

TP DE MODÉLISATION OCÉANIQUE

SIMULATION OCÉANIQUE AU BENGUELA AVEC LE CODE DE CALCULS ROMS

novembre 2020

Auteur : DUPONT Ronan

Enseignant : M. Ourmieres

Table des matières

1	Introduction	2
2	Résolution numérique	2
2.1	Prise en main du code de calcul ROMS	2
2.2	Prise en main de Ferret	4
3	Simulation sur 1 an avec une résolution 1/3	7
3.1	Analyse des variations saisonnières	7
3.2	Analyse de la dynamique particulière de la région	9
3.2.1	Upwelling	9
3.3	Autres phénomènes :	10
4	Simulation sur 1 an avec une résolution 1/9	10
4.1	Comparaison et analyse de la dynamique particulière de la région à échelle 1/3 et 1/9	11
4.1.1	Upwelling	11
4.1.2	Courant en surface	13
4.1.3	Salinité	15
5	Conclusion	17

1 Introduction

Depuis le XX^{ème} siècle, à l'apparition des premières puissances de calculs, l'homme cherche à modéliser le monde qui l'entour. L'intérêt premier d'une telle modélisation est dans un premier temps de comprendre le monde qui nous entoure. Ensuite, l'enjeu de ces modélisations peut être majeur car elles peuvent permettre de prévoir des événements futur comme par exemple la météo. Dans notre cas, nous nous intéresserons à la modélisation océanique. Cette modélisation a un fort intérêt au niveau du domaine maritime. Durant le TP, nous prendrons l'exemple des côtes du Benguella : une ville d'Angola sur la côte ouest de l'Afrique. Cette zone est connue en océanographie car c'est une zone d'upwelling. Pour se faire, nous utiliserons un des code de calculs majeur de la modélisation océanique : ROMS. Ce logiciel résout, à l'aides de modèles numériques poussés, les équations primitives qui régissent la dynamique océanique. Nous essayerons de faire varier différents paramètres numériques afin d'observer les limites d'une telle modélisation.

2 Résolution numérique

Le code de calculs ROMS se base sur des modèles numériques explicites afin de résoudre les équations primitives atmosphériques. Ce sont des équations simplifiées des équations de Navier-Stokes.

L'inconvénient du modèle explicite est qu'il y a une condition CFL empêchant d'utiliser un pas de temps trop grand : plus la grille sera discrétisée, plus le pas de temps devra être petit. Les simulations peuvent donc être très longues.

Une fois les résolutions terminées, le programme renvoie des matrices (bi/tri)dimensionnelles renvoyant des valeurs en chaque points de la grille concernant des variables comme :

- La température de l'eau
- La salinité de l'eau
- La vitesse du courant avec les composantes U,V
- La surface libre
- ...

2.1 Prise en main du code de calcul ROMS

Afin d'effectuer une simulation, nous avons besoin de plusieurs données :

- La résolution (sous forme de fraction) de la grille de notre simulation.
- La taille de notre grille.
- Les données de forçages (géographique, océanographique, atmosphérique) pour poser nos conditions de bords.

Nous utiliserons donc les données de forçage déjà implémentés dans le programme : elles correspondent à des moyennes sur plusieurs années au niveau de notre zone de simulation.

Première compilation :

Pour effectuer notre première compilation, nous effectuons les étapes suivantes de manière successives :

- On choisit nos paramètres géographiques dans le fichier `roms.ini`.
- On choisit notre résolution de discrétisation dans le fichier `romstools_param.m` avec la ligne `dl = 1/9`.
- On lance sous matlab les fichiers `start.m` suivi de `make_grid` qui créera la grille et renverra sa taille.
- On choisira la taille de la grille dans le fichier `param.h` en fonction des valeurs données dans le `make_grid`.

- On effectuera les forçages avec les fichiers `make_forcing` et `make_clim`
- On compilera tout roms avec la commande : `./jobcomp`
- On compilera notre configuration avec `./roms roms.in`

Une fois la compilation faite, nous irons chercher nos résultats dans le dossier `ROMS_FILES` où nous traiterons les données du fichier `roms_avg.nc` avec le logiciel Ferret. Ce fichier regroupe les moyennes de chaque paramètres sur la simulation avec un temps moyen que nous avons paramétrés dans le fichier `roms.in`.

On remarquera qu'à l'étape des forçages sur matlab, celui-ci nous renvoie de nombreuses données qu'on a pu énumérer au début de la partie 2 . On peut prendre par exemple la figure renvoyé par matlab représentant la vitesse du vent que nous pouvons voir ci-dessous figure 1 :

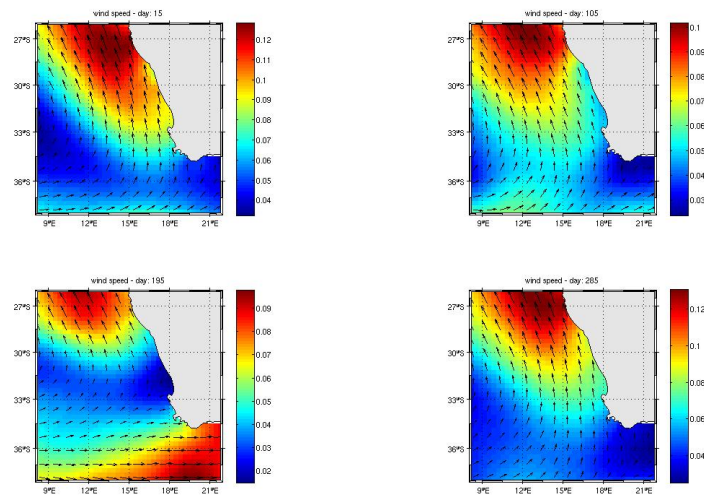


FIGURE 1 – Vitesse du vent à différentes dates données

En effectuant les forçages, on obtient un grand nombre de figures matlab. On peut ainsi par exemple observer la température de l'eau en fonction de la bathymétrie figure 2 :

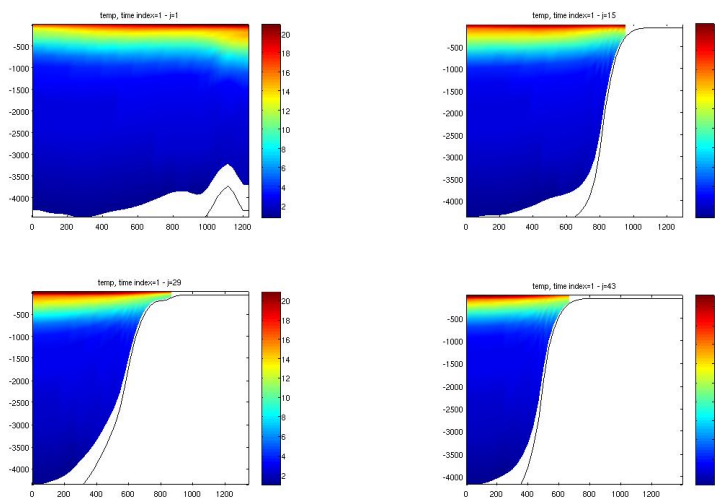


FIGURE 2 – Température de l'eau en fonction de la bathymétrie à différentes dates données

2.2 Prise en main de Ferret

Ferret Noaa est un logiciel de visualisation de données spécialisé dans les données d'océanographie et de météorologie.

