

**Ecole Jeannine Manuel  
Terminale Spécialité Physique  
Pour : Our Blue Project**

**Dérèglement Climatique :**

**Le rôle de la Banquise dans la mise en place et le maintien du Gulf Stream**

Solal Adamowicz  
Toma Benarfa-Moyne  
Naji Hamidi  
Yevgeny Kogan

Professeur : M. Bjorn Zajac

1 Décembre 2019

**Résumé**

La circulation thermohaline est une composante incontournable de la régulation du climat à l'échelle globale. Ces dernières années, pourtant, de plus en plus d'articles viennent alerter sur un affaiblissement du Gulf Stream, dont les conséquences pourraient être désastreuses. Nous avons mené nos propres expériences, de manière indépendante, afin de déterminer le rôle de la banquise dans le phénomène du Gulf Stream, et donc montrer le lien entre le réchauffement climatique et l'affaiblissement du Gulf Stream. Nos conclusions viennent corroborer les études déjà existantes sur le sujet : la banquise est une composante essentielle du Gulf Stream, dont la disparition enclencherait une boucle rétro positive incontrôlable, menant à un arrêt du Gulf Stream. Les conséquences de cela sont elles-mêmes difficiles à prévoir, le climat étant un système complexe, mais certains considèrent que la fin du Gulf Stream sonnerait le retour de l'ère glaciaire.

## Table des Matières

<b>1 Contexte et Objectif .....</b>	<b>2</b>
<b>2 Définitions .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Le Gulf Stream .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Les Courants Marins .....</b>	<b>3</b>
<b>3 Données Expérimentales.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 La Concentration en Sel .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1.1 Méthode .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1.2 Résultats.....</b>	<b>4</b>
<b>3.2 La Température de l'Eau .....</b>	<b>5</b>
<b>3.2.1 Méthode .....</b>	<b>5</b>
<b>3.2.2 Résultats.....</b>	<b>6</b>
<b>4 Discussion.....</b>	<b>7</b>
<b>5 Conclusion.....</b>	<b>7</b>

## 1 Contexte et Objectif

Face aux rapports des plus alarmants du Groupement d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), il est nécessaire de s'interroger sur les événements actuels. En effet, il est annoncé que le dérèglement climatique pourrait sonner la fin de l'espèce humaine. L'un des aspects de ce dérèglement climatique est la fonte de la banquise au niveau des pôles. En plus d'abriter une faune et une flore très spécifique, cette banquise à un rôle important dans la régulation des températures sur la planète, et donc sur le climat global. Ainsi, une destruction de la banquise par le dérèglement climatique risquerait d'enclencher une boucle de rétroaction positive qui échapperait totalement au contrôle humain.

Nous avons donc choisi de nous intéresser à l'un des aspects de la régulation du climat : le Gulf Stream. Plus particulièrement l'impact du dérèglement climatique, à travers la fonte de la banquise, sur les courants marins, et donc sur le Gulf Stream. Nous sommes 4 élèves de Terminale ayant choisis la spécialité physique à l'école Jeannine Manuel et nous avons décidé, pour étudier ce sujet, de mener nos propres expériences afin de répondre à la question suivante : *Quel rôle joue la formation de la banquise dans la mise en place et le maintien du Gulf Stream ?*

## 2 Définitions

### 2.1 Le Gulf Stream

Ce que l'on appelle le Gulf Stream est un ensemble de courants marins présents partout sur le globe. C'est par ce phénomène que se déplacent les eaux chauffées de l'équateur vers les pôles et les eaux refroidies des pôles vers l'équateur. Le Gulf Stream est une composante essentielle de notre climat. En effet, il permet aux températures en Europe d'être jusqu'à 10°C au-dessus des températures attendues à ces latitudes, offrant un climat propice à l'agriculture de nombreuses céréales utiles à la vie humaine.

