



Juin 2017

Suivi environnemental du lac de la Crégut (2016-2017)



ATHOS ENVIRONNEMENT
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 (2016-2017)

MOTS-CLES : La Crégut, Le Tact, turbidité, MES, suivi continu, Eau Verte, Tarentaine

DATE D'EDITION : Avril 2017

STATUT : Confidentiel – document de travail

NOMBRE D'EXEMPLAIRES EDITES : 0

NOMBRE DE PAGES : 96

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

		Prélèvements	Laboratoire	Rédaction	Relecture	Validation
Directeur	Antoine THOUVENOT	X			X	X
Chef de Projet	Marie Eve MAUDUIT				X	
Chef de Projet	Alban DUMONT	X			X	
Ingénieur de projet	Emeline VALTON			X		
Chargée d'études	Inès MARTIN	X				
Technicien Polyvalent	Gilles DEMAIL	X	X			
Technicien Polyvalent	Benoit GIRE	X	X			
Technicien Polyvalent	David FOLTIER	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

www.athos-environnement.fr



SOMMAIRE

1	CONTEXTE GENERAL	9
2	SUIVI DES FLUX PHYSICO-CHIMIQUES	11
2.1	PRESENTATION DES CINQ SITES DE SUIVI DES FLUX	11
2.2	HYDROLOGIE	15
2.2.1	<i>Principe.....</i>	15
2.2.2	<i>Matériel.....</i>	16
2.2.3	<i>Résultats.....</i>	16
2.3	SUIVI THERMIQUE	18
2.3.1	<i>Matériel et méthode</i>	18
2.3.2	<i>Résultats.....</i>	18
2.4	MATIERES EN SUSPENSION (TURBIDITE).....	19
2.4.1	<i>Principe.....</i>	19
2.4.2	<i>Signal en continu de la turbidité.....</i>	19
2.4.3	<i>Prélèvements manuels et automatiques.....</i>	24
2.4.4	<i>Corrélation Turbidité / Matières en suspension</i>	26
2.4.5	<i>Chroniques brutes de matières en suspension par aménagement.....</i>	32
2.4.6	<i>Bilan des cumuls de MES.....</i>	33
2.5	PHYSICO-CHIMIE DES ENTRANTS ET SORTANTS	40
2.5.1	<i>Fréquence de prélèvement</i>	40
2.5.2	<i>Matériel et méthode</i>	40
2.5.3	<i>Résultats des paramètres physico-chimiques.....</i>	42
2.5.4	<i>Bilan de l'évaluation de l'état écologique pour les éléments physico-chimiques.....</i>	53
3	QUALITE DE L'EAU DU LAC DE LA CREGUT.....	56
3.1	STATIONS DE SUIVI.....	56
3.2	FREQUENCE DE PRELEVEMENT	56
3.3	MATERIEL ET METHODE	57
3.3.1	<i>Les profils verticaux.....</i>	57
3.3.2	<i>Les prélèvements physico-chimiques.....</i>	57
3.3.3	<i>L'analyse phytoplanctonique.....</i>	57
3.3.4	<i>Le référentiel d'interprétation</i>	58
3.4	RESULTATS DES PROFILS VERTICAUX.....	59
3.5	RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES.....	62
3.5.1	<i>Paramètres phosphorés</i>	62
3.5.2	<i>Paramètres azotés.....</i>	63
3.5.3	<i>Matières organiques</i>	65
3.5.4	<i>Demande biologique en oxygène</i>	66
3.6	RESULTATS DE L'ANALYSE PHYTOPLANCTONIQUE.....	67
3.6.1	<i>Dénombrement du phytoplancton</i>	67
3.6.2	<i>Chlorophylle a et phéopigments.....</i>	70
3.6.3	<i>Indice Phytoplanctonique LACustre</i>	72
3.7	CLASSIFICATION TROPHIQUE DE L'OCDE (VOLLENWEIDER ET KEREKES).....	73
5	CONCLUSIONS.....	74



ANNEXE 1 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES SONDES DE NIVEAU CNR PARATRONIC ET ENREGISTREUR MAC 10R	77
ANNEXE 2 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES CAPTEURS DE TURBIDITE AQUALOGGER 210 TY	82
ANNEXE 3 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES CAPTEURS DE TEMPERATURE MINILOG II	83
ANNEXE 4 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA SONDE YSI EXO1	84
ANNEXE 5 : CHRONIQUES DE TEMPERATURES PAR SITE DE SUIVI	88
ANNEXE 6 : CHRONIQUE DE TURBIDITE ET DE DEBITS PAR AMENAGEMENTS	90
ANNEXE 7 : EXTRAIT DE L'ARRETE DU 27 JUILLET 2015 POUR LES RIVIERES	93
ANNEXE 8 : EXTRAIT DE L'ARRETE DU 27 JUILLET 2015 POUR LES PLANS D'EAU	94



Table des Figures

Figure 1 : Localisation des stations (Source : Géoportail®, ATHOS Environnement).....	11
Figure 2 : Détermination des débits par station de mesure	15
Figure 3 : Capteur de niveau d'eau de la station sortie Lac (à droite) / déchargement de l'enregistreur (à gauche) (Source : ATHOS Environnement).....	16
Figure 4 : Chronique de débit en entrée et en sortie du lac de la Crégut (Source ATHOS Environnement).....	17
Figure 5 : Photographie d'un capteur de température et spécifications (Source : ATHOS Environnement, Vemca)	18
Figure 6 : Description du capteur de turbidité AQUALOGGER 210 TY et de son fonctionnement (Source : ATHOS Environnement).....	19
Figure 7 : Installation en place à l'entrée du lac de la Crégut (Source : ATHOS Environnement).....	20
Figure 8 : Photographies de capteurs de turbidité encrassés (Source : ATHOS Environnement)	21
Figure 9 : Exemple de valeurs brutes de turbidité et débit mesurées du 11/01/2016 au 10/02/2016 en sortie Crégut permettant de voir l'efficacité de la maintenance sur le capteur de turbidité (Source : ATHOS Environnement).....	22
Figure 10 : Schéma de la procédure réalisée lors du traitement des données brutes de turbidité (Source : ATHOS Environnement).....	23
Figure 11 : Répartition des sorties terrain par rapport au contexte hydrologique.....	24
Figure 12 : Préleveur automatique déployé sur alerte débit durant l'hiver 2014-2015 (Source : ATHOS Environnement).....	25
Figure 13 : Schéma de la procédure réalisée lors de la construction des relations MES/Turbidité (Source : ATHOS Environnement).....	27
Figure 14 : 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	28
Figure 15 : Test d'homogénéité de Pettitt des chroniques de débit.....	29
Figure 16 : Relation MES/Turbidité Entrée Crégut et Entrée Tact.....	29
Figure 17 : Relation MES/turbidité utilisée pour Sortie Crégut	30
Figure 18 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Eau Verte.....	30
Figure 19 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Tarentaine	30
Figure 20 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Entrée Tact	31
Figure 21 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Entrée Crégut	31
Figure 22 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Entrée Tact/ Entrée Crégut/ Sortie Tact	31
Figure 23 : Test d'homogénéité de Pettitt des chroniques des concentrations en MES à l'Entrée de la Crégut ...	32
Figure 24 : Cumuls de MES en tonnes d'avril 2016 à avril 2017 sur les stations rivière	34
Figure 25 : Concentration en MES et débit sur la Tarentaine et l'Eau verte pour les séquences 1, 2 et 3.....	35
Figure 26 : Concentration en MES et débit sur la Tarentaine et l'Eau verte pour la séquence 4	36
Figure 27 : Cumuls de MES en tonnes d'avril 2015 à avril 2016 sur les stations lac	36
Figure 28 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 1	37
Figure 29 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 2	37
Figure 30 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 3	37
Figure 31 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 4	38
Figure 32 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 5	38
Figure 34 : Résultats de la température, du pH et de l'oxygène dissous relevées sur les cinq stations du suivi ...	42
Figure 35 : Résultats du taux de saturation en oxygène et de la conductivité sur les cinq stations du suivi.....	43
Figure 36 : Résultats des concentrations en ammonium sur les cinq station du suivi.....	44
Figure 37 : Résultats des concentrations en nitrates sur les cinq station du suivi.....	45
Figure 38 : Résultats des concentrations en nitrites sur les cinq station du suivi.....	46



Figure 39 : Résultats des concentrations en azote Kjeldahl sur les cinq station du suivi	47
Figure 40 : Résultats des concentrations en orthophosphates sur les cinq station du suivi.....	48
Figure 41 : Résultats des concentrations en phosphore total sur les cinq station du suivi.....	49
Figure 42 : Résultats des concentrations en carbone organique dissous sur les cinq station du suivi	50
Figure 43 : Résultats des concentrations en carbone organique total sur les cinq station du suivi	51
Figure 44 : Résultats des concentrations en matières en suspension sur les cinq station du suivi.....	52
Figure 45 : Station de suivi lacustre sur le lac de la Crégut (Source : EDF, ATHOS Environnement).....	56
Figure 46 : Résultats des profils verticaux de la station A.....	60
Figure 47 : Résultats des profils verticaux de la station B	61
Figure 48 : Résultats des concentrations en phosphore total des stations A et B.....	62
Figure 49 : Résultats des concentrations en orthophosphates des stations A et B	62
Figure 50 : Résultats des concentrations en ammonium des stations A et B	63
Figure 51 : Résultats des concentrations en nitrates des stations A et B	63
Figure 52 : Résultats des concentrations en nitrites des stations A et B	64
Figure 53 : Résultats des concentrations en azote Kjeldahl des stations A et B.....	64
Figure 54 : Résultats des concentrations en carbone organique dissous des stations A et B.....	65
Figure 55 : Résultats des concentrations en matières en suspensions des stations A et B	65
Figure 56 : Résultats des concentrations en DBO5 des stations A et B	66
Figure 57 : Abondance phytoplanctonique des stations A et B.....	67
Figure 58 : Abondance totale en cyanobactéries et en cyanobactéries toxigènes sur la station A et la station B.	68
Figure 59 : Biomasse phytoplanctonique des stations A et B.....	70
Figure 60 : Résultats de la concentration en chlorophylle a et en phéopigments sur les stations A et B.....	71



Table des Tableaux

<i>Tableau 1 : Synthèse des températures de l'eau par site de suivi</i>	19
<i>Tableau 2 : Synthèses des données brutes validées et perdues</i>	23
<i>Tableau 3 : Synthèse des analyses MES réalisées en laboratoire et exploitables par aménagement</i>	25
<i>Tableau 4 : Moyennes, minimum et maximum des concentrations en MES par aménagement</i>	32
<i>Tableau 5 : Bilan des cumuls par aménagement</i>	39
<i>Tableau 6 : Heures et dates de prélèvement des échantillons prélevés en rivière</i>	40
<i>Tableau 7 : Caractéristiques techniques de la sonde utilisée</i>	40
<i>Tableau 8 : Normes et limites de quantification des paramètres analysés (Source : CARSO)</i>	41
<i>Tableau 9 : Paramètres physico-chimiques et valeurs des classes de qualité pour les cours d'eau (Source : Arrêté du 27 juillet 2015)</i>	41
<i>Tableau 10 : Classes de qualité de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	41
<i>Tableau 11 : Comparaison des paramètres température, pH et oxygène dissous aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	42
<i>Tableau 12 : Comparaison des paramètres taux de saturation et conductivité aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	43
<i>Tableau 13 : Comparaison du paramètre ammonium aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	44
<i>Tableau 14 : Comparaison du paramètre nitrate aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	45
<i>Tableau 15 : Comparaison du paramètre nitrite aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	46
<i>Tableau 16 : Comparaison du paramètre orthophosphates aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	48
<i>Tableau 17 : Comparaison du paramètre phosphore aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	49
<i>Tableau 18 : Comparaison du paramètre carbone organique dissous aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i> ...	50
<i>Tableau 19 : Bilan des comparaisons des concentrations des différents paramètres selon l'arrêté du 27 juillet 2015 pour chaque station</i>	53
<i>Tableau 20 : Evaluation de l'état écologique pour les paramètres physico-chimiques du suivi 2016-2017 selon l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	54
<i>Tableau 21 : Heures et dates de prélèvement des échantillons prélevés en lac (Source : ATHOS Environnement)</i>	57
<i>Tableau 22 : Normes et limites de quantification des paramètres analysés pour les analyses lacustres (Source : Carso)</i>	57
<i>Tableau 23 : Classes de qualité de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	58
<i>Tableau 24 : Classification trophique de l'OCDE (Source : Wollenweider et Kerekes)</i>	58
<i>Tableau 25 : Comparaison des résultats de transparence et d'oxygénation aux valeurs seuil de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	59
<i>Tableau 26 : Comparaison des concentrations en phosphore total aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	62
<i>Tableau 27 : Comparaison des concentrations en ammonium aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	63
<i>Tableau 28 : Comparaison des résultats de nitrates aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	63
<i>Tableau 29 : Abondance totale en cyanobactéries, abondance des cyanobactéries toxigènes et identification des genres dominants par campagne</i>	68
<i>Tableau 30 : Niveaux de risques liés aux cyanobactéries (Source : ATHOS Environnement, ARS Auvergne, délégation 63)</i>	69
<i>Tableau 31 : Validation des contraintes pour le calcul de l'IPLAC</i>	72
<i>Tableau 32 : Résultats du calcul de l'IPLAC (sans contraintes) pour le suivi 2016-2017</i>	72
<i>Tableau 33 : Résultats de la classification de l'OCDE</i>	73
<i>Tableau 34 : Débits moyens mesurés en Entrée Crégut</i>	74
<i>Tableau 35 : Bilan de MES dans le lac de la Crégut pour les différentes années de suivi</i>	75
<i>Tableau 36 : Valeurs des limites des classes d'état pour les paramètres physico-chimiques généraux pour les cours d'eau</i>	93



<i>Tableau 37 : Paramètres physico-chimiques des éléments nutriments et transparence et calculs des valeurs seuils.....</i>	<i>94</i>
<i>Tableau 38 : Valeurs des limites de classes d'état exprimées en EQR pour l'indice phytoplanctonique lacustre (IPLAC).....</i>	<i>96</i>



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 Lastiouilles 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 2016 s'appuie sur un renforcement des suivis réalisés depuis 2013, 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 hydro-électrique de la Haute-Tarentaine.

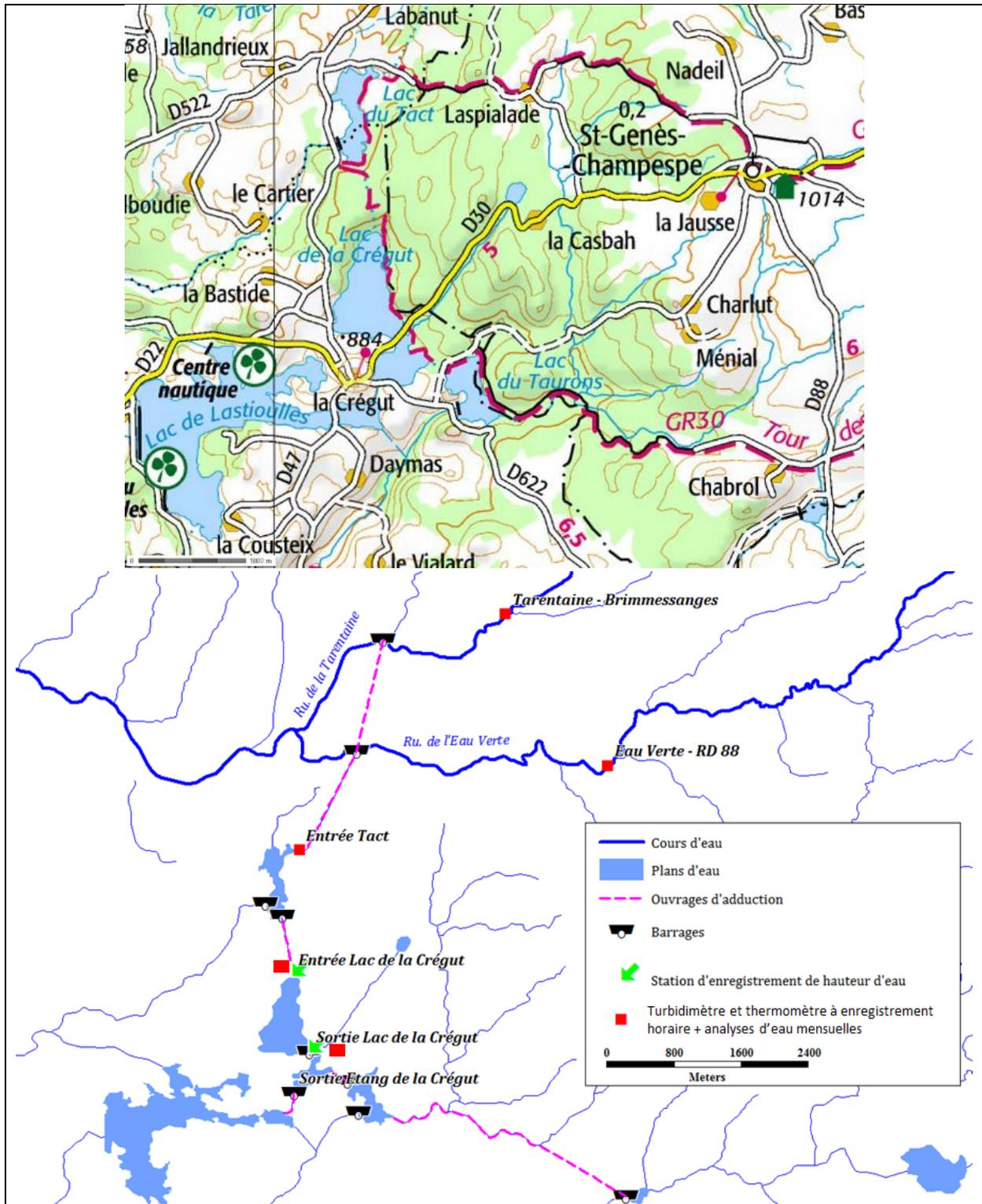
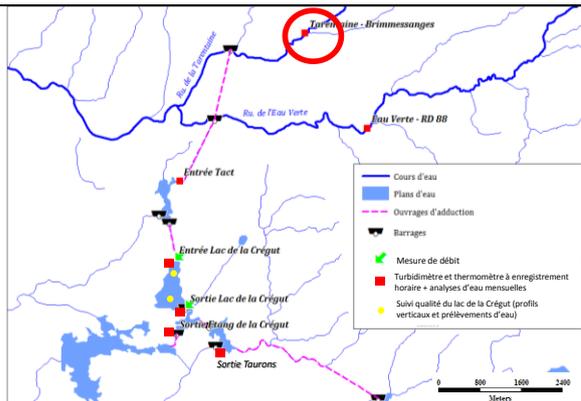


Figure 1 : Localisation des stations (Source : Géoportail®, ATHOS Environnement)



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 (Lieu-dit Pont de Plaine).

Méta données :

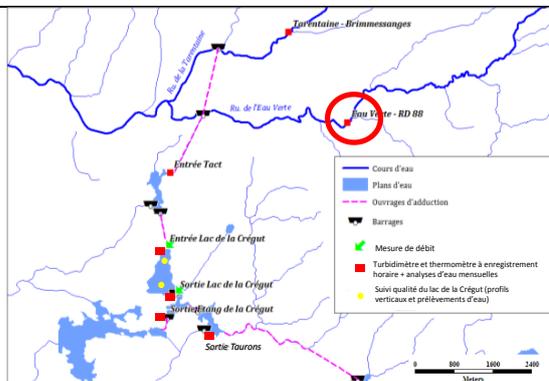
Coordonnées GPS (L93 en m) : X = 677 405.45 Y = 6 483 708.17

Altitude (mNGF) : 934 m

Mise en service : 08/04/2013

Perturbations rencontrées : Le 17 novembre 2016, le bouchon du tube PVC a été retrouvé cassé, son remplacement a été effectué le jour même. Le 5 janvier 2017, le turbidimètre a été arrêté et ramené à l'atelier pour une maintenance annuelle. En raison des eaux gelées et des niveaux trop importants, la réinstallation a été effectuée le 16 mars 2017.

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 (Lieu-dit Labessade).

Méta données :

Coordonnées GPS (L93) : X = 678 608.7 Y = 6 481 906.5

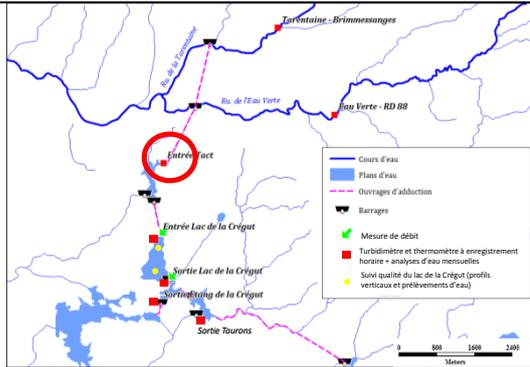
Altitude (mNGF) : 960m

Mise en service : 08/04/2013

Perturbations rencontrées : Le 13 décembre 2016, le turbidimètre a été arrêté et déplacé à l'Entrée de la Crégut. Le 5 janvier, le turbidimètre a été arrêté et ramené à l'atelier pour une maintenance annuelle. En raison des eaux gelées et des niveaux trop importants, la réinstallation a été effectuée le 16 mars 2017.



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 :

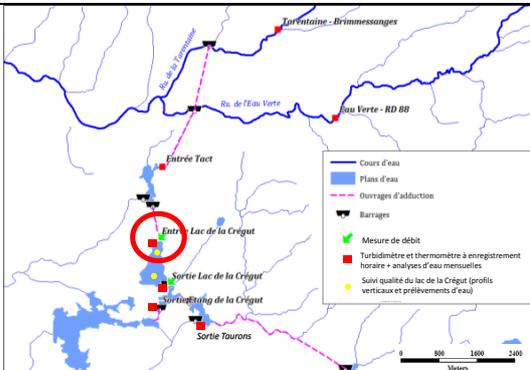
Coordonnées GPS (L93) : X = 675 057.53 Y = 6 480 943.41

Altitude (mNGF) : 885m

Mise en service : 05/04/2013

Perturbations rencontrées : Le 5 janvier, le turbidimètre a été arrêté et ramené à l'atelier pour une maintenance annuelle. Lors de la repose le 06 janvier, le tube PVC était cassé. Le tube et le turbidimètre ont donc été réinstallés le 14 février 2017.

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

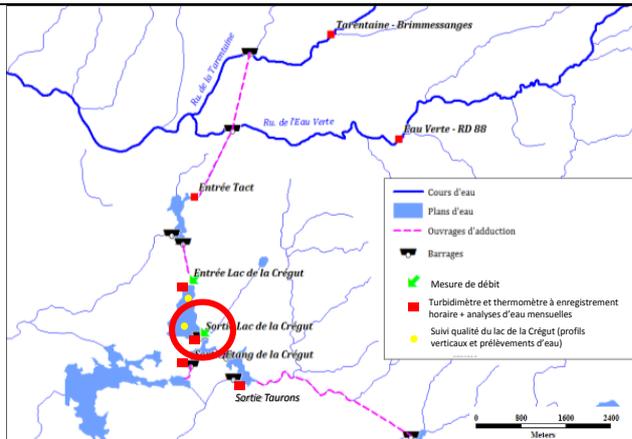
Mise en service : 05/04/2013

Perturbations rencontrées : Encrassement estival (périphyton). Le 11 août, le capteur a été descendu pour éviter qu'ils ne soient hors d'eau. Le 13 décembre, le capteur fut démonté et ramené à l'atelier pour une maintenance. Ce même jour, le capteur de l'Eau Verte a été démonté puis installé au



niveau de l'Entrée Crégut. Le capteur initial de l'Entrée Crégut a été réinstallé le 06 janvier.

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 5 janvier, le turbidimètre a été arrêté et ramené à l'atelier pour une maintenance annuelle, il a été remplacé le 6 janvier 2017.

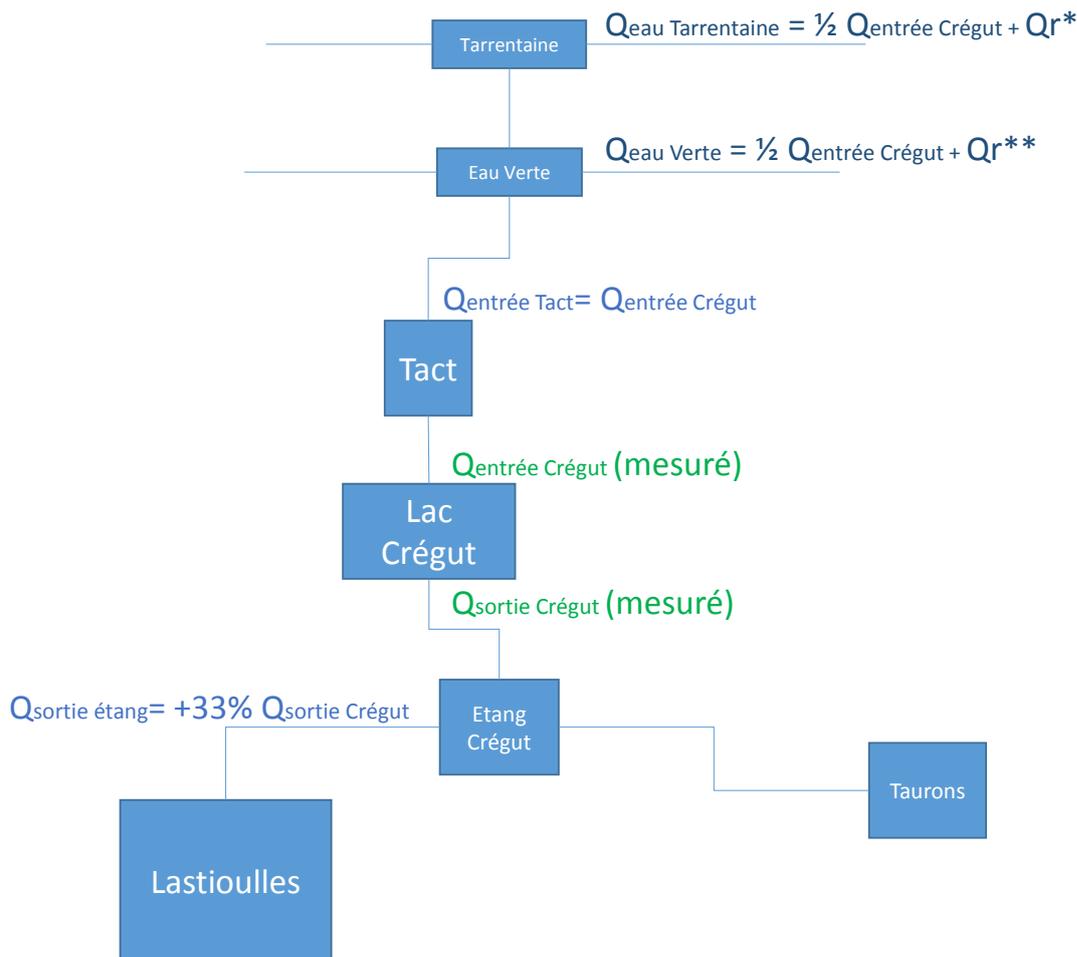


2.2 HYDROLOGIE

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 2016 à Avril 2017. Le débit moyen annuel entrant du lac de la Crégut du 08 avril 2016 au 08 avril 2017 est de **2.74 m³.s⁻¹** (3,04 m³.s⁻¹ en 2015, 3,3 m³.s⁻¹ en 2014, 4,2 m³.s⁻¹ en 2013 et 2 m³.s⁻¹ en 2011). Sur cette même période, le temps de séjour a été calculé selon la formule ci-dessous. Il est d'environ 14 jours.

