

Circulation au-dessus du Seuil de Sicile séparation d'un courant côtier et ondes de Kelvin

Julien Fornasari, Amandine Poli
encadrés par Laurent Mortier

Présentation

Le Seuil de Sicile est un passage clé dans la circulation des masses d'eau en Méditerranée. En effet, le bassin Ouest et le bassin Est de la Méditerranée sont connectés par le Canal de Sicile entre l'extrémité Ouest de la Sicile et le Cap Bon en Tunisie, avec des profondeurs de l'ordre de 400 m constituant un seuil séparant les deux bassins. La circulation dans ce seuil peut être décrite comme un échange à deux couches d'Eau Atlantique (AW) et l'Eau Est-Méditerranéenne Sortante (EOW).

Couche supérieure - L'AW arrive de l'Atlantique par l'Ouest, et se sépare en deux branches à l'entrée du Seuil de Sicile : la première suivant la mer Tyrrhénienne et la seconde entrant dans le Seuil de Sicile.

Couche inférieure - L'EOW est principalement composée d'Eau Levantine Intermédiaire (LIW), qui vient de l'Est et traverse le Seuil. Cette eau est formée en hiver par plongée d'eau froide salée (originellement de l'AW).

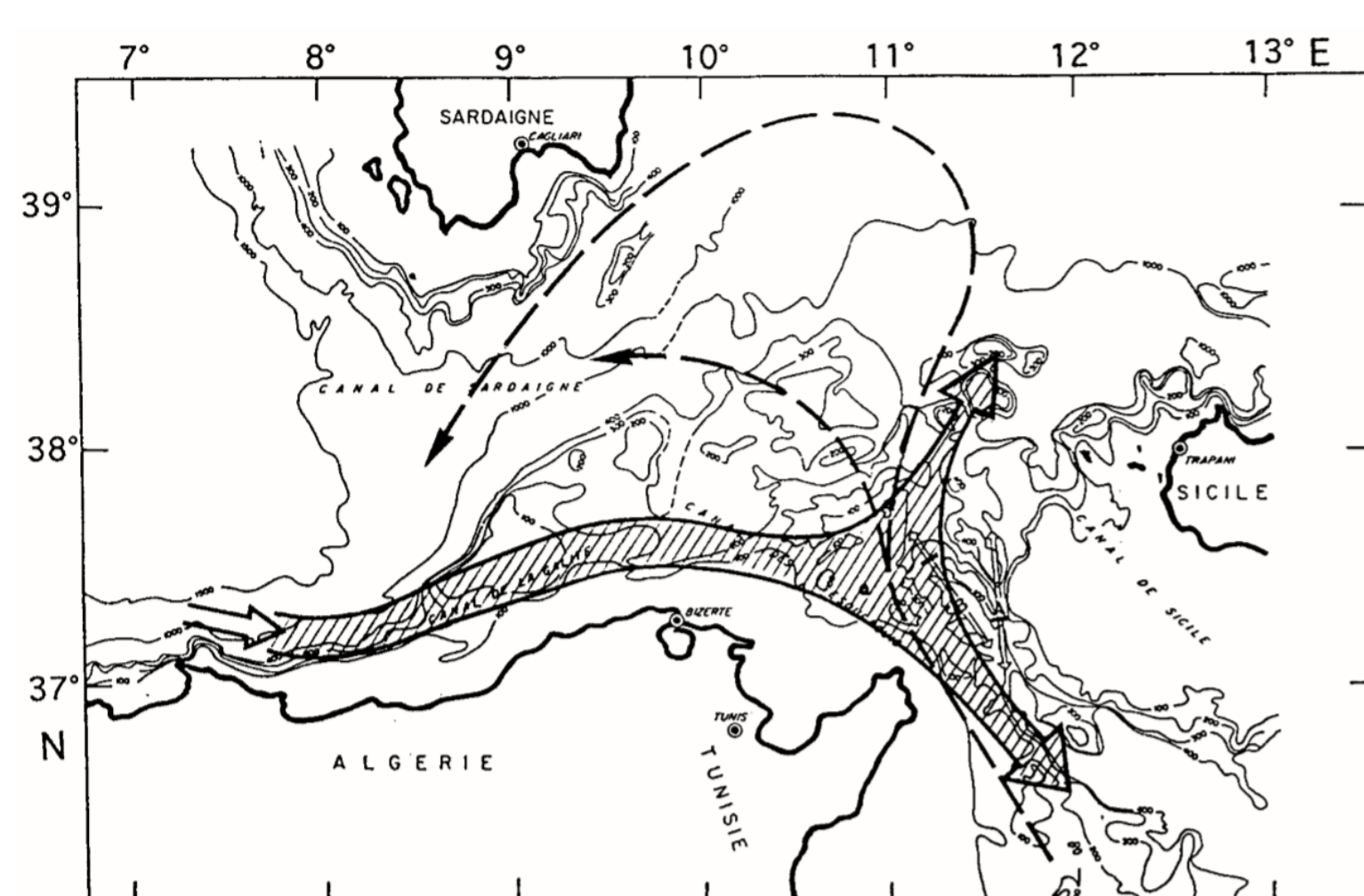


Figure 1 - Seuil de Sicile et masses d'eau principales. En hachuré l'AW, en pointillés la LIW

L'objectif de cette modélisation est de comprendre l'influence de la topographie spécifique au Seuil de Sicile sur la circulation des courants, et notamment la séparation de l'AW au niveau du seuil.

