

PHRESQUES

*Projet d'Harmonisation et de REnforcement du Suivi haute-fréquence
de la QUALITÉ de l'Eau de la vallée de Seine*

- Synthèse des acquis de la phase 1 -

Version du 15 juin 2018



Station de mesure SCENES déployée au large du Havre
dans le cadre du projet PHRESQUES



Résumé

Les deux phases du projet PHRESQUES (*Projet d'Harmonisation et de REnforcement du Suivi haute-fréquence de la QUalité de l'Eau de la vallée de Seine*) ont pour objectif de mettre en place un dispositif de suivi en continu de la qualité de l'eau cohérent à l'échelle du continuum Seine. Par le regroupement et le développement des dispositifs existants, le méta-réseau PHRESQUES permettrait de suivre près de 10 paramètres, caractérisant le fonctionnement de l'hydro-système de Paris à la baie de Seine.

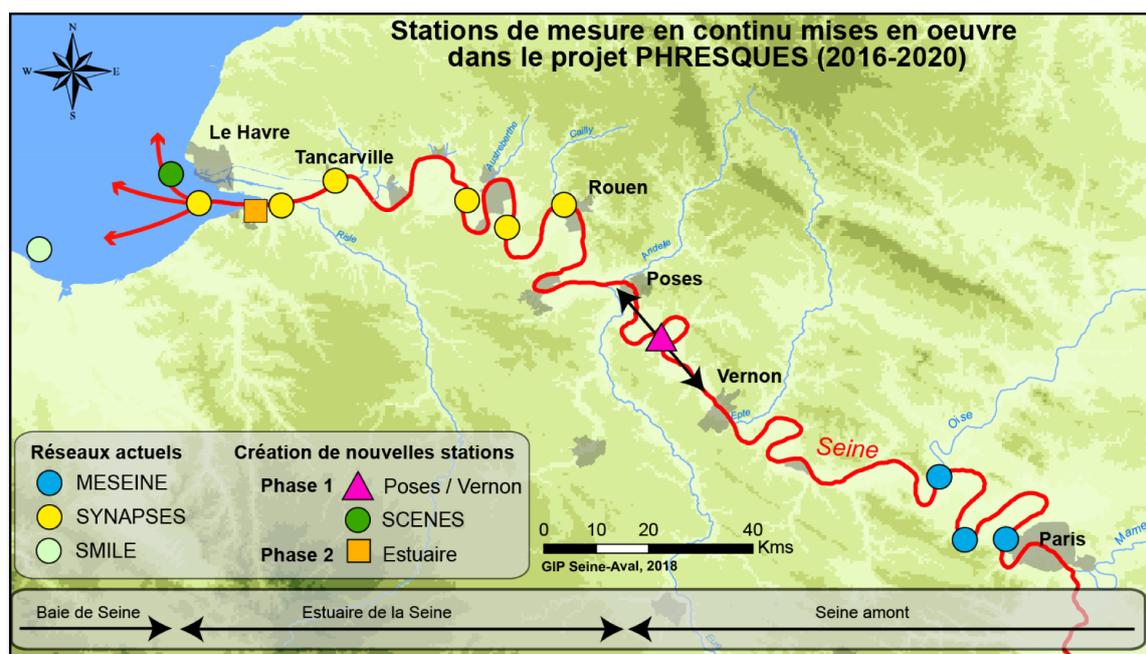


Figure 1 : Carte des stations de mesures du projet PHRESQUES

En lien avec le rapprochement des programmes de recherche PIREN Seine et Seine-Aval, la mise en place de cet outil, parmi les plus performants à l'échelle mondiale, favorisera l'émergence de projets de recherche innovants et cohérents à l'échelle du continuum Seine. D'un point de vue opérationnel, les données et les connaissances acquises permettront à terme aux gestionnaires de disposer d'un outil de suivi du fonctionnement de l'écosystème Seine fiable et particulièrement pertinent en contexte de changement climatique.

Depuis le début du projet, les échanges entre les différents scientifiques travaillant sur la Seine : partie fluviale, sur l'estuaire et sur la baie de Seine ont permis de partager une vision commune du suivi haute-fréquence du fonctionnement de l'hydrosystème. Des campagnes de mesures d'inter-calibrations ont été réalisées. Elles ont permis de définir des méthodologies de mesure et d'analyse « harmonisées » nécessaires à la mise en place d'un référentiel commun d'analyse du fonctionnement du système de Paris jusqu'à la baie de Seine. En ce qui concerne le renforcement des suivis, la bouée SCENES a été mise à l'eau en baie de Seine (cf. photo en couverture). Elle a notamment permis de suivre la dynamique du panache d'eau douce induit par la crue de l'hiver 2018. En revanche, le marché d'attribution ayant été infructueux, l'installation de la station à l'interface fleuve/estuaire est reportée en phase 2 en même temps que l'installation de la station bio-géochimie en estuaire. D'autre part, des capteurs innovants, rarement utilisés pour faire du suivi en continu long-terme, ont été testés. Certains de ces capteurs, déjà acquis en phase 1, seront installés sur les stations du réseau en phase 2. Le bilan des stratégies de gestion des données produites par chacun des

réseaux a été réalisé. Ce bilan servira de base à la mise en place d'une interface de valorisation unique en phase 2.

Introduction

La compréhension des flux de matières en suspension, de carbone, et d'éléments nutritifs le long des fleuves depuis les territoires amont jusqu'à la mer est aujourd'hui un enjeu important pour un développement harmonieux des territoires. Cette question est au cœur des problématiques scientifiques du réseau des Zones Ateliers¹.

Comprendre et anticiper les évolutions morphologiques du fleuve et les problématiques de qualité de l'eau sont un préalable à la bonne prise en compte de nombreux enjeux de développement de l'axe Seine.

