



Mai 2018

Suivi environnemental du lac de la Crégut (2017-2018)



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 (2017-2018)

MOTS-CLES :

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

DATE D'EDITION :

Mai 2018

STATUT :

Confidentiel – document de travail

NOMBRE D'EXEMPLAIRES EDITES : 0

NOMBRE DE PAGES : 119

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

		Prélèvements	Laboratoire	Rédaction	Relecture	Validation
Directeur	Antoine THOUVENOT					×
Chef de Projet	Marie Eve MAUDUIT				×	
Chef de Projet	Alban DUMONT				×	
Chargé de Recherche	Benoît GIRE	×		×		
Technicien Polyvalent	Gilles DEMAIL	×				
Technicien Polyvalent	David FOLTIER	×				
Technicien Polyvalent	Antoine JAMON	×				



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	17
2.2.1	<i>Principe.....</i>	17
2.2.2	<i>Matériel.....</i>	18
2.2.3	<i>Résultats.....</i>	18
2.3	SUIVI THERMIQUE	20
2.3.1	<i>Matériel et méthode</i>	20
2.3.2	<i>Résultats.....</i>	20
2.4	MATIERES EN SUSPENSION (TURBIDITE).....	21
2.4.1	<i>Principe.....</i>	21
2.4.2	<i>Signal en continu de la turbidité.....</i>	21
2.4.3	<i>Prélèvements manuels et automatiques.....</i>	27
2.4.4	<i>Corrélation Turbidité / Matières en suspension</i>	30
2.4.5	<i>Chroniques brutes de matières en suspension par aménagement.....</i>	39
2.4.6	<i>Bilan des cumuls de MES.....</i>	40
2.5	PHYSICO-CHIMIE DES ENTRANTS ET SORTANTS	55
2.5.1	<i>Fréquence de prélèvement</i>	55
2.5.2	<i>Matériel et méthode</i>	55
2.5.3	<i>Résultats des paramètres physico-chimiques.....</i>	58
2.5.4	<i>Bilan de l'évaluation de l'état écologique pour les éléments physico-chimiques.....</i>	73
3	QUALITE DE L'EAU DU LAC DE LA CREGUT.....	75
3.1	STATIONS DE SUIVI.....	75
3.2	FREQUENCE DE PRELEVEMENT	75
3.3	MATERIEL ET METHODE	76
3.3.1	<i>Les profils verticaux.....</i>	76
3.3.2	<i>Les prélèvements physico-chimiques.....</i>	76
3.3.3	<i>L'analyse phytoplanctonique.....</i>	76
3.3.4	<i>Le référentiel d'interprétation</i>	77
3.4	RESULTATS DES PROFILS VERTICAUX.....	78
3.5	RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES.....	81
3.5.1	<i>Paramètres phosphorés</i>	81
3.5.2	<i>Paramètres azotés.....</i>	82
3.5.3	<i>Matières organiques</i>	84
3.5.4	<i>Demande biologique en oxygène</i>	85
3.6	RESULTATS DE L'ANALYSE PHYTOPLANCTONIQUE.....	86
3.6.1	<i>Dénombrement du phytoplancton</i>	86
3.6.2	<i>Chlorophylle a et phéopigments.....</i>	90
3.6.3	<i>Indice Phytoplanctonique LACustre</i>	91
3.7	BILAN DE L'EVALUATION DE L'ETAT ECOLOGIQUE.....	91
3.8	CLASSIFICATION TROPHIQUE DE L'OCDE (VOLLENWEIDER ET KEREKES).....	92
5	CONCLUSIONS.....	93



ANNEXE 1 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES SONDAS DE NIVEAU CNR PARATRONIC ET ENREGISTREUR MAC 10R	96
ANNEXE 2 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES CAPTEURS DE TURBIDITE AQUALOGGER 210 TY	101
ANNEXE 3 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES CAPTEURS DE TURBIDITE SOLITAX T-LINE SC	102
ANNEXE 4 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES CAPTEURS DE TEMPERATURE MINILOG II	104
ANNEXE 5 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA SONDE YSI EXO1	105
ANNEXE 6 : CHRONIQUES DE TEMPERATURES PAR SITE DE SUIVI	109
ANNEXE 7 : CHRONIQUE DE TURBIDITE ET DE DEBITS PAR AMENAGEMENTS	111
ANNEXE 8 : EXTRAIT DE L'ARRETE DU 27 JUILLET 2015 POUR LES RIVIERES	116
ANNEXE 9 : EXTRAIT DE L'ARRETE DU 27 JUILLET 2015 POUR LES PLANS D'EAU	117



Table des Figures

Figure 1 : Localisation des stations (Source : Géoportail®, ATHOS Environnement).....	12
Figure 2 : Détermination des débits par station de mesure (Source : EDF).....	17
Figure 3 : Capteur de niveau d'eau de la station sortie Lac (à droite) / déchargement de l'enregistreur (à gauche) (Source : ATHOS Environnement).....	18
Figure 4 : Chronique de débit en entrée et en sortie du lac de la Crégut (Source ATHOS Environnement).....	19
Figure 5 : Photographie d'un capteur de température et spécifications (Source : ATHOS Environnement, Vemco).....	20
Figure 6 : Description du capteur de turbidité AQUALOGGER 210 TY et de son fonctionnement (Source : ATHOS Environnement).....	21
Figure 7 : Installation en place à l'entrée du lac de la Crégut (Source : ATHOS Environnement).....	22
Figure 8 : Installation en place à la sortie du lac du Tact (Source : ATHOS Environnement).....	23
Figure 9 : Photographies de capteurs de turbidité encrassé, Aquatec à gauche et Solitax à droite (Source : ATHOS Environnement).....	24
Figure 10 : 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).....	25
Figure 11 : Schéma de la procédure réalisée lors du traitement des données brutes de turbidité (Source : ATHOS Environnement).....	27
Figure 12 : Répartition des sorties terrain par rapport au contexte hydrologique.....	28
Figure 13 : Préleveur automatique déployé sur alerte débit durant le mois d'avril -2017 (Source : ATHOS Environnement).....	29
Figure 14 : Schéma de la procédure réalisée lors de la construction des relations MES/Turbidité (Source : ATHOS Environnement).....	31
Figure 15 : 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.....	32
Figure 16 : Test d'homogénéité de Pettitt des chroniques de débit.....	33
Figure 17 : Relation MES/Turbidité Entrée Crégut et Entrée Tact.....	33
Figure 18 : Relation MES/turbidité utilisée pour Sortie Crégut.....	34
Figure 19 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Eau Verte.....	34
Figure 20 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Tarentaine.....	35
Figure 21 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Entrée Tact.....	35
Figure 22 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Entrée Crégut.....	35
Figure 23 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Entrée Tact/ Entrée Crégut/ Sortie Tact.....	36
Figure 24 : Relation MES/Turbidité Sortie Eau Verte et Sortie Tact.....	37
Figure 25: Relation MES/Turbidité utilisée pour Sortie Crégut.....	37
Figure 26 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Sortie Eau Verte.....	38
Figure 27 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Sortie Tact.....	38
Figure 28 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Sortie Eau Verte / Sortie Tact / Sortie Crégut.....	38
Figure 29 : Test d'homogénéité de Pettitt des chroniques des concentrations en MES à l'Entrée du Tact.....	39
Figure 30 : Cumuls de MES en tonnes d'avril 2017 à avril 2018 sur les stations rivière.....	41
Figure 31 : Concentration en MES et débit sur la Tarentaine et l'Eau verte pour les quatre séquences.....	43
Figure 32 : Cumuls de MES en tonnes d'avril 2017 à avril 2018 sur les stations lac.....	44
Figure 33 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 5.....	48
Figure 34 : Cumuls de MES en tonnes d'avril 2017 à avril 2018 sur les stations lac.....	49
Figure 35 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 5.....	53



Figure 36 : Résultats de la température, du pH et de l'oxygène dissous relevés sur les cinq stations du suivi	58
Figure 37 : Résultats du taux de saturation en oxygène et de la conductivité sur les cinq stations du suivi.....	60
Figure 38 : Résultats des concentrations en ammonium sur les cinq station du suivi.....	62
Figure 39 : Résultats des concentrations en nitrates sur les cinq station du suivi.....	63
Figure 40 : Résultats des concentrations en nitrites sur les cinq station du suivi.....	64
Figure 41 : Résultats des concentrations en azote Kjeldahl sur les cinq station du suivi	65
Figure 42 : Résultats des concentrations en orthophosphates sur les cinq station du suivi.....	66
Figure 43 : Résultats des concentrations en phosphore total sur les cinq station du suivi.....	68
Figure 44 : Résultats des concentrations en carbone organique dissous sur les cinq station du suivi	70
Figure 45 : Résultats des concentrations en carbone organique total sur les cinq station du suivi	71
Figure 46 : Résultats des concentrations en matières en suspension sur les cinq station du suivi.....	72
Figure 47 : Station de suivi lacustre sur le lac de la Crégut (Source : EDF, ATHOS Environnement).....	75
Figure 48 : Résultats des profils verticaux de la station A.....	79
Figure 49 : Résultats des profils verticaux de la station B	80
Figure 50 : Résultats des concentrations en phosphore total des stations A et B	81
Figure 51 : Résultats des concentrations en orthophosphates des stations A et B	81
Figure 52 : Résultats des concentrations en ammonium des stations A et B	82
Figure 53 : Résultats des concentrations en nitrates des stations A et B	82
Figure 54 : Résultats des concentrations en nitrites des stations A et B	83
Figure 55 : Résultats des concentrations en azote Kjeldahl des stations A et B.....	83
Figure 56 : Résultats des concentrations en carbone organique dissous des stations A et B.....	84
Figure 57 : Résultats des concentrations en matières en suspension des stations A et B.....	84
Figure 58 : Résultats des concentrations en DBO5 des stations A et B	85
Figure 59 : Abondance phytoplanctonique des stations A et B	86
Figure 60 : Abondance totale en cyanobactéries et en cyanobactéries toxigènes sur la station A et la station B	87
Figure 61 : Biomasse phytoplanctonique des stations A et B.....	89
Figure 62 : Résultats de la concentration en chlorophylle a et en phéopigments sur les stations A et B.....	90



Table des Tableaux

<i>Tableau 1 : Synthèse des températures de l'eau par site de suivi</i>	21
<i>Tableau 2 : Synthèses des données brutes enregistrées par les capteurs Aquatec d'avril 2017 à avril 2018</i>	26
<i>Tableau 3 : Synthèses des données brutes enregistrées par le capteur Solitax</i>	26
<i>Tableau 4 : Synthèse des analyses MES réalisées en laboratoire et exploitables par aménagement</i>	29
<i>Tableau 5 : Moyennes, minimum et maximum des concentrations en MES par aménagement</i>	39
<i>Tableau 6 : Bilan des cumuls par aménagement, données enregistrées par les systèmes Aquatec</i>	54
<i>Tableau 7 : Bilan des cumuls par aménagement, données enregistrées par les systèmes Solitax</i>	54
<i>Tableau 8 : Heures et dates de prélèvement des échantillons prélevés en rivière</i>	55
<i>Tableau 9 : Caractéristiques techniques de la sonde utilisée</i>	55
<i>Tableau 10 : Normes et limites de quantification des paramètres analysés (Source : CARSO)</i>	56
<i>Tableau 11 : Paramètres physico-chimiques et valeurs des classes de qualité pour les cours d'eau (Source : Arrêté du 27 juillet 2015)</i>	56
<i>Tableau 12 : Classes de qualité de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	57
<i>Tableau 13 : Comparaison des paramètres température, pH et oxygène dissous aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	58
<i>Tableau 14 : Comparaison des paramètres taux de saturation et conductivité aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	60
<i>Tableau 15 : Comparaison du paramètre ammonium aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	62
<i>Tableau 16 : Comparaison du paramètre nitrate aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	63
<i>Tableau 17 : Comparaison du paramètre nitrite aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	64
<i>Tableau 18 : Comparaison du paramètre orthophosphates aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	66
<i>Tableau 19 : Comparaison du paramètre phosphore aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	68
<i>Tableau 20 : Comparaison du paramètre carbone organique dissous aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i> ...	70
<i>Tableau 21 : Bilan des comparaisons des concentrations des différents paramètres selon l'arrêté du 27 juillet 2015 pour chaque station</i>	73
<i>Tableau 22 : Evaluation de l'état écologique pour les paramètres physico-chimiques du suivi 2017-2018 selon l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	73
<i>Tableau 23 : Heures et dates de prélèvement des échantillons prélevés en lac (Source : ATHOS Environnement)</i>	75
<i>Tableau 24 : Normes et limites de quantification des paramètres analysés pour les analyses lacustres (Source : Carso)</i>	76
<i>Tableau 25 : Classes de qualité de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	77
<i>Tableau 26 : Classification trophique de l'OCDE (Source : Wollenweider et Kerekes)</i>	77
<i>Tableau 27 : Comparaison des résultats de transparence et d'oxygénation aux valeurs seuil de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	78
<i>Tableau 28 : Comparaison des concentrations en phosphore total aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	81
<i>Tableau 29 : Comparaison des concentrations en ammonium aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	82
<i>Tableau 30 : Comparaison des résultats de nitrates aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015</i>	82
<i>Tableau 31 : Abondance totale en cyanobactéries, abondance des cyanobactéries toxigènes et identification des genres dominants par campagne</i>	87
<i>Tableau 32 : Niveaux de risques liés aux cyanobactéries (Source : ATHOS Environnement, ARS Auvergne, délégation 63)</i>	88
<i>Tableau 33 : Validation des contraintes pour le calcul de l'IPLAC</i>	91
<i>Tableau 34 : Résultats du calcul de l'IPLAC (sans contraintes) pour le suivi 2017-2018</i>	91
<i>Tableau 35 : Bilan de l'état écologique du lac de la Crégut selon l'arrêté du 27 juillet 2015 pour chaque station</i>	91
<i>Tableau 36 : Résultats des différents paramètres OCDE</i>	92
<i>Tableau 37 : Classification de l'OCDE</i>	92



Tableau 38 : Débits moyens mesurés en Entrée Crégut (Source : ATHOS Environnement).....	93
Tableau 39 : Bilan de MES dans le lac de la Crégut pour les différentes années de suivi.....	94
Tableau 40 : Bilan de l'état physico-chimique des différentes stations du complexe de la Crégut, selon l'arrêté du 27 juillet 2015.....	95
Tableau 41 : Valeurs des limites des classes d'état pour les paramètres physico-chimiques généraux pour les cours d'eau.....	116
Tableau 42 : Paramètres physico-chimiques des éléments nutriments et transparence et calculs des valeurs seuils.....	117
Tableau 43 : Valeurs des limites de classes d'état exprimées en EQR pour l'indice phytoplanctonique lacustre (IPLAC).....	119
Tableau 44 : Valeurs des limites de classes d'état exprimées en EQR pour l'indice macrophytique lacustre (IBML).....	119
Tableau 45 : Valeurs des limites de classes d'état exprimées en EQR pour l'indice ichtyofaune lacustre (IIL)....	119



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 ». En 2010 et 2011 de nouveaux suivis ont été réalisés par EDF et se sont poursuivis sur une plus longue période, au cours des années 2013 à 2018.

La présente étude, débutée en avril 2017 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. Trois nouveaux systèmes de mesure de la turbidité ont été installés en juin 2017, en adéquation avec les premières stations, afin de compléter le suivi et finalement substituer ces anciennes stations sur la partie lac.

Les principaux volets de suivis ont été :

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

Cinq stations, suivies depuis 2013, se situent à l'amont de la retenue de Lastioules sur la « branche Nord » du complexe hydro-électrique de la Haute-Tarentaine. Différentes problématiques entraînant un biais de mesure et de la perte de données (absence de dispositif d'auto-nettoyage et positionnement des stations) ont induit une réflexion concernant à la fois le positionnement de ces stations et leur instrumentation.

C'est pour palier à ces problèmes que trois nouvelles stations ont été installées en parallèle aux anciennes. Celles-ci se situent au point d'exutoire des lacs : du barrage de l'Eau Verte, du Tact et de la Crégut. Elles sont associées respectivement aux stations Entrée Tact, Entrée Crégut et Sortie Crégut, afin de comparer les résultats des stocks de sédiment entre les différents équipements de mesure. Ces nouvelles stations sont équipées de sondes Solitax, dotées d'un dispositif d'auto-nettoyage, limitant le développement du périphyton, problème majeur pour la mesure de MES.

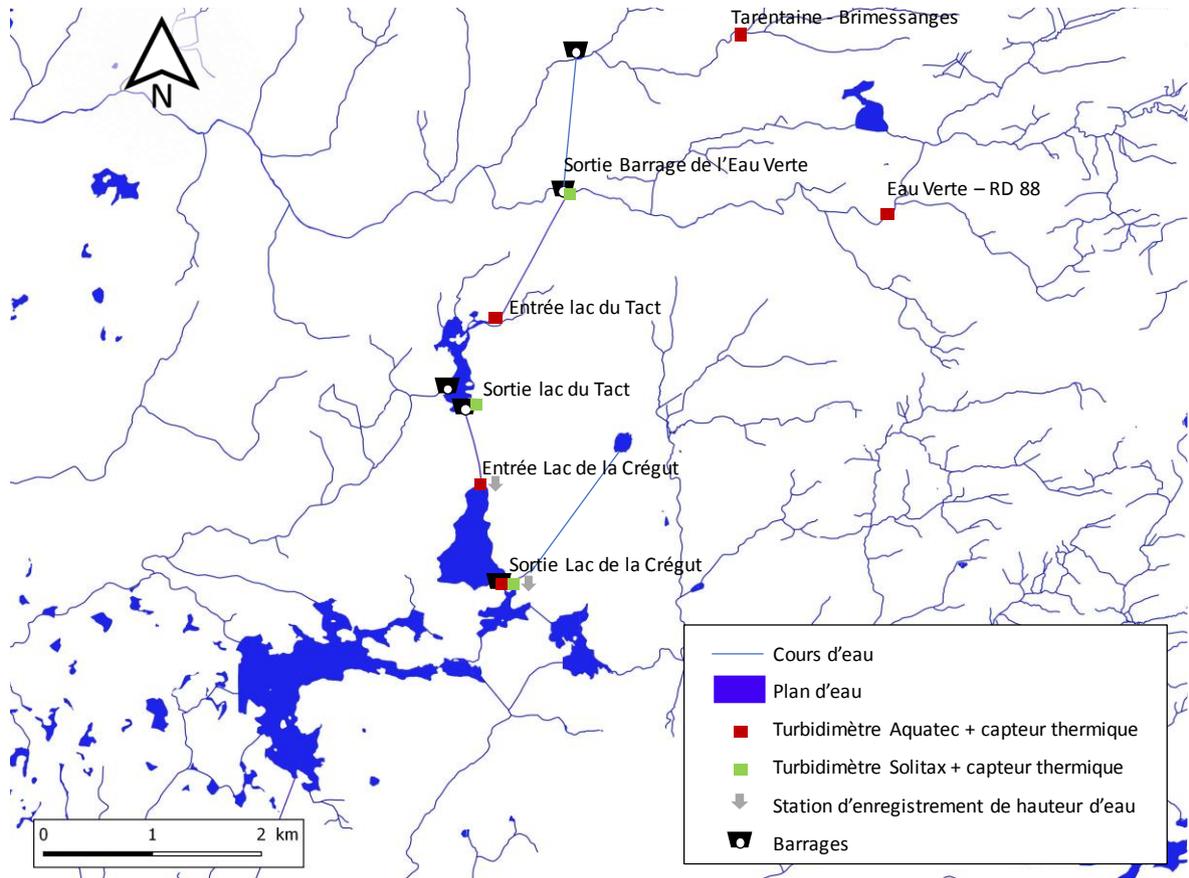
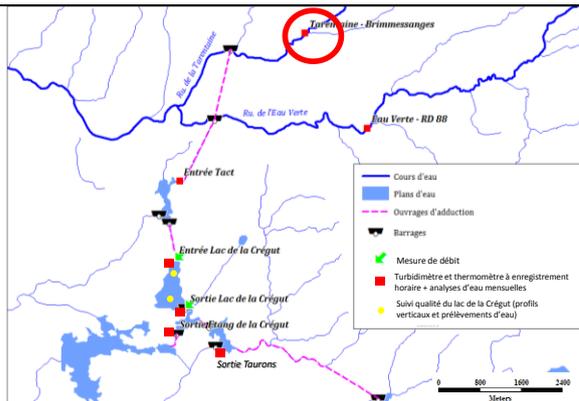


Figure 1 : Localisation des stations (Source : Géoportail®, ATHOS Environnement)



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



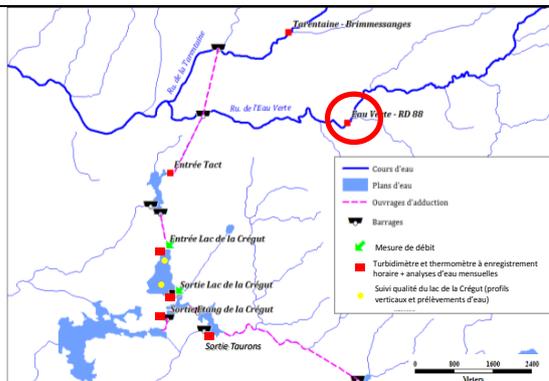
Description :

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).

Métadonnées :

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 : -

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



Description :

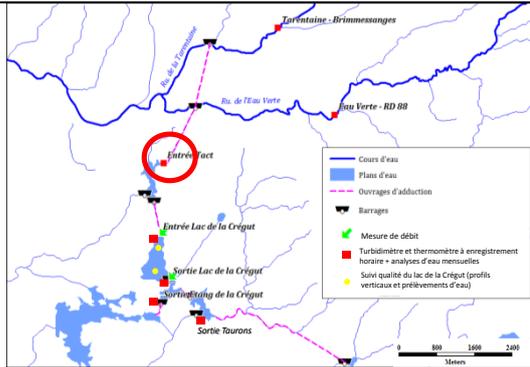
Les capteurs de température et de turbidité sont installés en rive droite sur le parement aval du pont de la RD88 (Lieu-dit Labessade).

Métadonnées :

Coordonnées GPS (L93) : X = 678 608.7 Y = 6 481 906.5
 Altitude (mNGF) : 960m
 Mise en service : 08/04/2013
 Perturbations rencontrées : Un capteur température a été retrouvé hors d'eau au cours de la campagne du mois de janvier, le lest équipant le système a été emporté au cours de la crue, laissant le capteur en surface.-



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

Métadonnées :

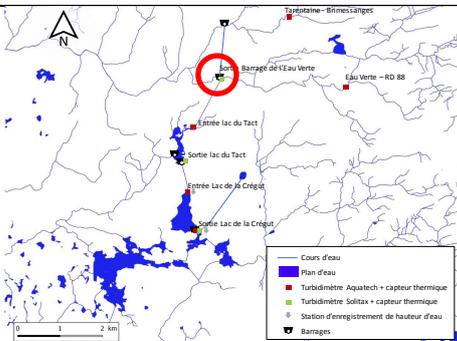
Coordonnées GPS (L93) : X = 675 057.53 Y = 6 480 943.41

Altitude (mNGF) : 885m

Mise en service : 08/04/2013

Perturbations rencontrées : Le 22 décembre 2017, le turbidimètre s'est arrêté et la sonde Aquatech a été ramenée à l'atelier le 17 janvier 2018 pour une maintenance. La batterie interne a été changée et la sonde a été réinstallée le 23 janvier 2018.

Station 3' : Sortie du barrage de l'Eau Verte



Description :

Les capteurs de température et de turbidité sont installés à l'exutoire (en amont de la galerie d'aduction, en direction du Tact), sur le parement en rive gauche.

Métadonnées :

Coordonnées GPS (L93) : X = 675 644.62 Y = 6 482 061.80

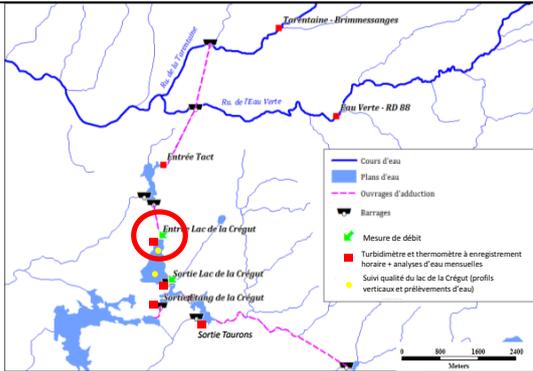
Altitude (mNGF) : 893m

Mise en service : 15/06/2017

Perturbations rencontrées : Le 17 janvier 2018, le turbidimètre a été arrêté et la NetDL a été ramenée à l'atelier pour une maintenance. Elle présentait un dysfonctionnement. Une nouvelle NetDL a été réinstallée le 23 janvier 2018.



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.

Métadonnées :

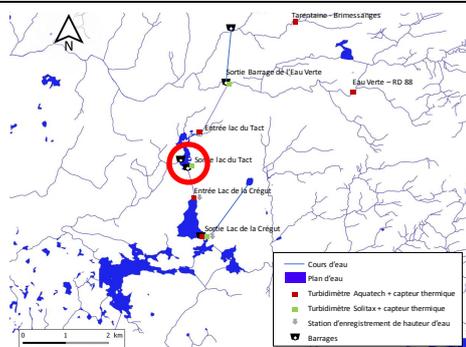
Coordonnées GPS (L93) : X = 674 876.1 Y = 6 479 411.0

Altitude (mNGF) : 860m

Mise en service : 05/04/2013

Perturbations rencontrées : Encrassement estival (périphyton). La station a été détériorée au cours de la période de fortes eaux, de décembre 2017 à janvier 2018. La sonde a été retrouvée dysfonctionnelle. Le capteur thermique a été emporté. Le capteur de secours présent à l'intérieur du local a permis de récupérer les données perdues et est toujours en fonction. Aucune réinstallation n'a été envisagée.

Station 4' : Sortie du lac du Tact



Description :

Les capteurs de température et de turbidité sont installés à l'exutoire, sur le parement, en amont de la galerie d'adduction du Tact.

Métadonnées :

Coordonnées GPS (L93) : X = 674 736.58 Y = 6 480 069.50

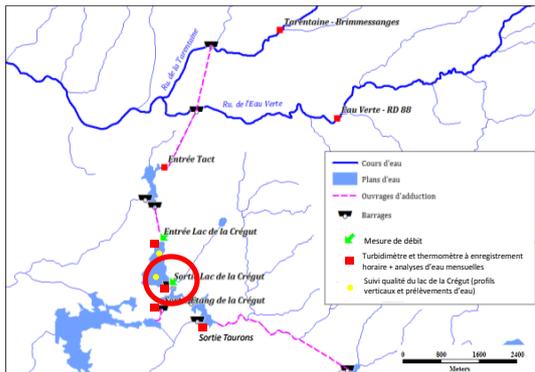
Altitude (mNGF) : 880m

Mise en service : 15/06/2017

Perturbations rencontrées : Durant le nettoyage de la prise d'eau de la baleine, au cours du mois d'août 2017, des données ont été invalidées pendant la période de travaux, du 18 août au 26 août 2017.



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.

Métadonnées :

Coordonnées GPS (L93) : X = 675 075.9 Y = 6 478 499.7

Altitude (mNGF) : 860m

Mise en service : 04/04/2013 (sonde aquatech) et modifiée le 15/06/2017 (sonde solitax)

Perturbations rencontrées : Encrassement estival (périphyton). Le 17 janvier 2017, le turbidimètre a été arrêté et ramené à l'atelier pour une maintenance annuelle, il a été remplacé le 23 janvier 2017.

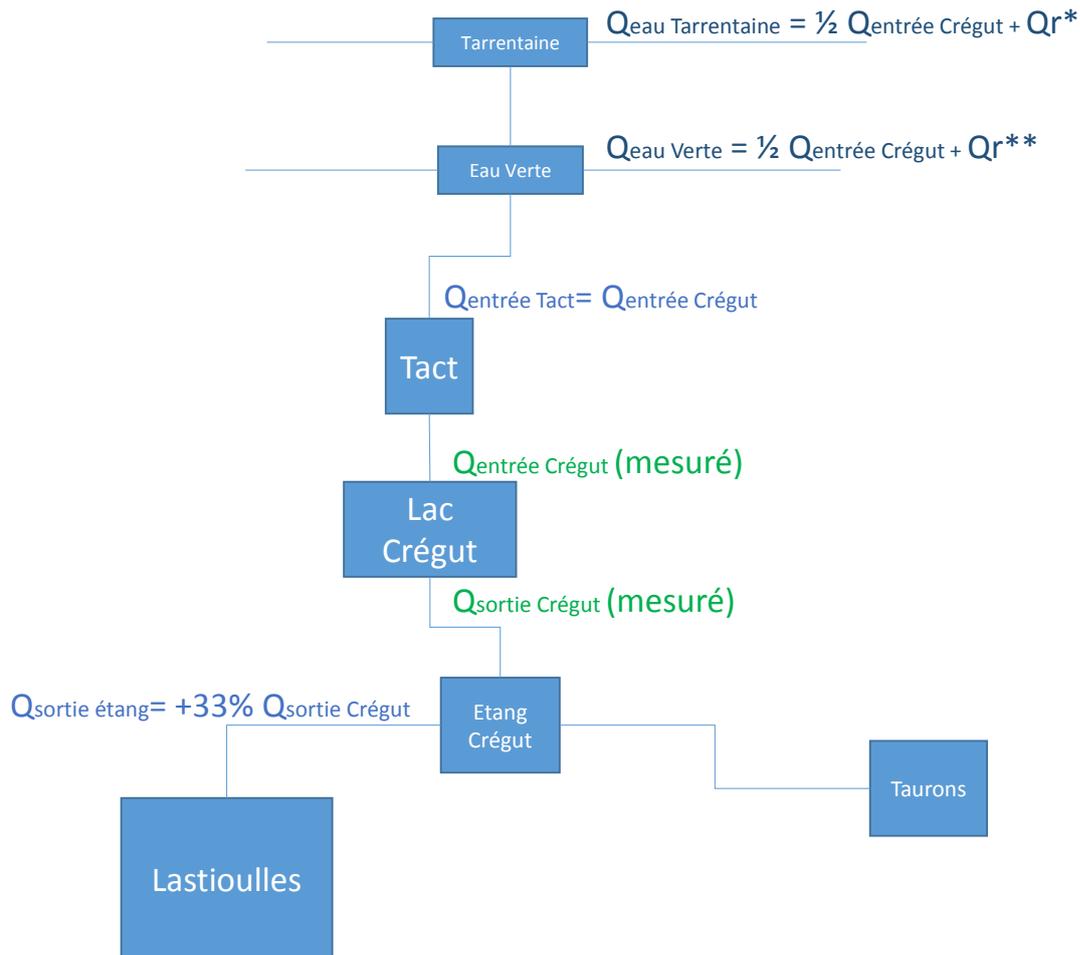


2.2 HYDROLOGIE

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 (Source : EDF)



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 2017 à Avril 2018. Le débit moyen annuel entrant du lac de la Crégut a été de $4.03 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ($2.74 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en 2016, $3.04 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en 2015, $3.3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en 2014, $4.2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en 2013 et $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en 2011). Sur cette même période, le temps de séjour a été calculé selon la formule ci-dessous. Il est d'environ 9 jours.

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

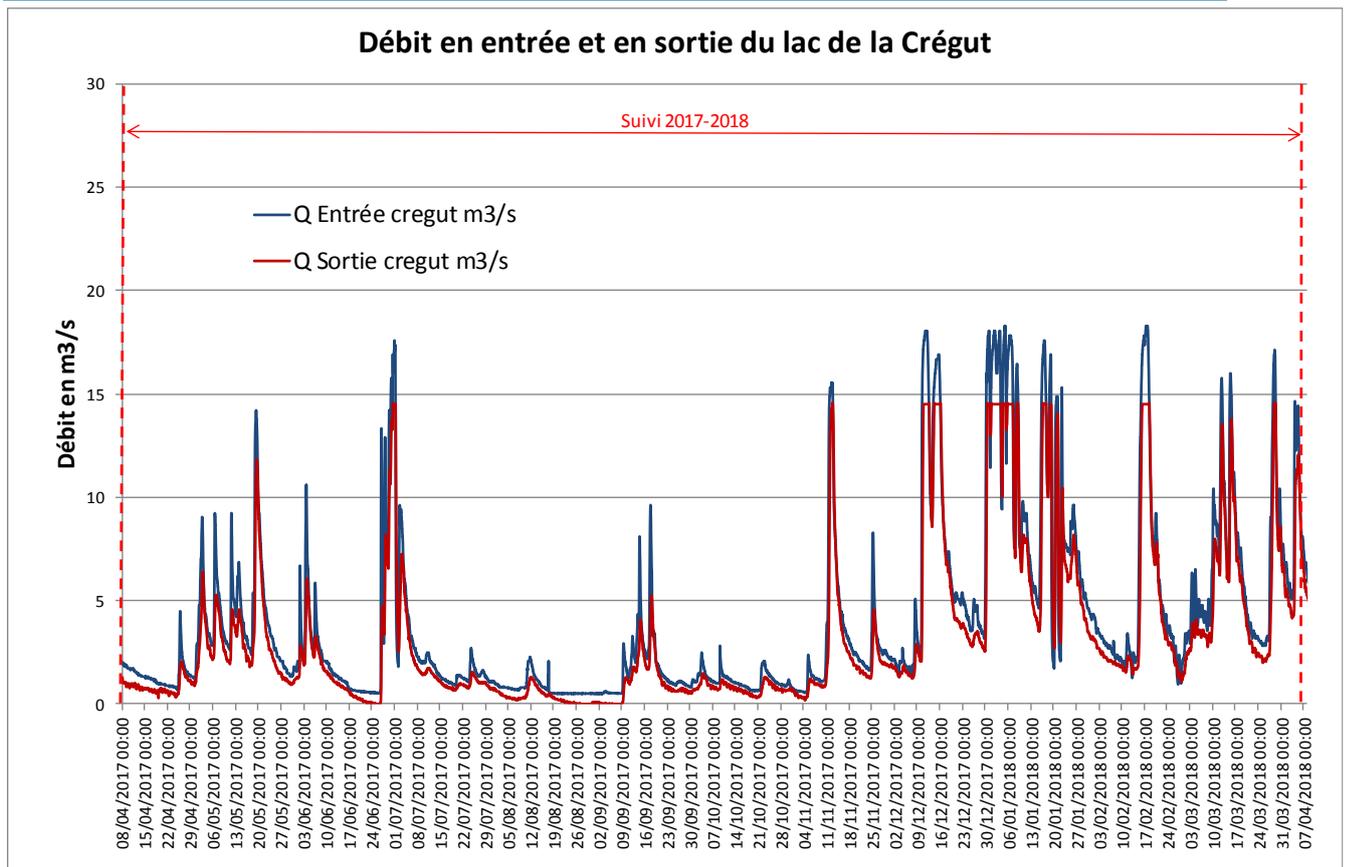


Figure 4 : Chronique de débit en entrée et en sortie du lac de la Crégut (Source ATHOS Environnement)

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, le bilan hydrique observé est plutôt positif, l'étiage a été moins sévère que l'année précédente. L'essentiel des forts débits ont été enregistrés aux mois de janvier à mars.



2.3 SUIVI THERMIQUE

2.3.1 Matériel et méthode

Les Data Logger VEMCO MINILOG II ont été installés sur les sept sites d'étude. Leurs caractéristiques techniques sont présentées en Annexe 4.



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, Vemco)

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 -0,62°C sur l'Eau Verte à 30,24°C à la Sortie Crégut durant la période de suivi (Tableau 1 et Annexe 6). Les températures sont plus fraîches sur la Tarentaine, l'Eau Verte et sur l'Entrée Tact. La température moyenne est légèrement plus basse sur l'Entrée Tact que sur l'Eau Verte, liée à une perte de données en raison de l'émersion d'un capteur, au cours du mois de décembre 2017. 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 11,28°C. Les données recueillies par les capteurs positionnés sur les nouvelles stations de mesure ne sont pas présentés puisqu'ils ont été installés en fin de suivi.



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

	Moyenne (°C)	Min (°C)	Max (°C)
Tarentaine	7.81	-0.01	19.59
Eau verte	8.32	-0.62	21.03
Entrée Tact	8.08	-0.03	22.55
Entrée Crégut	11.13	3.09	28.88
Sortie Crégut	11.28	1.21	30.24

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

2.4.2.1.1 Enregistreur Aquatec

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, cette quantité de lumière diffusée est directement proportionnelle à la turbidité et à la quantité de Matières en Suspension (MES). Les caractéristiques du capteur sont présentées en Annexe 2.