Théorie

Le problème est régi par les équations "shallow-water" :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (1a)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} \quad (1b)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial u(\eta + H)}{\partial x} + \frac{\partial v(\eta + H)}{\partial y} = 0 \quad (1c)$$

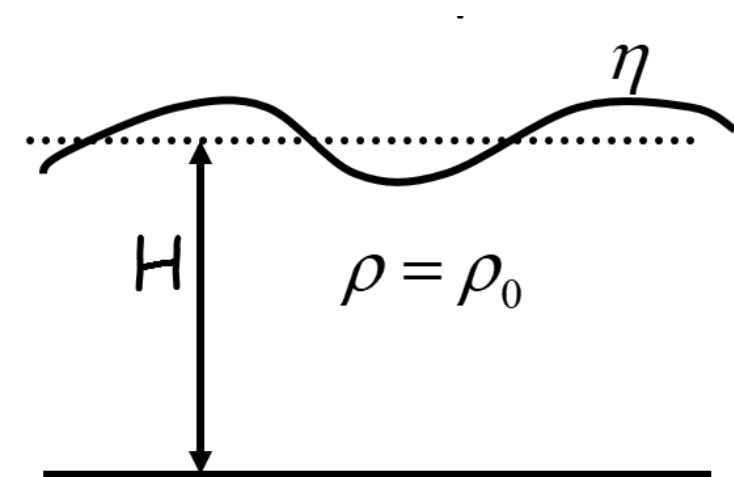


Figure 3 - Paramètres des équations

Le courant arrivant de l'Ouest est une onde de Kelvin : une onde de gravité longeant une côte, de décroissance exponentielle jusqu'au rayon de déformation de Rossby.

Rayon de déformation Rossby. L'onde de Kelvin s'atténue sur une longueur égale au rayon de Rossby, $R = \sqrt{\frac{g'H}{f}} = 15 \text{ km}$. On retrouve graphiquement une valeur de l'ordre de la dizaine de km.

Conclusion

La topographie spécifique du Seuil de Sicile impose une circulation particulière. Le courant arrivant de l'Ouest se divise en deux au niveau du seuil : une onde de Rossby topographique longe le seuil, et une onde de Kelvin plus rapide et de débit plus faible s'engouffre dans le seuil en laissant la côte sur sa droite.

Limites : afin de mieux modéliser la réalité physique du problème, un modèle à deux couches serait plus pertinent, en particulier pour comprendre le trajet de la LIW en profondeur sous l'AW.

