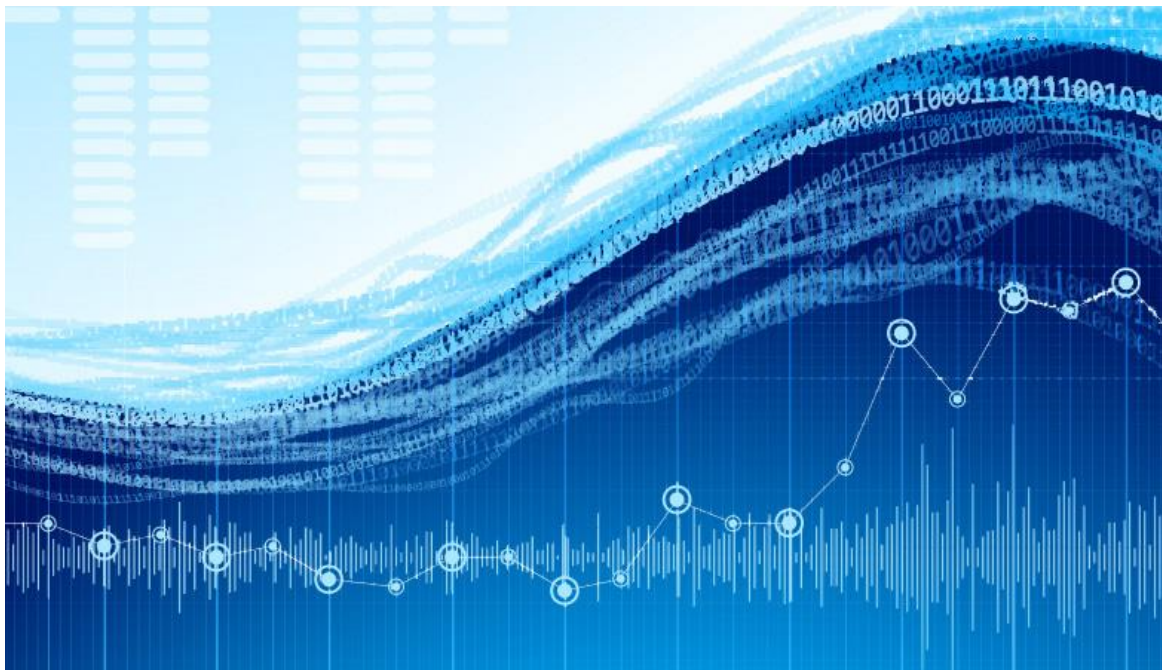




Analyse de paramètres océanographiques de la Marine Institute



Présenté par Aïssa MOUACHA



TABLE DES MATIERES

1	CHOIX DE L'ETUDE.....	1
2	RAPPELS DES PHENOMENES MIS EN JEU	2
2.1	La circulation thermohaline	2
2.2	L'océan régulateur de l'atmosphère	3
2.3	Problématique : L'effondrement du Gulf Stream	4
2.3.1	Renversement	4
2.3.2	Divergences	4
2.3.3	Contrastes	5
2.3.4	Conséquences.....	5
2.3.5	Chiffres.....	6
3	SOURCE DE LA DATA.....	6
3.1	La salinité.....	7
3.2	La couche de mélange	8
4	TELECHARGEMENT DES DONNEES	9
5	DATA CLEANING	10
6	ZONAGE DU PERIMETRE D'ETUDE.....	11
7	VISUALISATIONS	12
7.1	Champs de vitesse	12
7.2	Température de surface.....	14
7.3	Salinité de surface	15
7.4	Profondeur de la couche de mélange.....	16
8	EVOLUTIONS TEMPORELLES.....	17
9	PREDICTION PAR LA METHODE HOLT-WINTERS	18
9.1	Décomposition	19

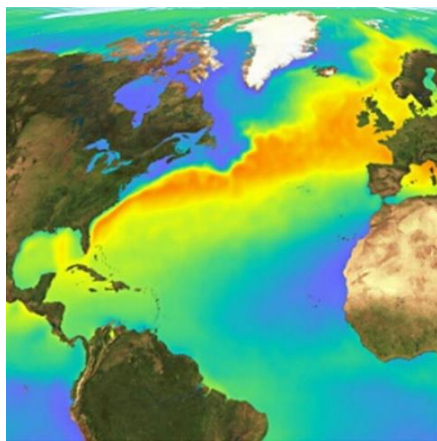


9.2	Analyse des tendances	19
9.2.1	Température de Surface.....	19
9.2.2	Salinité	20
9.2.3	Profondeur de la couche de mélange	20
9.2.4	Bilan des tendances	21
9.3	Prédiction	22
10	CONCLUSION	23
11	ANNEXES	24



1 CHOIX DE L'ETUDE

Dans le cadre de la validation du huitième module de la formation Data Analyst, j'ai choisi de me mettre à la recherche d'éléments mettant en évidence des signes d'une perte de stabilité du Gulf Stream observés par des scientifiques. Pour ce faire, je me suis plongé dans les données de la Marine Institute, et plus particulièrement les moyennes mensuelles des paramètres océanographiques observées dans les eaux irlandaises.



Quel rapport existe-t-il entre ces eaux irlandaises et le Golfe du Mexique ?

Ces deux zones géographiques sont « traversées » par le Gulf Stream, courant océanique chaud qui prend sa source au large de la Floride et vient tempérer le climat des côtes du nord de l'Europe.

Selon plusieurs études scientifiques, le Gulf Stream ralentirait dangereusement, et montrerait des signes de perte de stabilité. Le scénario couramment avancé prédit des saisons plus extrêmes, avec en particulier des hivers beaucoup plus rigoureux. Ce courant décline depuis le milieu du XXe siècle, plus particulièrement depuis 2005. Selon l'équipe de chercheurs, la cause est claire : **le réchauffement climatique.**

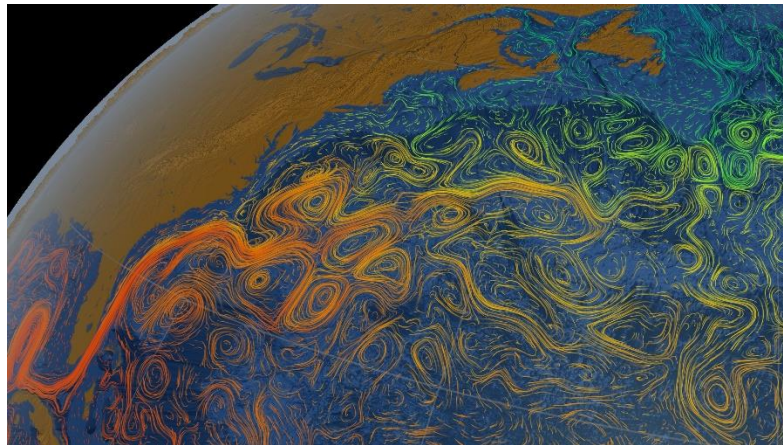
Observe-t-on des signes d'un ralentissement de ce phénomène dans l'analyse des paramètres océanographiques au large des eaux côtières irlandaises sur les dernières années ?

C'est ce que l'on va tâcher d'analyser dans l'étude qui va suivre, avec l'exploitation de plusieurs métriques océanographiques monitorées et surveillées de nos jours de façon très fine.



2 RAPPELS DES PHENOMENES MIS EN JEU

D'un débit 10 fois plus important que celui de tous les fleuves et rivières de la planète réunis, le courant s'étale comme un fleuve gigantesque, tourbillonne et se divise en branches. L'une d'elles, la dérive nord-atlantique, file vers le nord-est et réchauffe l'océan jusqu'à de très hautes latitudes avant de se diluer au large des côtes groenlandaises.

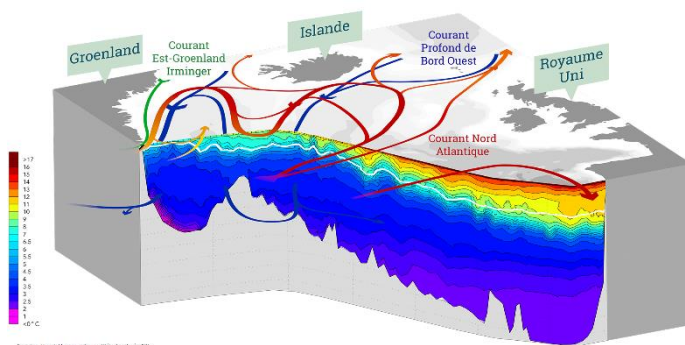


Crédits photo : NASA - Visualisation du Gulf Stream

Jusqu'à présent, nous avons évoqué la partie surfacique de ce courant, mais il existe des courants plus froids et denses circulant en profondeur.

2.1 LA CIRCULATION THERMOHALINE

Les eaux des océans ne sont pas homogènes : elles sont plus ou moins chaudes selon les zones géographiques. Les eaux chaudes de l'équateur remontent vers les pôles où elles arrivent refroidies. Par



convection, ces eaux froides et salées, plus denses et donc plus lourdes, vont alors couler sous les eaux plus chaudes ou peu salées, pour repartir ensuite dans la direction inverse, vers l'équateur.



