

HYDRODYNAMIQUE ET DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE SUIVI DE L'ÉVOLUTION TEMPORELLE ET SPATIALE DE LA TURBIDITE LIÉE AUX TRAVAUX

ÉTAT DE RÉFÉRENCE

MESURES IN SITU ET ANALYSE SATELLITE



SEPTEMBRE 2023 RAPPORT FINAL







Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable : en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des indications et énonciations de Setec Energie Environnement ne saurait engager la responsabilité de celle-ci.

<u>Crédit photographique</u>: Setec Energie Environnement (sauf mention particulière)

Auteurs :

Yann KERJEAN	Analyse et rédaction sur les aspects mesures in situ (après mars 2023)
Solenne CAOUS	Analyse et rédaction sur les aspects mesures in situ
Olivier REGNIERS (ISEA)	Analyse des données satellites
Manon BESSET (ISEA)	Interprétation et rédaction de l'analyse satellite
Guillaume JACQ	Compléments et validation

Setec Energie Environnement Siège social : Immeuble Central Seine 42-52 quai de la Râpée CS 7120 75 583 Paris cedex 12 France

Agence de La Forêt-Fouesnant Agence de Toulon 358 Z.A La Grande Halte 29 940 La Forêt-Fouesnant France

Tél. + 33 2 98 51 41 75

15 Rue Mirabeau 83000 Toulon France

Tél. + 33 4 86 15 61 80



Tél. +33 1 82 51 55 55

SAS au capital de 50 000 € - RCS Paris 818 424 970 - TVA FR58818424970



DOCUMENT

Zone	Domaine	Phase	Nature document	Numéro
FR	MESURE	CAMPAGNE	RAPPORT	02447997
		DE MESURE		

REVISIONS

Version	Date	Auteurs/Vérificateur	Description
1	17/10/2022	Solenne CAOUS/Guillaume JACQ	Première version rapport intermédiaire
2	30/03/2023	Solenne CAOUS Manon BESSET/Guillaume JACQ	Etat avant travaux 2023, arrêté à début février 2023
3	13/09/2023	Yann KERJEAN/Guillaume JACQ	Rapport final, jusqu'au 31 mai 2023

COORDONNEES

Adresse de l'établissement	Directeur de projet
Setec Energie Environnement	Philippe BORNENS
358 ZA La Grande Halte	Directeur
29940 La Forêt Fouesnant	
FRANCE	358 ZA La Grande Halte
	29940 La Forêt Fouesnant
Tél + 33 (0)2 98 51 41 75	France
	Tél. +33 (0)2 98 51 44 79
	Mob. +33 (0)6 07 97 09 14
	philippe.bornens@setec.fr



Sommaire

1 INTRODUCTION	
2 CONTEXTE DU SUIVI DE LA TURBIDITE	
3 QUELQUES GÉNÉRALITÉS SUR LA NOTION DE	TURBIDITE 14
4 MESURES IN SITU	
4.1 DESCRIPTION DU MATERIEL 4.1.1 Sondes multiparamètres	15 15
4.1.2 Station de surface	16
4.1.3 Stations de fond	18
4.1.4 Lignes de mouillage	18
4.2 CORRELATION MES/NTU 4.2.1 Définition	20
4.2.2 Protocole	21
4.2.3 Prélèvements	21
4.2.4 Mise en œuvre du protocole	23
4.2.5 Les résultats de la corrélation MES/NTU	24
4.3 INTERFACE WEB DE VISUALISATION DES DONNEES	
4.4 CONTEXTE METEOCEANIQUE	
4.5 CONTEXTE PHYTOPLANCTONIQUE	
4.6 CAMPAGNE DE MESURES	
4.6.1 Installation des stations	
4.6.2 Maintenance préventive	
4.6.3 Défaut du capteur de conductivité de SIV-NOY1	40
4.6.4 29 juin — automate de SIV-NOY4 en défaut	40
4.6.5 29 juillet — Décrochage de SIV-NOY4	40
4.6.6 Maintenance préventive n° 1 – 2 août 2022	41
4.6.7 Maintenance préventive n° 2 – 4 octobre 2022	43
4.6.8 Octobre 2022 : Décrochage et récupération de SIV-NC	0Y444
4.6.9 Maintenance préventive n° 3 – 20 mars 2023	45
4.6.10 Maintenance préventive n° 4 – 02 mai 2023	46
4.6.11 Synthèse des difficultés rencontrées	47

S 💿 i-Sea

setec énergie environnement	
5 ANALYSE SATELLITE	
5.1 OBJECTIFS DE L'ANALYSE SATELLITE	
5.2 ZONE D'ETUDE	
5.3 BASES DE DONNEES SPATIALES	
5.4 METHODE	
5.4.1 Caractérisation des climats de turbidité et catégorisation	
5.4.2 Croisement avec la base de données des forçages physiques52	
5.4.3 Illustration haute-résolution56	
6 RESULTATS DES MESURES IN SITU 57	
6.1 BILAN D'ACQUISITION	
6.1.1 Synthèse d'acquisition57	
6.1.2 Bilan d'acquisition des stations57	
6.2 DONNEES BRUTES	
6.3 QUALIFICATION DE LA DONNEE	
6.3.1 Méthode62	
6.3.2 Données qualifiées65	
6.3.3 Présentation des données brutes acquises sur la période Février-Mars 202366	
6.4 BILAN APRES VALIDATION DES DONNEES DANS LA BASE	
6.5 SYNTHESE DES DONNEES VALIDEES	
6.5.1 Données validées par paramètres74	
6.5.2 Données validées de turbidité par station76	
6.6 CONTEXTE METEOCEANIQUE	
6.6.1 Données de houle78	
6.6.2 Données de vent80	
6.6.3 Données de marées81	
6.6.4 Pression atmosphérique et surcote	
6.7 CONTEXTE PHYTOPLANCTONIQUE	
6.8 SYNTHESES GRAPHIQUES BIMENSUELLES	
6.9 ANALYSE ET INTERPRETATION DES DONNEES DE TURBIDITE 84 6.9.1 Méthode 84	
6.9.2 Données de turbidité au fond85	
6.9.3 Données de turbidité en surface90	
6.9.4 Comparaison interstation	



setec énergie environnement

6.9.6 Synthèse statistique	
6.9.7 Bilan102	
7 RESULTATS DE L'ANALYSE SATELLITE	
7.1 CINQ ETATS DE TURBIDITE OBSERVES DANS LE JEU DE DONNEES SPATIALES104	
7.2 DYNAMIQUE DE LA TURBIDITE SELON LES CONDITIONS METEO-OCEANIQUES 1077.2.1 La dynamique des vagues sur la turbidité	
7.2.2 L'influence de la Loire	
7.2.3 L'influence de la marée	
7.2.4 L'effet du vent	
7.2.5 Les courants de surface111	
7.3 SYNTHESE DE LA DYNAMIQUE COTIERE AU REGARD DES RESULTATS DE L'ANALY SATELLITE	SE
8 CONCLUSION	





Figure 1 : Localisation du projet Eoliennes en mer lles d'Yeu et de Noirmoutier	12
Figure 2 : Localisation des 4 stations de suivi de la turbidité	13
Figure 3 : Principe de mesure du capteur de turbidité	14
Figure 4 : Sonde EXO3S de YSI (à gauche) et WiMo de NKE (à droite)	15
Figure 5 : Bouée GBM3000 (à gauche) pour SIV-NOY1, SIV-NOY2 et SIV-NOY3	17
Figure 6 : Station de fond	18
Figure 7 : Lignes de mouillages des stations SIV-NOY1 (à gauche)	19
Figure 8 : Lignes de mouillages des stations SIV-NOY2 et SIV-NOY3	19
Figure 9 : Localisation des points de prélèvements	22
Figure 9 : la benne Day-Grab lestée et son déploiement (à gauche),	22
Figure 10 : Quatre capteurs EXO montés sur une même sonde (à gauche),	23
Figure 11 : Courbes de corrélation MES/NTU de SIV-NOY1 (à gauche)	24
Figure 12 : Courbes de corrélation MES/NTU de SIV-NOY3 (à gauche)	24
Figure 13 : Courbes de corrélation MES/NTU des stations de fond de SIV-NOY2 (à gauche)	25
Figure 14 : Synthèse des 6 courbes de corrélation MES/NTU réalisée en mai 2022	25
Figure 15 : Test de l'homogénéité de l'eau dans le bac	26
Figure 16 : Représentation statistique de l'homogénéité de l'eau dans le bac de mesure	26
Figure 17 : Courbes de corrélation MES/NTU de SIV-NOY1 (à gauche)	27
Figure 18 : Courbes de corrélation MES/NTU de SIV-NOY3 (à gauche)	27
Figure 19 : Synthèse des 4 courbes de corrélation MES/NTU réalisée en juillet 2022	28
Figure 20 : Exemple des séries temporelles synchronisées présentées dans Proxymae	29
Figure 21 : Exemple de présentation de données météocéanique présentées dans Proxymae	31
Figure 22 : Exemple d'océanogramme du SHOM présentés dans Proxymae (source : SHOM)	31
Figure 22 : Localisation des houlographes du réseau CANDHIS dans la zone (source : CANDHIS)	32
Figure 23 : Image satellite de Chlorophylle-a simulée en surface	33
Figure 24 : Image satellite de Chlorophylle-a simulée en surface	34
Figure 25 : Frise chronologique de la campagne de mesures	35
Figure 26 : Installation des stations SIV-NOY2 (à gauche)	37
Figure 27 : Exemple de colonisation de biofouling, pendant l'intervention du 4 octobre	37
Figure 28 : Efficacité du balai, photos prises pendant la deuxième maintenance	38
Figure 29 : Développement très important de biofouling sur la cage de protection des capteurs	38
Figure 30 : Capture d'écran de Proxymae des données de turbidité en surface	39
Figure 31 : Extrait de Proxymae des valeurs de salinité des quatre stations	40
Figure 32 : Récupération de SIV-NOY4 à bord du Nanoplon (à gauche)	41



setec énergie environnement

Figure 33 : Récupération du poids de chaîne de SIV-NOY4 (à gauche)
Figure 34 : Capteurs de turbidité et de conductivité anormalement colonisés par le biofouling
Figure 35 : Maintenance préventive n° 1 : vérification de l'état du matériel (à gauche),
Figure 36 : Extrait de Proxymae de SIV-NOY2 avec les données de turbidité en surface et au fond 43
Figure 37 : Anode usée (à gauche), installation d'une nouvelle anode (à droite)44
Figure 38 : L'intégralité du capteur de turbidité n'est pas nettoyée par le balai (à gauche)44
Figure 39. Emprises d'analyse pour les deux satellites Sentinel,49
Figure 40. Distribution mensuelle du jeu de données satellites Sentinel-3 utilisées pour l'étude50
Figure 41. Représentativité des valeurs journalières de forçage observées
Figure 42 : Frise chronologique de la synthèse d'acquisition des stations
Figure 43 : Diagramme circulaire du pourcentage d'acquisition de SIV-NOY1 (à gauche)58
Figure 44 : Diagramme circulaire du pourcentage d'acquisition de SIV-NOY3 (à gauche)58
Figure 45 : Séries temporelles des données brutes des paramètres mesurés61
Figure 46 : Exemple de données isolées, ici pendant la maintenance du 2 août 202262
Figure 47 : Exemple de données isolées liées à un défaut technique, ici le défaut observé63
Figure 48 : Exemple de pics de données isolées,63
Figure 49 : Exemple de données bruitées isolées,63
Figure 50 : Exemple de données bruitées isolées,64
Figure 51 : capteur de turbidité de la station de fond de SIV-NOY3,64
Figure 52 : Séries temporelles des données qualifiées des paramètres mesurés
Figure 53 : Données brutes pour SIV-NOY1 centrées sur l'intervention de maintenance du 20 mars 67
Figure 54 : Données brutes les 4 sondes centrées sur l'intervention de maintenance du 20 mars 67
Figure 55 : Mesures réalisé au moyen de deux sondes wimo sur la station SIV-NOY3
Figure 57 : Comparaison des mesures avec la station SIV-NOY3
Figure 58 : Taux mensuels de données validées sur la campagne de mesures pour SIV-NOY170
Figure 59 : Taux mensuels de données validées sur la campagne de mesures pour SIV-NOY270
Figure 60 : Taux mensuels de données validées sur la campagne de mesures pour SIV-NOY371
Figure 61 : Taux mensuels de données validées sur la campagne de mesures pour SIV-NOY471
Figure 62 : Taux globaux de données validées sur la campagne de mesures par station72
Figure 63 : Séries temporelles des données validées de chaque paramètre
Figure 64 : Séries temporelles des données validées de turbidité par station77
Figure 65 : Série temporelle de la hauteur et de la période de la houle78
Figure 66 : Série temporelle de la hauteur et de la période de la houle78
Figure 67 : Comparaison des séries temporelles des données modélisées du SHOM79
Figure 68 : Série temporelle de la direction de la houle du 1 juin 2022 au 31 mai 2023
Figure 69 : Série temporelle de la vitesse du vent du 1 juin 2022 au 31 mai 202380

setec

Figure 70 : Série temporelle de la direction du vent du 1 juin 2022 au 31 mai 202380 Figure 73 : Image satellite de Chlorophylle-a simulée en surface, le 03/09 et le 03/1082 Figure 71 : Périodes à analyser des données de turbidité de fond sur la campagne de mesures85 Figure 73 : Comparaison des séries temporelles de turbidité et de pression du 1 au 20 juin 2022 86 Figure 74 : Comparaison des séries temporelles de turbidité et de houle (hauteurs et périodes)87 Figure 75 : Comparaison des données de turbidité de fond avec les données de houle (direction) 88 Figure 76 : Comparaison des séries temporelles de turbidité au fond avec les données de pression.88 Figure 77 : Comparaison des séries temporelles de turbidité au fond avec les données de vent........89 Figure 78 : Comparaison des séries temporelles de turbidité au fond avec les données de vent........89 Figure 84 : Périodes à analyser des données de turbidité en surface sur la campagne de mesures .. 91 Figure 85 : Synthèse des périodes à analyser des données de turbidité en surface des 4 stations 92 Figure 88 : Comparaison des séries temporelles de turbidité et de houle (hauteurs et périodes)94 Figure 89 : Comparaison des séries temporelles de turbidité et de houle (direction).......95 Figure 91 : Comparaison des séries temporelles de turbidité avec les données de vent.......96 Figure 96 : Diagrammes en boîte des données de turbidité des stations de surface et de fond...... 100 Figure 98. Cas de figure emblématiques des cinq niveaux de turbidité identifiés104 Figure 100. Distribution des niveaux de turbidité observés chaque mois sur les 4 années d'étude. . 106 Figure 101. Saisonnalité de la turbidité......106 Figure 105 : Distribution des gammes de percentiles 90 des vitesses des vents sur les 120 h...... 110 Figure 106. Vitesse moyenne des courants de surface dans le périmètre de 10 km111



Tableaux

Tableau 1 : Gamme de mesures et unités des capteurs déployés	5
Tableau 2 : Dates des passages en métrologies des capteurs déployés	6
Tableau 3 : Caractéristiques du matériel déployé1	7
Tableau 4 : Configurations des stations1	8
Tableau 5 : Positions des prélèvements d'eau et de sédiments2	1
Tableau 6 : Les coefficients de régression des courbes de corrélation MES/NTU 2	5
Tableau 7 : Les coefficients de régression des courbes de corrélation MES/NTU 2	7
Tableau 8 : Synthèse des équations des courbes de corrélation MES/NTU	8
Tableau 9 : Liste des évènements et interventions de la campagne de mesures (juin 22 - mai 23)3	5
Tableau 10 : Coordonnées et profondeurs de l'installation des stations	6
Tableau 11 : Bilan des interventions de nettoyage	8
Tableau 12 : Synthèse des problèmes rencontrés et solutions apportées4	.7
Tableau 13 : Source des données de forçage en entrée 5	3
Tableau 14 : Caractéristiques principales des forçages étudiés	3
Tableau 15 : Moyenne et écart-type des mesures de contrôle6	8
Tableau 16 : Synthèse des étapes du contrôle des mesures à partir des échantillons d'eau6	9
Tableau 17 : Données statistiques des valeurs de turbidité des stations	0

Bibliographie

ibliographie116



Annexes

Annexe 1 : Fiche de présentation de la sonde multiparamètres EXO3S de YSI	118
Annexe 2 : Fiche de présentation de la sonde multiparamètres WiMo de NKE	119
Annexe 3 : Certificat d'ajustage du capteur de turbidité de la station de Fond de SIV-NOY3	120
Annexe 4 : Certificat d'ajustage du capteur de turbidité de la station de Fond de SIV-NOY2	121
Annexe 5 : Certificat de conformité des 4 capteurs de turbidité EXO3	122
Annexe 6 : Compte-rendu des prélèvements en mer de sédiments et d'eau de mer	123
Annexe 7 : Compte-rendu de l'installation des stations	124
Annexe 8 : Compte-rendu de la maintenance n°1 - le 02 août 2022	125
Annexe 9 : Compte-rendu de la maintenance n°2 - le 04 octobre 2022	126
Annexe 10 : Compte-rendu de la maintenance n°3 - le 20 mars 2023	127
Annexe 11 : Compte-rendu de la maintenance n°4 - le 02 mai 2023	128
Annexe 12 : Rapport d'analyse satellite des climats de turbidité	129
Annexe 13 : Comptes-rendus hebdomadaires	130
Annexe 14 : Définition des seuils pour le suivi de la turbidité en phase travaux	131



1 INTRODUCTION

Le projet de parc éolien en mer des lles d'Yeu et de Noirmoutier est localisé au large de la Vendée à 11,7 km de l'île d'Yeu et 16,5 km de l'île de Noirmoutier, sur une surface de 112 km².

Le parc éolien est constitué de 62 éoliennes, de 8 MW chacune, pour une capacité totale installée de 496 MW, raccordées par des câbles électriques sous-marins à un poste de transformation électrique en mer, qui sera lui-même connecté au réseau public terrestre. La production électrique attendue est aujourd'hui estimée à environ 2 000 GWh par an.



Figure 1 : Localisation du projet Eoliennes en mer lles d'Yeu et de Noirmoutier (source : document de cadrage du projet)

Dans le cadre de la construction du parc éolien d'Yeu/Noirmoutier, un programme de suivi environnemental et d'accompagnement a été mis en place concernant l'état de référence (avant travaux) et pendant les travaux. Le programme de suivi environnemental relatif à l'état de référence est constitué de 9 mesures de suivi environnemental ainsi que 2 mesures issues de l'arrêté préfectoral du 29 octobre 2018.

Dans le cadre de la démarche réglementaire faisant référence aux exigences particulières de l'arrêté préfectoral d'autorisation des travaux, ENGIE a sollicité Setec Energie Environnement pour réaliser le suivi *in situ* et en temps réel de la turbidité pour l'état de référence (année 1) et pendant les travaux (année 2 et 3).

Ce document constitue le rapport d'état de référence de l'évolution de la turbidité au sein du parc éolien. Il détaille le matériel déployé, les données acquises entre le 1^{er} juin 2022 et le 31 mai 2023 et propose une analyse des données pour une amélioration des connaissances de la zone d'études sur les questions de turbidité ambiante, dans le but de définir des seuils de turbidité pour le suivi en phase travaux.



2 CONTEXTE DU SUIVI DE LA TURBIDITE

Le suivi consiste à réaliser, une campagne de mesures en continu et en temps réel des eaux du futur parc éolien pour constituer une base de données de la zone qui permette d'analyser et d'interpréter l'évolution des paramètres mesurés pour constituer l'état de référence du projet.

Les connaissances du milieu acquises au cours de l'état de référence doivent permettre de définir dans un second temps les seuils de suivi de chantier pour la phase des travaux d'aménagements du parc. Sur des aspects plus techniques, l'état de référence doit permettre de qualifier la fiabilité du matériel et des mesures sur une période longue, en préparation à la phase de suivi des travaux de construction du parc.

Pour l'état de référence, 6 stations ont été déployées sur la zone avec 4 stations de surface et 2 stations de fond. Ces stations sont munies de capteurs de turbidité. Les capteurs ont été intercomparés préalablement à leur mise en œuvre. Une corrélation MES/NTU a également été établie.

Les stations sont placées de part et d'autre et à l'intérieur du futur parc éolien, comme présenté sur la figure ci-dessous (avec le polygone rouge représentant le futur parc éolien).



Figure 2 : Localisation des 4 stations de suivi de la turbidité pour le futur parc éolien en mer des lles d'Yeu et de Noirmoutier

Le plan de position des stations est issu d'une concertation avec les acteurs locaux, notamment le service des Phares et Balises, et le comité régional des pêches qui avaient souhaité que les stations SIV-NOY3 et SIV-NOY4 soient déplacées plus au sud par rapport à la proposition initiale qui avait été transmis avec la demande d'AOT.

Par ailleurs, une étude des images satellites disponibles sur les 4 années qui précèdent l'état de référence a été réalisée, afin de spatialiser les niveaux de turbidité dans la zone d'étude. La méthode et les résultats de cette étude sont présentés dans le document.



3 QUELQUES GÉNÉRALITÉS SUR LA NOTION DE TURBIDITE

La turbidité est définie, selon la norme NF EN ISO 7027 (mars 2000¹), comme étant la « réduction de transparence d'un liquide par la présence de matières non dissoutes ». Elle est donc fonction de la quantité, de la taille et de la forme des particules (minérales et organiques) en suspension et varie en fonction des apports des fleuves, de la remise en suspension du sédiment des fonds et de la concentration en plancton. La turbidité permet de déterminer la quantité de lumière disponible pour le développement des végétaux aquatiques.

La turbidité est mesurée par néphélométrie ce qui consiste à mesurer l'intensité de la lumière diffusée à un angle de 90° par rapport à la direction du faisceau incident émis par le capteur à une longueur d'onde précise. Le principe de mesure d'un capteur de turbidité est présenté dans la figure ci-dessous.



Figure 3 : Principe de mesure du capteur de turbidité (Source : Krohn, InstrumentationTools)

L'unité de mesure de la turbidité conformément à la norme ISO 7027 est le FNU : Formazine Nephelometric Unit, mais la terminologie la plus couramment utilisée est le NTU pour Nephelometric Turbidity Unit (NTU). La correspondance entre les unités est variable suivant les gammes, mais il est communément établi que : 1 FNU = 1 NTU.

La turbidité est reliée à la concentration massique des particules en suspension, communément appelées « Matières En Suspension » (MES), exprimée en grammes par litre (g/l-1). Cependant, la détermination de la concentration de Matière En Suspension (MES) n'est pas directe. L'instrument donne d'abord une valeur de turbidité (exprimée en NFU ou NTU) qui doit ensuite être étalonnée avec des échantillons d'eau prélevés simultanément à la mesure du capteur, afin de déterminer la quantité de matière en suspension par filtration, pour en établir la relation Turbidité/MES de la masse d'eau. On parle généralement de courbe de corrélation NTU/MES.

¹ NF EN ISO 7027 (mars 2000) : Qualité de l'eau — Détermination de la turbidité



4.1 DESCRIPTION DU MATERIEL

4.1.1 Sondes multiparamètres

Pour cette campagne de mesure, 6 sondes multiparamètres sont déployées. Quatre sondes sont fixées sur des stations de surface et deux sondes sont installées sur des stations de fond.

Les modèles de sondes sélectionnés sont la sonde EXO3S de YSI installée sur les stations de surface et la sonde WiMo de NKE installée sur les deux stations de fond. Les fiches techniques des sondes sont présentées en Annexe 1 et Annexe 2.



Figure 4 : Sonde EXO3S de YSI (à gauche) et WiMo de NKE (à droite)

Les sondes permettent de mesurer les paramètres suivants :

- Turbidité (fond et surface)
- Température (fond et surface)
- Conductivité (surface)
- Pression (fond)

Les gammes de mesures des différents capteurs sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Sonde\Capteurs	Turbidité	Température	Conductivité	Pression
EXO3S	0 — 4000 NTU	-5 - 50 °C	0 - 100 mS/cm	NA
WiMo	0 — 4000 NTU	-2 - 35 °C	NA	0 - 25 bars

Tableau 1 : Gamme de mesures et unités des capteurs déployés

Les sondes sont également équipées d'un balai qui permet de nettoyer automatiquement la surface des capteurs. Il est programmé pour effectuer un balayage toutes les heures.

Les sondes sont des datalogger c'est-à-dire qu'elles enregistrent les données. Les sondes WiMo, sur les stations de fond, fonctionnent en autonomie sur batterie tandis que les sondes EXO3S sont connectées à un automate pour la transmission des données en temps réel.



Pour garantir la justesse des mesures, chaque capteur déployé passe un contrôle de métrologie annuel. Les dates des passages en métrologie des capteurs sont présentées dans le tableau ci-dessous. Les certificats d'ajustages des capteurs de turbidité sont disponibles en Annexe 3, Annexe 4 et Annexe 5.

Tableau 2 : Dates des passages en métrologies des capteurs déployés					
Station	Capteur	Référence	Métrologie 1	Métrologie 2	
SIV-NOY1	Turbidité	SEE-0199	25/07/2022	25/07/2023	
SIV-NOY2	Turbidité	SEE-0200	25/07/2022	25/07/2023	
SIV-NOY3	Turbidité	SEE-0201	25/07/2022	25/07/2023	
SIV-NOY4	Turbidité	SEE-0202	25/07/2022	25/07/2023	
SIV-NOY2 Fond	Turbidité (WiMo)	SEE-0011	12/01/2022	12/01/2023	
SIV-NOY3 Fond	Turbidité (WiMo)	SEE-0012	12/01/2022	12/01/2023	
SIV-NOY1	Conductivité/température	SEE-0208	30/08/2022	30/08/2023	
SIV-NOY2	Conductivité/température	SEE-0209	30/08/2022	30/08/2023	
SIV-NOY3	Conductivité/température	SEE-0210	30/08/2022	30/08/2023	
SIV-NOY4	Conductivité/température	SEE-0211	30/08/2022	30/08/2023	

Notons ici qu'au démarrage de l'étude les capteurs de turbidité des stations de surface qui avaient été commandés pour l'étude n'étaient pas disponibles pour le démarrage de l'état de référence. En conséquence des capteurs de location ont été installés puis remplacés à réception des capteurs neufs. Tous les capteurs ont été étalonnés (en mai ou en juillet avant le remplacement — voir ci-après)

4.1.2 Station de surface

Pour réaliser cette campagne de mesures, quatre stations sont installées avec deux modèles différents. Ils sont dimensionnés pour résister à des conditions hydrodynamiques difficiles rencontrées sur le site (vent, houle, courant, marnage, *etc.*).

Deux modèles ont été choisis : la bouée de type GBM-3000-7.5-TT-ALU développée par GISMAN conçue pour la haute mer et la bouée de type DB-500 par MOBILIS conçue pour les eaux côtières. Les deux modèles de bouées sont présentés dans la figure ci-dessous.





Figure 5 : Bouée GBM3000 (à gauche) pour SIV-NOY1, SIV-NOY2 et SIV-NOY3 et bouée DB500 (à droite) pour SIV-NOY4

Chaque station de surface est composée de :

- Un flotteur
- Une sonde multiparamètres
- Un automate
- Une antenne GNSS ou Iridium (pour la transmission des données)
- Une antenne GPS
- Des batteries et des panneaux solaires qui rendent les stations de mesures autonomes en énergie.

Bouée\matériel	Sonde	Automate	Communication			
GBM3000	EXO3S	Smartguard 5300	Irridium : Irridium Edge			
DB500	EXO3S	Automate Logger 1 voie	GNSS			

Tableau 3 : Caractéristiques du matériel déployé

La sonde est connectée à l'automate qui prend intégralement son contrôle et envoie ses données via l'antenne GNSS ou Iridium (via satellite pour les stations au large) vers un serveur FTP qui va alimenter une base de données. Les stations sont également équipées d'un GPS pour le suivi de la position en temps réel.

Les configurations des stations sont détaillées dans le tableau ci-dessous :



Tableau 4 : Configurations des stations

Configurations			
Mesure des capteurs de turbidité :	15 min		
Mesure des positions GPS :	15 min		
Passage des balais sur les capteurs :	1 h		
Envoi des données des sondes :	15 min (SIVNOY1, 2 et 3) et 1 h (SIVNOY4)		
Envoi des données GPS :	15 min (SIVNOY1, 2 et 3) et 1 h (SIVNOY4)		
Avec une mise en place d'alarme GPS à partir 100 m de déradage et un envoi des positions en continu			

Conformément à la réglementation, les stations sont équipées d'un feu à éclat et d'une croix de Saint-André pour ne pas gêner la navigation.

4.1.3 Stations de fond

Deux stations de fond sont déployées sur SIV-NOY2 et SIV-NOY3, elles sont composées de :

- Une sonde multiparamètres WiMo (présentée en 3.1.1)
- Un lest de 50 kg
- Un flotteur fixé au lest par 3 m de bout



Figure 6 : Station de fond

La sonde est fixée à 1,5 m du fond, entre un flotteur et un lest de 50 kg qui est relié directement au corps-mort de la station de surface par une chaîne de 50 m.

Contrairement aux stations de surface, où les sondes sont alimentées les automates, ici les sondes sont autonomes, sur batterie. Les données ne sont donc pas transmises en temps réel, mais téléchargées à chaque maintenance.

4.1.4 Lignes de mouillage

Une ligne de mouillage est conçue en fonction de la profondeur et de la flottabilité de la bouée en surface. Pour cette campagne de mesure, deux types de mouillages ont été imaginés et conçus.

 Une ligne de mouillage classique, entièrement en chaîne pour SIV-NOY1 et SIV-NOY4.
 Elle comprend un poids de chaîne de 3 tonnes, une chaîne mère posée sur le fond puis une chaîne fille jusqu'à l'émerillon sous la bouée. Comme présenté ci-dessous :





Figure 7 : Lignes de mouillages des stations SIV-NOY1 (à gauche) et de SIV-NOY4 (à droite)

 Une ligne de mouillage en textile pour SIV-NOY2 et SIV-NOY3. Elle comprend un poids de chaîne de 3 tonnes, une ligne textile avec 2 flotteurs en subsurface reliée à un poids de chaîne sous la bouée puis à l'émerillon de la bouée. Quant à la station de fond, elle est fixée sur le poids de chaîne de 3 tonnes par une chaîne de 50 m.

Les flotteurs permettent de maintenir le bout vertical pour éviter le ragage sur le fond et surtout éviter qu'il s'emmêle avec la chaîne de la station de fond. Le schéma de la ligne de mouillage textile est présenté ci-dessous :



Figure 8 : Lignes de mouillages des stations SIV-NOY2 et SIV-NOY3



4.2 CORRELATION MES/NTU

La corrélation MES/NTU est une étape qui permet de déterminer la fonction de transfert pour passer des valeurs mesurées par la sonde, en NTU, aux quantités de matière en suspension (MES, mg/l).

Une corrélation MES/NTU s'effectue généralement avec quelques mesures ponctuelles dans le milieu. L'inconvénient de cette méthode est qu'il est très difficile d'obtenir des mesures sur toute la gamme. Pour cette raison, il a été choisi de faire la corrélation en laboratoire pour étudier toute la gamme de mesure des capteurs.

4.2.1 Définition

La turbidité est définie comme la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. La turbidité constitue l'un des paramètres physiques descriptifs de la colonne d'eau, soit l'obstruction à la pénétration de la lumière dans l'eau du fait de la présence de particules solides en suspension dans l'eau. La turbidité est donc reliée à la masse de ces particules en suspension, communément appelées « matières en suspension » (MES), exprimée en mg/L et est fonction de la quantité, de la taille et de la forme de ces particules en suspension. La turbidité varie dans l'espace et dans le temps en fonction des apports des fleuves, de la remise en suspension du sédiment du fond naturelle ou anthropique, et de la concentration en plancton (matière non minérale). La turbidité permet de déterminer la quantité de lumière disponible pour le développement des végétaux aquatiques.

La turbidité est un facteur écologique important, qui peut traduire :

- Une teneur (normale ou non) en matières en suspension : argile, limon, particules fines organiques ou inorganiques (consécutive par exemple à l'érosion, au lessivage de sols fragiles, dégradés ou agricoles labourés);
- Une teneur élevée en concentration d'organismes planctoniques ;
- Une pollution ou eutrophisation de l'eau, cause éventuelle d'asphyxie (par anoxie) du milieu ou de colmatage des branchies des poissons.

La turbidité varie d'un environnement à un autre et peut être très instable dans le temps. Il n'existe pas de relation fiable et universelle entre la turbidité et les MES en milieu naturel. La relation entre la turbidité et les MES va varier en fonction des molécules, des effluents et des conditions d'échantillonnages (temps sec ou de pluie ; Bertrand-Krajewski et al., 2010). D'après la théorie de Mie (MISHENDO M.I., HOVENIER J.W., TRAVIS L.D. (1999) : Light scattering by nonspherical particles: theory, measurements, and applications. San Diego, Academic Press, 620 p.), la relation entre MES et turbidité est linéaire pour n classes de particules en suspension.

En définitive, pour obtenir une relation cohérente entre la turbidité et les matières en suspension, les mesures doivent se faire dans un même milieu avec des capteurs calibrés individuellement, eux-mêmes calibrés avec les mêmes étalons (Blum et al., 2014).

4.2.2 Protocole

Le protocole en 5 étapes a été appliqué.

→ Les prélèvements. Comme vu précédemment, les propriétés de MES sont propres à un milieu, ainsi pour réaliser la corrélation de MES/NTU, il est indispensable de considérer le milieu et donc de travailler avec des sédiments et de l'eau de mer prélevés directement sur la zone d'étude.

→ La granulométrie. Afin de qualifier le milieu et d'en avoir une meilleure connaissance, une granulométrie est effectuée sur le sédiment prélevé. Elle permet de déterminer la taille des grains qui le compose. Cette étape n'est pas fondamentale dans le processus, mais il apporte une information supplémentaire sur la qualité des sédiments utilisés.

→ Recomposer le milieu. Il s'agit de recréer des échantillons représentatifs des conditions qui pourraient être rencontrées sur la zone d'étude. L'eau de mer prélevée sur zone est préalablement filtrée au 200 µm pour limiter la présence de planctons, larves de poissons et toute autre matière biologique. Cette eau est ensuite mélangée aux sédiments prélevés pour créer différentes solutions plus ou moins chargées en MES. Sont créés autant d'échantillons que nécessaires pour couvrir la gamme de turbidité à évaluer.

→ Plonger les capteurs dans les différents échantillons. Il s'agit de plonger les capteurs dans les différents échantillons d'eau chargés en MES. Cette étape est réalisée plusieurs fois afin d'avoir une quantité de mesures statistiquement suffisante et couvrir une large gamme de NTU. La solution à tester est maintenue homogène au moyen d'un agitateur mécanique ou magnétique. Une fraction de chaque échantillon d'eau est envoyée au laboratoire pour en caractériser la quantité précise de MES. Entre chaque mesure, les capteurs sont nettoyés afin de maintenir un niveau de justesse de mesure optimale.

Les corrélations de MES/NTU par capteur. À la réception des résultats du laboratoire, les courbes de corrélation sont tracées entre la valeur mesurée en NTU pour chaque capteur et la valeur mesurée au laboratoire en MES.

4.2.3 Prélèvements

Les prélèvements d'eau et de sédiments ont été réalisés le 26 avril, à bord du *Tzigane*. Les positions des prélèvements sont présentées dans le tableau ci-dessous :

	Latitude	Longitude		
Prélèvements d'eau	46° 53 502'N	002° 25.428'O		
Prélèvements de sédiments	46° 52 719'N	002° 22.428'O		

 Tableau 5 : Positions des prélèvements d'eau et de sédiments

 pour la réalisation du protocole de corrélation MES/NTU



Figure 9 : Localisation des points de prélèvements

La position du point de prélèvement de sédiments a été choisie en fonction de la carte sédimentaire de la zone (SHOM) afin d'être sur un faciès sédimentaire sableux et d'être dans le futur parc, à proximité des positions des stations de mesures.

Les prélèvements de sédiments ont été réalisés à l'aide d'une benne Day-Grab lestée. Deux seaux de 10 L ont été remplis des sédiments prélevés, mais aussi de l'eau (chargée en sédiments) remontée par la benne afin d'avoir un échantillon représentatif de toute la gamme de tailles des sédiments. Les prélèvements d'eau de surface ont été réalisés à l'aide de la pompe du bord pour remplir 10 bidons de 20 L.



Figure 10 : la benne Day-Grab lestée et son déploiement (à gauche), les sédiments prélevés (au centre-droite) et les prélèvements d'eau de surface (à droite)

Le compte rendu des prélèvements, avec toutes les informations associées, est présenté en Annexe 6.



4.2.4 Mise en œuvre du protocole

Dans un premier temps, le sédiment prélevé a été mélangé avec de l'eau de mer puis mis de côté pour la suite. Ensuite, 100L d'eau de mer ont été versé dans le bac et filtré au 200 µm pour éviter toute particule biologique. L'eau dans la cuve a été mélangée à l'aide d'une pompe de cave afin de maintenir l'homogénéité de la masse d'eau.

Les six capteurs ont été montés sur les sondes. Les quatre capteurs EXO sont installés sur le même corps de sonde (la sonde permettant de les différencier) et les mesures sont lues en temps réel via le logiciel de communication de la sonde. En revanche les deux capteurs NKE ont été montés chacun sur des sondes autonomes, qui enregistrent la donnée à une fréquence de 2 s. Une fois configurées, les trois sondes sont introduites dans l'eau, comme présentée sur les photos ci-dessous :



Figure 11 : Quatre capteurs EXO montés sur une même sonde (à gauche), un capteur Nke monté sur une WiMo (au centre) et les trois sondes plongées dans le bac de calibration avec la pompe (à droite)

Une fois les capteurs dans le bac et après deux minutes de stabilisation de la donnée, la mesure de turbidité a été enregistrée. 2 L d'eau ont été prélevés pour une analyse de MES par filtration qui est réalisé au laboratoire Eurofins dans un second temps.

Ensuite, 2L de l'eau qui a été préalablement mélangée avec le sédiment sont versés dans le bac. Après l'ajout de l'eau chargée en sédiment, et deux minutes de stabilisation de la donnée, les têtes des capteurs sont nettoyées (avec la commande du balai pour les capteurs EXO et manuellement pour les capteurs NKE qui sont en autonomie). L'heure précise de la mesure est notée et les valeurs enregistrées. 2L sont à nouveau prélevés pour envoi au laboratoire. Cette étape d'ajout de sédiment, nettoyage des capteurs, prise de mesures, échantillonnage est renouvelée 27 fois afin de couvrir toute la gamme de mesure (de 0 à 500 NTU).

Le protocole a été réalisé deux fois : une fois en mai 2022 pour les 6 capteurs dont 4 de location mis en place à l'installation des stations et une deuxième fois en juillet 2022 à réception des capteurs commandés pour l'étude. Les résultats détaillés ci-dessous présentent les résultats de mai dans un premier temps et de juillet dans un deuxième temps.



Les résultats de la corrélation MES/NTU 4.2.5

4.2.5.1 Résultats de mai 2022 — capteurs de location

Une fois les concentrations en MES connues, celles-ci sont opposées graphiquement aux valeurs en NTU. L'équation de la courbe de tendance est de la forme y=ax+b avec a le coefficient directeur, x la valeur de turbidité en NTU et b l'ordonnée à l'origine qui est égale à zéro. La courbe tendance présente un coefficient de détermination R² appelé aussi coefficient de régression. C'est un un indice de la qualité de la régression linéaire. Le coefficient de détermination se situe entre 0 et 1. Plus le coefficient est proche de 1, plus la régression linéaire est en adéquation avec les données collectées.

Les résultats des courbes de corrélations MES/NTU des six capteurs de turbidité sont présentés dans les graphiques ci-dessous avec les coefficients de régression des courbes et leur équation.



Figure 12 : Courbes de corrélation MES/NTU de SIV-NOY1 (à gauche) et SIV-NOY2 (à droite) obtenues en mai 2022



Figure 13 : Courbes de corrélation MES/NTU de SIV-NOY3 (à gauche) et SIV-NOY4 (à droite) obtenues en mai 2022



Suivi de l'évolution temporelle et spatiale de la turbidité liée aux travaux Rapport de l'état de référence — 1^{er} juin 2022 au 31 mai 2023



Figure 14 : Courbes de corrélation MES/NTU des stations de fond de SIV-NOY2 (à gauche) et SIV-NOY3 (à droite) obtenues en mai 2022

Les coefficients de régression arrondis au centième sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

 Tableau 6 : Les coefficients de régression des courbes de corrélation MES/NTU

 des 6 capteurs de turbidité

	SIV-NOY1	SIV-NOY2	SIV-NOY3	SIV-NOY4	SIV-NOY2 FOND	SIV-NOY3 FOND
R²	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99

Les coefficients étant tous proches de 1, la régression linéaire est en adéquation avec les données collectées.



Les 6 courbes de corrélation sont comparées entre elles et présentées ci-dessous :

Figure 15 : Synthèse des 6 courbes de corrélation MES/NTU réalisée en mai 2022

Les deux courbes des capteurs des stations de fond sont légèrement différentes des 4 autres.

Synthèse des 6 stations



Étant donné que les trois sondes étaient placées à différents endroits dans le bac, un test de l'homogénéité de l'eau a été effectué afin d'écarter toute erreur de mesure liée à la position des capteurs dans le bac. Pour cela, 12 points de mesures ont été réalisés, suivant les emplacements suivants :



Figure 16 : Test de l'homogénéité de l'eau dans le bac en fonction de 12 points de mesures (à gauche) et position des 3 sondes dans le bac (à droite)

Pour réaliser le test de l'homogénéité de l'eau dans le bac, 10 mesures sont effectuées sur les 12 points différents (détaillés sur la photo ci-dessus).

