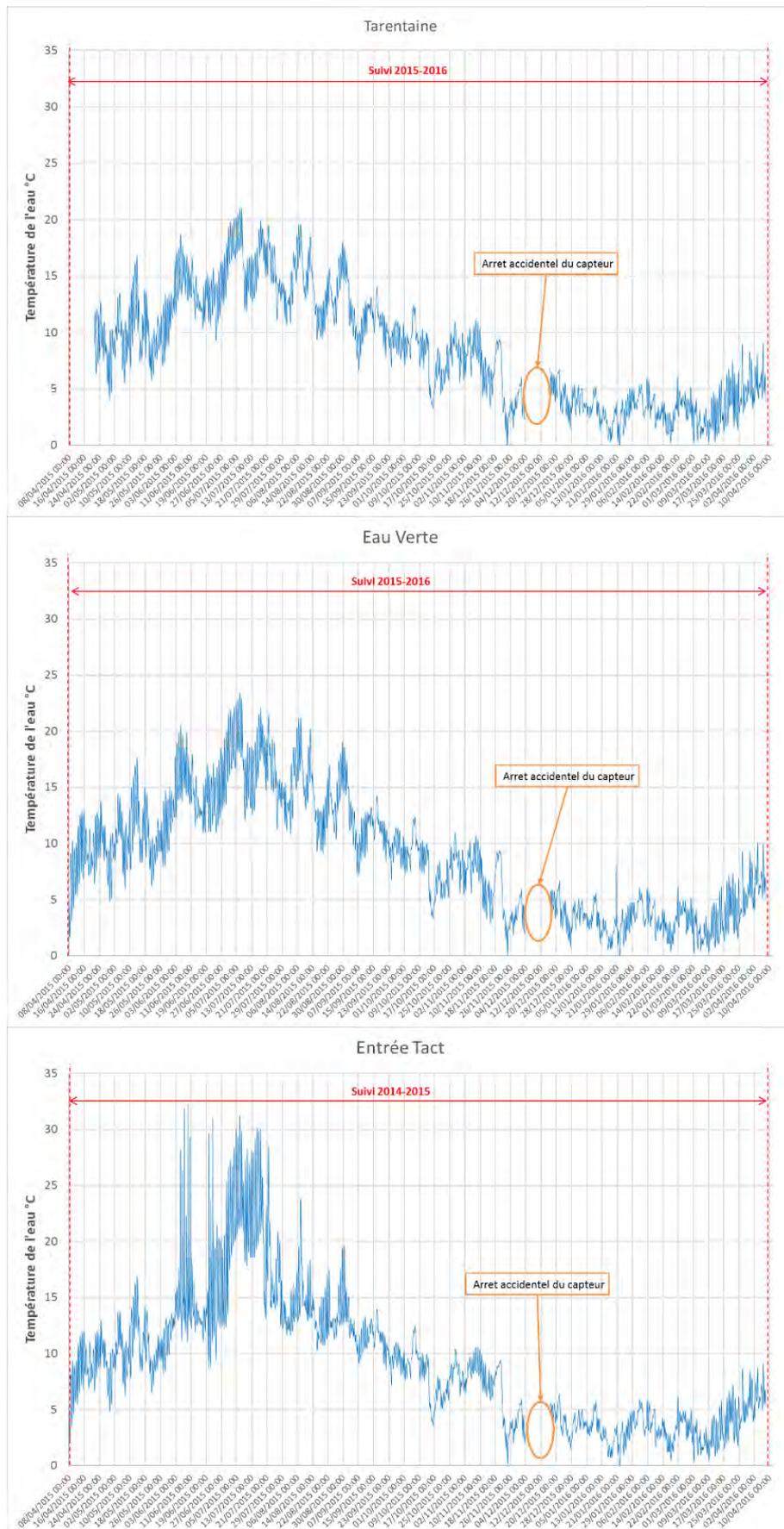


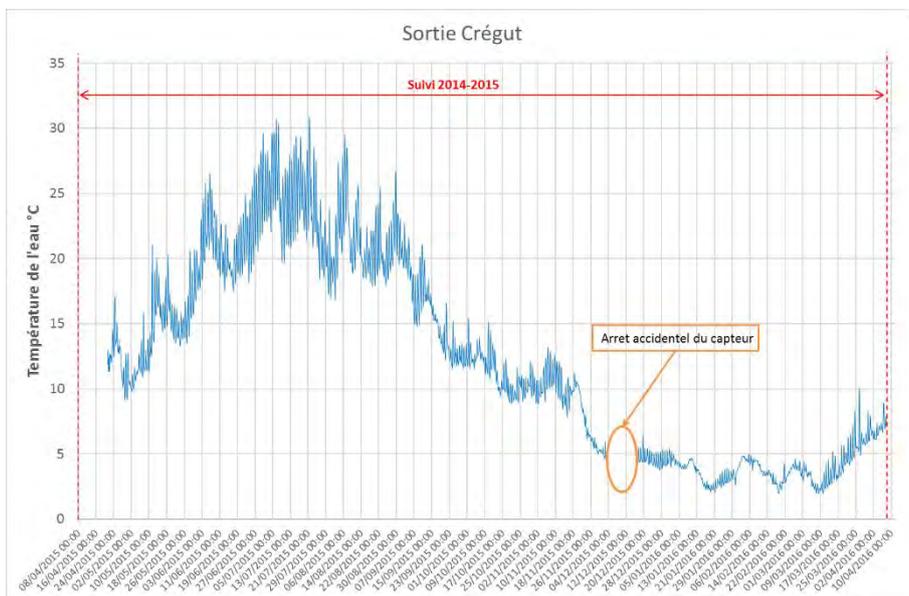
