



RAPPORT DU PROJET PERSONNEL DE RECHERCHE

---

## Courants marins et pollution marine

---

UFR Sciences et Techniques  
Licence Mathématiques renforcée



Tuteur : OURMIERES Yann  
Laboratoire : MIO

Auteur : CHAN-LOCK Arthur  
Années 2021/2023

# Remerciements

*J'aimerais remercier M. Yann OURMIERES, mon tuteur, qui a pu me suivre tout au long de ces deux années de projet personnel de recherche. Les connaissances qu'il a pu me transmettre et son temps accordé ont été précieux. J'ai pu grâce à lui, trouver une passion dans ce domaine d'étude, en élaborant ce document.*

*J'aimerais aussi remercier Vassili FETIS, un ami très proche avec qui j'ai pu partager de nombreuses sessions de travail pour la réalisation de nos projet personnel de recherche.*

**Engagement de non utilisation d'un logiciel d'aide rédactionnelle**

Je soussigné(e), [CHAN-LOCK Arthur](#)

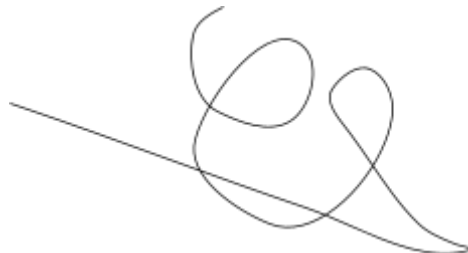
N°carte d'étudiant : [22103220](#)

Déclare avoir rédigé ce document sans l'utilisation d'un logiciel d'aide rédactionnelle (type ChatGPT).

En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour produire et écrire ce document.

Fait le [16/05/2023](#)

Signature(s)



# Table des matières

<b>1</b>	<b>Préambule</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Courants marins</b>	<b>6</b>
2.1	Courants de surface, généralités . . . . .	6
2.1.1	Lien avec l'atmosphère . . . . .	6
2.1.2	Spirale d'Ekman . . . . .	7
2.1.3	Rôle de la densité . . . . .	8
2.2	Gyres océaniques . . . . .	10
2.2.1	Les principaux . . . . .	10
2.2.2	Circumpolaire . . . . .	11
2.3	Courants de profondeur . . . . .	12
2.3.1	Création . . . . .	12
2.3.2	Boucle thermohaline . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Déplacement de la pollution</b>	<b>13</b>
3.1	Plusieurs cas . . . . .	13
3.2	Transport de plastique à grande échelle . . . . .	14
3.3	Transport côtier . . . . .	16
<b>4</b>	<b>Conclusion</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>Résumé</b>	<b>20</b>

# 1 Préambule

La pollution des océans est aujourd’hui un enjeu majeur de notre société. La production, consommation massive et la mondialisation en général mènent à la création de déchets de toutes sortes qui finissent indéniablement dans l’océan. Suivant l’article [Lebreton et al., 2012], notons que dans les années 70, l’Académie Nationale des Sciences des Etats-Unis ([Council et al., 1975]) affirmait que 6,4 millions de tonnes de déchets se retrouvaient dans la mer, et de cela, 0,7% étaient du plastique. Cependant, plus récemment, [Barnes et al., 2009] nous apprend que 60 à 80% des déchets en mer sont plastiques. De plus, 225 millions de tonnes de plastique sont créées et plus d’un tiers d’entre eux sont des emballages jetables. Comme la Terre est recouverte à 70% d’eau et que ces déchets sont très volatiles, les débris ont de grandes chances d’arriver dans les océans. Cela nous montre donc l’avancée considérable de la pollution avec le temps.

Mais la pollution peut aussi être d’un autre matériau, liquide, chimique ou encore organique. Cela altère forcément les écosystèmes vivant dans les eaux. En détruisant leur habitat ou bien directement leur organisme, la pollution met la biosphère maritime en grave danger. De plus, les êtres humains s’en trouvent finalement impactés aussi, car l’hydrosphère est indispensable à notre survie.

Il faut donc trouver des solutions pour pallier ces problèmes. Un moyen efficace est d’étudier et prévoir le déplacement des déchets, ce qui permet de les récupérer mais aussi de voir les conséquences que cela pourrait avoir sur l’écosystème et de les localiser.

Comme les courants marins régissent le déplacement des eaux au sein des océans, leur étude est donc une clé majeure pour prévoir le mouvement de la pollution. C’est là qu’entre en jeu le rôle de l’océanographie physique et de la courantologie.

On peut distinguer deux circulations différentes dans ce cas d’étude des courants :

- Les courants de surface
- Les courants de profondeur

En effet, leur fonctionnement diffère car les variables à prendre en compte pour étudier un courant de surface sont bien différentes de celles pour un courant de profondeur.

Les variables définissant les déplacements d’eau sont généralement les effets combinés du vent, de la force de Coriolis et des différences de densité, qui implique le taux de salinité et la température. De plus le contours des continents, les reliefs de profondeur et

l'interaction entre eux mêmes les affectent aussi. Un courant marin est principalement caractérisé par sa direction, sa vitesse, son débit, sa densité et sa position géographique.

Nous allons donc commencer par traiter ce sujet passionnant en étudiant les courants de surface à l'aide de [Ourmieres, 2021].

