

SOCIETE EOLIENNES OFFSHORE DES HAUTES FALAISES
EDF RENOUVELABLES France

MSu13 : Suivi de la qualité des eaux à la suite de la mise en place
d'anodes sacrificielles – Etat de référence

Date : Janvier 2023



SOMMAIRE

1	Contexte	3
2	Méthodologie	5
2.1	Sites de suivi	5
2.2	Echantillonneurs passifs.....	6
2.3	Déploiement.....	7
2.4	Analyses.....	11
3	Résultats	13
4	Conclusion.....	13
5	Bibliographie	14
6	Annexe 1 : Protocole d'analyse des DGT suivi par le laboratoire	15
7	Annexe 2 : Rapport D'analyses	21

1 CONTEXTE

Les fondations des éoliennes prévues pour le futur parc éolien offshore de Fécamp (Figure 1) seront équipées d'anodes sacrificielles pour éviter la corrosion de leur partie métallique pendant toute la durée de leur vie. Ces anodes auront une masse d'environ 1 tonne dont la composition est indiquée dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Composition des anodes sacrificielles du parc éolien en mer de Fécamp

Matériau	Pourcentage minimum	Pourcentage maximum
Aluminium (Al)	94 %	95 %
Zinc (Zn)	4,75 %	5,75 %
Indium (In)	0,016 %	0,020 %
Cadmium (Cd)	-	0,002 %
Silicium (Si)	0,08 %	0,12 %
Fer (Fe)	-	0,06 %
Cuivre (Cu)	-	0,03 %



Figure 1 : Fondations gravitaires des futures éoliennes du parc éolien en mer de Fécamp

La dégradation des anodes sacrificielles conduit à un relargage dans le milieu naturel des matériaux qui les constituent. La plupart de ces éléments oxydés demeure attachée à la surface des anodes sacrificielles et une partie est susceptible d'être transférée dans l'environnement sous forme dissoute ou particulaire (Pineau et al., 2011).

➤ Aluminium

L'élément constitutif principal des anodes sacrificielles est l'aluminium ; métal le plus présent de la croûte terrestre et de facto dans les sédiments en zone estuarienne. Sa concentration moyenne dans l'eau de mer varie de 2 à 150 µg/L (hors silicates d'alumine présents dans les sédiments en suspension) (Mao et al., 2011). Il est important de noter que ce métal n'est pas inscrit dans la liste des substances prioritaires fixées par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). Il ne fait pas l'objet de suivis dans le cadre des réseaux de surveillance de la qualité du milieu marin. L'aluminium ne relève donc pas d'une approche en pollution chronique. La majeure partie peut s'absorber sur les particules présentes dans l'eau ou sédimenter dès que les conditions hydro-sédimentaires le permettent (Deborde et al., 2015).

Par ailleurs, une modélisation numérique à l'échelle de la Manche et de la Mer du Nord a été réalisée en 2017 par Actimar afin d'étudier la dispersion en mer d'un flux continu d'aluminium provenant des anodes sacrificielles des structures métalliques qui seront implantées sur les sites éoliens en mer de Fécamp et de Courseulles-sur-Mer. Après une phase de calibration hydrodynamique, le modèle a été utilisé sur une période de 30 ans et permet de rendre compte des aspects cumulatifs des flux d'aluminium issus des fondations des deux parcs, avec des hypothèses conservatives sur la dispersion de l'aluminium. Il en ressort que les teneurs en aluminium induites par les anodes sur la durée de vie des parcs éoliens (25 ans) atteignent une valeur d'équilibre avant la fin de la première année de fonctionnement. Les concentrations atteintes sont très faibles (0,05 µg/L au centre du parc) et décroissent rapidement dès qu'on s'éloigne des éoliennes : 0,04 µg/L à une dizaine de kilomètres et 0,01 µg/L à environ 150 km. Dès la première année de démantèlement, les concentrations chutent significativement et deviennent négligeables. Avec les hypothèses prises en compte, les anodes des deux parcs éoliens cumulés apportent 0,14 tonnes d'aluminium par jour. A titre de comparaison, les apports des principaux fleuves seraient de l'ordre de 800 tonnes par jour, sans tenir compte des apports directs par les bassins versants.

Il est notable que le projet de Courseulles-sur-Mer est passé au système ICCP. Par conséquent, les concentrations attendues seront en-deçà de celles modélisées. La capacité à les mesurer, au regard des variations naturelles, sera également plus faible.

➤ Zinc

Pour le zinc, composant secondaire, les quantités évaluées seront inférieures d'un facteur 20 aux quantités d'aluminium, dans un milieu sous influence d'autres rejets anthropiques et terrigènes. Or, la teneur en zinc de l'eau de mer est du même ordre que celle de l'aluminium, hors silicates d'aluminium. Les niveaux de relargage du zinc seront donc bien inférieurs à ceux de l'aluminium évalués ci-dessus.

➤ Autres éléments

Les autres métaux qui composent les anodes sacrificielles (indium, cadmium, silicium, fer, cuivre) sont en quantités négligeables en première approche ; seules celles d'aluminium ont été évaluées. A titre informatif, les teneurs naturelles d'indium connues en mer sont de 0,1 ng/L¹ à 20 µg/L². Le PNEC (Predicted Non Effect Concentration) environnement « eau de mer » pour ce composé est de 40,6 µg/L. De plus, le silicium, le fer et le cuivre sont naturellement présents dans l'eau de mer et participent aux fonctions biologiques de nombreux organismes marins comme la structure de l'endosquelette de nombreuses espèces planctoniques.

L'objectif du suivi MSu13 de la qualité des eaux à la suite de la mise en place de ces anodes est donc d'évaluer leur impact sur les concentrations en métaux présentes à l'état naturel dans le milieu marin. Pour cela, il est prévu de réaliser des mesures avant travaux constituant l'état de référence puis des mesures la première et la cinquième année après la mise en service du parc.

Dans ce cadre, TBM environnement s'est vu confier la réalisation des mesures à l'aide d'échantillonneurs passif - DGT (Diffusive Gradient in Thin Film) et l'interprétation des analyses pour la réalisation de cet état de référence. Le présent document présente les résultats des analyses réalisées à partir des mesures effectuées en février 2022.

2 METHODOLOGIE

2.1 Sites de suivi

Initialement, deux stations de mesures étaient prévues dans la zone du parc (Figure 2). Un premier déploiement a été réalisé le 14 septembre 2021. Les mouillages n'ont pas été retrouvés lors de la récupération le 11 octobre 2022 (probable chalutage). Une recherche sonar a été effectuée ce jour-là, recherche centrée sur les positions de mouillage. Deux contacts assimilables aux corps morts et situés à proximité immédiate des points théoriques ont été repérés. En raison des mauvaises conditions météorologiques, les lignes ont été récupérées les 13 et 14 janvier 2022, à l'aide d'un ROV. Les DGT n'étaient pas dans un état acceptable pour réaliser les mesures.