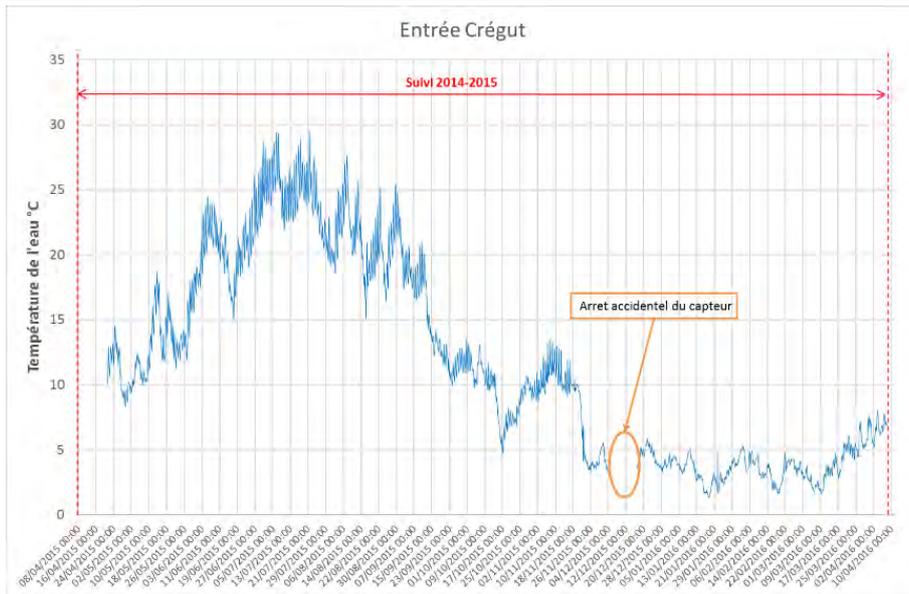
## Spécifications des capteurs\*

