

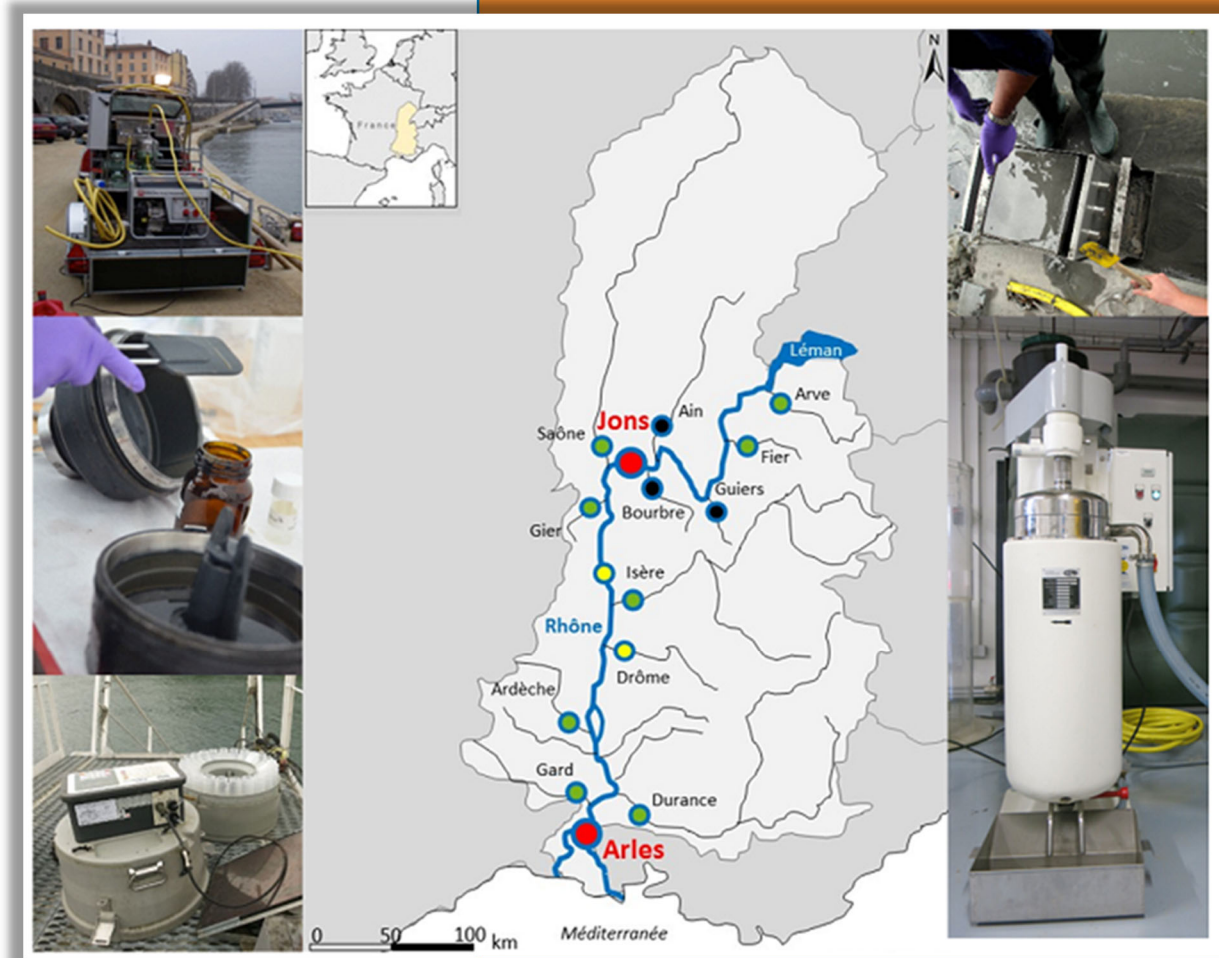


Observatoire
Sédiments
du **R**hône

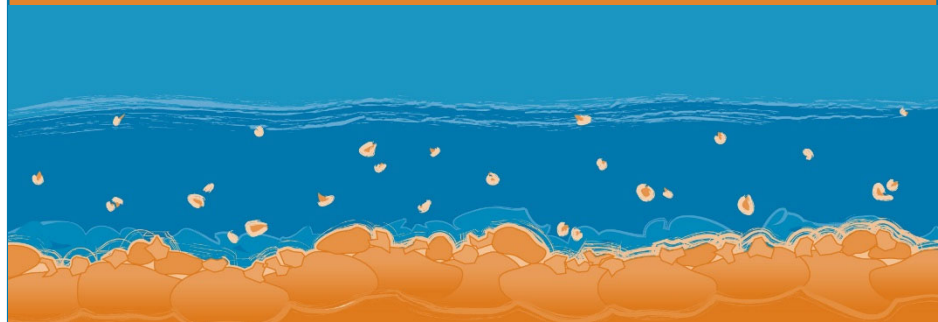
Suivi événementiel des flux de MES à la station MesuRho

OSR5 2018-2020

Rapport final



Plan
Rhône



Suivi événementiel des flux de MES à la station MesuRho

Rapport final – Version du 15 juin 2021

Axe B	Monitoring des flux
Action B.2	Suivis évènementiels des flux de MES et contaminants

Personnes impliquées	Equipe de recherche
Ivane Pairaud	IFREMER, LOPS-OC, Brest
Romarc Verney	IFREMER, Dyneco-Dhysed, Brest
Michel Répécaud	IFREMER, RDT-LDCM, Brest
Christophe Ravel	IFREMER, LERPAC, La Seyne sur Mer

Pour citer ce document :

Pairaud I., Verney R., Répécaud M., Ravel C. (2021). *Suivi événementiel des flux de MES à la station MesuRho*. Rapport Final. Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR), 5^{ème} Programme d'Actions, 14p.

Résumé

La station COAST-HF MESURHO permet d'observer la variabilité hydrologique et hydro-sédimentaire à proximité de l'embouchure du Rhône, en étant positionnée au sud-est du prodelta, à approximativement 17m de profondeur, s'appuyant sur une BFI des Phares et Balises. La station est équipée de sondes multiparamètres en sub-surface (-2m) et à 2m au-dessus du fond, mesurant notamment la température, la salinité et la turbidité. Elle bénéficie également du déploiement d'un ADCP600kHz Sentinel RDI, positionné à proximité de la BFI, et mesurant les paramètres de vagues et le profil vertical de courant et d'intensité acoustique rétrodiffusée sur l'ensemble de la colonne d'eau. Dans le cadre de l'OSR5, les mesures acoustiques de l'ADCP ont été utilisées pour estimer la concentration en matières en suspension à MesuRho. Pour les calibrer, ces mesures ont été couplées à des mesures optiques de turbidité et des mesures satellitaires. La dynamique des concentrations en MES à l'embouchure du Rhône est contrôlée par les apports en provenance du bassin versant, avec des concentrations qui atteignent leur maximum en période de crue, dépassant 10mg/l pour des débits supérieurs à 2000m³/s, et pouvant atteindre 50mg/l. Le rôle des crues et des tempêtes a pu être étudié. Enfin, entre 2010 et 2019, une accrétion de plus de 2m est observée à la station MESURHO.