Nous avons effectué une première simulation avec roms et nous allons essayer quelques plot pour prendre en main le logiciel.

On a dans un premier temps essayé des plots classiques comme la température sur une simulation d'un jour en 2D avec la commande : `SHADE /k=20/l=1 TEMP`, on obtiendra la figure 3 :

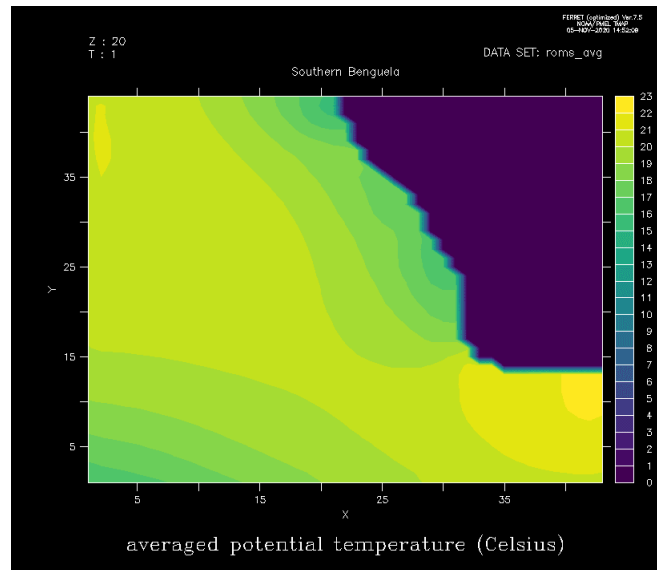


FIGURE 3 – Température au Benguela le 1er janvier

On remarque que l'échelle de température est mauvaise à cause de la température de la terre à degrés qui empêche de marquer les écarts de température. On pourra donc retirer la terre avec la commande `SET var/bad=0 TEMP`, on obtiendra la figure 4 :

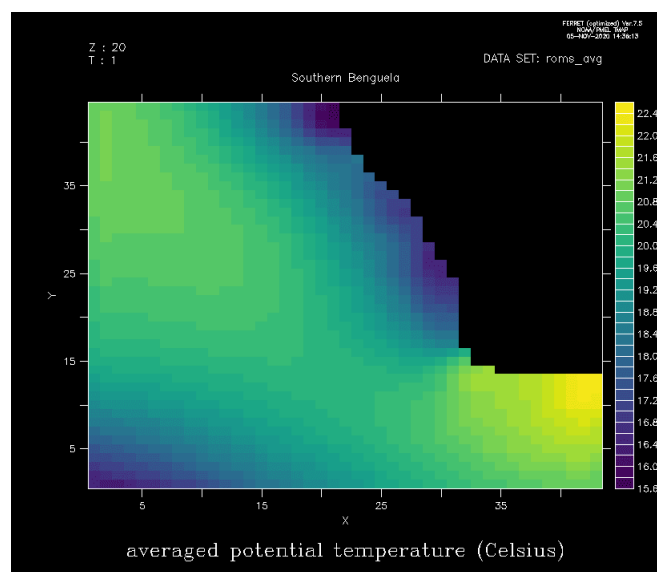


FIGURE 4 – Température au Benguela le 1er janvier

On peut lisser le tracé avec la fonction `FILL`, on tracera donc de manière lissée avec la commande `FILL /k=20/l=1 TEMP`, on obtiendra la figure 5 :

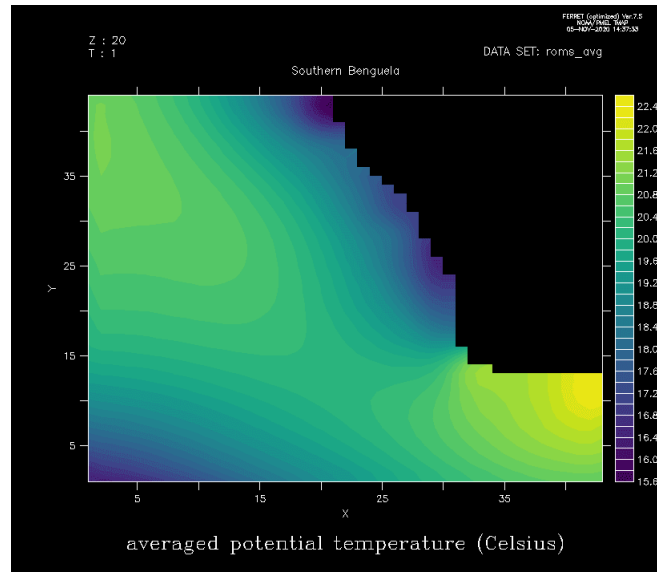


FIGURE 5 – Température au Benguela le 1er janvier

Afin de mieux voir les extrêmes de températures, on peut utiliser une palette de couleur : `no_green_centered`. On tracera donc avec la commande : `FILL /k=20/l=1/pal=no_green_centered TEMP`, on obtiendra la figure 6 :

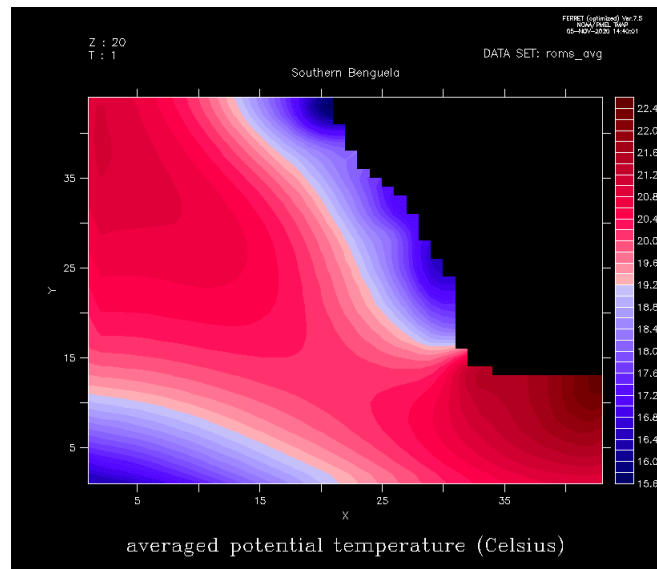


FIGURE 6 – Température au Benguela le 1er janvier

Cette palette de couleur nous permet bien de voir directement où sont les maximums et minimums de températures. Ici on voit bien sur la figure 6 que la température maximale se situe sur la cap au sud de la côte ; le minimum lui se situe plus le long de la côte est au niveau de l'upwelling.