Capteur	Gamme	Précision*	Réponse	Résolution
Baromètre	375 à 825mm Hg	+/-1,5mm Hg sur 0 à 50°C	-	0,1mm Hg
Cyanobactéries Phycocyanine (dans le capteur algues totales)	0 à 100 µg/l PC 0 à 100 URF	Linéarité R2>0,999 pour dilution série de solution Rhodamine WT entre 0 et 100µg/l d'équivalents PC Limite de détection 0,03µg/l PC	T63<2s	0,01µg/l PC 0,01 URF
Chlorophylle (dans le capteur algues totales)	0 à 400 µg/l Chl 0 à 100 URF	Linéarité R2>0,999 pour dilution série de solution Rhodamine WT entre 0 et 400µg/l d'équivalents Chl Limite de détection 0,07µg/l Chl	T63<2s	0,01µg/l Chl 0,01 URF
Conductivité (1)	0 à 200mS/cm	0 à 100 : +/-0,5% de la lecture ou 0,001mS/cm, lpg, 100 à 200mS/cm : +/-1% de la lecture	T63<2s	0,0001 à 0,01mS/cm (fonction de la gamme)
Profondeur (sans compensation barométrique)	0 à 10 mètres (2) 0 à 100 mètres (2) 0 à 250 mètres (2)	+/-0,04%PE (+/-0,004m) +/-0,04%PE (+/-0,04m) +/-0,04%PE (+/-0,10m)	T63<2s	0,001m (gamme automatique)
Oxygène dissous optique	0 à 500% sat. air 0 à 50mg/l	0 à 200% : +/-1% de la lecture ou 1% sat. air, lpg, 200% à 500% : +/- 5% de la lecture (3) 0 à 20mg/l : +/-0,1mg/l ou 1% de la lecture, lpg, 20 à 50mg/l : +/-5% de la lecture (3)	T63<5s (4)	0,1% sat. air 0,01mg/l
fDOM	0 à 300ppb Equivalent Sulfate de Quinine (EQS)	Linéarité R2>0,999 pour dilution série de solution SQ 300ppb Limite de détection 0,03ppb EQS	T63<2s	0,01ppb ESQ
Redox	-999 à 999mV	+/-20mV en solutions standards redox	T63<5s (5)	0,1mV
pH	0 à 14 unités	+/-0,1 unité sur +/-10°C de la température de calibration, +/-0,2 unité sur la plage totale en température (6)	T63<3s (7)	0,01 unité
Salinité (calcul sur température et conductivité)	0 à 70ppt	+/-1% de la lecture ou 0,1ppt, lpg	T63<2s	0,01ppt
Conductance spécifique (calcul sur température et conductivité)	0 à 200mS/cm	+/-0,5% de la lecture ou 0,001mS/cm, lpg	-	0,001, 0,01, 0,1mS/cm (gamme automatique)
Température	-5°C à 50°C	-5°C à 35°C : +/-0,01°C (8) 35°C à 50°C : +/-0,05°C (8)	T63<1s	0,001°C
Solides totaux dissous (TDS) (calcul sur température et conductivité)	0 à 100 000g/l Constante de calibration 0,3 à 1 (0,64 par défaut)	Non spécifié	-	Variable
Solides totaux en suspension (TSS) (calcul sur turbidité et TDS)	0 à 1500mg/l	Non spécifié	T63<2s	Variable
Turbidité (9)	0 à 4000FNU ou NTU	0 à 999FNU : 0,3FNU ou 2% de la lecture, lpg, 1000 à 4000FNU : +/- 5% de la lecture (10)	T63<2s	0 à 999FNU : 0,01FNU 1000 à 4000FNU : 0,1FNU