## 2 Courants marins

### 2.1 Courants de surface, généralités

#### 2.1.1 Lien avec l'atmosphère

Lorsque l'on parle des courants de surface, on étudie le déplacement des eaux au sein de la partie la plus superficielle des océans, c'est-à-dire, jusqu'à 200 m de profondeur. Ces courants sont donc fortement liés à la circulation atmosphérique. Etudions alors ceci un instant.

Sur Terre, on trouve 3 zones majeures de circulation des vents dans l'hémisphère Nord :

- Aux pôles, des vents d'Est.
- Aux moyennes latitudes on trouve des vents d'Ouest.
- Au niveau de l'équateur, on a les alizées qui viennent du Nord Est.

Et puis tout cela s'applique de façon symétrique dans l'hémisphère Sud. (cf : Figure 1 )

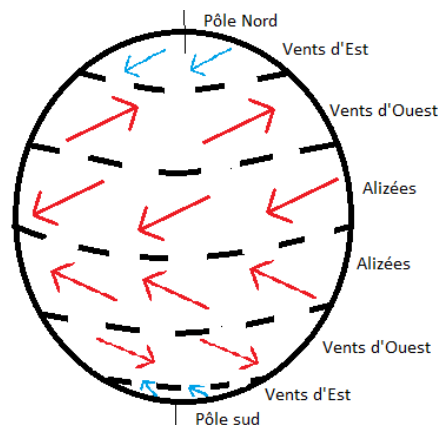


FIGURE 1 – Circulation du vent selon la latitude.

Voyons maintenant une carte indiquant les principaux courants de surface (Figure 2).

On peut constater que le système de vents dominants que l'on vient de décrire se reflète sur les courants d'eau à la surface des océans mais à quelques différences près.

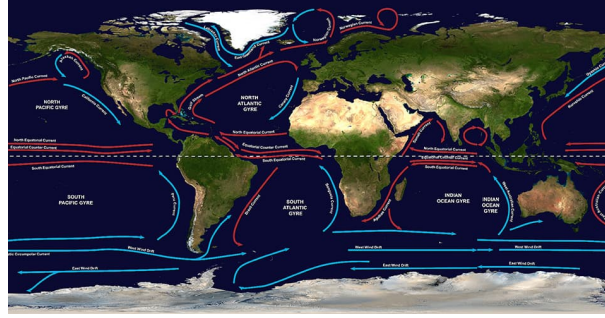


FIGURE 2 – National Ocean Service : What is a gyre ? Domaine public

Effectivement, il y a d'abord le fait que les eaux chaudes se dirigent vers les eaux froides pour équilibrer la différence de pression, puis aussi la force de Coriolis. Expliquons en premier lieu rapidement l'effet de Coriolis :

Pour faire simple, cette force fictive est liée au fait que l'équateur se déplace plus vite que les pôles car la Terre tourne sur elle-même. De cela, toute masse qui se déplace est déviée vers sa droite dans l'hémisphère Nord et sa gauche dans l'hémisphère Sud. En effet, lorsque l'on est dans l'hémisphère Nord, si on regarde la Terre depuis le pôle Nord, c'est comme si l'on regardait un disque tourner dans le sens antihoraire. Ainsi, en regardant l'autre hémisphère depuis le pôle Sud, on voit un disque tourner dans le sens horaire.

Ensuite, grâce à la loi de composition des accélérations, on sait que l'accélération de Coriolis est donnée par :  $\vec{a}_c = 2 \vec{\Omega}_{R'/R} \wedge \vec{v}_r$ <sup>1</sup>

Comme le vecteur rotation  $\vec{\Omega}$  est opposé entre les deux hémisphères (ie :  $\vec{\Omega}_{Nord} = -\vec{\Omega}_{Sud}$ ), pour un objet se déplaçant selon le même chemin, la force de Coriolis appliquée au mobile dans l'hémisphère Nord sera opposée à l'hémisphère Sud car :

$$\begin{aligned} \vec{\Omega}_{Nord} = -\vec{\Omega}_{Sud} &\implies 2 \vec{\Omega}_{R'/R_{Nord}} \wedge \vec{v}_r = 2(-\vec{\Omega}_{R'/R_{Sud}}) \wedge \vec{v}_r \\ &\implies 2 \vec{\Omega}_{R'/R_{Nord}} \wedge \vec{v}_r = -(2 \vec{\Omega}_{R'/R_{Sud}} \wedge \vec{v}_r) \quad \text{Bilinéarité du produit vectoriel} \\ &\implies \vec{a}_{c_{Nord}} = -\vec{a}_{c_{Sud}} \end{aligned}$$

### 2.1.2 Spirale d'Ekman

Revenons maintenant à notre courant et situons-nous par défaut dans l'hémisphère Nord, puisque l'on y réside. Maintenant, découpons l'eau en plusieurs couches.