Enfin, nous pouvons faire des choses plus poussées comme par exemple le tracé des courants figure 7 :

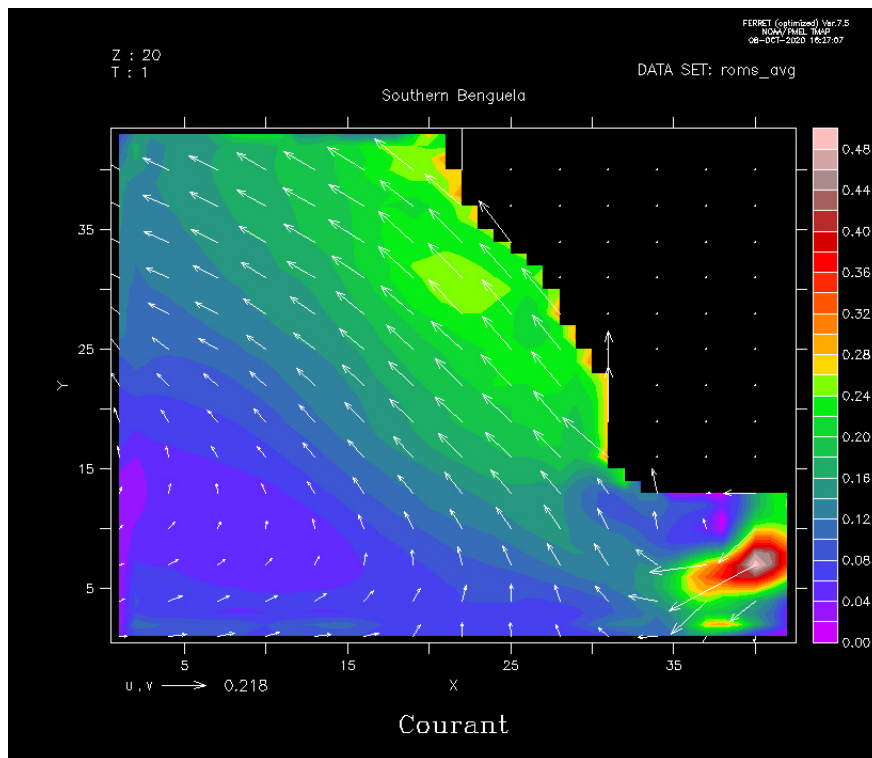


FIGURE 7 – Courants du Benguela début janvier

Ici nous avons nommé une nouvelle variable $\text{norme} = \sqrt{U^2 + V^2}$ avec la commande `let norme = sqrt(U^2 + V^2)`, nous avons tracés cette norme avec la commande `FILL /k=20/l=1 norme` (on prendra $k=20$ qui correspond à la surface) puis on a superposé les vecteurs avec les composantes U, V avec la commande `VECTOR /ov/xskip=3/yskip=3 U,V` :

On remarque sur cette figure les zones à fort courant en rouge. De plus, le champ des vecteur est cohérent : la norme du vecteur la plus grande se trouve bien en zone rouge/rose. On remarque que le courant va principalement du sud vers le nord.

3 Simulation sur 1 an avec une résolution 1/3

Pour notre simulation de 1 an, il faudra que l'on change les paramètres de simulation numérique. On choisira de faire une sortie toutes les 24h et simuler sur 365 jours. Pour se faire, nous allons dans le fichier `roms.in` et nous écrivons la configuration suivante :

```

title:
    Southern Benguela
time_stepping: NTIMES    dt[sec]    NDTFAST    NINFO
                8760         3600         60         1
S-coord: THETA_S,    THETA_B,    Hc (m)
           6.0d0      0.0d0      10.0d0
grid: filename
forcing: filename          ROMS_FILES/roms_grd.nc
bulk_forcing: filename    ROMS_FILES/roms_frc.nc
climatology: filename     ROMS_FILES/roms_blk.nc
boundary: filename        ROMS_FILES/roms_clm.nc
initial: NRREC filename
           1              ROMS_FILES/roms_ini.nc
restart:      NRST, NRPFRST / filename
              1440    -1
              ROMS_FILES/roms_rstr.nc
history: LDEFHIS, NWRT, NRPFHIS / filename
           T      10000    0
           ROMS_FILES/roms_his.nc
averages: NTS AVG, NAVG, NRPFAVG / filename
           1      24      0
           ROMS_FILES/roms_avg.nc

```

On choisira un pas de temps $\Delta T = 3600s$ d'où le `dt[sec]=3600` : on fera attention de pas en prendre un trop grand afin de respecter la condition CFL. Et nous sortirons une moyenne tous les $24\Delta T$ d'où le `NAVG=24`. La simulation étant de 1 an, il y a donc le nombre de secondes sur 1 an divisé par ΔT itérations soit $\frac{60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365}{3600} = 365 \cdot 24 = 8760$ d'où le `NNTIMES=8760`.

3.1 Analyse des variations saisonnières

Dans un premier temps, nous traçons la température en chaque saisons de la manière suivante :

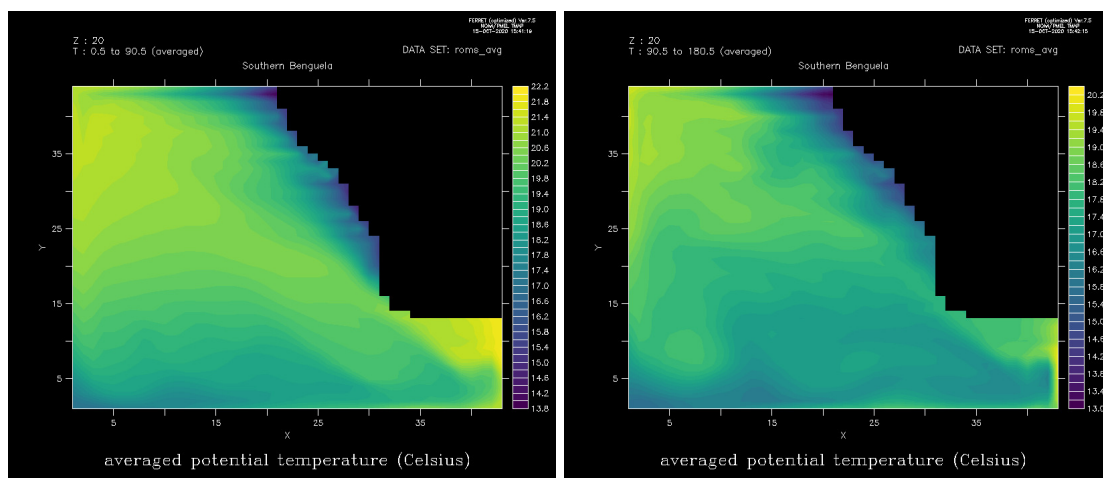


FIGURE 8 – Températures printemps, été avec une résolution de 1/3

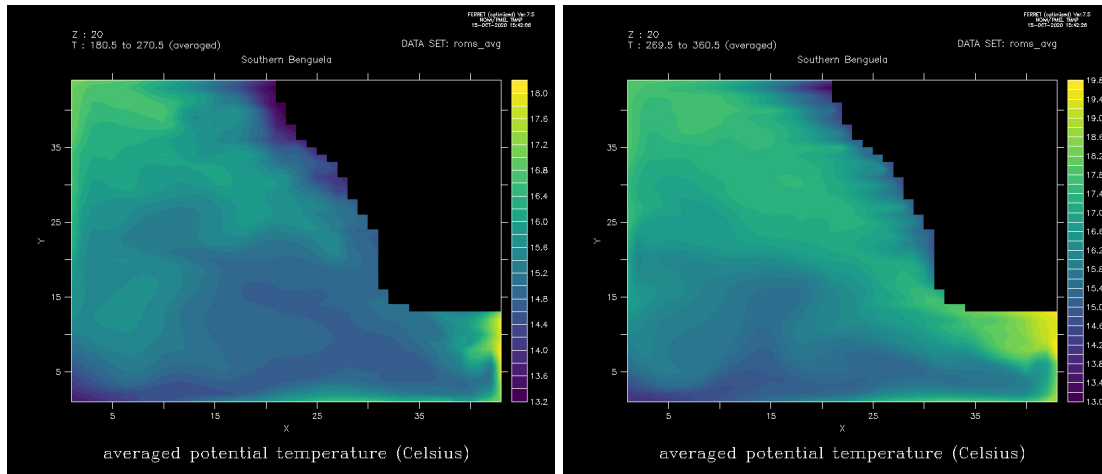


FIGURE 9 – Températures automne, hivers avec une résolution de 1/3

On observe qu'entre le printemps figure 8 (gauche) et l'automne figure 9 (gauche), la température n'est pas du tout la même. En effet, au printemps les maximales sont à 22.2 degrés tandis qu'en automne 16. Ceci pourrait paraître anormal mais le Benguela étant dans l'hémisphère sud, il est nécessaire de prendre en compte l'inversion des saisons.

