

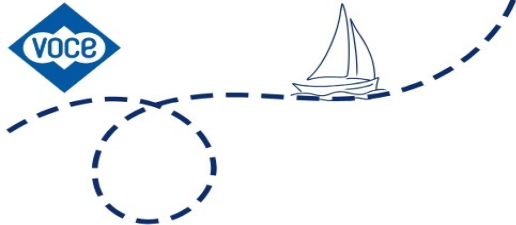
Le présent rapport est publié sous licence CC-BY-ND

Les données, les interprétations et les images présentes dans ce rapport sont la propriété de l'Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions, libres d'accès et d'utilisation à condition de citer les références du rapport et d'indiquer la source des données, photos, et graphiques ("Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions - Fos sur Mer").

Il ne sera pas apporté de modifications à la version originale du rapport à des fins de diffusion. L'Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions ne pourra être tenu responsable de toute interprétation réalisée par un tiers et qui n'est pas explicitement détaillée dans ce rapport.

*Pour citer ce rapport :
Souloumiac Audrey, Soul Coraline. Mesures des paramètres physico-chimiques des années 2023-2024. Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions, 2025.*

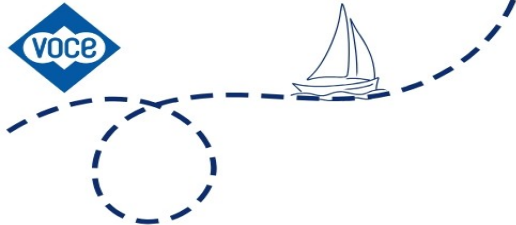




L'Institut Écocitoyen tient à remercier les volontaires du réseau VOCE salinité : Mr Dupitier Christian, Carle Jacques et Durand Alain qui ont donné de leur temps pour effectuer ces relevés au cours de l'année 2023-2024. Merci également à nos stagiaires Elsa Gonzales-Camoin et Eliot Fourre pour leur aide et leur motivation au cours de ces sorties.

Les mesures réalisées pour ce rapport ont bénéficié d'un soutien financier de la Métropole Aix-Marseille-Provence, du Grand Port Maritime de Marseille (GPMM) de l'Agence de l'eau ainsi que de la ville de Fos-sur-mer.







Contexte

L'Institut Écocitoyen a fondé l'Observatoire Citoyen de l'Environnement afin de répondre à une demande croissante sur les impacts écologiques et sanitaires des zones industrielles du golfe de Fos et de l'étang de Berre. Cette démarche intègre la population directement dans une réelle approche scientifique. Elle permet, à la fois, d'être une source informative mais également de fonder des échanges sur un socle de confiance entre science et information. Cet observatoire propose ainsi aux citoyens de participer directement à certaines études lancées par l'Institut Écocitoyen sur l'observation et le suivi des milieux. Ces études, basées sur des protocoles scientifiques réalisés en étroite collaboration entre les chercheurs de l'Institut et les volontaires, intègrent l'action des citoyens à l'initiative des questions de recherche, à au moins à une étape de la méthode. Les volontaires peuvent ainsi être amenés à intervenir lors des phases préliminaires (reconnaitances de terrain, historiques d'usage, choix d'espèces indicatrices...) et des phases opérationnelles (réalisations de prélèvements, suivis de paramètres...).

L'intérêt mutuel est ainsi de répondre à un questionnaire précis à l'aide de connaissances en façonnant des études scientifiques correspondant aux enjeux citoyens spécifiques, fondées sur la connaissance locale et bénéficiant d'une ampleur multipliée par l'intervention des volontaires. Il s'agit ainsi de constituer un groupe de citoyens à l'interface du territoire,

des décideurs et du monde scientifique facilitant d'une part la transmission de l'information aux populations riveraines, et, d'autre part, positionner les habitants dans une posture participative à ces grands questionnements de santé environnementale.

Sur la base du questionnaire des habitants du pourtour du golfe de Fos, initialement lié aux rejets de saumures au large de Lavera, l'Institut Écocitoyen effectue dans le cadre de l'Observatoire Citoyen de l'Environnement le suivi de paramètres physico-chimiques lors de sorties en mer réalisées grâce aux citoyens volontaires de Fos-sur-Mer, Port-de-Bouc et Port-Saint-Louis-du-Rhône. Cette structure a été mise en œuvre en 2010 avec le soutien du Ministère en charge de l'écologie et du développement durable, et a été labellisée par la commission pluraliste REPERE sur les sciences participatives. L'Observatoire VOCE assure la logistique en fonction de la disponibilité des volontaires, la réalisation des protocoles de mesures et l'interprétation des résultats.

Objectifs :

-  Collecter une fois par mois des données sur 5 paramètres physico-chimiques du golfe de Fos (Température, chlorophylle-*a*, pH, oxygène dissout, salinité).
-  Mieux connaître le fonctionnement des masses d'eaux et de suivre l'évolution de ces paramètres en impliquant les habitants.



Enjeux de la zone d'étude

Le golfe de Fos s'étend sur 15 km environ du Cap Couronne jusqu'à l'embouchure du Rhône, bordé par Martigues, Port-de-Bouc, Fos-sur-Mer et Port-Saint-Louis-du-Rhône. Sa surface est d'environ 100 km², dont presque la moitié se situe au nord du They de la Gracieuse (Figure 1). Les installations portuaires ont façonné la géographie de la zone par la création de plusieurs darses dont les plus grandes, Darse 1 et Darse 2, mesurent jusqu'à 5 km de long et plus de 500 m de large. La Darse 4, créée par les plateformes de la presque-île du Cavaou, face au They de la Gracieuse, augmente le cantonnement de la partie ouest du golfe. La profondeur des eaux du golfe est en moyenne de 8 m sur sa partie nord, et peut atteindre 50 à 60 m dans sa partie sud (Tableau 1). Par sa proximité avec le Rhône ainsi que le Canal de Caronte, relié à l'étang de Berre et les divers canaux qui se jettent dans le golfe, principalement en Darse 1, le Golfe de Fos est soumis à de nombreuses arrivées d'eaux douces et entraînent donc de fortes variations de salinités accentuées ou non par les conditions météorologiques qui peuvent provoquer une stratification des eaux. L'activité hydrodynamique a de fortes implications sur la production de la biomasse (définition : quantité totale d'organismes vivants d'une espèce animale ou végétale) ainsi que sur les cycles biogéochimiques (cycle des éléments tels que le carbone ou l'azote...) (Battisti, 2012).



La température est un paramètre fondamental dans la caractérisation des masses d'eaux, elle joue un rôle fondamental dans la variabilité des cycles biologiques. Sa mesure est également indispensable pour le traitement des autres paramètres (salinité, oxygène dissout...). La température rencontrée en Méditerranée nord-occidentale est plutôt élevée avec une moyenne annuelle de 17 °C en surface. Celle-ci est influencée surtout par le cycle saisonnier et est généralement comprise entre 11°C en hiver et 23°C l'été. Ces variations saisonnières de température peuvent être fortement affectées ponctuellement par l'influence des vents dominants présents sur la zone. En effet, le Mistral (vent de Nord - Ouest) favorise la remontée d'eaux profondes, phénomène appelé « upwelling » (Baudrier, 2016).