Ces mouvements de masses d'eau, créés par les contrastes de densité, représentent ce qu'on appelle la **circulation thermohaline** (des mots grecs *thermos* qui veut dire chaud et *halinos*, salé). On parle également du phénomène « tapis roulant » : les eaux chaudes de surface se déplacent vers les pôles tandis que les eaux froides des fonds se déplacent vers l'équateur. On estime qu'une molécule d'eau fait le circuit entier en environ 1000 ans.

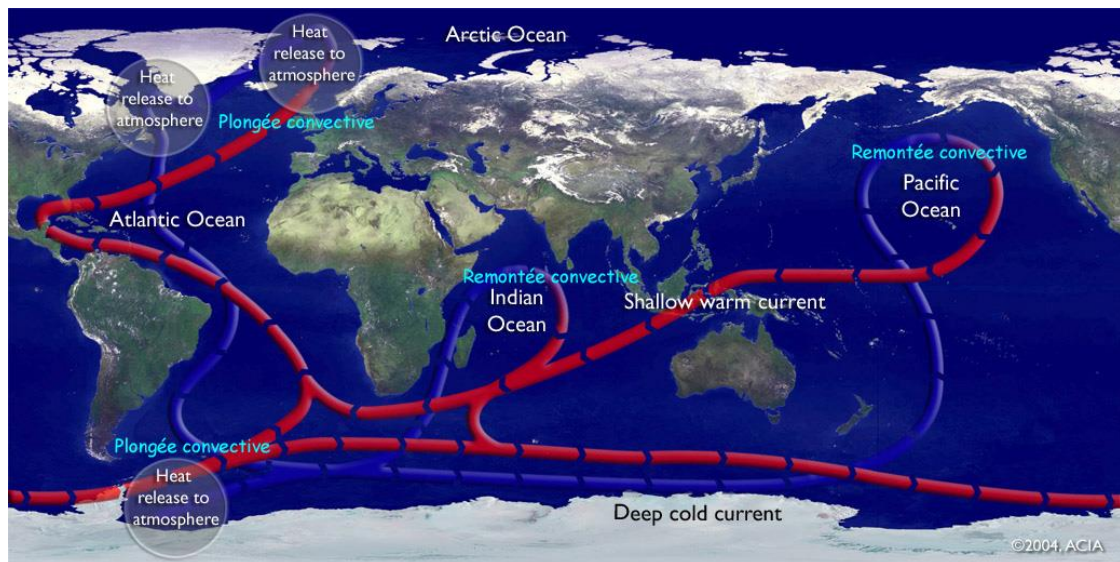


Illustration du tapis roulant

2.2 L'OCEAN REGULATEUR DE L'ATMOSPHERE

Au cours de son trajet depuis l'équateur jusqu'aux pôles, **l'océan restitue la chaleur** emmagasinée à l'atmosphère et ainsi régule les températures. Les courants chauds de surface vont ainsi réchauffer le climat de certaines régions. Ce phénomène permet de répartir la chaleur reçue du soleil et permet à l'Europe de connaître des hivers cléments par rapport à l'Amérique du Nord, avec pourtant des latitudes similaires. Le Gulf Stream appartient à un ensemble plus large de courants, surnommé **AMOC** pour the Atlantic Meridional Overturning Circulation (circulation méridienne de retournement (CMR)).

A l'inverse, les eaux froides remontant des profondeurs peuvent venir baisser les températures élevées des zones équatoriales, comme dans la partie nord de l'océan Indien.



2.3 PROBLEMATIQUE : L'EFFONDREMENT DU GULF STREAM

D'après les dires de certains scientifiques, la direction du Gulf Stream pourrait être renversée.

2.3.1 Renversement

Dans cette région l'eau chaude plonge dans les profondeurs, à la fois alourdie en sel après s'être évaporée, et aspirée par le mouvement de l'eau froide salée plus dense des courants profonds groenlandais et islandais. Or la **fonte estivale de la banquise** libère de l'eau douce, ce qui **réduit l'effet de plongée** et peut gripper le tapis roulant de la circulation océanique. La **hausse des précipitations** proche du Groenland participerait aussi à **l'augmentation du ratio d'eau douce**.

On constate depuis quelques années une tache froide entre l'Islande et le Labrador. Selon certains chercheurs elle serait constituée justement d'eau froide de fonte de la banquise et des glaciers du Groenland. Serait-elle capable d'arrêter la circulation de la dérive, ou d'en renverser le cours ? Rien de certain.

La banquise fond en été puis se reforme en hiver. Le bilan de l'apport estival d'eau douce et de sa reglaciation hivernale ne devrait-il pas être nul ?

2.3.2 Divergences

Certains chercheurs annoncent l'arrêt ou le renversement du courant pendant ce siècle (en 2005 on l'annonçait pour les années à venir). D'autres gardent une raisonnable prudence. Ce débat existait déjà en 2005, alors que certains scientifiques ou politiques alarmaient le monde sur un possible arrêt du Gulf Stream et que d'autres contestaient cette hypothèse.



2.3.3 Contrastes

En 2007 et avant, la NASA annonçait une accélération du processus de renversement du Gulf Stream. Cela n'a pas eu lieu.

Il y a donc des variations inexpliquées. Est-ce un moment d'un cycle naturel ? Un signe de ralentissement du courant ? Une variation multi-décennale du régime des vents ? On ne le sait pas.

Enfin, ne peut-on envisager qu'un ralentissement de l'enfouissement des eaux chaudes aboutisse à une stagnation de ces eaux en surface ? Plutôt qu'à un recul, pas certain au vu de l'énorme masse d'eau qui arrive en permanence du sud-ouest grâce aux vents dominants ? Quant à un éventuel renversement de direction du courant, l'idée même ne paraît pas raisonnable.

La piste de la désalinisation des eaux froides n'est donc pas la seule qui puisse expliquer un ralentissement. Ses éventuelles conséquences sont carrément contradictoires d'une étude à l'autre. Il y a, **chez les scientifiques, des positions contrastées** sur l'état et les variations du Gulf Stream et du courant nord-atlantique.

2.3.4 Conséquences

Certains modèles indiquent que l'Europe de l'Ouest pourrait être affectée par cet affaiblissement du Gulf Stream. En été comme en hiver les conséquences pourraient être non négligeables.

Le nombre de **tempêtes** pourrait alors augmenter significativement en hiver et les vagues de **chaleur** pourraient être **plus récurrentes** en été. Depuis déjà plusieurs années une baisse de température persiste en plein Atlantique nord. Cette observation peut être corrélée avec le ralentissement du Gulf Stream.

Cette circulation contribue à ventiler l'océan, avec ses eaux de surface plus riches en oxygène et ses eaux plus profondes plus riches en nutriments qui se mélangent. C'est un échange qui donne la vie.

Si ça ralentit, ça ventile moins, et ça peut **impacter la chaîne alimentaire**.

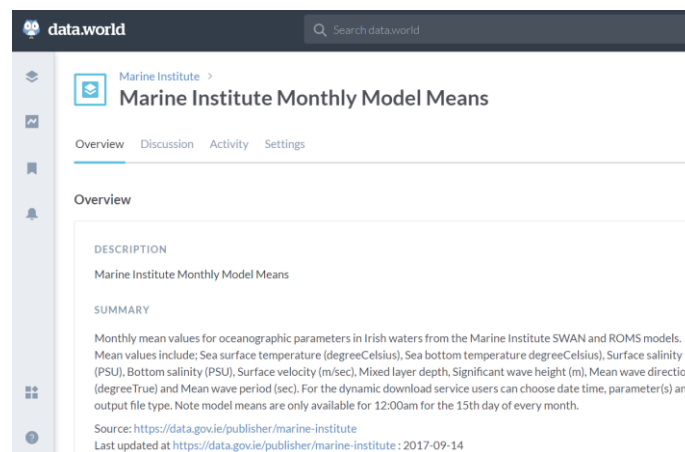


2.3.5 Chiffres

La circulation océanique est restée stable jusqu'à la fin du XIXe siècle, Avec la fin de la petite période glaciaire vers 1850, les courants océaniques ont commencé à diminuer, avant un deuxième déclin plus drastique à partir du milieu du XXe siècle. Selon l'ensemble des données étudiées, le courant océanique aurait diminué d'environ 15 % depuis soixante-dix ans. Certains modèles prédisent que d'ici à la fin du siècle, ce courant aura diminué de 20 %, tandis que d'autres avancent un chiffre de 80 %... Il y a un consensus pour dire qu'en réponse au changement climatique, dans le futur, la circulation va diminuer mais de combien on ne sait pas...

3 SOURCE DE LA DATA

Le sujet a été choisi depuis une plateforme connue **data.world**, à partir de laquelle j'ai trouvé un premier échantillon/dataset succinct.



De fil en aiguille, j'ai pu mettre la main sur des données bien plus fournies depuis le site de La Marine Institute. En naviguant sur la rubrique *Ocean Forecasts*, nous avons accès aux différents servers depuis lesquels toute donnée est téléchargeable.





Pour plus de détails sur la grille de téléchargement des données, se référer à la partie 4. Mais avant, je rappelle ici quelques définitions primordiales pour la suite de l'étude dans la mesure où elles vont plus ou moins impacter la circulation du Gulf Stream.