Dans une logique de " mieux suivre, pour mieux comprendre, pour mieux gérer ", une mise en synergie des dynamiques d'acquisition de connaissances, souvent menées de manière indépendante, apparaît indispensable. Elle doit notamment aider à la mise en cohérence des plans et programmes de gestion des milieux aquatiques (SDAGE, PGRI, PAMM...).

L'objectif majeur du réseau PHRESQUES est de fournir une vision intégrée amont-aval de l'état de l'hydrosystème, soumis à de fortes pressions anthropiques de l'amont de l'agglomération parisienne jusqu'à la baie de Seine. A cet effet, le déploiement d'un réseau de suivi des variables caractérisant le fonctionnement global du continuum en continu permettra de positionner le bassin de la Seine à l'avant-garde de la prise en compte de l'environnement dans le développement de son territoire. Effectivement, PHRESQUES vise à la mise en place d'un méta réseau parmi les plus importants au plan international.

Ce réseau de suivi en continu servira, d'une part, de support à la mise en place d'indicateurs d'état du milieu en temps réel, et d'autre part permettra d'analyser les mécanismes expliquant le fonctionnement de ce système très dynamique. Les données acquises serviront de base à l'amélioration des modèles de simulation hydro-biogéochimique. Ces modèles pourront alors permettre d'interpoler spatialement les données obtenues aux stations, fournissant ainsi une vision spatiale continue de l'état du système. De plus, ces outils permettront d'établir des bilans de matières au sein du système et ainsi de tester différents scénarios de développement du territoire. Ces modèles permettront finalement d'anticiper les effets combinés du développement territorial et du changement climatique sur le fonctionnement hydro-sédimentaire et biogéochimique (oxygénation, productivité biologique, eutrophisation côtière, etc.) de l'écosystème Seine.

¹ Les Zones Atelier (ZA) sont des outils de l'Institut Ecologie et Environnement (CNRS) dont l'objectif est de favoriser, sur certains territoires où les enjeux liés à l'interaction homme-nature sont importants, des recherches pluridisciplinaires en environnement sur le long terme. La ZA Seine contribue ainsi à la mise en place d'une dynamique de recherche reposant sur 3 programmes (Piren-Seine, OPUR, Seine-Aval) afin d'apporter les connaissances nécessaires à la prise en compte des enjeux environnementaux du bassin de la Seine et du développement de l'Axe Seine.

Le projet PHRESQUES est un projet en deux phases, qui s'articule autour de 4 grandes actions :

- l'**harmonisation** des approches métrologiques et méthodologiques actuellement appliquées sur les réseaux existants,
- le **renforcement** spatial des réseaux et l'instrumentation de certains sites clefs non suivis avant le démarrage du projet,
- l'**innovation** et le test de nouvelles technologies de capteurs permettant le suivi de nouveaux paramètres, qui amélioreront notre connaissance des processus le long du continuum,
- la **coordination et la valorisation** de la démarche et des données acquises dans le cadre du projet.

Au travers de ces différentes actions (détaillées dans les § suivants), le projet PHRESQUES vise à mettre en place un suivi homogène et cohérent du continuum Seine.

La première phase du projet s'est déroulée de juin 2016 à juin 2018. La deuxième phase est envisagée pour la période de septembre 2018 à septembre 2020.

Les paragraphes suivants décrivent les principales actions du projet par tâche. Les acquis scientifiques sont présentés dans les encadrés gris. Les rapports scientifiques dédiés à chaque action seront disponibles prochainement sur la page internet www.phresques.fr

***N.B.** L'Institut de Physique du Globe de Paris, partenaire important du projet, a rencontré des problèmes de mobilisation de ressources humaines durant cette première phase. Ces difficultés ont contraint l'IPGP à abandonner le réseau de mesures CARBOSEINE. Il en résulte que le niveau d'atteinte des objectifs de la phase 1 est impacté. Afin de palier à cet écueil, le GIP Seine-Aval et le PIREN se sont conjointement rapprochés du Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP), qui a mis en place un réseau de mesures en continu remplaçant CARBOSEINE. Ce rapprochement prévu dans le cadre de la phase 2 du projet devrait permettre de mener à bien les objectifs initiaux du projet.*

I/ Harmonisation méthodologique

Cette tâche centrale du projet a pour objectif de rapprocher les acteurs de la mesure en continu sur le continuum Seine en développant conjointement des méthodes métrologiques cohérentes, qui seront à terme appliquées sur l'ensemble du réseau PHRESQUES.

I/1. Mise en cohérence des mesures de la biomasse phytoplanctonique

Cette action a permis de mettre en place une méthodologie pour quantifier et caractériser la biomasse phytoplanctonique et donc la production primaire le long du continuum. Elle utilise des approches optiques basées sur des mesures de fluorescence de la chlorophylle à différentes longueurs d'onde (fluorimétrie multibandes). Cette méthode permet une estimation de la biomasse et sa répartition entre les différentes grandes classes pigmentaires des assemblages phytoplanctoniques. Une information sur la qualité physiologique des microalgues par classes pigmentaires peut également être déterminée à partir de ces mesures. Cette méthode permet de caractériser la teneur en chlorophytes, cyanobactéries, chromophytes (diatomées et dinoflagellés) et cryptophytes sans plus de distinction. Dans le

cadre de cette tâche et en prévision du déploiement de ces capteurs sur les stations de mesures en phase 2, 3 fluorimètre BBE Moldaenke ont été acquis lors de cette 1^{ère} phase.

Synthèse des résultats de l'action :

Le spectrofluorimètre multi-spectral FluoroProbe (BBE Moldaenke) a été choisi dans le cadre du projet PHRESQUES afin de suivre la dynamique de la biomasse et de la distribution des communautés phytoplanctoniques au niveau de différents sites du continuum bassin versant-estuaire-baie de Seine. Ce travail évalue notamment l'effet de la turbidité (forte en estuaire) sur les mesures et propose des recommandations d'utilisation et de paramétrage.