Les résultats des mesures sont décrits dans le graphique statistique ci-dessous :



Homogénéité de la turbidité (NTU) de l'eau du bac via 10 mesures en 12 points de mesures

Figure 17 : Représentation statistique de l'homogénéité de l'eau dans le bac de mesure

La position des sondes dans le bac correspond aux points de mesures n° 12 pour les 4 capteurs EXO3S, n° 3 et n° 8 pour les sondes WiMo. La position n° 3 présente des valeurs avec un plus gros écart-type que les valeurs des positions n° 12 et n° 8. En revanche, étant donné que les positions n° 12 et n° 8 ont les mêmes variations, la position des sondes dans le bac n'influe pas sur la mesure.



Ainsi, la légère différence observée sur les courbes de tendances des stations de fond est très probablement due au fait que les sondes se comportent différemment sur les solutions auxquelles elles ont été exposées.

Le principe de la corrélation MES/NTU est de compenser les écarts observés, de manière à rendre les données comparables entre-elles : elles sont alors normalisées.

4.2.5.2 Résultats de juillet 2022 — capteurs remplacés

La corrélation MES/NTU du mois de juillet est réalisé sur 11 points de mesures et couvre une gamme de turbidité de 0 à 120 NTU.

Les résultats des courbes de corrélations MES/NTU des 4 capteurs de turbidité qui ont été remplacés à la première maintenance (le 2 août) sont présentés dans les graphiques ci-dessous avec les coefficients de régression des courbes et leur équation.



Figure 18 : Courbes de corrélation MES/NTU de SIV-NOY1 (à gauche) et SIV-NOY2 (à droite) obtenues en juillet 2022



Figure 19 : Courbes de corrélation MES/NTU de SIV-NOY3 (à gauche) et SIV-NOY4 (à droite) obtenues en juillet 2022

Les coefficients de régression arrondis au centième sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7 : Les coefficients de régression des courbes de corrélation MES/NTU des 4 capteurs de turbidité

	SIV-NOY1	SIV-NOY2	SIV-NOY3	SIV-NOY4
R ²	0,98	0,99	0,97	0,98



Les coefficients étant tous proches de 1, la régression linéaire est en adéquation avec les données collectées.

Les 4 courbes de corrélation sont comparées entre elles et présentées ci-dessous :



Figure 20 : Synthèse des 4 courbes de corrélation MES/NTU réalisée en juillet 2022

Les quatre courbes sont homogènes et similaires.

4.2.5.3 Comparaison des résultats des deux corrélations

Les équations des deux résultats de corrélation des stations de surface sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

ues 4	des 4 capieurs de tarbane des deux resultats de correlation						
	SIV-NOY1	SIV-NOY2	SIV-NOY3	SIV-NOY4			
MES —Mai 2022	1.74xNTU	1.70xNTU	1.79xNTU	1.77xNTU			
MES —Juillet 2022	2.15xNTU	2.25xNTU	2.11xNTU	2.13xNTU			

Tableau 8 : Synthèse des équations des courbes de corrélation MES/NTUdes 4 capteurs de turbidité des deux résultats de corrélation

Ces résultats serviront de base de connaissance pour la phase de suivi des travaux durant laquelle des calibrations MES-NTU sont également prévues (pour les travaux de préparation de sol et de forage en premier lieu).



4.3 INTERFACE WEB DE VISUALISATION DES DONNEES

Les données acquises par les sondes sont transmises et stockées dans une base de données.

Par traitement automatisé les données sont mises en forme dans une interface web, développée par setec énergie environnement (*Proxymae*), qui permet de visualiser les mesures en temps réel sous forme de graphiques dynamiques.

Simple et ergonomique, *Proxymae* est compatible avec une utilisation sur smartphones ou tablettes et dispose d'une connexion sécurisée avec un nom d'utilisateur et un mot de passe.

Proxymae dispose de plusieurs fonctionnalités comme la possibilité de consulter des données à une échelle de temps souhaitée avec la synchronisation des graphiques permettant de visualiser plusieurs paramètres en même temps, comme présentée ci-dessous :



Figure 21 : Exemple des séries temporelles synchronisées présentées dans Proxymae

Il est possible de télécharger les données souhaitées, au format .csv, directement sur l'interface pour un traitement et analyse plus complets.

Proxymae permet également de consulter, sous forme de graphiques dynamiques, les données météocéaniques en temps réel afin de connaître les conditions océanographiques auxquelles sont soumises les bouées de mesures, détaillé ci-après.



4.4 CONTEXTE METEOCEANIQUE

Sur la période de mesures pour l'état de référence, les données du contexte météocéanique sont archivées à partir de l'exploitation des sources de données suivantes :

- Météo : Modèle ARPEGE (MAJ : 24/11/2020 0 h) source : CEPMMT et Météo-France
- Vagues : Modèle WW3 (MAJ : 24/11/2020 0 h) source : SHOM et Météo France
- Vagues mesurées : Bouée lle d'Yeu Nord 08504 CANDHIS source : CEREMA
- Marée : Modèle HYCOM2D (MAJ : 24/11/2020 0 h) source : SHOM et Météo France
- Hydrodynamique de surface : Modèle HYCOM3D-SURF (MAJ : 24/11/2020 0 h) source : SHOM
- Éphémérides : http://vo.imcce.fr source : IMCCE

Les stations de mesures choisies sont Fromentine, pour le SHOM, et le houlographe lle d'Yeu Nord pour le réseau CANDHIS.

Les paramètres qui sont exploités, en fonction de la disponibilité des données, et stockés sont les suivants :

- Marée SHOM Fromentine (MSL)
- Hauteur Houle Océanogramme SHOM [m];
- Vitesse du vent Océanogramme SHOM Fromentine [m/s] ;
- Période Houle Océanogramme SHOM [s] ;
- Direction Vent Océanogramme SHOM [°];
- Direction Houle Océanogramme SHOM [°];
- Pression et Océanogramme SHOM [hPa] ;
- Hauteur 1/3 houle bouée CANDHIS ile d'Yeu Nord [m];
- Période 1/3 houle bouée CANDHIS ile d'Yeu Nord [s] ;
- Hauteur max houle bouée CANDHIS ile d'Yeu Nord [m];
- Direction houle bouée CANDHIS ile d'Yeu Nord [°];

Les données du contexte météocéanique sont présentées dans *Proxymae* sous forme graphique dans le suivi des stations comme ci-dessous ainsi que dans les rapports hebdomadaires.





Figure 22 : Exemple de présentation de données météocéanique présentées dans Proxymae

Les données du contexte météocéanique sont également stockées et présentées sous forme d'océanogrammes (source : SHOM), avec des prévisions sur 4 jours, dans les tableaux de bord de chacune des stations comme ci-dessous.



Figure 23 : Exemple d'océanogramme du SHOM présentés dans Proxymae (source : SHOM)



Le houlographe directionnel CANDHIS (0805 - Noirmoutier) a été installé au large de Noirmoutier en juillet 2022 dernier, ses données disponibles sur Proxymae et sur le site du réseau CANDHIS.



Figure 24 : Localisation des houlographes du réseau CANDHIS dans la zone (source : CANDHIS)



4.5 **CONTEXTE PHYTOPLANCTONIQUE**

Afin de prendre en considération la turbidité non minérale, nous réalisons un suivi de l'évolution de la production primaire en s'appuyant sur les modèles de calculs du projet MARC (détaillé ci-après) ainsi que sur les résultats des analyses satellites sur la chlorophylle a.

Le projet MARC est développé par le LOPS, le laboratoire d'océanographie physique et spatiale, basé à Brest. Le projet MARC, pour « Modélisation et Analyse pour la Recherche Côtière », rassemble des efforts de démonstration préopérationnelle de modèles numériques, afin de servir la communauté des chercheurs pour des applications très diverses. Les modèles mis en œuvre aujourd'hui sont le modèle MARS3D de l'Ifremer (circulation, biogéochimie et dynamique sédimentaire), et le modèle de vagues WAVEWATCH III développé par un consortium international coordonné par la NOAA.

L'objectif principal de MARC est de fournir des rejeux réalistes de l'océan côtier et de démontrer les capacités des modèles numériques développées au LOPS.

Les données du contexte phytoplanctonique sont présentées sous forme d'image raster de la production primaire. Ainsi sur la période de mesures pour l'état de références, le paramètre qui est exploité est la chlorophylle-a simulée en surface, en µg/l. Ces données sont archivées quotidiennement à partir de l'exploitation de la source de données :

https://marc.ifremer.fr/resultats/production_primaire/modele_eco_mars3d_manche_gascogne/ (typevisu)/map/(zoneid)/vendee et stockées sur un serveur FTP.

Deux images sont enregistrées quotidiennement, une image du Golfe de Gascogne et une image de la zone de Charente-Maritime et Vendée, comme présentées ci-dessous :



Figure 25 : Image satellite de Chlorophylle-a simulée en surface le 19/10 sur la zone du Golfe de Gascogne (issu du projet MARC du LOPS)



Suivi de l'évolution temporelle et spatiale de la turbidité liée aux travaux Rapport de l'état de référence — 1^{er} juin 2022 au 31 mai 2023



Figure 26 : Image satellite de Chlorophylle-a simulée en surface le 19/10 sur la zone de Vendée-Charente-Maritime (issu du projet MARC du LOPS)

Ces données collectées pendant l'état de référence viendront étayer notre connaissance du milieu et permettront d'avoir une évaluation qualitative de certains écarts de turbidité qui pourraient être observés sur les données.



4.6 **CAMPAGNE DE MESURES**

La campagne de mesures de l'état de référence a duré un an entre juin 2022 et mai 2023.

La période de mesures décrite dans le présent rapport s'étend du 1er juin 2022 au 31 mai 2023.

Toutes les interventions réalisées et les évènements qui ont eu lieu au cours de la campagne sont récapitulés dans le tableau ci-dessus et présenté sous forme de frise chronologique plus bas.

Tableau 9 : Liste des évènements et interventions de la campagne de mesures (juin 22 - mai 23)

Date et heure (heure locale)	Événements passés pendant la campagne de mesures
01/06/2022 10 h 45	Installation de SIV-NOY1 avec constatation du capteur de conductivité/température en défaut (valeurs aberrantes) pourtant testé préalablement
01/06/2022 11 h 45	Installation de SIV-NOY2
01/06/2022 13 h 15	Installation de SIV-NOY3
01/06/2022 14 h 15	Installation de SIV-NOY4
29/06/2022 22 h 46	Automate de NOY4 en défaut
29/07/2022 5 h 59	Récupération de SIV-NOY4, à la dérive, par le Nanoplon
02/08/2022 9 h 14	Réinstallation de SIV-NOY4 avec changement d'automate et nouveau capteur de turbidité
02/08/2022 9 h 44	Maintenance n° 1 de SIV-NOY3 avec installation du nouveau capteur de turbidité
02/08/2022 14 h 14	Maintenance n° 1 de SIV-NOY2 avec installation du nouveau capteur de turbidité
02/08/2022 16 h 29	Maintenance n° 1 de SIV-NOY1 avec panne du balai et installation du nouveau capteur de turbidité
04/10/2022 7 h 30	Maintenance n° 2 de SIV-NOY4 avec changement d'automate muni d'un relais et installation du nouveau capteur de conductivité/température et du balai
04/10/2022 8 h 30	Maintenance n° 2 de SIV-NOY3 et installation du nouveau capteur de conductivité/température et du balai
04/10/2022 10 h 45	Maintenance n° 2 de SIV-NOY2 et installation du nouveau capteur de conductivité/température et du balai
04/10/2022 12 h 30	Maintenance n° 2 de SIV-NOY1 et installation du nouveau capteur de conductivité/température et du balai
22/10/2022 16 h	Décrochage de SIV-NOY4
25/10/2022 19 h 30	Récupération de SIV-NOY4 par la SNSM de Morin
20/03/2023 6 h 30	Maintenance n° 3 de SIV-NOY1, tentative de maintenance de SIV-NOY2, réinstallation de SIV-NOY4, tentative de maintenance de SIV-NOY3
02/05/2023 8 h	Maintenance n° 4 de SIV-NOY1, maintenance de SIV-NOY2 et SIV-NOY3 avec changement de brosse de balai, remplacement des anodes, suppression du culot de sonde et remplacement de la sonde et chaine de fond sur SIV-NOY3. Maintenance de SIV-NOY4.

Campagne de mesures



Figure 27 : Frise chronologique de la campagne de mesures



Le début de la campagne de mesures a été marqué par :

- Des défauts constatés sur l'automate de SIV-NOY4
- 2 décrochages de SIV-NOY4
- Un défaut du capteur de conductivité et une panne du balai de SIV-NOY1
- Le retard d'approvisionnement des capteurs

Les principaux évènements sont détaillés ci-après.

À noter qu'en raison des conditions de mer et du manque de disponibilité du navire de charge, l'organisation d'une maintenance dans de bonnes conditions en début d'année 2023 n'a pas été possible comme cela était prévu initialement. La dernière maintenance de l'état de référence a eu lieu en mai 2023.

4.6.1 Installation des stations

Les quatre stations ainsi que les stations de fond ont été installées le 1er juin 2022 avec le navire *Nanoplon* de la société *Atlantique Scaphandre*.

Les 4 stations sont installées suivant un axe SSO/NNE, transversal à la côte dans le but d'établir le gradient de pression vers les zones sensibles, proches de la côte.

Ainsi, la première station est localisée immédiatement à l'ouest du parc (référence offshore), la seconde dans le parc et la troisième entre le parc et la côte. La quatrième station, dite « sentinelle », est positionnée aux abords immédiats de la zone côtière.

Les coordonnées et les profondeurs des stations sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Station	Latitude	Longitude	Profondeur	Station de fond	Date et heure de pose
SIV-NOY1	46° 50.3191'N	002° 34.0314'O	40 m	Non	01/06 - 10 h 45
SIV-NOY2	46° 52.3906'N	002° 30.6699'O	25 m	Oui	01/06 - 11 h 45
SIV-NOY3	46° 52.5488'N	002° 24.3029'O	18 m	Oui	01/06 - 13 h 15
SIV-NOY4	46° 55.1746'N	002° 19.0497'O	9 m	Non	01/06 - 14 h 15

 Tableau 10 : Coordonnées et profondeurs de l'installation des stations


Suivi de l'évolution temporelle et spatiale de la turbidité liée aux travaux Rapport de l'état de référence — 1^{er} juin 2022 au 31 mai 2023



Figure 28 : Installation des stations SIV-NOY2 (à gauche) et SIV-NOY4 avec son poids de chaîne (à droite)

Rappel : en raison de difficultés d'approvisionnement des capteurs pour le démarrage de l'état de référence, des capteurs de location ont été installés en attendant la livraison complète du matériel. Le compte rendu de l'installation des stations, avec toutes les informations associées, est présenté en Annexe 7.

4.6.2 Maintenance préventive

4.6.2.1 Nettoyage des sondes et capteurs

Le balai des sondes permet un nettoyage automatique de la tête des capteurs, ce qui limite le développement de biofouling, mais il ne le stoppe pas. Aussi, afin de prévenir tout encrassement du capteur, et dégradation de la mesure, induite par le biofouling, les sondes doivent être nettoyées régulièrement.



Figure 29 : Exemple de colonisation de biofouling, pendant l'intervention du 4 octobre sur SIV-NOY3, après 2 mois de mesure

Cette mesure de nettoyage est indispensable à la l'acquisition des données justes et précises. Les interventions régulières, prévues tous les deux mois, permettent non seulement d'éviter le développement de biofouling, mais également de suivre l'état d'usure général des stations. Le bilan des visites de la campagne de mesures est présenté dans le tableau ci-dessous.



Tableau 11 : Bilan des interventions de nettoyage

Mois	Juin		Juillet		Août		Septembre		Octobre	
Toutes les stations	Installation				\checkmark				\checkmark	
Mois	Novembre		Décembre		Janvier		Février		Ма	ars
Toutes les stations									SIV-NOY1 + de SIV	Réinstallation /-NOY4
Mois	Avril		Mai							
Toutes les stations			\checkmark							

L'efficacité du balai est assez flagrante, aussi bien sur les stations de surface que sur les stations de fond. Comme présenté sur la figure ci-dessous où les têtes des capteurs sont propres par rapport à la colonisation du reste de la sonde.



Figure 30 : Efficacité du balai, photos prises pendant la deuxième maintenance sur SIV-NOY3 et SIV-NOY2

Les photos ci-dessus montrent la différence de biofouling entre les stations de surface (à gauche) où le fouling est de type végétal tel que des algues alors que sur les stations de fond (à droite) il s'agit d'un fouling animal composé de petits organismes comme des vers calcaires et des balanes.

En revanche, même si le balai est efficace et que le capteur est propre, il peut être impacté par le biofouling développé sur le corps de la sonde et en particulier sur la cage de protection où se fixent et se développent des algues longues. Comme présenté sur les photos ci-dessous.



Figure 31 : Développement très important de biofouling sur la cage de protection des capteurs au cours de la deuxième maintenance sur SIV-NOY3 (à gauche) et SIV-NOY2 (à droite)

Ces photos ont été prises lors de la deuxième maintenance sur les stations SIV-NOY3 à gauche et SIV-NOY2 à droite. L'impact de ce fouling est assez remarquable sur les données de SIV-NOY2 et SIV-NOY3 d'avant et après maintenance (représenté par les pointillées rouge) présentées ci-dessous :





Figure 32 : Capture d'écran de Proxymae des données de turbidité en surface avant et après la maintenance n° 2 le 04 octobre

En comparant les données des stations de surface avec les données des stations de fond, le fouling en surface est plus impactant que le fouling au fond. Cela est lié à la différence caractéristique du fouling où les vers calcaires et les balanes (sur les stations de fond) étant de petites tailles, leur développement gêne moins le capteur comparé aux algues qui poussent en longueur et peuvent venir devant le capteur. De plus, les stations de surface sont munies d'une cage protectrice intégrale alors que les stations de fond ont une cage ouverte sur le dessous. Cette cage protectrice favorise la fixation du biofouling. Un des objectifs de la maintenance n° 3 était de retirer le dessous des cages pour limiter la fixation du biofouling et réfléchir à un moyen de le limiter sur les parties de la cage de protection autour du capteur.

Le biofouling a constitué une réelle difficulté sur cette campagne de mesures, pour éviter qu'il impacte les données, la fréquence des interventions a été à la hausse au courant de l'état de référence.

4.6.2.2 Vérification de l'état du matériel

Les maintenances préventives permettent en plus du nettoyage de vérifier l'état général du matériel afin de prévenir toute usure prématurée.

Les points d'attention de la vérification sont sur la partie électronique avec le passage des câbles, les connecteurs, les antennes, les batteries, l'automate, les sondes et capteurs, mais aussi sur la partie mécanique avec l'état d'usure général du matériel notamment les anodes, les manilles et les lignes de mouillage.



4.6.3 Défaut du capteur de conductivité de SIV-NOY1

Incident : Valeurs de salinité très faibles dès l'installation du capteur

Depuis l'installation de SIV-NOY1, les valeurs de salinité étaient anormalement faibles. Le graphique ci-dessous présente les valeurs de salinité des quatre stations depuis l'installation le 1er juin à date le 20 octobre. Sur le graphique, les pointillés rouges correspondent aux maintenances préventives :



Figure 33 : Extrait de Proxymae des valeurs de salinité des quatre stations du 1er juin au 19 octobre 2022

De la mise à l'eau à la première maintenance préventive, les valeurs de salinité de SIV-NOY1 oscillent entre 20.4 et 31,9 ppt avec une moyenne à 26,6 contre 34 ppt pour les autres stations.

Pendant la première maintenance, le 2 août, la sonde est redémarrée, mais le problème persiste. Les valeurs sont encore plus faibles et varient de 14,1 à 27,5 ppt avec une moyenne de 20,0 contre 35 ppt pour les trois autres stations.

Il s'agit là d'un problème de capteur. Le problème d'approvisionnement des capteurs neufs retarde l'intervention correctrice. Il a été remplacé à la deuxième maintenance, le 04 octobre où comme présenté sur le graphique, les valeurs des quatre stations évoluent de manière identique depuis.

29 juin — automate de SIV-NOY4 en défaut 4.6.4

Incident : Le 29 juin à 22 h 46, l'automate de SIV-NOY4 a cessé d'envoyer les données.

L'automate a cessé de fonctionner, un autre automate a été préparé pour le remplacer à l'intervention suivante, le 02 août.

29 juillet — Décrochage de SIV-NOY4 4.6.5

Incident : Le 29 juillet, le Nanoplon a trouvé SIV-NOY4 à la dérive



SIV-NOY4 a été retrouvée par le Nanoplon avec 15 m de chaîne sous la bouée et aucune trace d'usure prématurée sur la ligne de mouillage. Laissant penser à un décrochage intentionnel de la bouée.



Figure 34 : Récupération de SIV-NOY4 à bord du Nanoplon (à gauche) avec 15 m de chaîne sous la bouée et sans trace d'usure (à droite)

Maintenance préventive n° 1 – 2 août 2022 4.6.6

La première maintenance a eu lieu le 2 août 2022.

Les objectifs de l'intervention étaient de :

- Dépanner SIV-NOY4 en changeant l'automate
- Réinstaller SIV-NOY4
- Vérifier l'état du capteur de turbidité de SIV-NOY1 qui présente des valeurs de turbidité • élevées par rapport aux autres stations
- Réaliser la première maintenance préventive, deux mois après l'installation des 4 stations • afin de vérifier l'état général du matériel et de procéder au nettoyage des bouées, sondes et capteurs
- Télécharger les données des stations de fond •
- Installer les nouveaux capteurs de turbidité, après réception
- Les différentes tâches réalisées sont détaillées ci-dessous. •

Dépannage de SIV-NOY4

Le diagnostic de l'automate montre qu'il s'agit d'un échec de mise en veille qui a mis l'automate en défaut. Il a été remplacé et mis en test la nuit précédant la réinstallation de la bouée.

En revanche, à la remise à l'eau, malgré les tests concluants de la veille, l'automate a cessé de transmettre. Cet automate nécessite une nouvelle maintenance corrective qui sera programmée dès réception du matériel de remplacement, à l'issue des congés annuels du fournisseur.

Réinstallation de SIV-NOY4

Le poids de chaîne a été retrouvé grâce au sondeur multifaisceau du bord et crocheté. La manille de la ligne de mouillage a été retrouvée avec sa sécurité coupée (cf. photos ci-dessous), laissant peu de doute quant au caractère intentionnel du décrochage.





Figure 35 : Récupération du poids de chaîne de SIV-NOY4 (à gauche) sécurité de la manille retrouvée coupée (au centre), réinstallation de SIV-NOY4 (à droite)

Vérification de l'état du capteur de turbidité de SIV-NOY1 qui présente des valeurs de turbidité élevées par rapport aux autres stations.

Les capteurs de turbidité et de conductivité sont anormalement colonisés par le biofouling comme présenté sur la photo ci-dessous. Il s'agirait d'une panne du balai, qui a été remplacé par la suite.



Figure 36 : Capteurs de turbidité et de conductivité anormalement colonisés par le biofouling

> Réalisation de la première maintenance préventive

Deux mois après l'installation des stations, tout le matériel déployé a été vérifié et nettoyé, comme présenté ci-dessous :



Figure 37 : Maintenance préventive n° 1 : vérification de l'état du matériel (à gauche), nettoyage de bouée (au centre gauche), nettoyage de sonde (au centre droit) et nettoyage des capteurs (à droite)



Téléchargement des données des stations de fond

Les données des stations de fond sont téléchargées et présentées dans Proxymae comme ci-dessous :



Figure 38 : Extrait de Proxymae de SIV-NOY2 avec les données de turbidité en surface et au fond

Le compte rendu de la maintenance n° 1, avec toutes les informations associées, est présenté en Annexe 8.

Maintenance préventive n° 2 – 4 octobre 2022 4.6.7

La deuxième maintenance a eu lieu le 4 octobre 2022.

Les objectifs de l'intervention sont de :

- Dépanner SIV-NOY4 qui n'a pas transmis de donnée depuis la dernière maintenance •
- Réaliser la deuxième maintenance préventive, deux mois après la précédente afin de vérifier l'état général du matériel et de procéder au nettoyage des bouées, sondes et capteurs
- Corriger le passage du balai sur l'intégralité du capteur de turbidité •
- Télécharger les données des stations de fond •
- Installer les nouveaux capteurs de conductivité/température et les balais, après réception
- Les deux premiers points sont détaillés ci-dessous. •

Dépannage de SIV-NOY4

Le diagnostic de l'automate montre qu'il a perdu le réseau et est passé en mode datalogger sans tentative de reconnexion au réseau, il n'a donc pas pu transmettre les données en revanche toutes les données étaient bien enregistrées dans l'automate et sont désormais présentes dans Proxymae. A la seule particularité qu'il y avait bien 2 mesures par période de 30 min, mais espacée de quelques minutes seulement, au lieu de 15 min, liée au défaut de fonctionnement de l'automate.

L'automate a été remplacé avec en plus un relai piloté à distance pour éviter que le défaut déjà observé sur ce modèle d'automate ne se reproduise.

Réalisation de la deuxième maintenance préventive

Deux mois après la précédente maintenance, tout le matériel déployé a été vérifié et nettoyé.



Les anodes commençaient à présenter des traces d'usure, 2 d'entre elles ont été changées, comme présentées sur la figure ci-dessous.



Figure 39 : Anode usée (à gauche), installation d'une nouvelle anode (à droite) L'intégralité des anodes sera changée à la prochaine maintenance préventive.

> Correction/amélioration du passage du balai

Le balai ne passe pas sur l'intégralité du capteur de turbidité comme présenté sur la photo ci-dessous où l'extérieur du capteur est légèrement colonisé par le biofouling. Pour éviter ce phénomène, le capteur de turbidité ainsi que le capteur de conductivité sont rapprochés du balai par un collier plastique, comme présenté ci-dessous.



Figure 40 : L'intégralité du capteur de turbidité n'est pas nettoyée par le balai (à gauche) et une amélioration portée sur le passage du balai (à droite) par un collier

Le compte rendu de la maintenance n° 2, avec toutes les informations associées, est présenté en Annexe 9.

4.6.8 Octobre 2022 : Décrochage et récupération de SIV-NOY4

Le 22 octobre 2022, des messages d'alarmes de déradage de SIV-NOY4 ont été reçus, la bouée s'est décrochée. L'origine du décrochage est encore inconnue.

La station a été récupérée le 25 octobre par la SNSM du port de Morin. Elle a ensuite été amenée à Atlantique Scaphandre pour être remise à l'eau.

À l'heure actuelle, les fenêtres météo hivernales (conditionnées notamment par la houle) et les disponibilités du Nanoplon n'ont pas encore permis la remise à l'eau de la station.



4.6.9 Maintenance préventive n° 3 – 20 mars 2023

La troisième maintenance a pu avoir lieu le 20 mars 2023, sur une fenêtre météo très réduite, par coefficient de marée de 90.

Les objectifs de l'intervention étaient de :

- Réinstaller SIV-NOY4
- Réaliser la maintenance préventive des trois autres bouées, afin de vérifier l'état général du matériel et de procéder au nettoyage des bouées, sondes et capteurs
- Télécharger les données des stations de fond
- Prélever des échantillons d'eau pour compléter la calibration NTU/MES

Réinstallation de SIV-NOY4

La bouée SIV-NOY4 a été réinstallée comme prévu.

→ Réalisation de la maintenance préventive

La maintenance a été réalisée sur SIV-NOY1, comme prévu. La bouée a été montée sur le pont du navire pour être intégralement passée au nettoyeur haute pression. Les anodes de la perche de la sonde ont été remplacées. Le culot de la cloche de la sonde a été enlevé afin de limiter au maximum le développement de biofouling dans la zone de mesure optique. La brosse du balai a été remplacée.

Les bouées SIV-NOY2 et SIV-NOY3 n'ont pas pu être remontées en raison d'un courant de marée trop important. Pour éviter tout risque pour le matériel, il a été décidé de reporter la maintenance de ces deux à la prochaine opportunité, dans des conditions plus adaptées (moins de houle, moins de courant). Des échantillons d'eau ont été prélevés à proximité immédiate de chaque bouée. En complément, compte tenu de l'impossibilité de relever les bouées SIV-NOY2 et SIV-NOY3, des mesures de turbidité ont été réalisées au niveau de SIV-NOY3 au moyen de deux sondes wimo, à des fins de vérification de l'état de justesse de la sonde SIV-NOY3. L'exercice n'a pas été réalisé sur SIV-NOY2, faute de temps.

Les bouées SIV-NOY2 et SIV-NOY3 n'ayant pu être remontées, les stations de fond n'ont pas non plus été récupérées.

Le compte rendu de la maintenance n° 3, avec toutes les informations associées, est présenté en Annexe 10.



4.6.10 Maintenance préventive n° 4 – 02 mai 2023

La quatrième maintenance a eu lieu le 2 mai 2023.

Les objectifs de l'intervention étaient multiples :

- Nettoyage des capteurs
- Vérifications et remise en état du matériel si nécessaire
- Suppression du culot des sondes, jugé en partie responsable du développement du biofouling dans la cloche de protection des capteurs.
- Prélèvements d'échantillons d'eau pour des analyses de matières en suspension
- Remise en ordre des lignes de mouillage des stations NOY2 et NOY3

→ Réalisation de la maintenance préventive

Le déroulement de la maintenance sur SIV-NOY1 a été rendu plus difficile que prévu par le vent couplé à une légère houle. Le corps de la sonde présentait du biofouling en faible quantité, et la face du capteur de turbidité était propre. Le câble de données a été vérifié. Aucune trace d'usure n'a été constatée. La ligne de mouillage n'a pas été remontée. Celle-ci étant constituée de chaine, il n'a pas été jugé nécessaire de la contrôler.

SIV-NOY2 et SIV-NOY3 ont également été remontées et nettoyées entièrement (bouées et sondes). Les anodes et les brosses de balais ont été remplacées sur les deux bouées et le fonctionnement des feux de signalisation vérifié. Les culots de cloches de sonde ont été enlevés afin de limiter au maximum le développement de biofouling dans la zone de mesure optique. Les lignes de fond ont également été remontées, les données de fond de NOY2 ont été téléchargées. Malheureusement, sur NOY3, la station de fond n'a pas pu être récupérée, la ligne de fond ayant probablement cassé à cause du déplacement du corps-mort en blocs de chaine, lors des tempêtes de cet hiver. La sonde et le bout de fond ont donc été remplacés.

Des prélèvements d'eau à la bouteille Niskin (1,25 L) ont été réalisés à proximité de SIV-NOY1, 2 et 3 pour analyses de matière en suspension.

La maintenance de SIV-NOY4 a été effectuée sans encombre, la bouée et la sonde ont été nettoyées rapidement. Il n'y avait pas de fouling particulier.

Le compte rendu de la maintenance n° 4, avec toutes les informations associées, est présenté en Annexe 11.



4.6.11 Synthèse des difficultés rencontrées

La synthèse des difficultés rencontrées avec les solutions apportées ou corrections futures est présentée dans le tableau ci-dessous :

Date	Problèmes rencontrés	Solutions apportées			
	Retard d'approvisionnement des capteurs	Installation des stations avec des capteurs de location/Nouveaux capteurs installés dès réception de commande			
01/06/2022	Installation des stations de SIV- NOY2 et SIV-NOY3 avec lignes de mouillage trop courtes	Les longueurs des lignes de mouillages ont été corrigées (maintenance n° 1)			
01/06/2022	Défaut du capteur de conductivité de SIV-NOY1	Attente de réception du capteur neuf/Reset de la sonde à la première maintenance/changement de capteur dès réception (maintenance n° 2)			
29/06/2022	Automate de NOY4 en défaut	Changement d'automate (maintenance n° 1)			
29/07/2022	Décrochage de SIV-NOY4	Récupération de la station et réinstallation (maintenance n° 1)			
02/08/2022	Usure des anodes	Remplacement d'une partie (maintenance n° 2) et de l'autre partie (maintenance prochaine)			
02/08/2022	Défaut de transmission de l'automate de SIV-NOY4	Récupération des données et changement d'automate avec installation d'un relai piloté à distance (maintenance n° 2)			
	Biofouling important sur la zone	 <u>Station de surface</u>: Ajustement de la position des capteurs, rapproché du balai pour permettre un nettoyage complet (maintenance n° 2)/retirer la partie basse de la cage de protection (maintenance prochaine) <u>Station de fond</u>: commande de nouvelle brosse de balai et mises en place (maintenance prochaine) → Fréquence des maintenances de nettoyage augmenté pour la suite 			
22/10/2022	Décrochage de SIV-NOY4	Récupération de la station et réinstallation le 20 mars 2023			
02/05/2023	Perte de la station de fond sur SIV-NOY3	Lors de la maintenance préventive du 02 mai 2023 la station de fond n'a pas pu être récupérée, la ligne de fond ayant probablement cassé à cause du déplacement du corps-mort en blocs de chaine, lors des tempêtes de cet hiver.			

Tableau 12 : Synthèse des problèmes rencontrés et solutions apportées

D'un point de vue opérationnel et logistique, la campagne de mesures de l'état de référence est marquée d'une part par les problèmes techniques rencontrés comme le décrochage à 2 reprises de SIV-NOY4, un retard d'approvisionnement des capteurs, un défaut constaté sur l'automate de SIV-NOY4 ainsi qu'un défaut sur le capteur de conductivité et le balai de SIV-NOY1 qui viennent impacter directement la mesure. La perte de la sonde de fond sur SIV-NOY3 induit une absence de donnée entre octobre 2022 et mai 2023.

D'autre part, par un biofouling abondant sur zone, qui est une réelle difficulté pour la mesure ainsi que le manque d'intervention sur site lié au contexte météocéanique et à la disponibilité du navire. On notera que l'année 2022 a été marquée par de fortes chaleurs qui ont exercé une influence non négligeable sur le développement du biofouling.



5 ANALYSE SATELLITE

En complément des mesures in situ, une analyse satellite a été réalisée par la société ISEA. Le présent chapitre synthétise la méthode mise en œuvre. Le rapport complet est présenté en annexe.

À noter que pour des questions d'organisation de l'étude et de disponibilité des images satellites, l'analyse porte sur une période antécédente à l'état de référence *in situ*. On précise également que le démarrage des travaux, avancés au printemps 2023, a contribué à contraindre les calendriers entre les différentes études.

5.1 OBJECTIFS DE L'ANALYSE SATELLITE

Une analyse satellite a été réalisée pour dresser l'état régional et local initial des climats de turbidité naturels observés sur une archive satellitaire, de 2018 à 2021, issue du programme européen Copernicus. Cette analyse a pour objectif d'identifier les conditions naturelles et ordinaires, mais aussi événementielles de la mise en suspension et de la variabilité naturelle des masses turbides.

Une quantification et une spatialisation de la turbidité a été réalisée, avec une catégorisation des niveaux de turbidité enregistrés dans l'enceinte du parc, aux alentours immédiats (rayon de 10 km) et plus largement de Quiberon au nord, jusqu'aux Sables-d'Olonne au sud. De cette manière, les principales sources sédimentaires sont considérées dans les flux turbides suivis (charge fluviale de la Loire et dérive littorale).

L'analyse rétrospective porte sur la base de données spatiales Sentinel-3 (300 m de résolution spatiale), disponibles et exploitables sur la zone d'intérêt, dont ont été dérivées des valeurs par pixel de turbidité (FNU-sat) en exploitant un algorithme semi-analytique (Dogliotti et al., 2015)². Pour compléter l'analyse, des données Sentinel-2 (20 m de résolution spatiale) représentant les cas de figure emblématiques de régimes de turbidité observés dans la zone ont été analysées de la même manière. Les observations seront comparées et caractérisées à partir d'un ensemble de forçages météo-fluvio-océaniques.

5.2 ZONE D'ETUDE

La zone d'intérêt principale constitue l'espace prévu pour l'implantation d'un parc éolien entre les îles de Noirmoutier et d'Yeu (Figure 41). Pour les besoins de l'état de référence avant travaux, la zone a été étendue à une emprise spatiale atteignant Quiberon au Nord et les Sables d'Olonne au Sud, couverture assurée par les dalles des images satellite Sentinel-3 utilisées.

² Dogliotti, A. I., Ruddick, K. G., Nechad, B., Doxaran, D., & Knaeps, E. (2015). A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters. Remote sensing of environment, 156, 157-168.





Figure 41. Emprises d'analyse pour les deux satellites Sentinel, des zones d'analyse et localisation du parc éolien.

5.3 BASES DE DONNEES SPATIALES

L'analyse est basée sur des images Sentinel-3 de niveau 2 (OLCI L2 WR – réflectance marine) et sur des images Sentinel-2 au niveau L1C, c'est-à-dire en réflectance top-of-atmosphere. Ces données ont été sélectionnées afin d'illustrer plus finement les climats de turbidité définis grâce aux données Sentinel-3. Des prétraitements spécifiques ont été appliqués sur ces données afin de les convertir en réflectance marine.

La distribution mensuelle des images Sentinel-3 utilisées pour l'étude est présentée sur la figure suivante :



Suivi de l'évolution temporelle et spatiale de la turbidité liée aux travaux Rapport de l'état de référence — 1^{er} juin 2022 au 31 mai 2023



Figure 42. Distribution mensuelle du jeu de données satellites Sentinel-3 utilisées pour l'étude

Les histogrammes représentent chaque année la période (du bleu clair, 2018, au bleu foncé, 2021) et la courbe rouge représente le nombre cumulé d'images exploitables, par mois, sur l'ensemble de la période.

5.4 METHODE

5.4.1 Caractérisation des climats de turbidité et catégorisation

5.4.1.1 Prétraitement et estimation de la turbidité

Plusieurs étapes de téléchargement systématique, de tri et de découpage sont nécessaires pour obtenir des images exploitables. L'ensemble de ces étapes est décrit dans le rapport complet en annexe.

Au total 566 images Sentinel-3 ont été utilisées pour dériver la turbidité dans la zone d'intérêt.

Une fois les images prétraitées, les valeurs de turbidité sont dérivées des images de réflectance marine en utilisant un algorithme semi-analytique générique proposé par Dogliotti et al. (2015) et inspiré d'une approche similaire spécifique aux concentrations en matière en suspension proposée par Nechad et al. (2010)³. Cet algorithme, particulièrement adapté aux eaux côtières, contient des paramètres hyperspectraux calibrés sur une large gamme de longueurs d'onde et une large gamme de mesures de turbidité in-situ en FNU. Cette large de représentativité permet son utilisation sur des images issues de n'importe quel capteur optique contenant des bandes spectrales visibles et infrarouges.

³ Nechad, B., Ruddick, K. G., & Park, Y. (2010). Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters. Remote Sensing of Environment, 114(4), 854-866.



La turbidité étant estimée sur la base d'un modèle global sans calibration avec donnée in situ locale, par le biais d'un algorithme générique, un biais existe entre la valeur de turbidité satellite et la valeur de la turbidité réellement mesurable in situ. Ce biais est variable d'un site à l'autre, mais il est constant pour un même site (déphasage), ce qui garantit une représentation réaliste des variations relatives de turbidité. Nous choisissons donc de nommer la grandeur mesurée « FNU-sat » afin de préciser qu'il s'agit d'un équivalent FNU générique, estimé à partir d'une information satellitaire, pouvant à terme être calibré sur la base de mesures instrumentées pour corriger d'éventuels décalages. À ce stade de l'étude, le décalage n'a pas été quantifié.

L'algorithme d'estimation de la turbidité a été appliqué de la même façon sur les images Sentinel-2 et Sentinel-3 en adaptant les paramètres hyperspectraux à la longueur d'onde spécifique au capteur S2-MSI et S3-OLCI.

Des images présentant des blooms phytoplanctoniques significatifs ont été écartées, car ne faisant pas partie des objectifs de l'étude. C'est le cas notamment sur la période fin août/début septembre 2021. Au total, 493 résultats ont été retenus pour l'étude.

5.4.1.2 Turbidité moyenne dans le parc et à proximité immédiate

La valeur médiane de tous les pixels a été calculée pour chaque image dans l'enceinte du parc et dans une zone de 10 km de rayon autour du centroïde du parc.

5.4.1.3 Première catégorisation quantitative

Pour une première discrimination des scénarios de turbidité, la valeur médiane au sein du parc est utilisée et comparée d'une date à une autre. De cette manière, trois régimes de turbidité locale ont été définis suivant des seuils ordinairement employés : i) turbidité médiane inférieure à 2 FNU-sat, ii) turbidité médiane comprise entre 2 et 5 FNU-sat, et iii) turbidité médiane supérieure à 5 FNU-sat.

Ainsi, 324 images constituent un premier climat de turbidité, faible à négligeable dans le parc, 100 images/dates caractérisent le régime de turbidité intermédiaire avec valeur médiane modérée (qualitativement, il s'agit en général de cas où la turbidité ambiante dans le parc est faible, avec un panache chargé qui le traverse localement, faisant ainsi croître la valeur médiane globale), et 60 dates s'inscrivent dans un climat de forte turbidité dans le parc.

Parmi les images/dates retenues dans la base de données finale de turbidité, 9 d'entre elles n'ont pas suffisamment de valeurs exploitables dans l'enceinte du parc pour estimer de façon fiable la turbidité médiane. Elles sont néanmoins conservées dans l'analyse en raison d'une couverture significative sur le reste de la zone d'étude, avec des marqueurs forts du niveau de turbidité ambiant. Ces dates rejoignent donc les régimes de turbidité définis qualitativement a posteriori (chapitre suivant).



5.4.1.4 Sous-catégorisation qualitative (turbidité ambiante)

Cette sous-catégorisation permet d'affiner les cas de figure observés dans la base de données en considérant un plus large contexte spatial pouvant affecter la zone du parc. En effet, le régime de turbidité le plus faible parmi les trois définis à l'étape précédente surreprésente la base de données (70 %), ce qui limite l'interprétation de la turbidité dans la zone d'intérêt dans des conditions dites ordinaires.