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

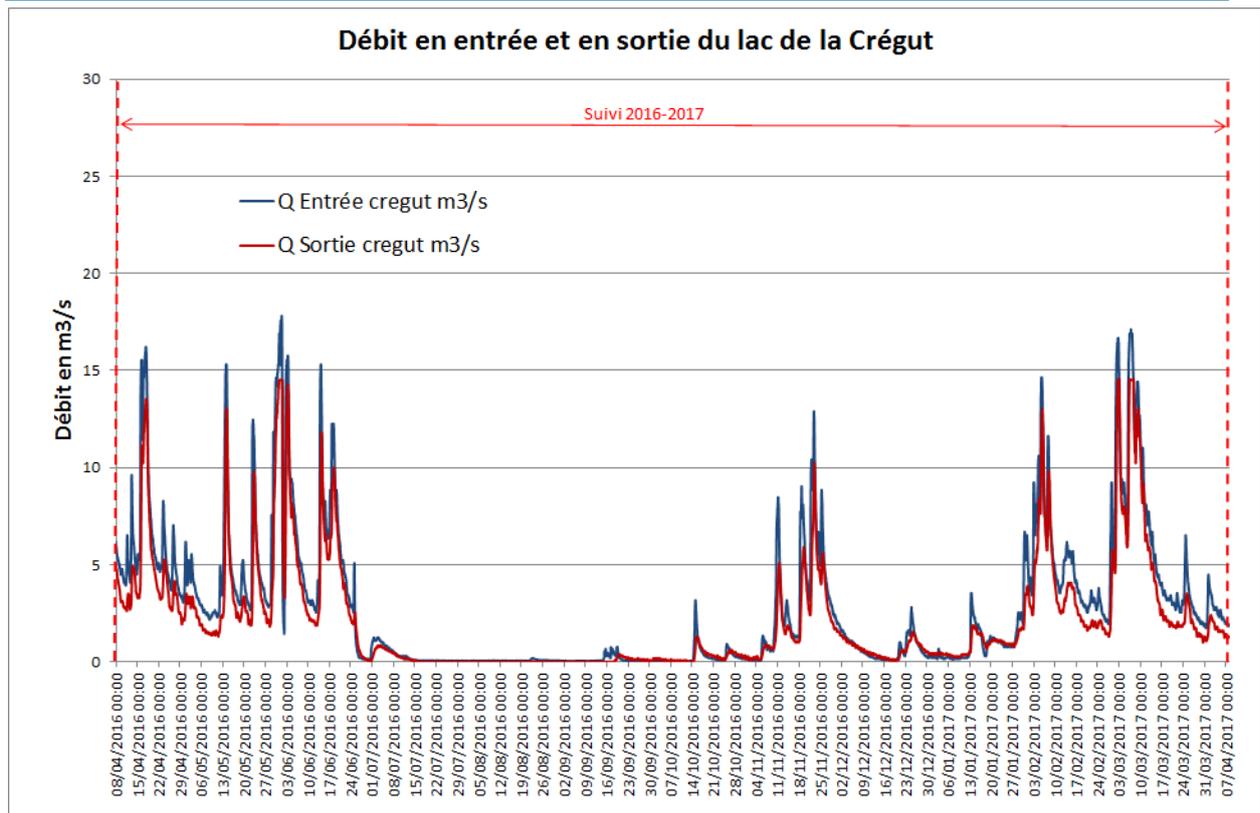


Figure 4 : Chronique de débit en entrée et en sortie du lac de la Crégut (Source ATHOS Environnement)

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 m³/s) – (EDF G. SAYSSET 2006 Barème de tarage N°05A1).

Cette année, un déficit hydrique a été observé durant la période estivale et automnale, avec un débit entrant proche de 0. L'essentiel des apports en eau ont été enregistrés aux mois d'avril et mai



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)		

Figure 5 : Photographie d'un capteur de température et spécifications (Source : ATHOS Environnement, Vemca)

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 -0,03°C sur l'Eau Verte à 28.0°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 11,3°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 et 2015-2016.



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

	Moyenne	Min	Max
Tarentaine	7.7	-0.02	23.8
Eau verte	7.8	-0.03	20.6
Entrée Tact	8.0	0.01	22.6
Entrée Crégut	10.8	0.25	27.1
Sortie Crégut	11.3	1.16	28.0

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 6). 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 (photodiode) 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).

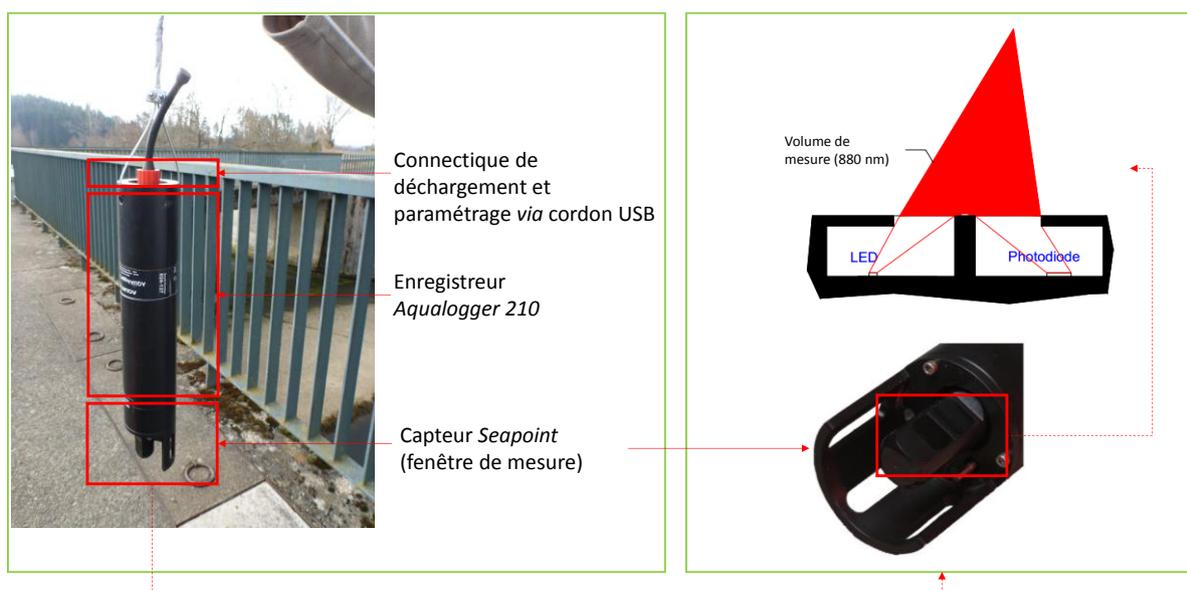


Figure 6 : Description du capteur de turbidité AQUALOGGER 210 TY et de son fonctionnement (Source : ATHOS Environnement)



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 cm² 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 7 : 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, Figure 8) 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 9 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 8 : Photographies de capteurs de turbidité encrassés (Source : ATHOS Environnement)

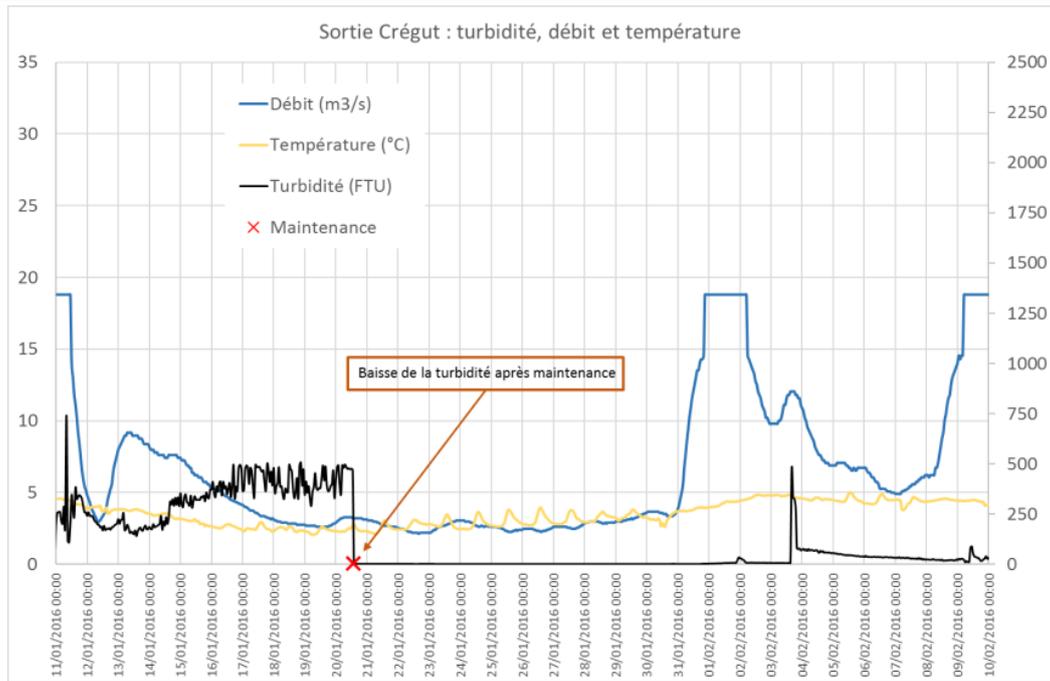


Figure 9 : Exemple de valeurs brutes de turbidité et débit mesurées du 11/01/2016 au 10/02/2016 en sortie Crégut permettant de voir l'efficacité de la maintenance sur le capteur de turbidité (Source : ATHOS Environnement)

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

	Période du 08/04/2016 00h au 08/04/2017 00h		
	Nombre d'enregistrements valides	Nombre d'enregistrements perdus/non valides	% d'enregistrements exploitables
<i>Eau Verte</i>	4913.00	3847.00	21.7%
<i>Tarentaine</i>	6069.00	2691.00	55.7%
<i>Entrée Tact</i>	6500.00	2250.00	65.4%
<i>Entrée Crégut</i>	6517.00	2243.00	65.6%
<i>Sortie Crégut</i>	6438.00	2322.00	63.9%
TOTAL	30437.00	13353.00	56.1%

Concernant les enregistrements de l'Eau Verte et de la Tarentaine, les capteurs ont été désinstallés du 5 janvier au 16 mars pour cause de maintenance puis de conditions climatiques rigoureuse (gel des cours d'eau). Cela représente une perte de 1694 données.

Synthèse du traitement des données brutes de turbidité :

Le premier traitement des données de turbidité consiste à trier les données de FTU extraites 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).

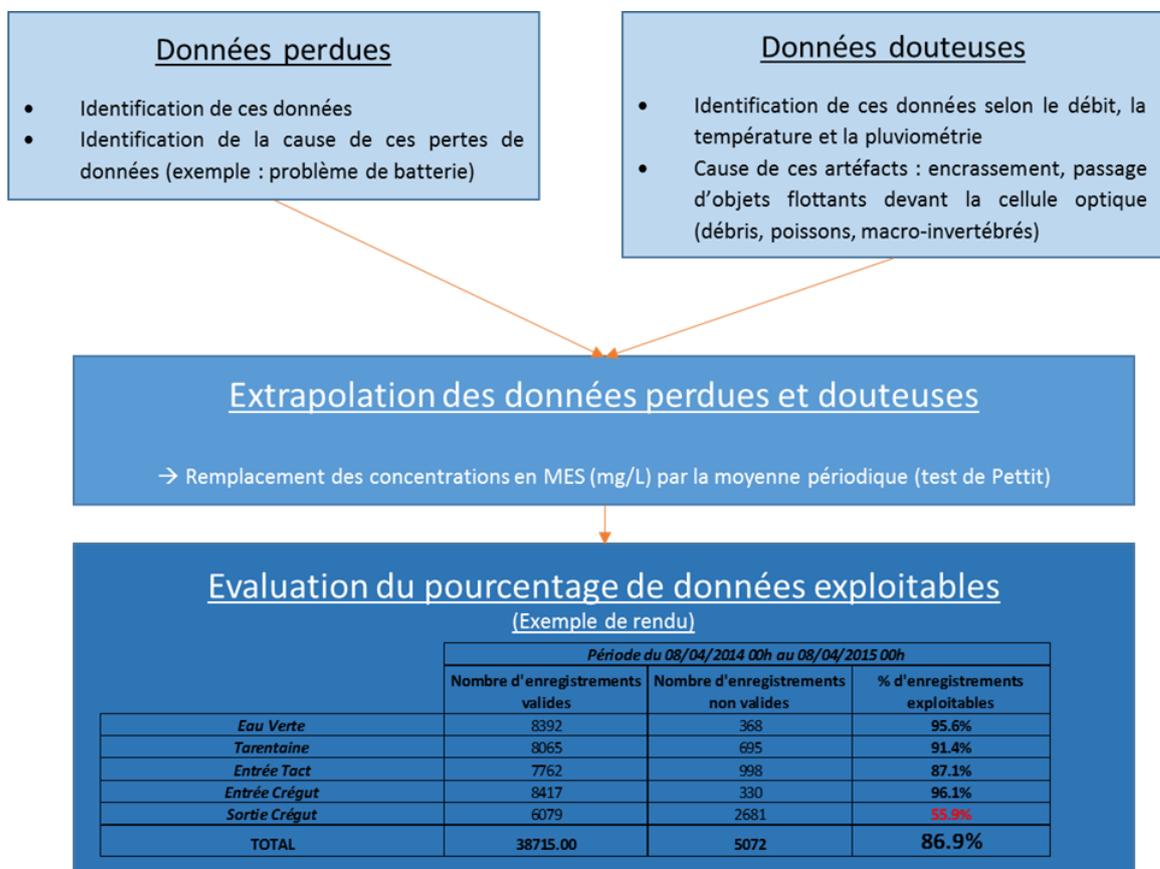


Figure 10 : Schéma de la procédure réalisée lors du traitement des données brutes de turbidité (Source : ATHOS Environnement)



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 11 présente la répartition des sorties terrain dans le contexte hydrologique du lac de la Crégut. L'essentiel des sorties mensuelles (58%) a été réalisé par faible débit (inférieur au débit moyen annuel de $2.74 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

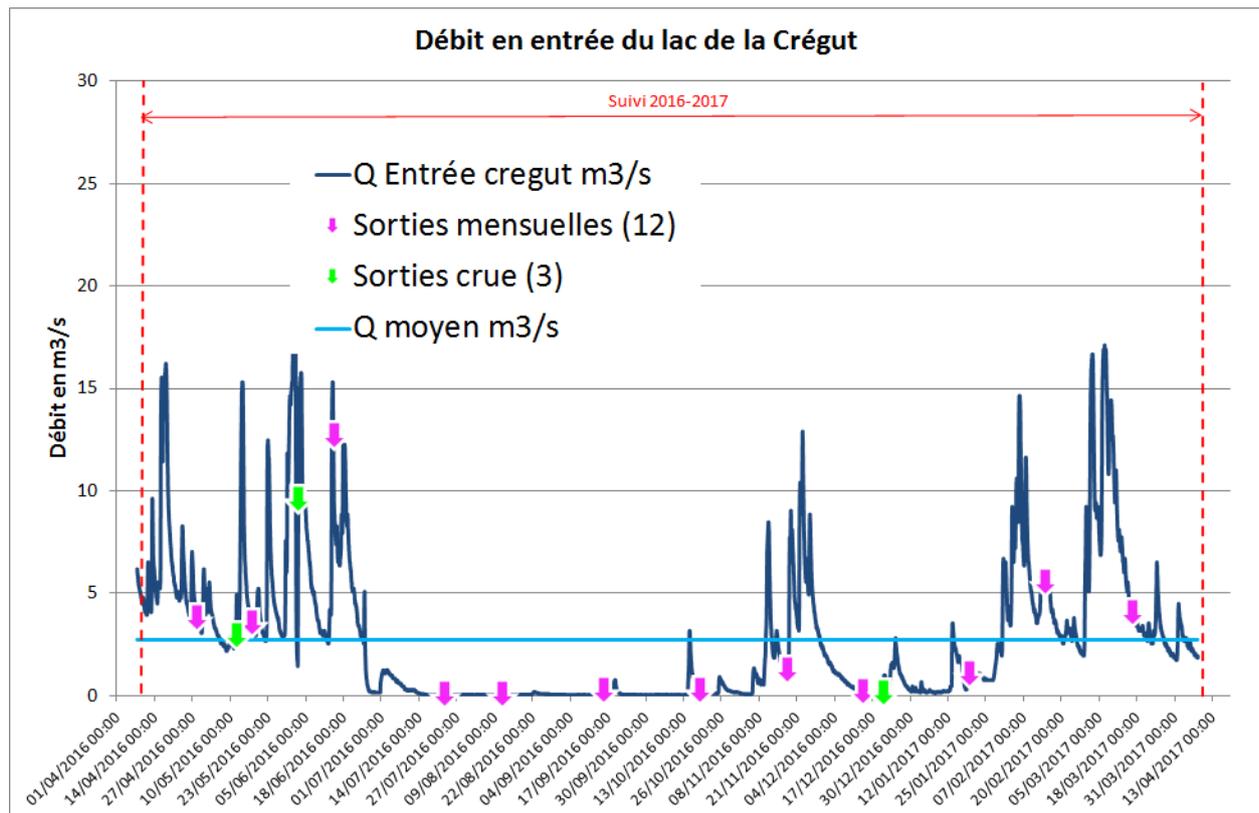


Figure 11 : Répartition des sorties terrain par rapport au contexte hydrologique

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 par le laboratoire CARSO. 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 12 : 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 $24 \times 3 = 72$ échantillons supplémentaires en 24 h.

Cette année, 3 sorties exceptionnelles ont été déclenchées :

- 12/05/2016 et 13/05/2016
- 01/06/2016 et 02/06/2016
- 20/12/2016 et 21/12/2016

2.4.3.3 Résultats bruts 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 4.7 mg/L. Un maximum a été mesuré sur l'Entrée Tact à 51.1 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)	Nombre d'analyses réalisées (2016-2017)	[MES] moyenne (mg/l)	[MES] max (mg/l)	[MES] min (mg/l)
Eau Verte	11	12	50	-	-	-	-
Tarentaine	12	12	51	-	-	-	-
Entrée Tact	22	84	74	69	11.5	51.1	0.0
Entrée Crégut	38	107	74	69	1.6	7.8	0.0
Sortie Crégut	29	107	74	69	1.1	8.9	0.0
TOTAL / Moy.	112	322	323	207	4.7	22.6	0.0



2.4.4 Corrélation Turbidité / Matière 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)

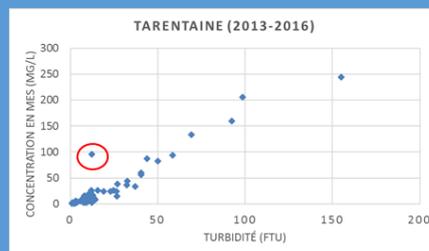
- Issues des sorties exceptionnelles : ces données ont pour objectif d'apporter des valeurs hautes en MES (sorties en période de crue)
- Issues des sorties mensuelles : ces données permettent d'apporter des valeurs supplémentaires pour construire les courbes de corrélations

Données valides de Turbidité

Ces données sont issues du premier traitement

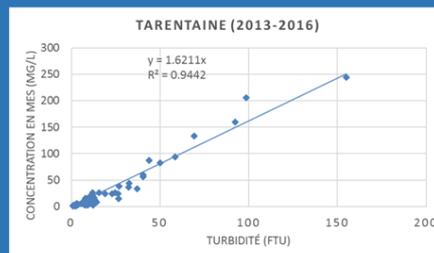
Mise en parallèle des données de MES et de Turbidité

- 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 13 : Schéma de la procédure réalisée lors de la construction des relations MES/Turbidité (Source : ATHOS Environnement)

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 14 présente les différentes relations MES/turbidité établies.

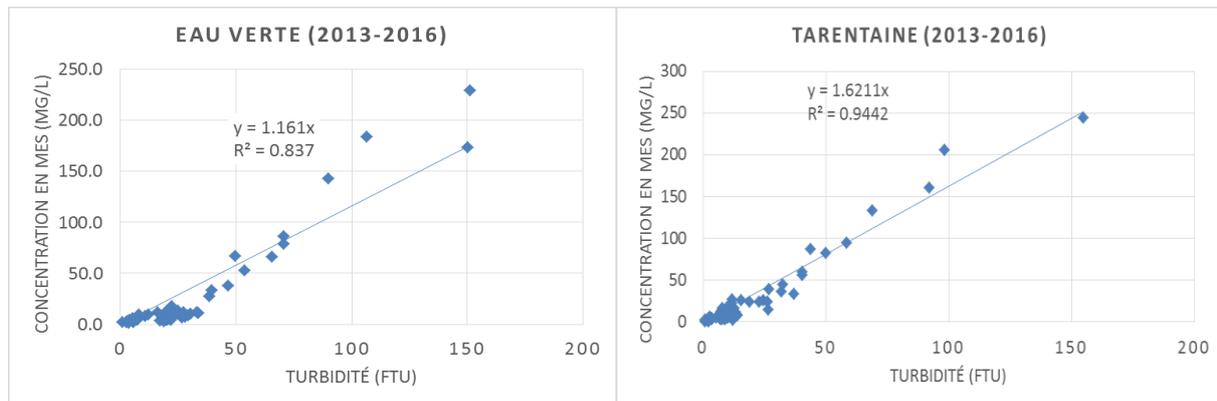


Figure 14 : Relations MES/turbidité Eau verte et Tarentaine utilisées pour la conversion du signal turbidité d'après les données du suivi 2013-2014, 2014-2015 et 2015-2016

Entrée Crégut et Entrée Tact

L'entrée Crégut et l'entrée Tact présentent des relations moins bonnes (R^2 poche 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 soient 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 15 indique :

- qu'entre le 08/04/2016 et le 25/06/2016 la moyenne des débits journaliers est haute (5.89 m³/s).
- et qu'entre le 25/06/2016 au 08/04/2017 les débits moyens ont diminué (1.86 m³/s).

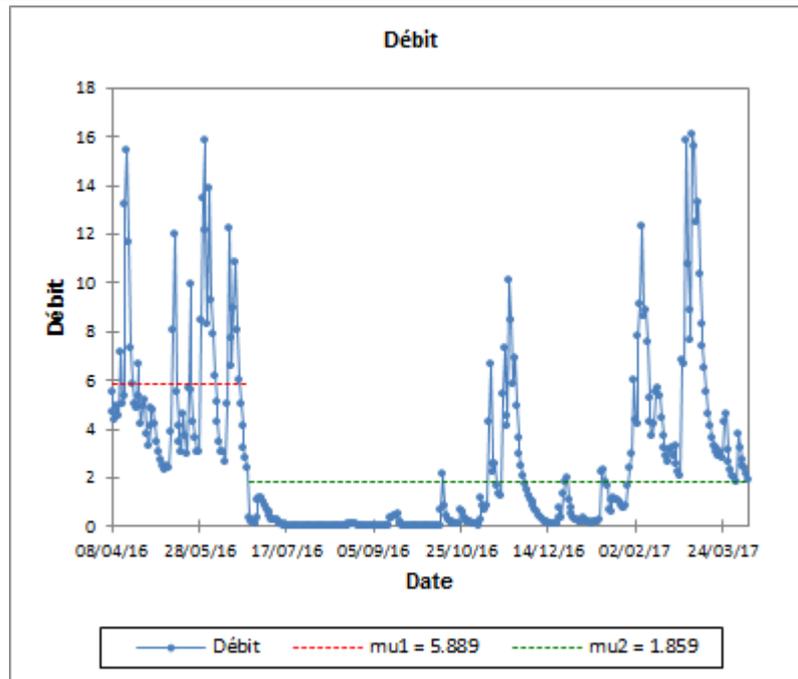


Figure 15 : Test d'homogénéité de Pettitt des chroniques de débit

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.

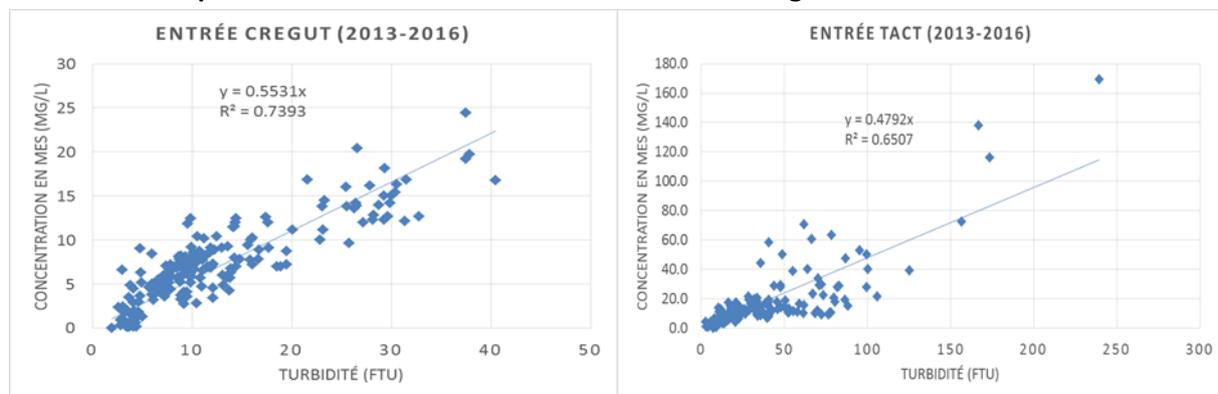


Figure 16 : Relation MES/Turbidité Entrée Crégut et Entrée Tact

Sortie Crégut

Pour la relation turbidité/MES de la station Sortie Crégut, les données acquises au cours du suivi 2016-2017 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 périphytique, 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 », avec les données obtenues entre 2013 et 2016.