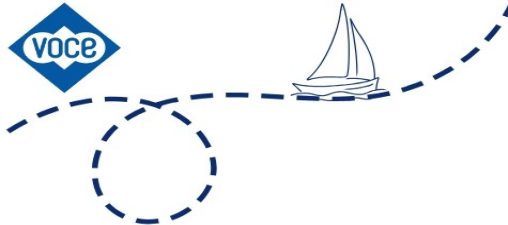
La salinité représente la masse de sels dissous contenu dans l'eau de mer, elle est exprimée en PSU : unité de salinité pratique qui correspond à la masse de sel en g pour 1 kg d'eau de mer. Elle permet de connaître les masses d'eaux présentes et de comprendre les courants marins présents. La salinité de la Méditerranée occidentale est assez forte, avec une moyenne de 38-39. Dans le golfe de Fos, elle est principalement influencée par les apports d'eaux continentales. En effet, l'apport d'eau douce provient majoritairement du Rhône avec un débit moyen de 1700 m³/s (BRLi, 2023) mais également du canal de Caronte, reliant l'étang de Berre au golfe de Fos, qui constitue un apport non négligeable (débit : 190 m³/s en moyenne), ainsi que de divers autres canaux pouvant aussi modifier très localement la salinité (débits inférieurs à 10 m³/s en général).

 **L'oxygène dissous** (ou LDO exprimée en % de saturation) gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques. Essentiel à la vie marine, il permet la respiration des organismes marins et sa concentration dépend d'une multitude de processus tels que la température, la salinité, la pression, la photosynthèse, sa consommation par les organismes (etc...). En effet, la température de l'eau de mer joue un rôle important, une eau froide pouvant contenir plus d'oxygène dissous qu'une eau chaude. L'expression de la LDO en % de saturation permet de s'affranchir des variations liées à la température en normalisant les valeurs par rapport à la température. Les valeurs à partir de **60 jusqu'à 79 %** correspondent à une oxygénation acceptable pour la plupart des organismes ; de **80 à 125 %** : excellent ; et de **125 % ou plus** : trop élevé, peut être dangereux pour les poissons. Un niveau trop faible (**inférieur à 60%**) en oxygène dissous pendant une période trop longue conduit à l'eutrophisation (déséquilibre du milieu pouvant conduire à une forme d'asphyxie) d'une masse d'eau (comme ça a pu être le cas dans l'étang de l'Estomac).

 **Le pH** ou potentiel d'hydrogène permet de mesurer l'acidité d'une solution, elle correspond à l'activité de l'ion hydrogène H^+ dans la solution (Ramade., 1998). Les équilibres physico-chimiques sont conditionnés par le pH, il est en moyenne à 8,1 en Méditerranée. Des pH faibles augmentent le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons. (Rodier et al ., 2009).

 **La concentration en chlorophylle-*a*** (exprimée ici en $\mu g/L$) contenue dans l'eau de mer exprime de façon très globale la quantité de phytoplancton présente. Celle-ci varie en fonction des saisons et sa mesure nous permet d'estimer la biomasse phytoplanctonique présente dans l'eau (Mayot, 2016). Sa concentration peut varier de 0 à une dizaine de $\mu g/L$, dans les conditions normales. Les concentrations en chlorophylle-*a* dans les eaux superficielles dépendent de divers paramètres. Le développement phytoplanctonique est, en effet, tributaire de l'énergie lumineuse, de la température, de la concentration en sels nutritifs, de la stabilité des masses d'eaux et de l'intensité de la consommation par le zooplancton et les mollusques.

 **La turbidité** c'est la mesure de la clarté de l'eau, elle décrit la quantité de lumière diffusée ou bloquée par les particules flottant dans l'eau (algues, matière en suspension....). Le capteur de turbidité envoie de la lumière dans l'eau et mesure la vitesse à laquelle cette lumière est diffusée par les particules présentes dans l'eau. Les résultats sont exprimés en Unités de Turbidité Néphélométriques (UTN). Elle peut varier en fonction des saisons (blooms phytoplanctoniques au printemps ou à l'automne), de la météo (action du vent ou de la pluie). L'augmentation de la turbidité peut avoir des effets négatifs sur le développement des algues qui ont besoin de lumière pour se développer. Cela peut également avoir un impact sur les poissons en diminuant leur visibilité pour la chasse ou en obstruant les branchies.



Mise en place du dispositif d'observations citoyennes

Une fois par mois, il est demandé aux volontaires voulant participer à cette action, de disposer d'un bateau à voile ou à moteur, et d'être disponible une demi-journée du lundi au vendredi (1, 2 ou 3 fois/an). Une fois le rendez vous fixé avec le volontaire à son port d'attache les agents de l'institut et le volontaire partent en mer pour réaliser des mesures au niveau du transect défini par l'institut écocitoyen qui est constitué de 5 points (A, B, C, D et E) allant de Port-Saint-Louis-du-Rhône jusqu'à Port-de-bouc en passant par le They de la Gracieuse (**Figure 1 et Tableau 1**). Il est à noter que le point C a dû être déplacé en 2024 à cause de l'ensablement du They de la Gracieuse.

Au cours des années 2023 et 2024, 13 sorties avec les volontaires ont été réalisées, 6 en 2023 (le 6 janvier, le 2 mars, le 6 avril, le 22 mai, le 12 juillet, le 11 décembre) et 7 en 2024 (le 16 janvier, le 28 février, le 2 avril, le 5 juillet, le 13 août, le 23 octobre et le 11 décembre). Il est à noter qu'entre Juillet et Décembre 2023 la sonde CTD a montré quelques dysfonctionnements interrompant la série de mesures sur l'année 2023.

Point	A	B	C	D	E
Localisation	Carteau	Gracieuse Ouest	Gracieuse Est	Grand Forte	Tasques
Profondeur max (m)	9	11	15	23	16
Latitude	43.38055	43.381917	43.391767	43.389167	43.391383
Longitude	4.883883	4.906083	4.9171	4.948883	4.976383

Tableau 1: Coordonnées GPS des 5 sites de mesures



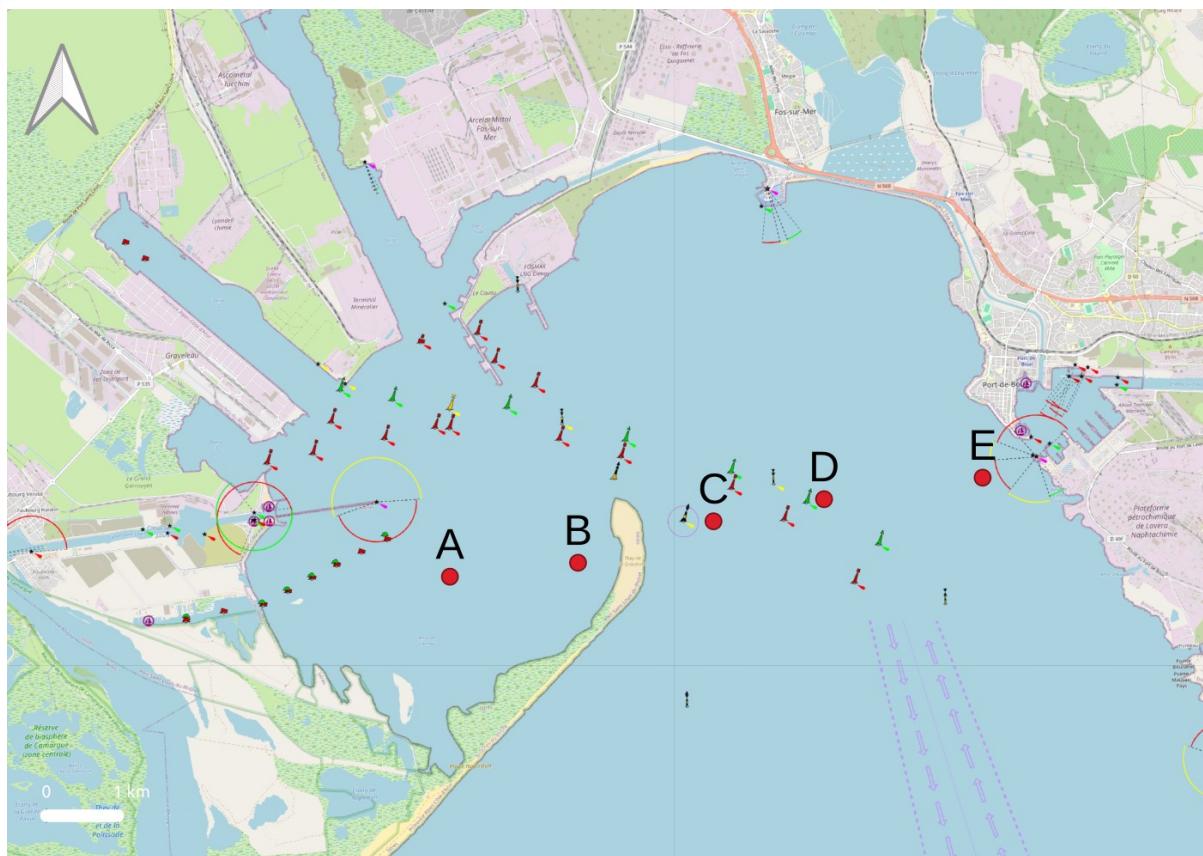
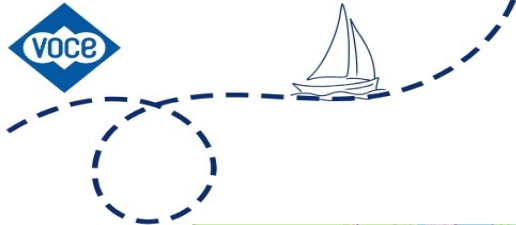


