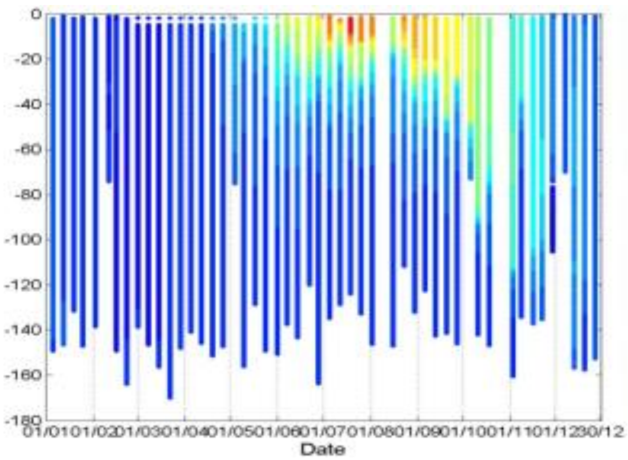
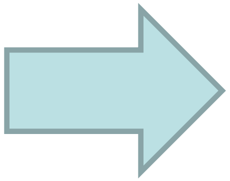
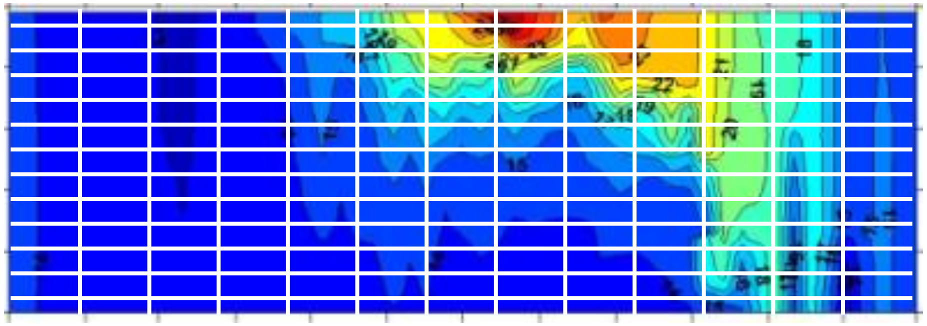
Utilisation de méthodes d'interpolation pour la régularisation de données d’observation. Eléments méthodologiques

Atelier SOMLIT - Analyses de séries long terme, Talence, juin 2012,
J-Ph Labat

But : Passer de données irrégulièrement distribuées dans l'espace x et y à une grille régulière.

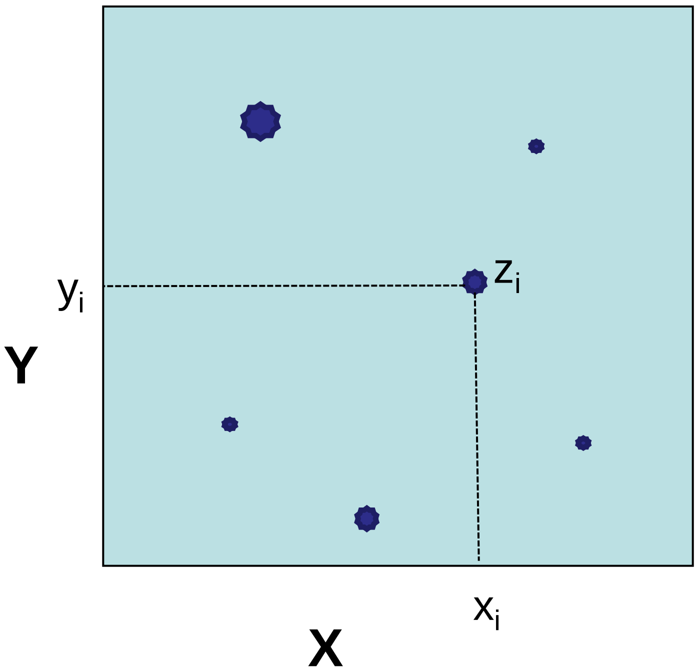






Les données : triplets x, y, z

X	**Y**	**Z**	**…**
x_1	y_1	z_1	…
x_i	y_i	z_i	…
x_n	y_n	z_n	…



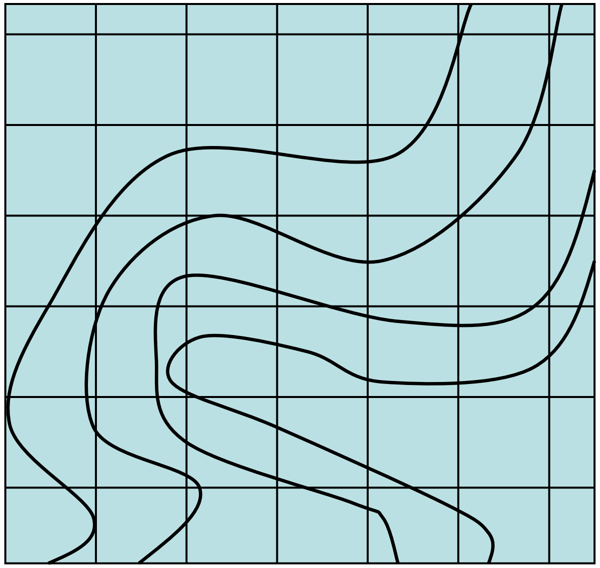
Exemples :

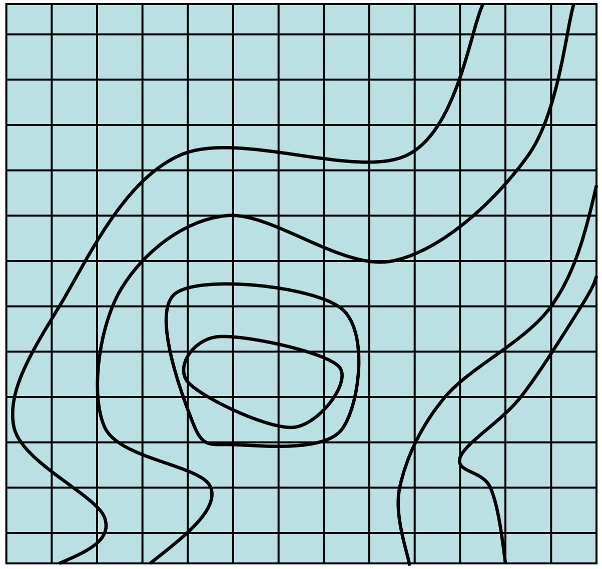
Latitude/longitude/Température
Distance/profondeur/Biomasse
Temps/Profondeur/Salinité
…

Obtention d'une grille régulière.

A partir de données en x, y, z, il s'agit d'obtenir une grille régulière avec nombre de lignes et colonnes choisies *a priori* par l'utilisateur. Il faut donc calculer une valeur pour chaque nœud de la grille à partir des données irrégulières initiales.

Le choix *a* priori du nombre de lignes et colonnes et donc du nombre de nœuds a estimer va influer sur le résultat final. *Par exemple* un grand nombre de nœuds va accroître le lissage mais augmenter les effets locaux souvent appelés "effets d'yeux".

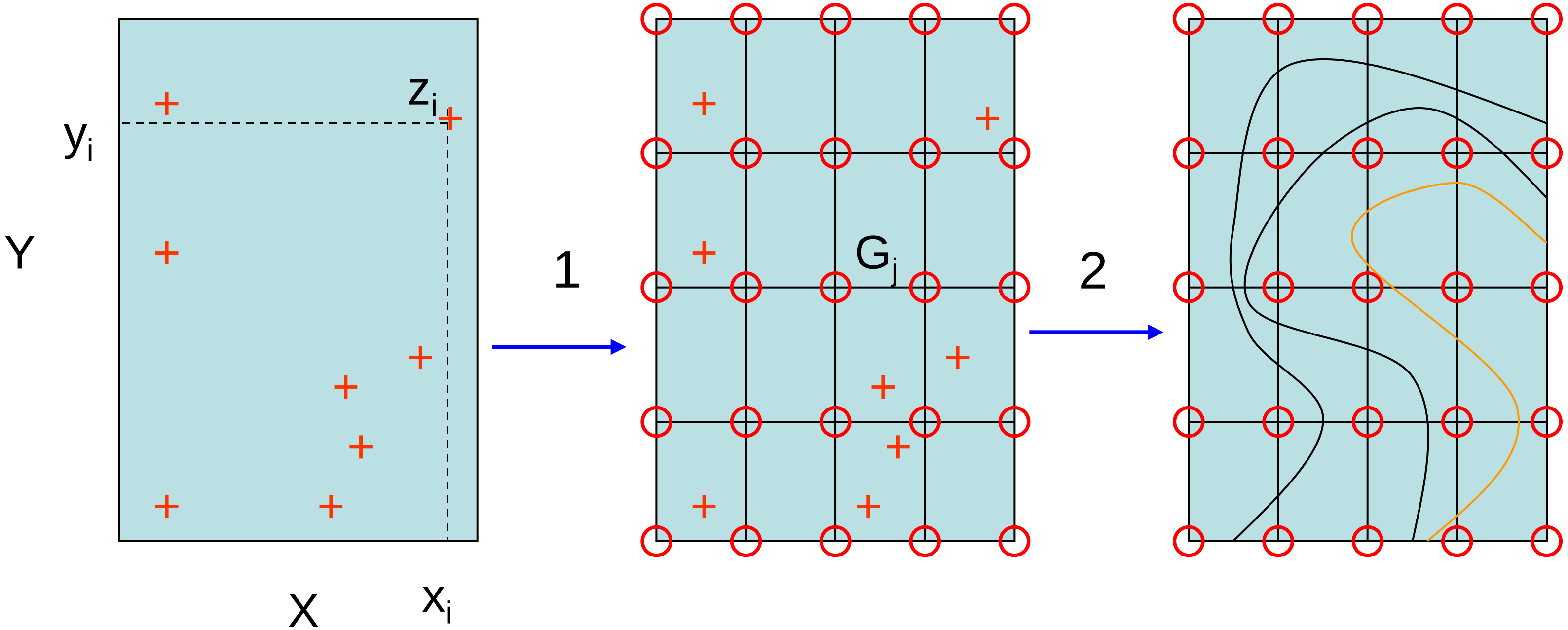




Généralités

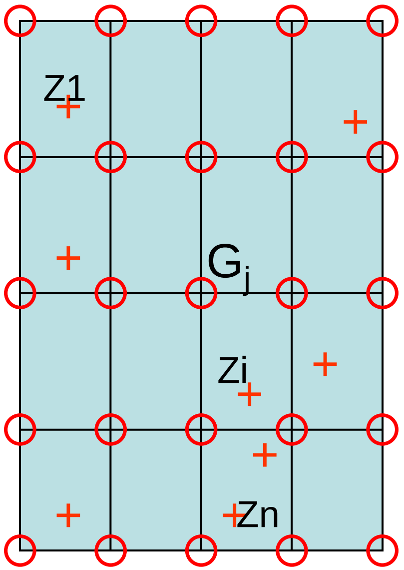
Le processus va comprendre deux étapes :

1. la construction d'une grille régulière à partir de données irrégulières du type x_i, y_i, z_i,
2. la deuxième une représentation graphique par isolignes ou surface 3D.



Formule générale :

- { Z1, Z2,...., Zn,}



$$G_j = \sum_{i=1}^{n} w_{ij} . Z_i$$

- G_j est la valeur du noeud j,
- n nombre de points utilisés pour l'interpolation,
- Z_i, la valeur du ieme point,
- W_{ij} le poids associé au iéme point, varie entre 0 et 1, la somme des n W_{ij} est égale à 1.

Pour que la solution soit non-biaisée, la somme des poids, les Wi, doit être égale à 1.

Diverses méthodes existent:

Méthodes déterministes :

- **L'inverse de la distance.**
  Méthode rapide mais qui a tendance à provoquer des "effets d'yeux".
- Le **Voisin le plus proche**.
  Méthode qui donne une représentation avec des niveaux discrets.
- **Triangulation** (Méthode de Delaunay).
  Permet de conserver des discontinuités dans les données.
  L'algorithme crée des triangles entre les points dont les cotés ne se coupent pas.
- **Minimum de courbure.** Génère des surfaces lissées, méthode rapide.
- **Régression polynomiale**. Pour données sous-tendues par des tendances à grande échelle.
- **Fonctions "Radial basis".** Méthodes très flexibles pour différents types de données.
- **Méthode de Sheppard.** Similaire à l'inverse de la distance pondérée par une méthode des moindres carrés mais moins sensible aux "effets d'yeux".
- **V4. Interpolation par spline biharmonique. Produit des surfaces lissées.**
- ETC

Méthode probabiliste :

- **Krigeage**. Une des plus flexibles pour différents types de données dont la pondération va être basée sur le structures même des données.

