

**RAPPORT DE PROJET MATLAB SUR LA CARTOGRAPHIE ET
L'ANALYSE DE QUATRE VARIABLES
OCEANOGRAPHIQUES : *la production primaire, la température
de surface de la mer, l'épaisseur de la couche de mélange et la
concentration en nitrates dans l'océan* AU LARGE DES CÔTES
OUEST AFRICAINES**

Présenté par :

AKOUNDA Ditoma Parfait

Enseignant :

Dr PANASSA Essowè

Unité d'enseignement :

Programmation et statistiques appliquées aux données océaniques

Semestre d'étude :

S4

Année académique :

2024-2025

PLAN DE TRAVAIL

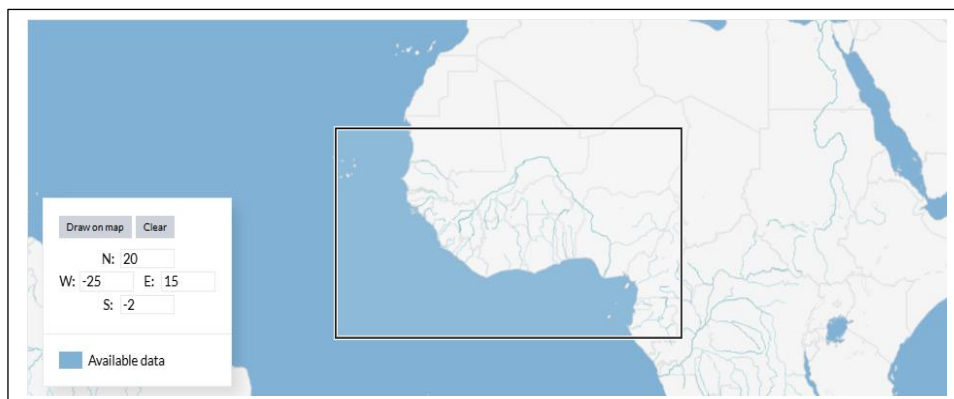
- I. Introduction
- II. Présentation de la zone d'étude
- III. Présentation des variables
- IV. Cartes moyennes annuelles
 - 1. Carte moyenne annuelle de la température de surface de la mer
 - 2. Carte moyenne annuelle de l'épaisseur de la couche de mélange
 - 3. Carte moyenne annuelle de la concentration molaire en nitrate
 - 4. Carte moyenne annuelle de la production primaire nette
- V. Cartes saisonnières
 - 1. Carte saisonnière de la température de surface de la mer
 - 2. Carte saisonnière de l'épaisseur de la couche de mélange
 - 3. Carte saisonnière de la concentration molaire en nitrate
 - 4. Carte saisonnière de la production primaire nette
- VI. Analyse du cycle saisonnier des différentes variables
- VII. Régression linéaire
- VIII. Tableau de corrélation entre les différentes variables
- IX. Conclusion

I. INTRODUCTION

En vu d'appliquer les connaissances théoriques et pratiques reçues au cours sur la programmation avec le logiciel Matlab, nous avons été confrontés à une situation réelle au cours de laquelle nous devons cartographier et analyser quatre variables océanographiques. Ainsi dans le présent rapport où nous avons pris comme variables la production primaire nette, la température de surface de la mer, l'épaisseur de la couche de mélange et la concentration en nitrate de l'océan; nous présenterons les cartes moyennes annuelles, les cartes saisonnières, le cycle saisonnier de ces différentes variables, une régression linéaire multiple (avec la production primaire comme variable réponse et la température de surface de la mer, l'épaisseur de la couche de mélange, la concentration en nitrate de l'océan comme variables explicatives), une corrélation entre ces différentes variables tout en interprétant les résultats obtenus à chaque niveau.

II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

L'étude des différentes variables a été faite dans le Golfe de Guinée qui se situe au large de la côte ouest africaine.



Longitudes : $25^{\circ}\text{W} - 15^{\circ}\text{E}$

Latitudes : $20^{\circ}\text{N} - 2^{\circ}\text{S}$

Cette zone d'étude a été choisie car c'est elle qui reflète au mieux les réalités locales sur le plan socio économique : (la Pêche, qui est une activité primaire) des pays de l'Afrique de l'ouest.

III. PRESENTATION DES VARIABLES

❖ Définition des variables

La Production Primaire Nette (PPN) : c'est la quantité d'énergie ou de matière organique produite par les organismes autotrophes (comme les plantes, le phytoplancton ou les algues) après avoir déduit l'énergie qu'ils utilisent pour leur respiration. Elle représente l'énergie disponible pour les consommateurs primaires dans l'écosystème marin.

$$PPN = PPB - R$$

PPB : C'est toute la matière organique ou d'énergie produite par les plantes ou les phytoplanctons Grâce à la photosynthèse.

R : C'est l'énergie dépensé ou la matière organique dégradée par la respiration des organismes autotrophes

La couche de mélange (MLD) : C'est la couche superficielle de l'océan où les propriétés physiques, biologiques, chimiques notamment la température, la salinité, le plancton les nutriments sont relativement homogènes grâce aux turbulences causées par le vent les vagues et les courants.