Figure 1: Carte nautique représentant le transect et les 5 points de mesures dans le golfe de Fos

1) La sonde CTD

Depuis 2017 la sonde CTD de la marque **OTT** – **Hydrolab** était utilisée pour les mesures depuis 2018, mais depuis le mois de **juillet 2024**, les mesures sont réalisées avec la sonde multi-paramètres **AquaTROLL 700** de la marque **In-Situ** (Figure 2). La sonde est plongée dans l'eau et les paliers de mesures se font toutes les 2 secondes au cours de la remontée de la sonde après qu'elle ai touché le fond. Les valeurs des paramètres (température, salinité, pH, concentration en chlorophylle-*a*, LDO, turbidité et profondeurs) sont enregistrés toutes les 2 secondes au cours de la remontée.



Figure 2: Sonde multi-paramètres AquaTroll 700 de la marque In-Situ.





2) Le disque de Secchi

En plus de ces paramètres physico-chimiques, l'Institut s'est muni depuis le mois de janvier 2024 d'un disque de Secchi (**Figure 3**).



Figure 3: Disque de Secchi lesté plongé dans l'eau par un VOCE.

Le disque de Secchi normalisé est un disque de 20 cm de diamètre avec deux cadrans peints en noir et deux autres en blancs. Il est lesté sur sa face inférieure et fixé au bout d'une corde étalonnée. L'appareil est descendu par l'observateur jusqu'à sa disparition visuelle. On note alors la longueur de la corde correspondante. Il remonte ensuite la corde jusqu'à réapparition du disque et note une nouvelle fois la longueur de la corde.

La mesure de la profondeur du disque de Secchi est le point médian entre ces deux mesures. Ce disque permet de mesurer la transparence de l'eau et permet de déterminer la densité phytoplanctonique dans le milieu, mais aussi les matières en suspension issues des affluents (Caronte, Rhône, darses....) ou suite à des épisodes pluvieux. La profondeur de disparition visuelle du disque (notée $Z_{\text{profondeur de disparition du disque}}$) nous renseigne sur l'état écologique du milieu aquatique. On peut également calculer la profondeur de la zone euphotique ; notée $Z_{\text{euphotique}}$; c'est à dire la zone sous-marine exposée à une lumière suffisante pour la réalisation de la photosynthèse et se calcule de la façon suivante (Lemmin, 1995) :

$$Z_{\text{euphotique}} = 2,7 * Z_{\text{profondeur de disparition du disque}}$$

La profondeur de disparition du disque est corrélée avec la turbidité de l'eau mesurée par la sonde CTD.



- **La turbidité et la transparence de l'eau :**

La mesure de la transparence de l'eau (profondeur de disparition du disque) est représentée en vert sur la **Figure 4**, elle est mesurée entre le 16 janvier 2024 et le 11 décembre 2024 tandis que les mesures de turbidité (en bleu sur la **Figure 4**) n'ont commencé qu'à partir du 5 juillet 2024, date d'acquisition de la nouvelle sonde CTD.

Les données de turbidités sont corrélées négativement aux valeurs de profondeur de disparition du disque, c'est à dire que lorsque **la turbidité augmente, la profondeur de disparition du disque diminue et inversement.**

La profondeur de disparition du disque varie de 2 à 11,3 mètres sur l'année 2024 avec une valeur moyenne à 4,6 mètres.

La turbidité varie de 0,9 à 2,3 UTN avec une valeur moyenne à 1,9 UTN. Ces valeurs se situent dans la gamme haute de ce qui est mesuré en méditerranée. Selon les données de l'Iframer, la turbidité en Méditerranée et plus particulièrement au niveau du golfe du Lion varie de 0,05 à 12 UTN avec une moyenne à 0,49 UTN.

Sur les 5 points de mesure la date où la profondeur de disparition moyenne du disque était la plus forte est le **13 août 2024** avec 9,8 mètres de profondeur sur l'ensemble des points, et c'est au point C qu'elle était la plus importante avec un record à 11,3 mètres. La turbidité la plus faible est mesurée à cette date là (corrélation négative) avec une turbidité à 0,9 UTN.

Au contraire, le **23 octobre 2024** est la date à laquelle la profondeur de disparition du disque était la moins forte avec une **profondeur moyenne** de 2,3 mètres. La turbidité la plus élevée est relevé à cette date là (corrélation négative) avec une turbidité moyenne à 2,3 UTN.

En terme de saisonnalité c'est en **été** que la profondeur de disparition du disque est la plus importante avec une moyenne à 6,6 mètres alors que c'est en **automne** qu'elle est la plus faible avec 2,3 mètres sur les 5 points de mesures.

Les valeurs de turbidité n'ont été mesurées que sur les périodes de l'été et de l'automne, **la turbidité de l'été est deux fois plus faibles que celle de l'automne** avec une turbidité moyenne sur les 5 points à 1,7 UTN contre 2,3 UTN respectivement. Cette différence de turbidité et de transparence de l'eau entre les saisons et particulièrement entre l'été et l'automne est directement liée à la concentration en chlorophylle-*a* supérieure au printemps et à l'automne ainsi qu'aux quantités de matières organiques présentes dans l'eau accentuées par les pluies plus fréquentes en automne et au printemps qu'en été.

Le **point E** est le point où la profondeur moyenne de disparition du disque est la plus **élevée** sur l'année 2024 (5,7 mètre de profondeur), c'est également le point où la turbidité est la plus faible (1,7 UTN).