Outils informatiques

Des outils informatiques multiples existent pour réaliser des interpolations dans un espace xyz:

- Logiciels spécialisés : Surfeur, ODV
- Métalangages tel Matlab :
  - fonctions = *meshgrid+griddata*
- Package du Langage R
  - AKIMA
  - Spatstat
  - Gstat
  - RSAGA
  - …
- Logiciels de SIG
  - ARCGIS
- ETC

Méthodes déterministes

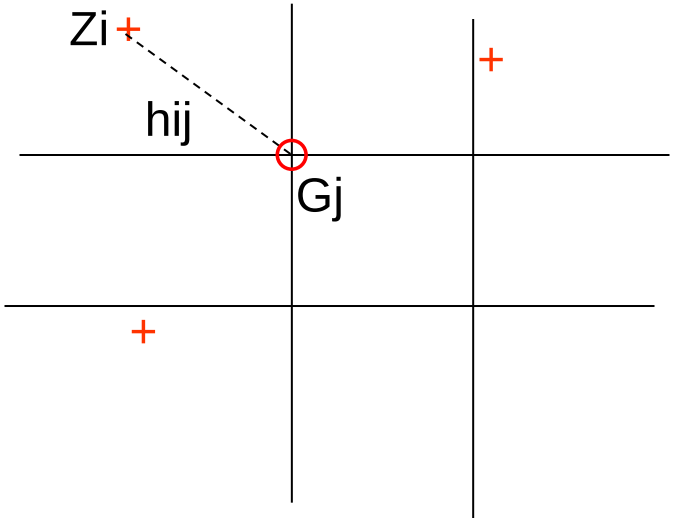
Méthode de l'inverse de la distance

Méthode de l'inverse de la distance

Gj est la valeur du nœud j,
Zi est le point i,
hij est la distance entre le point i et le nœud j,
β est la pondération puissance,
δ est le paramètre de lissage.

$$G_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{Z_i}{h_{ij}^{\beta}}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{h_{ij}^{\beta}}}$$

$$G_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{Z_i}{(h_{ij}+\delta)^{\beta}}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{(h_{ij}+\delta)^{\beta}}}$$



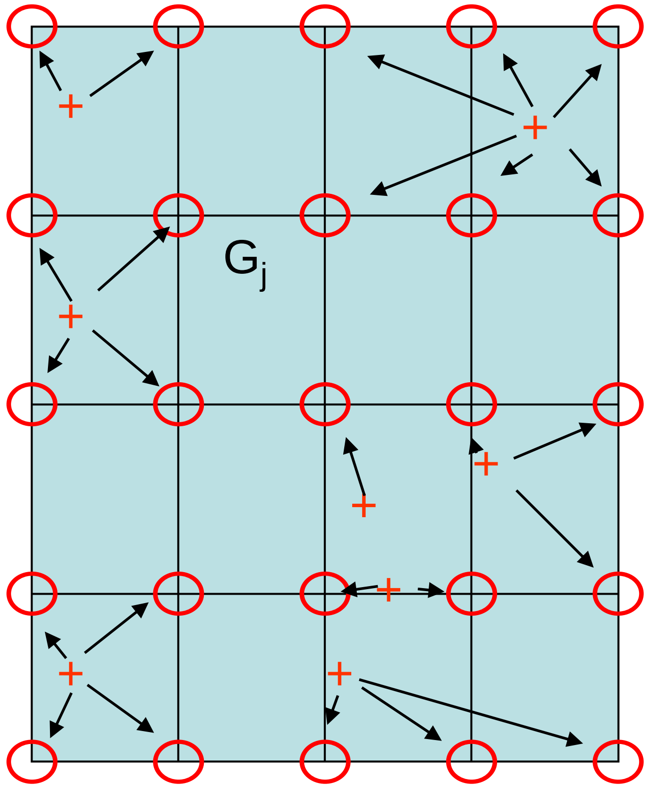
Le coefficient β va induire une pondération permettant de donner plus ou moins de poids aux points proches.
Le coefficient δ va lisser par adjonction d'une constante dans le calcul de la distance.

Méthodes déterministes

Méthode du Voisin le plus proche.

Méthode du Voisin le plus proche.

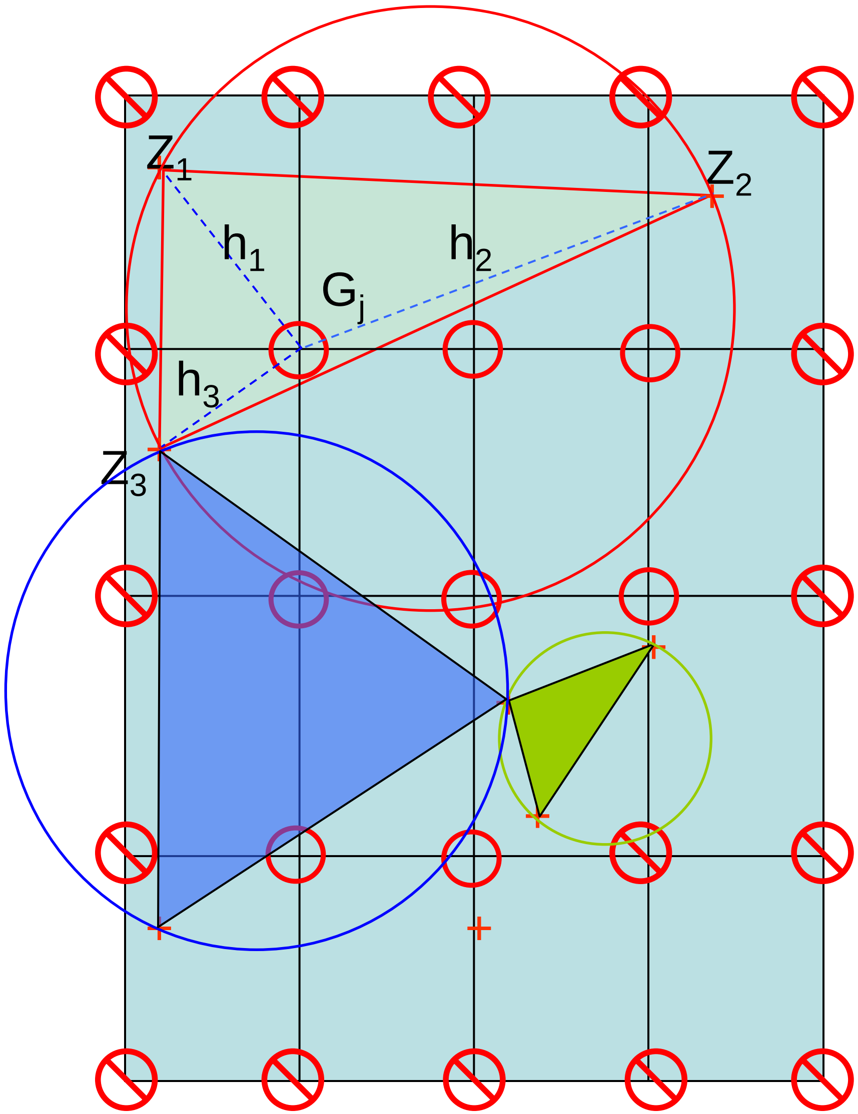
Chaque nœud de la grille prend la valeur du point observé le plus proche dans l'espace x, y.



Méthodes déterministes

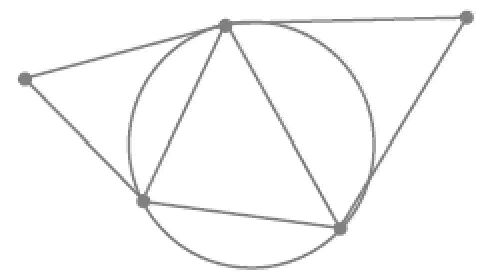
Méthode par Triangulation

Méthode par Triangulation



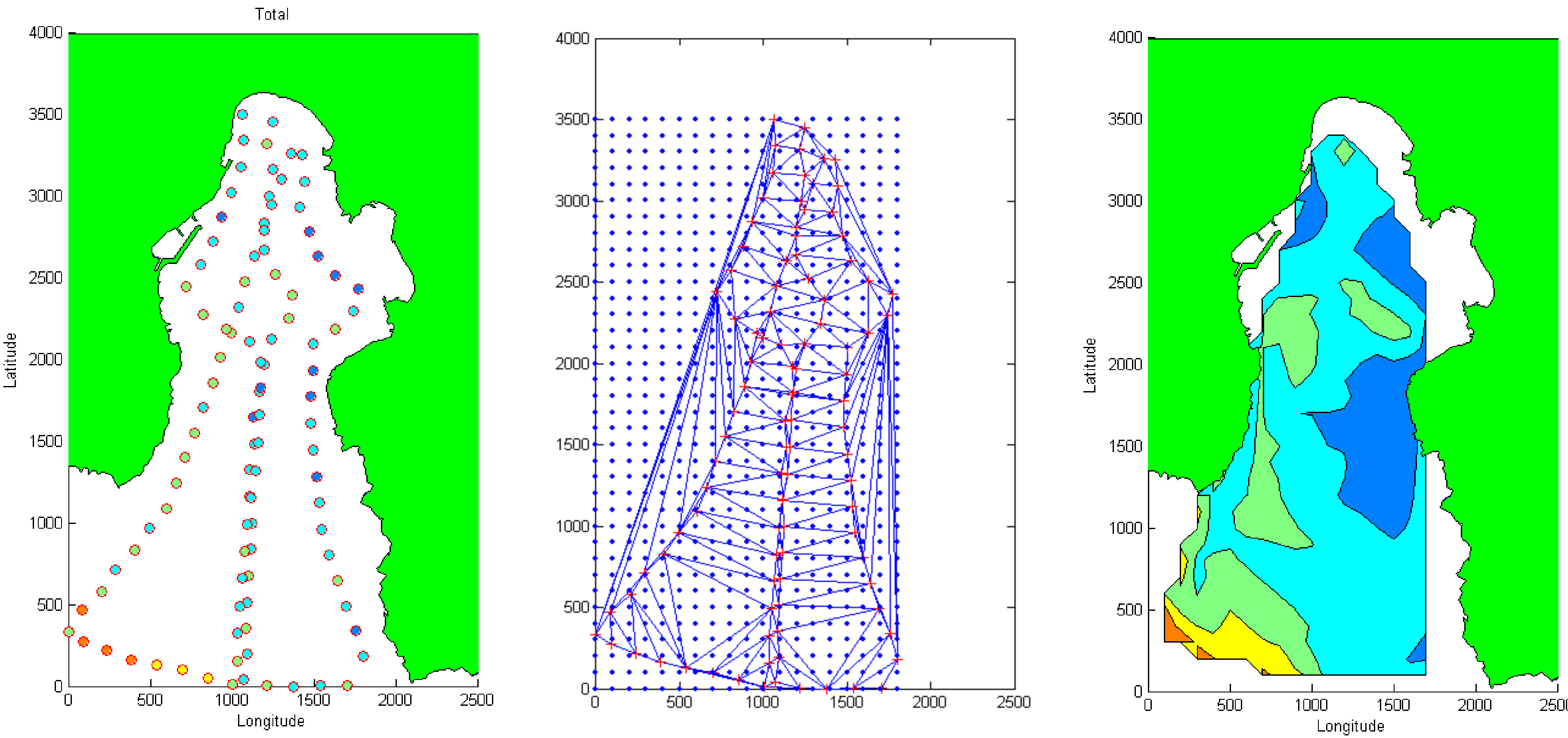
G_j est calculé à partir des 3 valeurs Z du triangle dans lequel il est situé pondérées par l'inverse de la distance h_i.

Triangulation de Delaunay - propriétés du triangle : Le cercle dans lequel chaque triangle est circonscrit ne contient que les points définissant ce triangle



Pratique : On ne peut pas calculer de valeur pour les nœuds de la grille qui ne sont pas compris dans un triangle de points.

Exemple : interpolation par triangulation.