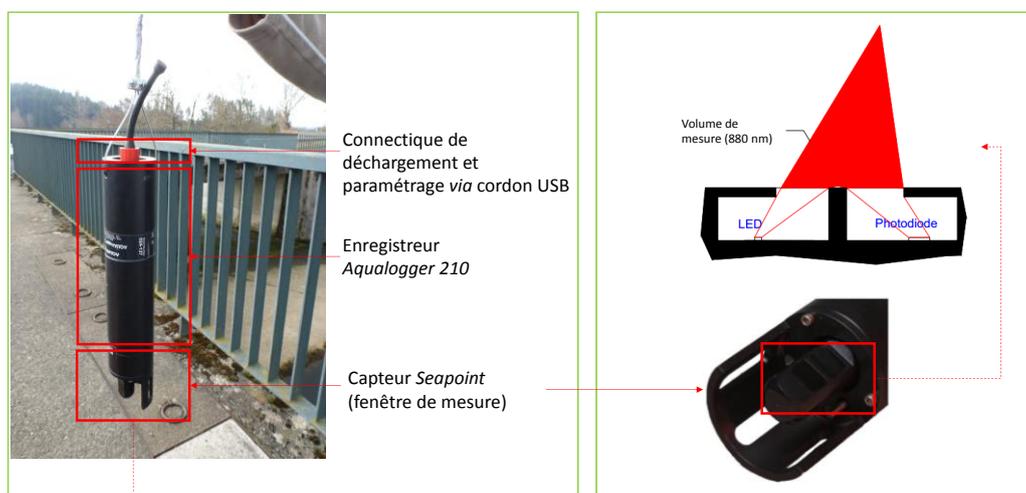


Figure 6 : Description du capteur de turbidité AQUALOGGER 210 TY et de son fonctionnement (Source : ATHOS Environnement)



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. À 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. À 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)



2.4.2.1.2 Enregistreur Solitax

Le matériel utilisé pour le suivi se compose d'un capteur de turbidité Solitax t-line de la marque HACH couplé à un transmetteur Sc 200 de la même marque. Le principe est basé sur l'absorption et le rayonnement infrarouge, permettant de saisir tant les turbidités faibles selon la norme allemande DIN EN 27027 de manière aussi précise et continue, que les concentrations élevées. Cette méthode consiste à mesurer le rayonnement latéral provoqué par les particules en suspension sous un angle de 90°. Les caractéristiques du capteur sont présentées en Annexe 3.

La mesure de la turbidité a été configurée sur un enregistrement horaire.

Les instruments, paramétrés et calibrés en usine, ont été déployés sur site à l'aide de tubage PVC fixés sur le génie civil. À l'extrémité du tube, le capteur est fermement maintenu par un système de fixation afin de conserver une position unique durant le suivi. Une fenêtre d'ouverture appropriée 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 et photographique afin de visualiser les écoulements et valider la fiabilité du lieu de mesure.



Figure 8 : Installation en place à la sortie du lac du Tact (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 pour les Aquatec, Figure 9) et déployés.

En cas de dysfonctionnement, détérioration ou maintenance, les capteurs sont rapatriés pour réparation en atelier et réinstallés sur site le plus rapidement possible.

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 (stations en lac), les capteurs Aquatec 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 de ce biofilm sur le capteur entraîne une augmentation de la turbidité. La Figure 10 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.

Depuis l'installation de capteurs équipés d'un dispositif d'auto-nettoyage, ceux-ci s'avèrent être très efficaces dans la lutte contre le périphyton. L'optique reste constamment libre, Figure 9. Un nettoyage mensuel est cependant nécessaire afin de prévenir l'encrassement en période de fort développement de périphyton.



Figure 9 : Photographies de capteurs de turbidité encrassés, Aquatec à gauche et Solitax à droite (Source : ATHOS Environnement)

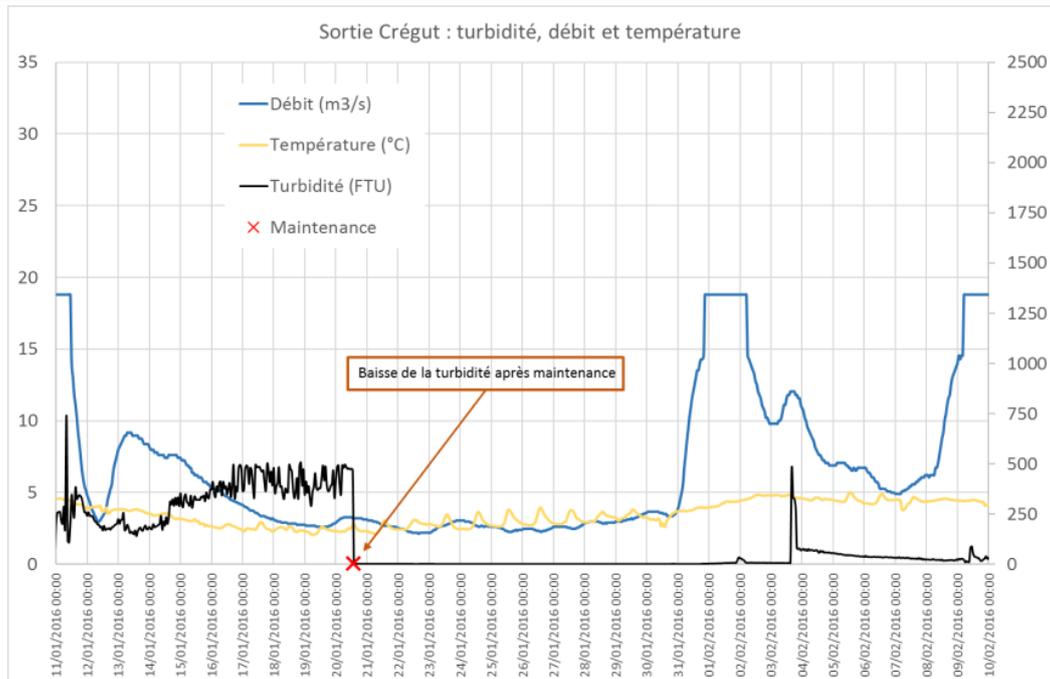


Figure 10 : Exemple de valeurs brutes de turbidité et débit mesurées du 11/01/2016 au 10/02/2016 en sortie Crégut permettant de voir l'efficacité de la maintenance sur le capteur de turbidité (Source : ATHOS Environnement)

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. À 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.

Le Tableau 2 présente le nombre de données brutes, le nombre d'enregistrements douteux et le pourcentage exploitable pour les stations équipées de sondes Aquatec. Sur les stations Entrée Crégut et Sortie Crégut, le pourcentage d'enregistrements exploitables est inférieur aux 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. Les sondes étant vieillissantes, le taux d'enregistrements exploitables diminue au fil des années de suivi.



Tableau 2 : Synthèses des données brutes enregistrées par les capteurs Aquatec d'avril 2017 à avril 2018

	<i>Période du 08/04/2017 00h au 12/04/2018 00h</i>		
	Nombre d'enregistrements total	Nombre d'enregistrements non valides	% d'enregistrements exploitables
<i>Eau Verte</i>	8868	2529	71.5%
<i>Tarentaine</i>	8869	1067	88.0%
<i>Entrée Tact</i>	8109	2713	66.5%
<i>Entrée Crégut</i>	6830	3054	55.3%
<i>Sortie Crégut</i>	8113	3920	51.7%
TOTAL	40789	13283	67.4%

Concernant les enregistrements de l'Entrée Tact et de la Sortie Crégut, le nombre d'enregistrements total est plus faible que sur l'Eau Verte et la Tarentaine suite au dysfonctionnement du capteur. Sur la station Entrée Crégut, la perte de l'installation au cours des crues de janvier justifie le faible nombre de données totales.

Le taux d'enregistrement exploitable est plus faible sur les stations de la Crégut puisque les stations se situent sur des zones stagnantes, favorisant le développement du biofilm sur le capteur.

Le Tableau 3 présente le nombre de données brutes, le nombre d'enregistrements douteux et le pourcentage exploitable pour les stations équipées de sondes Solitax. Le taux d'enregistrements exploitables est conséquent, supérieur aux sondes Aquatec. Cette amélioration peut être attribuée au dispositif d'auto-nettoyage.

Tableau 3 : Synthèses des données brutes enregistrées par le capteur Solitax

	<i>Période du 15/06/2017 00h au 12/04/2018 00h</i>		
	Nombre d'enregistrements total	d'enregistrements non valides	% d'enregistrements exploitables
<i>Sortie EV</i>	6262	144	97.7%
<i>Sortie tact</i>	7224	267	96.3%
<i>Sortie Crégut</i>	7235	340	95.3%
TOTAL	20721	751	96.4%



Synthèse du traitement des données brutes de turbidité :

Le premier traitement des données de turbidité consiste à trier les données 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, dysfonctionnement du dispositif),
- Remplacement des données perdues et douteuses par la moyenne périodique (test de Pettit).

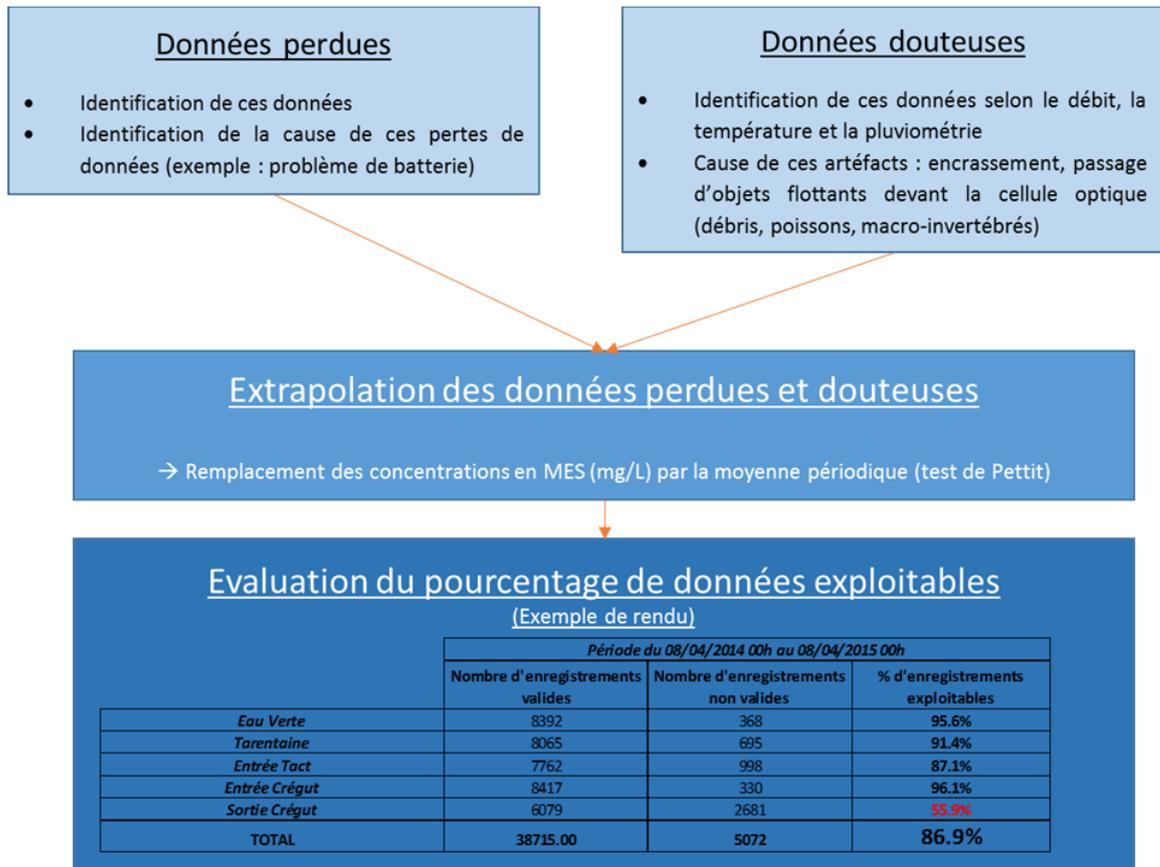


Figure 11 : Schéma de la procédure réalisée lors du traitement des données brutes de turbidité (Source : ATHOS Environnement)

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 12 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 $4.03 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

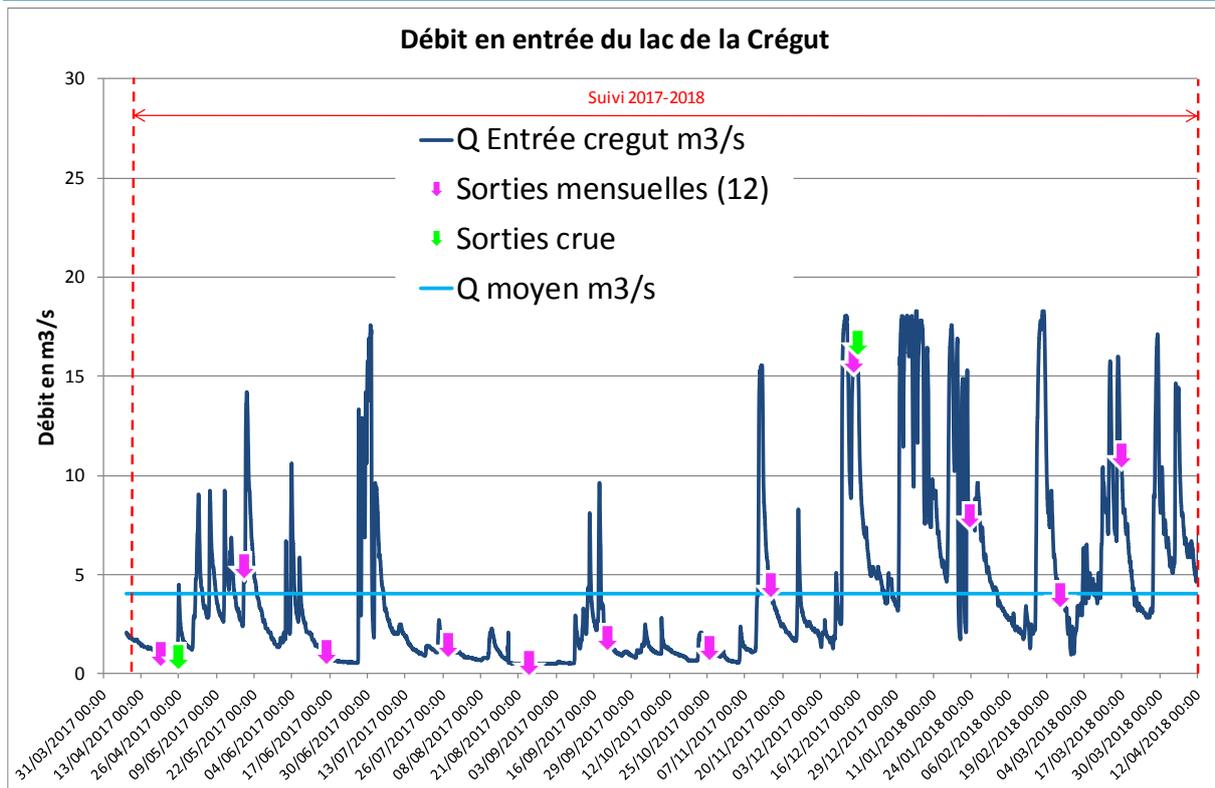


Figure 12 : Répartition des sorties terrain par rapport au contexte hydrologique

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 stations. 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 de manière à évaluer les MES stockées dans le lac du Tact et dans le lac de la Crégut.



Figure 13 : Préleveur automatique déployé sur alerte débit durant le mois d'avril -2017 (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 72 échantillons supplémentaires en 24 h. En cours d'année, les préleveurs automatiques ont été déplacés afin d'accumuler des données dans le but de compléter les courbes de corrélation MES / Turbidité.

Cette année, 2 sorties exceptionnelles ont été déclenchées :

- 25/04/2017 et 26/04/2017 sur les stations équipées d'Aquatec, en lac (Entrée TACT, Entrée Crégut et Sortie Crégut).
- 14/12/2017 et 15/12/2017 sur les stations équipées de Solitax (Sortie Eau Verte, Sortie TACT et Sortie Crégut).

2.4.3.3 Résultats bruts des sorties mensuelles et exceptionnelles

Le Tableau 4 présente la synthèse des résultats d'analyse des MES sur les prélèvements manuels et automatiques par aménagement. Deux stations supplémentaires sont présentes, elles correspondent aux nouvelles stations d'enregistrement. Les différents prélèvements ont été déplacés sur ces nouvelles stations à partir du mois de décembre pour les campagnes exceptionnelles et à partir du mois de mars pour les campagnes mensuelles.

La concentration moyenne mesurée sur l'ensemble des stations est de 7.3 mg/L. Un maximum a été mesuré sur la station Tarentaine à 69.0 mg/l.

Tableau 4 : 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)	Nombre d'analyses réalisées (2017-2018)	[MES] moyenne (2017-2018) (mg/l)	[MES] min (2017-2018) (mg/l)	[MES] max (2017-2018) (mg/l)
Eau Verte	11	12	50	12	13	6.0	2.2	17.0
Tarentaine	12	12	51	12	13	10.4	2.0	69.0
Entrée Tact	22	84	74	69	35	16.6	0.0	55.8
Sortie Eau Verte					26	11.0	3.8	50.0
Entrée Crégut	38	107	74	69	35	4.9	0.0	27.5
Sortie Tact					26	2.8	0.0	13.0
Sortie Crégut	29	107	74	69	43	2.2	0.0	10.3
TOTAL / Moy.	112	322	323	231	191	7.3	1.1	34.7

Groupement de stations Aquatec et Solitax installées en parallèle



2.4.4 Corrélation Turbidité / Matières en suspension

Le signal de turbidité (unité FTU) a été converti en concentration de MES en mg/L grâce à une relation établie à partir de la turbidité mesurée par les capteurs et des prélèvements manuels d'eau sur lesquels des dosages de MES ont été effectués en laboratoire.

Les relations MES/turbidité appliquées aux données acquises par les systèmes Aquatec ont pu être consolidées grâce aux données collectées depuis le suivi de 2013. Depuis l'année de suivi 2016-2017 la relation employée demeure celle établie de 2013 à 2016.

Pour les nouvelles stations de mesure (Sortie Eau Verte, Sortie Tact, Sortie Crégut) équipées de Solitax, la relation a pu être établie à partir des données recueillies au cours du suivi présenté dans ce document. Le jeu de données acquis étant pour le moment encore restreint, les relations MES/turbidité sont donc à considérer avec précaution.

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)

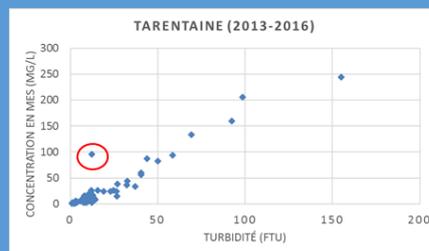
- Issues des sorties exceptionnelles : ces données ont pour objectif d'apporter des valeurs hautes en MES (sorties en période de crue)
- Issues des sorties mensuelles : ces données permettent d'apporter des valeurs supplémentaires pour construire les courbes de corrélations

Données valides de Turbidité

Ces données sont issues du premier traitement

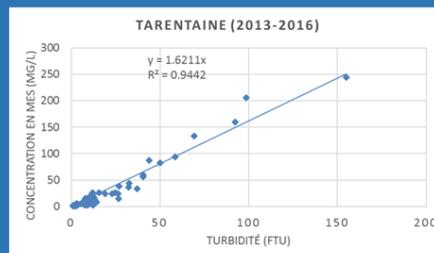
Mise en parallèle des données de MES et de Turbidité

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

Huit relations ont été constituées (trois pour les stations équipées de sondes Solitax et cinq pour les stations équipées de sondes Aquatec), 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 indépendantes pour chaque site et pour chaque appareil de mesure. Pour gagner dans la précision de mesure, les courbes de corrélation ont été construites pour chaque station équipée de sonde Aquatec sur l'ensemble des données acquises depuis 2013 et ce jusqu'en 2016. Pour chaque station équipée de Solitax, les courbes sont en cours de construction depuis leur installation.



2.4.4.1.1 Corrélations établies *via* les sondes Aquatec

Eau Verte et Tarentaine

Les sites Eau Verte et Tarentaine présentent une relation assez solide, justifiée par de bonnes corrélations (R^2 respectivement de 0.84 et de 0.94) à partir des données de 2013 à 2016. La Figure 15 présente les différentes relations MES/turbidité établies.

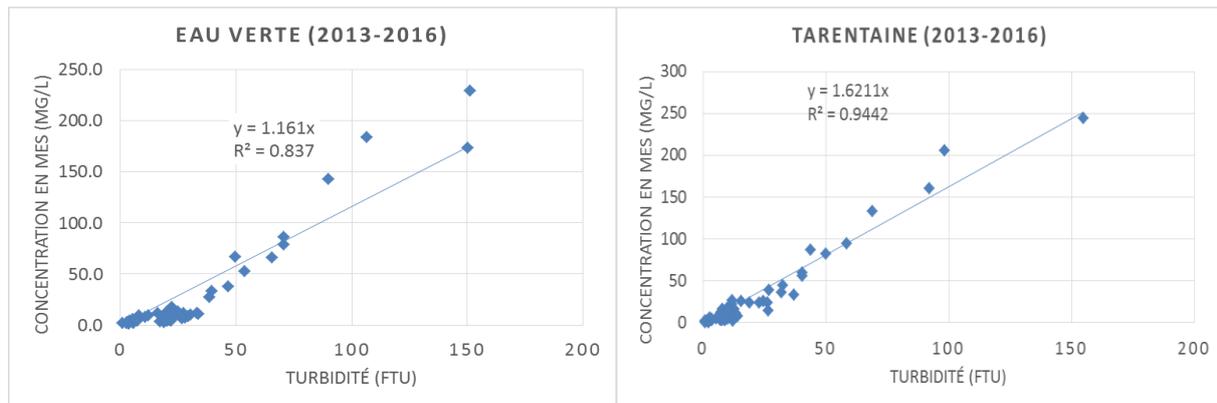


Figure 15 : Relations MES/turbidité Eau verte et Tarentaine utilisées pour la conversion du signal turbidité d'après les données du suivi 2013-2014, 2014-2015 et 2015-2016

Entrée Crégut et Entrée Tact

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

Lors du traitement des données, nous avons supposé que les matières mobilisées lors des différentes crues ne 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 16 indique :

- qu'entre le 08/04/2017 et le 10/12/2017 la moyenne des débits journaliers est basse ($2.28\text{m}^3/\text{s}$).
- et qu'entre le 10/12/2017 au 08/04/2018 les débits moyens ont augmenté ($7.56\text{m}^3/\text{s}$).

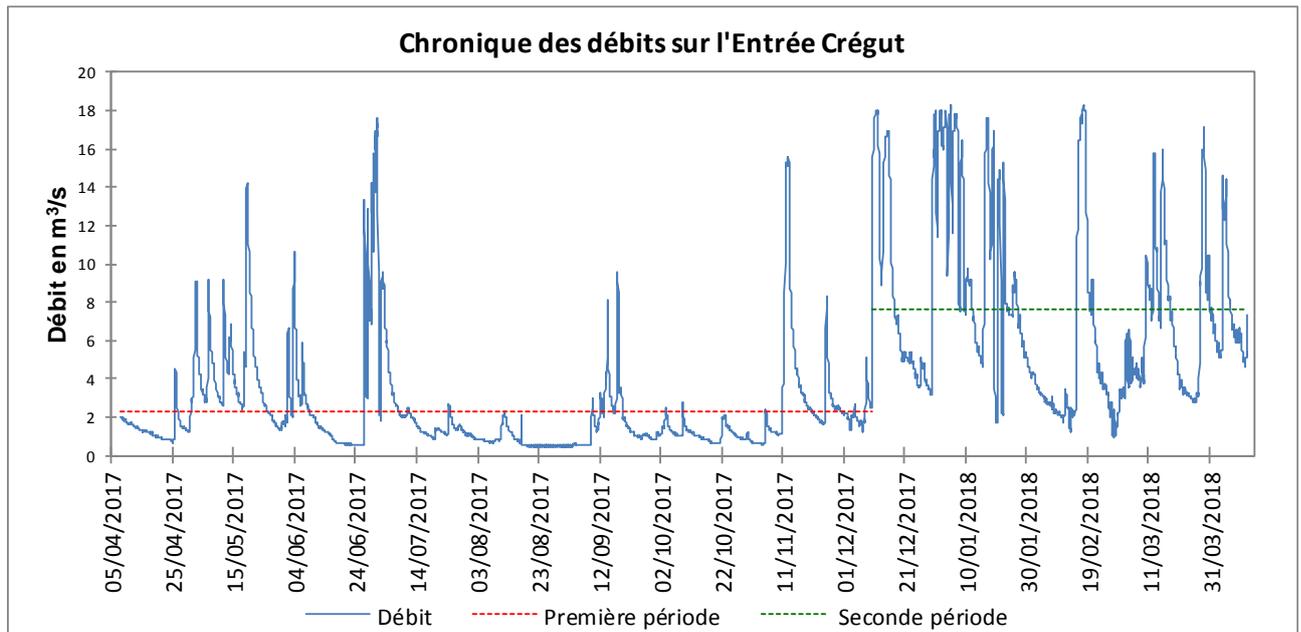


Figure 16 : Test d'homogénéité de Pettitt des chroniques de débit

Aucune courbe de corrélation n'a été faite selon les périodes définies par le test de Pettitt car il a été défini que depuis 2016, en accord avec EDF, que la relation utilisée est la relation groupant les données de 2013 à 2016.

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.

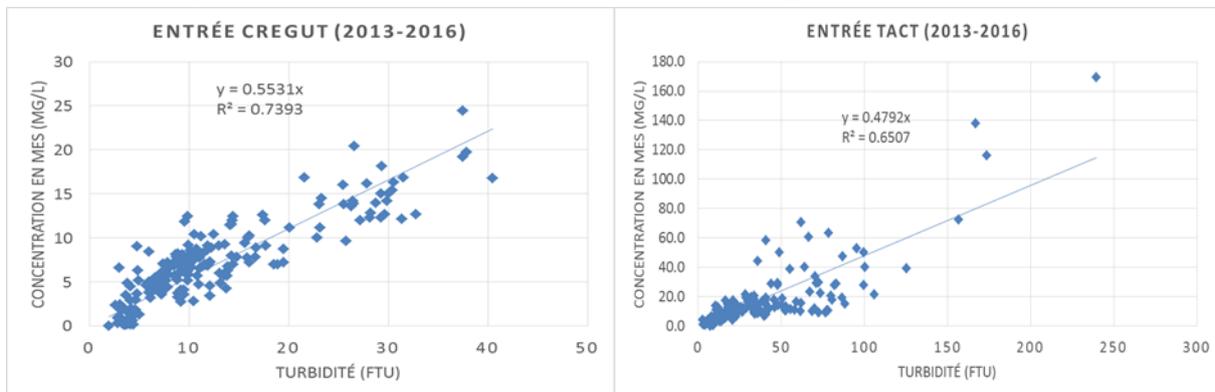


Figure 17 : Relation MES/Turbidité Entrée Crégut et Entrée Tact



Sortie Crégut

Pour la relation turbidité/MES de la station Sortie Crégut, les données acquises au cours du suivi 2017-2018 n'ont pas été suffisantes pour établir une relation propre au site. Le caractère lentique de la station favorise le développe 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, 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.

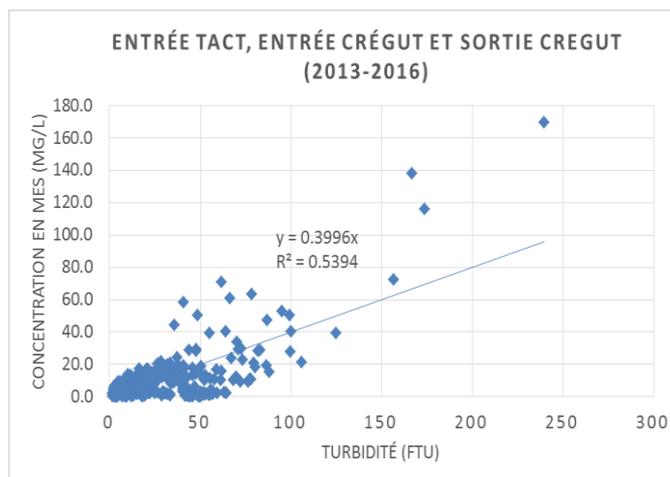


Figure 18 : Relation MES/turbidité utilisée pour Sortie Crégut

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

Pour chaque relation linéaire turbidité/MES établie, le taux correspondant aux valeurs hors intervalle de confiance (95%) a été pris en considération, autour de la relation linéaire :

- Eau verte : 3.3 % des valeurs sont hors intervalle de confiance

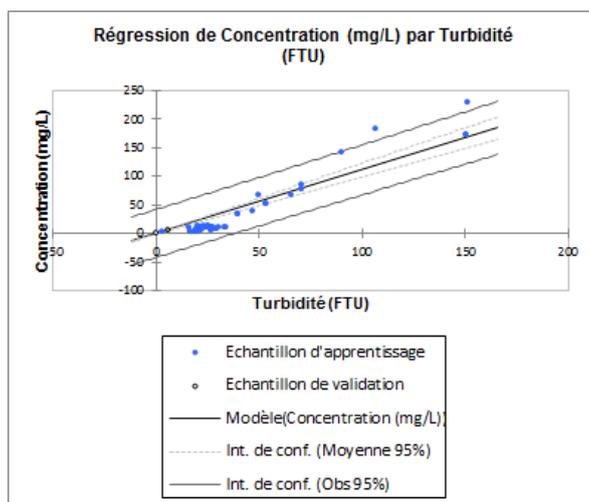


Figure 19 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Eau Verte

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

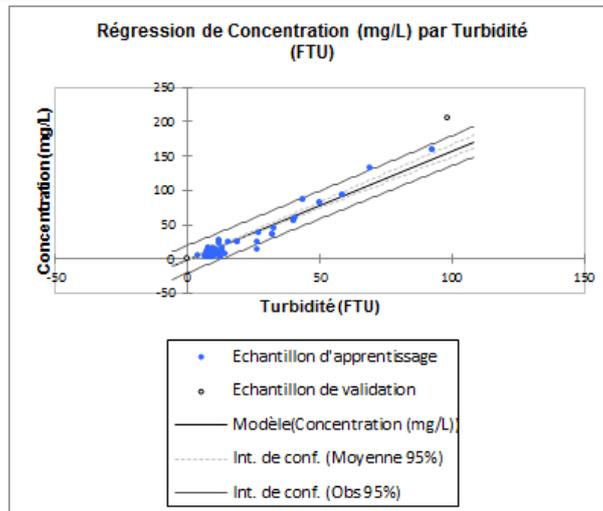


Figure 20 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Tarentaine

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

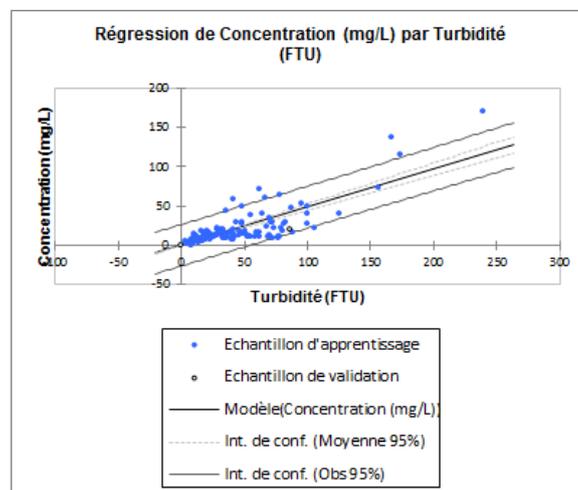


Figure 21 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Entrée Tact

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

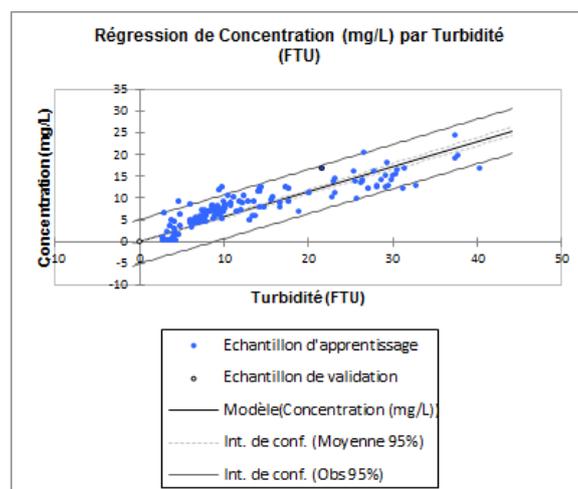


Figure 22 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Entrée Crégut

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

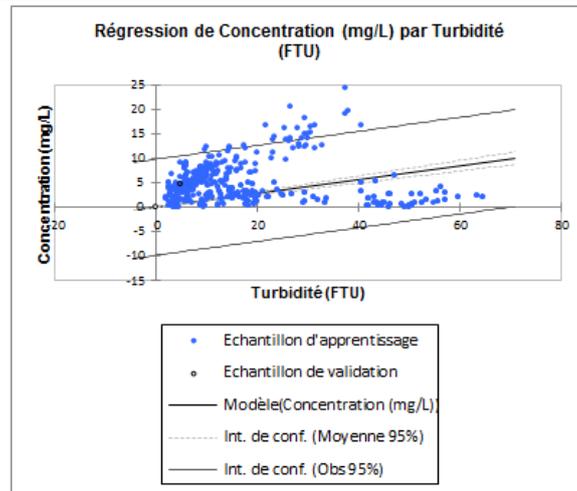


Figure 23 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Entrée Tact/ Entrée Crégut/ Sortie Tact

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



2.4.4.1.2 Corrélations établies *via* les sondes Solitax

Les relations turbidité/MES pour les stations équipées de Solitax ont été définies d'après la même méthode que les relations des stations lac précédentes. De nouvelles courbes doivent être réalisées avec ces nouveaux systèmes.

Sortie Eau Verte et Sortie Tact

Les relations ont pu être établies avec les quelques données disponibles et présentent un coefficient de corrélation convenable : 0.96 pour la station Sortie eau Verte et 0.81 pour station la Sortie Tact.

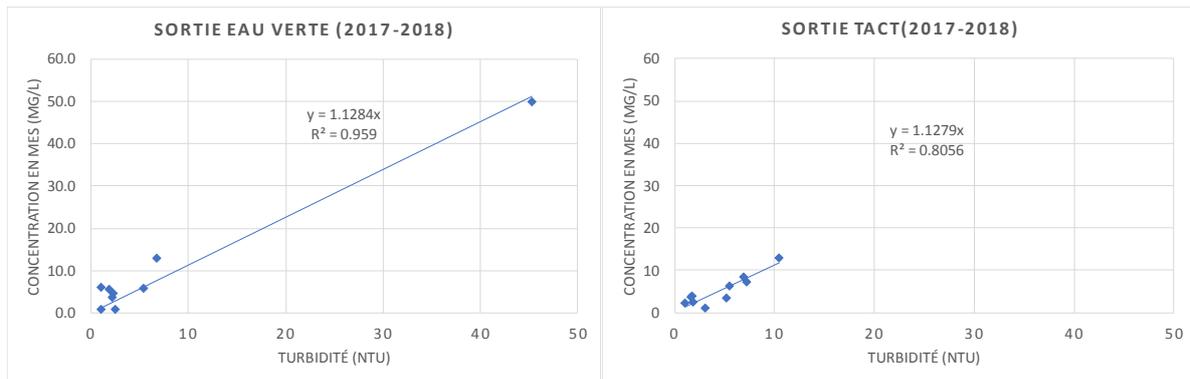


Figure 24 : Relation MES/Turbidité Sortie Eau Verte et Sortie Tact

Sortie Crégut

Pour la relation turbidité/MES de la station Sortie Crégut, les données acquises au cours du suivi 2017-2018 n'ont pas été suffisantes pour établir une relation propre au site. Il a donc été proposé d'établir une courbe Sortie Eau Verte, Sortie Tact et Sortie Crégut comme pour le suivi réalisé avec les sondes Aquatec.