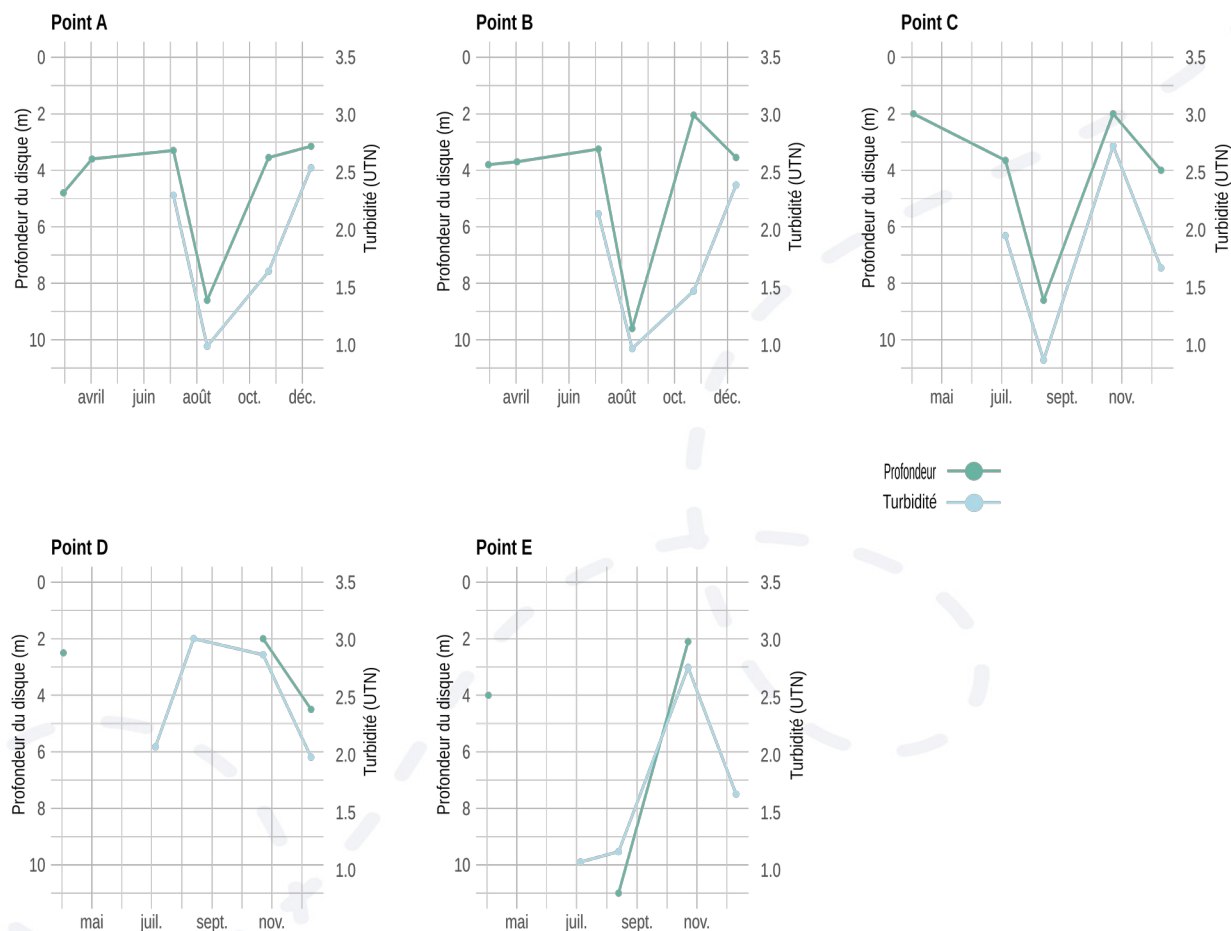
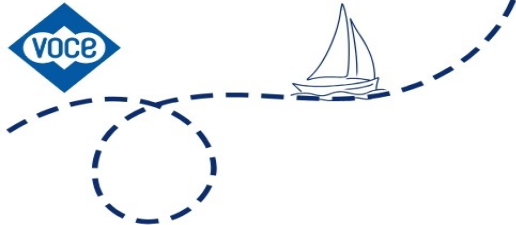


Figure 4: Profil de profondeur de disparition du disque (m) (vert) et de turbidité (UTN) (bleu) aux 5 points de mesures (A, B, C, D et E) dans le golfe de Fos.

Situé au large de Lavera, ce point est le moins soumis aux apports du Rhône mais peut être légèrement influencé par les entrées d'eaux de l'Etang de Berre via le canal de Caronte qui constitue un apport non négligeable (débit : $190 \text{ m}^3/\text{s}$ en moyenne) notamment accentué en cas de vent de Nord-Est, peu fréquent dans la région. A l'inverse, les points **B** et **C** sont les points où les profondeurs moyennes de disparition du disque sont les plus faibles avec une moyenne à 4,3 m et 4 m et une turbidité à 1,7 et 1,8 UTN respectivement.

Ces deux points sont situés à l'Est de la Gracieuse et sont fortement soumis aux entrées du Rhône avec un débit moyen en 2023 de $1\,700 \text{ m}^3/\text{s}$ (BRLi, 2023) et accentué par l'action du Mistral (vent dominant de la région avec 100 jours/an de Mistral) qui remet en suspension les sédiments. L'eau du Rhône est chargée en Matière En Suspension (MES)(Paireud et al, 2021) ce qui entraîne une augmentation de la turbidité et donc une diminution de la transparence de l'eau.





En résumé nous pouvons observer une saisonnalité dans la transparence de l'eau et la turbidité qui jouent un rôle dans le développement des algues et la vie sous-marine notamment influencées par la zone euphotique, c'est à dire la profondeur jusqu'à laquelle les rayons du soleil pénètrent (**Figure 4**). Ces variations de turbidité et transparence de l'eau sont également tributaires des vents et de la météo ; notamment de la pluie et/ou de l'ensoleillement; qui amènent ou remettent en suspension les matières organiques, permettant le développement de la chlorophylle-*a* qui influence la transparence de l'eau ou bien qui accentuent les entrées d'eaux douces du Rhône (au point B et C particulièrement) ou du canal de Caronte (au point E particulièrement).

- **Chlorophylle-*a* :**

La chlorophylle-*a* entre 2023 et 2024 varie de 0 à 2,1 µg/L avec une valeur moyenne à 0,4 µg/L. La valeur moyenne de concentration en chlorophylle-*a* est légèrement plus faible en surface avec une moyenne à 0,1 µg/L qu'en profondeur avec une moyenne à 0,2 µg/L. Ces valeurs sont inférieures aux valeurs moyennes depuis 2017 en surface et profondeur qui sont respectivement de 0,4 et 0,6 µg/L (**Figure 6**). Sur l'ensemble des points nous observons deux pics de production de phytoplancton au printemps (avril-mai) et à l'automne (octobre), appelés "bloom" ou efflorescence phytoplanctonique (**Figure 5**).

C'est blooms sont liés à l'intensité lumineuse qui est le plus favorable à leur développement au niveau de la zone euphotique calculée plus haut grâce à la profondeur de disparition du disque sur ces périodes se situe entre 6 et 9 mètres et dont la moyenne de concentration en chlorophylle-*a* est de 0,7 µg/L, plus bas elle est insuffisante et plus près de la surface son irradiation trop élevée compromet le développement du phytoplancton.

Entre les **points B et E (Figures 6)**, la chlorophylle-*a* moyenne est à peine plus élevée qu'au point E (0,2 et 0,1 µg/L respectivement).



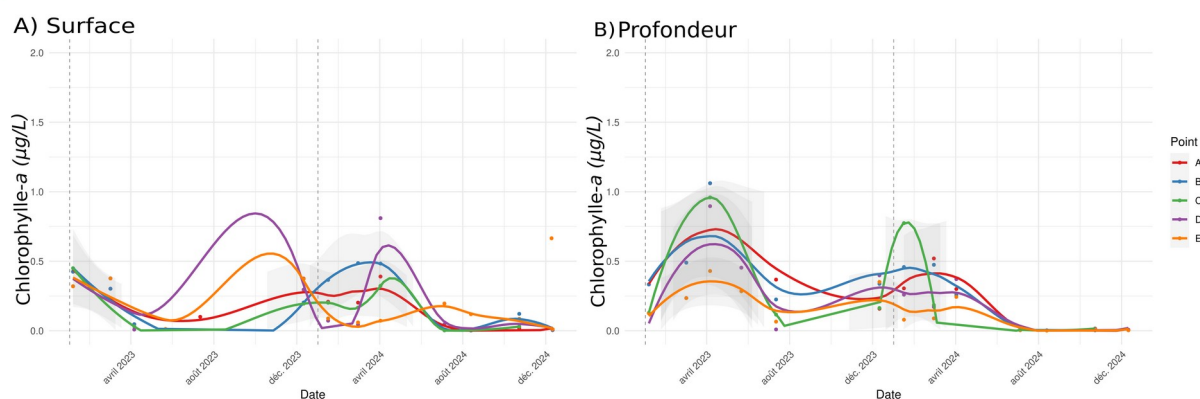
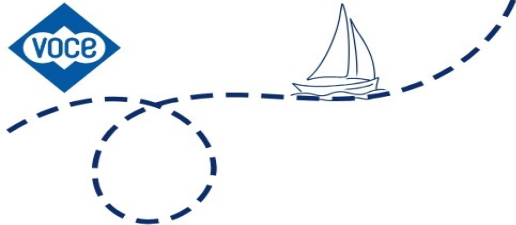


Figure 5: Quantité moyenne de chlorophylle-a ($\mu\text{g/L}$) sur les 5 points de mesures en 2023 et 2024 en A) surface et B) profondeur.