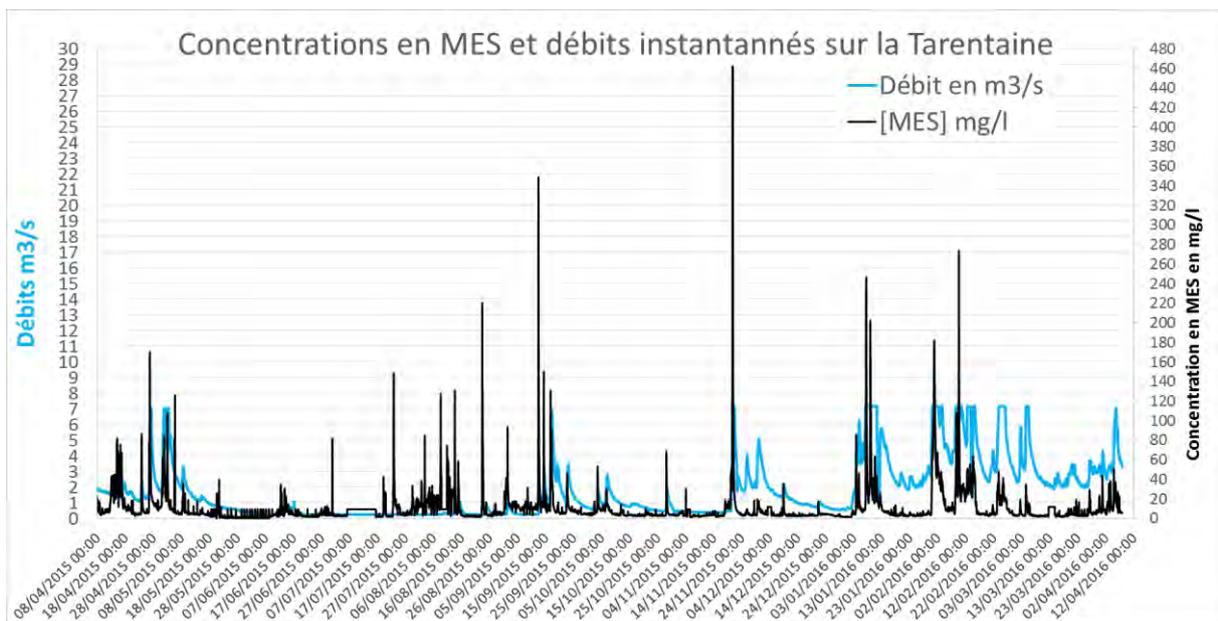
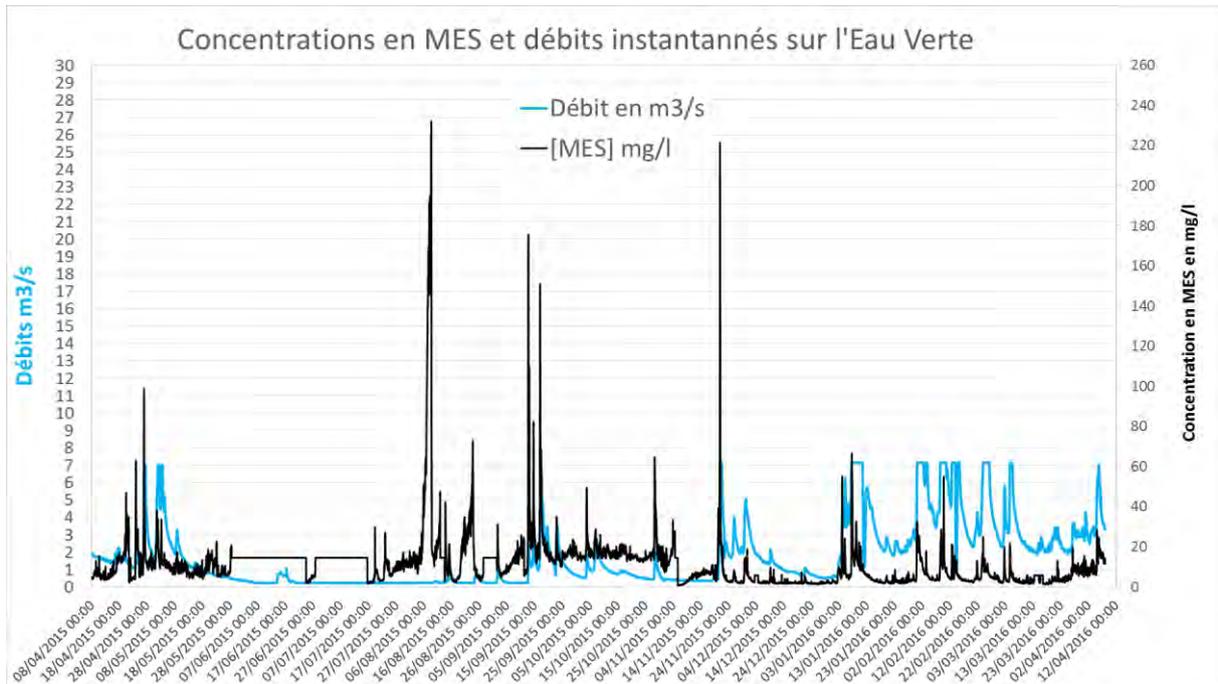
## ANNEXE 5 : CHRONIQUES DE TEMPERATURES PAR SITE DE SUIVI