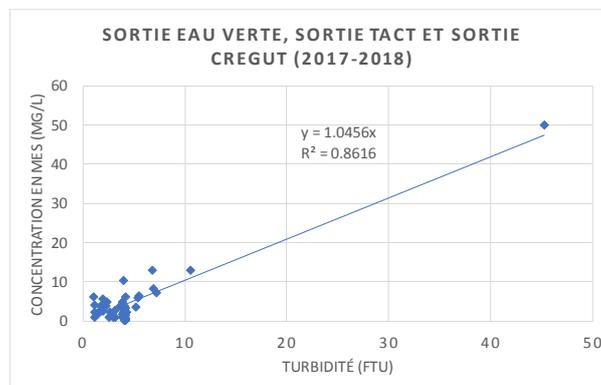


Figure 25: Relation MES/Turbidité utilisée pour Sortie Crégut

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

Pour chaque relation linéaire turbidité/MES établie, le taux correspondant aux valeurs hors intervalle de confiance (95%) a été pris en considération, autour de la relation linéaire :

- Sortie Eau Verte : 1.2 % des valeurs sont hors intervalle de confiance

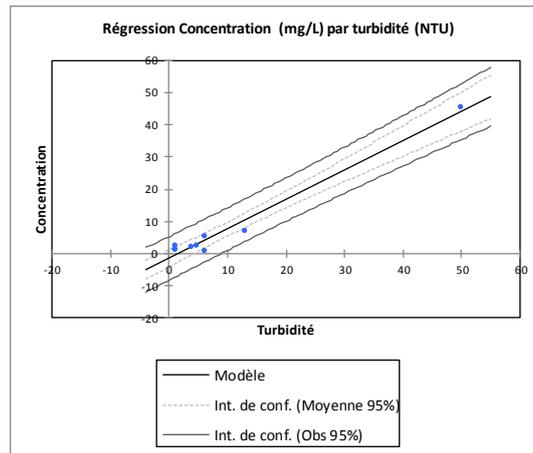


Figure 26 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Sortie Eau Verte

- Sortie Tact : 9.8 % des valeurs sont hors intervalle de confiance

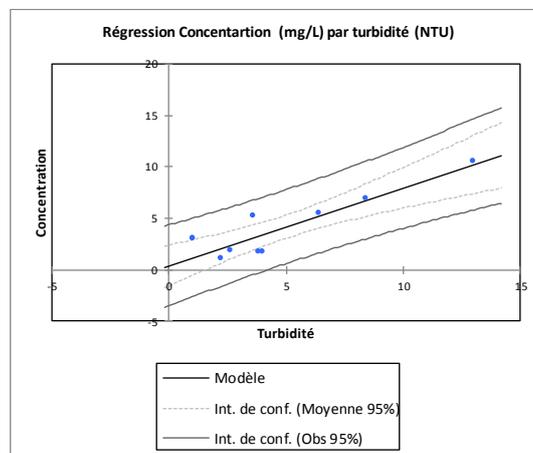


Figure 27 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Sortie Tact

- Sortie Eau Verte / Tact / Crégut : 6.6 % des valeurs sont hors intervalle de confiance

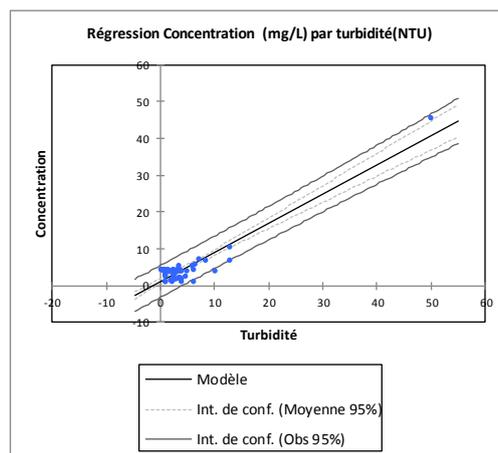


Figure 28 : Intervalle de confiance à 95% pour la courbe de corrélation linéaire Sortie Eau Verte / Sortie Tact / Sortie Crégut



2.4.5 Chroniques brutes de matières en suspension par aménagement

L'annexe 7 présente les chroniques de turbidité et de débit par aménagement :

- Comme pour les années précédentes, les concentrations instantanées en MES décroissent de l'amont vers l'aval du complexe de la Crégut, excepté sur l'Entrée Crégut où les valeurs n'ont plus été enregistrées depuis le 17/01/2018, période à laquelle de fortes concentrations en MES ont été retrouvées sur les autres stations.
- Les épisodes de forts débits ne sont pas systématiquement corrélés à de fortes teneurs en MES (pas de corrélation significative au seuil de 5%).
- Comme montré précédemment, deux tendances marquées semblent se dégager sur la période de suivi mis en évidence par le test de Pettitt (Figure 29) :
 - o la concentration moyenne en MES (4,7 mg/L) est faible et plus constante sur la première période (08/04/2017 au 11/11/2017)
 - o à partir du 11/11/2017, la concentration moyenne en MES (7,2 mg/L) a fortement augmenté et les valeurs sont plus variables.

En automne et en hiver, une nette augmentation des débits a été relevée, la turbidité est plutôt moyenne avec quelques pics ponctuels mais d'intensité plus modérée.

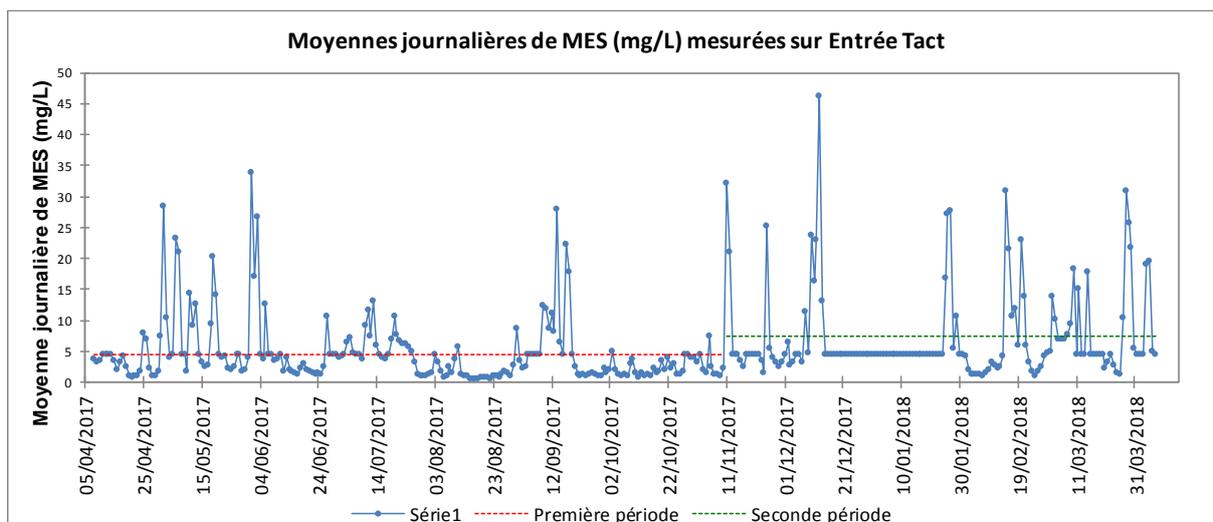


Figure 29 : Test d'homogénéité de Pettitt des chroniques des concentrations en MES à l'Entrée du Tact

Le Tableau 5 présente la synthèse des moyennes et extrêmes des concentrations en MES issues de la transformation du signal de turbidité. Le maximum a été observé sur la Tarentaine (241.2 mg/L).

Tableau 5 : Moyennes, minimum et maximum des concentrations en MES par aménagement

		Concentration en MES (mg/L)		
		moyenne	min	max
SONDES AQUATEC	Eau verte	9.9	0.0	163.7
	Tarentaine	11.0	0.9	241.2
	Entrée Tact	6.2	0.0	80.9
	Entrée Crégut	2.9	0.0	21.9
	Sortie Crégut	4.9	0.0	79.8
SONDES SOLITAX	Sortie Eau Verte	3.7	0.1	49.4
	Sortie Tact	4.1	0.0	13.5
	Sortie Crégut	2.6	0.7	45.5



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 (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 16 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 2017-2018 avec les suivis des années 2006 et 2011 (suivis mensuels), et les suivis horaires 2014-2015, 2015-2016 et 2016-2017, 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 30 présente les cumuls de MES calculés sur la période de suivi (du 08 avril 2017 au 08 avril 2018) sur les stations Tarentaine et Eau verte. Sur la durée du suivi 2017-2018, 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.

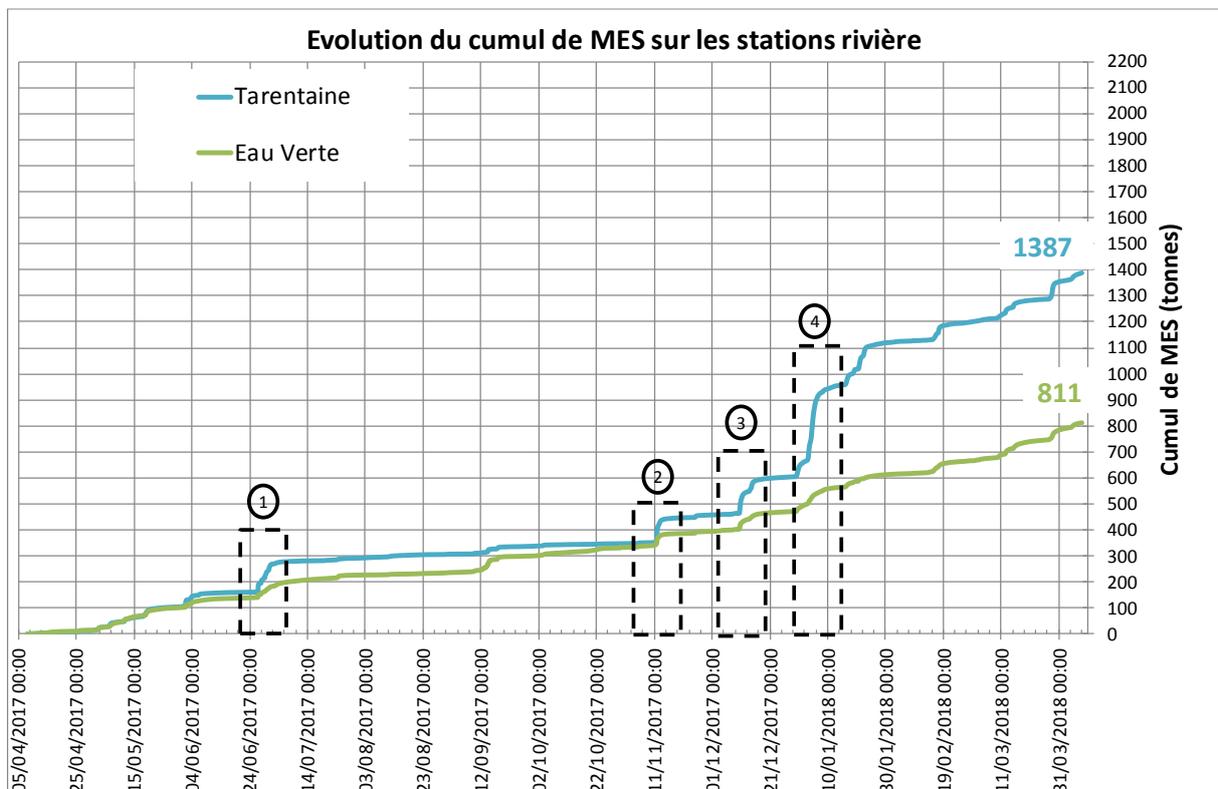
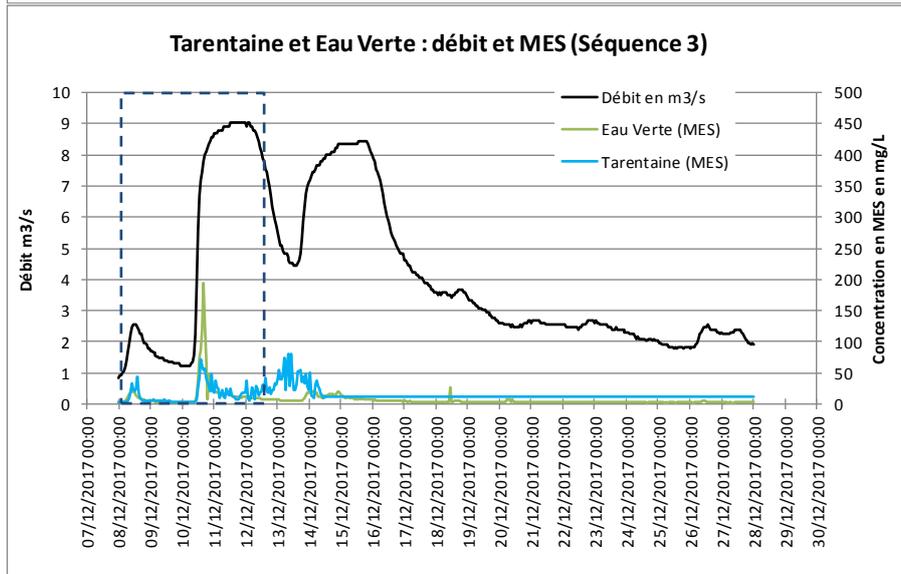
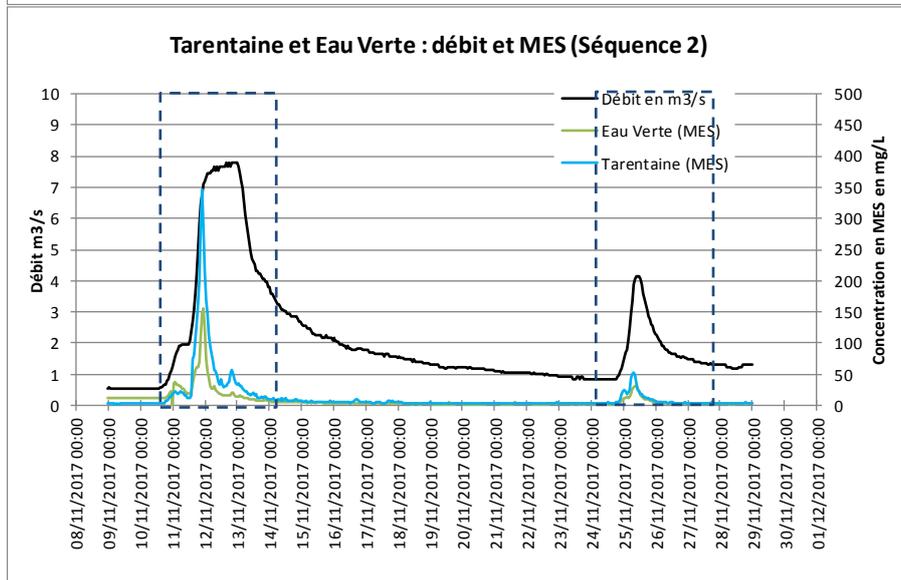
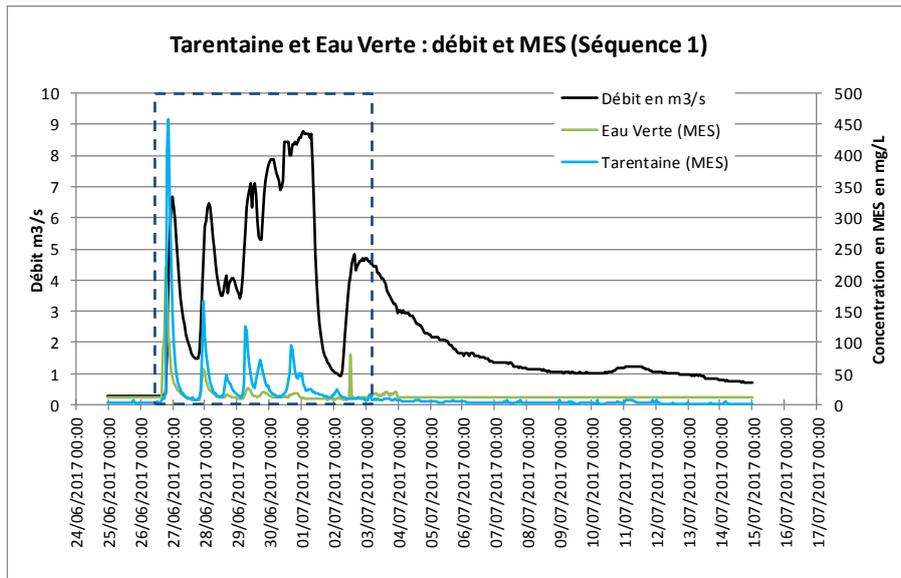


Figure 30 : Cumuls de MES en tonnes d'avril 2017 à avril 2018 sur les stations rivière

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 (Figure 31) :

- Séquence 1 : du 25 juin au 15 juillet 2017,
- Séquence 2 : du 8 novembre au 29 novembre 2017,
- Séquence 3 : du 8 décembre au 28 décembre 2017,
- Séquence 4 : du 30 décembre 2017 au 19 janvier 2018.



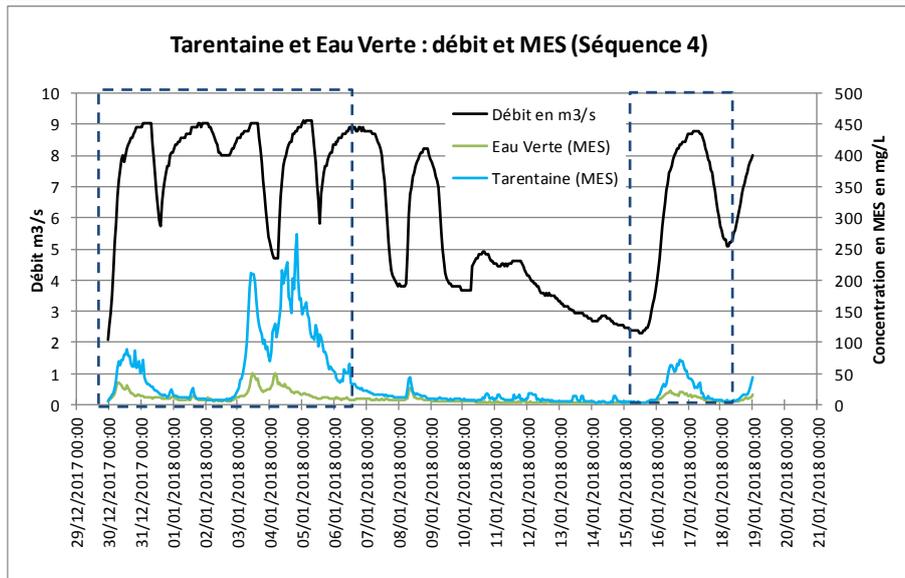


Figure 31 : Concentration en MES et débit sur la Tarentaine et l'Eau verte pour les quatre séquences

Sur les séquences choisies, un ou plusieurs pics de MES ont été identifiés. Régulièrement, 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

Sondes Aquatec

La Figure 32 présente le cumul des concentrations en MES sur la durée du suivi de 2017-2018 pour les stations lac équipées de sondes Aquatec. Des événements distincts ont été identifiés par un encadré en pointillés. Sur la station Entrée Crégut, le cumul de MES est nettement sous-évalué à partir du 17 janvier puisque le capteur a été arraché. Une extrapolation en fonction des débits a cependant été effectuée afin d'obtenir des valeurs de MES au cours de cette période. Il a été décidé de ne pas réinstaller de sonde.

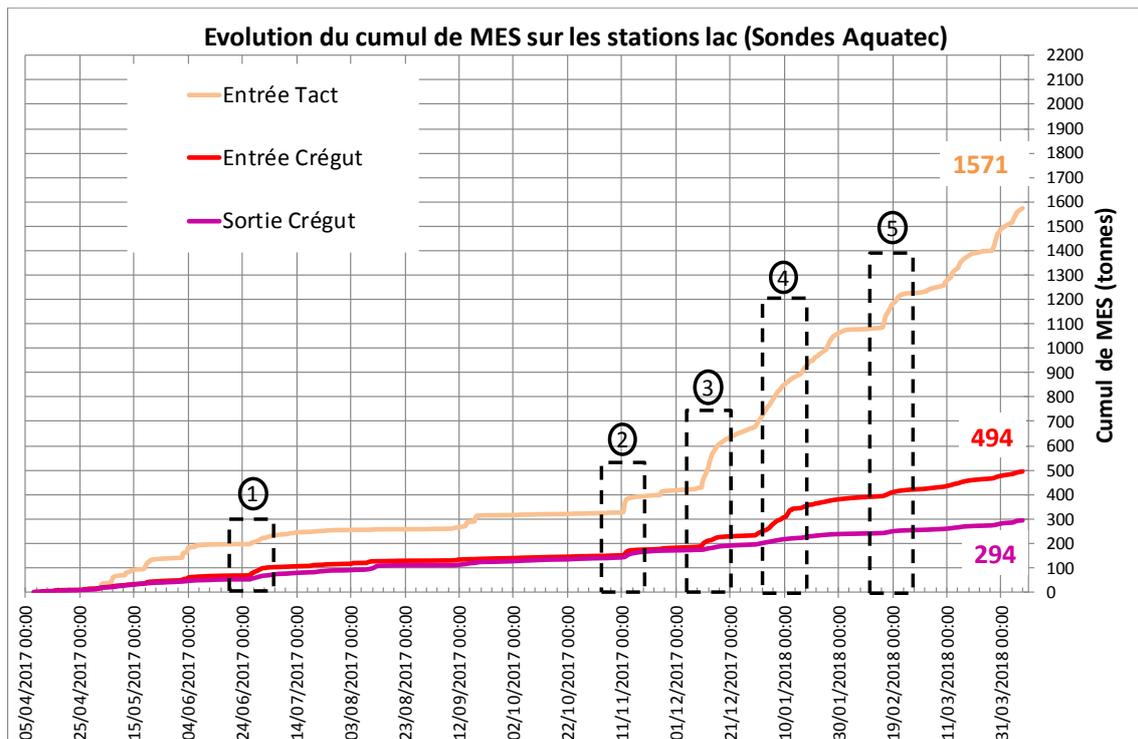
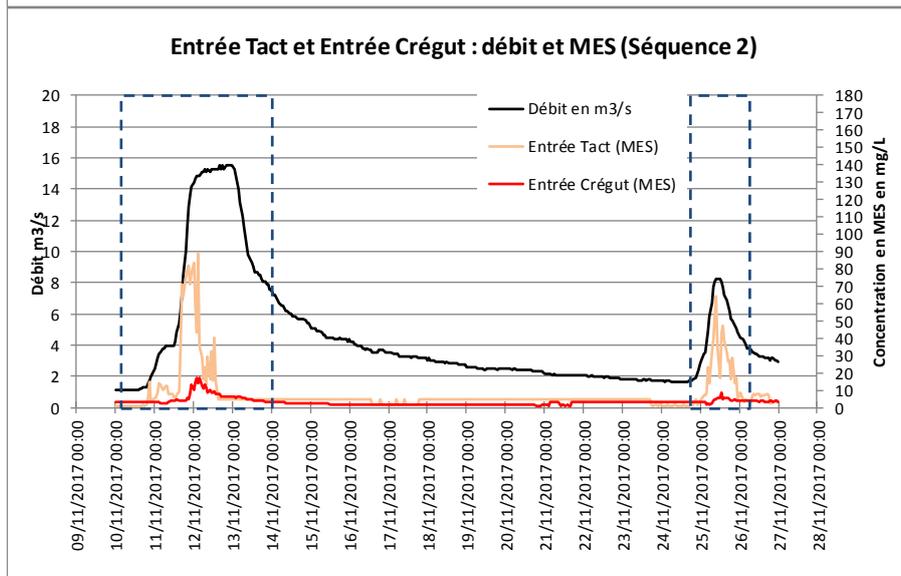
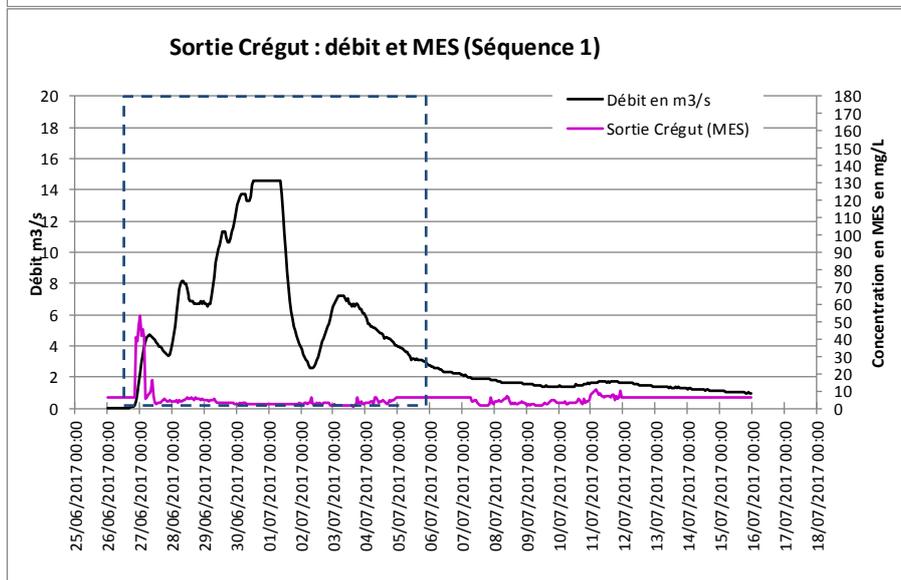
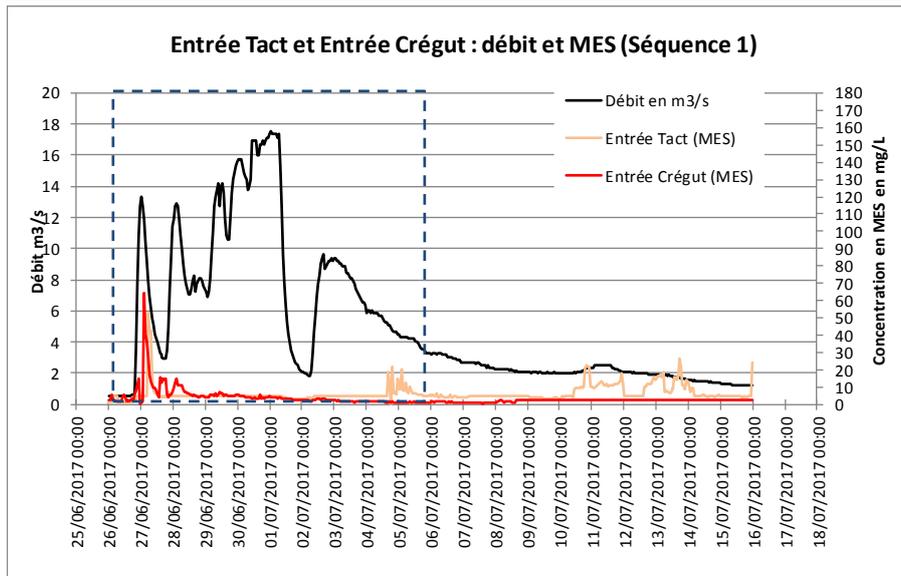


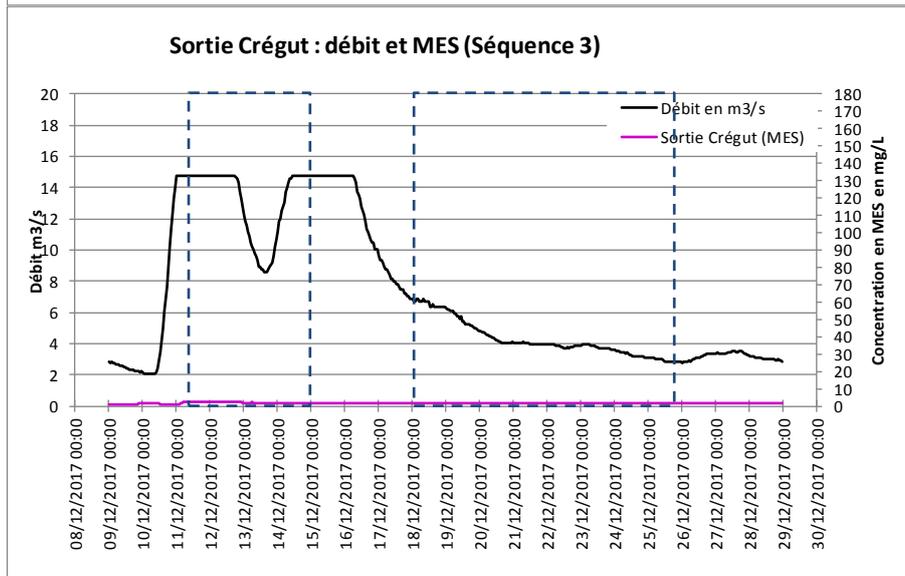
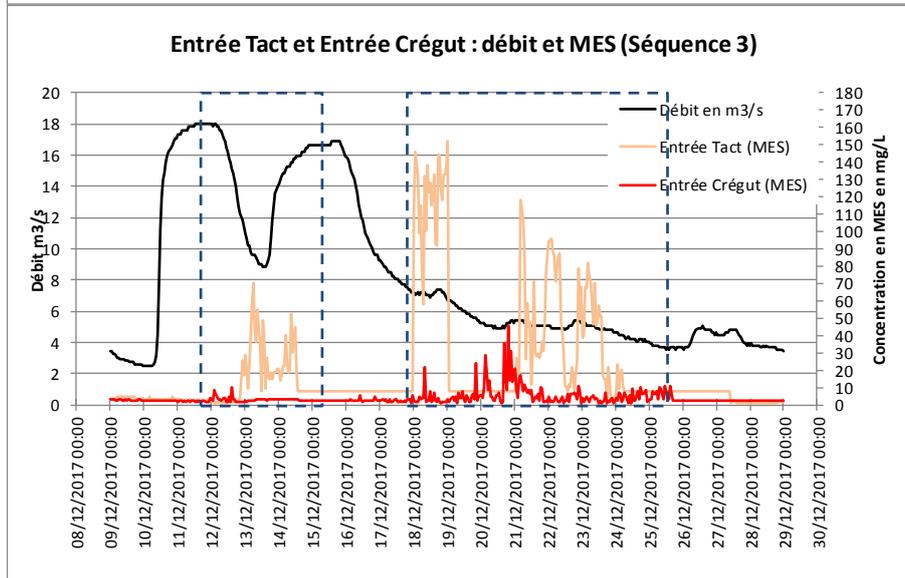
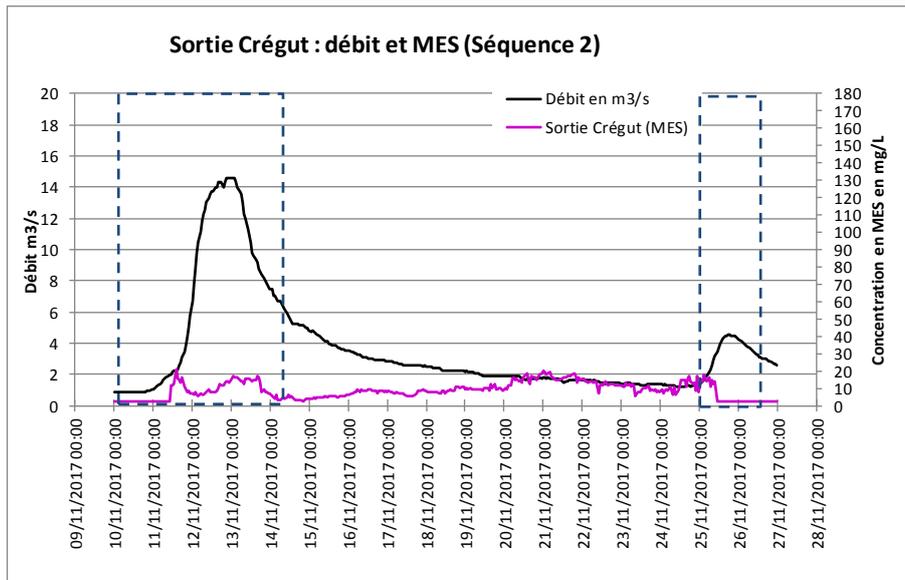
Figure 32 : Cumuls de MES en tonnes d'avril 2017 à avril 2018 sur les stations lac

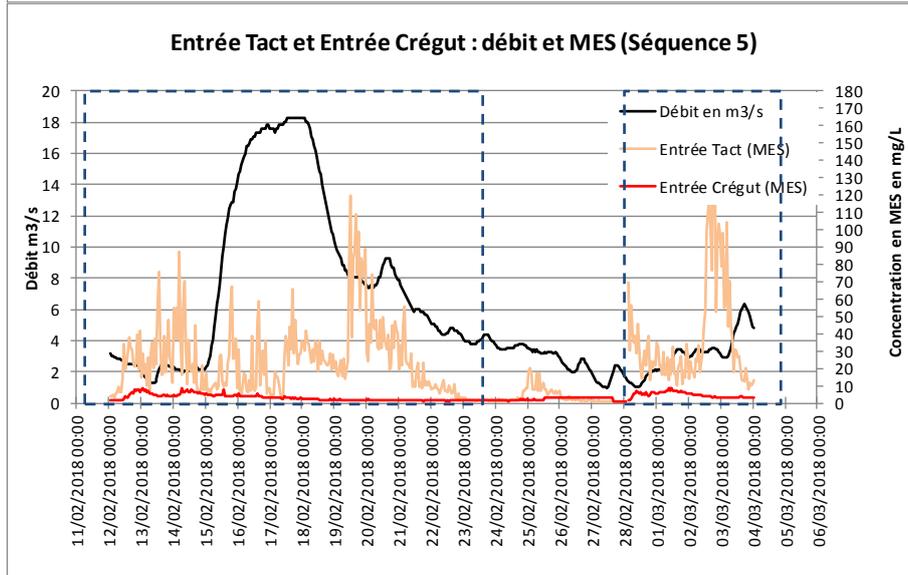
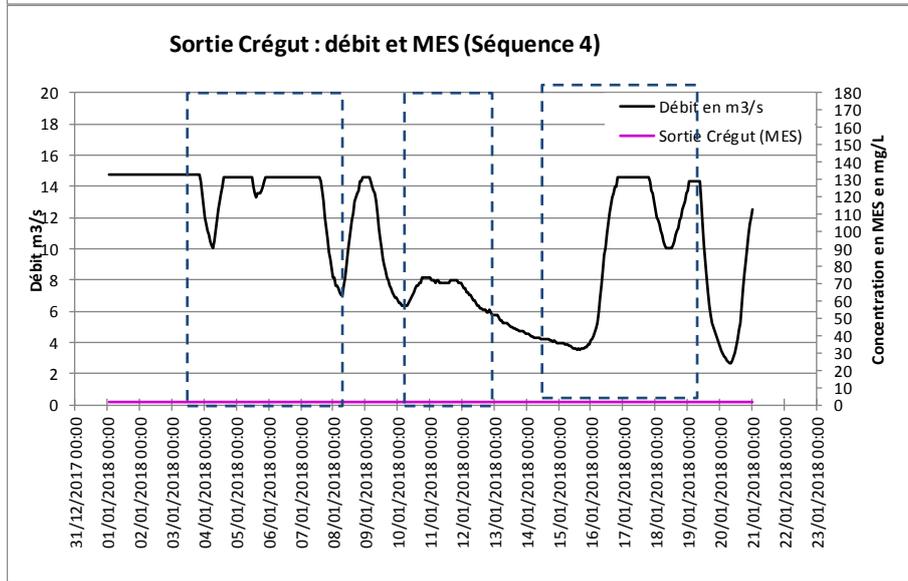
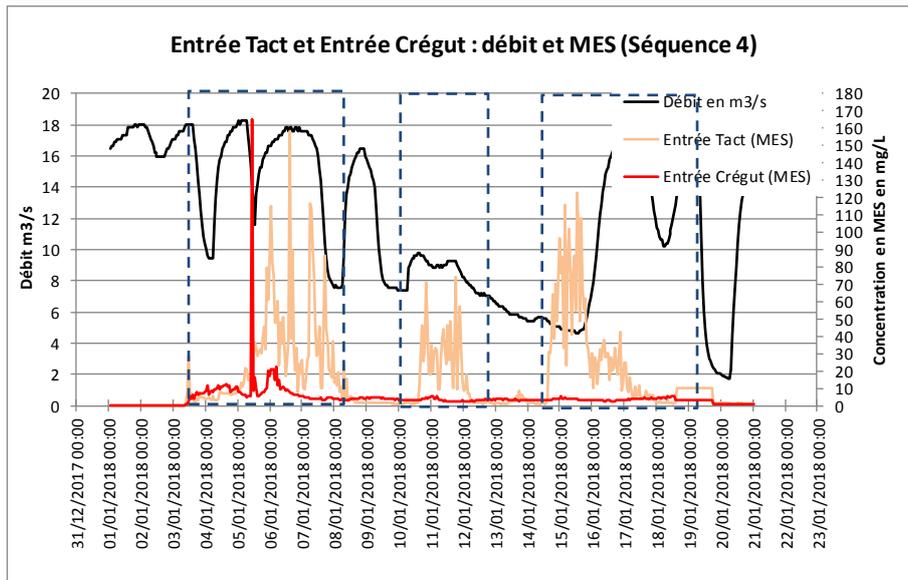
Sur les trois stations situées en lac, l'Entrée Tact présente des concentrations en MES plus élevées. À l'Entrée Crégut, le flux de MES transité est moins important qu'à l'Entrée Tact révélant le pouvoir décanteur du Tact. Ces résultats sont à considérer avec précaution compte tenu de la perte de données sur l'Entrée Crégut

La comparaison entre le débit et les concentrations en MES a révélé cinq séquences caractéristiques (Figure 33) :

- Séquence 1 : du 26 juin au 16 juillet 2017,
- Séquence 2 : du 10 novembre au 27 novembre 2017,
- Séquence 3 : du 9 décembre au 29 décembre 2017,
- Séquence 4 : du 1 janvier au 21 janvier 2018,
- Séquence 5 : du 12 février au 4 mars 2018.