Ce régime a donc été réanalysé qualitativement à l'échelle régionale, sur l'ensemble de la zone d'intérêt. Les images pour lesquelles la turbidité environnante est élevée et étendue (> 5 FNU-sat dans un rayon de 10 km autour du centroïde du parc et sur une bande de 20 km depuis la côte), le climat de turbidité est considéré intermédiaire. Au total, 75 dates sont regroupées dans cette classe ; dont 5 sans valeur médiane de turbidité mesurée dans le parc.

Les dates restantes sont donc classées dans le régime de turbidité le plus faible, soit un ensemble de 257 dates. Celles-ci sont à nouveau différenciées en fonction de la turbidité régionale : si la turbidité aux alentours du parc (dans le rayon de 10 km autour du centroïde, à l'exclusion du parc, et au-delà de 20 km à la côte) est inférieure à 2 FNU-sat, alors la turbidité sur ces images est considérée faible à négligeable. Si dans cette même zone, les valeurs de turbidité sont majoritairement comprises entre 2 et 5 FNU-sat, alors il s'agit une turbidité ambiante modérée.

En conclusion, 4 régimes de turbidités principaux caractérisent les conditions observées entre 2018 et 2021. Et deux sous-classes définissent le premier régime :

- Niveau de turbidité 1 :
 - a) Turbidité médiane inférieure à 2 FNU-sat dans le parc et turbidité faible dans l'emprise régionale (fonds visibles sur les faibles profondeurs);
 - b) Turbidité médiane inférieure à 2 FNU-sat dans le parc et turbidité modérée dans l'emprise régionale;
- Niveau de turbidité 2 : Turbidité médiane inférieure ou égale à 2 FNU-sat dans le secteur du parc éolien, et turbidité régionale forte ;
- Niveau de turbidité 3 : Turbidité médiane comprise entre 2 et 5 FNU-sat dans le secteur du parc éolien, et turbidité régionale forte ;
- Niveau de turbidité 4 : Turbidité médiane supérieure à 5 FNU-sat dans le secteur du parc éolien, et turbidité régionale forte (1 date supplémentaire a été intégrée à l'issue de l'analyse qualitative de la turbidité, n'ayant pas assez de pixels exploitables dans l'enceinte du parc, la turbidité moyenne n'avait pas été quantifiée à l'étape précédente).

5.4.2 Croisement avec la base de données des forçages physiques

5.4.2.1 Base de données

Pour l'ensemble des dates et heures couvertes par les images de turbidité issues des données Sentinel-3, des données de forçage météo-océaniques ont été collectées afin de définir les climats de turbidité.



Les types de données de forçage collectés ainsi que leur source sont présentés dans le tableau suivant :

Vagues	Bouée CANDHIS ile d'Yeu Nord		
Vent	Station météo Île d'Yeu — Saint-Sauveur		
Hauteur de marée	Station marégraphique SHOM de l'Herbaudière — Noirmoutier		
Coefficient de marée	Station marégraphique SHOM de l'Herbaudière — Noirmoutier		
Débit de la loire	Station hydrologique de Montjean-sur-Loire		
Courant (pour illustrer les cas de figure emblématiques des 5 climats de turbidité)	Données de réanalyses de modèle CMEMS		

Tableau 13 : Source des données de forçage en entrée

Afin de caractériser les climats de turbidité, un ensemble de statistiques de forçage a été calculé à partir des bases de données de forçage collectées (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Ces statistiques sont les suivantes :

Vent	Vitesse moyenne et vitesse moyenne du dixième supérieur Direction moyenne des vents	Moyenne sur les 24, 72 et 120 heures précédant l'acquisition satellite	
Vagues	Hauteur significative moyenne (h13d) et hauteur moyenne du dixième supérieur en hauteur de vagues (h110d)	Moyenne sur les 24, 72 et 120 heures précédant	
	Période significative moyenne (th13d) et période moyenne (t02)	l'acquisition satellite	
Marée	Hauteur de marée	Date et heure de l'acquisition satellitaire	
	Marée montante ou descendante		
Débit	Débit journalier de la Loire	Jour d'acquisition de l'image satellite.	
	Débit journalier maximal	Enregistré sur les 72 et 120 heures précédant l'acquisition satellite	

Tableau 14 : Caractéristiques principales des forçages étudiés

En outre, pour corréler ces mesures de forçage aux données satellite, des valeurs moyennes de turbidité ont été calculées sur deux emprises distinctes, l'emprise du futur parc éolien et une emprise correspondant à un cercle de 10 km de rayon centré sur le parc.



5.4.2.2 Test de représentativité de la base de données

Un test de représentativité des conditions météocéaniques sur la période d'étude a été réalisé afin de s'assurer de la bonne représentativité des données satellites disponibles. En d'autres termes, il s'agissait de vérifier que les images sélectionnées couvrent bien le spectre des conditions météocéaniques rencontrées sur les 4 années. La distribution des données journalières des conditions de forçage entre 2017 et 2020 est donc représentée en pourcentage (histogrammes noirs dans les graphiques de la figure suivante), ainsi que la même distribution incluant seulement les données associées aux dates des images satellites retenues pour l'étude (histogrammes blancs dans les graphiques de la Figure 43).

Notre base de données de turbidité couvre près de 34 % des quatre années d'étude. Nous notons une disparité dans le nombre d'images retenues par mois sur l'ensemble des années analyses (sous-représentation des mois d'hiver, en particulier décembre-janvier, voir Figure 42). Malgré ce nombre d'images réduit et cette hétérogénéité dans la quantité de dates disponibles par mois, les tests de représentativité démontrent que nous couvrons l'ensemble des cas de figure de conditions météo-marines, y compris dans les extrêmes hauts et bas, dans des proportions très proches de celles observées dans le cas où la totalité des jours des quatre années est considérée (figure suivante).

Ainsi, à défaut d'être exhaustive, la base de données Sentinel-3 semble suffisamment représentative pour le secteur de Noirmoutier-Yeu.



Suivi de l'évolution temporelle et spatiale de la turbidité liée aux travaux Rapport de l'état de référence — 1^{er} juin 2022 au 31 mai 2023



Figure 43. Représentativité des valeurs journalières de forçage observées sur 4 années (2017-2020) dans le jeu de données utilisé pour l'étude, correspondant aux dates et heures d'acquisition des images satellites utilisées (15 h UTC).

Les graphiques (a), (b), (c) montrent la représentativité des données relatives aux vents (vitesses et directions), les graphiques (d), (e), (f), (g) représentent les caractéristiques des vagues (hauteurs significatives, directions et périodes, (h) (i) celles de la marée, et le graphique (j) présente la distribution des valeurs de débit fluvial de la Loire.



5.4.3 Illustration haute-résolution

L'utilisation des images haute résolution Sentinel-2 permet d'illustrer de manière plus précise les cas de figure représentatifs des niveaux de turbidité définis dans l'étude.

Les dates retenues pour illustrer chaque climat de turbidité sont les suivantes :

- Niveau de turbidité : 08/09/2020 ;
- Niveau de turbidité 1 b : 22/03/2021 ;
- Niveau de turbidité 2 : 12/04/2019 ;
- Niveau de turbidité 3 : 08/10/2021 ;
- Niveau de turbidité 4 : 22/01/2020.

Ces dates avaient pour condition première de correspondre à une image Sentinel-3 acquise et catégorisée, mais aussi à une image Sentinel-2 disponible, sans artéfact visible (nuage par exemple).



6 RESULTATS DES MESURES IN SITU

Les données collectées pendant l'état de référence ont été stockées et publiées sur l'interface *Proxymae*. Une analyse descriptive générale de la donnée est proposée ci-après. Celle-ci est basée sur la donnée qualifiée. La méthode de qualification de la donnée est décrite plus bas.

6.1 BILAN D'ACQUISITION

6.1.1 Synthèse d'acquisition

La synthèse d'acquisition des stations est présentée dans la frise chronologique ci-dessous où les périodes de mesures (période d'acquisition) sont représentées en vert et la période de non-mesure (défaut d'acquisition) en blanc. Les maintenances effectuées sont représentées par des pointillées rouges.



Figure 44 : Frise chronologique de la synthèse d'acquisition des stations pour la campagne de mesures

Le réseau de bouées a parfaitement fonctionné, hormis pour la station 4 qui présente deux anomalies :

- Une absence de données liée à un défaut de fonctionnement de l'automate et au décrochage de la bouée en juillet 2022 ;
- Le décrochage de la bouée en octobre 2022.

6.1.2 Bilan d'acquisition des stations

Les pourcentages d'acquisitions des stations de la campagne de mesures (de juin 2022 à fin mai 2023) sont présentés dans les diagrammes circulaires ci-dessus pour chaque station. On distingue les



données effectivement acquises et les données manquantes (ex : défaut de capteur, décrochage de bouée).



Figure 45 : Diagramme circulaire du pourcentage d'acquisition de SIV-NOY1 (à gauche) et SIV-NOY2 (à droite)



Figure 46 : Diagramme circulaire du pourcentage d'acquisition de SIV-NOY3 (à gauche) et SIV-NOY4 (à droite)

Les pourcentages d'acquisition pour SIV-NOY1, SIV-NOY2 et SIV-NOY3 sont excellents, avec respectivement 94 %, 90 % et 90 %. Les données manquantes correspondent à des défauts de transmission soit de l'automate soit lié à un fichier. Un premier bug dans la chaine de traitement a été corrigé, mais quelques défauts de transmission satellite demeurent, sans possibilité de corriger ces défauts.

Le pourcentage d'acquisition de SIV-NOY4 est beaucoup plus faible, autour 49 %, à cause du défaut de l'automate qui a cessé de fonctionner du 29 juin au 02 août 2022, et du décrochage de la bouée le 25 octobre 2022. Les conditions de mer et la disponibilité du navire cet hiver n'ont pas permis la remise en place de la bouée. Celle-ci a été remise en service le 20 mars 2023.



La campagne de mesures pour l'état de référence présente des taux d'acquisition de 90 à 94 % excepté pour SIV-NOY4 qui est de 49 % lié à un défaut d'automate et de 2 décrochages de la station.



6.2 DONNEES BRUTES

Les graphiques suivants présentent les séries temporelles des paramètres mesurés pendant l'état de référence, du 1^{er} juin 2022 au 31 mai 2023. Il s'agit là des données brutes (c'est-à-dire la donnée mesurée, avant d'être qualifiée). Les données qualifiées sont présentées plus bas. Ces graphiques apportent une vue d'ensemble de la donnée collectée.





🗕 Salinité en surface - NOY1 🗕 Salinité en surface - NOY2 📥 Salinité en surface - NOY3 📥 Salinité en surface - NOY4

60



Figure 47 : Séries temporelles des données brutes des paramètres mesurés du 1^{er} juin 2022 au 31 mai 2023

*Sur les graphiques, les pointillés rouges correspondent aux événements et interventions sur les stations. Les trois pointillées les plus épais correspondent à l'installation des stations ainsi que les deux maintenances préventives.

Chaque station est représentée par une couleur pour plus de lisibilité dans la lecture des données. Les stations de fond étant autonomes, les données sont téléchargées à chaque intervention.

Les données brutes correspondent aux données mesurées par les capteurs avant d'être qualifiées. La qualification des données est présentée ci-après.



6.3 QUALIFICATION DE LA DONNEE

6.3.1 Méthode

La qualification des données consiste à classer les données comme représentatives du milieu ou non en leur ajoutant un caractère de validation dans la base de données.

Une donnée dite validée, donc représentative du milieu, se voit affecter un coefficient de qualité égal à 1 dans la base de données et une donnée jugée non représentative du milieu un coefficient égal à 0.

Etant donné le manque d'intervention de nettoyage sur la campagne de mesures, certaines données comportent un degré d'incertitude, mais présentent des variations interstation similaires et modérées (autour de 10 NTU), et donc un intérêt certain pour l'analyse. Elles ne sont donc pas complètement écartées. Un coefficient de 2 leur est affecté.

Ainsi, aucune donnée n'est supprimée, elles sont simplement caractérisées. Une fois qualifiées, ces données peuvent être isolées et retirées de l'affichage dans *Proxymae* pour ne garder que les données jugées représentatives du milieu.

La méthode de qualification des données consiste à :

→ 1 — Isoler les données acquises hors du site de mesures. Comme pendant les maintenances ou l'installation des stations où les capteurs sont hors de l'eau et donc présentent des données non représentatives du milieu. En exemple ci-dessous la série temporelle de la température du fond pendant la maintenance du 2 août :



Synthèse température au fond (données validées et isolées)

Figure 48 : Exemple de données isolées, ici pendant la maintenance du 2 août 2022 sur la température au fond

*Sur le graphique, les données isolées sont grisées et les données validées en couleur. Les pointillés rouges correspondent à la sortie d'eau de chacune des stations pour maintenance.

→ 2 — Isoler les données de capteurs qui ont fait l'objet d'un problème technique observé. Comme la panne du balai de SIV-NOY1 qui profite au développement du biofouling ou encore le défaut observé sur le capteur de conductivité de SIV-NOY1 présentant des données inférieures à 30 ppt (cidessous) :



*Sur le graphique, les données isolées sont grisées et les données validées en couleur. Les pointillés rouges correspondent aux évènements et interventions sur les stations.

→ 3 — Isoler les pics ponctuels, les pics à saturation. Lorsqu'un pic est ponctuel (souvent à saturation) et observé sur une seule mesure, il est très probablement lié à une erreur de mesure ou un évènement ponctuel comme la présence d'un organisme ou autre devant le capteur, ce pic n'est donc pas considéré comme étant représentatif du milieu. Un exemple est présenté ci-dessous :



Synthèse turbidité en surface SIV-NOY3 (données validées et isolées)

*Sur le graphique, les données isolées sont grisées et les données validées en couleur.

→ 4 — Isoler les données très bruitées. Lorsque les données sont très bruitées accompagnées en générale d'une augmentation significative des valeurs, il est très probable que ce soit la conséquence d'un encrassement du capteur avec du biofouling. Ces données ne sont donc pas considérées comme représentatives du milieu. Un exemple est présenté ci-dessous :



Synthèse turbidité en surface SIV-NOY2 (données validées et isolées)

*Sur le graphique, les données isolées sont grisées et les données validées en couleur. Les pointillés rouges correspondent aux évènements et interventions sur les stations.



→ 5 — Attribuer le coefficient 2 aux données qui ne sont potentiellement pas représentatives du milieu, mais qui présentent des variations interstation similaires et pour lesquelles les valeurs sont modérées (autour de 10 NTU). Ces données ne sont pas représentatives du milieu en revanche elles présentent un intérêt à être analysées. En exemple ci-dessous, la série temporelle des données de turbidité de fond :



*Sur le graphique, les données en couleur sont validées, en grisées sont isolées et en couleurs pastel sont non valides, mais à analyser. Les pointillés rouges correspondent aux évènements et interventions sur les stations.

Les données de SIV-NOY3 sont particulièrement élevées par rapport aux données de SIV-NOY2, mais présentent les mêmes variations. Le phénomène s'explique par la présence d'une balane (biofouling) qui s'est développée, sur la partie extérieure du capteur, comme présenté ci-dessous, photos prises pendant la deuxième maintenance, le 4 octobre :



Figure 53 : capteur de turbidité de la station de fond de SIV-NOY3, photos prises au cours de la deuxième maintenance

Le développement de la balane est directement lié à la qualité du balai et particulièrement au choix du fournisseur sur le matériau de la brosse qui pour des raisons environnementales est constitué de poils de chèvre. Mais comme présenté sur la photo ci-dessus, il ne permet pas un brossage optimal étant donné qu'il se dégrade facilement. A la longue, c'est le biofouling qui dégrade la brosse. Les brosses ont été remplacées par des brosses en nylon lors de l'intervention suivante.

La qualification des données consiste à classer les données comme représentatives du milieu ou non en leur ajoutant un caractère de validation selon une méthode précise.



6.3.2 Données qualifiées

Les données qualifiées, selon la méthode décrite, sont représentées sur les séries temporelles cidessous, avec les données validées en couleur, les données isolées en grisé et les données non valides (suspectes) à analyser (coefficient 2) en couleur pastel.

Synthèse turbidité en surface (données validées et isolées)





Synthèse température en surface (données validées et isolées)







Figure 54 : Séries temporelles des données qualifiées des paramètres mesurés du 1^{er} juin 2022 au 31 Mars 2023

*Sur les graphiques, les pointillés rouges correspondent aux événements et interventions sur les stations. Les données validées sont en couleur, les données isolées en grisé et les données non valides à analyser en couleur pastel.

La qualification des données selon la méthode décrite plus haut permet d'isoler les données jugées représentatives du milieu.

6.3.3 Présentation des données brutes acquises sur la période Février-Mars 2023

Les données acquises sur la période février-mars n'ayant pas été qualifiées à la date d'édition de ce chapitre (version intermédiaire de l'état de référence), il avait été proposé une présentation des données brutes depuis la maintenance précédente (20 mars 2023) afin de mettre en évidence deux aspects :

- L'évolution naturelle de la turbidité dans un contexte hivernal, en transition avec le printemps;
- 2. La qualité générale de la mesure qui faisait l'objet d'un questionnement précédemment

Depuis l'édition de ce chapitre, toutes les données ont été qualifiées. Toutefois, il nous semble pertinent de conserver la démonstration qui atteste de la bonne application des méthodes de contrôle tout au long de la campagne d'état de référence.

On rappelle que lors de la maintenance du 20 mars 2023 les bouées SIV-NOY2 et SIV-NOY3 n'ont pas pu être entretenues à cause des conditions de mer. À cette occasion, la bouée SIV-NOY1 a fait l'objet d'une maintenance complète et la bouée SIV-NOY4 a été réinstallée.

Concernant les données pour SIV-NOY1, le nettoyage de la sonde a permis de rétablir la justesse de mesure, les valeurs étant passé de 20 NTU environ à 2 NTU après remise à l'eau du matériel (voir figure ci-dessous et contrôle plus bas).



Figure 55 : Données brutes pour SIV-NOY1 centrées sur l'intervention de maintenance du 20 mars

Concernant les mesures SIV-NOY2 et SIV-NOY3, les valeurs se maintiennent à des niveaux probablement plus élevés qu'en réalité, à cause de la présence de biofouling, mais ces niveaux restent en deçà de 10 NTU. On remarque sur la figure suivante le décrochage des valeurs de la sonde SIV-NOY2 le 14 mars. Ce phénomène arrive de temps à autre, mais n'est pas expliqué. Il est très probablement le résultat d'une modification dans la présence et le comportement du biofouling au niveau de la cellule de mesure.

Synthèse turbidité en surface (données brutes)



Figure 56 : Données brutes les 4 sondes centrées sur l'intervention de maintenance du 20 mars

À des fins de contrôle, des échantillons d'eau ont été prélevés sur chaque station lors de la maintenance du 20 mars et des mesures comparatives ont été réalisées au moyen de deux sondes wimo (525 c et 523a) sur la station SIV-NOY3. Les résultats sont présentés ci-après.



Le graphique suivant présente les données mesurées par les deux sondes de contrôle/ :



Figure 57 : Mesures réalisé au moyen de deux sondes wimo sur la station SIV-NOY3

On remarque la variabilité de la mesure pour deux sondes paramétrées à l'identique pour des mesures concomitantes, toutes les 5 secondes, sur environ 10 min. Statistiquement les mesures restent relativement cohérentes (tableau suivant).

	Moyenne		
	(sur 1 heure pour SIV-NOY3, 10 min pour 523 c et 525a)	Ecart-type	
523 c	4,0	1,0	
525a	4,3	1,5	

Tableau 15 : Moyenne et écart-type des mesures de contrôle

La moyenne de ces mesures effectuées au niveau de la station SIV-NOY3 a été comparée avec les valeurs de la sonde en place, sur une période de 1 heure. Les résultats sont cohérents, avec un écart aux moyennes inférieur à 1 NTU (figure suivante). Pour la comparaison, on émet l'hypothèse que la turbidité dans le milieu est restée stable pendant une heure, ce qui permet de comparer les valeurs moyennes des sondes de contrôle avec les valeurs mesurées par la sonde de la bouée.



Figure 58 : Comparaison des mesures avec la station SIV-NOY3

Ce contrôle permet de valider la relative justesse de la mesure sur la station SIV-NOY3, malgré l'influence du biofouling. Ce contrôle n'a pas pu être réalisé sur la station SIV-NOY2. Le graphique de la Figure 56 montre que les valeurs mesurées sur la station SIV-NOY2 sont plus élevées. Les résultats des analyses de matière en suspension réalisées sur les échantillons d'eau permettant un contrôle



interstation, il est possible d'évaluer la justesse de cette mesure. En effet, les capteurs ayant fait l'objet d'une calibration préalable, il est possible de calculer la valeur de turbidité en NTU sur chaque station (Contrôle) et de la comparer aux valeurs mesurées par les sondes sur les différentes stations. Le fait d'avoir réalisé l'entretien de deux stations (SIV-NOY1 et SIV-NOY4) offre un niveau de contrôle supplémentaire.

Le tableau suivant présente les différentes valeurs prises en compte pour ce contrôle. A partir des résultats des analyses de MES sur les échantillons d'eau (ligne 1 du tableau) et des fonctions de transfert MES-NTU (ligne 2, voir chap. 4.2), la valeur de turbidité de chaque échantillon est calculée (ligne 3). Les valeurs mesurées par les sondes des différentes stations sont relevées aux instants correspondants aux prélèvements d'eau (ligne 4). L'écart entre la valeur de contrôle et l'observation (C-O) est ensuite calculé (ligne 5).

	Etape	SIV-NOY1	SIV-NOY2	SIV-NOY3	SIV-NOY4	
1	MES (mg/l) Échantillons d'eau de contrôle	2,2 (Incert. abs : 0.4)	13 (Incert.abs. : 3)	6,5 (Incert. abs. : 1.3)	21 (Incert. Abs. : 4)	
2	Fonction de transfert NTU-MES	MES = 2.15NTU	MES = 2.25NTU	Mes = 2.11NTU	MES = 2.13NTU	
3	NTU (Échantillons de contrôle — C)	1.0	5.8	3.1	9.9	
4	NTU (valeurs aux instants de prélèvement — O)	2.1 (9 h 30)	7.2 (10 h 45)	5.2 (13 h 10)	5.0 (12 h)	
5	Écart NTU (C-O)	-1,1	-1,4	-2,1	4,9	

 Tableau 16 : Synthèse des étapes du contrôle des mesures à partir des échantillons d'eau

Les résultats semblent indiquer que :

- Malgré l'absence d'entretien sur les stations SIV-NOY2 et SIV-NOY3, les mesures demeurent cohérentes à moins de 2 NTU près;
- Que les fonctions de transfert semblent appropriées pour évaluer la turbidité ambiante pour les stations SIV-NOY1, SIV-NOY2, SIV-NOY3, mais que la marge d'erreur est potentiellement supérieure pour la station SIV-NOY4;
- Que l'écart plus important sur la station SIV-NOY4 ne permet pas de conclure quant à la justesse de la fonction de transfert pour cette station.

L'ensemble des contrôles réalisés le 20 mars 2023 permet de valider l'état de fonctionnement du réseau et la qualité générale des mesures au regard de l'objectif qui consiste à qualifier l'évolution temporelle et spatiale de la turbidité au niveau du réseau et notamment de capter les variations extrêmes de la turbidité naturelle.



6.4 BILAN APRES VALIDATION DES DONNEES DANS LA BASE

Après la qualification des données, les taux de données jugées valides pour chacun des paramètres de chacune des stations sont présentés dans les histogrammes suivants (arrêt des calculs au 31 mai).



Figure 59 : Taux mensuels de données validées sur la campagne de mesures pour SIV-NOY1



Figure 60 : Taux mensuels de données validées sur la campagne de mesures pour SIV-NOY2







Figure 62 : Taux mensuels de données validées sur la campagne de mesures pour SIV-NOY4

Les taux mensuels sont très variables en fonction des stations.

Pour comparaison interstation, les taux globaux sont présentés dans l'histogramme ci-dessous :





Figure 63 : Taux globaux de données validées sur la campagne de mesures par station

De nombreuses données ont été qualifiées de non-valides parce qu'elles étaient impactées directement soit par un défaut technique ou soit par le milieu environnant et en particulier par le développement de biofouling très présent pendant la campagne de mesures.

Comme décrit précédemment, le biofouling observé en surface est composé d'algues longues qui malgré le fait qu'elles ne se fixent pas directement sur le capteur (nettoyé par le passage du balai) celles-ci viennent gêner la mesure en se développant autour du capteur. Le phénomène a été amplifié en 2022 par les fortes chaleurs de l'été.

À ça, vient s'ajouter le contexte météocéanique de l'hiver 2022 qui a été particulièrement perturbé et qui a présenté une réelle difficulté pour les interventions sur zone.

Au-delà des aspects opérationnels, plusieurs défauts techniques ont également une incidence sur la qualité de la donnée :

- La panne de balai de SIV-NOY1 ;
- Le choix du matériau des brosses de balais des stations de fond du fournisseur, qui se dégrade dans le milieu, ne permettant pas un nettoyage optimal. Vu avec le fabricant pour remplacer le produit);
- Le problème d'approvisionnement des capteurs qui a retardé le remplacement des capteurs dont le balai en défaut ;

Les pourcentages de données validées sont modestes en raison de quelques problèmes techniques, mais aussi de la dégradation de la mesure liée au biofouling et aux difficultés à intervenir sur zone pour réaliser les maintenances préventives de nettoyage.

La période d'état de référence a permis de qualifier le matériel et de quantifier le nombre d'opérations de maintenance nécessaires pour maintenir une qualité de mesure optimale.


setec énergie environnement

À l'avenir, il sera nécessaire d'intensifier la fréquence des nettoyages, sous-entendu que les conditions de mer et la disponibilité du navire le permettent. Ce point est particulièrement important, car il conditionne la capacité des opérateurs à maintenir une qualité de mesure suffisante.

Par ailleurs, nous travaillons sur des améliorations pour contenir le développement du biofouling.



6.5 SYNTHESE DES DONNEES VALIDEES

L'ensemble des données validées sur la période du 01 juin 2022 au 31 mai 2023, et uniquement les données validées, sont présentées ci-dessous :

6.5.1 Données validées par paramètres





Synthèse température en surface (données validées)



Figure 64 : Séries temporelles des données validées de chaque paramètre mesuré du 1er juin 2022 au 31 mars 2023

La description des données par paramètre sur la période concernée est proposée ci-dessous :

- → Turbidité en surface
 - Pour SIV-NOY1, la turbidité en surface varie de 0,8 à 4,5 NTU avec une moyenne à 1,8 NTU.
 - Pour SIV-NOY2, la turbidité en surface varie de 0,9 à 5,2 NTU avec une moyenne à 2,3 NTU.
 - Pour SIV-NOY3, la turbidité en surface varie de 0,8 à 4,5 NTU avec une moyenne à 2,2 NTU.
 - Pour SIV-NOY4, la turbidité en surface varie de 0,4 à 53 NTU avec une moyenne à 3,7 NTU.
- → Turbidité au fond
 - Pour SIV-NOY2, la turbidité au fond varie de 0,0 à 25,0 NTU avec une moyenne à 1,0 NTU.
 - Pour SIV-NOY3, la turbidité au fond varie de 0,1 à 19,3 NTU avec une moyenne à 1,6 NTU.
- → Température en surface
 - Pour SIV-NOY1, la température en surface varie de 8,8 à 22,5 °C avec une moyenne à 14,9 °C.



- Pour SIV-NOY2, la température en surface varie de 8,3 à 22,6 °C avec une moyenne à 14,6 °C.
- Pour SIV-NOY3, la température en surface varie de 8,5 à 22,3 °C avec une moyenne à 14,3 °C.
- Pour SIV-NOY4, la température en surface varie de 9,0 à 24,2 °C avec une moyenne à 15,9 °C.
- → Température au fond
 - Pour SIV-NOY2, la turbidité au fond varie de 7,8 à 17,6 °C avec une moyenne à 11,6 °C.
 - Pour SIV-NOY3, la turbidité au fond varie de 10,5 à 18,3 °C avec une moyenne à 12,8 °C.

Salinité

- Pour SIV-NOY1, la salinité varie de 29,9 à 35,9 ppt avec une moyenne à 34,9 ppt.
- Pour SIV-NOY2, la salinité varie de 29,5 à 36,0 ppt avec une moyenne à 34,9 ppt.
- Pour SIV-NOY3, la salinité varie de 30,7 à 35,9 ppt avec une moyenne à 35,1 ppt.
- Pour SIV-NOY4, la salinité varie de 29,5 à 35,8 ppt avec une moyenne à 34,9 ppt.

6.5.2 Données validées de turbidité par station









0

02/01

04/01



— Turbidité en surface - NOY4 Min: 0.410 Max: 52.950 Avg: 3.663

10/01

Figure 65 : Séries temporelles des données validées de turbidité par station

12/01

→ Complément turbidité en surface pour SIV-NOY4

08/01

 La remise en service de la bouée le 20 mars a permis d'observer des conditions que l'on rencontre plutôt l'hiver avec beaucoup de vent et de houle, dans une période ou le débit des cours d'eau est encore important. Cela met en évidence la forte variabilité des conditions de turbidité qui peuvent être observées sur cette station, et qui n'avaient pas été captées jusqu'alors. En effet sur la période du 20 mars au 4 avril on observe sur la station SIV-NOY4 des variations de 1,5 à 53 NTU avec une moyenne à 11,7 NTU.



6.6 **CONTEXTE METEOCEANIQUE**

6.6.1 Données de houle

6.6.1.1 Hauteur et période



Figure 66 : Série temporelle de la hauteur et de la période de la houle du 1 juin 2022 au 31 mai 2023 (source : SHOM)



Figure 67 : Série temporelle de la hauteur et de la période de la houle du 1 juin 2022 au 31 mai 2023 (source : CANDHIS)

Les deux graphiques présentent les séries temporelles de la houle en hauteur et période rencontrées sur la zone d'études pendant la campagne de mesures. Le premier graphique correspond aux données du SHOM, il s'agit de données modélisées de la station de Fromentine. Le deuxième graphique présente les données mesurées de la bouée de mesures CANDHIS au large de l'île d'Yeu.

La hauteur sur les deux graphiques en bleu ciel correspond à la hauteur H1/3 c'est-à-dire la hauteur moyenne du tiers des vagues les plus hautes, il s'agit de la hauteur significative (en mètres). Et la hauteur représentée en bleu marine correspond à la hauteur maximale des vagues mesurées (en mètres). En rouge, il s'agit de la période significative, ce qui correspond à la moyenne des périodes du tiers supérieur des plus grandes vagues (en seconde).

En règle générale, les conditions océanographiques rencontrées sur la campagne de mesures présentent des hauteurs de vagues allant de 0,1 à 2,5 m pour les données du SHOM et de 0,1 à 7,1 m pour les données CANDHIS ; avec une période de 2 à 23 s pour les données du SHOM et de 2,1 à 17 s pour les données CANDHIS.

Sur le graphique des données de la bouée CANDHIS, la grande période d'absence de données correspond à une maintenance sur la bouée durant laguelle elle a été sortie de l'eau.



Les valeurs des deux graphiques évoluent de manières identiques en revanche, une légère différence est observée entre les hauteurs de vagues significatives modélisées et mesurées comme présentées ci-dessous :



Figure 68 : Comparaison des séries temporelles des données modélisées du SHOM avec les données mesurées de la bouée CANDHIS au large de l'île d'Yeu du 1 juin 2022 au 31 mai 2023

Dans l'exemple ci-dessus, la hauteur significative de houle modélisée par le SHOM est de 1,2 m contre 1,4 m de houle mesurée par le réseau CANDHIS. Et de manière générale les données mesurées par la bouée CANDHIS sont supérieures aux données modélisées du SHOM.

Pour l'analyse des données, les deux hauteurs de houle sont prises en compte avec une attention particulière sur les données mesurées.



6.6.1.2 Direction

Figure 69 : Série temporelle de la direction de la houle du 1 juin 2022 au 31 mai 2023 (source : SHOM)

La direction de la houle pendant la campagne de mesures est variable sur le site avec une dominance d'ouest et des variantes de nord-ouest et de nord.

Ces données correspondent aux données modélisées du SHOM, la bouée de mesures CANDHIS ne mesure pas la direction.



6.6.2.2

Direction

6.6.2 Données de vent



Figure 70 : Série temporelle de la vitesse du vent du 1 juin 2022 au 31 mai 2023 (source : SHOM)

Les données de vent (force et direction) correspondent aux données modélisées du SHOM pour la station de Fromentine. La force de vent sur le site pendant la campagne de mesures varie de 0 à 44 nœuds avec une moyenne de 13,2 nœuds.



Figure 71 : Série temporelle de la direction du vent du 1 juin 2022 au 31 mai 2023 (source : SHOM)

La direction du vent sur le site pendant la campagne de mesures est très variable avec une dominance d'ouest et de sud-ouest, avec de nombreux passages de nord à nord-est, mais également de nombreux passages avec un vent de secteur nord-est.



6.6.3 Données de marées



Figure 72 : Série temporelle de la hauteur d'eau par rapport au niveau moyen du 1 juin 2022 au 31 mai 2023 (source : SHOM)

Les données de marées sont obtenues par les données de hauteur d'eau par rapport au niveau moyen calculées par le SHOM. L'avantage de ces données par rapport à des données de marées standards est qu'elles tiennent comptent de la surcote et sont donc très précises.

La série temporelle présente des trous liés à une indisponibilité des données.

6.6.4 Pression atmosphérique et surcote



Figure 73 : Série temporelle de la pression atmosphérique et des surcotes du 1^{er} juin 2022 au 31 mai 2023

Les surcotes correspondent aux élévations locales et temporaires du niveau d'eau, dans le cas contraire on parle de décote. Les surcotes et décotes sont liées à la pression atmosphérique comme en atteste le graphique. Lorsque la pression atmosphérique diminue (en période dépressionnaire) apparaissent les surcotes et à l'inverse, en période anticyclonique, lorsque la pression augmente, on observe des décotes.

Sur la période de la campagne de mesures, la pression atmosphérique varie de 986 à 1044 hPa avec une moyenne de 1017 hPa. Les surcotes maximales observées sont de 0,7 m et les décotes maximales de -0,4 m.



6.7 **CONTEXTE PHYTOPLANCTONIQUE**

La production primaire, représentée par la chlorophylle-a simulée en surface via les modèles de calculs du projet MARC est très variable sur le site pendant la campagne de mesures.

La concentration de chlorophylle-a pendant la campagne de mesures varie de 0,3 à 10 µg/l, comme présenté sur la figure ci-dessous où elle éteint son minimal et maximal les 03 septembre et 03 octobre respectivement.



Figure 74 : Image satellite de Chlorophylle-a simulée en surface, le 03/09 et le 03/10 sur la zone de Vendée, Charente-Maritime (issu du projet MARC du LOPS)

La production primaire peut varier fortement en peu de temps comme présenté sur les figures cidessous qui la représente sur 3 jours consécutifs.



Figure 75 : Image satellite de Chlorophylle-a simulée en surface, les 10, 11 et 12 septembre sur la zone de Vendée, Charente-Maritime (issu du projet MARC du LOPS)



6.8 SYNTHESES GRAPHIQUES BIMENSUELLES

Des synthèses graphiques bimensuelles présentent l'évolution des paramètres mesurés (données validées en couleur et isolées en grisés), le contexte météocéanique ainsi que les taux d'acquisitions des quatre stations en surface.

Un exemple de synthèse graphique est présenté ci-dessous. L'ensemble des synthèses est disponible en Annexe 13.



Figure 76 : exemple de synthèse graphique bimensuelle



6.9 **ANALYSE ET INTERPRETATION DES DONNEES DE TURBIDITE**

Dans un premier temps, l'analyse vise à comprendre l'évolution de la turbidité dans le secteur d'étude, à différentes échelles de temps.

Dans un second temps, il s'agit d'établir une étude statistique des données afin de rendre compte de l'évolution observée dans le but de pouvoir établir des seuils pour le suivi en phase travaux. La définition des seuils fait l'objet d'une note spécifique, disponible en annexe.

L'analyse et l'interprétation proposée s'appuient sur une méthode descriptive dans le domaine temporel. Les outils statistiques utilisés restent simples et accessibles aux non spécialistes.

6.9.1 Méthode

L'analyse consiste à étudier les périodes qui présentent des variations significatives, généralement à la hausse, de la turbidité ambiante, aussi bien sur les stations en surface que sur les stations de fond. La méthode d'analyse consiste :

- Dans un premier à identifier les périodes à analyser ;
- Dans un second temps à les rapprocher du contexte météocéanique en s'appuyant sur :
 - Les données de profondeur des stations de fond, et donc des marées (regarder si des variations anormales de la profondeur, en plus de l'amplitude des cycles des marées, liées aux conditions météocéaniques sont observées sur la période)
 - Les données de houles ;
 - Les données de pression atmosphérique et surcote/décotes ; •
 - Les données de vent en force et direction (coup de vent, changement de direction). •

> Dans un troisième temps, rapprocher les évènements identifiés des modélisations de la production primaire.

Les analyses ont été réalisées séparément entre la turbidité de surface et celle qui a été observée au fond.



6.9.2 Données de turbidité au fond

On rappelle ici que les deux stations de fond sont positionnées au niveau des stations SIV-NOY 2 et SIV-NOY 3.

Compte tenu de degré de similitude entre les deux jeux de données, ces dernières sont analysées ensemble. On notera l'absence de donnée de SIV-NOY3 entre les maintenances du 4 octobre 2022 et du 2 mai 2023 due à un décrochage de la sonde de fond.

6.9.2.1 Détermination des évènements à analyser

19 évènements présentant des variations significatives ont retenu notre attention. Ceux-ci sont numérotés et identifiés par un cercle noir sur la série temporelle suivante.



Turbidité au fond - NOY3 (données validées) — Turbidité au fond - NOY3 (données non valides à analyser)

- Turbidite au Iond - NOY3 (donnees validees) - Turbidite au Iond - NOY3 (donnees non valides à analyser)

Figure 77 : Périodes à analyser des données de turbidité de fond sur la campagne de mesures *Sur le graphique, les pointillés rouges correspondent aux événements et interventions sur les stations et les cercles noirs aux évènements repérés.

6.9.2.2 Analyse et interprétation

A noter : dans la suite du document, les légendes des ordonnées ne sont pas affichées pour permettre un parfait alignement des graphiques.

→ Relation avec les données de profondeur des stations de fond et des marées

Les séries temporelles des données de turbidité et de pression des stations de fond sont présentées ci-dessous :



Figure 78 : Comparaison des séries temporelles des données de turbidité et de pression sur la campagne de mesures

La profondeur des stations de fond est mesurée par le capteur de pression et permet ainsi de représenter les fluctuations de niveau d'eau induites par la marée, mais également les perturbations locales liées à la houle.

De manière générale, l'amplitude des marées, notamment les grandes marées, ne semble pas avoir un lien direct avec les évènements identifiés. Néanmoins, dans certains cas, il semblerait qu'elle les amplifie.

En regardant plus en détail chacun des évènements, des perturbations locales apparaissent dans les données de profondeur. En exemple, les évènements 2 et 3 ci-dessous :



Figure 79 : Comparaison des séries temporelles de turbidité et de pression du 1 au 20 juin 2022

Pour tous les évènements identifiés, les courbes de profondeur présentent des modulations d'amplitude à haute fréquence (cercle rouge, figure précédente), signe d'une perturbation de la surface libre, très probablement liée à la houle et à l'augmentation de la période. C'est notamment le cas sur les données



de la station SIV-NOY2 durant la période hivernale où les hauteurs et périodes de houle sont les plus importantes. La profondeur d'influence de la houle étant directement liée à la période, il est fort probable que les sédiments de fond soient remis en suspension lors de ces épisodes. Les oscillations de turbidité sont corrélées à l'onde de marée, tout particulièrement sur la station SIV2 dont les pics sont synchrones avec la basse mer. Cela est également valable dans une moindre mesure pour la station SIV3.



Figure 80 : Comparaison des séries temporelles de turbidité et de houle (hauteurs et périodes)

Les données de hauteur de houle semblent corréler avec les évènements repérés, notamment lors d'évènements présentant de grandes variations de hauteur et/ou de période. Chacun des évènements était corrélé avec les perturbations observées sur le paramètre de pression précédemment décrit.



Figure 81 : Comparaison des données de turbidité de fond avec les données de houle (direction)

Les évènements repérés semblent avoir lieu pendant des régimes de houle de secteur ouest. En revanche les changements de direction de houle ne semblent pas impacter les données de turbidité de fond significativement.



→ Corrélation avec les données de pression et de surcotes/décotes

Figure 82 : Comparaison des séries temporelles de turbidité au fond avec les données de pression et surcotes/décotes

Les données de surcotes et de pression atmosphérique ne semblent pas avoir de lien évident avec la plupart des évènements repérés.



Corrélation avec les données de vent



Figure 83 : Comparaison des séries temporelles de turbidité au fond avec les données de vent (force)

Les données de force de vent semblent corréler avec certains évènements repérés notamment les évènements 7, 8, 12 et 17, pour des vitesses bien supérieures à la moyenne et sur des durées significatives.

• Direction



Figure 84 : Comparaison des séries temporelles de turbidité au fond avec les données de vent (direction)

Les évènements repérés semblent avoir lieu pendant des régimes de vent prolongés de secteur sudouest à ouest.



Corrélation avec les données de la production primaire

Il n'y a pas de corrélation notable entre les évènements repérés sur les données de turbidité de fond et la concentration de chlorophylle a en surface.

6.9.2.3 Synthèse sur l'évolution de la turbidité de fond

Les variations de turbidité de SIV-NOY2 (SIV-NOY3 ayant été arrachée) entre octobre 2022 et mai 2023 sont très dynamiques, ce qui est cohérent avec les conditions météocéaniques de la période hivernale, elles aussi très dynamiques. En revanche, du fait de l'absence de maintenance sur toute cette période, et du développement du biofouling, les amplitudes observées sont surestimées et donc très incertaines. Les données brutes impactées par du fouling peuvent largement dépasser 50 NTU.

