

Suivi environnemental du lac de la Crégut (2013-2014)



MAITRE D'OUVRAGE :



INTERLOCUTEUR PRINCIPAL : Hugues Peyret CIH

TITRE : Suivi environnemental du lac de la Crégut (2013-2014)

MOTS-CLES : La Crégut, Le Tact, turbidité, MES, suivi continu, thermie, physico-chimie, niveau trophique.

DATE D'EDITION : juin 2015

STATUT : Rapport Final

NOMBRE D'EXEMPLAIRES EDITES : 0

NOMBRE DE PAGES : 58 +29

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

		Prélèvements	Laboratoire	Rédaction	Relecture	Validation
Gérant	Antoine THOUVENOT	X			X	X
Chef de Projets	Romain GUIHENEUF	X	X	X	X	
Assistante Chef de projet	Marie Eve MAUDUIT	X	X		X	
Chargée d'études	Inès MARTIN	X	X	X		
Technicien Polyvalent	Gilles DEMAIL	X	X			

ATHOS environnement

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

UNIVERSITE BLAISE PASCAL-

UFR Sciences et Technologiques



10 Avenue Blaise Pascal - TSA 60026-CS 60026
63178 Aubière Cedex

☎ 04 73 40 50 90 – Fax 04 73 40 50 91

✉ contact@athos-environnement.fr

www.athos-environnement.fr



SOMMAIRE

1	CONTEXTE GENERAL	7
2	SUIVI DES FLUX PHYSICO-CHIMIQUES	9
2.1	PRESENTATION DES SEPT SITES DE SUIVI DES FLUX.....	9
2.2	HYDROLOGIE	14
2.2.1	<i>Principe.....</i>	14
2.2.2	<i>Matériel.....</i>	14
2.2.3	<i>Résultats.....</i>	15
2.3	SUIVI THERMIQUE.....	17
2.3.1	<i>Matériel et méthode</i>	17
2.3.2	<i>Résultats.....</i>	17
2.4	MATIERES EN SUSPENSION (TURBIDITE).....	18
2.4.1	<i>Principe.....</i>	18
2.4.2	<i>Mesure de la turbidité en continu</i>	18
2.4.3	<i>Corrélation Turbidité / Matières en suspension</i>	21
2.4.4	<i>Chroniques brutes de matières en suspension par aménagement.....</i>	24
2.4.5	<i>Bilan des cumuls de MES par aménagements.....</i>	27
2.5	PHYSICO-CHIMIE DES ENTRANTS ET SORTANTS	29
2.5.1	<i>Fréquence de prélèvement</i>	29
2.5.2	<i>Matériel et méthode</i>	29
2.5.3	<i>Résultats des paramètres physico-chimiques.....</i>	30
3	QUALITE DE L'EAU DU LAC DE LA CREGUT.....	43
3.1	STATIONS DE SUIVI.....	43
3.2	FREQUENCE DE PRELEVEMENT	43
3.3	MATERIEL ET METHODE	44
3.3.1	<i>Les profils verticaux</i>	44
3.3.2	<i>Les prélèvements physico-chimique</i>	44
3.3.3	<i>L'analyse phytoplanctonique.....</i>	44
3.3.4	<i>Le référentiel d'interprétation</i>	44
3.4	RESULTATS DES PROFILS VERTICAUX.....	45
3.5	RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES.....	48
3.5.1	<i>Paramètres phosphorés</i>	48
3.5.2	<i>Paramètres azotés.....</i>	50
3.5.3	<i>Matières organiques</i>	52
3.5.4	<i>Demande biologique en oxygène</i>	53
3.6	RESULTATS DE L'ANALYSE PHYTOPLANCTONIQUE.....	54
3.6.1	<i>Dénombrement du phytoplancton</i>	54
3.6.2	<i>Chlorophylle a et phéopigments.....</i>	56
3.7	CLASSIFICATION TROPHIQUE DE L'OCDE (VOLLENWEIDER ET KEREKES).....	57
4	CONCLUSIONS.....	58
5	ANNEXE 1 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES SONDES DE NIVEAU CNR PARATRONIC ET ENREGISTREUR MAC 10R	61



6	ANNEXE 2 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES CAPTEURS DE TURBIDITE AQUALOGGER 210 TY	66
7	ANNEXE 3 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES CAPTEURS DE TEMPERATURE MINILOG II.....	67
8	ANNEXE 4 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA SONDE YSI EXO1	68
9	ANNEXE 5 : CHRONIQUES DE TEMPERATURES PAR SITE DE SUIVI	72
10	ANNEXE 6 : CHRONIQUES DE TURBIDITE ET DE DEBITS PAR AMENAGEMENTS	74
11	ANNEXE 7 : ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES ENTRANTS-SORTANTS – DIAGRAMME DE TUKEY.....	77
12	ANNEXE 8 : EXTRAIT DE L'ARRETE DU 25 JANVIER 2010 POUR LES RIVIERES	79
13	ANNEXE 9 : EXTRAIT DE L'ARRETE DU 25 JANVIER 2010 POUR LES PLANS D'EAU.....	80



Table des Figures

<i>Figure 1 : Détermination des débits par station de mesure</i>	<i>14</i>
<i>Figure 2 : Capteur de niveau d'eau de la station sortie Lac (à droite) / déchargement de l'enregistreur (à gauche)</i>	<i>15</i>
<i>Figure 3 : Chronique de débit en entrée et en sortie du lac de la Crégut</i>	<i>15</i>
<i>Figure 4 : Description du capteur de turbidité AQUALOGGER 210 TY et de son fonctionnement</i>	<i>18</i>
<i>Figure 5 : Installation en place à l'entrée du lac de la Crégut</i>	<i>19</i>
<i>Figure 6 : Répartition des sorties terrains par rapport au contexte hydrologique</i>	<i>22</i>
<i>Figure 7 : Préleveurs automatiques déployés sur alerte débit durant l'hiver 2014.</i>	<i>22</i>
<i>Figure 8 : relation MES/Turbidité toutes stations sauf Tarentaine et Eau verte</i>	<i>23</i>
<i>Figure 9 : relation MES/Turbidité Tarentaine et Eau verte</i>	<i>23</i>
<i>Figure 10 : Test statistique d'homogénéité de Pettit sur chroniques MES et débits (entrée crégut et Eau Verte)</i>	<i>26</i>
<i>Figure 11 : Cumuls de MES en tonnes d'avril 2013 à avril 2014.....</i>	<i>27</i>
<i>Figure 13 : résultats de la température, du pH et de l'oxygène dissous des stations en rivière.....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 13 : résultats du taux de saturation en oxygène et de la conductivité des stations en rivière</i>	<i>32</i>
<i>Figure 15 : résultats des concentrations en ammonium des stations en rivière</i>	<i>33</i>
<i>Figure 16 : résultats des concentrations en nitrates des stations en rivière</i>	<i>34</i>
<i>Figure 17 : résultats des concentrations en nitrites des stations en rivière</i>	<i>35</i>
<i>Figure 17 : résultats des concentrations en azote Kjeldahl des stations en rivière</i>	<i>36</i>
<i>Figure 19 : résultats des concentrations en PO4 des stations en rivière</i>	<i>37</i>
<i>Figure 20 : résultats des concentrations en P total des stations en rivière</i>	<i>38</i>
<i>Figure 20 : résultats des concentrations en carbone organique dissous des stations en rivière.....</i>	<i>39</i>
<i>Figure 21 : résultats des concentrations en MES des stations en rivière.....</i>	<i>40</i>
<i>Figure 22 : résultats des concentrations en DBO5 des stations en rivière.....</i>	<i>41</i>
<i>Figure 23 : station de suivi lacustre sur le lac de la Crégut</i>	<i>43</i>
<i>Figure 24 : résultats des profils verticaux de la station A.....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 25 : résultats des profils verticaux de la station B.....</i>	<i>47</i>
<i>Figure 26 : résultats des concentrations en phosphore total des stations A et B.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 27 : résultats des concentrations en orthophosphates des stations A et B.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 28 : résultats des concentrations en ammonium des stations A et B.....</i>	<i>50</i>
<i>Figure 29 : résultats des concentrations en nitrates des stations A et B.....</i>	<i>50</i>
<i>Figure 30 : résultats des concentrations en nitrites des stations A et B.....</i>	<i>51</i>
<i>Figure 31 : résultats des concentrations en azote Kjeldahl des stations A et B.....</i>	<i>51</i>
<i>Figure 32 : résultats du carbone organique dissous des stations A et B</i>	<i>52</i>
<i>Figure 33 : résultats des matières en suspensions des stations A et B.....</i>	<i>52</i>
<i>Figure 34 : résultats de la DBO5 des stations A et B</i>	<i>53</i>
<i>Figure 35 : abondance phytoplanctonique des stations A et B</i>	<i>54</i>
<i>Figure 36 : biomasse phytoplanctonique des stations A et B.....</i>	<i>55</i>
<i>Figure 37 : résultats de la concentration en chlorophylle a et en phéopigments sur les stations A et B</i>	<i>56</i>



Table des Tableaux

<i>Tableau 1 : Synthèse des températures de l'eau par site de suivi</i>	17
<i>Tableau 2 : synthèses des données brutes validés et perdus</i>	20
<i>Tableau 3 : Synthèse des analyses MES réalisées en laboratoire et exploitables par aménagement</i>	24
<i>Tableau 4 : moyennes, minimum, maximum des concentrations en MES par aménagements selon la mesure de turbidité</i>	25
<i>Tableau 5 : Bilan des cumuls par aménagement</i>	28
<i>Tableau 6 : heures et dates de prélèvement des échantillons prélevés en rivière</i>	29
<i>Tableau 7 : caractéristiques techniques de la sonde utilisée</i>	29
<i>Tableau 8 : paramètres analysés, laboratoires et normes</i>	30
<i>Tableau 9 : classes de qualité de l'arrêté du 25 janvier 2010</i>	30
<i>Tableau 10 : heures et dates de prélèvement des échantillons prélevés en lac</i>	44
<i>Tableau 11 : classes de qualité de l'arrêté du 25 janvier 2010</i>	45
<i>Tableau 12 : comparaison des résultats de transparence et d'oxygénation aux valeurs seuil de l'arrêté du 25 janvier 2010</i>	45
<i>Tableau 13 : comparaison des concentrations en phosphore total aux seuils de l'arrêté du 25 janvier 2010</i>	48
<i>Tableau 14 : comparaison des concentrations en orthophosphates aux seuils de l'arrêté du 25 janvier 2010</i>	48
<i>Tableau 15 : comparaison des résultats des paramètres azotés (en zone euphotique) aux seuils de l'arrêté du 25 janvier 2010</i>	50
<i>Tableau 16 : résultats de la classification de l'OCDE</i>	57
<i>Tableau 17 : Débits moyens mesurés en entrée Crégut en 2011 et 2013-2014</i>	58
<i>Tableau 18 : Bilan de MES dans le lac de la Crégut en 2011 et 2013-2014</i>	59



1 CONTEXTE GENERAL

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

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

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

Les principaux volets de suivis ont été :

- **Suivi en continu (déchargement des données in situ tous les mois):**
 - **Matières en Suspension (turbidité)** : enregistrement en continu à pas de temps horaire sur sept points depuis l'entrée du Tact jusqu'à la sortie de l'étang Crégut.
 - **Température** : enregistrement en continu à pas de temps horaire sur sept points depuis l'entrée du Tact jusqu'à la sortie de l'étang Crégut.
 - **Débit (niveau d'eau et tarage)** : enregistrement en continu à pas de temps horaire sur deux points : entrée et sortie du lac de la Crégut

- **Suivi mensuel :**
 - **Physico-chimie de l'eau** : mesures ponctuelles, prélèvements et analyses en laboratoire sur sept points depuis l'entrée du Tact jusqu'à la sortie de l'étang Crégut.
 - **Entretien et déchargement des données des capteurs autonomes**

- **Suivi de la qualité des eaux du lac de la Crégut (4 campagnes) :**
 - **Profils physico chimique verticaux** : sur deux points du lac à l'aide d'une sonde multiparamètre.
 - **Mesure de la profondeur de disparition du disque de Secchi**
 - **Prélèvements d'eau pour analyses physico-chimiques et biologiques:**
 - Intégré sur la couche euphotique
 - Dans l'hypolimnion, sous la thermocline

- **Sorties exceptionnelles**
 - Mise en place de préleveurs automatiques pour échantillonnage d'eau en vue de doser les matières en suspension en période de forts débits.



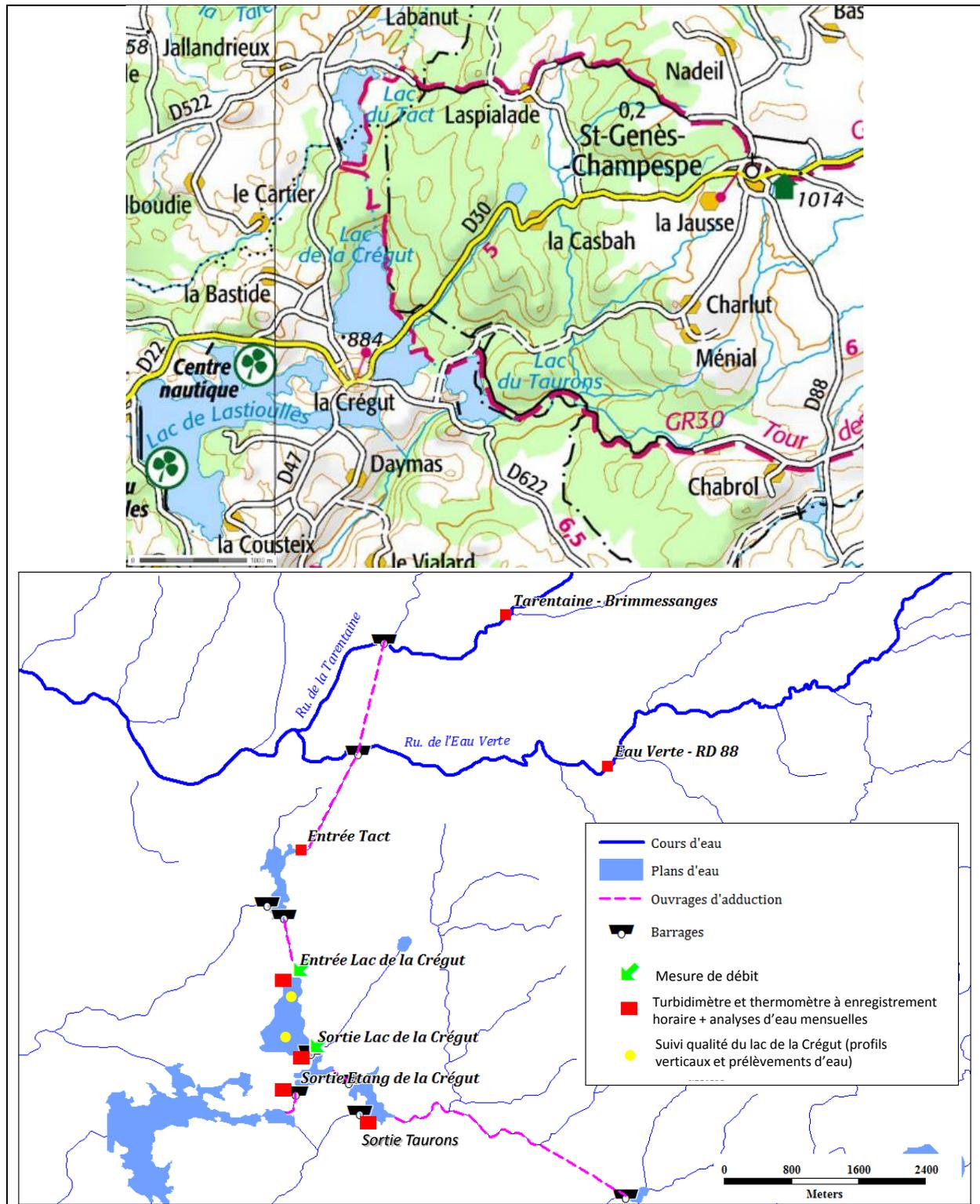
Flux physico chimiques



2 SUIVI DES FLUX PHYSICO-CHIMIQUES

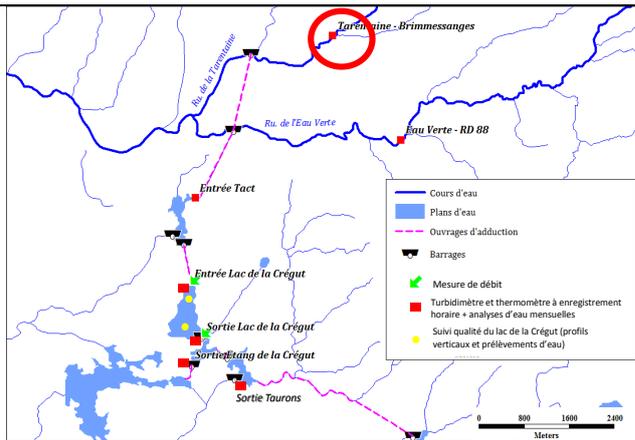
2.1 PRESENTATION DES SEPT SITES DE SUIVI DES FLUX

Les sept stations de suivi se situent à l'amont de la retenue de Lastiouilles. Les six principales stations de suivi se situent sur la « branche Nord » du complexe. La « branche sud » est représentée par les apports transitant par la retenue de Taurons.





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



Description :

Les capteurs de température et de turbidité sont installés en rive gauche, sur la face aval du pont de la D88 en première période. Les capteurs ont été déplacés le 22 juillet 2013 pour être positionnés dans le lit principal du cours d'eau afin d'éviter toute perte de données liée à l'exondation.

Méta données :

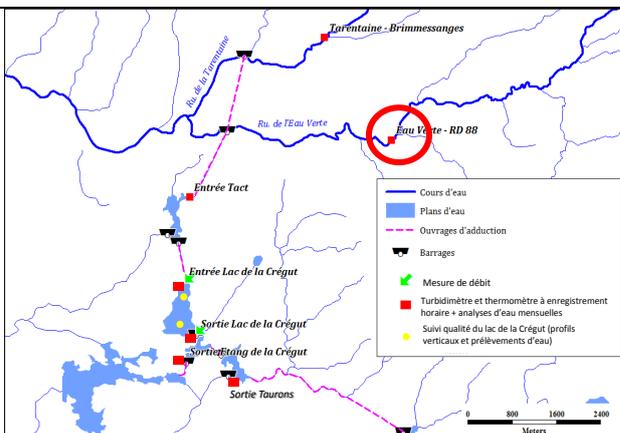
Coordonnées GPS (L93) : X = 677 395,27 Y = 640372,47

Altitude (mNGF) : 935 m

Mise en service : 08/04/2013

Perturbations rencontrées : Risque d'exondation du capteur installé en rive droite à l'étiage, déplacement le 22 juillet 2013 sur bloc dans le lit principal du cours d'eau.

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



Description :

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

Méta données :

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

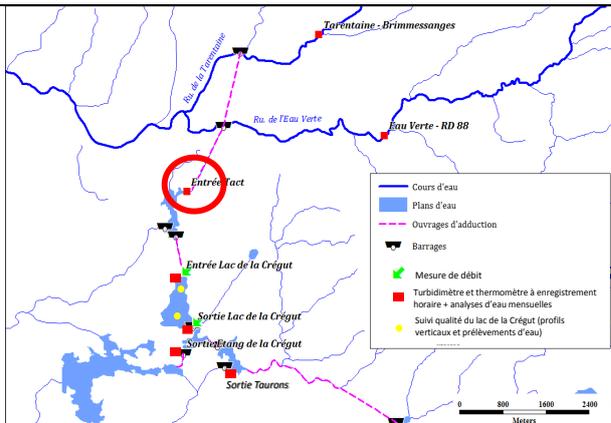
Altitude (mNGF) : 960m

Mise en service : 08/04/2013

Perturbations rencontrées : néant



Station 3 : Entrée du Tact



Description :

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

Méta données :

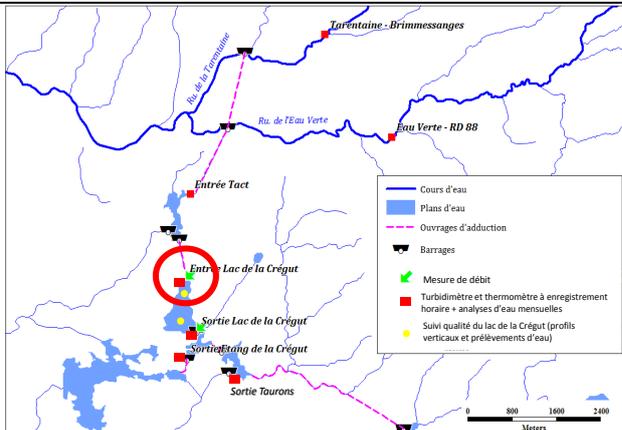
Coordonnées GPS (L93) : X = 678 608,7 Y = 6 481 906,5

Altitude (mNGF) : 885m

Mise en service : 05/04/2013

Perturbations rencontrées : Vandalisme, panne du capteur et perturbations liées à la présence de macro déchets perturbants ponctuellement la mesure (feuilles et branchages).

Station 4 : Entrée du lac de la Crégut



Description :

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

Méta données :

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

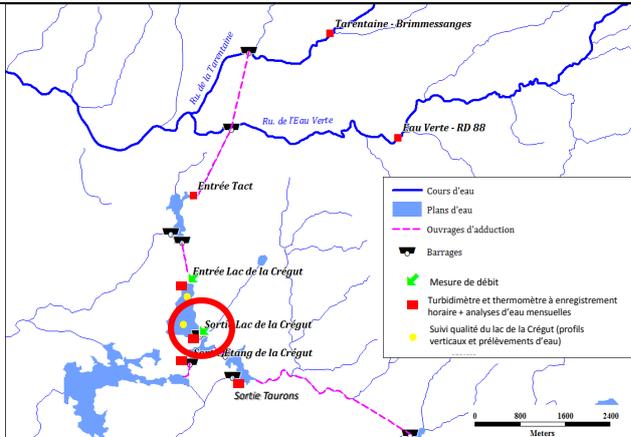
Altitude (mNGF) : 860m

Mise en service : 05/04/2013

Perturbations rencontrées : Vandalisme, panne du capteur et encrassement estival (périphyton).



Station 5 : Sortie du lac de la Crégut



Description :

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

Méta données :

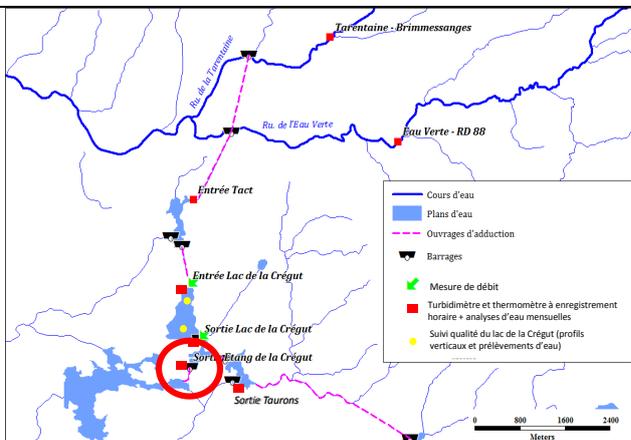
Coordonnées GPS (L93) : X = 675 075,9 Y = 6 478 499,7

Altitude (mNGF) : 860m

Mise en service : 04/04/2013

Perturbations rencontrées : Endommagement du capteur suite à une mise en vibration du système de fixation à fort débit et encrassement estival (périphyton).

Station 6 : Sortie de l'étang Crégut



Description :

Les capteurs de température et de turbidité sont installés en rive gauche sur le parement amont de l'exutoire de l'étang Crégut.

Méta données :

Coordonnées GPS (L93) : X = 674883,87 Y = 6478000,58

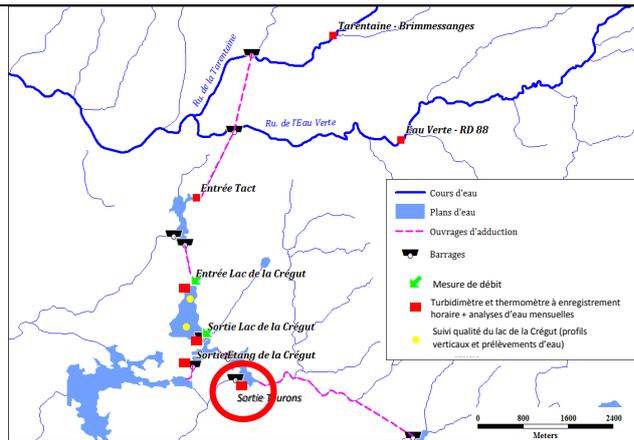
Altitude (mNGF) : 858m

Mise en service : 05/04/2013

Perturbations rencontrées : encrassement estival (périphyton).



Station 7 : Sortie Taurons



Description :

Les capteurs de température et de turbidité sont installés en rive droite sur le parement amont de l'exutoire de la retenue des Taurons.

Méta données :

Coordonnées GPS (L93) : X = 675530,74 Y = 6478138,54

Altitude (mNGF) : 858m

Mise en service : 25/06/2013 au 12/08/2013

Perturbations rencontrées : Appareil de turbidité utilisé en remplacement des autres appareils défectueux de la branche nord pour lesquels une continuité de suivi était privilégiée. Le capteur de turbidité a permis l'enregistrement de données durant 1,5 mois.