Les performances du FluoroProbe ont été étudiées de façon complémentaire sur des monocultures de phytoplancton en laboratoire et lors de campagnes sur le terrain en conditions in situ sur des sites fluviaux, estuariens et marins. Les expérimentations en laboratoire ont permis de mettre en évidence que, par rapport à des méthodes traditionnelles, le FluoroProbe n'était pas en mesure de fournir une estimation juste de la biomasse phytoplanctonique (en terme de concentration en chlorophylle a). En effet, cette dernière est en générale surestimée par la sonde. Le FluoroProbe permet néanmoins d'observer l'évolution de la biomasse phytoplanctonique et donc de détecter par exemple des périodes de blooms et la dynamique générale des communautés.

Concernant la distribution du phytoplancton, la matrice de signatures de fluorescence spectrale fournie par le constructeur a été adaptée aux caractéristiques des futurs sites d'implantation des sondes (fleuve, estuaire, mer) à partir d'espèces phytoplanctoniques recensées comme majoritaires dans la zone d'étude. Cette nouvelle matrice a permis de réduire la fraction de chlorophytes identifiée à tort par le FluoroProbe.

Les mesures in situ réalisées lors des campagnes de terrain ont mis en évidence un biais dans les mesures du FluoroProbe lié à l'illumination naturelle du phytoplancton. Il faudra veiller à réduire le plus possible l'exposition de l'instrument aux rayonnements solaires dans son installation sur les sites d'étude et définir une fréquence de mesure suffisamment importante pour réduire au maximum ce phénomène. Suivant ces préconisations et en utilisant les nouvelles matrices de signatures de fluorescence spectrale, le FluoroProbe devrait permettre de suivre la dynamique de la biomasse et la composition des groupes pigmentaires du phytoplancton au droit des sites d'implantation sélectionnés.



Figure 2 : Rapport de la tâche harmonisation des mesures de la biomasse phytoplanctonique

1/2. Mise en cohérence des mesures hydrosédimentaires

Le réseau PHRESQUES permettra de suivre l'ensemble des gradients hydro-sédimentaires présents le long du continuum Seine, en fédérant différents réseaux existants, et co-gérés par différents organismes. Un premier travail de mise en commun des protocoles méthodologiques appliqués par les différentes équipes a été réalisé (mesures de concentration en MES et vérification métrologique des turbidimètres déployés sur les réseaux). Un travail complémentaire d'analyse des mesures brutes de turbidité mesurées par les différents instruments mis en œuvre au sein du réseau a également été réalisé. Cela a permis d'évaluer la continuité des mesures réalisées de l'amont à l'aval du système. Dans le cadre de cette tâche, un prototype de préleveur automatique à déclenchement sur seuil devait être conçu, ceci n'a pas été possible par manque de temps. Néanmoins les mesures réalisées lors de la crue de 2018 ont redémontré l'intérêt de ces systèmes. Il est proposé de réinscrire cette tâche en phase 2.

Synthèse des résultats de l'action :

Cette tâche du projet s'est concrètement réalisée en deux temps. Une réunion entre les différents participants du projet PHRESQUES a permis d'échanger et d'établir le bilan des différentes méthodes de mesures de turbidité. Si les protocoles de traitement des échantillons sont très proches (même types de filtres, même étapes de rinçage et de séchage) des différences sont observées sur la prise d'échantillons. Elles s'expliquent à la fois par la différence des environnements étudiés et les contraintes fixées par des protocoles nationaux (SOMLIT) par exemple pour la station SMILE. Ces différences semblent ne pas être de nature à induire des différences significatives sur les mesures de concentration en MES. Toutefois, il est préconisé à l'avenir de réaliser une intercomparaison des méthodes sur un cycle de marée test.

La métrologie des capteurs optiques déployés sur les stations est également globalement identique, à savoir une vérification des mesures de turbidité à partir d'une gamme étalon (2 à 5 points de contrôle). Deux produits sont utilisés : la formazine ou la solution AMCO-Clear. Les fiches de vérifications métrologiques sont consignées par les organismes opérateurs. Toutefois, une différence apparaît quant aux actions à entreprendre suite à cette vérification : soit les instruments sont redéployés en l'état, en dessous d'un seuil d'erreur métrologique (au-dessus, un retour usine pour maintenance doit être prévu) soit l'opérateur effectue une recalibration interne du capteur. Dans les deux cas, l'archivage des fiches de vérification métrologique est indispensable pour un suivi optimal de la turbidité haute fréquence long terme.

Enfin, des mesures de comparaison des différents turbidimètres mis en œuvre dans le cadre de PHRESQUES ont été réalisées en avril 2018 en estuaire de Seine (zone d'embouchure et dans le bouchon vaseux) à bord du navire océanographique Côtes de la Manche. Ces observations permettent d'évaluer le degré de concordance des mesures de chaque instrument par rapport à une référence commune. Les deux zones investiguées se caractérisent par des gradients de turbidité complémentaire : faible gradient à l'embouchure (<100NTU - Bouée SCENES) et fort gradient à Fatouvile (entre 0 et 1000NTU). Les capteurs étaient fixés sur une structure d'accueil, immergée successivement par palier de 10' entre 1m sous la surface, à mi profondeur et 1m au-dessus du fond continuellement sur un cycle de marée. L'analyse des mesures montre clairement deux groupes de capteurs aux performances brutes équivalentes : i) la sonde MPX (bouée SMILE) et la sonde YSI6600V2 (actuellement déployée sur le réseau SYNAPSES) ; ii) la sonde WETLABS FLNTU (bouée SCENES), la sonde OBS (calibration in situ) et la sonde YSI EXO (envisagée pour être déployée à terme sur le réseau SYNAPSES). Ces différences pourraient être liées aux technologies optiques internes aux sondes, comme décrit dans les résultats du projet Seine-Aval SUSPENSE. Si ces différences sont effacées lors de l'étape de calibration en MES, un suivi de la turbidité sur l'ensemble du continuum nécessite toutefois de recalibrer les mesures brutes par rapport à une mesure de référence. Ce premier exercice d'intercomparaison in situ semble montrer un rapport de conversion constant entre les deux groupes de sondes, permettant à l'avenir de corriger automatiquement ces différences (Figure 3).