Mots-clés

OSR ; MesuRho ; Rhône ; delta ; hydro-sédimentaire ; turbidité ; courant ; crue ; tempête

1. PRESENTATION DE LA STATION MESURHO	4
2. DESCRIPTION DES EVENEMENTS TURBIDES SUR LA PERIODE 2018-2020	4
2.1. Mesures prévues initialement et difficultés rencontrées	5
2.2. Estimation de la concentration en MES : retour sur la calibration du signal acoustique.....	5
2.3. Dynamique hydro-sédimentaire à l’embouchure du Rhône sur la période 2018-2019	7
2.4. Focus sur la dynamique hydro-sédimentaire à l’embouchure du Rhône au printemps 2020	10
3. CONCLUSION	14

1. PRESENTATION DE LA STATION MESURHO

La station MesuRho, opérationnelle depuis juin 2009, est localisée à la Bouée à Flotteur Immergée (BFI) de balisage maritime Roustan Est (43°19.2 N, 4°52 E; profondeur : 20 m), l'une des deux bouées signalant le prodelta du Rhône. Située à l'embouchure du fleuve, cette plateforme est configurée pour la collecte de données physicochimiques en temps quasi réel et à haute fréquence dans la zone de transition eaux douces/eaux salées (Pairaud et al., 2016, Figure 1). Parmi les paramètres mesurés, un intérêt particulier est porté à la turbidité et la salinité en lien avec les thématiques de l'OSR5.

La station est équipée de sondes multiparamètres en sub-surface et au-dessus du fond (à 2m des interfaces), mesurant la température, la salinité et la turbidité, l'oxygène dissous, la pression et la fluorescence. Un ADCP 600kHz Sentinel RDI est positionné à proximité de la BFI, à une dizaine de mètres pour que ses faisceaux n'interceptent pas le mat. Il permet de mesurer les paramètres de vagues et le profil vertical de courant et d'intensité acoustique rétrodiffusée sur l'ensemble de la colonne d'eau.

Lors des opérations de maintenance, des profils hydrologiques et de turbidité sont réalisés à l'aide d'une CTD SeaBird SBE19+V2 (équipée d'un turbidimètre OBS3+ et d'un fluorimètre WETLABS), ainsi que des prélèvements d'eau pour analyser le contenu en matières en suspension (MES) et en chlorophylle-a.

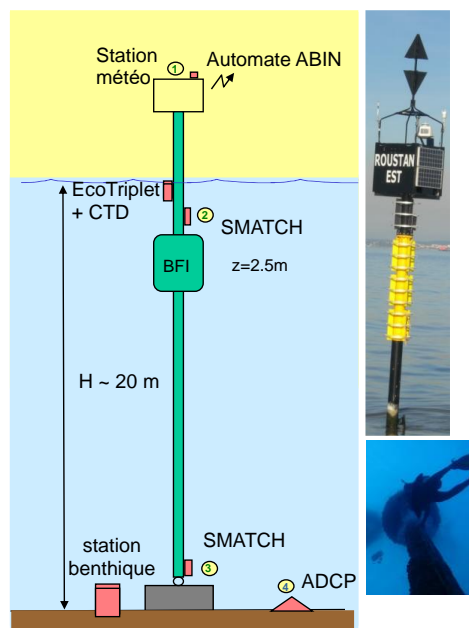


Figure 1 : Schéma et photographies de la station MesuRho : sondes multiparamètres de sub-surface et fond SMATCH (pression, température, salinité, turbidité, oxygène dissous, fluorescence), ADCP 600kHz Teledyne-RDI posé sur le fond (courants, vagues), station météorologique Vaisala (vent, pluie, flux de chaleur), sondes autonomes EcoTriplet WETLABS (turbidité, CDOM, fluorescence) et Hydrocat Seabird (conductivité, température, pression).

2. DESCRIPTION DES EVENEMENTS TURBIDES SUR LA PERIODE 2018-2020

2.1. Mesures prévues initialement et difficultés rencontrées

L'observation ponctuelle lors de campagnes en mer des tailles de MES dans le panache du Rhône a montré une forte hétérogénéité pour des périodes de crues similaires, laissant entrevoir des différences dans les typologies d'apports et les processus de floculation. Dans le cadre du programme de suivi des flux de MES lors de crues et chasses du Rhône de l'OSR5, il a donc été proposé une approche complémentaire du réseau amont, dédiée à la caractérisation du spectre en classe de tailles des MES apportées par le Rhône à l'embouchure. Grâce au déploiement d'un LISST 100X sur quelques semaines, il était prévu d'observer des événements clés sur le continuum comme des lâchers de barrage, ou des crues (mais plus aléatoires dans le temps). En effet, ces observations sont déterminantes pour comprendre et modéliser la dynamique des MES et l'évolution de leur comportement, notamment leur vitesse de chute, et évaluer ainsi leur devenir dans le milieu côtier.

Néanmoins, suite à des incidents techniques survenus sur le dispositif opérationnel de base, et à la mauvaise météorologie lors des sorties de terrain planifiées, la mise en place du LISST 100X a dû être reportée à l'année 2020 (printemps-automne), mais suite à la pandémie de COVID19, cette opération a dû être annulée.

De plus, la sonde EcoTriplet acquise en 2018 pour la mesure de turbidité, fluorescence et CDOM, mise en place à 2m de profondeur au printemps 2018, n'a pas été remontée (sonde perdue suite à un acte de vandalisme probablement). Elle a donc été remplacée et a été positionnée sur site entre février et juillet 2020, associée à une sonde Hydrocat de manière à connaître l'hydrologie durant le déploiement. Ce rapport se focalise ainsi sur la description des événements turbides observés à l'aide des capteurs pérennes de la station (ADCP, SMATCHs de subsurface et fond) et présente également les données acquises à l'aide de l'EcoTriplet pour l'année 2020.

2.2. Estimation de la concentration en MES : retour sur la calibration du signal acoustique

La mesure de turbidité a été longtemps perturbée sur la station, du fait d'encrassement par biofouling ou causée par des problèmes électriques. Il a donc été décidé de travailler principalement sur les données acoustiques issues de l'ADCP. Toutefois, ces données doivent être calibrées afin de proposer une évaluation des concentrations en MES. Cette calibration est rendue complexe par la forte sensibilité de l'intensité acoustique rétrodiffusée à la nature des particules en suspension. Ainsi, une variabilité temporelle des MES, du fait d'une tempête ou d'une crue associée à certains bassins versants amont, peut conduire à des calibrations qui évoluent dans le temps.

N'ayant actuellement pas accès à suffisamment d'informations pour réaliser ces calibrations variables, une calibration moyenne et indirecte a été réalisée. Cette calibration se base sur la relation, relativement dispersée, entre le débit du fleuve et la concentration en MES observée à Arles (station SORA), en surface par les satellites couleur de l'eau et par quelques mesures ponctuelles optiques de turbidité par capteur autonome. Les mesures acoustiques étant douteuses en sub-surface, nous cherchons donc à reproduire la dynamique moyenne observée à l'aide du capteur optique autonome (-2m) par les mesures acoustiques à une profondeur similaire et après correction des termes d'atténuation (Figure 2). Les concentrations en MES à la station SORA sont plus élevées car elles sont représentatives du fleuve, ces apports se diluent ensuite à leur arrivée dans l'embouchure.