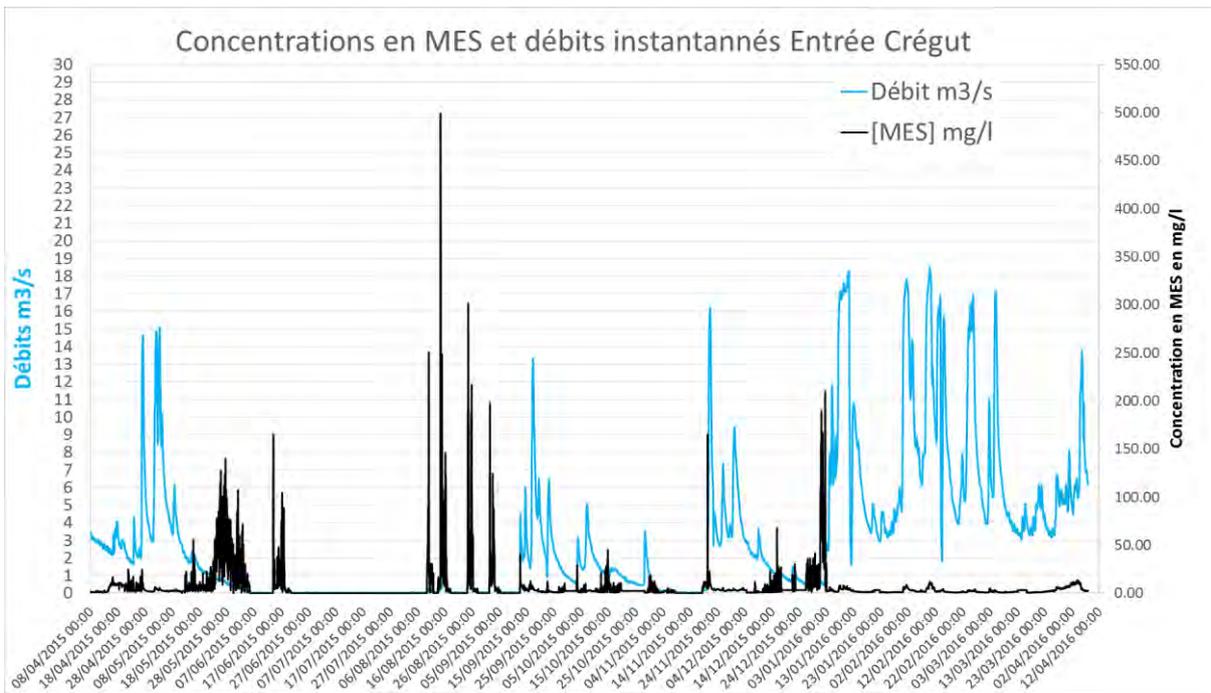
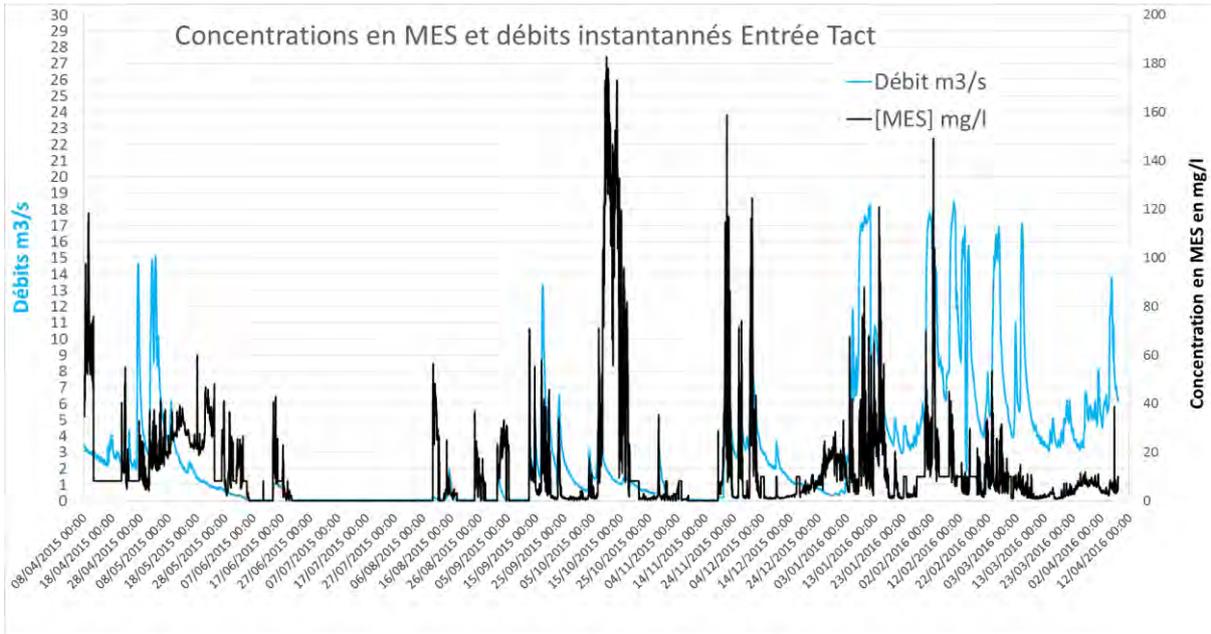