Nous avons vérifié le tracé des saisons avec une sortie tous les jours et avec une sortie tous les 3 mois et nous avons obtenu exactement les mêmes courbes.

Nous avons ensuite décidé de tracer figure 10 l'évolution de la température sur l'ensemble de la zone avec la commande suivante : `plot /k=20 TEMP[i=@ave,j=@ave]`

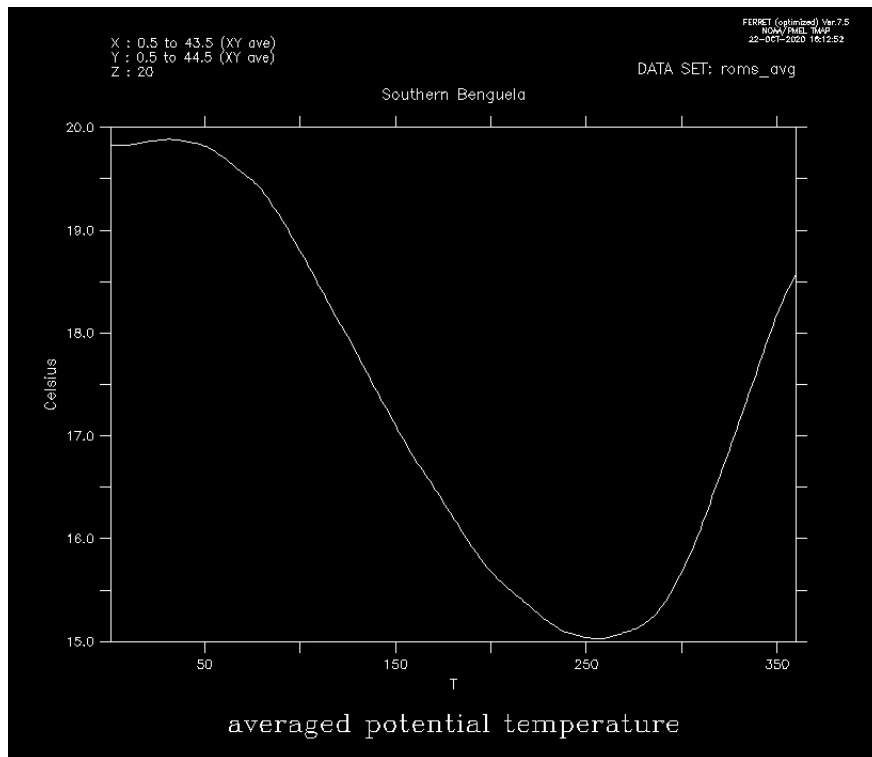


FIGURE 10 – Températures sur l'année moyennée sur la zone de simulation avec une résolution de 1/3

On observe bien sans surprise l'évolution saisonnière de la température avec l'inversion des saison.

3.2 Analyse de la dynamique particulière de la région

3.2.1 Upwelling

Le Benguela est connu en océanographie comme l'une des 4 principales zones d'upwelling. En effet, sur la planète terre, il y a 4 principales zones qui sont :

- Le courant de Benguela (Afrique du Sud)
- Le courant des Canaries (Maroc, Mauritanie, Sénégal et Gambie)
- Le courant Humboldt (Pérou, Chili)
- Le courant de la Californie (Etats-Unis et nord du Mexique)

Mais qu'est-ce qu'un upwelling ? En français on peut traduire ceci littéralement comme une remontée d'eau froide.

Si l'on regarde le schéma figure 11, on peut comprendre que les vents et courants marins poussent l'eau de la surface laissant place à un vide où les eaux profondes (plus froides) peuvent remonter. Ce transport d'eau en surface ce fait généralement avec le phénomène de pompage d'Ekman.

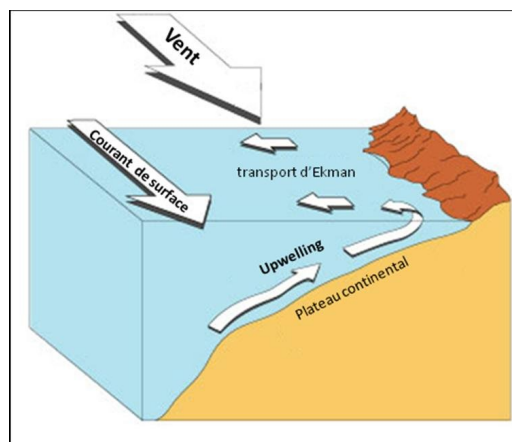


FIGURE 11 – Schéma d'upwelling

Dans notre configuration, on a bien le vent et le courant de surface qui sont (de manière général) dans le même sens (Sud vers nord) comme on peut voir figure 1 et partie 4.1.2.

On a donc cherché à mettre ceci en évidence le phénomène d'upwelling en traçant la température sur une coupe dans le plan (O,x,z). On a tracé ceci avec la commande `SHADE /j=23 TEMP[1=@ave]` et on a obtenu le tracé suivant :

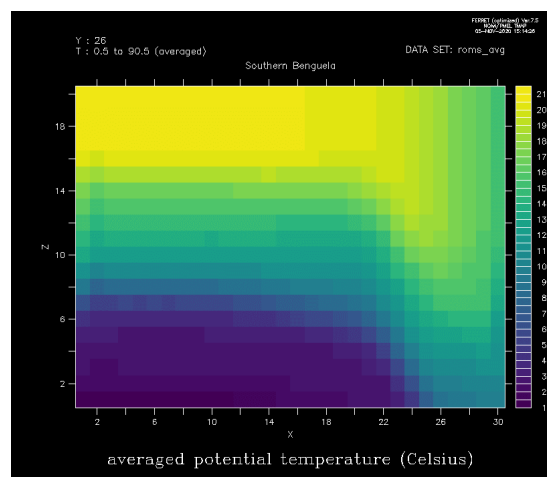


FIGURE 12 – Température à l'échelle verticale z le long de la côte : janvier-mars

On observe bien comme attendu sur la figure 12 une remontée d'eau froide le long de la côte (à droite).

3.3 Autres phénomènes :

D'autres phénomènes sont à observer sur la dynamique particulière du Banguela. Nous verrons ces phénomènes partie 4.1.