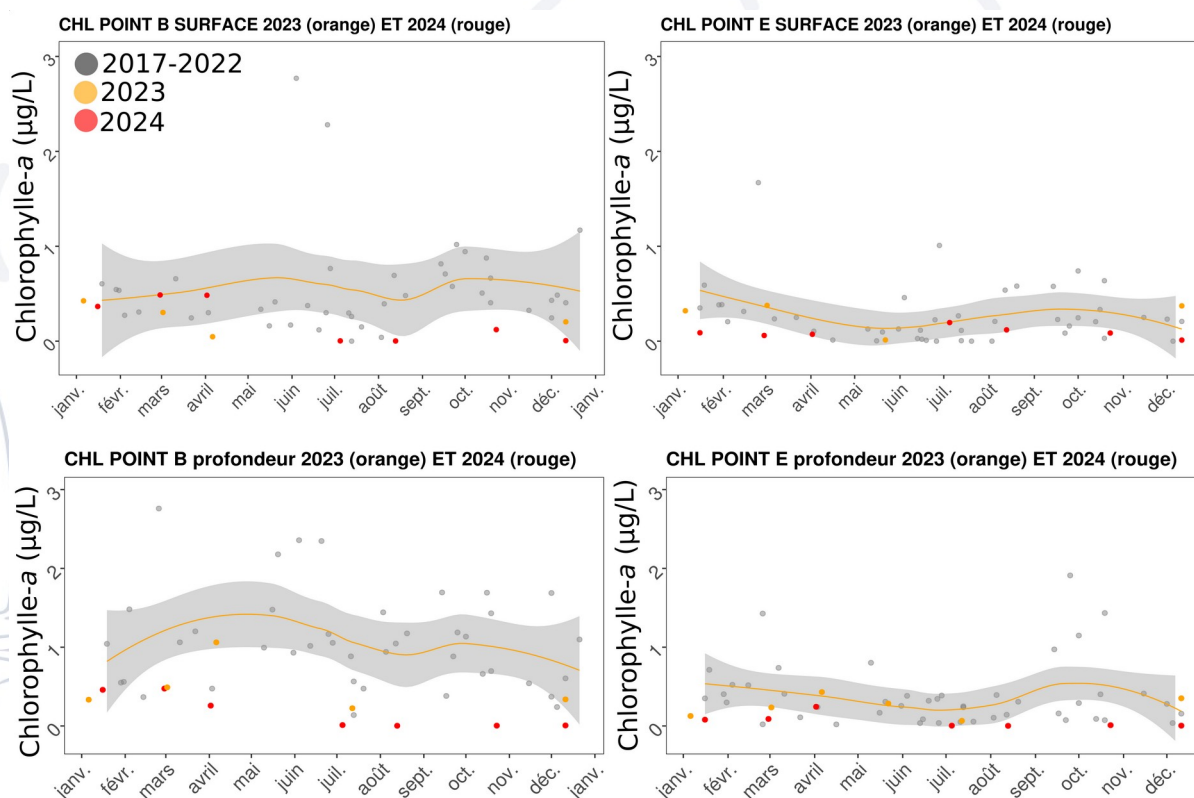


Figure 6: Concentration en chlorophylle-a ($\mu\text{g/L}$) au point B en profondeur et en surface ainsi qu'au point E en profondeur et en surface entre 2017 et 2022 (points gris), 2023 (points oranges) et 2024 (points rouges) avec un intervalle de confiance à 95 % (zone grise) et la moyenne lissée (courbe orange).



La température :

La température rencontrée en Méditerranée nord-occidentale est plutôt élevée avec une moyenne annuelle de 17,7 °C en surface. Celle-ci est influencée surtout par le cycle saisonnier et est généralement comprise entre 9°C en hiver et 24,1°C l'été. Ces variations saisonnières de température peuvent être fortement affectées ponctuellement par l'influence des vents dominants présents sur la zone.

Dans le golfe de Fos, la température entre 2023 et 2024 (**Figure 7**) a varié de 9 à 27,0°C avec une moyenne sur l'ensemble de la colonne d'eau et des points de mesures de 16,4 °C (17,7 en surface : 0-1m) et 16,6 en profondeur : 4-5m)(**Figure 7**).

La différence de température entre les 5 points est faible et varie de 15,9 pour le point D à 17,6 pour le point C .

Ces valeurs correspondent aux températures mesurées entre 2017 et 2022, la valeur moyenne du golfe variait de 9 à 24,1°C. En profondeur elle variait de 9,7 à 23,7°C avec une moyenne 16,7°C tandis qu'en surface elle variait 9, à 24,1 °C avec une moyenne de 17,7°C. On peut observer qu'en 2023 et 2024, plusieurs records de température mesurée via l'action VOCE ont été battus ; en surface avec une température de 27,0°C et en profondeur avec une température de 24,4°C. On observe plus généralement une augmentation des moyennes des températures estivales (juin, juillet, août, septembre) en eaux profondes (supérieure à 4m) depuis 2017 d'environ 4°C tandis que les moyennes hivernales restent stables. Notons qu'en hiver, les eaux profondes sont plus chaudes qu'en surface, alors qu'en été les eaux profondes sont plus froides qu'en surface. Les variations entre hiver et été sont également moins importantes en profondeur qu'en surface.

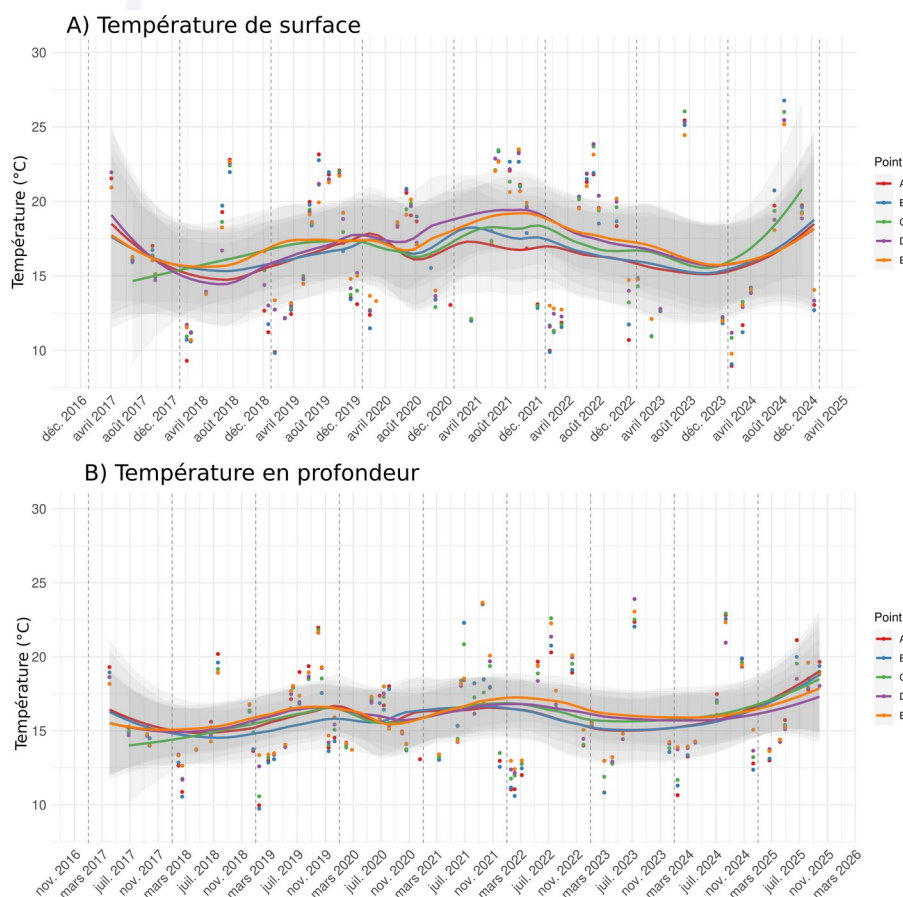


Figure 7: Variation temporelle de la température (°C) entre 2017 et 2024 sur les 5 points de mesures en surface et en profondeur.