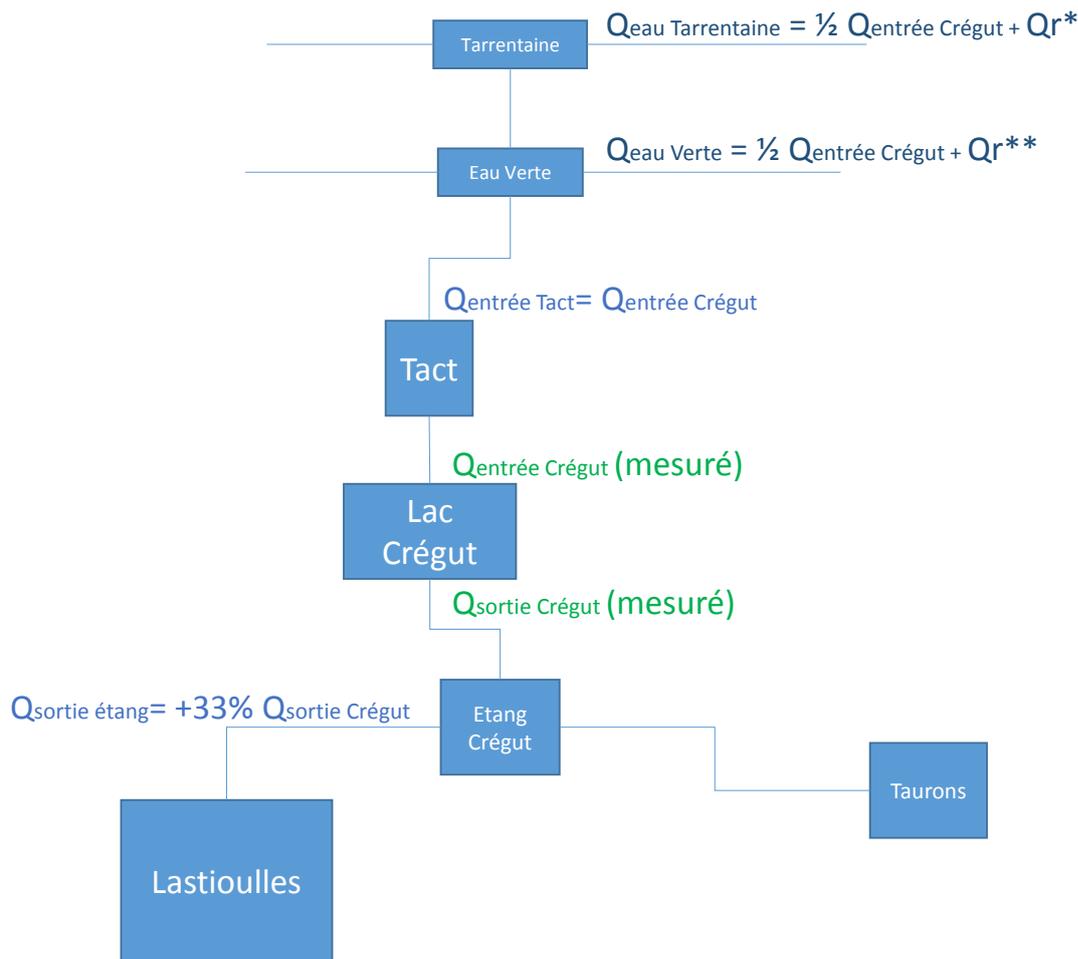


2.2 HYDROLOGIE

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 5 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 1 : Détermination des débits par station de mesure

2.2.2 Matériel

Les capteurs de niveau installés (sonde Paratronic CNR + enregistreur MAC10) mesurent la différence de pression entre l'atmosphère et la profondeur à laquelle ils sont immergés. Par différence la pression



mesurée est retranscrite en hauteur d'eau via un signal 4/20mA, et enregistrée à pas de temps horaire (Figure 2).

Les caractéristiques techniques du matériel utilisé sont fournies en Annexe1.

Les capteurs de niveau ont été déchargés une fois par mois à l'aide d'un ordinateur muni d'une interface RS232 (Figure 2).



Figure 2 : Capteur de niveau d'eau de la station sortie Lac (à droite) / déchargement de l'enregistreur (à gauche)

2.2.3 Résultats

La Figure 3 présente les chroniques de débit en entrée et sortie du lac de la Crégut sur la période de suivi d'Avril 2013 à Avril 2014. Le débit moyen annuel entrant du lac de la Crégut du 08 avril 2013 au 08 avril 2014 est de **4,3 m³.s⁻¹** (2 m³.s⁻¹en 2011). Sur cette même période, le temps de séjour a été calculé selon la formule ci-dessous. Il est d'environ 9 jours.

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

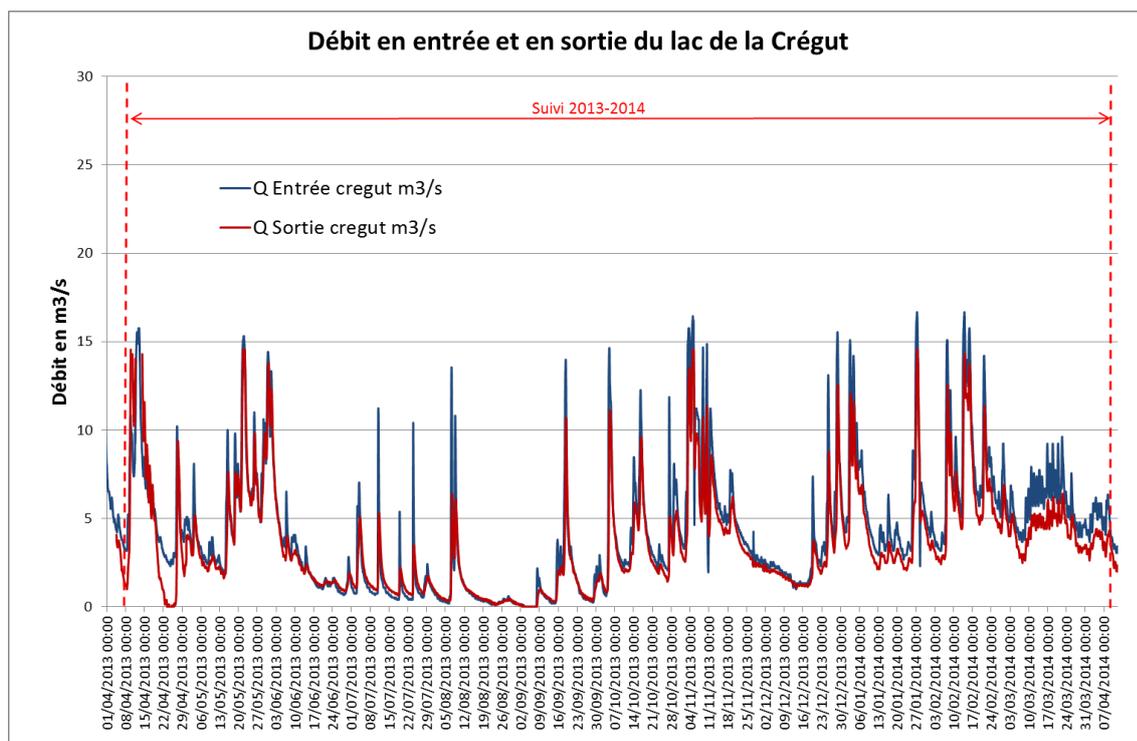


Figure 3 : Chronique de débit en entrée et en sortie du lac de la Crégut



Le débit en entrée Crégut a été définie grâce aux valeurs de hauteur d'eau mesuré 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)

Remarque :

Le débit d'alimentation du Tact est saturé à 13,5 m³.s⁻¹ (données EDF GEH). Les débits enregistrés en entrée du lac de la Crégut atteignent 16,7 m³.s⁻¹. Le delta de 3,2 m³.s⁻¹ observé sur des épisodes brefs est à relier :

- au bassin versant direct du lac du Tact (orages en été ou fonte en hiver).
- Aux incertitudes d'évaluation des forts débits liés à des tarages moins fréquents et moins précis pour les fortes valeurs.



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 2.



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

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

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

2.3.2 Résultats

Les températures de l'eau ont varié de 0,01°C sur la Tarentaine à 28.69°C à la sortie des Taurons durant la période de suivi (Tableau 1 et Annexe 5). Les températures sont plus fraîches sur la Tarentaine et l'eau Verte. L'eau se réchauffe ensuite progressivement d'aménagement en aménagement pour atteindre une moyenne annuelle maximale à la sortie de l'étang Crégut (10,4°C).

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

	Moyenne	Min	Max
Tarentaine	7.48	0.01	19.05
Eau Verte	7.86	0.01	19.75
Entrée Tact	8.27	0.05	19.34
Entrée Crégut	9.52	0.78	27.82
Sortie Crégut	10.40	0.86	27.63
Sortie Taurons	10.53	0.78	28.29
Sortie étang Crégut	10.35	1.27	25.88



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 le biais d'analyses d'échantillons ponctuels et par l'établissement de courbes d'étalonnage $[MES] = f(\text{turbidité})$.

2.4.2 Mesure de la turbidité en continu

2.4.2.1 Matériel

Le matériel utilisé pour le suivi se compose d'un capteur de turbidité Seapoint Turbidity Meter FNU de la marque SEAPOINT Sensor INC. couplé à un enregistreur AQUALOGGER 210 TY de la marque AQUATEC. L'appareil mesure la turbidité de l'eau en détectant la lumière diffusée par les particules en suspension dans l'eau (Figure 4). Une lumière à 880nm de longueur d'onde est émise par une Diode Electro Luminescente (LED) à travers une fenêtre en epoxy dans le volume de mesure où elle est diffusée par les particules en suspension. Une seconde fenêtre contenant une cellule de détection (photo-diode) mesure la quantité de lumière diffusée. La quantité de lumière diffusée étant directement proportionnelle à la turbidité et à la quantité de Matières en Suspension (MES).

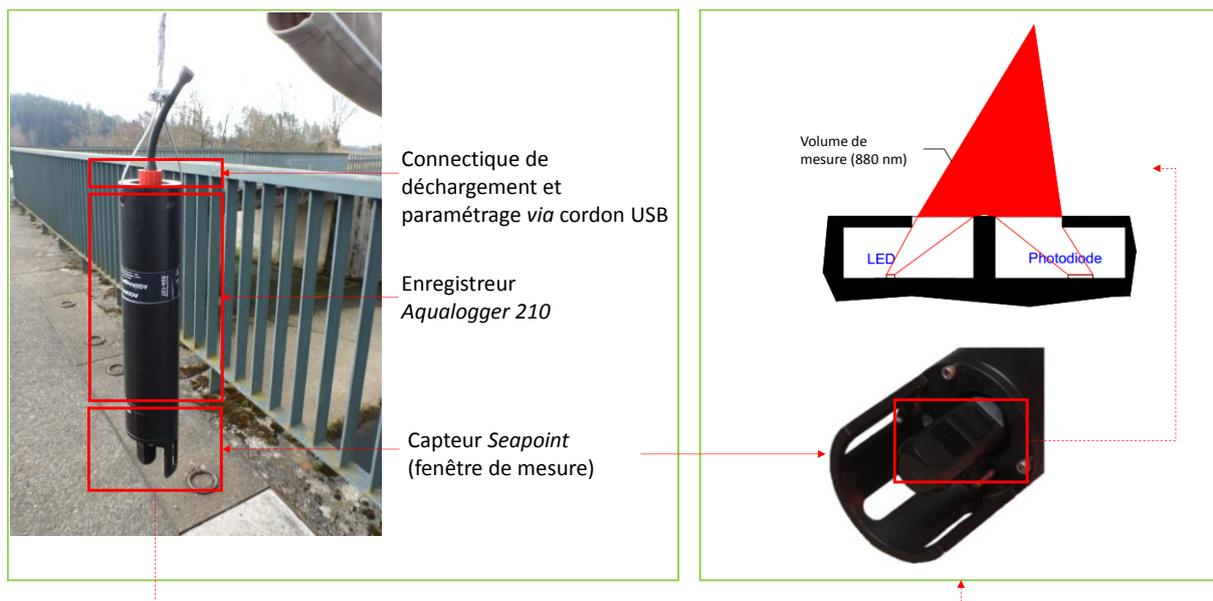


Figure 4 : Description du capteur de turbidité AQUALOGGER 210 TY et de son fonctionnement

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.

La viabilité des mesures n'est cependant pas remise en cause, car ces capteurs ont été choisis pour leur grande précision de mesure (échelle adaptable en fonction de la charge en matières en suspension), leur très forte autonomie énergétique facilitant leur déploiement sur des sites isolés, leur conception très robuste adaptée aux conditions hostiles (développement en océanographie) et parce qu'en 2012, il



s'agissait des seuls capteurs du marché déployables sur des sites isolés ne nécessitant pas de source énergétique permanente et d'infrastructure lourde. A pas de temps horaire, l'autonomie énergétique des enregistreurs est d'environ 6 mois.

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

Les instruments, paramétrés et calibrés en usine dans une solution de Formazine, ont été déployés sur site à l'aide de tubage PVC fixés sur le génie civil ou des rochers. A l'extrémité du tube, le capteur est fermement maintenu par des colliers inox pour conserver une position unique durant le suivi. Une fenêtre d'ouverture d'un minimum de 8cm¹ 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 valider la fiabilité du lieu de mesure.



Figure 5 : Installation en place à l'entrée du lac de la Crégut

2.4.2.2 Collecte des données et maintenance

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

En cas de dysfonctionnement ou vandalisme, les capteurs sont rapatriés pour réparation en atelier. Pour pallier les pertes de données sur la branche nord du complexe le capteur installé en sortie de l'aménagement de Taurons a été utilisé comme capteur de remplacement durant le suivi.

¹ Distance par rapport à la fenêtre de mesure en dessous de laquelle tout obstacle (paroi du tube, brindille, ...) perturbe la mesure (donnée constructeur).



2.4.2.3 Validation des données brutes

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. Une validation des données brutes est donc nécessaire.

Dérive croissante continue des valeurs :

En milieu stagnant (sortie Crégut et sortie étang Crégut), les capteurs sont sujets à l'encrassement en raison de l'absence de dispositif d'auto-nettoyage. L'encrassement est organique et composé principalement de périphyton. Le développement du film périphytique sur le capteur étant progressif, la perturbation du signal suit une courbe ascendante progressive ponctuée de pics lors de véritables augmentations de turbidité.

Pics ponctuels inexplicables :

Les pics enregistrés ont été validés ou invalidés à partir des données disponibles permettant l'interprétation des pics :

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

La Tableau 2 présente le nombre de données brutes validées, le nombre d'enregistrement perdus et le pourcentage exploitable.

<i>Période du 08/04/2013 18h au 08/04/2014 18h</i>		
Nombre d'enregistrements valides	Nombre d'enregistrements perdus	% d'enregistrements exploitables
50697	1869	96,3%

Tableau 2 : synthèses des données brutes validés et perdus

2.4.2.4 Calcul des flux annuels et bilans

Les concentrations en MES sont calculées à partir d'une relation $MES=f(\text{turbidité})$ obtenue à l'aide de prélèvements manuels (paragraphe 2.4.3 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.

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 2014 avec les suivis des années 2006 et 2011 (suivis mensuels), les bilans ont également été calculés à partir de la méthode de calcul utilisée en 2011. Pour les mesures hydrologiques et les incertitudes qui en découlent le choix de la méthode de calcul des flux découle de l'examen des travaux de Moatar *et al.* -Université de Tours - Cemagref 2009. Les méthodes de calcul des flux à partir des suivis discrets de concentrations sont elles aussi issue de cette même méthode. 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.

2.4.3 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.

La fréquence des prélèvements manuels a dans un premier temps été mensuelle. Après 9 mois de suivi (janvier 2014) un premier constat est apparu :

- De très faibles valeurs de concentration en MES ont été rencontrées lors des premières sorties mensuelles. Les concentrations étant souvent inférieures au seuil de quantification du laboratoire (<2 mg/l), ne permettant pas l'exploitation des données.
- Un nombre insuffisant de couple de valeurs MES/turbidité a été collecté sur cette période.

Ces faibles concentrations et le peu de valeurs exploitables n'ont pas permis d'établir de relation $MES=f(FTU)$ par aménagement. Le traitement des données a cependant montré qu'une première relation pouvait être établie en regroupant les couples de valeurs MES/turbidité de plusieurs sites :

- La Tarentaine et l'Eau Verte : relation linéaire
- L'ensemble des autres aménagements : relation puissance

Des sorties exceptionnelles ont donc été réalisées à l'aide de préleveur automatique 24 flacons lors d'épisodes de forts débits. Ces sorties n'étaient pas initialement prévu. Elles ont été ajoutées au suivi dans le but d'étoffer la relation MES/turbidité.

Trois préleveurs automatiques SIGMA SD900 ont été mis à disposition :

- Le premier a été placé à l'**Entrée Tact** pour d'évaluer le rôle décanteur du Tact.
- Les deux autres ont été mis à l'Entrée Crégut et à la Sortie Crégut pour identifier la charge entrante et sortante du lac.

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 (Figure 6).

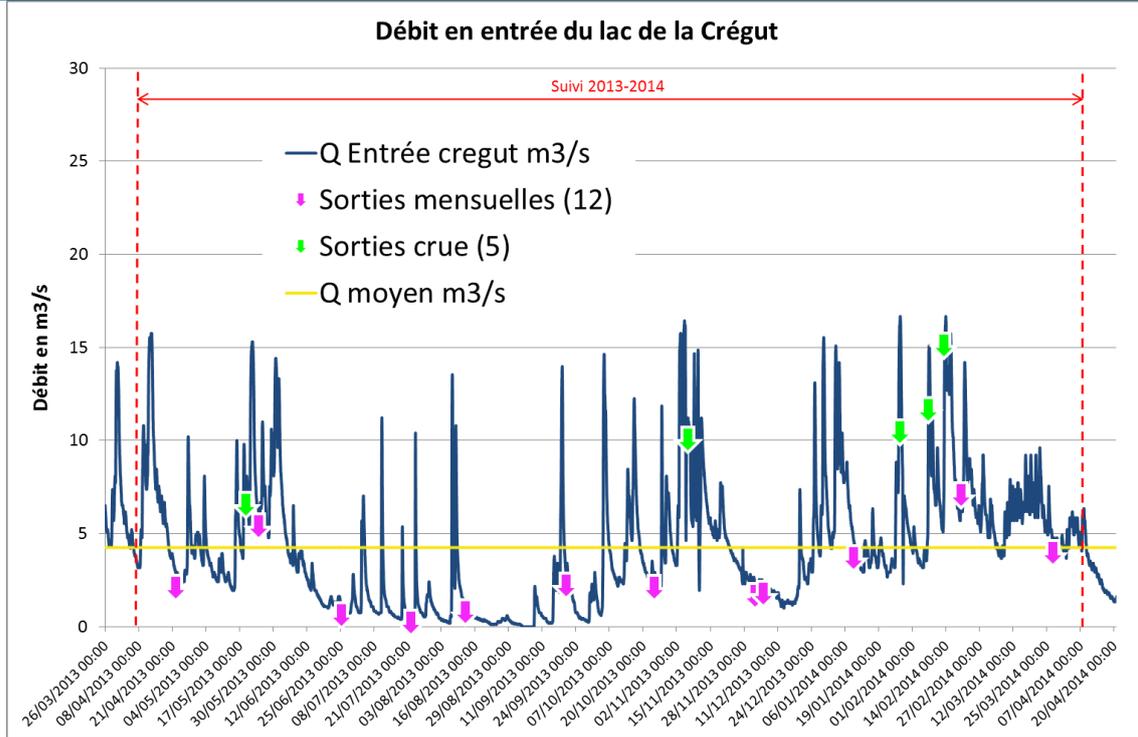


Figure 6 : Répartition des sorties terrains par rapport au contexte hydrologique



Figure 7 : Préleveurs automatiques déployés sur alerte débit durant l'hiver 2014.



2.4.3.1 Résultats

Deux relations ont été définies :

- Une courbe de type « puissance » pour les sites : Entrée Tact, Entrée Crégut, Sortie Crégut et sortie étang Crégut
- Une courbe de type « linéaire » pour les sites : Tarentaine et Eau Verte

L'ensemble des relations établies apparaissent robustes.

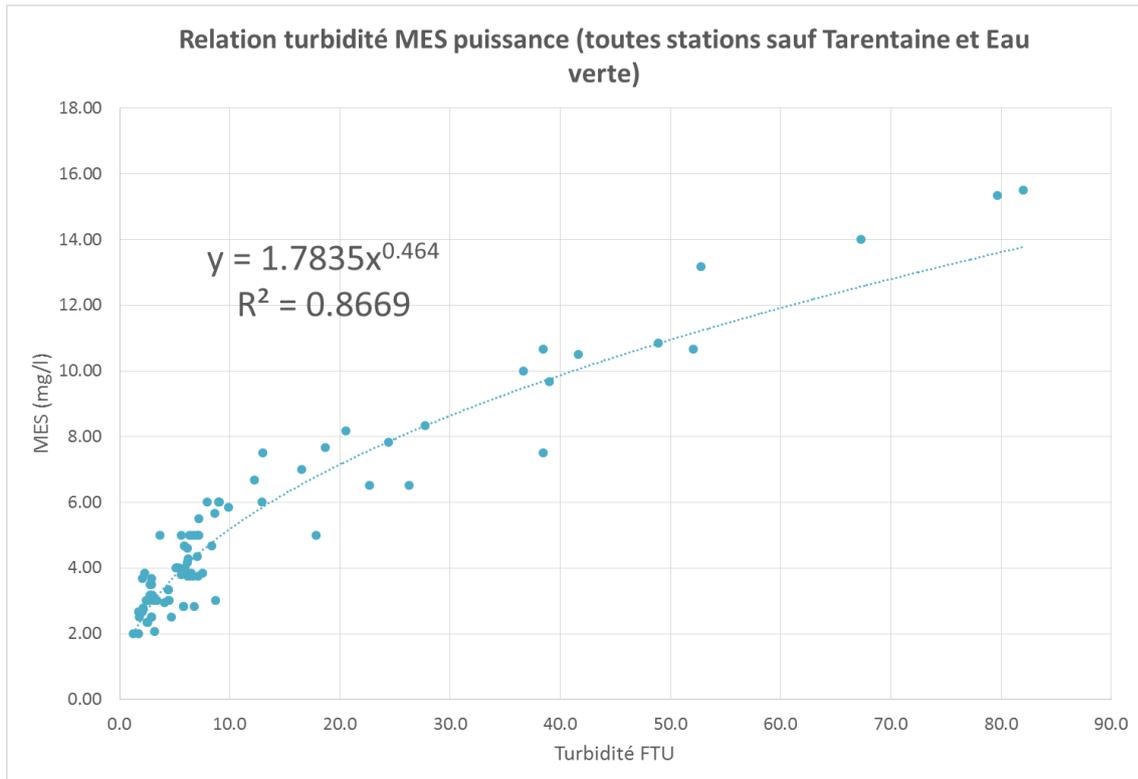


Figure 8 : relation MES/Turbidité toutes stations sauf Tarentaine et Eau verte

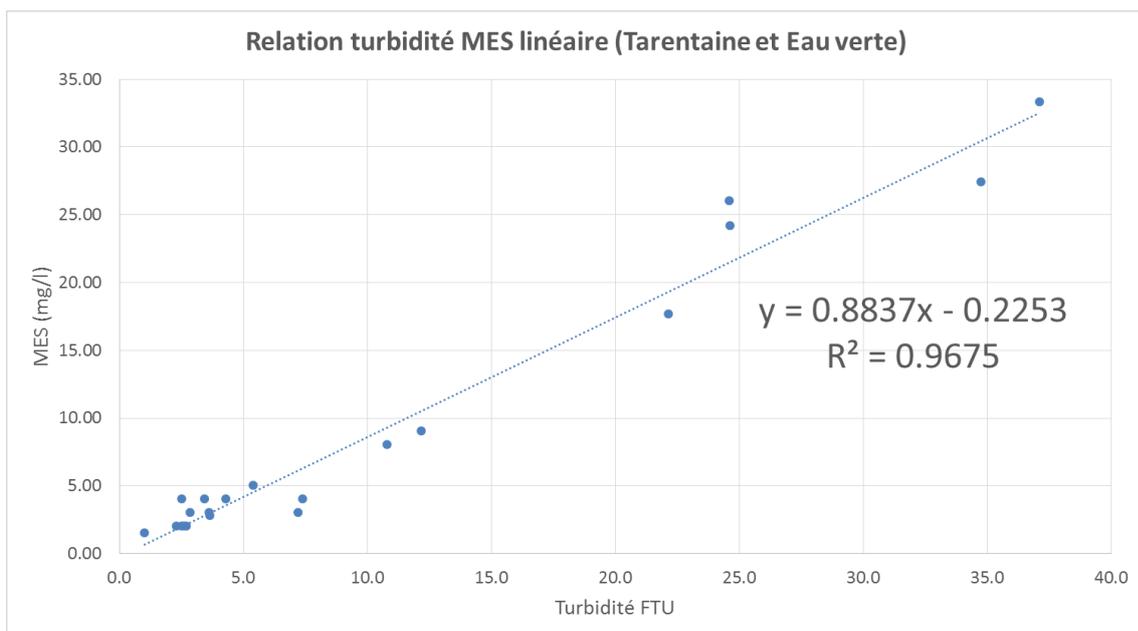


Figure 9 : relation MES/Turbidité Tarentaine et Eau verte



Le Tableau 3 présente la synthèse des résultats d'analyse en MES sur les prélèvements manuels par aménagement. Les concentrations mesurées sont très faibles (6,26 mg/l) en moyenne et un maximum a été mesuré sur la Tarentaine à 33,3 mg/l.

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

	Nombre d'analyse MES > LQ*	Nombre d'analyses réalisées	% d'analyse exploitable pour la relation	[MES] moyenne (mg/l)	[MES] max (mg/l)	[MES] min (mg/l)
Eau Verte	11	17	65%	7,64	27,40	2,00
Tarentaine	12	18	67%	9,40	33,30	1,50
Entrée Tact	22	31	71%	8,67	15,50	2,94
Entrée Crégut	38	47	81%	4,37	7,50	2,06
Sortie Crégut	29	59	49%	3,50	14,00	2,00
Sorti étang Crégut	11	14	79%	3,96	5,00	3,00
TOTAL / Moy.	123	186	68%	6,26	17,12	2,25

*LQ : Limite de quantification du laboratoire. Pour les MES, LQ = 0,2 mg/l

La Figure 6 présente la répartition des sorties terrain dans le contexte hydrologique du lac de la Crégut. L'essentiel des sorties (69%) a été réalisé par faible débit (inférieur au débit moyen annuel de 4,3 m³.s⁻¹).

Les sorties exceptionnelles de janvier et février 2014 ont été réalisées pour les débits maximum rencontrés durant le suivi.

2.4.4 Chroniques brutes de matières en suspension par aménagement

Les chroniques de turbidité et de débit par aménagement sont présentées en Annexe 6. On constate que :

- les concentrations instantanées en MES décroissent de l'amont vers l'aval du complexe de la Crégut.
- Les épisodes de forts débits ne sont pas systématiquement corrélés à de fortes teneurs en MES (pas de corrélation significative avec un risque d'erreur de 5% de faire une conclusion erronée) hormis entre le débit du tact et la turbidité du tact.
- 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 dit 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 10 nous indique :

- qu'entre le 08/04/2013 et le 04/10/2013 la moyenne des débits journaliers est basse (2,9 m³/s).
- que du 05/10/2013 au 31/04/2014 les débits moyens ont augmenté (5,25 m³/s).