Il faut rappeler que les mesures acoustiques sont analysées en faisant l'hypothèse que les concentrations en MES sont relativement faibles (i.e. autour de 100mg/l max) dans l'embouchure, permettant de négliger l'atténuation par les particules. Cette hypothèse est discutable pour les événements cumulant des épisodes de forte tempête et de crue intense, comme illustré par la Figure 3. En janvier 2018, le débit du Rhône dépasse 4000m³/s, et se conjugue avec une succession de tempêtes caractérisées par des hauteurs significatives de vagues supérieures à 2m. Dans ce cas, les mesures des sondes multiparamètres indiquent des turbidités supérieures à 100NTU, soit très probablement des concentrations supérieures à 100mg/l. Lors de ces épisodes particuliers, la concentration en MES calculée à partir de la calibration moyenne chute (7 janvier, 25 janvier), pouvant traduire une atténuation du signal acoustique par les particules en suspension. Un travail complémentaire d'analyse du signal acoustique pour ces événements particuliers doit être réalisé.

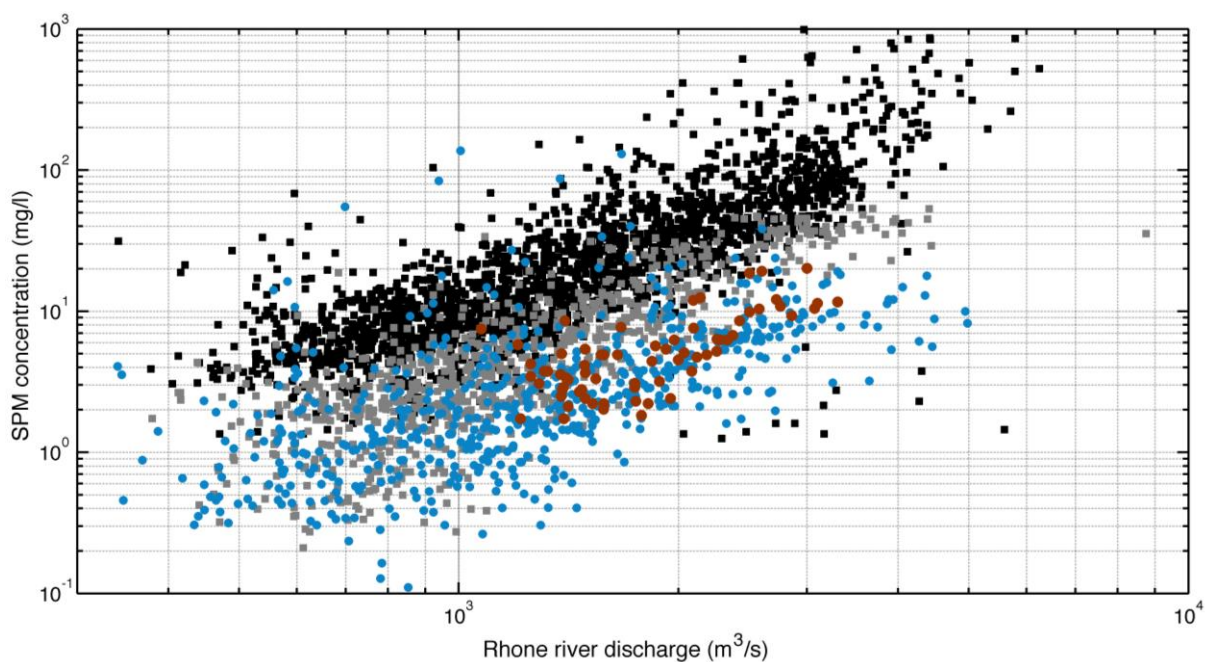


Figure 2 : Relation entre débit et concentrations en MES issues des mesures à la station SORA (carrés noirs), des mesures satellite couleur de l'eau à l'embouchure (carrés gris), des mesures de turbidité optiques ponctuelles (ronds rouges) et des mesures ADCP de surface (ronds bleus) hors période de tempêtes (hauteur de vagues Hs<1m). Les données ADCP ont été moyennées par jour, sur la période 2018-2019.

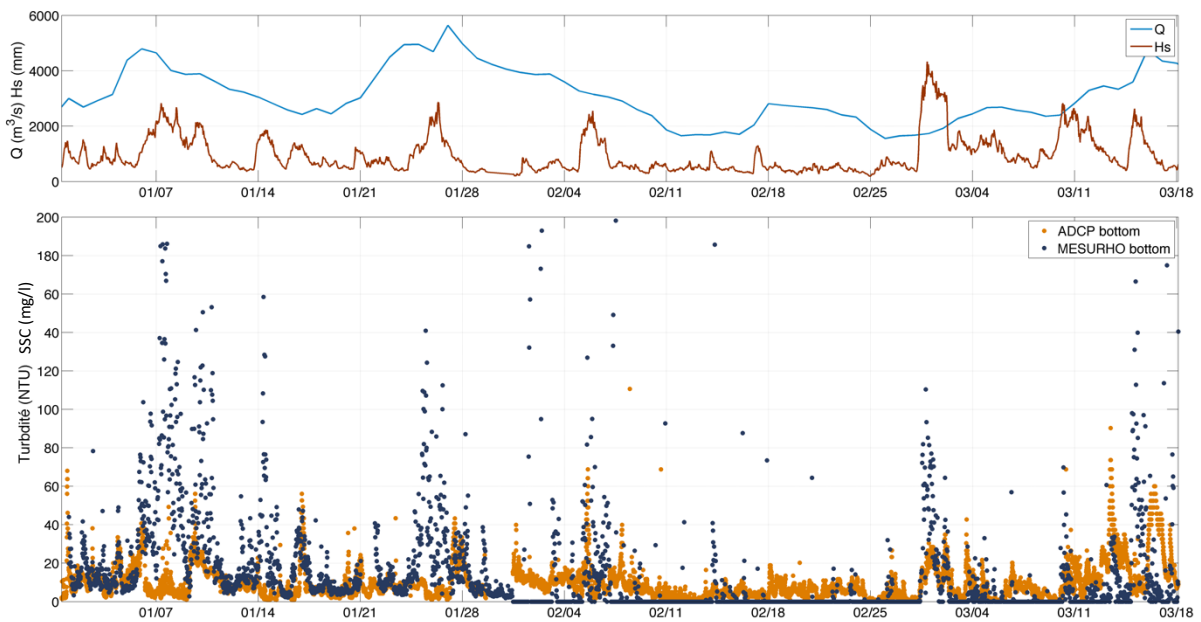


Figure 3 : Dynamique des MES mesurées par capteurs optiques (sondes mutliparamètres MESURHO) et par ADCP (intensité acoustique calibrée) en 2018 (janvier à mars): exemple d'événements intenses, crues et tempêtes. ADCP : concentration en MES (mg/l) et MESURHO : turbidité (NTU). Sur la figure du haut, Q est le débit du Rhône (m³/s) et Hs la hauteur significative de vagues (mm).