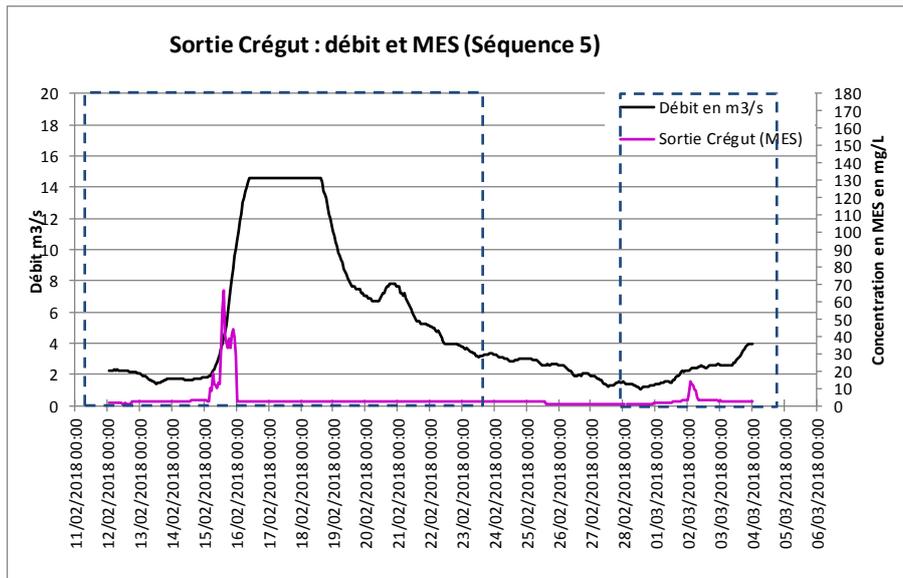


Figure 33 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 5

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 essentiellement mesurés en début de crue.



Sondes Solitax

La Figure 34 présente le cumul des concentrations en MES sur la durée du suivi de 2017-2018 pour les stations lac équipées de sondes Solitax. Des évènements distincts ont été identifiés par un encadré en pointillés. Sur la station Sortie Eau Verte, des données n'ont pu être enregistrées à cause d'un dysfonctionnement matériel. Ces données correspondent à une période cruciale, présentant les plus forts débits et par conséquent des flux importants de MES, du 14 décembre 2017 au 23 janvier 2018, les cumuls de MES sont donc sous-estimés.

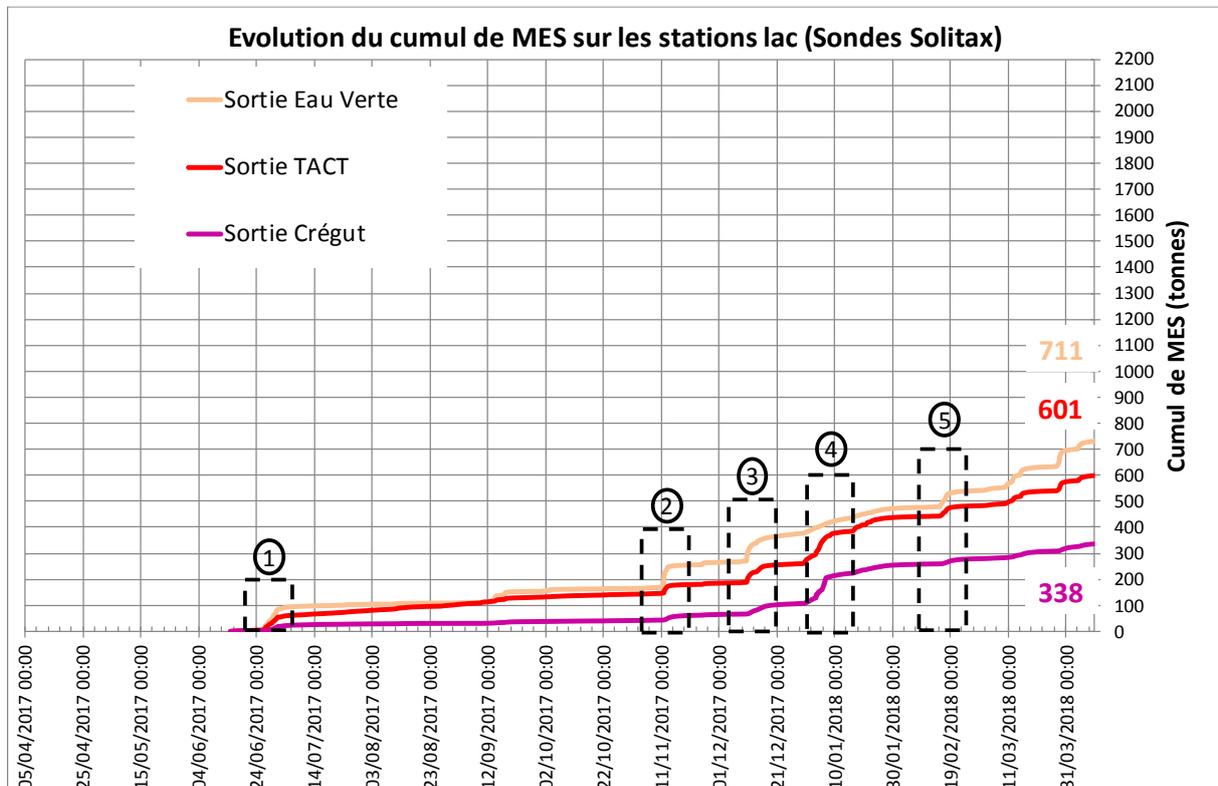
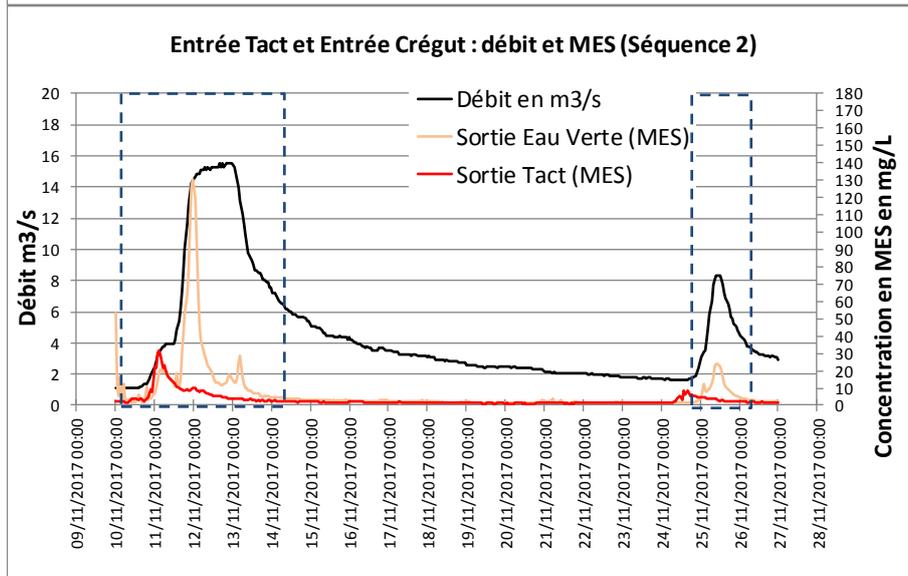
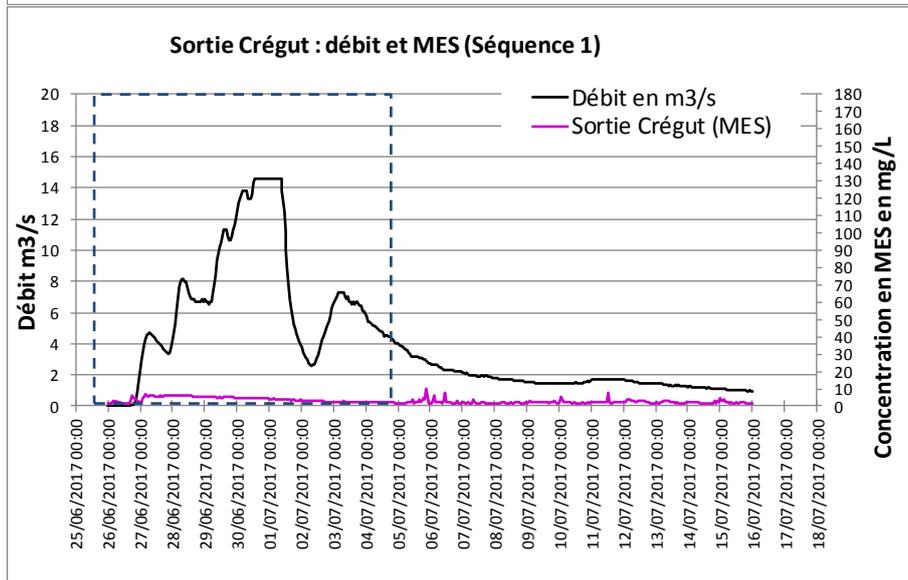
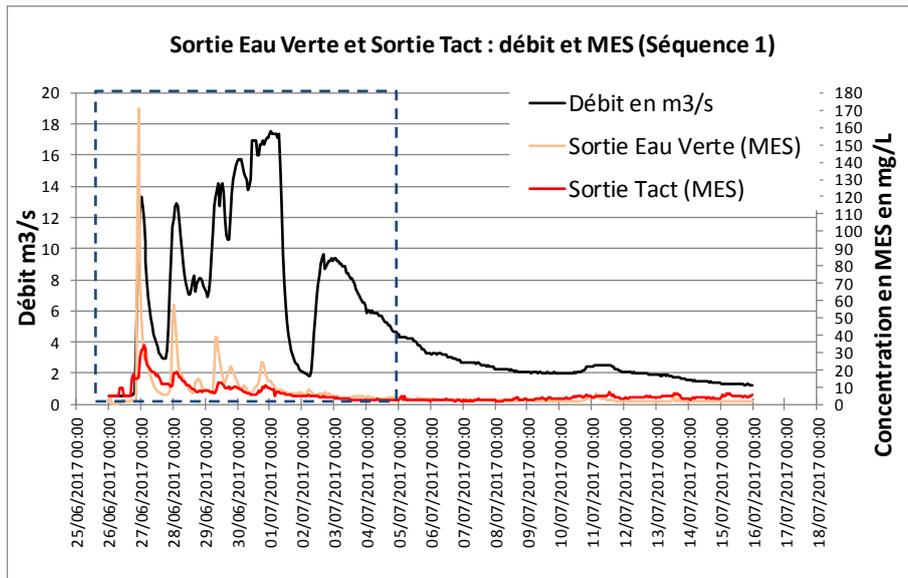


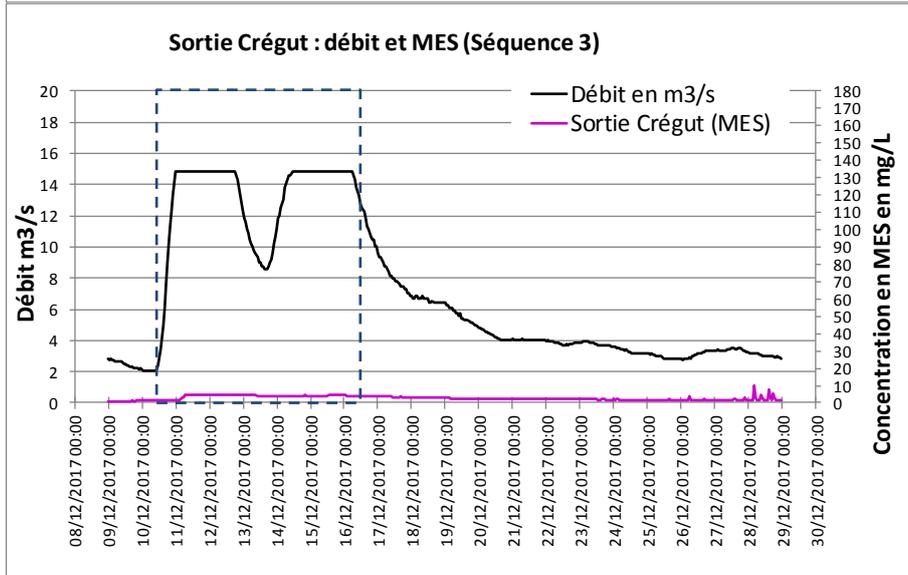
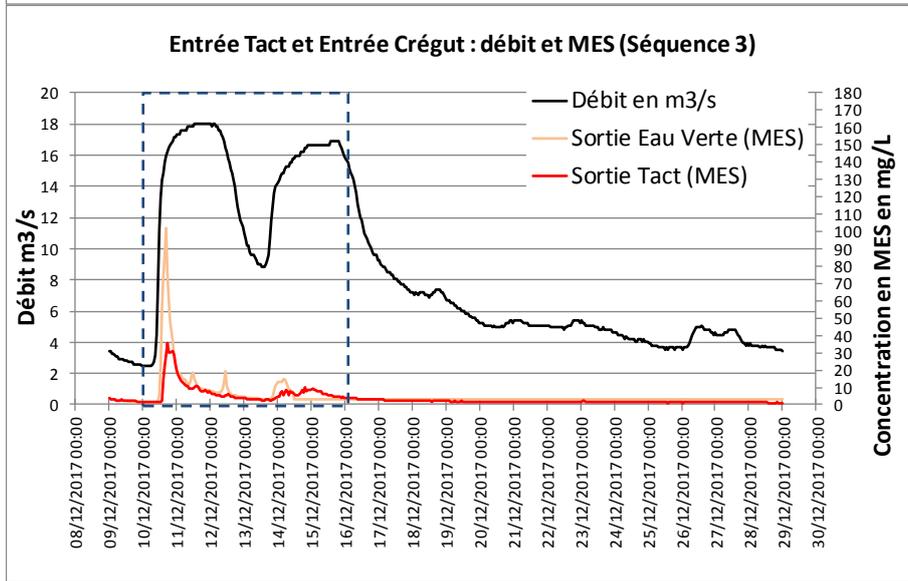
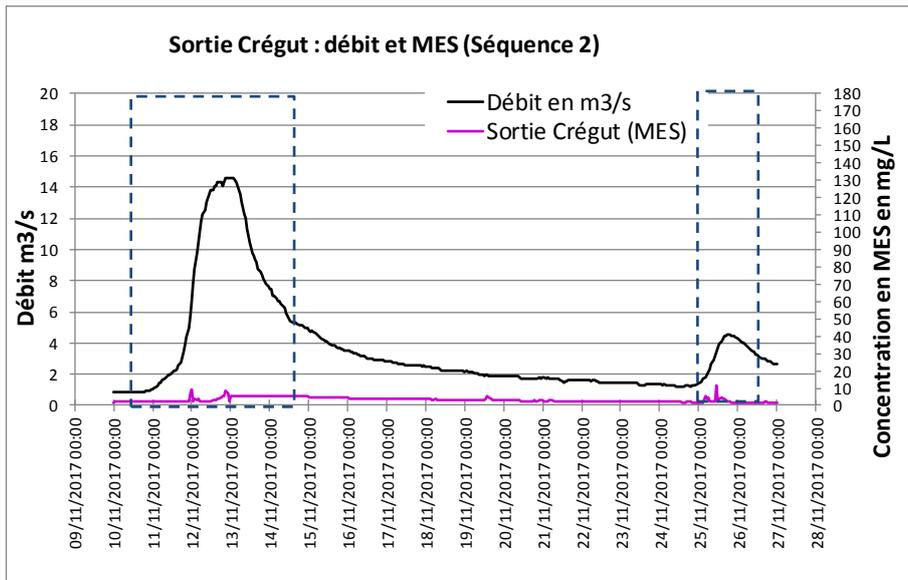
Figure 34 : Cumuls de MES en tonnes d'avril 2017 à avril 2018 sur les stations lac

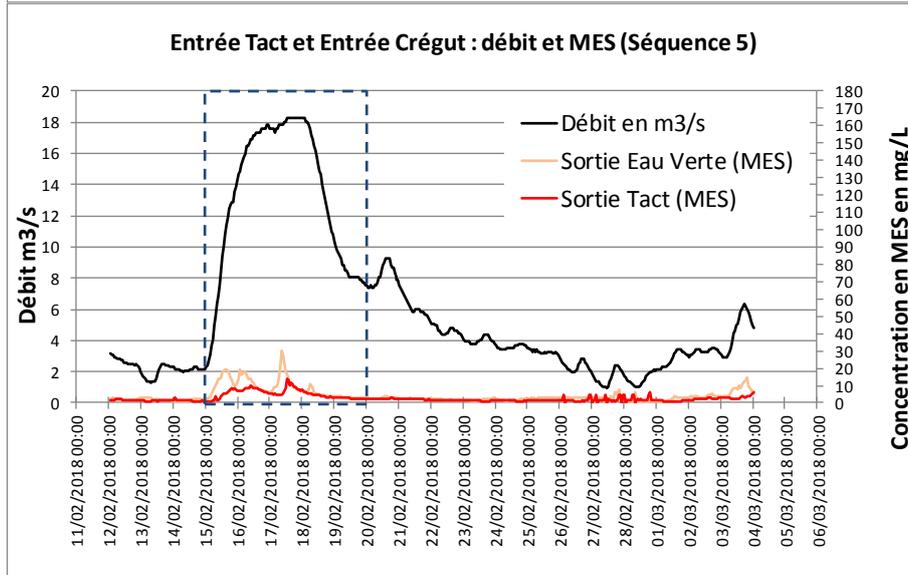
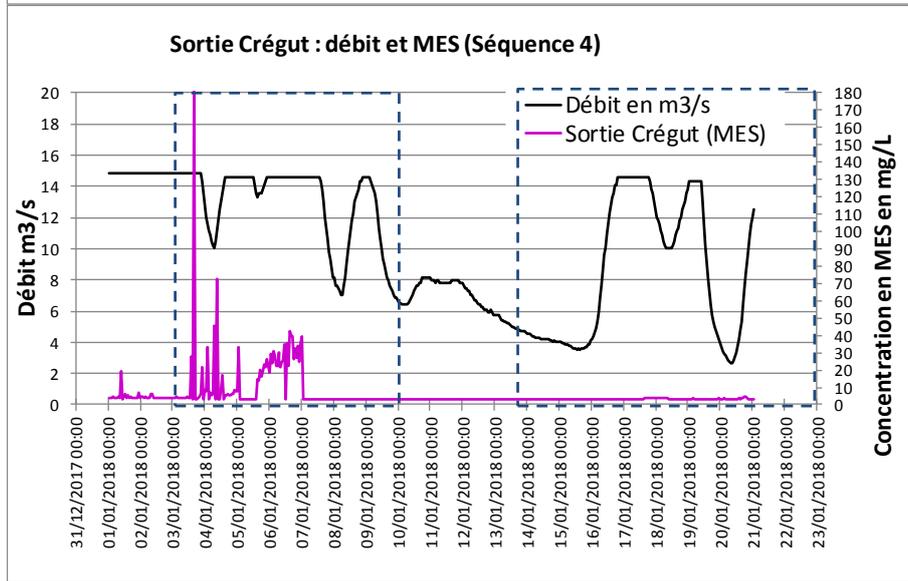
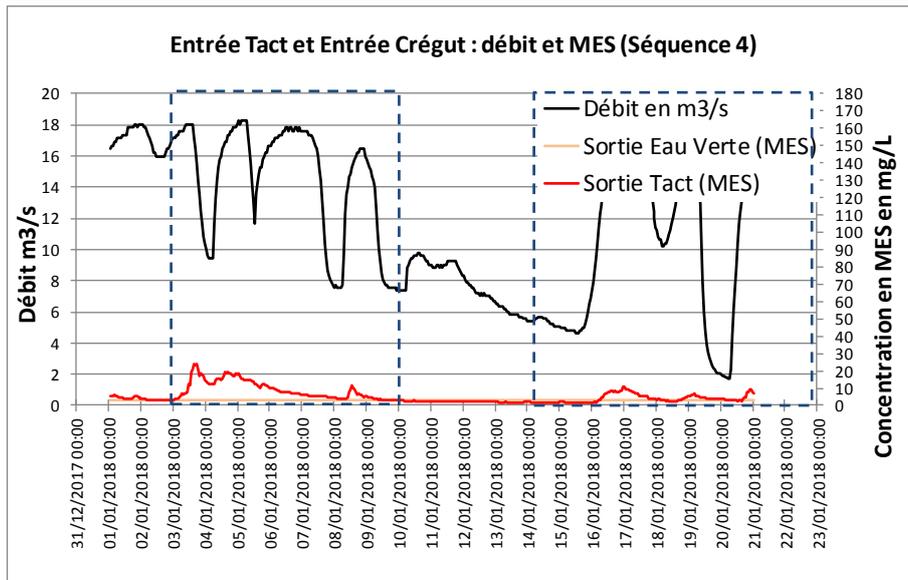
Sur les trois stations situées en lac, la Sortie Eau Verte présente des concentrations en MES plus élevées. À la Sortie Tact, le flux de MES transité est moins important qu'à la Sortie Eau Verte révélant le pouvoir décanteur du Tact. Cependant, la perte de données sur la Sortie Eau Verte entraîne une sous-évaluation de la part de MES stockée sur ce lac. Le lac de la Crégut paraît alors être le lieu où la sédimentation est la plus importante.

La comparaison entre le débit et les concentrations en MES a révélé cinq séquences caractéristiques (Figure 35) :

- Séquence 1 : du 26 juin au 16 juillet 2017,
- Séquence 2 : du 10 novembre au 27 novembre 2017,
- Séquence 3 : du 9 décembre au 29 décembre 2017,
- Séquence 4 : du 1 janvier au 21 janvier 2018,
- Séquence 5 : du 12 février au 4 mars 2018.







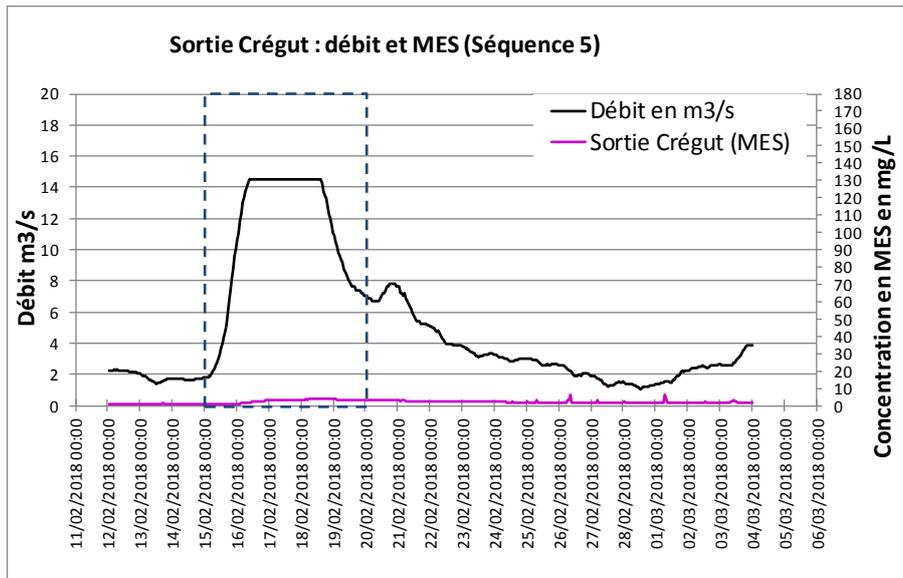


Figure 35 : Concentration en MES et débit sur les stations lac pour la séquence 5

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 essentiellement mesurés en début de crue.

Les séquences isolées précédemment sont retrouvées aux mêmes périodes pour les données enregistrées par les Aquatec et par les Solitax. Cependant, les signaux des sondes Solitax semblent plus nets et suscitent moins de perte de données.

Bilan

Le Tableau 6 et le Tableau 7 présente la synthèse des calculs de stockage sur le lac du Tact et le Lac de la Crégut pour les suivis de 2011, 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016, 2016-2017 et 2017-2018. Deux méthodes de calcul ont été utilisées :

- Le suivi horaire en continu pour les suivis de 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016, 2016-2017 et 2017-2018. (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.

Au cours du suivi 2017-2018, des systèmes d'enregistrement équipés de Solitax ont équipé les stations lac. Ces systèmes ont été placés en adéquation avec les systèmes Aquatec et permettent grâce à leur dispositif d'auto-nettoyage de limiter la problématique du développement périphytique. Cependant, des problèmes de matériel ont entraîné la perte de mesures de turbidité, survenant à des périodes critiques de forts débits (de manière générale, à partir de décembre 2017 à la fin du suivi 2018). Ces données manquantes entraînent une sous-estimation des masses de MES stockées, malgré le système d'extrapolation en place. Ces pertes de données concernent la masse de MES calculée sur la station Entrée Crégut influant à la fois la masse stockée dans le Tact et dans le lac de la Crégut. Elles concernent également la station Sortie Eau Verte influant la masse stockée dans le Tact.



D'avril 2017 à avril 2018, d'après les enregistrements effectués par les sondes Aquatec, environ 1277 tonnes de MES auraient été stockées dans les lacs du Tact et de la Crégut. Les données de la station Entrée Tact étant sous-estimées, le stockage de MES dans chaque lac reste sous-évalué.

D'après les enregistrements effectués par les sondes Solitax de juin 2017 à avril 2018, 263 tonnes de MES auraient été stockées dans le lac de la Crégut. L'absence de données pendant la période de décembre à janvier sur la station Sortie Eau Verte ne permet pas de quantifier rationnellement le volume stocké dans le lac du Tact.

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 plus de 8000 mesures effectuées durant les suivis en continu. Les valeurs de stockage obtenues durant le suivi 2017-2018 sont légèrement supérieures à celles obtenues durant le suivi 2016-2017 mais restent du même ordre de grandeur. Les conditions hydrologiques observées lors de cette année de suivi peuvent expliquer ce même ordre de grandeur. Le débit moyen était de 4.03 m³/s sur la station Entrée Crégut.

Tableau 6 : Bilan des cumuls par aménagement, données enregistrées par les systèmes Aquatec

Période	Suivi en continu					Suivi ponctuel
	2017-2018	2016-2017	2015-2016	2014-2015	2013-2014	2011
Relation	2013-2016	2013-2016	2013-2016	2013-2016	2013-2014	2011
Stockage MES Lac du Tact (tonnes)	1077	815	1067	1264	715 à 790	-96
Stockage MES Lac de la Crégut (tonnes)	200	213	184	172	250 à 315	196
Débits moyens annuels (m ³ /s)	4.0	2.7	3.0	3.3	4.2	2.0

Tableau 7 : Bilan des cumuls par aménagement, données enregistrées par les systèmes Solitax

Période	Juin 2017-avril 2018
Relation	2017-2018
Stockage MES Lac du Tact (tonnes)	Non exploitable
Stockage MES Lac de la Crégut (tonnes)	263



2.5 PHYSICO-CHIMIE DES ENTRANTS ET SORTANTS

2.5.1 Fréquence de prélèvement

Le Tableau 8 présente les différentes dates et heures d'intervention sur les points situés en rivière ainsi que le jour de dépôt des échantillons au laboratoire.

Les nouvelles stations étant installées en parallèle des plus anciennes, les résultats ont été groupés afin d'être comparés au texte réglementaire.

Tableau 8 : Heures et dates de prélèvement des échantillons prélevés en rivière

Date de prélèvement	Date de dépôt	Heure de prélèvement (heure d'été)				
		Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
19/04/2017	19/04/2017	12:00:00	11:45:00	08:45:00	09:00:00	10:00:00
18/05/2017	18/05/2017	12:00:00	11:45:00	08:50:00	09:50:00	10:50:00
15/06/2017	15/06/2017	13:00:00	12:30:00	08:50:00	10:00:00	11:00:00
27/07/2017	27/07/2017	12:10:00	11:55:00	09:10:00	09:50:00	11:00:00
24/08/2017	24/08/2017	12:00:00	11:40:00	09:15:00	09:50:00	10:30:00
20/09/2017	20/09/2017	12:10:00	11:40:00	08:00:00	08:40:00	09:25:00
25/10/2017	25/10/2017	11:55:00	11:25:00	08:50:00	09:50:00	10:30:00
15/11/2017	15/11/2017	12:40:00	12:10:00	09:40:00	10:40:00	11:00:00
14/12/2017	14/12/2017	13:50:00	13:10:00	10:10:00	11:10:00	12:00:00
23/01/2018	23/01/2018	13:10:00	12:55:00	10:08:00	10:58:00	12:00:00
23/02/2018	23/02/2018	13:30:00	13:00:00	09:50:00	10:50:00	12:15:00
Nouvelles Stations		Tarentaine	Eau verte	Sortie EV	Sortie Tact	Sortie Crégut
15/03/2018	15/03/2018	12:10	11:50	09:00	10:00	10:50

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 9 et l'Annexe 5.

Tableau 9 : 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 à de la lecture 20 à 50 mg/l = ±5% de la lecture
		pH	0 à 14 unités	0.01 unité	±0.1 unité sur ±10°C de la température de calibration
		Conductivité	0 à 200 mS/cm	0.0001 à 0.01 mS/cm	0 à 100mS/cm = ±0.5 % de la lecture 100 à 200 mS/cm = ±1% de la lecture
		Turbidité	0 à 4000 FNU ou NTU	0 à 999FNU : 0,01FNU 1000 à 4000FNU : 0,1FNU	0 à 999FNU : 0,3FNU ou 2% de la lecture, (v+g), 1000 à 4000FNU : +/-5% de la lecture
		Profondeur	0 – 100 m	0,001 m	0,04 % FS (± 0,10 m)



2.5.2.2 Prélèvement physico-chimique

Les prélèvements ont été effectués directement dans la veine d'eau et à l'aide d'un seau, 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 10 présente l'ensemble de ces analyses.

Tableau 10 : 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 8. 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 11 : 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 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	

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 12 afin d'attribuer la classe de qualité associée. À chaque classe de qualité est associé un code couleur, présenté ci-dessous :



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

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

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

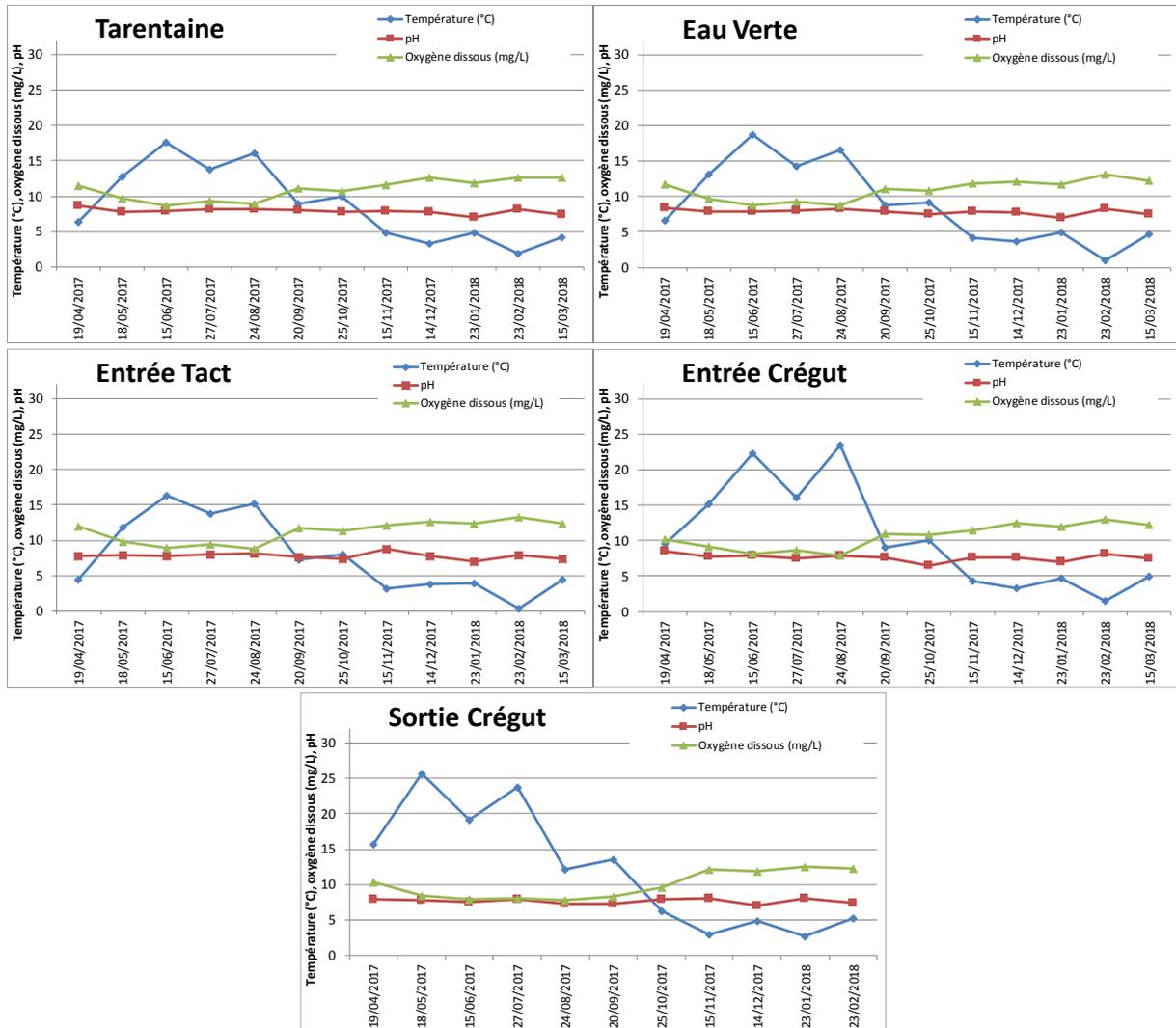


Figure 36 : Résultats de la température, du pH et de l'oxygène dissous relevés sur les cinq stations du suivi

Tableau 13 : 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)*	15.9	16.4	15.0	21.6	23.3
pH (max)*	8.2	8.3	8.2	8.1	8.1
pH (min)**	7.4	7.4	7.4	7.0	7.3
Oxygène dissous (mg/L)**	8.9	8.8	9.0	8.2	8.0

*Classification selon le percentile 90

**Classification selon le percentile 10



Commentaires :

Les températures sont plus élevées sur les stations situées en aval du complexe, à l'Entrée et à la Sortie du lac de la Crégut. Sur l'ensemble des stations, les valeurs de température sont de « très bonne » qualité. Les concentrations en oxygène sont légèrement plus basses sur la partie aval du complexe. Les valeurs les plus faibles ont été mesurées durant la période estivale sur l'entrée et la sortie du lac de la Crégut mais n'impactent en rien la classe de qualité qui, selon l'arrêté de 27 juillet 2015 est « très bonne ». Le pH se situe autour de 8. Le calcul du percentile 90 sur la station Eau Verte a révélé une valeur légèrement plus alcaline, déclassant cette station en « bonne » qualité.



Taux de saturation en oxygène et conductivité

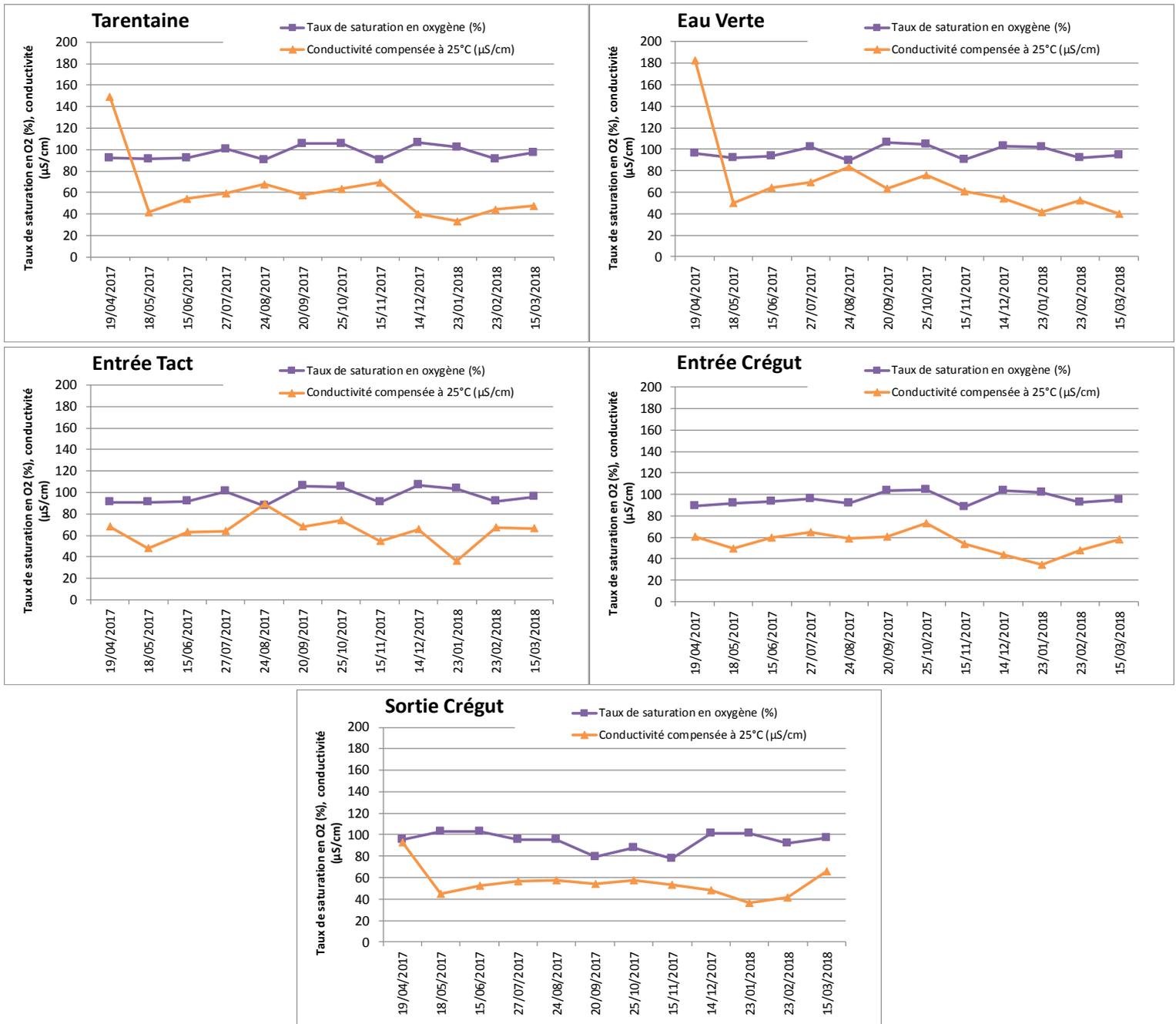


Figure 37 : Résultats du taux de saturation en oxygène et de la conductivité sur les cinq stations du suivi

Tableau 14 : Comparaison des paramètres taux de saturation et conductivité aux seuils de l'arrêt 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 (%)**	90.5	90.5	90.4	89.2	80.0
Conductivité (µS/cm)	69.5	82.9	73.4	64.3	65.3

**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 deux stations du lac de la Crégut. La conductivité est homogène tout au long de l'année sur l'ensemble du complexe de la Crégut, excepté en avril 2017 sur les deux stations en rivière, où un pic est visible.