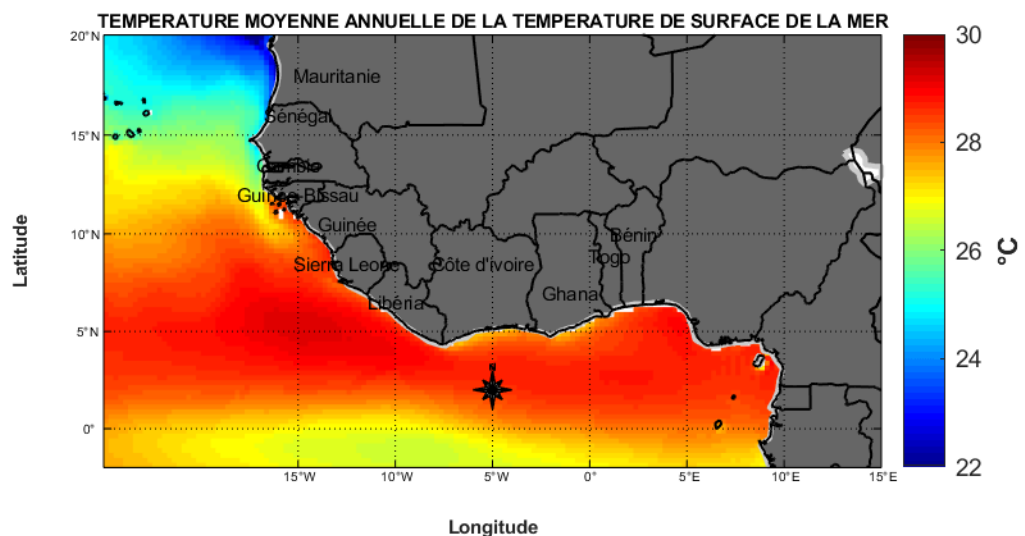
La température de surface de la mer (SST) : C'est la température mesurée a la surface de la mer ; elle joue un rôle important dans la régulation du climat grâce aux interactions océan-atmosphère ; elle contrôle la dissolution des gaz dans l'océan et influence la croissance de certains organismes marins

Les nitrates (NO₃) : Les nitrates constituent un nutriment important aux phytoplanctons pour la réalisation de la photosynthèse ce qui a un impact sur la production primaire.

Variables	Unités	Source	Résolution spatiale
PPN	$\text{mg.m}^{-3}.\text{day}^{-1}$	Copernicus	$0.083^\circ \times 0.083^\circ$
SST	$^\circ\text{C}$	ERA5	$0.25^\circ \times 0.25^\circ$
MLD	m	Copernicus	$0.25^\circ \times 0.25^\circ$
NO3	mmol.m^{-3}	Copernicus	$0.083^\circ \times 0.083^\circ$

IV. CARTES MOYENNE ANNUELLE

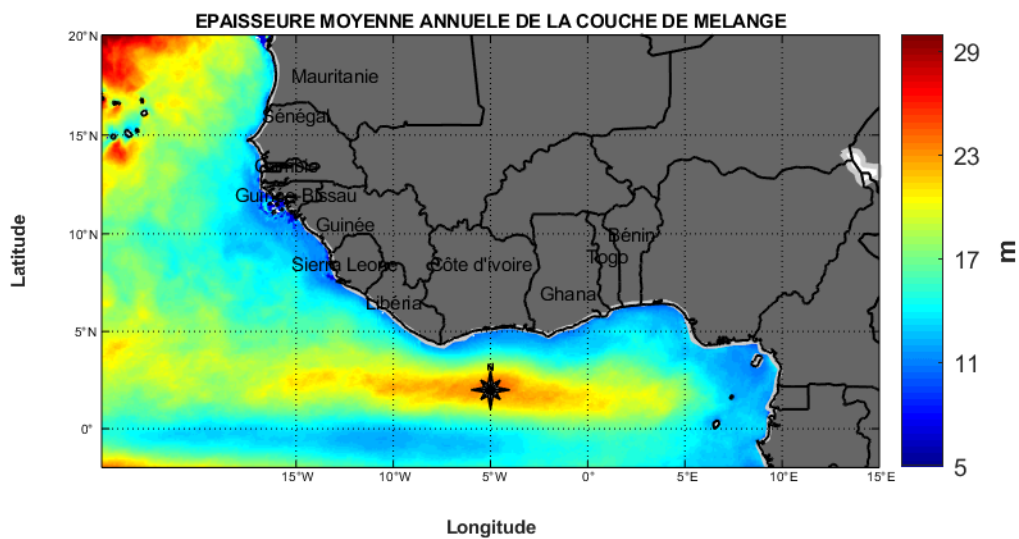
1. Carte moyenne annuelle de la température de surface de la mer



Sur la carte ci -dessus présentant la température de surface de la mer, on observe une température élevée dans la bande de latitude 0-10°N avec des valeurs allant de 28 à 30°C le long des cotes et au niveau de l'équateur. Ces fortes températures s'expliquent par la position géographique de cette zone au niveau de laquelle le rayonnement solaire est le plus élevé. Entre 10° et 20° N, la SST diminue progressivement avec des valeurs allant de 27°C à 22°C car on tend à

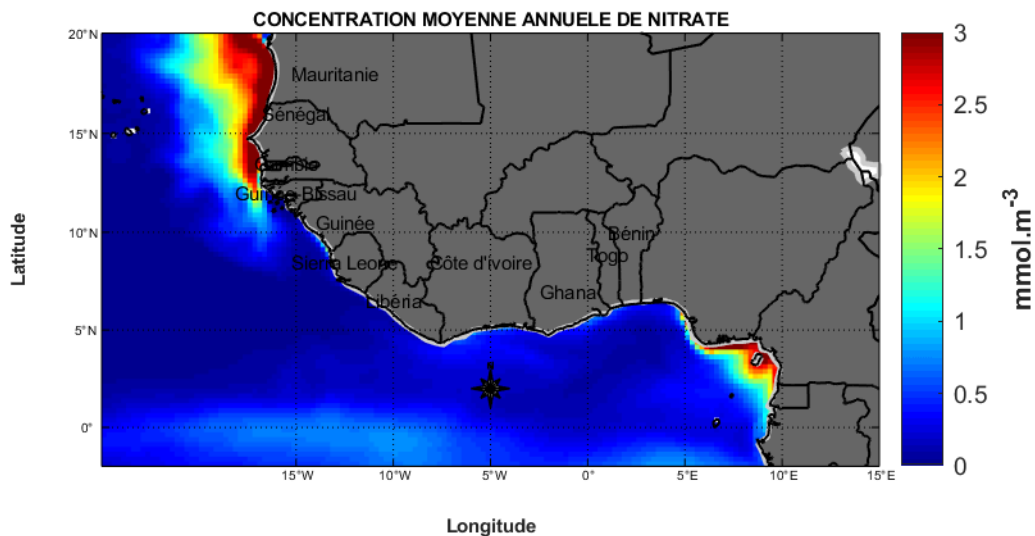
aller vers les hautes latitudes ou le rayonnement solaire devient plus étendu ce qui réduit la SST

2. Carte moyenne annuelle de l'épaisseur de la couche de mélange



Sur cette carte de l'épaisseur ou profondeur de la couche de mélange on remarque une profondeur relativement faible sur l'ensemble de la carte (inférieure à 20m) cela s'explique par le fait que les valeurs élevées de la SST, dues à l'insolation forte dans cette zone, favorise une stratification accrue (une séparation nette entre les couches d'eau de densités différentes). Cela peut limiter le mélange vertical et maintenir une couche de mélange peu profonde. Aussi les upwellings côtiers faisant remonter les eaux froides entraine une remontée de thermocline ce qui peu réduire la profondeur de la couche de mélange.