Options de recherches des données à prendre en compte

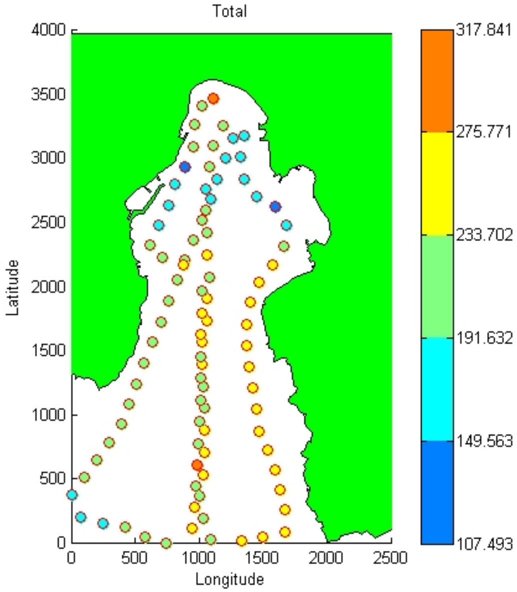
Types de recherche :

- Toutes les données : toutes les données sont prises pour l'interpolation.
- Simple : utilise un nombre de points déterminés dans tout l'espace par proximité.
- Par quadrants : divise l'espace en quatre quadrants et cherche un même nombre de point par quadrant.
- Par octants : idem que par quadrant mais huit secteurs.

Règles de recherche:

- Le nombre de données par secteur.
- Le nombre minimal de données. Si ce nombre n'est pas atteint alors il y a création d'un nœud vide.
- Nombre maximum de secteurs vides. Si un nombre supérieur de secteur est vide alors il y a création d'un nœud vide.
- Ellipse de recherche. Permet de limiter la recherche dans une ellipse d'orientation et de taille définie.

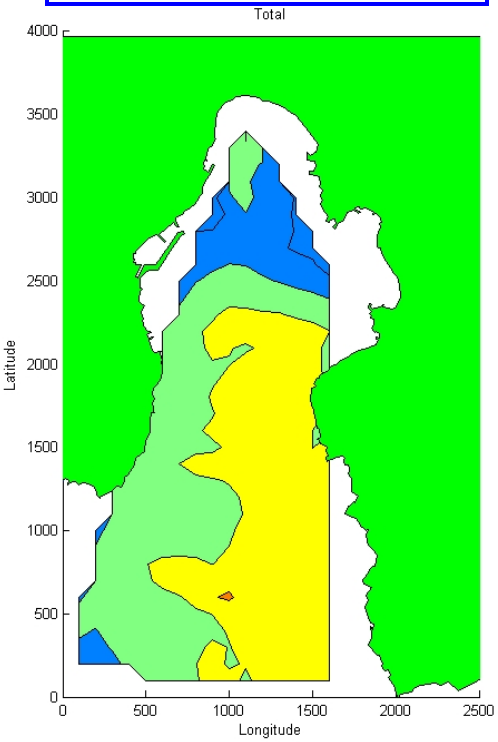
Quelques comparaisons de méthodes



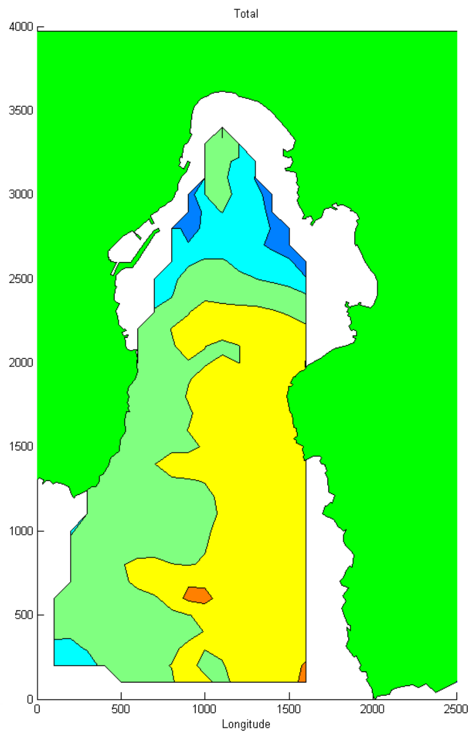
Interpolation : Linéaire, plus proche voisin, V4