Le même test appliqué à la chronique de Matière En Suspension (MES) met également en évidence deux séries temporelles de même période:

- la concentration moyenne en MES (9,27 mg/l) et la variabilité des valeurs sont plus élevées sur la première période (08/04/2013 à 04/10/2013)
- la concentration moyenne en MES (4,093 mg/l) a fortement diminué et est plus constante à partir du 05/10/2013

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

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

REMARQUE : les interventions de curages sur le Tact en septembre peuvent également expliquer un aplatissement brutal de la courbe de [MES] mais n'en sont pas l'unique explication comme le confirme le teste d'homogénéité des concentrations en MES réalisé sur le site de l'Eau Verte, hors influence du Tact. La tendance est similaire à celle décrite à l'entrée de la Crégut : diminution brutale des concentrations moyennes en MES à partir du 05/10/2013.

Le Tableau 4 présente la synthèse des moyennes et extrêmes des concentrations en MES mesurées durant la période de suivi. Le maximum a été observé sur la Tarentaine l'Eau Verte et le Tact. Pour mémoire, la valeur supérieure de bonne qualité du système d'évaluation de la qualité de l'eau SEQ Eau V2 pour le paramètre MES en eau superficielle est de 25 mg/L.

Remarque : Notons que la relation MES turbidité utilisée semble surestimer les valeurs basses de MES puisque le minimum rencontré lors des analyses de laboratoire à l'entrée du lac de la Crégut était inférieur à 2mg/l contre 3,09 mg/l selon la relation MES/turbidité.

Tableau 4 : moyennes, minimum, maximum des concentrations en MES par aménagements selon la mesure de turbidité

	Concentrations en MES (mg/l)		
	Moyenne	Minimum	Maximum
Tarentaine	11.43	0.07	1054.43
Eau Verte	11.30	0.15	351.33
Entrée Tact	10.62	0.15	51.53
Entrée Crégut	7.35	3.09	61.76
Sortie Crégut	3.75	0.30	49.77
Sortie étang	6.08	2.60	28.41

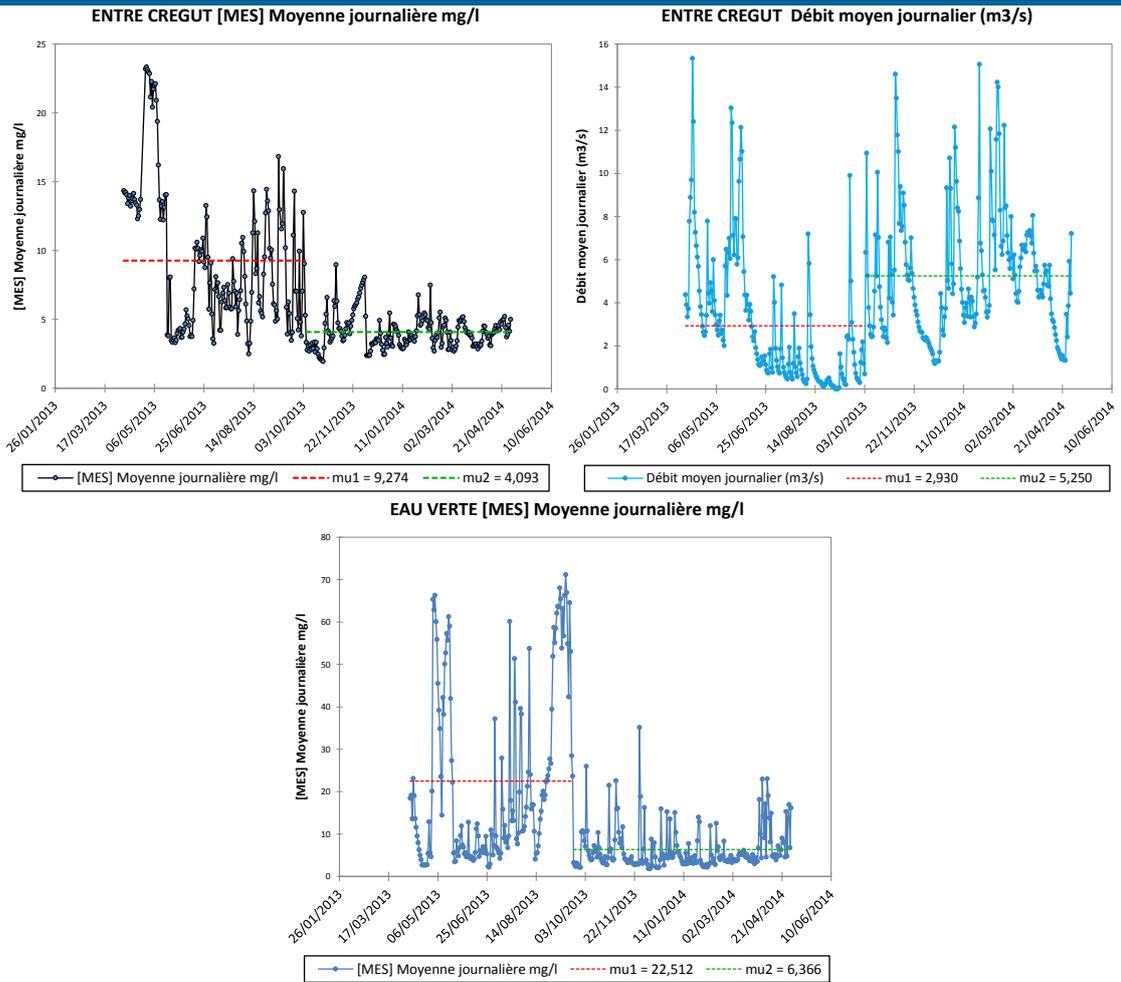


Figure 10 : Test statistique d'homogénéité de Pettit sur chroniques MES et débits (entrée crégut et Eau Verte)



2.4.5 Bilan des cumuls de MES par aménagements

2.4.5.1 Cumuls par sites de suivi

La Figure 11 présente les cumuls de MES calculés sur la période de suivi (du 08 avril 2013 au 30 avril 2014). Le Tact est l'aménagement qui présente les plus forts cumuls. Ce cumul est légèrement inférieur au cumul mesuré sur l'Eau Verte et la Tarentaine (Tableau 5) puisque l'intégralité du débit de ces deux rivières n'est pas dérivée vers le Tact. De plus, le pouvoir décanteur des retenues de l'Eau verte et de la Tarentaine est certainement un facteur supplémentaire dans la différence observée entre ces cumuls.

Dans l'ensemble les courbes des six sites présentés dans ce graphique suivent une même tendance. A partir d'octobre 2013 les flux de MES augmentent brutalement sur la Tarentaine et à l'entrée du Tact. Cet accroissement brutale des flux de MES n'est que très légèrement ressenti à l'entrée du lac de la Crégut. Le curage partiel de la prise d'eau du Tact durant le mois de septembre 2013 peut expliquer cette observation en ayant permis une meilleur décantation dans le Tact.

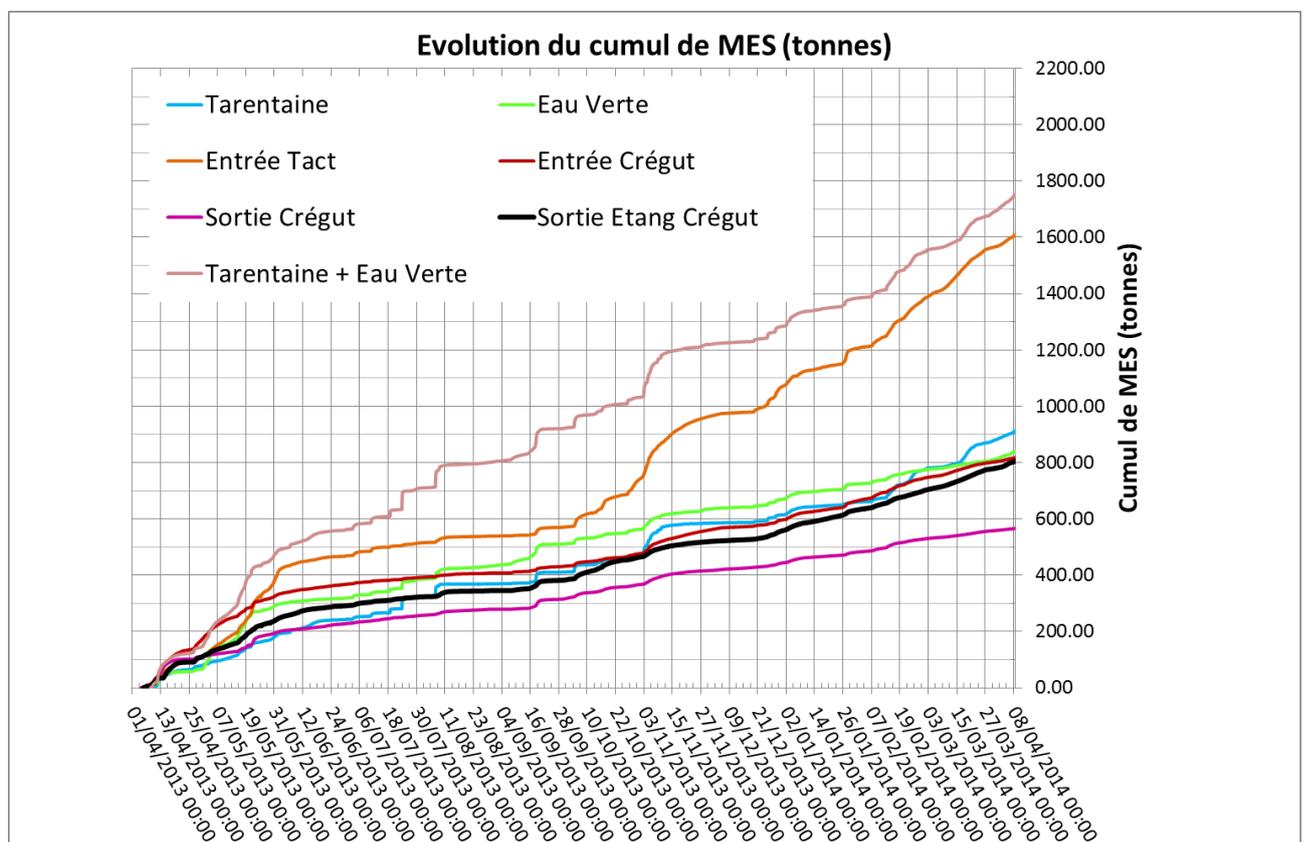


Figure 11 : Cumuls de MES en tonnes d'avril 2013 à avril 2014

2.4.5.2 Bilan annuel par aménagement

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

- Le suivi horaire en continu pour le suivi de 2014
- Le suivi mensuel pour le suivi de 2011



D'avril 2013 à avril 2014, entre 715 et 790 tonnes de MES ont été stockées dans le lac du Tact et entre 250 et 315 tonnes dans le lac de la Crégut.

Tableau 5 : Bilan des cumuls par aménagement

	Suivi de 2014 (en continu)	Suivi de 2011 (ponctuel)
Stockage MES Lac du Tact (tonnes)	De 715 à 790	-95,93
Stockage MES Lac de la Crégut (tonnes)	De 250 à 315	140



2.5 PHYSICO-CHEMIE DES ENTRANTS ET SORTANTS

2.5.1 Fréquence de prélèvement

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

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

Date de prélèvement	Date de dépôt	Heure de prélèvement (heure d'hiver)						
		Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut	Sortie Taurons	Sortie étang Crégut
22/04/2013	23/04/2013	13:15	13:15	09:00	09:45	11:00	10:30	10:45
19/05/2013	20/05/2013	09:45	10:30	11:00	12:30	16:00	14:00	14:30
28/05/2013	29/05/2013	13:00	13:15	14:00	11:00	10:00	09:30	09:00
25/06/2013	25/06/2013	13:15	12:45	09:30	10:15	11:00	08:30	09:00
22/07/2013	23/07/2013	12:15	12:00	09:30	10:30	13:00	11:00	12:30
12/08/2013	13/08/2013	16:15	15:45	11:30	12:30	14:45	13:30	13:15
20/09/2013	20/09/2013	13:30	13:15	10:00	10:30	12:15	11:30	12:00
24/10/2013	24/10/2013	12:45	12:15	09:00	09:30	11:15	10:00	10:45
06/11/2013	06/11/2013	13:00	12:45	10:15	10:45	11:45	11:15	11:30
05/12/2013	06/12/2013	15:30	15:00	09:30	10:45	14:45	13:15	14:30
09/01/2014	09/01/2014	16:00	15:30	11:30	12:45	14:45	13:30	14:15
20/02/2014	20/02/2014	10:00	11:30	16:30	15:30	13:00	13:45	14:00
27/03/2014	28/03/2014	09:00	09:45	10:45	11:00	12:00	12:45	13:00
24/04/2014	25/04/2013	13:15	12:45	09:15	10:30	12:00	11:30	11:00

2.5.2 Matériel et méthode

2.5.2.1 Mesures in situ

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

Tableau 7 : caractéristiques techniques de la sonde utilisée

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

2.5.2.2 Prélèvement physico-chimique

Les prélèvements ont été effectués directement dans la veine d'eau selon les recommandations du guide de prélèvement d'échantillons en rivière édité par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne. L'échantillonnage des points nécessite de mettre des gants et de rincer les flacons 3 fois avant remplissage. Ils ont été acheminés vers le laboratoire en malle isotherme à 4°C et à l'obscurité. Une partie des analyses ont été effectuées par le laboratoire EUROFINs (Institut Louise Blanquet de Clermont-Ferrand), accrédité COFRAC. Une autre partie a été faite en interne. Le Tableau 8 présente l'ensemble de ces analyses.



Tableau 8 : paramètres analysés, laboratoires et normes

Paramètres	Intitulés	Normes	Limites de quantification	Unités
Carbone organique dissous	COD	NF EN 1484	0,25	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	0,5	mg N/L
Phosphore total	Ptot	calcul à partir de P2O5	0,022	mg P/L
Ammonium	NH4	KIT (spectroquant)	0,05	mg NH4/L
Nitrates	NO3		1	mg NO3/L
Nitrites	NO2		0,02	mg NO2/L
Orthophosphates	PO4		0,02	mg PO4/L

2.5.2.3 Référentiel d'interprétation

Pour l'interprétation des résultats l'arrêté du 25 janvier 2010 a été utilisé. Une fiche synthèse de l'arrêté fixé par la DCE est consultable en Annexe 8. Ce système d'évaluation permet de définir des classes d'état de la qualité des eaux. Le Tableau 9 récapitule les différentes classes de qualité associées à un code colorimétrique.

Tableau 9 : classes de qualité de l'arrêté du 25 janvier 2010

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

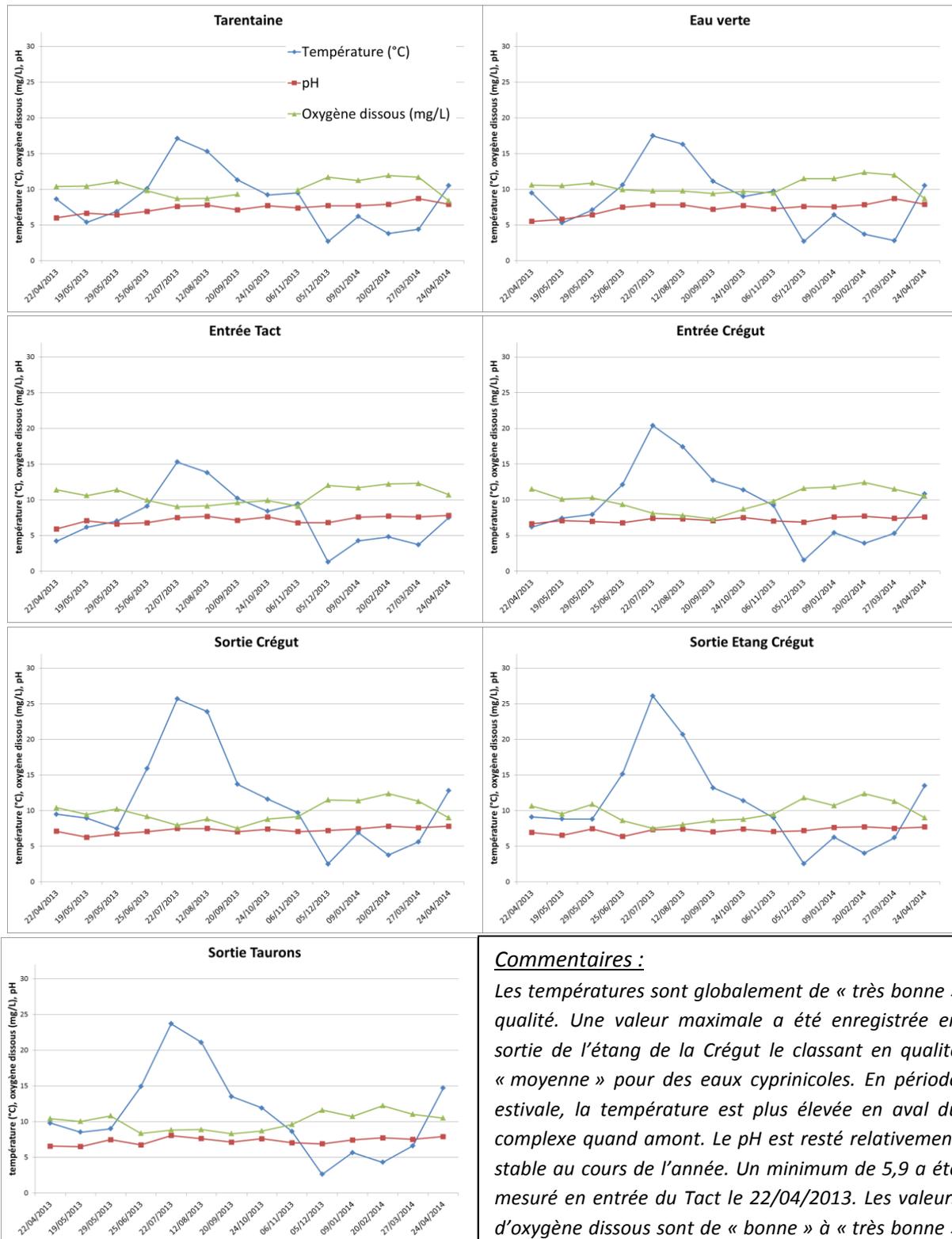
2.5.3 Résultats des paramètres physico-chimiques

Les résultats de chaque paramètre sont présentés dans les pages suivantes. Un commentaire a été ajouté aux figures et aux tableaux d'interprétation.

Une analyse statistique des données a été réalisée en ANNEXE 7 (Diagramme de Tukey).



Température, Oxygène dissous et pH



Commentaires :

Les températures sont globalement de « très bonne » qualité. Une valeur maximale a été enregistrée en sortie de l'étang de la Crégut le classant en qualité « moyenne » pour des eaux cyprinicoles. En période estivale, la température est plus élevée en aval du complexe quand amont. Le pH est resté relativement stable au cours de l'année. Un minimum de 5,9 a été mesuré en entrée du Tact le 22/04/2013. Les valeurs d'oxygène dissous sont de « bonne » à « très bonne » qualité.

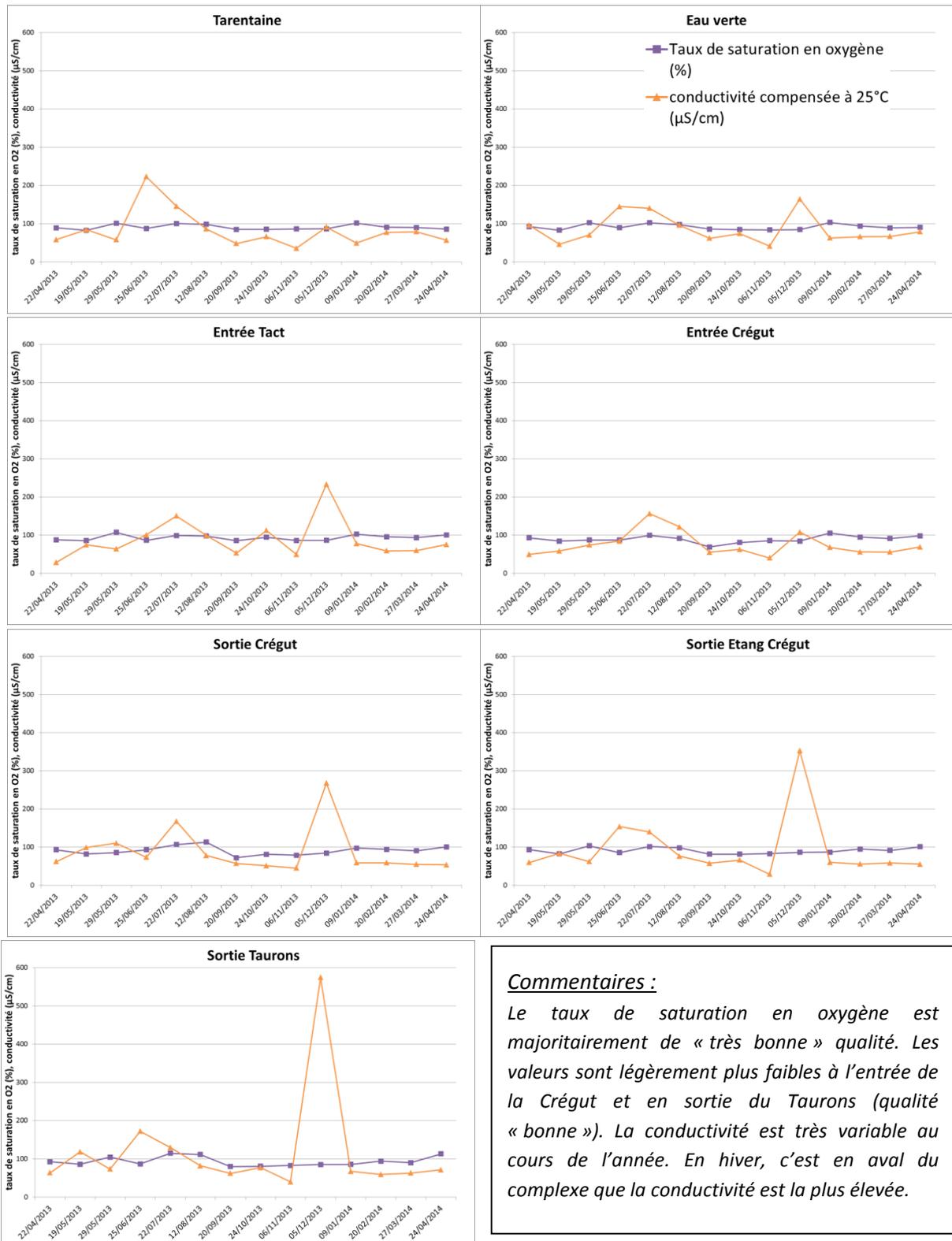
Evaluation de l'état de qualité des paramètres Température, pH et Oxygène dissous en comparant le percentile 90 aux valeurs seuil de l'Arrêté du 25 janvier 2010

	Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut	Sortie étang Crégut	Sortie Taurons
Température (°C)	14,1	14,7	12,7	16,0	21,5	19,0	19,2
pH	7,9	7,9	7,7	7,6	7,7	7,7	7,8
Oxygène dissous (mg/L)	11,7	11,9	12,2	11,7	11,5	11,7	11,4

Figure 12 : résultats de la température, du pH et de l'oxygène dissous des stations en rivière



Taux de saturation en oxygène et conductivité



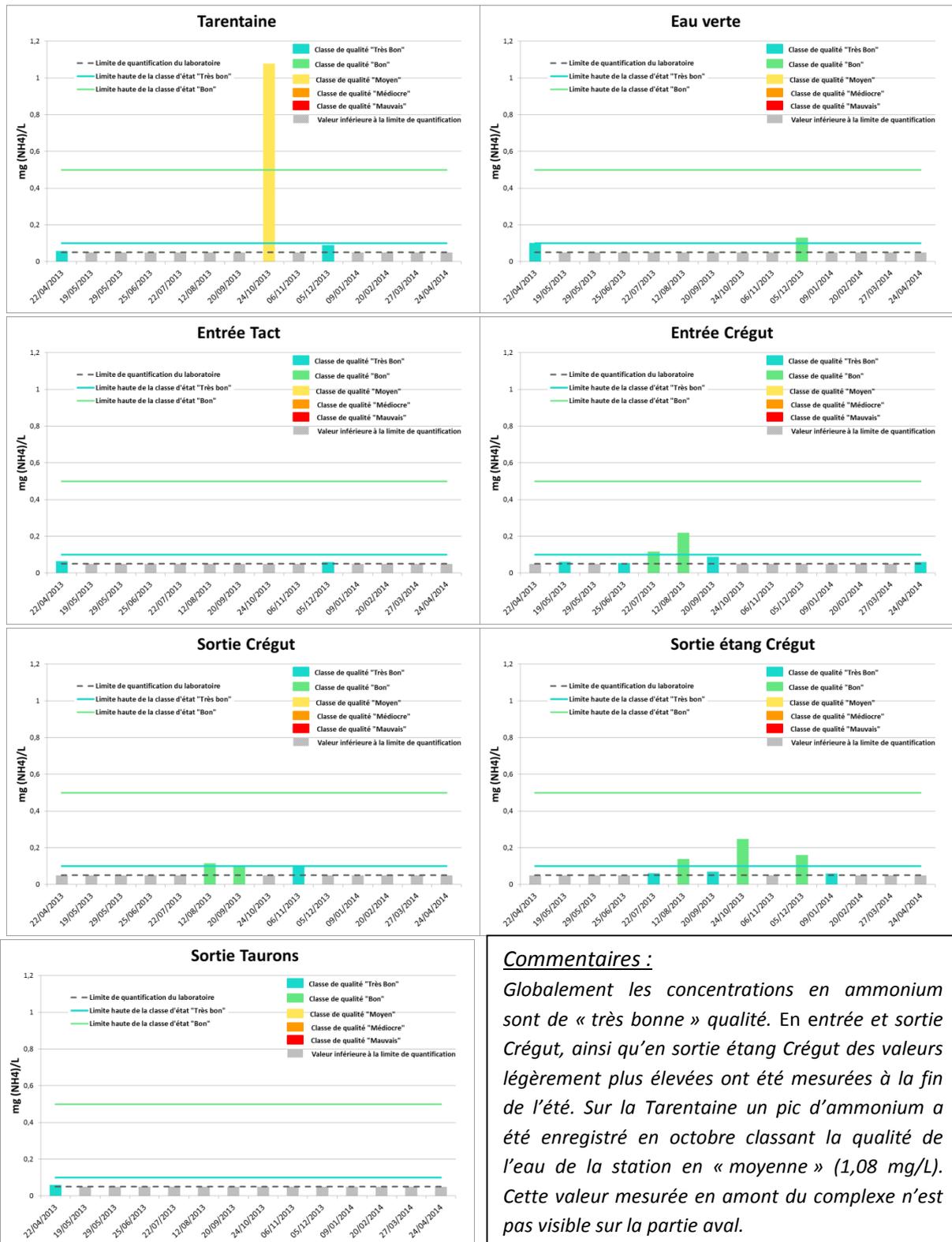
Evaluation de l'état de qualité des paramètres Taux de saturation et Conductivité en comparant le percentile 90 aux valeurs seuil de l'Arrêté du 25 janvier 2010