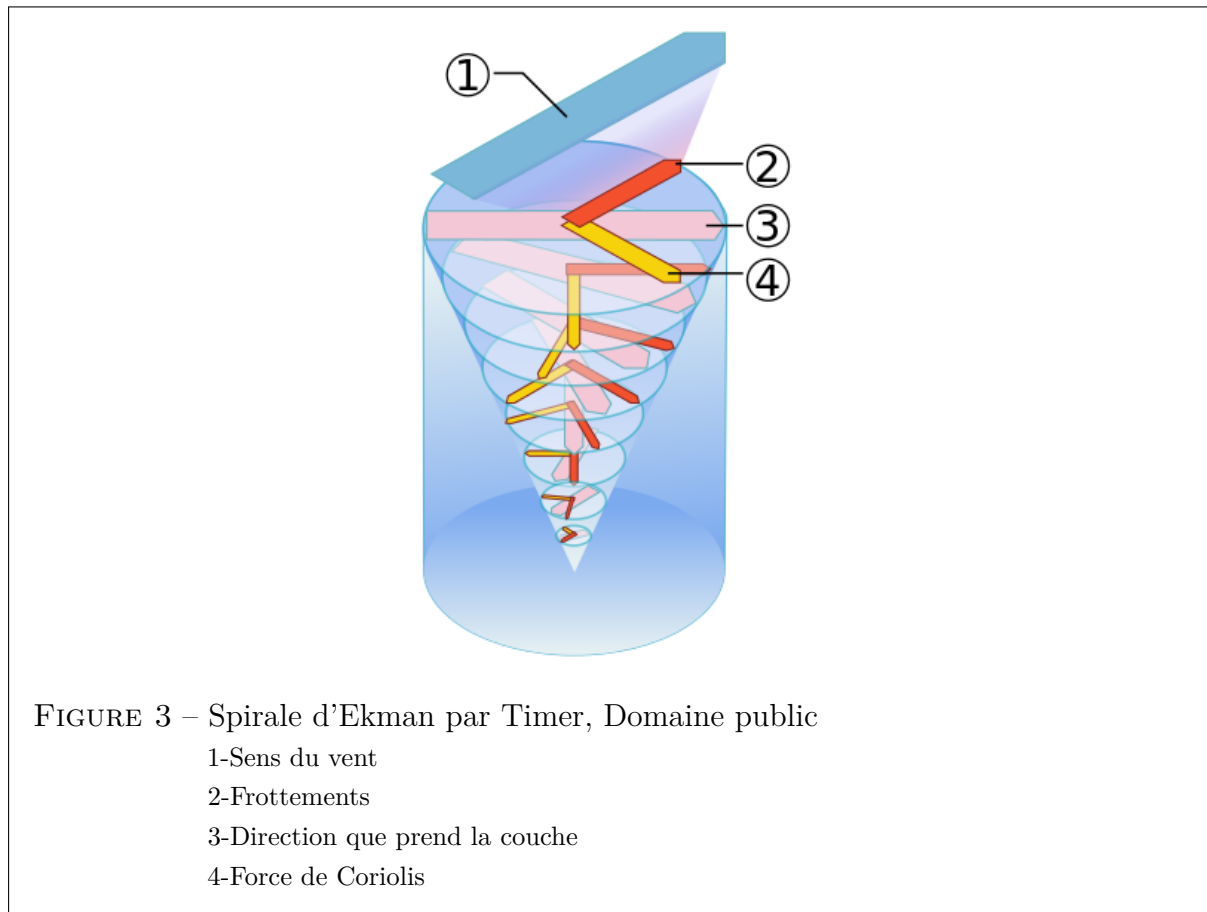
D'abord, la couche supérieure d'eau est poussée par le vent grâce à la friction, une force

---

1.  $R$ =Référentiel géocentrique,  $R'$ =référentiel terrestre,  $\vec{v}_r$ =vitesse relative

tangentielle à sa surface. Ensuite, la couche sous-jacente est entraînée par frottements, qui entraîne la suivante, et ainsi de suite. Puis en appliquant la force de Coriolis, chaque couche se déplaçant est déviée vers sa droite, et donc elles tournent de plus en plus selon la profondeur.

En regardant donc la résultante des forces de frottements et de Coriolis sur chaque couche, on obtient une spirale que l'on nomme la spirale d'Ekman (Figure 3)



Cependant, on ne parle là que des couches d'eau. Lorsque l'on intègre l'ensemble, on obtient la direction totale du courant que l'on appelle le transport d'Ekman (Figure : 4). Et il se trouve que la masse d'eau se déplace perpendiculairement à la direction du vent, à droite dans l'hémisphère Nord et à gauche dans l'hémisphère Sud car cela est directement lié à la force de Coriolis, comme on a pu le voir.



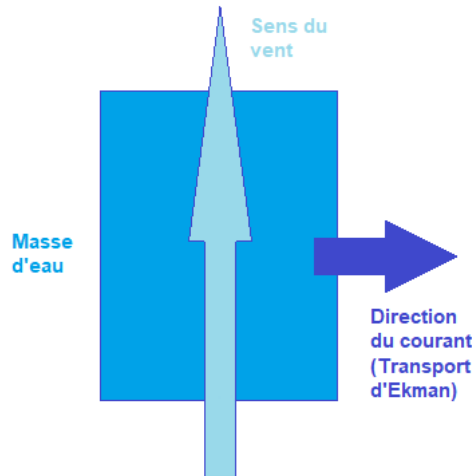


FIGURE 4 – Visualisation du transport d'Ekman

### 2.1.3 Rôle de la densité

Parlons maintenant du principal créateur des courants : les différences de densité. En effet, c'est grâce à cela que l'eau se met mouvement à une échelle aussi grande.