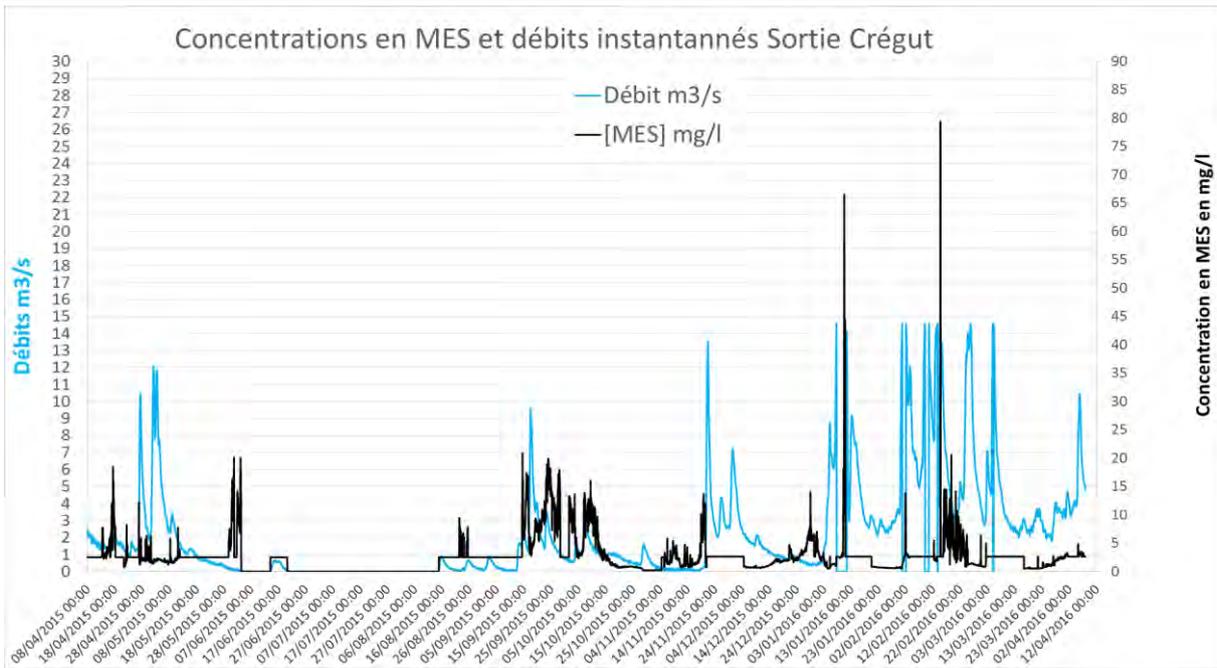




## ANNEXE 6 : CHRONIQUE DE TURBIDITE ET DE DEBITS PAR AMENAGEMENTS







## ANNEXE 7 : EXTRAIT DE L'ARRETE DU 27 JUILLET 2015 POUR LES RIVIERES

En l'état actuel des connaissances, les limites de classes sont exprimées par paramètre et non par élément de qualité (par exemple, l'oxygène dissous est un paramètre constitutif de l'élément « bilan d'oxygène»). Le Tableau 25 ci-dessous indique les valeurs des limites de classe pour les paramètres des éléments physicochimiques généraux. Les limites de chaque classe sont prises en compte de la manière suivante :] valeur de la limite supérieure (exclue), valeur de la limite inférieure (inclue)].

Ces paramètres et valeurs seuils sont applicables dès lors que les protocoles de prélèvements et d'analyse sont conformes à ceux prescrits dans l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement.

La classification s'établit en comparant à ces valeurs le percentile 90 obtenu à partir des données acquises conformément aux dispositions de l'article 12 du présent arrêté.

Pour les paramètres oxygène dissous et taux de saturation en O<sub>2</sub> la classification s'établit à partir du percentile 10.

Pour le paramètre pH, la classe de qualité est déterminée par la classe la moins bonne du pH min et pH max. ces deux derniers paramètres sont calculés à partir :

- Du percentile 10 (pH min)
- Du percentile 90 (pH max)

Lorsque les concentrations mesurées sont inférieures à la limite de quantification la valeur à prendre en compte est la limite de quantification de ce paramètre divisé par 2.

**Tableau 25 : Valeurs des limites des classes d'état pour les paramètres physico-chimiques généraux pour les cours d'eau**