2.3. Dynamique hydro-sédimentaire à l'embouchure du Rhône sur la période 2018-2019

La dynamique des concentrations en MES à l'embouchure du Rhône est contrôlée par les apports en provenance du bassin versant, avec des concentrations dépassant 10mg/l pour des débits supérieurs à 2000m³/s, et pouvant atteindre 50mg/l (Figure 2 et Figure 4). Cette dynamique basse fréquence est superposée à une variabilité événementielle engendrée par les tempêtes. L'année 2018 se caractérise par des débits forts (supérieurs à 2000m³/s, jusqu'à 5000m³/s) de décembre 2017 à juin 2018 (Figure 5), contrairement à l'année 2019, présentant des débits souvent inférieurs à 2000m³/s. Ces différences se retrouvent sur la signature en concentration en MES, avec des niveaux moyens significativement plus faibles en 2019.

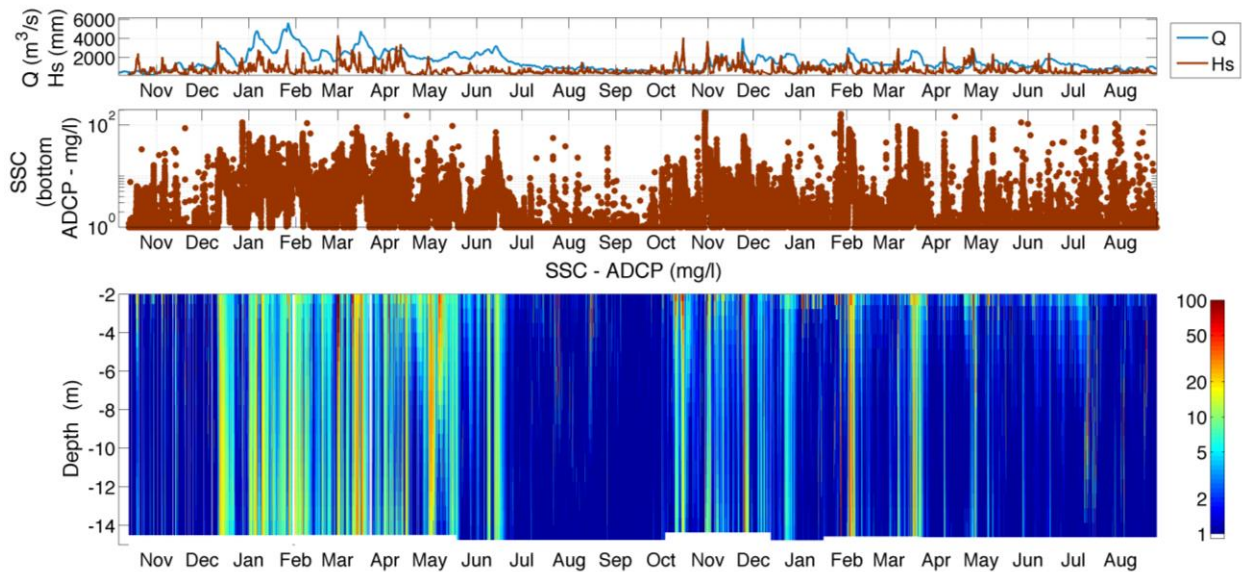


Figure 4 : Vue générale de la dynamique des MES à la station MESURHO entre novembre 2017 et aout 2019.

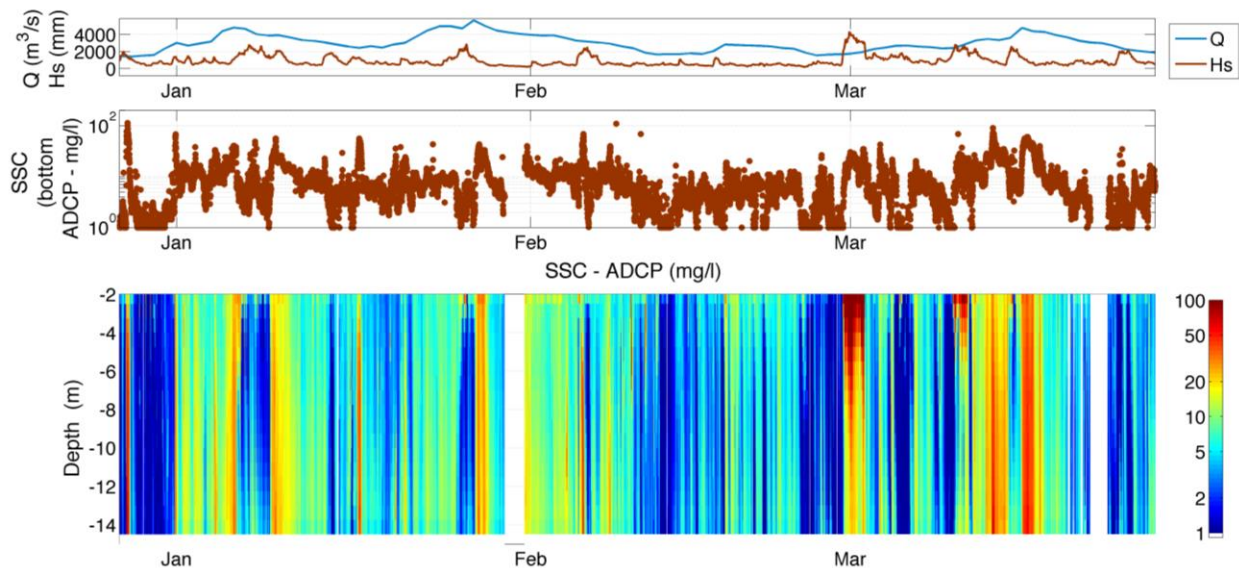


Figure 5 : Dynamique des MES à l'embouchure du Rhône pendant l'hiver 2018

En 2019, Deux périodes de débits supérieurs à 2000m³/s sont observées (février et mars 2019), associées aux périodes de concentrations en MES les plus fortes sur l'ensemble de la colonne d'eau (Figure 6). L'épisode de mars 2019 est particulièrement intéressant en terme de dynamique des concentrations en MES (Figure 7). Cette période se caractérise par des niveaux de houle faibles, en moyenne inférieurs à 1m. A l'échelle de la période de fort débit, nous pouvons constater une très forte variabilité des niveaux de concentration en MES. Plusieurs causes peuvent expliquer cette dynamique : i) l'atténuation du signal acoustique, non pris en compte dans cette analyse ; ii) une variabilité de la circulation dans le prodelta, avec une migration rapide du panache ; iii) une variation haute fréquence des apports amonts, non observée avec les débits quotidiens. Ce point devra faire l'objet d'une analyse conjointe des flux amont/aval.