Taux de saturation (%)	100,9	102,2	101,7	98,6	104,5	100,9	112,3
Conductivité (µS/cm)	129,2	143,4	138,5	117,1	150,2	149,4	159,0

Figure 13 : résultats du taux de saturation en oxygène et de la conductivité des stations en rivière



Ammonium (NH₄)



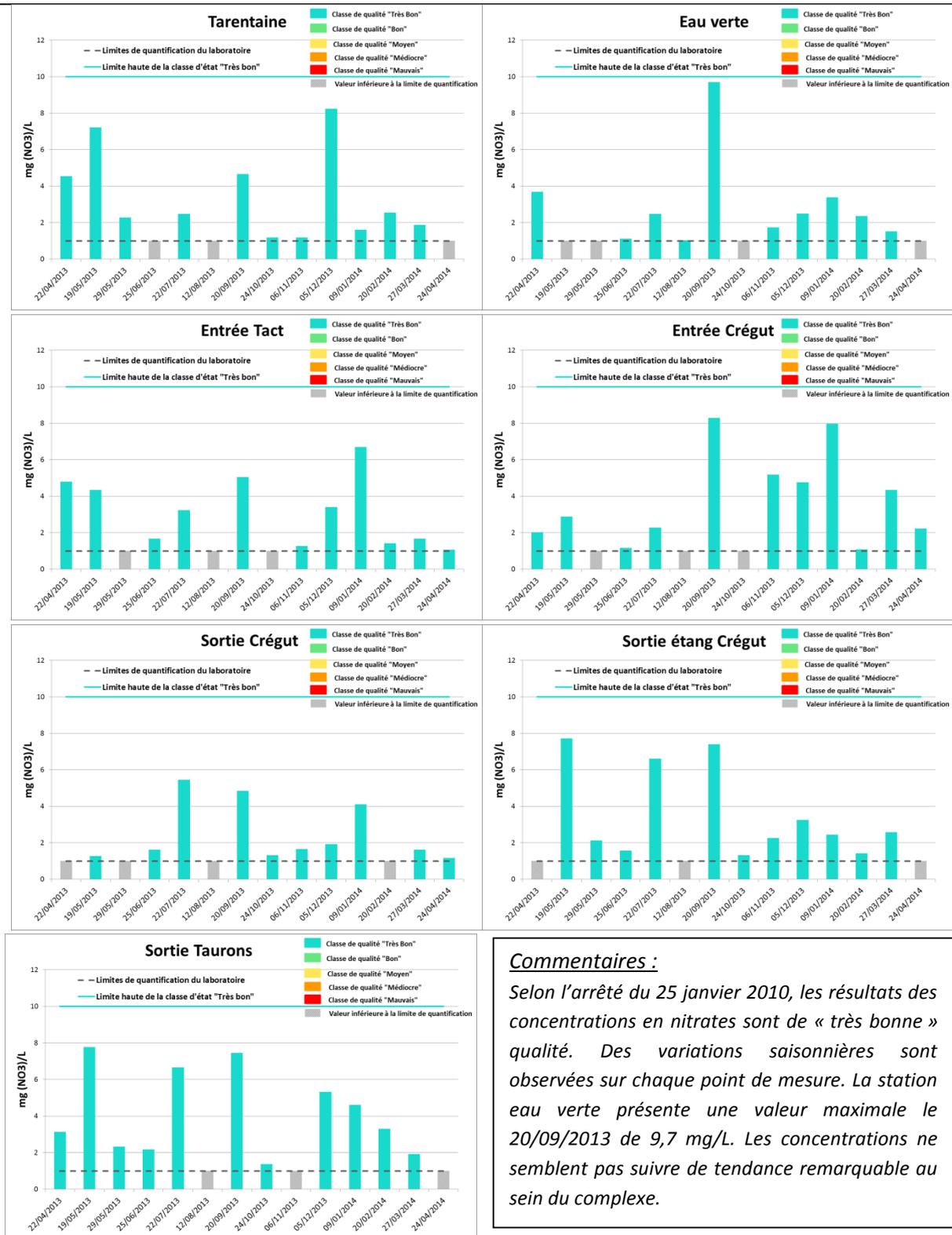
Evaluation de l'état de qualité du paramètre Ammonium en comparant le percentile 90 aux valeurs seuil de l'Arrêté du 25 janvier 2010

Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut	Sortie étang Crégut	Sortie Taurons
0,080	0,086	0,057	0,108	0,101	0,154	0,050

Figure 14 : résultats des concentrations en ammonium des stations en rivière



Nitrates (NO₃)



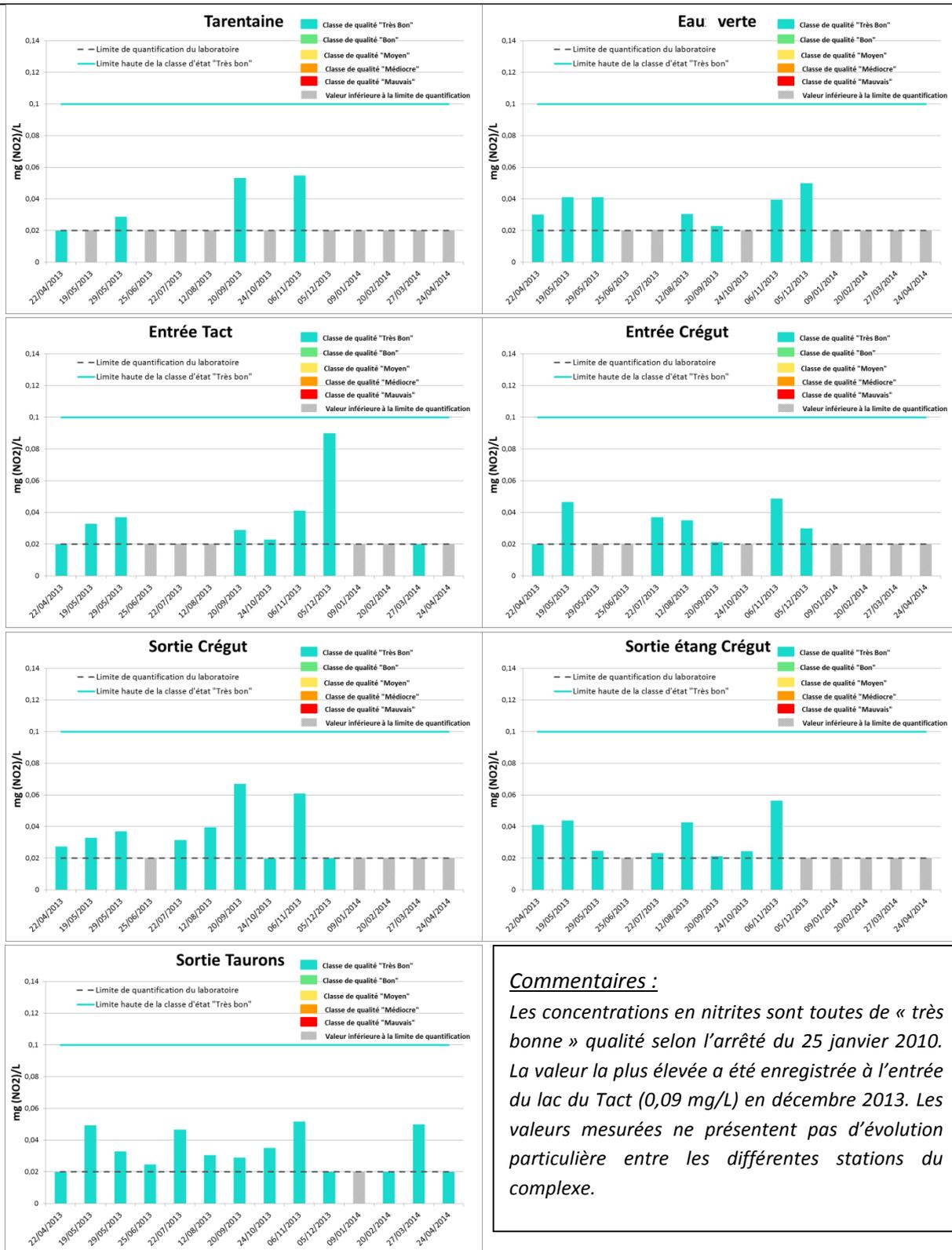
Evaluation de l'état de qualité du paramètre Nitrate en comparant le percentile 90 aux valeurs seuil de l'Arrêté du 25 janvier 2010

Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut	Sortie étang Crégut	Sortie Taurons
6,5	3,6	5,0	7,1	4,6	7,2	7,2

Figure 15 : résultats des concentrations en nitrates des stations en rivière



Nitrites (NO₂)



Evaluation de l'état de qualité du paramètre Nitrite en comparant le percentile 90 aux valeurs seuil de l'Arrêté du 25 janvier 2010

Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut	Sortie étang Crégut	Sortie Taurons
0,046	0,041	0,040	0,044	0,054	0,043	0,050

Figure 16 : résultats des concentrations en nitrites des stations en rivière



Azote Kjeldahl

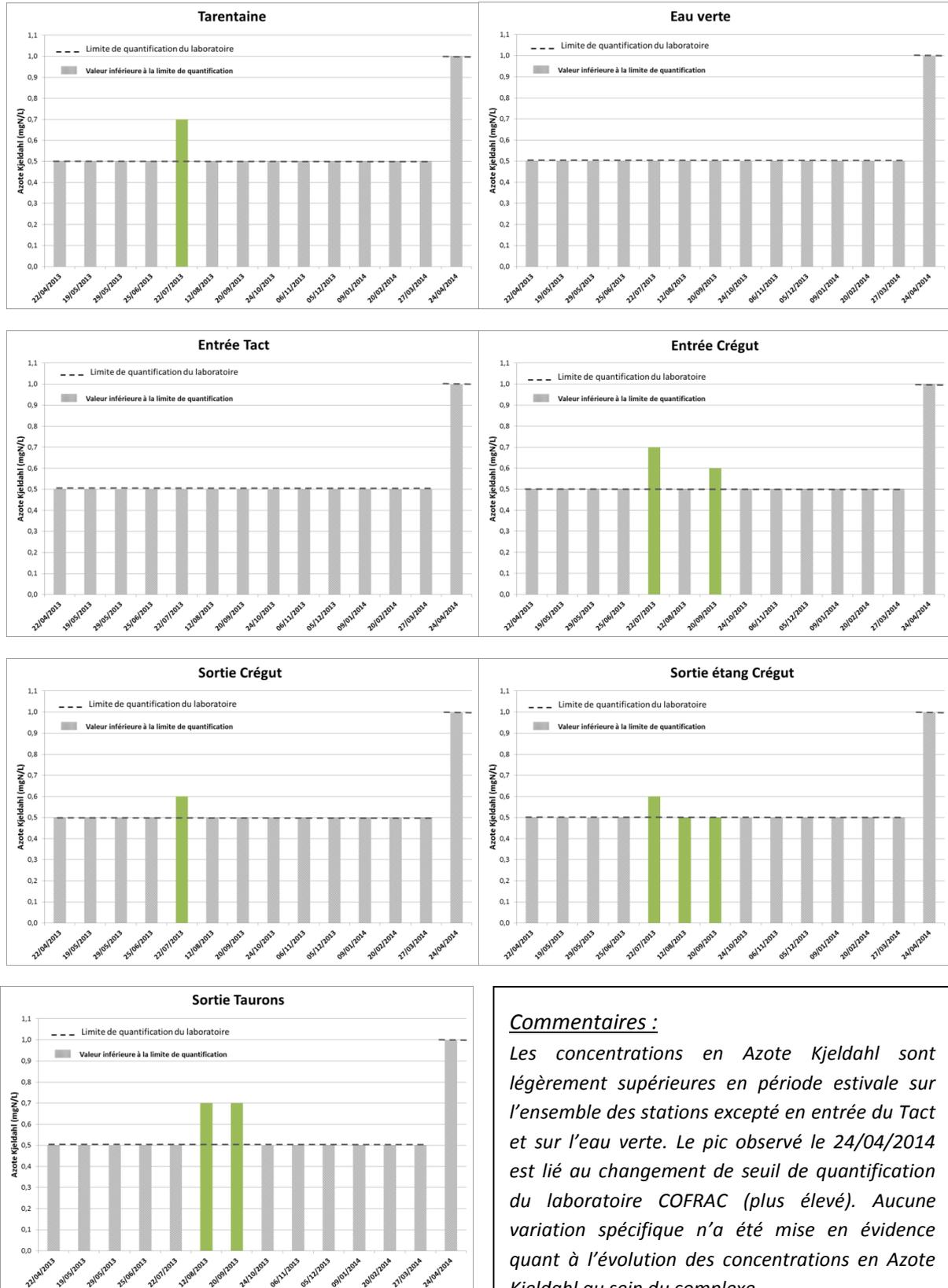
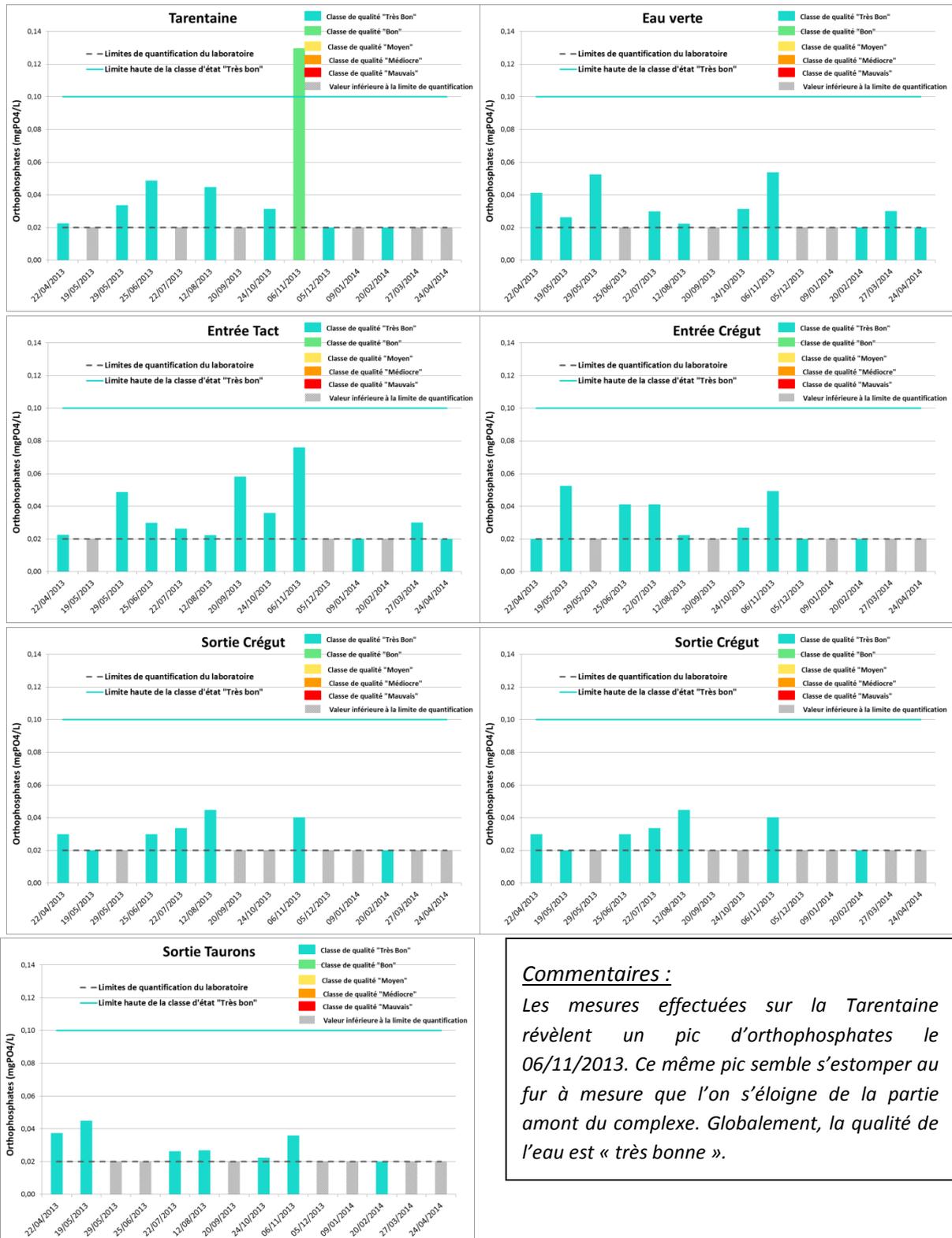


Figure 17 : résultats des concentrations en azote Kjeldahl des stations en rivière



Orthophosphates (PO4)

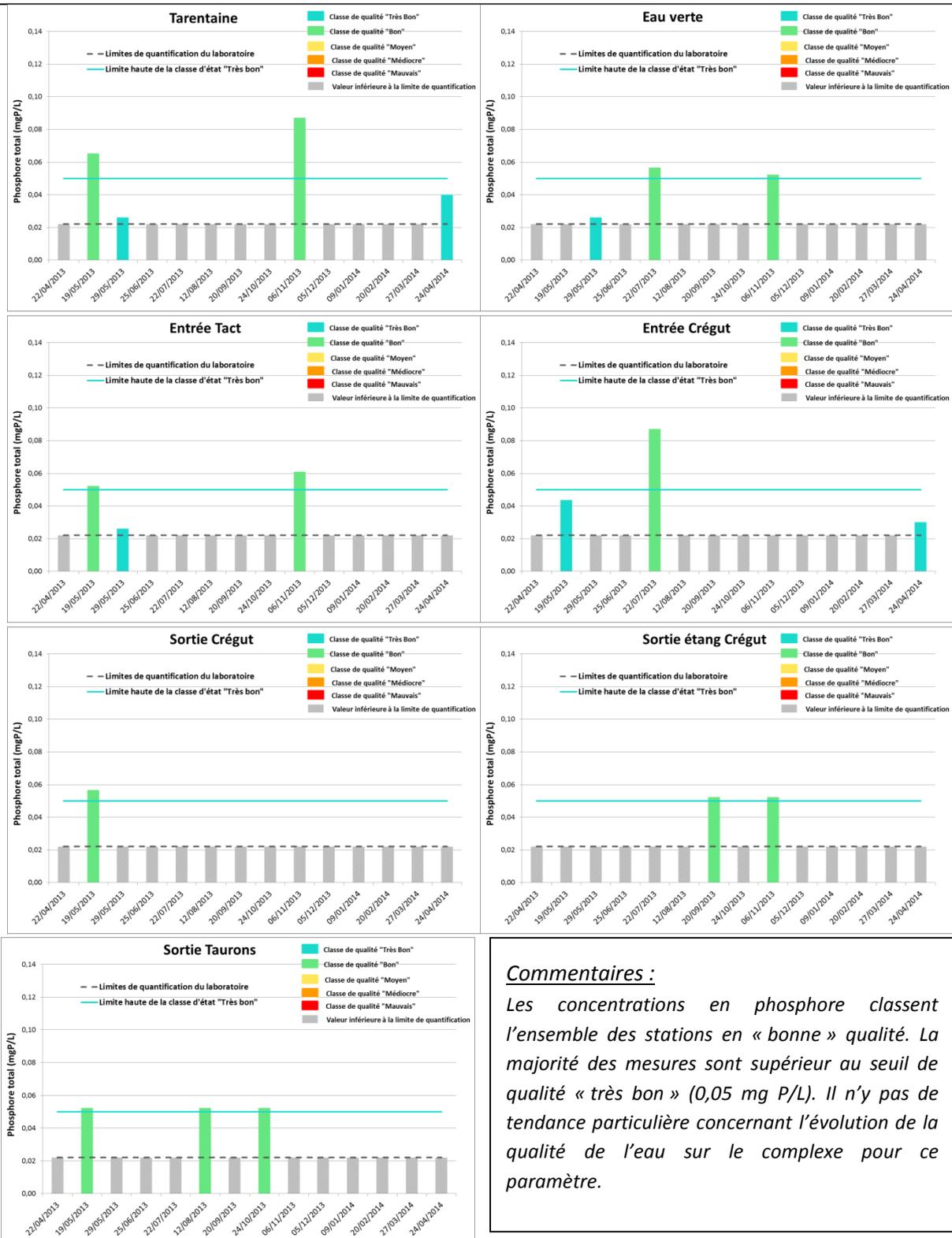


Evaluation de l'état de qualité du paramètre Orthophosphate en comparant le percentile 90 aux valeurs seuil de l'Arrêté du 25 janvier 2010						
Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut	Sortie étang Crégut	Sortie Taurons
0,048	0,049	0,055	0,047	0,038	0,043	0,037

Figure 18 : résultats des concentrations en PO4 des stations en rivière



Phosphore total (P total)



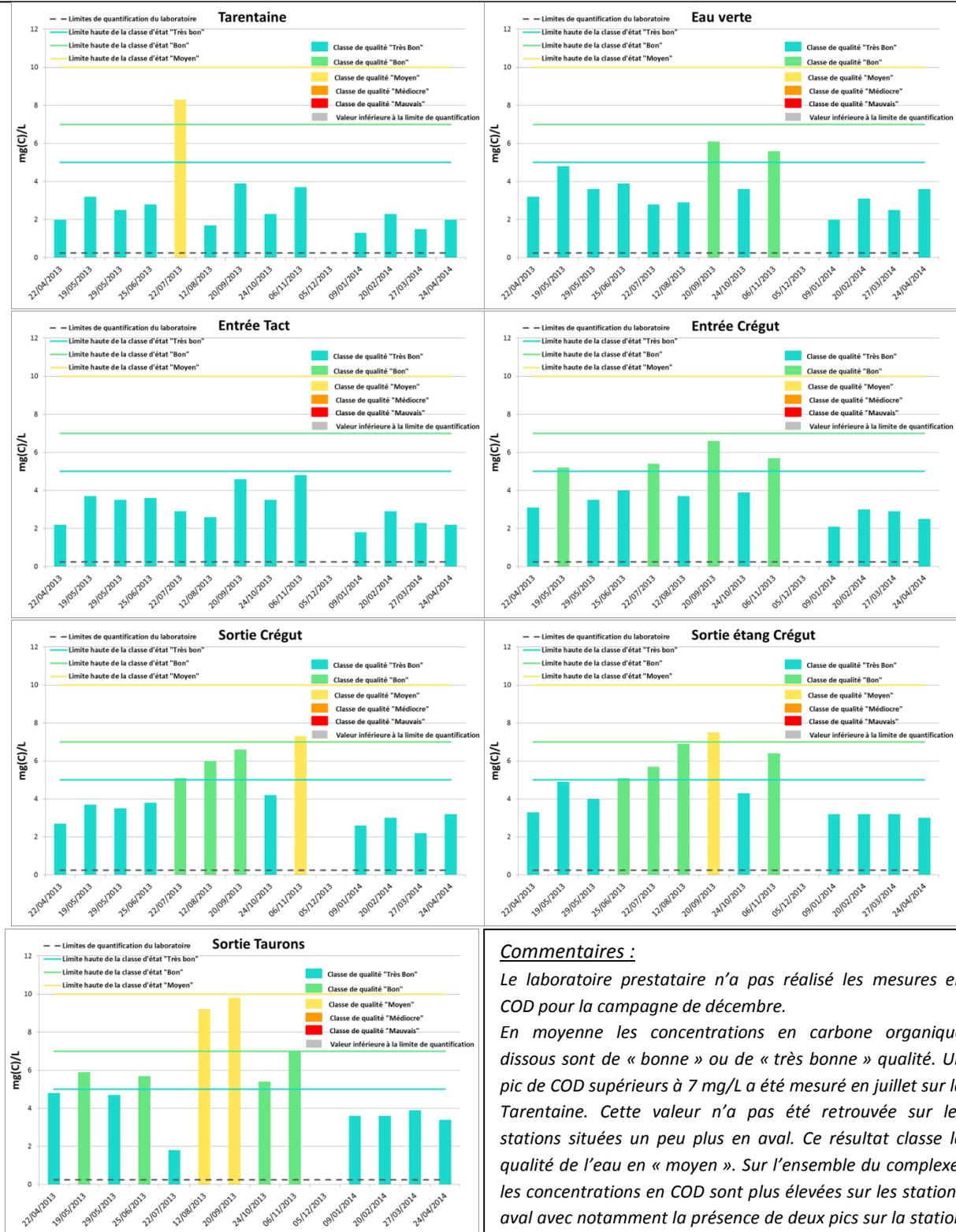
Evaluation de l'état de qualité du paramètre Phosphore en comparant le percentile 90 aux valeurs seuil de l'Arrêté du 25 janvier 2010

Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut	Sortie étang Crégut	Sortie Taurons
0,058	0,044	0,044	0,040	0,022	0,043	0,052

Figure 19 : résultats des concentrations en P total des stations en rivière



Carbone Organique Dissous (COD)



Commentaires :
 Le laboratoire prestataire n'a pas réalisé les mesures en COD pour la campagne de décembre.
 En moyenne les concentrations en carbone organique dissous sont de « bonne » ou de « très bonne » qualité. Un pic de COD supérieurs à 7 mg/L a été mesuré en juillet sur la Tarentaine. Cette valeur n'a pas été retrouvée sur les stations situées un peu plus en aval. Ce résultat classe la qualité de l'eau en « moyen ». Sur l'ensemble du complexe, les concentrations en COD sont plus élevées sur les stations aval avec notamment la présence de deux pics sur la station sortie Taurons déclassant la qualité de l'eau en « moyen ».