Sur le reste de la période analysée, la turbidité peut atteindre naturellement 20 NTU sur la station SIV-NOY3 et 15 NTU sur la station SIV-NOY2 durant quelques heures, et dépasser 10 NTU sur plusieurs jours. Les augmentations de turbidité sont liées aux perturbations locales du plan d'eau, induites par la houle et qui peuvent être accentuées par la force et/ou la direction du vent. Les amplitudes observées sont directement liées à des épisodes de houle significative (hauteur et/ou période). Les périodes de vives et mortes eaux ne semblent pas induire d'augmentation ou de baisse de la turbidité. En revanche, elles semblent accentuer les évènements de turbidité importante lors de fortes houles. La correspondance entre les deux stations SIV-NOY2 et SIV-NOY 3 est bonne, ce qui indiquerait une certaine homogénéité de la turbidité au large sur les épisodes analysés. On note que la station la plus proche de la côte (SIV-NOY3) présente une turbidité significativement plus importante lors des épisodes de forte augmentation, mais que cela reste ponctuel.

6.9.3 Données de turbidité en surface

Les données de turbidité en surface présentent des variations parfois différentes d'une station à l'autre, ainsi les données des 4 stations sont analysées séparément. Cela est significativement différent des observations faites sur la turbidité de fond qui présente un haut niveau de correspondance.

6.9.3.1 Détermination des périodes à analyser

Les évènements qui ont retenu notre attention et présentant des variations à la hausse sont entourés d'un cercle noir sur la série temporelle ci-dessous. Chaque cercle est identifié d'une lettre ou d'un chiffre. Lorsque c'est une lettre, il s'agit de variations communes **aux 4 stations**, lorsque que c'est une lettre de ce type : **A'** ou **A"**, il s'agit d'une variation commune **à 2 stations** et lorsque ce sont des chiffres, **seule la station en question** présente une variation.



06/01

08/01

02/01

04/01





SIV-NOY2 - Synthèse turbidité en surface (données validées et données non valides à analyser)

12/01

10/01



SIV-NOY3 - Synthèse turbidité en surface (données validées et données non valides à analyser)







Figure 85 : Périodes à analyser des données de turbidité en surface sur la campagne de mesures *Sur le graphique, les pointillés rouges correspondent aux événements et interventions sur les stations et les cercles noirs aux évènements repérés. Pour l'identification, une lettre correspond à une variation commune aux 4 stations, une lettre et « ou "corresponds à une variation commune à 2 stations et un chiffre correspond à une variation unique.



La série temporelle synthétisant les évènements repérés est présentée ci-dessous avec les évènements communs en gras, et les évènements présents sur une seule station avec le nom de la station. :



Figure 86 : Synthèse des périodes à analyser des données de turbidité en surface des 4 stations

6.9.3.2 Analyse et interprétation

A noter : dans la suite du document, les légendes des ordonnées ne sont pas affichées pour permettre aux données corrélées d'être parfaitement alignées les unes avec les autres.

> Corrélation avec les données de profondeur des stations de fond et des marées

Etant donné que les données de profondeur des stations de fond s'arrêtent en octobre, la comparaison avec les marées est réalisée avec les données de marées du SHOM.



Synthèse turbidité en surface (données validées et données non valides à analyser)

De manière générale, l'amplitude des marées, notamment les grandes marées, ne semble pas être à l'origine des évènements repérés, en revanche elles les favorisent, c'est le cas notamment pour

Figure 87 : Comparaison des séries temporelles de turbidité en surface avec les données de marées



l'évènement A ou pour l'évènement 4 de SIV-NOY4 présenté en détail ci-dessous. L'amplitude des variations de turbidité oscille de manière coordonnée avec l'amplitude des marées.



Figure 88 : Comparaison des séries temporelles de turbidité de surface avec les données de marées, accent sur l'évènement 4 de SIV-NOY4

Comme présenté sur la Figure 88, la turbidité de SIV-NOY4 est plus oscillante que les autres. En effet, étant positionnée dans une zone moins profonde, SIV-NOY4 est plus sujette aux effets de la marée (marnage et courant). Le graphique montre que les oscillations de SIV-NOY4 se retrouvent dans les oscillations du marnage. La turbidité augmente autour des basses mers et diminue aux marées hautes. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'un niveau d'eau plus bas favorise les interactions surface/fond générées notamment par la houle et le vent et donc la remise en suspension.



Corrélation avec les données de houle \rightarrow





Figure 89 : Comparaison des séries temporelles de turbidité et de houle (hauteurs et périodes)

Les évènements repérés semblent corréler avec la hauteur et la période de houle. En effet, la grande majorité des évènements sélectionnés surviennent lors d'un pic de houle, de l'augmentation de la période ou de l'action conjointe des deux.





Figure 90 : Comparaison des séries temporelles de turbidité et de houle (direction)

Les évènements repérés ont eu lieu pendant des régimes de houle de secteur ouest.

En revanche, les changements de direction de houle ne semblent pas impacter directement les données de turbidité sauf sur la période du 8 décembre 2023 située entre les évènements B" et B ». En effet, ce changement de direction coïncide avec une baisse de la turbidité. On notera qu'il coïncide également avec une baisse importante de la hauteur de houle et de la période présente sur le modèle du SHOM et sur les mesures CANDHIS. Ces faibles valeurs de houle et de période additionnées à une direction de nord-est sont probablement le signe que le seul forçage actif sur la période est le vent (de secteur nord-est). Dans ce cas, une mer de vent (0,4 m, 2,6 s, 50°).



Corrélation avec les données de pression et de surcotes/décotes



Figure 91 : Comparaison des séries temporelles de turbidité avec les données de pression et surcotes/décotes

Les données de pression et en particulier les données de surcotes semblent avoir un lien avec les évènements repérés. Les surcotes et les baisses de pression sont le signe d'un système dépressionnaire, souvent accompagné de vent et de vagues.



Orrélation avec les données de vent

Vitesse

Figure 92 : Comparaison des séries temporelles de turbidité avec les données de vent (vitesse)



De même que la houle, les régimes de vent soutenus notamment en période hivernale semblent corréler avec la majorité des évènements de turbidité.

Direction



Figure 93 : Comparaison des séries temporelles de turbidité avec les données de vent (direction)

Excepté les évènements A et D', la majorité des évènements ont eu lieu pendant des régimes de vent de secteur ouest à sud-ouest. En revanche, les changements de direction de houle ne semblent pas impacter directement les données de turbidité.

Corrélation avec les données de la production primaire \rightarrow

Il n'y a pas de corrélation notable entre les évènements repérés sur les données de turbidité de surface et la concentration de chlorophylle a en surface modélisée.

L'analyse des données de turbidité de surface a mis en évidence que les hausses des valeurs de turbidité sont essentiellement liées aux perturbations de la surface libre. Ce sont donc les facteurs de type houle, vent et marée qui agissent le plus sur la turbidité de surface, avec une forte prépondérance de l'influence de la houle et du vent. Ainsi, les conditions hivernales durant lesquelles ces forçages sont importants favorisent les pics de turbidité.



6.9.4 Comparaison interstation

Le graphique ci-dessous donne un exemple de la dynamique de la turbidité entre les stations, dans des conditions météocéaniques moyennes.



Figure 94 : série temporelle de la turbidité en surface, comparaison interstation du 07 au 20 octobre 2022

La turbidité de SIV-NOY4 est plus dynamique que les autres. Comme décrit précédemment SIV-NOY4 est plus sujette à l'influence de la marée compte tenu de la profondeur moindre sur cette station et de sa proximité avec la côte. Le phénomène se traduit par une augmentation de la turbidité autour des basses mers et une diminution aux marées hautes.

La turbidité entre les deux stations SIV-NOY2 et SIV-NOY3 est similaire, ce qui indique une certaine homogénéité de la turbidité ambiante au centre du futur parc et vers la côte, dans des conditions d'agitation moyenne.

La turbidité de surface sur la station SIV-NOY1, la plus au large, est systématiquement inférieure aux autres stations.

Dans des conditions plus hivernales, avec du vent et de la houle, la turbidité au large augmente également significativement.

La turbidité en surface est croissante du large vers la côte, avec une certaine homogénéité entre les stations SIV-NOY2 et SIV-NOY3. Au global, la turbidité de surface sur les stations SIV-NOY1, SIV-NOY2 et SIV-NOY3 reste inférieure à 10 NTU. L'amplitude et la dynamique de la turbidité sur la station SIV-NOY 4 est nettement supérieure aux autres stations. On rappelle qu'il n'y a pas de données sur la station SIV-NOY 4 sur la période hivernale, et ce, jusqu'au 20 mars 2023. En effet, celle-ci ayant été décrochée, les conditions de mer et la disponibilité du navire ne nous ont pas permis de la réinstaller sur la période analysée. Néanmoins, sa remise en service le 20 mars a permis de confirmer la forte dynamique de turbidité dans la zone côtière avec des niveaux pouvant dépasser 50 NTU.



6.9.5 Comparaison surface-fond

Les données de turbidité en surface et au fond des stations SIV-NOY2 et SIV-NOY3 sont présentées dans les graphiques suivants.



Figure 95 : Séries temporelles de la turbidité de SIV-NOY2 en surface et au fond du 1 juin 2022 au 31 mai 2023



Figure 96 : Séries temporelles de la turbidité de SIV-NOY3 en surface et au fond du 1 juin 2022 au 31 mai 2023

Comme vu précédemment, les turbidités de surface évoluent de manière cohérente entre elles. Cela est également le cas pour les turbidités de fond. En revanche, les turbidités de fond et de surface sur une même station évoluent de manière complètement différente. La dynamique de la turbidité de fond est nettement plus importante. La turbidité de surface est sujette à une inertie plus importante qui la contraint en amplitude.

La turbidité en surface et au fond des stations SIV-NOY2 et SIV-NOY3 évolue différemment. En effet, la turbidité de fond est plus dynamique (vélocité du phénomène et amplitude).

6.9.6 Synthèse statistique

La synthèse statistique s'applique uniquement aux données validées. On rappelle que les graphiques précédents présentent en couleur pastel des données dites « non valides utilisées pour l'analyse », dont les valeurs sont suspectes, mais dont les évolutions nous renseignent sur la dynamique de la turbidité ambiante. La synthèse statistique ne tient pas compte de ces dernières.

La synthèse présente les valeurs minimums, maximums, la médiane et moyenne ainsi que le 1^{er} et le 3^e quartile avec l'écart interquartile des valeurs de turbidité des stations en surface et au fond.

	SIV-NOY1	SIV-NOY2	SIV-NOY3	SIV-NOY4	SIV-NOY2 fond	SIV-NOY3 fond
Minimum	0,84	0,91	0,81	0,41	0,02	0,15
1er Quartile	1,37	1,67	1,82	1,62	0,16	0,37
Médiane	1,61	2,15	2,16	2,22	0,41	0,58
3ème Quartile	1,93	2,76	2,54	3,87	0,69	1,21
Maximum	4,46	5,17	4,53	53,00	21,20	19,30
Écart interquartile	0,56	1,09	0,72	2,25	0,53	0,84
Moyenne	1,77	2,29	2,20	3,66	0,70	1,23

Tableau 17 : Données statistiques des valeurs de turbidité des stations

Les données du tableau sont présentées sous forme de diagrammes boîte par station ci-dessous.



Figure 97 : Diagrammes en boîte des données de turbidité des stations de surface et de fond

Les données présentent des médianes similaires entre les stations de surface et entre station de fond respectivement. En effet, elles s'étendent de 1,61 NTU (SIV-NOY1) à 2,22 NTU (SIV-NOY4) en surface et de 0,41 NTU (SIV-NOY2 fond) à 0,58 NTU (SIV-NOY3 fond). Les écarts interquartiles en surface évoluent de 0,56 NTU pour SIV-NOY1 à 2,25 NTU pour SIV-NOY4 (plus perturbée, car à la côte). Au fond ils sont plus rapprochés, avec 0,53 NTU pour SIV-NOY2 et 0,84 NTU pour SIV-NOY3. Ces écarts plus importants en surface qu'au fond s'expliquent notamment par le biofouling. Malgré la phase de validation des données, le fouling pourrait avoir une influence mineure sur le niveau général de la turbidité de surface, à hauteur de 1 ou 2 NTU. Même si cela reste faible, la différence avec les données de fond est perceptible. Cette hypothèse est d'autant plus valable que l'action du biofouling au fond est moindre par rapport à la surface.



On remarque à nouveau la dynamique plus importante sur les stations de fond, car, même avec des moyennes et écarts interquartiles inférieurs aux stations de surface, elles présentent des valeurs maximales plus importantes (sauf pour SIV-NOY4 est situé dans un secteur à dynamique propre). Il faudra noter que l'absence de mesures valides durant la période hivernale où les forçages sont nettement supérieurs ne permet pas de statuer sur les maximums véritablement atteints. Si les moyennes des données surface peuvent avoir été très légèrement surestimées, les maximum indiqués sont quant à eux conservateurs.

Les turbidités médianes en surface sont comprises entre 1,86 NTU et 2,79 NTU. Les turbidités médianes au fond sont comprises entre 0,41 NTU et 0,58 NTU. Les turbidités maximales en surface vont de 13,10 à 53 NTU, au fond de 16,90 à 19,30 NTU. Malgré le manque de données valides durant période hivernale où les forçages sont plus importants, on peut dire que la turbidité au fond présente une dynamique plus importante. Les valeurs sont globalement plus basses en moyenne, mais elles présentent des valeurs maximales supérieures. Pour la turbidité de surface, on notera également la dynamique bien plus importante à la côte en zone peu profonde (SIV-NOY4) qu'au large.

6.9.7 Bilan

→ Connaissance du milieu

• Évolution spatiale de la turbidité

La campagne de mesures de l'état de référence a mis en évidence que la turbidité varie entre 0 et 3 NTU en été avec des évènements où les turbidités présentent des valeurs maximales de 4 à 19 NTU, au fond. Elle est plus élevée en hiver. Notamment à la côte avec des valeurs qui dépassent les 50 NTU.

Les stations de fond présentent des valeurs globalement plus faibles, en revanche quelques évènements sur les stations de fond sont de plus grandes amplitudes.

La turbidité au fond et en surface évolue différemment.

La turbidité est plus élevée et en phase avec l'amplitude du marnage à la côte (SIV-NOY4). À mesure que l'on s'éloigne de la côte, la turbidité diminue.

Les stations SIV-NOY2 et SIV-NOY3 ont des variations très cohérentes. Il en est de même pour les stations de fond de SIV-NOY2 et SIV-NOY3, où la turbidité évolue de manière très similaire.

• Évolution temporelle de la turbidité

La turbidité évolue essentiellement avec les variations de hauteurs d'eau liées d'une part aux amplitudes de marée et d'autre part aux conditions météocéanique comme la houle et les surcotes qui vont être accentuées par la force du vent ainsi que les pressions atmosphériques. Les conditions météocéaniques hivernales favorisent donc une augmentation de la turbidité. L'évolution temporelle de la turbidité est extrême à la côte avec des conditions hivernales très marquées au niveau de la station SIV-NOY4.

> Difficultés rencontrées sur la première période de l'état de référence

- Un problème ponctuel a été rencontré avec la qualité des brosses des balais des sondes wimo qui ont depuis été remplacées.
- Le retard d'approvisionnement des capteurs. Le début d'année 2022 a été marqué par des difficultés majeures en termes d'approvisionnement de matériel électronique en tout genre (période post covid). Des retards dans la livraison de certains capteurs ont dû être compensés par de la location de matériel de remplacement dans la première partie du suivi. Ce matériel a fait l'objet de quelques défauts, notamment une panne du balai de la station SIV-NOY1, une dérive de capteur de conductivité de la même station. Ce matériel a depuis été remplacé.
- Un défaut de fonctionnement de l'automate de la station SIV-NOY4 au démarrage du suivi a occasionné une perte de données directement imputable à ce défaut, soit 36 jours.
- La forte activité du biofouling qui peut rendre la mesure inexploitable, ou du moins douteuse. Ce point fait l'objet d'une vigilance particulière. Plusieurs aspects sont à considérer dans le contrôle de l'impact du biofouling : intervenir autant que possible pour réaliser des maintenances régulières, remplacer régulièrement les brosses des balais, limiter les possibilités de développement du bio fouling sur les systèmes en limitant les surfaces de contact, en travaillant sur la nature de ces surfaces de contact, etc.).



💿 i-Sea

- La difficulté à intervenir sur zone (peu de fenêtres météocéaniques favorables sur la période hivernale)
- C'est un aspect important qui devra être considéré pour le suivi du chantier en hiver. Il très probable que les intervenions de maintenances hivernales soient très limitées, ce qui va nécessiter une organisation spécifique pour s'assurer que le biofouling n'altère pas de manière significative les mesures, au regard des seuils qui ont été établis pour le suivi des travaux.
- Le décrochage à 2 reprises de SIV-NOY4 a engendré la perte de données et des difficultés logistiques particulières. Ces décrochages intempestifs semblent être le résultat d'actes intentionnés, à caractère potentiellement malveillant. C'est un point sur lequel il faudra être vigilant pour la suite du suivi, compte tenu des difficultés qui ont été rencontrées pour le choix de la position de cette bouée durant la procédure d'autorisation, pour laquelle un consensus avait été trouvé avec les différents usagers de la mer. La bouée SIV-NOY n'entre pas dans le processus de suivi de la turbidité au même titre que les trois autres bouées. En effet, le niveau de turbidité mesuré sur SIV-NOY4 ne déclenche par d'alerte (voir note de définition des seuils en Annexe 14). Compte tenu des résultats obtenus en période hivernale et des difficultés rencontrées pour maintenir cette bouée en place, nous recommandons de ne pas l'installer sur la période hivernale.

À la date de rédaction du document, les difficultés techniques précitées ont pu être traitées à l'exception des conditions sur site conditionnées par la météo.

Pour la suite

Cette campagne de mesures a mis en évidence une nécessité d'augmenter le niveau d'efficacité des mesures :

- D'une part en continuant les ajustements techniques pour limiter le développement du biofouling à proximité direct des capteurs ou continuer de chercher des solutions pour limiter la fixation du fouling.
- D'une part, en augmentant la fréquence des maintenances de nettoyage. Le principe des maintenances bimestrielles est maintenu, mais des maintenances spécifiques seront déclenchées autant que de possible pour assurer une qualité de mesure adaptée avec les objectifs du suivi des travaux. L'accès aux bouées dans des conditions météocéaniques favorables demeure une vraie contrainte.



7 RESULTATS DE L'ANALYSE SATELLITE

7.1 CINQ ETATS DE TURBIDITE OBSERVES DANS LE JEU DE DONNEES SPATIALES

La revue de chaque image satellite a permis de distinguer cinq états de turbidité, présentés en Figure 6 à travers des exemples d'images représentatives. Les niveaux varient en fonction des niveaux de turbidité enregistrés dans le parc et des panaches turbides observables dans la région alentour (voir section 5.4.1.4, Figure 98).

La distinction entre les niveaux de turbidité peut s'apprécier qualitativement et visuellement sur la base des cas de figure représentés en Figure 98, mais également quantitativement en analysant la distribution des valeurs de turbidité satellitaire équivalent FNU-sat sur les histogrammes de la Figure 99 :. En effet, les classes dominantes de turbidité évoluent d'un niveau le plus faible au plus élevé :

- Classe dominante du niveau de turbidité 1:0,7-0,9 FNU-sat;
- Classe dominante du niveau de turbidité 2 : 1,2 1,4 FNU-sat ;
- Classe dominante du niveau de turbidité 3 : 2,2 2,6 FNU-sat ;
- Classe dominante du niveau de turbidité 4 : 6,0 7,0 FNU-sat.



Figure 98. Cas de figure emblématiques des cinq niveaux de turbidité identifiés dans la zone d'intérêt (page suivante).





Figure 99 : Distribution des classes de turbidité dérivée des images satellites. Comparaison entre les niveaux de turbidité 1, 2, 3 et 4

L'ensemble des dates retenues a été trié et classé dans cette hiérarchie à 6 classes, mensuellement dans un premier temps, pour identifier une éventuelle saisonnalité (les deux figures suivantes). Les mois de décembre et janvier sont globalement moins représentés dans le jeu de données que les mois restants du fait d'une nébulosité très présente sur cette période, masquant régulièrement la totalité de la zone du parc éolien. Ce sont aussi les mois où les plus forts niveaux de turbidité dominent le jeu de données (niveaux 3 et 4), tandis que le nombre d'images de ces derniers est relativement faible pour les mois d'avril à septembre, toutes années confondues (figure suivante). Les proportions s'équilibrent entre les niveaux les plus faibles et les plus élevés pendant les mois de transition saisonnière, mars et octobre. Cette saisonnalité est synthétisée en Figure 101, et reflète très probablement une variabilité saisonnière des conditions naturelles météo-marines environnantes.



Figure 100. Distribution des niveaux de turbidité observés chaque mois sur les 4 années d'étude.



Baisse de l'occurrence en été

Figure 101. Saisonnalité de la turbidité.



7.2 DYNAMIQUE DE LA TURBIDITE SELON LES CONDITIONS METEO-OCEANIQUES

7.2.1 La dynamique des vagues sur la turbidité

L'état de mer fait partie des caractéristiques qui présentent une relation relativement étroite avec les niveaux de turbidité discriminés (Figure 99) :

- La majorité des dates du niveau 1 de turbidité sont acquises dans un contexte de faible agitation du plan d'eau, avec des hauteurs significatives de vagues inférieures à 1 m (86 % de la base de données analysée pour ce niveau). La proportion diminue de moitié pour le niveau de turbidité 2 (45 %) tandis que pour les niveaux de turbidité les plus élevés, 3 et 4, la part des hauteurs significatives de vagues inférieures à 1 m ne représente plus que respectivement 27 % et 2 %.
- Les cas résiduels de vagues plus énergétiques dans le cas du niveau 1 n'excèdent pas 1,75 m de hauteur. Concernant le niveau de turbidité 2, environ 50 % des dates sont acquises dans un contexte où les hauteurs significatives des vagues sont comprises entre 1 et 2 m, tandis que la proportion atteint environ 65 % pour les deux niveaux de turbidité les plus élevés (3 et 4).
- Ce sont les épisodes tempétueux qui finissent par distinguer ces deux derniers : seuls 8 % de la base de données du niveau 3 excède des hauteurs significatives de 2 m, contre 34 % pour le niveau 4 de turbidité.

7.2.2 L'influence de la Loire

Le débit de la Loire fait également partie des variables physiques dont les grandeurs évoluent d'un niveau de turbidité identifié à l'autre (Figure 102 :) :

- Les niveaux de turbidité 1 et 2 se distinguent l'un l'autre par la part des épisodes de très faible débit (< 200 m³/s) (respectivement 40 % et 13 %. Ils divergent des deux autres niveaux de turbidité par la faible proportion de débits élevés, environ 2 % d'occurrence de débits supérieurs à 1000 m³/s.
- Pour les deux niveaux de turbidité les plus élevés, la part d'occurrence de débit fluvial de la Loire supérieure à 1000 m³/s croît significativement, et les crues extrêmes (> 1800 m³/s) sont répertoriées en majorité sur les dates analysées du niveau de turbidité 4.

En période hautement énergétique, le débit de la Loire génère un panache de matières en suspension se propageant jusque dans le parc à des niveaux très hauts.



Suivi de l'évolution temporelle et spatiale de la turbidité liée aux travaux Rapport de l'état de référence — 1^{er} juin 2022 au 31 mai 2023

Débit moyen de la Loire (m³/s)



Figure 102 : Distribution des gammes de débits moyens fluviaux de la Loire. Comparaison des niveaux de turbidité 1 à 4.

Cependant, l'analyse ne permet pas de conclure sur une action conjointe des vagues et du fleuve sur la génération et la propagation de la turbidité sur la zone, aucune relation linéaire significative n'est observée entre les deux grandeurs physiques, quel que soit le niveau de turbidité analysé (Figure 103).



Figure 103 : Relation entre la hauteur significative des vagues sur 120 h et le débit moyen de la Loire pour chaque niveau de turbidité analysé


7.2.3 L'influence de la marée

Dans une moindre mesure, une relation est observée entre la dynamique tidale et la variation de la turbidité dans la zone d'intérêt (Figure 104). Les faibles coefficients de marée sont récurrents dans les cas répertoriés dans le niveau de turbidité le plus faible, et une progression vers une proportion accrue de forts coefficients de marée s'observe vers le niveau de turbidité 4 (le plus fort).



Figure 104 : Distribution des coefficients de marée et des moments de marée (sur l'heure précédant l'acquisition satellitaire), par niveau de turbidité étudié.

7.2.4 L'effet du vent

Enfin, d'après les tests de corrélation, la vitesse maximale du vent présente une relation, bien que plus faible, avec la turbidité de la zone. La distribution des valeurs du percentile 90 montre un contraste de proportion des vitesses inférieures à 7 m/s entre les niveaux de turbidité 1, 2 et 3, et le niveau de turbidité 4 (Figure 105). Seul ce dernier se distingue significativement des autres en dépassant 12 m/s environ 20 % du temps analysé.





Figure 105 : Distribution des gammes de percentiles 90 des vitesses des vents sur les 120 h précédant l'acquisition de chaque image analysée. Comparaison des niveaux de turbidité 1 à 4.



7.2.5 Les courants de surface

Les courants de surface ont été analysés à la marge de cette étude, en se limitant aux dates et horaires des images satellites utilisées pour illustrer les cinq cas de figure représentatifs de chaque niveau et sous-niveau de turbidité identifiés (Figure 106).

Une tendance se dégage néanmoins entre les niveaux de turbidité 1-2 et 3-4, avec une variation de facteur 2 entre les deux couples de niveaux.



Figure 106. Vitesse moyenne des courants de surface dans le périmètre de 10 km autour du centroïde du parc.



7.3 SYNTHESE DE LA DYNAMIQUE COTIERE AU REGARD DES RESULTATS DE L'ANALYSE SATELLITE

En conclusion, 4 régimes de turbidité principaux caractérisent les conditions observées entre 2018 et 2021. Et deux sous-classes définissent le premier régime :

- Le niveau de turbidité 1, le plus faible (turbidité médiane dans le parc inférieure à 2 FNUsat), regroupe environ 53 % des dates analysées dans la base de données) ;
- Le niveau de turbidité 2 contient environ 15 % de la base de données (turbidité médiane inférieure ou égale à 2 FNU-sat dans le parc éolien, et turbidité régionale forte) ;
- Le niveau de turbidité 3 rassemble 20 % du jeu de données (turbidité médiane comprise entre 2 et 5 FNU-sat dans le secteur du parc éolien, et turbidité régionale forte) ;
- Le niveau de turbidité 4 regroupe les 12 % restants (turbidité médiane supérieure à 5 FNU-sat dans le secteur du parc éolien, et turbidité régionale forte).

La dynamique turbide dans le parc éolien en projet entre les îles de Noirmoutier et d'Yeu présente un comportement saisonnier clair avec une variabilité significative de la turbidité mesurée à partir des images satellites entre 1 et 10 FNU-sat dans la zone d'intérêt. Ce constat est transposable plus largement à l'échelle du pertuis. Les conditions hydrodynamiques de la zone suivent une tendance similaire, ce qui permet de confirmer un lien étroit entre la dynamique des vagues, du fleuve voisin et de la marée, et celle des masses turbides observées et estimées dans et autour du parc.

Les conditions les plus énergétiques observées sur les séries temporelles de ces forçages correspondent aux niveaux les plus élevés définis de la turbidité. Similairement, les plus faibles valeurs des forçages sont plus fréquemment observées dans des cas répertoriés dans les niveaux de turbidité plus faibles. Sur la base des observations statistiques réalisées, il ne semble pas qu'il y ait une occurrence synchrone des forts débits enregistrés à l'estuaire de la Loire et des fortes hauteurs de vagues significatives observées à la station de mesure. En d'autres termes, un fort débit fluvial peut être responsable d'une intensification de la turbidité jusqu'au parc, indépendamment d'événement tempétueux, et inversement.

Les vents opèrent également une influence sur la variation de la turbidité, mais cet effet ne distingue pas tous niveaux de turbidité : les niveaux 1, 2 et 3 ne présentent pas de différence significative dans la distribution des valeurs de vitesses des vents. Seul le niveau 4 se distingue avec des valeurs extrêmes enregistrées à haute fréquence dans le jeu de données. Quant aux observations sur les courants de surface, elles ne permettent pas, en l'état, de poser des conclusions claires sur l'influence de la direction et de la vitesse des courants. Pour cela, une étude approfondie sur l'ensemble de la période, avec une prise en compte de plusieurs heures précédant la mesure satellitaire, est préconisée.



La campagne d'état de référence a permis d'acquérir et d'évaluer des données de turbidité en surface et au fond sur une année entre juin 2022 et mai 2023, dans le but mieux connaitre la dynamique de turbidité dans la zone et de valider le matériel en vue du démarrage des travaux de construction du parc éolien offshore à l'été 2023.

Une calibration NTU/MES a été réalisée en atelier. Elle a permis de caractériser la relation entre les mesures in situ exprimées en NTU (sondes sur bouées) et la quantité de matière en suspension (exprimée en mg/l). Des prélèvements d'eau vont être réalisés tout au long du projet pour confirmer la validité du calcul.

Au bilan, le taux d'acquisition de données est excellent pour les stations SIV-NOY1, 2 et 3 (en moyenne supérieur à 90%). Il est satisfaisant pour la station SIV-NOY4 (autour de 49%) au regard des difficultés matériels rencontrées, mais surtout des décrochages intempestifs subis par la bouée. Ces résultats tout à fait satisfaisants, permettant la validation de la qualité des systèmes et leur fiabilité pour la phase de suivi des travaux.

Une attention particulière avait été portée lors du dimensionnement de cette étude à l'influence du biofouling sur la qualité des données. Cet état de référence met en évidence l'impact significatif du biofouling sur la qualité générale des données. Toutefois la quantité de données acquises permet une meilleure compréhension des grandes tendances de l'évolution de la turbidité dans la zone ainsi que les extremums. En ce sens, l'objectif est atteint et la qualité de la donnée est jugée suffisante. Néanmoins, cela met en évidence les difficultés particulières que présente cette étude pour les interventions de maintenances périodiques sur le matériel, en toute saison, et la fiabilité des mesures qui en résulte. En effet, les conditions de mer hivernales ne permettent pas autant de maintenances que les conditions estivales, les mesures sont donc plus sujettes à un biofouling croissant. Pendant la phase travaux, le réseau sera maintenu en place, avec des mesures en temps réel qui seront comparées à des seuils de turbidité. Il s'agira alors d'avoir la capacité de maintenir un niveau d'influence du biofouling en dessous des seuils, pour éviter que de fausses alertes soient émises. Deux voies d'optimisation sont possibles : l'augmentation des maintenances et la prévention du biofouling aux moyens de techniques diverses (taille de la grille de protection autour des capteurs, revêtement antifouling, matériaux mis en œuvre, etc.). Il convient de noter que malgré les précautions qui pourront être prises, les conditions météocéaniques resteront le facteur déterminant dans la capacité à maintenir une qualité de mesure satisfaisante.

Au global les résultats montrent que la turbidité en surface est décroissante de la côte vers le large, mais que les mesures sur les stations SIVNOY 2 et SIVNOY 3 présentent une certaine homogénéité. Les analyses statistiques de la donnée montrent qu'en dehors des évènements particuliers, la turbidité au large est globalement comprise entre 0 et 3 NTU, ce qui correspond à des valeurs de turbidité plutôt faibles. À la côte, les observations faites par la station SIV-NOY4 montrent que la turbidité peut dépasser 50 NTU. La turbidité au fond présente plus de dynamique que la turbidité mesurée en surface. On observe tout de même que la variabilité temporelle au fond est plus importante tant en fréquence qu'en amplitude, avec des maximums dépassant les 50 NTU. Les augmentations ponctuelles de la



énergie environnement

turbidité au fond sont largement corrélées avec les conditions d'agitation sur le site, notamment avec la houle, proportionnellement à sa hauteur et sa période.

Une analyse d'images satellites basée a été réalisée dans le but de spatialiser les informations dont nous disposons sur la turbidité du site et pour mieux appréhender l'influence des différents forçages, incluant les apports estuariens. L'étude a été réalisée sur 4 années de clichés enregistrés entre 2018 et 2021, soit antérieurement à la campagne de mesures in situ (bouées). Le choix d'une période antérieure à l'état de référence s'explique par les contraintes de disponibilité des images satellites pendant l'année de référence et par les délais d'analyse et d'interprétation, réalisées pendant l'état de référence.

À ce stade il n'y a pas eu d'inter-comparaison des données satellites avec les observations terrain. Toutefois, les résultats de l'état de référence semblent indiquer que les niveaux mesurés dans les deux cas sont cohérents. Notre objectif est de réaliser l'inter-comparaison lors des travaux, notamment à l'occasion des suivis spécifiques, durant lesquels nous déploierons plusieurs techniques de mesures compatibles avec cet objectif.

Les résultats de l'état de référence ont permis de définir des seuils de turbidité pour la phase de suivi des travaux. La dynamique temporelle et spatiale de la turbidité dans la zone d'étude a été considérée. Des seuils variables en fonction de la saison et de la localisation des stations de suivi ont donc été définis (voir la note⁴ de définition des seuils disponible en Annexe 12). Deux périodes ont été sélectionnées pour la définition des seuils ; une période hivernale (de novembre à avril) et une période estivale (de mai à octobre).

Pour chacune de ces périodes, le seuil est basé sur une valeur de référence, cette valeur est donnée par la valeur maximale entre les maximas mesurés et les maximas théoriques modélisés pour l'étude d'impact.

Une première phase d'application de ces seuils est prévue courant de l'été 2023 pour le suivi de la première étape de préparation de sol.

⁴ Setec énergie environnement, 2022, Note méthodologique à l'attention du conseil scientifique du GIS – Définition des seuils pour le suivi de la turbidité en phase travaux.



Bibliographie

Bright, Christina, et al. 'Response of Nephelometric Turbidity to Hydrodynamic Particle Size of Fine Suspended Sediment'. *International Journal of Sediment Research*, vol. 35, n° 5, octobre 2020, p. 444-54. *DOI.org (Crossref)*, https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2020.03.006.

Druine, Flavie, et al. 'In Situ High Frequency Long Term Measurements of Suspended Sediment Concentration in Turbid Estuarine System (Seine Estuary, France): Optical Turbidity Sensors Response to Suspended Sediment Characteristics'. *Marine Geology*, vol. 400, juin 2018, p. 24-37. *DOI.org* (*Crossref*), <u>https://doi.org/10.1016/j.margeo.2018.03.003</u>.

Fettweis, Michael, et al. 'Uncertainties Associated with in Situ High-Frequency Long-Term Observations of Suspended Particulate Matter Concentration Using Optical and Acoustic Sensors'. *Progress in Oceanography*, vol. 178, novembre 2019, p. 102162. *DOI.org (Crossref)*, https://doi.org/10.1016/j.pocean.2019.102162.

Haalboom, Sabine, et al. 'Suspended Particulate Matter in a Submarine Canyon (Whittard Canyon, Bay of Biscay, NE Atlantic Ocean): Assessment of Commonly Used Instruments to Record Turbidity'. *Marine*



F. Thollet, J. Le Coz, G. Antoine, P. François, L. Saguintaah, et al.. Influence de la granulométrie des particules sur la mesure par turbidimétrie des flux de matières en suspension dans les cours d'eau. HOUILLE BLANCHE-REVUE INTERNATIONALE DE L'EAU, 2013, p. 50 - p. 56. <10.1051/lhb/2 013 033>. <hal-00934481>

Wang, Yunwei, et al. 'Calibrations of Suspended Sediment Concentrations in High-Turbidity Waters Using Different In Situ Optical Instruments'. *Water*, vol. 12, n° 11, novembre 2020, p. 3296. *DOI.org* (*Crossref*), <u>https://doi.org/10.3390/w12113296</u>.

MISHENDO M.I., HOVENIER J.W., TRAVIS L.D. (1999) : Light scattering by nonspherical particles: theory, measurements, and applications. San Diego, Academic Press, 620 p.



ANNEXES



Annexe 1 : Fiche de présentation de la sonde multiparamètres EXO3S de YSI

Annexe 1 : Fiche de présentation de la sonde multiparamètres EXO3S de YSI







Small sondes with big capabilities!

EXO-S Series Sondes provide the same payload and capabilities of YSI's best-in-class EXO Sondes, but in a compact design to go more places.

These batteryless sondes deliver high-quality data and reliable performance in smaller spaces and applications where external power is available. Lighten your load for spot sampling or integration with drones, AUVs, and buoys.

Discover how smaller size equals greater value!



Minimal Size for Maximum Options

Smaller, lighter sondes can be deployed in tight spaces or areas where equipment needs to be hidden



Explore Your Environment

Perfect for spot sampling, deployments, or building an AUV or drone system



Sustainable and Affordable

A more budget-friendly EXO without alkaline batteries



a xylem brand

The EXO-S Series are compact, batteryless sondes with the same capabilities and warranty as traditional EXO Sondes. Save time and money by losing the alkaline batteries and integrating directly into a powered system. With up to 40% reduction in length and 30% reduction in weight*, EXO-S Sondes are easily customized for your monitoring project. Integrate with a data logger or go out for a full day of sampling with the EXO Handheld and our unmatched range of smart sensors.

*See Specifications table for full list of dimensions and weight.



- **YSI, a Xylem brand** 1725 Brannum Lane Yellow Springs, OH 45387
- +1.937.767.7241
 info@ysi.com
 YSI.com







Annexe 2 : Fiche de présentation de la sonde multiparamètres WiMo de NKE

Annexe 2 : Fiche de présentation de la sonde multiparamètres WiMo de NKE

Obiendo Sonde Multiparamètres et bien plus



0

SONDE WiMo

WiMo 4 emplacements





WiMo Plus 7 emplacements



MODULE DE TRANSMISSION



Le modem 3G/4G permet à la sonde multiparamètres WiMo de transmettre ses données en utilisant la 3G/4G déployée.





L'outil de calibration permet de connecter un capteur digital WiMo en USB à un ordinateur pour calibrer le capteur indépendamment. Il fonctionne avec le logiciel dédié « WiMo Calibration Tool ».

SPÉCIFICATIONS

CARACTÉR. PHYSIQUES	CARACTÉR. MÉCANIQUES	TRANSMISSION	TEMPÉRATURE
Dimensions WiMo sans capteurs 489 mm	Profondeur maximale 250 mètres	Communication WiFi Modbus RS232 / RS485 Solution 3G / G	Température de fonctionnement -2°C / +50°C
WiMo Plus sans capteurs 499 mm Diamètre	15 Mo 500.000 mesures*	Pas de logiciel dédié (une interface web intégrée est	Température de stockage
85 mm Poids dans l'air 2,65 kg	Batterie Piles alcalines	compatible avec toutes les plateformes)	-20°C / +70°C

*sans ZIP - carte SD disponible sur demande

GAMME DE CAPTEURS DIGITAUX

PA	RAMÈTRES INTÉGRÉS	GAMME	PRÉCISION	RÉSOLUTION
J	Température	-2 à +35°C	±0,7°C	0,05°C
Q	Pressure	0 à 25 bars	0.15%	0.001 bar
CAI	PTEURS	GAMME	PRÉCISION	RÉSOLUTION
1/2	Conductivité (C)	0 à 100 mS/cm	25 μ S ou 0.5% de la lecture	0.001 mS/cm
J	Température	-2 à+35°C -2 à+50°C (in option)	±0.02°C ±0.05°C	0,001°C
۲	Turbidité (Tbd)	0 à 4000 NTU ¹	0.4 NTU¹or ±5% de la lecture	0.01 NTU
	Concentration en oxygène	0–23 mg/L (max. 0-44mg/L)	±0.1 mg/L	0.025 mg/L
• • •	Saturation en oxygène	0–250% (max. 0-500%)	±1% de la lecture	0.25%
XXXX Chl-a	Fluorescence (Fluo) Chlorophylle A	0 à 500 ppb**	Linéarité: r ² > 0.99 pourRhodamine WT	0.03 ppb**
PC	Fluorescence (Fluo) Phycocyanine	0 à 4500 ppb**	Linéarité: r ² > 0.99 pour Rhodamine WT	0,1 ppb**
≫≈ PE	Fluorescence (Fluo) Phycoérythrine	0 à 750 ppb**	Linearity: r ² > 0.99 pour Rhodamine WT	0.1 ppb**
CDOM	CDOM fDOM	0 à 1500 ppb QSE*** 0 à 3000 ppb QSE***	Linéarité: r ² > 0.99 QSE	0.1 ppb QSE 0.5 ppb QSE
REDOX	Redox/ORP ²	-1999 à +1999 mV	±20 mV	0.1 mV
Ê	pH ³	0–14 pH unités	±0.1 pH unité	0.01 pH unité
NO ²	Nitrate ⁴	0 à 300 mg/L-N	10% de la lecture ou 2mg/L	0.001 à 1 mg/L-N
٥	Hydrocarbures****	0 à 1500 ppb	Linéarité: r ² > 0.99	0.2 ppb
PA	RAMÈTRES CALCULÉS	GAMME	PRÉCISION	RÉSOLUTION
Cl	Chlorure	0 à 18000 mg/L -Cl	±15% de la lecture ou ±5 mg/L-Cl	0.01 mg/L
Ĩim	Profondeur	0 à 250 m	0.15% FS	0.001 m
****	Salinité	2-42 PSU	0.1 PSU ou 1% de la lecture	< 0,001
alialia	Vitesse du son	1300–1700 m/s	0.001 m/s	Non spécifié
3/2	Conductivité spécifique	0 à 100 mS/cm	25 <mark>µ</mark> S ou 0.5% de la lecture	0.001 mS/cm
	Total des solides dissous	0 à 100,000 mg/L	Variable	Non spécifié

*Capteurs intelligents interchangeables : chaque capteur est étalonné indépendamment 1Étalonné avec de la Formazine (FTU)

² Profondeur maximale du capteur Redox/ORP : 15 mètres ³ Sonde pH, profondeur maximale : 50 mètres

⁴Capteur de nitrate : uniquement pour l'eau douce **Equivalent µg/L ***Sulfate de quinine ****PTSA

INTERFACE Web embarquée

L'interface de configuration opérationnelle facile d'utilisation est compatible avec tous les types de plateformes.