Tout d'abord, parlons de la densité. Il y a deux principaux facteur étroitement liés qui déterminent si l'eau est plus ou moins dense :

- La température
- La salinité

Parlons de la température. La Terre se chauffe en absorbant les rayonnements émis par le Soleil. Cependant, cela n'est pas uniforme sur toute notre planète. En effet, du fait que la Terre soit ronde, lorsqu'un rayon tape perpendiculairement à la surface de la Terre (2, figure 5),  $x W$  (watts) pour  $y m^2$  sont absorbés. Mais lorsque ce même rayon arrive sur des latitudes plus élevées ou plus basses (1, figure 5),  $x W$  sont toujours absorbées mais sur une surface  $z$  plus grande que  $y$  ! De ce fait :  $y < z \Rightarrow \frac{x}{y} > \frac{x}{z}$  (*i.e* : le rayonnement absorbé est plus important où les rayons sont perpendiculaires à la surface) donc la Terre reçoit plus d'énergie là où les rayons du Soleil sont perpendiculaires à la surface. C'est-à-dire que ces endroits sont plus chauds, car cette énergie reçue est transformée en chaleur.

De ce fait, l'eau s'en retrouve plus chaude à l'équateur et plus froide aux pôles. Ainsi, l'eau chaude tendra à remonter à la surface, et l'eau froide à plonger en profondeur étant donné que les masses chaudes sont plus denses que celles froides. Cette dynamique entraîne donc un mouvement des eaux dont on reparlera plus tard en détail.

Donc du point de vue de la terre, les eaux chaudes de l'équateur se déplacent depuis la surface vers les pôles, car elles sont plus denses. Cela induit donc des courants à l'échelle

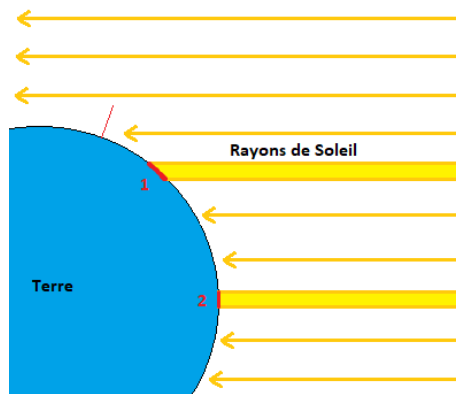


FIGURE 5 – Rayons émis par le Soleil sur la Terre

des océans que l'on va étudier maintenant.

## 2.2 Gyres océaniques

### 2.2.1 Les principaux

Maintenant que l'on a vu pourquoi et comment l'eau se met en mouvement, on peut utiliser ces informations pour étudier la circulation des courants de surface au sein des océans. Comme on a vu dans le paragraphe précédent, les eaux chaudes de l'équateur remontent vers les pôles à la surface. Il faut maintenant cumuler cela avec les vents, la force de Coriolis et donc le transport d'Ekman.

L'addition de tous ces composants mène à la création de ce que l'on appelle les gyres océaniques. Ce sont de grands tourbillons d'eau qui régissent généralement la circulation des eaux à la surface des océans, donc à grande échelle. On trouve 5 principaux gyres. Un dans l'océan indien, deux dans l'océan atlantique et deux dans le pacifique (cf : figure 6). On peut constater qu'il ne tournent pas dans le même sens selon l'hémisphère, cela est dû à la force de Coriolis comme on a pu le voir plus tôt. Il vont dans le sens horaire dans l'hémisphère Nord, puis dans le sens antihoraire dans l'hémisphère Sud. Un autre point est qu'ils ne sont pas parfaitement circulaires et cela est dû au trait de côte, c'est-à-dire que les continents entravent la circulation des courants. D'ailleurs, reparlons de cette force de Coriolis. Elle permet la création de ces gyres en contraignant sans cesse l'eau d'aller vers la droite (dans l'hémisphère Nord). Mais elle crée aussi un relief sur les océans, au centre des gyres ! En effet, la force de Coriolis pousse constamment les masses qui se déplacent au centre du gyres. Cela crée un dôme d'eau que l'on appelle dorsale (figure 7), qui engendre un gradient de pression et repousse l'eau en profondeur.

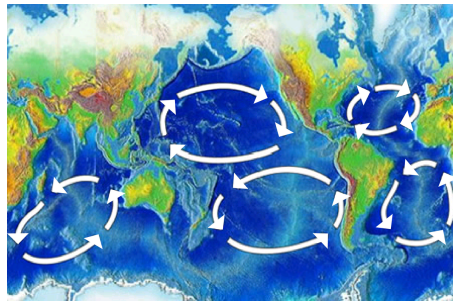


FIGURE 6 – Circulation des masses d'eau, NOAA, Domaine public

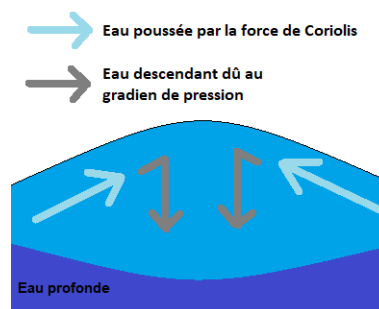
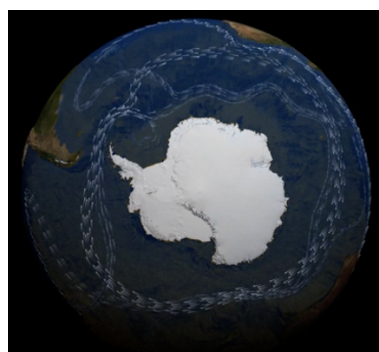


FIGURE 7 – Circulation des masses d'eau dans un gyre

### 2.2.2 Circumpolaire

Notons l'existence d'un sixième gyre qui se situe au niveau de pôle Sud. C'est le courant circumpolaire. Il existe pour les mêmes raisons que les gyres mentionnés mais il a ses différences. En effet, en son centre se situe l'Antarctique, la circulation d'eau qui se fait autour permet donc d'isoler thermiquement le continent. Il est connu pour être le courant le plus puissant de la planète et le plus froid. Il est donc indispensable à connaître pour pouvoir expliquer la circulation des courants sur Terre (Figure 8).