Dans cet article, nous nous interrogerons plus particulièrement sur une partie de ce phénomène : la dérive Nord Atlantique, qui amène continuellement des milliers de m<sup>3</sup> d'eau chaude vers les côtes européennes depuis le Golfe du Mexique et l'équateur, en traversant l'Océan Atlantique.

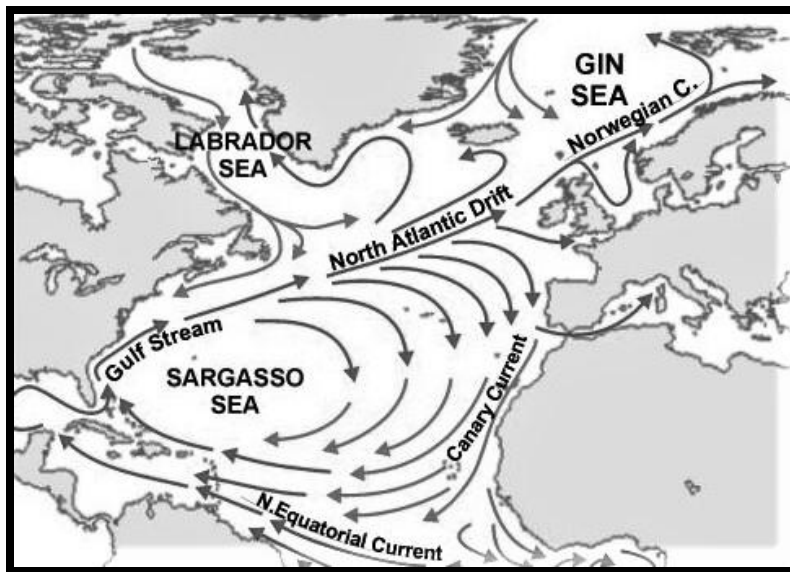


Illustration de la Dérive Nord Atlantique du Gulf Stream<sup>1</sup>

### 2.2 Les Courants Marins

Les courants marins surviennent à la suite de différences de densité entre deux masses d'eau. Cette densité de l'eau de mer dépend de deux choses : sa **température** et sa **concentration en sel** (d'où le nom de circulation **thermohaline**). Ces deux variables sont affectées en grande partie par un apport de chaleur, qui se fait sur terre au niveau de l'équateur, qui est plus proche du soleil. Lorsque l'eau est chauffée, sa température augmente, mais également sa concentration en sel, à cause de l'évaporation d'une partie de l'eau.

Ensuite, avec l'aide du vent et la rotation de la Terre (responsable de l'effet Coriolis), les masses d'eau se déplacent, l'eau plus chaude remontant vers les pôles, créant de larges courants marins.

Dans le cas de la dérive Nord Atlantique, l'eau chauffée au niveau de l'équateur est poussée par un vent fort vers l'ouest, et remonte la côte est des Etats Unis. Une fois arrivée proche du Pôle Nord, l'eau devient plus dense, et sombre donc plus profond dans l'océan et retourne vers l'équateur.

---

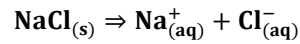
<sup>1</sup> [https://courses.seas.harvard.edu/climate/eli/Courses/misc/201209-Mallorca/Sources/2-THC/from-EPS131/2-RAPID/gulf\\_stream.php\\_files/currents\\_north\\_atlantic.jpg](https://courses.seas.harvard.edu/climate/eli/Courses/misc/201209-Mallorca/Sources/2-THC/from-EPS131/2-RAPID/gulf_stream.php_files/currents_north_atlantic.jpg)

### 3 Données Expérimentales

#### 3.1 La Concentration en Sel

##### 3.1.1 Méthode

Nous savons que, lors de sa dissolution (donc dans l'eau de mer), le sel est présent sous la forme d'ions  $Na^+$  et  $Cl^-$  :



En utilisant l'équation suivante sur la conductivité, nous pouvons faire le lien entre conductivité et concentration.

$$\sigma = \sum_i \lambda_i c_i = \lambda_{Na^+} [Na^+] + \lambda_{Cl^-} [Cl^-]$$

La conductivité varie selon la conductivité et la concentration de chaque ion. Les ions étant toujours les mêmes dans notre cas, la conductivité ne change pas, et c'est donc la **concentration** de ces ions qui fait varier la **conductivité** de la solution.