FLEXIBILITÉ DE L'APPLICATION



Applications eaux douces et **MESURES** en profiles

INTÉGRABLE sur toutes les plateformes

inoview bynke



VISUALISATION DES DONNÉES

Visualisation en temps réel 📿





Interface facile d'utilisation





Interface personnalisable



Accès sécurisé 🔤



0-

Export de rapports personnalisés

WiMo solution



SERVICE COMMERCIAL

+33 (0)297 36 41 31 +33 (0)297 36 55 17 info.instrumentation@nke.fr





Annexe 3 : Certificat d'ajustage du capteur de turbidité de la station de Fond de SIV-NOY3

Annexe 3 : Certificat d'ajustage du capteur de turbidité de la station de fond SIV-NOY3

Rapport d'ajustage / Calibration report

Instrument ajusté /Calibrated instrument

Désignation / Designation:WiMo sensor TBDNumero série / Serial number:P_0907_21 00587



6 Rue Gutenberg, ZI de Kerandré 56700 Hennebont, France (+0033) 02 97 36 10 12 info.instrumentation@nke.fr

е,

Formazine Hach Lange

12/01/2022

18,9

Turbidité / Turbidity

Solution de référence / Reference solution: Date de l'ajustage / Calibration date: Température d'ajustage / Calibration temperature (°C)

Points de calibration (FNU)	n° lot	Valeur lue (points)
Calibration points (FNU)	# Lot	Instrument output (counts)
0,00	1	9,4
100,00	A0352	7 237,0
998,37	A0352	65 658,0

Modèle appliqué /Applied model :

Multipoints

Points de vérification (FNU)	Valeur lue (FNU)	Ecart (FNU)	Ecart maximum toléré: +/- 0,4FNU ou 5% de la mesure
Verification points (FNU)	Instrument output (FNU)	Residual (FNU)	Maximum permissible error: +/- 0,4 FNU or 0,5%
0,00	0,023	0,0227	Conforme / Conform
100,00	99,899	0,0996	Conforme / Conform
998,37	998,402	0,0282	Conforme / Conform

Date d'émission / Date of issue : Responsable technique / Technical manager: 12/01/2022 V. Aumond

bumonet-



Annexe 4 : Certificat d'ajustage du capteur de turbidité de la station de Fond de SIV-NOY2

Annexe 4 : Certificat d'ajustage du capteur de turbidité de la station de fond SIV-NOY2

Rapport d'ajustage / Calibration report

Instrument ajusté /Calibrated instrument

 Désignation / Designation:
 WiMo sensor TBD

 Numero série / Serial number:
 P_0907_21 00588



6 Rue Gutenberg, ZI de Kerandré 56700 Hennebont, France (+0033) 02 97 36 10 12 info.instrumentation@nke.fr

٣.,

Formazine Hach Lange

12/01/2022

18,9

Turbidité / Turbidity

Solution de référence / Reference solution: Date de l'ajustage / Calibration date: Température d'ajustage / Calibration temperature (°C)

Points de calibration (FNU)	n° lot	Valeur lue (points)
Calibration points (FNU)	# Lot	Instrument output (counts)
0,00	1	5,1
100,00	A0352	5 103,5
998,37	A0352	47 846,5

Modèle appliqué /Applied model :

Multipoints

Points de vérification (FNU)	Valeur lue (FNU)	Ecart (FNU)	Ecart maximum toléré: +/- 0,4FNU ou 5% de la mesure
Verification points (FNU)	Instrument output (FNU)	Residual (FNU)	Maximum permissible error: +/- 0,4 FNU or 0,5%
0,00	0,010	0,0098	Conforme / Conform
100,00	99,786	0,2127	Conforme / Conform
998,37	996,223	2,1507	Conforme / Conform

Date d'émission / Date of issue : Responsable technique / Technical manager: 12/01/2022 V. Aumond

aumonet-



Annexe 5 : Certificat de conformité des 4 capteurs de turbidité EXO3

Annexe 5 : Certificat de conformité des 4 capteurs EXO3



analytics.commercial-fr@xyleminc.com

www.xylemanalytics.com

Nanterre, le 23/09/2022

Certificate Of Compliance Xylem – YSI.

Ce certificat concerne l'ensemble des sondes et capteurs commercialisés par YSI. Il remplace tout certificat de calibration par capteur.



Xylem operates under the brands of YSI, SonTek, Aanderaa, MJK, HYPACK, ebro and SI Analytics.

YSI Incorporated 1700/1725 Brannum Lane Yellow Springs, OH 45387 USA tel: 937-767-7241 fax: 937-767-9320

CERTIFICATE OF COMPLIANCE

This is to certify that the materials, processes and finished products were controlled, tested, and accepted in accordance with our quality system and the applicable specifications.

David Barclay General Manager





Annexe 6 : Compte-rendu des prélèvements en mer de sédiments et d'eau de mer

Annexe 6 : Compte-rendu des prélèvements en mer de sédiments et d'eau de mer



Prélèvement d'eau et de sédiments



Dans le cadre du suivi de la turbidité des travaux d'aménagement du parc éolien Eoliennes en mer Iles d'Yeu et Noirmoutier, 200 L d'eau de surface et des sédiments du fond ont été prélevés du site du futur parc éolien. Cette eau et les sédiments vont être utilisés pour la calibration MES/turbidité des capteurs qui vont être déployés pour le suivi.

Navire :	Tzigane	Client :	ENGIE
Intervenants :	S.CAOUS, B.ABADIE	Date :	26/04/2022

PERSONNEL				
Nom	Position	Arr./Dép.		
Solenne CAOUS	Setec Energie Environnement – Technicienne en instrumentation	10h00/14h30		
Benoit ABADIE	Setec Energie Environnement – Stagiaire	10h00/14h30		
Thierry LONGEPEE	Capitaine et propriétaire du Tzigane			

Conditions météorologiques				
Heure	Etat de la mer	Vent	Houle	
12h00	Peu agitée – 0.5 à 1.3m	15 – 17 Knts de Est/Nord Est	0.6 m	

RESUME DES OPERATIONS

Objectif de l'opération : Prélever de l'eau et des sédiments pour la calibration des capteurs de turbidité qui vont être déployés pour le suivi des travaux d'aménagement du parc éolien Yeu et Noirmoutier.

Station 1

Latitude : 46°53.502' N, longitude : 2°25.428' W. Prélèvement de 200 L d'eau de surface à l'aide d'une pompe. Station 2

Latitude : 46°52.719' N, Longitude : 2°22.428' W. Prélèvement de sédiments avec une benne de 0.1 m² de type Day-Grab. Remplissage de deux seaux de 10 L. Sédiment et eau de la benne (chargée en sédiments) prélevés afin d'avoir un échantillon représentatif de toute la gamme de tailles des sédiments.

ILLUSTRATIONS

Station 1 :



La benne Day-grab 0.1 m²



Prélèvement





Sédiments prélevés Remplissage des bidons



Annexe 7 : Compte-rendu de l'installation des stations

Annexe 7 : Compte-rendu de l'installation des stations



Suivi de turbidité



Compte rendu d'installation

Dans le cadre de l'étude hydrodynamique et dynamique sédimentaire du futur parc éolien en mer Iles d'Yeu et de Noirmoutier, quatre bouées munies de capteurs de turbidité ont été installées ainsi que deux stations de fond afin de suivre l'évolution de la turbidité.

Le compte-rendu ci-dessous présente l'installation des bouées.

Navire	Nanoplon d'Atlantique Scaphandre	Client :	ENGIE
Intervenants	C.RIVE, S.CAOUS et B.ABADIE	Date :	01/06/2022

PERSONNEL			
Nom	Position	Arr./Dép.	
Clément RIVE	Setec Energie Environnement – Chargé de projet	31-05 11h/01-06 18h	
Solenne CAOUS	Setec Energie Environnement - Technicienne - Instrumentation	31-05 11h/01-06 18h	
Benoit ABADIE	Setec Energie Environnement - Stagiaire	31-05 11h/01-06 18h	
	Equipage du Nanoplon		

Conditions météorologiques - 1/06/2022				
Heure	Etat de la mer	Vent	Houle	
12h00	Belle – 0.1 à 0.5m	5 à 10 Knts Nord-Nord-Ouest	0.4m Ouest	

LIS	TE DU MATERIEL DEPLOYE	
	Références	Numéros de série
SIV-NOY1		
Bouée GBM-3000	SEE-0122	S/N : SYS-2216001
Automate Smartguard 5300	SEE-0125	S/N:972
Antenne Iridium	SEE-0128	S/N: 300534061368430
Sonde EXO3S	SEE-0049	S/N:22B100101
Capteur de turbidité	SEE-0050	S/N: 18B101253
Capteur de Conductivité/Température	SEE-0051	S/N : 18A101045
Balai	SEE-0052	S/N: 18B101329
SIV-NOY2		
Bouée GBM-3000	SEE-0123	S/N : SYS-2216002
Automate Smartguard 5300	SEE-0126	S/N:968
Antenne Iridium	SEE-0129	S/N: 300534062633260
Sonde EXO3S	SEE-0053	S/N:22B100102
Capteur de turbidité	SEE-0054	S/N: 18B101267
Capteur de Conductivité/Température	SEE-0055	S/N : 18A101049
Balai	SEE-0056	S/N: 18B101338
SIV-NOY2 – Station de fond		
Sonde WiMo	SEE-0090	S/N : WiMo-521F
Capteur de turbidité	SEE-0011	S/N : P_0907_21 00588

Balai	SEE-0067	S/N : P_0907_21 00624
SIV-NOY3		
Bouée GBM-3000	SEE-0124	S/N : SYS-2216003
Automate Smartguard 5300	SEE-0127	S/N:971
Antenne Iridium	SEE-0130	S/N: 300534061361000
Sonde EXO3S	SEE-0057	S/N: 22B100099
Capteur de turbidité	SEE-0058	S/N : 18B101261
Capteur de Conductivité/Température	SEE-0059	S/N : 18A101062
Balai	SEE-0060	S/N:18B101334
SIV-NOY3 – Station de fond		
Sonde WiMo	SEE-0094	S/N : WiMo-521E
Capteur de turbidité	SEE-0012	S/N : P_0907_21 00587
Balai	SEE-0065	S/N : P_0907_21 00623
SIV-NOY4		
Bouée DB500	SEE-0115	S/N : SYS-222001
Automate Logger 1 voie	SEE-0118	S/N : SYS-2220001
Sonde EXO3S	SEE-0095	S/N:22B100100
Capteur de turbidité	SEE-0119	S/N : 18B101262
Capteur de Conductivité/Température	SEE-0120	S/N : 18A101050
Balai	SEE-0121	S/N : 18B101327
Feu à éclat M650H	SEE-0117	S/N:1560106085

RESUME DES OPERATIONS

Arrivée de l'équipe la veille pour finaliser la préparation du matériel, connecter les batteries, vérifier le bon fonctionnement des panneaux solaires, démarrer les automates, vérifier les configurations des sondes, programmer les feux à éclats et faire les tests d'envois et de réception des données des sondes et des données GPS.

- 1- Installation de la bouée SIV-NOY1, à la position : 46°50.3191'N 002°34.0314'O
- 2- Installation de la bouée SIV-NOY2 et de sa station de fond, à la position : 46°52.3906'N 002°30.6699'O
- 3- Installation de la bouée SIV-NOY3 et de sa station de fond, à la position : 46°52.5488'N 002°24.3029'O
- 4- Installation de la bouée SIV-NOY4, à la position : 46°55.2184'N 002°19.0781'O

Les lignes de mouillage (dont les schémas sont détaillés plus bas) des bouées NOY3 et NOY4 étaient courtes suites aux changements de position des bouées. Le mouillage textile de la bouée 3 a été corrigé avec 20m de bout en plus en attendant la prochaine maintenance, début août, où il sera remplacé. Le mouillage de la bouée NOY4 devra également être allongé de 10m de chaîne à la prochaine maintenance.



Mouillage SIV-NOY2 et SIV-NOY3 avec les stations de fonds où les sondes sont fixées à 1.5m d'altitude

Configurations		
Mesure des capteurs de turbidité :	15 min	
Mesure des positions GPS :	15 min	
Passage des balais sur les capteurs :	1h	
Envoi des données des sondes :	15 min (SIVNOY1, 2 et 3) et 1h (SIVNOY4)	
Envoi des données GPS :	15 min (SIVNOY1, 2 et 3) et 1h (SIVNOY4)	
Avec une mise en place d'alarme GPS à partir 100m de déradage et un envoi des positions en continu		



Le Nanoplon

NOY 1, 2 et 3



SIV-NOY1



Perche de sonde à gauche et capot de protection des capteurs en bronze à droite avec anode en bout de sonde



Feu à éclat

Antennes GPS, réflecteur radar et AIS (pas utilisé)

<u>NOY4</u>

03/06/2022



SIV-NOY4



Panneaux solaires

Automate

Sonde fixée sous la bouée avec anode

Stations de fonds



Poids de chaîne

Fixation de la sonde

Sonde fixée à 1.5m du fond

<u>Mise à l'eau de SIV-NOY1</u>



Poids de chaîne 3 Tonnes

Grutage

Mise à l'eau

Mise à l'eau de SIV-NOY2



Grutage

Grutage

Mise à l'eau

Mise à l'eau de SIV-NOY3



Poids de chaîne

Nœud pour allonger la ligne

Deuxième nœud



Mise en tension du bout pour serrage

Grutage

Mise à l'eau



Préparation de NOY4

Fixation de la patte d'oie

Mise à l'eau



Annexe 8 : Compte-rendu de la maintenance n°1 - le 02 août 2022

Annexe 8 : Compte-rendu de la maintenance n°1 – le 02 août 2022


Suivi de turbidité



Compte rendu de la maintenance n°1

Dans le cadre de l'étude hydrodynamique et dynamique sédimentaire du futur parc éolien en mer Iles d'Yeu et de Noirmoutier, quatre bouées munies de capteurs de turbidité ont été installées ainsi que deux stations de fond afin de suivre l'évolution de la turbidité.

Le compte-rendu ci-dessous présente la première maintenance depuis l'installation des bouées. Le texte en gras présente des modifications depuis l'installation des bouées.

Navire	Nanoplon d'Atlantique Scaphandre	Client :	ENGIE
Intervenants	C.RIVE et S.CAOUS	Date :	02/08/2022

PERSONNEL			
Nom	Position	Arr./Dép.	
Clément RIVE	Setec Energie Environnement – Chargé de projet	8h / 19h	
Solenne CAOUS	Setec Energie Environnement - Technicienne en instrumentation	8h / 19h	
	Equipage du Nanoplon		

Conditions météorologiques - 1/06/2022			
Heure	Etat de la mer	Vent	Houle
12h00	Belle – 0.1 à 0.5m	5 Knts Sud-Ouest	0.5m Ouest

LISTE DU MATERIEL DEPLOYE				
	Références	Numéros de série		
SIV-NOY1				
Bouée GBM-3000	SEE-0122	S/N : SYS-2216001		
Automate Smartguard 5300	SEE-0125	S/N : 972		
Antenne Iridium	SEE-0128	S/N: 300534061368430		
Sonde EXO3S	SEE-0049	S/N : 22B100101		
Capteur de turbidité	SEE- 0199	S/N : 22E100394		
Capteur de Conductivité/Température	SEE-0051	S/N : 18A101045		
Balai	SEE-0052	S/N : 18B101329		
<u>SIV-NOY2</u>				
Bouée GBM-3000	SEE-0123	S/N: SYS-2216002		
Automate Smartguard 5300	SEE-0126	S/N:968		
Antenne Iridium	SEE-0129	S/N: 300534062633260		
Sonde EXO3S	SEE-0053	S/N: 22B100102		
Capteur de turbidité	SEE- 0200	S/N : 22E100395		
Capteur de Conductivité/Température	SEE-0055	S/N : 18A101049		
Balai	SEE-0056	S/N : 18B101338		
SIV-NOY2 – Station de fond				
Sonde WiMo	SEE-0090	S/N : WiMo-521F		
Capteur de turbidité	SEE-0011	S/N : P_0907_21 00588		
Balai	SEE-0067	S/N : P_0907_21 00624		

SIV-NOY3		
Bouée GBM-3000	SEE-0124	S/N : SYS-2216003
Automate Smartguard 5300	SEE-0127	S/N : 971
Antenne Iridium	SEE-0130	S/N: 300534061361000
Sonde EXO3S	SEE-0057	S/N:22B100099
Capteur de turbidité	SEE-0201	S/N : 22E100397
Capteur de Conductivité/Température	SEE-0059	S/N : 18A101062
Balai	SEE-0060	S/N: 18B101334
SIV-NOY3 – Station de fond		
Sonde WiMo	SEE-0094	S/N:WiMo-521E
Capteur de turbidité	SEE-0012	S/N : P_0907_21 00587
Balai	SEE-0065	S/N : P_0907_21 00623
SIV-NOY4		
Bouée DB500	SEE-0115	S/N : SYS-222001
Automate Logger 1 voie	SEE-0203	S/N : SYS-2226012
Sonde EXO3S	SEE-0095	S/N:22B100100
Capteur de turbidité	SEE-0202	S/N : 22E100410
Capteur de Conductivité/Température	SEE-0120	S/N : 18A101050
Balai	SEE-0121	S/N : 18B101327
Feu à éclat M650H	SEE-0117	S/N:1560106085

RESUME DES OPERATIONS

<u>Situation</u> : L'automate de SIV-NOY 4 a arrêté de fonctionner le 29 juin à 22h46. Et la bouée a été retrouvée, à la dérive, par le Nanoplon le vendredi 29 juillet, avec 15m de chaîne et aucune trace d'usure prématurée sur la ligne de mouillage. La bouée n'était pas loin de sa position, elle a donc été décrochée peu de temps avant.

L'objectif de l'intervention est de dépanner la bouée SIV-NOY4, de la réinstaller et de réaliser la première maintenance préventive, deux mois après l'installation des 4 bouées afin de vérifier l'état général du matériel et de procéder au nettoyage des bouées, sondes et capteurs. La colonisation au biofouling est peu importante pour la saison estivale excepté pour NOY1 qui est plus colonisée que les autres.

Les nouveaux capteurs de turbidité étant reçus, ils sont remplacés pendant cette intervention. Les balais et les capteurs de conductivité/température sont toujours en attente. [NOTE : pour rappel, compte tenu des difficultés d'approvisionnement des capteurs pour le démarrage de l'état de référence, des capteurs de location ont été installés en attendant la livraison complète du matériel. A ce stade seul les capteurs de turbidité ont pu être remplacés, restent les capteurs de conductivité à remplacer]

Arrivée de l'équipe la veille pour dépanner SIV-NOY4 à quai : son automate a été changé et mis en test toute la nuit. La bouée ainsi que la sonde ont été nettoyées et le capteur de turbidité remplacé.

1- Réinstallation de la bouée SIV-NOY4, à la position : 46°55.1746'N 002°19.0497'W

Le poids de chaîne a été retrouvé grâce au sondeur multifaisceau du bord et crocheté. La manille de la ligne de mouillage a été retrouvée avec sa sécurité coupée, laissant peu de doute quant au caractère intentionnel du décrochage.

La ligne de mouillage a été reconstituée et rallongée avec 5m de chaine de diamètre 26. 10m supplémentaire seront ajoutés à la prochaine maintenance pour l'hiver.

La position de la bouée n'est pas exactement la même qu'à la mise à l'eau, étant donné qu'elle avait été légèrement déplacée pour éviter des filets dérivants qui étaient sur zone à la première installation. La position de la remise à l'eau correspond à la position présentée dans l'AOT. A la remise à l'eau, malgré les tests concluants de la veille, l'automate a cessé de transmettre, et présente des difficultés à accrocher le réseau 3G/4G. Cet automate nécessite une nouvelle maintenance corrective qui sera programmé dès réception du matériel de remplacement, à l'issue des congés annuels du fournisseur.

2- Sortie de la bouée SIV-NOY3 et de sa station de fond.

Les données de la sonde de la station de fond ont été téléchargées et sont désormais présentées dans *Proxymae*. Le capteur de turbidité a été remplacé (voir NOTE plus haut) et la bouée et la sonde ont été nettoyées. La ligne de mouillage a été rallongé de 20m, la ligne textile mesure désormais 50m. La remise à l'eau de la station de fond a posé des difficultés, ainsi à la prochaine maintenance la chaîne entre le poids de chaîne et la station de fond va être rallongé de 25m pour une manipulation plus aisée.

3- Sortie de la bouée SIV-NOY2 et de sa station de fond.

Les données de la sonde de la station de fond ont été téléchargées et sont désormais présentées dans *Proxymae*. Le capteur de turbidité a été remplacé et la bouée et la sonde ont été nettoyées.

4- Sortie de la bouée SIV-NOY1.

Le capteur de turbidité a été remplacé et la bouée et la sonde ont été nettoyées.



Configurations		
Mesure des capteurs de turbidité :	15 min	
Mesure des positions GPS :	15 min	
Passage des balais sur les capteurs :	1h	
Envoi des données des sondes :	15 min (SIVNOY1, 2 et 3) et 1h (SIVNOY4)	
Envoi des données GPS :	15 min (SIVNOY1, 2 et 3) et 1h (SIVNOY4)	

Avec une mise en place d'alarme GPS à partir 100m de déradage et un envoi des positions en continu

ILLUSTRATIONS



NOY4 récupérée par Nanoplon avec 15m de chaîne/Sonde et capot de protection avant nettoyage/Automate changé



Poids de chaîne récupéré avec bout de sécurité de manille coupé / Remise à l'eau de la bouée nettoyée

SIV-NOY3 et sa station de fond



NOY3



Sortie d'eau



Avant nettoyage



Etat d'usure des anodes



Sonde avant nettoyage



Têtes des capteurs



Capot de protection avant nettoyage



Sonde après nettoyage









Nettoyage de NOY3 et remise à l'eau

Nettoyage de la sonde Sonde nettoyée

SIV-NOY2 et sa station de fond







Etat d'usure des anodes



Avant nettoyage



Après nettoyage Sonde nettoyée



Station de fond



Sonde avant nettoyage



Après nettoyage









Nettoyage de NOY2

Et remise à l'eau de la station

SIV-NOY1



Sortie d'eau de NOY1





Etat d'usure des anodes



Sonde avant nettoyage

Têtes des capteurs



Capteurs avant nettoyage / après nettoyage





Remise à l'eau de NOY1



Annexe 9 : Compte-rendu de la maintenance n°2 - le 04 octobre 2022

Annexe 9 : Compte-rendu de la maintenance n°2 – le 04 octobre 2022



Suivi de turbidité



Compte rendu de la maintenance n°2

Dans le cadre de l'étude hydrodynamique et dynamique sédimentaire du futur parc éolien en mer Iles d'Yeu et de Noirmoutier, quatre bouées munies de capteurs de turbidité ont été installées ainsi que deux stations de fond afin de suivre l'évolution de la turbidité.

Le compte-rendu ci-dessous présente la deuxième maintenance depuis l'installation des bouées. Le texte en gras présente les modifications depuis la dernière maintenance.

Navire	Nanoplon d'Atlantique Scaphandre	Client :	ENGIE
Intervenants	C.RIVE et S.CAOUS	Date :	04/10/2022

PERSONNEL			
Nom	Position	Arr./Dép. (heure locale)	
Clément RIVE	Setec Energie Environnement – Chargé de projet	6h30 / 17h30	
Solenne CAOUS	Setec Energie Environnement - Technicienne en instrumentation	6h30 / 17h30	
	Equipage du Nanoplon	2h30 / 17h30	

Conditions météorologiques – 04/10/2022			
Heure	Etat de la mer	Vent	Houle
12h00	Belle – 0.1 à 0.5m	5 Knts Sud-Ouest	0.4m Ouest

LISTE DU MATERIEL DEPLOYE				
	Références	Numéros de série		
SIV-NOY1				
Bouée GBM-3000	SEE-0122	S/N : SYS-2216001		
Automate Smartguard 5300	SEE-0125	S/N : 972		
Antenne Iridium	SEE-0128	S/N: 300534061368430		
Sonde EXO3S	SEE-0049	S/N : 22B100101		
Capteur de turbidité	SEE-0199	S/N: 22E100394		
Capteur de Conductivité/Température	SEE-0208	S/N:22F100112		
Balai	SEE-0248	S/N:22G103350		
SIV-NOY2				
Bouée GBM-3000	SEE-0123	S/N : SYS-2216002		
Automate Smartguard 5300	SEE-0126	S/N:968		
Antenne Iridium	SEE-0129	S/N: 300534062633260		
Sonde EXO3S	SEE-0053	S/N : 22B100102		
Capteur de turbidité	SEE-0200	S/N: 22E100395		
Capteur de Conductivité/Température	SEE-0209	S/N:22F100113		
Balai	SEE-0249	S/N:22H100380		
SIV-NOY2 – Station de fond				
Sonde WiMo	SEE-0090	S/N : WiMo-521F		
Capteur de turbidité	SEE-0011	S/N : P_0907_21 00588		
Balai	SEE-0067	S/N : P_0907_21 00624		

<u>SIV-NOY3</u>		
Bouée GBM-3000	SEE-0124	S/N: SYS-2216003
Automate Smartguard 5300	SEE-0127	S/N : 971
Antenne Iridium	SEE-0130	S/N: 300534061361000
Sonde EXO3S	SEE-0057	S/N: 22B100099
Capteur de turbidité	SEE-0201	S/N:22E100397
Capteur de Conductivité/Température	SEE-0210	S/N:22G100742
Balai	SEE-0250	S/N:22H106067
SIV-NOV3 – Station de fond		
	SEE-0094	S/N : WIMO-521E
Capteur de turbidité	SEE-0012	S/N : P_0907_21 00587
Balai	SEE-0065	S/N: P_0907_21 00623
SIV-NOY4		
Bouée DB500	SEE-0115	S/N : SYS-222001
Automate Logger 1 voie	SEE-0118	S/N : SYS-2224001
Sonde EXO3S	SEE-0095	S/N: 22B100100
Capteur de turbidité	SEE-0202	S/N:22E100410
Capteur de Conductivité/Température	SEE-0211	S/N:22G100751
Balai	SEE-0251	S/N:22H106069
Feu à éclat M650H	SEE-0117	S/N:1560106085

RESUME DES OPERATIONS (en heure locale)

Situation : L'automate de SIV-NOY 4 n'a pas transmis de donnée depuis la dernière maintenance du 2/08.

Les objectifs de l'intervention sont de dépanner la bouée SIV-NOY4, de réaliser la deuxième maintenance préventive à deux mois d'intervalle et de remplacer les capteurs de conductivité/température ainsi que les balais après réception de la commande (en locations jusqu'à présent).

La colonisation au biofouling est peu importante et cohérente avec la saison.

Arrivée de l'équipe la veille, départ du port à 2h30 pour une arrivée sur site à 6h30 et départ du site à 13h30 pour une arrivée aux Sables à 17h30.

1- Sortie de la bouée SIV-NOY4.

L'automate a été remplacé avec en plus un relai piloté à distance. Le diagnostic de l'ancien automate montre qu'il a activé son mode wifi et donc qu'il n'a pas pu transmettre les données en revanche toutes les données étaient bien enregistrées dans l'automate et sont désormais présentées dans *Proxymae* (seule particularité, il y avait bien 2 mesures par période de 30min mais espacée de quelques minutes seulement, au lieu de 15min, lié au défaut de fonctionnement de l'automate). Le disfonctionnement observé est un défaut déjà observé sur ce modèle qui ne devrait plus se reproduire grâce au relai.

La ligne de mouillage a été rallongée avec 10m de chaine de diamètre 26. Le capteur de conductivité/température a été remplacé ainsi que le balai. La bouée, la sonde et les capteurs ont été nettoyés.

2- Sortie de la bouée SIV-NOY3 et de sa station de fond.

Les données de la sonde de la station de fond ont été téléchargées et sont désormais présentées dans *Proxymae*. La chaîne entre la station de fond et corps-mort a été rallongée de 25m pour une manipulation plus aisée (50m au total).

Le capteur de conductivité/température a été remplacé ainsi que le balai. La bouée, les sondes et les capteurs ont été nettoyés.

3- Sortie de la bouée SIV-NOY2 et de sa station de fond.

Les données de la sonde de la station de fond ont été téléchargées et sont désormais présentées dans *Proxymae*. Le capteur de conductivité/température a été remplacé ainsi que le balai. La bouée, les sondes et les capteurs ont été nettoyés.

Les anodes de la perche de sonde présentaient une usure prématurée, la plus usée a été remplacée.

4- Sortie de la bouée SIV-NOY1.

A la dernière maintenance le balai présentait une panne, la tête des capteurs étaient anormalement sales et les données présentées étaient incohérentes. Le balai a été remplacé ainsi que le capteur de conductivité/température. Le fonctionnement du nouveau balai a été vérifié après son installation et depuis la remise à l'eau de la bouée, les données sont cohérentes. La bouée, la sonde et les capteurs ont été nettoyés.

Les anodes de la perche de sonde présentaient une usure prématurée, la plus usée a été remplacée.



+25m de chaîne de 10mm sur la station de fond de SIV-NOY3

Configurations		
Mesure des capteurs de turbidité :	15 min	
Mesure des positions GPS :	15 min	
Passage des balais sur les capteurs :	1h	
Envoi des données des sondes :	15 min (SIVNOY1, 2 et 3) et 1h (SIVNOY4)	
Envoi des données GPS :	15 min (SIVNOY1, 2 et 3) et 1h (SIVNOY4)	
Avec une mise en place d'alarme GPS à partir 100m de déradage et un envoi des positions en continu		

ILLUSTRATIONS

SIV-NOY4









SIV-NOY4 sortie d'eau

SIV-NOY3 et sa station de fond









Sonde et capteurs avant <u>nettoyage</u>





Après nettoyage/changement capteurs



Station de fond









Vérification ok



Remise à l'eau

SIV-NOY2 et sa station de fond



SIV-NOY2

Sonde



Capteurs avant nettoyage





Et après nettoyage/changement capteurs











Capteurs avant et après nettoyage





Brosse à changer Station de fond nettoyée





Anode changée



Vérification ok



Remise à l'eau







SIV-NOY1





Remise à l'eau

Notes pour la prochaine maintenance

A prévoir :

- Deux nouvelles brosses de balai WiMo pour les sondes des stations de fond

Après nettoyage/changement capteur/balai

- Anodes (x4) de perche de sondes pour SIV-NOY1, SIV-NOY-2 et SIV-NOY-3
- Anodes (x2) de bouée pour SIV-NOY-4
- 6 contre-écrous de 16 pour le flotteur de SIV-NOY-4



Annexe 10 : Compte-rendu de la maintenance n°3 - le 20 mars 2023

Annexe 10 : Compte-rendu de la maintenance n°3 – le 20 mars 2023



Suivi de turbidité



Compte rendu de la maintenance n°3

Dans le cadre de l'étude hydrodynamique et dynamique sédimentaire du futur parc éolien en mer Iles d'Yeu et de Noirmoutier, quatre bouées munies de capteurs de turbidité ont été installées ainsi que deux stations de fond afin de suivre l'évolution de la turbidité.

Le compte-rendu ci-dessous présente la deuxième maintenance depuis l'installation des bouées. Le texte en gras présente les modifications depuis la dernière maintenance.

Navire	Nanoplon d'Atlantique Scaphandre	Client :	ENGIE
Intervenants	C.RIVE et G. JACQ	Date :	20/03/2023

PERSONNEL			
Nom	Position	Arr./Dép. (heure locale)	
Clément RIVE	Setec Energie Environnement – Chargé de projet	19/03 - 22h00 / 20/03 18h00	
Guillaume JACQ	Setec Energie Environnement – Responsable monitoring	19/03 - 22h00 / 20/03 18h00	
	Equipage du Nanoplon	2h30 / 18h00	

Conditions océanométéorologiques – 20/03/2023				
Heure	Etat de la mer	Vent	Houle	Marée
12h00	Belle	10 Knts sud-ouest	0.8m sud-ouest	Coef 90 basse à 10h00

LISTE DU MATERIEL DEPLOYE			
	Références	Numéros de série	
SIV-NOY1			
Bouée GBM-3000	SEE-0122	S/N : SYS-2216001	
Automate Smartguard 5300	SEE-0125	S/N : 972	
Antenne Iridium	SEE-0128	S/N: 300534061368430	
Sonde EXO3S	SEE-0049	S/N : 22B100101	
Capteur de turbidité	SEE-0199	S/N:22E100394	
Capteur de Conductivité/Température	SEE-0208	S/N : 22F100112	
Balai	SEE-0248	S/N : 22G103350	
<u>SIV-NUTZ</u>			
Bouée GBM-3000	SEE-0123	S/N : SYS-2216002	
Automate Smartguard 5300	SEE-0126	S/N:968	
Antenne Iridium	SEE-0129	S/N: 300534062633260	
Sonde EXO3S	SEE-0053	S/N:22B100102	
Capteur de turbidité	SEE-0200	S/N : 22E100395	
Capteur de Conductivité/Température	SEE-0209	S/N:22F100113	
Balai	SEE-0249	S/N:22H100380	
SIV-NOV2 – Station de fond			
Condo Willia	SEE 0000		
	2EE-0090	5/1N : WIMO-521F	
Capteur de turbidité	SEE-0011	S/N : P_0907_21 00588	
Balai	SEE-0067	S/N : P_0907_21 00624	

SIV-NOY3		
Bouée GBM-3000	SEE-0124	S/N : SYS-2216003
Automate Smartguard 5300	SEE-0127	S/N : 971
Antenne Iridium	SEE-0130	S/N: 300534061361000
Sonde EXO3S	SEE-0057	S/N : 22B100099
Capteur de turbidité	SEE-0201	S/N : 22E100397
Capteur de Conductivité/Température	SEE-0210	S/N : 22G100742
Balai	SEE-0250	S/N: 22H106067
<u>SIV-NOY3 – Station de fond</u>		
Sonde WiMo	SEE-0094	S/N : WiMo-521E
Capteur de turbidité	SEE-0012	S/N : P_0907_21 00587
Balai	SEE-0065	S/N : P_0907_21 00623
SIV-NOY4		
Bouée DB500	SEE-0115	S/N : SYS-222001
Automate Logger 1 voie	SEE-0168	S/N : SYS-2224003
Sonde EXO3S	SEE-0095	S/N : 22B100100
Capteur de turbidité	SEE-0202	S/N : 22F100410
Capteur de Conductivité/Température	SFF-0211	S/N : 22G100751
Balai	SEE-0251	S/N : 22H106069
Feu à éclat M650H	SEE-0117	S/N : 1560106085
		-,

RESUME DES OPERATIONS (en heure locale)

<u>Situation</u> : La dernière maintenance a eu lieu le 04 octobre 2022, soit 5,5 mois plus tôt. Une intervention aurait dû avoir lieu en janvier, mais la conjonction des conditions météo défavorables et de l'indisponibilité du navire l'on repoussée au mois de mars.

Les objectifs de l'intervention étaient multiples :

- 1. Vérification des feux de signalisation des bouées
- 2. Nettoyage des capteurs
- 3. Vérifications et remise en état du matériel si nécessaire
- 4. Suppression du culot des sondes, jugé en partie responsable du développement du biofouling dans la cloche de protection des capteurs.
- 5. Prélèvements d'échantillons d'eau pour des analyses de matières en suspension
- 6. Mesures comparatives avec les sondes WIMO prévues en remplacement des sondes des stations de fond actuellement en place

Déroulement de l'intervention :

L'équipe est arrivée à 22h00 la veille aux sables d'Olonne pour embarquer sur le nanoplon. Le navire a appareillé aux alentours de 02h00 pour faire route vers l'ile d'Yeu pour un transfert de matériel. La nanoplon était aux abords de la bouée NOY1 à 06h30.

1- Maintenance de la bouée SIV-NOY1

Il a pu être constaté que le feu fonctionnait.

La bouée a été mise sur le pont pour être nettoyée. Le corps de la sonde présentait du biofouling en quantité, mais la face du capteur de turbidité était propre. Les éléments suivants ont été modifiés :

- Suppression du culot de la sonde
- Changement de la brosse du balai
- Remplacement des anodes de la perche
- Prélèvement d'un échantillon d'eau à la bouteille niskin (1.25L)

Le câble de données a été vérifié. Aucune trace d'usure n'a été constatée. La ligne de mouillage n'a pas été remontée. Celle-ci étant constituée de chaine, il n'a pas été jugé nécessaire de la contrôler. Après remise à l'eau de la bouée le navire a fait route vers la bouée SIV-NOY2

2- Maintenance de la bouée SIV-NOY2

A l'arrivée sur la bouée SIV-NOY2, le courant de marée avait forci rendant la récupération de la bouée dans de bonnes conditions impossibles, malgré deux tentatives. Compte tenu de l'incertitude sur l'état de la ligne de mouillage en textile (euroflex), il a été décidé de ne pas insister. L'état de fonctionnement du feu de signalisation n'a pas été vérifié. La station de fond n'a pas pu être récupérée.

3- Réinstallation de la bouée SIV-NOY4

Le navire a ensuite fait route vers la position de SIV-NOY4 pour la remise à l'eau de cette bouée qui avait été décrochée en octobre dernier. La mise à l'eau de la bouée s'est déroulée sans difficulté.

4- Maintenance de la bouée SIV-NOY3

Après la remise à l'eau de la bouée SIV-NOY4, le navire a fait route vers la bouée SIV-NOY3. Comme pour la bouée SIV-NOY2, il n'a pas été possible de la remonter à bord. Il a été confirmé que le feu de signalisation de la bouée fonctionne correctement. La station de fond n'a pas pu être récupérée. Un prélèvement d'eau a été réalisé.

Par ailleurs, une série de mesures à 1.2m de profondeur a été réalisée avec les sondes prévues en remplacement pour les stations de fond, à des fins de contrôle. En effet, l'incertitude sur l'état des capteurs des différentes bouées a rendu l'analyse des données difficiles. Comme la maintenance n'a pu avoir lieu, il a été décidé de faire une mesure de contrôle comparatif entre des mesures prises sur 10 min avec les deux sondes initialement prévues en remplacement pour les stations de fond et les valeurs mesurées par la station SIV-NOY3.

Le graphique ci-dessous présente l'évolution de la turbidité pendant la période de contrôle (7 min à 1.2m de profondeur).



Le graphique ci-dessous présente la comparaison entre les moyennes des 2 sondes de contrôle et les valeurs unitaires de la bouée SIV-NOY3 à évaluer.



Les résultats indiquent que les mesures effectuées par la bouée SIV-NOY restent dans une marge d'erreur de 1 NTU environ, ce qui est tout à fait acceptable au regard du temps qui s'est écoulé depuis la précédente maintenance.



+25m de chaîne de 10mm sur la station de fond de SIV-NOY3

	Configurations	
Mesure des capteurs de turbidité :	15 min	
Mesure des positions GPS :	15 min	
Passage des balais sur les capteurs :	1h	
Envoi des données des sondes :	15 min (SIVNOY1, 2 et 3) et 1h (SIVNOY4)	
Envoi des données GPS :	15 min (SIVNOY1, 2 et 3) et 1h (SIVNOY4)	
Avec une mise en place d'alarme GPS à partir 100m de déradage et un envoi des positions en continu		

ILLUSTRATIONS

SIV-NOY4



Remise en service de SIV-NOY4

Prélèvement d'échantillons d'eau



Bouteille de prélèvement et échantillon prélevé au niveau de SIV-NOY2

Notes pour la prochaine maintenance

A prévoir :

- Matériel de remplacement pour les stations de fond
- Anodes (x6) de perche de sondes pour SIV-NOY-2 et SIV-NOY-3
- Anodes (x6) de bouée DB3000
- 6 contre-écrous de 16 pour le flotteur de SIV-NOY-4
- Brosses de balais pour SIV-NOY-2 et SIV-NOY-3



Annexe 11 : Compte-rendu de la maintenance n°4 - le 02 mai 2023

Annexe 11 : Compte-rendu de la maintenance n°4 – le 02 mai 2023



Suivi de turbidité



Compte rendu de la maintenance n°4

Dans le cadre de l'étude hydrodynamique et dynamique sédimentaire du futur parc éolien en mer Iles d'Yeu et de Noirmoutier, quatre bouées munies de capteurs de turbidité ont été installées ainsi que deux stations de fond afin de suivre l'évolution de la turbidité.

Le compte-rendu ci-dessous présente la quatrième maintenance depuis l'installation des bouées. Les articles en gras correspondent aux changements effectués.