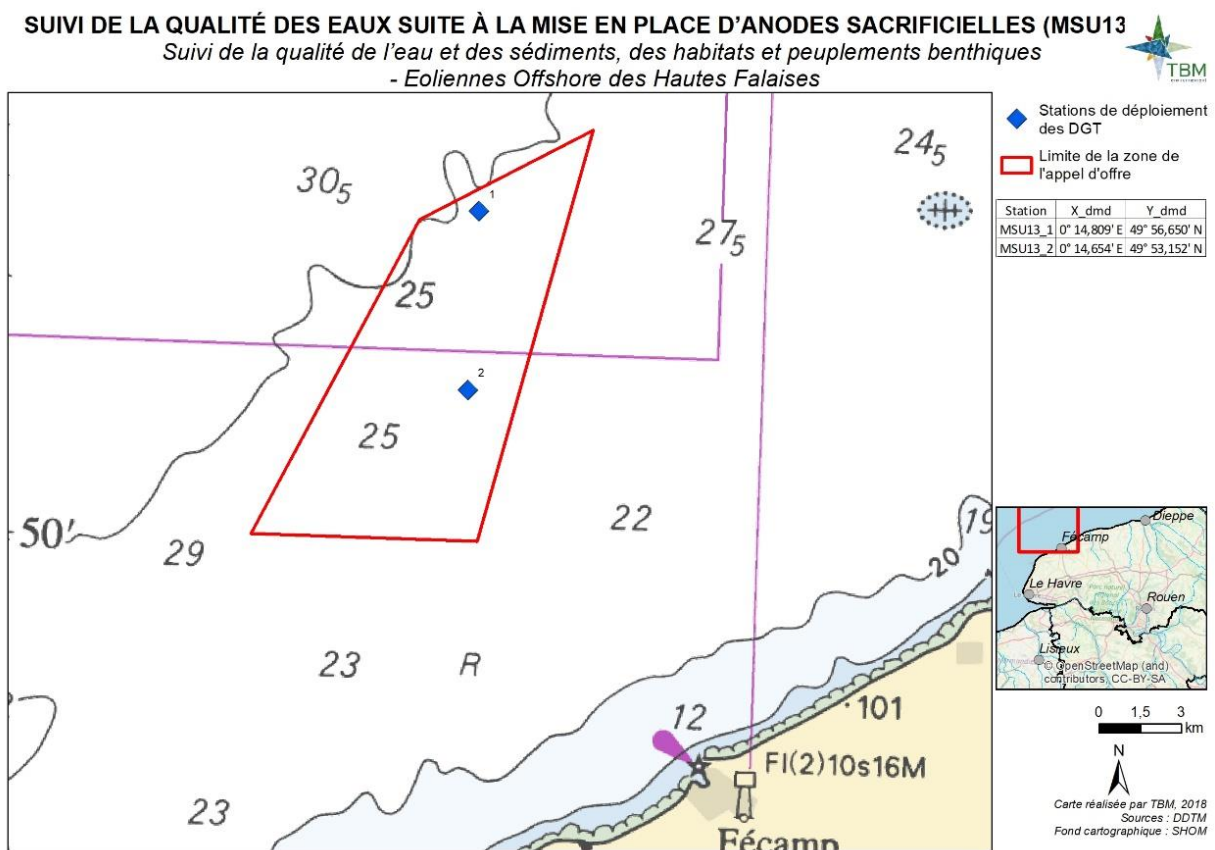


Figure 2 : Stations initialement prévues pour la mesure MSU13

Le suivi a donc dû être relancé. Sur la période hivernale, la pêche à la coquille Saint Jacques étant ouverte, la fréquentation de la zone par les pêcheurs est avérée. Afin de protéger les deux stations de mesure de cette activité, il a été envisagé de se placer dans les 100 m autour du mât de mesures de Fécamp, qui correspond à une zone interdite à la navigation (Figure 3, Tableau 2). Le mât de mesure disposant d'anodes sacrificielles, les stations ont été positionnées de telle façon que :

- Une station soit dans la zone d'influence hydrodynamique du mât, c'est-à-dire dans le sens des courant (P1 -DGT ; Figure 3) ;
- L'autre station soit située à la perpendiculaire de l'axe du courant principale lui assurant d'être situé hors de la zone d'influence du mât (P2-DGT ; Figure 3).

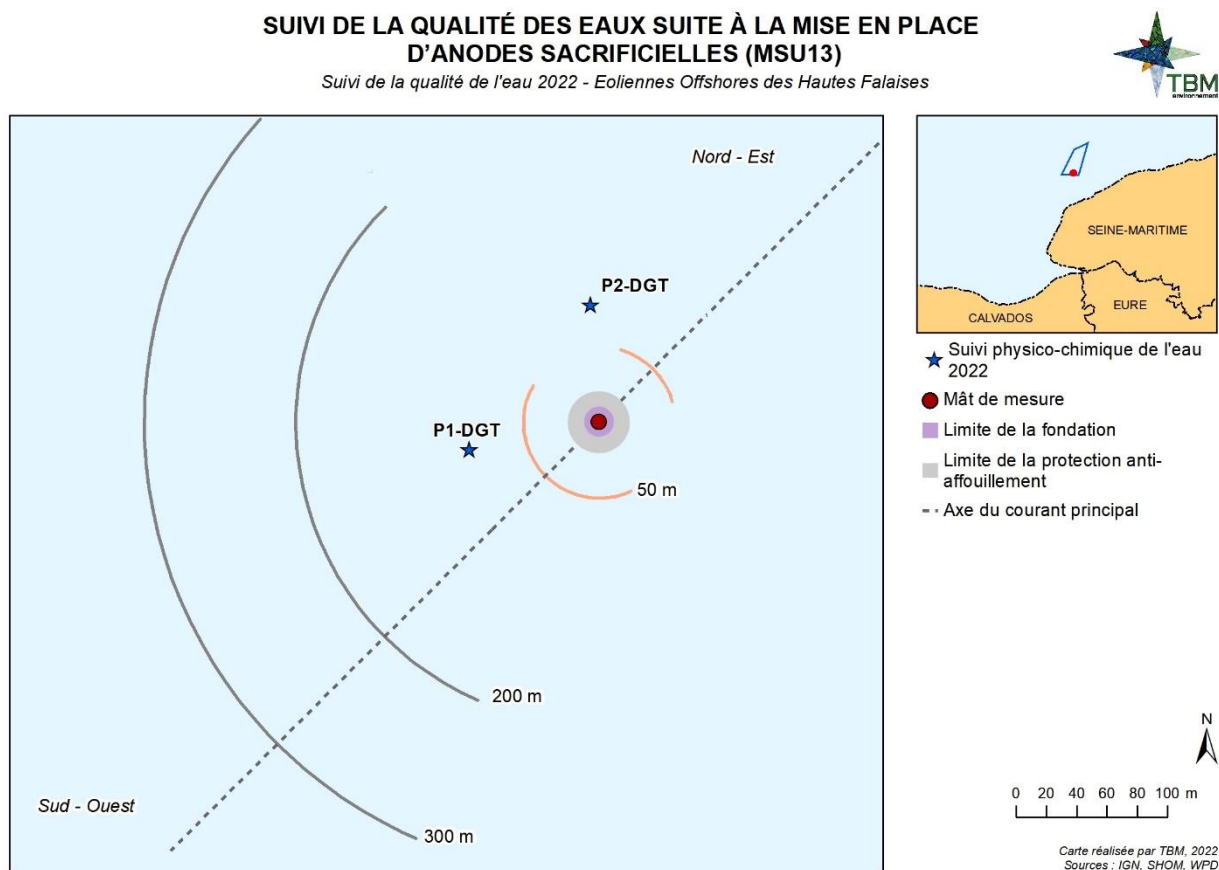


Figure 3 : Localisation des stations de déploiement des DGT en 2022

Tableau 2 : Position des stations suivies pour la mesures MSU13

Positions Mouillage DGT	
P1 - DGT	49°50'839N // 000°13'070E
P2 - DGT	49°50'892N // 000°13'134E

2.2 Echantillonneurs passifs

Conformément aux recommandations d'IFREMER, le dispositif employé pour mesurer les concentrations en métaux dans le milieu est un échantillonneur passif ou DGT (Diffusive Gradient in Thin Film). Le modèle utilisé est DGT LSNM-NP de chez DGT Research dont les propriétés sont rappelées ci-dessous :

Type:	LSNM-NP
Measurable analytes:	Al, Ca, Cd, Co, Cr(III), Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Zn, U, REEs

Le brassage des eaux justifie un déploiement en milieu de colonne d'eau :

- Absence de thermocline en été et de structuration des eaux au printemps ;
- Zone ouverte et courants importants ;
- Brassage vertical : pas de structuration des eaux ;
- Très faibles concentrations attendues : cibler les traceurs de l'activité des anodes.

Le protocole de déploiement et de récupération des DGT suit le « Guide d'utilisation des techniques d'échantillonnage passif (DGT, POCIS et SBSE): mise en place, récupération et conditionnement » d'IFREMER¹.

Les DGT sont conservés au réfrigérateur jusqu'au jour de déploiement, emballés dans des sachets individuels zippés. Toute manipulation des DGT se fait avec des gants en latex. Le matin des opérations, les DGT sont montés sur une structure permettant de déployer un triplicat par station de mesure. Cette opération est réalisée dans un endroit propre puis l'ensemble est mis en sachet et en glacière pour le temps du transport. Les DGT sont sortis de leur sachet uniquement au moment de la mise à l'eau. L'ensemble est laissé en mer pour une durée de deux semaines durant la saison hivernale. A la récupération des DGT, le système est immédiatement rincé à l'aide d'une pissette d'eau ultrapure, puis stocker en glacière. Une fois arrivée au port, les échantillons sont envoyés immédiatement au laboratoire INOVALYS pour analyses.

La température de l'eau est mesurée à la mise à l'eau et à la récupération du système. Un DGT « témoin » a également été utilisé en complément de chaque triplicat pendant les opérations et soumis à toutes les phases de manipulation. Il a permis de mesurer les contaminations possibles liées à l'air ou à l'opérateur.

2.3 Déploiement

Les structures ont été mises à l'eau le **11 février 2022** à l'aide du Catamaran CERES II of London (*Figure 4*).



Figure 4 : Navire CERES II of London (STO Logistique)

Chaque triplicat de DGT a été accroché à un mouillage disposant d'une bouée Croix de Saint André et d'un GPS, permettant d'être alerté si la bouée sortait du périmètre de 100 m autour du mât de mesures de Fécamp (*Figure 5*).