2.5.3.2 Paramètres azotés

Ammonium (NH₄)

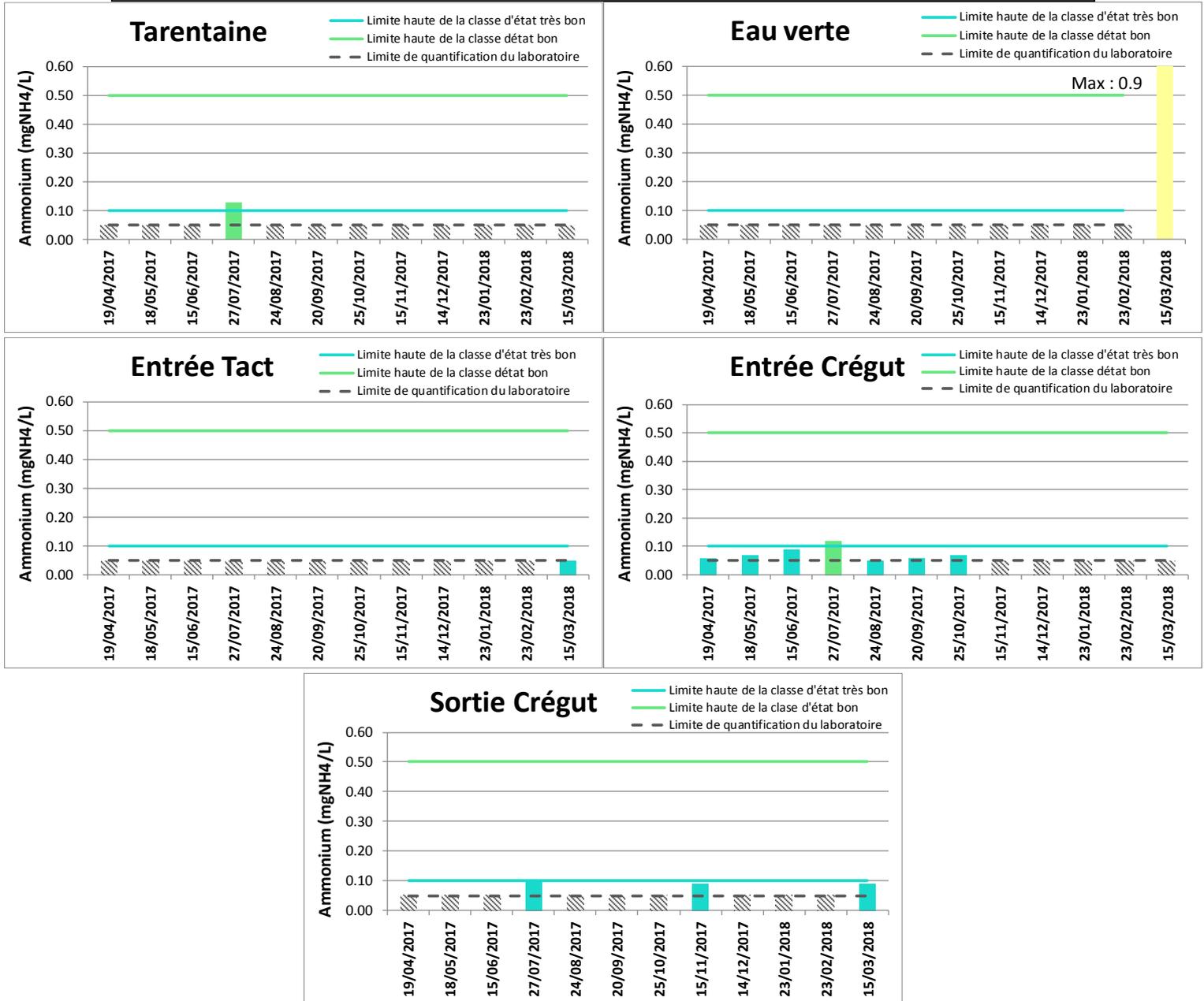


Figure 38 : Résultats des concentrations en ammonium sur les cinq station du suivi

Tableau 15 : 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 Crégut	Sortie Crégut
Ammonium (mgNH ₄ /L)*	0.03	0.05	0.03	0.09	0.05

*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 du laboratoire d'analyses. Un pic important a cependant été mesuré au cours de la dernière sortie du suivi (0.9mg/L) sur la station Eau Verte.



Nitrates (NO₃)

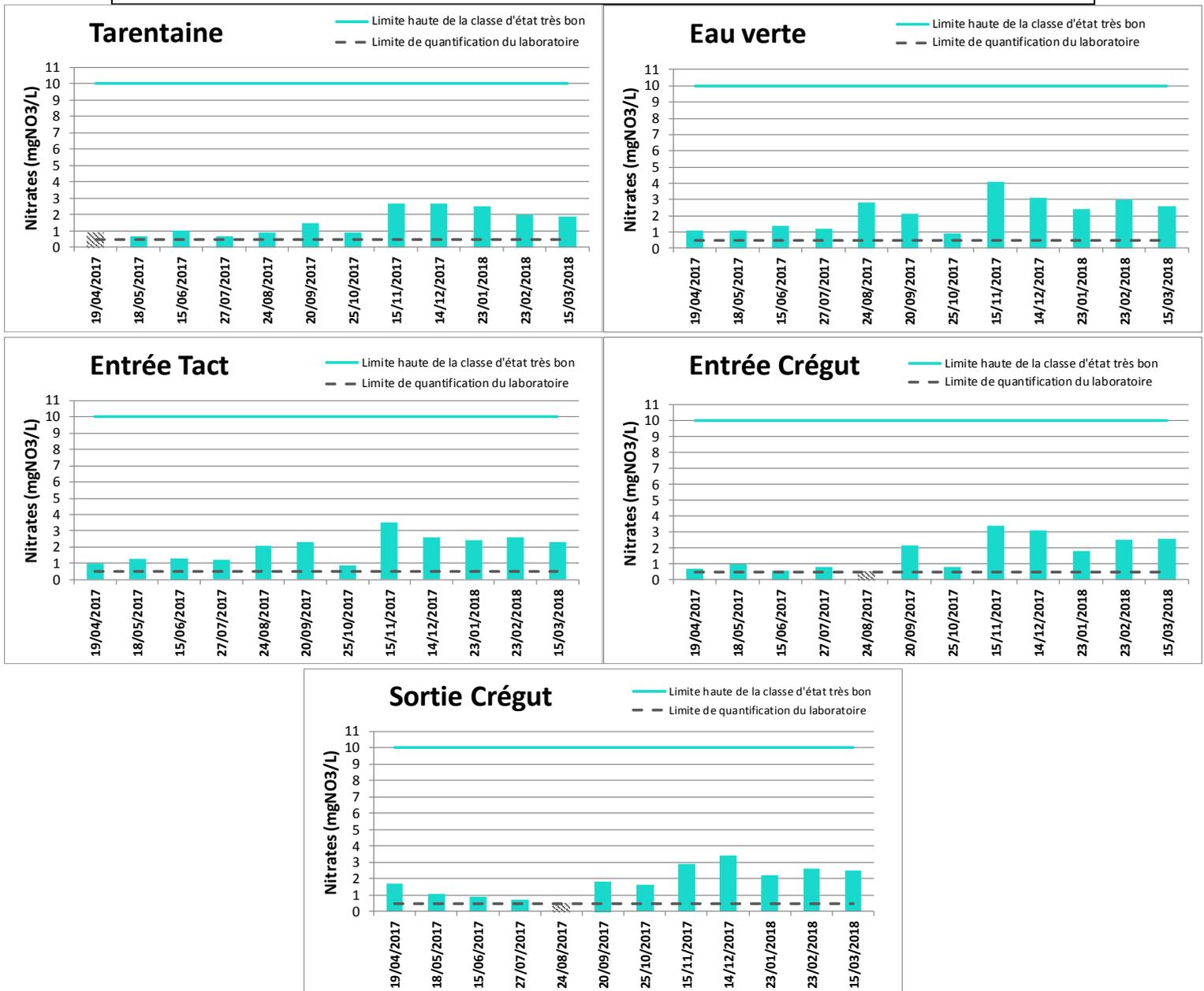


Figure 39 : Résultats des concentrations en nitrates sur les cinq stations de suivi

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

Evaluation de l'état de qualité du paramètre Nitrates selon l'arrêté du 27 juillet 2015					
	Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
Nitrates (mgNO ₃ /L)*	2.68	3.09	2.60	3.05	2.87

*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 mesurées sont plus importantes hors période estivale, pouvant s'expliquer par la consommation des nutriments par le phytoplancton au cours de la période estivale.



Nitrites (NO₂)

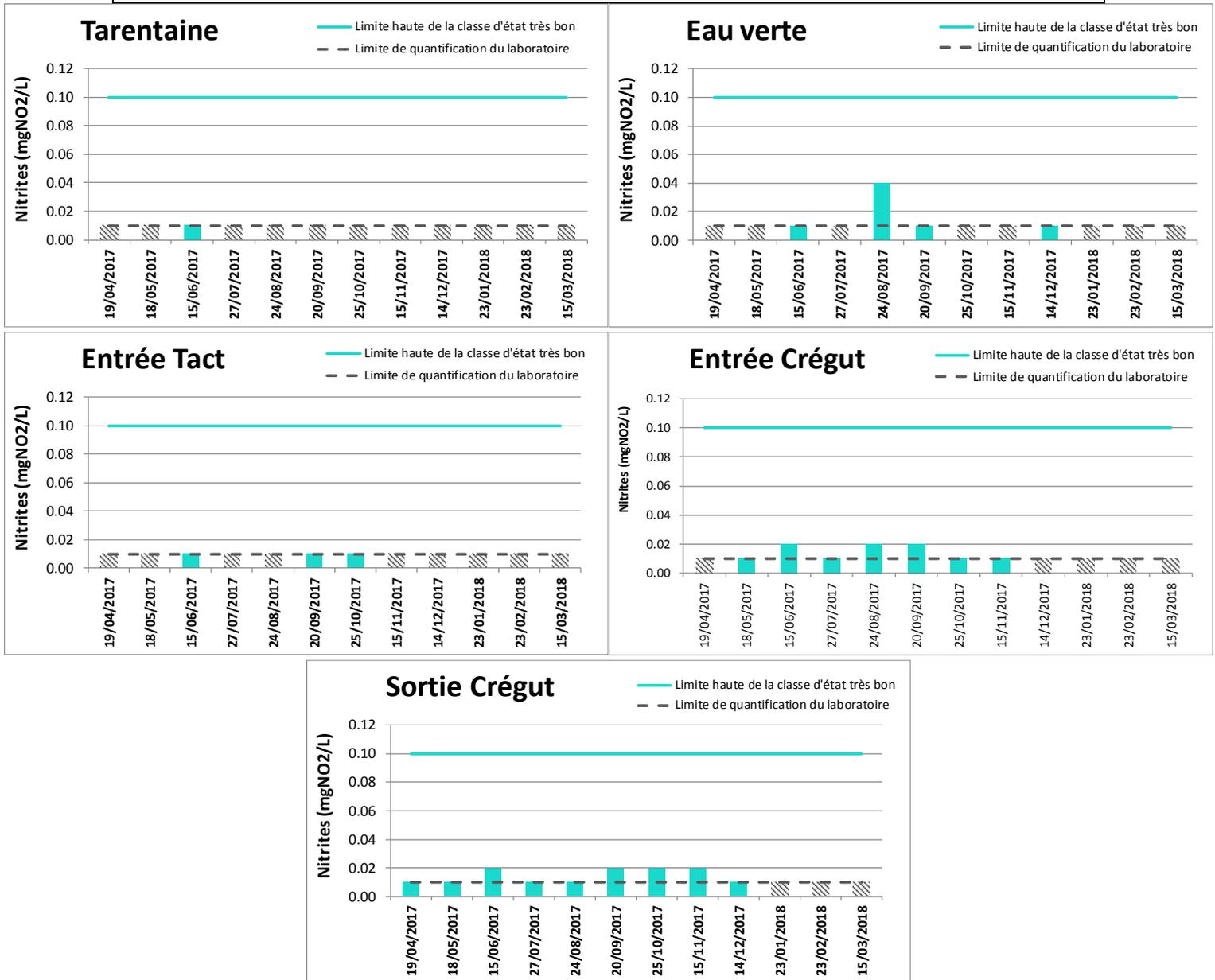


Figure 40 : Résultats des concentrations en nitrites sur les cinq station du suivi

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

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

*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. La majorité des valeurs sont en dessous de la limite de quantification du laboratoire d'analyses.



Azote Kjeldahl

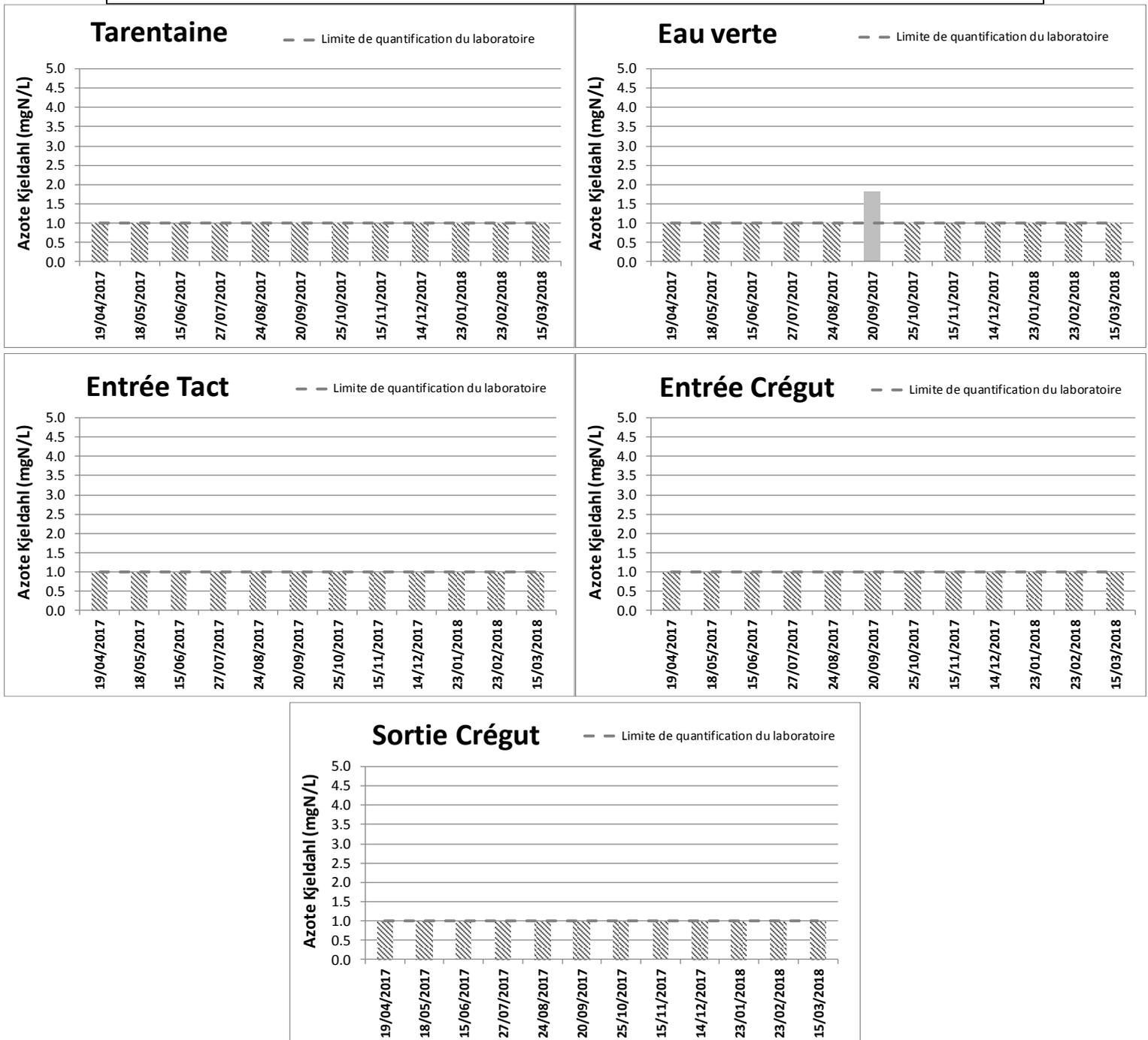


Figure 41 : Résultats des concentrations en azote Kjeldahl sur les cinq stations de suivi

Commentaires :

Les concentrations en azote Kjeldahl sont toutes inférieures au seuil de quantification du laboratoire (1 mg/L), excepté sur la station Eau Verte le 20/09/2017 (1.8 mg/L). L'arrêté du 27 juillet 2015 ne comporte aucun seuil relatif à ce paramètre.



2.5.3.3 Paramètres phosphorés

Orthophosphates (PO4)

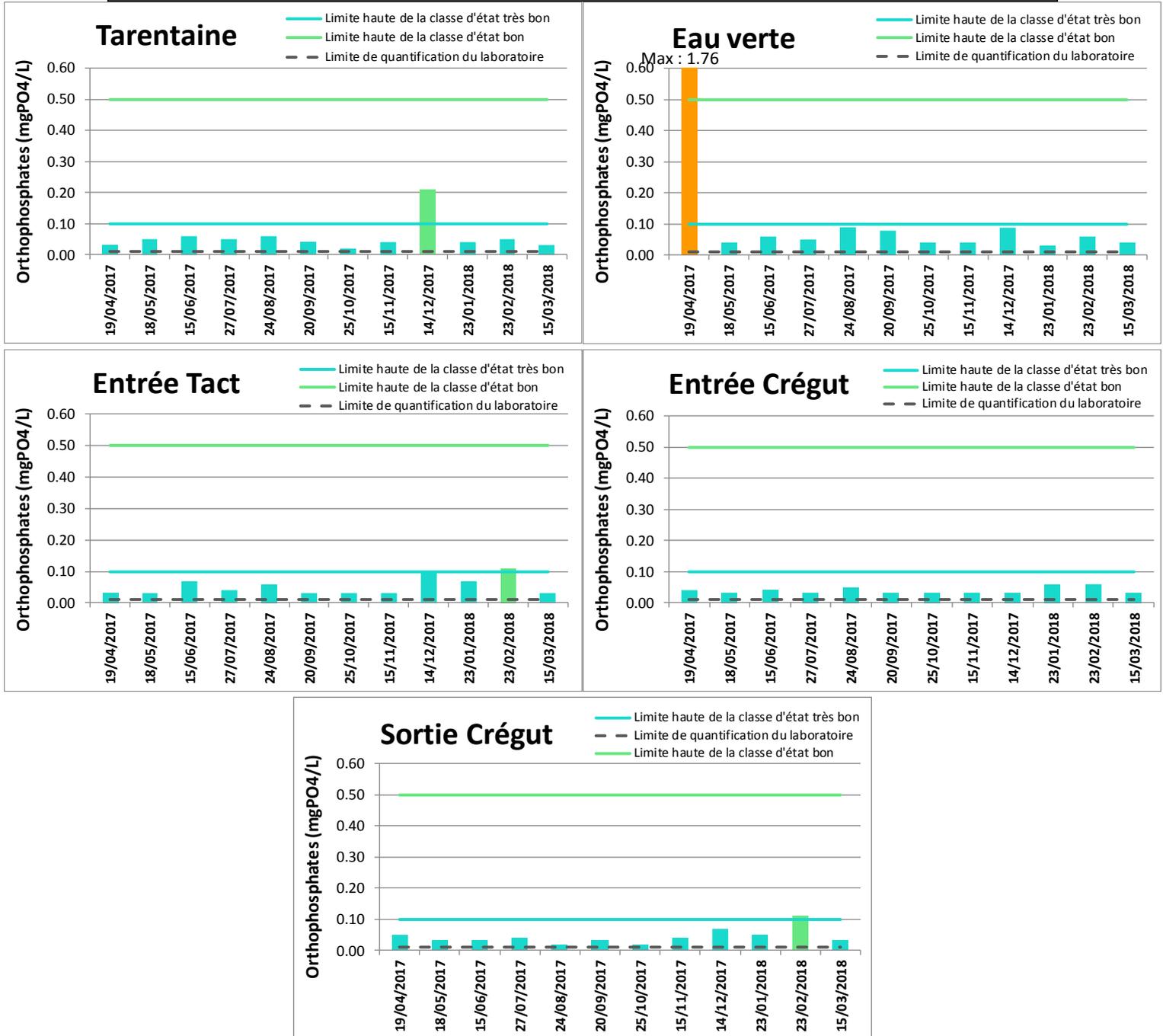


Figure 42 : Résultats des concentrations en orthophosphates sur les cinq stations du suivi

Tableau 18 : 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)*	0.060	0.090	0.097	0.059	0.068

*Classification selon le percentile 90



Commentaires :

Selon l'arrêté du 27 juillet 2015, les concentrations en orthophosphates sont de « très bonne » qualité, sur l'ensemble des stations. Les concentrations sont plutôt stables au cours du suivi, malgré un maximum mesuré au cours de la campagne du mois d'avril 2017 sur la station Eau Verte (1.76 mg/L).



Phosphore total (P total)

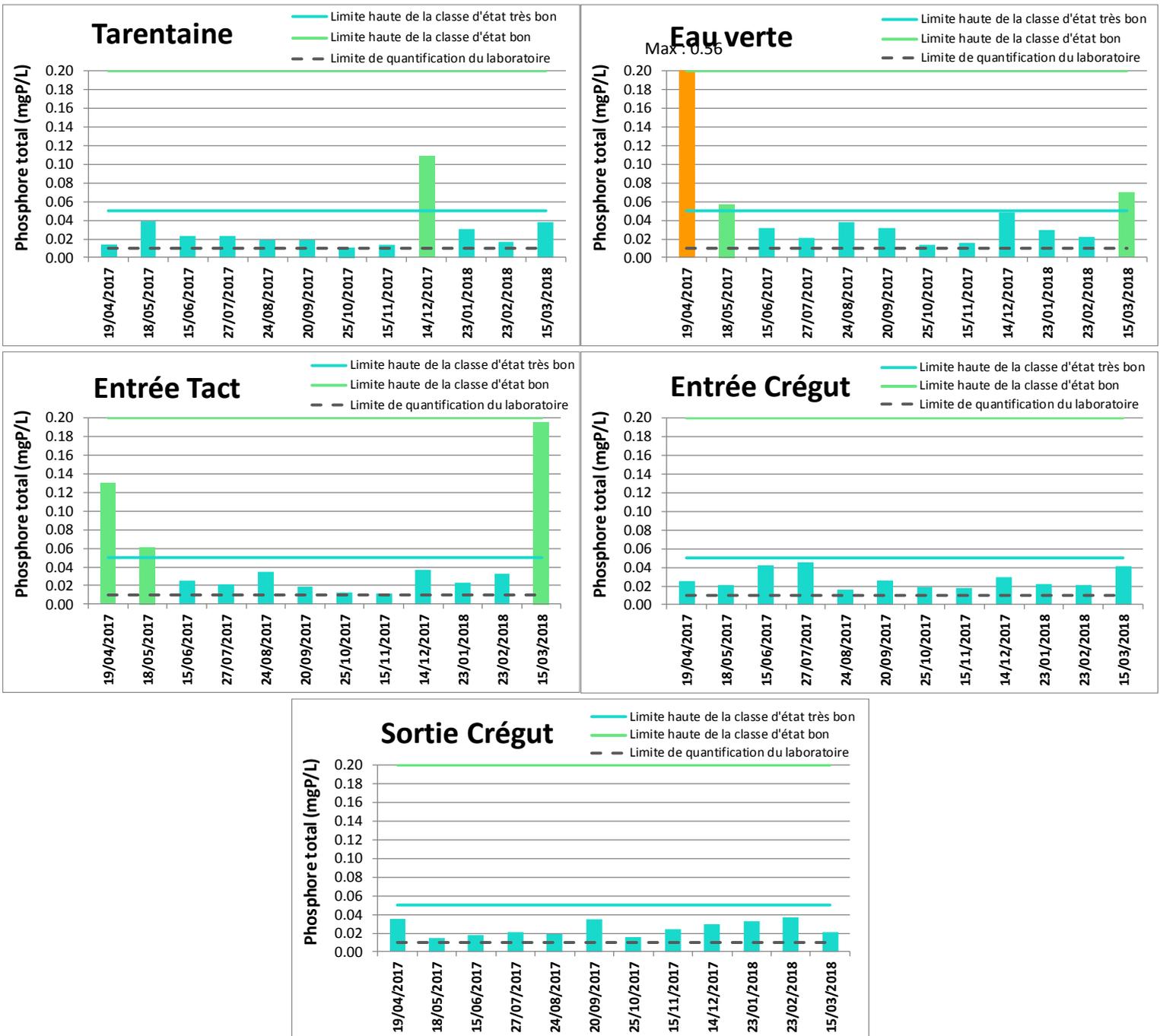


Figure 43 : Résultats des concentrations en phosphore total sur les cinq station du suivi

Tableau 19 : 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)*	0.039	0.069	0.123	0.041	0.035

*Classification selon le percentile 90



Commentaires :

Les valeurs de Phosphore total sont de « très bonne » qualité sur les stations Tarentaine et celles positionnées sur le lac de la Crégut. Pour les stations Eau Verte et Entrée Tact, la qualité attribuée est « bonne ». Des concentrations importantes ont pu être mesurées sur les deux stations de moins bonne qualité au cours des mois d'avril et de mai 2017 mais aussi au cours du mois de mars 2018.



2.5.3.4 Matières organiques

Carbone Organique Dissous (COD)

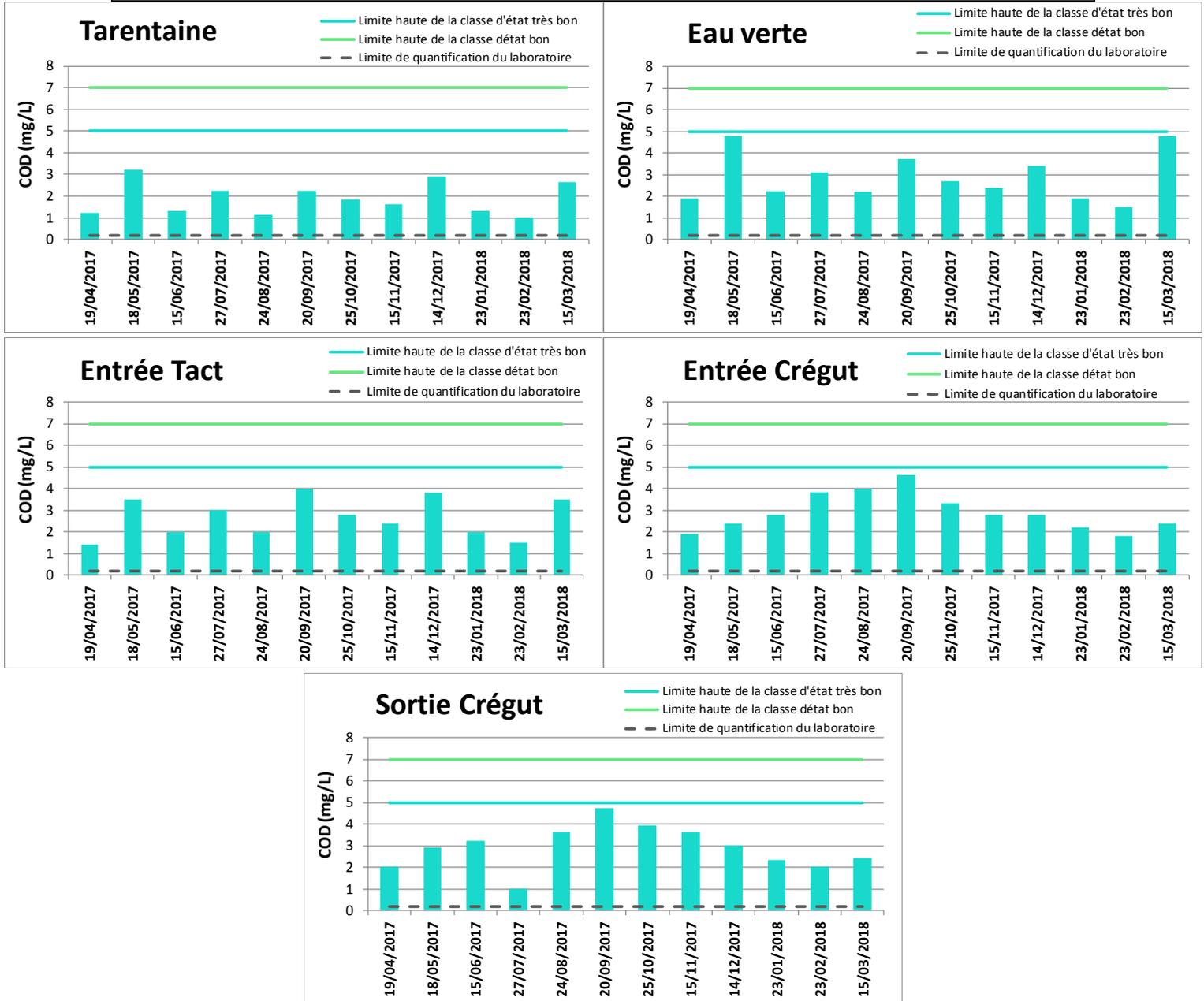


Figure 44 : Résultats des concentrations en carbone organique dissous sur les cinq stations du suivi

Tableau 20 : 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	4.7	3.8	4.0	3.9

*Classification selon le percentile 90

Commentaires :

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



Carbone Organique Total (COT)

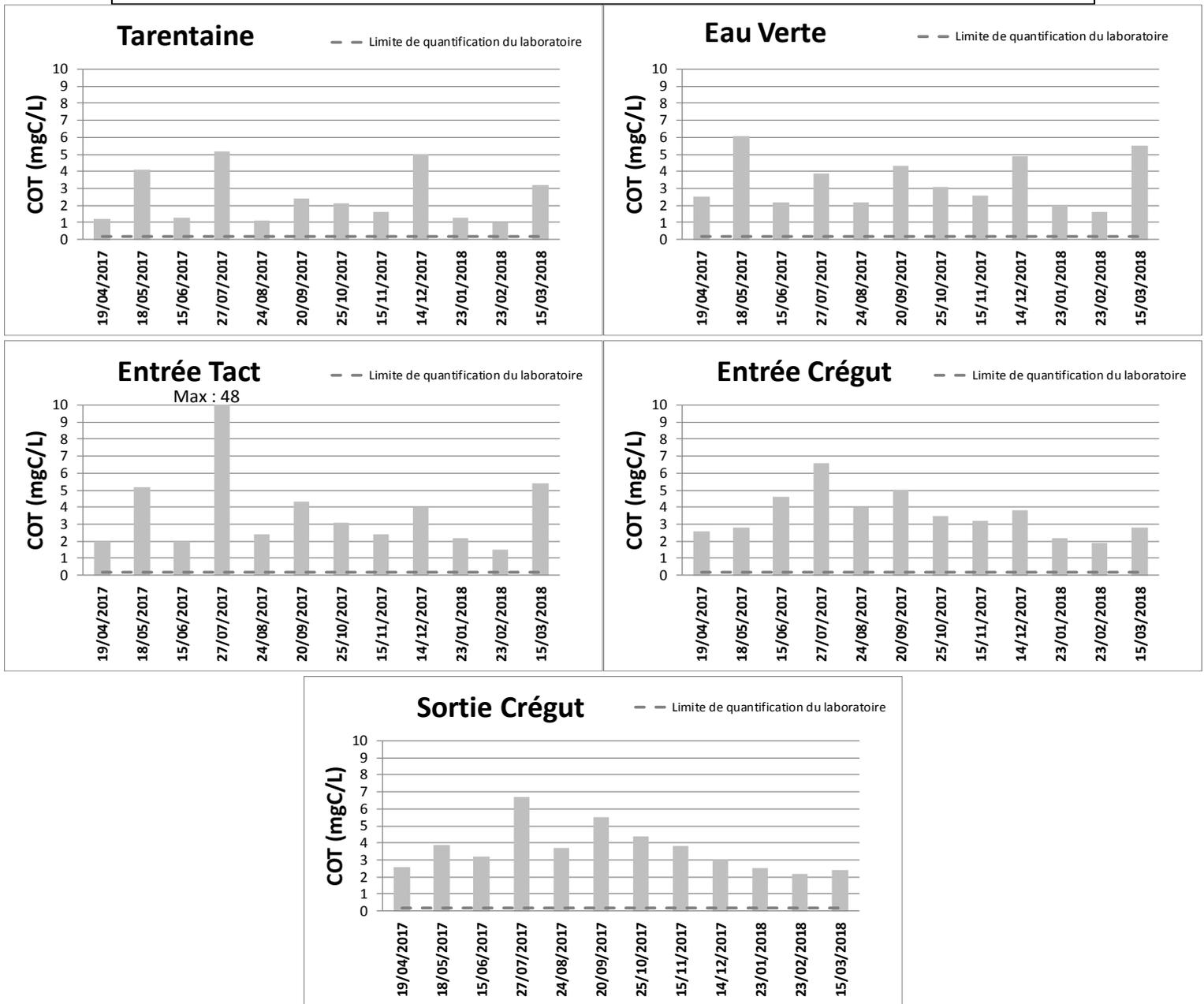


Figure 45 : Résultats des concentrations en carbone organique total sur les cinq station du suivi

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 27 juillet sur l'Entrée Tact (48 mg/L). L'arrêté du 27 juillet 2015 ne comporte aucun seuil relatif à ce paramètre.



Matières en suspension (MES)

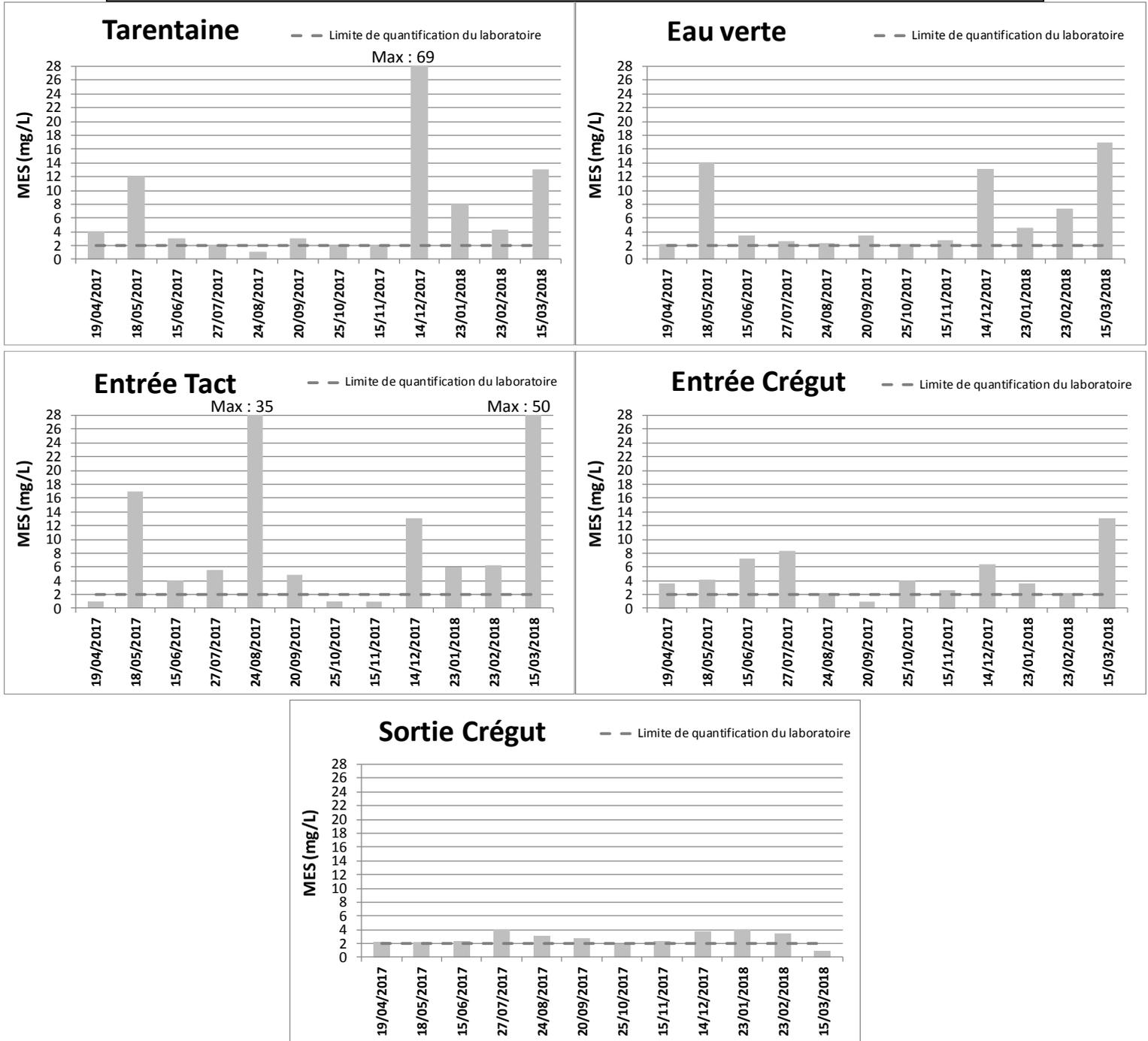


Figure 46 : Résultats des concentrations en matières en suspension sur les cinq station du suivi

Commentaires :

Les concentrations en MES sont globalement plus élevées sur les trois stations en amont du complexe et diminuent sur le lac de La Crégut. La concentration la plus élevée a été retrouvée sur le site de la Tarentaine (69 mg/L). L'arrêté du 27 juillet 2015 ne comporte aucun seuil relatif à ce paramètre.