Navire	Nanoplon d'Atlantique Scaphandre	Client :	ENGIE
Intervenants	G. JACQ	Date :	02/05/2023

PERSONNEL		
Nom	Position	Arr./Dép. (heure locale)
Guillaume JACQ	Setec Energie Environnement – Responsable monitoring	01/05 - 20h00 / 02/05 19h45
	Equipage du Nanoplon	2h30 / 18h00

Conditions océanométéorologiques – 20/03/2023				
Heure	Etat de la mer	Vent	Houle	Marée
12h00	Belle	10 Knts sud-ouest	0.8m sud-ouest	Coef 57/63 basse à 09h36

Références Numéros de série SIV-NOY1 SEE-0122 S/N : SYS-2216001 Automate GBM-3000 SEE-0125 S/N : 972 Antenne Iridium SEE-0128 S/N : 300534061368430 Sonde EXO3S SEE-0049 S/N : 22B100101 Capteur de turbidité SEE-0199 S/N : 22E100394 Capteur de conductivité/Température SEE-0248 S/N : 22E100112 Balai SEE-0123 S/N : 22G103350 SIV-NOY2 SEE-0123 S/N : 22G103350 SIV-NOY2 SEE-0123 S/N : SYS-2216002 Automate Smartguard 5300 SEE-0123 S/N : SYS-2216002 Automate Smartguard 5300 SEE-0123 S/N : 300534062633260 Sonde EXO3S SEE-0129 S/N : 300534062633260 Sonde EXO3S SEE-0129 S/N : 22B100102 Capteur de turbidité SEE-0200 S/N : 22E100395 Capteur de turbidité SEE-0209 S/N : 22E100313 Balai SEE-0249 S/N : 22H100380 Sur-NOY2 - Station de fond SEE-0032 S/N : WiMo-523A Capteur de turbidité <th>LI</th> <th>STE DU MATERIEL DEPI</th> <th>LOYE</th>	LI	STE DU MATERIEL DEPI	LOYE
SIV-NOY1 Bouée GBM-3000 SEE-0122 S/N : SYS-2216001 Automate Smartguard 5300 SEE-0125 S/N : 972 Antenne Iridium SEE-0128 S/N : 300534061368430 Sonde EXO3S SEE-0049 S/N : 22B100101 Capteur de turbidité SEE-0199 S/N : 22E100394 Capteur de Conductivité/Température SEE-0208 S/N : 22F100112 Balai SEE-0248 S/N : 22G103350 SIV-NOY2 SU-NOY2 SV SYS-2216002 Automate Smartguard 5300 SEE-0123 S/N : SYS-2216002 Automate Smartguard 5300 SEE-0126 S/N : 968 Antenne Iridium SEE-0129 S/N : 300534062633260 Sonde EXO3S SEE-0020 S/N : 22B100102 Capteur de turbidité SEE-0200 S/N : 22E100395 Capteur de conductivité/Température SEE-0209 S/N : 22F100113 Balai SEE-0249 S/N : 22H100380 SIV-NOY2 - Station de fond S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0040 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0044		Références	Numéros de série
Bouée GBM-3000 SEE-0122 S/N : SYS-2216001 Automate Smartguard 5300 SEE-0125 S/N : 972 Antenne Iridium SEE-0128 S/N : 300534061368430 Sonde EXO3S SEE-0049 S/N : 22B100101 Capteur de turbidité SEE-0199 S/N : 22E100394 Capteur de Conductivité/Température SEE-0208 S/N : 22F100112 Balai SEE-0248 S/N : 22G103350 SIV-NOY2 SU-NOY2 SV : 22G103350 Sucée GBM-3000 SEE-0123 S/N : SYS-2216002 Automate Smartguard 5300 SEE-0126 S/N : 968 Antenne Iridium SEE-0129 S/N : 300534062633260 Sonde EXO3S SEE-0129 S/N : 22B100102 Capteur de turbidité SEE-0200 S/N : 22E100395 Capteur de turbidité SEE-0209 S/N : 22E100380 Balai SEE-0249 S/N : 22H100380 SIV-NOY2 - Station de fond SEE-0032 S/N : WIMo-S23A Sonde WiMo SEE-0032 S/N : WIMo-S23A Capteur de turbidité SEE-0040 S/N : P_0907_21 00684	SIV-NOY1		
Automate Smartguard 5300 SEE-0125 S/N : 972 Antenne Iridium SEE-0128 S/N : 300534061368430 Sonde EXO3S SEE-0049 S/N : 22B100101 Capteur de turbidité SEE-0199 S/N : 22E100394 Capteur de Conductivité/Température SEE-0208 S/N : 22F100112 Balai SEE-0248 S/N : 22G103350 SIV-NOY2 Bouée GBM-3000 SEE-0123 S/N : SYS-2216002 Automate Smartguard 5300 SEE-0126 S/N : 968 Antenne Iridium SEE-0129 S/N : 300534062633260 Sonde EXO3S SEE-0129 S/N : 22B100102 Capteur de turbidité SEE-0200 S/N : 22E100395 Capteur de turbidité SEE-0209 S/N : 22E100395 Capteur de Conductivité/Température SEE-0209 S/N : 22E100318 Balai SEE-0229 S/N : 22H100380 SU-NOY2 – Station de fond SEE-0032 S/N : WIMo-523A Capteur de turbidité SEE-0040 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00607 SIV-NOY3 SEE-0124 S/N : SYS-2216003	Bouée GBM-3000	SEE-0122	S/N : SYS-2216001
Antenne Iridium SEE-0128 S/N : 300534061368430 Sonde EXO3S SEE-0049 S/N : 22B100101 Capteur de turbidité SEE-0199 S/N : 22E100394 Capteur de Conductivité/Température SEE-0208 S/N : 22F100112 Balai SEE-0248 S/N : 22G103350 SIV-NOY2 See-0248 S/N : SYS-2216002 Automate Smartguard 5300 SEE-0123 S/N : 968 Antenne Iridium SEE-0129 S/N : 300534062633260 Sonde EXO3S SEE-0129 S/N : 300534062633260 Sonde EXO3S SEE-0129 S/N : 22B100102 Capteur de turbidité SEE-0200 S/N : 22B100102 Capteur de turbidité SEE-0209 S/N : 22E100395 Capteur de Conductivité/Température SEE-0209 S/N : 22F100113 Balai SEE-0249 S/N : 22H100380 Sur-NOY2 – Station de fond SEE-0032 S/N : WIMo-523A Capteur de turbidité SEE-0032 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00607 Sur-NOY3 SEE-0124 S/N : SYS-2216003	Automate Smartguard 5300	SEE-0125	S/N : 972
Sonde EXO3S SEE-0049 S/N : 22B100101 Capteur de turbidité SEE-0199 S/N : 22E100394 Capteur de Conductivité/Température SEE-0208 S/N : 22F100112 Balai SEE-0248 S/N : 22G103350 SIV-NOY2 See-0248 S/N : SYS-2216002 Automate Smartguard 5300 SEE-0123 S/N : SYS-2216002 Automate Smartguard 5300 SEE-0126 S/N : 968 Antenne Iridium SEE-0129 S/N : 300534062633260 Sonde EXO3S SEE-0053 S/N : 22B100102 Capteur de turbidité SEE-0200 S/N : 22E100395 Capteur de turbidité SEE-0209 S/N : 22E100395 Capteur de Conductivité/Température SEE-0209 S/N : 22H100380 Sur-NOY2 – Station de fond SEE-0032 S/N : WiMo-523A Capteur de turbidité SEE-0032 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00607 SIV-NOY3 SEE-0124 S/N : SYS-2216003	Antenne Iridium	SEE-0128	S/N: 300534061368430
Capteur de turbidité SEE-0199 S/N : 22E100394 Capteur de Conductivité/Température SEE-0208 S/N : 22F100112 Balai SEE-0248 S/N : 22G103350 SIV-NOY2 See-0123 S/N : SYS-2216002 Automate Smartguard 5300 SEE-0126 S/N : 968 Antenne Iridium SEE-0129 S/N : 300534062633260 Sonde EXO3S SEE-0053 S/N : 22B100102 Capteur de turbidité SEE-0200 S/N : 22E100395 Capteur de Conductivité/Température SEE-0209 S/N : 22F100113 Balai SEE-0249 S/N : 22H100380 SIV-NOY2 – Station de fond SEE-0032 S/N : P_0907_21 00684 Salai SEE-0040 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00607	Sonde EXO3S	SEE-0049	S/N: 22B100101
Capteur de Conductivité/Température SEE-0208 S/N : 22F100112 Balai SEE-0248 S/N : 22G103350 SIV-NOY2 Submedia SYS-2216002 Bouée GBM-3000 SEE-0123 S/N : SYS-2216002 Automate Smartguard 5300 SEE-0126 S/N : 968 Antenne Iridium SEE-0129 S/N : 300534062633260 Sonde EX03S SEE-0053 S/N : 22B100102 Capteur de turbidité SEE-0200 S/N : 22E100395 Capteur de Conductivité/Température SEE-0209 S/N : 22F100113 Balai SEE-0249 S/N : 22H100380 Sitv-NOY2 – Station de fond SEE-0032 S/N : WIMo-523A Sonde WiMo SEE-0040 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00607 Sitv-NOY3 SEE-0064 S/N : SYS-2216003	Capteur de turbidité	SEE-0199	S/N: 22E100394
Balai SEE-0248 S/N : 22G103350 SIV-NOY2 Sudé GBM-3000 SEE-0123 S/N : SYS-2216002 Automate Smartguard 5300 SEE-0126 S/N : 968 Antenne Iridium SEE-0129 S/N : 300534062633260 Sonde EXO3S SEE-0053 S/N : 22B100102 Capteur de turbidité SEE-0200 S/N : 22E100395 Capteur de Conductivité/Température SEE-0209 S/N : 22F100113 Balai SEE-0249 S/N : 22H100380 SU-NOY2 – Station de fond SEE-0032 S/N : WIMo-523A Capteur de turbidité SEE-0040 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00607 SIV-NOY3 SEE-0124 S/N : SYS-2216003	Capteur de Conductivité/Température	SEE-0208	S/N: 22F100112
SIV-NOY2 Bouée GBM-3000 SEE-0123 S/N : SYS-2216002 Automate Smartguard 5300 SEE-0126 S/N : 968 Antenne Iridium SEE-0129 S/N : 300534062633260 Sonde EXO3S SEE-0053 S/N : 22B100102 Capteur de turbidité SEE-0200 S/N : 22E100395 Capteur de Conductivité/Température SEE-0209 S/N : 22F100113 Balai SEE-0249 S/N : 22H100380 SU-NOY2 - Station de fond SEE-0032 S/N : 22H100380 Sonde WiMo SEE-0032 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00684	Balai	SEE-0248	S/N: 22G103350
Bouée GBM-3000 SEE-0123 S/N : SYS-2216002 Automate Smartguard 5300 SEE-0126 S/N : 968 Antenne Iridium SEE-0129 S/N : 300534062633260 Sonde EXO3S SEE-0053 S/N : 22B100102 Capteur de turbidité SEE-0200 S/N : 22E100395 Capteur de Conductivité/Température SEE-0209 S/N : 22F100113 Balai SEE-0249 S/N : 22H100380 SUV-NOY2 - Station de fond SEE-0032 S/N : WiMo-523A Capteur de turbidité SEE-0040 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00607 STV-NOY3 SEE-0124 S/N : SYS-2216003	SIV-NOY2		
Automate Smartguard 5300 SEE-0126 S/N : 968 Antenne Iridium SEE-0129 S/N : 300534062633260 Sonde EXO3S SEE-0053 S/N : 22B100102 Capteur de turbidité SEE-0200 S/N : 22E100395 Capteur de Conductivité/Température SEE-0209 S/N : 22F100113 Balai SEE-0249 S/N : 22H100380 SIV-NOY2 – Station de fond Sonde WiMo SEE-0032 S/N : WiMo-523A Capteur de turbidité SEE-0040 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00607 SIV-NOY3 SEE-0124 S/N : SYS-2216003	Bouée GBM-3000	SEE-0123	S/N: SYS-2216002
Antenne Iridium SEE-0129 S/N : 300534062633260 Sonde EXO3S SEE-0053 S/N : 22B100102 Capteur de turbidité SEE-0200 S/N : 22E100395 Capteur de Conductivité/Température SEE-0209 S/N : 22F100113 Balai SEE-0249 S/N : 22H100380 SIV-NOY2 - Station de fond SEE-0032 S/N : WiMo-523A Sonde WiMo SEE-0040 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00607 SIV-NOY3 SEE-0124 S/N : SYS-2216003	Automate Smartguard 5300	SEE-0126	S/N : 968
Sonde EXO3S SEE-0053 S/N : 22B100102 Capteur de turbidité SEE-0200 S/N : 22E100395 Capteur de Conductivité/Température SEE-0209 S/N : 22F100113 Balai SEE-0249 S/N : 22H100380 SIV-NOY2 - Station de fond SEE-0032 S/N : WiMo-523A Sonde WiMo SEE-0040 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00607 SIV-NOY3 SEE-0124 S/N : SYS-2216003	Antenne Iridium	SEE-0129	S/N: 300534062633260
Capteur de turbidité SEE-0200 S/N : 22E100395 Capteur de Conductivité/Température SEE-0209 S/N : 22F100113 Balai SEE-0249 S/N : 22H100380 SIV-NOY2 – Station de fond SEE-0032 S/N : WiMo-523A Sonde WiMo SEE-0040 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00607	Sonde EXO3S	SEE-0053	S/N: 22B100102
Capteur de Conductivité/Température SEE-0209 S/N : 22F100113 Balai SEE-0249 S/N : 22H100380 SIV-NOY2 - Station de fond SEE-0032 S/N : WiMo-523A Sonde WiMo SEE-0032 S/N : P_0907_21 00684 Capteur de turbidité SEE-0064 S/N : P_0907_21 00607 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00607 SIV-NOY3 SEE-0124 S/N : SYS-2216003	Capteur de turbidité	SEE-0200	S/N: 22E100395
Balai SEE-0249 S/N : 22H100380 SIV-NOY2 - Station de fond SEE-0032 S/N : WiMo-523A Sonde WiMo SEE-0032 S/N : WiMo-523A Capteur de turbidité SEE-0040 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00607 SIV-NOY3 SEE-0124 S/N : SYS-2216003	Capteur de Conductivité/Température	SEE-0209	S/N: 22F100113
SIV-NOY2 - Station de fond SEF-0032 S/N : WiMo-523A Sonde WiMo SEE-0032 S/N : P_0907_21 00684 Capteur de turbidité SEE-0064 S/N : P_0907_21 00607 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00607 SIV-NOY3 SEE-0124 S/N : SYS-2216003	Balai	SEE-0249	S/N:22H100380
Sonde WiMo SEE-0032 S/N : WiMo-523A Capteur de turbidité SEE-0040 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00607 SIV-NOY3 SEE-0124 S/N : SYS-2216003	<u>SIV-NOY2 – Station de fond</u>		
Capteur de turbidité SEE-0040 S/N : P_0907_21 00684 Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00607 SIV-NOY3 SEE-0124 S/N : SYS-2216003	Sonde WiMo	SEE-0032	S/N : WiMo-523A
Balai SEE-0064 S/N : P_0907_21 00607 SIV-NOY3 Bouée GBM-3000 SEE-0124 S/N : SYS-2216003	Capteur de turbidité	SEE-0040	S/N : P_0907_21 00684
SIV-NOY3 Bouée GBM-3000 SEE-0124 S/N : SYS-2216003	Balai	SEE-0064	S/N : P_0907_21 00607
Bouée GBM-3000 SEE-0124 S/N : SYS-2216003	SIV-NOY3		
	Bouée GBM-3000	SEE-0124	S/N : SYS-2216003

04/10/2022

Automate Smartguard 5300	SEE-0127	S/N : 971
Antenne Iridium	SEE-0130	S/N: 300534061361000
Sonde EXO3S	SEE-0057	S/N : 22B100099
Capteur de turbidité	SEE-0201	S/N:22E100397
Capteur de Conductivité/Température	SEE-0210	S/N : 22G100742
Balai	SEE-0250	S/N:22H106067
SIV-NOY3 – Station de fond		
Sonde WiMo	SEE-0088	S/N : WiMo-525C
Capteur de turbidité	SEE-0075	S/N:P_0907_21 00662
Balai	SEE-0021	S/N:P_0907_21 00620
SIV-NOY4		
Bouée DB500	SEE-0115	S/N : SYS-222001
Automate Logger 1 voie	SEE-0168	S/N : SYS-2224003
Sonde EXO3S	SEE-0095	S/N : 22B100100
Capteur de turbidité	SEE-0202	S/N:22E100410
Capteur de Conductivité/Température	SEE-0211	S/N : 22G100751
Balai	SEE-0251	S/N:22H106069
Feu à éclat M650H	SEE-0117	S/N:1560106085

RESUME DES OPERATIONS (en heure locale)

Situation : La dernière maintenance a eu lieu le 20 mars 2023, soit 6 semaines mois plus tôt.

Les objectifs de l'intervention étaient multiples :

- 1. Nettoyage des capteurs
- 2. Vérifications et remise en état du matériel si nécessaire
- 3. Suppression du culot des sondes, jugé en partie responsable du développement du biofouling dans la cloche de protection des capteurs.
- 4. Prélèvements d'échantillons d'eau pour des analyses de matières en suspension
- 5. Remise en ordre des lignes de mouillage des stations NOY2 et NOY3

Déroulement de l'intervention :

L'équipe est arrivée à 20h00 la veille aux sables d'Olonne pour embarquer sur le nanoplon. Le navire a appareillé aux alentours de 04h00 pour faire route vers la bouée NOY1. La nanoplon était aux abords de la bouée NOY1 à 08h00.

1- Maintenance de la bouée SIV-NOY1

La bouée a été mise sur le pont pour être nettoyée. Le vent couplé à une légère houle a rendu la manœuvre plus délicate que prévue, mais sans grande difficulté. Le corps de la sonde présentait du biofouling en faible quantité, et la face du capteur de turbidité était propre. Les tâches suivantes ont été réalisées :

• Prélèvement d'un échantillon d'eau à la bouteille niskin (2L)

Le câble de données a été vérifié. Aucune trace d'usure n'a été constatée. La ligne de mouillage n'a pas été remontée. Celle-ci étant constituée de chaine, il n'a pas été jugé nécessaire de la contrôler. Après remise à l'eau de la bouée le navire a fait route vers la bouée SIV-NOY2

2- Maintenance de la bouée SIV-NOY2

A l'arrivée sur la bouée SIV-NOY2, les conditions de mer étaient meilleures ce qui a facilité la récupération de la bouée, de la ligne de mouillage et de la ligne de fond. L'état de fonctionnement du feu de signalisation n'a pas été vérifié. La station de fond a pu être récupérée. Les tâches suivantes ont été réalisées :

- Nettoyage complet de la bouée et de la sonde
- Remplacement des anodes de la perche
- Suppression du culot de la sonde
- Changement de la brosse du balai
- Remplacement des anodes de la perche
- Prélèvement d'un échantillon d'eau à la bouteille niskin (1.25L)

3- Maintenance de la bouée SIV-NOY3

A l'arrivée sur la bouée SIV-NOY3, les conditions de mer étaient excellentes ce qui a facilité la récupération de la bouée, de la ligne de mouillage. Malheureusement, la station de fond n'a pas pu être récupérée, la ligne de fond ayant probablement cassé à cause du déplacement du corps-mort en blocs de chaine, lors des tempêtes de cet hiver. L'état de fonctionnement du feu de signalisation n'a pas été vérifié. Les tâches suivantes ont été réalisées :

- Nettoyage complet de la bouée et de la sonde
- Suppression du culot de la sonde
- Changement de la brosse du balai
- Remplacement des anodes de la perche
- Prélèvement d'un échantillon d'eau à la bouteille niskin (1.25L)
- Remplacement de la ligne de fond (bout) et de la station de fond
- Serrage d'un écrou du flotteur et vérification de tous les écrous

A noter qu'il est essentiel de changer la ligne de fond avant la période automnale, pour une chaine de 16mm afin d'assurer une robustesse suffisante et éviter un nouveau décrochage.

4- Maintenance de la bouée SIV-NOY4

Le navire a ensuite fait route vers la position de SIV-NOY4. La bouée et la sonde ont été nettoyés rapidement. Il n'y avait pas de fouling particulier.



Mouillage SIV-NOY2 et SIV-NOY3 avec les stations de fonds où les sondes sont fixées à 1.5m d'altitude. Avec +25m de chaîne de 10mm sur la station de fond de SIV-NOY3

	Configurations	
	comgarations	
Mesure des capteurs de turbidité :	15 min	
Mesure des positions GPS :	15 min	
Passage des balais sur les capteurs :	1h	
Envoi des données des sondes :	15 min (SIVNOY1, 2 et 3) et 1h (SIVNOY4)	
Envoi des données GPS :	15 min (SIVNOY1, 2 et 3) et 1h (SIVNOY4)	
Avec une mise en place d'alarme GPS à partir 100m de déradage et un envoi des positions en continu		

ILLUSTRATIONS

SIV-NOY1



SIV-NOY2







Notes pour la prochaine maintenance

A prévoir :

- Matériel de remplacement pour les stations de fond
 - 2 x Sondes de remplacement
 - 2x 50m de chaines de 16mm
- Anodes (x4) de perche de sondes pour SIV-NOY-1 et SIV-NOY-4
- Anodes (x6) de bouée DB3000
- Brosses de balais pour remplacement au cas ou



Annexe 12 : Rapport d'analyse satellite des climats de turbidité

Annexe 12 : Rapport d'analyse satellite des climats de turbidité



Analyse des climats de turbidité Site du futur parc éolien lles d'Yeu et de Noirmoutier

Référence contrat : i-Sea Devis n°21-09

Rapport final d'analyse hydrosédimentaire





25/03/2022, Version n°1

i-Sea SAS, 30 av. de Canteranne, 33600 Pessac Email : contact@i-sea.fr SIRET : 804 000 602 00024, R.C.S. Bordeaux

FICHE DOCUMENTAIRE

Date	25/03/2022	
Maitre d'ouvrage	Setec énergie environnement,	
	Guillaume Jacq	
	Responsable métier Suivi environnemental	
Réalisation	i-Sea	
	30 avenue de Canteranne	
	33600 Pessac	
	Site internet : <u>http://i-sea.fr/fr/</u>	
Rédacteurs	Manon Besset : <u>manon.besset@i-sea.fr</u>	
	Olivier Regniers : <u>olivier.regniers@i-sea.fr</u>	
Approbateur	r Virginie Lafon : <u>virginie.lafon@i-sea.fr</u>	
Citation recommandée	i-Sea, 2022. Analyse des climats de turbidité - Site du futur parc éolien lles	
	d'Yeu et de Noirmoutier. Rapport final d'analyse hydrosédimentaire du	
	pertuis, Rapport, Setec énergie Environnement, 29 p.	



Sommaire

1	O	Objectifs de l'étude6		
2	Zo	one d'étude6		
3	Вс	ases	de données spatiales	7
	3.1	Са	ractéristiques des images satellites Sentinel-3	7
	3.2	Са	ractéristiques des images satellites Sentinel-2	8
4 Méthodes		éthc	odes	9
	4.1	Са	ractérisation des climats de turbidité et catégorisation	9
	4.	1.1	Prétraitements	9
	4.	1.2	Estimation de la turbidité, algorithmes de conversion en turbidité	.10
	4.	1.3	Précision connue des algorithmes choisis et vérification des résultats	.11
	4.	1.4	Turbidité moyenne dans le parc et à proximité immédiate	.12
	4.	1.5	Première catégorisation quantitative	.12
	4.	1.6	Sous-catégorisation qualitative (turbidité ambiante)	.12
	4.2	Cro	pisement avec la base de données des forçages physiques	.13
	4.2	2.1	Base de données	.13
	4.2	2.2	Test de représentativité de la base de données	.15
	4.2	2.3	Analyse statistique des conditions physiques pour chaque climat de turbidité	.17
	4.3	Illus	stration haute-résolution	.19
	4.: Ia	3.1 turb	Sélection de dates représentatives de chaque climat de turbidité et extraction idité sur Sentinel-2	de .19
	4.3	3.2	Méthode d'extraction de la turbidité	.19
5 Résultats		esulto	ats	.19
	5.1	Cir	nq états de turbidité observés dans le jeu de données spatiales	.19
5.2 Dynamique de la turbidité selon les conditions météo-océaniques		namique de la turbidité selon les conditions météo-océaniques	.23	
	5.2	2.1	La dynamique des vagues sur la turbidité	.23
	5.2	2.2	L'influence de la Loire	.24
	5.2	2.3	L'influence de la marée	.26
	5.2	2.4	L'effet du vent	.27
	5.2	2.5	Les courants de surface	.29
6 Synthèse générale de la dynamique côtière		èse générale de la dynamique côtière	. 29	



Liste des illustrations

Figure 1. Emprises d'analyse pour les deux satellites Sentinel et localisation du parc éolien.....7

Figure 8. Distribution des niveaux de turbidité observés chaque mois sur les 4 années d'étude.

Figure 10. Distribution des gammes de hauteurs significatives des vagues sur les 120h précédant l'acquisition de l'image satellite utilisée pour l'estimation de la turbidité. Comparaison des niveaux de turbidité 1 (graphique du haut) à 4 (graphique du bas)............24

Figure 11. Distribution des gammes de débits moyens fluviaux de la Loire. Comparaison des niveaux de turbidité 1 à 4......25



Tableau 1. Caractéristiques principales des forçage	es étudiés14
---	--------------



1 OBJECTIFS DE L'ETUDE

La présente étude contribue au suivi environnemental précédant les travaux maritimes envisagés pour l'aménagement d'un parc éolien au large de la Vendée, entre les îles de Noirmoutier et Yeu. L'entreprise i-Sea met à profit son savoir-faire en exploitation de données spatiales et son expertise thématique littorale pour dresser l'état régional et local initial des climats de turbidité naturels observés sur une archive satellitaire, de 2018 à 2021, issue du programme européen Copernicus. Cette analyse doit servir à identifier les conditions naturelles et ordinaires, mais aussi événementielles de la mise en suspension et de la variabilité naturelle des masses turbides.

Une quantification et une spatialisation de la turbidité est attendue, avec une catégorisation des niveaux de turbidité enregistrés dans l'enceinte du parc, aux alentours immédiats (rayon de 10 km) et plus largement de Quiberon au nord, jusqu'aux Sables-d'Olonne au sud. De cette manière, les principales sources sédimentaires sont considérées dans les flux turbides suivis (charge fluviale de la Loire et dérive littorale).

L'analyse rétrospective porte sur la base de données spatiales Sentinel-3 (300 m de résolution spatiale), disponibles et exploitables sur la zone d'intérêt, dont ont été dérivées des valeurs par pixel de turbidité (FNU-sat) en exploitant un algorithme semi-analytique (Dogliotti et al., 2015). Pour compléter l'analyse, des données Sentinel-2 (20 m de résolution spatiale) représentant les cas de figure emblématiques de régimes de turbidité observés dans la zone ont été analysées de la même manière. Les observations seront comparées et caractérisées à partir d'un ensemble de forçages météo-fluvio-océaniques.

L'ensemble des informations concernant la source des données satellitaires, les prétraitements et la méthode de conversion en turbidité sont fournis dans les sections suivantes.

2 ZONE D'ETUDE

La zone d'intérêt principale constitue l'espace prévu pour l'implantation d'un parc éolien entre les îles de Noirmoutier et d'Yeu (Figure 1). Pour les besoins de l'état de l'art général, la zone a été étendue à une emprise spatiale atteignant Quiberon au Nord et les Sables d'Olonne au Sud, couverture assurée par les dalles des images satellite Sentinel-3 utilisées.





Figure 1. Emprises d'analyse pour les deux satellites Sentinel et localisation du parc éolien.

3 BASES DE DONNEES SPATIALES

3.1 Caractéristiques des images satellites Sentinel-3

Les données Sentinel-3 de niveau 2 (OLCI L2 WFR - réflectance marine) délivrées par EUMETSAT ont été téléchargées depuis le dépôt fourni par CREODIAS afin de couvrir l'ensemble de l'archive disponible entre janvier 2018 et décembre 2021 (Figure 2). La fréquence d'acquisition des données est quotidienne depuis mars 2019 (S3A + S3B) et tous les deux jours entre janvier 2018 et mars 2019 (S3A). Cette chronologie dans le lancement des satellites à l'origine des images acquises explique en partie la différence dans le nombre d'images utilisées pour l'analyse, entre les deux premières années (2018-2019) et les deux suivantes (2020-2021). L'amélioration progressive de la qualité des capteurs d'une génération de satellite à l'autre explique également le nombre plus important d'images ayant pu être exploitées sur les années les plus récentes. Enfin, le critère météorologique (nébulosité) conditionne le jeu de données : 2021 a été une année



particulièrement favorable pour l'étude de la turbidité du plan d'eau sur une grande période de l'année.

Nous avons sélectionné 493 images jugées pertinentes pour l'analyse. La sélection préliminaire est expliquée en section 4.1.1, et le tri final, après extraction de la turbidité, est développé en section 4.1.4.



Figure 2. Distribution mensuelle du jeu de données satellites Sentinel-3 utilisées pour l'étude. Les histogrammes représentent chaque année la période (du bleu clair, 2018, au bleu foncé, 2021) et la courbe rouge représente le nombre cumulé d'images exploitables, par mois, sur l'ensemble de la période.

3.2 Caractéristiques des images satellites Sentinel-2

Les données Sentinel-2 ont été collectées depuis le même dépôt CREODIAS au niveau L1C, c'està-dire en réflectance top-of-atmosphere. Ces données ont été sélectionnées afin d'illustrer plus finement les climats de turbidité définis grâce aux données Sentinel-3. Des prétraitements spécifiques ont été appliqués sur ces données afin de les convertir en réflectance marine.


4 METHODES

4.1 Caractérisation des climats de turbidité et catégorisation

4.1.1 Prétraitements

Les données Sentinel-3 ont été téléchargées de façon systématique sur toute la période ciblée. Les couches de qualité accompagnant ces données ont ensuite été utilisées afin d'estimer un pourcentage de pixels exploitables sur la zone d'intérêt (pixels d'eau sans nuages ou effet de glint). Si ce pourcentage dépasse un certain seuil défini par l'opérateur, l'image est conservée, sinon elle est rejetée. Au total, 566 images Sentinel-3 ont été utilisées pour en dériver la turbidité dans la zone d'intérêt. Un tri final a été réalisé après vérification des résultats (Section 4.1.4).

Les images Sentinel-3 conservées ont ensuite été reprojetées sur une grille commune de maille constante 300x300 m et découpées selon l'emprise de la zone définie pour l'analyse des climats de turbidité.

Les images Sentinel-2 de niveau L1C ont été converties en réflectance de surface marine en exploitant la complémentarité entre deux méthodes de correction atmosphérique, ACOLITE¹ pour les eaux complexes et C2RCC² pour les eaux claires. Cette approche est largement inspirée de ce qui est proposé dans le produit CMEMS <u>OCEANCOLOUR NWS BGC HR L3 NRT 009 203</u>. La combinaison entre ces deux algorithmes se base sur un ratio calculé par pixel entre les réflectances en bande verte et en bande proche infrarouge estimées par le processeur C2RCC. Deux seuils inférieur et supérieur ont été définis sur ce ratio afin de conserver les valeurs de réflectance issues de l'un ou de l'autre méthode de correction atmosphérique ou afin d'estimer une combinaison pondérée entre les valeurs issues des deux méthodes dans une zone de transition (Figure 3). La combinaison entre ces deux méthodes permet de couvrir une large gamme de réflectances avec l'algorithme décrit ci-dessous.

¹ Atmospheric COrrection for OLI lite (Vanhellemont et Ruddick 2021. Atmospheric correction of Sentinel-3/OLCI data for mapping of suspended particulate matter and chlorophyll-a concentration in Belgian turbid coastal waters, Remote Sensing of Environment, 256, 112284, <u>https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112284</u>.)

² Case 2 Regional CoastColour (C2RCC) atmospheric correction (Brockmann et al., 2016. Evolution of the C2RCC neural network for Sentinel 2 and 3 for the retrieval of ocean colour products in normal and extreme optically complex waters. LPS.





Figure 3. (gauche) Carte représentant par pixel quel algorithme de correction atmosphérique est utilisé (image S2 du 26/09/2018 sur l'estuaire de la Gironde), (droite) résultat de combinaison des deux algorithmes pour la bande verte Rrs560 (source).

Les images ainsi prétraitées ont ensuite été découpées sur une emprise centrée sur la zone (Figure 1).

4.1.2 Estimation de la turbidité, algorithmes de conversion en turbidité

Les valeurs de turbidité sont dérivées des images de réflectance marine en utilisant un algorithme semi-analytique générique proposé par Dogliotti et al. (2015)³ et inspiré d'une approche similaire spécifique aux concentrations en matière en suspension proposée par Nechad et al. (2010)⁴. Cet algorithme, particulièrement adapté aux eaux côtières, contient des paramètres hyperspectraux calibrés sur une large gamme de longueurs d'onde et une large gamme de mesures de turbidité in-situ en FNU. Cette large représentativité permet son utilisation sur des images issues de n'importe quel capteur optique contenant des bandes spectrales visibles et infrarouges. Cet algorithme se présente sous la forme suivante :

Turbidité (FNU-Sat) = $A(\lambda)w(\lambda)1-w(\lambda)/C(\lambda)$

³ Dogliotti, A. I., Ruddick, K. G., Nechad, B., Doxaran, D., & Knaeps, E. (2015). A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters. Remote sensing of environment, 156, 157-168.

⁴ Nechad, B., Ruddick, K. G., & Park, Y. (2010). Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters. Remote Sensing of Environment, 114(4), 854-866.



où A(λ) et C(λ) sont les paramètres hyperspectraux calibrés par longueur d'onde, et w(λ) est la réflectance marine à la longueur d'onde (λ).

La turbidité étant estimée sur la base d'un modèle global sans calibration avec donnée in situ locale, par le biais d'un algorithme générique, un biais existe entre la valeur de turbidité satellite et la valeur de la turbidité réellement mesurable in-situ. Ce biais est variable d'un site à l'autre mais il est constant pour un même site (déphasage), ce qui garantit une représentation réaliste des variations relatives de turbidité. Nous choisissons donc de nommer la grandeur mesurée « FNU-sat » afin de préciser qu'il s'agit d'un équivalent FNU générique, estimé à partir d'une information satellitaire, pouvant à terme être calibré sur la base de mesures instrumentées pour corriger d'éventuels décalages.

Toutefois, cet algorithme est plus sensible aux faibles turbidités (< ~10 FNU-sat) quand il est appliqué sur la bande verte, et plus sensible aux turbidités moyennes (~10 FNU-sat < turbidité < ~50 FNU-sat) et aux fortes turbidités (> ~50 FNU-sat) quand il est respectivement appliqué sur les bandes rouge et infrarouge. Dès lors, il a été appliqué conjointement à une approche multi-conditionnelle de combinaison de bandes (Novoa et al., 2017)⁵, afin de couvrir une large gamme de turbidité telle que celle observée dans les panaches en sortie des fleuves.

Cet algorithme d'estimation de la turbidité a été appliqué de la même façon sur les images Sentinel-2 et Sentinel-3 en adaptant les paramètres hyperspectraux à la longueur d'onde spécifique au capteur S2-MSI et S3-OLCI.

4.1.3 Précision connue des algorithmes choisis et vérification des résultats

L'approche multi-conditionnelle proposée par Novoa et al. (2017) a été testée dans l'estuaire de la Gironde et dans la baie de Bourgneuf avec des erreurs relatives moyennes variant entre ~10 et ~25% pour l'estimation des MES. On peut raisonnablement extrapoler cette gamme d'erreurs à d'autres sites où cette approche serait appliquée. La gamme d'applicabilités de l'approche proposée est comprise entre 1 et 1000 FNU-sat (Dogliotti et al., 2015).

Dans le cas des données Sentinel-3, la sélection des images exploitées s'est déroulée en deux temps. Tout d'abord, une sélection automatique sur base du nombre de pixels valides dans la zone d'intérêt (pixels d'eau hors nuages, ombres de nuages, pixels invalides, no data) est appliquée sur toutes les images Sentinel-3 disponibles pendant la période ciblée. Dans un second temps, un contrôle qualité manuel est réalisé afin d'écarter les images sélectionnées par le filtre automatisé et présentant des défauts (nuages/ombres mal détectés, réflectance solaire mal corrigée, etc.).

En outre, si plusieurs images sont disponibles le même jour (entre 1 et 3h d'intervalle), chaque image est conservée individuellement dans la base de données en partant du principe que les

⁵ Novoa, S., Doxaran, D., Ody, A., Vanhellemont, Q., Lafon, V., Lubac, B., & Gernez, P. (2017). Atmospheric corrections and multi-conditional algorithm for multi-sensor remote sensing of suspended particulate matter in low-to-high turbidity levels coastal waters. Remote Sensing, 9(1), 61.



conditions météo-océaniques associées à chacune des images sont différentes (moment de marée entre autres).

Des épisodes de concentrations significatives en chlorophylle ont été observés dans la zone d'intérêt sur la période ciblée, en particulier un bloom d'algues entre fin août et début septembre 2021. Si le suivi et la caractérisation de la concentration en chlorophylle ne font pas partie du cahier des charges de cette étude, les images particulièrement affectées par ces phénomènes ont été identifiées et écartées de l'analyse.

Par ailleurs, dans certaines images associées à des niveaux de turbidité très faibles, les petits fonds ont une influence sur la réponse spectrale de la colonne d'eau et biaisent l'estimation de la turbidité. Les images les plus impactées par ce biais (images acquises à marée haute principalement) sont également écartées manuellement de la base de données.

Au total, 493 résultats ont été retenus.

4.1.4 Turbidité moyenne dans le parc et à proximité immédiate

La valeur médiane de tous les pixels a été calculée pour chaque image dans l'enceinte du parc et dans une zone de 10 km de rayon autour du centroïde du parc.

4.1.5 Première catégorisation quantitative

Pour une première discrimination des scénarios de turbidité, la valeur médiane au sein du parc est utilisée et comparée d'une date à une autre. De cette manière, trois régimes de turbidité locale ont été définis suivant des seuils ordinairement employés : i) turbidité médiane inférieure à 2 FNU-sat, ii) turbidité médiane comprise entre 2 et 5 FNU-sat, et iii) turbidité médiane supérieure à 5 FNU-sat.

Ainsi, 324 images constituent un premier climat de turbidité, faible à négligeable dans le parc, 100 images/dates caractérisent le régime de turbidité intermédiaire avec valeur médiane modérée (qualitativement, il s'agit en général de cas où la turbidité ambiante dans le parc est faible, avec un panache chargé qui le traverse localement, faisant ainsi croître la valeur médiane globale), et 60 dates s'inscrivent dans un climat de forte turbidité dans le parc.

Parmi les images/dates retenues dans la base de données finale de turbidité, 9 d'entre elles n'ont pas suffisamment de valeurs exploitables dans l'enceinte du parc pour estimer de façon fiable la turbidité médiane. Elles sont néanmoins conservées dans l'analyse en raison d'une couverture significative sur le reste de la zone d'étude, avec des marqueurs forts du niveau de turbidité ambiant. Ces dates rejoignent donc les régimes de turbidité définis qualitativement a posteriori (section 4.1.6).

4.1.6 Sous-catégorisation qualitative (turbidité ambiante)

Cette sous-catégorisation permet d'affiner les cas de figure observés dans la base de données en considérant un plus large contexte spatial pouvant affecter la zone du parc. En effet, le régime de turbidité le plus faible parmi les trois définis à l'étape précédente surreprésente la base de



données (70%), ce qui limite l'interprétation de la turbidité dans la zone d'intérêt dans des conditions dites ordinaires.

Ce régime a donc été réanalysé qualitativement à l'échelle régionale, sur l'ensemble de la zone d'intérêt. Les images pour lesquelles la turbidité environnante est élevée et étendue (> 5 FNU-sat dans un rayon de 10 km autour du centroïde du parc et sur une bande de 20 km depuis la côte), le climat de turbidité est considéré intermédiaire. Au total, 75 dates sont regroupées dans cette classe ; dont 5 sans valeur médiane de turbidité mesurée dans le parc.

Les dates restantes sont donc classées dans le régime de turbidité le plus faible, soit un ensemble de 257 dates. Celles-ci sont à nouveau différenciées en fonction de la turbidité régionale : si la turbidité aux alentours du parc (dans le rayon de 10 km autour du centroïde, et au-delà de 20 km à la côte) est inférieure à 2 FNU-sat, alors la turbidité sur ces images est considérée faible à négligeable. Si dans cette même zone, les valeurs de turbidité sont majoritairement comprises entre 2 et 5 FNU-sat, alors il s'agit une turbidité ambiante modérée.

En conclusion, 4 régimes de turbidités principaux caractérisent les conditions observées entre 2018 et 2021. Et deux sous-classes définissent le premier régime :

- Niveau de turbidité 1 :
 - a) Turbidité médiane inférieure à 2 FNU-sat dans le parc et turbidité faible dans l'emprise régionale (fonds visibles sur les faibles profondeurs);
 - b) Turbidité médiane inférieure à 2 FNU-sat dans le parc et turbidité modérée dans l'emprise régionale;
- Niveau de turbidité 2 : Turbidité médiane inférieure ou égale à 2 FNU-sat dans le secteur du parc éolien, et turbidité régionale forte ;
- **Niveau de turbidité 3** : Turbidité médiane comprise entre 2 et 5 FNU-sat dans le secteur du parc éolien, et turbidité régionale forte ;
- Niveau de turbidité 4: Turbidité médiane supérieure à 5 FNU-sat dans le secteur du parc éolien, et turbidité régionale forte (1 date supplémentaire a été intégrée à l'issue de l'analyse qualitative de la turbidité, n'ayant pas assez de pixels exploitables dans l'enceinte du parc, la turbidité moyenne n'avait pas été quantifiée à l'étape précédente).

4.2 Croisement avec la base de données des forçages physiques

4.2.1 Base de données

Pour l'ensemble des dates et heures couvertes par les images de turbidité issues des données Sentinel-3, des données de forçage météo-océaniques ont été collectées afin de définir les climats de turbidité. Les types de données de forçage collectés ainsi que leur source sont présentés dans le tableau suivant :



Vagues	Bouée CANDHIS Ile d'Yeu Nord
Vent	Station météo Île d'Yeu - Saint-Sauveur
Hauteur de marée	Station marégraphique SHOM de l'Herbaudière - Noirmoutier
Coefficient de marée	Station marégraphique SHOM de l'Herbaudière - Noirmoutier
Débit	Station hydrologique de Montjean-sur-Loire
Courant (pour illustrer les cas de figure emblématiques des 5 climats de turbidité)	Données de réanalyses de modèle CMEMS

Afin de caractériser les climats de turbidité, un ensemble de statistiques de forçage ont été calculées à partir des bases de données de forçage collectées (Tableau 1). Ces statistiques sont les suivantes :

Tableau 1. Caractéristiques principales des forçages étudiés.