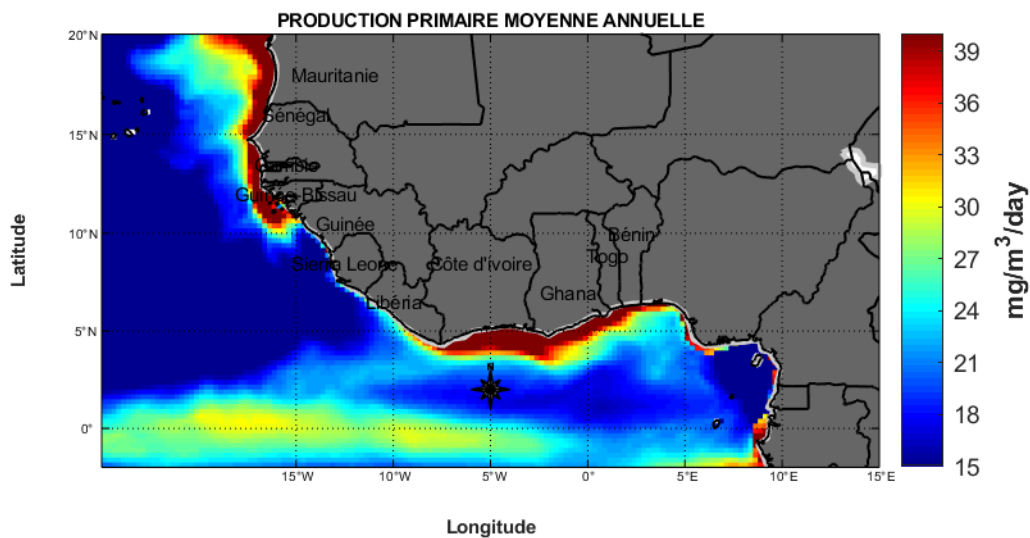
3. Carte moyenne annuelle de la concentration molaire en nitrate



On observe sur cette carte de la concentration en nitrates dans l'océan de fortes concentrations ($2-3 \text{ mmol.m}^{-3}$) au niveau des cotes du Sénégal, de la Mauritanie, du Cameroun et de la partie Est du Nigeria. Cela s'explique par les phénomènes d'upwelling récurrent qui permettent la remontée de nutriment notamment les nitrates ; A cela s'ajoutent les apports fluviaux notamment du fleuve Sénégal aux niveaux du Sénégal et de la Mauritanie.

Par contre on observe des concentration relativement faibles ($<1 \text{ mmol.m}^{-3}$) sur le reste de la zone ; cela s'explique par le fait d'avoir des températures élevées dans la zone, cela entraine une stratification, ainsi un blocage de la remontée des nutriments dont les nitrates

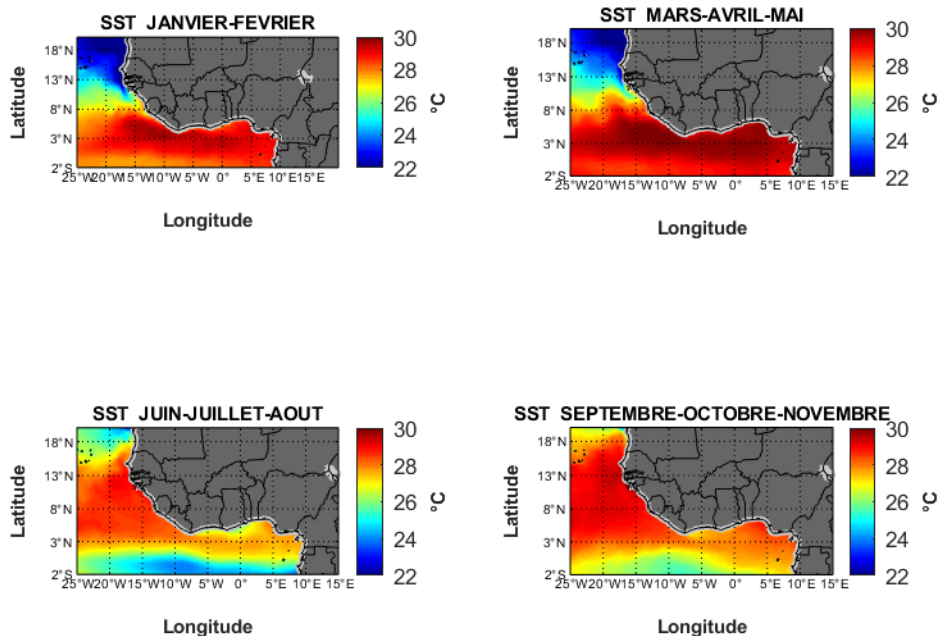
4. Carte moyenne annuelle de la production primaire nette



Sur cette carte de la production primaire nette ; on observe une forte production primaire le long des côtes et au niveau de l'équateur. Cette forte concentration a ces niveaux s'explique par une intensité de lumière élevée, ce qui favorise la photosynthèse. De plus nous avons la présence des upwelling équatoriaux au niveau de l'équateur et un apport de nutriments via les fleuves (Sénégal, Gambie, volta...), les lagunes les rejets des eaux usées aux niveau des cotes en plus des upwelling côtiers. Ainsi avec une disponibilité en énergie lumineuse, une couche de mélange relativement moins profonde et une disponibilité en nutriments la production primaire atteint ces fortes concentrations.