Evaluation de l'état de qualité du paramètre Carbone Organique Dissous en comparant le percentile 90 aux valeurs seuil de l'Arrêté du 25 janvier 2010						
Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut	Sortie étang Crégut	Sortie Taurons
3,9	5,4	4,4	5,6	6,5	6,8	8,8

Figure 20 : résultats des concentrations en carbone organique dissous des stations en rivière



Matières en suspension (MES)

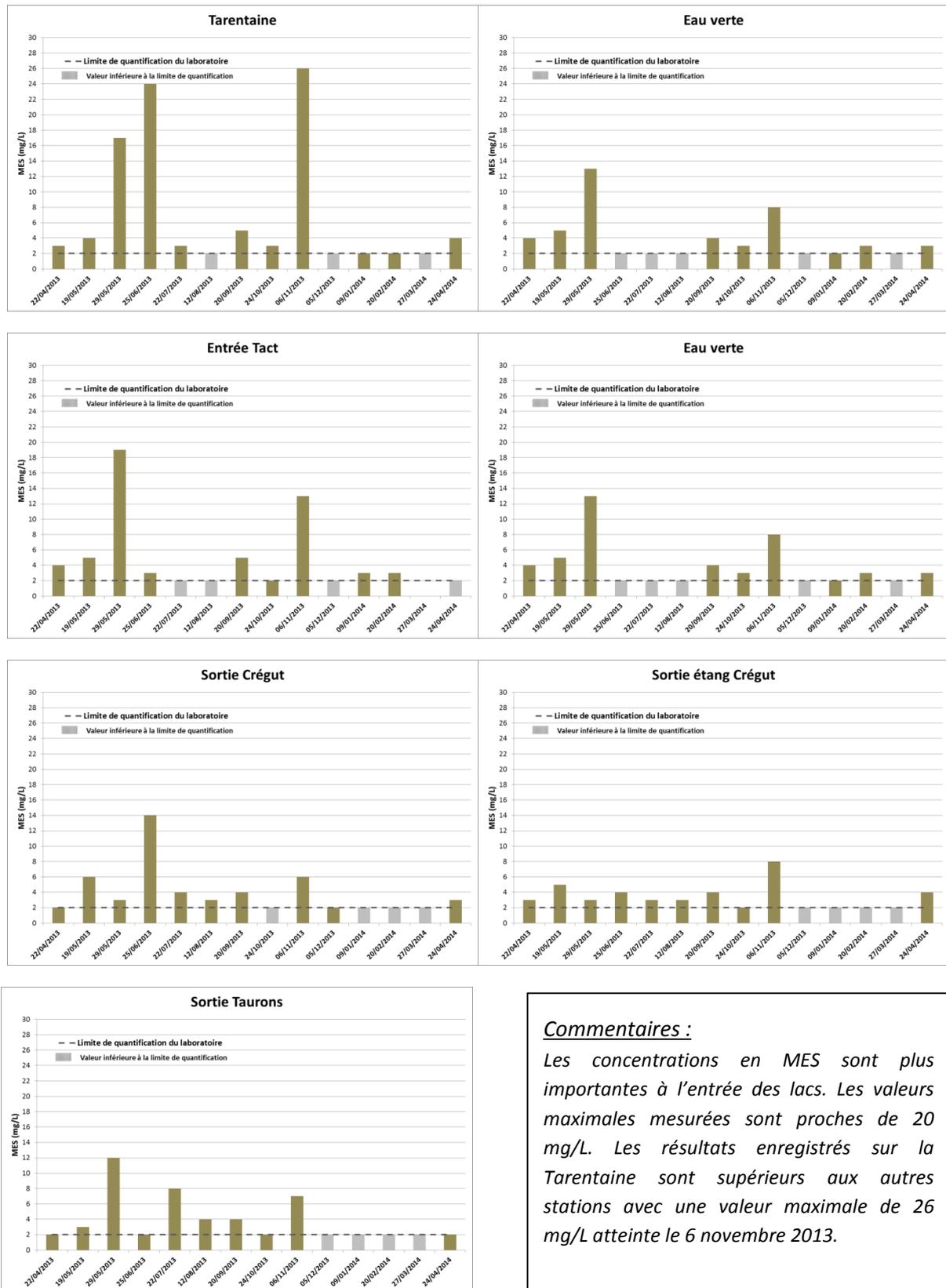
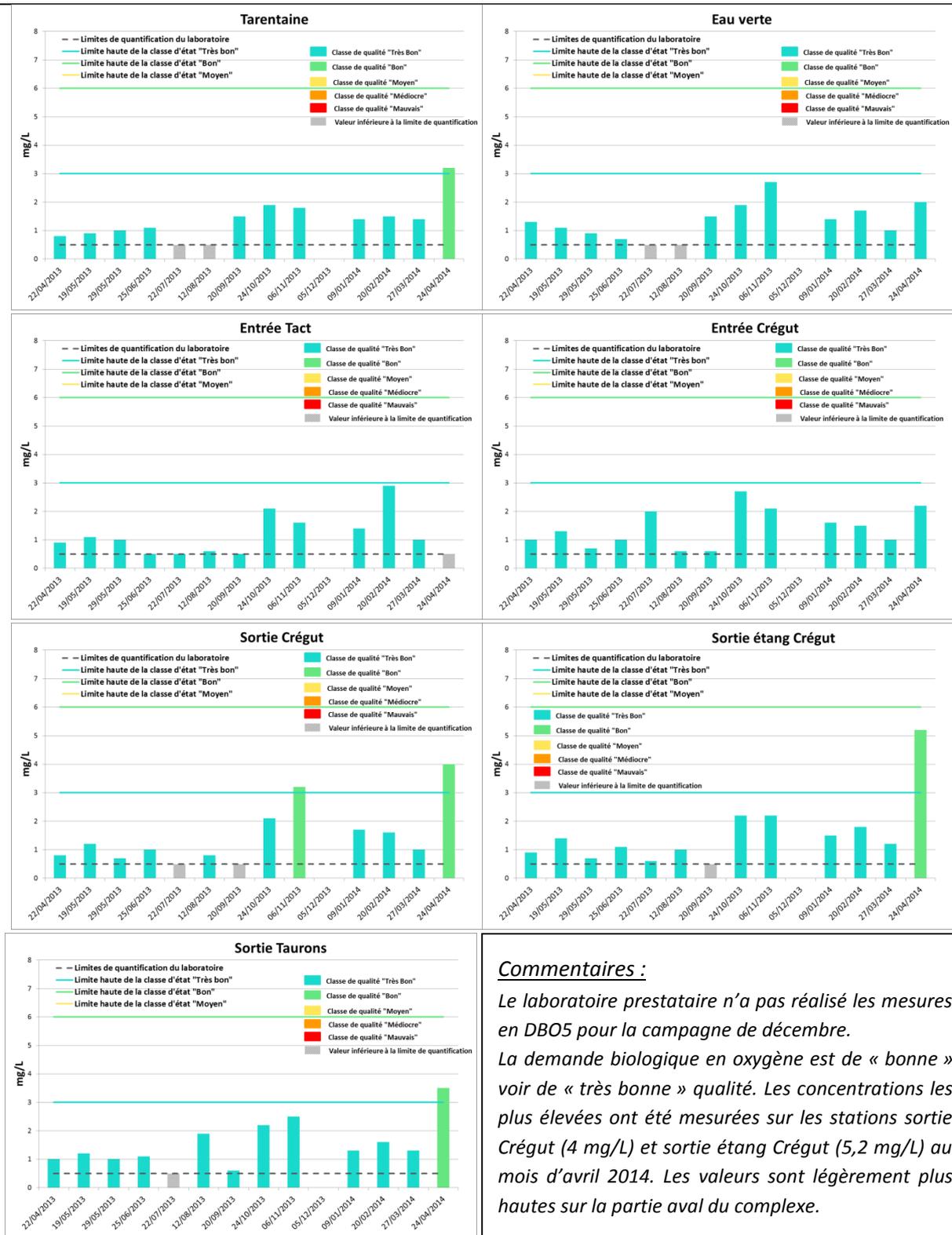


Figure 21 : résultats des concentrations en MES des stations en rivière



Demande biologique en oxygène (DBO5)



Evaluation de l'état de qualité du paramètre DBO5 en comparant le percentile 90 aux valeurs seuil de l'Arrêté du 25 janvier 2010

Tarentaine	Eau verte	Entrée Tact	Entrée Crégut	Sortie Crégut	Sortie étang Crégut	Sortie Taurons
1,9	2,0	2,0	2,2	3,0	2,2	2,4

Figure 22 : résultats des concentrations en DBO5 des stations en rivière



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 23) :

- **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).

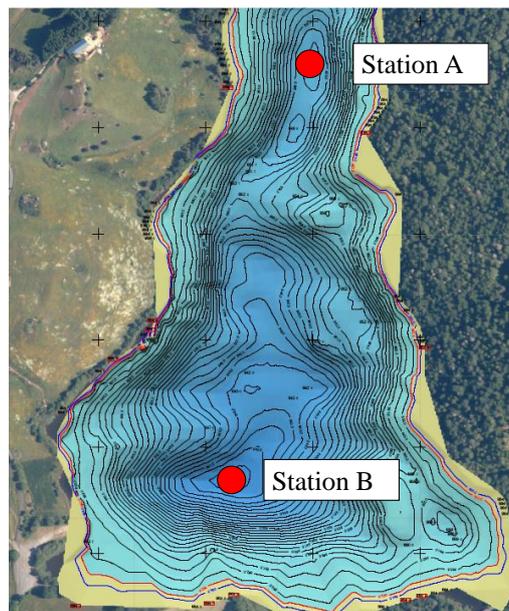


Figure 23 : station de suivi lacustre sur le lac de la Crégut

3.2 FREQUENCE DE PRELEVEMENT

Les profils et les analyses physico-chimiques ont été effectués 5 fois dans l'année. La campagne de janvier a été ajoutée au suivi car lors de la campagne d'octobre la colonne d'eau était encore désoxygénée au fond :

- Le 5 avril 2013
- Le 28 mai 2013
- Le 14 août 2013
- Le 11 octobre 2013
- Le 8 janvier 2014

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



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

Date de prélèvement	Date de dépôt	Heure de prélèvement (heure d'hiver)	
		Station A	Station B
05/04/2013	05/04/2013	14:15	11:00
28/05/2013	29/05/2013	10:00	09:15
14/08/2013	14/08/2013	09:45	09:00
11/10/2013	11/10/2013	09:30	09:00
08/01/2014	09/01/2014	12:00	11:45

3.3 MATERIEL ET METHODE

Sur chaque station il a été réalisé :

- Un profil vertical
- Des prélèvements physico-chimiques
- Une analyse de la communauté phytoplanctonique

3.3.1 Les profils verticaux

Les profils ont été effectués à l'aide d'une sonde multiparamètres mesurant la profondeur, l'oxygène, 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-chimique

Les prélèvements d'eau ont été réalisés à l'aide d'une bouteille fermante à 1 m du fond et sur la zone euphotique par prélèvement intégré. Ils ont été acheminés vers le laboratoire en malle isotherme à 4°C et à l'obscurité. Une partie des analyses a été effectuée par le laboratoire EUROFINIS (Institut Louise Blanquet de Clermont-Ferrand), accrédité COFRAC. Les analyses des nitrates, nitrites, ammonium et orthophosphates ont été effectués en interne car nos seuils de quantifications sont plus bas que ceux du laboratoire sous-traitant. En plus de la Chlorophylle α , les analyses réalisées sont identiques à celles présentées au 2.5.2.2. L'ensemble des paramètres mesurés ainsi que les normes sont présentés dans le Tableau 8.

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 lac.

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

3.3.4 Le référentiel d'interprétation

3.3.4.1 Arrêté du 25 janvier 2010

Pour l'interprétation des résultats l'arrêté du 25 janvier 2010 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 9 récapitule les différentes classes de qualité associées à un code colorimétrique.



Tableau 11 : classes de qualité de l'arrêt du 25 janvier 2010

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)

Pour caractériser le niveau trophique du lac, la classification de l'OCDE a été appliquée. Dans un rapport préparé pour l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE), Wollenweider et Kerekes ont proposé une classification des niveaux trophiques prenant en compte trois critères : la concentration en phosphore total, la concentration en chlorophylle *a* et la mesure de transparence (disque de Secchi).

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	≤ 10	≤ 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 24 et la Figure 25 reprennent les résultats des profils verticaux.

Sur la station A, à l'exception du mois d'août, les concentrations en oxygènes sont homogènes dans la colonne d'eau. La désoxygénation n'est pas totale. Sur la station B, la stratification du plan d'eau est plus marquée. La désoxygénation des eaux profondes est observée lors des campagnes d'août et d'octobre.

Le Tableau 12 compare les résultats de transparence et d'oxygène aux valeurs seuil de l'arrêt du 25 janvier 2010. Pour ces paramètres l'arrêt s'applique sur minimum 3 campagnes en période estivale. Les 3 campagnes correspondantes sont : mai, juillet et octobre.

La transparence mesurée en août révèle une qualité « médiocre ». La désoxygénation de l'hypolimnion entre la surface et le fond est supérieure à 50% sur la station B (au point le plus profond).

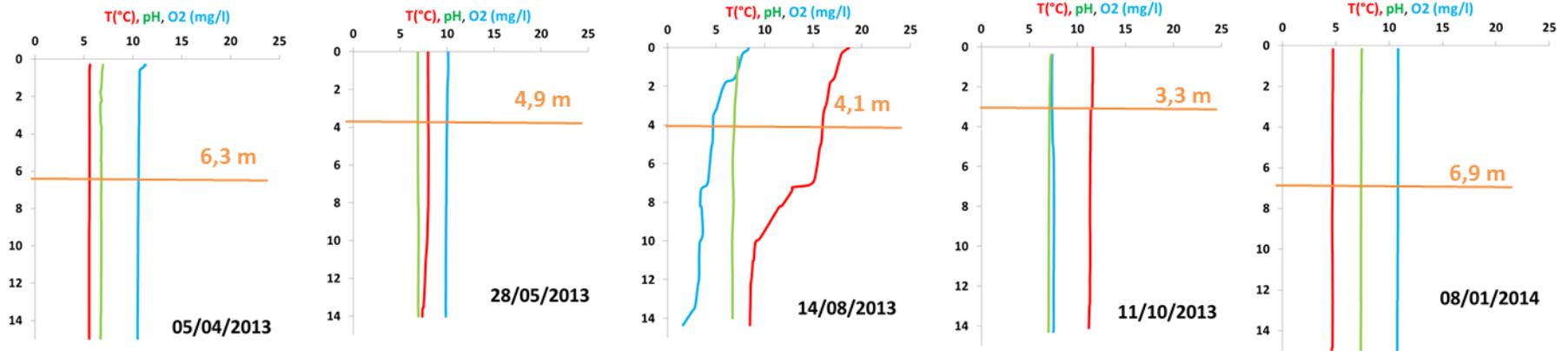
Tableau 12 : comparaison des résultats de transparence et d'oxygénation aux valeurs seuil de l'arrêt du 25 janvier 2010

	Station A	Station B
Transparence moyenne estivale	1.63	1.6
Désoxygénation de l'hypolimnion en % du déficit observé entre la surface et le fond pendant la période estivale (pour les lacs stratifiés)*	25%	66%

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



STATION A



— Limite de la zone euphotique

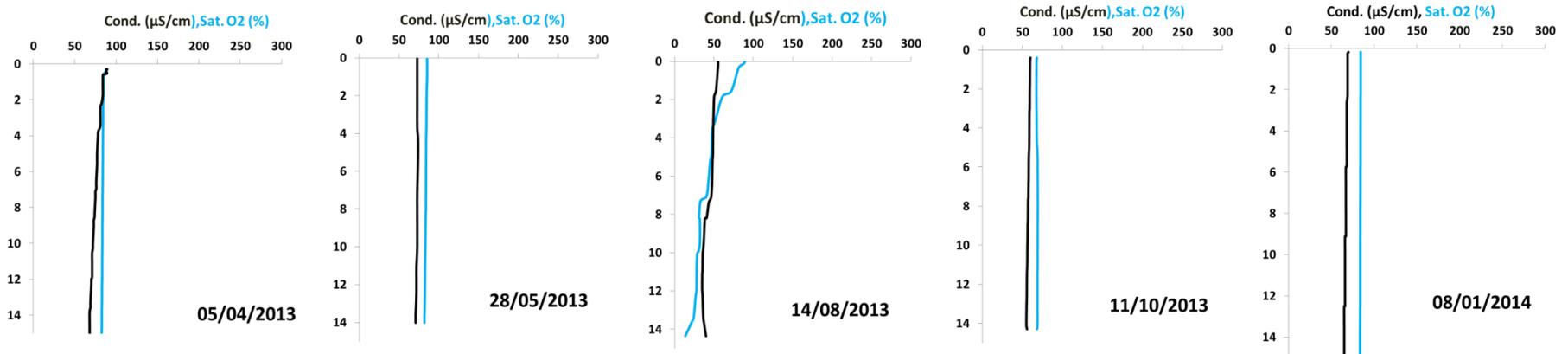
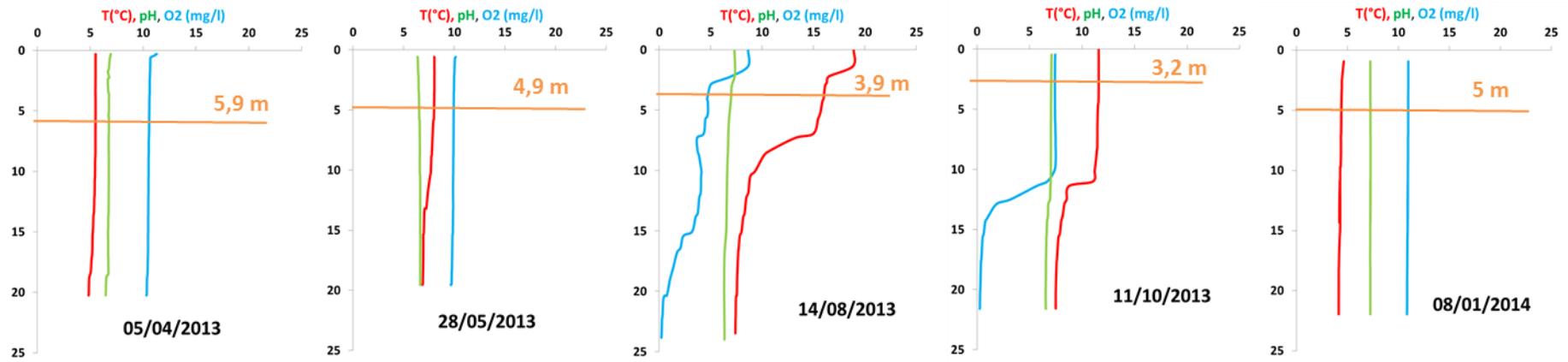


Figure 24 : résultats des profils verticaux de la station A



STATION B



— Limite de la zone euphotique

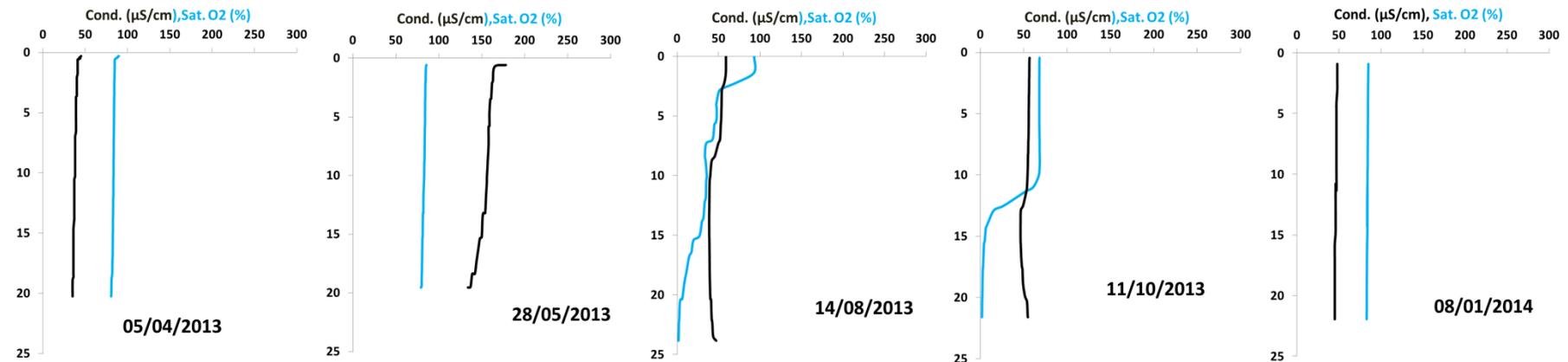


Figure 25 : résultats des profils verticaux de la station B



3.5 RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES

3.5.1 Paramètres phosphorés

Phosphore total

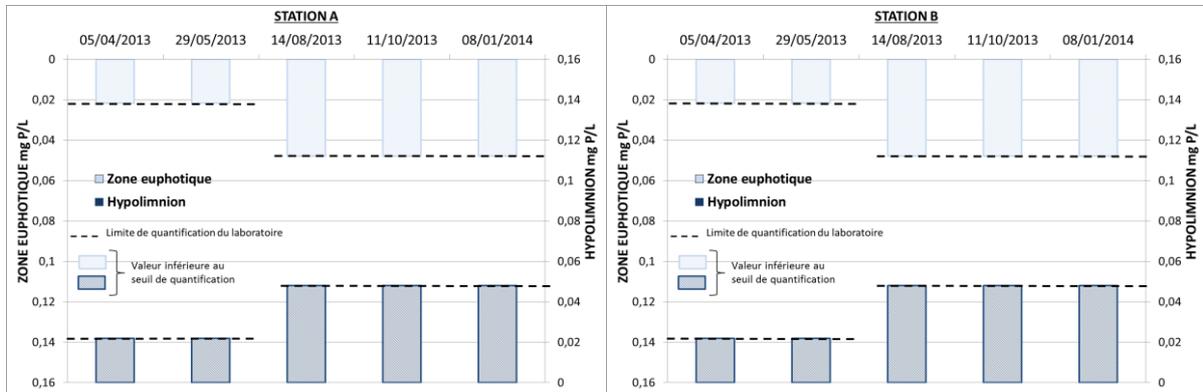


Figure 26 : résultats des concentrations en phosphore total des stations A et B

Tableau 13 : comparaison des concentrations en phosphore total aux seuils de l'arrêté du 25 janvier 2010

DATES	Ptotal (mg P/L)	
	Station A	Station B
28/05/2013	<0,02	<0,02
14/08/2013	<0,05	<0,05
11/10/2013	<0,05	<0,05

Orthophosphates (PO4)

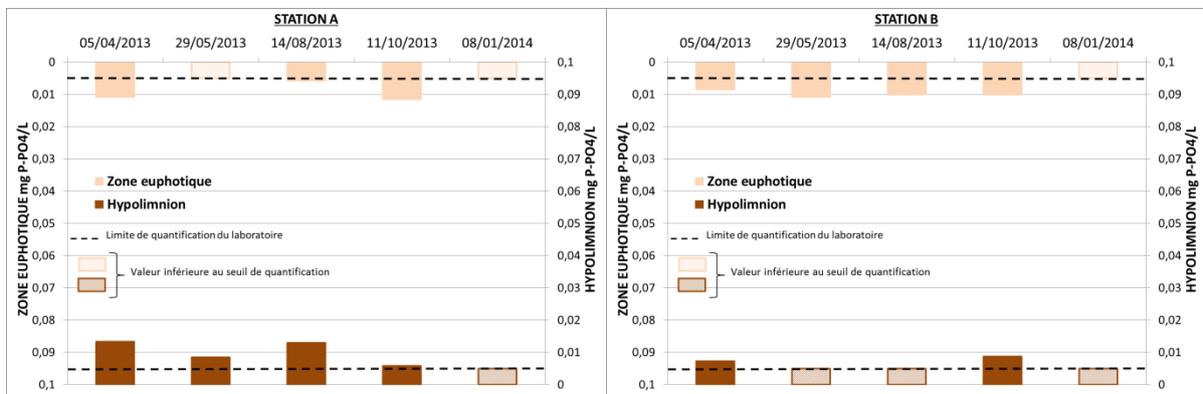


Figure 27 : résultats des concentrations en orthophosphates des stations A et B

Tableau 14 : comparaison des concentrations en orthophosphates aux seuils de l'arrêté du 25 janvier 2010

DATES	P-PO4 (mgP/l)	
	Station A	Station B
28/05/2013	0.005	0.011
14/08/2013	0.006	0.010
11/10/2013	0.012	0.010



Commentaires :

Pour un temps de séjour inférieur à 2 mois (9 jours pour la Crégut), la valeur utilisée pour évaluer l'état écologique d'un lac pour les paramètres phosphorés est le maximum des valeurs des 3 campagnes estivales (mai, août et octobre)

Pour le phosphore total, les limites de quantification du laboratoire ne permettent pas de définir si la classe de qualité est « bonne » ou « très bonne ».