	Vitesse moyenne et vitesse moyenne du	Moyenne sur les 24, 72 et 120			
Vent	dixieme superieur	heures precedant			
	Direction moyenne des vents	l'acquisition satellite			
	Hauteur significative moyenne (h13d) et hauteur moyenne du dixième supérieur en	Moyenne sur les 24, 72 et 120 heures précédant l'acquisition satellite			
Vagues	hauteur de vagues (h110d)				
	Période significative moyenne (th13d) et				
	période moyenne (†02)				
Maróo	Hauteur de marée	Date et heure de l'acquisition satellitaire			
Malee	Marée montante ou descendante				
	Débit journalier de la Loire	Jour d'acquisition de l'image satellite.			
Débit		Enregistré sur les 72 et 120			
	Débit journalier maximal	heures précédant l'acquisition satellite			

En outre, pour corréler ces mesures de forçage aux données satellite, des valeurs moyennes de turbidité ont été calculées sur deux emprises distinctes, l'emprise du futur parc éolien et une emprise correspondant à un cercle de 10 km de rayon centré sur le parc (Figure 1).



4.2.2 Test de représentativité de la base de données

Les variables principales définissant les vagues, le vent et la marée ont servi au test de représentativité des conditions météo-marines de la période de quatre ans. Les valeurs de chaque grandeur physique ont été discrétisées en classes fines, selon les intervalles suivants :

- 0.20 m de hauteur significative des vagues,
- 0.25 m de hauteur des vagues (percentile 90),
- 22.50° de direction pour les vents correspondant aux 16 sous-directions cardinales,
- 200 m³/s de débit fluvial,
- 1 s de période des vagues,
- 0.20 m de hauteur de marée,
- 0.50 m/s de vitesse moyenne des vents,
- 1 m/s de vitesse maximale des vents (percentile 90),
- 20 de coefficient de marée.

La distribution des données journalières des conditions de forçage entre 2017 et 2020 est donc représentée en pourcentage pour ces variables primaires (histogrammes noirs dans les graphiques de la Figure 4), ainsi que la même distribution incluant seulement les données associées aux dates des images satellites retenues pour l'étude (histogrammes blancs dans les graphiques de la Figure 4).

Notre base de données de turbidité couvre près de 34% des quatre années d'étude. Nous notons une disparité dans le nombre d'images retenues par mois sur l'ensemble des années analyses (sous-représentation des mois d'hiver, en particulier décembre-janvier, voir Figure 2). Malgré ce nombre d'images réduit et cette hétérogénéité dans la quantité de dates disponibles par mois, les tests de représentativité démontrent que nous couvrons l'ensemble des cas de figure de conditions météo-marines, y compris dans les extrêmes hauts et bas, dans des proportions très proches de celles observées dans le cas où la totalité des jours des quatre années est considérée (Figure 4).

Ainsi, à défaut d'être exhaustive, la base de données Sentinel-3 semble suffisamment représentative pour le secteur de Noirmoutier-Yeu.





Figure 4. Représentativité des valeurs journalières de forçage observées sur 4 années (2017-2020) dans le jeu de données utilisé pour l'étude, correspondant aux dates et heures d'acquisition des images satellites utilisées (15h UTC). Les graphiques (a), (b), (c) montrent la représentativité des données relatives aux vents (vitesses et directions), les graphiques (d), (e), (f), (g) représentent les



caractéristiques des vagues (hauteurs significatives, directions et périodes, (h) (i) celles de la marée, et le graphique (j) présente la distribution des valeurs de débit fluvial de la Loire.

4.2.3 Analyse statistique des conditions physiques pour chaque climat de turbidité

Pour évaluer les conditions environnementales des niveaux de turbidité observés dans la zone d'intérêt, les forçages météo-marins ont été analysés statistiquement sur différents pas de temps et dans leurs moyennes et extrema (Figure 5).

Les caractéristiques des vagues enregistrées sur 120h précédant l'heure d'acquisition de l'image utilisée pour estimer la turbidité sont davantage corrélées aux valeurs de turbidité dans et autour du parc que sur des pas de temps plus courts. C'est également le cas pour les données de vents. De même, la corrélation offre de meilleurs scores avec les valeurs moyennes du débit fluvial de la Loire qu'avec les maximas enregistrés sur 72 et 120h.

Figure 5. Tableau de corrélation entre les estimations statistiques de turbidité et celles des forçages physiques (page suivante).



	Différence		Déhit	Débit	Turbidité	Turbidité médiane dans	Niveau de	Coefficia		Hauteur	Hauteur	Hauteur sig. Vaguer	Hauteur moy. du dixième sun en	Hauteur moy. du dixième	Hauteur moy. du dixième sup. en bauteur	Période	Période	Période	Période	Période	Période	Direction	Direction	Direction	Vitesse	Vitesse	Vitesse	Vitesse moy. du dixième sun des	Vitesse moy. du dixième sun dec	Vitesse moy. du dixième sun des
	marée sur	Débit	max sur	max sur	médiane	autour centroïde	turbi	nt de	Marnag	Vagues	Vagues	sur	hauteur des	hauteur des	des vagues	Vagues	Vagues	Vagues	sig. Vges	Vagues	sig. Vagues	des vents	des vents	des vents	Vent sur	Vent sur	Vent sur	vents sur	vents sur	vents
Différence de niveau de marée	1h	fluvial	72h	120h	dans parc	parc	identifié	marée	e	sur 24h	sur 72h	120h	vagues sur 24h	vagues sur 72	n sur 120h	sur 24h	sur 72h	sur 120h	sur 24h	sur 72h	sur 120h	sur 24h	sur 72h	sur 120h	24h	72h	120h	24h	72h	sur 120h
sur 1h		0.00	0.00	-0.01	0.08	0.05	0.02	0.27	-0.22	-0.01	0.01	0.02	-0.01	0.0	1 0.02	0.04	4 0.1	3 0.1	3 0.0	7 0.12	0.11	-0.02	-0.11	-0.13	-0.02	-0.06	-0.09	-0.05	-0.10	-0.10
Débit fluvial Débit may sur 72h	0.00	1.00	1.00	0.98	0.65	0.63	0.58	-0.09	0.13	0.38	0.42	0.49	0.38	0.4	2 0.49	0.18	3 0.2 9 0.2	8 0.3	5 0.20	6 0.33 7 0.34	8 0.40 1 0.40	0.13	0.02	-0.06	0.22	0.23	0.31	0.29	0.28	0.34
Débit max sur	0.00	1.00		1.00	0.05	0.01	0.50	0.05	0.15	0.57	0.41	0.40	0.57	0.4	. 0.40	0.1.	0.2	0.5	0.2	, 0.5-	0.40	0.14	0.05	0.01	0.21	0.23	0.50	0.27	0.20	0.52
120h	-0.01	0.98	1.00		0.62	0.60	0.57	-0.09	0.13	0.36	0.40	0.46	0.37	0.4	0.47	0.20	0.2	9 0.3	6 0.2	8 0.34	0.40	0.13	0.04	-0.03	0.21	0.22	0.29	0.26	0.24	0.30
Turbidité médiane	0.09	0.65	0.62	0.62		0.05	0.00	0.00	0.05	0.60	0.64	0.66	0.61	0.6		0.20				c 0.45	0.46	0.17	0.05		0.41	0.27	0.43	0.46		0.47
Turbidité médiane	0.08	0.05	0.05	0.02		0.56	0.80	0.05	-0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	. 0.0	• 0.00	0.20	5 0.5	0 0.4	2 0.5	0 0.43	0.40	0.17	-0.05	-0.14	0.41	0.57	0.45	0.40	0.44	0.47
dans périmètre 10																														
km autour	0.05	0.63	0.61	0.60	0.06		0.02	0.07	0.02	0.65	0.69	0.70	0.66			0.24					0.51	0.17	0.06	0.15	0.43	0.20	0.42	0.49	0.46	0.40
Niveau de turbi	0.05	0.05	0.01	0.00	0.90		0.82	0.07	-0.02	0.05	0.08	0.70	0.00	0.0	5 0.70	0.5	1 0.4	5 0.4	0 0.4	2 0.40	5 0.51	0.17	-0.06	-0.13	0.42	0.55	0.45	0.40	0.40	0.45
identifié	0.02	0.58	0.58	0.57	0.80	0.82		0.12	-0.09	0.67	0.70	0.74	0.68	0.7	1 0.74	0.41	1 0.5	3 0.5	7 0.5	5 0.60	0.62	0.17	-0.05	-0.16	0.31	0.28	0.35	0.37	0.38	0.45
Coefficient de	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.12		0.95	0.05	0.07	0.07	0.05	0.0	7 0.07	0.1	0.1	0 0 1	7 0.1	6 0.17	0.15	0.09	0.14	0.13	0.06	0.11	0.12	0.07	0.00	0.07
Marnage	-0.22	0.13	0.13	0.13	-0.05	-0.02	-0.09	-0.85	-0.05	-0.04	-0.08	-0.07	-0.04	-0.0	B -0.07	-0.08	3 -0.1	3 -0.1	3 -0.1	5 -0.16	-0.14	0.01	0.07	0.06	0.04	0.06	0.10	0.06	0.04	0.03
Hauteur sig.																														
Vagues sur 24h Hauteur sig	-0.01	0.38	0.37	0.36	0.60	0.65	0.67	0.05	-0.04		0.89	0.79	1.00	0.8	8 0.79	0.44	1 0.5	3 0.5	2 0.5	6 0.57	0.55	-0.01	-0.19	-0.24	0.40	0.35	0.34	0.53	0.55	0.50
Vagues sur 72h	0.01	0.42	0.41	0.40	0.64	0.68	0.70	0.07	-0.08	0.89		0.94	0.89	1.0	0.94	0.41	1 0.5	9 0.5	9 0.54	4 0.63	0.62	-0.02	-0.19	-0.27	0.31	0.39	0.43	0.43	0.58	0.60
Hauteur sig.																														
Vagues sur 120h Hauteur moy, du	0.02	0.49	0.48	0.46	0.66	0.70	0.74	0.07	-0.07	0.79	0.94		0.79	0.9	4 1.00	0.40	0 0.5	8 0.6	3 0.5:	3 0.64	0.67	0.03	-0.16	-0.27	0.26	0.33	0.45	0.36	0.51	0.62
dixième sup. en																														
hauteur des vagues																														
Sur 24n Hauteur mov. du	-0.01	0.38	0.37	0.37	0.61	0.66	0.68	0.05	-0.04	1.00	0.89	0.79		0.8	9 0.79	0.4:	5 0.5	4 0.5	3 0.5	/ 0.58	5 0.56	0.00	-0.18	s -0.23	0.41	0.35	0.34	0.53	0.54	0.50
dixième sup. en																														
hauteur des vagues	0.01	0.42	0.41	0.40	0.64	0.69	0.71	0.07	0.00	0.00	1.00	0.04	0.90		0.04	0.47		0 06	0 0.51	E 0.67	0.62	0.01	0.19	0.27	0.22	0.20	0.43	0.42	0.55	0.50
Hauteur moy. du	0.01	0.42	0.41	0.40	0.64	0.00	0.71	0.07	-0.08	0.00	1.00	0.54	0.89		0.54	0.42	2 0.5	5 0.0	0 0.5	5 0.04	0.05	-0.01	-0.10	-0.27	0.32	0.55	0.45	0.45	0.50	0.39
dixième sup. en																														
hauteur des vagues sur 120b	0.02	0.49	0.48	0.47	0.66	0.70	0.74	0.07	-0.07	0.79	0.94	1.00	0.79	0.9	1	0.40	0.5	8 06	4 0.5	4 0.64	0.68	0.03	-0.16	-0.26	0.27	0.34	0.46	0.37	0.51	0.62
Période moy.	0.02	0.45	0.40	0.47	0.00	0.70	0.74	0.07	0.07	0.75	0.54	1.00	0.75	0.5		0.40	5 0.5	0.0			0.00	0.05	0.10	0.20	0.27	0.54	0.40	0.57	0.54	0.02
Vagues sur 24h	0.04	0.18	0.19	0.20	0.26	0.31	0.41	0.12	-0.08	0.44	0.41	0.40	0.45	0.4	2 0.40		0.8	4 0.7	4 0.8	6 0.72	0.63	-0.26	-0.34	-0.30	-0.27	-0.25	-0.16	-0.17	-0.07	0.02
Vagues sur 72h	0.13	0.28	0.28	0.29	0.38	0.43	0.53	0.18	-0.13	0.53	0.59	0.58	0.54	0.5	9 0.58	0.84	1	0.9	3 0.84	4 0.93	0.86	-0.15	-0.37	-0.39	-0.13	-0.22	-0.15	-0.05	-0.01	0.08
Période moy.																														
Vagues sur 120h	0.13	0.35	0.36	0.36	0.42	0.48	0.57	0.17	-0.13	0.52	0.59	0.63	0.53	0.6	0 0.64	0.74	\$ 0.9	3	0.7	7 0.89	0.94	-0.06	-0.27	-0.38	-0.07	-0.14	-0.11	-0.01	0.03	0.11
sur 24h	0.07	0.26	0.27	0.28	0.36	0.42	0.55	0.16	-0.15	0.56	0.54	0.53	0.57	0.5	5 0.54	0.86	5 0.8	4 0.7	7	0.89	0.79	-0.19	-0.31	-0.30	-0.17	-0.16	-0.08	-0.08	0.00	0.10
Période sig. Vagues																														
sur 72h Période sig.	0.12	0.33	0.34	0.34	0.43	0.48	0.60	0.17	-0.16	0.57	0.63	0.64	0.58	0.6	4 0.64	0.72	2 0.9	3 0.8	9 0.8	9	0.94	-0.08	-0.28	-0.34	-0.05	-0.13	-0.07	0.02	0.04	0.12
Vagues sur 120h	0.11	0.40	0.40	0.40	0.46	0.51	0.62	0.15	-0.14	0.55	0.62	0.67	0.56	0.6	3 0.68	0.63	3 0.8	6 0.9	4 0.79	9 0.94		0.01	-0.18	-0.31	0.01	-0.05	-0.03	0.07	0.08	0.14
Direction moveme																														
des vents sur 24h	-0.02	0.13	0.14	0.13	0.17	0.17	0.17	-0.08	0.01	-0.01	-0.02	0.03	0.00	-0.0	1 0.03	-0.26	5 -0.1	5 -0.0	6 -0.19	9 -0.08	0.01		0.51	0.31	0.41	0.31	0.26	0.27	0.12	0.11
Direction moyenne des vents sur 72h	-0.11	0.02	0.03	0.04	-0.05	-0.06	-0.05	-0.14	0.07	-0.19	-0.19	-0.16	-0.18	-0.1	8 -0.16	-0.34	4 -0.3	7 -0.2	7 -0.3	1 -0.28	-0.18	0.51		0.76	0.24	0.37	0.26	0.12	0.09	-0.03
des vents sur / En	0.11	0.02	0.05	0.04	0.05	0.00	0.05	0.14	0.07	0.15	0.15	0.10	0.10			0.5-	• 0.5	, 0.1	, 0.5.	- 0.20	0.10	0.51		0.70	0.24	0.57	0.20	0.11	. 0.01	0.05
Direction moyenne																														
des vents sur 120h Vitesse mov. Vent	-0.13	-0.06	-0.05	-0.03	-0.14	-0.15	-0.16	-0.13	0.06	-0.24	-0.27	-0.27	-0.23	-0.2	/ -0.26	-0.30	J -0.3	9 -0.3	8 -0.30	0 -0.34	-0.31	0.31	0.76	2	0.16	0.27	0.24	0.06	0.00	-0.09
sur 24h	-0.02	0.22	0.21	0.21	0.41	0.42	0.31	-0.06	0.04	0.40	0.31	0.26	0.41	0.3	2 0.27	-0.27	7 -0.1	3 -0.0	7 -0.1	7 -0.05	0.01	0.41	0.24	0.16		0.75	0.59	0.90	0.60	0.43
Vitesse moy. Vent	-0.06	0.22	0.22	0.22	0.27	0.20	0.20	-0.11	0.06	0.25	0.20	0.22	0.25	0.3	0.24	.0.25		2 .01	4 .0.1	6 -0.13	.0.05	0.21	0.27	0.27	0.75		0.85	0.70	0.00	0.62
Vitesse moy. Vent	-0.06	0.23	0.23	0.22	0.37	0.39	0.28	-0.11	0.06	0.55	0.39	0.33	0.35	0.3	0.34	-0.25	, -0.2	-0.1	0.10	-0.13	-0.05	0.31	0.37	0.27	0.75		0.85	0.70	0.82	0.62
sur 120h	-0.09	0.31	0.30	0.29	0.43	0.43	0.35	-0.13	0.10	0.34	0.43	0.45	0.34	0.4	3 0.46	-0.16	5 -0.1	5 -0.1	1 -0.0	8 -0.07	-0.03	0.26	0.26	0.24	0.59	0.85		0.58	0.74	0.79
Vitesse moy. du dixième sun dec																														
vents sur 24h	-0.05	0.29	0.27	0.26	0.46	0.48	0.37	-0.07	0.06	0.53	0.43	0.36	0.53	0.4	3 0.37	-0.17	7 -0.0	5 -0.0	1 -0.0	8 0.02	. 0.07	0.27	0.12	0.06	0.90	0.70	0.58		0.71	0.53
Vitesse moy. du																														
aixième sup.des vents sur 72h	-0.10	0.28	0.26	0.24	0.44	0.46	0.38	-0.08	0.04	0.55	0.58	0.51	0.54	0.5	8 0.51	-0.03	7 -0.0	1 0.0	3 0.0	0 0 04	0.08	0.12	0.09	0.00	0.60	0.82	0.74	0.71		0.81
Vitesse moy. du	5.10	0.20	0.20	0.24	0.44	0.40	0.50	0.00	0.04	0.00	0.50	0.51	0.54	0.5	5.51	0.01	5.0	5.0.	5.01	- 0.04	0.00	0.12	0.05	0.00	0.00	0.02	04	0.71		0.31
dixième sup.des vents sur 120h	-0.10	0.34	0.32	0.30	0.47	0.49	0.45	-0.07	0.03	0.50	0.60	0.62	0.50	0.5	9 0.62	0.02	2 0.0	8 0.1	1 0.10	0 0.12	0.14	0.11	-0.03	-0.09	0.43	0.62	0.79	0.53	0.81	



4.3 Illustration haute-résolution

L'utilisation des images haute résolution Sentinel-2 permet d'illustrer de manière plus précise les cas de figure représentatifs des niveaux de turbidité définis dans l'étude.

4.3.1 Sélection de dates représentatives de chaque climat de turbidité et extraction de la turbidité sur Sentinel-2

Les dates retenues pour illustrer chaque niveau et sous-niveau de turbidité sont les suivantes :

- Niveau de turbidité : 08/09/2020 ;
- Niveau de turbidité 1b : 22/03/2021 ;
- Niveau de turbidité 2 : 12/04/2019 ;
- Niveau de turbidité 3 : 08/10/2021 ;
- Niveau de turbidité 4 : 22/01/2020.

Ces dates avaient pour condition première de correspondre à une image Sentinel-3 acquise et catégorisée, mais aussi à une image Sentinel-2 disponible, sans artéfact visible (nuage par exemple).

4.3.2 Méthode d'extraction de la turbidité

La méthode est similaire aux étapes décrites en section 4.1.2.

5 RESULTATS

5.1 Cinq états de turbidité observés dans le jeu de données spatiales

La revue de chaque image satellite a permis de distinguer cinq états de turbidité, présentés en Figure 6 à travers des exemples d'images représentatives. Les niveaux varient en fonction des niveaux de turbidité enregistrés dans le parc et des panaches turbides observables dans la région alentour (voir section 4.1.6, Figure 6).

La distinction entre les niveaux de turbidité peut s'apprécier qualitativement et visuellement sur la base des cas de figure représentés en Figure 6, mais également quantitativement en analysant la distribution des valeurs de turbidité satellitaire équivalent FNU-sat sur les histogrammes de la Figure 7. En effet, les classes dominantes de turbidité évoluent d'un niveau le plus faible au plus élevé :

- Classe dominante du niveau de turbidité 1 : 0,7 0,9 FNU-sat ;
- Classe dominante du niveau de turbidité 2 : 1,2 1,4 FNU-sat ;
- Classe dominante du niveau de turbidité 3 : 2,2 2,6 FNU-sat ;
- Classe dominante du niveau de turbidité 4 : 6,0 7,0 FNU-sat ;

Figure 6. Cas de figure emblématiques des cinq niveaux de turbidité identifiés dans la zone d'intérêt (page suivante).













L'ensemble des dates retenues a été trié et classé dans cette hiérarchie à 6 classes, mensuellement, d'abord pour identifier une éventuelle saisonnalité (Figure 8 et Figure 9). Les mois de décembre et janvier sont globalement moins représentés dans le jeu de données que les mois restants du fait d'une nébulosité très présente sur cette période, masquant régulièrement la totalité de la zone du parc éolien (Figure 2). Ce sont aussi les mois où les plus forts niveaux de turbidité dominent le jeu de données (niveaux 3 et 4), tandis que le nombre d'images de ces derniers est relativement faible pour les mois d'avril à septembre, toutes années confondues (Figure 8). Les proportions s'équilibrent entre les niveaux les plus faibles et les plus élevés pendant les mois de transition saisonnière, mars et octobre. Cette saisonnalité est synthétisée en Figure 9, et reflète très probablement une variabilité saisonnière des conditions naturelles météo-marines environnantes.



Figure 8. Distribution des niveaux de turbidité observés chaque mois sur les 4 années d'étude.



Baisse de l'occurrence en été

Figure 9. Saisonnalité de la turbidité.



5.2 Dynamique de la turbidité selon les conditions météo-océaniques

5.2.1 La dynamique des vagues sur la turbidité

L'état de mer fait partie des caractéristiques qui présentent une relation relativement étroite avec les niveaux de turbidité discriminés (Figure 10) :

- Les hauteurs significatives de vagues inférieures à 1 m sont majoritaires pour les cas de figure de rencontrés dans le niveau de turbidité 1 (86% de la base de données analysée pour ce niveau). La proportion diminue de moitié pour le niveau de turbidité 2 (45%) tandis que pour les niveaux de turbidité les plus élevés, 3 et 4, la part des hauteurs significatives de vagues inférieures à 1 m ne représente plus que respectivement 27% et 2%.
- Les cas résiduels de vagues plus énergétiques dans le cas du niveau 1 n'excèdent pas 1,75 m de hauteur. Concernant le niveau de turbidité 2, environ 50% des dates sont acquises dans un contexte où les hauteurs significatives des vagues sont comprises entre 1 et 2 m, tandis que la proportion atteint environ 65% pour les deux niveaux de turbidité les plus élevés (3 et 4).
- Ce sont les épisodes tempétueux qui finissent par distinguer ces deux derniers : seuls 8% de la base de données du niveau 3 excède des hauteurs significatives de 2 m, contre 34% pour le niveau 4 de turbidité.





Hauteur significative des vagues sur 120h (m)

Figure 10. Distribution des gammes de hauteurs significatives des vagues sur les 120h précédant l'acquisition de l'image satellite utilisée pour l'estimation de la turbidité. Comparaison des niveaux de turbidité 1 (graphique du haut) à 4 (graphique du bas).

5.2.2 L'influence de la Loire

Le débit de la Loire fait également partie des variables physiques dont les grandeurs évoluent d'un niveau de turbidité identifié à l'autre (Figure 11) :

 Les niveaux de turbidité 1 et 2 se distinguent l'un l'autre par la part des épisodes de très faible débit (< 200 m³/s) (respectivement 40% et 13%. Ils divergent des deux autres niveaux de turbidité par la faible proportion de débits élevés, environ 2 % d'occurrence de débits supérieurs à 1000 m³/s.



 Pour les deux niveaux de turbidité les plus élevés, la part d'occurrence de débit fluvial de la Loire supérieure à 1000 m³/s croît significativement, et les crues extrêmes (> 1800 m³/s) sont répertoriées en majorité sur les dates analysées du niveau de turbidité 4.

En période hautement énergétique, le débit de la Loire génère un panache de matières en suspension se propageant jusque dans le parc à des niveaux très hauts.



Débit moyen de la Loire (m³/s)

Figure 11. Distribution des gammes de débits moyens fluviaux de la Loire. Comparaison des niveaux de turbidité 1 à 4.

Cependant, l'analyse ne permet pas de conclure sur une action conjointe des vagues et du fleuve sur la génération et la propagation de la turbidité sur la zone, aucune relation linéaire significative n'est observée entre les deux grandeurs physiques, quel que soit le niveau de turbidité analysé (Figure 12).





Figure 12. Relation entre la hauteur significative des vagues sur 120h et le débit moyen de la Loire pour chaque niveau de turbidité analysé.

5.2.3 L'influence de la marée

Dans une moindre mesure, une relation est observée entre la dynamique tidale et la variation de la turbidité dans la zone d'intérêt (Figure 13). Les faibles coefficients de marée sont récurrents dans les cas répertoriés dans le niveau de turbidité le plus faible, et une progression vers une proportion accrue de forts coefficients de marée s'observe vers le niveau de turbidité 4 (le plus fort).





Figure 13. Distribution des coefficients de marée et des moments de marée (sur l'heure précédant l'acquisition satellitaire), par niveau de turbidité étudié.

5.2.4 L'effet du vent

Enfin, d'après les tests de corrélation, la vitesse maximale du vent présente une relation, bien que plus faible, avec la turbidité de la zone. La distribution des valeurs du percentile 90 montre un contraste de proportion des vitesses inférieures à 7 m/s entre les niveaux de turbidité 1, 2 et 3, et le niveau de turbidité 4 (Figure 14). Seul ce dernier se distingue significativement des autres en dépassant 12 m/s environ 20 % du temps analysé.





Figure 14. Distribution des gammes de percentiles 90 des vitesses des vents sur les 120 h précédant l'acquisition de chaque image analysée. Comparaison des niveaux de turbidité 1 à 4.



5.2.5 Les courants de surface

Les courants de surface ont été analysés à la marge de cette étude, en se limitant aux dates et horaires des images satellites utilisées pour illustrer les cinq cas de figure représentatifs de chaque niveau et sous-niveau de turbidité identifiés (Figure 15).

Une tendance se dégage néanmoins entre les niveaux de turbidité 1-2 et 3-4, avec une variation de facteur 2 entre les deux couples de niveaux.



Figure 15. Vitesse moyenne des courants de surface dans le périmètre de 10 km autour du centroïde du parc.

6 SYNTHESE GENERALE DE LA DYNAMIQUE COTIERE

En conclusion, 4 régimes de turbidité principaux caractérisent les conditions observées entre 2018 et 2021. Et deux sous-classes définissent le premier régime :

- Le niveau de turbidité 1, le plus faible (turbidité médiane dans le parc inférieure à 2 FNUsat), regroupe environ 53% des dates analysées dans la base de données) ;
- Le niveau de turbidité 2 contient environ 15% de la base de données (turbidité médiane inférieure ou égale à 2 FNU-sat dans le parc éolien, et turbidité régionale forte) ;
- Le niveau de turbidité 3 rassemble 20 % du jeu de données (turbidité médiane comprise entre 2 et 5 FNU-sat dans le secteur du parc éolien, et turbidité régionale forte) ;
- Le niveau de turbidité 4 regroupe les 12% restants (turbidité médiane supérieure à 5 FNUsat dans le secteur du parc éolien, et turbidité régionale forte).

La dynamique turbide dans le parc éolien en projet entre les îles de Noirmoutier et d'Yeu présente un comportement saisonnier clair avec une variabilité significative de la turbidité mesurée à partir des images satellites entre 1 et 10 FNU-sat dans la zone d'intérêt. Ce constat est transposable plus largement à l'échelle du pertuis. Les conditions hydrodynamiques de la zone suivent une tendance similaire, ce qui permet de confirmer un lien étroit entre la dynamique des vagues, du fleuve voisin et de la marée, et celle des masses turbides observées et estimées dans et autour du parc.

Les conditions les plus énergétiques observées sur les séries temporelles de ces forçages correspondent aux niveaux les plus élevés définis de la turbidité. Similairement, les plus faibles valeurs des forçages sont plus fréquemment observées dans des cas répertoriés dans les niveaux



de turbidité plus faibles. Sur la base des observations statistiques réalisées, il ne semble pas qu'il y ait une occurrence synchrone des forts débits enregistrés à l'estuaire de la Loire et des fortes hauteurs de vagues significatives observées à la station de mesure. En d'autres termes, un fort débit fluvial peut être responsable d'une intensification de la turbidité jusqu'au parc, indépendamment d'événement tempétueux, et inversement.

Les vents opèrent également une influence sur la variation de la turbidité, mais cet effet ne distingue pas tous niveaux de turbidité : les niveaux 1, 2 et 3 ne présentent pas de différence significative dans la distribution des valeurs de vitesses des vents. Seul le niveau 4 se distingue avec des valeurs extrêmes enregistrées à haute fréquence dans le jeu de données. Quant aux observations sur les courants de surface, elles ne permettent pas, en l'état, de poser des conclusions claires sur l'influence de la direction et de la vitesse des courants. Pour cela, une étude approfondie sur l'ensemble de la période, avec une prise en compte de plusieurs heures précédant la mesure satellitaire, est préconisée.

– Fin du document –



Annexe 13 : Comptes-rendus hebdomadaires

Annexe 13 : Comptes-rendus hebdomadaires



Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2022-05-30 00:00:00 au 2022-06-12 23:59:59

14 jour(s)



Turbidité



Taux d'acquisition des stations de						
surface						
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée				
100%	Station 1	83%				
99%	Station 2	82%				
96%	Station 3	79%				
104%	Station 4	86%				
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée				
	Station 1					
	minimum	0.7				
	moyenne	1.5				
	maximum	6.6				
	Station 2					
	minimum	1.2				
	moyenne	2.2				
	maximum	9.8				
	Station 3					
	minimum	0.9				
	moyenne	2.4				
	maximum	10.5				
	Station 4					
	minimum	1.1				
	moyenne	2.8				
	maximum	14.3				

















Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2022-06-13 00:00:00 au 2022-06-26 23:59:59

14 jour(s)



Toutes Stations

Turbidité



Taux d'acquisition des stations de						
surface						
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée				
97%	Station 1	94%				
93%	Station 2	88%				
93%	Station 3	90%				
103%	Station 4	102%				
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée				
	Station 1					
0.7	minimum	1.1				
1.5	moyenne	1.7				
6.6	maximum	4.9				
	Station 2					
1.2	minimum	1.6				
2.2	moyenne	2.6				
9.8	maximum	6.4				
	Station 3					
0.9	minimum	1.6				
2.4	moyenne	2.5				
10.5	maximum	4.5				
	Station 4					
1.1	minimum	1.7				
2.8	moyenne	33.8				
14.3	maximum	1287.4				

E

E









06/20 00:00 06/23 00:00 06/150 06/16 00:00 06/17 00:00 06/1800 i fond - NOY3 - 23.5m (do ond - NOY3 - 23.5m (d



06/14 00:00 urface - NOY4 (





Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2022-06-27 00:00:00 au 2022-07-10 23:59:59

14 jour(s)

Toutes Stations

Turbidité



Taux d'acquisition des stations de						
surface						
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée				
96%	Station 1	94%				
92%	Station 2	90%				
92%	Station 3	91%				
74%	Station 4	22%				
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée				
	Station 1					
1.1	minimum	2.8				
1.7	moyenne	80.2				
4.9	maximum	4389.9				
	Station 2					
1.6	minimum	3				
2.6	moyenne	3.6				
6.4	maximum	5.2				
	Station 3					
1.6	minimum	2.3				
2.5	moyenne	3				
4.5	maximum	4.4				
	Station 4					
1.7	minimum	38.3				
33.8	moyenne	159.2				
1287.4	maximum	1288.8				















Éoliennes en mer IIES d'YEU et

de Noirmoutier

Suivi de la turbidité

Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2022-07-11 00:00:00 au 2022-07-24 23:59:59

14 jour(s)

Toutes Stations

Turbidité



Taux d'acquisition des stations de					
	surface				
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée			
95%	Station 1	93%			
92%	Station 2	91%			
92%	Station 3	92%			
55%	Station 4	0%			
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée			
	Station 1				
2.8	minimum	4.5			
80.2	moyenne	38.9			
4389.9	maximum	2292			
	Station 2				
3	minimum	1.7			
3.6	moyenne	2.4			
5.2	maximum	19.6			
	Station 3				
2.3	minimum	2.1			
3	moyenne	3.9			
4.4	maximum	1854.5			
	Station 4				
38.3	minimum				
159.2	moyenne				
1288.8	maximum				















Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2022-07-25 00:00:00 au 2022-08-07 23:59:59

14 jour(s)



Toutes Stations

Turbidité



Taux d'a	cquisition des stat	tions de					
surface							
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée					
94%	Station 1	92%					
91%	Station 2	90%					
92%	Station 3	90%					
52%	Station 4	43%					
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée					
	Station 1						
4.5	minimum	1.3					
38.9	moyenne	7.2					
2292	maximum	1678					
	Station 2						
1.7	minimum	1.6					
2.4	moyenne	2.1					
19.6	maximum	8.7					
	Station 3						
2.1	minimum	0					
3.9	moyenne	2					
1854.5	maximum	5.5					
	Station 4						
	minimum	1.4					
	moyenne	2.1					
	maximum	16.2					









30









Éoliennes en mer IIES d'YEU et

de Noirmoutier

Suivi de la turbidité

Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2022-08-08 00:00:00 au 2022-08-21 23:59:59

14 jour(s)



Localisation théorique de stations

Taux d'a	Taux d'acquisition des stations de					
	surface					
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée				
94%	Station 1	94%				
91%	Station 2	89%				
91%	Station 3	90%				
60%	Station 4	97%				
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée				
	Station 1					
1.3	minimum	1.3				
7.2	moyenne	3				
1678	maximum	8.9				
	Station 2					
1.6	minimum	1.9				
2.1	moyenne	3				
8.7	maximum	4.2				
	Station 3					
0	minimum	1.7				
2	moyenne	2.1				
5.5	maximum	3.1				
	Station 4					
1.4	minimum	1.4				
2.1	moyenne	2				
16.2	maximum	4.5				

















Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2022-08-22 00:00:00 au 2022-09-04 23:59:59

14 jour(s)



Toutes Stations

Turbidité



Taux d'acquisition des stations de						
surface						
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée				
94%	Station 1	93%				
91%	Station 2	91%				
91%	Station 3	90%				
66%	Station 4	99%				
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée				
	Station 1					
1.3	minimum	7.9				
3	moyenne	119.6				
8.9	maximum	396.5				
	Station 2					
1.9	minimum	3.4				
3	moyenne	20.7				
4.2	maximum	318.5				
	Station 3					
1.7	minimum	2.5				
2.1	moyenne	6				
3.1	maximum	84.3				
	Station 4					
1.4	minimum	1.6				
2	moyenne	13.2				
4.5	maximum	252.4				







/22.00:00 08/23.00:00 08/24.00:00 08/25.00:00 08/25.00:00 08/27.00:00 08/27.00:00 08/28.00:00 08/29.00:00 08/30.00:00 08/31.00:00 09/01.00:00 09/02.00:00 09/03.00:00
• Turbidité en surface - NOY2 (données validées) — Turbidité en fond - NOY2 - 29m (données validées) — Turbidité en fond - NOY2 - 29m (données validées)









Éoliennes en mer Iles d'Yeu et

de Noirmoutier

Suivi de la turbidité

Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2022-09-05 00:00:00 au 2022-09-18 23:59:59

14 jour(s)



Toutes Stations

Turbidité



Taux d'acquisition des stations de							
surface							
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée					
94%	Station 1	95%					
91%	Station 2	89%					
91%	Station 3	90%					
70%	Station 4	100%					
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée					
	Station 1						
7.9	minimum	170.8					
119.7	moyenne	261.2					
396.5	maximum	1998					
	Station 2						
3.4	minimum	3.4					
20.7	moyenne	19.3					
318.5	maximum	223.4					
	Station 3						
2.5	minimum	3.3					
6	moyenne	8.4					
84.3	maximum	191.4					
	Station 4						
1.6	minimum	2.7					
13.2	moyenne	14.8					
252.4	maximum	312.5					







09/05/00:00 09/06/00:00 09/07/00:00 09/08/00:00 09/09/09/00:00 09/11/00:00 09/11/00:00 09/12/00:00 09/13/00:00 09/13/00:00 09/15/00:00 09/15/00:00 09/17/00:00 09/17/00:00 09/18/00:00 09/18/00:00 09/17/00:00 09/17/00:00 09/18/00







Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2022-09-19 00:00:00 au 2022-10-02 23:59:59

14 jour(s)



Toutes Stations

Turbidité



Taux d'acquisition des stations de									
surface									
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée							
94%	Station 1	94%							
91%	Station 2	91%							
91%	Station 3	90%							
74%	Station 4	100%							
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée							
	Station 1								
170.8	minimum	117.4							
261.3	moyenne	222.8							
1998	maximum	5189.1							
	Station 2								
3.4	minimum	2.5							
19.3	moyenne	15.7							
223.4	maximum	161.4							
	Station 3								
3.3	minimum	3.7							
8.5	moyenne	7.8							
191.4	maximum	250.1							
	Station 4								
2.7	minimum	0.7							
14.8	moyenne	4.8							
312.5	maximum	25.8							







/19000 09/200000 09/210000 09/220000 09/230000 09/23000 09/250000 09/250000 09/250000 09/270000 09/280000 09/290000 09/290000 10/010000 10 • Turbidité en surface-NOY2 (données validées) — Turbidité au sond - NOY2 - 39m (données validées) — Turbidité au fond - NOY2 - 39m (données validées)



0 19/19 00:00 09/20 00:00 09/21 00:00 09/22 00:00 09/23 00:00 09/24 00:00 09/25 00:00 09/26 00:00 09/27 00:00 09/28 00:00 09/29 00:00 09/30 00:00 10/01 00:00 10/02 00:00 Turb link en surface - NOY3 (données validées) — Turb link en surface - NOY3 (données invalidées) — Turb link en surface - NOY3 - 23.5m (données validées)



Turbidité en surface - NOY4 (données validées) — Turbidité en surface - NOY4 (données invali

Ē





Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2022-10-03 00:00:00 au 2022-10-16 23:59:59

14 jour(s)



Turbidité



Taux d'acquisition des stations de					
surface					
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée			
94%	Station 1	94%			
91%	Station 2	89%			
91%	Station 3	90%			
74%	Station 4	79%			
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée			
	Station 1				
117.4	minimum	0			
222.8	moyenne	29.1			
5189.1	maximum	2173.3			
	Station 2				
2.5	minimum	0			
15.7	moyenne	3.4			
161.4	maximum	68			
	Station 3				
3.7	minimum	0			
7.8	moyenne	2.7			
250.1	maximum	23.2			
	Station 4				
0.7	minimum	0			
4.8	moyenne	3.6			
25.8	maximum	8.3			







au fond - NOY2 - 29m (dor



Turbidité NOY4 0 10/03 00:00 10/04 00:00 10/05 00:00 10/06 00:00



E





Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2022-10-17 00:00:00 au 2022-10-30 23:59:59

14 jour(s)







Taux d'acquisition des stations de					
surface					
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée			
94%	Station 1	93%			
90%	Station 2	87%			
91%	Station 3	89%			
72%	Station 4	53%			
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée			
	Station 1				
0	minimum	1.7			
29	moyenne	3.5			
2173.3	maximum	38.6			
	Station 2				
0	minimum	0.1			
3.4	moyenne	1.5			
68	maximum	4.9			
	Station 3				
0	minimum	1.4			
2.7	moyenne	5.7			
23.2	maximum	31			
	Station 4				
0	minimum	2.7			
3.6	moyenne	9			
8.3	maximum	29.9			













proxymae^{by setec}





Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2022-10-31 01:00:00 au 2022-11-13 23:59:59

14 jour(s)



Taux d'a	acquisition des stat	ions de			
surface					
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée			
94%	Station 1	94%			
90%	Station 2	90%			
90%	Station 3	88%			
66%	Station 4	0%			
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée			
	Station 1				
1.7	minimum	4.2			
3.6	moyenne	16.8			
38.6	maximum	153.9			
	Station 2				
0.1	minimum	1.3			
1.5	moyenne	3.6			
4.9	maximum	9.7			
	Station 3				
1.4	minimum	3			
5.7	moyenne	7.2			
31	maximum	29.9			
	Station 4				
2.7	minimum				
9.1	moyenne				
29.9	maximum				

















Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2022-11-14 01:00:00 au 2022-11-27 23:59:59

14 jour(s)





Taux d'acquisition des stations de					
surface					
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée			
94%	Station 1	94%			
90%	Station 2	90%			
90%	Station 3	90%			
61%	Station 4	0%			
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée			
	Station 1				
4.2	minimum	5.2			
16.9	moyenne	18.6			
153.9	maximum	101.5			
	Station 2				
1.3	minimum	2.5			
3.6	moyenne	5.1			
9.7	maximum	9.5			
	Station 3				
3	minimum	3			
7.2	moyenne	6.5			
29.9	maximum	13.9			
	Station 4				
	minimum				
	moyenne				
	maximum				














de Noirmoutier

Suivi de la turbidité

Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2022-11-28 01:00:00 au 2022-12-11 23:59:59

14 jour(s)