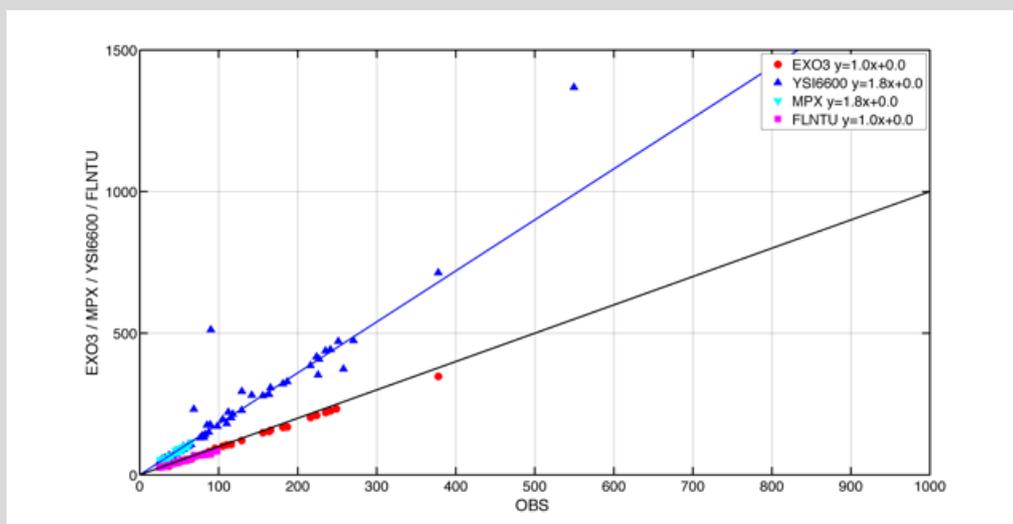


Figure 3 : Illustration de l'intercomparaison des turbidimètres déployés dans le cadre du projet PHRESQUES

I/3. Vers une stratégie cohérente de gestion des données

Une des ambitions du projet est la mise en place d'une stratégie cohérente de gestion des données issues des dispositifs de mesure en continu identifiés dans PHRESQUES. Dans le cadre de la première phase du projet, les stratégies de gestion des données des réseaux impliqués dans PHRESQUES ont été comparées et il s'avère que chaque réseau gère de manière différentes les flux de données issus de ses stations. Ces différences étant liées aux caractéristiques intrinsèques de chacune des stations de mesure, la mise en cohérence doit être réalisée à posteriori en prenant en compte des spécificités de chaque système. Le moyen le plus efficace de disposer d'une base de données cohérente des mesures hautes fréquences réalisées dans PHRESQUES est donc la mise en place d'une nouvelle base de données alimentée par chacun des réseaux. Il est proposé de mettre en place cette base de données PHRESQUES pour les principaux paramètres dans le cadre de la phase 2 du projet.

Par ailleurs, une page web dédiée au projet PHRESQUES a été créée, elle est pour l'instant hébergée sur le site web du GIP Seine-Aval et consultable à l'adresse <http://www.phresques.fr/>. En seconde phase, et en lien avec la mise en place d'une base de données PHRESQUES, cette page web devra permettre la consultation en direct ou à j+1 des principales mesures acquises dans le cadre du réseau.

II/ Renforcement des dispositifs existants

Un important volet du projet concerne la densification des points de mesures actuellement opérationnels sur le continuum Seine. En effet, il s'avère que certaines interfaces cruciales pour la compréhension des processus ne faisaient pas l'objet de mesures de suivi en continu.

II/1. L'interface amont/estuaire :

Cette tâche essentielle du projet, tant pour la compréhension du fonctionnement du fleuve et de l'estuaire que pour les liens entre les communautés scientifiques amont et aval, n'a pas pu se réaliser telle qu'initialement prévue, notamment du fait des difficultés de ressources humaines de l'équipe IPGP signalées précédemment. Par ailleurs, la mise en place d'une nouvelle station à l'amont, s'est révélée beaucoup plus difficile que ce qui avait été envisagée. Ces difficultés liées à l'accessibilité, à la propriété des berges, à l'alimentation électrique, ou encore à la mise en place d'une structure flottante pérenne ont rendu la tâche très complexe et plus chère qu'envisagée initialement. Le site pressenti pour l'installation de la station se situe à Portejoie, en effet ce site semble idéal d'un point de vue scientifique du fait d'une bonne représentativité de la station (cf. les mesures réalisées et présentées au paragraphe III/4.). Les contacts pris avec les autorités locales (mairie et Voies navigables de France) sont a priori favorables à l'installation sur ce site. L'appel d'offre relatif à l'installation de cette station a néanmoins été déclaré infructueux notamment car le coût des offres reçues dépassaient le budget initialement alloué à cette action. Ces difficultés nous amène à proposer le décalage des travaux d'installation de cette nouvelle station en phase 2.

Les retours d'expérience acquis suite aux difficultés rencontrées en phase 1, ont permis de revoir en conséquence le cahier des charges de sélection du prestataire chargé des travaux, de ré-envisager les partenariats à la base de cette action et permettront de relancer cette

tâche dès le début de la phase 2. De ce fait, la somme prévue pour les travaux de cette nouvelle station ne sera pas consommée en phase 1, il est proposé de la reporter en phase 2.