4 Simulation sur 1 an avec une résolution 1/9

Afin d'obtenir une résolution de la grille à 1/9, on reprendra ce qu'on a vu dans la première compilation partie 2.1. On changera donc la résolution dans `romstools_param.m` ainsi que les dimensions dans `param.h`.

Dans un premier temps, nous pouvons tout simplement tracer figure 13 la répartition de la température en surface avec les deux résolutions : 1/3 et 1/9.

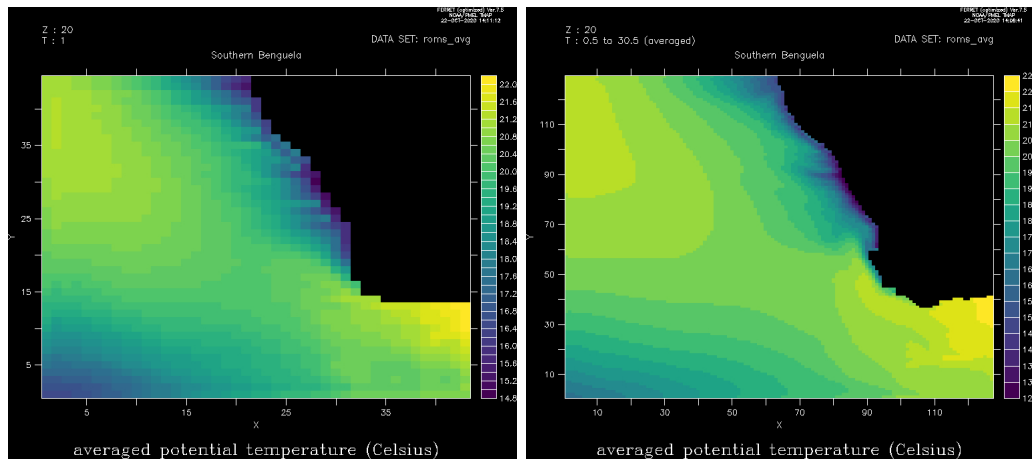


FIGURE 13 – Comparaison Température janvier avec une résolution de 1/3 et 1/9

On remarque dans un premier temps que l'image en 1/9 est nettement moins pixelisée. Ensuite on voit que la simulation 1/3 semble assez fidèle à la simulation 1/9 au niveau des zones qui semblent être réparties aux mêmes endroits. Cependant, si l'on regarde les intervalles de températures, on remarque qu'elle fluctue dans $[-14.5, 22]$ pour la résolution 1/3 tandis qu'elle fluctue dans $[12.5, 22.5]$ pour la résolution 1/9.

Comme nous avons vu précédemment, la remontée d'eau froide est présente très proche au niveau de la côte. Affiner le maillage permettrait donc d'avoir des valeurs qui sont moins moyennées et donc plus précise et sûrement plus faibles au plus proche de la côte.

4.1 Comparaison et analyse de la dynamique particulière de la région à échelle 1/3 et 1/9

Une fois notre simulation en résolution 1/9 effectuée, nous avons donc sorti différentes images en résolution 1/3 et 1/9. On les affichera côte à côte pour observer les différences notables

4.1.1 Upwelling

Dans un premier temps, nous avons donc affiché les upwellings de chaque saisons afin d'observer la dynamique saisonnière ainsi que les faiblesses d'un modèle avec faible pas spatial (résolution 1/3).

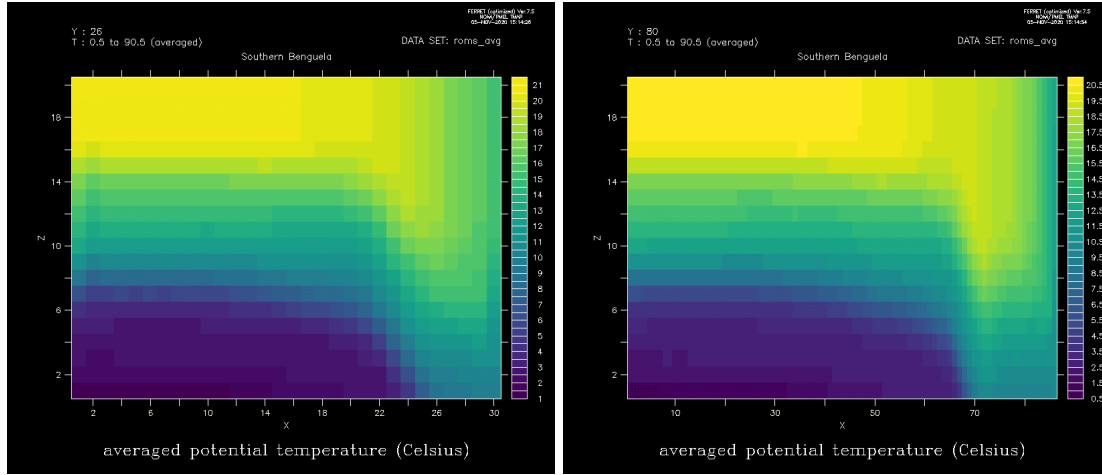


FIGURE 14 – Température à l'échelle verticale z le long de la côte 1/3 - 1/9 : saison 1