3.1 LA SALINITE

La salinité des eaux de surface, en particulier en Atlantique nord, contribue de façon importante à l'AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation) qui influence fortement le climat. Rappelons ici que la salinité élevée des hautes eaux du nord de l'Atlantique Nord est une condition essentielle pour la formation d'eaux profondes, froides et denses aux latitudes élevées.

Des navires de commerce mesurant *in situ* cette salinité transmettent en permanence les données enregistrées.

Les mesures *in situ* de salinité de surface par l'ORE-SSS sont obtenues grâce à des thermosalinographes (TSG) équipant 11 navires de commerce sur des lignes de navigation et permettant de couvrir une partie importante des trois océans tropicaux, de l'océan Atlantique Nord et enfin, du secteur de l'océan Antarctique associé à la Terre Adélie.

Toutes les heures, les données enregistrées par les TSG sont transmises par le satellite Inmarsat vers le Legos, Laboratoire d'étude en géophysique et océanographie spatiales de l'Université Toulouse 3 (CNRS / CNES / IRD). Là, elles sont comparées à celles du réseau de bouées Argo. S'ajoutent à toutes ces mesures, celles effectuées par satellites.

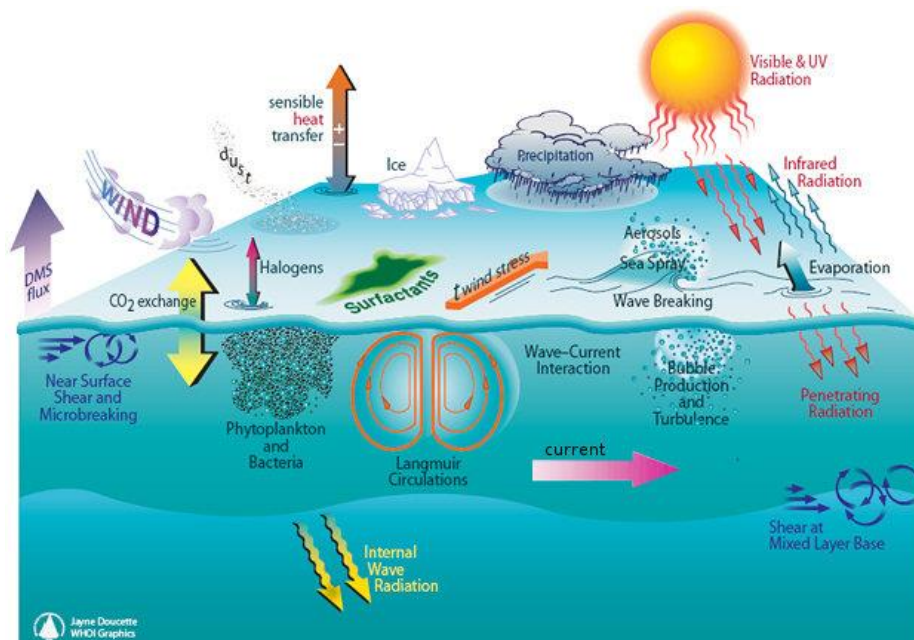
3.2 LA COUCHE DE MELANGE

L'atmosphère et l'océan communiquent entre eux au travers de leurs couches limites, couches où la turbulence est prédominante, et dont les profondeurs sont fortement conditionnées par les échanges air-mer.

Cette couche mélangée océanique est primordiale dans l'étude du système climatique puisqu'elle est la véritable responsable de l'effet tampon entre l'atmosphère et l'océan plus profond. Cet effet tampon provient de la très **grande capacité thermique de l'océan comparativement à celle de l'atmosphère quatre fois plus faible**.

L'épaisseur ou profondeur de la couche mélangée océanique (MLD) détermine le contenu thermique de la couche océanique qui interagit directement avec l'atmosphère. La valeur de cette profondeur varie fortement dans le temps et l'espace, entre 10m dans les zones équatoriales, et jusqu'à 400m dans les régions de hautes latitudes en hiver, voire plus dans les régions de convection.

La ML est le lieu de processus complexes, relevant à la fois de la dynamique tridimensionnelle (via les échanges avec la thermocline, les instabilités, les cisaillements entre les courants, la convection penchée ou encore les cellules de Langmuir), et de la thermodynamique unidimensionnelle (via les échanges avec l'atmosphère).





4 TELECHARGEMENT DES DONNEES

Depuis le site de la Marine Institute, nous avons accès aux paramètres disponibles à partir des différents servers THREDDS et ERDDAP. L'extraction des données se fera depuis ce dernier, ci-dessous sont détaillées les différentes étapes à suivre.



ERDDAP > griddap > Data Access Form

Dataset Title: **Model Monthly Means** [RSS](#)

Institution: Irish Marine Institute (Dataset ID: IML_Model_Stats)

Information: [Summary](#) | [License](#) | [FGDC](#) | [ISO 19115](#) | [Metadata](#) | [Background](#) | [Make a graph](#)

Dimensions	Start	Stride	Stop	Size	Spacing
<input checked="" type="checkbox"/> time (time of mid month, UTC)	2016-01-15	1	2021-09-15	112	30 days 10h 35m 41s (uneven)
<input checked="" type="checkbox"/> latitude (degrees_north)	48.0125	1	58.9875	440	0.025 (even)
<input checked="" type="checkbox"/> longitude (degrees_east)	-17.9875	1	-2.0125	640	0.025 (even)

1

Grid Variables (which always also download all of the dimension variables)

- ☒ sea_surface_temperature (C)
- ☒ sea_bottom_temperature (C)
- ☒ sea_surface_salinity (PSU)
- ☒ sea_bottom_salinity (Monthly mean sea bottom salinity, PSU)
- ☒ sea_surface_x_velocity (m/s)
- ☒ sea_surface_y_velocity (m/s)
- ☒ mixed_layer_depth (Monthly mean mixed layer depth, m)
- ☒ significant_wave_height (m)
- ☒ mean_wave_direction (Monthly mean mean wave direction, degrees)
- ☒ mean_wave_period (Monthly mean absolute zero-crossing period, s)

2

File type: [\(more info\)](#)

.csv - Download a ISO-8859-1 comma-separated text table (line 1: names; line 2: units; ISO 8601 times).

Just generate the URL: https://erddap.marine.ie/erddap/griddap/IML_Model_Stats.csv?sea_surface_

[\(Documentation / Bypass this form\)](#)

3

Submit (Please be patient. It may take a while to get the data.)

4

1 : **Borner** son analyse

- Dans le temps, en choisissant le début et fin
- Dans l'espace, en choisissant son quadrillage latitude/longitude, avec une discrétisation suffisante

2 : **Sélectionner** les paramètres à analyser (ici tous)

3 : **Sélectionner** le type de fichier de sortie (ici csv)

4 : **Générer** le fichier de sortie



L'analyse s'est construite de façon itérative, un premier test a été réalisé en sélectionnant des données sur une année, puis deux (etc.) jusqu'à obtenir un dataset significatif à analyser. Le choix s'est porté sur des données étalées sur ~6ans associées à une discrétisation spatiale la plus fine et complète. J'ai donc fait le choix de privilégier la qualité de mon analyse sur la quantité de données exploitées, et ce pour des raisons de temps de téléchargement, pre-processing et post-traitement.

5 DATA CLEANING

L'import des données réalisé, un dataset concaténé comprenant des données de 2016 à Mi-2021 est obtenu. La première étape consiste à adapter le format de la date, en splittant et en déclinant cette dernière en nouvelles colonnes utiles par la suite (année, mois). Quelques conversions du type *pd.to_datetime* sont utiles.

La suppression des données « vides » permet de réduire la taille du dataset de l'ordre de 20%. Ces données correspondent aux latitudes et longitudes terrestres (délimitant le Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande) donc non-utiles à notre étude.

```
print('\x1b[6;31;40m', 'nb of NAN values : ', table.isnull().value_counts().unique()[1])
table = table.dropna()

nb of NAN values : 4114408 soit 21.0 %
```

Quelques conversions numériques de typage de données ont été nécessaires, suite à la concaténation initiale.

date	datetime64[ns]
year	int64
month	int64
latitude	float64
longitude	float64
sea_surface_temperature	float64
sea_bottom_temperature	float64
sea_surface_salinity	float64
sea_bottom_salinity	float64
sea_surface_x_velocity	float64
sea_surface_y_velocity	float64
mixed_layer_depth	float64
significant_wave_height	float64
mean_wave_direction	float64
mean_wave_period	float64
dtype:	object

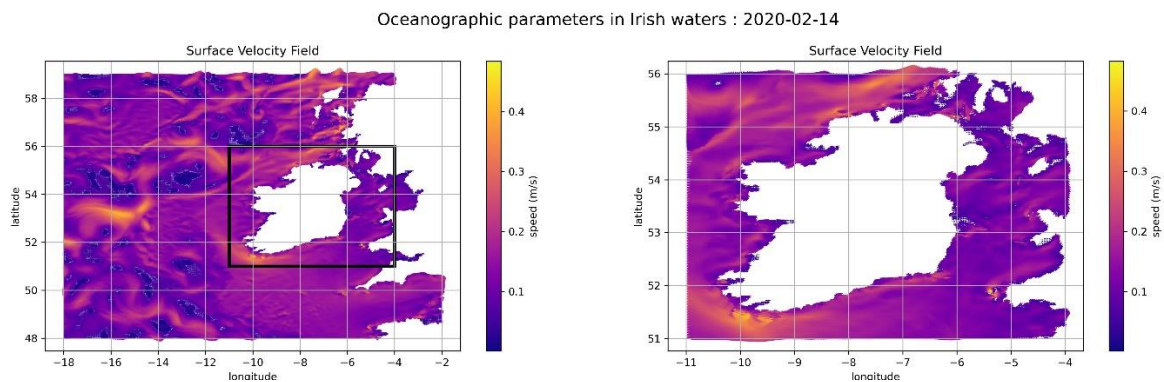
L'ultime étape fut de calculer la vitesse surfacique à l'aide des ses deux composantes latitudinale et longitudinale.

```
table['speed'] = np.sqrt(table['sea_surface_x_velocity']**2 + table['sea_surface_y_velocity']**2)
```