La salinité :

La salinité de la Méditerranée occidentale est assez forte, avec une moyenne de 38 (39 au niveau de la Méditerranée orientale). A titre de comparaison, la salinité moyenne des océans et mers du globe varie de 31 à 39 PSU. Dans le golfe de Fos (**Figure 8**), elle est principalement influencée par les apports d'eaux continentales (Rhône et canal de Caronte) et varie depuis 2017 de 14,9 à 42,1 avec une moyenne à 36,1 pour les eaux de surfaces et 38,6 pour les eaux en profondeur. Cette différence s'explique par le fait qu'à température égale, l'eau douce étant moins dense que l'eau salée, elle a tendance à rester en surface sans brassage par l'action du vent.

Contrairement à la température, on peut noter de grandes variations entre les points et notamment pour les eaux de surface des **points B et E (Figure 8)**.

En surface le **point B** peut être soumis à l'entrée du Rhône dans l'anse de Carteau qui peut longer le They de la Gracieuse. En 2023-2024 la salinité moyenne de surface au **point B** était à 37,4 avec des variations allant de 22,8 à 40,1 ont été enregistré tandis qu'entre 4-5 mètres de profondeur la salinité reste globalement stable au fil des saisons (en moyenne à 38,8 avec des variations de 37,5 à 40,2). Le **point E** subit en surface la sortie des eaux de l'étang de Berre et parfois aussi celles du Rhône. En surface la salinité moyenne est de 35,9 (et varie de 27,6 à 40,1) tandis qu'entre 4 et 5 mètres elle est de 39,7 en moyenne (et varie de 38,7 à 40,7).

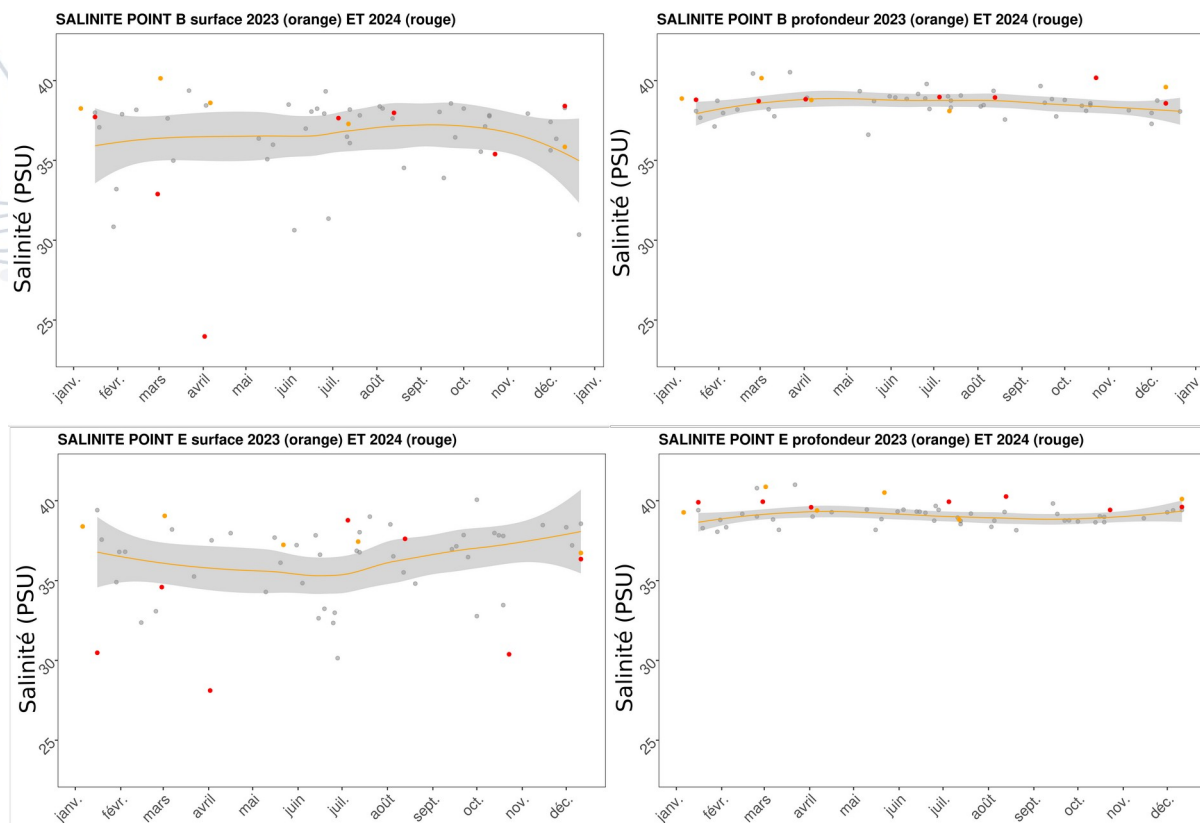


Figure 8: Salinité au point B en profondeur et en surface ainsi qu'au point E en profondeur et en surface entre 2017 et 2022 (points gris), 2023 (points oranges) et 2024 (points rouges) avec un intervalle de confiance à 95 % (zone grise) et la moyenne lissée (courbe orange).

Le pH :

Le pH de l'eau de mer varie entre 7,5 et 8,5 pour une moyenne de 8,2. Il constitue un bon indicateur des processus biologiques et physiques qui ont lieu en mer dans la colonne d'eau. L'acidification des océans – observée par la diminution du pH de l'eau – est le résultat (entre autre) de la dissolution du dioxyde de carbone (CO₂) de l'atmosphère dans l'eau de mer. L'acidité du milieu marin peut aussi être influencée par les entrées

d'eaux douces qui ont généralement un pH moins élevé, qui pourrait être alors accompagné d'une baisse de salinité.

Les courbes de pH (**Figure 9**) montrent que le pH du golfe varie entre 7,4 et 8,6 avec une moyenne à 8,2 et reste homogène que ce soit en surface ou à 4-5 m de profondeur, et cela quel que soit le cycle saisonnier. Le pH moyen entre 2017 et 2022 est le même qu'entre 2023 et 2024 (8,1 et 8,2 respectivement). On ne note également pas de différence entre les points du transect ou les différentes profondeurs.