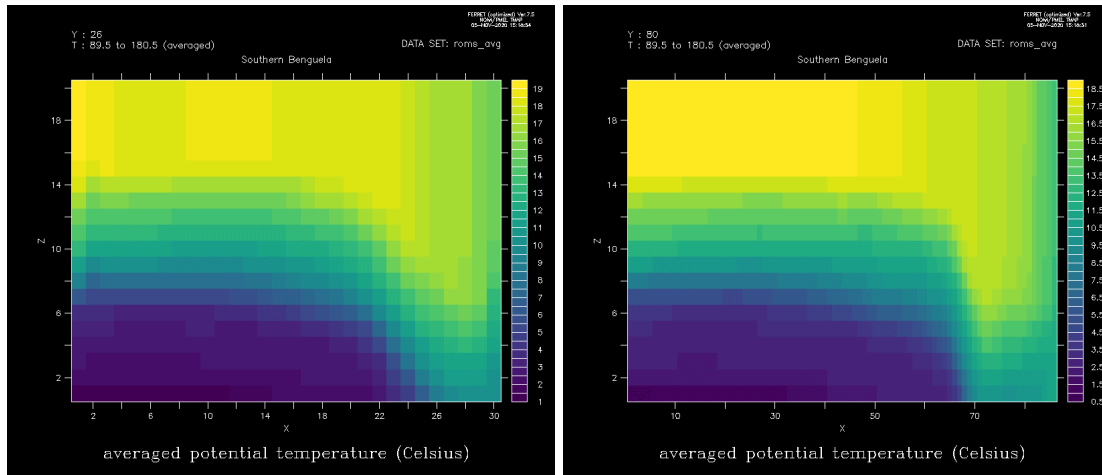
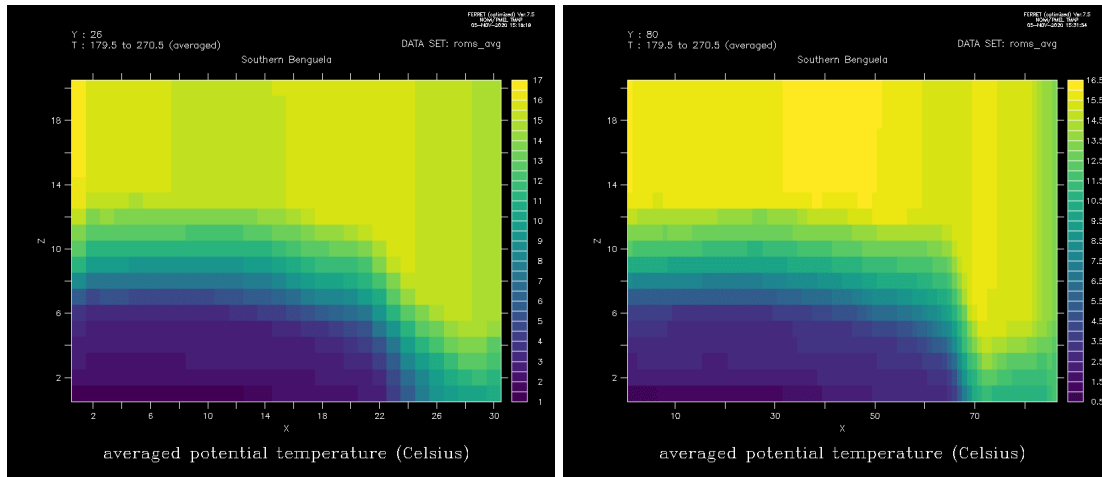
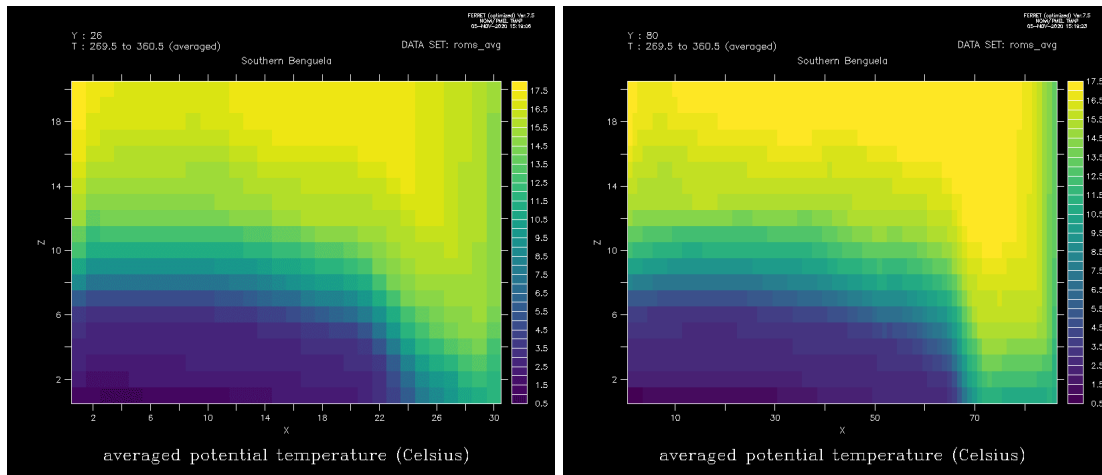


FIGURE 15 – Température à l'échelle verticale z le long de la côte 1/3 - 1/9 : saison 2

FIGURE 16 – Température à l'échelle verticale z le long de la côte 1/3 - 1/9 : saison 3FIGURE 17 – Température à l'échelle verticale z le long de la côte 1/3 - 1/9 : saison 4

On remarque dans un premier temps que la résolution 1/9 semble plus précise mais les valeurs sont très similaires dans les deux cas. En outre, nous avons seulement augmenté la résolution qui affecte x et y . Dans notre cas, nous avons donc 3 fois plus de cellules sur la résolution 1/3 que 1/9 contrairement à 9 fois plus sur un affichage (o,x,y) .

On observe de plus que la remontée d'eau froide est plus marquée sur les saisons chaudes (figure 14 et figure 15) que sur les saisons plus froides (figure 16 et figure 17). On peut émettre l'hypothèse que la différence entre la température des eaux profondes et celle de l'eau en surface en saison chaude est plus forte que la différence en saison froide : ce qui expliquerait pourquoi on a l'impression que le phénomène d'upwelling est plus marqué.

4.1.2 Courant en surface

Nous avons ensuite décidé de nous intéresser aux courants marins en surface. En effet, il peut être intéressant de comparer les courants marins avec deux résolutions différentes car la dynamique de l'océan simulé ne sera plus la même. Effectivement, étant donné que les cellules de la résolution 1/3 seront divisés en 9 cellules, chaque particule d'eau aura une dynamique différente.

On a donc tracé les courants de chaque saisons comme nous avons fait figure 7 avec les commandes :

- FILL /i=1:126/j=1:126/k=20/pal=centered/title="Courant de surface saison 1"
norme[l=1:90 @ave]
- VECTOR /ov/i=1:126/j=1:126/k=20/xskip=7/yskip=7 U[l=1:90 @ave],V[l=1:90 @ave]

Ces commandes tracent la norme de vitesse avec les vecteurs de vitesse sur la première saison.

On obtient donc les figures suivantes :