V. CARTES SAISONNIÈRES

1. Carte saisonnière de la température de surface de la mer

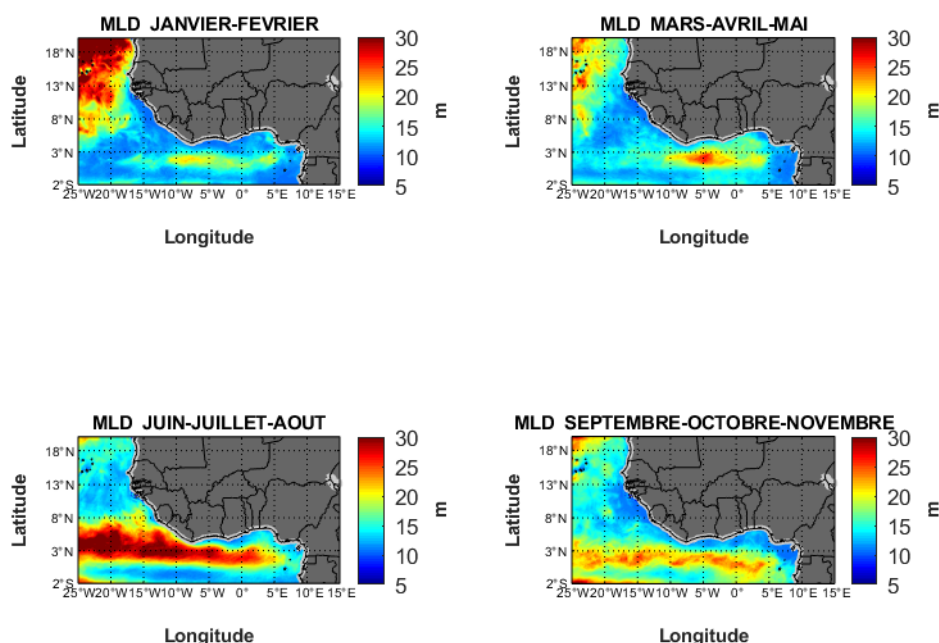


Sur la carte ci-dessus nous présentant les températures saisonnières de la température de surface de la mer nous observons qu'en période d'hiver et de printemps qui sont des périodes sèches on observe des températures élevées dans la bande de latitude 0-8°N, car le rayonnement solaire est très élevé. Par contre au delà de la latitude 8°N on observe de faibles températures car on tend vers les zones tempérées ou il y'a de faibles températures en hiver

En été les températures deviennent plus faibles cela s'explique par les phénomènes d'upwellings qui se produisent dans cette période (été boréal) et qui refroidissent les eaux de surfaces ; cela aussi peut s'expliquer par les vents et les précipitations qui refroidissent la surface de la mer

En automne on remarque que les températures commencent peu a peu par s'augmentent progressivement par rapport a l'été puisque les précipitations commencent peu à peu à s'arrêter laissant place à la saison sèche au cours de laquelle l'eau de surface est réchauffée.

2. Carte saisonnière de l'épaisseur de la couche de mélange

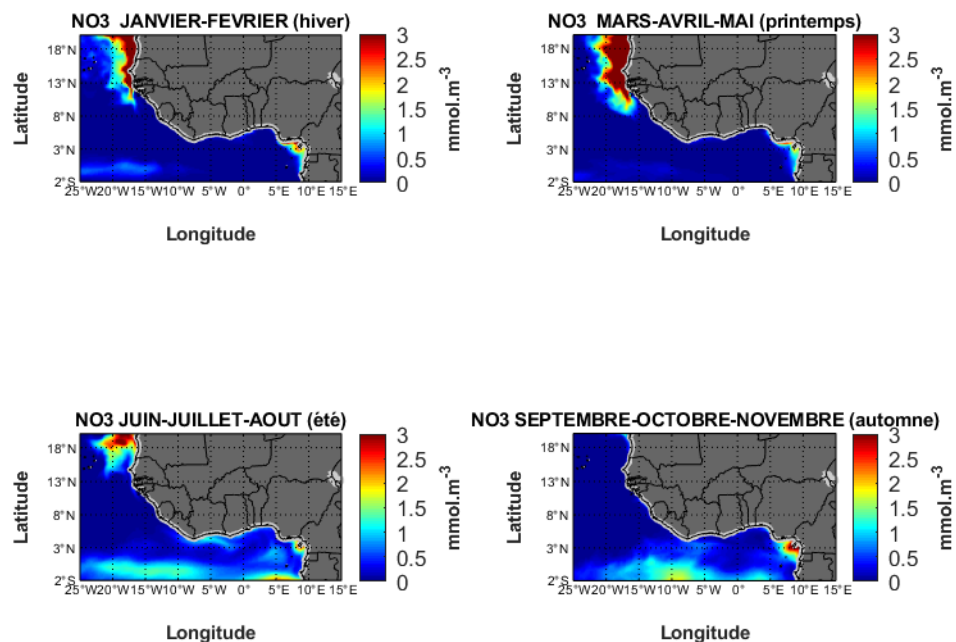


Pendant dans la saison sèche (Hiver, printemps) nous avons une forte stratification thermique due à une insolation élevée et une stabilité renforcée de la colonne d'eau ce qui induit une couche de mélange peu profonde, inférieure à 20 m.

En saison pluvieuse (fin été, automne), les upwelling côtiers et équatoriaux (surtout dans la bande de latitude 3-8°C) provoquent un mélange vertical accru, ce qui approfondie la couche de mélange de plus de 30 m, et les eaux froides riches en nutriments remontent à la surface.

Les réductions progressives des upwellings, des pluies et des vents forts, conduisent à une réduction progressive de la profondeur de la couche de mélange à la fin de l'automne.