Figure 4 : Schéma de la station envisagée sur le site de Portejoie

II/2. L'interface estuaire/baie de Seine

L'estuaire constitue l'exutoire des apports continentaux au domaine marin, qu'ils soient sédimentaires ou biogéochimiques. La dynamique à l'interface entre l'estuaire et la baie de Seine est associée à différents processus clés de cet écosystème : i) la quantification des flux sédimentaires nets à l'embouchure, en lien avec les différents forçages hydrodynamiques et hydro-météorologiques, et ii) la biodisponibilité de la lumière et la quantification de la production primaire à proximité immédiate de l'embouchure, en lien avec les problématiques d'eutrophisation et d'efflorescence algales. La bouée SCENES, déployée en octobre 2017 dans le cadre du projet, permet d'évaluer les transferts au jusant entre estuaire et baie et ; à marée haute, d'être représentative des eaux de la baie de Seine et ainsi évaluer la turbidité et biomasse phytoplanctonique associée. Elle constitue le point de mesure complémentaire indispensable entre la baie de Seine et l'estuaire. Son installation à l'automne 2017 a permis de suivre et de caractériser les phénomènes et les échanges induits par les épisodes de tempêtes de début 2018 mais aussi ceux liés à la crue de février 2018.

Synthèse des résultats de l'action :

La bouée SCENES a été déployée le 10 octobre 2017, en partenariat avec GEPS Techno et les Phares et Balises. La bouée, alimentée par des panneaux solaires et par un houlomoteur (conversion de l'énergie des vagues en électricité), accueille différents capteurs : i) turbidité, ii) salinité, iii) température, iv) oxygène dissous, v) un fluorimètre BBE (cf. I/1.), vi) une station météorologique et vii) un courantomètre acoustique. Les données mesurées sont télétransmises en direct par un ensemble modem/antenne 4G. La bouée comporte également une station de mesure benthique (de fond), les données acquises au fond sont transmises par un modem acoustique vers la surface. L'intégration mécanique de l'ensemble de ces éléments a été étudiée afin de faciliter la maintenance tant des capteurs (à partir de la bouée) que du modem acoustique (manipulation par plongeurs). Les données produites par la station PHRESQUES seront valorisées en phase 2 sur le site internet : www.phresques.fr.

SCENES fonctionne depuis sa mise à l'eau, avec toutefois trois difficultés rencontrées lors de la mise en condition opérationnelle : i) la liaison acoustique surface/fond n'est pas opérationnelle (point en cours de résolution), ii) la fourniture d'énergie en période hivernale n'a pas été optimale, occasionnant en début d'hiver un trou dans les données (intervention prévue à l'été 2018 pour y remédier), iii) la sonde CTD de fond s'est encrassée suite aux conditions extrêmes rencontrées début 2018.

SCENES a permis de suivre les événements exceptionnels de l'hiver 2017/2018 en particulier la tempête Eléonor et la crue de février 2018. La figure 5 montre que les différentes tempêtes (Ophelia (15-16/10), Ana (10/12), Bruno/Carmen (26-27-28-29/12), Eleanor (2-3-4/01), Fionna (16-18/01)) sont associées à des turbidités de surface supérieures à 20NTU, témoignant d'une remise en suspension des sédiments intense dans l'embouchure de l'estuaire. Il est également intéressant de noter qu'à ce signal associé aux épisodes de tempêtes se superpose une dynamique basse fréquence, due à l'augmentation du débit entre mi-décembre et début février (puis à sa diminution, tout en restant supérieur à $1000\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$). Cela engendre une diminution de la salinité et augmentation du niveau de base de la turbidité (Figure 2 – panel du bas).

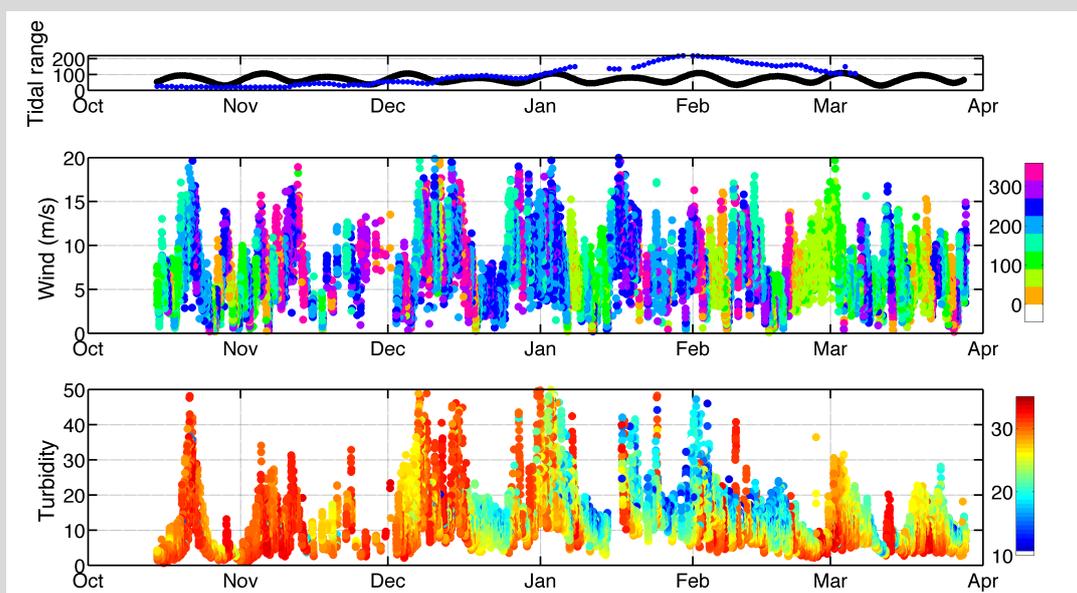


Figure 5 : Evolution des paramètres marée (coefficient de marée), débit (points bleus, en $\times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$) [panel du haut], vent (direction en couleur) [panel du milieu], turbidité et salinité (couleur) de surface [panel du bas] enregistrés par la bouée SCENES entre octobre 2017 et Mars 2018.