Pas de la grille : 100 mètres

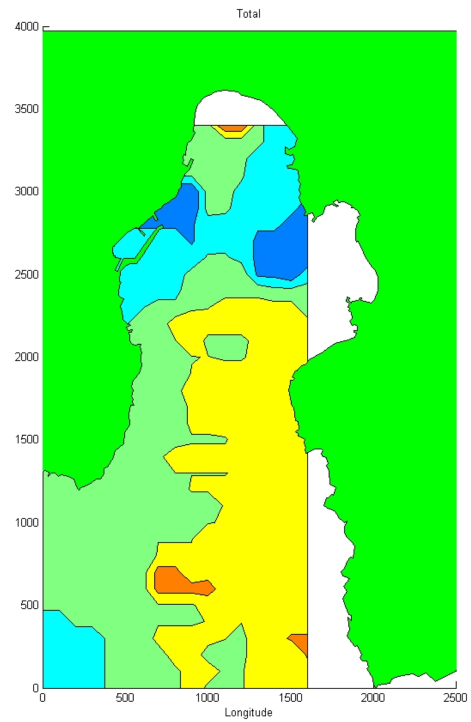
Triangle Linéaire



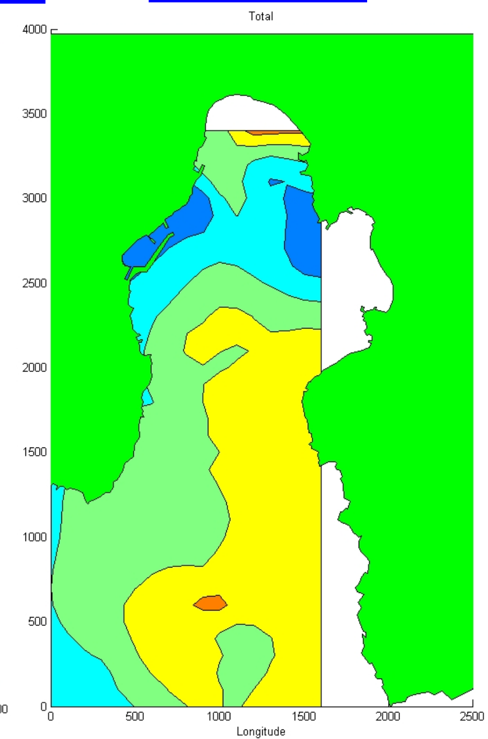
Triangle Cubique



Plus proche voisin

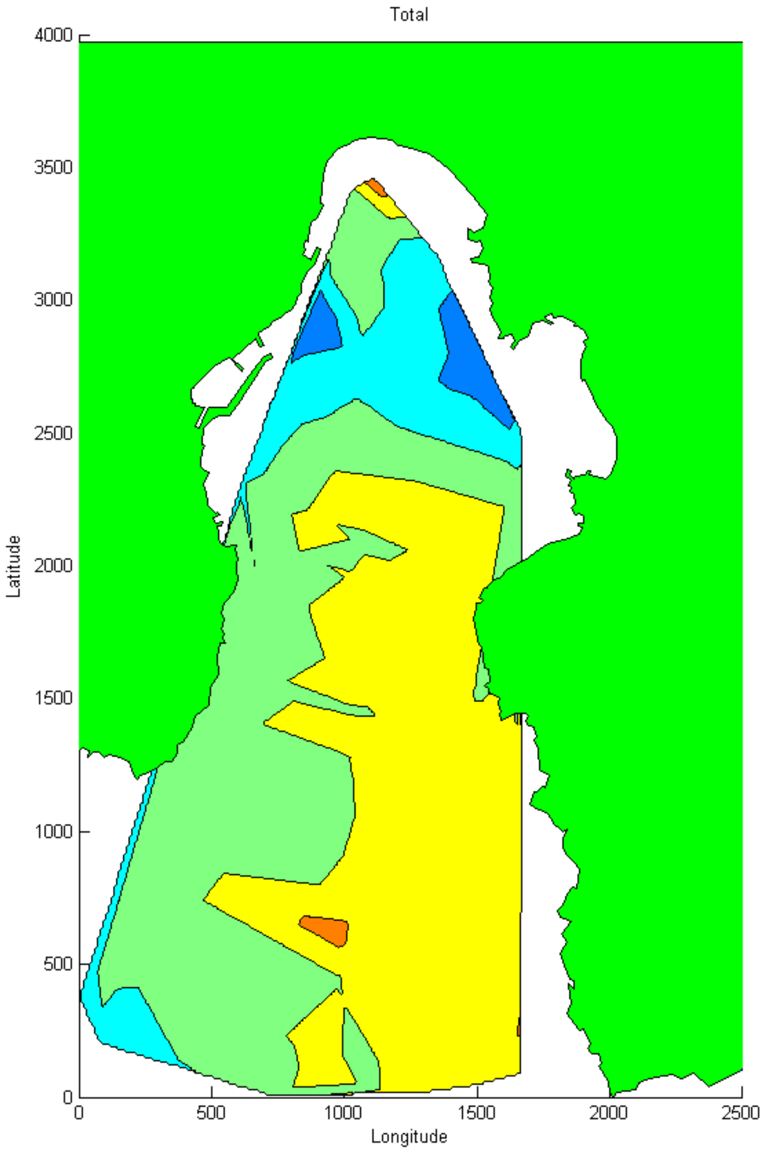


V4

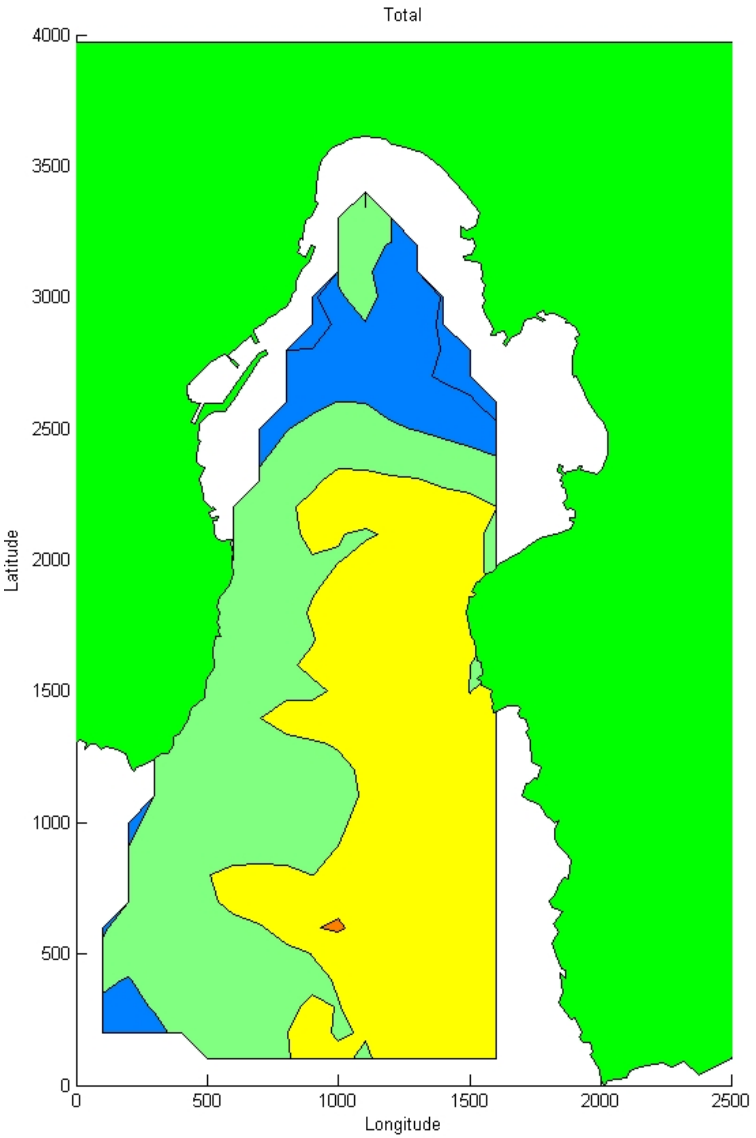


Linéaire

Pas de la grille : 10 mètres

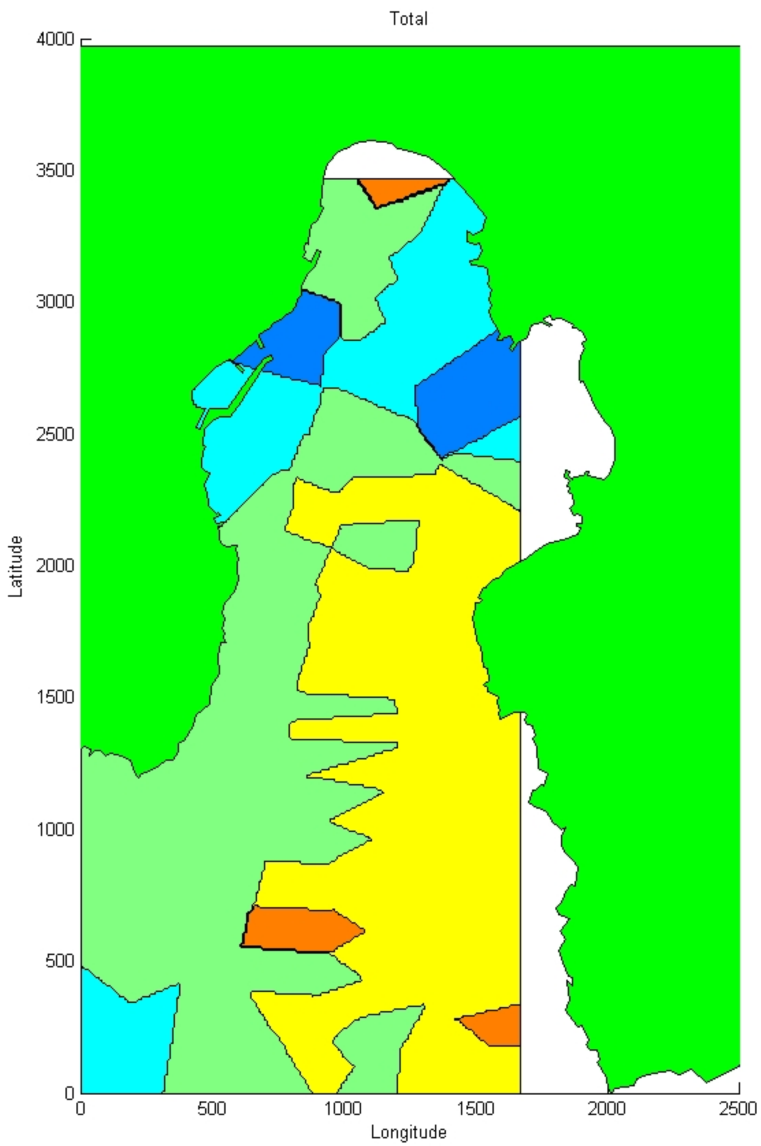


Pas de la grille : 100 mètres

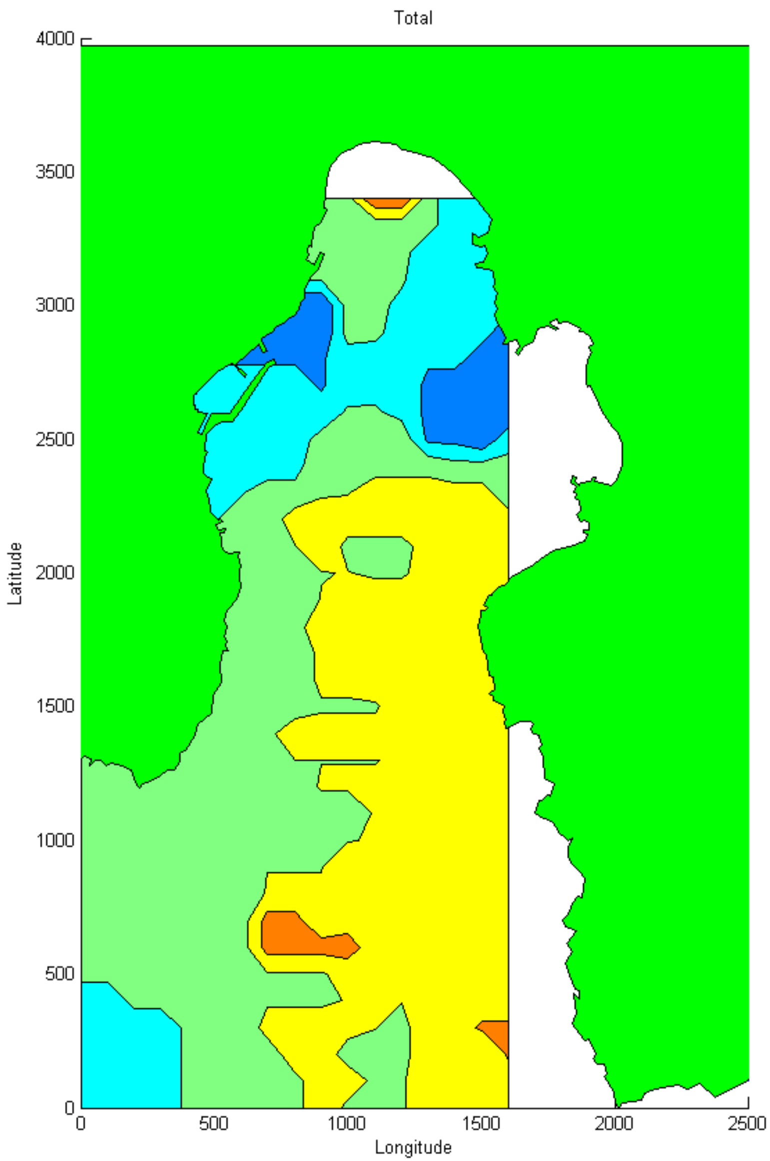


Plus proche voisin

Pas de la grille : 10 mètres



Pas de la grille : 100 mètres



Méthode probabiliste

Le Krigeage

Krigeage

Le Krigeage est une interpolation qui estime les valeurs aux points non échantillonnés (les nœuds de la grille ici) par une combinaison des données. Les valeurs observées sont pondérées par une fonction de structure qui est issue des données même. On tient ainsi compte des distances, des valeurs et des corrélations. La fonction n'est pas fixée à priori mais suite à l'analyse du *variogramme*. On considère que la valeur estimée en un point est le produit d'un processus sous-jacent.

C'est une approche probabiliste.

$G_j = \Sigma \gamma_i . Z_i$ ou γ est une pondération issue de la variabilité des données dans l'espace considéré.

Krigeage

Variogramme : mesure le degré de dissimilarité entre les points en fonction de leur éloignement (variance)

$$G_j = \Sigma \gamma_i . Z_i$$

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} (Z_i - Z_i^{'})^2$$

N(h) nombre de couple pour une distance h

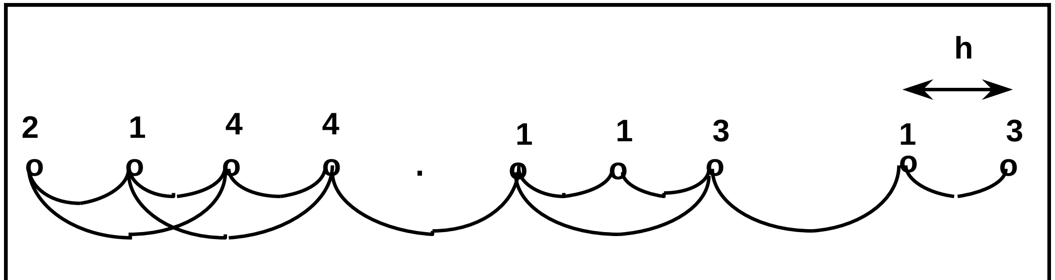


Figure: exemple d'estimation du variogramme. D'après Delhomme 1977. N(h)= 6 γ (h) = 1,5 ; N(2h) = 5 γ (2h) = 3

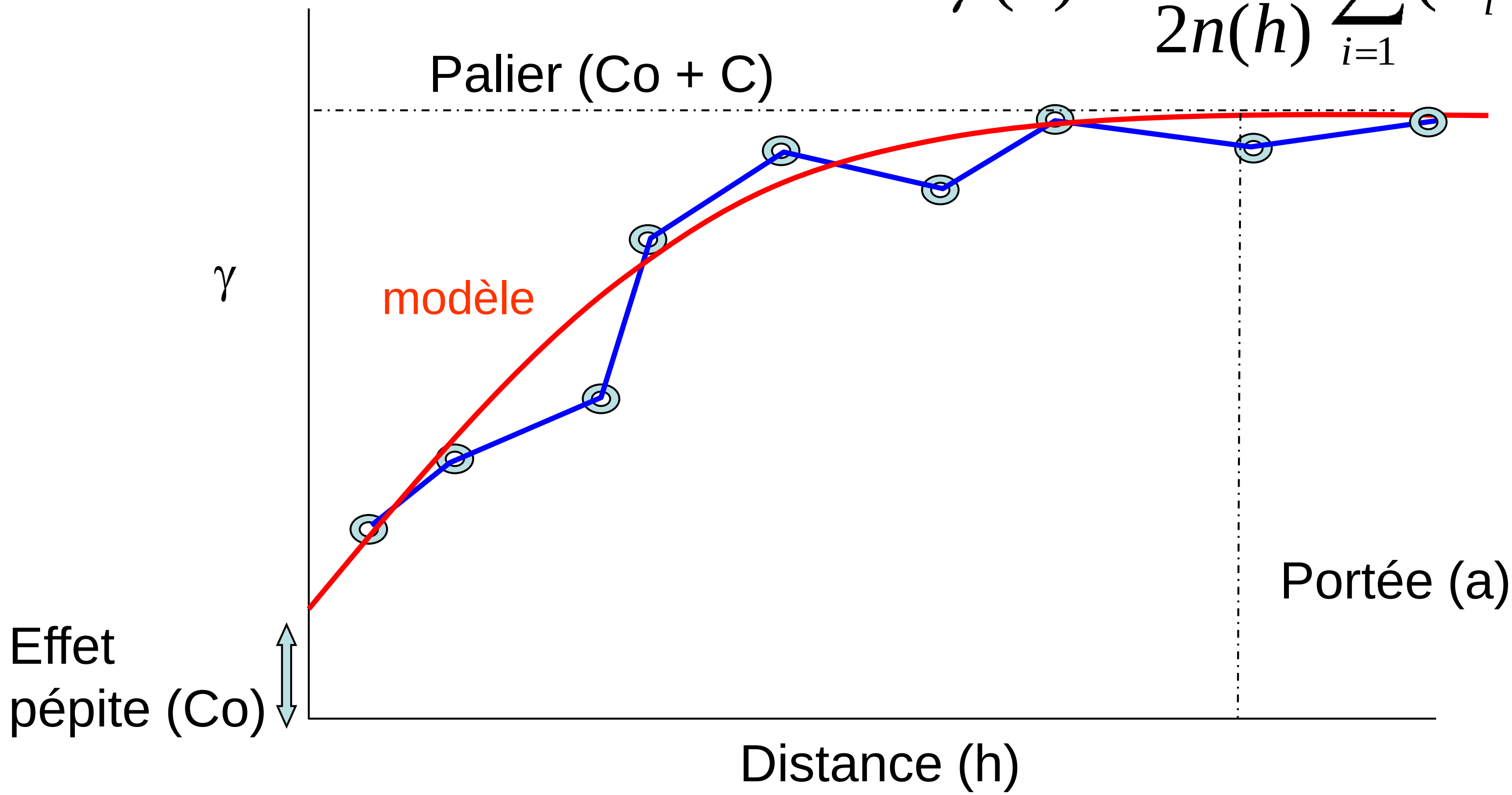
$$\sum_{i=1}^{n(h=1)} (Z_i - Z_i^{'})^2 = 1^2 + 3^2 + 0^2 + 0^2 + 2^2 + 2^2 = 18 \qquad \gamma(h=1) = \frac{18}{12} = 1.5$$

$$\sum_{i=1}^{n(h=2)} (Z_i - Z_i^{'})^2 = 2^2 + 3^2 + 3^2 + 2^2 + 2^2 = 30 \qquad \gamma(h=2) = \frac{30}{10} = 3.0$$

Krigeage

Variogramme

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} (Z_i - Z_I^{'})^2$$



Portée a : Distance où deux observations ne se ressemblent plus du tout en moyenne, elles ne sont plus liées (covariance nulle) linéairement. À cette distance, la valeur du variogramme correspond à la variance de la variable aléatoire.