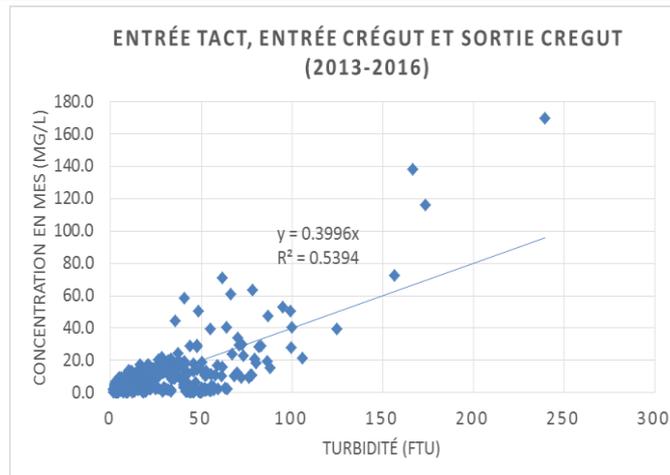


Figure 17 : Relation MES/turbidité utilisée pour Sortie Crégut

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

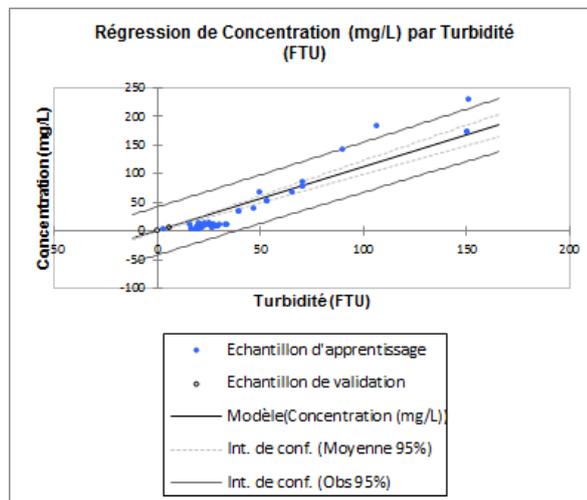


Figure 18 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Eau Verte

- Tarentaine : 3.1 % des valeurs sont hors intervalle de confiance

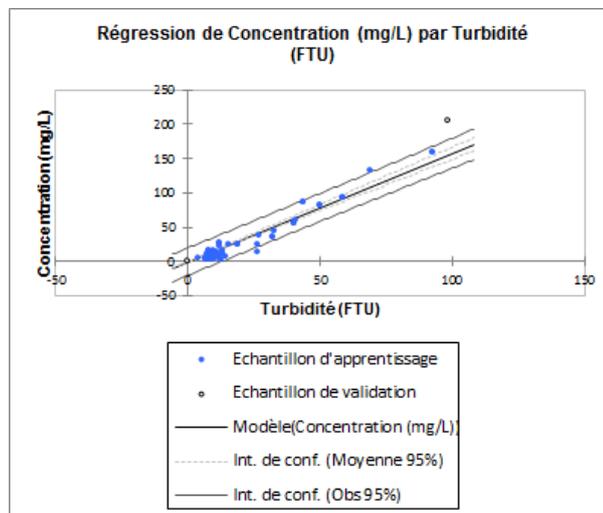


Figure 19 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Tarentaine



- Entrée TACT : 2.7 % des valeurs sont hors intervalle de confiance

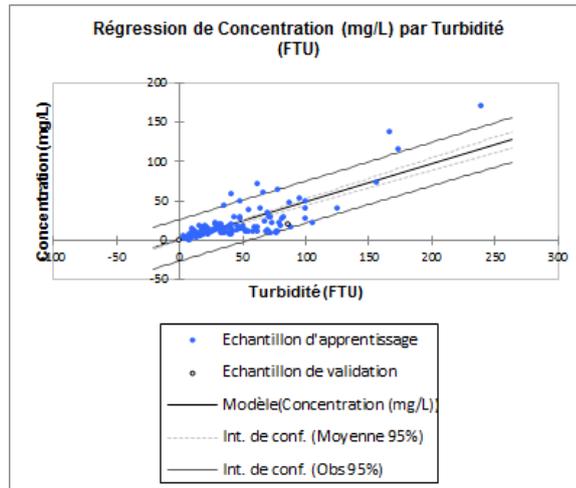


Figure 20 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Entrée Tact

- Entrée CR : 2.9 % des valeurs sont hors intervalle de confiance

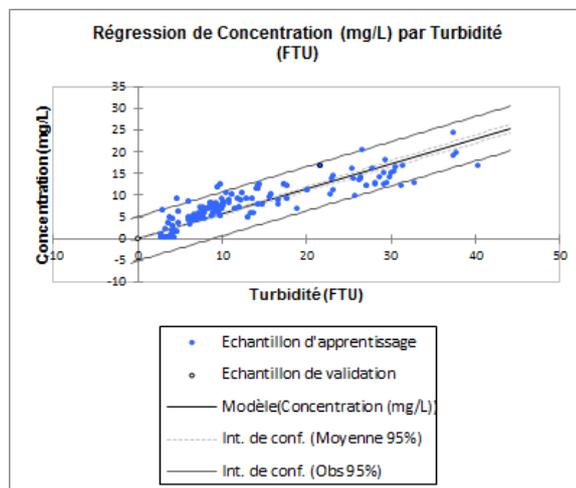


Figure 21 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Entrée Crégut

- Entrée TACT/ Entrée CR/ Sortie CR : 2.1 % des valeurs sont hors intervalle de confiance

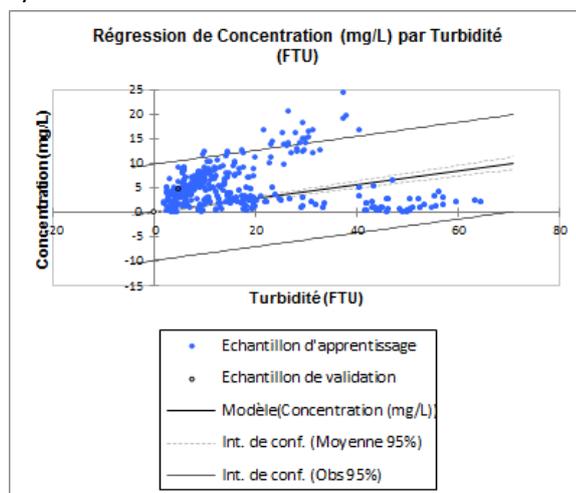


Figure 22 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Entrée Tact/ Entrée Crégut/ Sortie Tact

Nos courbes de corrélation 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 2015-2016 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 mise en évidence par le test de Pettitt (Figure 23) :
 - o la concentration moyenne en MES (4.1mg/L) est faible et plus constante sur la première période (08/04/2016 à 13/10/2016)
 - o à partir du 13/10/2016, la concentration moyenne en MES (9.2 mg/L) a fortement augmenté et les valeurs sont plus variables.

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

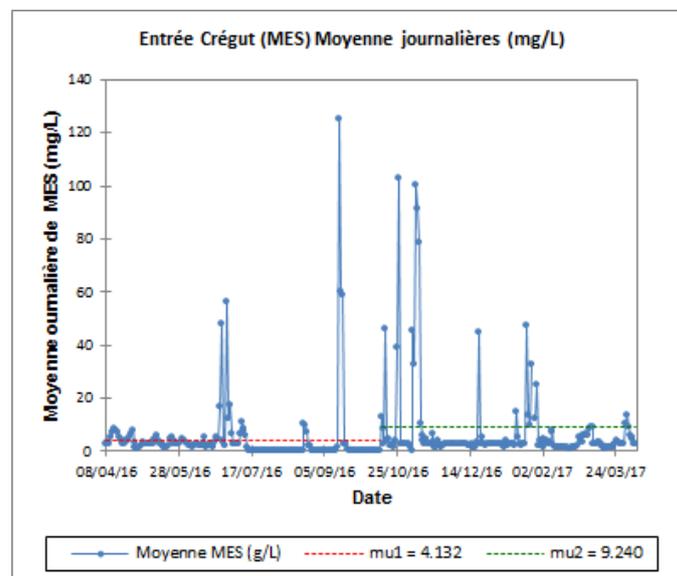


Figure 23 : Test d'homogénéité de Pettitt des chroniques des concentrations en MES à l'Entrée de la Crégut

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 (203.9 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>
Eau verte	9.0	0.0	164.4
Tarentaine	10.1	0.0	203.9
Entrée Tact	5.7	0.0	76.7
Entrée Crégut	2.7	0.0	21.8
Sortie Crégut	2.9	0.0	76.8



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 15 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 2016-2017 avec les suivis des années 2006 et 2011 (suivis mensuels), et les suivis horaires 2014-2015 et 2015-2016, 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 24 présente les cumuls de MES calculés sur la période de suivi (du 08 avril 2016 au 08 avril 2017) sur les stations Tarentaine et Eau verte. Sur la durée du suivi 2016-2017, plusieurs événements 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.

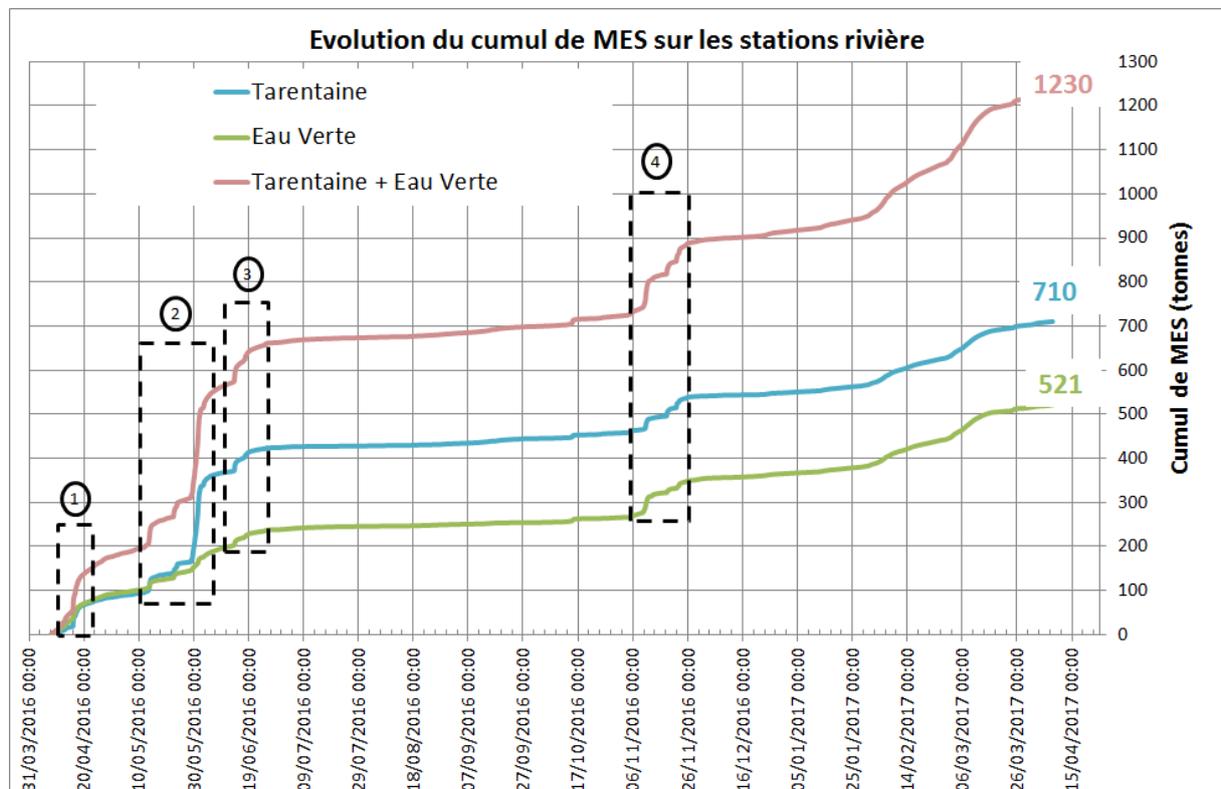


Figure 24 : Cumuls de MES en tonnes d'avril 2016 à avril 2017 sur les stations rivière

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 quatre séquences caractéristiques :

- Séquence 1 : du 09 avril au 20 avril 2016 (Figure 25),
- Séquence 2 : du 9 mai au 07 juin 2016 (Figure 25),
- Séquence 3 : du 11 juin au 26 juin 2016 (Figure 25),
- Séquence 4 : du 15 novembre au 26 novembre 2016 (Figure 26).

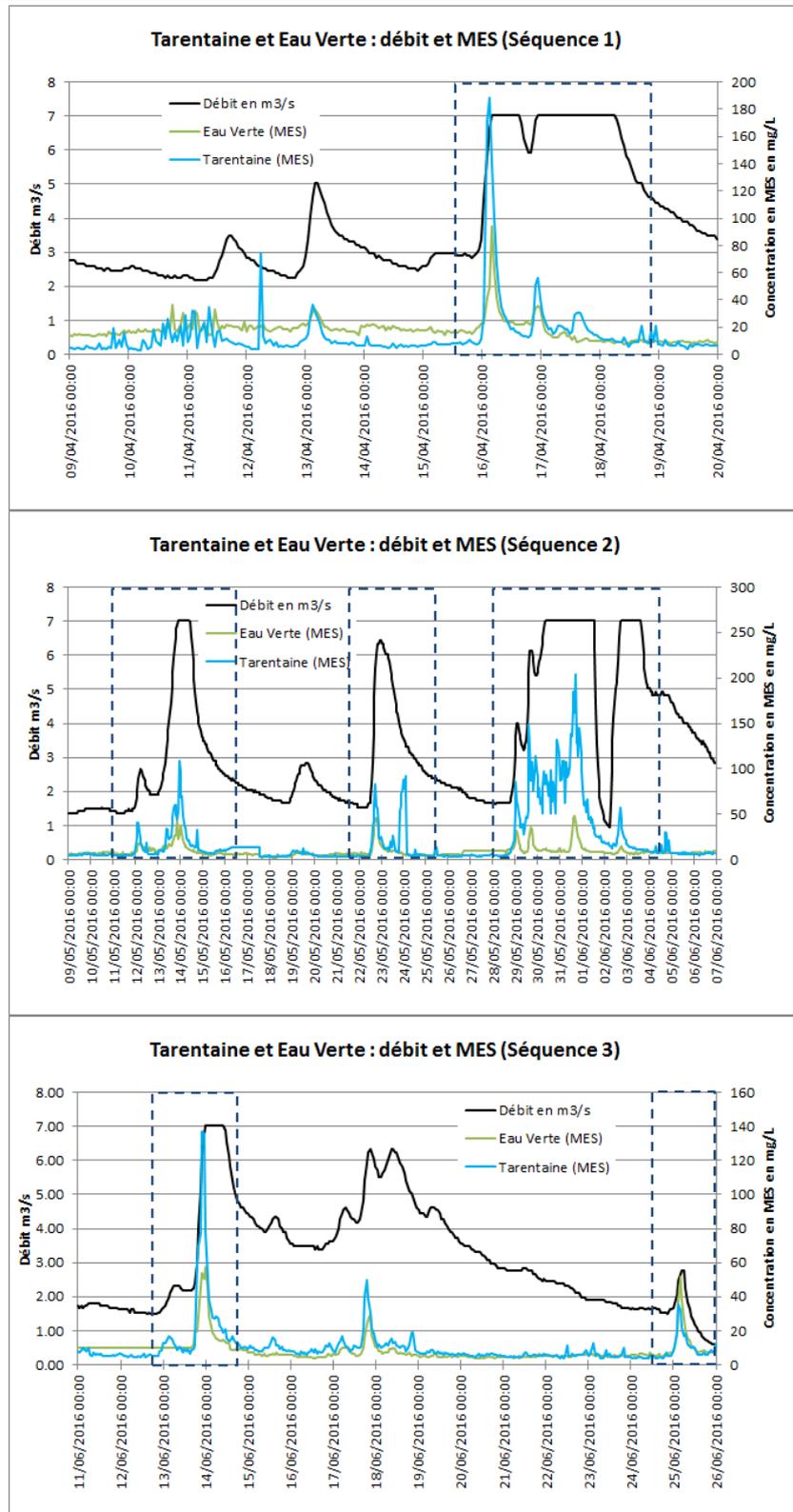


Figure 25 : Concentration en MES et débit sur la Tarentaine et l'Eau verte pour les séquences 1, 2 et 3.

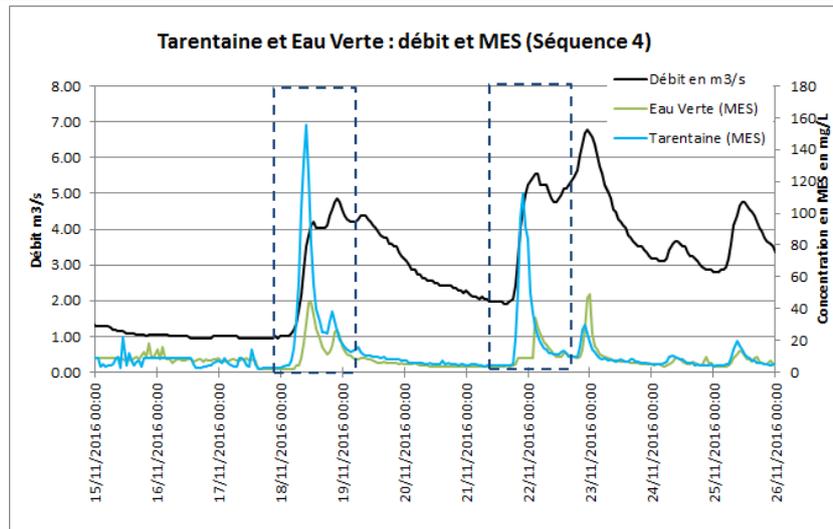


Figure 26 : Concentration en MES et débit sur la Tarentaine et l'Eau verte pour la séquence 4

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 pics 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 27 présente le cumul des concentrations en MES sur la durée du suivi de 2016-2017 pour les stations lac. Des événements distincts ont été identifiés par un encadré en pointillés.

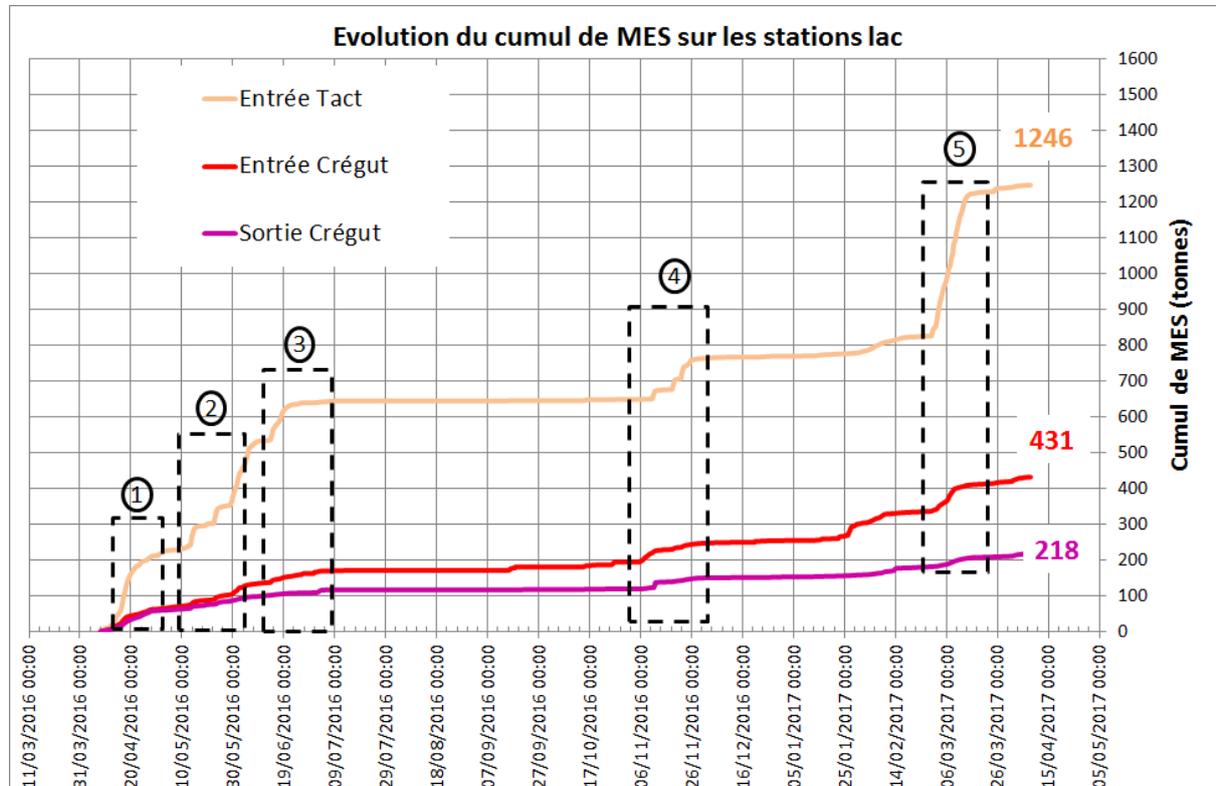


Figure 27 : Cumuls de MES en tonnes d'avril 2016 à avril 2017 sur les stations lac



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 cinq séquences caractéristiques :

- Séquence 1 : du 09 avril au 26 avril 2016 (Figure 28)
- Séquence 2 : du 10 mai au 27 mai 2016 (Figure 29)
- Séquence 3 : du 08 juin au 29 juin 2016 (Figure 30)
- Séquence 4 : du 16 novembre au 01 décembre 2016 (Figure 31)
- Séquence 5 : du 25 février au 24 mars 2017 (Figure 32)

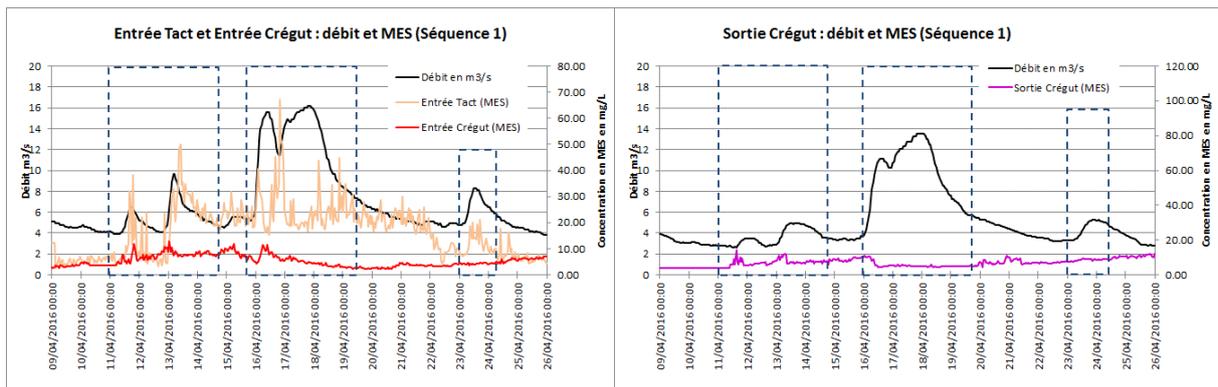


Figure 28 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 1

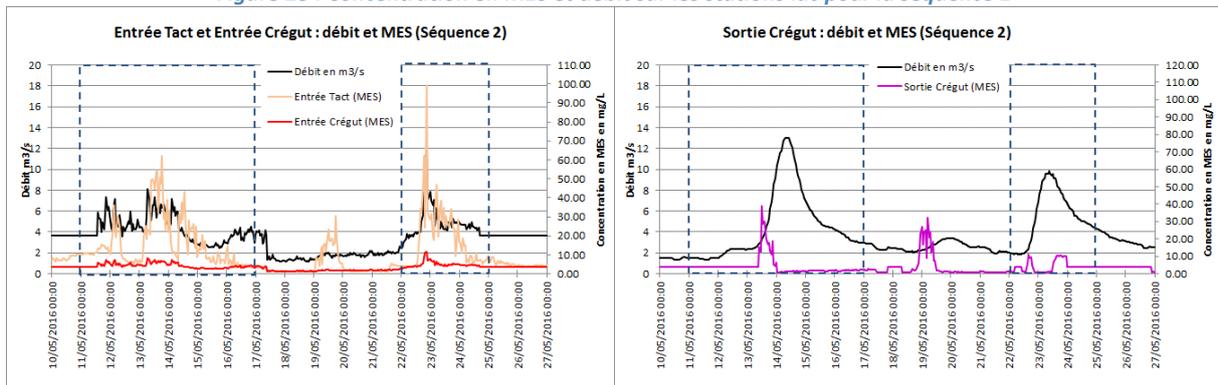


Figure 29 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 2

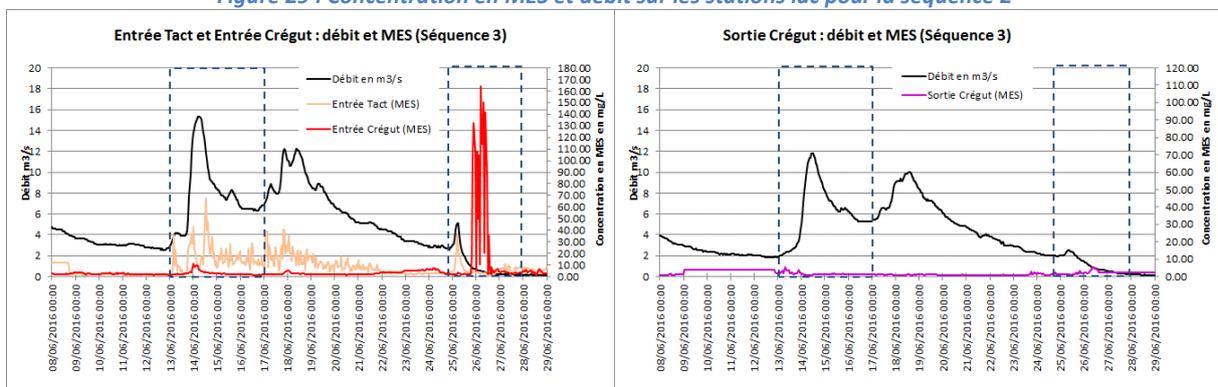


Figure 30 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 3

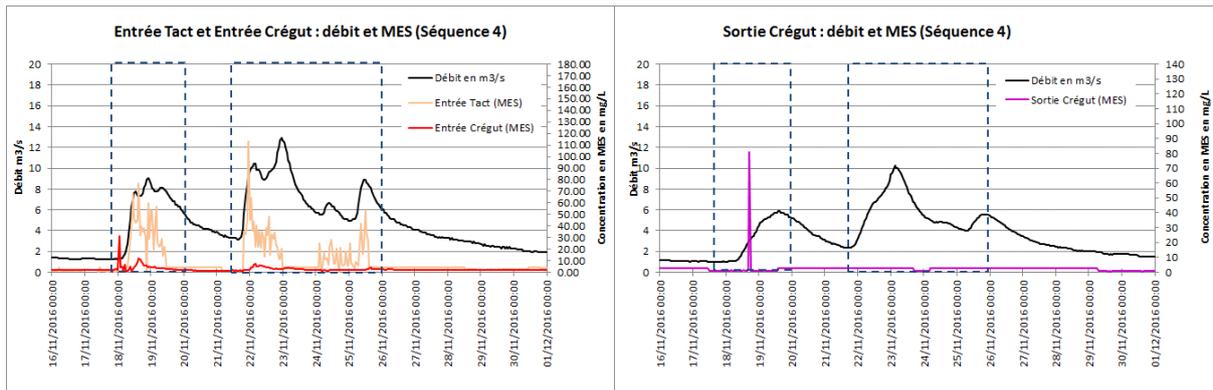


Figure 31 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 4

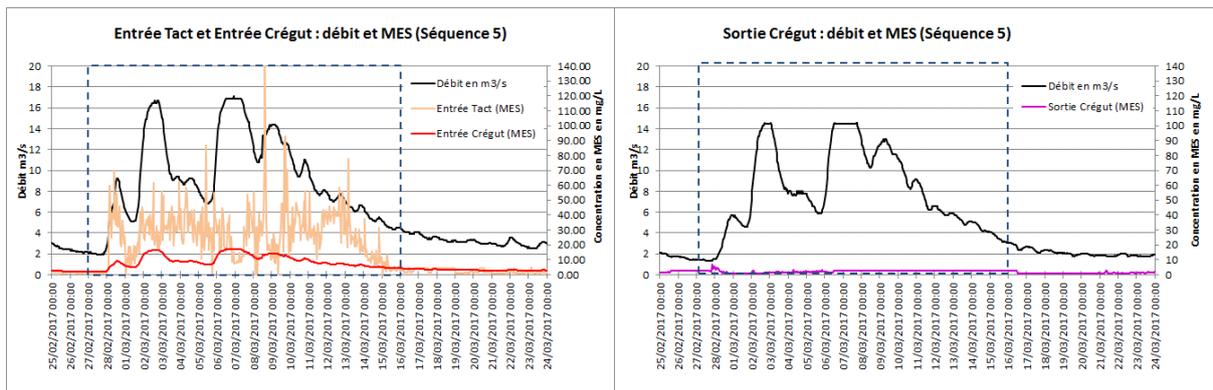


Figure 32 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 5

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, 2015-2016 et 2016-2017. Deux méthodes de calcul ont été utilisées :

- Le suivi horaire en continu pour les suivis de 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016 et 2016-2017. (Pour les trois dernières années de suivis, 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 2016 à avril 2017, environ 815 tonnes de MES auraient été stockées dans le lac du Tact et environ 213 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 2016-2017 sont dans le même ordre de grandeur que celles obtenues durant le suivi 2015-2016. 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 m³/s, en 2015-2016 de 3.04 m³/s et en 2016-2017 de 2.74 m³/s.