Cette dynamique est associée au transfert du bouchon vaseux vers l'embouchure, conjointement à une augmentation de l'extension du panache d'eau douce en surface. L'augmentation du débit conduit à une diminution de la salinité et une augmentation de la turbidité, jusqu'à atteindre des valeurs médianes de salinité inférieures à 10 PSU et des valeurs de turbidité supérieures à 20 NTU.

III/ Innovation

Le projet PHRESQUES phase 1 comprend une partie dite innovation dont l'objectif est le test de capteurs innovants n'ayant jamais été utilisés dans le cadre de réseaux de mesure en continu. Ces tests doivent permettre de déterminer si ces capteurs sont efficaces dans les milieux étudiés et si leurs mesures sont fiables sur le long terme.

III/1. Suivi biogéochimique en estuaire

La production primaire estuarienne joue un rôle essentiel dans l'ensemble des processus biogéochimiques estuariens, elle constitue le premier maillon du fonctionnement trophique estuarien. Les spectrofluorimètres permettent d'estimer la biomasse algale et ainsi d'accéder à une quantification de la production primaire. Le spectrofluorimètre multibande FluoroProbe BBE a été testé en estuaire. L'objectif de ces tests était de vérifier la stabilité des mesures dans un milieu hautement dynamique en termes de courant (donc de turbulence), de salinité, mais également de teneur en matière en suspension. Ces essais ont été concluants, en suivant les recommandations de mise en œuvre et de calibration de la tâche I/1. Ce type de capteur est déployable afin de réaliser des mesures en continu haute fréquence en estuaire. La sonde BBE achetée en phase 1 pourra ainsi être installée sur la station estuaire proposée en phase 2.

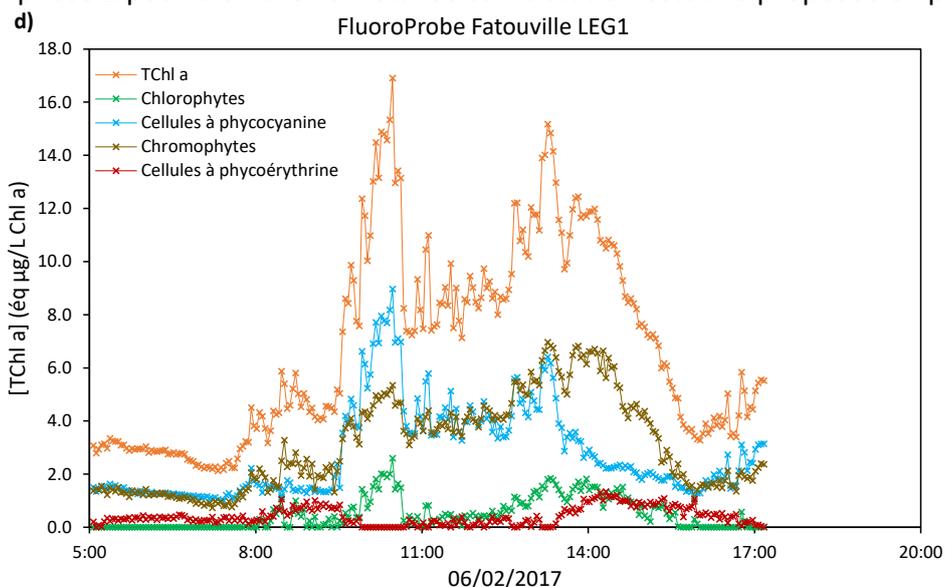


Figure 6 : Evolution durant un cycle de marée de la concentration en chlorophylle a (en éq $\mu\text{g}/\text{L}$ Chl a) entre les 4 groupes phytoplanctoniques le 06 février 2017 à la station Fatouville

III/2. Suivi du cycle du carbone

Le carbone organique dissous et la pression partielle de CO₂ sont des paramètres clés pour mieux quantifier les flux exportés de carbone, et comprendre les processus à l'œuvre. La mise en œuvre des capteurs de pression partielle de CO₂ (PCO₂) et de carbone organique dissous (Figure 6) est délicate. Néanmoins, les résultats des campagnes réalisées avec ces capteurs montrent que leurs utilisations dans le cadre d'un réseau de mesure haute fréquence est possible à condition de respecter certaines préconisations liées à l'implantation et à la calibration de ces capteurs. L'installation de ces capteurs est ainsi proposée sur les stations SMILE, Estuaire et interface fleuve/estuaire en phase 2.



Figure 7 : Capteur optique de matière organique dissous TRIOS

III/3. Suivi des sels nutritifs

Les sels nutritifs représentent un enjeu en termes de gestion tant au niveau de leurs concentrations que de leurs proportions respectives. Le suivi des sels nutritifs tel qu'envisagé au lancement du projet par l'utilisation d'un auto-analyseur s'est avéré non adapté à notre problématique. En effet, les mesures ne sont pas stables et présentent un biais important et inconstant par rapport aux mesures de références réalisées en laboratoire. De plus, l'auto-analyseur s'est avéré complexe à mettre en œuvre et nécessite une maintenance importante, ce qui n'est pas compatible avec notre objectif de suivi haute fréquence long terme. Effectivement, cela engendrerait un coût trop important en moyens matériel et humain pour maintenir cet auto-analyseur dans la durée.

Néanmoins, les équipes responsables de cette tâche ont eu l'opportunité, en parallèle du projet, d'essayer une nouvelle technologie de capteurs de nitrate utilisant une mesure optique. Ces tests se sont avérés très prometteurs, tant en termes de qualité de la mesure que de fiabilité. Il est donc proposé de poursuivre ces tests dans le cadre de la phase 2 du projet.