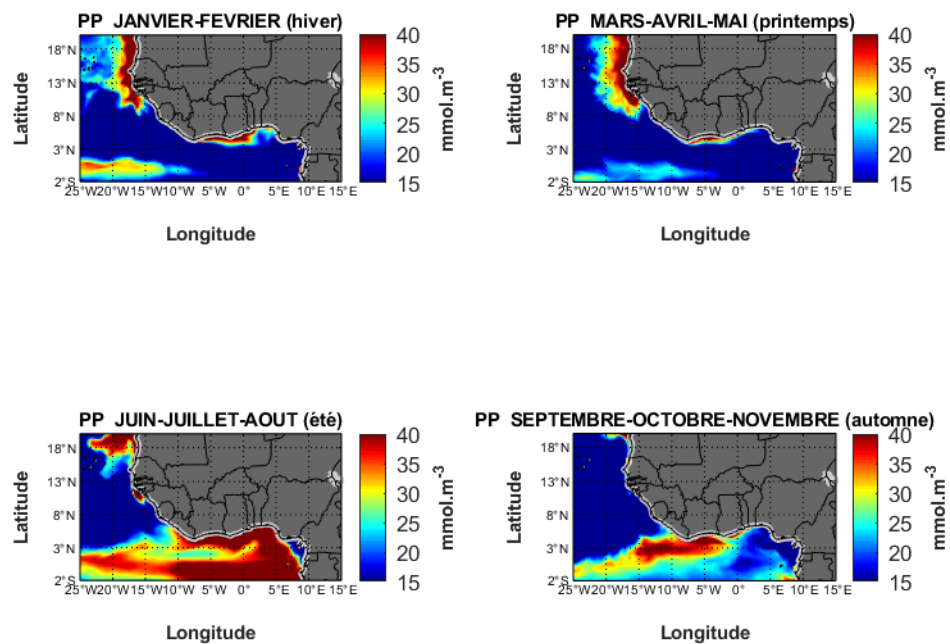
3. Carte saisonnière de la concentration molaire en nitrate



Pendant la saison des pluies (été , automne) on observe des Concentrations élevées de nitrates (1.5mmol.m^{-3}); cela s'explique par l'intensification des upwellings qui amènent les eaux de fond riches en nitrates à la surface. Aussi nous pouvons noter un impact significatif des fleuves qui apportent une quantité importante de nutriments au niveau du Sénégal et de la mauritanie(fleuve Sénégal), et au niveau du cameroun (fleuve Congo)

En revanche pendant la saison sèche (hiver, printemps) on a des Concentrations faibles dues à la stratification thermique de la colonne d'eau qui empêche le mélange vertical, limitant l'apport de nitrates à la surface. De plus Les nitrates disponibles dans la couche euphotique sont rapidement consommés par le phytoplancton. Mais on remarque toujours de fortes concentrations au niveau des embouchures de fleuves, ce qui temoigne de leur impact important.

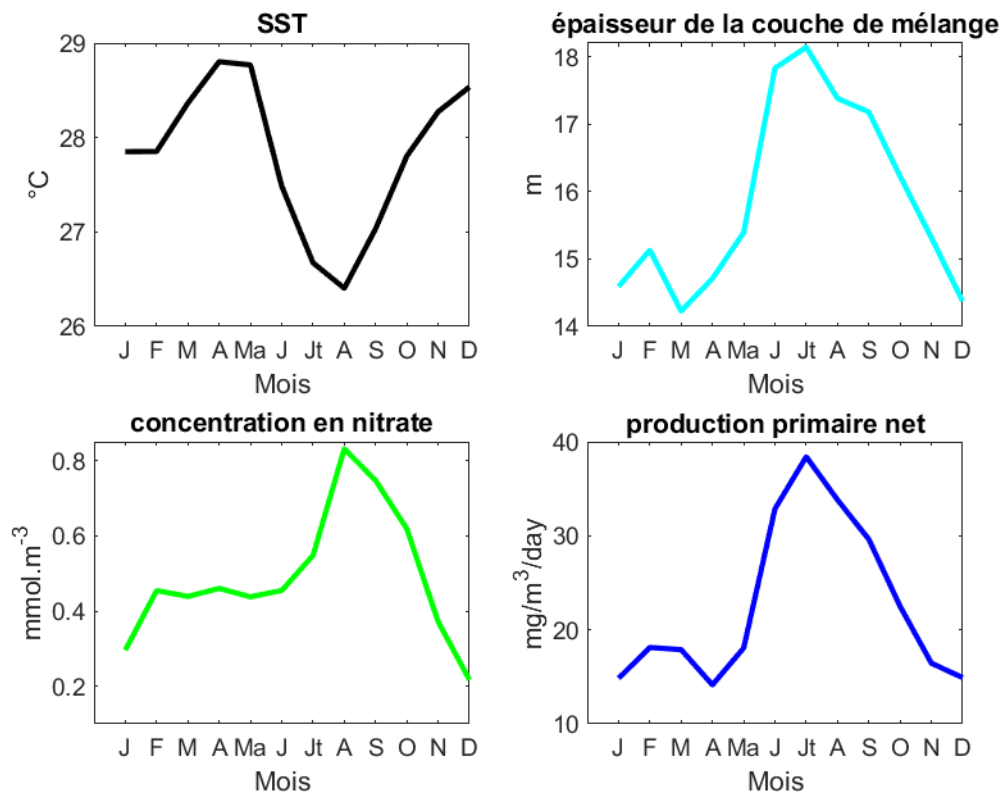
4. Carte saisonnière de la production primaire nette



Pendant la saison des pluies Les upwelling côtiers intensifiés, amènent des eaux riches en nutriments dans la zone euphotique, favorisant des blooms phytoplanctoniques. Les concentrations élevées de phytoplancton sont observées, notamment au large de la Mauritanie, Sénégal, Côte d'Ivoire, du Ghana du Togo et du Bénin. Cette période est également marquée par une augmentation de la biomasse des zooplanctons et des petits poissons qui se nourrissent du phytoplancton.

Pendant la la Saison sèche (Hiver, printemps) la Production primaire est minimale. Cela peut s'expliquer par la stratification thermique qui limite le mélange vertical, réduisant les apports en nutriments. Les eaux de surface deviennent pauvres en nutriments, entraînant une faible croissance phytoplanctonique; Par contre on a une production toujours élevée au niveau des côtes du sénégal et de la Mauritanie due à un apport suffisant de nutriments et d'éclairement lumineux.