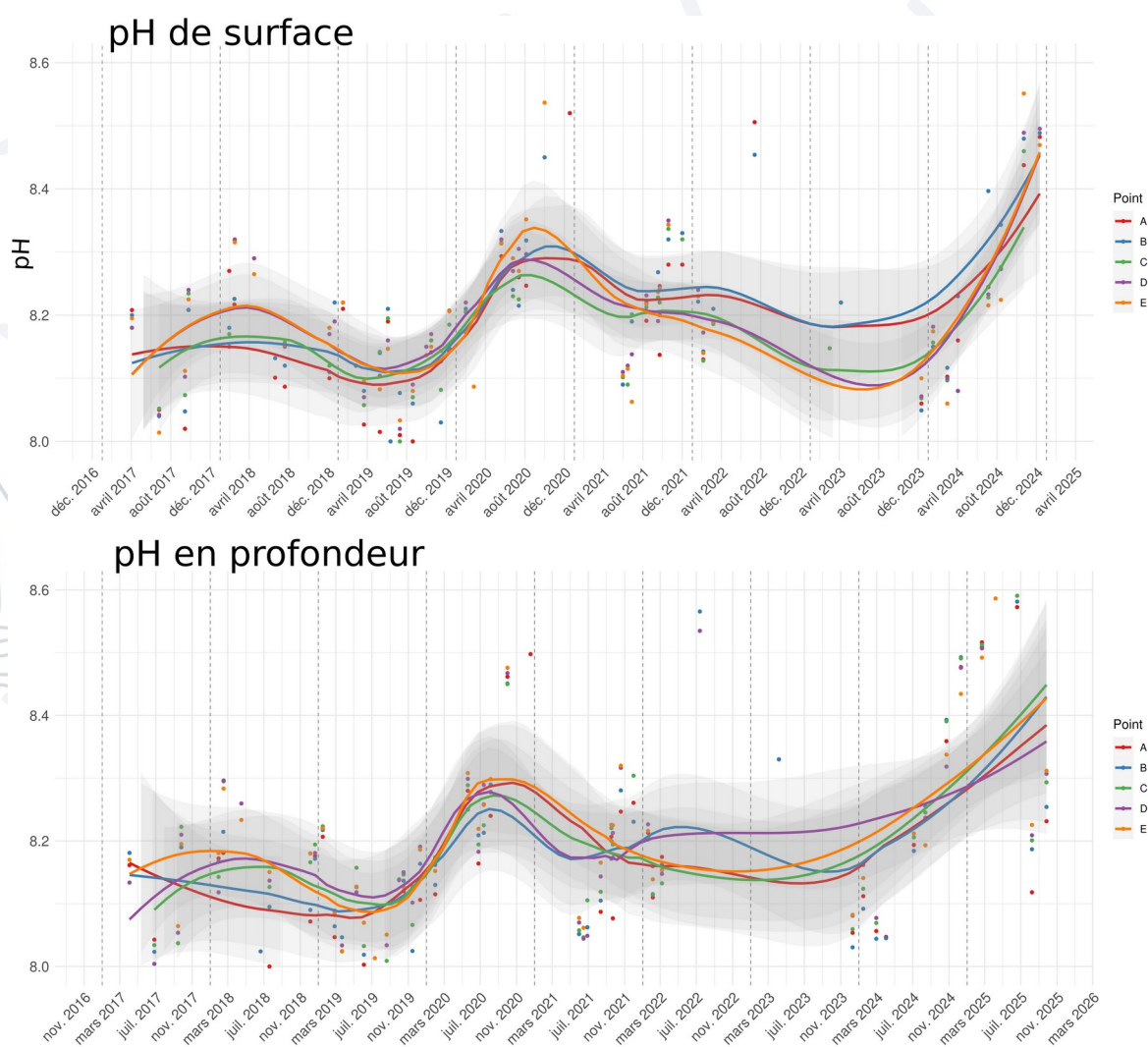


Figure 9: Variation temporelle du pH entre 2017 et 2024 sur les 5 points de mesures en surface et en profondeur.

L'oxygène dissous :

Dans le golfe de Fos, entre 2023 et 2024, la saturation en oxygène dissous a variée de 70,3 à 119,8 % avec une moyenne à 105 % en surface et 102,4 % en profondeur ce qui correspond à une oxygénation acceptable à excellente avec une très faible différence entre surface et profondeur. Cette oxygénation est restée stable depuis 2017.

En 2023-2024, pour les **points B** (Figure 10), l'oxygène dissous est globalement stable entre la surface et la profondeur avec un pourcentage de saturation compris entre 72,6 et 117,6 % avec une moyenne pour les deux profondeurs à 105,1 % pour les eaux de surfaces et 102 % pour les eaux entre 4 et 5 mètres de profondeur.

Au **point E** (Figure 10), l'oxygène dissous est également légèrement plus importante en surface, avec un pourcentage de saturation compris entre 81,9 et 116,1 % et une moyenne à 106,2 % qu'en profondeur avec des valeurs comprises entre 83,2 et 113,5 % et une moyenne à 101 %. De manière générale, que ce soit au niveau du **point E** ou **B** ou bien entre **0-1 m** et **4-5 m** les valeurs en oxygène dissous indiquent des conditions normales d'oxygénation. Les valeurs de 2023 et 2024 se situent dans la moyenne des valeurs obtenues depuis 2017, on ne constate donc pas d'augmentation ni de diminution significative des concentrations en oxygène dissous dans le golfe.

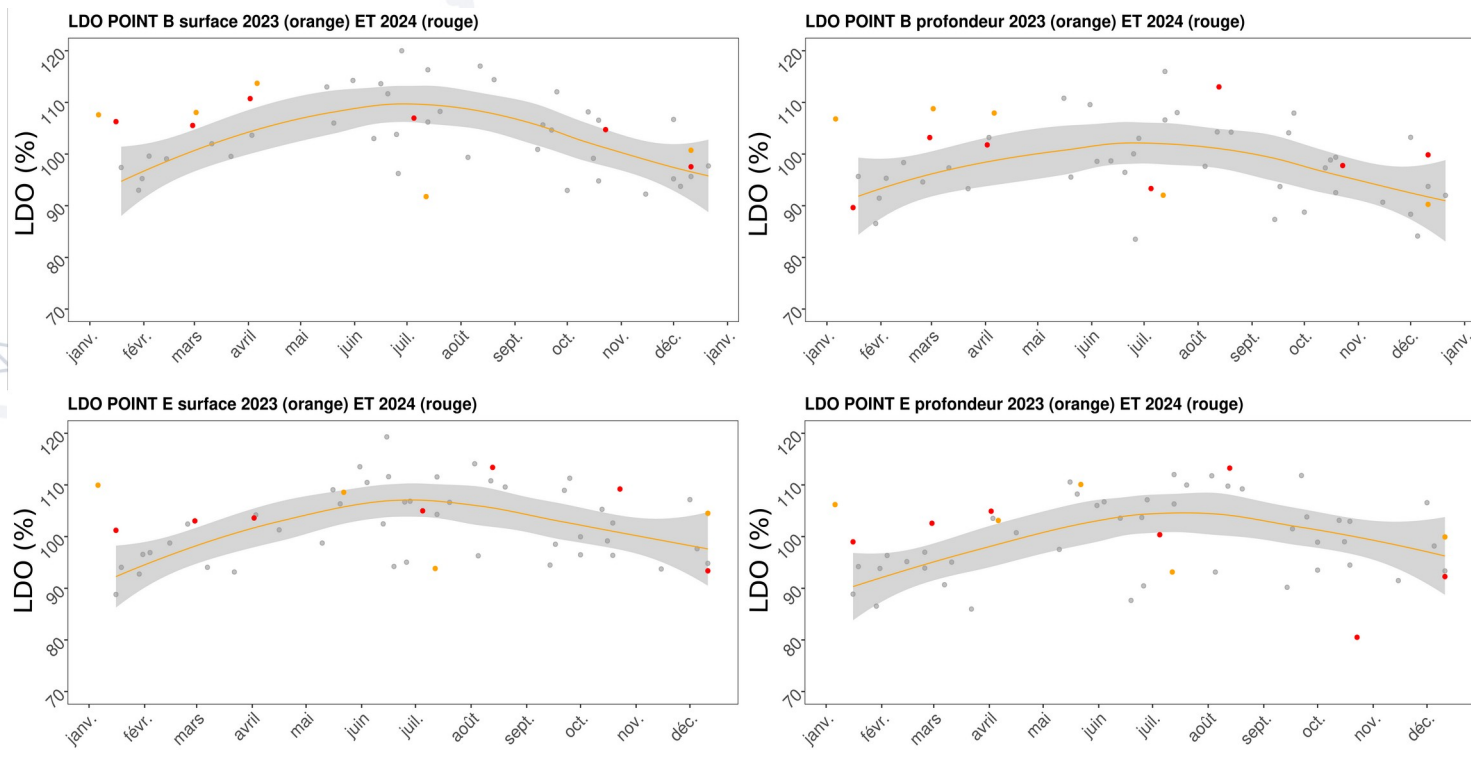


Figure 10: Concentration en oxygène dissout (%) au point B en profondeur (A) et en surface (B) ainsi qu'au point E en profondeur (B) en surface (D).