Paramètres par élément de qualité	Limites des classes d'état				
	très bon	Bon	moyen	médiocre	mauvais
<b>Bilan de l'oxygène</b>					
oxygène dissous (mg O <sub>2</sub> .l <sup>-1</sup> )	8	6	4	3	
taux de saturation en O <sub>2</sub> dissous (%)	90	70	50	30	
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .l <sup>-1</sup> )	3	6	10	25	
carbone organique dissous(mg C.l <sup>-1</sup> )	5	7	10	15	
<b>Température</b>					
eaux salmonicoles	20	21.5	25	28	
eaux cyprinicoles	24	25.5	27	28	
<b>Nutriments</b>					
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> .l <sup>-1</sup> )	0.1	0.5	1	2	
phosphore total (mg P.l <sup>-1</sup> )	0.05	0.2	0.5	1	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .l <sup>-1</sup> )	0.1	0.5	2	5	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> . l <sup>-1</sup> )	0.1	0.3	0.5	1	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> . l <sup>-1</sup> )	10	50	*	*	
<b>Acidification<sup>1</sup></b>					
pH minimum	6.5	6	5.5	4.5	
pH maximum	8.2	9	9.5	10	
<b>Salinité</b>					
conductivité	*	*	*	*	
chlorures	*	*	*	*	
sulfates	*	*	*	*	

<sup>1</sup> acidification : en d'autres termes, à titre d'exemple, pour la classe bon, le pH min est compris entre 6.0 et 6.5 ; le pH max entre 9.0 et 8.2.

\* : Les connaissances actuelles ne permettent pas de fixer des valeurs seuils fiables pour cette limite.

## ANNEXE 8 : EXTRAIT DE L'ARRETE DU 27 JUILLET 2015 POUR LES PLANS D'EAU.

### Eléments physico-chimiques

Ces paramètres et valeurs seuils sont applicables dès lors que les protocoles de prélèvements et d'analyse sont conformes à ceux prescrits dans l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement. Les paramètres constitutifs de l'élément de qualité phytoplancton sont prélevés sur un échantillon intégré sur la zone euphotique (2,5 fois la transparence au disque de Secchi) au point de plus grande profondeur du plan d'eau, conformément aux dispositions de ce même arrêté.

Tableau 26 : Paramètres physico-chimiques des éléments nutriments et transparence et calculs des valeurs seuils

Paramètres physico-chimiques	Unité	Limite	Paramètres de calcul				Calcul	
			a	b	c	d	$Z_{moy} = \text{profondeur moyenne (m)}$	
Phosphore total (médiante <sup>1</sup> )	$\mu\text{g P.L}^{-1}$	Très bon-Bon	44,174	-0,315	57,744	-0,324	minimum entre $[a \cdot Z_{moy}^b]$ et $[c \cdot (Z_{moy} + 1)^d]$	
		Bon-Moyen	61,714	-0,310	95,841	-0,267		
		Moyen-Médiocre	86,234	-0,306	159,92	-0,210		
		Médiocre-Mauvais	120,63	-0,302	268,66	-0,153		
Ammonium (valeur maximale)	$\mu\text{g NH}_4\text{.L}^{-1}$	Très bon-Bon	223,58	-0,248	199,25	-0,223		
		Bon-Moyen	290,91	-0,245	283,69	-0,185		
		Moyen-Médiocre	378,71	-0,241	404,53	-0,145		
		Médiocre-Mauvais	494,03	-0,238	578,19	-0,106		
Profondeur du disque de Secchi (médiante)	m	Très bon-Bon	1,1741	0,284	0,9989	0,277	maximum entre $[a \cdot Z_{moy}^b]$ et $[c \cdot (Z_{moy} + 1)^d]$	
		Bon-Moyen	0,8703	0,279	0,6492	0,228		
		Moyen-Médiocre	0,6447	0,275	0,4208	0,180		
		Médiocre-Mauvais	0,4766	0,271	0,2722	0,131		
							$Z_{moy} \leq 15$	$Z_{moy} > 15$
Nitrates <sup>2</sup> (valeur maximale)	$\mu\text{g NO}_3\text{.L}^{-1}$	Très bon-Bon					2200	1200
		Bon-Moyen					5300	2600
		Moyen-Médiocre					12600	5600
		Médiocre-Mauvais					30100	12100

<sup>1</sup> Pour le Phosphore total, le fait de prendre en compte la valeur médiane peut parfois conduire, selon les mesures disponibles, à des valeurs faibles et non délassantes en contradiction avec l'état biologique donné par l'indice IPLAC. Dans ces cas, une expertise sur la distribution des valeurs de phosphore total est à réaliser et les valeurs seuils de phosphore total calculées pourront être considérées à titre indicatives.