**La présence d'ions augmentant la conductivité de la solution, nous avons pu déterminer la concentration en sel en mesurant la conductivité de l'eau de chaque échantillon.**

Une bouteille d'eau contenant de l'eau de mer a été gelée, imitant la formation de la banquise. Nous avons coupé cette bouteille en 4 tranches horizontales, pour étudier de la glace s'étant formée à différentes profondeurs, et voir ainsi la manière dont la **profondeur** influait sur la **concentration en sel de la glace** (ici mesurée par rapport à la **conductivité**). Nous avons fait fondre ces tranches et en avons mesuré la conductivité (avec un conductimètre électronique).

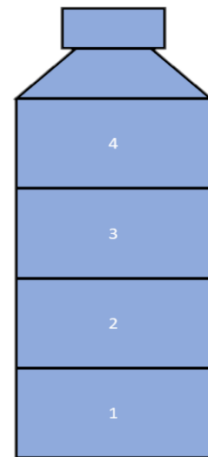


Illustration de la découpe de la bouteille de glace

##### 3.1.2 Résultats

Tranche	Conductivité ( $\mu S/cm$ )
1	10150
2	8330
3	5400
4	5100

**La tranche 1 est celle se trouvant le plus profond dans notre expérience.**



Nos résultats nous montrent que l'eau **plus profonde** a une **conductivité plus élevée**. Nous pouvons donc en déduire que l'eau la **plus profonde** a une **concentration en sel plus élevée**. Cela est cohérent, car l'eau moins salée est moins dense et se retrouve donc au-dessus de l'eau plus dense (car plus salée). La partie la **plus basse** de la banquise est donc la **plus concentrée en sel**, et la surface la moins concentrée en sel.

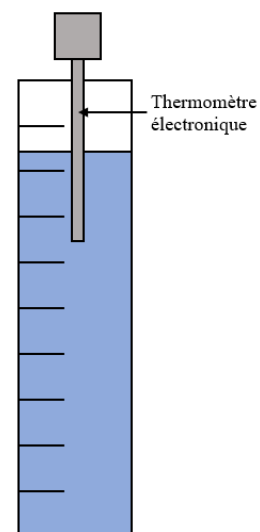
### 3.2 La Température de l'Eau

#### 3.2.1 Méthode

A température ambiante, la **masse volumique** de l'eau est d'environ **1 g/mL**.