FIGURE 8 – Courant circumpolaire Antarctique,  
Capture d'écran de NASA : Scientific Visualization Studio,  
Domaine Public

## 2.3 Courants de profondeur

### 2.3.1 Création

Comme on a pu le voir précédemment, un facteur majeur de la mise en mouvement des eaux est la différence de densité. Revenons dessus et étudions cela plus en détails :

Tout d'abord, l'eau est chaude au niveau de l'équateur et froide aux pôles comme on a

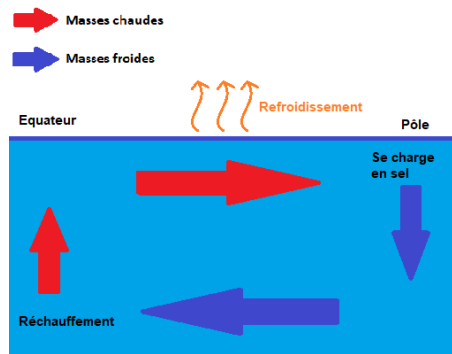


FIGURE 9 – Circulation des masses d'eau

pu le voir. L'eau chauffée étant plus dense, se dirige vers un pôle en passant par la surface. Durant son voyage, une partie de l'eau s'évapore et devient donc plus chargée en sel. Une fois arrivée à un pôle, l'eau est froide et très salée. Elle plonge donc en profondeur car sa densité est bien plus élevée. Ainsi, cette eau très dense retourne dans le sens inverse en passant par les profondeurs et rejoint l'équateur pour compenser le manque d'eau dû aux masses chaudes qui partent aux pôles. Finalement, l'eau profonde remonte, se réchauffe et la boucle recommence (Figure 9).

Prenons l'exemple de l'Atlantique du Nord. [Toggweiler and Key, 2001] explique que la partie supérieure de la boucle commence vers les régions tropicales et subtropicales de l'Atlantique Nord, et se dirige vers le Nord. Cette eau là a une température de 15 à 20°C en moyenne et s'étend jusqu'à 800m de profondeur. En se déplaçant, une partie s'évapore puis l'eau se charge en sel. Un point particulier ici est que l'Atlantique récupère l'eau rejetée par la Méditerranée et se réchauffe et charge en sel quand elle est proche de celle-ci.

Une fois que l'eau a passé les 50°N, elle est en moyenne à 11,5°C. Lorsqu'elle arrive en Arctique, elle atteint les 0°C. L'eau est très froide et salée, elle descend donc en profondeur, entre 600m et 1000m le long des côtes du Groenland. Puis lorsqu'elle arrive dans l'Atlantique, descend encore jusqu'à 3000m et est entre 2°C et 3,5°C. Elle se dirige ensuite vers le Sud.

### 2.3.2 Boucle thermohaline

Un point important est que sur Terre, on trouve une grande boucle traversant tous les océans que l'on appelle la boucle thermohaline (Figure 10). La part de l'Atlantique Nord que j'ai décrite est une des parties moteurs à la circulation thermohaline. Cette boucle est donc essentielle à connaître pour comprendre le déplacement des eaux dans la mer. Même si les courants qui la composent ont un gros débit, une particule met environ 600 ans à faire le tour complet.

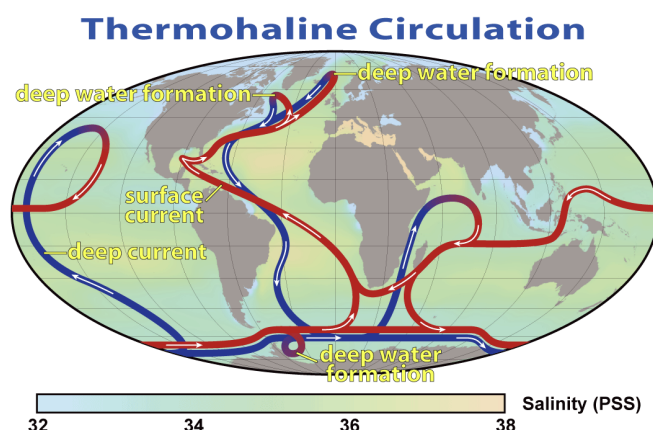


FIGURE 10 – Circulation thermohaline, NASA Earth Observatory, Domaine public

## 3 Déplacement de la pollution

### 3.1 Plusieurs cas

Maintenant que nous en connaissons plus sur les courants, intégrons la pollution dans notre équation. Comme on a pu le voir dans l'introduction, [\[Barnes et al., 2009\]](#) montre que 60% à 80% des déchets au sein de la mer sont composés de plastique. Le plastique ayant une densité plus faible que l'eau, il reste donc en général à la surface des océans. L'étude des courants de surface est donc nécessaire pour connaître le déplacement de ce déchet.