VI. ANALYSE DU CYCLE SAISONNIER DES DIFFÉRENTES VARIABLES



Cette figure représente la variabilité saisonnière des différents paramètres océanographiques : la température de surface de la mer (SST), l'épaisseur de la couche de mélange, la concentration en nitrates et la production primaire nette au large des côtes ouest Africaines.

Analyse et interprétation

❖ Température de surface de la mer (SST)

La SST varie de manière saisonnière entre environ 26,5 °C (minimum en juillet-août) et 29 °C (maximum en mars-avril). La période de SST élevée correspond à une intensité lumineuse élevée et une stratification thermique accrue, limitant les échanges verticaux. On observe aussi une baisse marquée de la température entre mai et août, suivie d'une remontée progressive entre septembre et décembre. Cette baisse est due aux précipitations abondantes pendant la saison des pluies ou aux upwellings côtiers (remontée des eaux froides et riches en

nutriments depuis les profondeurs vers la surface), probablement déclenchés par des vents saisonniers.

❖ Épaisseur de la couche de mélange

L'épaisseur de la couche de mélange varie de 14 m (minimum en février-mars) à environ 18 m (maximum en juillet-août). L'épaisseur de la couche de mélange augmente à partir de mars (14 m) et atteint un maximum de 18 m en juillet-août, puis diminue à partir de septembre.

Cette augmentation de l'épaisseur de la couche de mélange en juillet-août reflète une intensification du mélange vertical souvent provoquée par les vents, ce qui peut être aussi lié à l'upwelling. Une couche de mélange peu profonde en février-mars est due à une température élevée pendant cette période de l'année ce qui entraîne la stratification et donc une réduction de l'épaisseur de la couche de mélange

❖ Concentration en nitrates

Les concentrations en nitrates augmentent de 0,2 mmol/m³ (Décembre Janvier Février) à environ 0,8 mmol/m³ (juillet-août), puis diminuent fortement après septembre.

La forte concentration en nitrates pendant les mois de Juin-juillet-août est due à la remontée des eaux riches en nutriments depuis les profondeurs et aux apports des rivières car pendant cette période de l'année il y'a beaucoup de précipitations et on a un grand flux de rivières qui apportent des nutriments à l'océan. En revanche lorsque la SST est élevée et que la stratification est forte pendant les mois de Janvier Février Mars, les concentrations en nitrates sont faibles, limitant la disponibilité des nutriments pour le phytoplancton.

❖ Production primaire nette

La production primaire nette suit une courbe saisonnière, avec un maximum d'environ 40 mg/m³/jour en juillet-août et un minimum en février-mars (15 mg/m³/jour).

L'augmentation de la production primaire en juillet-août coïncide avec les concentrations élevées en nitrates, favorisant la croissance du phytoplancton.

Pendant les périodes de stratification (février-mars), la faible disponibilité en nutriments limite la productivité primaire. Ce qui explique la faible productivité pendant ces mois.

✚ Synthèse des interactions entre les paramètres :

▪ **Relation entre SST et concentration en nitrates :**

- Une SST basse est associée à des concentrations élevées en nitrates, indiquant un upwelling.
- Inversement, des SST élevées correspondent à une stratification limitant les apports en nutriments.

▪ **Relation entre la couche de mélange et les nitrates :**

- Une couche de mélange profonde (juillet-août) favorise l'enrichissement en nutriments, ce qui stimule la production primaire.

▪ **Relation entre les nitrates et la production primaire :**

- La production primaire nette est fortement corrélée aux concentrations en nitrates : plus les nitrates sont disponibles, plus la photosynthèse est active.

VII. RÉGRESSION LINÉAIRE

1. Variables

- ✓ Variable réponse : Production primaire nette (PPN)
- ✓ Variables explicatives : température de surface de la mer (SST), épaisseur de la couche de mélange (MLD), concentration en nitrate de l'océan (NO_3)

2. Résultats du modèle de régression linéaire

- Coefficients

Intercept : 36.5510

MLD : 4.5526
NO3 : -1.2779
SST : -3.0752

- Équation de régression linéaire

$$\text{PPN} = 35.55 - 3.07 \cdot \text{SST} + 4.55 \cdot \text{MLD} - 1.27 \cdot \text{NO3} + \text{residus}$$

- Rsquare

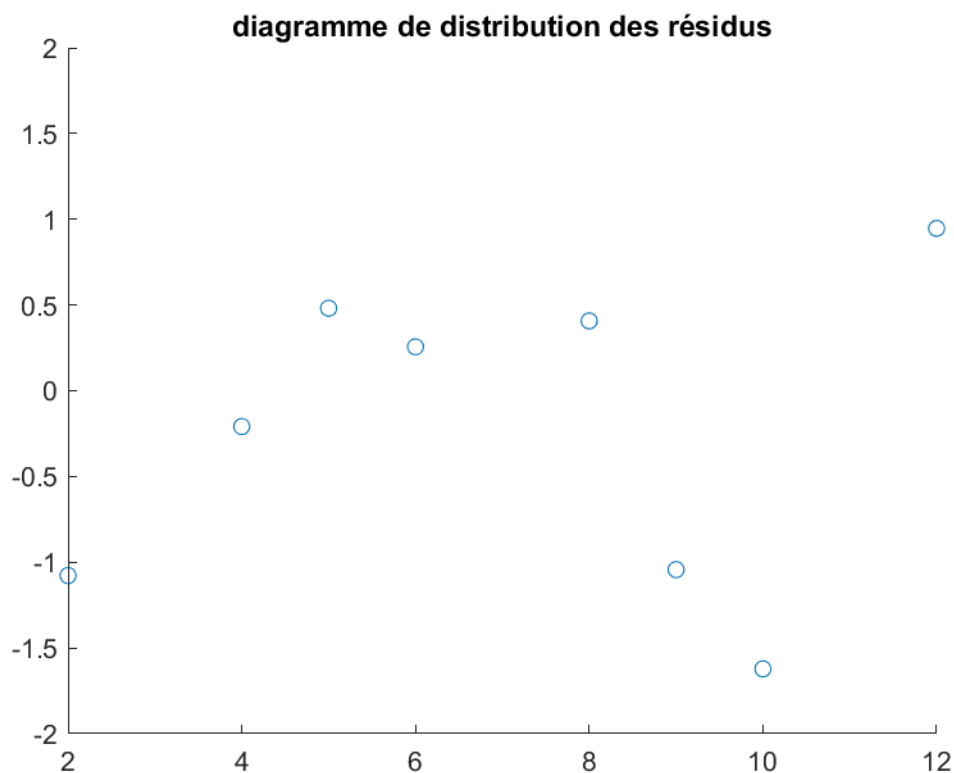
$R^2 = 0.9519 = 95.19\% \Rightarrow 95\%$ de la variance de production primaire nette est expliquée par la température de surface de la mer, l'épaisseur de la couche de mélange et la concentration en nitrate de l'océan.