Bassin modèle

Le modèle représente un bassin fermé rectangulaire codé en Fortran. Le bassin Ouest (resp. Est) est un rectangle de profondeur 2000 m (resp. 1000 m). Ces deux bassins sont séparés par le Canal de Sicile (prof. 400 m) et deux "caps" représentant la Sicile et la Tunisie. séparé en deux par un seuil entre deux morceaux de terre (la Sicile et la Tunisie). Est simulée l'arrivée d'un courant du Sud-Ouest (représentant l'AW) et d'un courant de Nord-Est (la LIW) grâce à des bassins deversant de l'eau à débit constant.

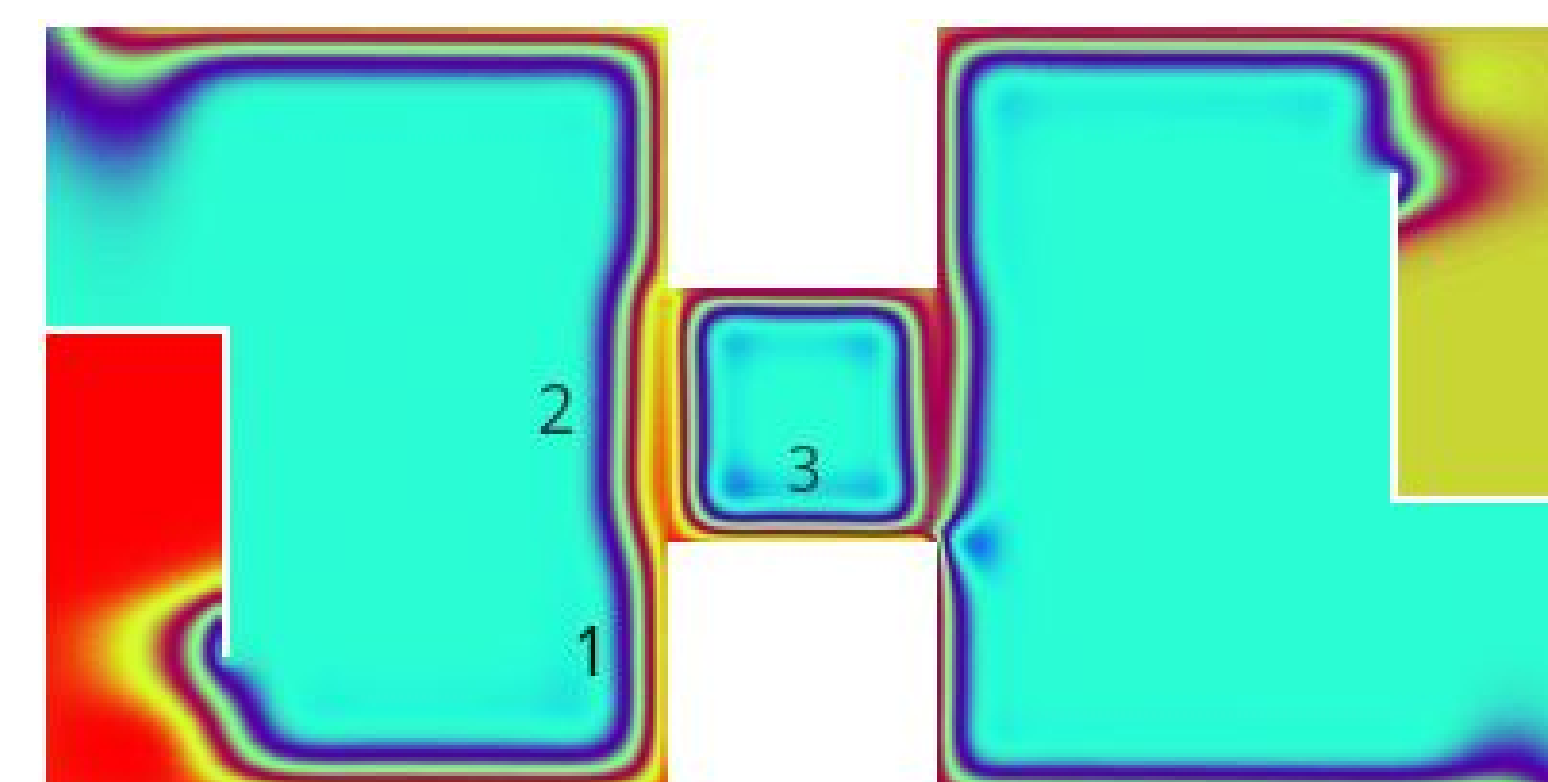


Figure 2 - Bassin modèle (configuration stationnaire)

La configuration est très contrainte car il n'y a dans le modèle qu'une seule couche active, alors que dans la circulation réelle, il y a deux couches, l'une allant vers l'Est au-dessus (l'AW) et l'une allant vers l'Ouest en-dessous (la LIW).

Arrivée du courant au niveau du seuil

La solution stationnaire (Figure 2) se met en place de la façon suivante : en arrivant au niveau du seuil, l'onde de Kelvin (1) se sépare en deux,

- une onde de Rossby topographique (2) (ou onde double de Kelvin) guidée par la "marche" entre le bassin Ouest et le Canal de Sicile - qui idéalise le Seuil coté Ouest - et qui rejoint la mer Tyrrhénienne
- une onde de Kelvin (3) qui entre dans le seuil et longe la côte