Les concentrations en orthophosphates révèlent une qualité « bonne » sur la station A (campagne d'octobre) ainsi que sur la station B (campagne de mai)



3.5.2 Paramètres azotés

Ammonium (NH₄)

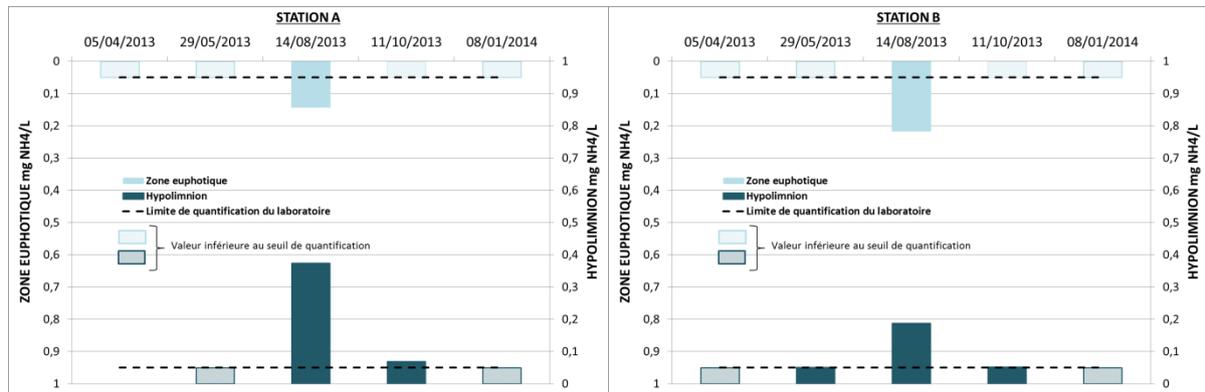


Figure 28 : résultats des concentrations en ammonium des stations A et B

Nitrates (NO₃)

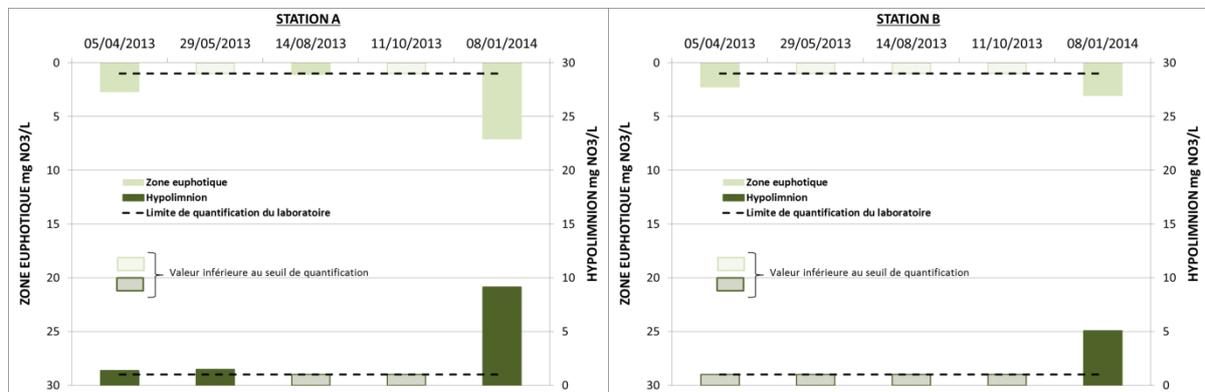


Figure 29 : résultats des concentrations en nitrates des stations A et B

Tableau 15 : comparaison des résultats des paramètres azotés (en zone euphotique) aux seuils de l'arrêté du 25 janvier 2010

DATES	N minéral (NO ₃ +NH ₄ en mg N/l)	
	Station A	Station B
28/05/2013	0.09	0.26
14/08/2013	0.36	0.34
11/10/2013	0.13	0.39

Commentaires :

Pour un temps de séjour inférieur à 2 mois, l'arrêté s'applique pour l'azote minéral maximal observé sur au minimum 3 campagnes estivales (mai, août et octobre).

D'après les résultats, la qualité est « bonne » pour les deux stations.



Nitrites (NO₂)

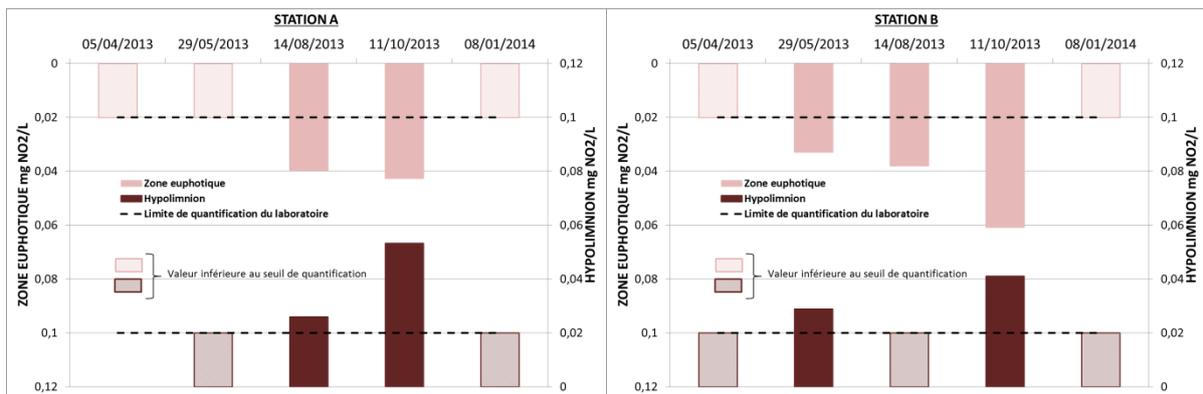


Figure 30 : résultats des concentrations en nitrites des stations A et B

Azote Kjeldahl (NTK)

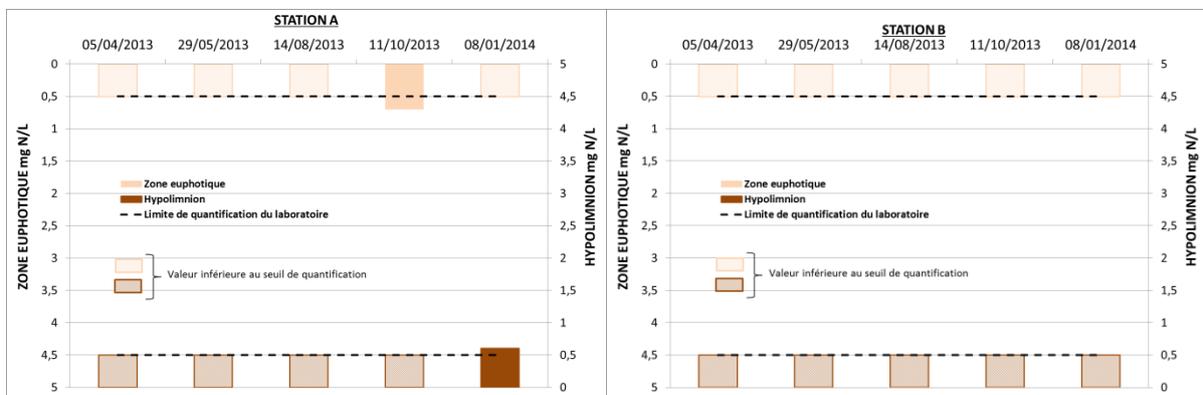


Figure 31 : résultats des concentrations en azote Kjeldahl des stations A et B

Commentaires :

Les concentrations en azote Kjeldahl sont relativement stables depuis avril 2013, elles varient aux alentours de 0,5 mg/L. Les analyses de nitrites révèlent des valeurs plus élevées en octobre sur les deux stations à fond-1m et en zone euphotique.



3.5.3 Matières organiques

Carbone Organique Dissous (COD)

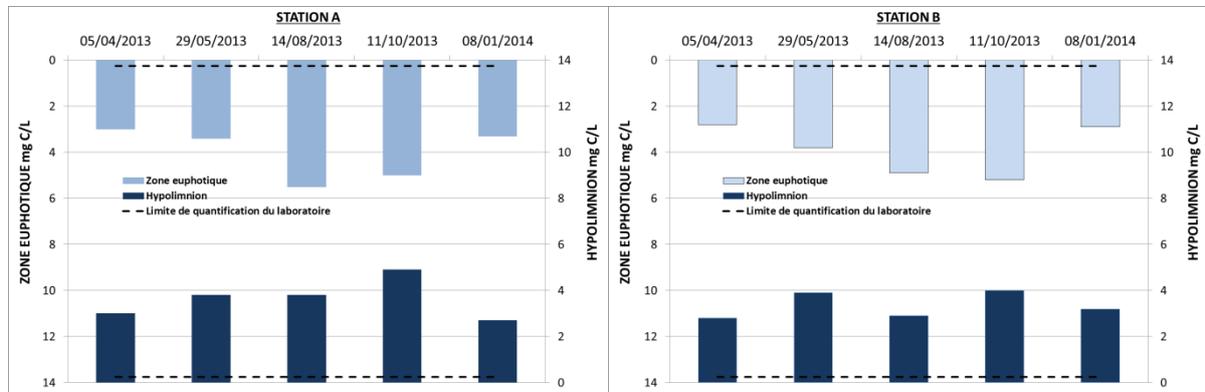


Figure 32 : résultats du carbone organique dissous des stations A et B

Matières en suspensions (MES)

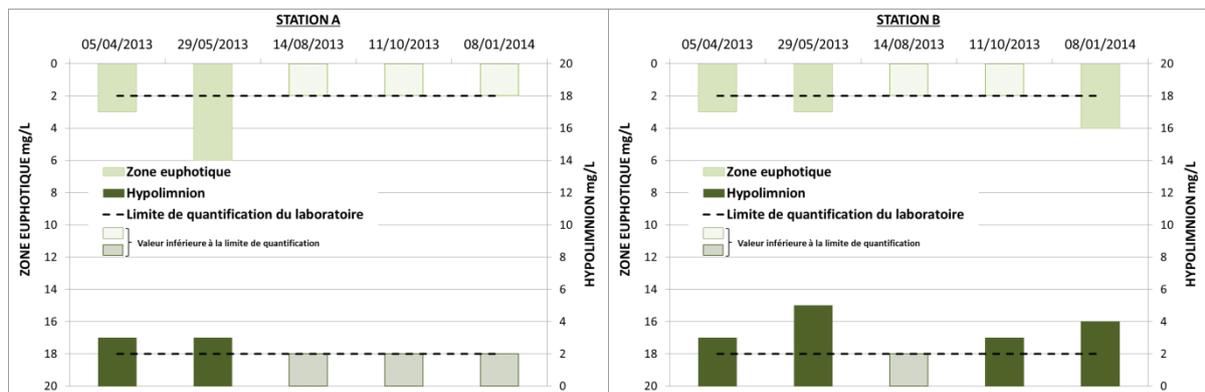


Figure 33 : résultats des matières en suspensions des stations A et B

Commentaires :

Les concentrations en COD sont plus importantes en fin d'été et au début de l'automne. Sur la station A, les valeurs varient entre 2,7 et 5,5 mg/L. Sur la station B les concentrations varient entre 2,8 et 5,2 mg/L.

Les concentrations en MES sont plus importantes sur la zone euphotique que dans l'hypolimnion pour la station A. A contrario, la quantité de MES est plus importante dans l'hypolimnion qu'en surface sur la Station B. La plus forte concentration en MES a été enregistrée le 29/05/2013 à 6 mg/L sur la station A (zone euphotique) et à 5 mg/L sur la station B (hypolimnion). Ces valeurs restent très faibles.



3.5.4 Demande biologique en oxygène

Demande biologique en oxygène (DBO5)

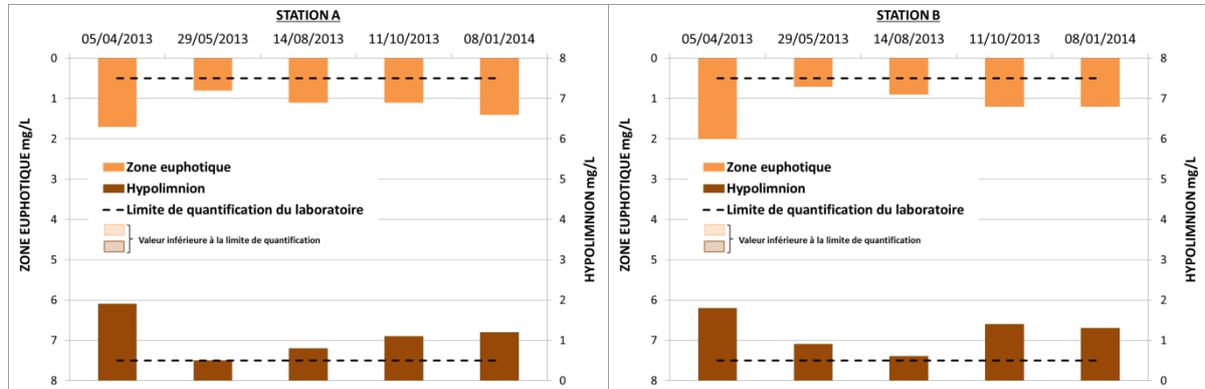


Figure 34 : résultats de la DBO5 des stations A et B

Commentaires :

Globalement la DBO5 est stable, une légère baisse de la concentration a été observée le 29/05/2013.



3.6 RESULTATS DE L'ANALYSE PHYTOPLANCTONIQUE

3.6.1 Dénombrement du phytoplancton

La Figure 35 présente les résultats des dénombrements de phytoplancton sur les deux stations lac en nombre de cellules/mL.

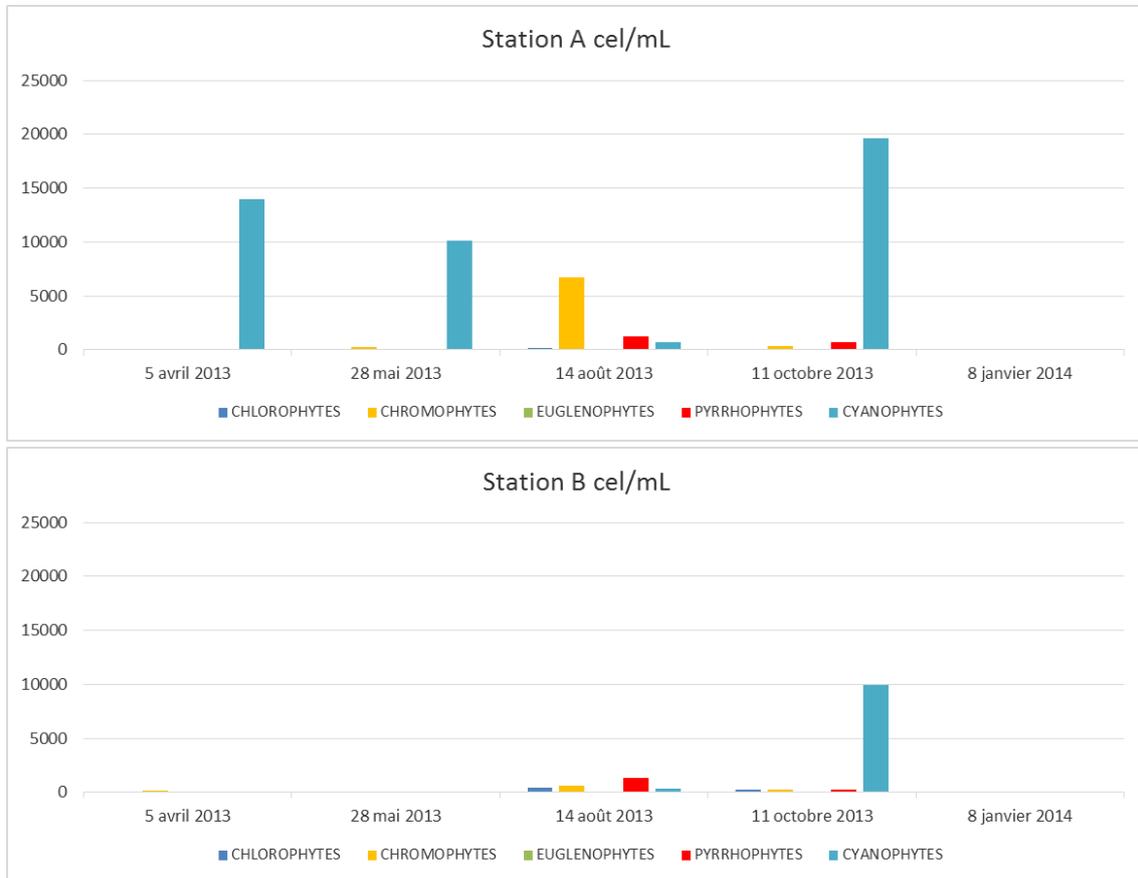


Figure 35 : abondance phytoplanctonique des stations A et B

Commentaires :

L'abondance phytoplanctonique est plus importante sur la station A. Sur cette station les cyanophytes dominent le peuplement en nombre de cellules sur l'ensemble de l'année. Le 11 octobre 2013, la valeur maximale de 19608 cellules/mL a été atteinte. A cette même date, la concentration en Cyanophytes sur la station B a été la plus importante (9918 cellules/mL).



La Figure 36 présente les résultats de la biomasse phytoplanctonique calculée à partir du dénombrement.

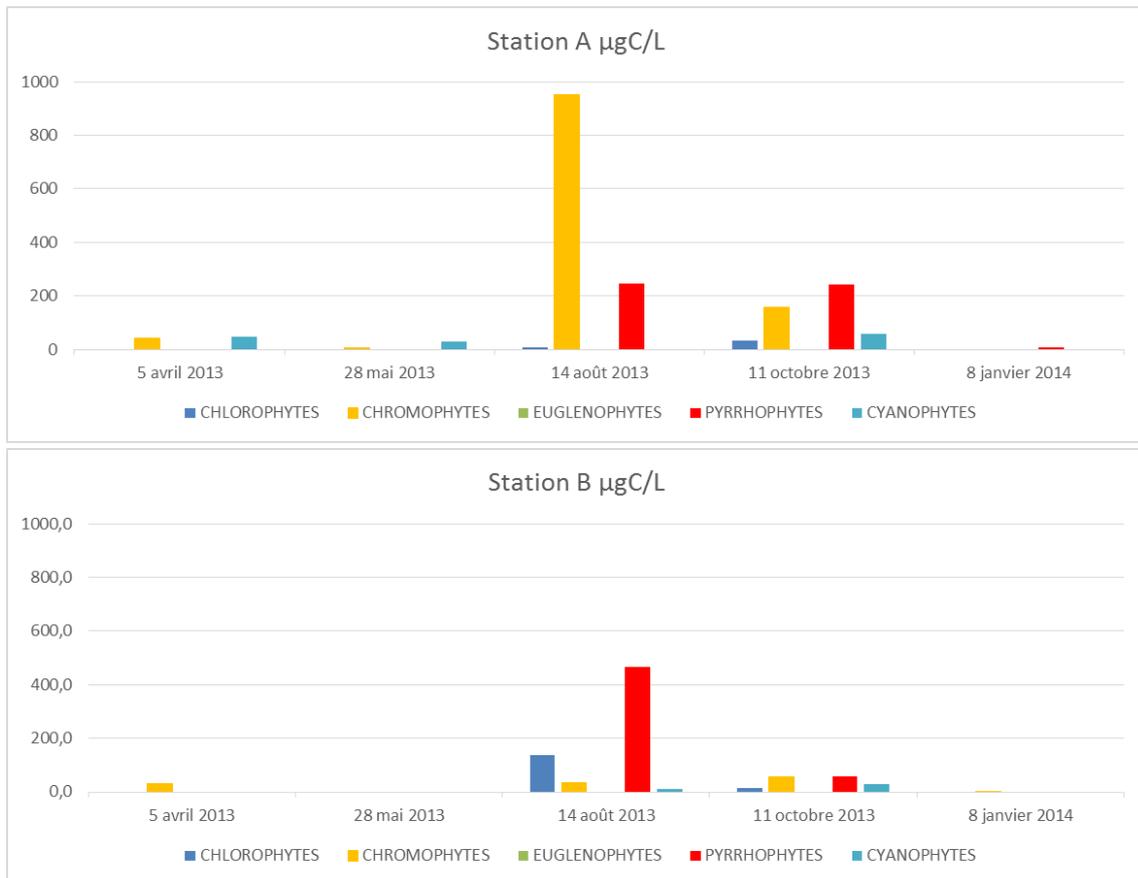


Figure 36 : biomasse phytoplanctonique des stations A et B

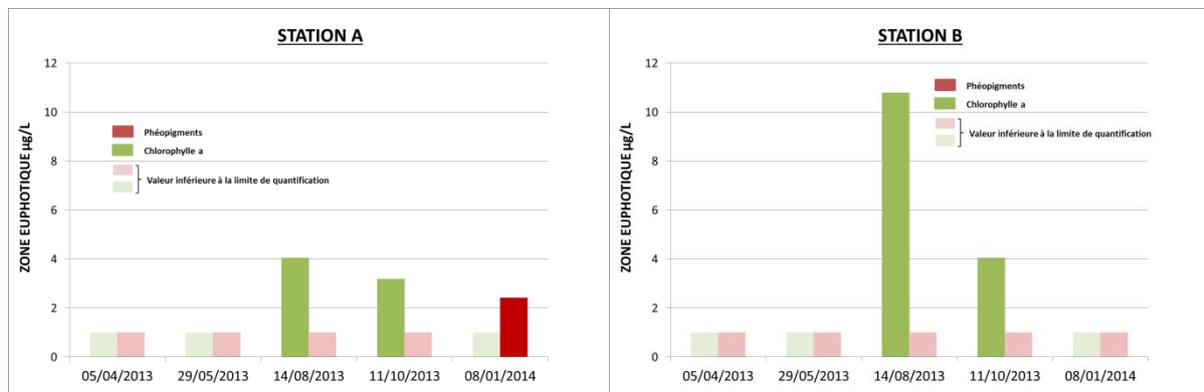
Commentaires :

La biomasse du phytoplancton est plus importante sur la station A que sur la station B. Contrairement à l'abondance, les cyanophytes ne sont pas dominantes. La campagne d'août est la période où la biomasse maximale a été mesurée sur les deux stations. A cette date, ce sont les Chromophytes qui ont la biomasse la plus élevée sur la station A, et les Pyrrhophytes sur la station B.



3.6.2 Chlorophylle a et phéopigments

La Figure 37 présente les résultats de la chlorophylle a et des phéopigments mesurés sur la zone euphotique des deux stations.



DATES	Station A	Station B
28/05/2013	1	1
14/08/2013	4.05	10.8
11/10/2013	3.19	4.05
Moyenne	2.7	5.3

Figure 37 : résultats de la concentration en chlorophylle a et en phéopigments sur les stations A et B

Commentaires :

Les concentrations en chlorophylle a mesurées en août et en octobre 2013 sont plus élevées que lors des autres dates (biomasses phytoplanctoniques plus importantes). Les valeurs maximales sont rencontrées lors de la campagne estivale (station A : 4,05 µg/L et station B : 10,8 µg/L). La station B présente des concentrations plus importantes que la station A notamment en août et octobre.

Les phéopigments sont globalement stables tout au long de l'année (environ 0,9 µg/L) excepté en janvier 2014 sur la station A où la concentration est légèrement supérieure (2,9 µg/L). Selon l'arrêté du 25 janvier 2010, la concentration moyenne (mai, août et octobre) en chlorophylle a obtenue sur la station A est de « très bonne » qualité en revanche sur la station B, elle est de qualité « bonne ».



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

Le niveau trophique du lac a été estimé selon la méthode de Vollenweider et Kerekes, 1982. Le Tableau 16 présente les résultats de la classification de l'OCDE.

Catgorie trophique	P total moyenne/an ($\mu\text{g P/L}$)	Chloro a moyenne/an ($\mu\text{g/L}$)	chloro a max/an ($\mu\text{g/L}$)	Transparence moyenne/an (m)	Transparence minimale/an (m)
Ultra oligotrophe	≤ 4	≤ 1	$\leq 2,5$	≥ 12	≥ 6
Oligotrophe	≤ 10	$\leq 2,5$	≤ 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	$\leq 1,5$	$\leq 0,7$

Tableau 16 : résultats de la classification de l'OCDE

Pour le paramètre phosphore total, toutes les concentrations mesurées par le laboratoire sont inférieures au seuil de concentration. Si l'on retient la valeur la plus « dégradante » (38 $\mu\text{g/L}$) le lac est de catégorie trophique mésotrophe.

La moyenne et la valeur maximale de la chlorophylle *a* sont de la classe trophique « mésotrophe ». La moyenne annuelle est de 2,8 $\mu\text{g/L}$ et la valeur maximale de 10,8 $\mu\text{g/L}$.

Les mesures de transparence caractérisent la masse d'eau de lac eutrophe. Les valeurs de transparence moyenne (1,93 m) et minimale (1,3 m) sont légèrement faibles en raison d'une teinte de l'eau naturellement colorée probablement par les acides humiques (bassin versant boisé).



4 CONCLUSIONS

Le suivi s'est déroulé du 08 avril 2013 au 08 avril 2014.

Hydrologie :

Contrairement au suivi de 2011, ce suivi s'inscrit dans un contexte hydrologique moins sévère. Le débit moyen enregistré durant ce suivi est plus de deux fois supérieure à celui enregistré en 2011. Le suivi a donc permis de réaliser des mesures dans des conditions de forts débits, principalement en période hivernale de fonte nivale.

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 17 : Débits moyens mesurés en entrée Crégut en 2011 et 2013-2014

	2006	2011 (1^{er} janvier au 31 décembre)	2013-2014 (1^{er} avr. 2013 au 1^{er} avr. 2014)
Débit moyen en entrée Crégut	NC	2.0 m ³ /s	4.3 m ³ /s

Flux de Matières en Suspension (MES) :

La particularité du suivi 2013-2014 réside dans l'instrumentation de 7 points de suivi de capteurs autonomes de mesure de turbidité au pas de temps horaire. La mesure de turbidité a été convertie en concentrations de MES par la réalisation d'étalonnages à partir de mesure de MES en laboratoire. Les principales observations et conclusions sont les suivantes :

- Malgré des sorties par forts débits les concentrations en MES mesurées manuellement sont restées faibles, inférieures à 33mg/l (6.6 mg/l en moyenne). Ces faibles valeurs ne permettent pas aux courbes de corrélation obtenues de couvrir l'ensemble des valeurs de turbidité mesurées par les capteurs. Des extrapolations pour les valeurs de turbidité supérieures à celles comprises dans l'intervalle des courbes de corrélation ont dû être réalisées.
- Les sorties par forts débits ont été réalisées exclusivement en hiver sur des épisodes prévisibles. Malgré les forts débits, les eaux n'étaient pas chargées en MES. Les pics de turbidité mesurés par les capteurs sont les plus importants au printemps et en été. Ils sont à relier aux épisodes soudains de fonte nivale et aux épisodes orageux estivaux. De par leur caractère bref et intense, ces conditions de forts débits sont difficilement prévisibles et n'ont pas pu être appréhendées durant le suivi 2013-2014.
- Le suivi MES a mis en évidence des concentrations généralement faibles, inférieures à 25 mg/L en moyenne (seuil de bonne qualité du SEQ Eau).



- Le rôle de décanteur du lac du Tact a été mis en évidence. 44% des matières en suspension entrant dans le Tact ont été stockées sur la période de suivi, représentant 700 tonnes.
- Durant le suivi 2013-2014 entre 250 et 315 tonnes de MES se seraient stockées dans le lac de la Crégut représentant environ 30% du flux entrant (Tableau 18).
- En 2011 le tonnage stocké était moins important (140 tonnes environ). La faible hydraulicité de l'année 2011 peut expliquer cet écart. Notons également que le suivi a été renforcé en 2013-2014, passant d'un suivi ponctuel de la concentration en MES en 2011 (1 mesure bi-mensuelle + mesures en forts débit) à un suivi instrumenté en continu en 2013-2014 (1 mesure par heure de la turbidité) améliorant la précision d'évaluation des flux.
- C'est en 2006 que le stock le plus important a été évalué en l'absence de données précises de débit.