¹ <https://ccem.ifremer.fr/Actualites/Echantillonneurs-passifs>

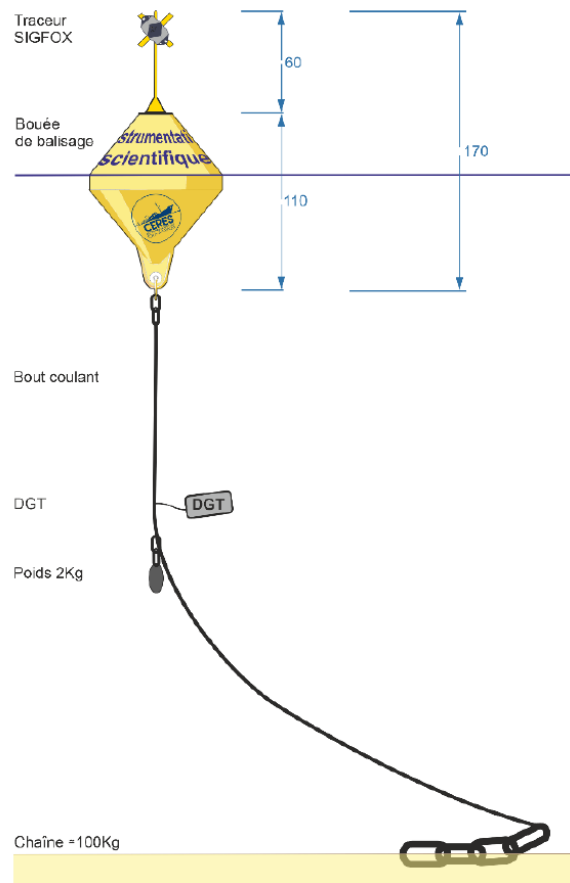


Figure 5 : Mouillage utilisé pour le déploiement des DGT

Le déploiement en mer s'est réalisé comme suit.

L'arrivée sur la zone de mouillage serait faite une heure avant l'étalement de marée. Trente minutes avant l'étalement de marée (courant nul), le vecteur résultant de la dérive due au vent et au courant est estimé par la dérive enregistrée sur les instruments de navigation (Figure 6).

30 Mn avant l'étalement

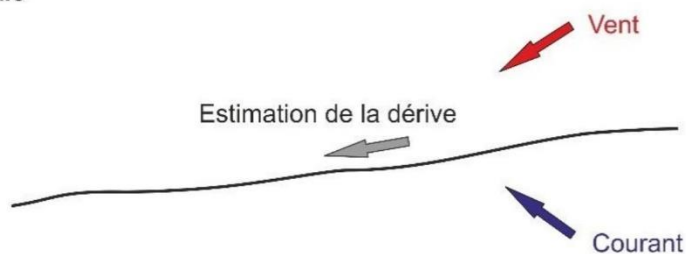


Figure 6 : Estimation de la dérive de courant

Le bateau mouille ensuite son ancre en amont de la cible, face au courant à une distance fonction de la force du vecteur défini précédemment, mais également fonction de la hauteur d'eau et de l'expérience du capitaine. Le navire ainsi mouillé dérive à la demande de l'opérateur qui transfile une longueur de chaîne suffisante pour amener la cible à la position désirée de la bouée à l'aplomb de la poupe du bateau (Figure 5).

Début de l'étale

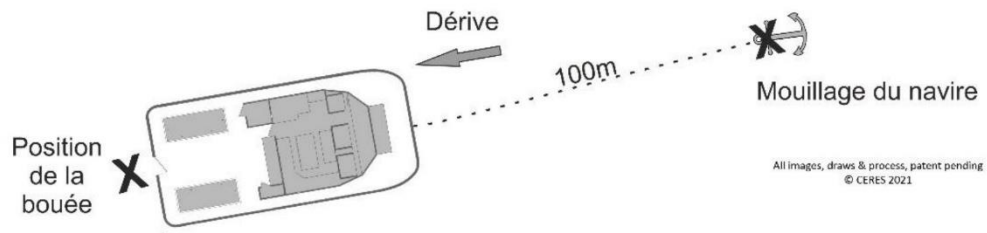


Figure 7 : Position de mouillage du navire

Une fois le navire arrivé à l'aplomb de la position désirée, grâce au transfilage mais aussi aux deux moteurs, la chaîne est envoyée vers le fond et l'orin de 16 mm est transfilé depuis la surface, jusqu'à ce que la chaîne repose sur le fond. Une fois la chaîne posée sur le fond, et après vérification de l'absence de courant, un organeau est frappé fermement sur l'orin à partir de la surface. Un poids est fixé dessus, puis un deuxième organeau est ensuite fixé un mètre plus haut pour y fixer le DGT. L'ensemble est descendu doucement jusqu'à la profondeur souhaitée (mi-hauteur de la colonne d'eau), et enfin la bouée est fixée et sécurisée à l'extrémité de l'orin (Figure 10).

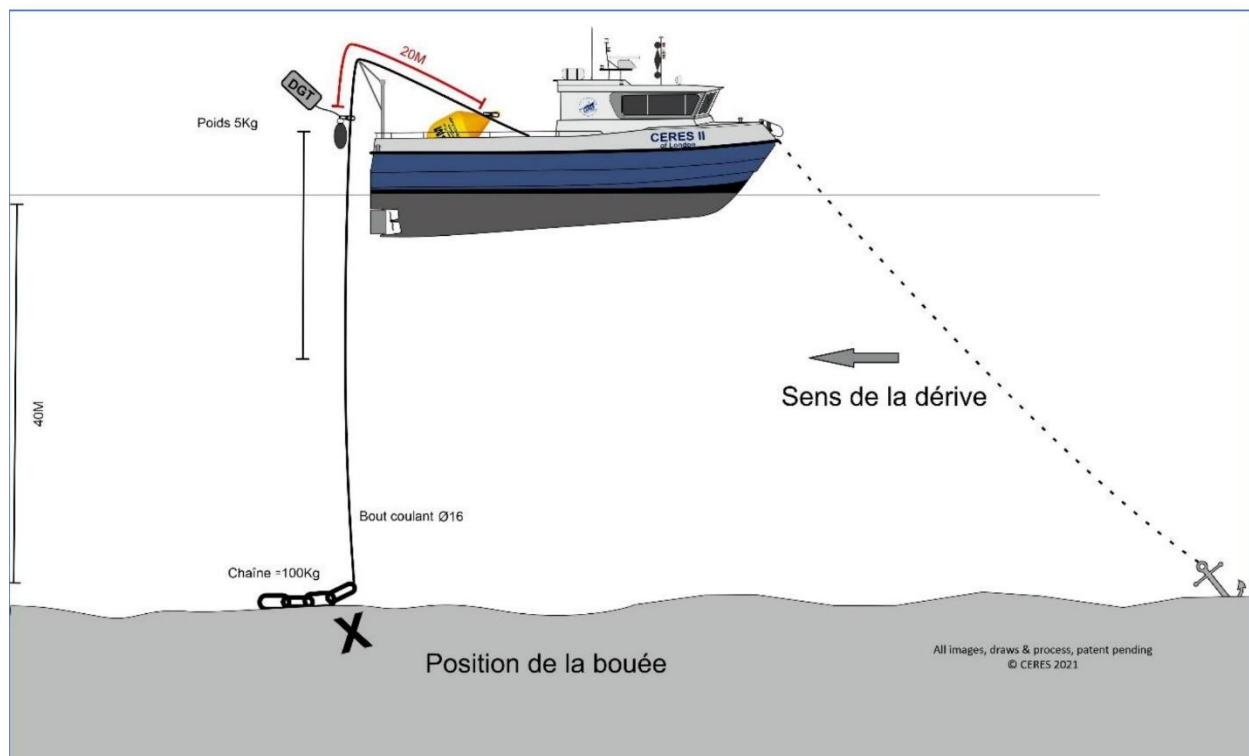


Figure 8 : Mise à l'eau du mouillage

Le navire peut alors larguer la bouée, le poids conservant le DGT à la profondeur nécessaire à l'enregistrement.

Dans tous les cas les 20m de bout supplémentaire auraient été utilisé pour compenser l'effet conjugué de la houle et des courants, cela ne change donc rien structurellement à la méthodologie précédente.

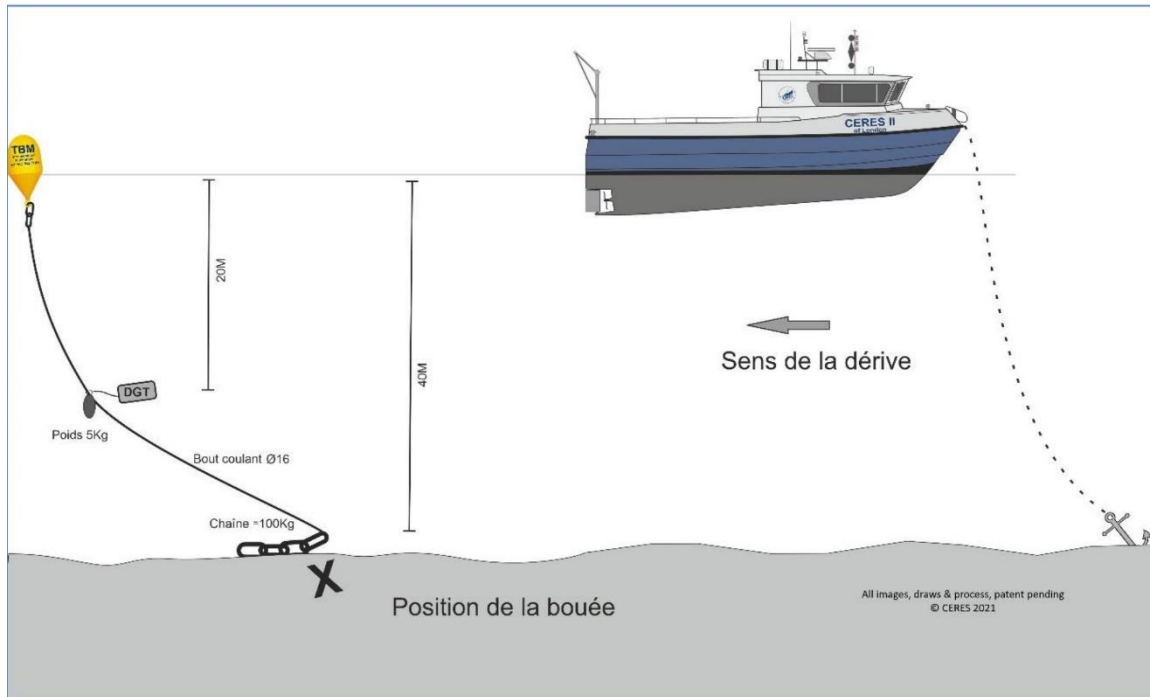


Figure 9 : Largage de la bouée.