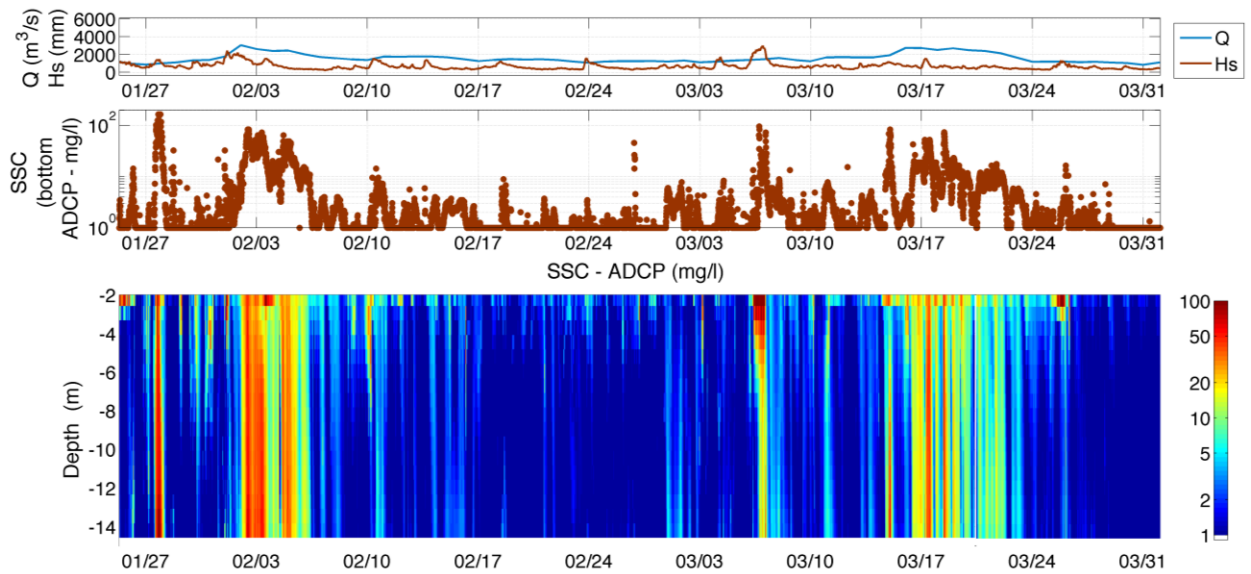


Figure 6 : Dynamique des MES pendant l'hiver 2019 observée à la station MESURHO.

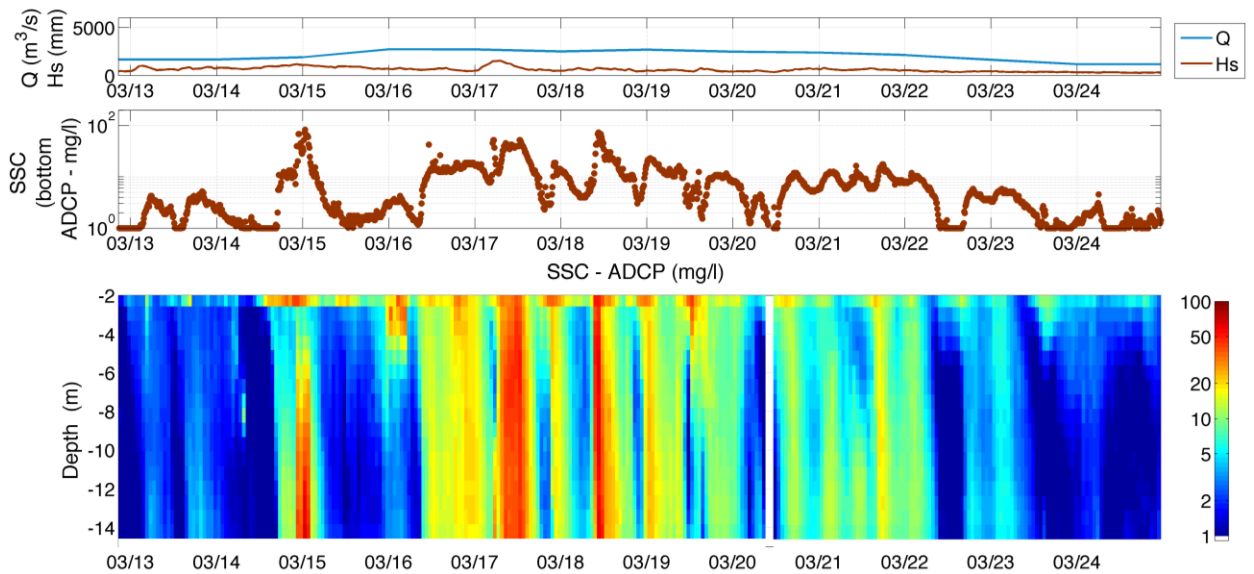


Figure 7 : Dynamique des MES lors de l'événement de fort débit en mars 2019.

Il est également intéressant de noter que ces apports contrôlent la dynamique du prodelta, toujours intense. Ainsi, entre 2010 et 2019, une accrétion de plus de 2m est observée à la station MESURHO (Figure 8). Cette progradation du prodelta sera confirmée en 2021 et 2023 par l'acquisition de deux nouvelles bathymétries haute résolution, fournissant une information quantitative essentielle à la modélisation des transferts sédimentaires du Rhône vers le Golfe du Lion.

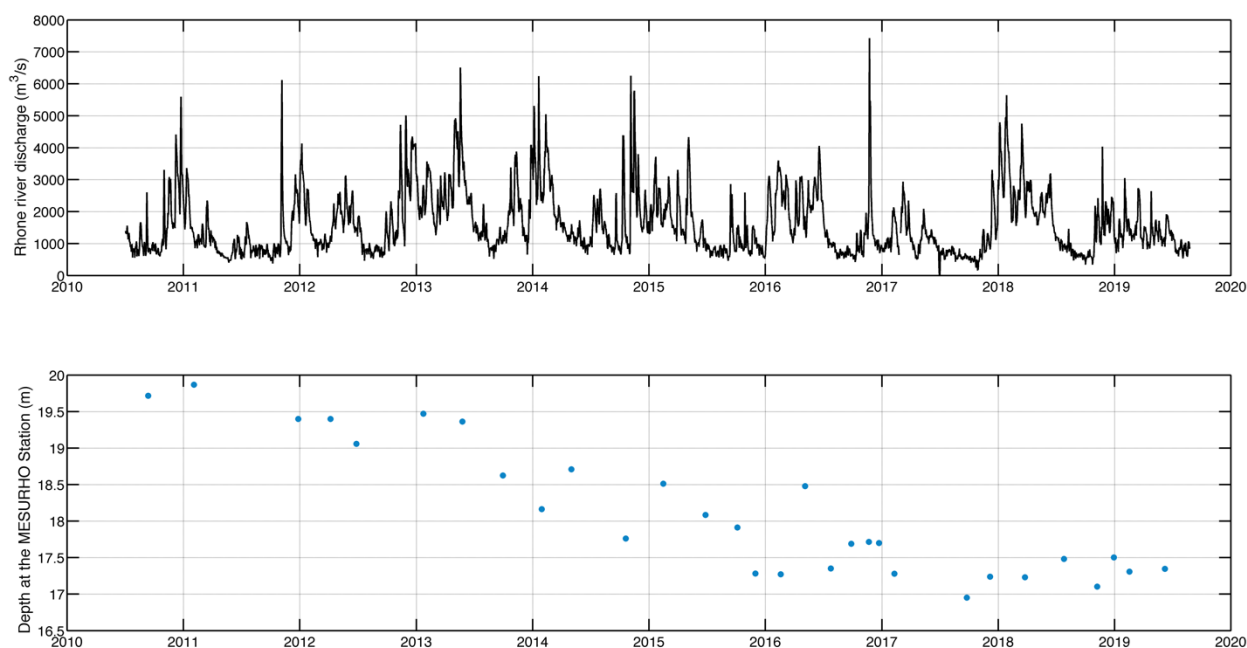


Figure 8 : Débit du Rhône et évolution de la profondeur du fond observée à la station MESURHO depuis 2010