Tableau 18 : Bilan de MES dans le lac de la Crégut en 2011 et 2013-2014

	2006	2011 (1^{er} janvier au 31 décembre)	2013-2014 (1^{er} avr. 2013 au 1^{er} avr. 2014)
Stockage de MES Lac Crégut	550 tonnes	140 tonnes	250 à 315 tonnes
Pourcentage du flux entrant	50%	30%	27 à 34 %

Qualité d'eau entrants / sortants :

- La qualité de l'eau inter aménagements est globalement « bonne » à « très bonne » selon l'arrêté du 25 janvier 2010.
- En 2011, le carbone organique total mesuré a permis de conclure à une tendance à l'exportation des matières organiques produites au sein du lac. Les résultats de cette année semblent aboutir aux mêmes conclusions pour le carbone organique dissous qui est le paramètre le plus déclassant sur l'ensemble des éléments physico-chimiques. Les concentrations augmentent tout au long du complexe pour atteindre des valeurs maximales en sortie Taurons (Annexe 7), déclassant la station en qualité « moyenne ». Ce paramètre n'ayant pas été mesuré lors des précédents suivis aucune remarque ne peut être faite quant à l'évolution des concentrations sur plusieurs années.
- 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, d'oxygène et de conductivité sont de qualité « très bonne ». Comme les années précédentes aucune anomalie n'est à remarquer.



- En règle générale le suivi met en évidence des concentrations légèrement plus importantes en éléments azotés, phosphorés voir ponctuellement carbonés, sur les bassins dérivés de l'eau Verte et la Tarentaine liées aux activités anthropiques sur le bassin versant.
- En entrée du Tact, les concentrations sont généralement moins importantes que sur l'Eau Verte ou la Tarentaine (effet de mélange des eaux).
- Un relargage vers le lac de la Crégut depuis le Tact de composés organiques azotés, phosphorés et carbonés est perceptible mais ne peut pas être affirmé et quantifié au regard des incertitudes liées au pas d'acquisition et aux faibles concentrations concernées.

Qualité du lac de la Crégut :

- Selon l'arrêté du 25 janvier 2010 la qualité de l'eau du lac de la Crégut apparaît « médiocre » au regard des concentrations en chlorophylle a, de la désoxygénation de l'hypolimnion et d'une faible transparence. Pour ce dernier point, rappelons que la transparence des eaux du massif central est naturellement limitée par les fortes teneurs en acides humiques.
- La désoxygénation de la colonne d'eau est un phénomène récurrent sur le lac de la Crégut qui constitue le fonctionnement classique pour ce type de lac. La désoxygénation de la colonne d'eau a été observée uniquement sur la station B durant les deux campagnes d'août et octobre 2013. La colonne d'eau était totalement désoxygénée à partir de 16m en octobre. La désoxygénation du fond du lac n'a été observée qu'entre août et octobre en 2013. En 2011 la désoxygénation a été continue de juin à fin octobre. Le phénomène de relargage par le sédiment en conditions anoxiques a donc été limité dans le temps en 2013-2014 comparativement à 2011.
- En 2013-2014, selon la classification de l'OCDE le lac de la Crégut apparaît méso-eutrophe. Les paramètres déclassant restent la faible transparence de l'eau, les fortes concentrations en phosphore total et en chlorophylle a. Ces observations restent dans la continuité des observations faites lors des précédents suivis.



5 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) (ACS)	EN61000-6-2 - EN61000-6-3 - EN60950-1.  Attestation de conformité sanitaire.
Dimensions	Ø 21.4mm +/- 0.1mm, Longueur = 170.5mm +/- 0.2mm.
Poids	180g + 50g par mètre de câble standard.
Matière	Acier inoxydable 316L passivé.
Câble standard	Double peau, sans capillaire. Gaine extérieure en polyéthylène de couleur bleue. Blindage électrique, 2 conducteurs 0,80 mm 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

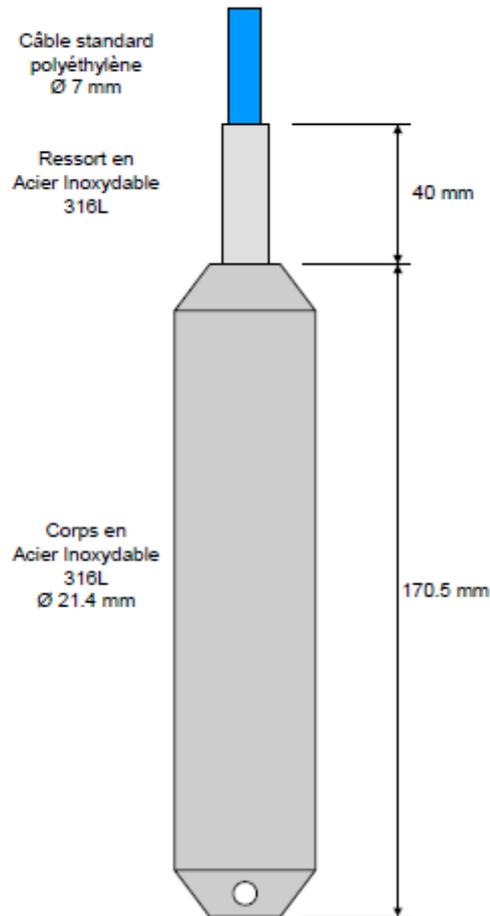
Tél. : +33 4 74 00 12 70 - Fax : +33 4 74 00 02 42

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

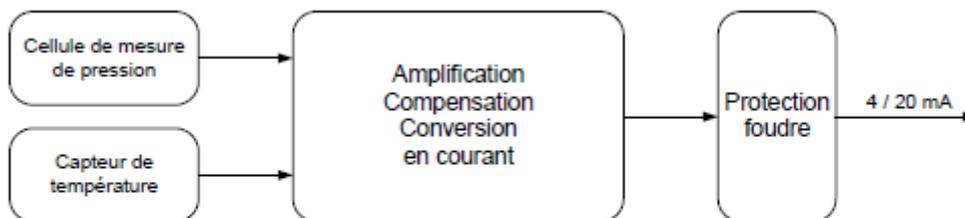
1



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

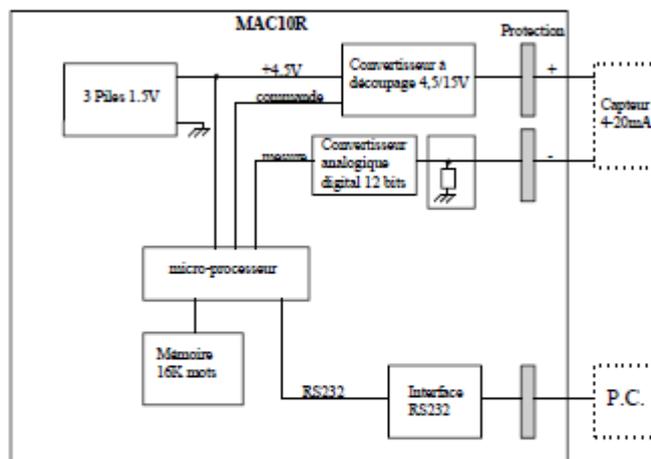
Présentation générale

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

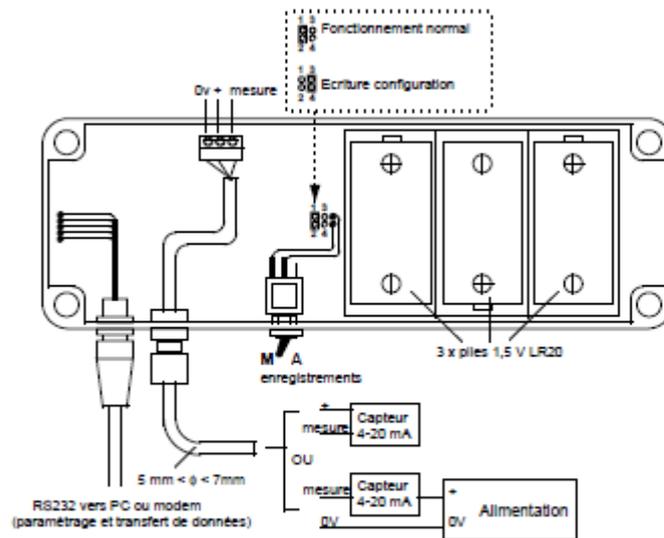


Les caractéristiques décrites dans ce document peuvent être modifiées sans préavis par le constructeur

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

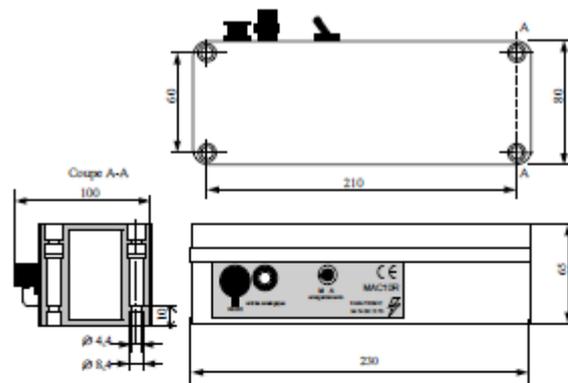


Raccordement



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



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



AQUAlogger 210TY Turbidity Logger

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

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

Logger Specification

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



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

Sensor Specifications

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

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

Calibration

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



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

DATA LOGGERS

Minilog-II-T Submersible Temperature Data Logger



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

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



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

Used with the Autonomous VEMCO Field Reader

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



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

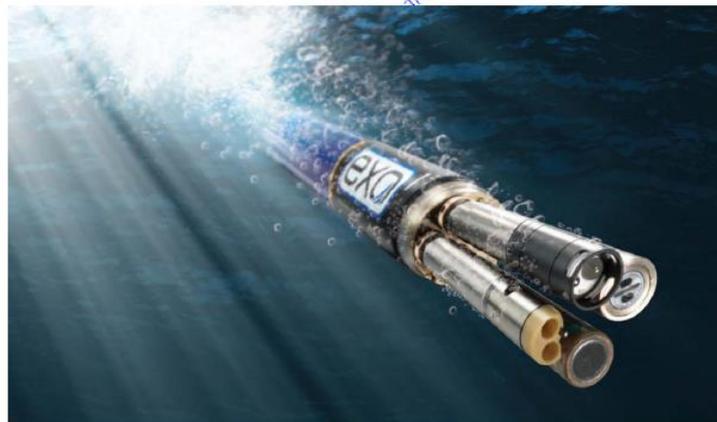
www.vemco.com



8 ANNEXE 4 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA SONDE YSI

EXO1

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



Copyright © AnHydre 2012 – Caractéristiques modifiables sans préavis

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





Surveillance des eaux superficielles et souterraines :

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

Dès le déballage ExO est prête à partir :

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

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



Calibration rapide et simple

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

Partez sans fil

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

Réduction du bio-fouling

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

Contrôles intelligents pour données de qualité

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

Capteurs intelligents, connexions intelligentes

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

Sonde intelligente

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



Terminal ExO

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

Caractéristiques standards

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



Interfacez la sonde ExO avec le terminal ExO

Logiciel interface KOR

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

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

Plusieurs options de sortie des données

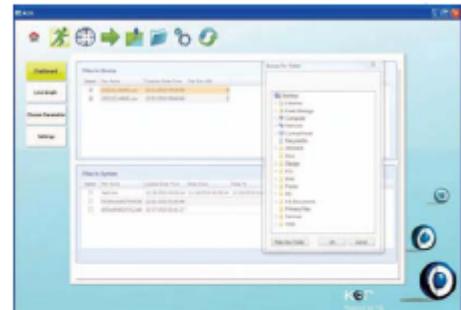
La sortie de la sonde est lisible par le terminal ExO, le logiciel interface KOR et les modules de transmission. En complément au câble (standard) ces interfaces de communication sont proposées :

Adaptateur de signal Sortie / Collecteur

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

Adaptateur USB

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



Adaptateur de signal Sortie / Collecteur



Adaptateur USB

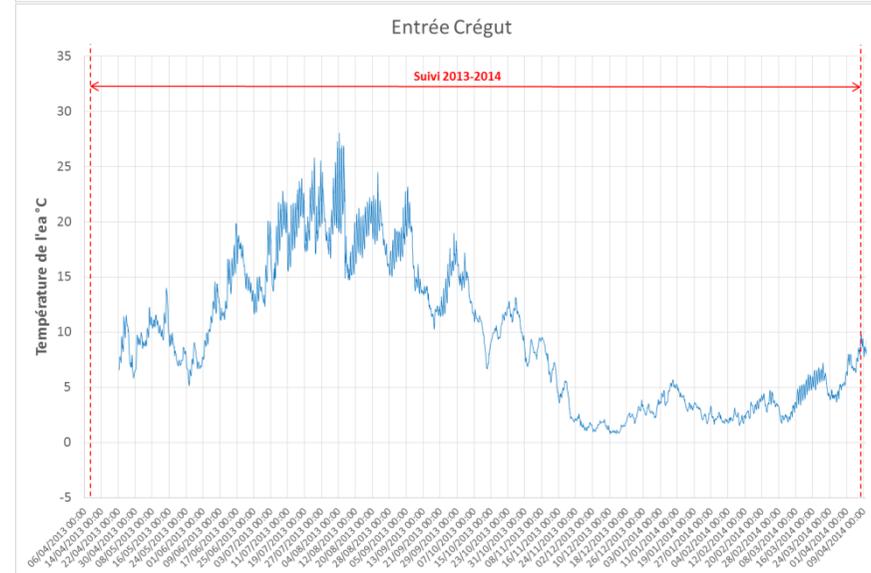
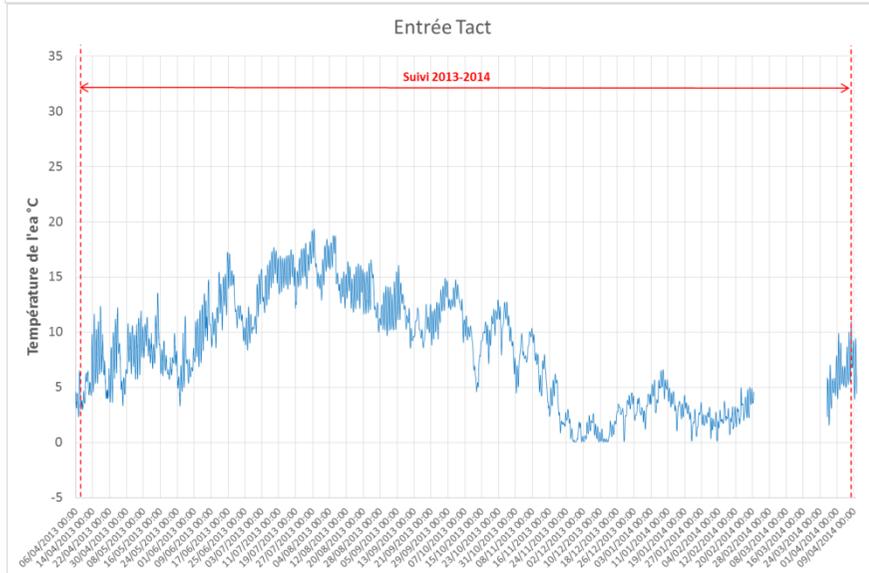
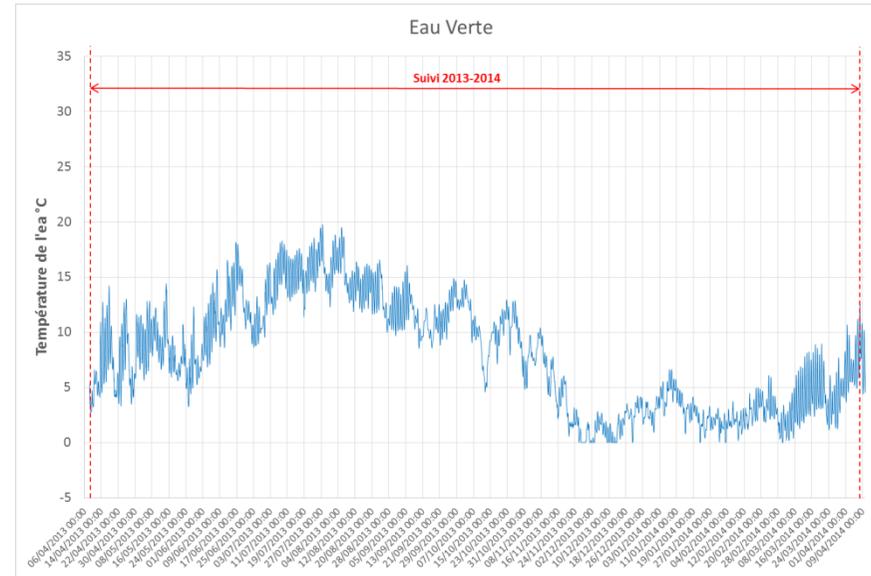
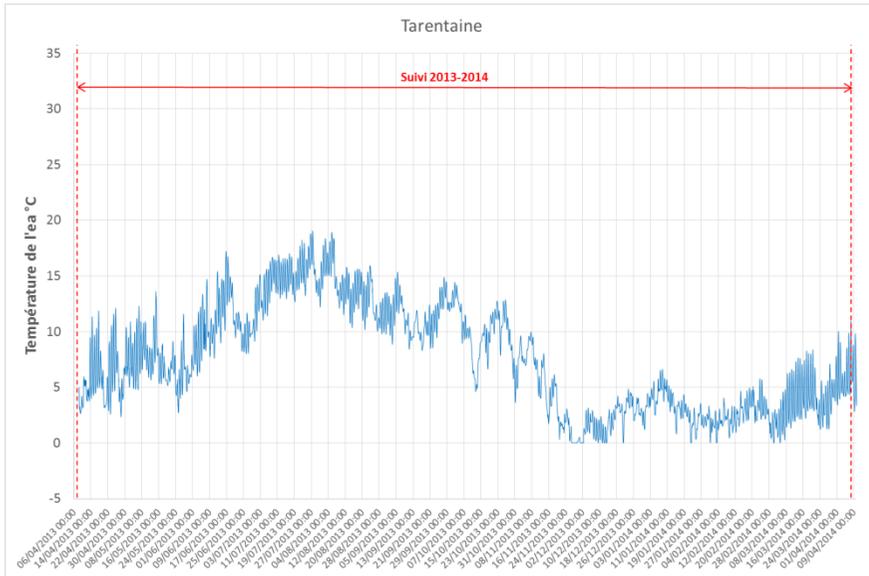


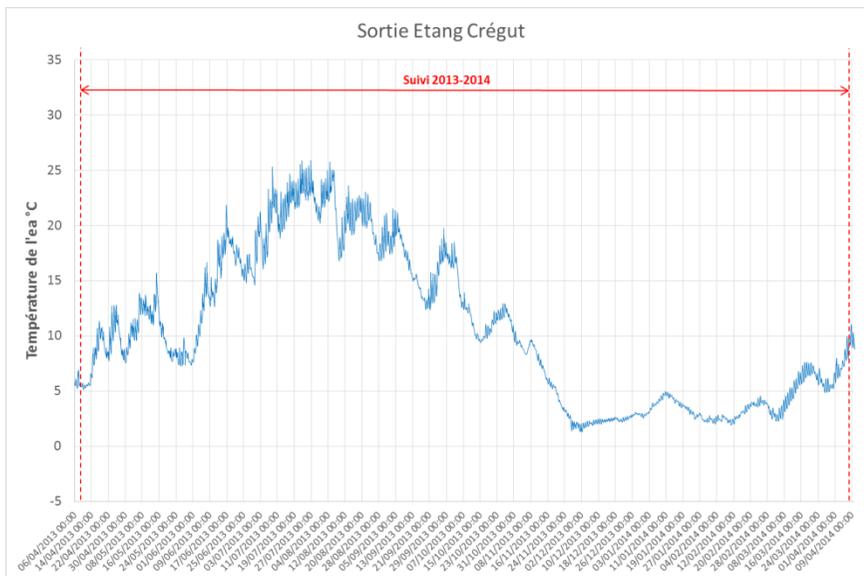
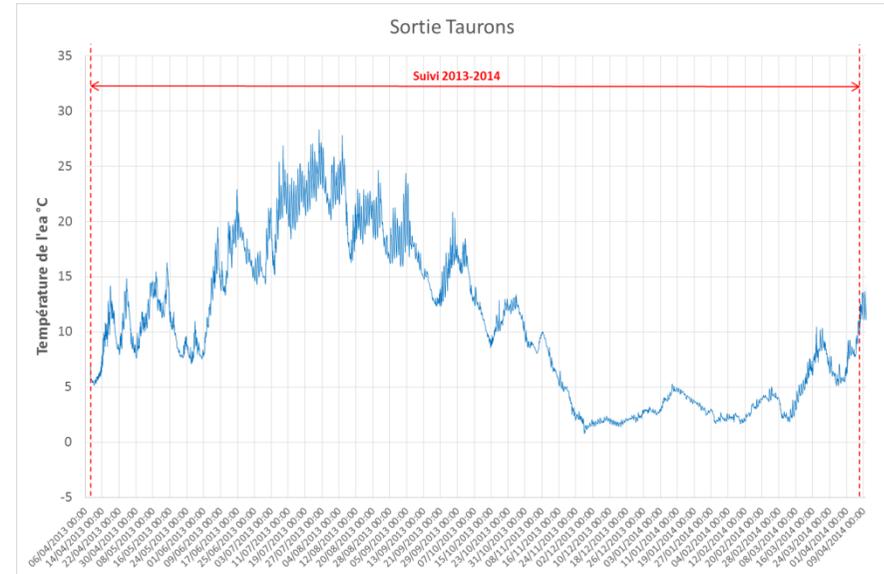
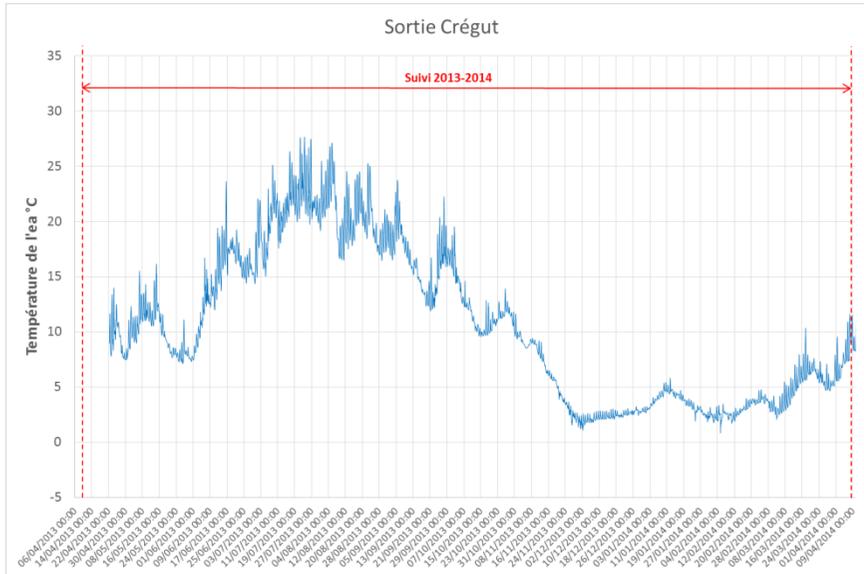
Spécifications des capteurs*

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



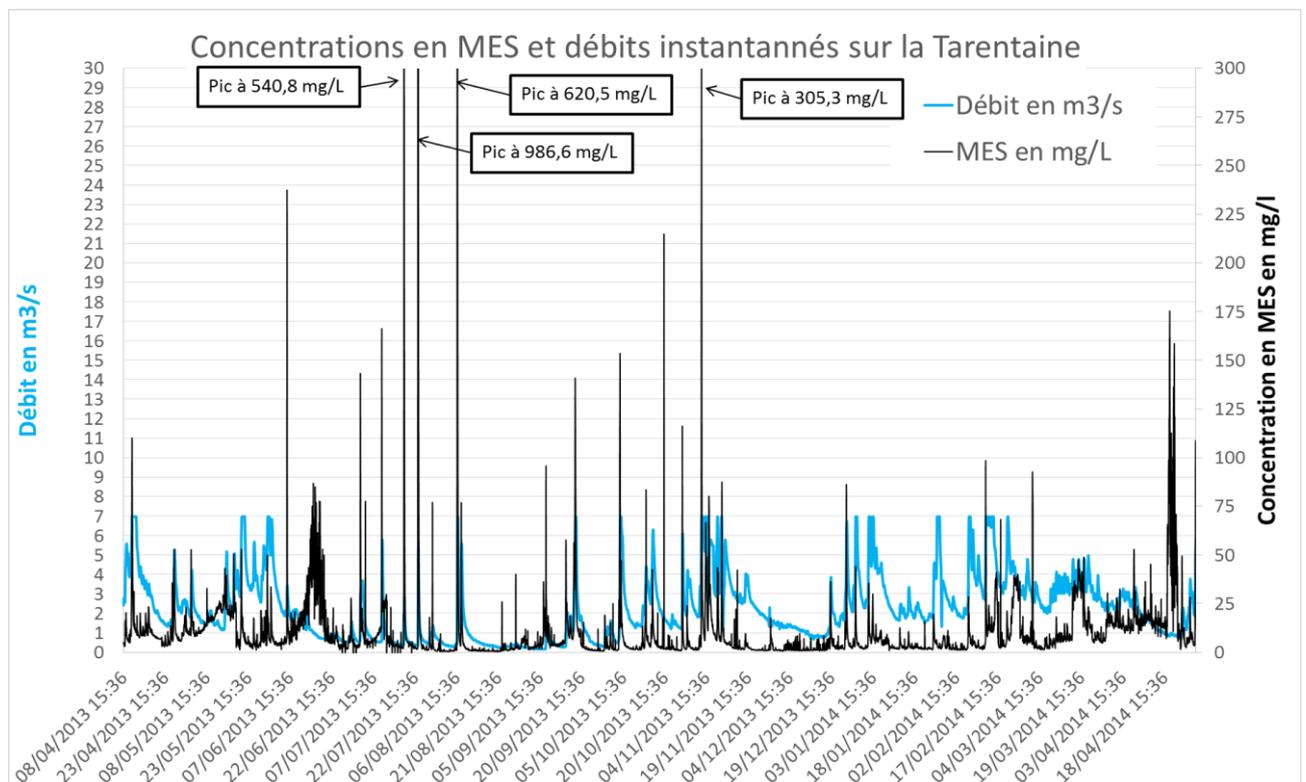
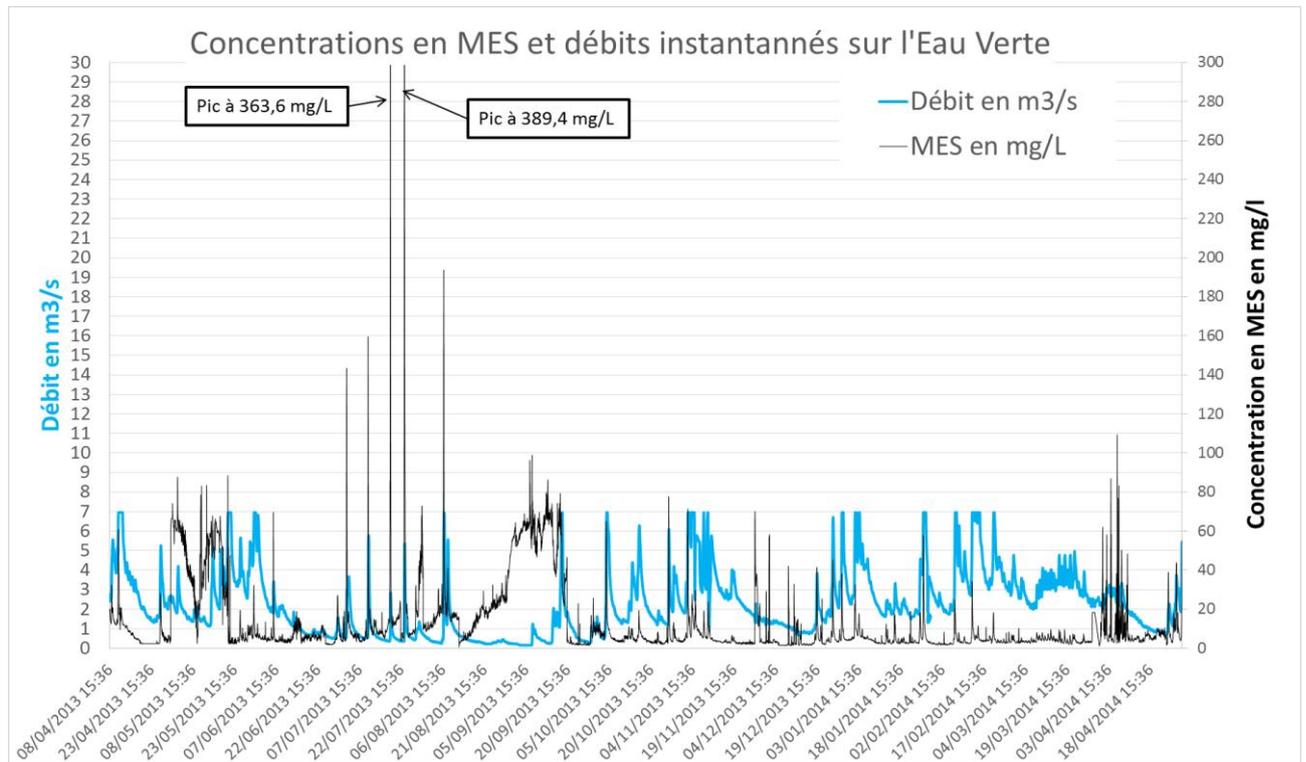
9 ANNEXE 5 : CHRONIQUES DE TEMPERATURES PAR SITE DE SUIVI