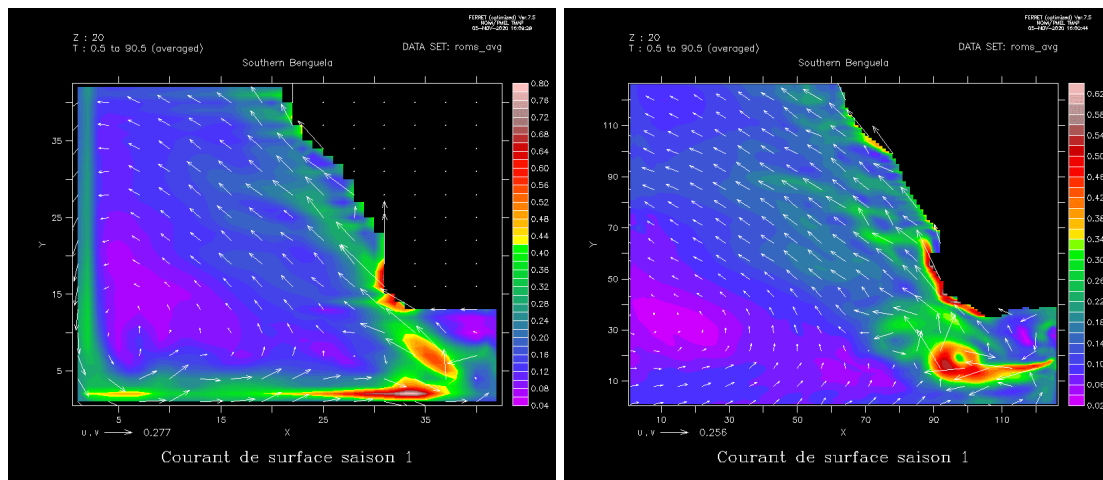


FIGURE 18 – Courant en surface saison 1

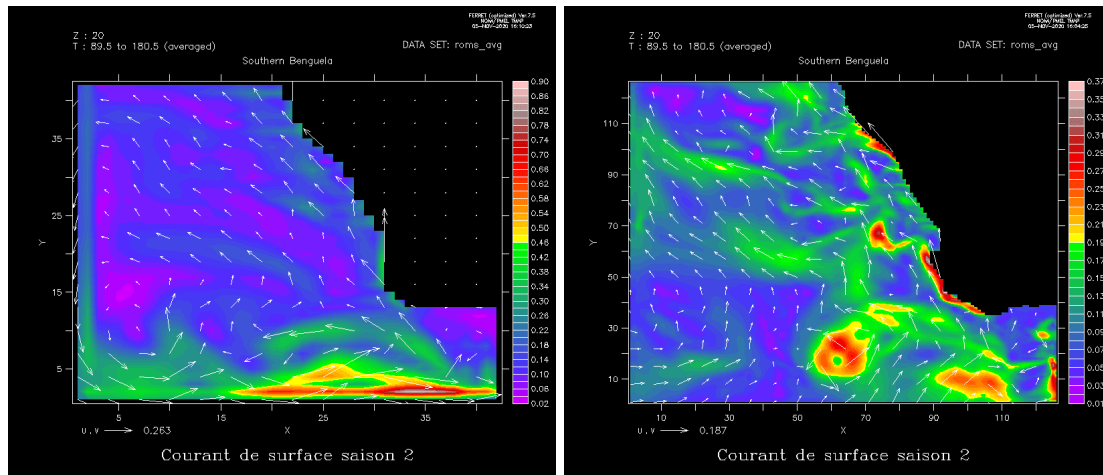


FIGURE 19 – Courant en surface saison 2

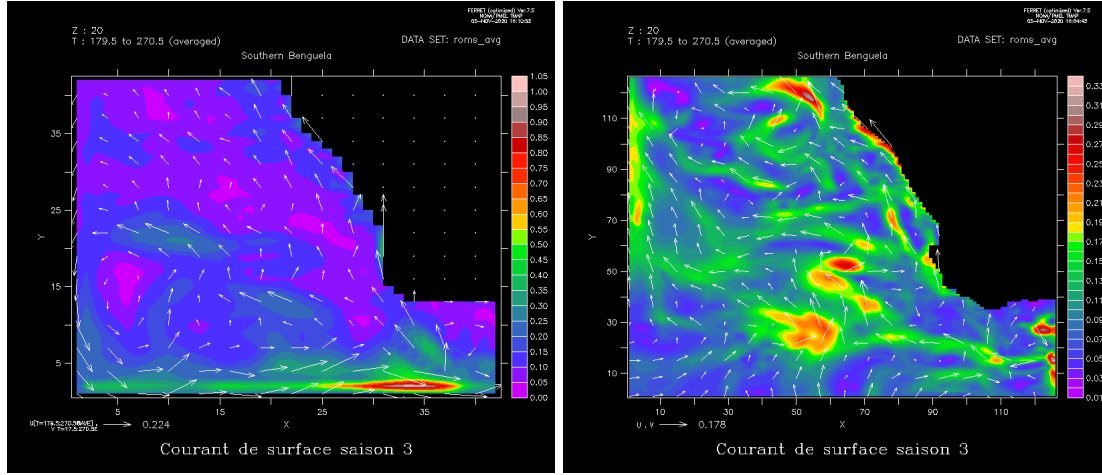


FIGURE 20 – Courant en surface saison 3

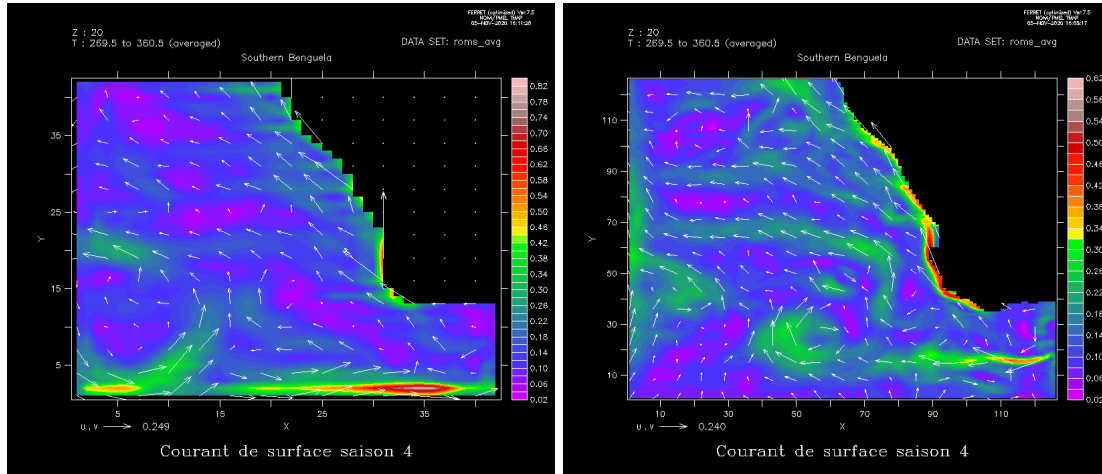


FIGURE 21 – Courant en surface saison 4

On remarque que dans les figures en résolution 1/3 et 1/9 ne sont plus du tout les mêmes. On retrouve globalement quelques zones en commun mais les extrêmes en courant ne sont plus localisés au même endroit. De plus, on observe sur le modèle 1/3 qu'il y aurait apparemment des forts courants sur l'extrémité basse de la simulation quelque soit la saison. On n'observe pas cette anomalie sur les simulations à 1/9, on peut donc émettre l'hypothèse que ce défaut provient des conditions de bord couplés avec un maillage trop grotesque.

Il est donc préférable de nous baser sur les simulations à 1/9 pour nos observations.

On remarque que sur l'ensemble des figures, on a un fort courant au niveau de la côte est et plus particulièrement sur le cap. Si l'on se fie à l'échelle, on peut voir que les courants sont les plus forts de septembre à mars : l'hivers dans cet hémisphère.

4.1.3 Salinité

Enfin, nous avons essayé de trouver d'autres phénomènes particuliers sur la dynamique du Benguela. On a donc essayé de tracer la salinité par saisons avec les deux différentes résolutions comme on peut voir ci-dessous :