Il y a une quasi-symétrie entre le seuil Ouest et le seuil Est. La théorie permet d'expliquer la structure transversale des courants et leur débit.

Mesures des vitesses et débits

Ondes de Kelvin arrivant de l'Ouest (1)

Débit : $d = \frac{g'}{f}(Hh_0 + \frac{1}{2}h_0^2) = 3,76 \text{ Sv}$ avec h_0 la hauteur d'eau (à la surface libre) et H la profondeur au repos.

Ondes de Rossby topographiques (2)

Débit : $d = \frac{g'}{f}h_0(H_+ - H_-) = 2,93 \text{ Sv}$ avec H_+ la profondeur à l'Ouest et H_- la profondeur à l'Est (Figure 4).

L'onde est atténuée sur la distance $\frac{1}{\lambda_+}$ à l'Ouest et $\frac{1}{\lambda_-}$ à l'Est.

$\frac{\omega}{k} = \frac{\Delta H}{2H} \frac{f}{\sqrt{k^2 + 1/R^2}}$ avec $\lambda_{\pm}^2 = k^2 + 1/R_{\pm}^2$ permet d'obtenir, après mesure de λ_{\pm} , la vitesse de phase de l'onde. Théoriquement $c_{\phi th} = 0,40 \text{ m.s}^{-1}$ et graphiquement $c_{\phi} = 0,37 \text{ m.s}^{-1}$.

Ondes de Kelvin longeant la côte (3)

Vitesse : valeur mesurée $v = 0,68 \text{ m.s}^{-1}$, la valeur théorique étant $v_{th} = \sqrt{g'H} = 0,63 \text{ m.s}^{-1}$ avec H la profondeur du seuil et g' la gravité réduite (Figure 5).

Débit : $d = \frac{g'}{f}(Hh_0 + \frac{1}{2}h_0^2) = 0,81 \text{ Sv}$. Il y a bien conservation du débit.