Le plastique représente donc une grande majorité de la pollution maritime, mais il ne faut pas oublier les autres déchets qui peuvent être d'autant plus dangereux ! On a par exemple le pétrole. En effet, lors d'une marée noire, il est important d'agir rapidement.

Autrement, les conséquences pour la biologie marine peuvent être désastreuses. Le pétrole lui aussi est moins dense que l'eau et flotte donc. Cependant, comme c'est un liquide, il ne se comporte pas totalement comme un déchet plastique. L'étude est alors différente.

Ensuite, on peut trouver les méduses. Elles ne constituent pas en soi un déchet mais représentent tout de même un certain enjeu biologique et socio-économique. Effectivement, une "invasion" de méduses entravera la pêche et aussi attirera certainement moins de touristes. Connaître leur position peut alors s'avérer utile. Comme elle suivent les courants, elle représente donc un autre cas à étudier, mais qui est encore différent du plastique et du pétrole.

Cependant, il faut ajouter à tout cela une autre chose. En effet, nous avons pu étudier le déplacement général des courants, mais à des échelles plus réduites de temps et d'espace, le courant change tous les jours comme la météo ! Les déchets n'ont donc pas qu'une façon de se déplacer. La figure 11 permet ici de résumer quelques transports de déchets au sein des mers et océans.

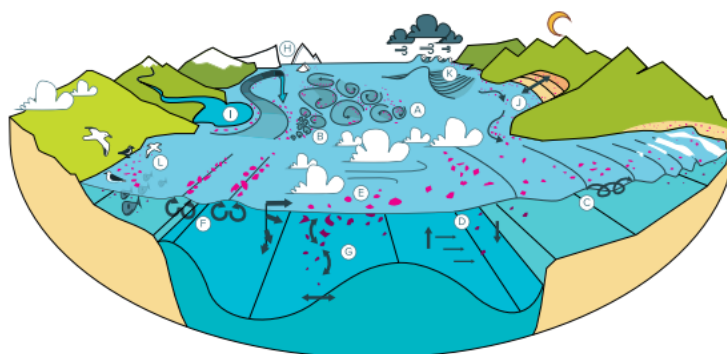


FIGURE 11 – Résumé des différents transports de plastique, [Maximenko et al., 2012], CC BY 4.0 ;

A-Procédé à grande échelle	G-Mélange vertical
B-Procédé à submésoséchelle	H-Fomation de glace, fonte et dérive
C-Dérives de Stokes	I-Fronts côtiers et embouchures
D-Marées internes	J-Courants côtiers et vagues
E-Transport par le vent	K-Evènements extrêmes
F-Circulation de Langmuir	L-Transport par voie biologique

Il y a donc beaucoup trop de différents transports pour pouvoir tous les étudier ici. Nous allons donc uniquement parler de deux d'entre eux, avec des débris plastiques.

### 3.2 Transport de plastique à grande échelle

Le transport de plastique à grande échelle horizontal (*i.e* sur la surface des océans) est efficace pour le déplacement de déchets à longue distance à l'échelle de la Terre. C'est aussi le moyen le plus étudié et où on a le plus d'informations par rapport au déplacement de débris plastiques notamment ([Van Sebille et al., 2020]). Comme on a pu le voir précédemment, les courants de surface sont régis en bonne partie par le vent et donc le transport d'Ekman. Pour rappel, le transport d'Ekman crée des zones de convergence d'eau qui sont les gyres. On peut donc utiliser ces connaissances afin d'essayer d'anticiper la trajectoire des débris.

Parlons d'abord d'un point de vue théorique. Lorsqu'un déchet plastique est lâché dans la mer, il va adopter le même déplacement que les courants de surface. Le débris va donc être introduit dans un gyre formé à l'aide du transport d'Ekman. Ensuite, comme on a pu voir que les masses d'eau des gyres sont constamment poussées vers leur centre, le morceau de plastique va aussi l'être et donc se retrouver au centre du gyre.

Prenons l'exemple de l'océan Pacifique dans l'hémisphère Nord. En général, les débris convergent vers le centre, et on trouve donc une densité de déchets plus élevée que la moyenne (Figure 12). Cet endroit est aussi appelé "garbage patch" soit "couverture de déchets" littéralement en français. En effet, cette zone du Pacifique est connue pour ce que certains appellent le "continent de plastique" mais qui est un terme trop important pour la réalité. En effet, cela laisse croire à une densité extrême de plastique dans cette zone au point que l'on puisse marcher dessus, mais ce n'est pas le cas. [Van Sebille et al., 2020] nous explique qu'effectivement, les particules de plastique sont présentes dans 90 à 100% de la zone, mais que la densité reste faible. On est à 1 débris pour 4 m<sup>2</sup>. On est donc loin de parler d'un continent.

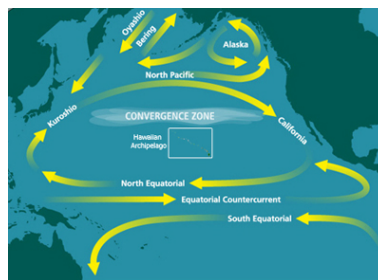


FIGURE 12 – [Oceanic and Administration, ] : Débris maritimes dans le Pacifique, Domaine public

Voyons maintenant d'un point de vue expérimental. Pour étudier le déplacement des

débris à la surface des océans, les chercheurs utilisent des balises équipées d'une ancre flottante. L'ancre permet à la balise de suivre le mouvement d'un courant selon la profondeur souhaitée (Figure 13). [Maximenko et al., 2012] ont donc utilisé les données



FIGURE 13 – Balise munie d'une ancre flottante

générées par ce type d'engins qui suivant un courant d'une profondeur de 12 à 18m de 1979 à 2007 pour construire un modèle probabiliste du déplacement des débris à la surface. Ils ont pu finalement modéliser une carte représentant la densité des déchets dans l'océan (Figure 14). On peut voir que celle-ci correspond à nos attentes, où les particules se dirigent au centre du gyre.