Palier σ2 = Co + C : Variance de la v.a. (Var(Z(x))

Effet de pépite_ C0: Variation à très courte échelle, erreurs de localisation, erreurs d'analyse et de précision.

Modèle du variogramme

Les modèles sont des expressions numériques que l'on tente d'ajuster le mieux possible aux points des variogrammes expérimentaux. Ils serviront au calcul des valeurs des nœuds de la grille.

Type de modèles :

•Effet de pépite.

$\gamma(h) = 0$ si $h = 0$, Co si $h > 0$

•Puissance.

$\gamma(h) = C\, h^b$ $0<b<2$ (linéaire : $b=1$)

•Sphérique.

$\gamma(h) = C\, [1.5\, h/a - 0.5\, (h/a)^3]$ si $0 < h < a$

$\gamma(h) = C$ si $h \geq a$

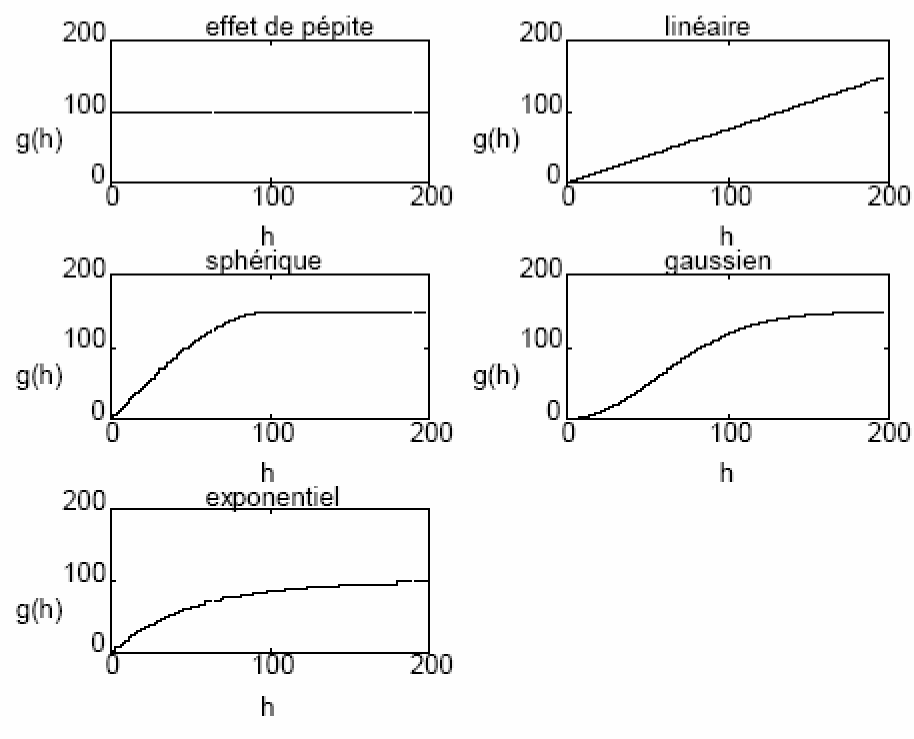
•Gaussien.

$\gamma(h) = C\, [1 - \exp(-3(h/a)^2)]$

•Exponentiel.

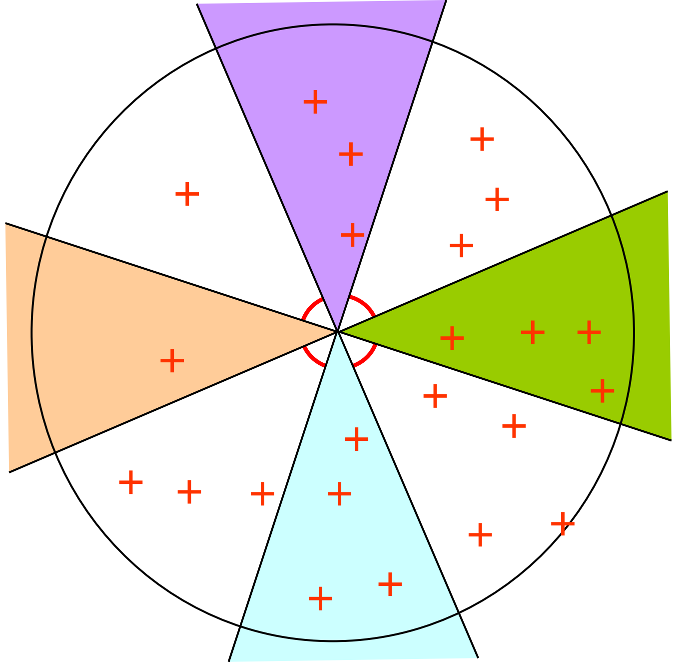
$\gamma(h) = C\, [1 - \exp(-3h/a)]$

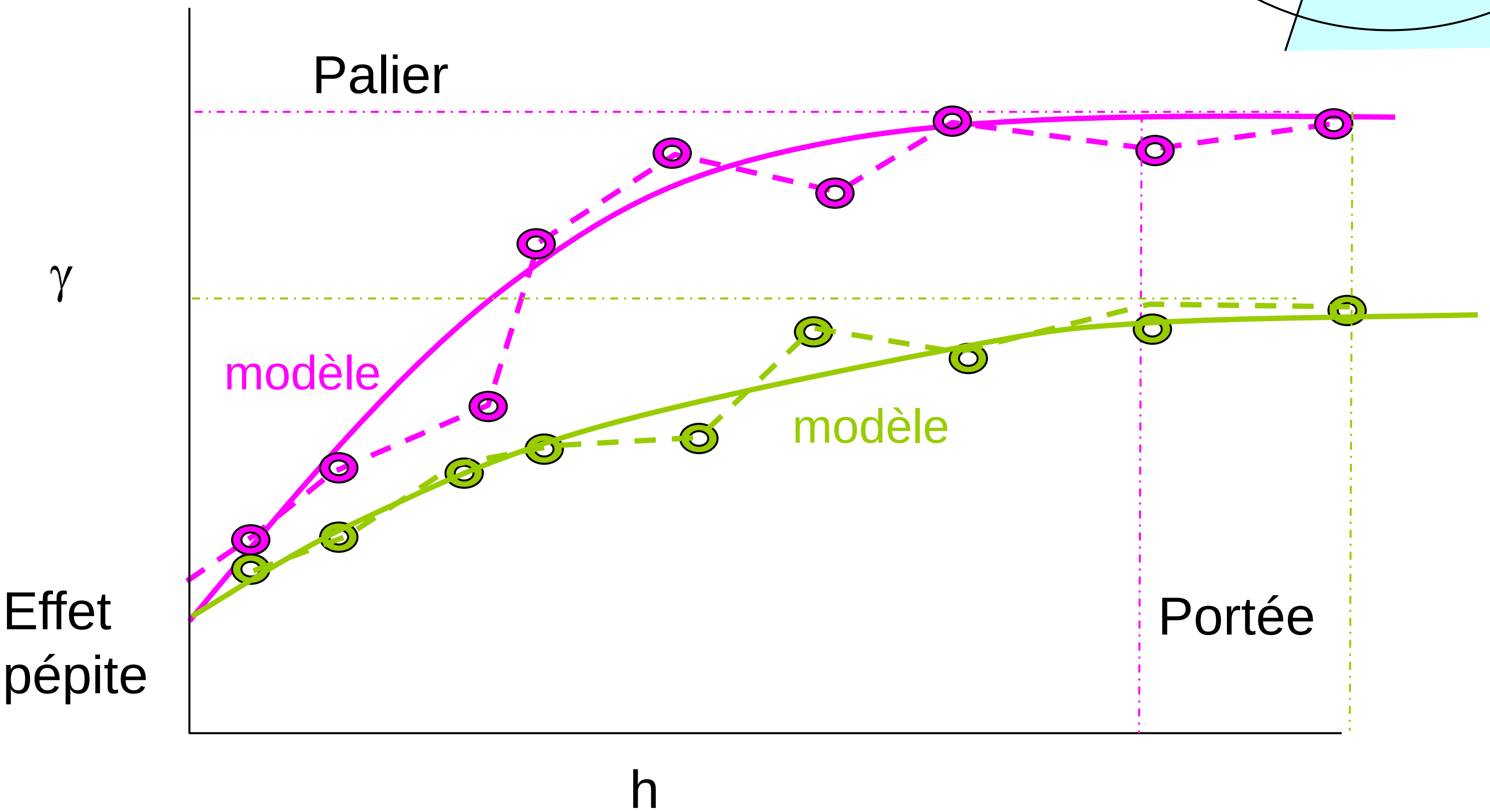
…



Krigeage

Modèle de variogramme multidirectionnel





Analyse du variogramme

Comportement à l'origine (h=0)

Mesure de la continuité du phénomène et le degré d'irrégularité.
Tangente verticale = grande irrégularité
Tangente horizontale = grande discontinuité à l'origine purement aléatoire, erreurs de mesures, structures au rang inférieur à l'échelle de l'échantillon.

Comportement à longue distance (palier et portée)

Borné : les données ont un maximum d'hétérogénéité (variance = palier). La portée est la distance à laquelle le palier est atteint. (Théoriquement deux points séparés par une distance > portée sont non corrélés). Zone d'influence, autour des points. Ce paramètre est à relier au diamètre des « patches ».
Non borné : pas de palier, la variance augmente indéfiniment.

Choix d'un modèle :

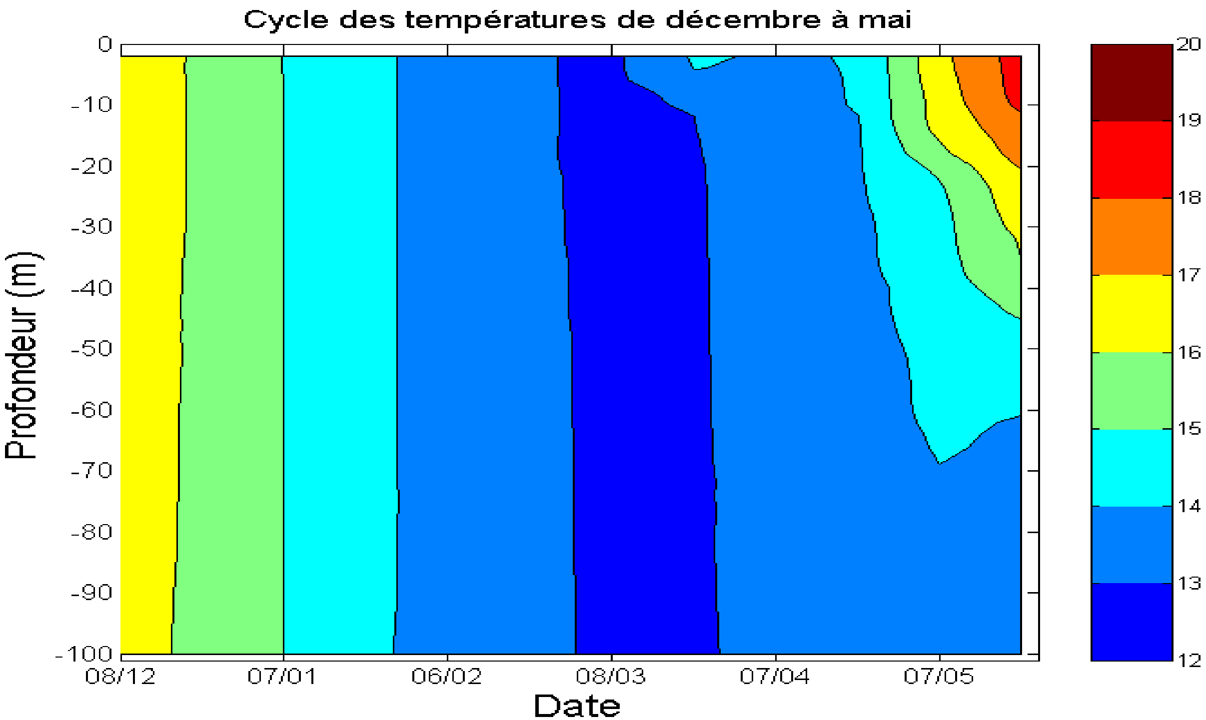
Prise en compte des caractéristiques du variogramme
Ajustement purement statistique de type moindre carré possible

Anisotropie de l’espace de XY

Anisotropie de l'espace de XY

La relation entre les normes des directions X et Y de l'espace et la variabilité des structures à décrire dans ces mêmes dimensions est un éléments à prendre en compte.