Les deux mouillages ont été récupérés le **23 février 2022**. La tempête Eunice, autour du 20 février, a entraîné les deux mouillages plus proches de la côte et ils se sont retrouvés à 15-20nm de leur position initiale. En effet, lors de cette tempête, le vent a formé des vagues entre 3 et 5 m (Figure 11, Figure 12). Le mouillage P1 a été récupéré mais le système de DGT avait disparu. Le mouillage P2 a été récupéré dans son intégralité.

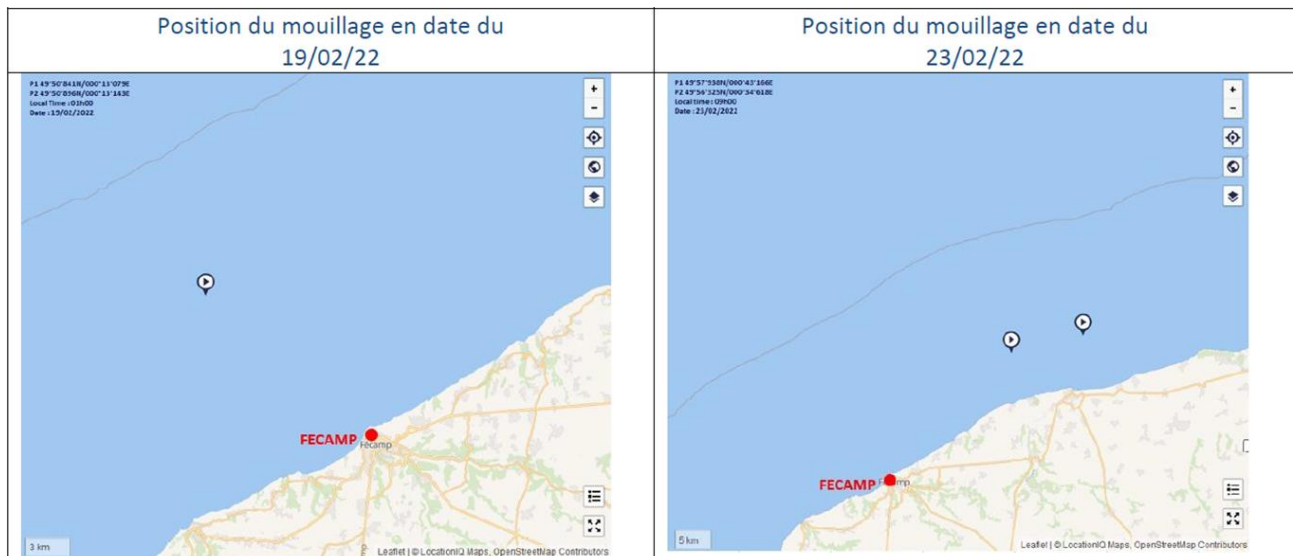


Figure 10 : Déplacement des mouillages entre le 19 et le 23 février 2022

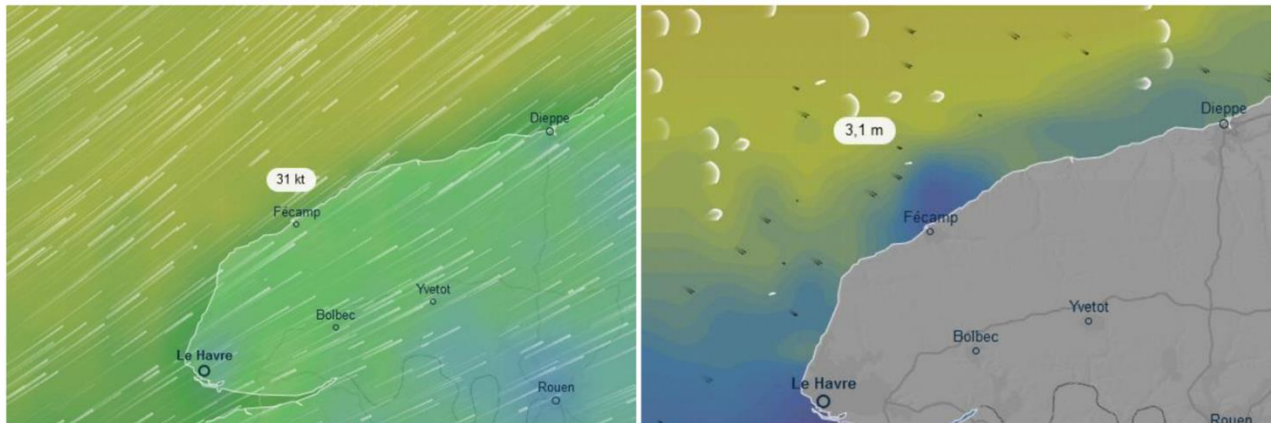


Figure 11 : Vents et vagues le 20/02/2022

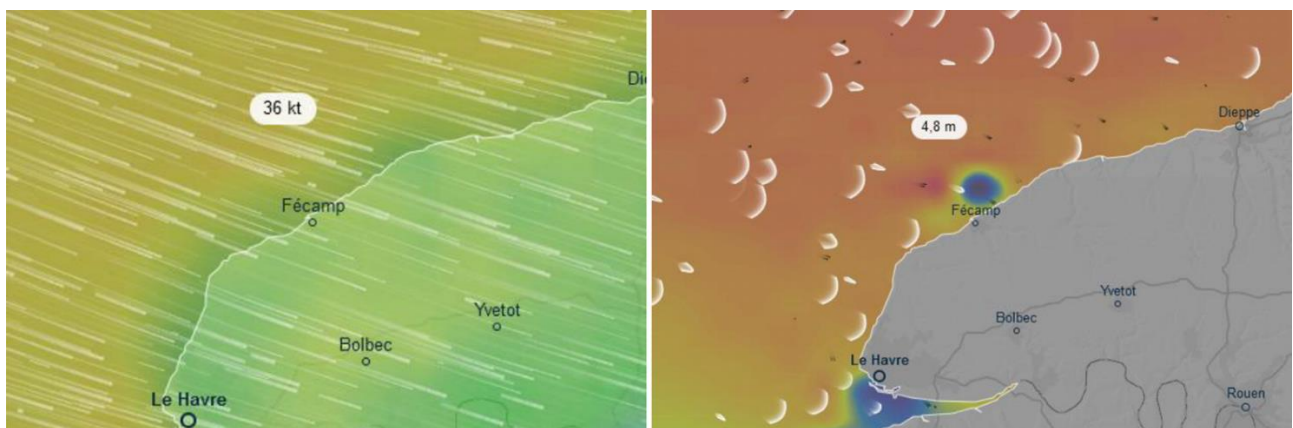


Figure 12 : Vents et vagues le 21/02/2022

2.4 Analyses

Les échantillonneurs DGT accumulent les métaux en fonction de leur concentration dans le milieu et du temps d'immersion. Dès leur récupération, les DGT ont été transmis au laboratoire INOVALYS à Nantes avec les informations suivantes : date et température de l'eau lors de la mise à l'eau et la récupération (informations nécessaires pour l'analyse des DGT). Le laboratoire a suivi le protocole AQUAREF pour l'analyse du DGT (Annexe 1), ainsi que la norme FD T90-12². Brièvement, la résine de chaque DGT est retirée et éluée. L'éluat obtenu est analysé par ICP MS (spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif).

Les concentrations des composants suivants ont été mesurées dans chaque DGT du triplicat P2, ainsi que dans le témoin. A noter que les composants des anodes sacrificielles sont reportés en bleu.

- Aluminium ;
- Cadmium ;
- Cobalt ;
- Chrome ;
- Cuivre ;

² Qualité de l'eau - Dosage des métaux - Méthode pour la mesure de concentration en métaux après échantillonnage passif par gradient diffusif en couche mince – Fascicule de documentation FD T90-012 (Septembre 2021) : <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/fd-t90012/qualite-de-leau-dosage-des-metaux-methode-pour-la-mesure-de-concentration-e/fa199915/276656>

- Fer ;
- Manganèse ;
- Nickel ;
- Plomb ;
- Zinc.