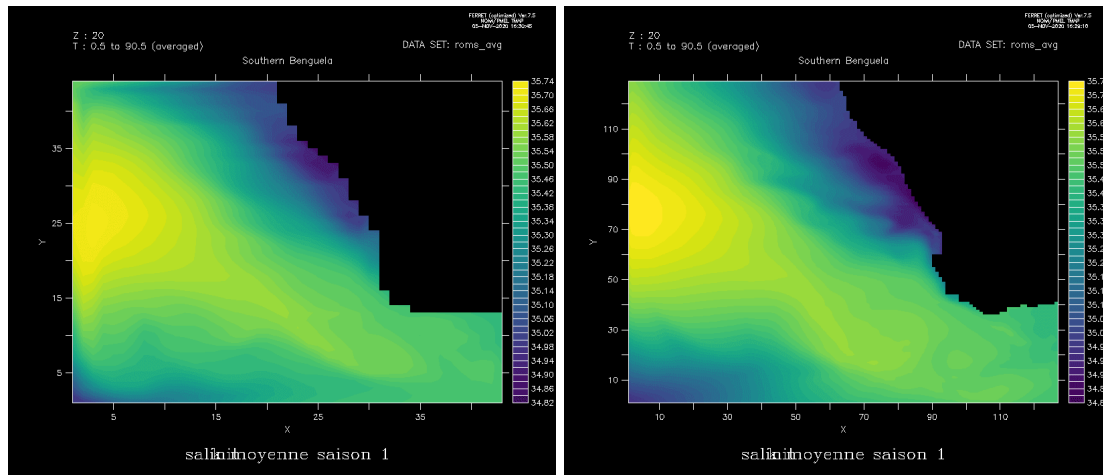


FIGURE 22 – Courant en surface saison 1

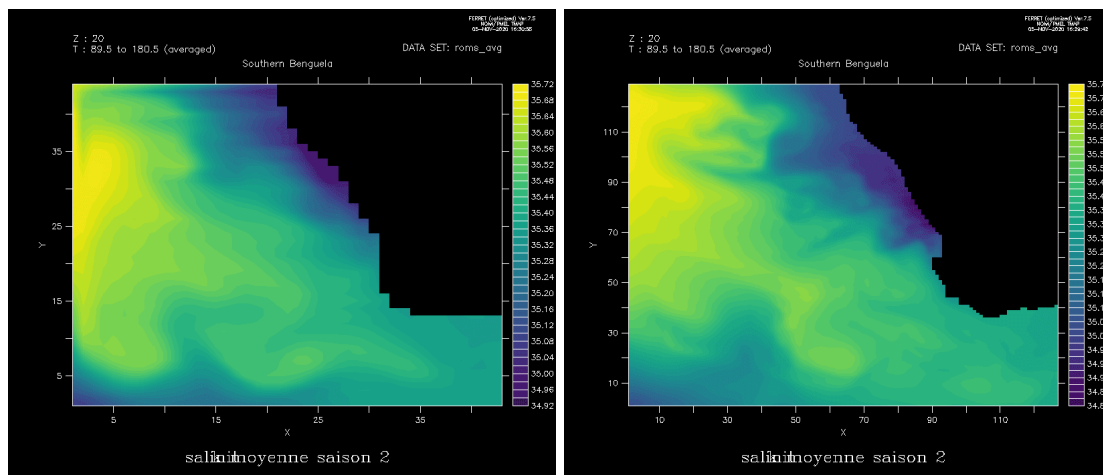


FIGURE 23 – Courant en surface saison 2

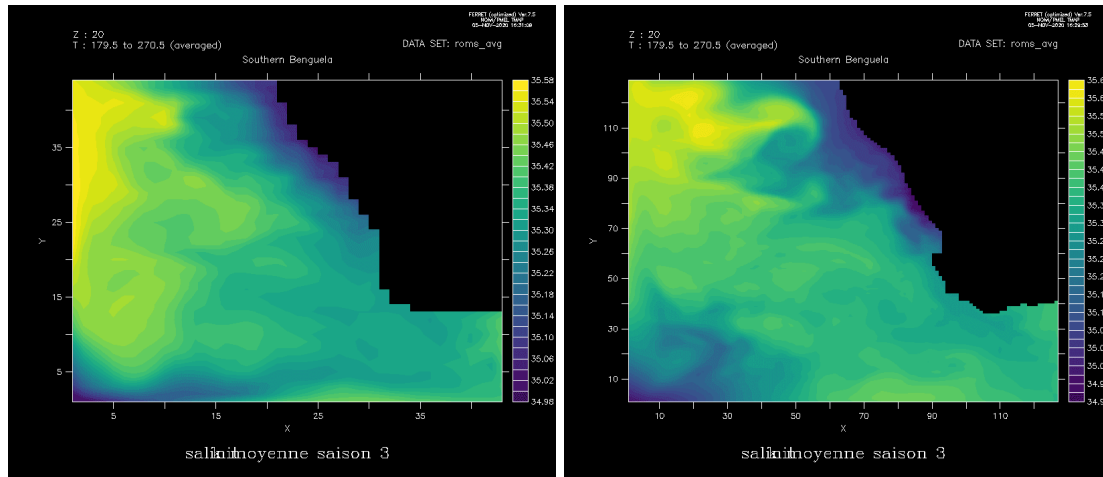


FIGURE 24 – Courant en surface saison 3

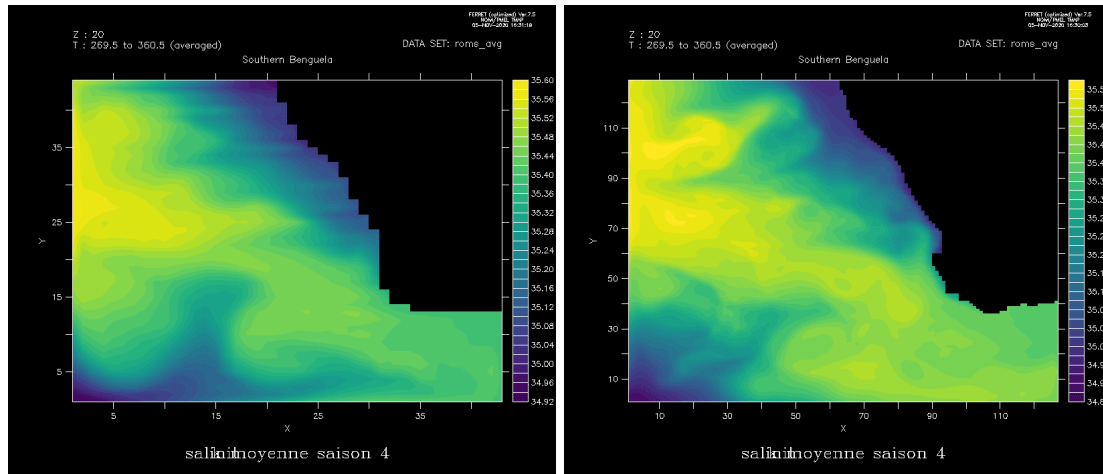


FIGURE 25 – Courant en surface saison 4

Quelque soit la saison, on observe que le modèle 1/3 est plutôt fidèle au modèle 1/9. Dans la globalité nous retrouvons les zones où la salinité est plus forte. La salinité ne semble pas évoluer particulièrement en fonction des saisons.

Ce critère n'est donc pas caractéristique de la dynamique de la zone.

5 Conclusion

Durant ce TP, nous nous sommes intéressé à la simulation océanique. Nous avons utilisé le code de calcul ROMS qui nous a permis de simuler la dynamique océanographique du Benguela sur une année avec une résolution de $1/9$. Nous avons pu apprendre à utiliser ROMS ainsi que le logiciel d'affichage Ferret afin d'observer des phénomènes particuliers. Nous avons dans un premier temps observé la dynamique saisonnière avec les variations de températures ainsi que les courants en surface. Ensuite, nous avons regardé les couches (o,x,z) afin d'observer les upwelling typique du Benguela.

Nous avons pu comparer tous ces phénomènes avec différentes résolutions : $1/3$ et $1/9$; on a pu voir qu'une résolution trop grosse (avec souvent un pas de temps trop grand) fausse certaines données. En effet, nos résultats sur le modèle $1/3$ sur les courants semblaient erronées. Cependant, certains résultats comme la salinité de l'eau, la température de surface semblaient cohérents.

Il aurait été intéressant d'aller plus loin dans les simulations comme par exemple en raffinant le maillage aussi sur z ou même en choisissant une résolution encore plus faible. De plus, nous aurions pu essayer d'effectuer des simulations dans d'autres zones géographiques en utilisant les forçages déjà définies dans ROMS.