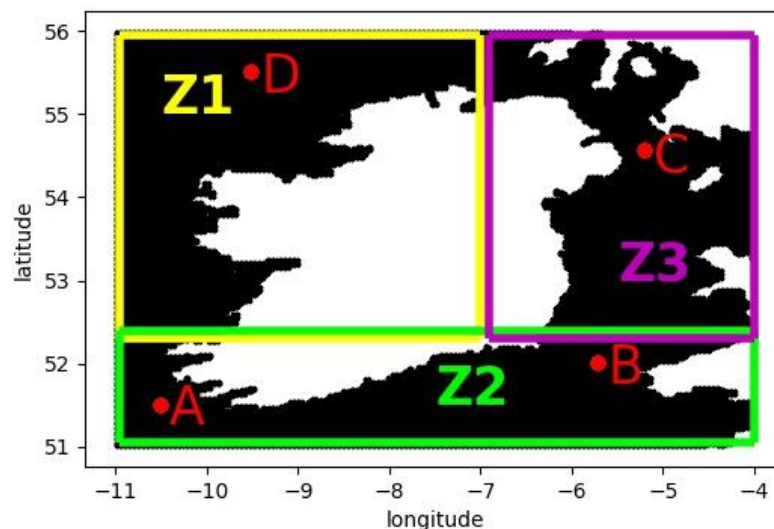


6 ZONAGE DU PERIMETRE D'ETUDE

Une prévisualisation du champ de vitesse dans notre maillage à une date choisie, nous permet d'avoir un premier aperçu de l'intensité des courants de surface aux abords des eaux irlandaises.



Afin d'évaluer de façon plus fine l'évolution d'un paramètre dans le temps, il nous faut pour cela sélectionner des points caractéristiques, voire des zones. Par conséquent, un zonage a été effectué afin d'étudier les différences d'évolution pouvant exister entre zones/points géographiques.





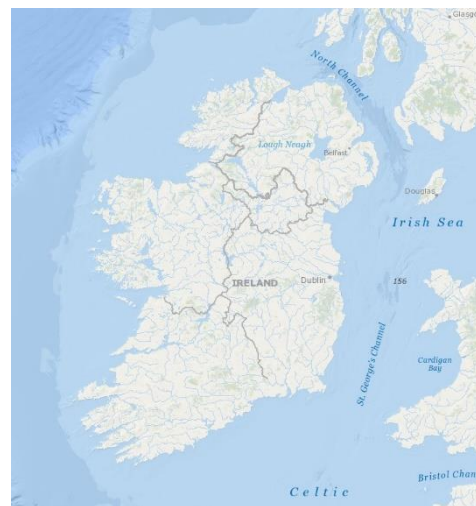
7 VISUALISATIONS

Il est intéressant de rappeler en quoi cette zone géographique est liée au Gulf Stream. Nous l'avons évoqué en 1, ce courant composé d'eaux chaudes traverse l'Atlantique avant de se diviser au contact des côtes européennes. Au niveau des îles anglo-saxonnes, la topographie sous-marine va drainer ces flux d'eaux tempérées jusqu'aux mers du Nord, notamment par le fossé de Rockall.



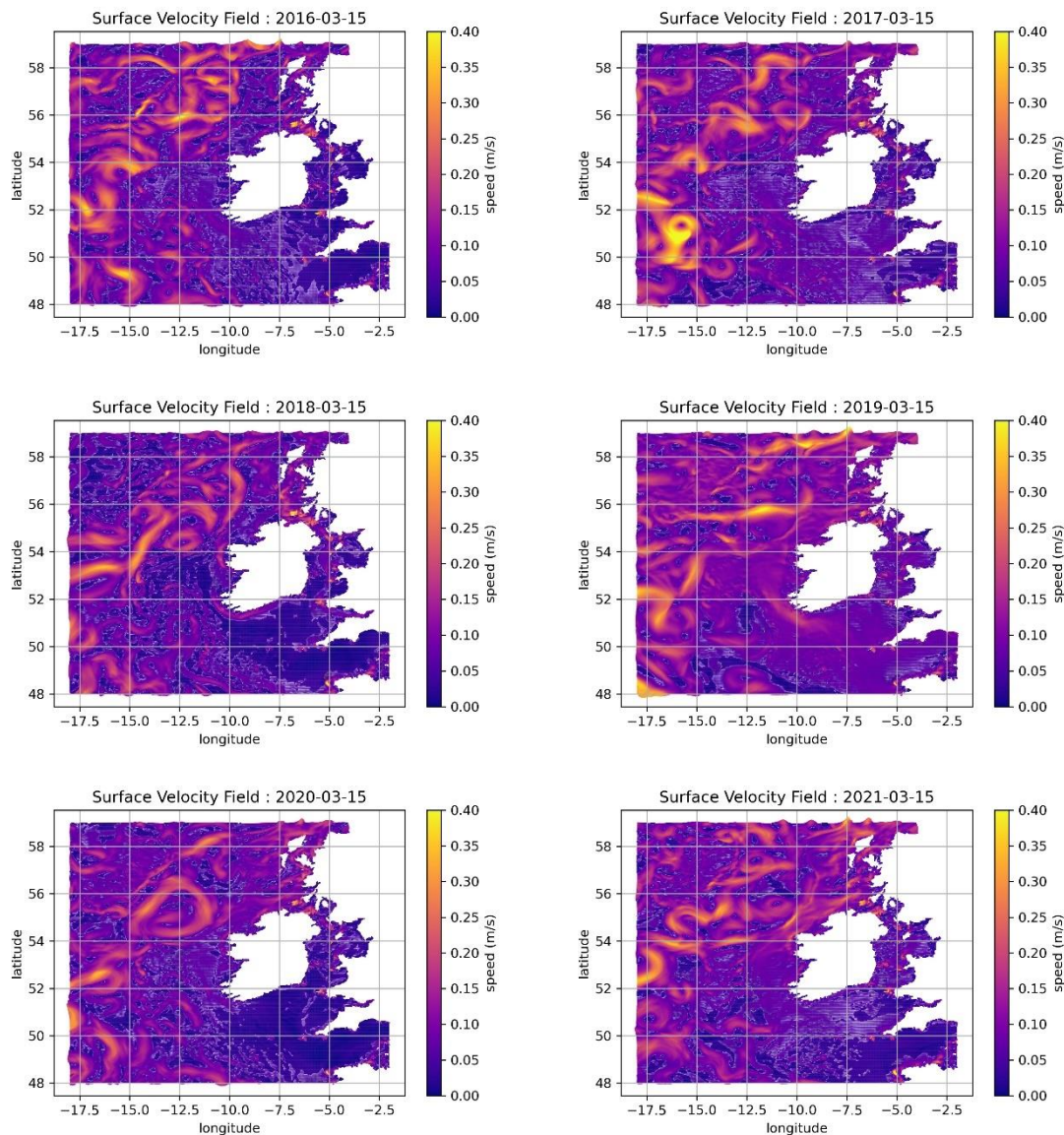
7.1 CHAMPS DE VITESSE

L'étude du champ de vitesse surfacique comme pré-introduit ci-avant, nous permet d'observer le comportement mois après mois, année après année autour de l'Irlande, aussi bien au grand large que dans les différents canaux Nord, Sud (St George) et de Bristol.





Ainsi, en capturant les observations réalisées durant 6 années à la même date, on peut statuer sur l'absence ou non d'évènements majeurs. Les mers et océans sont d'avantage agités en période hivernale, c'est pourquoi j'ai choisi d'afficher ci-dessous les champs de vitesse surfacique pour le mois de Mars.