2.4. Focus sur la dynamique hydro-sédimentaire à l'embouchure du Rhône au printemps 2020

Un système autonome utilisant des sondes EcoTriplet (mesures de la turbidité, de la fluorescence et du CDOM) et Hydrocat (mesures hydrologiques) a été déployé à environ 3m de profondeur à la station MesurRho pour des mesures entre février et juin 2020 (Figure 9). Parallèlement, les vents ont été mesurés à la station Météo-France de Cap Couronne (Figure 10). Les vagues simulées par le modèle WW3 opérationnel (MENOR-UG) sont également présentées (Figure 9). En se focalisant sur la période février-avril 2020 (Figure 11), on peut noter l'influence du vent sur la salinité mesurée à 3m. Autour du 8 et du 17 février, lors d'épisodes de vents de sud-est de faible intensité, la salinité diminue. Le panache est alors poussé à la côte et s'approfondit, comme l'illustre la simulation MARS3D MENOR (voir Figure 12, <https://marc.ifremer.fr/>). La turbidité mesurée pendant ces événements présente des pics de maximum, correspondant à la présence du panache turbide. D'après la série temporelle (Figure 11), la turbidité de subsurface atteint un maximum à plus de 40 NTU au début du mois de mars, lors de l'épisode de vent de sud/sud-est/est d'intensité supérieure à 10m/s, associé à des hauteurs de vagues de 4m. D'après les résultats précédents, on peut s'attendre à ce que la resuspension des sédiments associés concerne toute la colonne d'eau. Les valeurs de turbidité restent ensuite élevées sous l'action d'une crue du Rhône (débits > 2000m³/s) pendant plusieurs jours. L'impact du débit sur la turbidité de subsurface (-3mbs) est illustré par les Figure 13 et Figure 14, avec une corrélation positive entre ces deux paramètres. Pour les périodes de fort débit (i.e. >2000m³/s), la turbidité varie entre 2 et 10NTU par temps calme, alors qu'elle ne dépasse pas 2NTU en bas débit. L'influence des vagues est visible sur l'épisode de forte houle (e.g. Hs>3m) de début mars, mais également en période de temps calme par faible débit : la turbidité varie entre 0.5 et 5 NTU pour des épisodes de houles supérieures à 1.5m, tandis qu'elle reste inférieure à 2NTU (médiane inférieure à 1NTU) par temps calme. En période de fort débit, l'influence des vagues est quantifiée à travers les valeurs extrêmes observées : de l'ordre de 10NTU par

temps calme, 20 NTU en période de houle forte. Toutefois cet impact ne se traduit pas par des valeurs médianes différenciées.

Les apports du Rhône contrôlent donc bien la turbidité de subsurface à l'embouchure, avec des niveaux de turbidité variant de moins de 1NTU par faible débit et pouvant atteindre plus de 10NTU par très fort débit. Les épisodes de houle concourent à l'augmentation de la turbidité via la remise en suspension des sédiments à l'embouchure, avec un effet significatif en période de bas débit, pour laquelle les niveaux de turbidité médian et extrêmes augmentent avec la hauteur de houle.

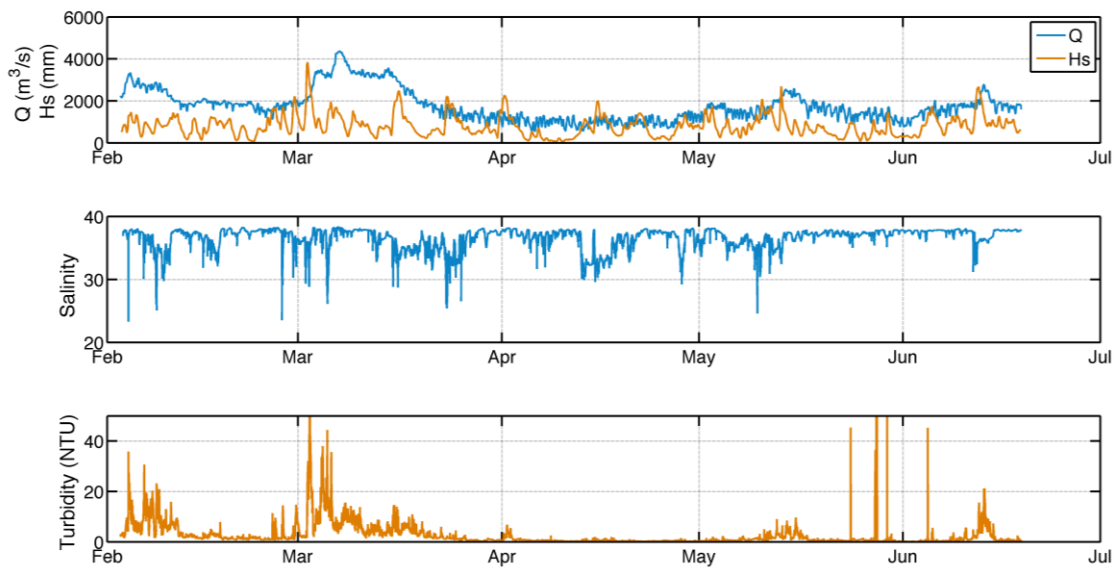


Figure 9 : Débit du Rhône, hauteur de vagues, salinité et évolution temporelle de la turbidité à la station MESURHO de février à juin 2020

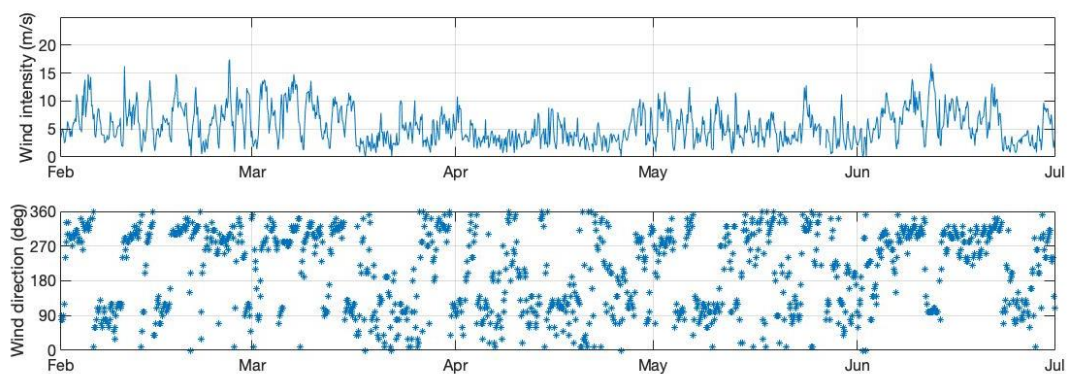


Figure 10 : Intensité et direction des vents à la station Météo-France de Cap Couronne de février à juin 2020