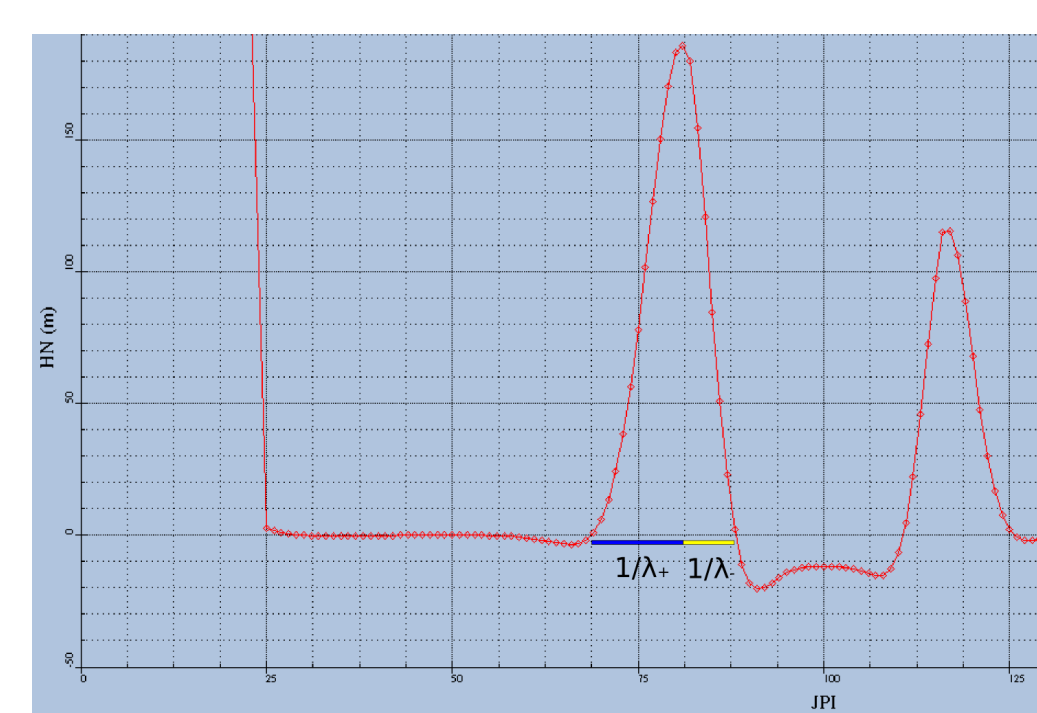


Figure 4 - Hauteur d'eau au-dessus du seuil en fonction de x

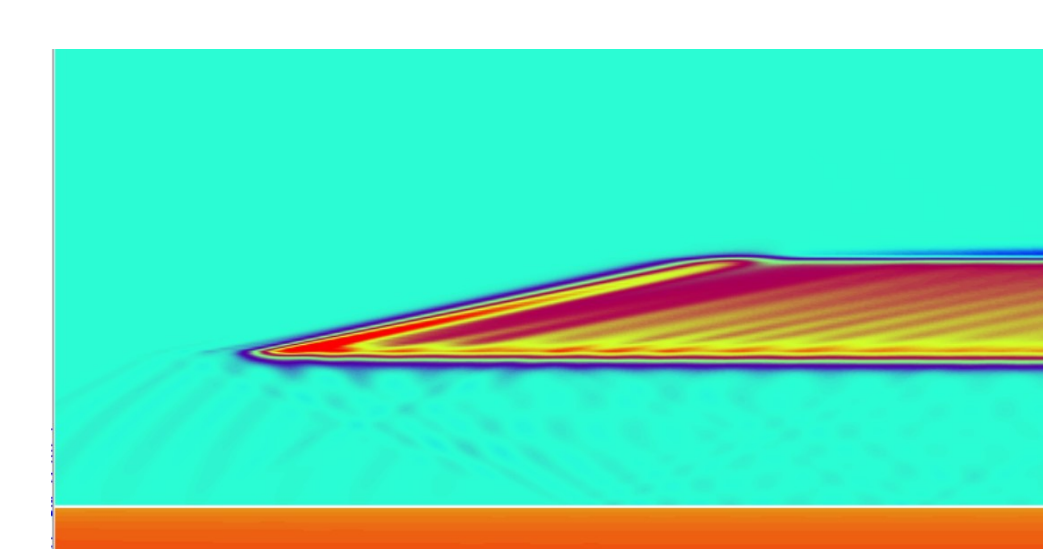


Figure 5 - Profondeur le long de la Tunisie en fonction du temps. La pente correspond à la vitesse de l'onde