Tableau 5 : Bilan des cumuls par aménagement

	<i>Suivi en continu</i>				<i>Suivi ponctuel</i>
	Suivi 2016-2017	Suivi 2015-2016	Suivi 2014-2015	Suivi 2013-2014	Suivi de 2011
	Relation 2013-2016	Relation 2013-2016	Relation 2013-2016	Relation 2013-2014	Relation de 2011
Stockage MES Lac du Tact (tonnes)	815	1067	1264	De 715 à 790	-95,93
Stockage MES Lac de la Crégut (tonnes)	213	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
28/04/2016	28/04/2016	13:10	13:00	09:00	10:00	11:00
17/05/2016	17/05/2016	13:55	13:05	09:00	09:50	10:20
14/06/2016	14/06/2016	12:35	12:50	09:05	09:20	09:55
22/07/2016	22/07/2016	12:00	11:55	08:30	09:20	10:05
11/08/2016	11/08/2016	12:00	11:50	08:45	09:50	10:15
15/09/2016	15/09/2016	12:05	11:50	08:55	09:55	10:15
18/10/2016	18/10/2016	12:50	13:05	10:00	11:05	11:00
17/11/2016	17/11/2016	15:05	15:00	10:05	10:00	12:00
13/12/2016	13/12/2016	13:55	14:05	11:00	10:55	13:00
19/01/2017	19/01/2017	12:50	12:42	10:20	10:45	11:45
14/02/2017	14/02/2017	13:10	12:45	10:26	10:56	11:49
16/03/2017	16/03/2017	13:00	12:30	08:55	09:55	10:55

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 EXO1 mesurant la température, l'oxygène dissous, le taux de saturation en oxygène, la conductivité et le pH. Les caractéristiques de la sonde YSI EXO1 sont présentées dans le Tableau 7 et l'Annexe 4.

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 unité 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 µS/cm	0.0001 à 0.01 µS/cm	0 à 100µS/cm = ± 0.5 % de la lecture 100 à 200 µS/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 (triple rinçage des flacons, ports de gants...). Les échantillons 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 : Normes et limites de quantification des paramètres analysés (Source : CARSO)

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
Ammoniac non ionisé		NF T90-015-2	0.05	mg NO3/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	NF T90-015-2	0.05	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 d'attribuer une classe d'état écologique au cours d'eau, qui prend en compte : l'état biologique, l'état physico-chimique et l'état des polluants synthétiques et non synthétiques. Dans le cadre de ce suivi, seule l'évaluation de l'état physico-chimique est effectuée, et basée sur l'analyse des paramètres suivants :

Tableau 9 : Paramètres physico-chimiques et valeurs des classes de qualité pour les cours d'eau (Source : Arrêté du 27 juillet 2015)

Paramètres par élément de qualité	Limites des classes d'état				
	très bon	Bon	moyen	médiocre	mauvais
Bilan de l'oxygène					
oxygène dissous (mg O ₂ .l ⁻¹)	8	6	4	3	
taux de saturation en O ₂ dissous (%)	90	70	50	30	
DBO ₅ (mg O ₂ .l ⁻¹)	3	6	10	25	
carbone organique dissous(mg C.l ⁻¹)	5	7	10	15	
Température					
eaux salomonicoles	20	21.5	25	28	
eaux cyprinicoles	24	25.5	27	28	
Nutriments					
PO ₄ ³⁻ (mg PO ₄ ³⁻ .l ⁻¹)	0.1	0.5	1	2	
phosphore total (mg P.l ⁻¹)	0.05	0.2	0.5	1	
NH ₄ ⁺ (mg NH ₄ ⁺ .l ⁻¹)	0.1	0.5	2	5	
NO ₂ ⁻ (mg NO ₂ ⁻ .l ⁻¹)	0.1	0.3	0.5	1	
NO ₃ ⁻ (mg NO ₃ ⁻ .l ⁻¹)	10	50	*	*	
Acidification¹					
pH minimum	6.5	6	5.5	4.5	
pH maximum	8.2	9	9.5	10	

Pour chaque paramètre, à partir du jeu de données des analyses réalisées (au minimum 4) est calculé le percentile 90 (ou percentile 10 pour le bilan de l'oxygène). La valeur du percentile est ensuite comparée aux valeurs seuils du Tableau 10 afin d'attribuer la classe de qualité associée. À chaque classe de qualité est associé un code couleur, présenté ci-dessous :

Tableau 10 : 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				

Les différents paramètres analysés sont regroupés en éléments de qualité (bilan O₂, Température, nutriments...). Lorsque plusieurs paramètres interviennent pour le même élément de qualité, l'état de l'élément correspond à la plus basse des valeurs de l'état des paramètres constitutifs de cet élément de qualité. De même, la qualité globale de l'état physico-chimique correspond à la classe de qualité la plus basse obtenue pour les différents éléments de qualité.



2.5.3 Résultats des paramètres physico-chimiques

2.5.3.1 Paramètres généraux

Température, Oxygène dissous et pH

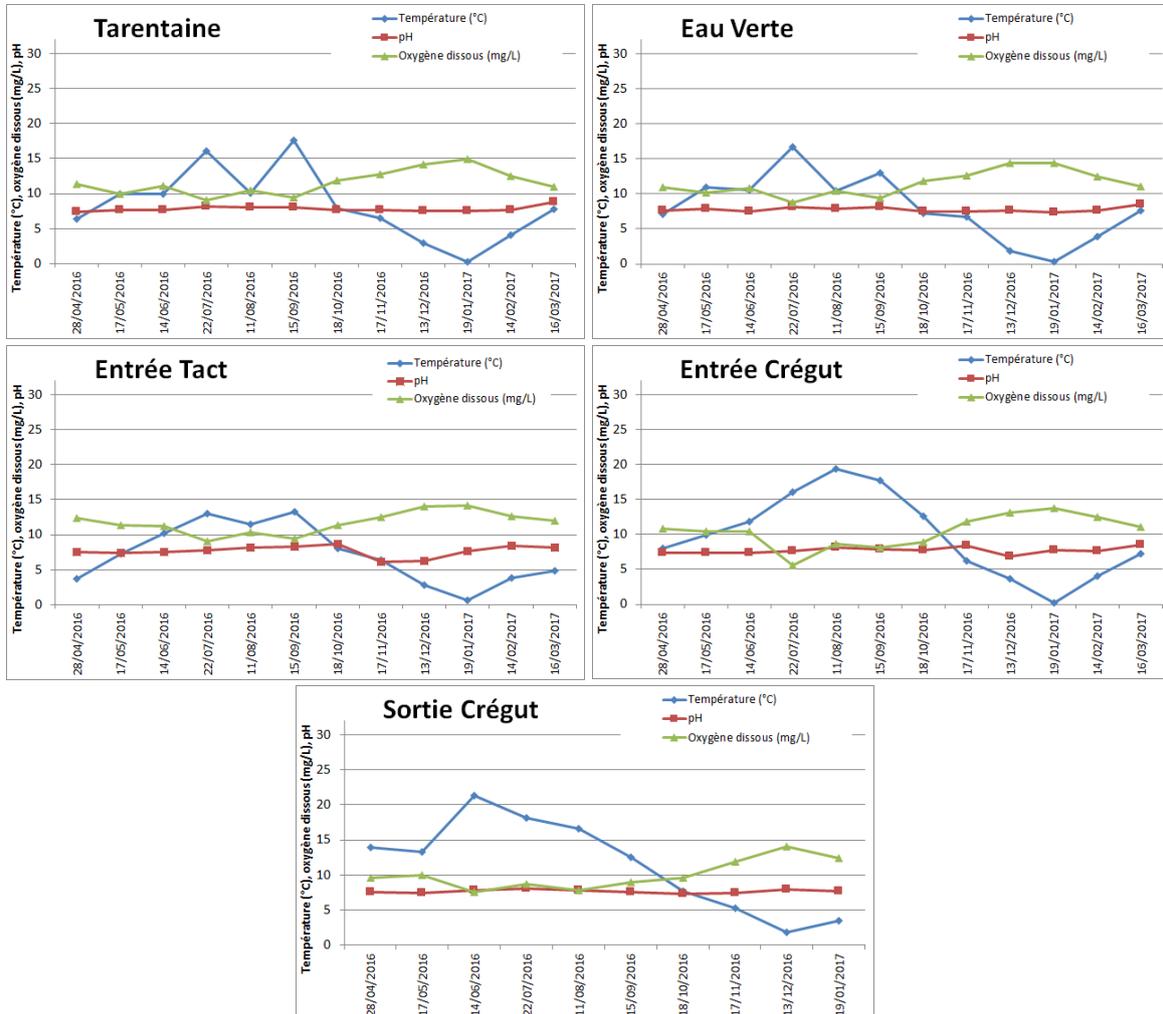


Figure 33 : Résultats de la température, du pH et de l'oxygène dissous relevés sur les cinq stations du suivi
Tableau 11 : Comparaison des paramètres température, pH et oxygène dissous aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015

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)*	15.5	12.8	12.9	17.5	18.0
pH (max)*	8.2	8.1	8.4	8.4	8.0
pH (min)**	7.5	7.5	7.3	7.3	7.3
Oxygène dissous (mg/L)**	9.5	9.5	8.2	8.2	7.8

* Classification selon le percentile 90

** Classification selon le percentile 10

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 les stations Entrée Tact et Entrée Crégut a révélé une valeur légèrement plus haute déclassant ces stations en qualité « bonne ».



Taux de saturation en oxygène et conductivité

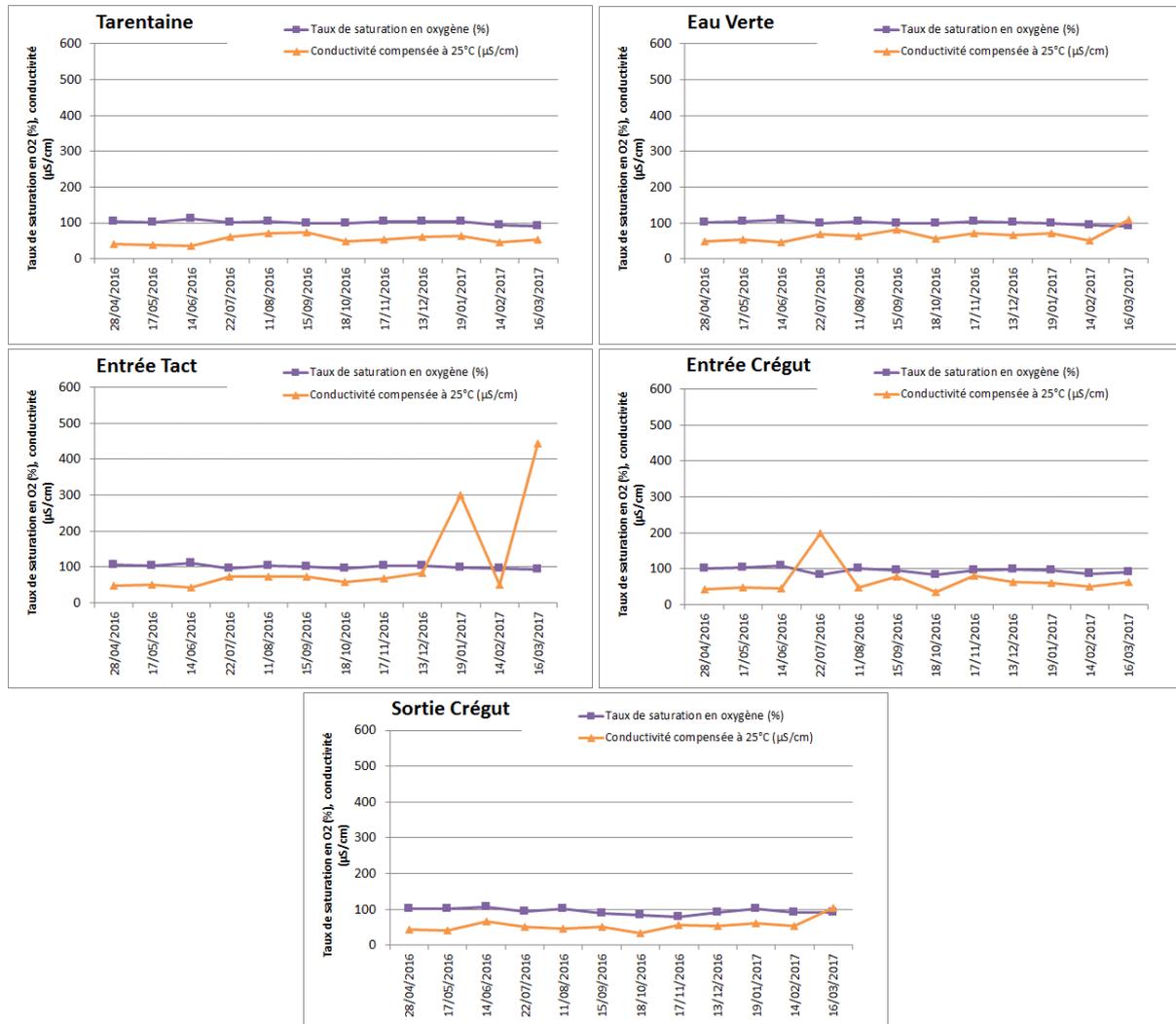


Figure 34 : Résultats du taux de saturation en oxygène et de la conductivité sur les cinq stations du suivi

Tableau 12 : Comparaison des paramètres taux de saturation et conductivité aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015

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 (%)**	95.5	94.9	95.6	84.1	84.8
Conductivité (µS/cm)	70.4	81.0	279.2	80.8	66.7

**Classification selon le percentile 10

Commentaires :

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



2.5.3.2 Paramètres azotés

Ammonium (NH4)

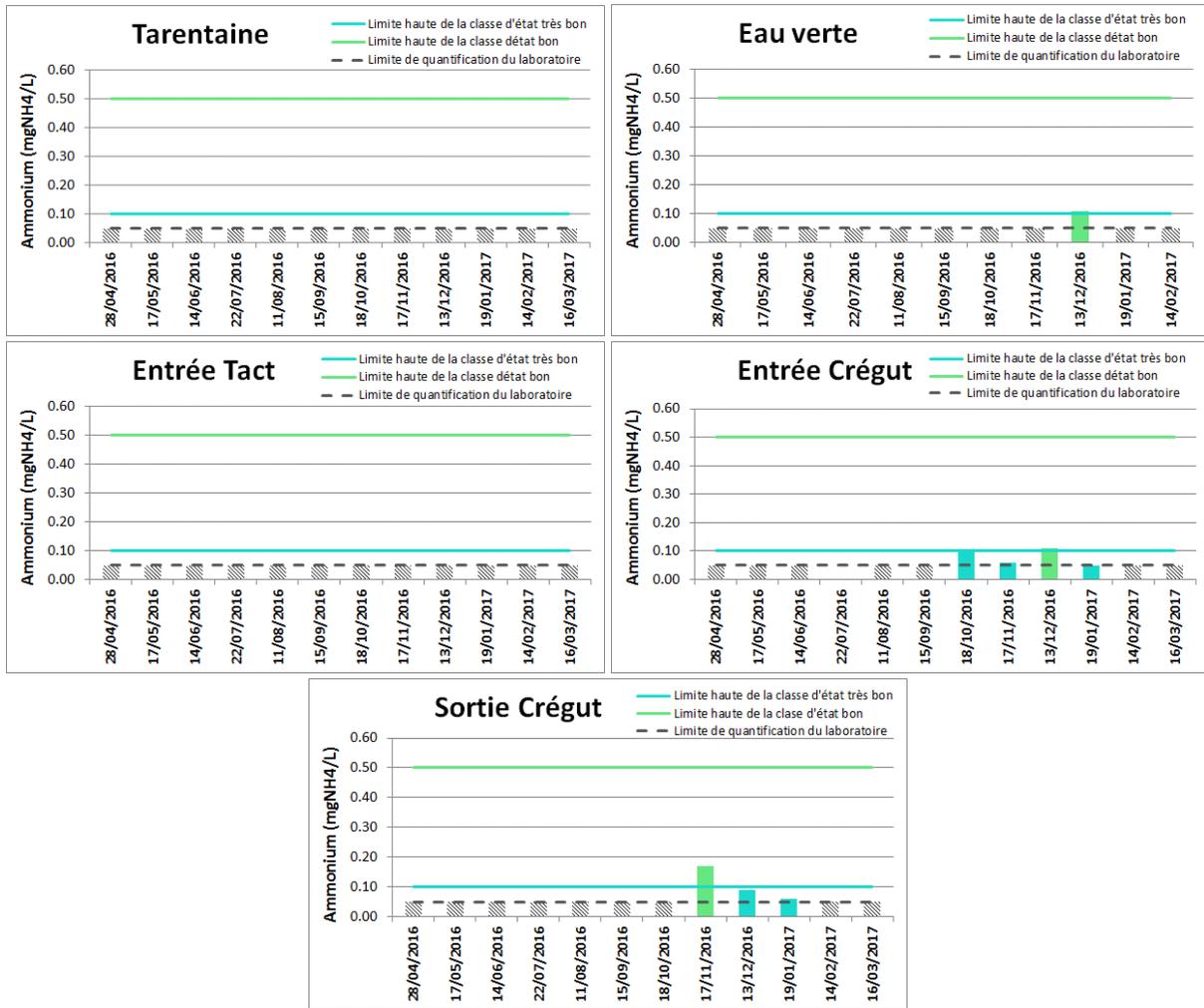


Figure 35 : Résultats des concentrations en ammonium sur les cinq station du suivi

Tableau 13 : Comparaison du paramètre ammonium aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015

Evaluation de l'état de qualité du paramètre Ammonium selon l'arrêté du 27 juillet 2015					
	Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crègut	Sortie Crègut
Ammonium (mgNH4/L)*	0.03	0.03	0.03	0.10	0.09

* Classification selon le percentile 90

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.



Nitrates (NO₃)

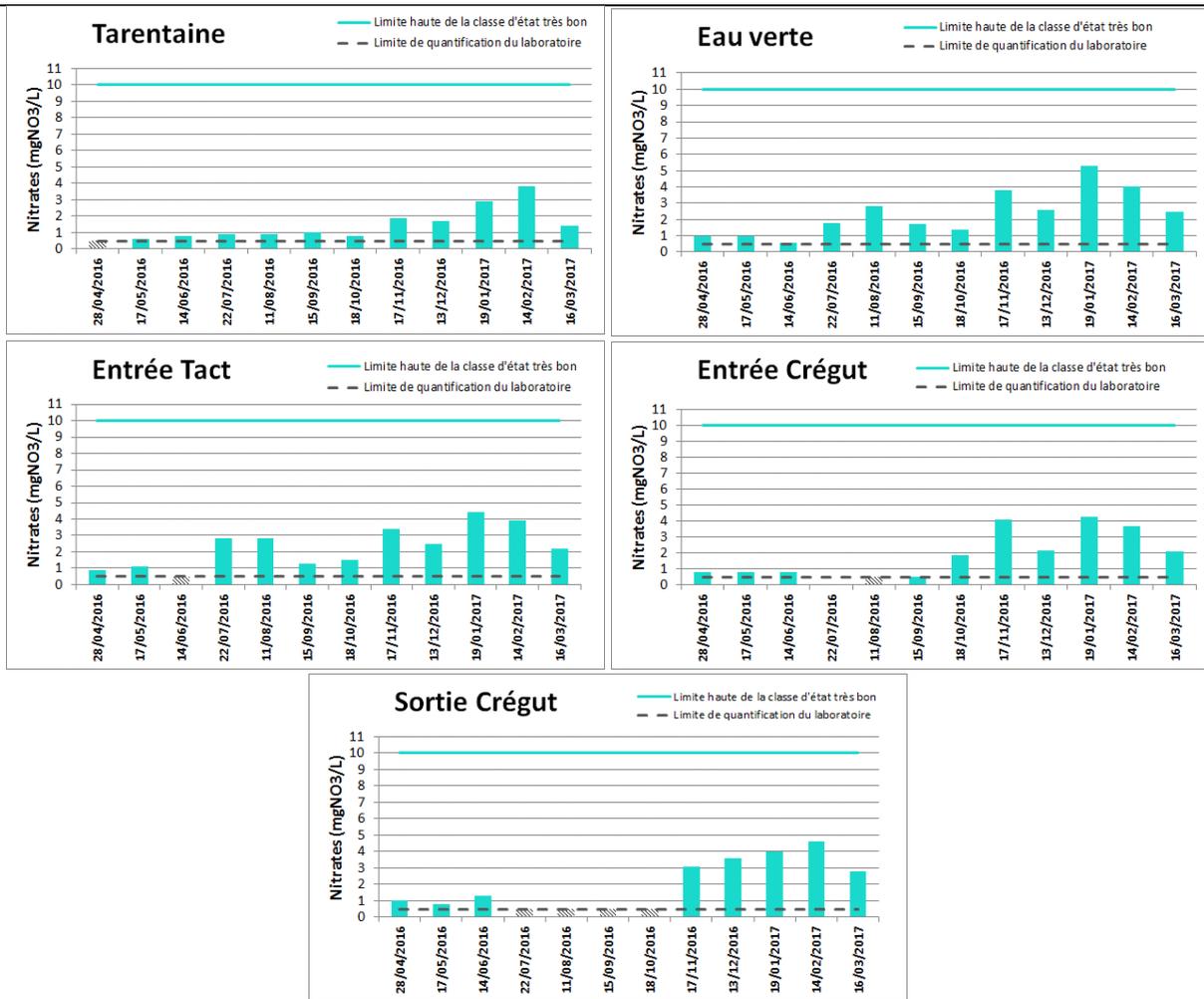


Figure 36 : Résultats des concentrations en nitrates sur les cinq station du suivi

Tableau 14 : Comparaison du paramètre nitrate aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015

Evaluation de l'état de qualité du paramètre Nitrate selon l'arrêté du 27 juillet 2015					
	Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
Nitrates (mgNO ₃ /L)*	2.80	3.98	3.85	4.10	3.96

* Classification selon le percentile 90

Commentaires :

Selon l'arrêté du 27 juillet 2015, les résultats des concentrations en nitrates sont de « très bonne » qualité. Les valeurs ne semblent pas suivre de tendance remarquable au sein du complexe.