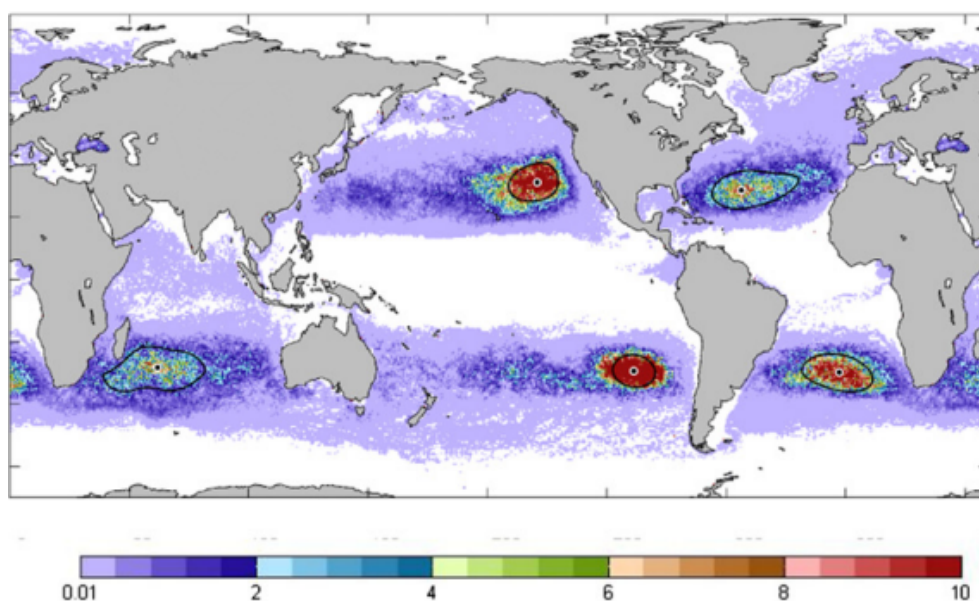


FIGURE 14 – [Maximenko et al., 2012], Modèle de concentration des balises après 10 ans en mer

### 3.3 Transport côtier

Parlons maintenant du transport côtier. L'échelle de ce transport est infiniment plus petite que lors du sujet précédent. En effet, la dérive des déchets sur les côtes ne peut pas



réellement se généraliser, cela est différent selon chaque côte. La géographie du fond marin, la forme de la côte, le vent local, les vagues et les marées sont des éléments qui changent selon la position géographique et le temps. Il y a donc autant de zones à étudier qu'il y a de kilomètres de côtes. Effectivement, il y a un vrai travail complexe en 3 dimensions. On peut cependant tenter d'étudier dans les grandes lignes les conséquences de ces variables sur le déplacement des débris.

Ce sont en général les vagues qui viennent du large, jusqu'à la côte qui emportent les débris puis viennent les poser sur la côte. Sinon, en terme de courant, on peut retrouver la situation de la Figure 15 :

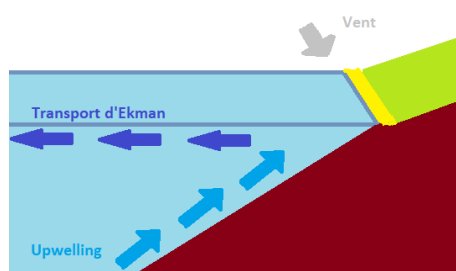


FIGURE 15 – Upwelling côtier

On a le vent qui souffle le long de la côte vers le Sud (dans l'hémisphère Nord). Avec le transport d'Ekman, le courant se déplace donc à  $90^\circ$  vers la droite de la direction du vent. Ainsi, pour compenser le déplacement de la surface, les eaux du fond remontent la côte. On appelle cela un upwelling côtier. Dans ce cas de figure, les débris dense qui sont au fond de la mer se ramènent sur la plage. Puis ceux jetés depuis la côte sont emmenés au loin.

On peut aussi trouver le cas opposé où le vent souffle vers le Nord. Dans cette situation, le courant de la surface se dirige vers la plage, puis descend ensuite en profondeur en longeant la côte. Ainsi, les déchets du large viennent sur la plage et retombent ensuite en profondeur si leur densité le permet.

## **4 Conclusion**

Pour conclure, nous avons pu voir comment se forment les courants généraux. Les grands déplacements d'eau en profondeur issue de la boucle thermohaline existent grâce aux différences de densité entre les pôles et l'équateur. Le taux de salinité et la température jouent alors un rôle majeur dans la création de cette boucle.

Ensuite, nous avons parlé des courants de surface qui, grâce à la circulation atmosphérique, ont un déplacement bien particulier. En effet, muni de la force de Coriolis, l'eau forme de gigantesques tourbillons au sein des océans. Et puis, à l'instar de la boucle thermohaline, ces gyres sont plutôt constant dans le temps, et forment donc un sujet très étudié par les chercheurs. Comme chacun d'eux a des propriétés particulières, il prendra encore un certain temps à découvrir tous les secrets qu'ils cachent.