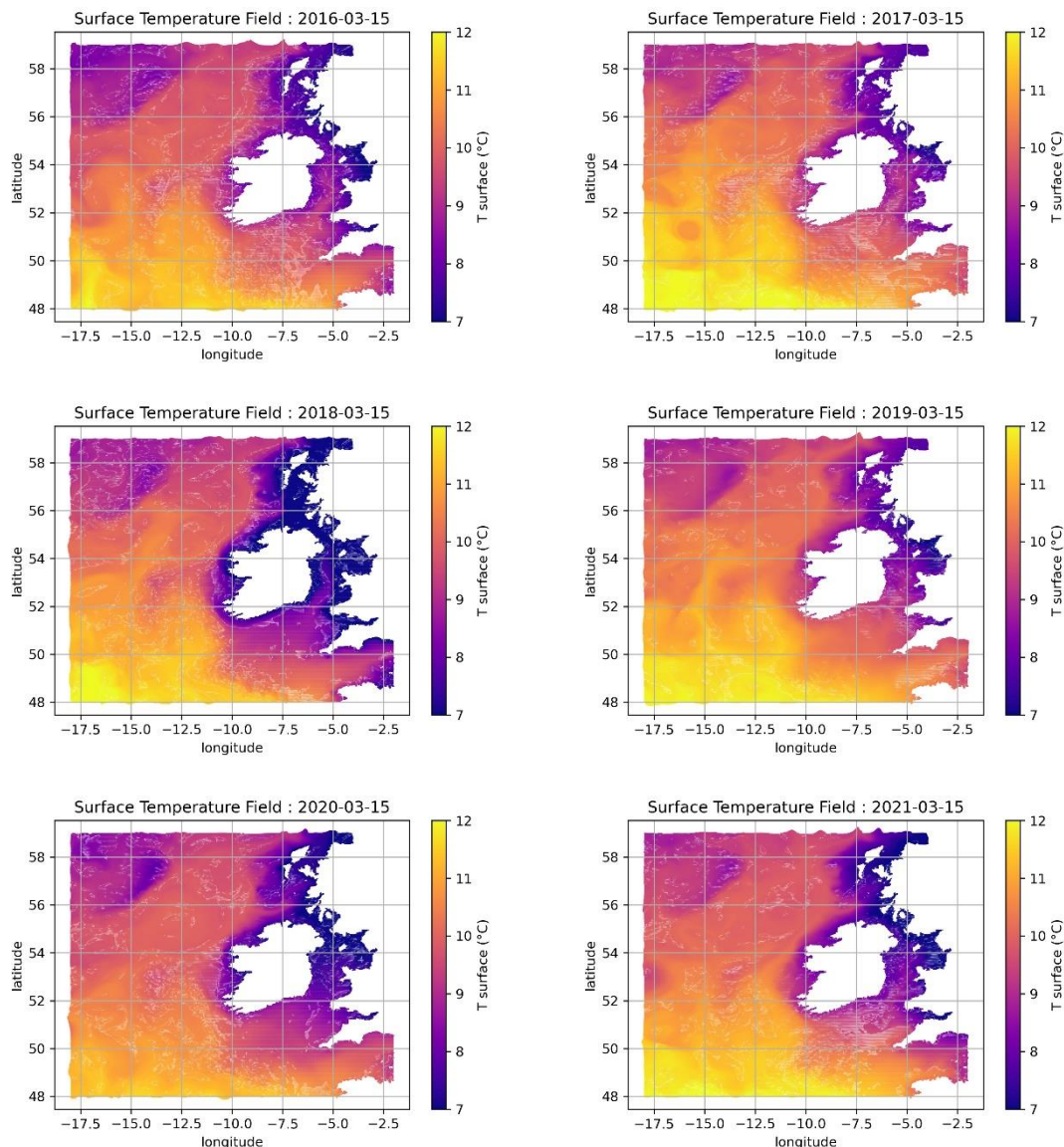


On observe bien les volutes en surface au large, des accélérations dans les canaux étroits et aux abords des côtes, cependant il est difficile de statuer sur la baisse ou non de la vitesse des eaux à la surface, en se basant sur des champs. Pour nous aider ce sont les évolutions temporelles des paramètres qui vont nous permettre de statuer sur la stabilité de ces derniers.



7.2 TEMPERATURE DE SURFACE

L'analyse des champs de température de surface a été réalisée en utilisant les précédents champs (vectoriels) de vitesse sur lesquels on a juxtaposé les mappages des champs de température de surface.

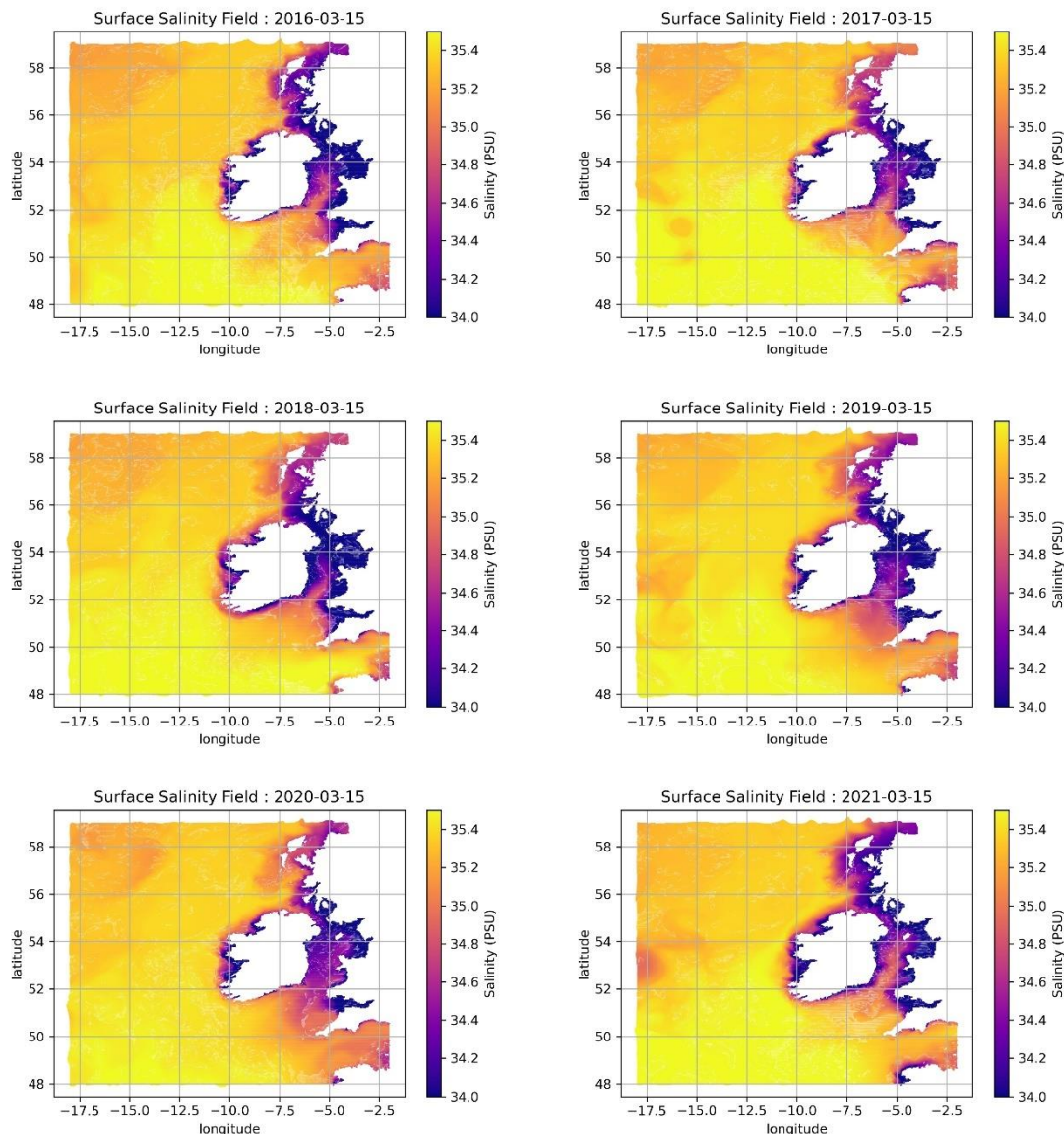


Sur un plan absolu, on n'observe pas de variations majeures ($T_{min} \sim 7^{\circ}\text{C}$, $T_{max} \sim 12^{\circ}\text{C}$). Toutefois en regardant en détail, Mars 2018 a vu des champs de températures plus froides comparé à Mars 2017.



7.3 SALINITE DE SURFACE

L'analyse de la salinité en surface (en PSU : Practical Salinity Unit. 1 PSU correspond approximativement à une concentration d'un gramme de sel par litre) nous permet d'observer les zones moins bien « mélangées », aux abords des côtes et dans les canaux plus isolés.