III/4. Hydrodynamique et MES par acoustique

Les mesures acoustiques permettent de caractériser les vitesses de courant en 3 dimensions. Selon l'instrument utilisé, les mesures donnent accès à la répartition spatiale des vitesses de courant dans la direction horizontale ou verticale. Un usage détourné de ces courantomètres est l'estimation de la répartition spatiale des concentrations en MES à partir des données d'atténuation de l'onde acoustique émise et reçue par l'ADCP.

Initialement, deux courantomètres acoustiques à effet Doppler (ADCP) devaient être testés sur les nouvelles stations (interface fleuve/estuaire et interface estuaire/baie de Seine). Dans la partie fluviale, un ADCP dit horizontal devait être installé, mais en raison des soucis rencontrés pour la mise en place de la station, cet instrument dont l'installation nécessite une structure solide sur la berge, n'a pu être testé. En revanche, ce dernier a été acheté et il est prévu de l'installer sur la station fleuve/estuaire dans le cadre de la phase 2.

Le laboratoire M2C de l'université de Rouen responsable de cette action a néanmoins effectué une série de campagne de mesure acoustique sur le site de Portejoie, en réalisant des profils transversaux de courant et de concentration en MES avec un ADCP vertical installé à bord d'un bateau. Ces campagnes, réalisées dans différentes conditions hydrologiques permettent de quantifier les hétérogénéités spatiales des champs de courants et des concentrations en MES au niveau du site de Portejoie pressenti pour accueillir la nouvelle station. De plus ces campagnes, programmées en début 2018, ont permis de suivre le pic et la descente de la crue de début février 2018. Etant donné le caractère exceptionnel des conditions hydrologiques, un turbidimètre a également été installé. A défaut de disposer d'une station à l'interface fleuve/estuaire, ce turbidimètre a permis de suivre les flux sédimentaires induits par la crue de février 2018 (Figure 8). Sur le long terme, ces données sont précieuses car elles permettent de caractériser un évènement d'intensité rare mais aux répercussions potentiellement très importantes.

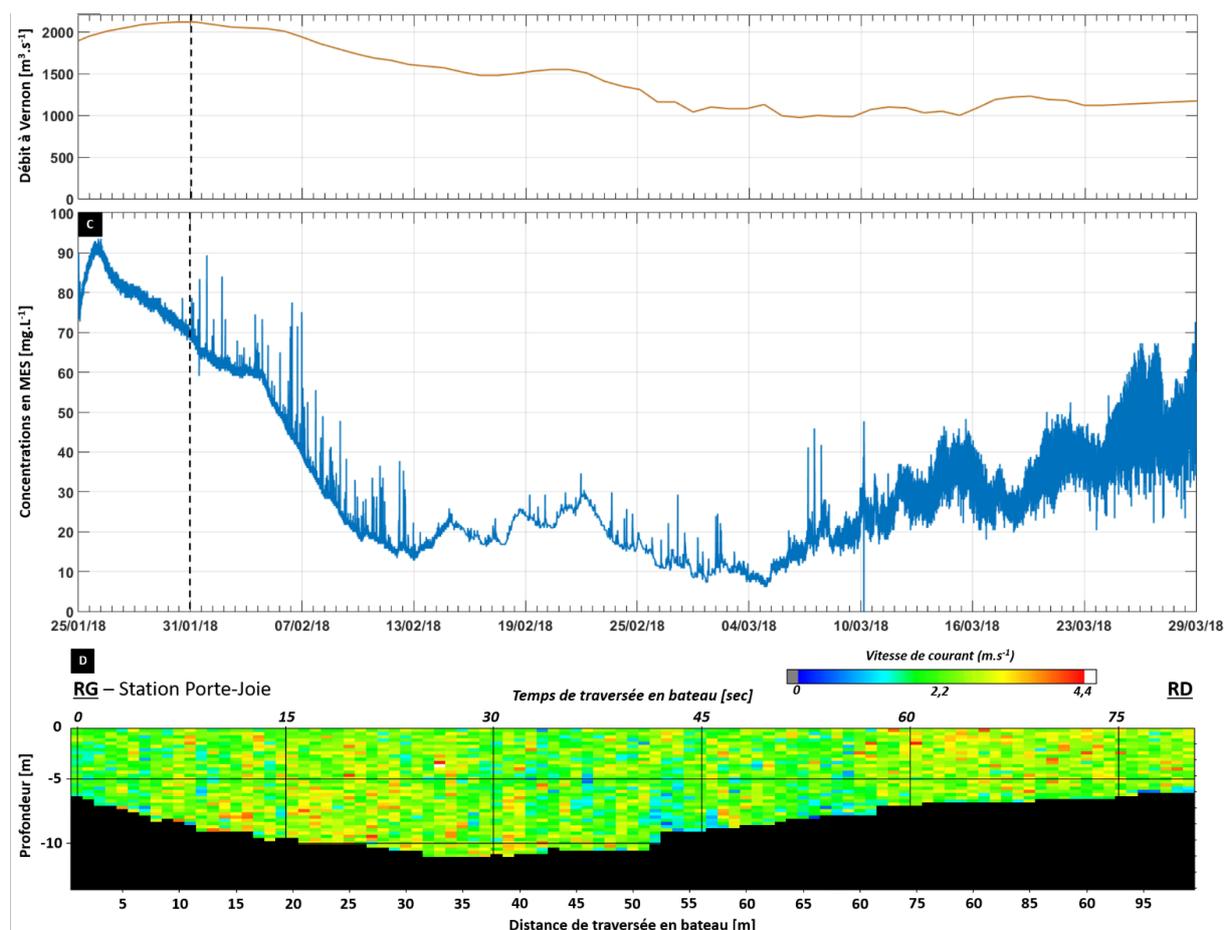


Figure 8 : Mesures acquises lors de la crue de février 2018 sur le site de Portejoie ; en haut : évolution du débit, au milieu évolution des concentrations en MES et en bas répartition spatiale du courant sur la section transversale.