Numériquement les normes des directions X et Y vont influer sur le calcul des valeurs des noeuds de la grille à partir des valeurs observées quand elles sont pondérées par une distance prenant en compte les deux dimensions.



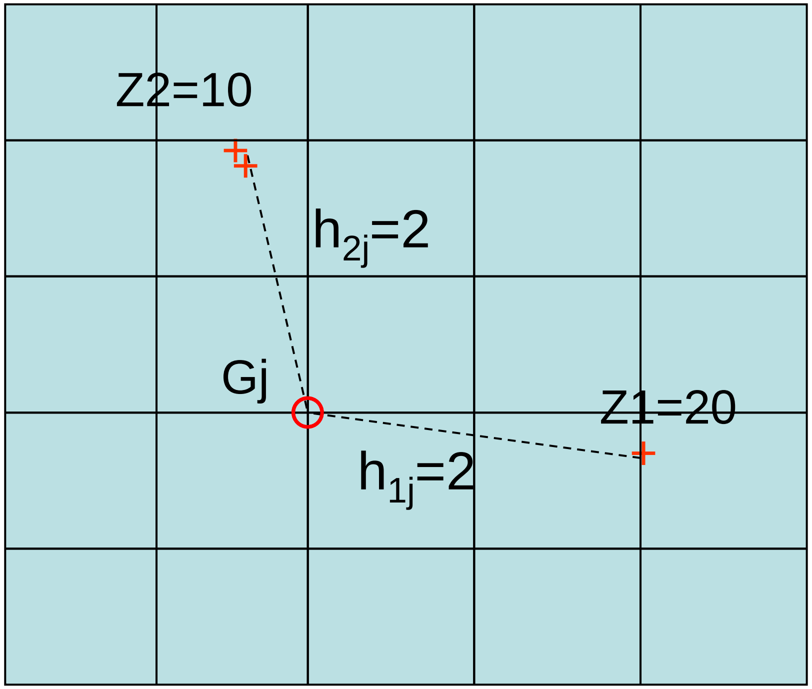
Cela est bien sur le cas quand X et Y ne sont pas de même nature : le temps et l'espace comme dans ce graphique temps/profondeur.

Mais cela doit aussi être envisagé quand les deux dimensions sont de même nature, spatiale par exemple latitude et longitude.

Anisotropie de l’espace de XY

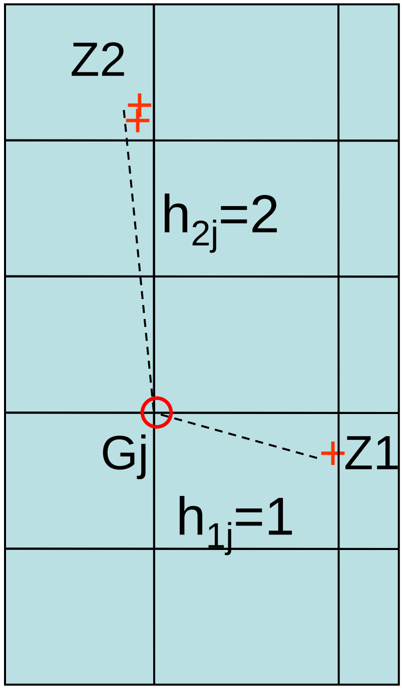
La relation entre les dimensions X et Y de l’espace va avoir un effet immédiat sur le calcul des valeurs des noeuds de la grille à partir des valeurs observées.

1X=1Y



Gj= 15

1X=2Y



Gj= 16.66

Type d’anisotropie

- Anisotropie zonale
  La variabilité du paramètre dans le champ xy varie suivant la zone considérée du champ.
- Anisotropie géométrique.
  La construction géométrique du champ introduit une variabilité différente de la variable considérée suivant les directions de l’espace.

L’anisotropie

L’anisotropie géométrique **:**

- Les variogrammes des différentes directions ont le même palier et même effet pépite mais des portées différentes.
- Les portées maximales et minimales s’observent selon deux directions orthogonales.
- Pour revenir à une situation isotrope, le principe consiste à effectuer une transformation linéaire des coordonnées spatiales c'est-à-dire une rotation en suivant les directions de plus petite et plus grande continuité

L’anisotropie zonale :

- *On observe des paliers différents selon les directions.*
- *Il n’existe pas de* modèle d’ajustement pratique pour traiter ce type d’anisotropie

Exemple d’anisotropie géométrique classique en océanographie

Utilisation d’un système de références spatiales x, y en longitude et latitudes exprimées en degré.
Exemple latitude 45.0000° N, longitude 3.5000° W

- A l’équateur
  0.001° de latitude = 111.1 m et 0.001° de longitude ≅ 111.1 m
- A Bordeaux (latitude 45 W)
  0.001° de latitude = 111.1 m et 0.001° de longitude ≅ 78.6 m
- Sur le cercle polaire (latitude=66.34°)
  0.001° de latitude = 111.1 m et 0.001° de longitude ≅ 44.59 m

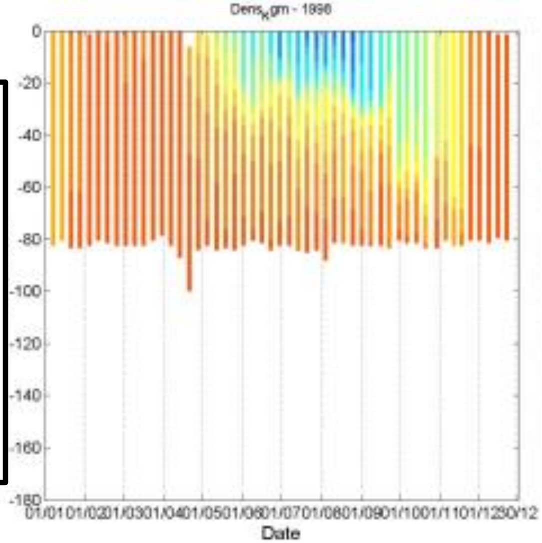
Le facteur est par construction géographique le cosinus de la latitude

Si on construit le champ spatial, exprimé en degré, d’un paramètre on introduit une anisotropie liée au cos(latitude).

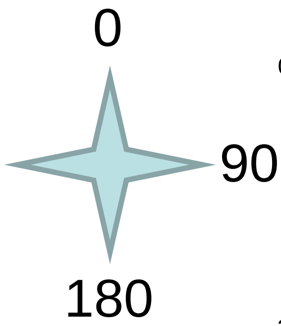
Le cas de données profondeur/temps

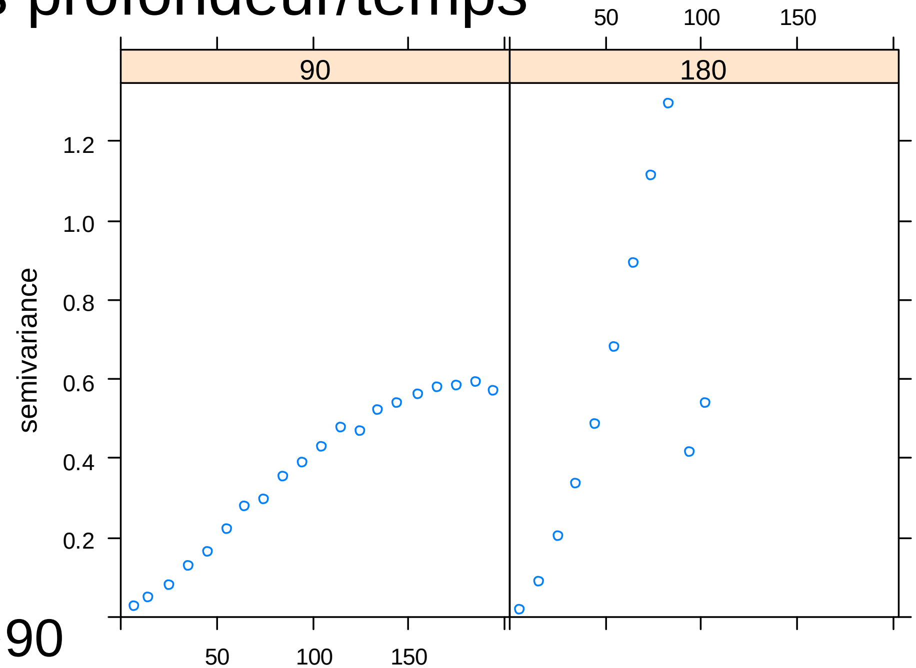
Densité

Profondeur (m)



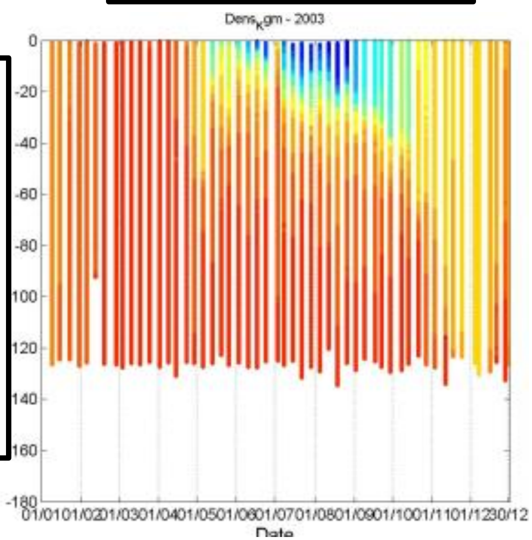
1998



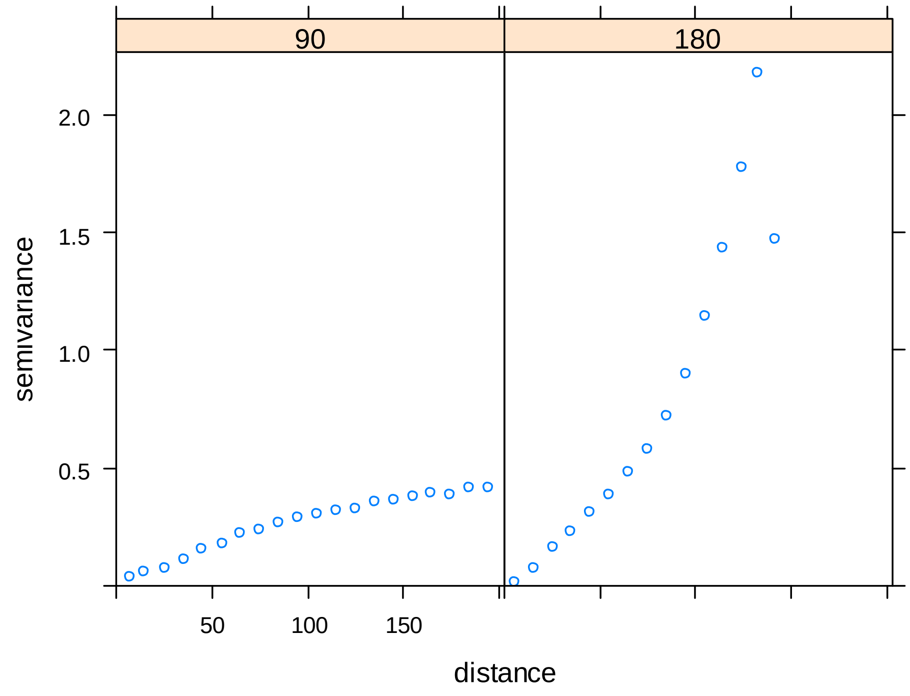


Temps (jours)

Profondeur (m)



2003



L’anisotropie

Quelques éléments pratiques :

a) Le facteur d’anisotropie géométrique obtenu avec les variogrammes expérimentaux sous estime en général le véritable facteur d’anisotropie en raison de l’utilisation d’une fenêtre angulaire et du fait que les variogrammes expérimentaux ne sont pas nécessairement orientés exactement selon les directions principales de l’ellipse d’anisotropie.