- Pvalue

$P_{\text{val}} = 1.2894 \times 10^{-5} < 0.05 \Rightarrow$ le modèle est globalement significatif

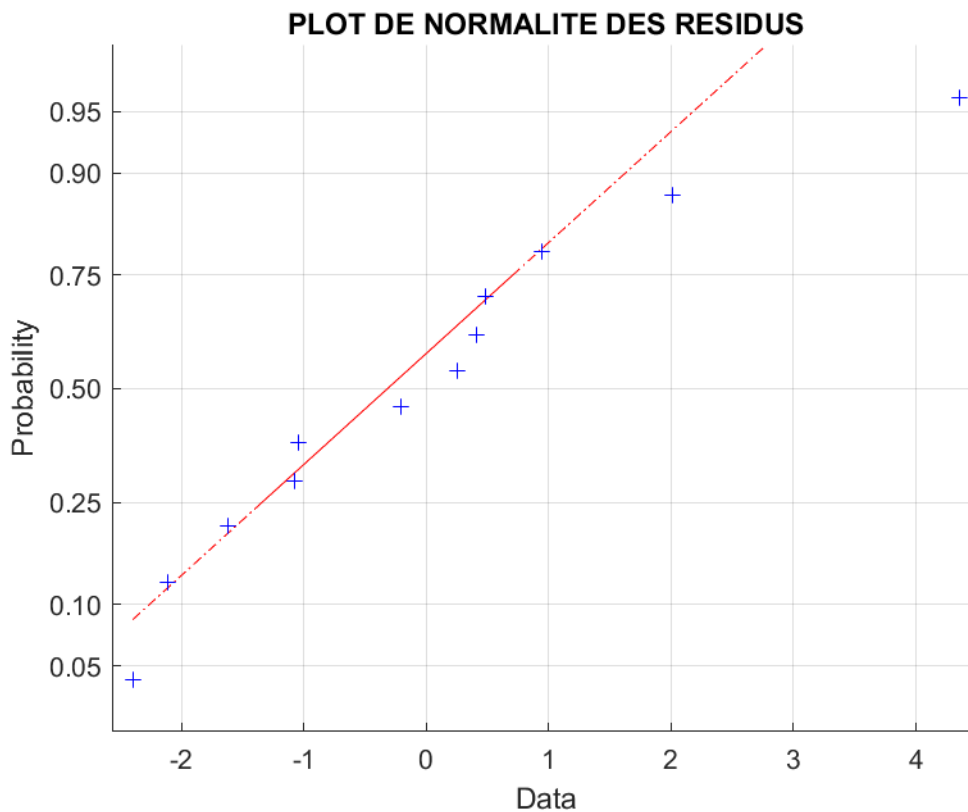
3. Conditions d'application du modèle

- Diagramme de distribution des résidus



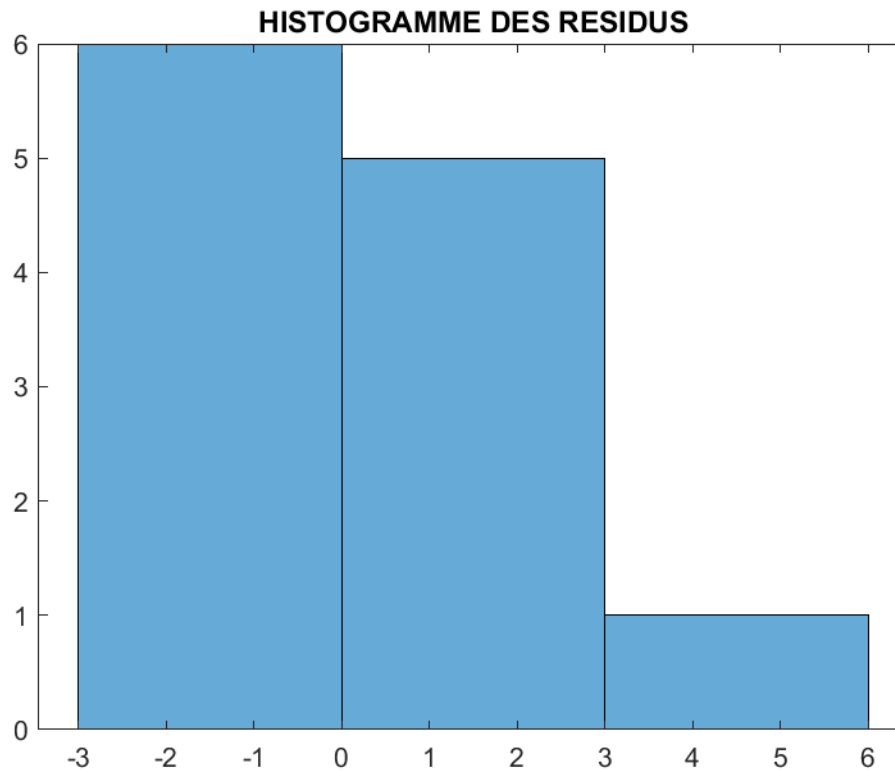
Ce plot nous montre que la variance des résidus n'est pas constante pour toutes les valeurs de PPN et aussi La moyenne des résidus n'est pas approximativement nulle pour chaque valeur de la production primaire.