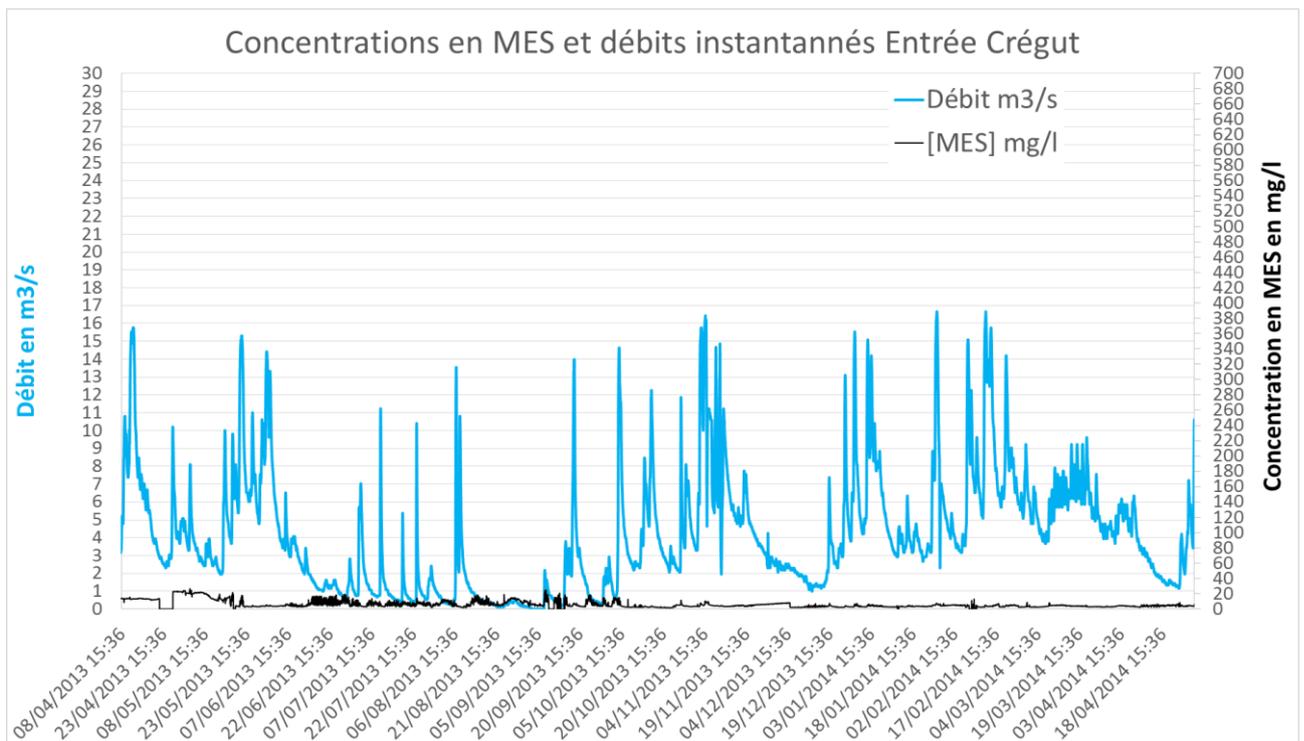
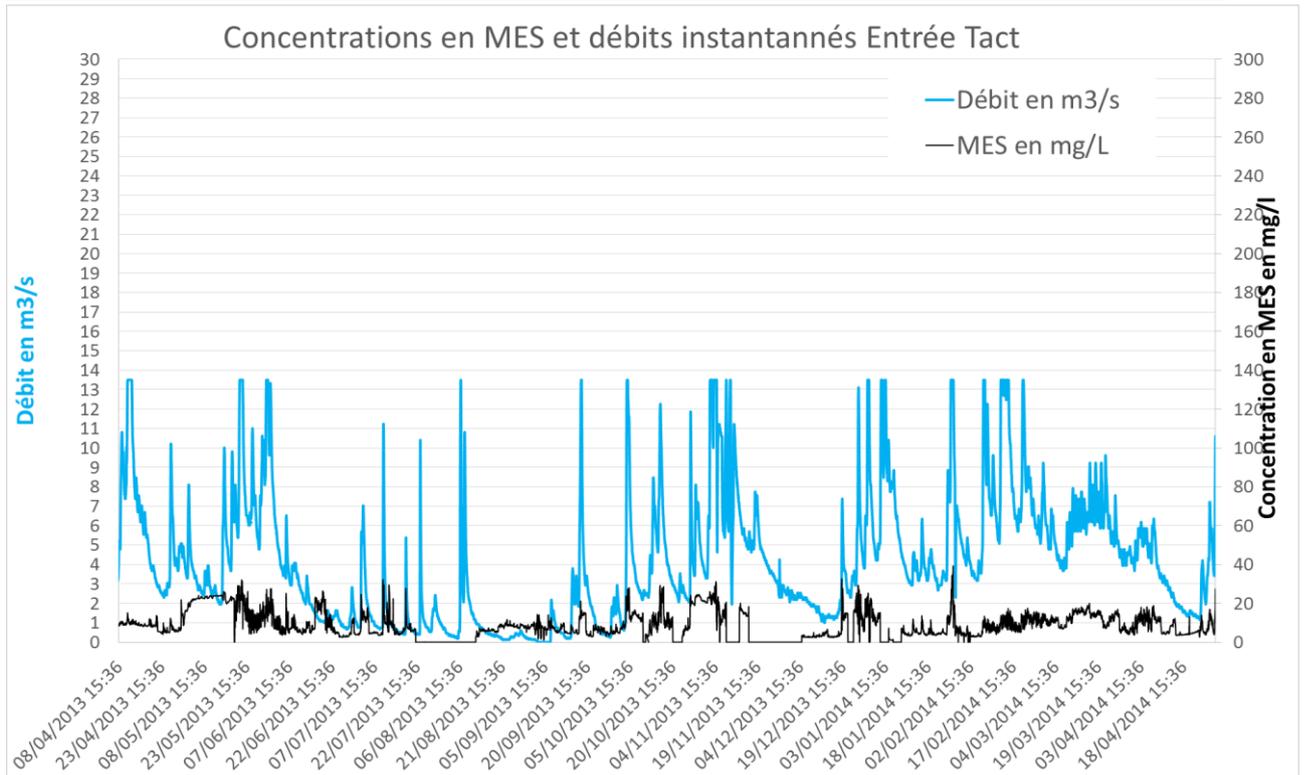


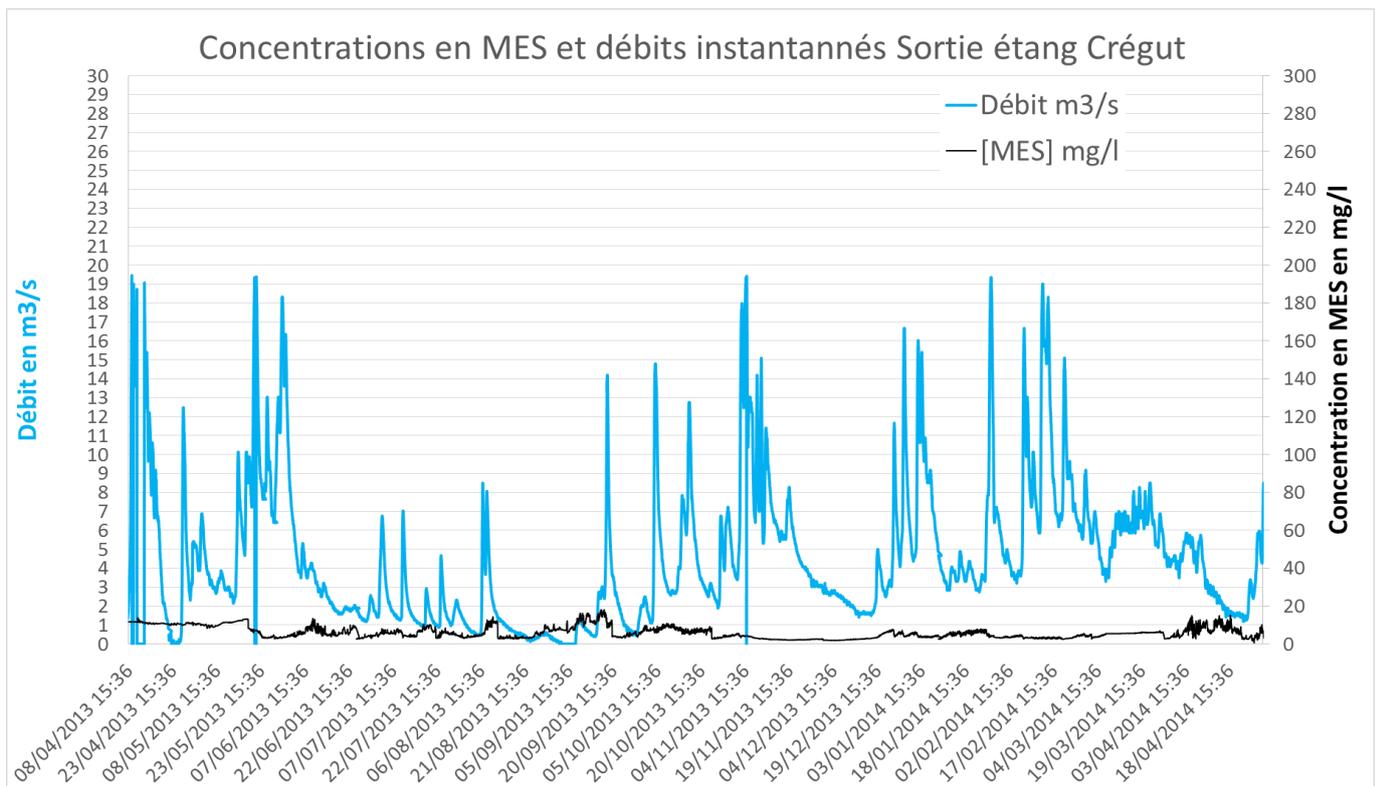
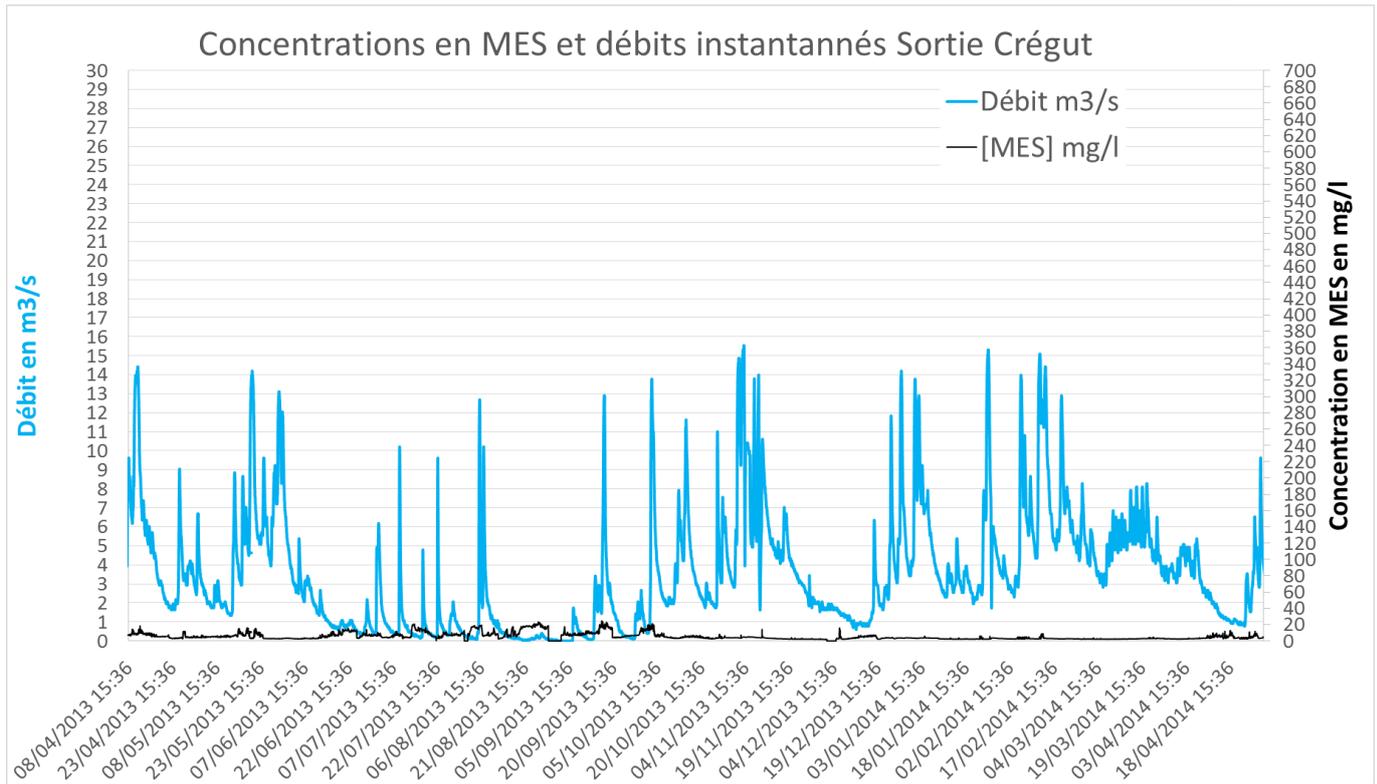




10 ANNEXE 6 : CHRONIQUES DE TURBIDITE ET DE DEBITS PAR AMENAGEMENTS

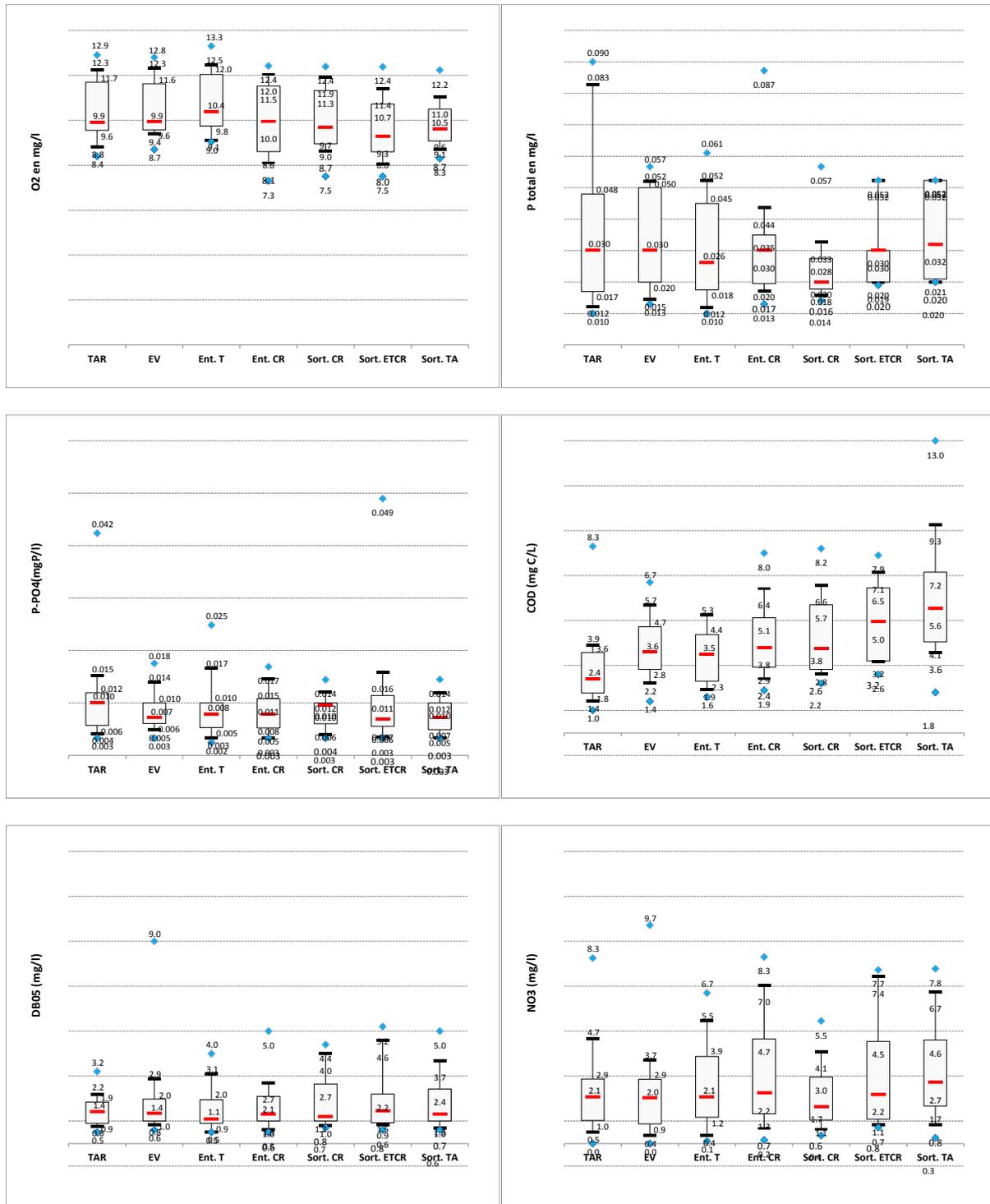


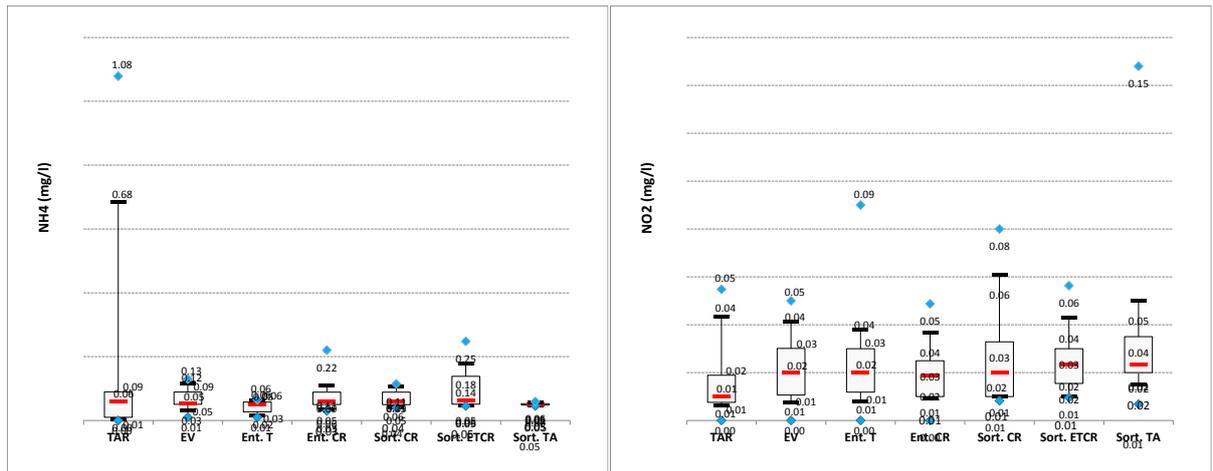






11 ANNEXE 7: ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES ENTRANTS-SORTANTS - DIAGRAMME DE TUKEY







12 ANNEXE 8 : EXTRAIT DE L'ARRETE DU 25 JANVIER 2010 POUR LES RIVIERES

Les éléments physico-chimiques généraux interviennent essentiellement comme facteurs explicatifs des conditions biologiques. Pour la classe « bon » et les classes inférieures (5), les valeurs seuils de ces éléments physico-chimiques sont fixées de manière à respecter les limites de classes établies pour les éléments biologiques, censées traduire le bon fonctionnement des écosystèmes.

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 4 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 la classification en très bon état écologique, des conditions physico-chimiques peu ou pas perturbées sont requises. Dans l'attente de la détermination de valeurs fiables adaptées aux différents types de masses d'eau de surface, les valeurs indiquées dans la présente annexe des limites de classes entre le bon et le très bon état des paramètres physico-chimiques généraux sont à considérer à titre indicatif.

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

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

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



13 ANNEXE 9 : EXTRAIT DE L'ARRETE DU 25 JANVIER 2010 POUR LES PLANS D'EAU.

Phytoplancton et chlorophylle a

L'indice biologique Phytoplancton à utiliser est l'indice planctonique (IPL) de la diagnose rapide, tel qu'indiqué dans : Barbe J., Lafont M., Mouthon J., Philippe M., 2003. Protocole actualisé de la diagnose rapide des plans d'eau. Rapport Cemagref – Lyon, Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, 24 p. Le paramètre relatif à la concentration en chlorophylle-a ([Chl-a]) est la moyenne estivale de la concentration en chlorophylle-a, exprimée en µg/l. Les limites de classe à utiliser pour l'évaluation de l'état de ce paramètre sont établies, par plan d'eau, selon les formules 1 ci-après.

Eléments de qualité	Paramètres	Limites des classes d'état			
		Très bon / Bon	Bon / Moyen	Moyen / Médiocre	Médiocre / Mauvais
Phytoplancton	[Chl-a] moyenne estivale (mg/l)	Voir formules 1 et tableau 12			
	IPL (Indice Planctonique)	25	40	60	80
Invertébrés*	IMOL (Indice Mollusque)	8	7	4	1
	IOBL (Indice Oligochètes de Bioindication Lacustre)	15	10	6	3

* Les valeurs des limites de classes pour l'indice mollusques (IMOL) et l'indice oligochètes (IOBL), paramètres constitutifs de l'élément de qualité invertébrés, sont données à titre indicatif. A ce stade des connaissances, ils ne sont pas utilisés pour l'évaluation. Ils peuvent être pris en compte pour conforter le diagnostic et, le cas échéant, accroître le niveau de confiance de l'état évalué de la masse d'eau.

$$\text{Limite très bon / bon} = 10^{0.754 - 0.489 \times \log(\text{prof moy}) + 0.244 \times \sqrt{1.038 + \frac{(\log(\text{prof moy}) - 0.942)^2}{4.077}}}$$

$$\text{Limite bon / moyen} = 10^{0.754 - 0.489 \times \log(\text{prof moy}) + 0.487 \times \sqrt{1.038 + \frac{(\log(\text{prof moy}) - 0.942)^2}{4.077}}}$$

$$\text{Limite moyen / médiocre} = 10^{0.754 - 0.489 \times \log(\text{prof moy}) + 0.731 \times \sqrt{1.038 + \frac{(\log(\text{prof moy}) - 0.942)^2}{4.077}}}$$

$$\text{Limite médiocre / mauvais} = 10^{0.754 - 0.489 \times \log(\text{prof moy}) + 0.945 \times \sqrt{1.038 + \frac{(\log(\text{prof moy}) - 0.942)^2}{4.077}}}$$

Eléments physico-chimie

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.



Paramètres par élément de qualité	Limites des classes d'état				
	très bon	bon	moyen	médiocre	mauvais
Nutriments ¹					
N minéral maximal (NO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺) (mg N.l ⁻¹)	0.2	0.4	1	2	
PO ₄ ³⁻ maximal (mg P.l ⁻¹)	0.01	0.02	0.03	0.05	
phosphore total maximal (mg P.l ⁻¹)	0.015	0.03	0.06	0.1	
Transparence					
transparence moyenne estivale (m)	5	3.5	2	0.8	
Bilan d'oxygène ²					
Désoxygénation de l'hypolimnion en % du déficit observé entre la surface et le fond pendant la période estivale (pour les lacs stratifiés) ³	*	50	*	*	
Salinité					
Acidification			*		
Température					

¹On pourra également tenir compte du paramètre NO₃, avec en particulier la valeur de 50 mg/l pour la limite « bon/moyen ».

²Paramètre et limite donnés à titre indicatif.

³L'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 pour évaluer l'état de l'élément de qualité relatif au bilan d'oxygène.