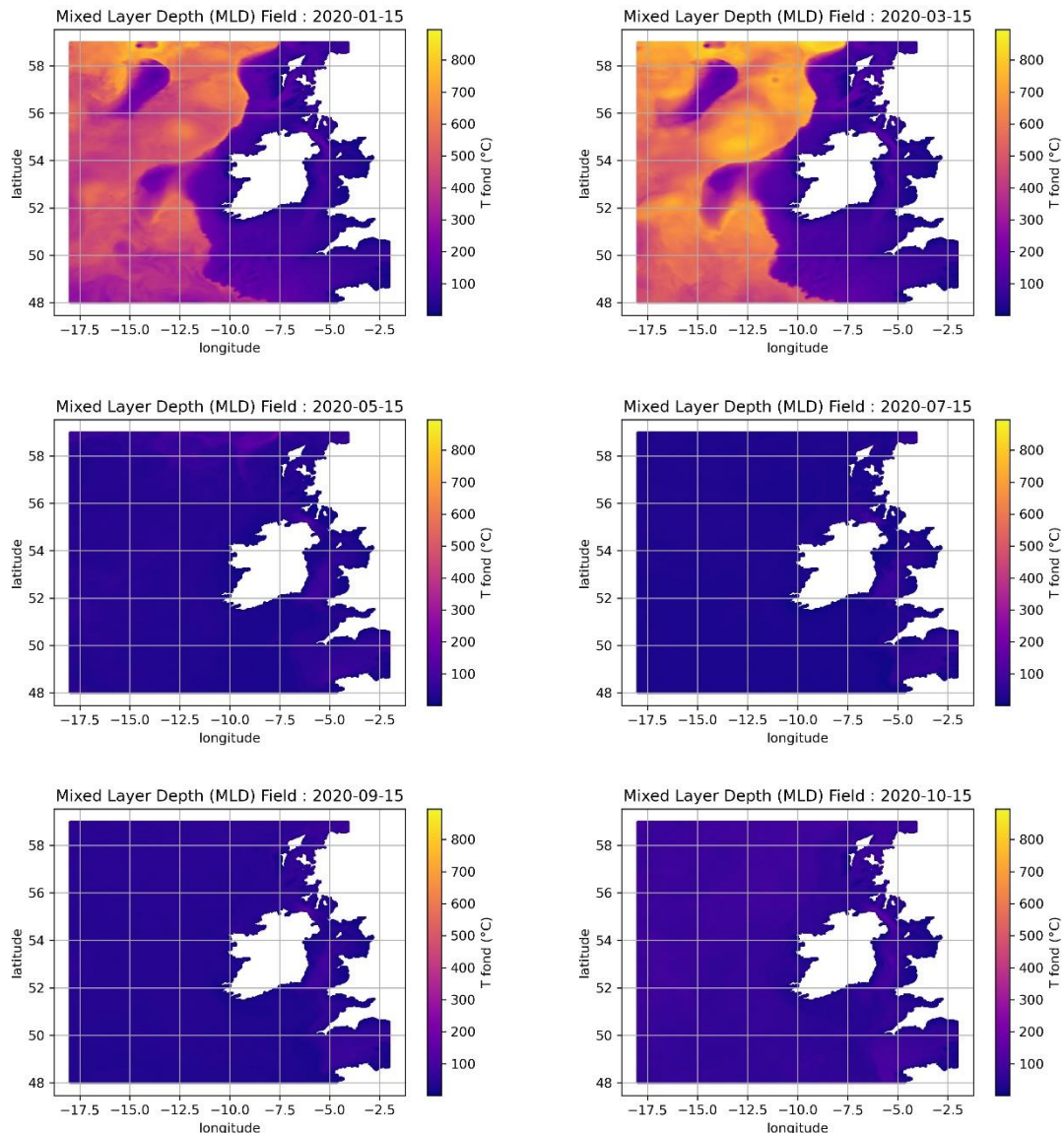


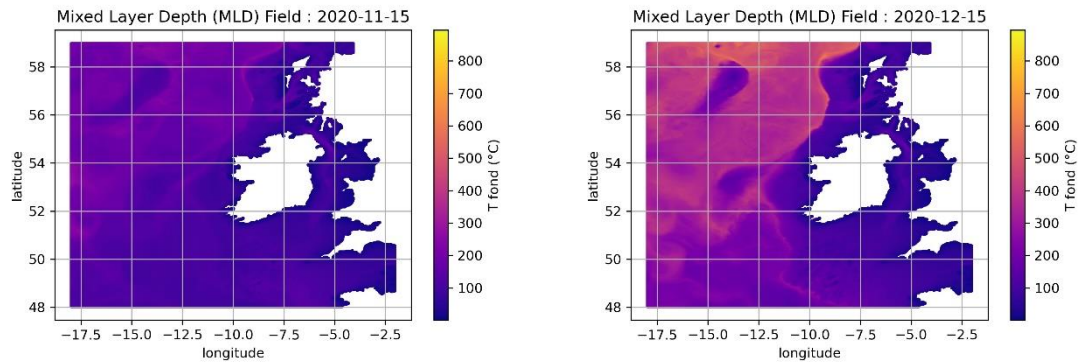
Ainsi, pour la zone située entre les canaux Nord et Sud, la salinité présente un taux de salinité jusqu'à 1 PSU d'écart avec les valeurs relevées ailleurs.



7.4 PROFONDEUR DE LA COUCHE DE MELANGE

L'analyse de la profondeur de la couche de mélange est intéressante à étudier sur une année révolue, car elle dépend fortement du climat saisonnier (cf 3.2, la valeur oscille entre 10m dans les zones équatoriales jusqu'à 400m dans les régions de hautes latitudes en hiver).

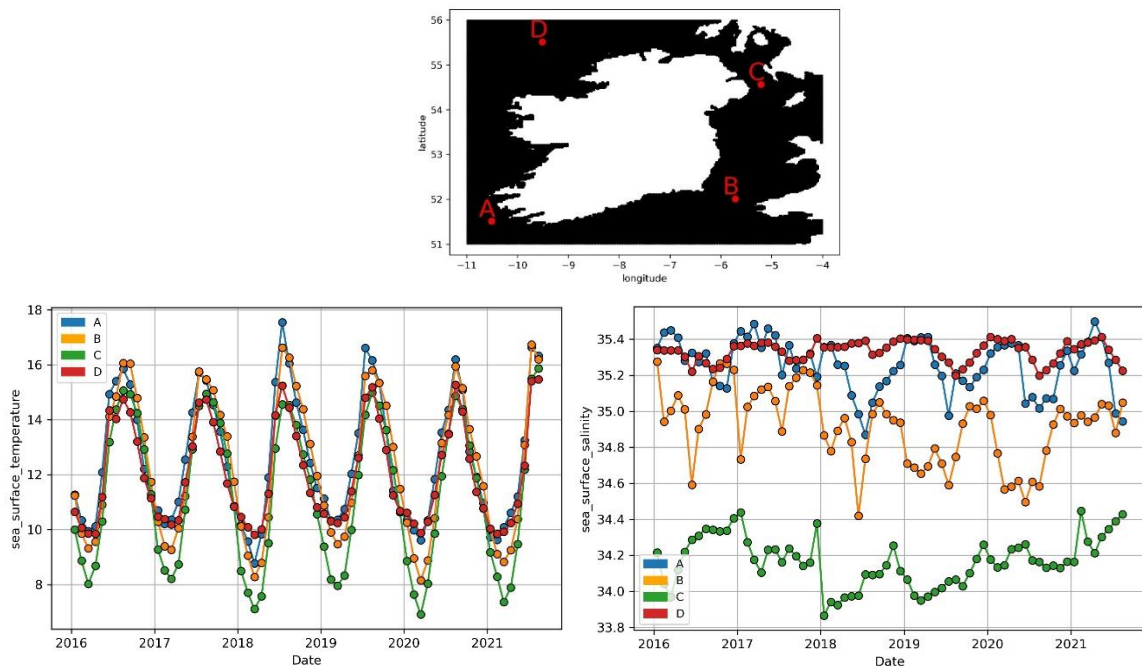




Ainsi, on constate comme attendu que la profondeur de couche de mélange sera importante en période agitée « froide » (de Décembre à Mars). Ce qu'il sera intéressant de voir c'est l'évolution temporelle pour statuer ou non d'un éventuel ralentissement du Gulf Stream. C'est ce à quoi on va essayer de répondre dans la partie suivante.

8 EVOLUTIONS TEMPORELLES

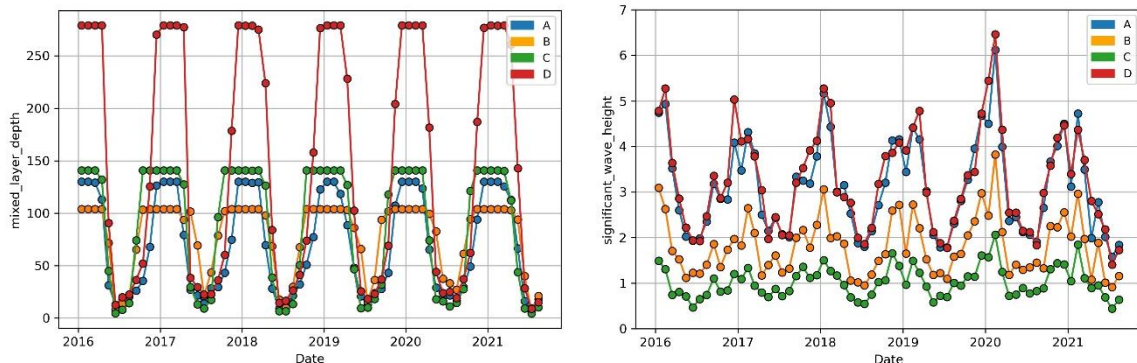
L'analyse des métriques clés en fonction du temps, pour quatre points choisis dans notre maillage est présentée ci-après.



A première vue, la température de surface semble globalement constante avec des écarts relatifs significatifs selon qu'on observe ces relevés au large où dans le canal Nord (par exemple) plus protégé et par conséquent moins exposé au mélange des eaux.



Il en est de même pour la salinité où les eaux dans le canal présentent un taux inférieur de l'ordre de 1 PSU (ce qui est significatif).



Concernant la profondeur de couche de mélange, il est difficile d'extraire une tendance claire tant les évolutions semblent constantes années après années. Pour la hauteur de vague, à l'exception du fait que cette dernière est maximale au large comme attendu, les fluctuations ne semblent pas montrer de tendance particulière.