94%	Station 1	95%
90%	Station 2	89%
90%	Station 3	92%
56%	Station 4	0%
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée
	Station 1	
5.2	minimum	5.3
18.6	moyenne	12.1
101.5	maximum	70.6
	Station 2	
2.5	minimum	1.3
5.1	moyenne	3.3
9.5	maximum	9.6
	Station 3	
3	minimum	2.1
6.5	moyenne	4.2
13.9	maximum	9
	Station 4	
	minimum	
	moyenne	
	maximum	















de Noirmoutier

Suivi de la turbidité

Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2022-12-12 01:00:00 au 2022-12-25 23:59:59

14 jour(s)



Toutes Stations





Taux d'acquisition des stations de surface		
94%	Station 1	94%
90%	Station 2	90%
90%	Station 3	91%
53%	Station 4	0%
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée
	Station 1	
5.3	minimum	6
12.1	moyenne	9.7
70.6	maximum	47.1
	Station 2	
1.3	minimum	1.2
3.3	moyenne	3
9.6	maximum	8.3
	Station 3	
2.1	minimum	2.1
4.2	moyenne	5.7
9	maximum	14.6
	Station 4	
	minimum	
	moyenne	
	maximum	















de Noirmoutier

Suivi de la turbidité

Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2022-12-26 01:00:00 au 2023-01-08 23:59:59

14 jour(s)



Toutes Stations

Turbidité



Taux d'acquisition des stations de surface		
94%	Station 1	93%
90%	Station 2	88%
90%	Station 3	88%
49%	Station 4	0%
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée
	Station 1	
6	minimum	6
9.7	moyenne	8.6
47.1	maximum	15.8
	Station 2	
1.2	minimum	2.7
3	moyenne	5.3
8.3	maximum	10.6
	Station 3	
2.1	minimum	3.8
5.7	moyenne	6.4
14.6	maximum	11.9
	Station 4	
	minimum	
	moyenne	
	maximum	

















de Noirmoutier

Suivi de la turbidité

Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2023-01-09 01:00:00 au 2023-01-22 23:59:59

14 jour(s)



Toutes Stations

Turbidité



Taux d'acquisition des stations de		
	surface	
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée
94%	Station 1	95%
90%	Station 2	90%
90%	Station 3	90%
46%	Station 4	0%
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée
	Station 1	
6	minimum	5.8
8.6	moyenne	7.8
15.8	maximum	17.6
	Station 2	
2.7	minimum	2.7
5.3	moyenne	4.9
10.6	maximum	10.6
	Station 3	
3.8	minimum	3
6.4	moyenne	6.2
11.9	maximum	12.7
	Station 4	
	minimum	
	moyenne	
	maximum	













0.500

01/21 00:00 01/22 00:00 (mesure) Min: 4.70 Max: 12.5 Avg: 8.81 01/20 00:00 ode 1/3 (



Suivi de la turbidité

Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2023-01-23 01:00:00 au 2023-02-05 23:59:59

14 jour(s)



Toutes Stations

Turbidité



Taux d'acquisition des stations de		
	surface	
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée
94%	Station 1	94%
90%	Station 2	89%
90%	Station 3	91%
44%	Station 4	0%
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée
	Station 1	
5.8	minimum	5
7.7	moyenne	5.6
17.6	maximum	8.2
	Station 2	
2.7	minimum	2.7
4.9	moyenne	4.5
10.6	maximum	8.7
	Station 3	
3	minimum	2.5
6.2	moyenne	3.4
12.7	maximum	6.4
	Station 4	
	minimum	
	moyenne	
	maximum	







Turbidité en surface - NOY2 (données isolée

Éoliennes en mer IIES d'YEU et

de Noirmoutier







7/23.00:00 01/24.00:00 01/25.00:00 01/26.00:00 01/27.00:00 0 Hauteur 1/3 (mesure) Min: 0.500 Max: 1.70 Avg: 0.982 Current: 1.20 4
02/03 00:00 02/04 00:00 02/05 00:00
Période 1/3 (mesure) Min: 4.60 Max: 13.2 Avg: 9.94 Current: 1





Suivi de la turbidité

Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2023-02-06 01:00:00 au 2023-02-19 23:59:59

14 jour(s)



Toutes Stations

Turbidité



Taux d'acquisition des stations de surface		
94%	Station 1	95%
90%	Station 2	91%
90%	Station 3	90%
41%	Station 4	0%
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée
	Station 1	
5	minimum	5.1
5.6	moyenne	6.3
8.2	maximum	18.6
	Station 2	
2.7	minimum	3
4.5	moyenne	6.2
8.7	maximum	12.1
	Station 3	
2.5	minimum	3.1
3.4	moyenne	3.7
6.4	maximum	5.3
	Station 4	
	minimum	
	moyenne	
	maximum	







Turbidité en surface - NOY2 (données isole

Éoliennes en mer IIES d'YEU et

de Noirmoutier









de Noirmoutier

Suivi de la turbidité

Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2023-02-20 00:00:00 au 2023-03-05 23:59:59

14 jour(s)



Toutes Stations





Taux d'acquisition des stations de		
	surface	
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée
94%	Station 1	95%
90%	Station 2	92%
90%	Station 3	92%
39%	Station 4	0%
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée
	Station 1	
5.1	minimum	5.6
6.3	moyenne	7.9
18.6	maximum	61.4
	Station 2	
3	minimum	4.8
6.2	moyenne	10.5
12.1	maximum	77.6
	Station 3	
3.1	minimum	2.8
3.7	moyenne	3.4
5.3	maximum	9.4
	Station 4	
	minimum	
	moyenne	
	maximum	

















de Noirmoutier

Suivi de la turbidité

Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2023-03-06 00:00:00 au 2023-03-19 23:59:59

14 jour(s)



Turbidité



Taux d'acquisition des stations de		
	surface	
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée
94%	Station 1	94%
90%	Station 2	89%
90%	Station 3	91%
37%	Station 4	0%
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée
	Station 1	
5.6	minimum	7
7.9	moyenne	13
61.4	maximum	115.2
	Station 2	
4.8	minimum	6.1
10.6	moyenne	18
77.6	maximum	1797.2
	Station 3	
2.8	minimum	2.9
3.4	moyenne	6.4
9.4	maximum	13.4
	Station 4	
	minimum	
	moyenne	
	maximum	

















de Noirmoutier

Suivi de la turbidité

Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2023-03-20 00:00:00 au 2023-04-02 23:59:59

14 jour(s)





Taux d'acquisition des stations de surface		
94%	Station 1	93%
90%	Station 2	91%
90%	Station 3	91%
40%	Station 4	97%
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée
	Station 1	
7	minimum	2
13	moyenne	3.9
115.2	maximum	695.2
	Station 2	
6.1	minimum	5.7
18	moyenne	8.6
1797.2	maximum	38.4
	Station 3	
2.9	minimum	3.8
6.4	moyenne	6.1
13.4	maximum	15.4
	Station 4	
	minimum	1.5
	moyenne	12.6
	maximum	53











proxymae^{by setec}



de Noirmoutier

Suivi de la turbidité

Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2023-04-03 00:00:00 au 2023-04-16 23:59:59

14 jour(s)



Toutes Stations

Turbidité



Taux d'acquisition des stations de			
surface			
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée	
94%	Station 1	94%	
90%	Station 2	90%	
90%	Station 3	90%	
43%	Station 4	94%	
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée	
	Station 1		
2	minimum	1.6	
3.9	moyenne	2.3	
695.2	maximum	3.6	
	Station 2		
5.7	minimum	5.3	
8.6	moyenne	17.2	
38.4	maximum	290	
	Station 3		
3.8	minimum	4.8	
6.1	moyenne	14	
15.4	maximum	1536.9	
	Station 4		
1.5	minimum	0.9	
12.7	moyenne	6.2	
53	maximum	458.1	













proxymae^{by setec}



Suivi de la turbidité

Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2023-04-17 00:00:00 au 2023-04-30 23:59:59

14 jour(s)





Taux d'acquisition des stations de				
	surface			
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée		
94%	Station 1	94%		
90%	Station 2	90%		
90%	Station 3	88%		
45%	Station 4	100%		
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée		
	Station 1			
1.6	minimum	1.4		
2.3	moyenne	1.7		
3.6	maximum	3.3		
	Station 2			
5.3	minimum	6		
17.2	moyenne	27.9		
290	maximum	521.9		
	Station 3			
4.8	minimum	5.7		
14	moyenne	17.1		
1536.9	maximum	200.3		
	Station 4			
0.9	minimum	0.9		
6.2	moyenne	2.9		
458.1	maximum	18.7		

TEN

















Suivi de la turbidité

Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2023-05-01 00:00:00 au 2023-05-14 23:59:59

14 jour(s)



Toutes Stations

Turbidité



Taux d'acquisition des stations de				
	surface			
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée		
94%	Station 1	94%		
90%	Station 2	90%		
90%	Station 3	90%		
47%	Station 4	98%		
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée		
	Station 1			
1.4	minimum	1.1		
1.7	moyenne	1.4		
3.3	maximum	8		
	Station 2			
6	minimum	0.9		
27.9	moyenne	5.2		
521.9	maximum	475.1		
	Station 3			
5.7	minimum	0.8		
17.1	moyenne	11.8		
200.3	maximum	221.6		
	Station 4			
0.9	minimum	0.4		
2.9	moyenne	2.1		
18.7	maximum	10		

















de Noirmoutier

Suivi de la turbidité

Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2023-05-15 00:00:00 au 2023-05-28 23:59:59

14 jour(s)



Turbidité



Taux d'acquisition des stations de					
surface					
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée			
94%	Station 1	94%			
90%	Station 2	90%			
90%	Station 3	95%			
49%	Station 4	97%			
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée			
	Station 1				
1.1	minimum	1.3			
1.4	moyenne	1.5			
8	maximum	3.4			
	Station 2				
0.9	minimum	1.3			
5.2	moyenne	1.6			
475.1	maximum	3.8			
	Station 3				
0.8	minimum	1.7			
11.7	moyenne	1.9			
221.6	maximum	2.9			
	Station 4				
0.4	minimum	0.6			
2.1	moyenne	1.1			
10	maximum	2.5			









0 000 05/15 00:00 05/16 00:00 05/17 00:00 05/18 00:00 05/19 00:00 05/20 00:00 05/22 10:00 05/22 00:00 05/22 00:00 05/24 00:00 05/24 00:00 05/26 00:00 05/27 00:00 05/27 00:00 05/28 00:000











Suivi de la turbidité

Eoliennes en Mer Yeu Noirmoutier

Compte rendu d'acquisition du 2023-05-29 00:00:00 au 2023-06-11 23:59:59

14 jour(s)







Taux d'acquisition des stations de					
surface					
depuis la mise à l'eau	Turbidité	sur la période étudiée			
94%	Station 1	92%			
90%	Station 2	90%			
91%	Station 3	100%			
49%	Station 4	58%			
sur la période précédente	Turbidité (NTU)	sur la période étudiée			
	Station 1				
1.3	minimum	1.4			
1.5	moyenne	3.2			
3.4	maximum	15.6			
	Station 2				
1.3	minimum	1.4			
1.6	moyenne	1.7			
3.8	maximum	4.7			
	Station 3				
1.7	minimum	1.6			
1.9	moyenne	1.7			
2.9	maximum	2.7			
	Station 4				
0.6	minimum	0.6			
1.1	moyenne	1.7			
2.5	maximum	348.8			

















Annexe 14 : Définition des seuils pour le suivi de la turbidité en phase travaux

Annexe 14 : Définition des seuils pour le suivi de la turbidité en phase travaux



HYDRODYNAMIQUE ET DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE SUIVI DE L'EVOLUTION TEMPORELLE ET SPATIALE DE LA TURBIDITE LIEE AUX TRAVAUX

NOTE METHODOLOGIQUE A L'ATTENTION DU CONSEIL SCIENTIFIQUE DU GIS

DEFINITION DES SEUILS POUR LE SUIVI DE LA TURBIDITE EN PHASE TRAVAUX



AVRIL 2023





Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable : en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des indications et énonciations de Setec Energie Environnement ne saurait engager la responsabilité de celle-ci.

<u>Crédit photographique</u>: Setec Energie Environnement (sauf mention particulière)

Auteurs :

Guillaume JACQ

rédaction

Setec Energie Environnement Siège social : Immeuble Central Seine 42-52 quai de la Râpée CS 7120 75 583 Paris cedex 12 France

Agence de La Forêt-Fouesnant Agence de Toulon 358 Z.A La Grande Halte 29 940 La Forêt-Fouesnant France

15 Rue Mirabeau 83000 Toulon France

Tél. + 33 2 98 51 41 75

Tél. + 33 4 86 15 61 80



Tél. +33 1 82 51 55 55

SAS au capital de 50 000 € - RCS Paris 818 424 970 - TVA FR58818424970



DOCUMENT

Zone	Domaine	Phase	Nature document	Numéro	
ED	MEQUIDE	Définition des	Mémo	02447007	
FK	MESURE	seuils	méthodo	02447997	

REVISIONS

Version	Date	Auteurs / Vérificateur	Description
1	13/04/2023	Guillaume JACQ/Christophe Houise	Première version

COORDONNEES

Adresse de l'établissement	Directeur de projet			
Setec Energie Environnement	Philippe BORNENS			
358 ZA La Grande Halte	Directeur			
29940 La Forêt Fouesnant				
FRANCE	358 ZA La Grande Halte			
	29940 La Forêt Fouesnant			
Tél + 33 (0)2 98 51 41 75	France			
	Tél. +33 (0)2 98 51 44 79			
	Mob. +33 (0)6 07 97 09 14			
	philippe.bornens@setec.fr			



Sommaire

1	INTRODUCTION
2 DA	RAPPEL SUR L'ETAT DE L'ART VIS-A-VIS D'UN SUIVI DE LA TURBIDITE NS LE CADRE DE TRAVAUX MARITIMES
3	LE CHOIX DES STATIONS DE SUIVI
4	UN SUIVI DIMENSIONNE AU REGARD DE L'IMPACT ESTIME
5 AD	CONTROLE DES HYPOTHESES DE L'ETUDE D'IMPACT ET APTATION DU PROCESSUS
6 L'E	LES HYPOTHESES DE DISPERSION DE LA TURBIDITE ISSUES DE TUDE D'IMPACT
7	LE SUIVI EN CONTINU
8	DEFINITION DES SEUILS
8.1	SIGNIFICATION
8.2	DEFINITION NUMERIQUE



Figures

Figure 1 : Localisation du projet Eoliennes en mer Iles d'Yeu et de Noirmoutier6
Figure 2 : Localisation des stations du suivi de la turbidité8
Figure 3 : Processus général du suivi de la turbidité (hors rapports d'analyse prévus)10
Figure 4 : Panache de Matière en suspension généré par un volume de cuttings (résidus) = 1000 m3 pour une éolienne
Figure 5 : Champs de courants moyennés à la surface pour le flot (gauche) et le jusant (droite) 12
Figure 6 : Exemple de panaches turbides observés lors des travaux du parc de Saint-Nazaire (source :
images satellites copernicus)12
Figure 7 : Représentation à l'échelle de la dispersion d'un panache tel que simulé dans l'EIE13
Figure 8 : Représentation à l'échelle de la dispersion d'un panache14
Figure 9 : Exemple d'une dispersion vers le large15

Tableaux

Tableau 1 : Niveaux de référence pour la définition des seuils	.19
Tableau 2 : Définition numérique des seuils	.21



1 INTRODUCTION

Les travaux d'installation des éoliennes sur le futur parc éolien en mer de Yeu/Noirmoutier doivent faire l'objet d'un suivi en continu de la turbidité, conformément aux exigences de l'arrêté préfectoral n°18-DDTM85-721 du 29 octobre 2018 d'autorisation des travaux. Ce suivi doit s'appuyer sur un seuil d'alerte et un seuil critique, celui-ci étant synonyme d'arrêt temporaire des travaux.

L'objet de cette note est de détailler les contraintes et conditions qui ont guidé les choix pour établir le protocole de suivi de la turbidité en continu, ainsi que l'approche méthodologique qui justifie le choix des seuils définis à la fin du document.

La note apporte également quelques éléments de justification sur des sujets abordés durant l'atelier du 3 avril dernier avec les experts du conseil scientifique du GIS.



Figure 1 : Localisation du projet Eoliennes en mer lles d'Yeu et de Noirmoutier (source : document de cadrage du projet)



2 RAPPEL SUR L'ETAT DE L'ART VIS-A-VIS D'UN SUIVI DE LA TURBIDITE DANS LE CADRE DE TRAVAUX MARITIMES

La mesure de la turbidité est standardisée sous la norme ISO 7027-1:2016 qui prescrit des méthodes quantitatives de détermination de la turbidité de l'eau. Les techniques standards de quantification de la turbidité sont très bien maitrisées. En revanche, un suivi de la turbidité générée par des travaux en mer ne dispose pas de cadre standardisé, la méthode étant systématiquement adaptée à chaque projet. La mise en œuvre d'un turbidimètre optique standard reste la technique la mieux maitrisée pour obtenir des mesures fiables en quantité, lorsque les conditions d'utilisation sont bien maitrisées pour éviter les biais de mesure. En complément, il existe plusieurs techniques qui apportent chacune leur lot d'information, mais qui sont peu ou pas standardisées (voir notre proposition dans la fiche protocole AP2). Au bilan, un suivi de turbidité en mer peut s'appuyer sur plusieurs techniques plus ou moins standardisées, mais la manière dont ces techniques sont combinées et mises en œuvre sort complètement du champ standard. Dans le cas des parcs éoliens français en cours de construction la technique couramment mise en œuvre reste le turbidimètre optique. Il peut être installé en surface ou proche du fond. Installés en réseau, ces turbidimètres permettent d'échantillonner une zone sur plusieurs stations.

3 LE CHOIX DES STATIONS DE SUIVI

Le choix du nombre de stations est multifactoriel : la nature des travaux, l'hydrodynamisme, la sensibilité locale à la turbidité, etc.

La localisation des stations de mesure doit également tenir compte de la position des travaux pour que 1) la mesure soit pertinente 2) les mesures soient réalisables au sens de la coactivité entre les différents usagers de la mer avant les travaux (avec les pêcheurs et plaisanciers essentiellement) et pendant les travaux (avec les divers navires requis pour l'installation du parc). On rappelle que dans le cas du suivi de la turbidité pour le parc de Yeu/Noirmoutier le choix de la position des stations pour l'EDR¹ a fait l'objet de plusieurs échanges avec les différentes parties intéressées (comité des pêches, services de l'état) pour aboutir à une solution qui n'était pas celle qui avait été initialement proposée (voir figure suivante). Cela met en évidence les difficultés, qui peuvent aller à l'encontre d'un choix purement scientifique, afin d'aboutir à un consensus pratique.

¹ EDR : Etat de Référence avant travaux



Note méthodologique à l'attention du conseil scientifique du GIS Définition des seuils pour le suivi de la turbidité en phase travaux



Figure 2 : Localisation des stations du suivi de la turbidité

4 UN SUIVI DIMENSIONNE AU REGARD DE L'IMPACT ESTIME

Les enjeux rattachés au benthos ont été déterminés de faible (substrat meuble) à moyen (substrat rocheux) dans l'Etude d'Impact Environnemental (EIE) du parc. Par ailleurs, les informations apportées par EMYN sur l'adaptation des méthodes de travaux tendent à minimiser les quantités de matières qui seront remises en suspension par rapport à ce qui a été initialement considéré dans l'EIE. Cela a été documenté dans un dossier de porter à connaissance (BRLi, 2021²). Les hypothèses finalement retenues pour la dernière modélisation de dispersion tiennent compte d'un volume de clapage de 1000m³ (350m³ initialement) depuis la surface et d'un taux de remise en suspension de 20% (voir les résultats de dispersion plus bas). On précise également qu'il ne sera pas utilisé de bouée lubrifiante mais de l'eau de mer en circuit ouvert, éliminant ainsi une source potentielle de matière en suspension.

Le dispositif de suivi de la turbidité, prévu avant le début de l'état de référence, a été dimensionné pour tenir compte des hypothèses et des résultats présentés dans le porter à connaissance. Le suivi s'appuie donc sur un réseau statique qui sera maintenu actif pour la durée des travaux susceptibles de générer de la remise en suspension : 1) la préparation des sols 2) le forage des pieux. Le dispositif mis en œuvre est proportionné à l'impact potentiel estimé.

4 bouées ont été déployées pour établir l'état de référence (EDR) et suivre les travaux. Le choix de ne pas modifier la position des bouées pendant les travaux se justifie par le niveau d'enjeux qualifié dans l'EIE et donc la complexité logistique et matérielle qui en découle.

² BRL ingénierie. (2021). Dossier de Porter à Connaissance portant sur le changement de fondations



5 CONTROLE DES HYPOTHESES DE L'ETUDE D'IMPACT ET ADAPTATION DU PROCESSUS

Afin de vérifier les hypothèses de l'EIE et donc la validité de seuils qui sont proposés en fin de document, 4 suivis spécifiques vont être réalisés, deux en 2023 et deux en 2024, sur des ateliers de préparation de sol et de forage. Ces suivis, détaillés dans la fiche protocole AP2, vont permettre de qualifier la forme et l'intensité du panache turbide qui sera généré par ces opérations. Les deux types de travaux faisant l'objet du suivi seront qualifiés. On précise qu'en 2023, le forage n'aura lieu qu'au niveau de la sous-station électrique en mer et qu'un certain nombre d'emplacements de 41 positions sur les 61 futures éoliennes feront l'objet d'une préparation de sols, au regard de la nature des fonds majoritairement rocheux du site.

La courte durée du chantier de construction prévue en 2023 permet d'envisager une révision des seuils avant les travaux de 2024, sur la base des résultats des suivis spécifiques et d'un retour d'expérience de l'application des seuils en 2023.

Le processus général est synthétisé dans le logigramme de la figure suivante.



Note méthodologique à l'attention du conseil scientifique du GIS Définition des seuils pour le suivi de la turbidité en phase travaux



Figure 3 : Processus général du suivi de la turbidité (hors rapports d'analyse prévus)

6 LES HYPOTHESES DE DISPERSION DE LA TURBIDITE ISSUES DE L'ETUDE D'IMPACT

Pour évaluer l'impact de la turbidité dans l'EIE, la dispersion des résidus de forage a été simulée par le modèle TELEMAC-2D selon une approche maximaliste (dispersive) pour laquelle on néglige leur vitesse de chute dans la colonne d'eau. De tels résultats sont schématiques, mais ils permettent d'apprécier les niveaux de turbidité induite et de les comparer au bruit de fond. Les impacts peuvent alors être appréciés selon une approche majorante. L'impact a été étudié en simulant un clapage depuis la surface. On rappelle que pour les travaux de préparation de sol, le clapage aura lieu sous la ligne de flottaison du navire et que pour le forage les sédiments seront redéposés au fond au moyen de J-Tubes. Les résultats ont montré que l'hydrodynamisme local, dans les conditions de la modélisation (coefficient de 95), engendre une dispersion qui porte essentiellement vers le nord-est (figure suivante).



Figure 4 : Panache de Matière en suspension généré par un volume de cuttings (résidus) = 1000 m3 pour une éolienne (Source : BRLi, 2021)

Dans l'exemple présenté, le panache turbide forme une ellipse d'environ 9 km de long sur 4 km de large.

A environ 5 km de distance du point de dépôt, la concentration de matières en suspension est du même ordre de grandeur que celle des mois les moins turbides (1 à 4 mg/L).

Les résultats montrent que les concentrations les plus fortes en MES sont localisées au droit du point d'immersion (jusqu'à 100 mg/L). Toutefois en un peu moins de 12h après la fin du clapage, les concentrations tendent vers le bruit de fond (estimé 1 à 4 mg/L). En 40h, le panache est totalement dilué.

On précise que l'alternance des courants de marée engendre tout de même une alternance des flux diffusifs (figure suivante).



Note méthodologique à l'attention du conseil scientifique du GIS Définition des seuils pour le suivi de la turbidité en phase travaux



Figure 5 : Champs de courants moyennés à la surface pour le flot (gauche) et le jusant (droite) (Source : BRLi, 2021)

Au bilan, les panaches turbides s'orientent dans le sens des courants de marée, prenant une forme ellipsoïdale très allongée (rapport de 1/10 environ), comme cela a pu être observé sur le parc de Saint-Nazaire (Figure 6). La forme du panache peut être contrariée par la houle, les vagues et le vent.



Figure 6 : Exemple de panaches turbides observés lors des travaux du parc de Saint-Nazaire (source : images satellites copernicus)

Note méthodologique à l'attention du conseil scientifique du GIS Définition des seuils pour le suivi de la turbidité en phase travaux



7 LE SUIVI EN CONTINU

Nous avons détaillé précédemment les raisons pour lesquelles le réseau de suivi est statique. Nous avons également vu les conditions dominantes de dispersion des panaches et les hypothèses conservatrices qui ont été prises pour les modélisations de l'étude d'impact. Tout cela permet d'établir des hypothèses de dispersion autour des stations de suivi déjà en place.

Le réseau de suivi comporte 4 stations, ce qui constitue un effort d'échantillonnage relativement honorable au regard des effets prévus et de ce qui se pratique par ailleurs sur les autres parcs français en construction. Ce nombre de stations va permettre de suivre les travaux à une échelle macro pour l'ensemble du parc, garantissant le suivi en continu d'un potentiel risque de remise en suspension de particules fines, qui serait bien supérieur aux estimations de l'étude d'impact.

Cependant, compte tenu des méthodes de travaux qui vont être utilisées, ce risque est jugé négligeable, voire nul. La station SIV-NOY4, ne sera donc pas impactée par les travaux. A une échelle plus locale, de l'ordre de quelques kilomètres autour des bouées SIV-NOY1, SIV-NOY2 et SIV-NOY3, le suivi devrait permettre de mesurer les résidus de matière en suspension issus des travaux, pour une dizaine d'éoliennes, soit environ 15% d'échantillonnage sur l'ensemble du parc. En effet, si l'on superpose, à la carte de position des futures éoliennes, la simulation présentée plus haut (cf Figure 7, mise à l'échelle), on obtient une représentation de la dispersion par rapport à la station SIV-NOY3. On peut extrapoler jusqu'aux stations SIV-NOY1 et SIV-NOY2. Cet exercice tout à fait théorique permet de situer les trois stations par rapport aux futurs panaches et donc d'estimer le niveau de turbidité auquel ces stations seront potentiellement soumises. Notons que dans le cas d'une dominante de courant induite par un fort vent de secteur nord/nord-est, la dispersion pourrait s'orienter vers le sud/sud-est, auquel cas la station SIV-NOY2 serait soumise à la dispersion de MES issues des travaux situés au nord de celle-ci.



Figure 7 : Représentation à l'échelle de la dispersion d'un panache tel que simulé dans l'EIE



énergie environnement

L'exercice a été répété sur chacune des éoliennes pour lesquelles la simulation de panache pourrait avoir une incidence sur les mesures des stations du réseau (figures suivantes).



Figure 8 : Représentation³ à l'échelle de la dispersion d'un panache aux abords des stations SIV-NOY1, SIV-NOY2 et SIV-NOY3

³ A noter que les figures présentées n'ont qu'une valeur illustrative générale



La position centrale de la Station SIV-NOY2 lui confère une place privilégiée pour le suivi des travaux de l'éolienne située juste au nord de celle-ci.

Dans le cas d'une inversion de la résultante de dispersion ou dans une situation de clapage au début du jusant, on peut anticiper une dispersion qui porterait vers le large, avec une incidence plus importante sur les mesures de la station SIV-NOY1, mais moindre pour l'environnement compte tenu de l'augmentation de la profondeur et donc du volume de dilution. Cette hypothèse est faible, mais nécessite d'être envisagée pour dimensionner le seuil pour la station SIV-NOY1.



Figure 9 : Exemple d'une dispersion vers le large pouvant affecter significativement les mesures sur SIV-NOY1

8 DEFINITION DES SEUILS

8.1 SIGNIFICATION

La notion de seuil est établie dans l'arrêt préfectoral n°18-DDTM85-721 d'autorisation au titre L 214-3 du code de l'environnement, à l'article 12.3.1, comme suit :

«[...] Par ailleurs, un protocole de mesures intégrant un seuil d'alerte et un seuil critique (arrêt des travaux) doit être soumis au préfet de la Vendée, préalablement au démarrage des travaux. »

En complément du seuil d'alerte et de seuil critique nous proposons d'introduire un seuil de vigilance afin de graduer un peu plus les niveaux d'alerte avant d'atteindre le seuil ultime qui déclenche l'arrêt des travaux. Cela permet d'ajouter une dimension de contrôle supplémentaire dans le protocole de suivi de la turbidité.

Les seuils sont définis comme ceci :

1) Seuil de vigilance :

Le seuil de vigilance constitue le premier seuil pour lequel des actions spécifiques sont engagées. Ce seuil n'étant pas réglementaire, il ne déclenche pas d'alerte particulière à l'attention des services de l'état. A ce stade la vigilance dans le suivi des travaux est accrue avec un contrôle des données et un reporting sur les causes du dépassement. Les conditions d'exécution des travaux demeurent, avec une attention particulière sur l'évolution de la turbidité. Le seuil de vigilance sera défini à l'issue des travaux préparatoires de 2023.

2) Seuil d'alerte :

Le seuil d'alerte constitue le premier niveau réglementaire au-delà duquel une alerte est émise aux services de l'état. A ce stade une alerte est transmise aux autorités, la vigilance est maintenue et le reporting est consolidé. Les conditions d'exécution des travaux peuvent être adaptées et l'évolution de la turbidité est suivie pour anticiper toute évolution vers le seuil critique.

3) **Seuil critique** : L'arrêté préfectoral des travaux définit le seuil critique comme le seuil qui déclenche l'arrêt temporaire des travaux. A ce stade une alerte est transmise au responsable environnemental du chantier qui donne l'ordre d'arrêter temporairement les travaux. Une alerte est également transmise aux services de l'état.



Note méthodologique à l'attention du conseil scientifique du GIS Définition des seuils pour le suivi de la turbidité en phase travaux



Infographie application web de suivi (source : setec)

Le protocole de suivi de la turbidité sera rédigé une fois que les seuils auront été validés par le conseil scientifique. Il sera transmis pour validation aux services de l'état avant le démarrage des travaux. Ce protocole définira les étapes de contrôles, les personnes responsables pour le suivi ainsi que les actions à mener et les délais de réactivité. Il précisera également les livrables qui seront produits à chaque étape. Ce protocole sera synthétisé sous la forme d'un logigramme.

8.2 **DEFINITION NUMERIQUE**

L'approche méthodologique présentée plus haut nous amène à considérer les seuils au regard des niveaux d'enjeux qualifiés de moindres et temporaires par l'étude d'impact. Un raisonnement qui intègrerait la sensibilité des espèces benthiques aurait prévalu si l'enjeu avait été fort, et donc qu'une espèce ou un habitat particulièrement sensible aurait été présent. De plus cet exercice serait particulièrement complexe, car il nécessiterait de disposer d'information scientifique suffisamment fournie pour estimer un niveau de matière en suspension susceptible de pouvoir causer des dommages pour l'espèce ou l'habitat considéré. Cela ne semble pas tout à fait indiqué dans le cas présent.

La proposition qui est faite est de considérer que la modélisation nous apporte des niveaux de référence qui ont été étudiés spécifiquement et validés lors du processus de l'étude d'impact. Ces niveaux sont donc acceptés au sens réglementaire. La définition des seuils étant réglementaire pour ce projet, il semble que l'approche proposée soit proportionnée.

On précise tout de même que les mesures de turbidité auront lieu indépendamment des seuils, et que toute analyse ou interprétation au regard de l'impact sur le compartiment biologique ne sera pas affectée par ces seuils.

On définit ici les références suivantes :

Note méthodologique à l'attention du conseil scientifique du GIS Définition des seuils pour le suivi de la turbidité en phase travaux



- Référence modélisation : il s'agit des niveaux de turbidité susceptibles d'être atteints au regard des résultats des modélisations présentés plus haut et en fonction de la position des stations par rapport aux travaux. Les valeurs sont exprimées en mg/l puis converties en NTU grâce à la fonction de transfert établie pendant l'état de référence (tableau suivant). La référence modélisation peut présenter deux valeurs en fonction du sens de la résultante des courants et donc de la proximité de la station avec les travaux (voir explication plus haut). Compte tenu de l'intensité des travaux préparatoires de sol qui auront lieu en 2023 (rythme de 24h/24 et 7j/7 pendant deux mois), nous introduisons un facteur d'incertitude de 2 sur les niveaux inférieurs ou égaux à 10 mg/l. C'est le cas notamment pour les stations SIV-NOY1 et SIV-NOY3.
- **Référence issue des mesures de l'EDR** : il s'agit des niveaux maximums mesurés par le réseau de suivi pendant l'état de référence, sur la période juin 2022 à fin mars 2023 ;
- Référence retenue : il s'agit de la valeur de référence qui est retenue pour le calcul de seuil. Elle est égale au maximum entre la référence modélisation et la référence issue des mesures de l'EDR. En effet, une station à proximité immédiate des travaux sera soumise à un panache de turbidité plus important qu'une station localisée à plusieurs kilomètres des travaux. C'est le cas pour la station SIV-NOY2 qui est centrée sur le parc et localisée à 400m de l'éolienne la plus proche ;

On définit également deux saisons pour tenir compte de la variabilité temporelle de la turbidité dans le secteur :

- Hivernale : de novembre à avril
- Estivale : de mai à octobre

Les valeurs de référence retenues sont établies pour satisfaire les deux conditions suivantes :

- La valeur de référence doit être au moins égale au maximum de la turbidité naturelle
- La valeur de référence doit être au moins égale au minimum de turbidité que la station est susceptible de capter pendant les travaux (valeur de la modélisation), donc variable d'une station à l'autre.



Le tableau suivant définit les différentes références, et les valeurs retenues pour la définition des seuils.

		Référence	Références issues des		Valeur de référence		
Station	Référence	modélisation	tion mesures de l'EDR		retenue		Commentaire
	modélisation	Equivalent NTU ⁴	Hivernale	Estivale	Hivernale	Estivale	
	1 mg/l	0.5 NTU					
SIV-	diffusion sud/nord	diffusion sud/nord				Dist mini à	
NOY1	2⁵x10 mg/l	10 NTU	4.0 NTU	4.0 N I U		IUNIU IUNIU	éolienne : 2.8 km
	ainusion nord/sud	diffusion nord/sud					
		15 NTU					
SIV-	30 mg/l diffusion sud/nord 100 mg/l diffusion	diffusion du sud/nord	< 10 NTU	5.5 NTU	J 50 NTU	ITU 50 NTU	Dist mini au sud : 1.5 km
NOY2		50 NTU					Dist mini au
	nord/sud	diffusion nord/sud					nora : 400m
SIV- NOY3	2 ⁶ x10 mg/l	10 NTU	<15 NTU	4.5 NTU	15 NTU	10 NTU	Dist mini : 3 km
SIV- NOY4	NA		50 NTU	5 NTU	> 50 NTU	5 NTU	50 NTU mesurés le 31/03/23 à 14h45 en conditions de tempête (H1/3 : 3.4m, Hmax : 5.5m, T : 10s, Vent : 30kt, coef : 26)

Tableau 1 : Niveaux de référence pour la définition des seuils

Le choix des valeurs de référence se justifie comme suit :

. Pour les stations SIV-NOY1 : les mesures de l'état de référence montrent que la turbidité naturelle sur cette station est moindre tout au long de l'année. La station étant localisée au sud-est du parc, il est peu probable qu'elle soit soumise à un niveau supérieur à quelques NTU pendant les travaux. Toutefois, on rappelle que caractère alternatif des courants de marée peut avoir un effet sur la dispersion de particules en suspension vers le sud-ouest, en direction de la bouée. Cette éventualité a été considérée dans le choix de la valeur de référence.

. Pour les stations SIV-NOY2 et SIV-NOY3 : il demeure une incertitude sur le niveau maximum atteint lors de l'état de référence compte tenu du biais que fait peser la présence de biofouling sur la

⁴ MES = 2.16 x NTU, moyenne issue de la calibration présentée dans le rapport d'état de référence

⁵ Facteur d'incertitude tel que défini plus haut sous « référence modélisation »

⁶ Facteur d'incertitude tel que défini plus haut sous « référence modélisation »

énergie environnement

mesure, pendant l'hiver. Il n'a pas été possible de réaliser la maintenance sur ces deux stations lors de la dernière intervention en mars, ce qui aurait permis de lever l'incertitude avec les observations faites pendant la tempête de fin mars. Des mesures comparatives ont tout de même pu être réalisées lors de la dernière intervention, permettant d'estimer le biais de mesure à quelques NTU avec des valeurs maximales comprise entre 10 et 15 NTU pour les deux stations. Pour la station SIV-NOY2, le niveau de référence retenu est celui de la modélisation, donc bien au-dessus du maximum atteint pendant l'état de référence. En revanche pour la station SIV-NOY3, plus éloignée des travaux, il convient de prendre une marge de sécurité liée à l'incertitude de mesure, soit une valeur de référence établie à 15 NTU en période hivernale pour cette station.

. Pour la station SIV-NOY 4 : La dynamique de la turbidité à proximité des côtes est forte. Elle implique de considérer deux niveaux de référence, fonction de la saison. On introduit ainsi les notions de variabilité spatiale et temporelle qui ont été mises en évidence dans l'état de référence. Le maximum atteint lors de la tempête de fin mars nous indique que la turbidité peut dépasser 50 NTU, mais les maximums n'ont pas été mesurés en l'absence de bouée sur cette station durant l'hiver (causé par un décrochage intempestif).

Les valeurs de référence étant établies (cf Tableau 1), il convient de leur appliquer un coefficient de sécurité pour définir les seuils. Des coefficients de 1.5 et 2 sont communément appliqués dans le cadre de suivis de travaux en mer. C'est le cas notamment pour le suivi du raccordement électrique au Tréport pour lequel setec est missionné pour RTE. Ces coefficients permettent de tenir compte de la variabilité naturelle de la turbidité ambiante qui n'est pas prise en compte dans la modélisation et doit s'ajouter aux valeurs modélisées. Par ailleurs, en période estivale, ces coefficients permettent d'intégrer une variabilité liée à la présence de plancton pouvant générer une augmentation de turbidité non minérale ponctuelle. Même si ce phénomène n'a pas été observé pendant l'état de référence, il convient d'en tenir compte pour limiter le déclenchement d'alertes intempestives.



L'année 2023 constituant une année d'observation, on propose d'appliquer les coefficients respectivement de 1.5 et 2 au seuil d'alerte et au seuil d'arrêt, tels que définis dans le tableau suivant :

			Seuil de	niveau 1	Seuil de	niveau 2
Station	Valeur de référence		(Ale	erte)	(Arrêt)	
otation			1.5 x ré	1.5 x référence		érence
	Hivernale	Estivale	Hivernale	Hivernale Estivale		Estivale
SIV-			15 NTU	15 NTU	20 NTU	20 NTU
NOY1	10 1010		13 11 0	13 11 0	20 10	201010
SIV-			75 NTU	75 NTU	100 NTU	100 NTU
NOY2	301010	30 1010	75 110	75 10		
SIV-			22 NTU	15 NTU	30 NTU	20 NTU
NOY3	15 10 10		23 1110	IJINIU	30 10	20 10 0
<u>e</u> lv	50 NTU	5 NTU	NA	NA	NA	NA
	200 NTO	51110	Justification si	Justification si	Justification si	Justification si
NO 14			> 75 NTU	> 8 NTU	> 75 NTU	> 8 NTU

Tableau 2 : Définition numérique des seuils

Les seuils sont définis en NTU pour correspondre à l'unité de mesure des sondes.

En termes de calcul des valeurs à comparer aux seuils, nous proposons d'effectuer un déclenchement sur la base d'un dépassement de moyenne horaire, cela afin de limiter les erreurs de mesures qui sont réalisées toutes les 15 minutes.

La station SIV-NOY4 étant particulièrement éloignée du parc et compte tenu de la variabilité temporelle de la turbidité à cet endroit, la définition d'un seuil exploitable ne nous semble pas possible. Afin de conserver un contrôle sur cette station, nous proposons de justifier tout dépassement supérieur à 75 NTU en période hivernale et supérieur à 8 NTU en période estivale.

Les travaux de forage en 2023 seront réalisés pour des pieux d'un diamètre de 2.5m de la sous-station électrique pour une fondation jacket. En fonction des résultats, un ajustement des seuils pourra être fait pour tenir compte du diamètre des monopieux des éoliennes (7.5m) qui seront installés en 2024. Par ailleurs, un retour d'expérience sera présenté en Conseil Scientifique du GIS sur les observations faites en 2023 afin de consolider le suivi pour 2024.


setec énergie environnement

www.setec.fr

CERTIFICAT N° 11 04 2294

Setec Energie Environnement

Siège social	Agence de La Forêt-Fouesnant	Agence de Toulon
Immeuble Central Seine	358 Z.A La Grande Halte	15 rue Mirabeau
42-52 quai de la Râpée	29940 La Forêt-Fouesnant	83000 Toulon
CS 7120	France	France
75583 Paris cedex 12		
France	Tél. + 33 2 98 51 41 75	Tél. + 33 4 86 15 61 80

Tél. +33 1 82 51 55 55



setec énergie environnement

www.setec.fr

OPOiBi L'INGÉNIERIE QUALIFIÉE **N°** 11 04 2294

Setec Energie Environnement

Siège social	Agence de La Forêt-Fouesnant	Agence de Toulon
Immeuble Central Seine	358 Z.A La Grande Halte	15 rue Mirabeau
42-52 quai de la Râpée	29940 La Forêt-Fouesnant	83000 Toulon
CS 7120	France	France
75583 Paris cedex 12		
France	Tél. + 33 2 98 51 41 75	Tél. + 33 4 86 15 61 80