Les concentrations en métaux sont évaluées suivant deux Normes de Qualité Environnementale (NQE) établies pour chaque substance ou groupe de substances dans la Directive 2008/105/CE transposée par l'arrêté du 25 janvier 2010 (modifié par l'Arrêté du 27 juillet 2018) relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement. Ces normes représentent des seuils à ne pas dépasser afin de protéger l'environnement et la santé humaine :

- ✓ NQE-MA : qui représente la Moyenne Annuelle à ne pas dépasser ($\mu\text{g. L}^{-1}$). La concentration moyenne annuelle d'une substance est calculée en faisant la moyenne des concentrations obtenues sur une année. Au minimum, quatre résultats de mesures doivent être utilisés.
- ✓ NQE-CMA : qui représente la Concentration Maximale Admissible ($\mu\text{g. L}^{-1}$). Ce seuil n'est pas donné pour toutes les substances ou paramètres. Mais lorsqu'il existe et qu'une substance a été quantifiée au moins une fois dans l'année, on compare le résultat à ce seuil.

Ces concentrations sont adaptées aux mesures « traditionnelles » à l'aide d'une bouteille Niskin. Les concentrations correspondent alors à la fraction dissoutes des métaux acquises après filtration à $0,45 \mu\text{m}$. Avec les métaux par DGT, la comparaison avec les NQE est plus complexe à interpréter car la fraction des métaux capturée par la DGT ne représente qu'une fraction de celle mesurée dans les prélèvements ponctuels. Cependant, elle est potentiellement plus représentative de la concentration disponible pour les organismes aquatiques. Ainsi, les comparaisons avec les NQE sont indicatives.

Le projet Interreg MONITOOL vise à définir des NQE adaptées à l'utilisation des DGT. Aujourd'hui, des NQE_{DGT} ont été définies pour le Cadmium, le Nickel et le plomb et est en cours pour le cobalt et le cuivre.

Tableau 3 : NQE_{DGT} définis par le programme Monitool (WP6 / Action 1: EQS adaptation for priority metals (Pb, Ni, Cd)³)

Substance	EQS ($\mu\text{g L}^{-1}$) Annual Average	EQS _{max} ($\mu\text{g L}^{-1}$) Proposal 1	EQS _{max} ($\mu\text{g L}^{-1}$) Proposal 2
Cd	0.2	0.20	0.18
Ni	8.6	4.60	3.08
Pb	1.3	0.23	0.12
Proposal 1: Linear model regression			
Proposal 2: Linear model regression minus low Prediction Interval (PI 95%)			

3 RESULTATS

Le Tableau 4 présente les concentrations mesurées dans le DGT témoin ainsi que dans les trois DGT déployés à la station P2. Le rapport d'analyse du laboratoire est présenté en Annexe 2.

Tableau 4 : Concentrations mesurées dans les DGT de la station P2 et le DGT témoin

Paramètre	Unité	Normes environnementales Arrêté du 27 juillet 2018		MONITOOL 2022		Témoin	Suivi DGT Fécamp 2022 - Station P2	
		NQE-MA	NQE-CMA	NQE _{DGT1}	NQE _{DGT2}		Moy.	E.T.
Métaux lourds								
Aluminium	ng/L					260	1 870	2 121
Cadmium	ng/L	80	450	200	180	3	23	9
Cobalt	ng/L					9	22	10
Chrome Total	ng/L					< 87	< 87	
Cuivre	ng/L					445	1 549	883
Fer	ng/L					984	5 895	5 851
Manganèse	ng/L					2 100	2 274	1 152
Nickel	ng/L	4 000	34 000	4 600	3 080	305	627	247
Plomb	ng/L	1 200	14 250	230	120	961	2 686	4 262
Zinc	ng/L					4 090	12 547	4 136

Les concentrations en P2 sont globalement supérieures à celles détectées dans le témoin. Les écart types mesurés sur le triplicat sont élevés en particulier pour l'aluminium, le fer et le plomb. Pour ce dernier, une contamination peut s'expliquer par la présence commune du plomb sur un bateau (fumées du moteur, surface de pose...).

Les concentrations en cadmium et en nickel sont inférieures aux normes NQE_{DGT}. A l'inverse, la concentration en plomb dépasse les deux niveaux de norme NQE_{DGT}.

4 CONCLUSION

Les fondations des éoliennes prévues pour le futur parc éolien offshore de Fécamp seront équipées d'anodes sacrificielles pour éviter la corrosion de la partie métallique de la fondation, pendant toute la durée d'exploitation du parc. Afin de mesurer un éventuel impact de ces anodes sur la qualité de l'eau, un état de référence des concentrations ne métaux devait être établi avec le début des travaux. Il a ainsi été réalisé en février 2022. Conformément aux recommandations d'IFREMER, cette mesure a été réalisée à l'aide d'échantillonneurs passifs (DGT).

Le protocole a connu des difficultés au cours de son déploiement par la cohabitation avec les autres activités du secteur (notamment la pêche) et les conditions météorologiques. De surcroît, les DGT sont du matériel fragile dont le déploiement en haute mer est délicat. Assurer leur sûreté dans la colonne d'eau est une condition significative de la réussite d'un tel suivi.

Les concentrations mesurées sur le triplicat de DGT présente des écart types importants notamment pour l'aluminium, le fer et le plomb. Les concentrations mesurées sont inférieures aux normes NQE_{DGT} définies dans le programme MONITOOL pour le cadmium et le nickel mais supérieures pour le plomb. Il est à noter que le plomb ne rentre pas dans la composition des anodes sacrificielles.

Comme rappelé, les anodes sacrificielles prévues seront majoritairement composées d'aluminium (Tableau 1). Les modélisations réalisées en 2017 par ACTIMAR sur la diffusion de l'aluminium des anodes dans le milieu montrent que les concentrations libérées et cumulées sur les parcs de Courseulles et de Fécamp ne dépasseraient pas 0,8 µg/L. D'après les mesures établies par les DGT, la concentration en aluminium serait de $1,87 \pm 2,12$ µg/L. Les importants écarts types mesurés au cours de cet état de référence sont importants et ne permettent pas d'évaluer l'importance des concentrations libérées par les anodes vis-à-vis de la concentration naturellement présente dans l'eau.

Les mesures réalisées en année 1 et 5 en phase d'exploitation permettront de vérifier si ces effets restent avérés ou non. Une évolution de protocole va être proposée pour renforcer le suivi et notamment la prise de mesures de référence en-dehors du parc.

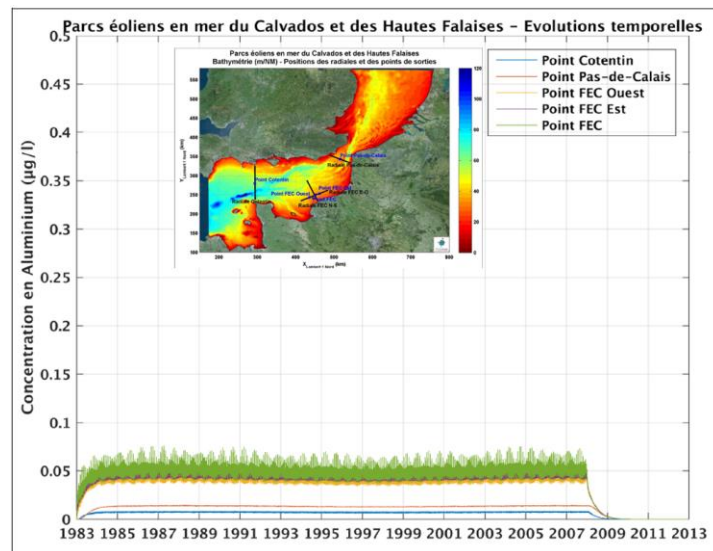


Figure 13 : Concentration en aluminium estimée en 5 stations lors de la dissolution des anodes prévues sur les parcs de Fécamp et Courseulles (Rapport ACTIMAR, 2017).

5 BIBLIOGRAPHIE

ACTIMAR, 2017. Eoliennes Offshore des Hautes Falaises - Etude de la dispersion dans le milieu marin de l'aluminium issu de la protection cathodique des structures éoliennes offshore du site de Fécamp. 20 janvier 2017. Rapport MOC-1420.

Deborde, J., Refait, P., Bustamante, P., Caplat, C., Basuyaux, O., Grolleau, A. M., Mahaut, M.-L., Brach-Papa, C., Gonzalez J.-L., Pineau, S. (2015). Impact of galvanic anode dissolution on metal trace element concentrations in marine waters. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226(12), 1-14.

Mao, A., Mahaut, M. L., Pineau, S., Barillier, D., & Caplat, C. (2011). Assessment of sacrificial anode impact by aluminum accumulation in mussel *Mytilus edulis*: A large-scale laboratory test. *Marine pollution bulletin*, 62(12), 2707-2713.

Pineau S, Mao A, Masson D, Crouzillac J, Caplat C. 2011. Transfert d'éléments constitutifs d'anodes sacrificielles Al-In vers l'environnement. Rapport 5èmes journées d'Aix de la Protection Cathodique-Théorie et pratique pour tous secteurs d'application. 11 p. URL : http://www.accoast.fr/images/publications/Article_Aix_2011_impact_anodes.pdf

6 ANNEXE 1 : PROTOCOLE D'ANALYSE DES DGT SUIVI PAR LE LABORATOIRE

ME 01 : Métaux – DGT – Eaux douces, marines et usées



APPLICATION DE LA DGT POUR LA QUANTIFICATION DE METAUX DISSOUS LABILES DANS L'EAU

Références de la méthode

La méthode qui suit est dérivée de la publication suivante Davison, W.; Zhang, H., *In situ* speciation measurements of trace components in natural waters using thin film gels. *Nature* **1994**, 367, 546-548.