Après avoir analysé les évolutions pour 4 points caractéristiques, nous allons maintenant tenter d'extraire des tendances d'évolutions par zone. Cela nous permettra de statuer sur un éventuel changement de comportement du courant chaud de surface.

9 PREDICTION PAR LA METHODE HOLT-WINTERS

Les tendances sont extraites à l'aide de la fonction *seasonal_decompose* sous Statsmodels, qui comme son nom l'indique décompose le signal temporel (ou timeserie) en une tendance, un effet saisonnier et une contribution résiduelle.

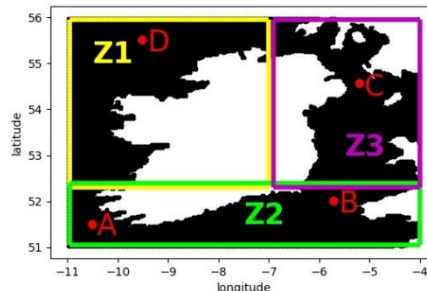
$$X_t = T_t + S_t + \varepsilon_t$$

Nous utiliserons par la suite la méthode de lissage exponentiel (Holt-Winters) pour prédire les évolutions à venir de température de surface, de salinité et profondeur de couche de mélange.



9.1 DECOMPOSITION

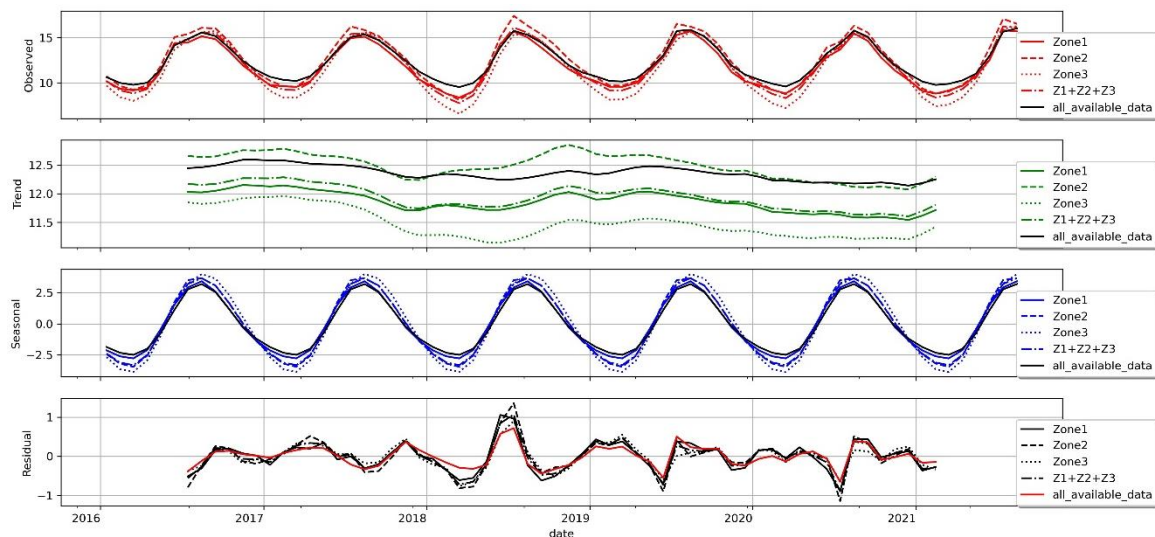
Rappelons tout d'abord le découpage par zone qui a été utilisé.



9.2 ANALYSE DES TENDANCES

La série « available data » correspond à la totalité des données disponibles c'est-à-dire suite au téléchargement du site de la Marine Institute avant tout zoom.

9.2.1 Température de Surface



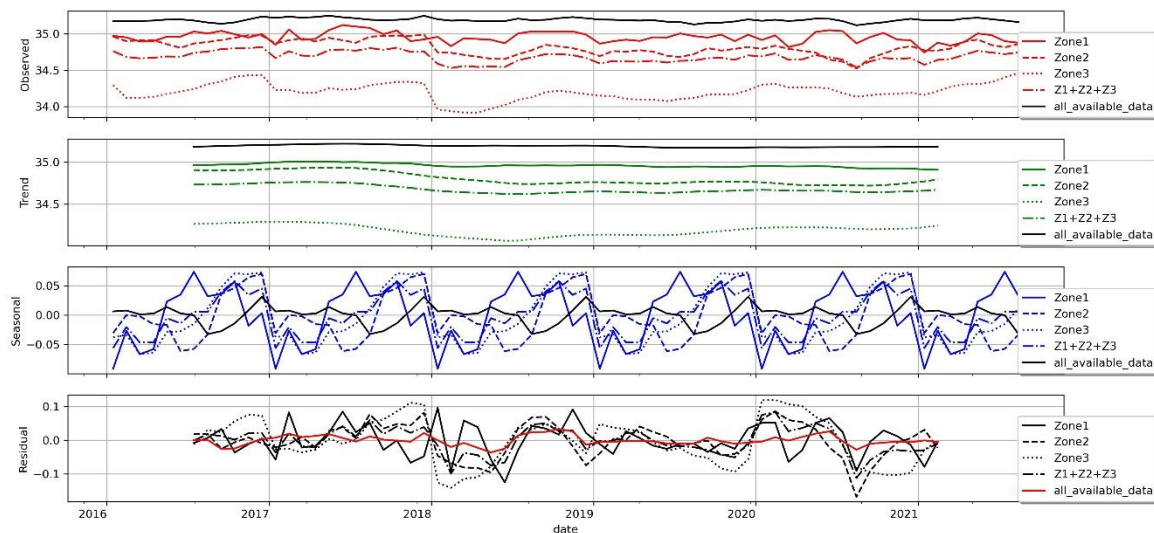
Il apparait des tendances similaires quelle que soit la zone étudiée. Si l'on considère tout le périmètre géographique étudié, on observe une diminution de la température de surface de l'ordre de 0.25°C sur 6 ans.

Une diminution de l'ordre de 0.5°C est à retenir aux abords des côtes irlandaises (cf. périmètre réduit).



9.2.2 Salinité

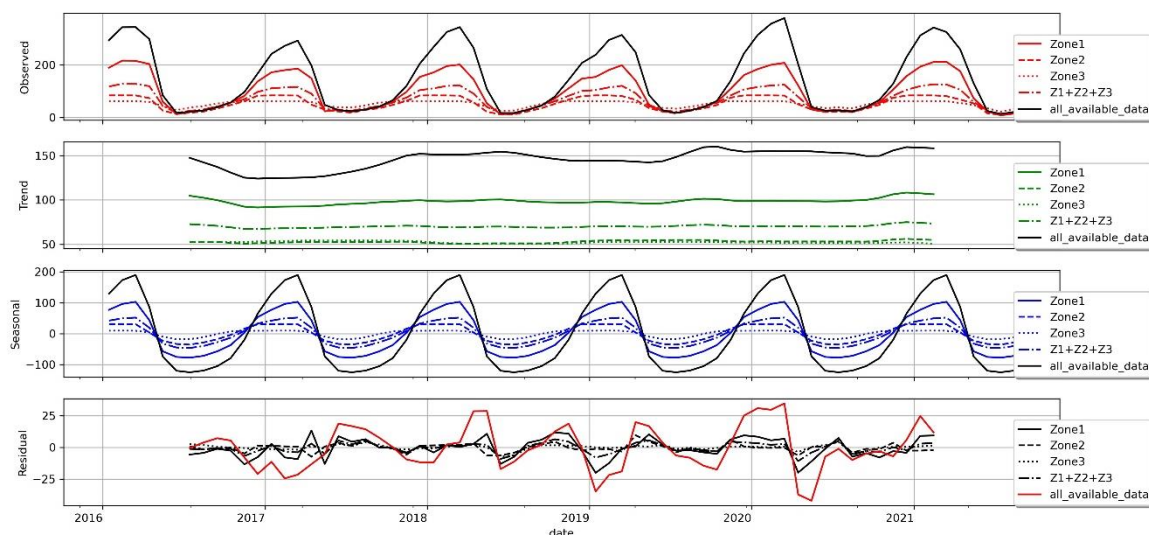
Lorsque l'on décompose le signal temporel de la salinité de surface, à première vue on obtient une casi-stabilité avec des niveaux absolus différenciés selon la zone étudiée (-1PSU dans la zone des canaux).



A priori, la stabilité de ce paramètre ne joue pas en faveur d'un éventuel ralentissement du Gulf Stream.

9.2.3 Profondeur de la couche de mélange

La tendance obtenue sur la profondeur de la couche de mélange montre une légère hausse consécutive par plateau (sur 18mois) si l'on se réfère à toutes les données.