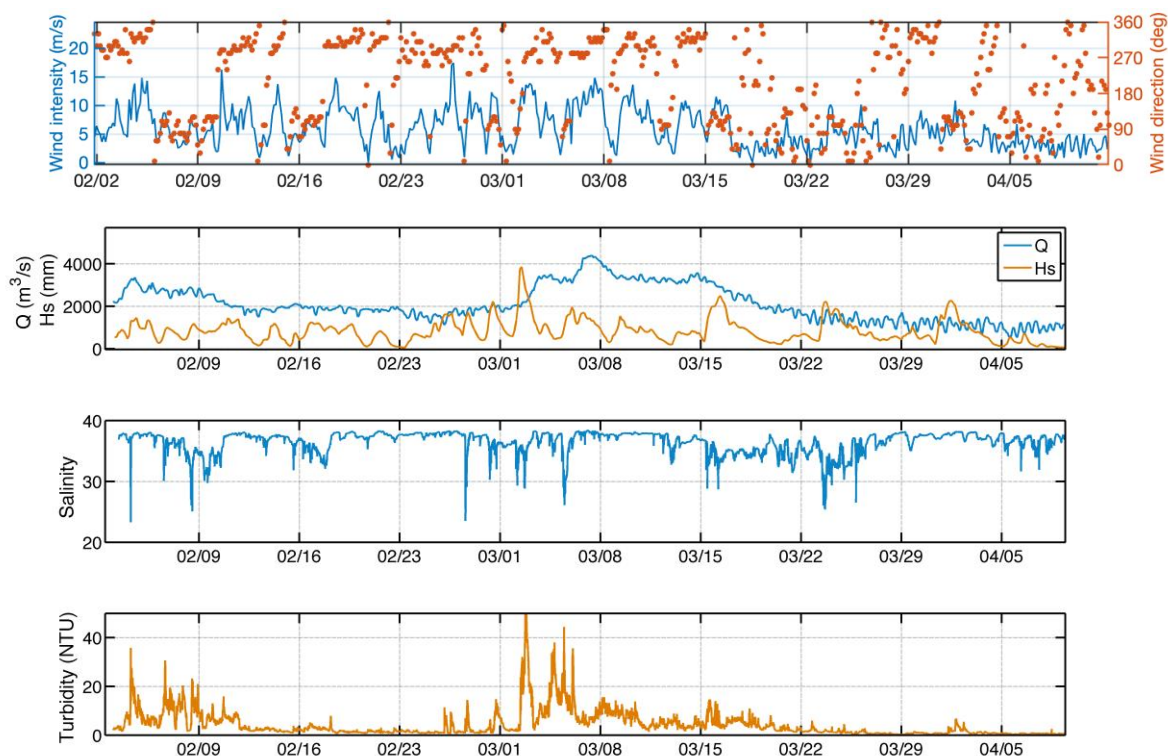


Figure 11 : Vent, débit du Rhône, hauteur de vagues, salinité et évolution temporelle de la turbidité à la station MESURHO de février à avril 2020.

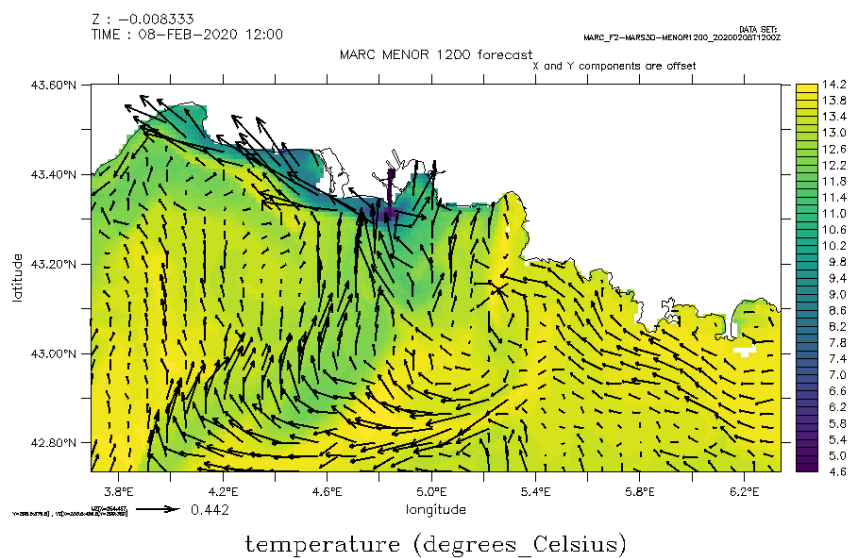


Figure 12 : Salinité et courants (m/s) de surface du modèle MENOR le 8 février à 12h.

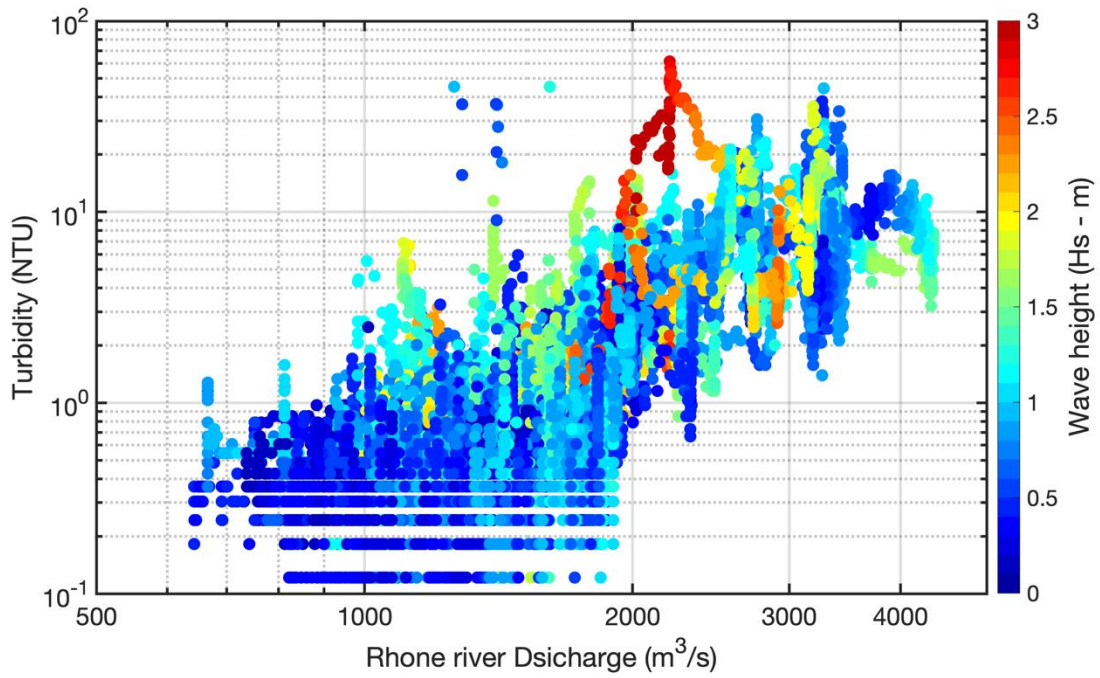


Figure 13 : Relation entre la turbidité de subsurface-et le débit du Rhône sur la période février-avril 2020.