$$\rho_{eau} = \frac{m_{eau}}{V_{eau}}$$

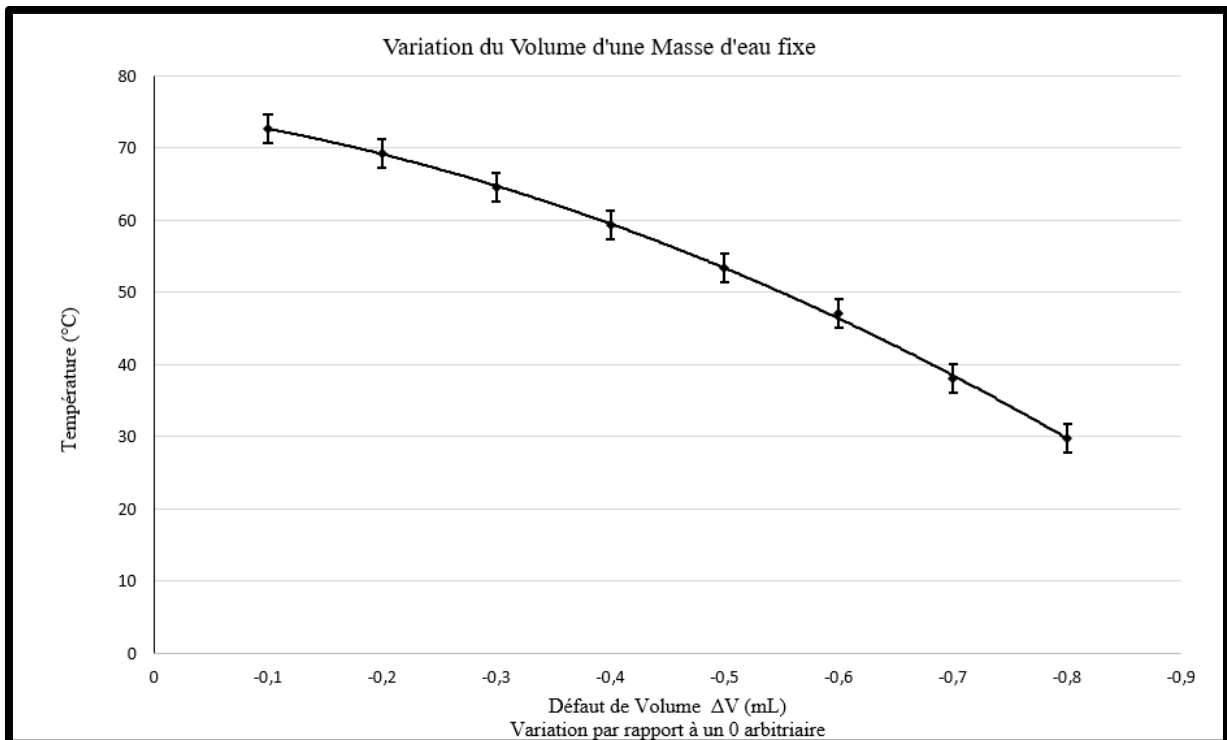
Dans cette expérience, nous avons voulu étudier l'effet de la **température** sur la **masse volumique** de l'eau. Pour cela nous avons mesuré les variations de volume d'une masse d'eau constante, lors d'une baisse de température. Nous avons chauffé la masse d'eau aux environs de 80°C, puis, au fur et à mesure que baissait sa température, nous avons mesuré la variation de son volume par rapport au volume initial, en négligeant l'évaporation.



### 3.2.2 Résultats

Défaut de Volume $\Delta V$ (mL)	Température (°C)
-0,1	72,7
-0,2	69,2
-0,3	64,6
-0,4	59,3
-0,5	53,3
-0,6	47,0
-0,7	38,0
-0,8	29,8

Dans nos résultats, nous pouvons observer que le **volume d'eau baisse** lorsque la **température diminue**, bien que la masse reste constante. Ainsi, on en conclut que la masse volumique de l'eau diminue lorsque augmente la température, et donc que sa **densité baisse** également lorsque **l'eau est chauffée** (et réciproquement **augmente** lorsque **l'eau est plus froide**).



## 4 Discussion

Grâce à nos résultats, nous pouvons expliquer le lien entre la formation de la banquise et l'entretien du Gulf Stream. Par nos expériences, nous avons pu observer la composition de la banquise, qui est plus salée en sa partie la plus profonde qu'à sa surface, et les effets de la température sur la densité de l'eau. Cela nous permet de pouvoir expliquer la circulation thermohaline.

Lors de l'arrivée de courants chauds depuis l'équateur vers la banquise, le bas de celle-ci fond au contact avec l'eau chaude. Comme nous l'avons vu dans notre expérience, cette partie de la banquise est celle avec la teneur en sel la plus élevée ; ainsi, l'eau chaude du Gulf Stream devient même plus salée en se mélangeant à l'eau fondue de la banquise, et donc plus dense. En même temps, l'eau refroidi en réchauffant l'atmosphère et en faisant fondre la banquise ; cette baisse de température signifie donc aussi une eau plus dense.