Au niveau de l'embouchure, un ADCP a été installé sur la station benthique de la bouée SCENES. Les mesures de cet ADCP permettent de caractériser les conditions hydrodynamiques (vitesse du courant, turbulence et caractérisation des vagues) ainsi que les profils verticaux des concentrations en matière en suspension. La figure 9 illustre la modulation des concentrations par les cycles vives-eaux/mortes-eaux et les augmentations liées à la remise en suspension par les vagues.

La comparaison des mesures acoustiques et optiques au niveau de la bouée SCENES s'est également avérée très intéressante pour caractériser la dynamique des particules et en partie estimer la contribution des flux de sables aux flux sédimentaires. Ces résultats d'inter-comparisons des mesures acoustiques et optiques étant très prometteurs, il est proposé de poursuivre en phase 2 l'analyse des complémentarités entre ces différents types de capteurs pour caractériser les MES et leurs dynamiques.

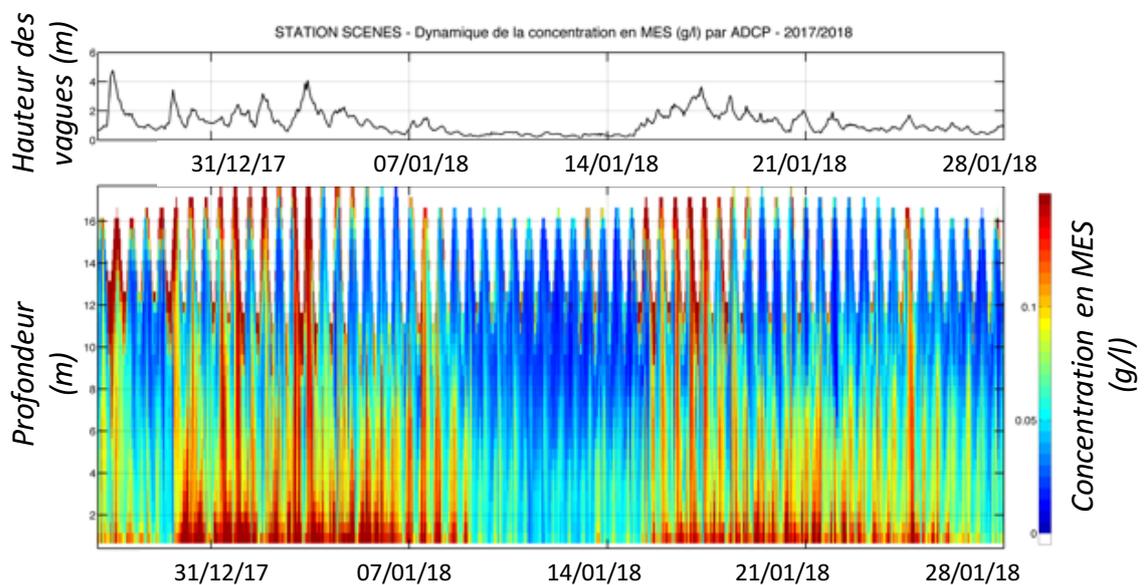


Figure 9 : Evolution temporelle des hauteurs de houles et profils verticaux de concentrations en MES mesurés par l'ADCP installé sur la station benthique SCENES.

Conclusions

Le projet PHRESQUES a rempli de nombreux objectifs, malgré des difficultés rencontrées suite à l'abandon du réseau CARBOSEINE. Les tâches d'harmonisation ont permis de définir et de partager des principes communs de mesures applicables en milieu fluvial, estuarien et marin. L'installation de la station SCENES constituait une tâche ambitieuse étant données les difficultés liées à l'installation de ce type de matériel dans un milieu dynamique comme l'embouchure de l'estuaire. Cette tâche portée par l'IFREMER est une réussite, en effet la station a permis de suivre la dynamique induite par les événements exceptionnels de l'hiver 2017-2018 (tempête et crue). Malgré, le retard pris pour l'installation de la station interface fleuve/estuaire, les mesures réalisées par le laboratoire M2C de l'université de Rouen sur le site de Portejoie vont permettre de mieux caractériser les flux sédimentaires induits par les épisodes de crue. L'ensemble des tâches dites « innovation » ont permis d'acquérir une précieuse expérience vis-à-vis de l'utilisation des nouvelles technologies de mesure disponibles sur le marché. Cette expérience sera mise à profit dans la phase 2, durant laquelle il est proposé d'équiper certaines stations des capteurs ayant été éprouvés en phase 1. L'ensemble de ces résultats, et l'expérience acquise lors de cette première phase du projet va nous permettre de construire une phase 2 cohérente et ayant pour but de pérenniser la démarche. En effet, l'ensemble des partenaires du projet se mobilise pour poursuivre et approfondir la démarche et recherche activement une solution pour palier à l'arrêt du réseau CARBOSEINE. Dans ce contexte, le SIAAP, qui met actuellement en place un réseau de mesure en continu au niveau des anciennes stations CARBOSEINE pourrait rejoindre le projet en phase 2.

Au-delà de ces aspects scientifiques, une des grandes avancées du projet est la mise en place d'un outil d'étude unique du fonctionnement environnemental du continuum. A ce titre, le réseau PHRESQUES est inscrit comme une action structurante de la Zone Atelier Seine fédérant l'ensemble des communautés scientifiques.

A terme, le réseau PHRESQUES et la dynamique scientifique qu'il a initié permettra d'améliorer notre capacité à suivre, comprendre et anticiper les évolutions du fonctionnement de l'hydro-système Seine. La mise en place de cet outil, parmi les plus performants à l'échelle mondiale, favorisera l'émergence de projets de recherche innovants et cohérents à l'échelle du continuum Seine. D'un point de vue opérationnel, les données et les connaissances acquises permettront à terme aux gestionnaires de disposer d'un outil de suivi du fonctionnement de l'écosystème Seine fiable et particulièrement pertinent en contexte de changement climatique.