- **Normalité**



Les residus ne sont pas tres bien alignés avec la droite donc il ne suivent pas une distribution normale .

- **Histogramme des residus**



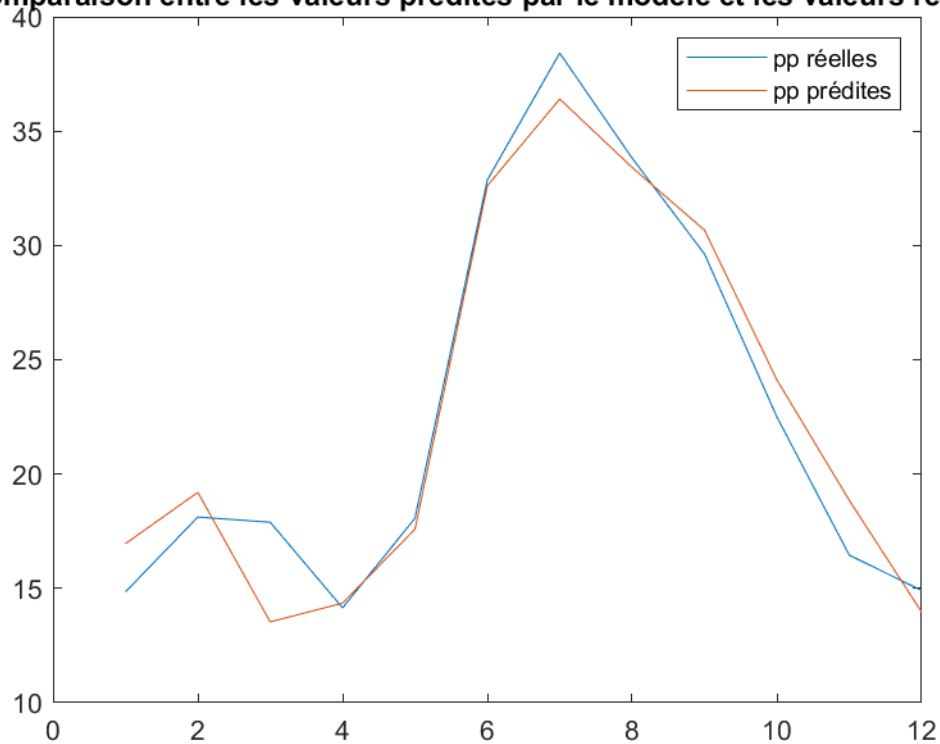
Les résidus ne suivent pas une distribution normale car l'histogramme n'a pas un pic centré sur la moyenne avec une descente progressive symétrique de part et d'autre.

Conclusion sur les conditions d'application du modèle

Les conditions de variance constante et de normalité des résidus ne sont pas strictement respectées dans le modèle. Par conséquent, bien que les coefficients estimés fournissent une indication sur les relations entre les variables, il va falloir interpréter ces résultats avec réserve.

- **Plot pour comparer les valeurs réelles et celle prédites par le modèle**

comparaison entre les valeurs predites par le modèle et les valeurs réelles



VIII. TABLEAU DE CORRELATION ENTRE LES DIFFERENTES VARIABLES

Variables	PPN	MLD	NIT	SST
PPN	1	0.9640	0.6842	-0.8851
MLD	0.9640	1	0.6779	-0.8323
NIT	0.6842	0.6779	1	-0.7225
SST	-0.8851	-0.8323	-0.7225	1



Corrélations positive



Corrélations négative

1. Corrélations positives fortes :

- **PPN et MLD (0.9640)** : Une corrélation très forte et positive entre la production primaire nette (PPN) et la profondeur de la couche de mélange (MLD), suggérant que des couches de mélange plus profondes favorisent une augmentation de la production primaire. Cela peut sembler contradictoire puisque on a des blooms après que la profondeur de la couche de mélange soit réduite permettant une réception de la lumière suffisante pour réaliser la photosynthèse. Ainsi cela peut s'expliquer par le fait que dans le golf de guinée c'est lors des upwellings que nous avons une production primaire élevée or pendant cette période d'upwelling les eaux se refroidissent augmentant la profondeur de la couche de mélange.
- **MLD et NIT (0.6779)** : Une relation modérément forte entre la profondeur de la couche de mélange (MLD) et la concentration en nitrate (NIT), indiquant que des couches mélangées favorisent un enrichissement en nutriments.
- **PPN et NIT (0.6842)** : Une corrélation modérée et positive entre la production primaire nette (PPN) et le nitrate (NIT), montrant que les nutriments influencent positivement la production.

2. Corrélations négatives fortes :

- **PPN et SST (-0.8851)** : Une forte corrélation négative entre la production primaire nette (PPN) et la température de surface de la mer (SST), suggérant que des températures élevées réduisent la production primaire.
- **MLD et SST (-0.8323)** : Une forte corrélation négative entre la couche de mélange (MLD) et la température de surface (SST), indiquant que des températures élevées sont associées à des couches de mélange peu profondes.
- **NIT et SST (-0.7225)** : Une corrélation modérée et négative entre le nitrate (NIT) et la température de surface (SST), montrant que des températures élevées sont associées à de faibles concentrations en nutriments.

IX. CONCLUSION

Les dynamiques océanographiques des côtes ouest-africaines montrent des interactions entre la température de surface de la mer, l'épaisseur de la couche de mélange, la concentration en nitrates et la production primaire. Les upwellings saisonniers au nord (Mauritanie, Sénégal) favorisent un enrichissement en nutriments et une forte productivité biologique, tandis que dans le golfe de Guinée, la stratification thermique limite la remontée des nutriments, entraînant une productivité plus faible.

Ces observations mettent en évidence l'influence des processus physiques sur la régulation des écosystèmes marins et leur importance pour une gestion durable des ressources marines face aux variations environnementales.