Ainsi, en passant sous la banquise, l'eau du Gulf Stream devient plus dense, au point de sombrer sous l'eau moins dense, dans ce que l'on appelle des cheminées, jusqu'au fond de l'océan, où elles se dirige ensuite vers l'équateur, continuant le cycle du Gulf Stream.

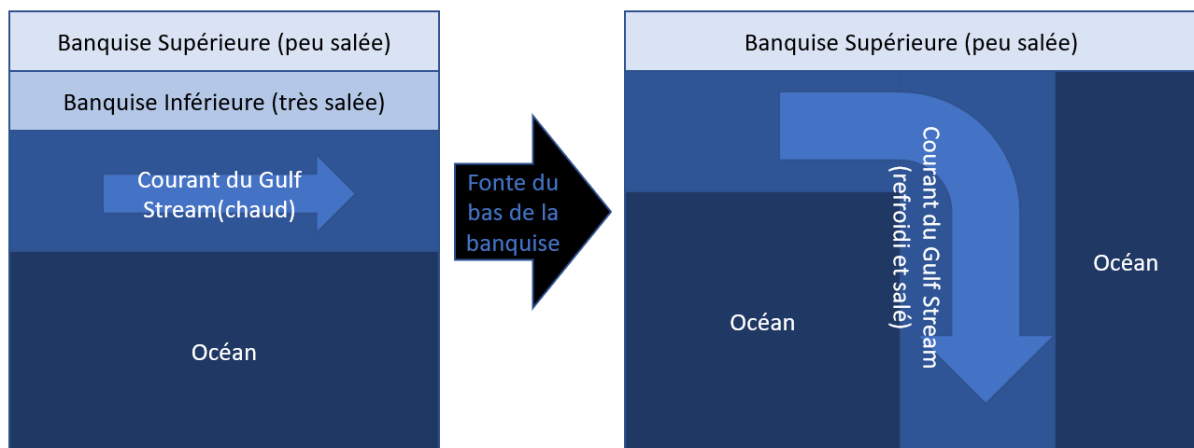


Schéma bilan du rôle de la banquise dans le phénomène du Gulf Stream

## 5 Conclusion

A travers ces expériences, nous avons donc pu observer l'influence directe de la banquise sur le cycle du Gulf Stream, qu'est la circulation thermohaline. En effet, la banquise permet la création des 'cheminées' du Gulf Stream, qui redirigent l'eau froide vers l'équateur, essentielles à son fonctionnement. Ainsi, sans banquise, l'eau remontant depuis l'équateur ne deviendrait pas plus dense, et ne retournerait pas vers l'équateur, cessant le cycle du Gulf Stream. Ce phénomène est la raison probable de la dernière ère glaciaire, qui s'est terminée il y a environ 10000 ans.

Dans la zone de l'Atlantique Nord, on a pu déterminer que le nombre de cheminées (moteurs du Gulf Stream) était passé d'une douzaine à seulement deux, au débit très faible<sup>2</sup>. De plus, des observations satellites ont constaté un ralentissement des courants du Gulf Stream remontant vers les pôles<sup>3</sup>.

Ainsi, l'hypothèse d'une fonte totale des banquises risquerait de mettre à mal le Gulf Stream, refroidissant le climat européen. Aujourd'hui, ce climat permet une agriculture exceptionnelle à ces latitudes ; s'il venait à changer, c'est toute la population européenne qui pourrait manquer de nourriture. Ce sont donc plus de 700 millions de personnes qui seraient touchées si le Gulf Stream disparaissait, en faisant autant de réfugiés climatiques.

<sup>2</sup> Expédition faite par Peter Wadhams, professeur en océanologie à Cambridge, au début des années 2000 (« Britain faces big chill as ocean current slows », The Sunday Times, 8 Mai 2005)

<sup>3</sup> « Satellites record weakening North Atlantic Current », NASA, 15 Avril 2004.