Nitrites (NO₂)

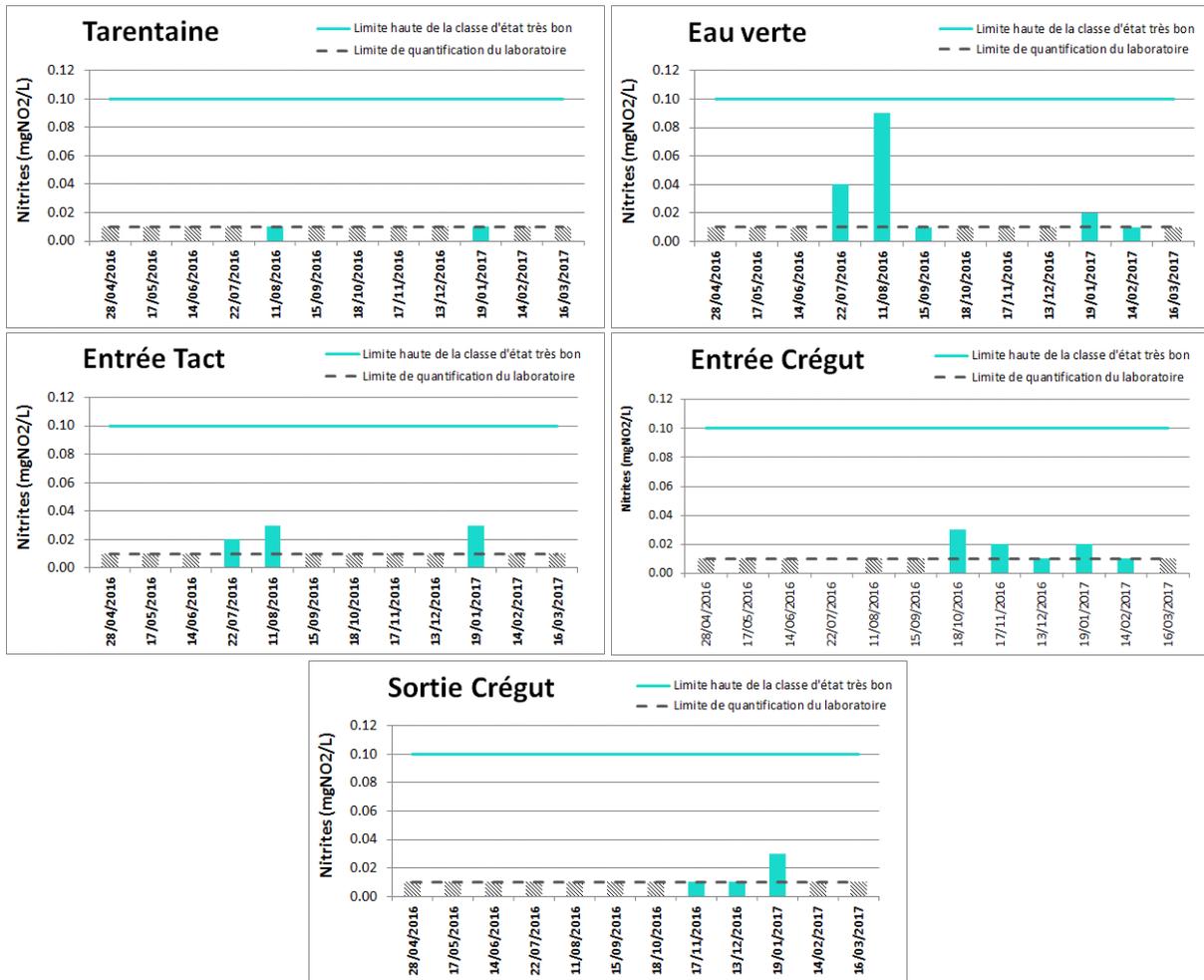


Figure 37 : Résultats des concentrations en nitrites sur les cinq station du suivi

Tableau 15 : Comparaison du paramètre nitrite aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015

Evaluation de l'état de qualité du paramètre Nitrite selon l'arrêté du 27 juillet 2015					
2015					
	Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
Nitrites (mgNO ₂ /L)*	0.01	0.04	0.03	0.02	0.01

* Classification selon le percentile 90

Commentaires :

Le percentile 90 des valeurs de nitrites classe la qualité de l'eau de toutes les stations en « très bonne » selon l'arrêté du 27 juillet 2015. Une concentration maximale (0.09mg/L) a été mesurée sur l'Eau verte le 11/08.



Azote Kjeldahl

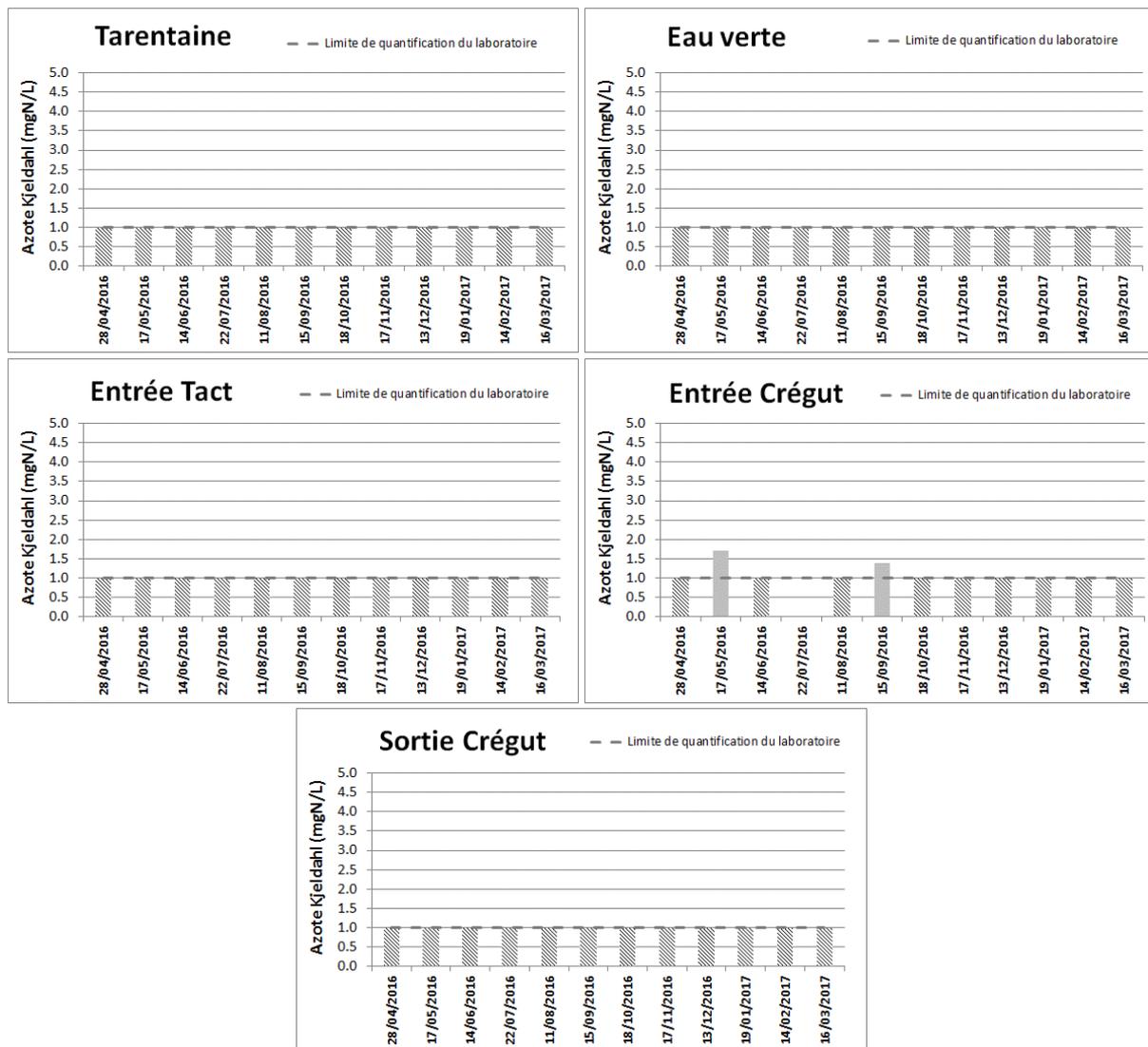


Figure 38 : Résultats des concentrations en azote Kjeldahl sur les cinq station du suivi

Commentaires :

Les concentrations en azote Kjeldahl sont toutes inférieures au seuil de quantification du laboratoire (1 mg/L), exceptée deux valeurs mesurées à l'Entrée Crégut le 17/05 (1.7mg/L) et le 15/09 (1,4 mg/L). Ces deux valeurs correspondent à une qualité « bonne » selon le référentiel du SEQ-Eau. Les autres valeurs sont inférieures au seuil de « très bonne » qualité du SEQ-eau qui est de 1 mg/L.



2.5.3.3 Paramètres phosphorés

Orthophosphates (PO4)

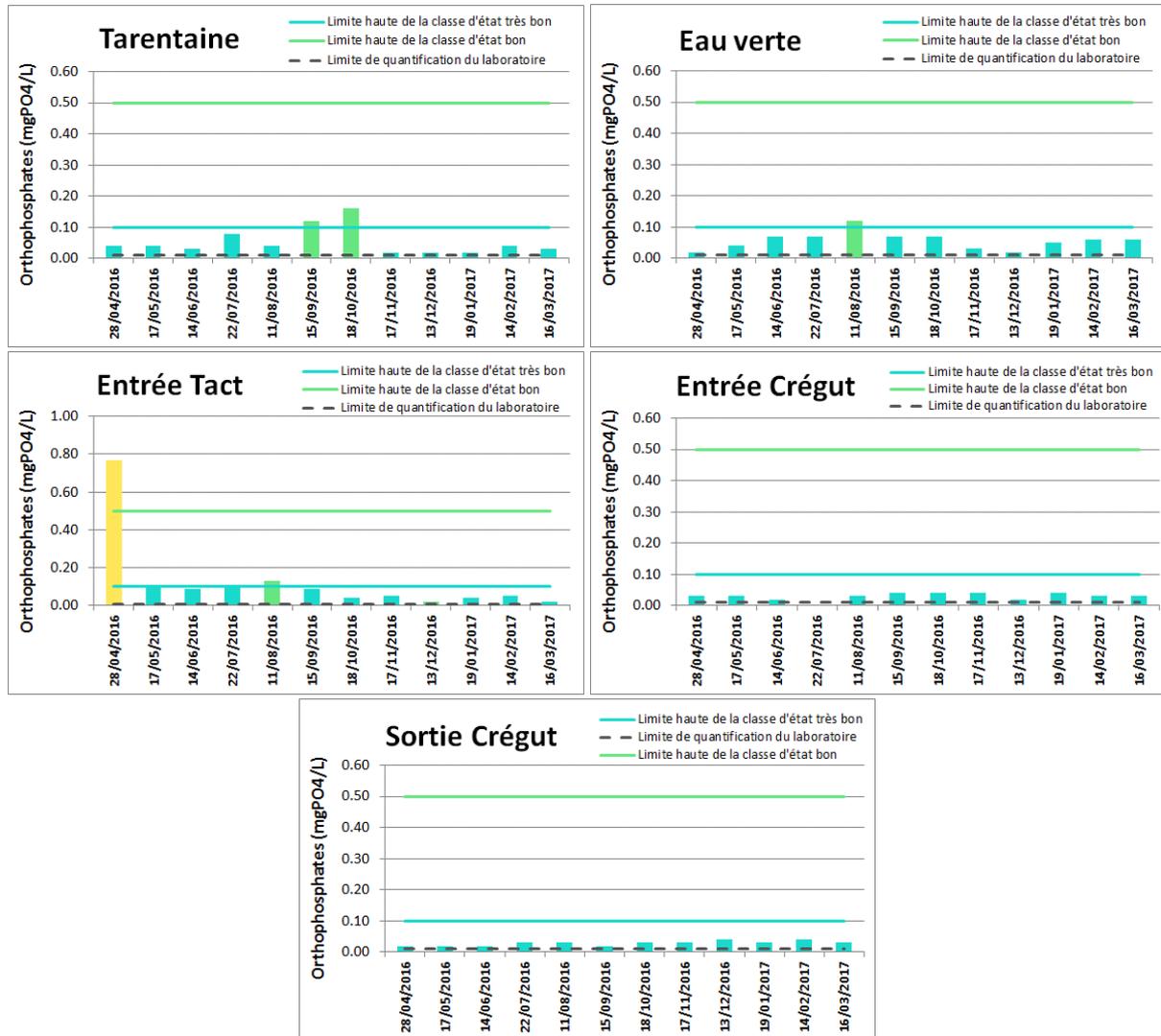


Figure 39 : Résultats des concentrations en orthophosphates sur les cinq station du suivi

Tableau 16 : Comparaison du paramètre orthophosphates aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015

Evaluation de l'état de qualité du paramètre Orthophosphates selon l'arrêté du 27 juillet 2015					
	Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
Orthophosphates (mgPO4/L)*	0.116	0.070	0.127	0.040	0.039

* Classification selon le percentile 90

Commentaires :

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

Une valeur haute mesurée le 28/04 (0.77mg/L) décline probablement la station Entrée Tact.



Phosphore total (P total)

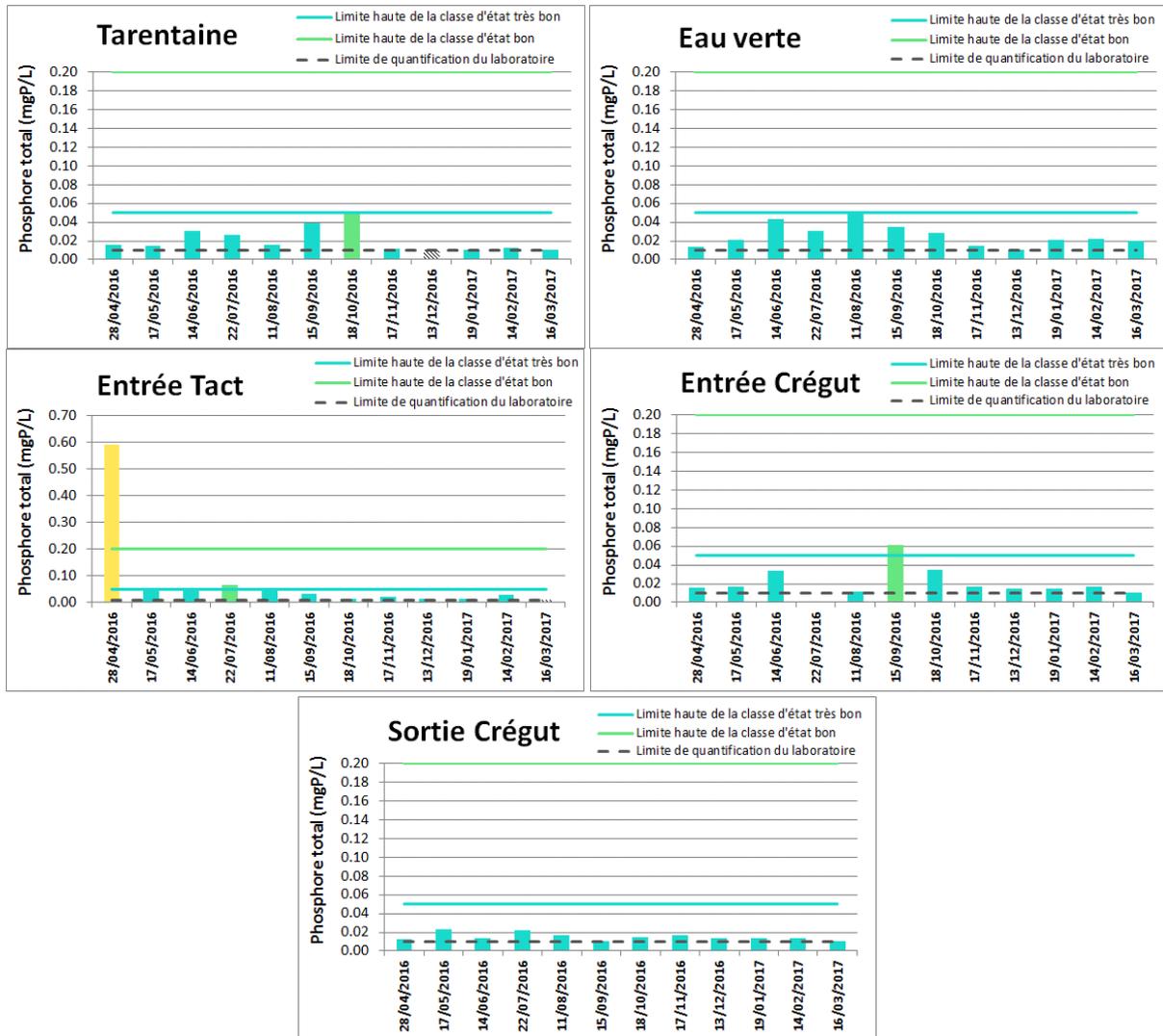


Figure 40 : Résultats des concentrations en phosphore total sur les cinq station du suivi

Tableau 17 : Comparaison du paramètre phosphore aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015

Evaluation de l'état de qualité du paramètre Phosphore selon l'arrêté du 27 juillet 2015					
	Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
Phosphore total (mgP/L)*	0.038	0.042	0.064	0.035	0.022

* Classification selon le percentile 90

Commentaires :

En amont (Tarentaine et Eau Verte) et au sein du complexe, les valeurs de phosphore total sont de « très bonne » qualité selon l'arrêté du 27 juillet 2015. Comme pour les orthophosphates, une valeur haute mesurée le 28/04 (0.59mg/L) déclasse probablement la station Entrée Tact en qualité « bonne ».



2.5.3.4 Matières organiques

Carbone Organique Dissous (COD)

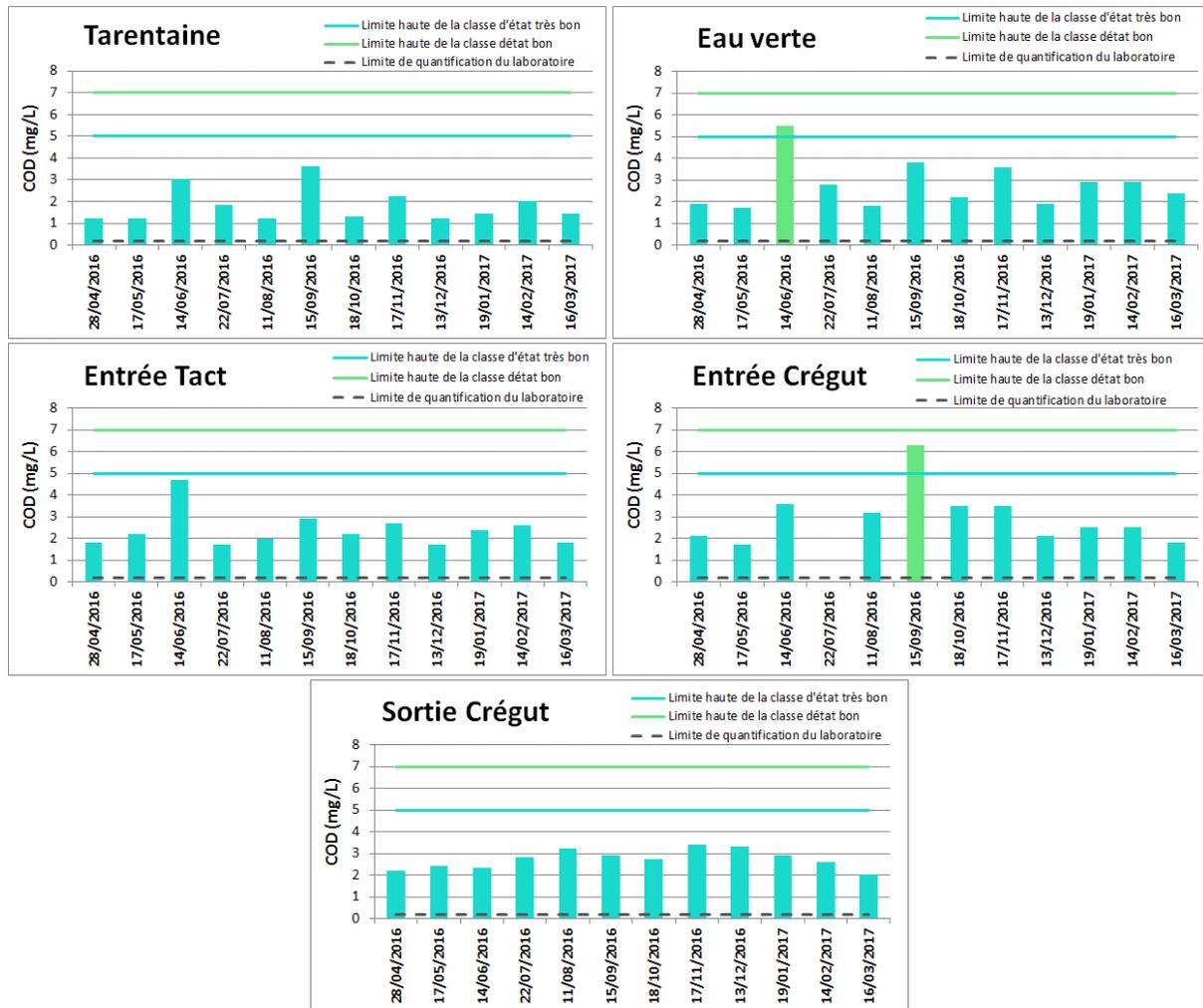


Figure 41 : Résultats des concentrations en carbone organique dissous sur les cinq station du suivi

Tableau 18 : Comparaison du paramètre carbone organique dissous aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015

Evaluation de l'état de qualité du paramètre Carbone Organique Dissous selon l'arrêté du 27 juillet 2015					
	Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
Carbone Organique dissous (mg/L)*	2.9	3.8	2.9	3.6	3.3

* Classification selon le percentile 90

Commentaires :

Les concentrations en carbone organique dissous sont relativement similaires entre les différentes stations. Deux prélèvements, effectués le 14 juin sur l'Eau Verte et le 15 septembre sur l'Entrée Crégut, montre des concentrations dépassant la valeur du seuil de qualité « très bonne ». Selon l'arrêté du 27 juillet 2015, la qualité est « très bonne » sur l'ensemble des stations du complexe.



Carbone Organique Total (COT)

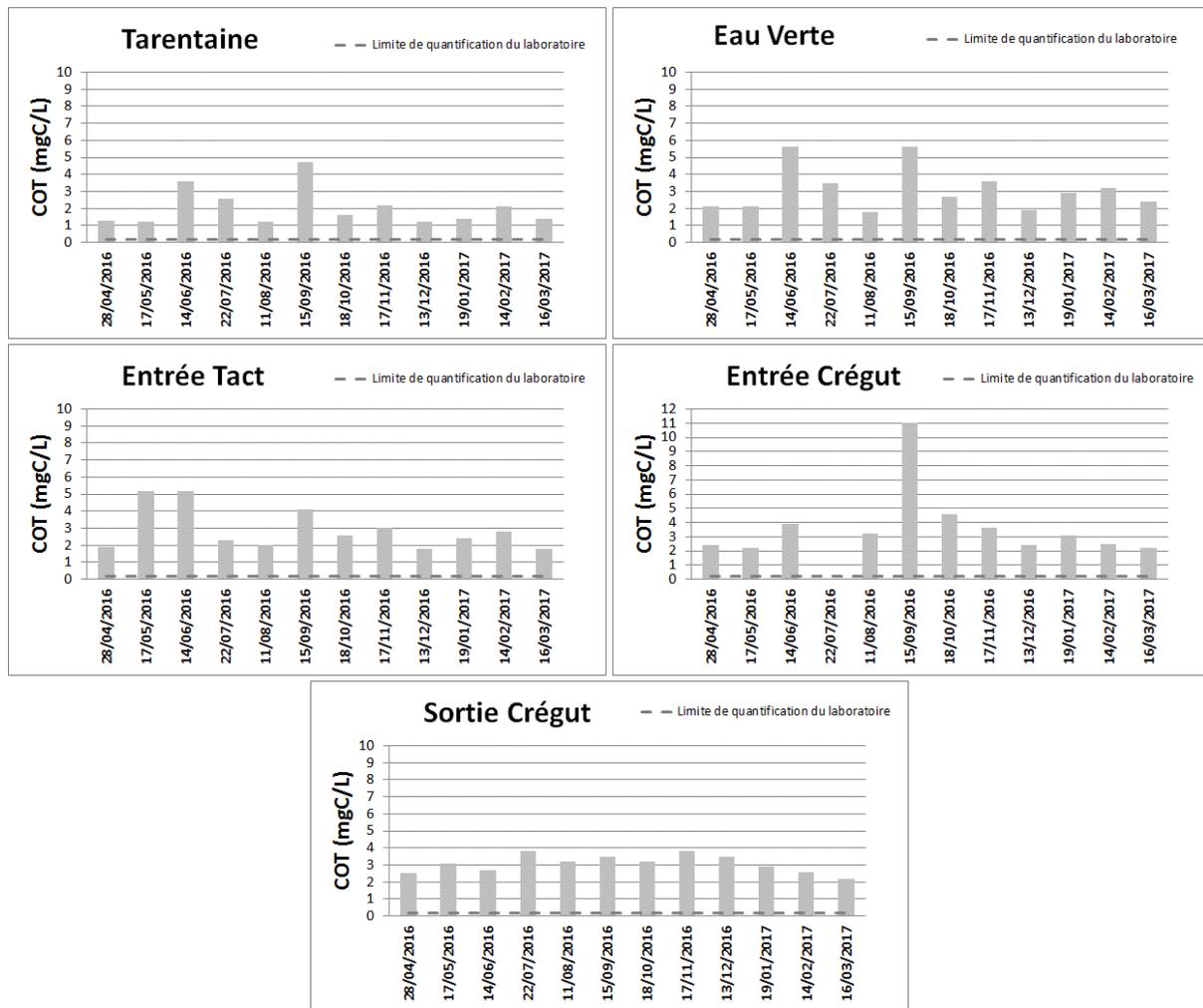


Figure 42 : Résultats des concentrations en carbone organique total sur les cinq station du suivi

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 15 septembre sur l'Entrée Crégut (11 mg/L).



Matières en suspension (MES)

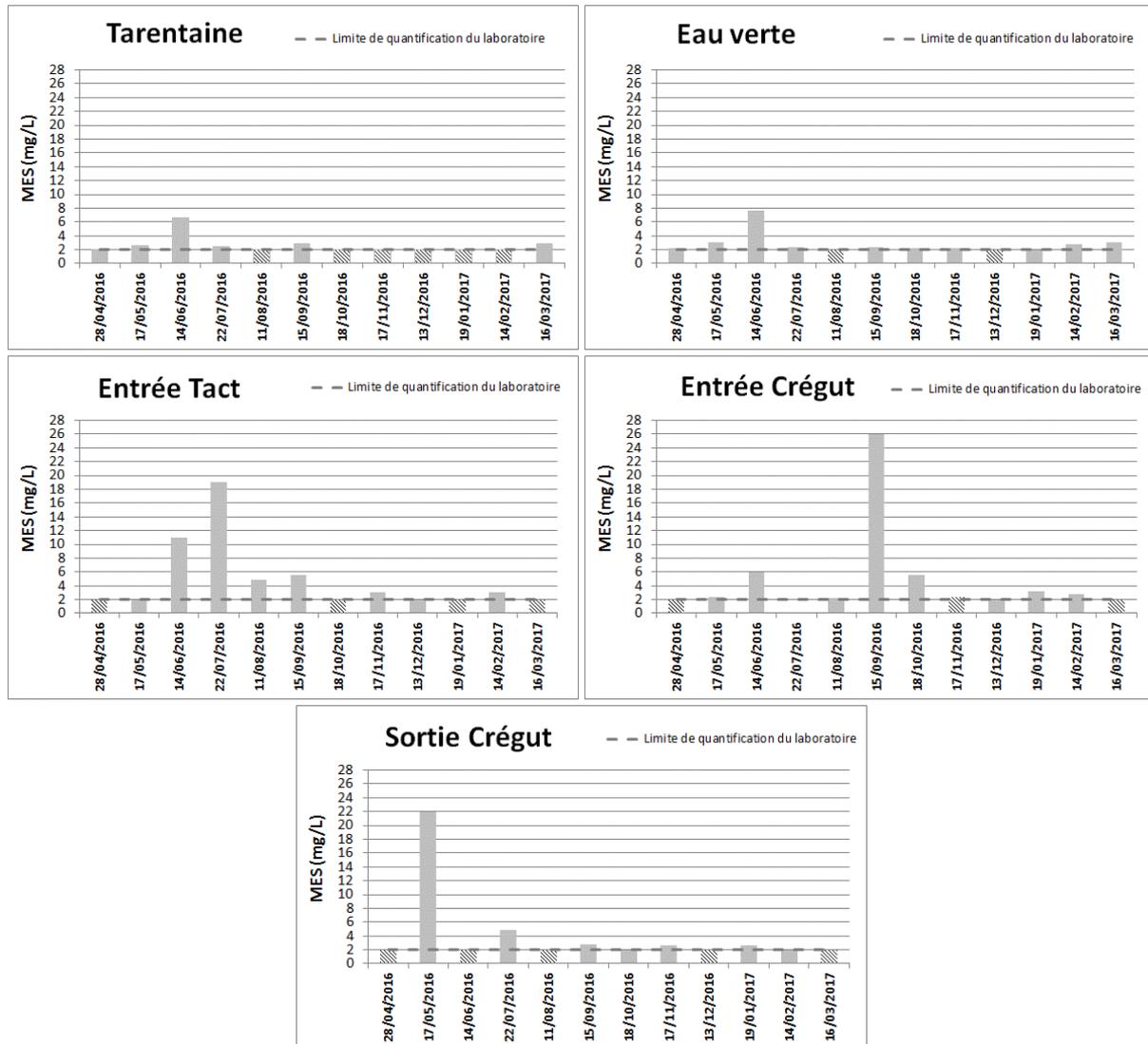


Figure 43 : Résultats des concentrations en matières en suspension sur les cinq station du suivi

Commentaires :

La concentration la plus élevée est retrouvée sur le site d'Entrée Crégut (26mg/L) correspondant à une qualité « bonne » selon le référentiel du SEQ-Eau. Les autres valeurs restent faibles et nettement inférieures au seuil de « très bonne » qualité du SEQ-eau qui est de 25 mg/L.