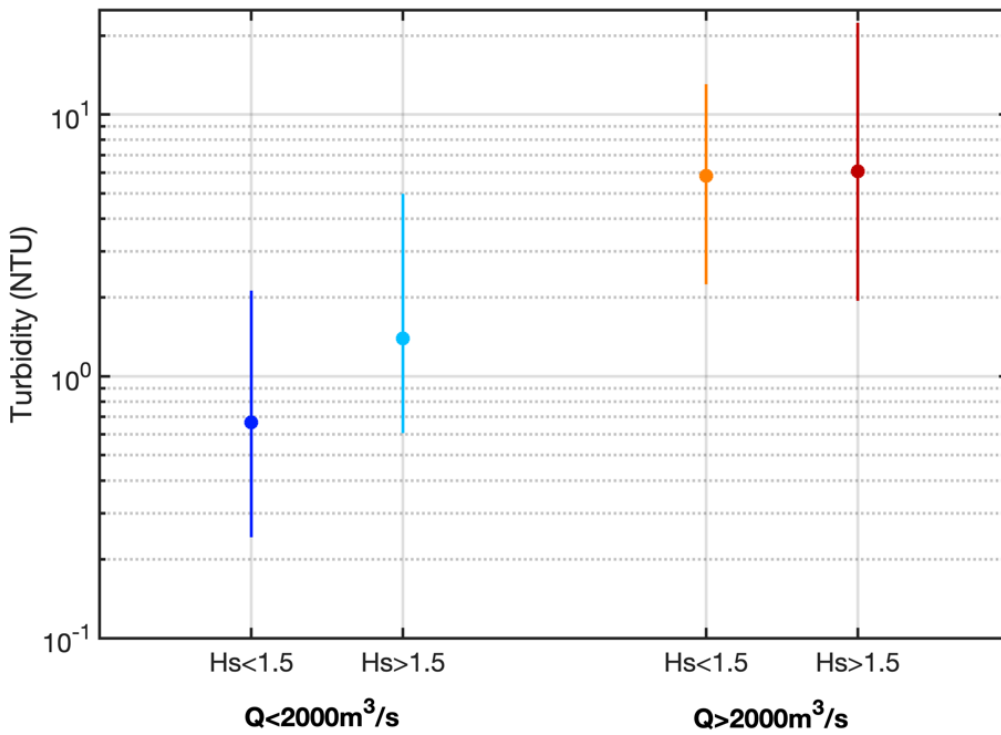
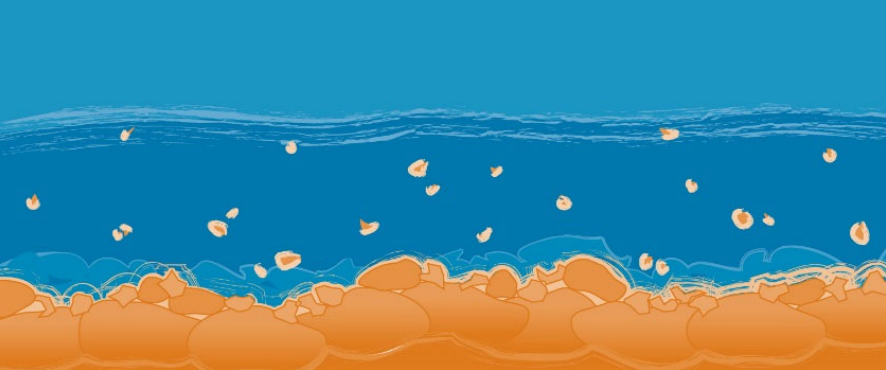


Figure 14 : Statistiques de turbidité (médiane et percentiles 10 et 90) par gammes de débit et de houle sur la période février-avril 2020.

3. CONCLUSION

Sur la période 2018-2020, les périodes de forts débits et de tempêtes sont souvent associées à des maximum de turbidité mesurés au fond et en subsurface. Les mois de février et mars présentent chaque année des maximum de turbidité, tandis que la période de juillet à octobre correspond à une période de minimum de turbidité. Le débit du Rhône (supérieur à 2000 m³/s en crue), les vents (qui rabattent le panache à la côte lorsqu'ils sont de sud/sud-est) et les vagues (qui induisent une resuspension des sédiments de fond) ont un rôle prépondérant sur la turbidité mesurée dans la colonne d'eau. Celle-ci peut dépasser les 50 mg/L à la station MesuRho. Le rôle des apports amont (par type de bassin versant par exemple) reste à préciser, en croisant les résultats obtenus à l'embouchure avec les données de la station SORA et les résultats des modèles amont.

De plus, entre 2010 et 2019, une accrétion de plus de 2m a été observée à la station MESURHO, illustrant la dynamique de cette zone. Ainsi, un suivi de la bathymétrie est indispensable aux activités de modélisation du prodelta du Rhône. Sachant que le Rhône est le principal contributeur en eau et en particules à la Méditerranée Nord-Occidentale, comprendre et modéliser le continuum terre-mer est indispensable à une bonne représentation du devenir des apports liquides et solides du Rhône en mer, ainsi que des éventuels polluants associés.



Observatoire des Sédiments du Rhône

Plan
Rhône
Saône

RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
*Liberté
Égalité
Fraternité*

agence
de l'eau
RHÔNE MÉDITERRANÉE
CORSE
établissement public de l'État

AVEC LE SOUTIEN DE L'UNION EUROPÉENNE

L'EUROPE S'ENGAGE
pour le Rhône
et la Saône
avec le FEDER

UNION EUROPÉENNE

CAR

EDF

La Région
Occitanie
Pyrénées - Méditerranée

RÉGION
SUD
PROVENCE
ALPES
CÔTE D'AZUR

La Région
Auvergne-Rhône-Alpes

cnrs

EVS
Environnement
Vie Société

cerege
CENTRE EUROPÉEN
DE RECHERCHE ET D'ENSEIGNEMENT
DES GÉOSCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

INRAE

MENTPE
L'école de l'aménagement durable des territoires

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Ifremer

mio
Mediterranean Institute
of Oceanography

ZA
Zone
Atelier
LTER FRANCE BASSIN DU RHÔNE

ohm
Observatoire Hommes-milieux - Vallée du Rhône

LabEx
DRIHM

cnrs

INVESTISSEMENTS
D'AVENIR

Observatoire des Sédiments du Rhône

GRAIE – OHM Vallée du Rhône

66 bd Niels Bohr – CS 52132

69603 Villeurbanne Cedex

www.graie.org/osr/

Contact :

bertrand.morandi@graie.org