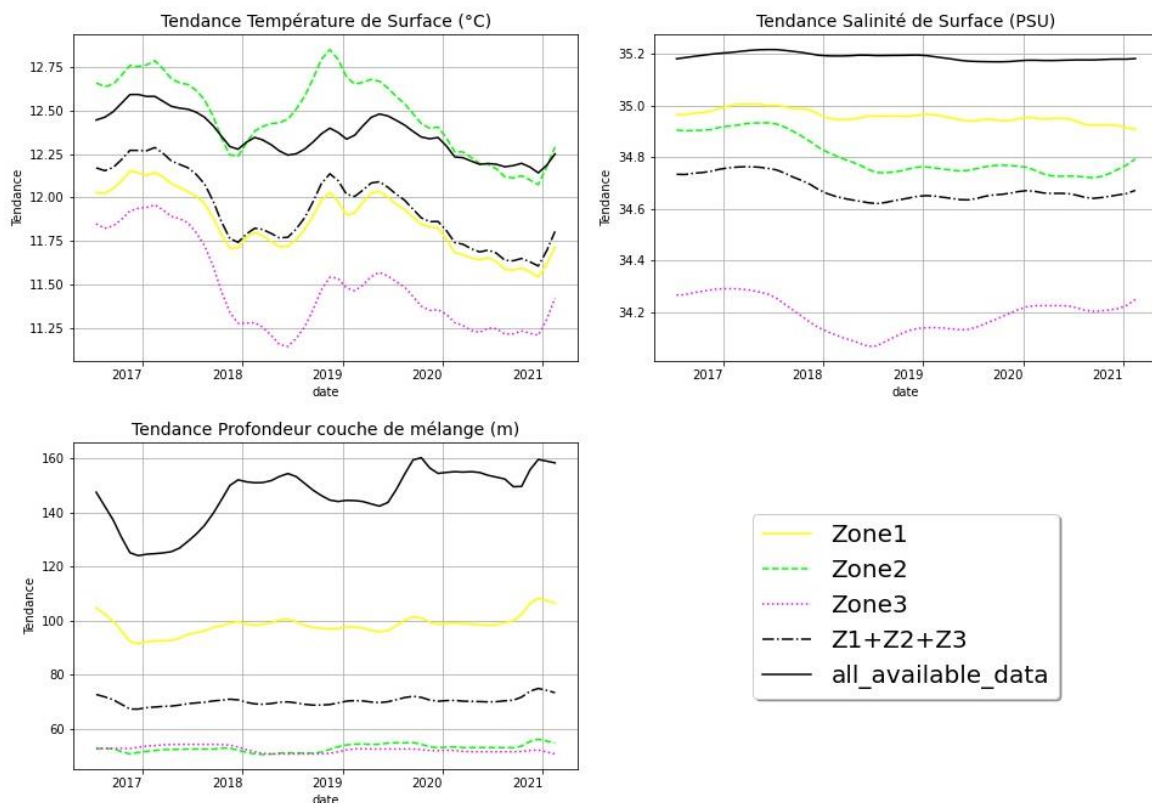


La couche de mélange va d'avantage être fluctuante au large étant données les profondeurs mises en jeu (cf. 7.4). Il apparait par conséquent une tendance à la stabilité aux abords des côtes irlandaises.

9.2.4 Bilan des tendances

Nous l'avons vu, selon la zone étudiée, on va observer des évolutions de tendance plus ou moins marquées. On retiendra une baisse de la température de surface de l'ordre de 0.25°C (à mettre en balance avec le constat établi : *Au niveau mondial, la surface de l'océan (jusqu'à 75m) s'est réchauffée de plus de $0,1^{\circ}\text{C}$ par décennie depuis 1971).*

Oceanographic parameters trends in Irish waters



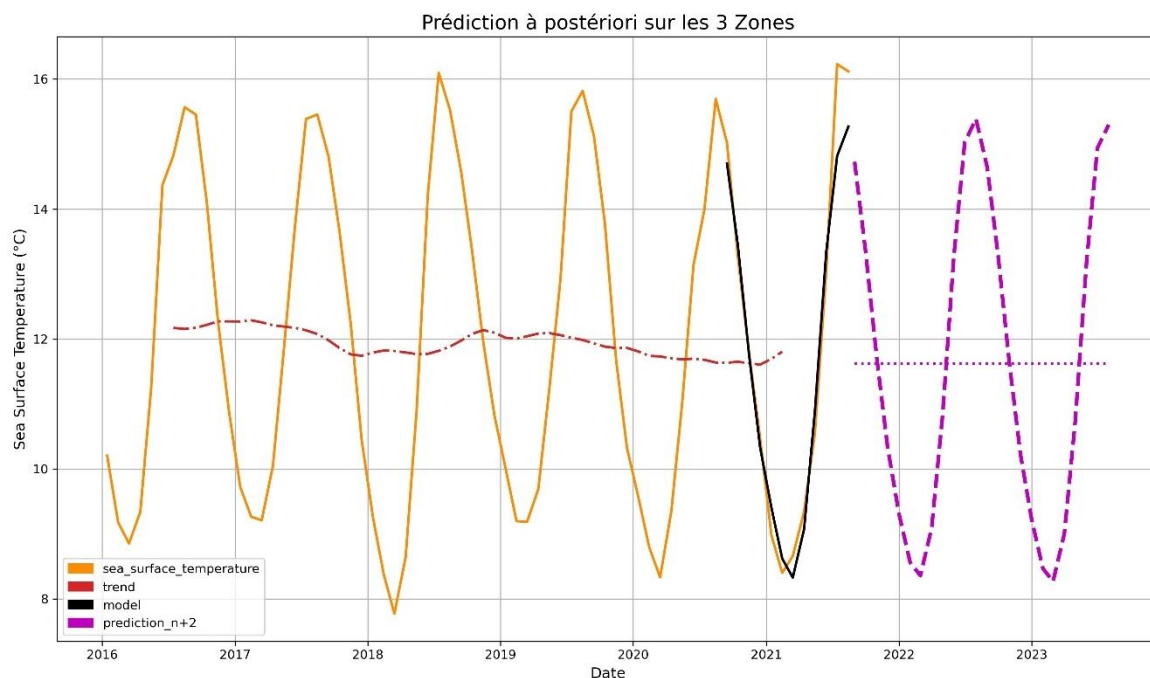
Paradoxalement aux observations faites par les scientifiques sur le réchauffement généralisé des eaux de surface depuis près de 50 ans, sur l'échantillon temporel étudié ici la tendance est plutôt à la baisse.

En se basant sur notre constat, concentrons-nous sur la prédiction de cette température surfacique sur les deux prochaines années (les autres paramètres étant relativement stables).



9.3 PREDICTION

En considérant les trois zones proches des côtes irlandaises l'Irlande, la prédiction par lissage exponentiel de Holt-Winters (modèle additif avec périodicité annuelle), nous permet de modéliser les données sur la dernière année. La qualité de notre modèle présente une erreur avec les observations réelles de la Marine Institute de l'ordre de 3%, ce qui est acceptable.



Ainsi, par projection sur les années à postérieur, notre modèle prédit une stabilité quant à l'évolution de la température de surface ($T_{avg} \sim 11.6^{\circ}\text{C}$).

Il est important de garder à l'esprit que la multiplicité des facteurs climatiques, humains (industrialisation croissante, émission de gaz à effet de serre) peuvent altérer cette prédiction à plus long terme.



10 CONCLUSION

On peut déplorer depuis des années une lente prise de conscience quant à l'urgence de protéger notre environnement. Les émissions de gaz à effet de serre sont au centre des débats, à raison car ils impactent directement de nombreux écosystèmes par le **réchauffement climatique**. Ce dernier est visible tant sur les températures ressenties dans l'air que sur celles relevées dans les océans et mers.

En réponse à la problématique soulevée dans cette étude concernant le ralentissement du Gulf Stream, nous avons montré que sur le trajet emprunté par ce courant, en l'occurrence aux larges des eaux irlandaises, les paramètres océanographiques montrent globalement une stabilité. L'analyse sur une échelle temporelle plus étendue aurait été intéressante, dans notre cas nous étions limités par la disponibilité des données antérieures, le volume conséquent de données à traiter et le temps de calcul.

Les deux phénomènes que sont le réchauffement climatique et notamment celui des eaux de surface et le ralentissement du Gulf Stream sont liés. Ainsi, la **fonte estivale de la banquise** libère de l'eau douce, ce qui **réduit l'effet de plongée** et peut **gripper** le tapis roulant de la **circulation océanique**. La **hausse des précipitations** proche du Groenland participerait aussi à **l'augmentation du ratio d'eau douce**.

Une étude similaire sur les mers bordant le Groenland peut mettre en évidence l'enrayage du phénomène « tapis roulant ».



11 ANNEXES

https://erddap.marine.ie/erddap/griddap/IMI_Model_Stats.html

<https://www.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=bba5bf8750f64fc5adaf41e40f7fa665>

<https://hommelibre.blog.tdg.ch/archive/2018/04/28/ralentissement-du-gulf-stream-gyre-sel-et-controverse-291805.html>

<https://www.meteocontact.fr/actualite/gulf-stream-mais-que-se-passe-t-il-70434>

<https://www.franceinter.fr/sciences/des-signes-d-un-effondrement-du-gulf-stream-observe-par-des-scientifiques>

<https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/oceanographie-salinite-surface-oceans-sous-surveillance-13754/>

<https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/oceanographie-circulation-thermohaline-2469/>

<https://wwz.ifremer.fr/L-ocean-pour-tous/Nos-ressources-pedagogiques/Comprendre-les-oceans/Ocean-et-climat/Les-oceans.-reservoirs-et-redistributeurs-de-chaleur>

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00157983/document>

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01020065/document>

https://en.wikipedia.org/wiki/Mixed_layer

<https://climat.be/changements-climatiques/changements-observe/oceans>