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

Le Tableau 21 présente le bilan des évaluations des différents paramètres analysés selon l'arrêté du 27 juillet 2015 pour chaque station au cours du suivi 2017-2018.

Tableau 21 : 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				
	Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
Bilan de l'oxygène					
Oxygène dissous (mg/L)**	8.9	8.8	9.0	8.2	8.0
Taux de saturation (%)**	90.5	90.5	90.4	89.2	80.0
DBO5 mg/L	<i>Pas de mesure en 2017-2018</i>				
COD mg/L*	2.9	4.7	3.8	4.0	3.9
Température					
Température (°C)*	15.6	16.1	14.9	21.0	22.9
Nutriments					
Orthophosphates (mgPO4/L)*	0.060	0.090	0.097	0.059	0.068
Phosphore total (mgP/L)*	0.039	0.069	0.123	0.041	0.035
Ammonium (mgNH4/L)*	0.03	0.05	0.03	0.09	0.05
Nitrates (mgNO3/L)*	2.68	3.09	2.60	3.05	2.87
Nitrites (mgNO2/L)*	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
Acidification					
pH (max)*	8.2	8.3	8.2	8.1	8.1
pH (min)**	7.4	7.4	7.4	7.0	7.3
Salinité					
Conductivité (µS/cm)	69.5	82.9	73.4	64.3	65.3

*Classification selon le percentile 90

**Classification selon le percentile 10

Le Tableau 22 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 22 : Evaluation de l'état écologique pour les paramètres physico-chimiques du suivi 2017-2018 selon l'arrêté du 27 juillet 2015

	Evaluation de l'état physico-chimique				
	Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
Bilan de l'oxygène				O2%	O2%
Température					
Nutriments		Ptot	Ptot		
Acidification		pH max			
ETAT PHYSICO-CHIMIQUE	TRES BON	BON	BON	BON	BON

Selon les différents éléments de qualité (bilan de l'oxygène, température, nutriments et acidification), seule la station Tarentaine 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 47) :

- **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).

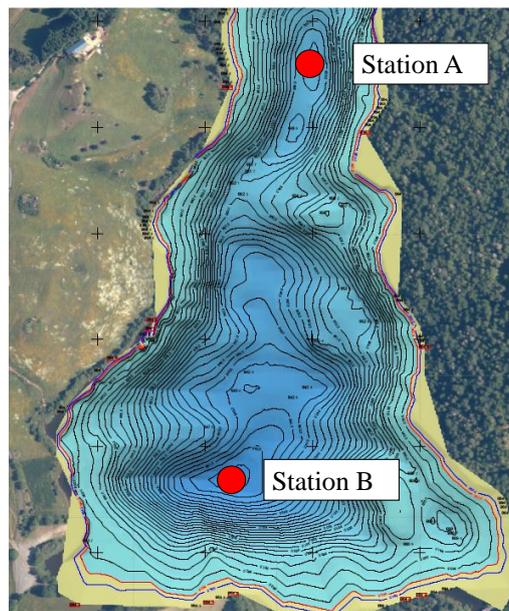


Figure 47 : Station de suivi lacustre sur le lac de la Crégut (Source : EDF, ATHOS Environnement)

3.2 FREQUENCE DE PRELEVEMENT

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

- Le 11 avril 2017
- Le 23 juin 2017
- Le 22 août 2017
- Le 27 octobre 2017

Le Tableau 23 présente les dates et heures de prélèvements ainsi que la date de dépôt des échantillons au transporteur vers le laboratoire d'analyse.

Tableau 23 : Heures et dates de prélèvement des échantillons prélevés en lac (Source : ATHOS Environnement)

Date de prélèvement	Date de dépôt	Heure de prélèvement (UTC)	
		Station A	Station B
11/04/2017	11/04/2017	09:35	10:20
23/06/2017	23/06/2017	07:20	08:30
22/08/2017	22/08/2017	08:00	08:40
27/10/2017	27/10/2017	07:50	09:05



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, préalablement définie par la mesure au disque de Secchi, 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 le laboratoire CARSO, accrédité COFRAC.

Tableau 24 : 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 (Bourrelly, Komarek) 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 9. Ce système d'évaluation permet de définir des classes d'état de la qualité des eaux. Le Tableau 25 récapitule les différentes classes de qualité associées à un code colorimétrique.

Tableau 25 : 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 26 : Classification trophique de l'OCDE (Source : Wollenweider et Kerekes)

Catégorie Trophique	P total moyenne/an ($\mu\text{g/L}$)	Chloro <i>a</i> moyenne/an ($\mu\text{g/L}$)	Chloro <i>a</i> 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 48 et la Figure 49 et la reprennent les résultats des profils verticaux. Sur la station A, une thermocline a été observée à partir de la campagne de juin à environ 3 m de profondeur et jusqu'au mois d'août où elle est moins marquée. Une oxycline s'est également mise en place au cours de la même période. Au mois d'août, cette dernière est d'avantage marquée. Une forte désoxygénation des eaux est visible et une zone anoxique s'établit. Le pH reste homogène le long de la colonne d'eau.

Sur la station B, la stratification du plan d'eau est plus marquée. Deux thermoclines sont visibles au cours de chaque campagne, en juin et en août. La première se situe à 3 m environ et la seconde à proximité de 14 m. Au cours de la dernière campagne, une seule thermocline est présente à environ 15m. Deux oxyclines sont également présentes et évoluent de la même manière que les profils de température en termes de profondeur. Une seule oxycline est présente au cours de la dernière campagne. Le bas de la colonne d'eau commence à se désoxygéner dès le mois de juin puis, une zone anoxique persiste du mois d'août, jusqu'au mois d'octobre sur les 5 derniers mètres de la colonne d'eau. Le pH reste également homogène.

Le Tableau 27 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 un minimum de 3 campagnes en période estivale. Les 3 campagnes correspondantes sont mai, juin et août.

Le calcul de la médiane de la profondeur du Secchi a été effectué sur l'ensemble du jeu de données. Le résultat classe la qualité de l'eau comme « 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) mais n'est pas pris en compte lors de l'évaluation de l'état écologique, il est donné à titre indicatif.

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

	Station A	Station B
Profondeur médiane du Secchi (m)	2.6	2.6
Désoxygénation de l'hypolimnion en % du déficit observé entre la surface et le fond pendant la période estivale (pour les lacs stratifiés)*	48%	64%

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



STATION A

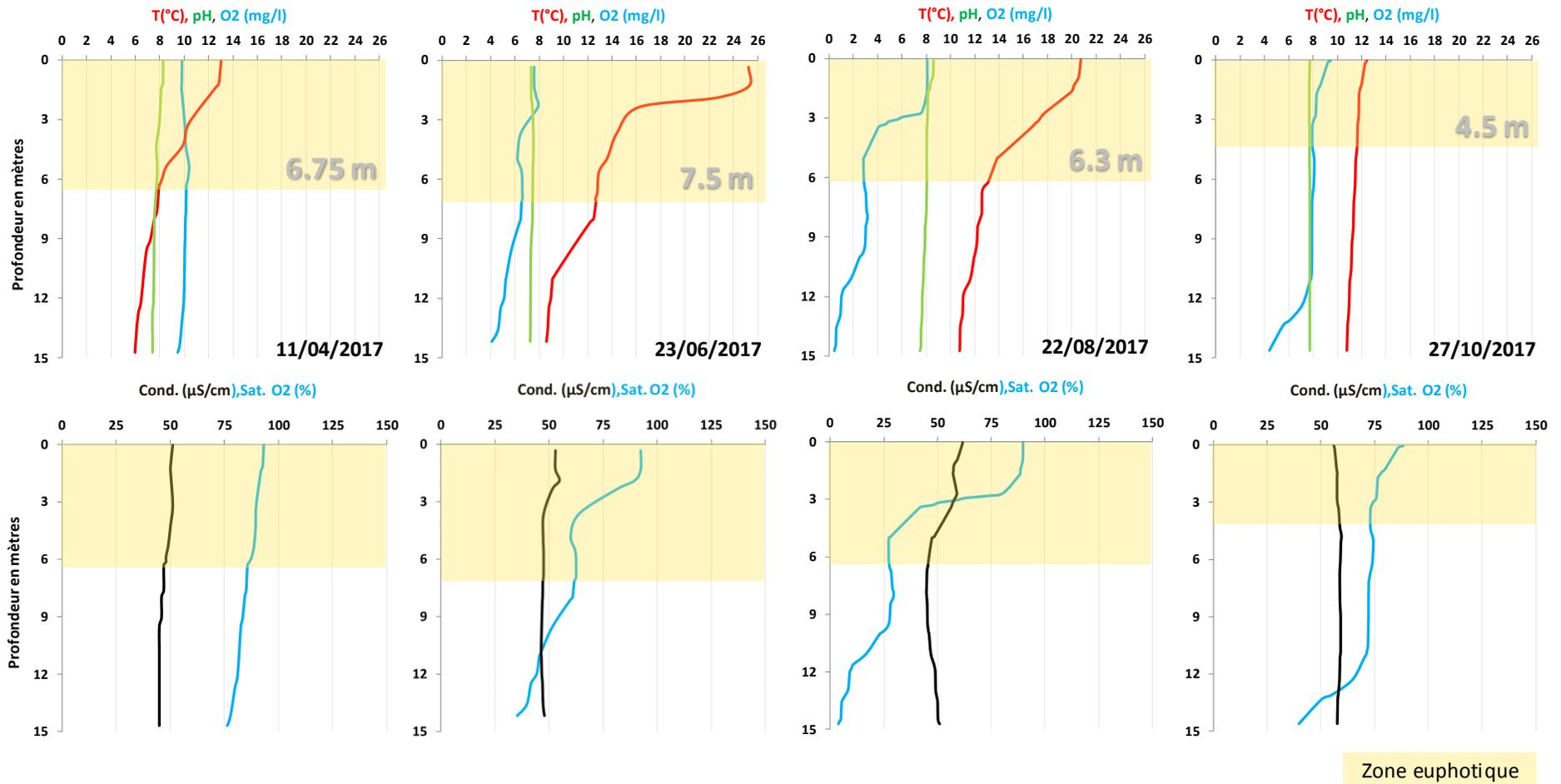


Figure 48 : Résultats des profils verticaux de la station A



STATION B

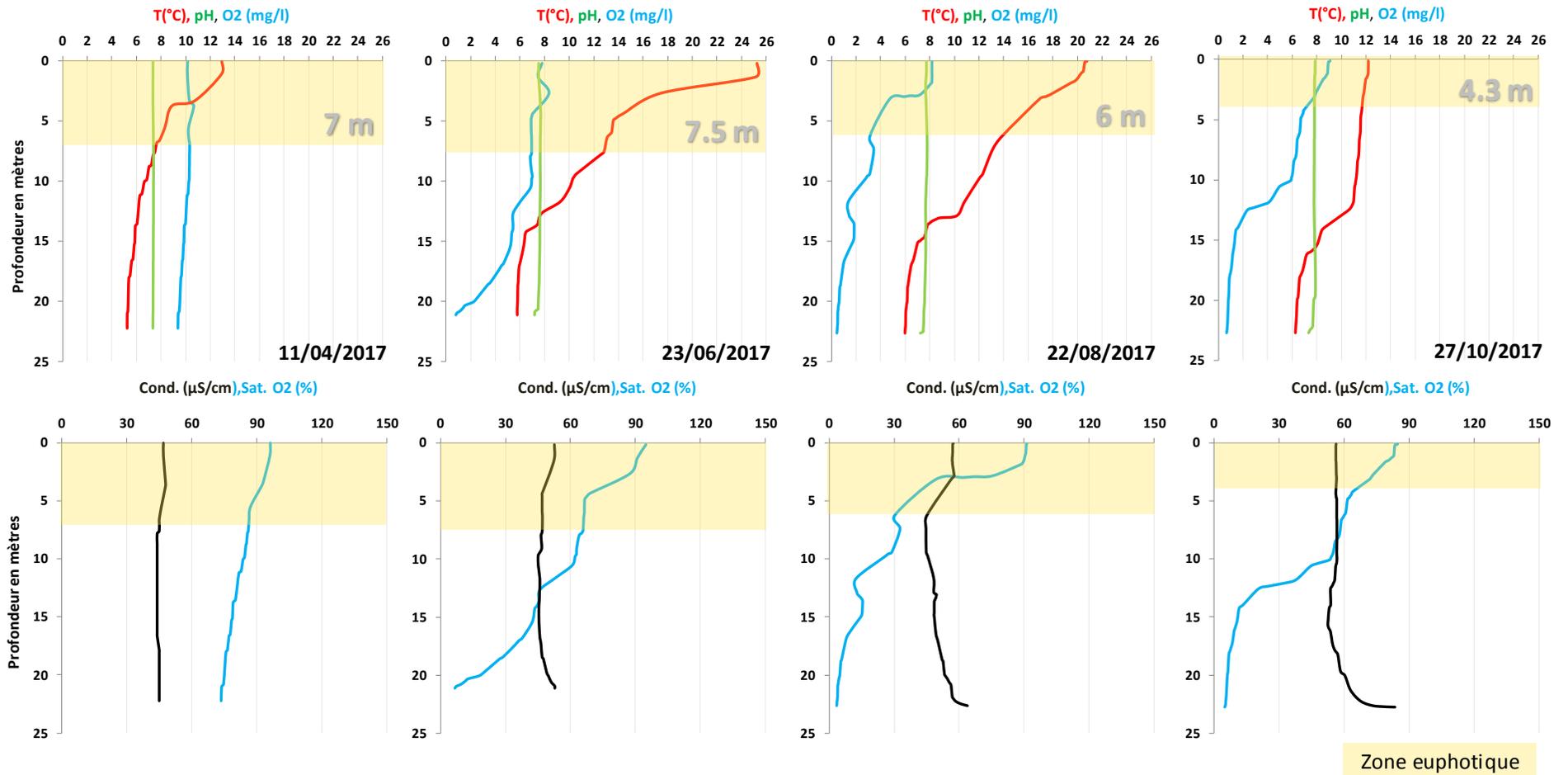


Figure 49 : Résultats des profils verticaux de la station B



3.5 RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES

3.5.1 Paramètres phosphorés

Phosphore total

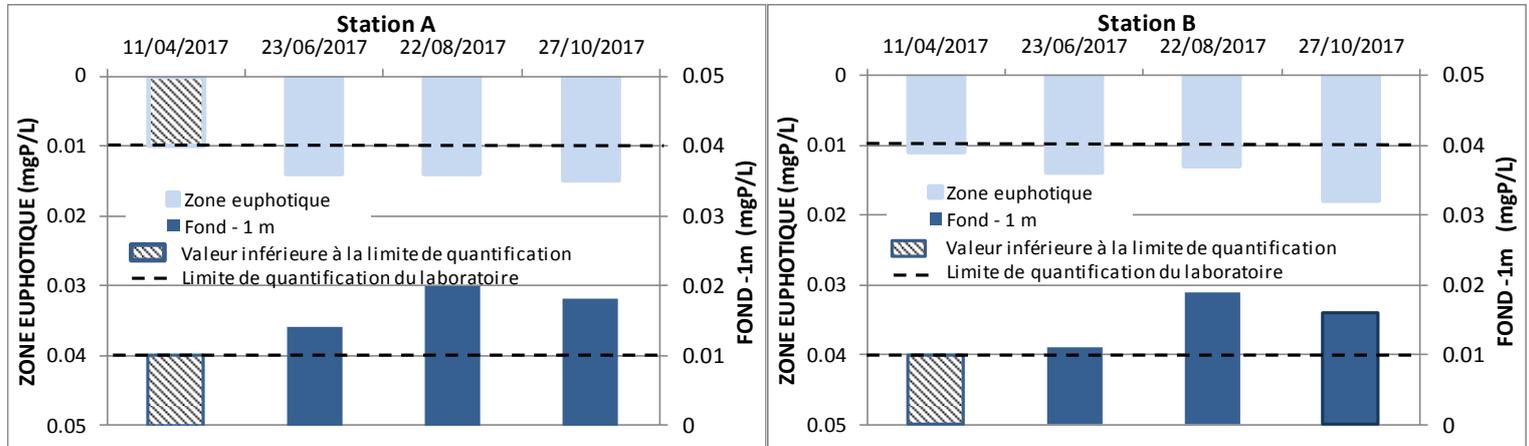


Figure 50 : Résultats des concentrations en phosphore total des stations A et B

Tableau 28 : Comparaison des concentrations en phosphore total aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015

	Station A	Station B
Valeur médiane phosphore total (mgP/L)	0.014	0.014

Seule la zone euphotique est prise en compte

Orthophosphates (PO₄³⁻)

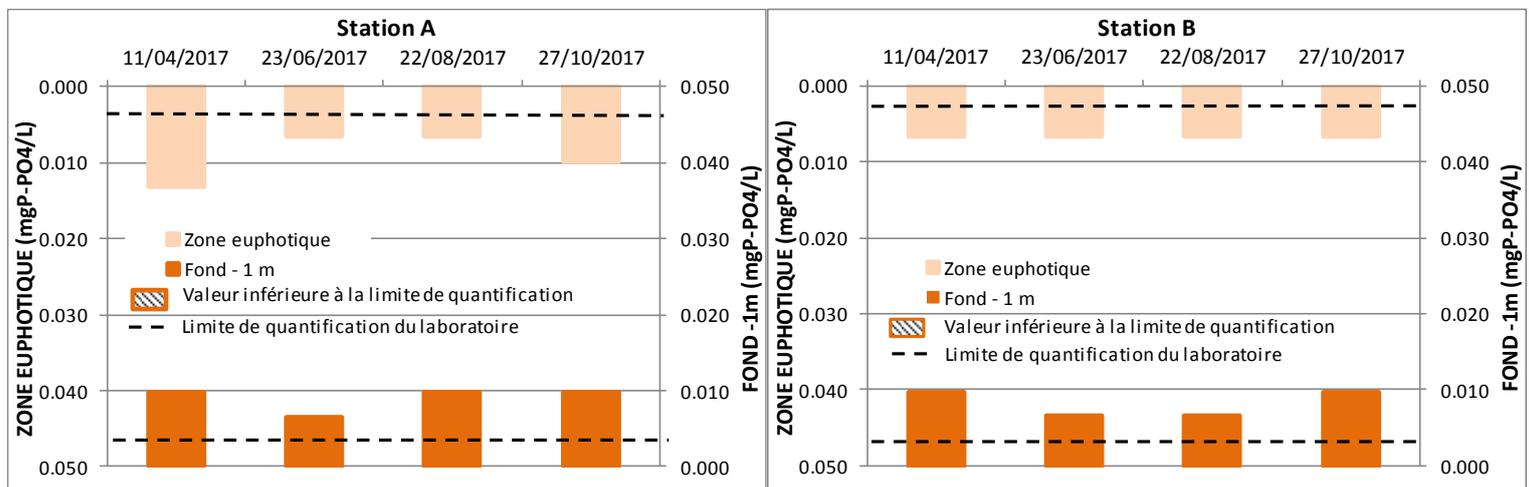


Figure 51 : Résultats des concentrations en orthophosphates des stations A et B

Commentaires :

La médiane calculée à partir des concentrations en phosphore total classe les deux stations en « très bonne » qualité. Au cours des deux dernières campagnes, la concentration en phosphore augmente dans l'hypolimnion, ce phénomène peut être dû au relargage de nutriments dans la zone anoxique présente d'août à septembre. Les concentrations en orthophosphates comportent des valeurs faibles, aucune classification n'est prévue pour ce paramètre dans l'arrêté du 27 juillet 2015.



3.5.2 Paramètres azotés

Ammonium (NH₄)

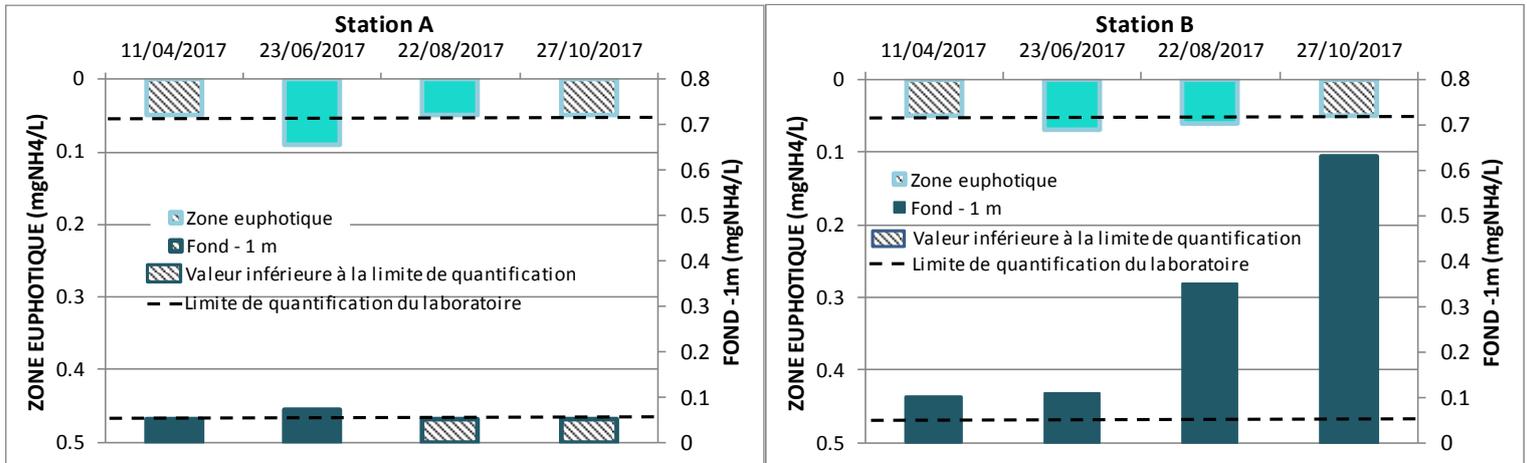


Figure 52 : Résultats des concentrations en ammonium des stations A et B

Tableau 29 : Comparaison des concentrations en ammonium aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015

	Station A	Station B
Valeur maximale Ammonium (mg NH ₄ /L)	0.090	0.070

Seule la zone euphotique est prise en compte

Nitrates (NO₃⁻)

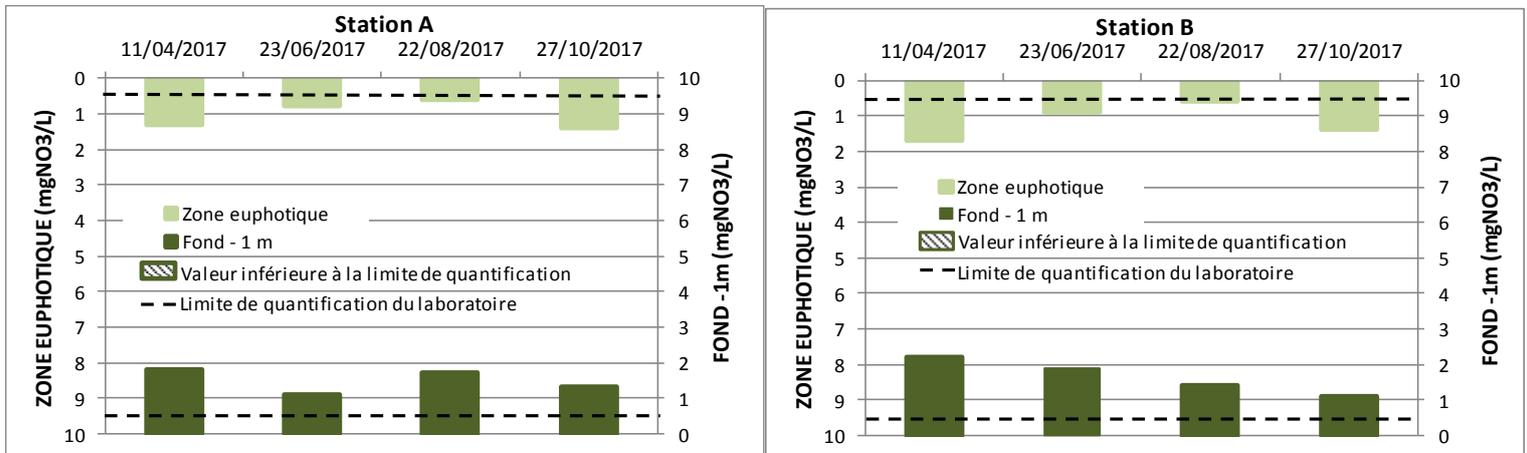


Figure 53 : Résultats des concentrations en nitrates des stations A et B

Tableau 30 : Comparaison des résultats de nitrates aux seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015

	Station A	Station B
Valeur Maximale Nitrates (mg NO ₃ /L)	1.4	1.7

Seule la zone euphotique est prise en compte

Commentaires :

Les concentrations en ammonium sont plutôt faibles. Une augmentation de la concentration sur la station B est cependant observée dans la zone proche du fond, en période automnale, résultant de la décomposition de la matière organique sédimentée. Sur l'ensemble du jeu de données des concentrations en ammonium, c'est la valeur maximale estivale 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 concentration en 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 « très bonne ».



Nitrites (NO₂⁻)

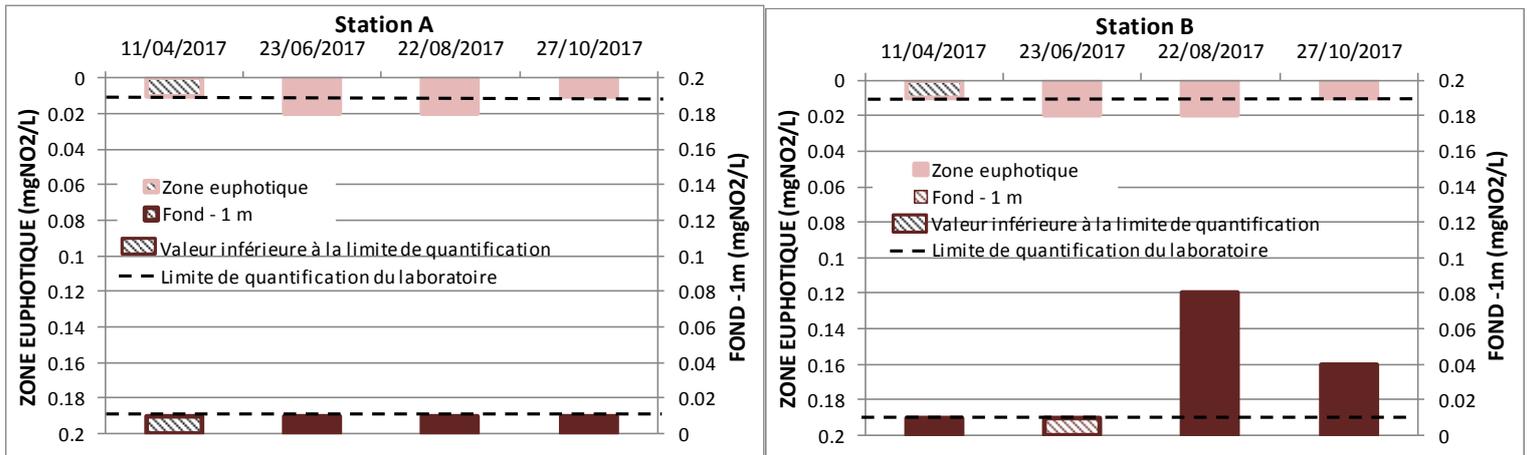


Figure 54 : Résultats des concentrations en nitrites des stations A et B

Azote Kjeldahl (NTK)

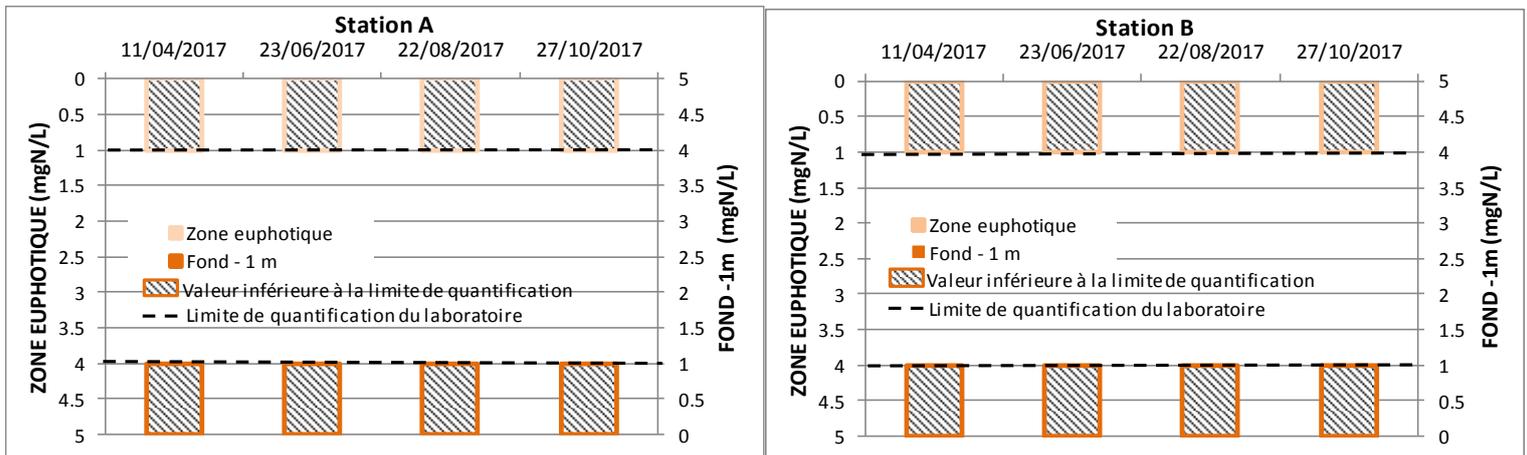


Figure 55 : Résultats des concentrations en azote Kjeldahl des stations A et B

Commentaires :

Les concentrations en nitrites sont plutôt faibles. Une augmentation de la concentration sur la station B est cependant observée dans la zone proche du fond, résultant de la décomposition de la matière organique sédimentée. Les concentrations 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)

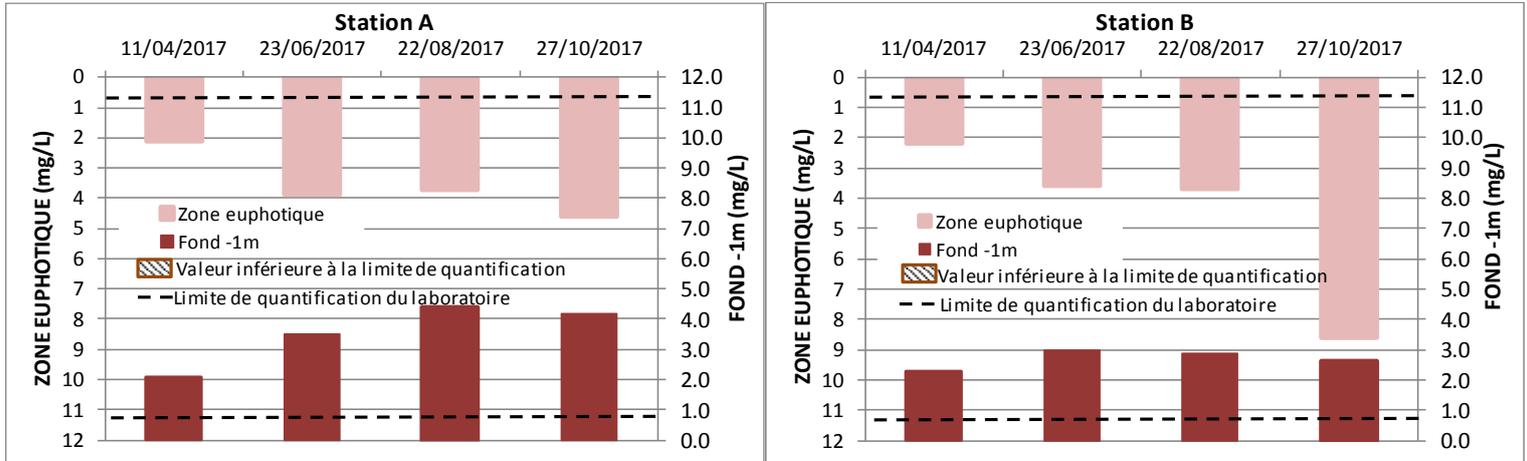


Figure 56 : Résultats des concentrations en carbone organique dissous des stations A et B

Matières en suspensions (MES)

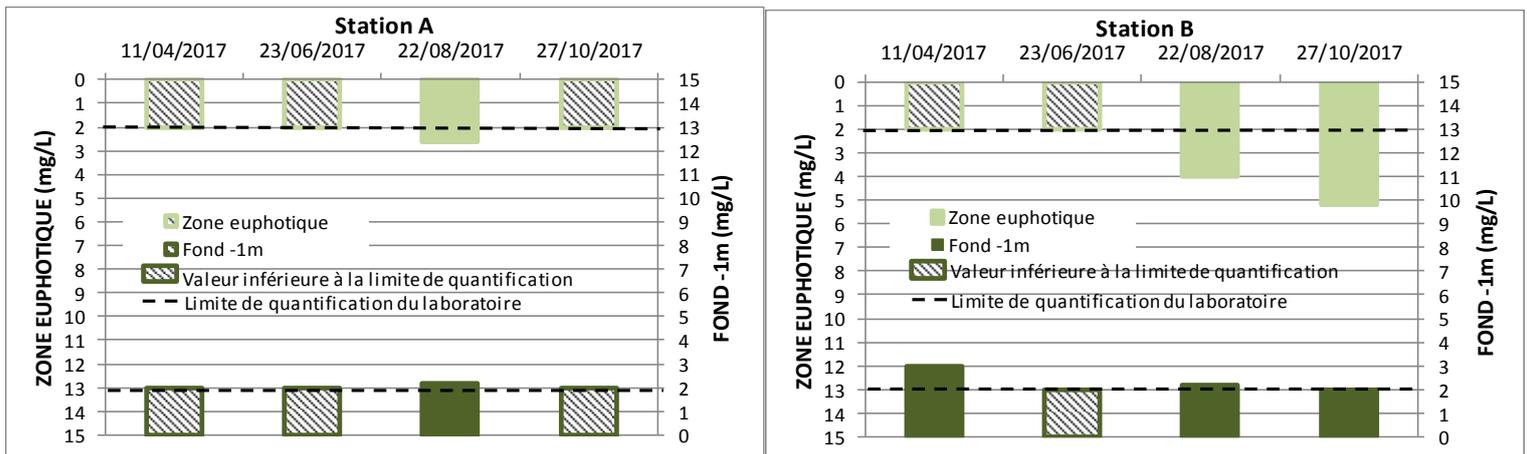


Figure 57 : Résultats des concentrations en matières en suspension des stations A et B

Commentaires :

Les concentrations en COD les plus hautes ont été mesurées au cours de la campagne d'octobre. C'est sur la zone Euphotique de la station B que la concentration a atteint un maximum de 8,6 mg/L.

Les concentrations en MES sont assez faibles sur les deux stations. L'ensemble des valeurs mesurées sont inférieures à 6 mg/L.