Code SANDRE de la méthode^[N1]

Généralités

Nom de la famille de substances Métaux : Ag, Al, Se, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn.

Codes SANDRE des substances^[N2]

- Argent : 1368
- Aluminium : 1370
- Sélénium : 1385
- Cadmium : 1388
- Cobalt : 1379
- Chrome : 1389
- Cuivre : 1392
- Fer : 1393
- Manganèse : 1394
- Nickel : 1386
- Plomb : 1382
- Zinc : 1383

Type de dispositif Technique du gradient de diffusion en couche mince. Diffusive Gradient in Thin film (DGT)

Matrice analysée Eaux douces, eaux marines, eaux usées

Principe et Théorie Le dispositif de gradient de diffusion en couche mince ("Diffusive Gradient in Thin film", DGT) est composé d'un support plastique, sur lequel sont disposés successivement une phase fixante (résine Chelex), un hydrogel de diffusion et un gel de polycarbonate (Figure 1). Il permet l'extraction et la concentration in situ des métaux dissous "labiles".

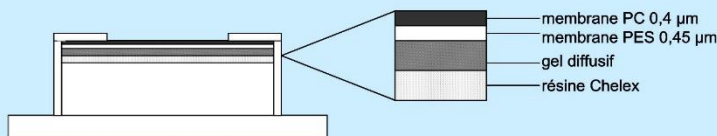


Figure 1 : schéma de montage d'un dispositif DGT

Fraction échantillonnée

Les cations métalliques migrent à travers le gel de diffusion et se fixent de façon irréversible sur la résine. C'est la diffusion, contrôlée par les propriétés physiques du gel et la concentration en métal dans le milieu à échantillonner, qui détermine la cinétique d'accumulation sur la résine.

Après exposition et mesure, la concentration moyenne en métal labile dans milieu aquatique (C_{lab}) est estimée par l'équation suivante :

$$C_{lab} = \frac{M \Delta g}{tAD}$$

où M est la masse de cation métallique concentré sur la résine et déterminée après analyse, Δg est l'épaisseur du gel, t le temps d'exposition, A la surface de gel exposée, et D le coefficient de diffusion du métal dans le gel.

Les DGT échantillonnent les métaux dissous sous forme dite "labile". Les métaux dissous en solution se trouvent sous forme ionique libre, ou sous forme de complexes inorganiques ou organiques. L'ensemble des complexes métalliques de la solution peut diffuser dans le gel du DGT. Les cations métalliques se fixent de façon irréversible à la résine chelex. Les complexes qui se dissocient au cours de leur migration dans le gel diffusif, donnent lieu à un cation qui se fixe sur la résine. Ces complexes sont dits « labiles » et sont mesurés par le DGT. Un complexe labile est donc un complexe dont la cinétique de dissociation-reformation est rapide. La fraction organique labile est donc plus ou moins importante en fonction des propriétés du cation métallique et de la nature, ainsi que de la concentration, des ligands organiques présents dans le milieu [1]

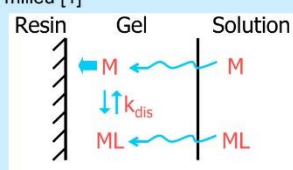


Figure 2 : principe de fonctionnement. M : métal libre. L ligand, k_{diss} constante cinétique de dissociation du complexe ML

Les caractéristiques du DGT conditionnent également le type de complexes échantillonnés en plus du métal libre et inorganique. Par exemple, plus l'épaisseur de gel de diffusion est importante, plus probable sera la dissociation des complexes à l'intérieur du gel. Plus le gel sera densément polymérisé, moins les complexes formés avec des molécules organiques de type humique pourront y pénétrer. Il existe principalement deux types de gels pour une utilisation en milieu aquatique : les gels non restrictifs (en polyacrylamide) et les gels restrictifs, plus densément polymérisés.

Protocole analytique

Préparation, exposition et conservation des dispositifs et des échantillons

Conditionnement, et préparation des échantillonneurs

- Nature la phase réceptrice
- PRC utilisé(s)

Résine Chelex 100

NON

- Préparation et conservation avant exposition

Les dispositifs DGT peuvent être achetés prêts à l'emploi, les gels commercialisés peuvent être restrictif ou non restrictifs [2]. Si les résines et les gels sont achetés à part, le montage de la DGT se fait au laboratoire en conditions propres (sous une hotte à flux laminaire, gants). Il s'agit d'installer sur la base du support la résine, le gel, puis un filtre de protection en polyethersulfone (qui protège le gel) et un filtre de protection en polycarbonate (qui limite le biofilm) puis de fermer l'ensemble avec la bague scellante (Figure 3).

Le support et la bague scellante peuvent être réutilisés, après les avoir nettoyés dans l'acide 1M, puis rincés à l'eau ultrapure

Les DGT sont conservés dans des sachets plastiques propres, avec une goutte de solution de NaNO_3 0,01M, au froid (4°C). Ils peuvent être conservés jusqu'à un mois en conditions très propres.

ME 01 : Métaux – DGT – Eaux douces, marines et usées



Figure 3 : DGT en cours de montage

Remarque : La résine et le gel peuvent également être fabriqués en laboratoire, mais il faut pour cela disposer d'une salle blanche pour éviter toute contamination. De plus, dans le cas où l'on utilise d'autres gels, il est impératif de mesurer les coefficients de diffusion au laboratoire avant toute utilisation in situ.

Exposition des échantillonneurs

- Durée
- Disposition (colonne d'eau ou sédiment, description du dispositif contenant les échantillonneurs)
- Conditions (vitesse du courant, T°, conductivité, etc.)
- Contrôle qualité (blancs d'exposition)

Quelques heures à quelques jours (jusqu'à un mois)

Les DGT fixés sur un support exempt de métal sont immergés dans la colonne d'eau. En milieu marin, les DGT sont positionnés au sein de la masse d'eau, à la profondeur souhaitée, reliée à une bouée lestée [3]. En rivière, le support est maintenu à partir de la berge ou d'un ponton, ou il peut être posé sur le sol pour les plus petites rivières.

La température de l'eau doit être mesurée, au minimum lors de la mise en place et de la récupération des dispositifs.

De façon à éviter la formation d'une couche limite d'eau au voisinage du gel, il est recommandé de mettre les dispositifs dans un milieu bien agité.

Une ou plusieurs DGT sont préparés, et exposés à l'air lors de la manipulation pour la mise à l'eau. Ces "blancs terrain" permettent de contrôler les possibles contaminations lors de la préparation, du transport et du déploiement des DGT.

Plusieurs "blancs laboratoire" (DGT montés, puis démontés le jour de la mise à l'eau) sont aussi analysés pour chaque série.

Sans objet

- Précautions particulières

Récupération et élution/dialyse de la phase réceptrice

- Récupération

Les DGT sont récupérés avec des gants, rincés à l'eau ultra-pure, placés dans des boîtes ou sachets en plastique propres et ramenés au laboratoire.

- Extraction

- Elution

Dans les conditions "ultra propres", la résine de chaque DGT est retirée, placée dans un tube en polyéthylène et élue pendant au moins 24h avec 1 ml d'acide nitrique suprapur 1M.

Sans objet

- Dialyse

- Purification

Sans objet

- (cartouche, nature et volume du solvant d'élution, évaporation)

- Autres

Sans objet

Analyse

ME 01 : Métaux – DGT – Eaux douces, marines et usées



Technique analytique utilisée (Référence de la publication, de la norme ou de la fiche méthodologique Aquaref utilisée)	La méthode analytique pour mesurer les métaux contenus dans l'éluat acide de la résine est celle de la mesure des métaux dans les eaux. Selon les possibilités analytiques du laboratoire, l'éluat est analysé par ICP-MS (NF EN ISO 17294), ICP-AES (NF EN ISO 11885), ou absorption atomique four graphite (NF EN ISO 15586)
Correction par les rendements	Un coefficient d'éluat est appliqué lors de l'évaluation de la masse de métal accumulé. Ce coefficient est de 0,8 pour tous les métaux sauf pour le cadmium (1) et le plomb et le fer (0,7)
Effets de matrice	Non
Dilution - Autres	L'éluat est dilué avant analyse au volume et au pourcentage d'acidité nécessaires pour la technique utilisée