Conclusion

Ces résultats ont été obtenus grâce à l'implication des volontaires VOCE avec qui nous avons pu réaliser 13 sorties dans le golfe de Fos en 2023 et 2024. Ces sorties nous ont permis de récolter un jeu de données complémentaires, qui s'ajoutent aux mesures effectuées depuis 2017. Elles nous ont également permis de continuer à observer plusieurs phénomènes naturels.

Tout d'abord, concernant l'évolution de la température dans le golfe, celle-ci varie naturellement en fonction des saisons, avec le pic saisonnier en été, et subit l'effet des vents, en particulier du mistral (nord-ouest), qui joue un rôle important sur l'homogénéisation de la colonne d'eau. Cette année encore, les températures estivales ont été pour la grande majorité plus importantes que celles relevées depuis 2017 avec des extremums de plus en plus élevés. Rappelons que l'intérêt de suivre ce paramètre est de visualiser son évolution saisonnière dans un contexte de changement climatique majeur.

La salinité, elle aussi, subit l'influence de facteurs naturels tels que l'arrivée des eaux continentales provenant du canal de Caronte dans le golfe (parfois inférieure à 26 à la sortie du canal) et du Rhône, entraînant une dilution des eaux salées. Ce phénomène est accentué par l'augmentation du débit du Rhône et par le vent du Sud, qui favorisent la baisse de salinité des eaux de surface.

Les mesures de pH sont intéressantes à poursuivre dans un contexte global d'acidification des océans provoqué par l'augmentation de l'absorption du CO_2 de plus en plus rejeté via les activités humaines. Cette acidification est susceptible d'impacter toutes les espèces marines mais les organismes calcifiants tels que les coraux, les oursins ou encore les bivalves (grandes acres, huîtres,,,) y sont plus sensibles (Noisette, 2013 ; Abed El Rahman Hassoun, 2014 ; Laval-Szopa et al 2021). Les graphiques présentés ici ne semblent toutefois pas montrer de tendance à la diminution du pH, situé dans des valeurs normales pour la mer Méditerranée.

Les profils obtenus pour la chlorophylle-*a* sont des profils normaux qui dépendent parfois des conditions météorologiques de par l'influence des vents sur le brassage de la colonne d'eau et sur la température. Même constat depuis 2017, l'anse de Carteau (point B) est plus propice au développement du phytoplancton que la partie est du golfe, qui elle est ouverte sur la Méditerranée. En effet, l'anse de Carteau, plus abritée et plus impactée par les entrées des eaux du Rhône riches en éléments nutritifs, offre des conditions très favorables au développement de la biomasse phytoplanctonique. Les mesures d'oxygène dissous témoignent d'une bonne oxygénation du golfe, facilitant le développement des organismes marins, en particulier à l'est, côté ouvert sur la Méditerranée et donc plus exposé



aux éléments (vents, courants...).

Au niveau de l'anse de Carteau, et contrairement aux années 2022, on ne note pas d'atténuation des valeurs en oxygène dissout qui résultait d'une stratification des eaux plus importante dans cette zone semi-fermée.

Toutes ces données accumulées depuis 2017 nous permettent d'enrichir le jeu de données à travers les campagnes d'analyses menées sur le golfe. Concernant le transect réalisé lors de ces mesures, celui-ci reste pertinent car il nous permet d'obtenir une vision globale des paramètres physico-chimiques du golfe de Fos, à la fois sur la partie semi-fermée (anse de Carteau) et sur la partie ouverte sur la Méditerranée.

L'ensablement progressif du They de la Gracieuse nous oblige cependant à décaler régulièrement les points de mesures B et C qui restent cependant dans le même alignement et proche des points de mesures initiaux. L'historique de données sur ces sites est important à maintenir car il permet de suivre l'évolution dans le temps de cet écosystème qu'est le golfe de Fos et dans lequel de nombreuses espèces marines vivent (Souloumiac, 2023).



Dauphins rencontrés au cours de la sortie salinité du 5 Juillet 2024 au large de Port-de-Bouc





Bibliographie

Battisti, K. (2012). Analyse des caractéristiques physico-chimiques et phytoplanctoniques des eaux du golfe du Lion durant la campagne LATEX2010. Approche lagrangienne. Stage volontaire réalisé sous la direction de Frédéric DIAZ.

BAUDRIER, Jerome, COLAS, Sebas en, et GARREAU, Pierre. Variabilité de la température et de la salinité dans les eaux métropolitaines. Compte rendu d'analyse, IFREMER, 2016.

Benon P, Blanc F, Bourgade B, et al (1978) Distribution of some heavy metals in the Gulf of Fos. Marine Pollution Bulletin 9:71–75. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(78\)90452-6](https://doi.org/10.1016/0025-326X(78)90452-6).

Boudjellaba D, Dron J, Revenko G, et al (2016) Chlorination by-product concentration levels in seawater and fish of an industrialised bay (Gulf of Fos, France) exposed to multiple chlorinated effluents. Science of The Total Environment 541:391–399. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.046>.

Bremond R, Vuichard R., 1973. Paramètres de la qualité des eaux, OSPEPE, Paris.

BRLi, 2023, Étude de l'hydrologie du fleuve Rhône sous changement climatique.

DREAL Provence-Alpes-Côte d'Azur. (2003). Principales entreprises ayant des rejets aqueux en 2003. https://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/EI04cheau_cle0e7891.pdf

Dron J., Revenko G., Chamaret P. Evaluation de la contamination chimique du milieu marin dans le golfe de Fos – CONGRES – Mesure de polluants dans les muscles de congres. 2017, 96 Pages.

Lebaron K, Mechiri L, Richard S, Austruy A, Boudenne J-L, Coupé S, 2019. Assessment of individual et mixed toxicity of bromoform, tribromoacetic-acid et 2,4,6 tribromophenol, on the embryo-larval development of *Paracentrotus lividus* sea urchin. Environmental Science Pollution Resears 26(20),20573–20580. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05279-8>.

Manasfi T, Lebaron K, Verlande M, Dron J, Demelas C, Vassalo L, Revenko G, Quivet E, Boudenne J-L (2018) Occurrence et speciation of chlorination byproducts in marine waters et sediments of a semi-enclosed bay exposed to industrial chlorinated effluents. International Journal of Hygiene et Environmental Health 222:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.06.008>.

Mayot Nicolas. La saisonnalité du phytoplancton en Mer Méditerranée. Sciences de la Terre. Thèse. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2016.

Noisette, F. (2013). Impacts de l'acidification des océans sur les organismes benthiques calcifiants des milieux côtiers tempérés (Doctoral disserta on, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).

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), 5ème Programme d'Actions, 14p.

Ramade F., 1998. Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau. Ed inscience internationale, Paris, 786p.

Rodier J., 2009. Analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer. 9ème édition. Ed. Dunod bordas, Paris. 1526 p.

Souloumiac. A, Relevés de faune et flore benthiques dans le Golfe de Fos par le réseau VOCE en 2022 et 2023. Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions, 2023.