2.5.4 Bilan de l'évaluation de l'état écologique pour les éléments physico-chimiques

Le Tableau 19 présente le bilan des évaluations des différents paramètres analysés selon l'arrêté du 27 juillet 2015 pour chaque station au cours du suivi 2016-2017.

Tableau 19 : Bilan des comparaisons des concentrations des différents paramètres selon l'arrêté du 27 juillet 2015 pour chaque station

Comparaison aux valeurs seuil de l'arrêté du 27 juillet 2015 (du 08/04/2016 au 08/04/2017)					
	Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
Bilan de l'oxygène					
Oxygène dissous (mg/L)**	9.5	9.5	8.2	8.2	7.8
Taux de saturation (%)**	95.5	94.9	95.6	84.1	84.8
DBO5 mg/L*	Pas de mesure en 2016-2017				
COD mg/L*	2.9	3.8	2.9	3.6	3.3
Température					
Température (°C)*	15.5	12.8	12.9	17.5	18.0
Nutriments					
Ammonium (mgNH ₄ /L)*	0.03	0.03	0.03	0.10	0.09
Nitrates (mgNO ₃ /L)*	2.80	3.98	3.85	4.10	3.96
Nitrites (mgNO ₂ /L)*	0.01	0.04	0.03	0.02	0.01
Orthophosphates (mgPO ₄ /L)*	0.116	0.070	0.127	0.040	0.039
Phosphore total (mgP/L)*	0.038	0.042	0.064	0.035	0.022
Acidification					
pH (max)*	8.2	8.1	8.4	8.4	8.0
pH (min)**	7.5	7.5	7.3	7.3	7.3
Salinité					
Conductivité (µS/cm)	70.4	81.0	279.2	80.8	66.7

*Classification selon le percentile 90

**Classification selon le percentile 10

L'évaluation de l'état écologique selon les paramètres physico-chimiques se définit selon différents éléments de qualité :

- Le bilan en oxygène, qui regroupe les paramètres suivants :
 - l'oxygène dissous,
 - le taux de saturation en oxygène,
 - la demande biologique en oxygène (DBO5) (non prise en compte car paramètre non mesuré au cours du suivi)
 - le carbone organique dissous (COD).
- La température,
- Les nutriments, qui est constitué des paramètres suivants :
 - l'ammonium (NH₄⁺),
 - les nitrates (NO₃⁻),
 - les nitrites (NO₂⁻),
 - les orthophosphates (PO₄³⁻),
 - le phosphore total (P total).
- L'acidification.



Le Tableau 20 synthétise l’attribution de la classe d’état pour chaque station, selon l’arrêté du 27 juillet 2015, selon les différents éléments. Le paramètre déclassant l’élément est indiqué.

Tableau 20 : Evaluation de l’état écologique pour les paramètres physico-chimiques du suivi 2016-2017 selon l’arrêté du 27 juillet 2015

	Evaluation de l'état écologique pour les paramètres physico-chimiques				
	Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
Bilan de l'oxygène				% O ₂	O ₂ et % O ₂
Température					
Nutriments	PO ₄ ³⁻		PO ₄ ³⁻ et Ptot		
Acidification					
CLASSE D'ETAT	BON	TRES BON	BON	BON	BON

Selon les différents éléments de qualité (bilan de l’oxygène, température, nutriments et acidification), seule la station Eau Verte est de qualité « très bonne ». Les autres sont de qualité « bonne ».



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 44) :

- **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).

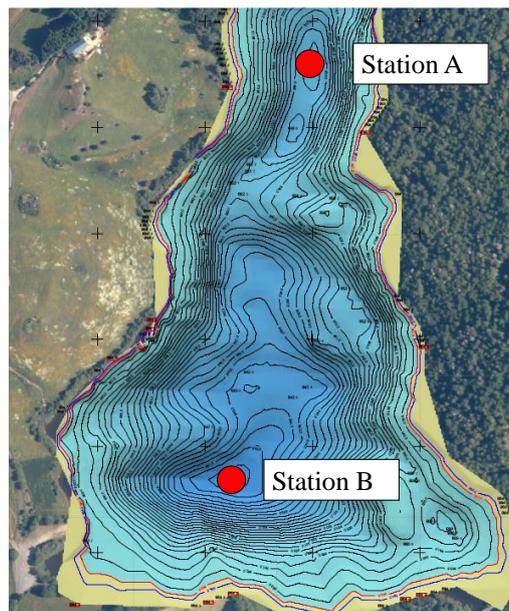


Figure 44 : Station de suivi lacustre sur le lac de la Crégut (Source : EDF, ATHOS Environnement)

3.2 FREQUENCE DE PRELEVEMENT

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

- Le 09 mai 2016
- Le 18 juillet 2016
- Le 23 septembre 2016
- Le 14 mars 2017

Le Tableau 21 présente les dates et heures de prélèvements ainsi que la date de dépôt des échantillons.



Tableau 21 : Heures et dates de prélèvement des échantillons prélevés en lac (Source : ATHOS Environnement)

Date de prélèvement	Date de dépôt	Heure de prélèvement (hiver)	
		Station A	Station B
09/05/2016	09/05/2016	10:20	11:20
18/07/2016	18/07/2016	14:00	13:00
23/09/2016	23/09/2016	10:23	11:20
14/03/2017	14/03/2017	13:00	13:30

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 (hypolimnion) 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 22 : Normes et limites de quantification des paramètres analysés pour les analyses lacustres (Source : Carso)

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 T90-015-2	0.05	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 23 récapitule les différentes classes de qualité associées à un code colorimétrique.

Tableau 23 : 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, 1982)

Dans un rapport préparé pour l'Organisation de Coopération et de Développement Economique (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 24 : Classification trophique de l'OCDE (Source : Wollenweider et Kerekes)

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)
Ultra oligotrophe	≤ 4	≤ 1	≤ 2.5	≥ 12	≥ 6
Oligotrophe	4-10	1-2.5	≤ 8	≥ 6	≥ 3
Mésotrophe	10-35	2.5-8	8-25	6-3	3-1.5
Eutrophe	35-100	8-25	25-75	3-1.5	1.5-0.7
Hypereutrophe	≥ 100	≥ 25	≥ 75	≤ 1.5	≤ 0.7



3.4 RESULTATS DES PROFILS VERTICAUX

La Figure 45 et la Figure 46 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 septembre.

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

Le Tableau 25 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 mai, juillet et septembre.

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 25 : Ccomparaison 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

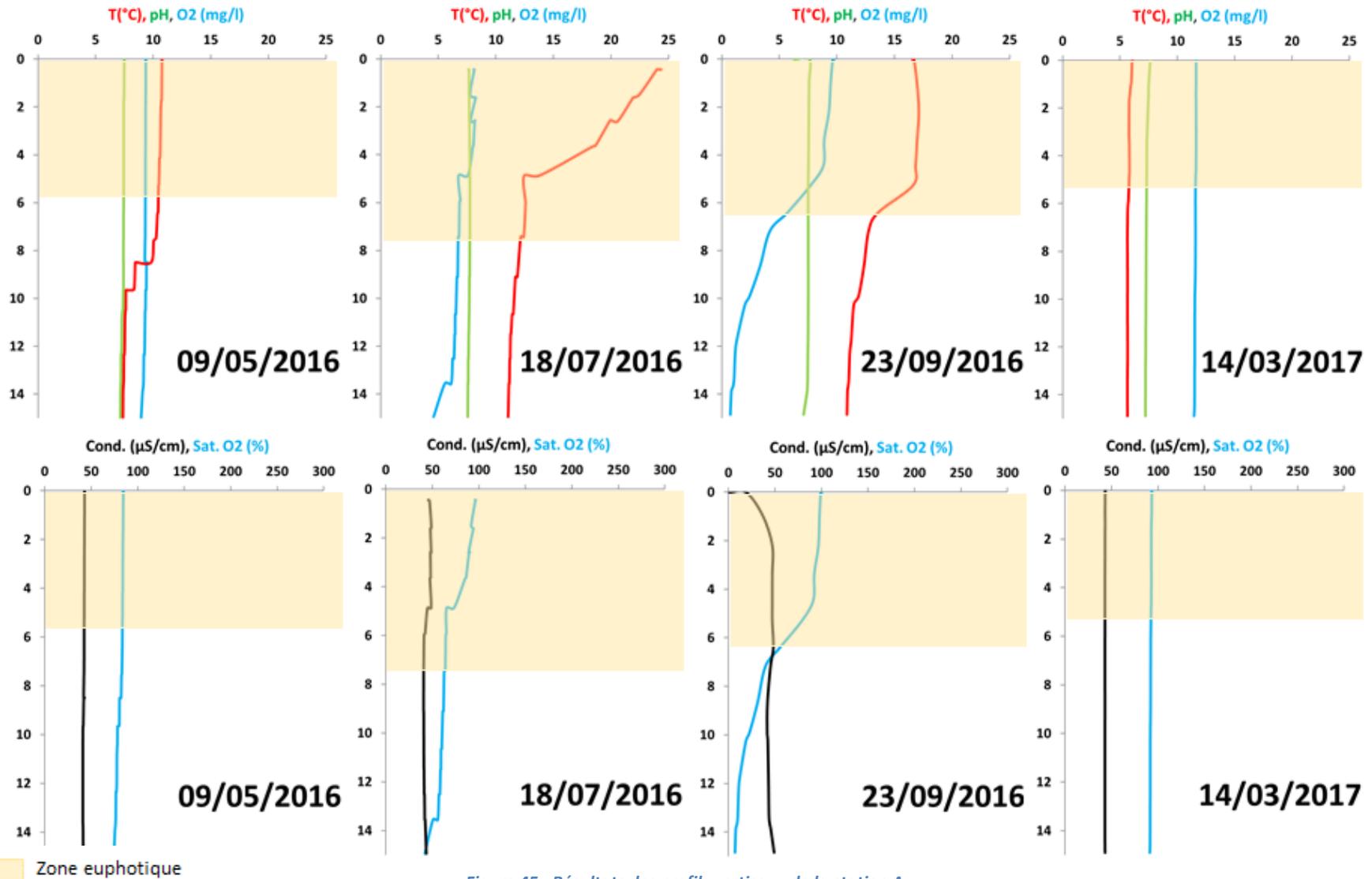
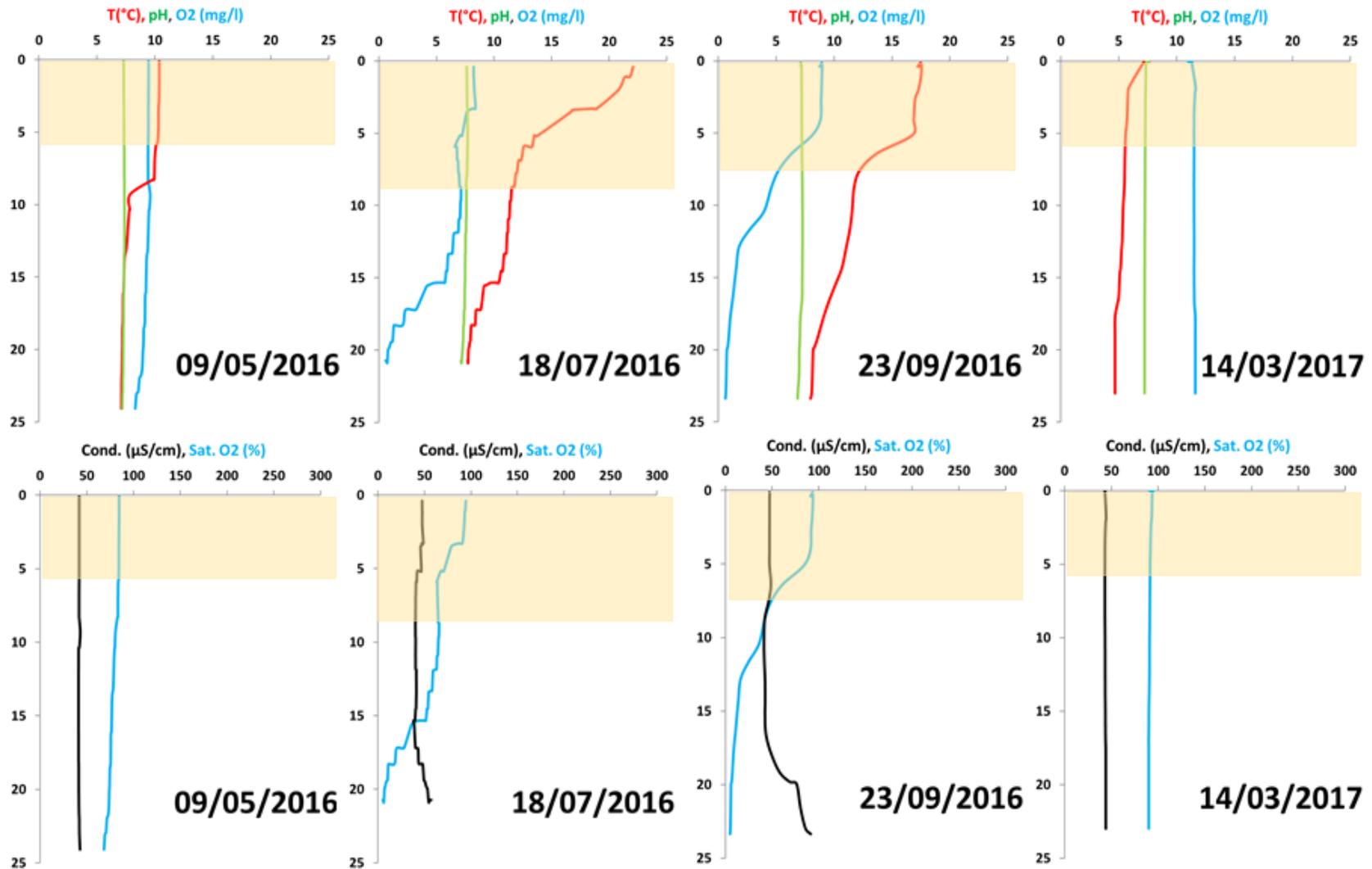


Figure 45 : Résultats des profils verticaux de la station A



STATION B



Zone euphotique

Figure 46 : Résultats des profils verticaux de la station B



3.5 RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES

3.5.1 Paramètres phosphorés

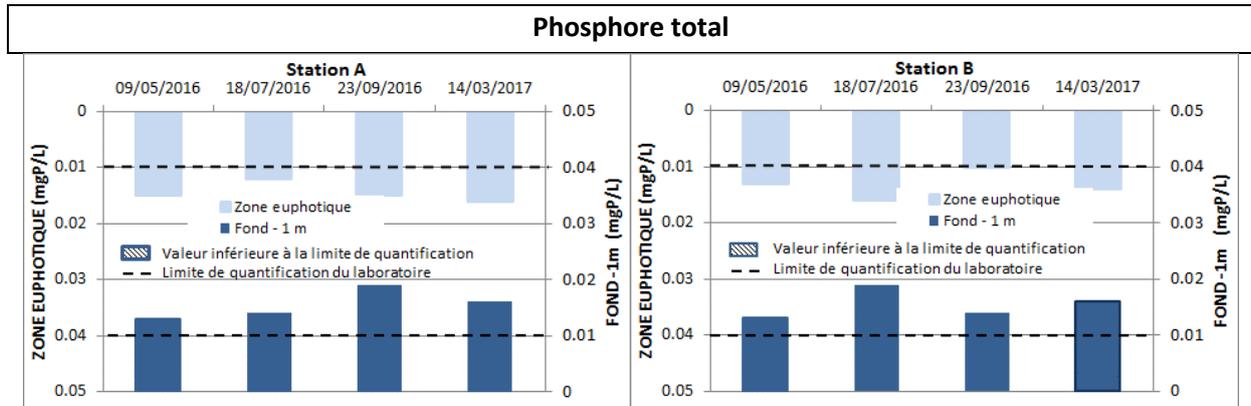


Figure 47 : Résultats des concentrations en phosphore total des stations A et B

Tableau 26 : 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)	0.015	0.014

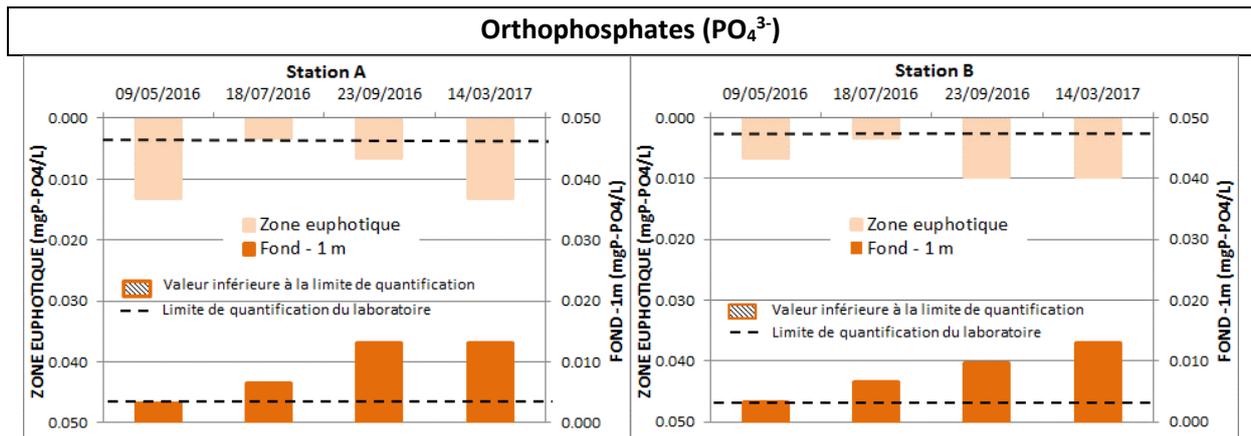


Figure 48 : Résultats des concentrations en orthophosphates des stations A et B

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 (NH₄)

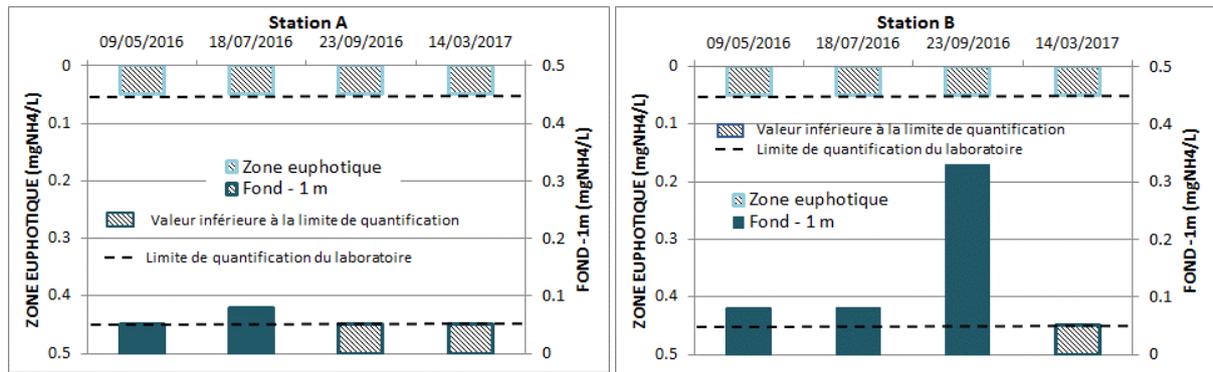


Figure 49 : Résultats des concentrations en ammonium des stations A et B

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

	Station A	Station B
Valeur maximale pour l'ammonium (mgNH ₄ /L)	0.05	0.05

Nitrates (NO₃⁻)

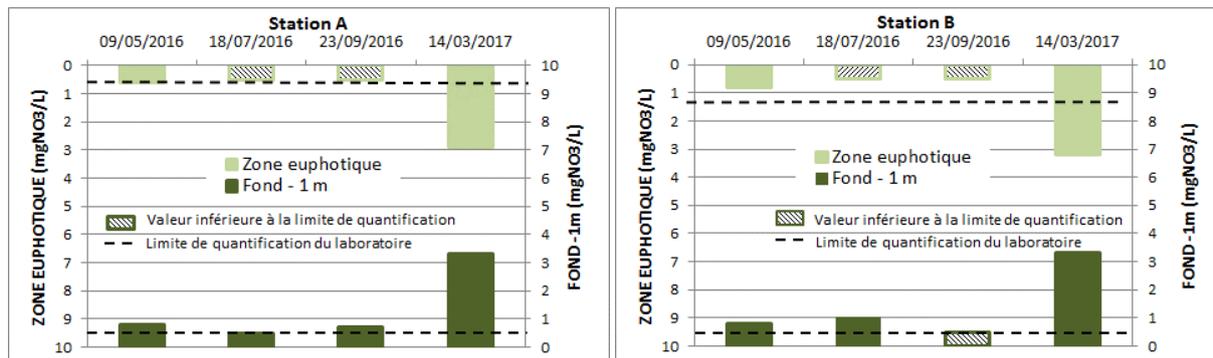


Figure 50 : Résultats des concentrations en nitrates des stations A et B

Tableau 28 : Comparaison des résultats de nitrates aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015

	Station A	Station B
Valeur maximale pour les nitrates (mgNO ₃ /L)*	2.9	3.2

*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 comme « bonne ».



Nitrites (NO_2^-)

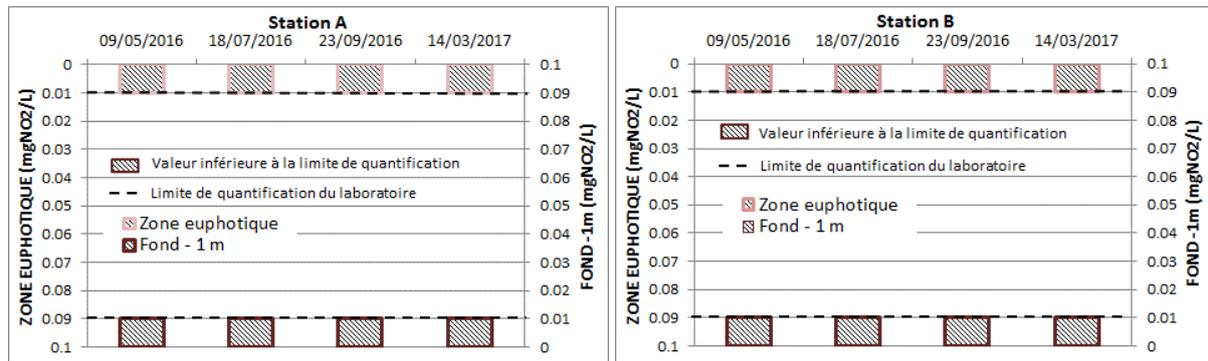


Figure 51 : Résultats des concentrations en nitrites des stations A et B

Azote Kjeldahl (NTK)

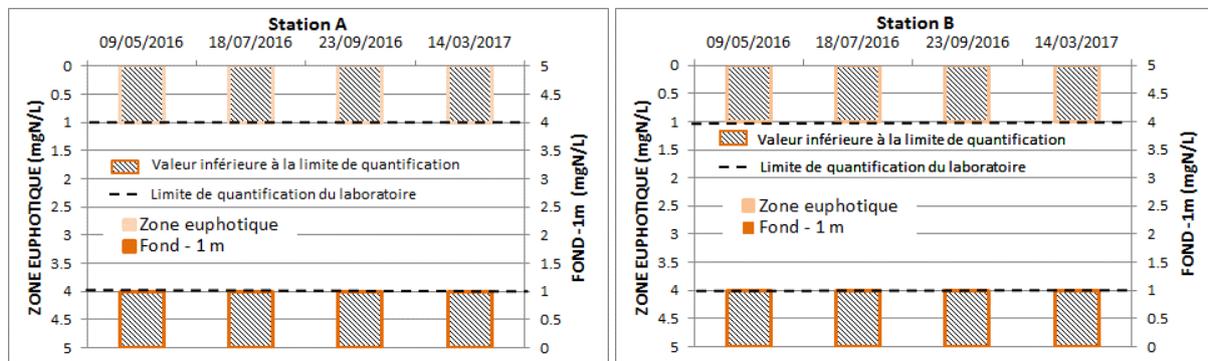


Figure 52 : Résultats des concentrations en azote Kjeldahl des stations A et B

Commentaires :

Les concentrations en nitrites et en azote Kjeldahl sont toutes en dessous de la limite de quantification du laboratoire pour les stations A et B.