Etalonnage et validation

Etalonnage des dispositifs en laboratoire - Schéma et fonctionnement du dispositif d'étalonnage - Taux d'échantillonnage - Coefficients de diffusion	L'étalonnage des DGT standard n'a pas à être réalisé au laboratoire. Les paramètres de calibration ont été établis au préalable par le fournisseur [2]. Sans objet : c'est le coefficient de diffusion qui déterminent le taux d'échantillonnage. Donnés par le fournisseur [2]. Un "facteur de concentration" peut être évalué par la formule $\frac{M}{C_{lab} \cdot t} = \frac{AD}{\Delta g}.$ Le tableau ci-dessous présente les coefficients de diffusion et les facteurs de concentration (FC) évalués pour une DGT standard (gel non restrictif d'une épaisseur de 0,78 mm avec filtres de protection) à 25° dans un milieu bien agité <table><tr><th></th><th>Ag</th><th>Al</th><th>Cd</th><th>Co</th><th>Cr</th><th>Cu</th><th>FE</th><th>Mn</th><th>Ni</th><th>Pb</th><th>Zn</th></tr><tr><td>D (x10⁻⁶ cm²/s)</td><td>14,11</td><td>4,75</td><td>6,09</td><td>5,94</td><td>5,05</td><td>6,23</td><td>6,11</td><td>5,5</td><td>5,77</td><td>8,03</td><td>6,08</td></tr><tr><td>FC (en mL/j)</td><td>39,9</td><td>13,4</td><td>17,2</td><td>16,8</td><td>14,3</td><td>17,6</td><td>17,3</td><td>15,5</td><td>16,3</td><td>22,7</td><td>17,2</td></tr></table>		Ag	Al	Cd	Co	Cr	Cu	FE	Mn	Ni	Pb	Zn	D (x10 ⁻⁶ cm²/s)	14,11	4,75	6,09	5,94	5,05	6,23	6,11	5,5	5,77	8,03	6,08	FC (en mL/j)	39,9	13,4	17,2	16,8	14,3	17,6	17,3	15,5	16,3	22,7	17,2
	Ag	Al	Cd	Co	Cr	Cu	FE	Mn	Ni	Pb	Zn																										
D (x10 ⁻⁶ cm²/s)	14,11	4,75	6,09	5,94	5,05	6,23	6,11	5,5	5,77	8,03	6,08																										
FC (en mL/j)	39,9	13,4	17,2	16,8	14,3	17,6	17,3	15,5	16,3	22,7	17,2																										
Evaluation des paramètres d'étalonnage in situ	Pour chaque métal, le coefficient de diffusion dans le gel non restrictif à 25°C (<i>D</i>_{25°}) est donné par le fournisseur. Le processus de diffusion dépend de la température d'exposition. Le coefficient de diffusion <i>D</i> est donc calculé de la manière suivante [4] : $\log D = \log D_{25^{\circ}} \left(\frac{273 + T}{298} \right) + \frac{1,37023(T - 25) + 8,36.10^{-4}(T - 25)^2}{109 + T}$ Pour un gel restrictif, le coefficient de diffusion est calculé en appliquant un facteur 0,83 au coefficient de diffusion d'un gel non restrictif.																																				
Niveau de validation selon Norman	Niveau 3																																				
Calculs d'incertitude	La relation entre la concentration dans l'éluat <i>C</i> _e et le temps d'exposition est donnée par																																				



	$C_e = V f_e M = V f_e C_{labile} \frac{AD}{\Delta g} t$ Avec C_e la concentration en métal mesurée dans l'éluat, f_e le facteur d'élution, V le volume de l'éluat, Δg l'épaisseur du gel, t le temps d'exposition, A la surface de gel exposée, et D le coefficient de diffusion du métal dans le gel. L'estimation de la pente de la relation entre C_e et t permet donc d'évaluer une concentration labile C_{lab}. La concentration à $t = 0$ est donnée par les mesures dans les "blanc laboratoire". Utiliser des répliquats et des durées différentes de déploiement permet de plus d'évaluer un écart-type sur C_{labile} qui prenne en compte la répétabilité des DGT et l'éventuelle variation de la contamination dans le milieu échantillonné (Figure 4). La concentration intégrée dans le temps est estimée par : $C_{lab} = p \cdot \frac{\Delta g}{V f_e AD}$ où p est la pente de la relation entre C_e et la durée d'exposition. L'écart-type sur C_{lab} est donnée par $\Delta(C_{lab}) = \Delta(p) \cdot \frac{\Delta g}{V f_e AD}$ Cobalt $[Co]_{labile} = 0,23 \pm 0,03 \mu g/L$ Cuivre $[Cu]_{labile} = 2,12 \pm 0,49 \mu g/L$ Figure 4 : Cuivre et cobalt accumulés au cours du temps, sur la résine de 9 DGT déployées directement en Seine, en juillet 2002. [5]
Intercalibration	
Limites et développements ultérieurs	La principale incertitude sur la mesure DGT est liée à la couche limite d'eau au voisinage de la résine. Son évaluation in situ est théoriquement possible en utilisant des gels d'épaisseur différente sur un même site [6]. Nous travaillons actuellement à sa mise en œuvre pratique sur site.

Contacts

Auteurs	Catherine Gourlay-Francé, Emmanuelle Uher
Institut	Cemagref – UR HBAN
Adresse mail	catherine.gourlay@cemagref.fr ; emmanuelle.uher@cemagref.fr
Partenaires	Ifremer

Références

- (1) Tusseau-Vuillemin, M.-H.; Gilbin, R.; Taillefert, M., A dynamical model to characterize labile metal complexes collected with Diffusion Gradient in Thin films devices. *Environmental Science and Technology* **2003**, 37, (8), 1645-1652.
- (2) www.DGTresearch.com.
- (3) Gonzalez, J.-L.; Guyomarch, J.; Vuillemin, R.; Masset, J.-F. In *Application des techniques d'échantillonnage passif (DGT, SBSE) pour le suivi de la contamination chimique*

ME 01 : Métaux – DGT – Eaux douces, marines et usées



en milieu marin. , Séminaire échantillonneurs passifs et méthodes alternatives de prélèvement. , CEMAGREF, Cestas, 2008.

(4) Zhang, H.; Davison, W., Performance characteristics of diffusion gradients in thin films for the in situ measurement of trace metals in aqueous solution. *Analytical Chemistry* **1995**, 67, (19), 3391-3400.

(5) Tusseau-Vuillemin, M. H.; Gourlay, C.; Lorgeoux, C.; Mouchel, J. M.; Buzier, R.; Gilbin, R.; Seidel, J. L.; Elbaz-Poulichet, F., Dissolved and bioavailable contaminants in the Seine river basin. *Science of the Total Environment* **2007**, 375, (1-3), 244-256.

(6) Warnken, K. W.; Zhang, H.; Davison, W., Accuracy of the diffusive gradients in thin-films technique: Diffusive boundary layer and effective sampling area considerations. *Analytical Chemistry* **2006**, 78, (11), 3780-3787.

7 ANNEXE 2 : RAPPORT D'ANALYSES



RAPPORT D'ANALYSES N°

D220205983

Inovalys site de Nantes

La Chantrerie, Rte de Gachet - BP 52703 / 44327 NANTES CEDEX 3
Tel : 02.51.85.44.64 / contact@inovalys.fr / www.inovalys.fr

N° Devis : DE220200575

Enregistré le :

25/02/2022

Edité le :

06/09/2022
17:20

Date de première édition : 20/04/2022

TBM ENVIRONNEMENT

A l'attention de Madame JOLIVET Aurélie

2 RUE DE SUEDE

BLOC 3 - PORTE OCEANE

56400 AURAY

Tél. 02 97 56 27 76

NOUVELLE EDITION - Annule et remplace l'édition précédente

Les éditions antérieures sont à détruire par vos soins - Leur utilisation ne relève pas de la responsabilité d'Inovalys
Modification des arrondis et limites de quantifications.

Objet : Analyses sur échantillonneurs passifs DGT

Madame, Monsieur,

Inovalys a procédé en 2022 à une augmentation générale sur la base des analyses économiques disponibles fin 2021, manifestement très optimistes. Toutefois la direction générale d'Inovalys a décidé de maintenir cette évolution tarifaire et de ne pas répercuter en cours d'année les effets de la conjoncture actuelle qui nous impactent tous très fortement.

Vous remerciant de votre confiance

RÉCAPITULATIF

Échantillons analysés :

Références Inovalys des échantillons	Références client des échantillons
E220226538	Station P2 N - 1
E220226539	Station P2 N - 2
E220226540	Station P2 N - 3
E220226541	Témoin

Ce rapport d'analyse ne concerne que les produits soumis à analyse. Le site Inovalys de réalisation des analyses est indiqué en début de ligne (A: Angers, M: Le Mans, N: Nantes, T: Tours, V: Vannes, L: Lorient) et § pour la sous-traitance. La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 5 page(s).

Réf Client : Station P2 N - 1

(Echantillonneurs passifs)

Le prélèvement n'est pas réalisé par le laboratoire, les caractéristiques associées à l'échantillon ne sont pas de sa responsabilité. Les résultats s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu.