3.5.4 Demande biologique en oxygène

Demande biologique en oxygène (DBO5)

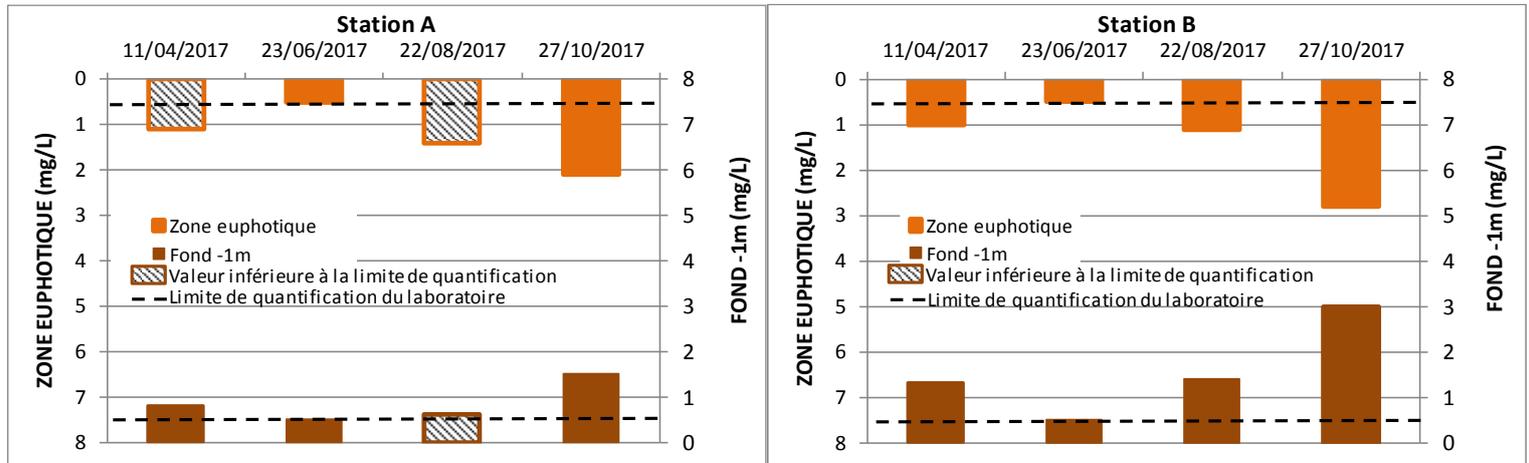


Figure 58 : Résultats des concentrations en DBO5 des stations A et B

Commentaires :

Les concentrations en DBO5 sont faibles, toutes inférieures à 2 mg/L. Les valeurs mesurées sur la station B dans la zone euphotique sont légèrement supérieures à celles de la station A.



3.6 RESULTATS DE L'ANALYSE PHYTOPLANCTONIQUE

3.6.1 Dénombrement du phytoplancton

La Figure 59 présente les résultats des dénombrements de phytoplancton sur les deux stations en nombre de cellules/ml.

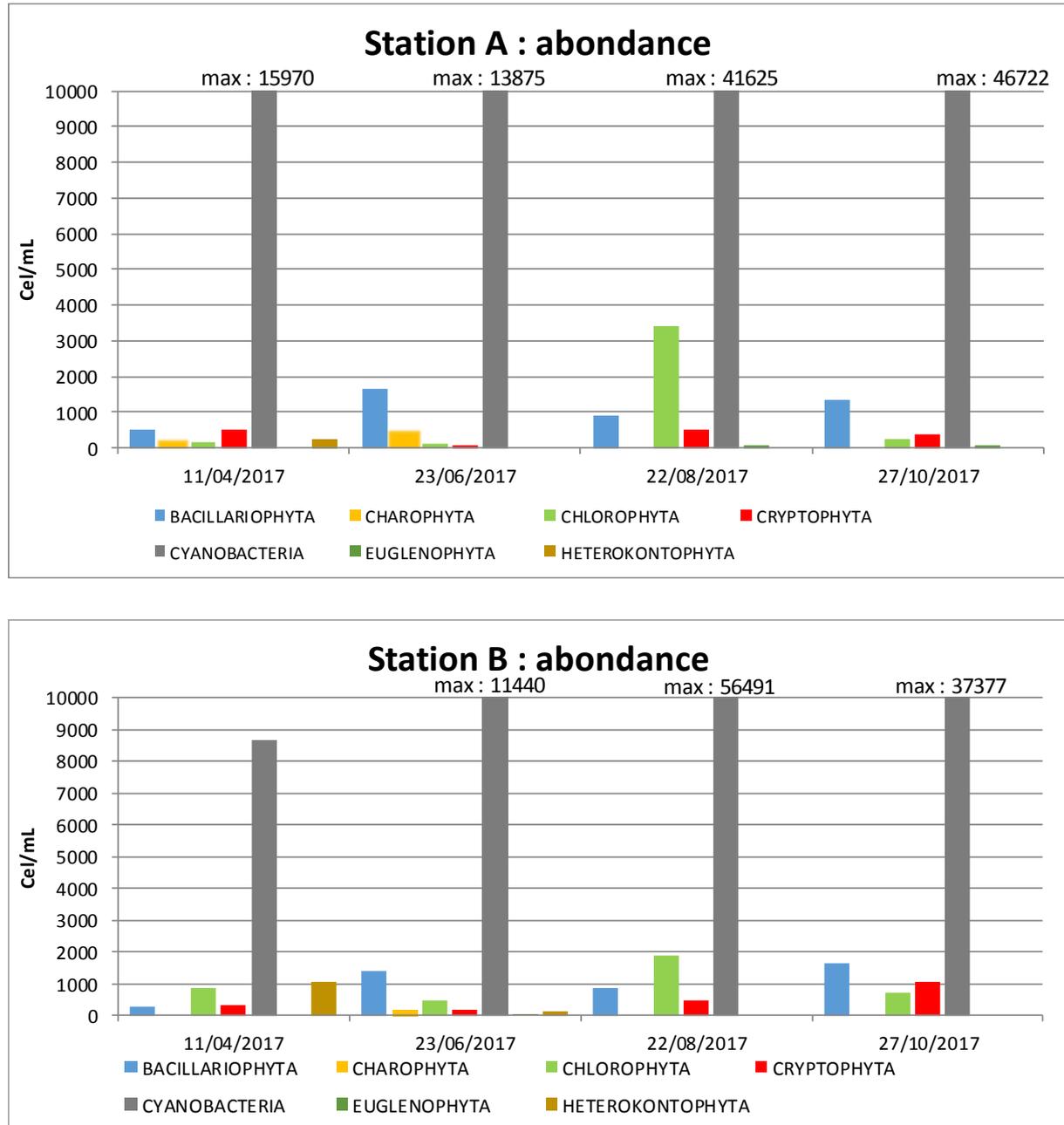


Figure 59 : Abondance phytoplanctonique des stations A et B

Commentaires :

La station A présente des abondances plus importantes que la station B mais les variations sont similaires. Les cyanobactéries dominent très largement le peuplement, quelle que soit la date de prélèvement et le lieu d'échantillonnage. Sur les deux stations, les deux dernières campagnes d'échantillonnage, d'août et d'octobre, comportent l'abondance phytoplanctonique observée la plus élevée.



Tableau 31 : Abondance totale en cyanobactéries, abondance des cyanobactéries toxigènes et identification des genres dominants par campagne

		11/04/2017	23/06/2017	22/08/2017	27/10/2017
Station A	Abondance totale (cel/ml)	15970	13875	41625	46722
	Abondance en cyanobactéries toxigènes (cel/ml)	227	113	566	0
	Genre dominant*	<i>Cyanobium sp</i>	<i>Cyanobium sp</i>	<i>Cyanobium sp</i>	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>
Station B	Abondance totale (cel/ml)	8665	11440	56491	37377
	Abondance en cyanobactéries toxigènes (cel/ml)	113	113	212	0
	Genre dominant*	<i>Cyanobium sp</i>	<i>Cyanobium sp</i>	<i>Cyanobium sp</i>	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>

*En rouge : genre toxigène

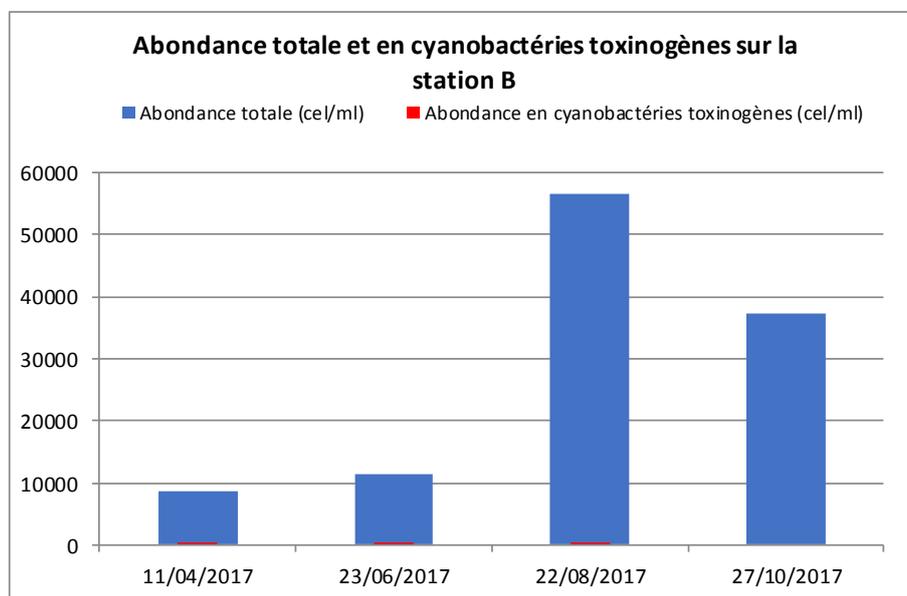
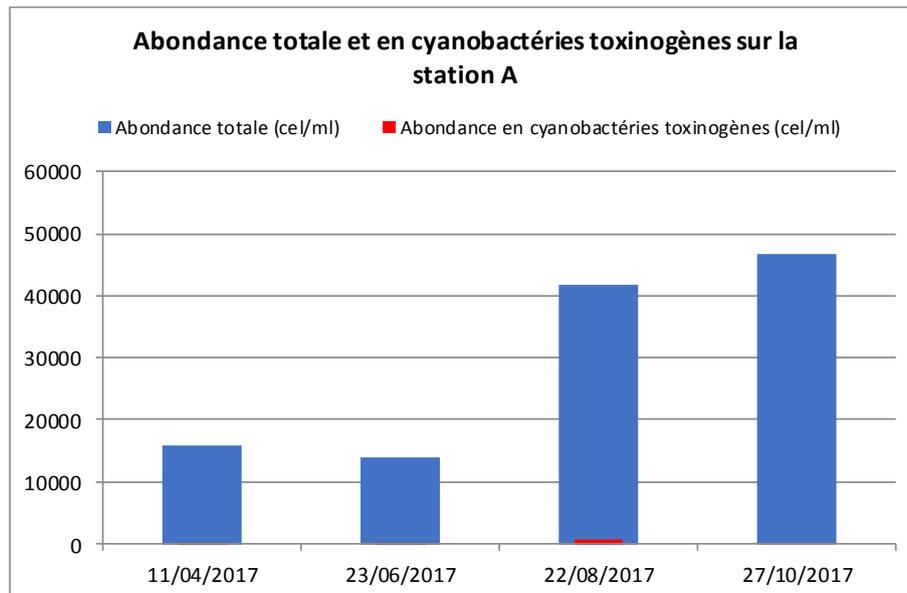


Figure 60 : Abondance totale en cyanobactéries et en cyanobactéries toxigènes sur la station A et la station B

D'après la détermination des différents genres de cyanobactéries, une minorité d'individus peut potentiellement produire des toxines. Les genres dominants sont exclusivement des picocyanobactéries, c'est-à-dire des cyanobactéries de petite taille. 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 **la** quelles que soient les campagnes, le nombre de cellules toxigènes/ml ne dépassant pas 20 000 (Tableau 32).

Tableau 32 : 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 ⁽¹⁾ Information du public et de l'ARS	Activité normale	Bimensuel	
Ib			Activité normale Surveillance renforcée	Hebdomadaire + recherche de toxines hebdomadaire	
Ila			100 000 ou bloom	Interdiction de la baignade et des loisirs nautiques à risques en fonction des observations terrain Autorisation des autres loisirs nautiques (2) Interdiction de consommation des poissons	Hebdomadaire + recherche de toxines hebdomadaire
Ilb Présence de toxines			Interdiction de la baignade et de tous loisirs nautiques Interdiction de consommation des poissons Prévenir tout contact de personnes et animaux avec l'eau	Hebdomadaire + recherche de toxines hebdomadaire	

Commentaires :

Sur l'ensemble de l'année, le peuplement cyanobactérien est dominé par des espèces non toxigènes. La part des espèces toxigènes représente quant à lui au maximum 2% de la population totale en cyanobactéries. Les genres toxiques rencontrés sont *Anabaena*, *Oscillaria*, *Pseudanabaena* et *Synechococcus*. C'est durant le mois d'août que les plus fortes abondances sont retrouvées sur les deux stations, avec un peuplement plutôt monospécifique.



La Figure 61 présente les résultats de la biomasse phytoplanctonique calculée à partir du dénombrement.

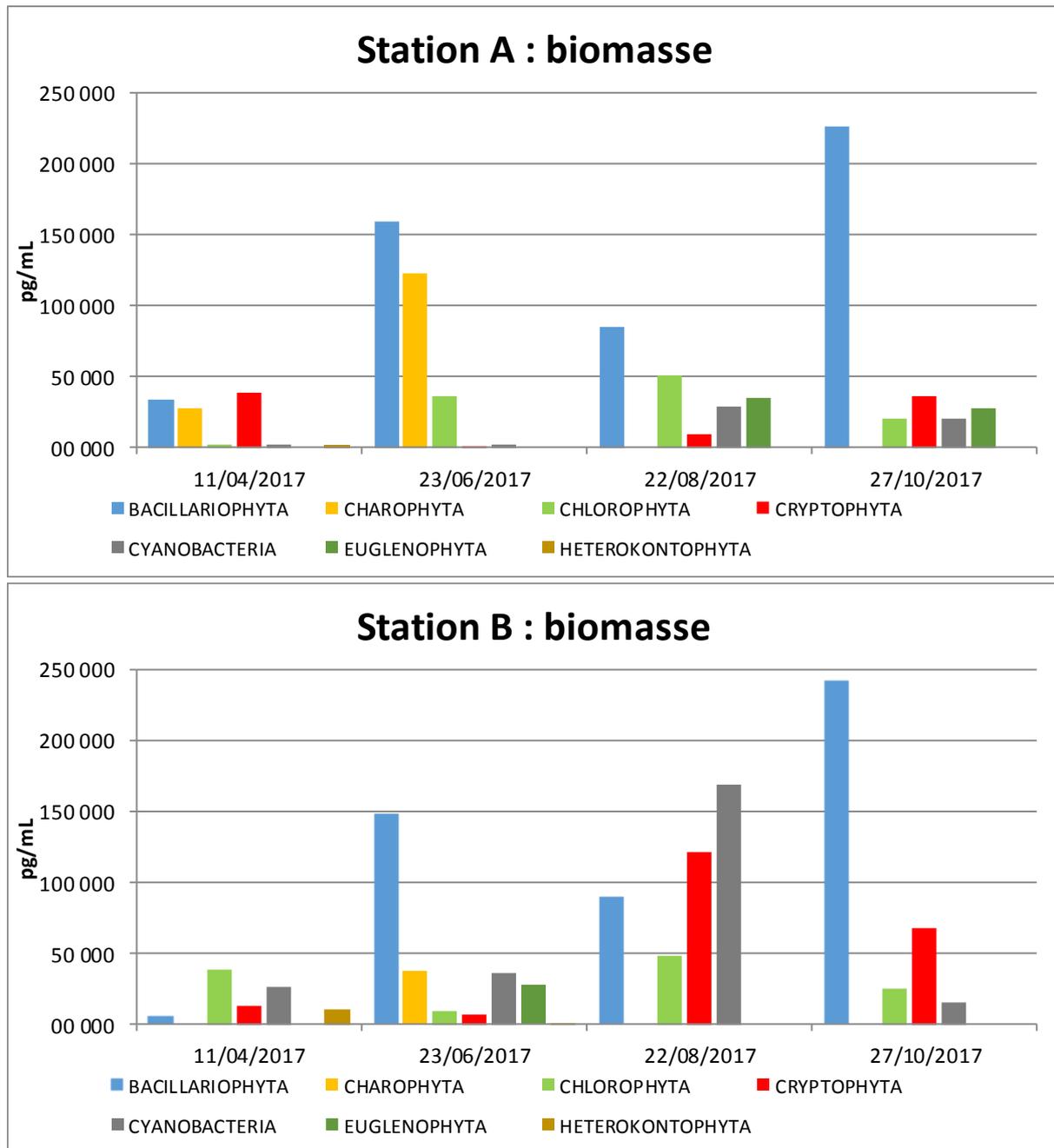


Figure 61 : Biomasse phytoplanctonique des stations A et B

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 Bacillariophytes qui dominent. De plus, la biomasse la plus importante est observable au cours des campagnes d'août et d'octobre.



3.6.2 Chlorophylle a et phéopigments

La Figure 62 présente les résultats de la chlorophylle a et des phéopigments mesurés sur la zone euphotique des deux stations.

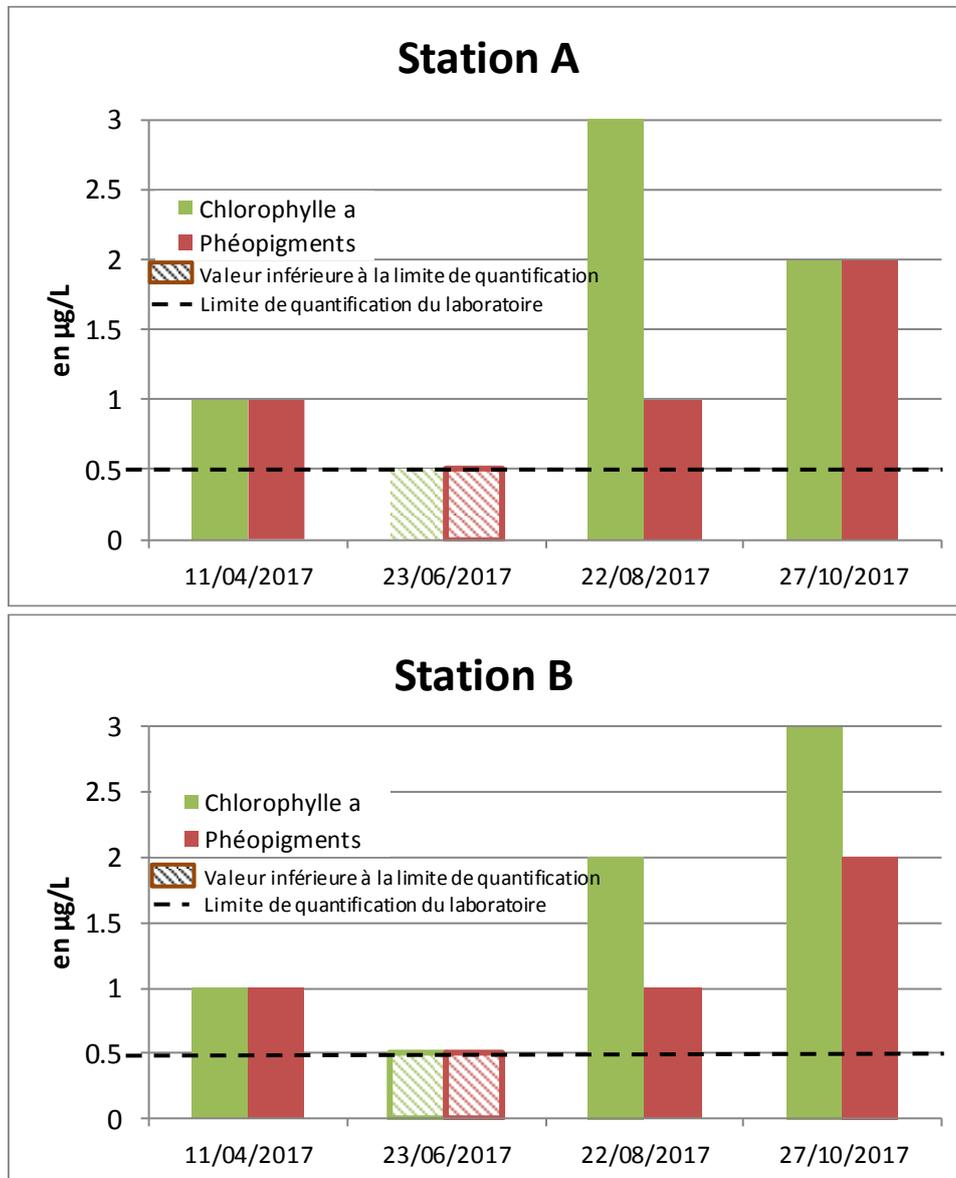


Figure 62 : Résultats de la concentration en chlorophylle a et en phéopigments sur les stations A et B

Commentaires :

Les valeurs mesurées sur l'ensemble des campagnes restent relativement basses, inférieures à 3 µg/L (les valeurs les plus importantes sont mesurées en août et en octobre sur la station A, comme pour la station B). Pour les campagnes de juin, les valeurs sont trop faibles et ne peuvent être mesurées (valeurs inférieures au seuil de quantification (<0.5µg/L)).



3.6.3 Indice Phytoplanctonique LACustre

L'IPLAC est le seul élément biologique qui a été effectué sur le site de la Crégut. Il a pu être calculé pour l'assemblage phytoplanctonique 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 33.

Tableau 33 : Validation des contraintes pour le calcul de l'IPLAC.

Contraintes		2017-2018
Période	Du 09/05/16 au 14/03/17	NA
Nombre de campagnes minimum	3	OK
Minimum de taxons contributifs	5	OK
Minimum de taxons totaux	10	NA
Maximum de genre (%)	30	NA
Maximum d'indéterminés (%)	10	OK

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

Tableau 34 : Résultats du calcul de l'IPLAC (sans contraintes) pour le suivi 2017-2018

IPLAC	Station A	Station B	Moyenne selon l'arrêté du 27 juillet 2015
	0.72	0.60	0.66

3.7 BILAN DE L'ÉVALUATION DE L'ÉTAT ÉCOLOGIQUE

Le Tableau 35 présente le bilan des états des différents paramètres analysés selon l'arrêté du 27 juillet 2015 pour chaque station lac au cours du suivi 2017-2018.

Tableau 35 : Bilan de l'état écologique du lac de la Crégut selon l'arrêté du 27 juillet 2015 pour chaque station

	Station A	Station B
Eléments Physico-chimiques		
Phosphore total médiane (mg P/L)	0.014	0.014
Ammonium max (mg NH ₄ /L)	0.090	0.070
Nitrates max (mg NO ₃ /L) *	1.4	1.7
Profondeur médiane du Secchi (m)	2.6	2.6
Désoxygénation de l'hypolimnion en % du déficit observé entre la surface et le fond pendant la période estivale (pour les lacs stratifiés)**	48%	64%
ÉTAT PHYSICO-CHIMIQUE	Très Bon	Très Bon
Eléments Biologiques		
IPLAC (Phytoplancton)	0.72	0.60
ÉTAT BIOLOGIQUE	Bon	Bon
BILAN DE L'ÉTAT ÉCOLOGIQUE	Bon	Bon

*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.

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

Selon les différents éléments de qualité (état physico-chimique et état biologique), les deux stations sont en « bon » état écologique.



3.8 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 37 présente les résultats de la classification de l'OCDE.

Tableau 36 : Résultats des différents paramètres OCDE

P total moyenne/an (µg/L)	Chloro a moyenne/an (µg/L)	Chloro a max/an (µg/L)	Transparence moyenne/an (m)	Transparence minimale/an (m)
13.6	1.6	3.0	2.5	1.7

Tableau 37 : Classification de l'OCDE

Catégorie Trophique	P total moyenne/an (µg/L)	Chloro a moyenne/an (µg/L)	Chloro a max/an (µg/L)	Transparence moyenne/an (m)	Transparence minimale/an (m)
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

Pour le paramètre phosphore total, la moyenne annuelle des deux stations confondues est de 13.6 µg/L, cette valeur classe le lac dans la catégorie trophique « mésotrophe ».

La moyenne ainsi que la valeur maximale de la chlorophylle a classe le lac dans la catégorie « oligotrophe ». La moyenne annuelle est de 1.6 µg/L et la valeur maximale de 3.0 µg/L.

Les mesures de transparence caractérisent la masse d'eau de lac mésotrophe à eutrophe. Les valeurs de transparence moyenne (2.5 m) et minimale (1.7 m).

L'évaluation de l'état trophique du lac est à prendre avec précaution. Dans ce document, sa caractérisation se fait à l'échelle annuelle.



5 CONCLUSIONS

Le suivi a été réalisé du 08 avril 2017 au 08 avril 2018. Cette période a été une transition vers l'utilisation de nouveaux capteurs de turbidité plus adaptés au milieu, avec un système d'auto-nettoyage.

Hydrologie :

Le débit mesuré au cours de l'année 2017-2018 se situe dans des conditions hydrologiques plutôt importantes, proches des conditions de 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 38 : Débits moyens mesurés en Entrée Crégut (Source : ATHOS Environnement)

	2006	2011	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018
Débit moyen en entrée Crégut (m3/s)	NC	2.00	4.30	3.30	3.04	2.74	4.03

Flux de Matières en Suspension (MES) :

Comme pour les années précédentes, 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 2017-2018, 7 points ont été suivis, dont trois correspondants aux nouvelles stations de mesures. Ces dernières sont plus adaptées au milieu notamment grâce à leur système d'auto-nettoyage. Le but est de remplacer les anciens capteurs Aquatec par de nouveaux capteurs Solitax. Quelques observations ont pu être signalées :

- Les systèmes d'auto-nettoyage des sondes Solitax permettent de limiter le biais lié à la prolifération du périphyton. Les maintenances mensuelles sont toutefois nécessaires afin d'éviter un encrassement de la sonde sur de longues périodes.
- Le nombre de valeurs validé est plus important avec le nouveau système Solitax. Le phénomène de dérive des données enregistrées par la sonde est très limité en comparaison avec les systèmes Aquatec.
- Les résultats des stockages de MES entre les deux systèmes de mesure semblent du même ordre de grandeur.

Les différentes mesures de turbidité ont été converties 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 :

- Une courbe de corrélation MES / turbidité pour les systèmes équipés de Solitax a été établie avec le peu de valeurs recueillies depuis la mise en place. Il serait intéressant de poursuivre l'acquisition de données de MES au cours des épisodes de crues afin de consolider ces relations.



- 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 11 mg/L en moyenne.
- Le rôle de décanteur du lac du Tact a été mis en évidence par les sondes Aquatech essentiellement. 69 % des matières en suspension entrant dans le Tact ont été stockés sur la période de suivi, représentant environ 1077 tonnes (la perte de données a pu engendrer une sur-estimation de la masse stockée).
- Durant ce suivi, environ 200 tonnes (résultat Aquatec, sous-estimé à cause de perte de données de décembre 2017 à avril 2018) à 263 tonnes (résultat Solitax de juin 2017 à avril 2018) de MES auraient été stockées dans le lac de la Crégut représentant respectivement 40 à 43% du flux entrant selon le dispositif de mesure (Tableau 39).
- Selon les sondes (Aquatec ou Solitax), les résultats ont été du même ordre de grandeur.
- La masse de MES stockée est du même ordre de grandeur que les années précédentes et ce, avec les deux types de capteurs. Les masses stockées ont tout de même été légèrement supérieures en comparaison des années précédentes (2014 à 2017), pouvant s'expliquer par les conditions hydrologiques plus importantes.
- Le pourcentage de flux entrant stocké a été assez similaire au cours de ce suivi en rapport aux années précédentes.
- C'est en 2006 que le stock le plus important a été évalué en l'absence de données précises de débit.

Tableau 39 : Bilan de MES dans le lac de la Crégut pour les différentes années de suivi

	2006	2011	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018
Stockage de MES Lac Crégut (tonnes)	550	140	250 à 315	172	184	213	200 à 263
Pourcentage du flux entrant %	50	30	27 à 34	38	43	49	40 à 43

Qualité d'eau entrants / sortants :

- La qualité de l'eau inter-aménagements est globalement « bonne » à « très bonne » selon l'arrêté du 27 juillet 2015.
- Les mesures *in situ* révèlent une 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 et de concentration en oxygène sont de « très bonne » qualité, sauf pour le paramètre saturation en oxygène, aux points Entrée et Sortie Crégut qui sont classés en qualité « bonne ». De même, le paramètre pH maximum est également de « bonne » qualité sur la station Eau Verte.



- 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 plutôt stables. Les concentrations en carbone organique dissous classent les cinq stations en qualité « très bonne ».
- Les concentrations en éléments phosphorés semblent légèrement plus élevées sur les stations Eau Verte 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.
- Comme l'an dernier, un relargage vers le lac de la Crégut, depuis le Tact, de composés organiques azotés, est perceptible mais ne peut pas être affirmé et quantifié au regard des incertitudes liées au pas d'acquisition et aux faibles concentrations concernées.

L'état physico-chimique attribué aux différentes stations est synthétisé dans le tableau suivant :

Tableau 40 : Bilan de l'état physico-chimique des différentes stations du complexe de la Crégut, selon l'arrêté du 27 juillet 2015

	Evaluation de l'état physico-chimique				
	Tarentaine	Eau Verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut
Bilan de l'oxygène				O2%	O2%
Température					
Nutriments		Ptot	Ptot		
Acidification		pH max			
ETAT PHYSICO-CHIMIQUE	TRES BON	BON	BON	BON	BON

Qualité du lac de la Crégut :

- 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 les campagnes de juin et octobre. Les concentrations en oxygène ont progressivement diminué jusqu'à former une zone anoxique en profondeur. Le phénomène de relargage par le sédiment en conditions anoxiques n'a pas été limité dans le temps, comme au cours du suivi 2016-2017.
- L'OCDE classe le niveau trophique du lac de la Crégut en eutrophe pour l'année 2017-2018. Le paramètre le plus déclassant est la transparence moyenne annuelle. 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.
- 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 nutriments. De même la valeur de la transparence du Secchi classe le lac en qualité « très bonne ». Seule la valeur de désoxygénation de l'hypolimnion est un paramètre déclassant pour la qualité de l'eau du lac (classe « moyenne ») mais n'est pas pris en compte dans l'évaluation de l'état physico-chimique. L'IPLAC représente l'état biologique. La classe de qualité attribuée est « bon ». L'IPLAC est le paramètre le plus déclassant pris en compte dans l'évaluation de l'état écologique.

L'état écologique global attribué au lac de la Crégut est « bon ».



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.	CE
(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.

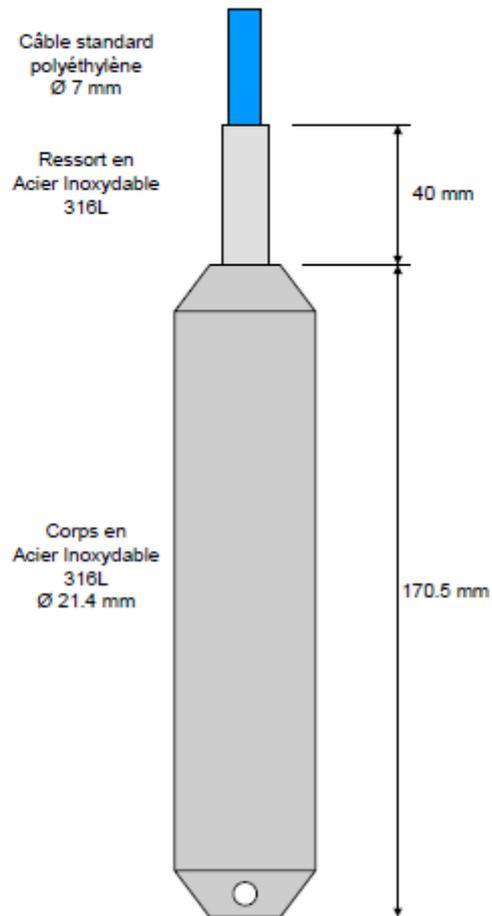
PARATRONIC – ZI - Rue des Genêts - 01600 REYRIEUX - FRANCE

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

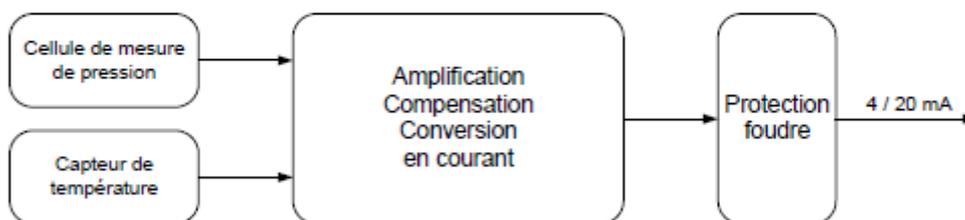
E mail: info@paratronic.fr - WEB: http://www.paratronic.fr - Téléchargement: ftp://ftp.paratronic.info

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.paratronic.info>



ENREGISTREUR MAC10R

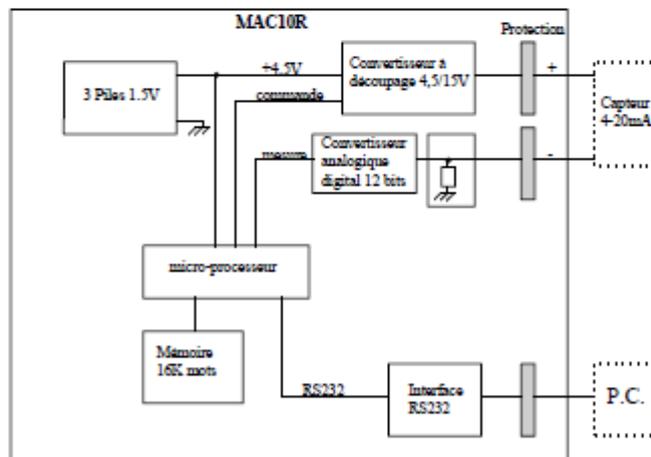
Présentation générale

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

Caractéristiques techniques

- alimentation: 3 piles LR20 1,5 V (tension minimum: 3,2 V)
- capteur 4-20 mA alimenté par le MAC10R (tension disponible: 10V) ou par une alimentation externe.
- consommation moyenne: 580 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

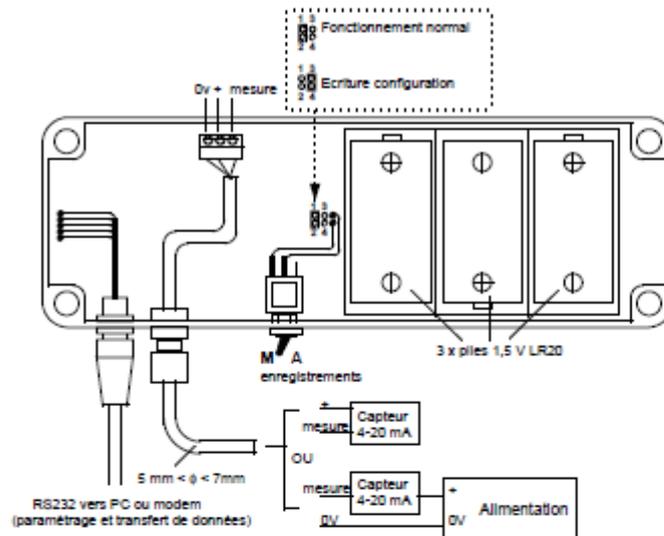


Les caractéristiques décrites dans ce document peuvent être modifiées sans préavis par le constructeur

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

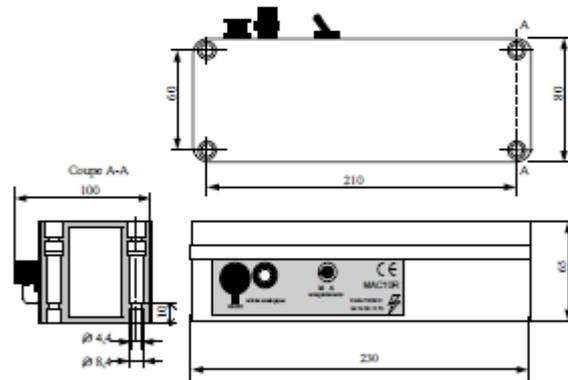


Raccordement



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 210PTpp	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 TURBIDITE SOLITAX T-LINE SC

CAPTEURS DE SOLIDES EN SUSPENSION ET DE TURBIDITÉ SOLITAX sc

Domaines d'application

- Eau potable
- Rejets urbains
- Boissons
- Rejets Industriels
- Industrie de l'énergie



Mesures exactes, indépendamment de la couleur, pour les solides en suspension et la turbidité

Plus de précision, moins d'entretien

Les capteurs Hach® Solitax sc fournissent une mesure exacte, indépendante de la couleur, pour la turbidité et les solides en suspension dans l'eau potable, les eaux usées et les applications de procédés industriels. Un dispositif d'auto-nettoyage empêche la croissance biologique et l'interférence de bulles d'air. Les performances fiables et les fonctions complètes de communication de données du système contribuent à améliorer le contrôle des procédés et à réduire les coûts de traitement associés par l'utilisation des polymères, le volume des digesteurs et le traitement des boues.

Excellente corrélation par rapport aux analyses de laboratoire

Les capteurs Solitax sc présentent une corrélation exceptionnelle avec les analyses de laboratoire. Les mesures en ligne permettent non seulement un gain de temps par rapport aux analyses manuelles, mais elles fournissent également des mesures en temps réel critiques qui peuvent être utilisées pour gérer plus efficacement l'usine.