3.5.3 Matières organiques

Carbone Organique Dissous (COD)

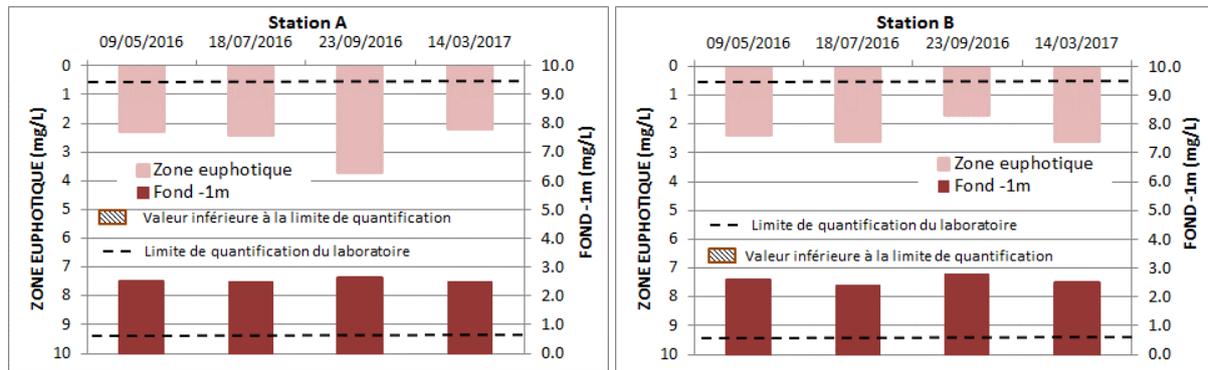


Figure 53 : Résultats des concentrations en carbone organique dissous des stations A et B

Matières en suspensions (MES)

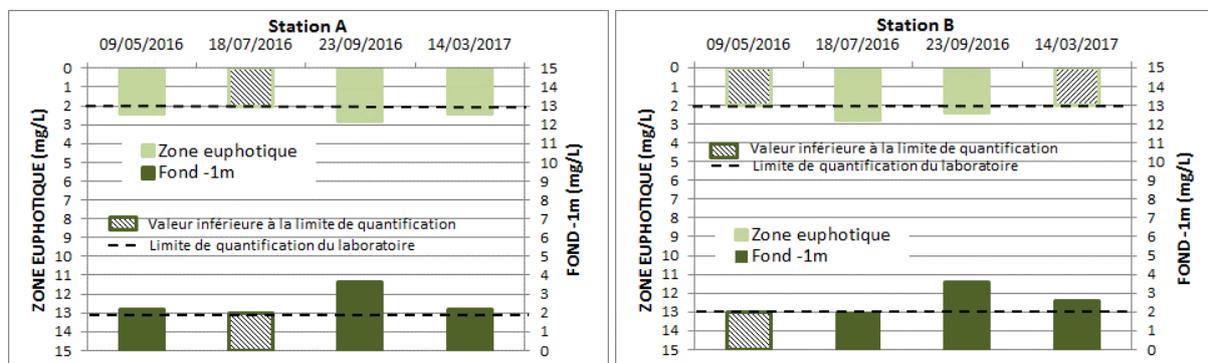


Figure 54 : Résultats des concentrations en matières en suspensions des stations A et B

Commentaires :

Les concentrations en COD les plus hautes ont été mesurées sur les campagnes de juillet et septembre. Sur les stations A et B, les valeurs varient entre 1,7 et 3,7 mg/L.

Les concentrations en MES sont similaires entre les deux stations. L'ensemble des valeurs mesurées sur les deux stations sont inférieures à 5 mg/L.



3.5.4 Demande biologique en oxygène

Demande biologique en oxygène (DBO5)

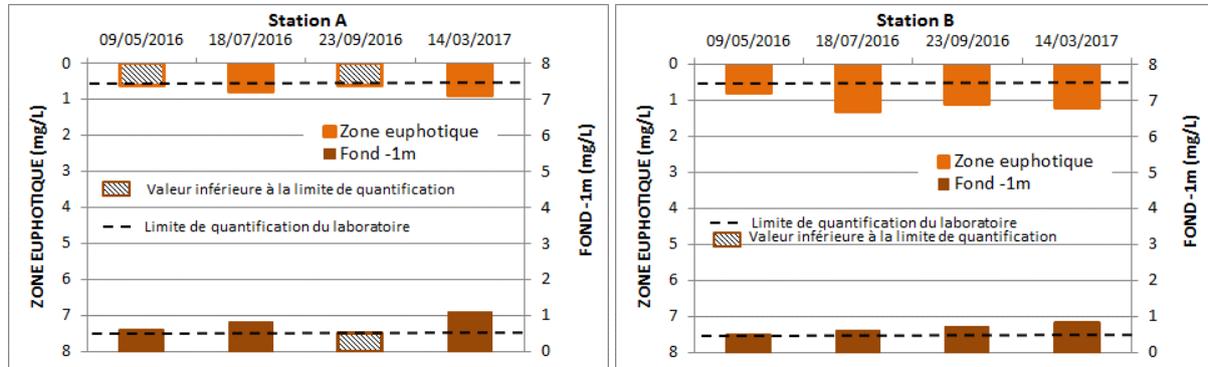


Figure 55 : Résultats des concentrations en DBO5 des stations A et B

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



Figure 56 : 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. Sur la station A, les campagnes de mai et de mars sont les deux dates où l'abondance phytoplanctonique observée est la plus élevée. Pour la station B, c'est en septembre et en mars que l'abondance phytoplanctonique est la plus importante.



Tableau 29 : Abondance totale en cyanobactéries, abondance des cyanobactéries toxinogènes et identification des genres dominants par campagne

		09/05/2016	18/07/2016	23/09/2016	14/03/2017
Station A	Abondance totale (cel/ml)	20950	2261	7800	31653
	Abondance en cyanobactéries toxinogènes (cel/ml)	20648	2261	6443	31653
	Genre dominant*	<i>Synechococcus sp</i>	<i>Synechococcus sp</i>	<i>Synechococcus sp</i>	<i>Cyanobium rubescens</i>
Station B	Abondance totale (cel/ml)	11926	1658	21138	31496
	Abondance en cyanobactéries toxinogènes (cel/ml)	11003	1658	17182	31496
	Genre dominant*	<i>Synechococcus sp</i>	<i>Synechococcus sp</i>	<i>Synechococcus sp</i>	<i>Cyanobium rubescens</i>

*En rouge : genre toxinogène

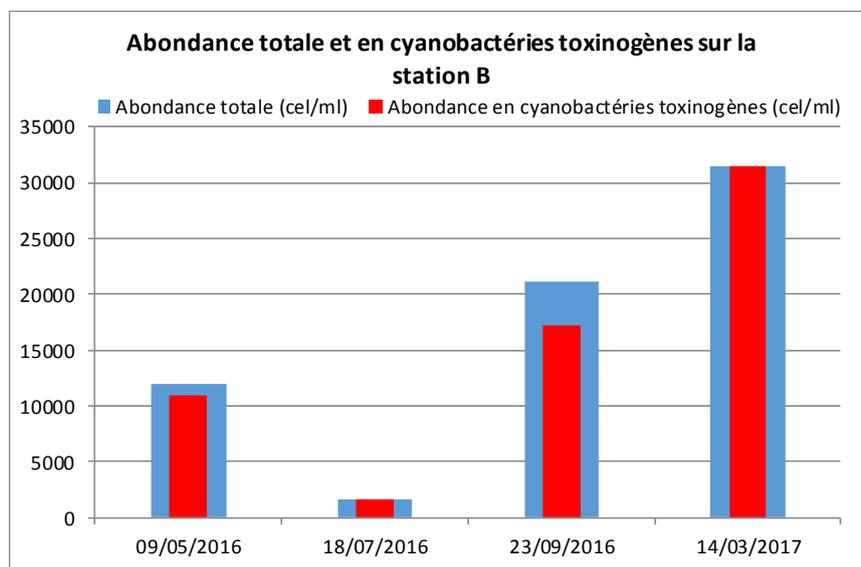
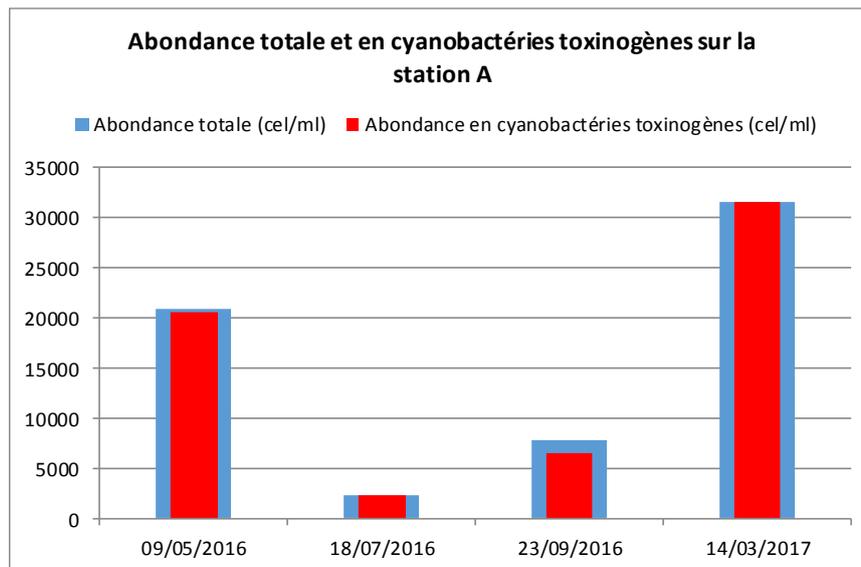


Figure 57 : Abondance totale en cyanobactéries et en cyanobactéries toxinogènes sur la station A et la station B.

D'après la détermination des différents genres de cyanobactéries, la majorité des individus peuvent potentiellement produire des toxines. Si l'on compare ces données aux niveaux de risques des baignades liés aux cyanobactéries (source : ARS Auvergne, délégation 63), le lac de la Crégut est classé au maximum **1b** quelles que soient les campagnes, le nombre de cellules toxinogènes/ml ne dépassant pas 100 000 (Tableau 30).



Tableau 30 : Niveaux de risques liés aux cyanobactéries (Source : ATHOS Environnement, ARS Auvergne, délégation 63)

Niveau	Cellules toxigènes / ml	Gestion		Dénombrement des cyanobactéries
Ia	20 000	Surveillance journalière Information du public et de l'ARS	Activité normale	Bimensuel
Ib				Hebdomadaire + recherche de toxines hebdomadaire
IIa	Limitation ou interdiction de la baignade en fonction des observations terrain		Hebdomadaire + recherche de toxines hebdomadaire	
IIb Présence de toxines	Interdiction de la baignade – Limitation des loisirs nautiques		Hebdomadaire + recherche de toxines hebdomadaire	
III 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.

Commentaires :

Sur l'ensemble de l'année, le peuplement cyanobactérien est dominé par des espèces potentiellement toxigènes. La part de ces espèces représente au minimum 81% de la population totale en cyanobactéries. C'est durant le mois de mars que les plus fortes abondances sont retrouvées sur les deux stations, avec un peuplement monospécifique.



La Figure 58 présente les résultats de la biomasse phytoplanctonique calculée à partir du dénombrement.

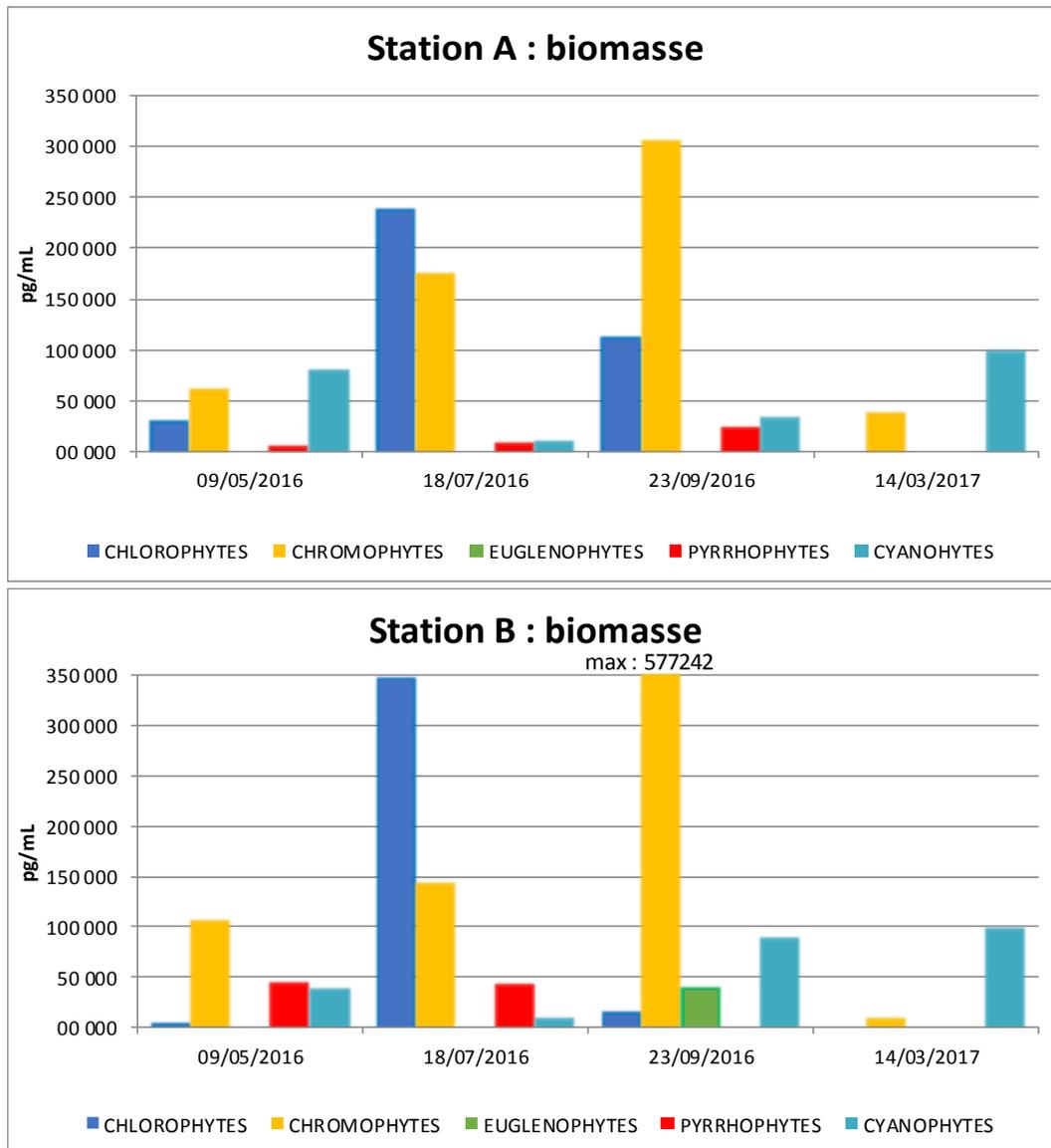


Figure 58 : Biomasse phytoplanctonique des stations A et B

Commentaires :

La biomasse du phytoplancton est plus importante sur la station B que sur la station A. Contrairement à l'abondance, les cyanophytes ne sont pas dominantes en termes de biomasse. Sur les deux stations, ce sont les chlorophytes et les chromophytes qui dominent. De plus, la biomasse la plus importante est observable au cours des campagnes de juillet et de septembre.

3.6.2 Chlorophylle a et phéopigments

La Figure 59 présente les résultats de la chlorophylle a et des phéopigments mesurés sur la zone euphotique des deux stations.

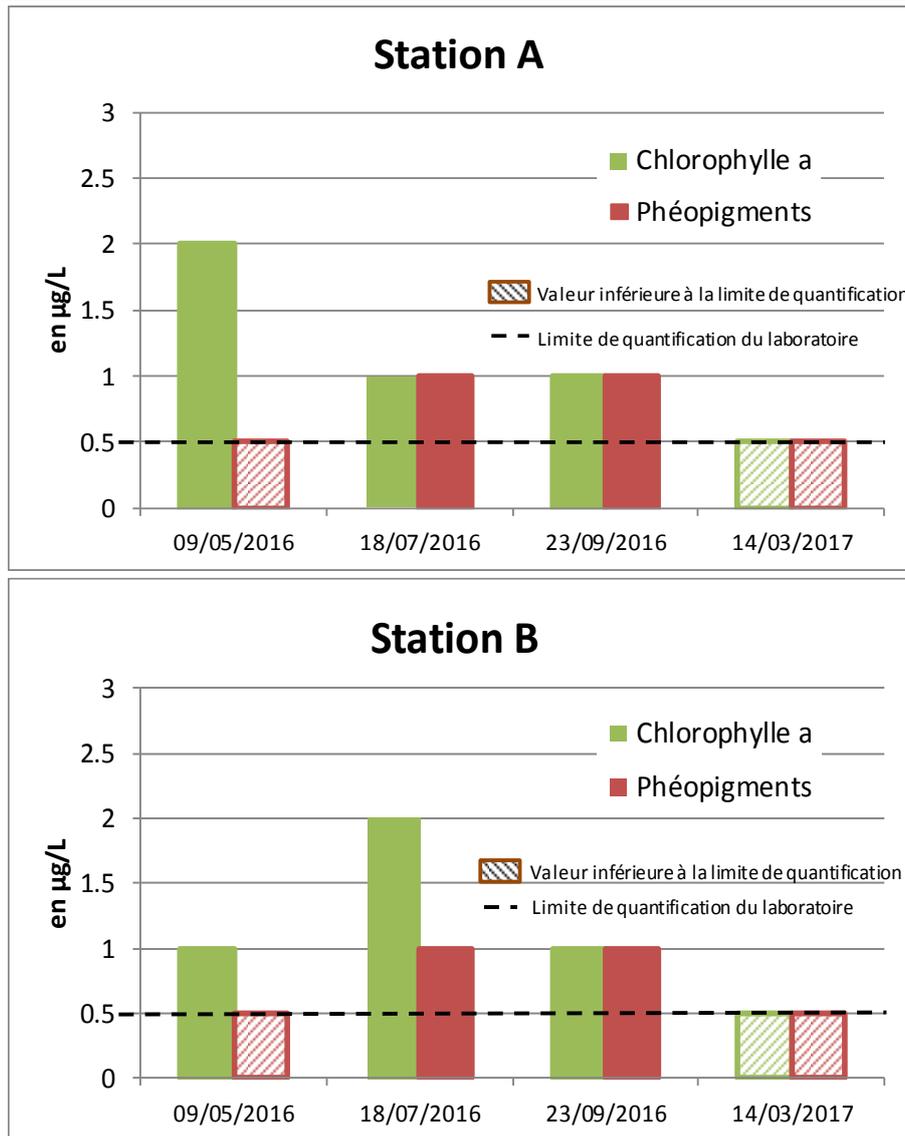


Figure 59 : Résultats de la concentration en chlorophylle a et en phéopigments sur les stations A et B

Commentaires :

Les valeurs mesurées sur l'ensemble des campagnes restent relativement basses, inférieures à 2µg/L (les valeurs les plus importantes sont mesurées en mai sur la station A et en juillet sur la station B)
 Pour les campagnes de mai et de mars, certaines valeurs sont trop faibles et ne peuvent être mesurées (valeurs inférieures au seuil de quantification (<0.5µg/L)).



3.6.3 Indice Phytoplanktonique LACustre

L'IPLAC a pu être calculé pour l'assemblage phytoplanktonique mais sans contraintes. En effet le nombre de taxons contributifs n'est pas assez conséquent pour pouvoir déterminer l'IPLAC avec contraintes. Ces dernières sont résumées dans le Tableau 31.

Contraintes		2016-2017
Période	Du 09/05/16 au 14/03/17	NA
Nombre de campagnes 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 31 : Validation des contraintes pour la calcul de l'IPLAC.

L'IPLAC (sans contraintes) classe le lac en qualité « **bonne** » pour le suivi 2016-2017.

	Station A	Station B	Classe de qualité selon l'arrêté 27 juillet 2015
IPLAC	0.73	0.79	0.76

Tableau 32 : Résultats du calcul de l'IPLAC (sans contraintes) pour le suivi 2016-2017



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 33 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)
Ultra oligotrophe	≤ 4	≤ 1	≤ 2.5	≥ 12	≥ 6
Oligotrophe	4-10	1-2.5	≤ 8	≥ 6	≥ 3
Mésotrophe	10-35	2.5-8	8-25	6-3	3-1.5
Eutrophe	35-100	8-25	25-75	3-1.5	1.5-0.7
Hypereutrophe	≥ 100	≥ 25	≥ 75	≤ 1.5	≤ 0.7

Tableau 33 : Résultats de la classification de l'OCDE

Pour le paramètre phosphore total, la moyenne annuelle est de $13.5 \mu\text{g/L}$, cette valeur classe le lac dans la catégorie trophique « mésotrophe ».

La moyenne de la chlorophylle a classe le lac dans la catégorie « oligotrophe », tandis que la valeur maximale de la chlorophylle a est de la classe trophique « ultraoligotrophe ». La moyenne annuelle est de $1.06 \mu\text{g/L}$ et la valeur maximale de $2.00 \mu\text{g/L}$.

Les mesures de transparence caractérisent la masse d'eau de lac eutrophe. Les valeurs de transparence moyenne (2.7 m) et minimale (2.2 m) sont légèrement faibles en raison d'une teinte naturelle de l'eau 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 2016 au 08 avril 2017.

Hydrologie :

Le débit mesuré au cours de l'année 2016-2017 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 34 : Débits moyens mesurés en Entrée Crégut

	2006	2011 (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	2013-2014 (1 ^{er} avr. 2013 au 1 ^{er} avr. 2014)	2014-2015 (8 avril 2014 au 8 avril 2015)	2015-2016 (8 avril 2015 au 8 avril 2016)	2016-2017 (8 avril 2016 au 8 avril 2017)
Débit moyen en entrée Crégut	NC	2.0 m ³ /s	4.3 m ³ /s	3.3 m ³ /s	3.04 m ³ /s	2.74 m ³ /s

Flux de Matières en Suspension (MES) :

Comme pour 2015-2016, 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 2016-2017, 5 points ont été suivis. La mesure de turbidité a été convertie en concentrations de MES par la réalisation de corrélations à partir de mesures de MES en laboratoire. Les principales observations et conclusions sont les suivantes :

- 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. 65 % des matières en suspension entrant dans le Tact ont été stockés sur la période de suivi, représentant environ 815 tonnes.
- Durant le suivi 2016-2017, environ 213 tonnes de MES se seraient stockées dans le lac de la Crégut représentant environ 49% du flux entrant (Tableau 35).
- 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 35 : Bilan de MES dans le lac de la Crégut pour les différentes années de suivi

	2006	2011 (1 ^{er} janvier au 31 décembre)	2013-2014 (1 ^{er} avr. 2013 au 1 ^{er} avr. 2014)	2014-2015 (8 avril 2014 au 8 avril 2015)	2015-2016 (8 avril 2015 au 8 avril 2016)	2016-2017 (8 avril 2016 au 8 avril 2017)
Stockage de MES Lac Crégut	550 tonnes	140 tonnes	250 à 315 tonnes	172 tonnes	184 tonnes	213 tonnes
Pourcentage du flux entrant	50%	30%	27 à 34 %	38%	43%	49%

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 ». De même, le paramètre « pH max » déclassé les sites Entrée Tact et Entrée Crégut 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 2015-2016, les concentrations en carbone organique dissous classent les cinq sites en qualité « très bonne ».
- Les concentrations en éléments phosphorés semblent légèrement plus élevées sur les stations Tarentaine et Entrée Tact, qui déclassent la qualité en « bonne » sur ces deux sites. L'augmentation de ces concentrations sur les sites amont peut être liée aux activités anthropiques sur le bassin versant.
- 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 et en phosphores total. De même la valeur de la transparence du Secchi classe le lac en qualité « très bonne ». La valeur de la concentration maximale en nitrates classe le lac en qualité « bonne ». Seule la valeur de désoxygénation de l'hypolimnion est un paramètre déclassant pour la qualité de l'eau du lac (classe « médiocre »). La qualité du lac observée en 2016-2017 est similaire à celle observée lors du suivi 2015-2016.
- 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 septembre et également sur la station B durant la campagne de juillet. Les concentrations en oxygène ont progressivement diminué pour atteindre des valeurs proches de 0 mg/L à 14 m (station A) et 20 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 2016-2017. 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 ₂ O à 0 – 30mH ₂ 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)	EN61000-6-2 - EN61000-6-3 - EN60950-1.
(ACS)	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 ² (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 ² (80 mΩ/ m de câble), Ø 9 mm +/-0,5 mm, poids 100 g par mètre.
Mise en œuvre	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

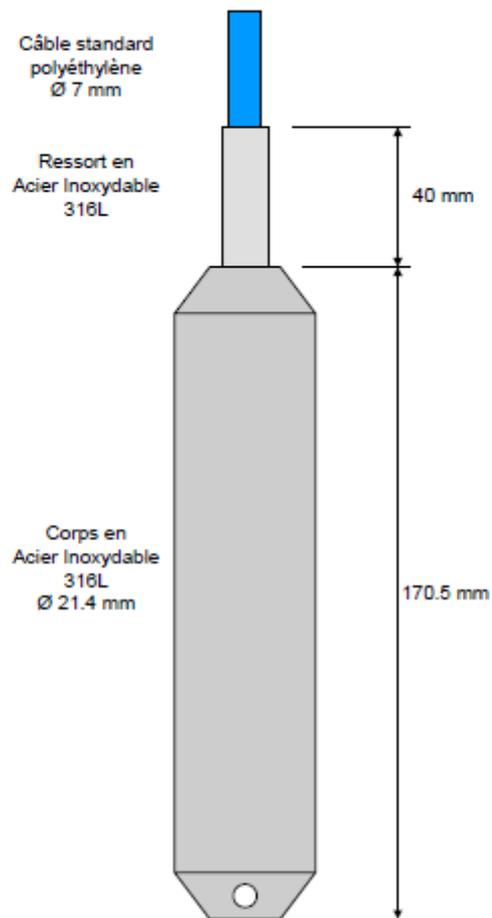
Tél. : +33 4 74 00 12 70 - Fax : +33 4 74 00 02 42

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

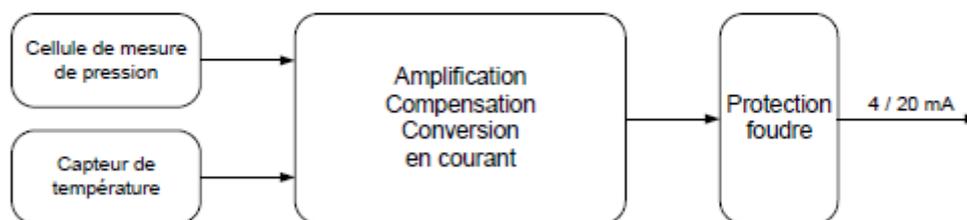
1



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.pاراتronic.info>



ENREGISTREUR MAC10R

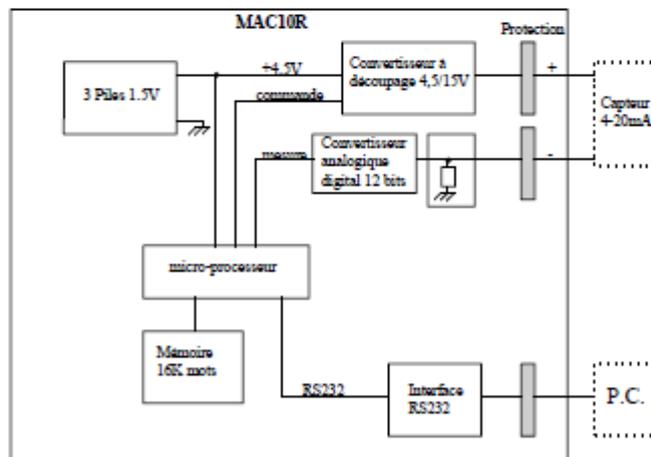
Présentation générale

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 μ 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 ϕ 5 mm à 7 mm
- boîtier: IP67.