N° échantillon Inovalys : E220226538

Date de réception : 25/02/2022 08:55

Paramètres	Résultats	Unité	LQ	Spécifications	Méthode	Date analyse
Analyses des Métaux sur un échantillonneur passif type DGT (LSNM-NP)						
Durée totale d'exposition	288	HEURES				06/09/22
Température de l'eau (mesure in situ par le client) <i>n° Sandre : 1301</i>	9,8	°C				
N Aluminium <i>n° Sandre : 1370</i>	37	ng par support	35		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Aluminium rapporté au temps d'exposition	0,18	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cadmium <i>n° Sandre : 1388</i>	4,87	ng par support	0,04		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cadmium rapporté au temps d'exposition	0,0183	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cobalt <i>n° Sandre : 1379</i>	4,48	ng par support	0,20		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cobalt rapporté au temps d'exposition	0,0172	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Chrome <i>n° Sandre : 1389</i>	< 21	ng par support	21		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Chrome rapporté au temps d'exposition	<0,087	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cuivre <i>n° Sandre : 1392</i>	370,0	ng par support	7,4		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cuivre rapporté au temps d'exposition	1,359	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Fer <i>n° Sandre : 1393</i>	413	ng par support	23		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Fer rapporté au temps d'exposition	1,543	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Manganèse <i>n° Sandre : 1394</i>	481,0	ng par support	1,0		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Manganèse rapporté au temps d'exposition	1,988	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Nickel <i>n° Sandre : 1386</i>	145	ng par support	15		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Nickel rapporté au temps d'exposition	0,571	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Plomb <i>n° Sandre : 1382</i>	93,44	ng par support	0,13		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Plomb rapporté au temps d'exposition	0,2696	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Zinc <i>n° Sandre : 1383</i>	3000	ng par support	40		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Zinc rapporté au temps d'exposition	11,27	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22

Approuvé le 06/09/2022 par Carole GARNIER ,
Responsable laboratoire Chimie Environnement



Ce rapport d'analyse ne concerne que les produits soumis à analyse. Le site Inovalys de réalisation des analyses est indiqué en début de ligne (A: Angers, M: Le Mans, N: Nantes, T: Tours, V: Vannes, L: Lorient) et § pour la sous-traitance. La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 5 page(s).

Réf Client : Station P2 N - 2

(Echantillonneurs passifs)

Le prélèvement n'est pas réalisé par le laboratoire, les caractéristiques associées à l'échantillon ne sont pas de sa responsabilité. Les résultats s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu.

N° échantillon Inovalys : E220226539

Date de réception : 25/02/2022 08:55

Paramètres	Résultats	Unité	LQ	Spécifications	Méthode	Date analyse
Analyses des Métaux sur un échantillonneur passif type DGT (LSNM-NP)						
Durée totale d'exposition	288	HEURES				06/09/22
Température de l'eau (mesure in situ par le client) <i>n° Sandre : 1301</i>	9,8	°C				
N Aluminium <i>n° Sandre : 1370</i>	895	ng par support	35		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Aluminium rapporté au temps d'exposition	4,25	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cadmium <i>n° Sandre : 1388</i>	8,99	ng par support	0,04		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cadmium rapporté au temps d'exposition	0,0337	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cobalt <i>n° Sandre : 1379</i>	8,75	ng par support	0,20		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cobalt rapporté au temps d'exposition	0,0336	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Chrome <i>n° Sandre : 1389</i>	< 21	ng par support	21		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Chrome rapporté au temps d'exposition	<0,087	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cuivre <i>n° Sandre : 1392</i>	684,3	ng par support	7,4		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cuivre rapporté au temps d'exposition	2,512	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Fer <i>n° Sandre : 1393</i>	3355	ng par support	23		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Fer rapporté au temps d'exposition	12,546	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Manganèse <i>n° Sandre : 1394</i>	857,4	ng par support	1,0		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Manganèse rapporté au temps d'exposition	3,543	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Nickel <i>n° Sandre : 1386</i>	227	ng par support	15		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Nickel rapporté au temps d'exposition	0,897	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Plomb <i>n° Sandre : 1382</i>	2636,54	ng par support	0,13		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Plomb rapporté au temps d'exposition	7,6076	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Zinc <i>n° Sandre : 1383</i>	4569	ng par support	40		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Zinc rapporté au temps d'exposition	17,17	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22

Approuvé le 06/09/2022 par Carole GARNIER ,
Responsable laboratoire Chimie Environnement



Ce rapport d'analyse ne concerne que les produits soumis à analyse. Le site Inovalys de réalisation des analyses est indiqué en début de ligne (A: Angers, M: Le Mans, N: Nantes, T: Tours, V: Vannes, L: Lorient) et § pour la sous-traitance. La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 5 page(s).

Réf Client : Station P2 N - 3

(Echantillonneurs passifs)

Le prélèvement n'est pas réalisé par le laboratoire, les caractéristiques associées à l'échantillon ne sont pas de sa responsabilité. Les résultats s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu.

N° échantillon Inovalys : E220226540

Date de réception : 25/02/2022 08:55

Paramètres	Résultats	Unité	LQ	Spécifications	Méthode	Date analyse
Analyses des Métaux sur un échantillonneur passif type DGT (LSNM-NP)						
Durée totale d'exposition	288	HEURES				06/09/22
Température de l'eau (mesure in situ par le client) <i>n° Sandre : 1301</i>	9,8	°C				
N Aluminium <i>n° Sandre : 1370</i>	248	ng par support	35		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Aluminium rapporté au temps d'exposition	1,18	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cadmium <i>n° Sandre : 1388</i>	4,55	ng par support	0,04		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cadmium rapporté au temps d'exposition	0,0171	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cobalt <i>n° Sandre : 1379</i>	4,14	ng par support	0,20		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cobalt rapporté au temps d'exposition	0,0159	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Chrome <i>n° Sandre : 1389</i>	< 21	ng par support	21		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Chrome rapporté au temps d'exposition	<0,087	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cuivre <i>n° Sandre : 1392</i>	211,3	ng par support	7,4		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cuivre rapporté au temps d'exposition	0,776	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Fer <i>n° Sandre : 1393</i>	962	ng par support	23		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Fer rapporté au temps d'exposition	3,596	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Manganèse <i>n° Sandre : 1394</i>	312,6	ng par support	1,0		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Manganèse rapporté au temps d'exposition	1,292	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Nickel <i>n° Sandre : 1386</i>	105	ng par support	15		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Nickel rapporté au temps d'exposition	0,413	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Plomb <i>n° Sandre : 1382</i>	62,67	ng par support	0,13		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Plomb rapporté au temps d'exposition	0,1808	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Zinc <i>n° Sandre : 1383</i>	2448	ng par support	40		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Zinc rapporté au temps d'exposition	9,20	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22

Approuvé le 06/09/2022 par Carole GARNIER ,
Responsable laboratoire Chimie Environnement



Ce rapport d'analyse ne concerne que les produits soumis à analyse. Le site Inovalys de réalisation des analyses est indiqué en début de ligne (A: Angers, M: Le Mans, N: Nantes, T: Tours, V: Vannes, L: Lorient) et § pour la sous-traitance. La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 5 page(s).

Réf Client : Témoin

(Echantillonneurs passifs)

Le prélèvement n'est pas réalisé par le laboratoire, les caractéristiques associées à l'échantillon ne sont pas de sa responsabilité. Les résultats s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu.

N° échantillon Inovalys : E220226541

Date de réception : 25/02/2022 08:55

Paramètres	Résultats	Unité	LQ	Spécifications	Méthode	Date analyse
Analyses des Métaux sur un échantillonneur passif type DGT (LSNM-NP)						
Durée totale d'exposition	288	HEURES				06/09/22
Température de l'eau (mesure in situ par le client) <i>n° Sandre : 1301</i>	9,8	°C				
N Aluminium <i>n° Sandre : 1370</i>	55	ng par support	35		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Aluminium rapporté au temps d'exposition	0,26	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cadmium <i>n° Sandre : 1388</i>	0,88	ng par support	0,04		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cadmium rapporté au temps d'exposition	0,0033	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cobalt <i>n° Sandre : 1379</i>	2,39	ng par support	0,20		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cobalt rapporté au temps d'exposition	0,0092	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Chrome <i>n° Sandre : 1389</i>	< 21	ng par support	21		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Chrome rapporté au temps d'exposition	<0,087	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cuivre <i>n° Sandre : 1392</i>	121,2	ng par support	7,4		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Cuivre rapporté au temps d'exposition	0,445	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Fer <i>n° Sandre : 1393</i>	263	ng par support	23		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Fer rapporté au temps d'exposition	0,984	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Manganèse <i>n° Sandre : 1394</i>	520,1	ng par support	1,0		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Manganèse rapporté au temps d'exposition	2,100	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Nickel <i>n° Sandre : 1386</i>	77	ng par support	15		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Nickel rapporté au temps d'exposition	0,305	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Plomb <i>n° Sandre : 1382</i>	332,87	ng par support	0,13		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Plomb rapporté au temps d'exposition	0,9605	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Zinc <i>n° Sandre : 1383</i>	1089	ng par support	40		NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22
N Zinc rapporté au temps d'exposition	4,09	µg/L			NF EN ISO 17294-2 (T90-164) ICP-MS	20/04/22

Approuvé le 06/09/2022 par Carole GARNIER ,
Responsable laboratoire Chimie Environnement



Ce rapport d'analyse ne concerne que les produits soumis à analyse. Le site Inovalys de réalisation des analyses est indiqué en début de ligne (A: Angers, M: Le Mans, N: Nantes, T: Tours, V: Vannes, L: Lorient) et § pour la sous-traitance. La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 5 page(s).

TBM environnement

Siège social :

2 rue de Suède Bloc III Porte Océane - 56400 AURAY

Tel 02.97.56.27.76. - Fax 02.97.29.18.89.

contact@tbm-environnement.com

www.tbm-environnement.com