Cependant, il existe encore une multitude de courants. Ceux cités sont les principaux, ceux qui sont le plus durables dans le temps. Cependant, l'interaction entre deux courants peut créer un nouveau courant, puis avec les fonds marins aussi. Mais cela représente plus du cas par cas, des sujets qui sont moins durables temporairement ou alors qui agissent que dans une région géographique spécifique.

Puisque nous étudions le comportement des déchets dans l'océan, il était donc indispensable de parler des courants marins. Effectivement, selon le type de déchet, il faut voir avec quel courant il peut s'associer. Nous avons ici étudié le plastique, qui est généralement sous forme de produit à usage unique solide, volatile, hétérogène et qui a donc une densité plus faible que l'eau, puis adopte alors le déplacement des courants de surface.

Face à cette pollution anthropique grandissante, plus de déchets de toutes sortes se retrouvent dans la mer. Ceci est une aberration pour la vie maritime qui s'en trouve directement impactée, mais représente tout de même un moyen pour les chercheurs d'étudier le comportement des courants, qui est un domaine plutôt nouveau et encore peu développé. On peut donc compter sur l'aide que nous apportent les océanographes physiques pour comprendre et prévoir le déplacement des déchets marins, puis agir en conséquence.

## 5 Bibliographie

### Références

- [Barnes et al., 2009] Barnes, D. K., Galgani, F., Thompson, R. C., and Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical transactions of the royal society B : biological sciences*, 364(1526) :1985–1998.
- [Council et al., 1975] Council, N. R. et al. (1975). *Assessing Potential Ocean Pollutants : A Report of the Study Panel on Assessing Potential Ocean Pollutants to the Ocean Affairs Board, Commission on Natural Resources, National Research Council*. Number 2325. National Academies.
- [Lebreton et al., 2012] Lebreton, L.-M., Greer, S., and Borrero, J. C. (2012). Numerical modelling of floating debris in the world’s oceans. *Marine pollution bulletin*, 64(3) :653–661.
- [Maximenko et al., 2012] Maximenko, N., Hafner, J., and Niiler, P. (2012). Pathways of marine debris derived from trajectories of lagrangian drifters. *Marine pollution bulletin*, 65(1-3) :51–62.
- [Oceanic and Administration, ] Oceanic, N. and Administration, A. Garbage patches.
- [Ourmieres, 2021] Ourmieres, Y. (2021). Fundamentals of marine dynamics course. *Master MIR Univ TLN*.
- [Toggweiler and Key, 2001] Toggweiler, J. and Key, R. M. (2001). Ocean circulation : Thermohaline circulation. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*, 4 :1549–1555.
- [Van Sebille et al., 2020] Van Sebille, E., Aliani, S., Law, K. L., Maximenko, N., Alsina, J. M., Bagaev, A., Bergmann, M., Chapron, B., Chubarenko, I., Cózar, A., et al. (2020). The physical oceanography of the transport of floating marine debris. *Environmental Research Letters*, 15(2) :023003.

## 6 Résumé

### Français

Face à la pollution anthropique grandissante, beaucoup de déchets se retrouvent dans la mer et ont des conséquences désastreuses sur l'hydrosphère. On peut les trouver sous différentes formes : solide, liquide, biologique, dense ou non... Cependant, tous suivent le déplacement des courants, à condition que leur densité ne soit pas trop élevée. On étudie donc les courants, ceux qui sont le plus durables dans le temps, afin de pouvoir prévoir le déplacement des débris marins. Dans ces courants, on peut y retrouver la boucle thermohaline qui existe grâce aux différences de densité entre les pôles et l'équateur. Cette boucle régie les courants de profondeur et met aussi en mouvement les eaux de surface. On a ensuite les gyres océaniques qui sont de grands tourbillons à la surface des océans.

Nous étudions ici le déplacement du plastique en surface, sur les côtes ou au sein des océans. Lorsqu'on est sur les côtes, cela dépend de l'orientation du vent. Puis quand on est au sein des océans, les débris ont tendance à converger vers le centre du gyre où ils se situent. Actuellement, l'océanographie physique est encore nouvelle et les courants sont peu connus, mais on peut compter sur eux pour aider à mieux maîtriser la pollution dans les mers et océans, en prévoyant son déplacement.

### English

Nowadays, the anthropic pollution is expanding. Lots of litter end in oceans, seas and have terrible consequences over marine life. Litter can be solid, liquid, biological, more or less dense... However, all of it follow water currents, if their density is not too high. So here, we study currents which are the most stable in time in order to forecast litter's movement in oceans. Upon these currents, there is the thermohaline circulation. It exists because of density differences between the equator and poles. Therefore, salinity and temperature are the most decisive variables. This circulation is controlling most of deep currents and is also making top water layers move. Then, there are ocean gyres. These are giant whirls taking places all over each ocean. They exist thanks to wind movements and the Coriolis effect.

Here, we study plastic movements acting on the upper water layer, on coasts, and among oceans. Near a coast, the movement will be defined under wind direction. In an ocean, it will mostly converge to a gyre's center. Finally, oceanography is still a new field of science and currents are still poorly known. However, we can use their help to understand and forecast currents to eventually overcome marine pollution.