Schéma de principe

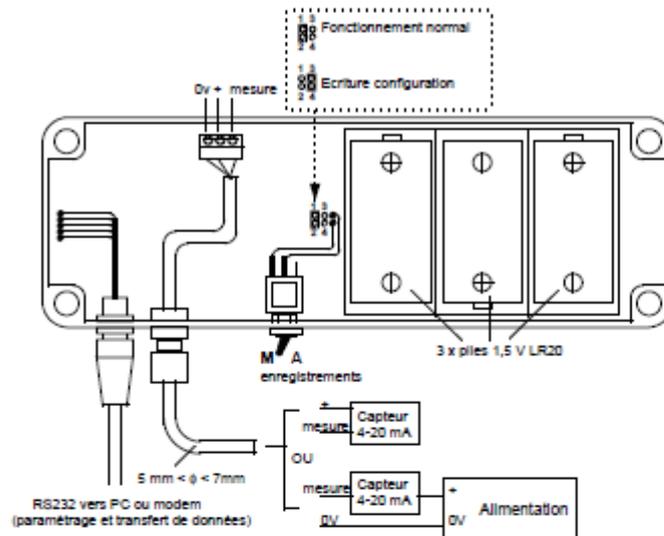


Les caractéristiques décrites dans ce document peuvent être modifiées sans préavis par le constructeur

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

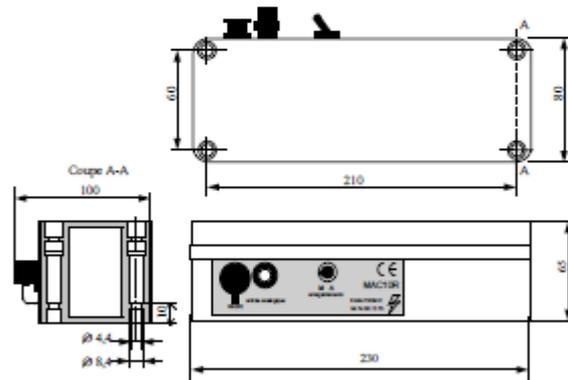


Raccordement



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 01600 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

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



Ordering Guide	
AQUAlogger 210TY	Turbidity only
AQUAlogger 210TYT	Turbidity, Temperature
AQUAlogger 210Tpp	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.

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

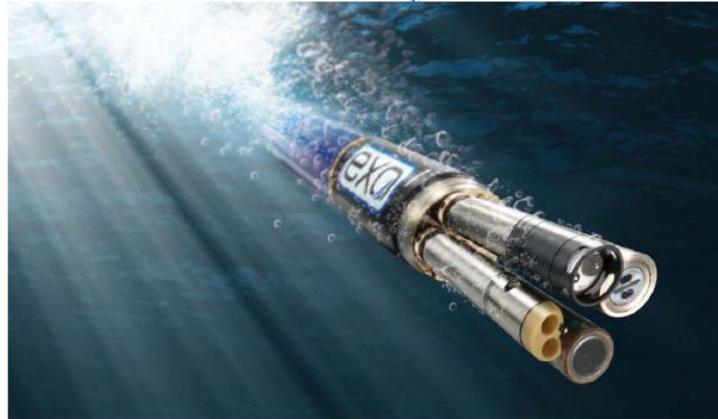
Tel: (902) 450-1700
Fax: (902) 450-1704

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

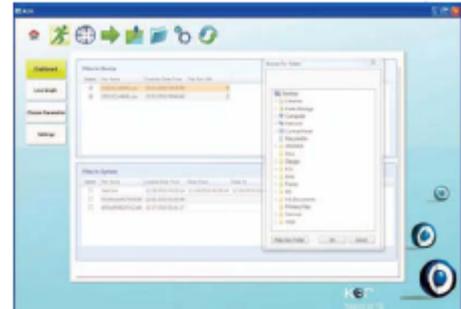
La sortie de la sonde est lisible par le terminal ExO, le logiciel interface KOR et les modules de transmission. En complément au câble (standard) ces interfaces de communication sont proposées :

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

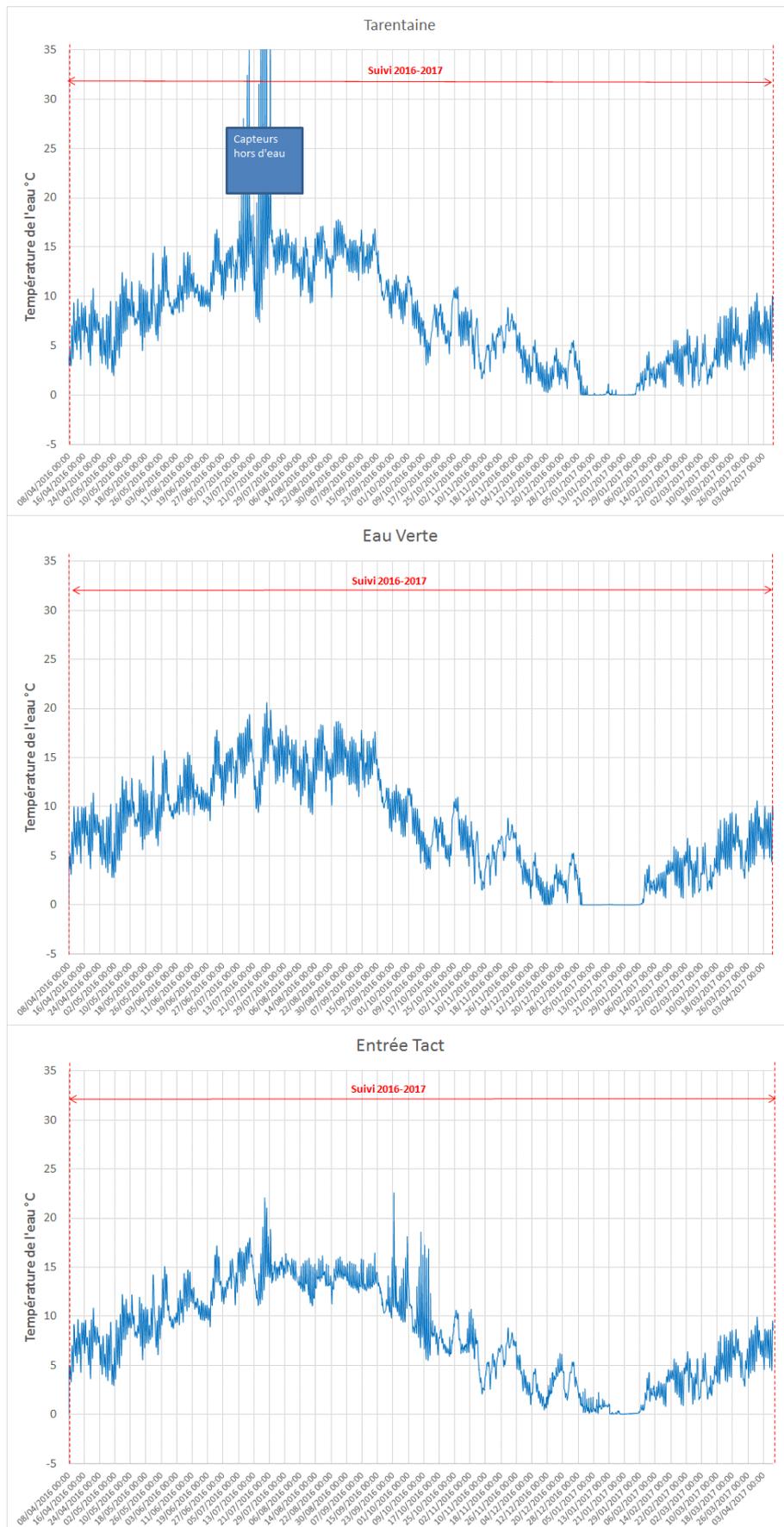


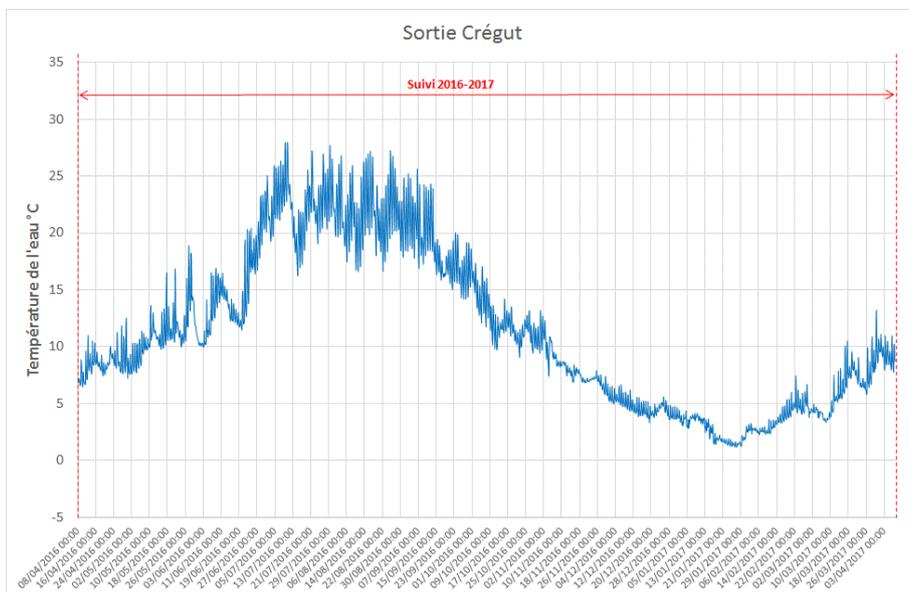
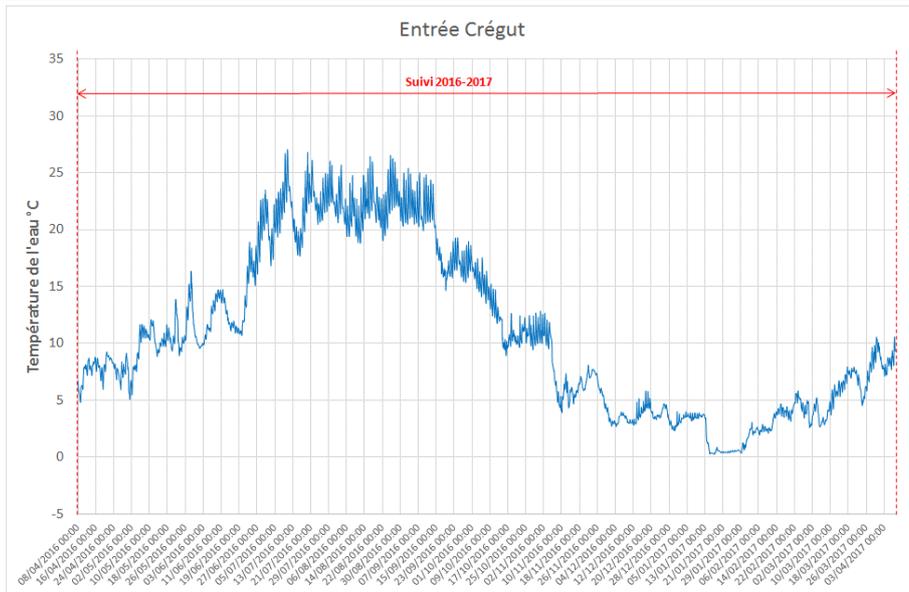
Spécifications des capteurs*

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



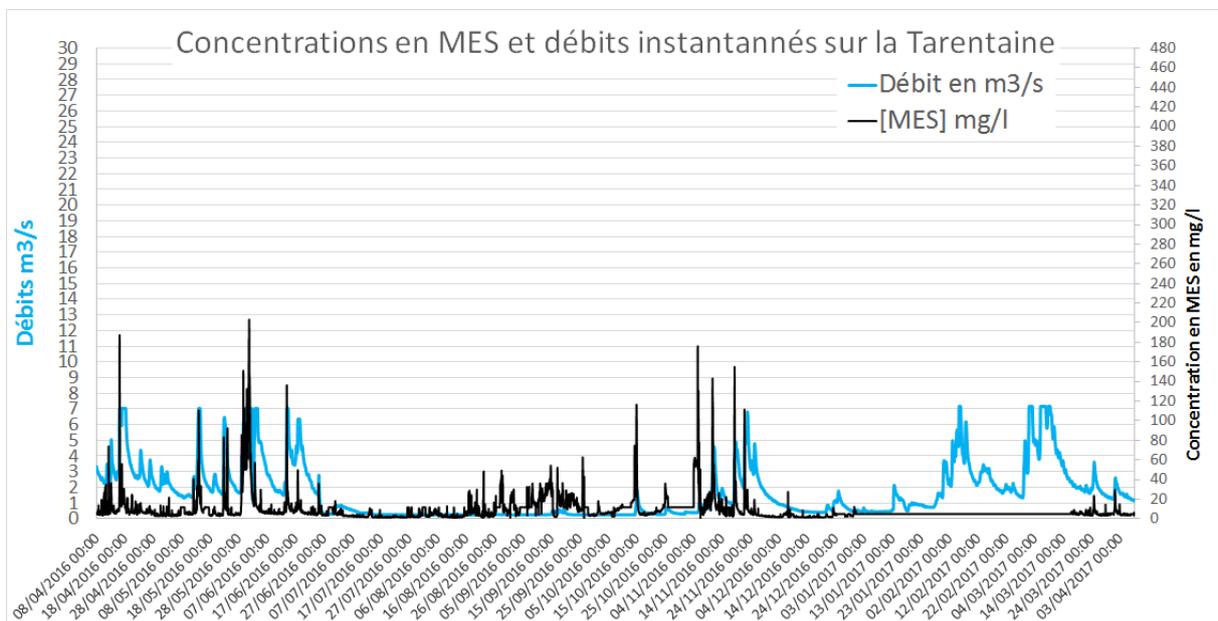
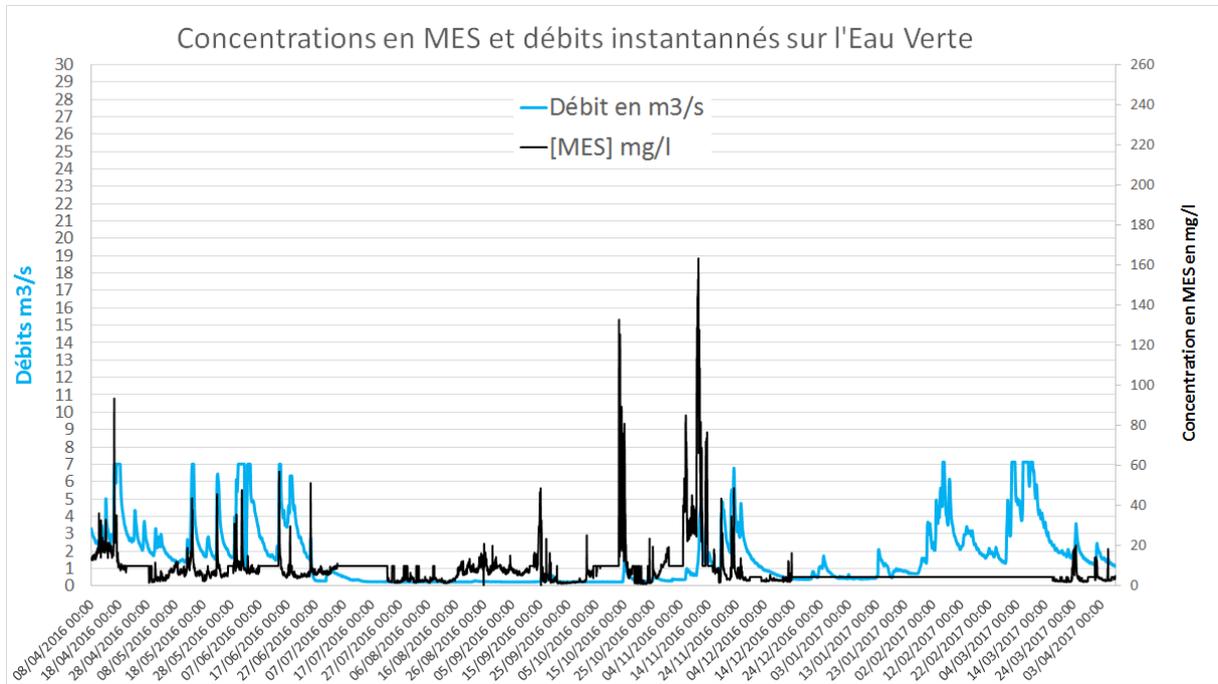
ANNEXE 5 : CHRONIQUES DE TEMPERATURES PAR SITE DE SUIVI

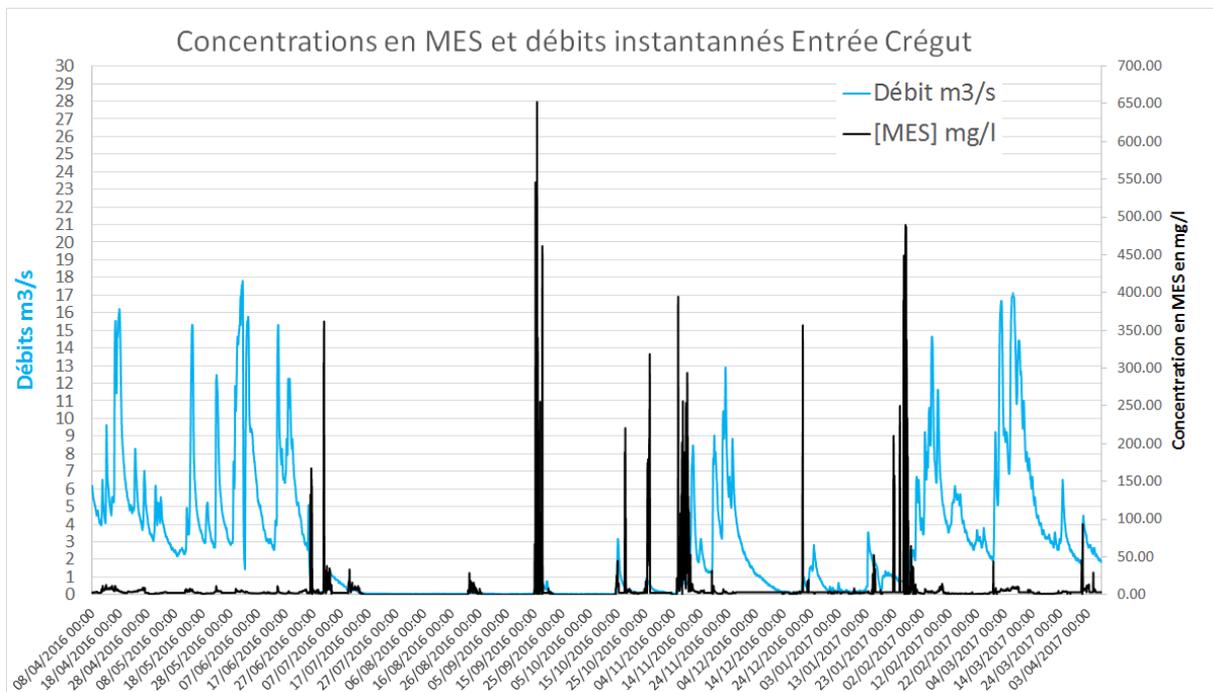
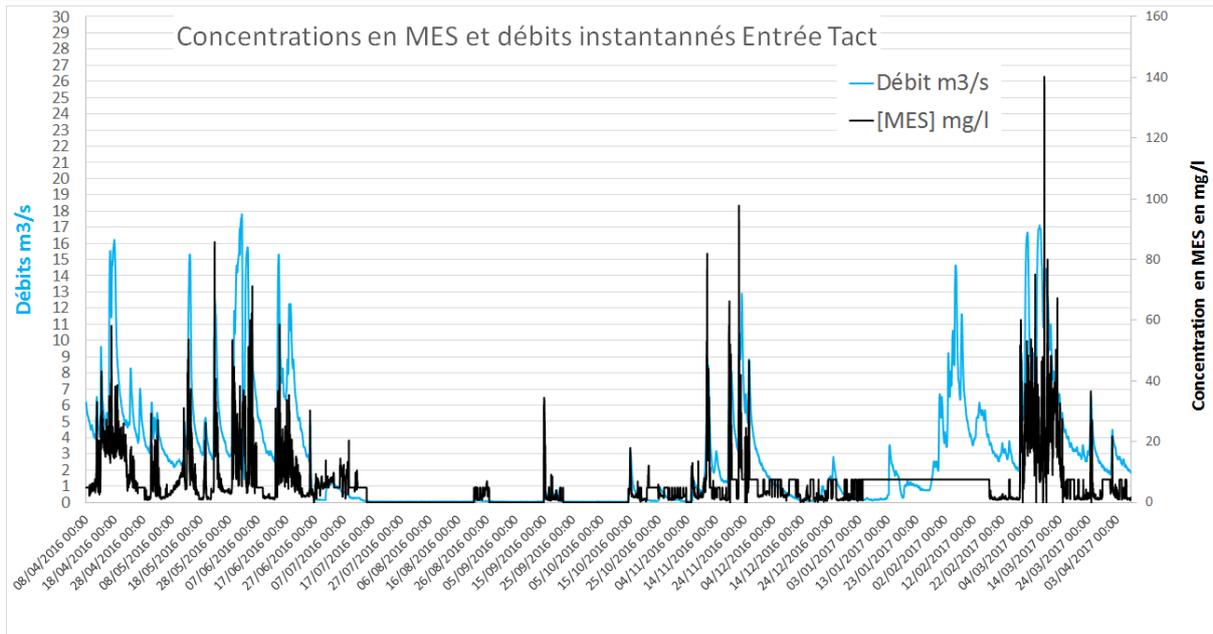


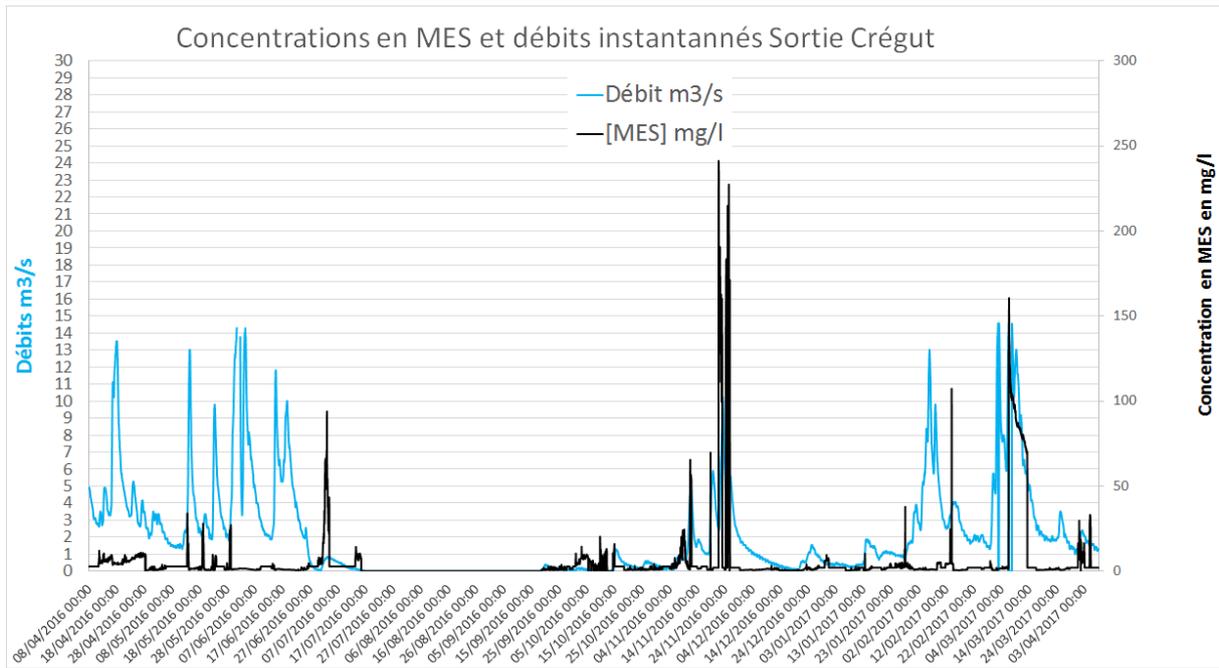




ANNEXE 6 : CHRONIQUE DE TURBIDITE ET DE DEBITS PAR AMENAGEMENTS









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 36 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 O₂ 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 36 : 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
Bilan de l'oxygène					
oxygène dissous (mg O ₂ .l ⁻¹)	8	6	4	3	
taux de saturation en O ₂ dissous (%)	90	70	50	30	
DBO ₅ (mg O ₂ .l ⁻¹)	3	6	10	25	
carbone organique dissous(mg C.l ⁻¹)	5	7	10	15	
Température					
eaux salmonicoles	20	21.5	25	28	
eaux cyprinicoles	24	25.5	27	28	
Nutriments					
PO ₄ ³⁻ (mg PO ₄ ³⁻ .l ⁻¹)	0.1	0.5	1	2	
phosphore total (mg P.l ⁻¹)	0.05	0.2	0.5	1	
NH ₄ ⁺ (mg NH ₄ ⁺ .l ⁻¹)	0.1	0.5	2	5	
NO ₂ ⁻ (mg NO ₂ ⁻ . l ⁻¹)	0.1	0.3	0.5	1	
NO ₃ ⁻ (mg NO ₃ ⁻ . l ⁻¹)	10	50	*	*	
Acidification¹					
pH minimum	6.5	6	5.5	4.5	
pH maximum	8.2	9	9.5	10	
Salinité					
conductivité	*	*	*	*	
chlorures	*	*	*	*	
sulfates	*	*	*	*	

¹ : 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 37 : 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 (médiane ¹)	$\mu\text{g P.L}^{-1}$	Très bon-Bon	44,174	-0,315	57,744	-0,324	minimum entre [a*Z _{moy} ^b] et [c*(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 (médiane)	m	Très bon-Bon	1,1741	0,284	0,9989	0,277	maximum entre [a*Z _{moy} ^b] et [c*(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 ² (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

¹ 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.

² 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 NH₄/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
Bilan de l'oxygène ¹				
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				
¹ 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 38.

Tableau 38 : 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