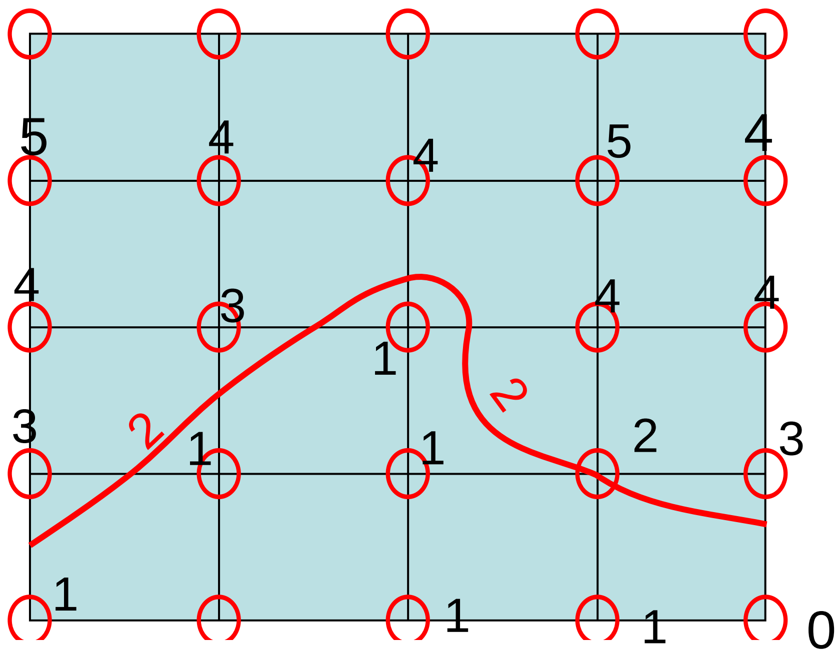
b) L’estimation correcte et à la limite, la détection, d’anisotropie géométrique n’est possible, en pratique, qu’à quatre conditions (fortement liées) devant être remplies simultanément:

- Le nombre de données est suffisant (au moins 50)
- Le facteur d’anisotropie est important (au moins 1.5)
- Une des directions utilisées dans le calcul du variogramme est près de la direction de plus grande portée.
- La fenêtre angulaire utilisée est suffisamment étroite.

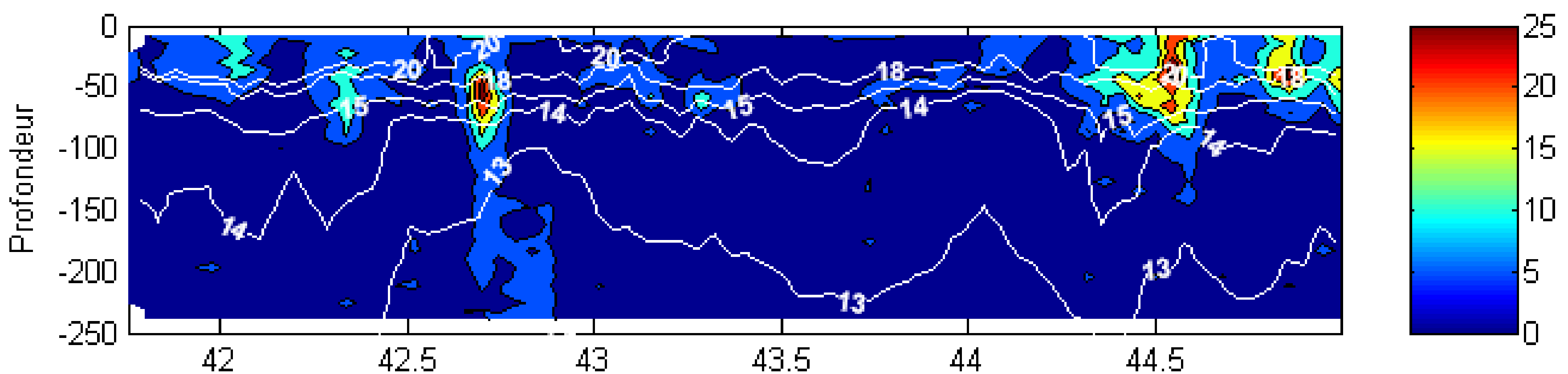
Utilisation de la grille régulière générée

Représentation de la grilles par construction des isolignes (contours)

- **Isolignes.**
  A partir de la grille il est possible de définir le nombre, l'intervalle, les isovaleurs.



Biovolume mm3/m3 et isotempérature

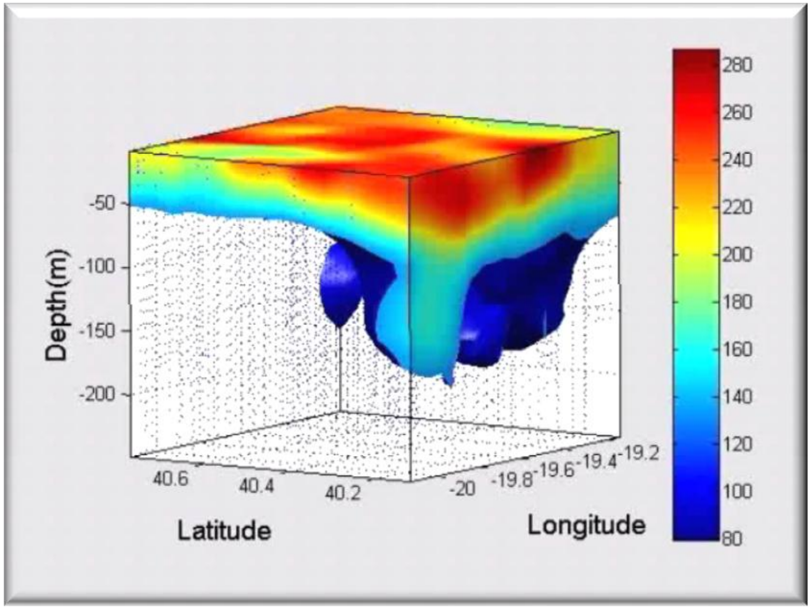


Construction de surfaces 3D.

Surfaces 3D.

Les principes de l'interpolation dans un plan 2D (X,Y) peuvent être étendu à un espace 3D

Cela crée la possibilité de représenter 4 dimensions en projetant sur une surface 3 D une représentation par couleur d'une 4eme variable.



Annexes :

Quelques exemples d’usage d’outils informatiques

Sous R

Génération de la grille régulière par la fonction interp

interp(x, y, z, xo=seq(min(x), max(x), length = 40), yo=seq(min(y), max(y), length = 40), yo=seq(min(y), max(y), length = 40), linear = TRUE, extrap=FALSE, duplicate = "error", dupfun = NULL)

Arguments

x vecteur des coordonnées en x. Pas de valeurs manquantes

y vecteur des coordonnées en y. Pas de valeurs manquantes

z vecteur des valeurs du paramètres en x et y. Pas de valeurs manquantes .

x, y, et z de même taille et n>4..

xo vecteur des coordonnées en x de la grille. 40 points par defaut.

yo vecteur des coordonnées en y de la grille

linear logical : indique si l'interpolation est linéaire ou par spline.

extrap logical : indique si l'interpolation se fait à l'exterieur du domaine de x et y?

duplicate character string : Indique comme sont traités les point dupliqués. Valeurs possibles : "error“, "strip“, "mean","median","user“ .

dupfun la fonction utilisée si duplicate= "user"

Génération de la grille régulière par la fonction interp

```
interp(x, y, z, xo=seq(min(x), max(x), length = 40), yo=seq(min(y), max(y),
    length = 40), yo=seq(min(y), max(y), length = 40), linear = TRUE,
    extrap=FALSE, duplicate = "error", dupfun = NULL)
```

Value

Une liste de 3 composants:

- Les vecteurs x et y des coordonnées de la grille réguliere en x et y, correspondant aux valeurs entrées xo, or yo.
- Une matrice des valeurs de Z de chaque nœuds de la grille

Données : fichier Chla_2006.txt

Date	jours	Prof	Temp	Salin	Chla	FLUO	densit
38721	4	0	13.951	38.193	0.234	999999	28.668
38721	4	-10	13.957	38.195	0.22	999999	28.669
38721	4	-20	13.96	38.195	0.225	999999	28.668
38721	4	-30	13.955	38.196	0.267	999999	28.67
38721	4	-50	13.955	38.195	0.311	999999	28.67
38721	4	-75	13.953	38.194	0.262	999999	28.671
38727	10	0	13.661	38.211	0.256	999999	28.744
38727	10	-10	13.656	38.212	0.281	999999	28.746
38727	10	-20	13.661	38.211	0.256	999999	28.745

…

Représentations graphiques

Fonctions :

contour() : les isolignes du paramètre Z

image() : une image dont les pixels sont les valeurs de la grille Z

filled.contour() : des couleurs de remplissage correspondant au gradient de la grille Z

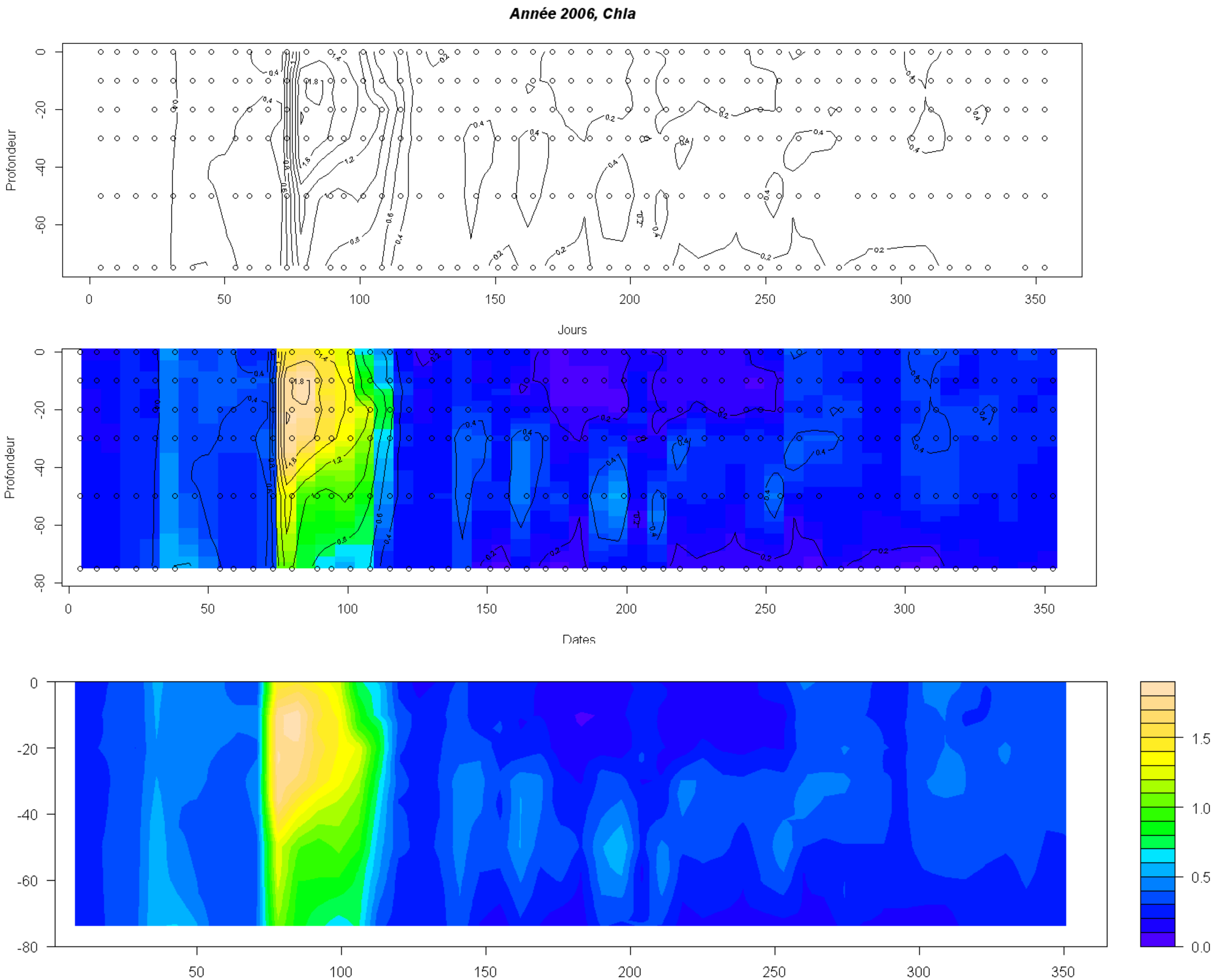
Chlorophylle A et température, Interpolation avec AKIMA Niveau 1

```
## rm(list=ls(all=TRUE))  # ferme toutes les variables
graphics.off()              # ferme toutes les fenêtres graphiques
setwd("C:/data/travail_R/Talence") # à modifier
library(akima)
##----------------------------------------------------
UU=read.table("data/Chla_2006.txt",header=TRUE, )
## ---------------------------------------------------
x=UU$jours[UU$Chla[]!=999999.000]  # sélection des données valides
y=UU$Prof[UU$Chla[]!=999999.000]
z=UU$Chla[UU$Chla[]!=999999.000]
## -----------------------------------
# définition de la grille
pas_x=seq(1,365,7) # pas de la grille en x
pas_y=seq(-80,0,2) # pas de la grille en y
## -----------------------------------
II=interp(x, y, z, xo=pas_x,yo=pas_y,linear = TRUE, extrap=TRUE, duplicate =
    "median)
#-----------------------------------------------------
```