Capteurs permettant un entretien complet

Les capteurs mesurant la turbidité et les solides en suspension classiques sont en général jetés lorsqu'ils sont encrassés et ne fonctionnent plus. Les capteurs Solitax sc peuvent être entièrement nettoyés, ce qui double souvent la durée de vie du capteur.

Calibration à un point facile

Les capteurs sont calibrés en usine conformément à la norme DIN EN ISO 7027 pour une stabilité de calibrage à long terme. Le calibrage se fait aisément via une simple procédure de facteur de correction.

Système multiparamètres à plusieurs canaux

Plusieurs capteurs Solitax sc peuvent être installés en utilisant un transmetteur Hach SC. Le même contrôleur peut également s'adapter à n'importe quelle combinaison de paramètres. Tous les modèles de capteurs sc Hach sont « plug and play », sans nécessiter de câblage ou de procédures de configuration complexes.





Données techniques*

	Pour l'insertion dans les tuyaux		Pour l'immersion dans les bassins ouverts		
Modèle	Solitax inline sc	Solitax highline sc	Solitax t-line sc	Solitax ts-line sc	Solitax hs-line sc
Paramètre	Matières solides en suspension, turbidité	Plage haute, solides en suspension, turbidité	Turbidité	Matières solides en suspension, turbidité	Plage haute, solides en suspension, turbidité
Plage de mesure en turbidité	0,001 - 4000 NTU	0,001 - 4000 NTU	0,001 - 4000 NTU	0,001 - 4000 NTU	0,001 - 4000 NTU
Plage de mesure en solides en suspension	0,001 - 50 g/L	0,001 - 500 g/L (la plage supérieure dépend de la propriété de l'échantillon)	—	0,001 - 50 g/L	0,001 - 500 g/L (la plage supérieure dépend de la propriété de l'échantillon)
Unités	Turbidité : sélectionnable par l'utilisateur — NTU, FNU ou TE/F Solides en suspension : sélectionnable par l'utilisateur — g/L, mg/L, ppm ou % de solides				
Précision	Turbidité jusqu'à 1 000 NTU : sans calibration < 5 % de la valeur mesurée ± 0,01 NTU avec calibration < 1 % de la valeur mesurée ± 0,01 NTU				
Répétabilité de la teneur MES	MES: < 3 % Turbidité : < 1 %				
Temps de réponse T90	1 à 300 s réglable				
Méthode d'étalonnage	Turbidité : formazine ou étalon Stabical (à 800 NTU). Requiert un kit de calibration. Solides en suspension : spécifiques aux échantillons, basés sur une analyse TSS gravimétrique avec procédure de facteur de correction.				
Certifications	CE				
Écoulement	Maxi 3 m/s (la présence de bulles d'air affecte la mesure)				
Plage de température	0 - 40 °C				
Plage de pression	Capteur d'insertion en acier inoxydable : 6 bar ou 60 m	PVC : 1 bar ou 10 m		Capteur d'immersion en acier inoxydable : 6 bar ou 60 m PVC : 1 bar ou 10 m	
Matériel	Support d'optique et bague : acier inoxydable 1.4571 ou PVC noir Bras du racleur : acier inoxydable 1.4581 ; Lame du racleur : silicone (de série) En option : Viton (LZX578) ; Axe du racleur : acier inoxydable 1.4571 Raccord de câble fileté : acier inoxydable 1.4305 ou PVC blanc				
Poids	Immersion : Acier inoxydable : 1,38 kg ; PVC : 0,52 kg Insertion : Acier inoxydable : 2,4 kg				
Longueur de câble	10 m (câbles d'extension disponibles en option)				

*Pièces de rechange



ANNEXE 4 : 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

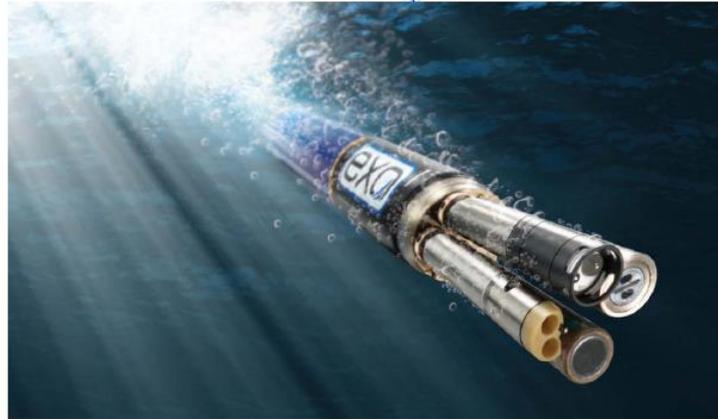
Tel: (902) 450-1700
Fax: (902) 450-1704

www.vemco.com



ANNEXE 5 : 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

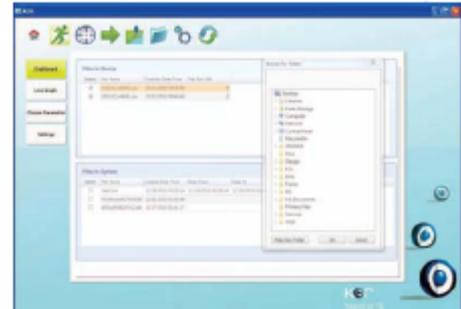
La sortie de la sonde est lisible par le terminal ExO, le logiciel interface KOR et les modules de transmission. En complément au câble (standard) ces interfaces de communication sont proposées :

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

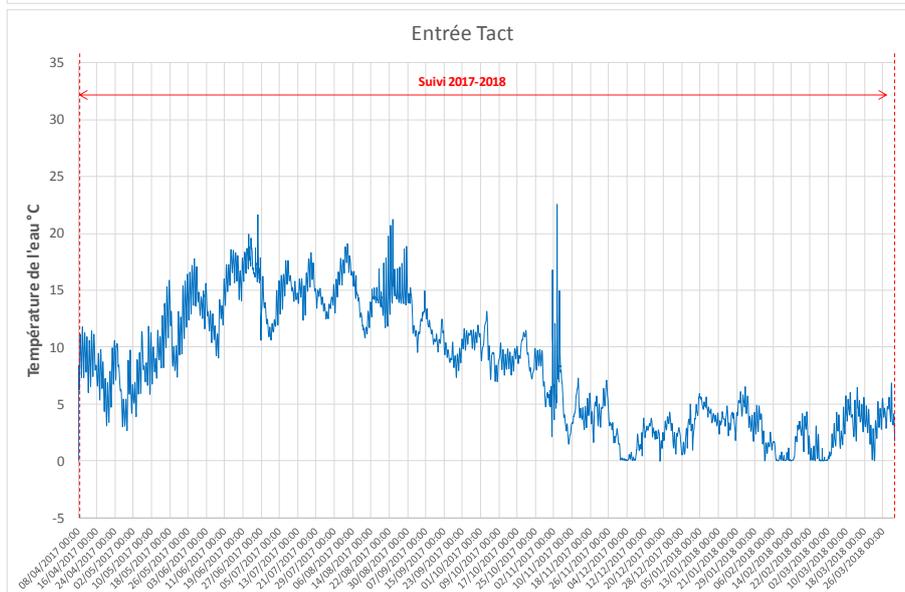
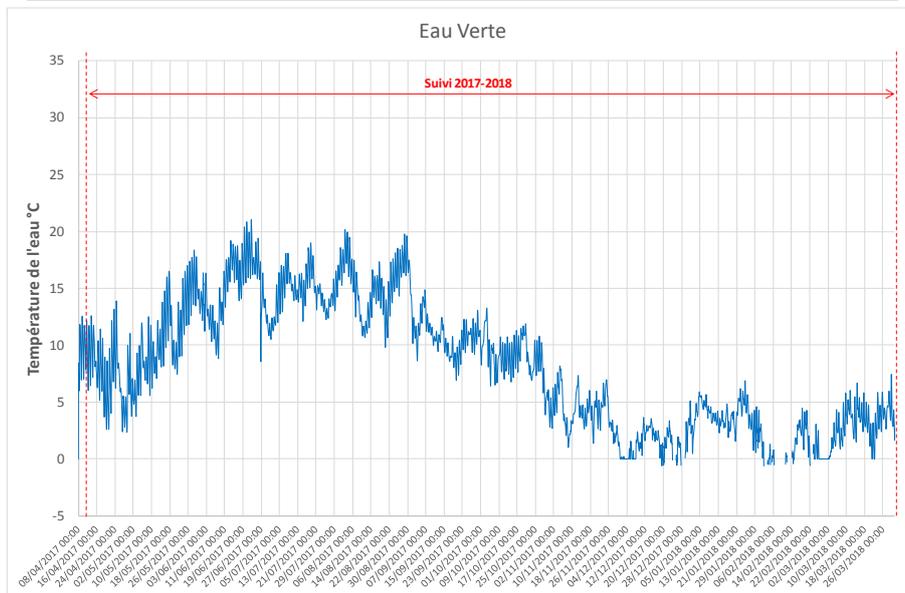
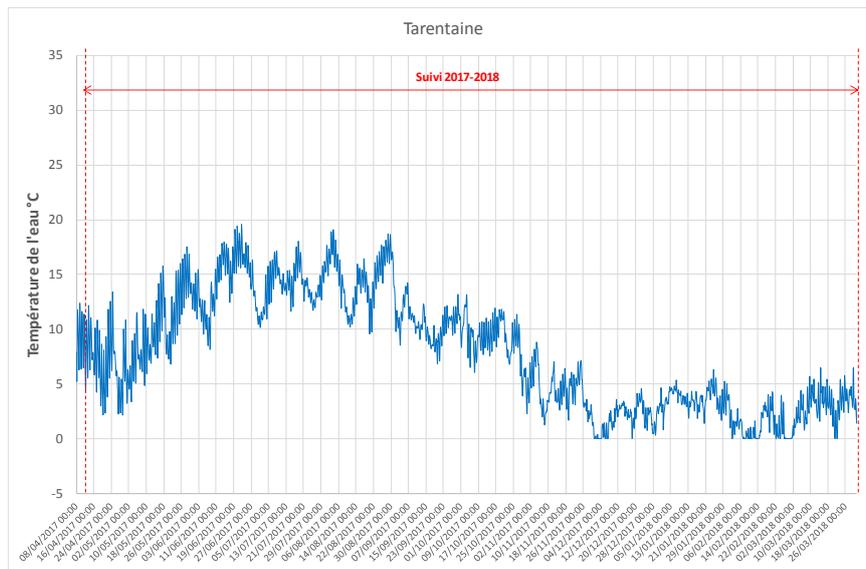


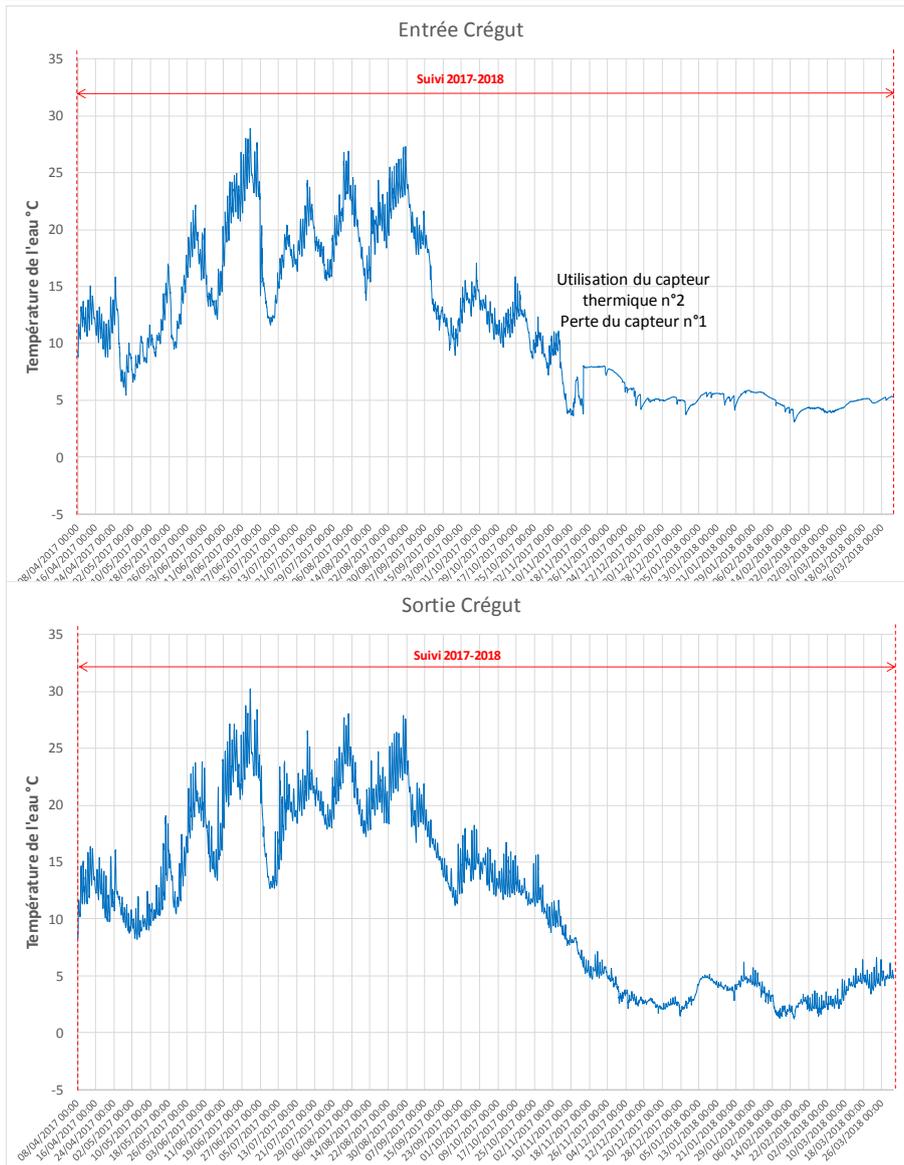
Spécifications des capteurs*

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 6 : CHRONIQUES DE TEMPERATURES PAR SITE DE SUIVI

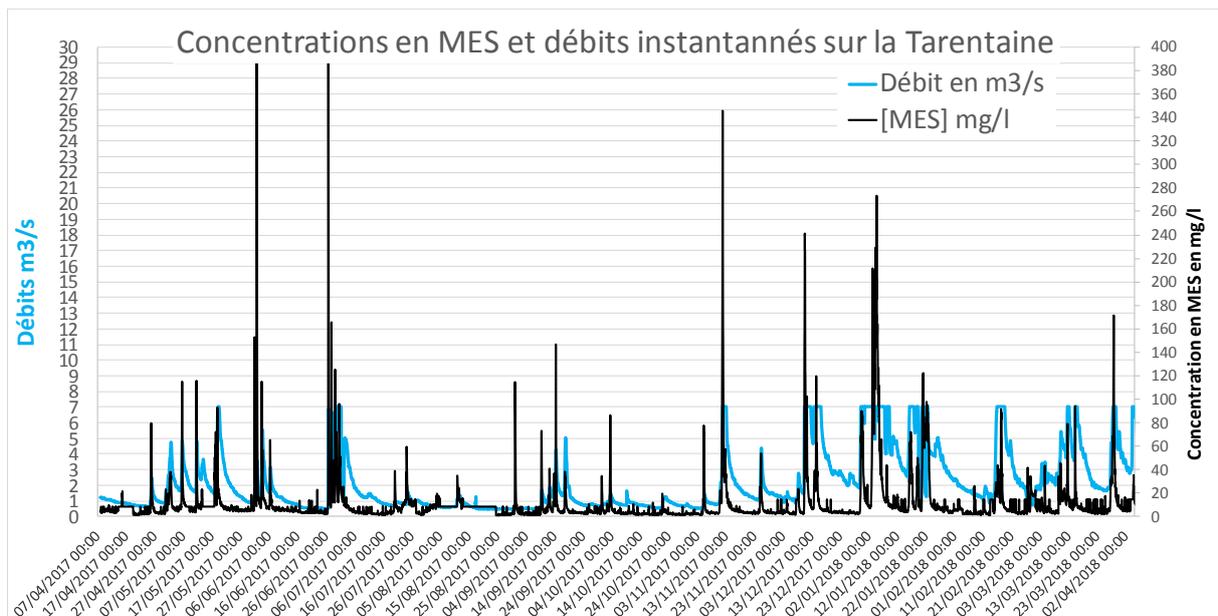
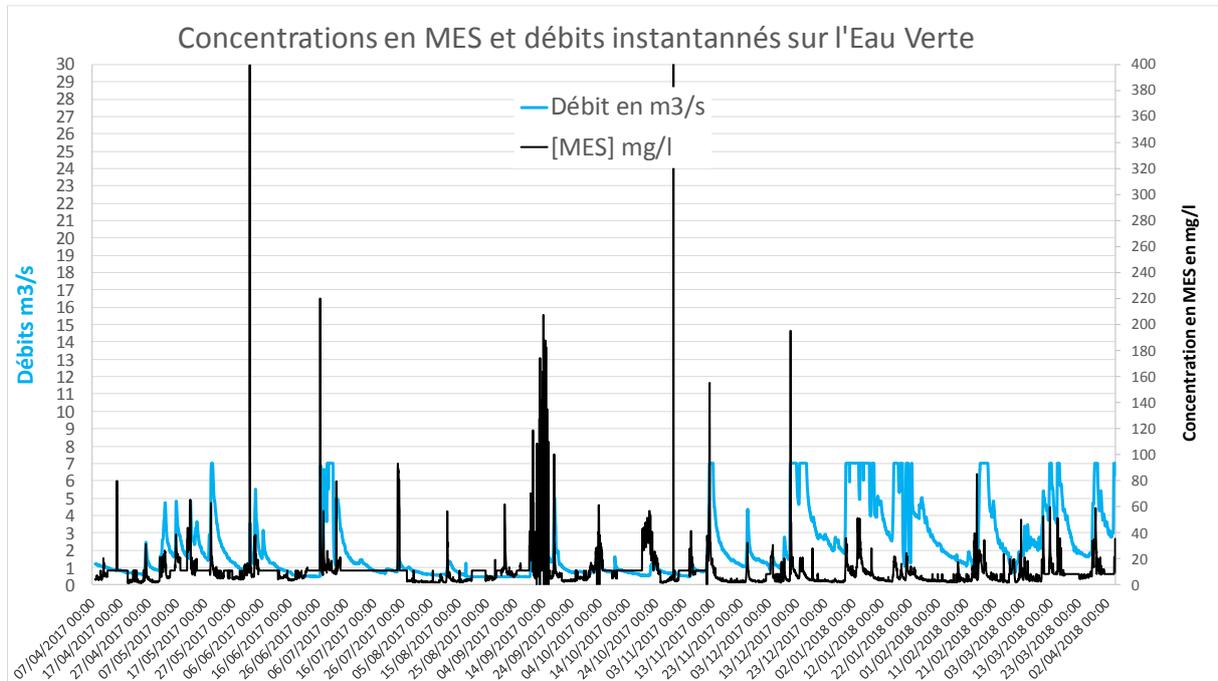


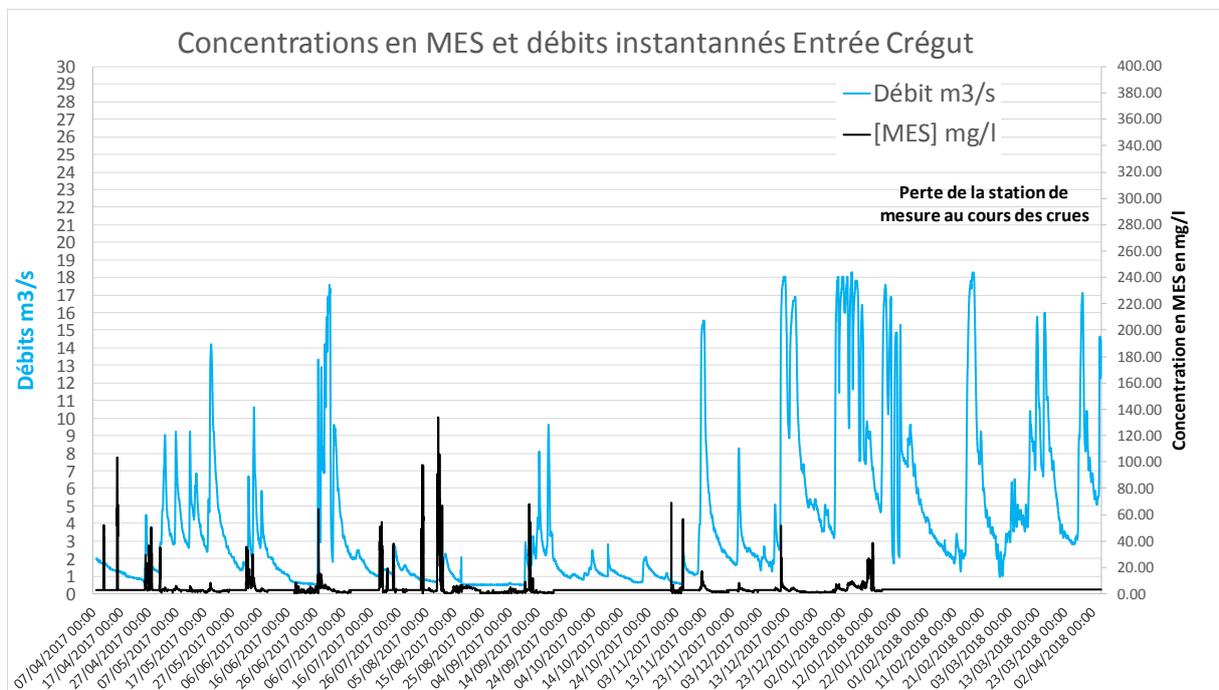
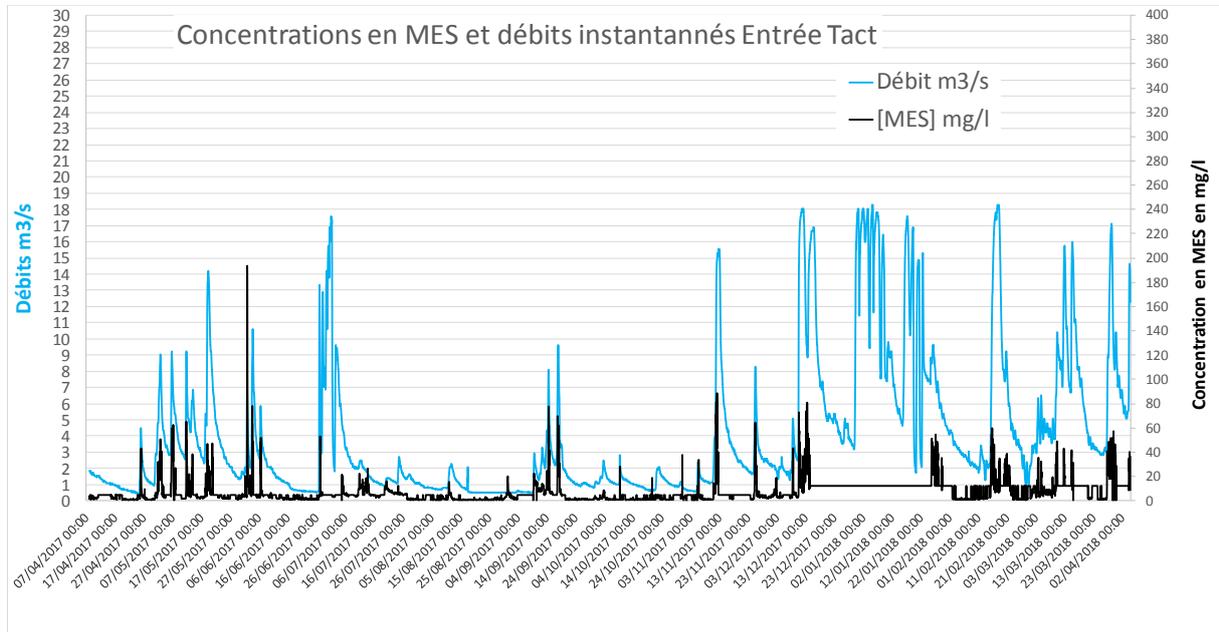


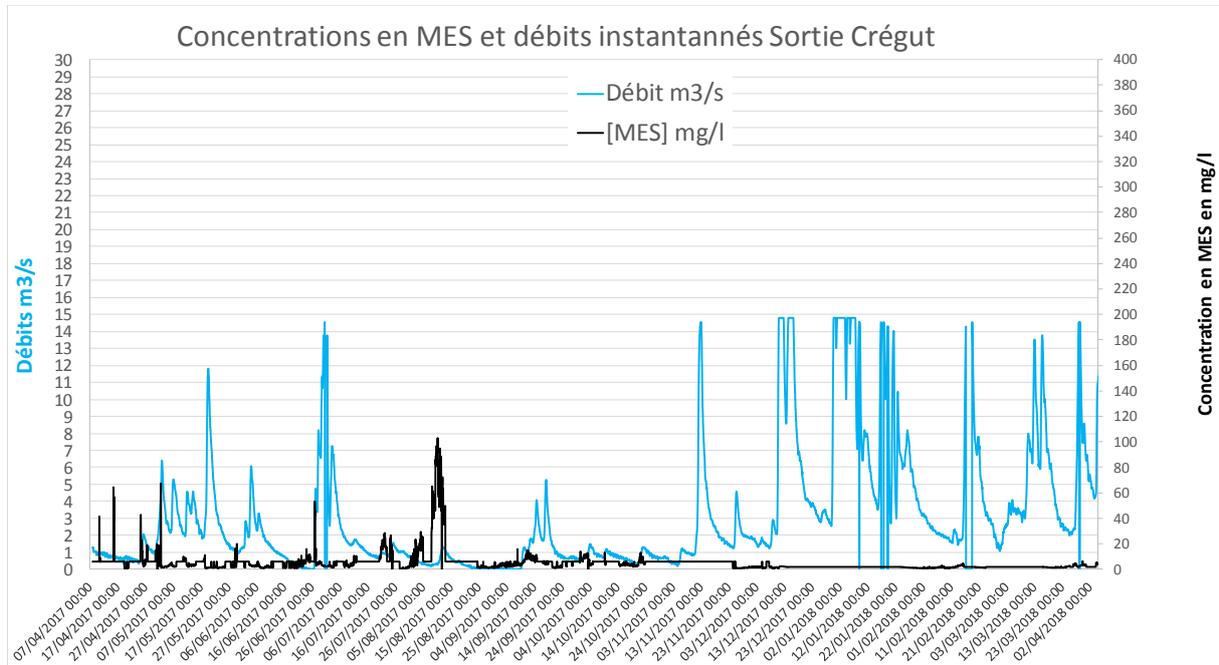


ANNEXE 7: CHRONIQUE DE TURBIDITE ET DE DEBITS PAR AMENAGEMENTS

SONDES AQUATEC

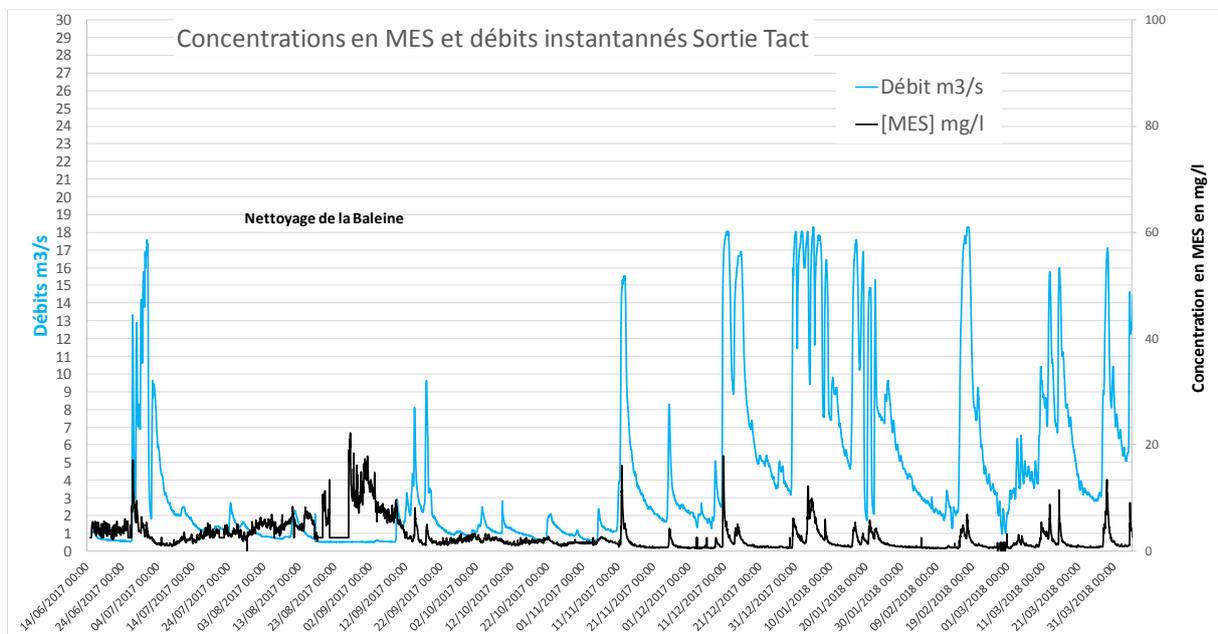
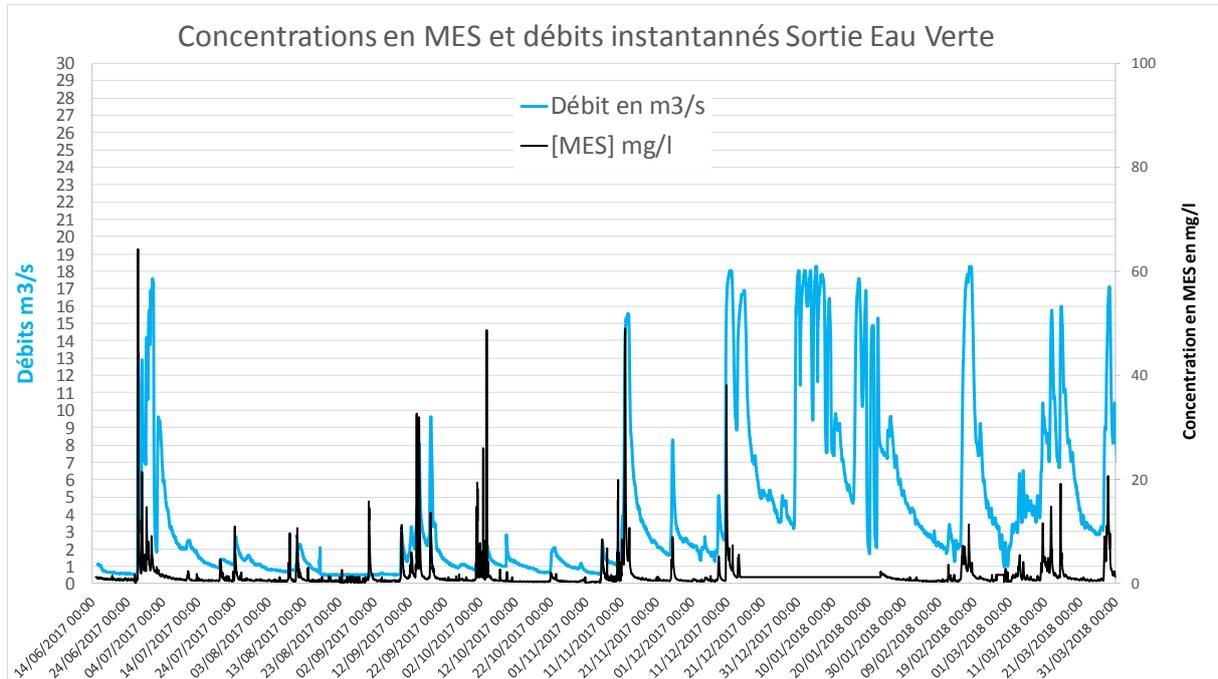


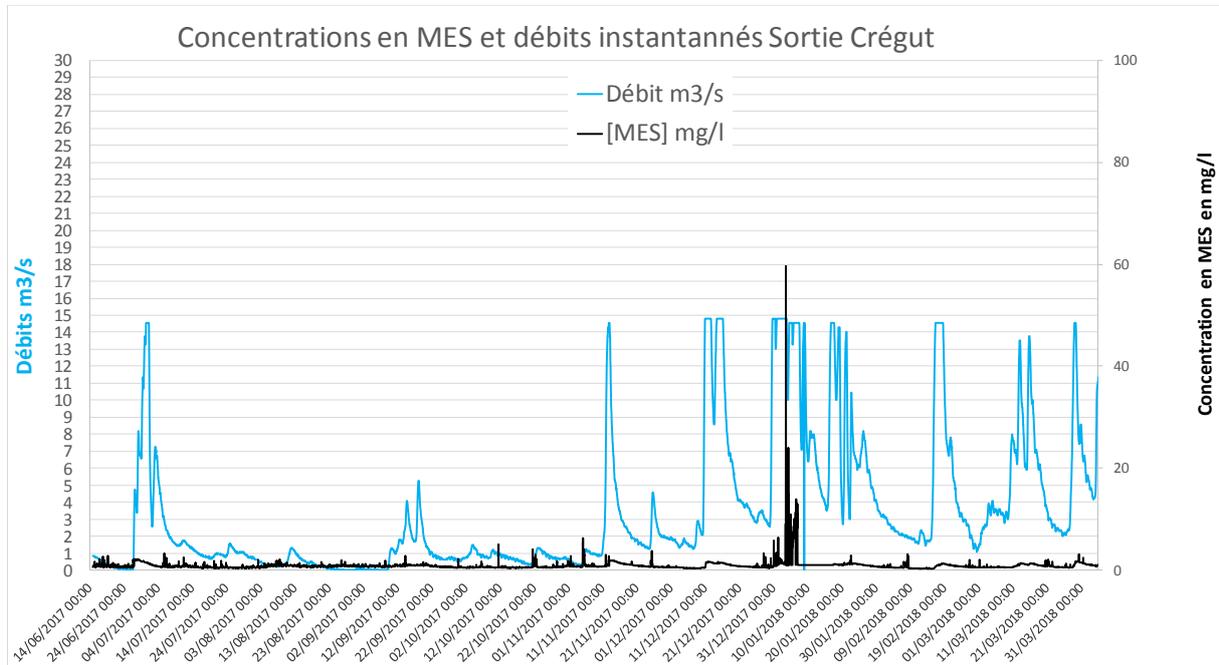






SONDES SOLITAX







ANNEXE 8 : 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 41 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 41 : 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	*	*	*	*	

^{1,2} 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 9 : 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 42 : 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 $[a \cdot Z_{moy}^b]$ et $[c \cdot (Z_{moy} + 1)^d]$	
		Bon-Moyen	61,714	-0,310	95,841	-0,267		
		Moyen-Médiocre	86,234	-0,306	159,92	-0,210		
		Médiocre-Mauvais	120,63	-0,302	268,66	-0,153		
Ammonium (valeur maximale)	$\mu\text{g NH}_4\text{.L}^{-1}$	Très bon-Bon	223,58	-0,248	199,25	-0,223	maximum entre $[a \cdot Z_{moy}^b]$ et $[c \cdot (Z_{moy} + 1)^d]$	
		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 $[a \cdot Z_{moy}^b]$ et $[c \cdot (Z_{moy} + 1)^d]$	
		Bon-Moyen	0,8703	0,279	0,6492	0,228		
		Moyen-Médiocre	0,6447	0,275	0,4208	0,180		
		Médiocre-Mauvais	0,4766	0,271	0,2722	0,131		
							$Z_{moy} \leq 15$	$Z_{moy} > 15$
Nitrates 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.



Éléments biologiques

L'IPLAC :

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 43.

Tableau 43 : 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

L'IBML :

L'indice biologique macrophytes à utiliser est l'IBML (indice biologique macrophytique en lac) applicable aux plans d'eau naturels et d'origine anthropique de la typologie nationale. Il est constitué à ce jour d'une métrique : la note de Trophie.

La classification de l'état pour l'élément macrophytes s'établit en calculant la moyenne des EQR puis en comparant cette moyenne aux limites de classes indiquées dans le Tableau 44.

Tableau 44 : Valeurs des limites de classes d'état exprimées en EQR pour l'indice macrophytique lacustre (IBML)

ÉLÉMENTS DE QUALITÉ	INDICE	LIMITES DES CLASSES D'ÉTAT IBML en EQR			
		Très bon/Bon	Bon/Moyen	Moyen/Médiocre	Médiocre/Mauvais
Macrophytes	IBML	0,8	0,6	0,4	0,2

L'IIL :

L'indice biologique poisson à utiliser est l'IIL (Indice Ichtyofaune Lacustre). Cet indice s'applique aux plans d'eau naturels de métropole de la typologie nationale ni aux DOM.

La classification de l'état pour l'élément poissons s'établit en calculant la moyenne des EQR puis en comparant cette moyenne aux limites de classes indiquées dans le Tableau 45.

Tableau 45 : Valeurs des limites de classes d'état exprimées en EQR pour l'indice ichtyofaune lacustre (IIL)

ÉLÉMENTS DE QUALITÉ	INDICE	LIMITES DES CLASSES D'ÉTAT IIL en EQR			
		Très bon/Bon	Bon/Moyen	Moyen/Médiocre	Médiocre/Mauvais
Poisson	IIL	0,8	0,6	0,4	0,2