<sup>2</sup> Pour les nitrates :

- Ces valeurs seuils s'appliquent aux plans d'eau dont le temps de résidence est supérieur ou égal à 30 jours. Néanmoins, pour ces plans d'eau, il est possible de déroger à ces valeurs seuils lorsque l'ensemble des indicateurs biologiques témoignent de façon robuste d'un état bon ou très bon et lorsque les pressions anthropiques, sur le bassin versant affectant la teneur en nitrates du plan d'eau considéré, sont nulles ou faibles. Dans ces conditions, il conviendra de ne pas dépasser la valeur seuil de 13 mg/l comme limite bon/moyen pour la valeur maximale annuelle en nitrates.
- Pour les plans d'eau dont le temps de résidence est inférieur à 30 jours, ce sont les seuils applicables aux cours d'eau qui s'appliquent (cf. tableau 37).

Voici les différentes valeurs seuils calculées à partir de la profondeur moyenne du lac de la Crégut (9,3 m).



**Valeurs seuils de la profondeur du Secchi (m) selon l'arrêté du 27 juillet 2015**

Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
1.98	1.62	1.19	0.87	

**Valeurs seuils du phosphore total (mg P/L) selon l'arrêté du 27 juillet 2015**

Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
0.022	0.031	0.044	0.062	

**Valeurs seuils de l'ammonium (mg NH<sub>4</sub>/L) selon l'arrêté du 27 juillet 2015**

Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
0.118	0.168	0.221	0.291	

Paramètres par élément de qualité	Limites des classes d'état			
	Très bon / Bon	Bon / Moyen	Moyen / Médiocre	Médiocre / Mauvais
<b>Bilan de l'oxygène <sup>1</sup></b>				
Présence ou absence d'une désoxygénation de l'hypolimnion en % du déficit observé entre la surface et le fond pendant la période estivale (pour les lacs stratifiés)	*	50	*	*
Salinité	*			
Acidification				
Température				
<sup>1</sup> Bilan de l'oxygène : Paramètre et limite donnés à titre indicatif (CEMAGREF). L'élément de qualité est classé en état bon si la désoxygénation est inférieure à 50%. * pas de valeurs établies, à ce stade des connaissances ; seront fixées ultérieurement				

L'Ilox, indice de saturation en oxygène, peut être pris en compte à titre complémentaire afin de conforter l'évaluation de l'état de l'élément de qualité relatif au bilan d'oxygène.

Ces paramètres et valeurs seuils sont applicables dès lors que les protocoles de prélèvements et d'analyse sont conformes à ceux prescrits dans l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement. Les paramètres sont mesurés sur un échantillon intégré sur la zone euphotique (2,5 fois la transparence au disque de Secchi) au point de plus grande profondeur du plan d'eau, conformément aux dispositions de ce même arrêté.

La classification de l'état physico-chimique prend en compte les données acquises conformément aux dispositions de l'article 12 du présent arrêté. La classification de l'état physico-chimique des plans d'eau s'établit de la manière suivante :

- lorsque le plan d'eau fait l'objet d'une seule année de suivis au cours de la période à prendre en compte au titre de l'article 12, la classification s'établit en comparant aux valeurs du tableau n° 50 :
  - la médiane des valeurs observées pour le phosphore total et la profondeur du disque de Secchi ;
  - la valeur maximale pour l'ammonium et les nitrates ;
- lorsque le plan d'eau fait l'objet de plusieurs années de suivis au cours de la période à prendre en compte au titre de l'article 12, la classification s'établit en comparant aux valeurs du tableau n° 50 les valeurs médianes des évaluations annuelles telles que calculées ci-dessus.

Lorsque les concentrations mesurées pour un paramètre sont inférieures à sa limite de quantification, la valeur de la concentration à prendre en compte est celle de la limite de quantification de ce paramètre divisée par deux.

### Phytoplancton

L'indice biologique phytoplanctonique à utiliser est l'IPLAC (indice phytoplanctonique lacustre) applicable aux lacs naturels et aux plans d'eau artificiels de métropole. Il est constitué de deux métriques :



- Biomasse phytoplanctonique totale : chlorophylle a
- Abondance et composition taxonomique

La classification de l'état pour l'élément phytoplanctonique s'établit en calculant la moyenne des EQR puis en comparant cette moyenne aux limites de classes indiquées dans le Tableau 27.

*Tableau 27 : Valeurs des limites de classes d'état exprimées en EQR pour l'indice phytoplanctonique lacustre (IPLAC)*

ÉLÉMENTS DE QUALITÉ	INDICE	LIMITES DES CLASSES D'ÉTAT en EQR			
		Très bon/Bon	Bon/Moyen	Moyen/Médiocre	Médiocre/Mauvais
Phytoplancton	IPLAC (indice planctonique lacustre)	0,8	0,6	0,4	0,2