Chlorophylle A et température, Interpolation avec AKIMA
Niveau 1 – Exemple de graphiques

```
#---------------------------------------------------------
titre="Année 2006, Chla"    # variable titre pour graphiques
#---------------------------------------------------------
windows(width=15,height=5)  # ouverture d'une fenetre
plot(x,y,xlab="Jours",ylab="Profondeur")
contour(II$x,II$y,II$z,add = TRUE)
title(main=titre, font.main=4)
#---------------------------------------------------------
windows(width=15,height=5)
image(II$x,II$y,II$z,col = topo.colors(32),
    xlab="Dates",ylab="Profondeur",axes=TRUE)
contour(II$x,II$y,II$z,add = TRUE)
title(main=titre, font.main=4)
#---------------------------------------------------------
windows(width=15,height=5)
filled.contour(II$x,II$y,II$z,color = topo.colors,)
title(main=titre, font.main=4)
#---------------------------------------------------------
```

Chlorophylle A et température, Interpolation avec AKIMA



Chlorophylle A et température, Interpolation avec AKIMA Niveau 2

```
rm(list=ls(all=TRUE))  # ferme toutes les variables
graphics.off()         # ferme toutes les fenetres graphiques
setwd("C:/data/travail_R/Talence") # Répertoire actif à modifier
library(akima)
##----------------------------------------------------
annee=2009 ## année choisie
Cannee=as.character(annee) # Passage en chaine de caractères
#lecture des données
nom_fichier=paste("data/Chla_",Cannee,".txt", sep = "")
UU=read.table(nom_fichier,header=TRUE)
# ---------------------------------------
# matrice des données x,y,z : temps, profondeur Chloro
# temps (x) ou données Chla présentes et transforme en Classe Date
x=as.Date(UU$Date[UU$Chla[]!=999999.000], origin="1899-12-30")
y=UU$Prof[UU$Chla[]!=999999.000]  # données prof (y) où données Chla présentes
z=UU$Chla[UU$Chla[]!=999999.000] # données Chla présentes
# matrice des données x,y,z : temps, profondeur Température
x1=as.Date(UU$Date[UU$Temp[]!=999999.000], origin="1899-12-30")
y1=UU$Prof[UU$Temp[]!=999999.000]
z1=UU$Temp[UU$Temp[]!=999999.000]
------------------------------
```

Chlorophylle A et température, Interpolation avec AKIMA Niveau 2

```
# définition de la grille à interpoler
# début de l'interpolation 1 janvier de l'année, Classe Date
temps_debut=as.Date(paste(Cannee,"-01-01", sep =""), origin="1899-12-30")
# fin de l'interpolation 31 décembre de l'année, Classe Date
temps_fin=as.Date(paste(Cannee,"-12-31", sep =""), origin="1899-12-30")
pas_x=seq(temps_debut,temps_fin,3) # pas de la grille en x
pas_y=seq(-80,-0,2) # pas de la grille en y
## -------------------------------------
# Interpolation de la chlorophylle
II=interp(x, y, z, xo=pas_x,yo=pas_y,linear =TRUE , extrap=FALSE, duplicate =
    "median")
#---------------------------------------------------------
# Interpolation de la temperature
KK=interp(x1, y1, z1, xo=pas_x,yo=pas_y,linear = TRUE, extrap=FALSE,
    duplicate = "median")
#---------------------------------------------------------
```

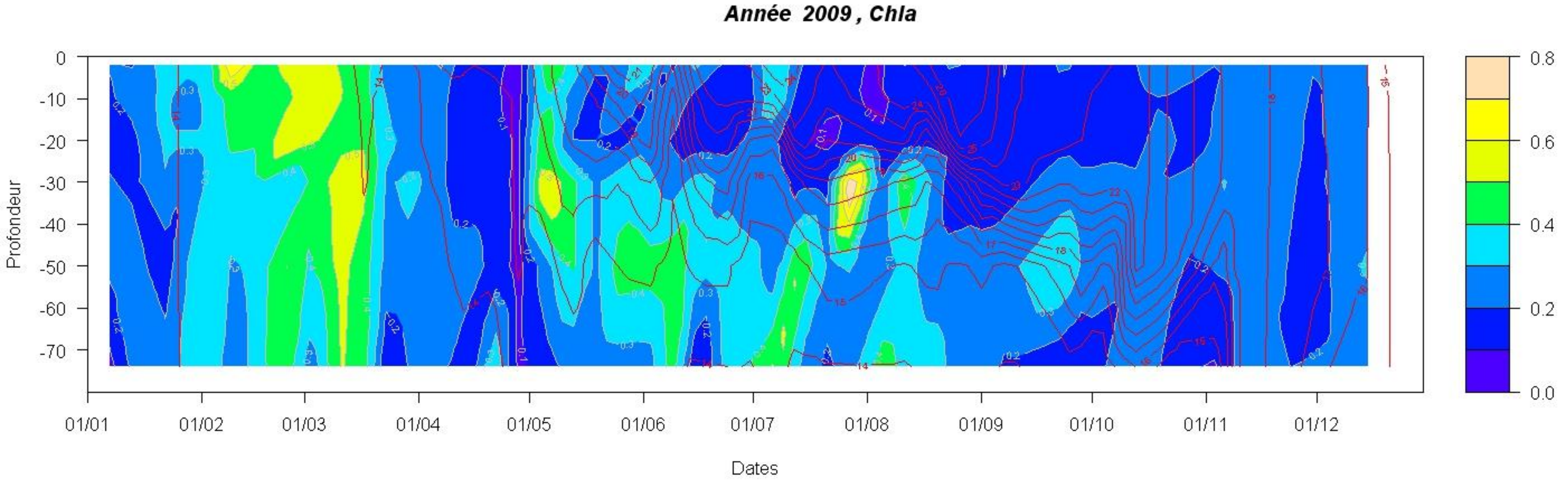
Chlorophylle A et température, Interpolation avec AKIMA Niveau 2

```
# définition de la grille à interpoler
# début de l'interpolation 1 janvier de l'année, Classe Date
temps_debut=as.Date(paste(Cannee,"-01-01", sep =""), origin="1899-12-30")
# fin de l'interpolation 31 décembre de l'année, Classe Date
temps_fin=as.Date(paste(Cannee,"-12-31", sep =""), origin="1899-12-30")
pas_x=seq(temps_debut,temps_fin,3) # pas de la grille en x
pas_y=seq(-80,-0,2) # pas de la grille en y
## -------------------------------------
# Interpolation de la chlorophylle
II=interp(x, y, z, xo=pas_x,yo=pas_y,linear =TRUE , extrap=FALSE, duplicate =
    "median")
#---------------------------------------------------------
# Interpolation de la temperature
KK=interp(x1, y1, z1, xo=pas_x,yo=pas_y,linear = TRUE, extrap=FALSE,
    duplicate = "median")
#---------------------------------------------------------
```

Chlorophylle A et température

```
#--------------------------------------------------------
windows(width=15,height=5)
temps_debut=paste(Cannee,"-01-01", sep ="")
temps_fin=paste(Cannee,"-12-31", sep ="")
filled.contour(II$x,II$y,II$z,xaxp=c(min(II$x),max(II$x),12),color = topo.colors,
    levels=seq(from = 0, to = max(z), by=0.1),
    plot.axes={
        axis.Date(1,at=seq(as.Date(temps_debut),as.Date(temps_fin),
                by="months"),label=TRUE,  format="%d/%m")
        axis(2,at=seq(-70,0,10),label=TRUE)
        contour(II$x,II$y,II$z,levels=seq(from = 0, to = max(z),
                        by=0.1),col=8,add=TRUE)
        contour(KK$x,KK$y,KK$z,add = TRUE,
                col="red",levels=seq(from = 12, to =28, by=1))
     },
     xlab="Dates",ylab="Profondeur",axes=TRUE)
title(main=titre, font.main=4)
```

Chlorophylle A et température



Avec Matlab

1) la construction d'une grille régulière

A- la grille

Générer la grille régulier (n ligne, m colonne) par l’utilisation de la fonction **meshgrid**.

[XI,YI] = **meshgrid**(Vx,Vy)

construit les coordonnées des points de la grille pour les valeurs Vx et Vy sous forme de deux matrices répétant soit n vecteurs lignes identiques Vx soit m vecteurs colonnes identiques Vy.

exemple :

Vx = [1 2 3] ; Vy = [10 11 12 13 14]

[XI,YI] = **meshgrid**(Vx, Vy) ;

XI =

1	2	3
1	2	3
1	2	3
1	2	3
1	2	3

YI =

10	10	10
11	11	11
12	12	12
13	13	13
14	14	14

1) la construction d'une grille régulière
B- Calcul des valeurs pour chaque nœud de la grille.

Méthodes proposées part Matlab

- **Triangulation** (Méthode de Delaunay). Permet de conserver des discontinuités dans les données. L'algorithme crée des triangles entre les points dont les cotés ne se coupent pas.
  - ‘linear' Interpolation linéaire (par défaut)
  - **'**cubic‘ Interpolation “cubique” .

- Interpolation par **le Voisin le plus proche**. 'nearest' «Nearest neighbour interpolation ».

- ‘**V4**' MATLAB 4 griddata method

Interpolation par la fonction « ***griddata*** »

Interpoler avec la fonction **griddata**

ZI = **griddata**(x,y,z,XI,YI,methode)

Ou

- x,y,z sont les p triplés des données initiales,
- XI la matrice contenant les valeurs des m coordonnées de la matrice interpolée sur l'axe des X (XI = m vecteurs lignes identiques)
- YI la matrice n x m contenant les valeurs des n coordonnées de la matrice interpolée sur l'axe des Y (YI = n vecteurs colonnes identiques).
- methode = une des méthodes disponibles.

L'interpolation devra tenir compte des relations entre x et y liées à l'anisotropie possible de cet espace.

Exemple de la prise en compte de l'anisotropie de l'espace

Transformation des x et y dans le cas de données x est un temps en jour et y une profondeur en mètre.

```
pas_horz=15;          % pas d'interpolation  des X en jour
pas_vert=1;           % pas d'interpolation   en mètre

facteur=10;           % anisotropie entre 1 mètre et 1 jour, ici 10 jours = 1 m

 x=x/facteur;         %  réduction de l'échelle des x (jours)

methode='linear';     % choix de la methode linaire

[XI,YI] = meshgrid((min(x):pas_horz:max(x)),(min(y):pas_vert:max(y)));
% génère une grille du minimum au maximum des séries x et y avec les pas
% choisis.

ZI = griddata(x,y,z,XI,YI, methode);

XI=XI*facteur ;  % rétablissement des valeurs des X à interpoler.
x=x*facteur ;    % rétablissement des valeurs de x initiales
valcont=([  11 13 15 17 21 23 25 27 30 ] ); valeurs des isolignes
title('Cycle des températures de 1999 à 2005','FontSize',18);
  caxis([12 28]);
  contourf(XI,YI,ZI,valcont);
```

Construction des isolignes ou d’isosurfaces.

Utilisation de la fonction **contour** et **contourf**.

contour(XI,YI,ZI) : dessin de lignes d’isovaleurs dans un espace à 2 dimensions.
contourf(XI,YI,ZI) : dessin de surfaces d’isovaleurs dans un espace à 2 dimensions.
[C,h] = contourf(XI,YI,ZI,valcont); ou valcont est le vecteur des valeurs des isolignes.
Pour indiquer les valeurs à écrire sur les isolignes.
clabel(C,h); n’indique les étiquettes que sur les isolignes des valeurs du vecteur v.

```
valcont=([  11 13 15 17 21 23 25 27 30 ] );  valeurs des isolignes
title('Cycle des températures de 1999 à 2005','FontSize',18);
    caxis([12 28]);
    contourf(XI,YI,ZI,valcont);
```