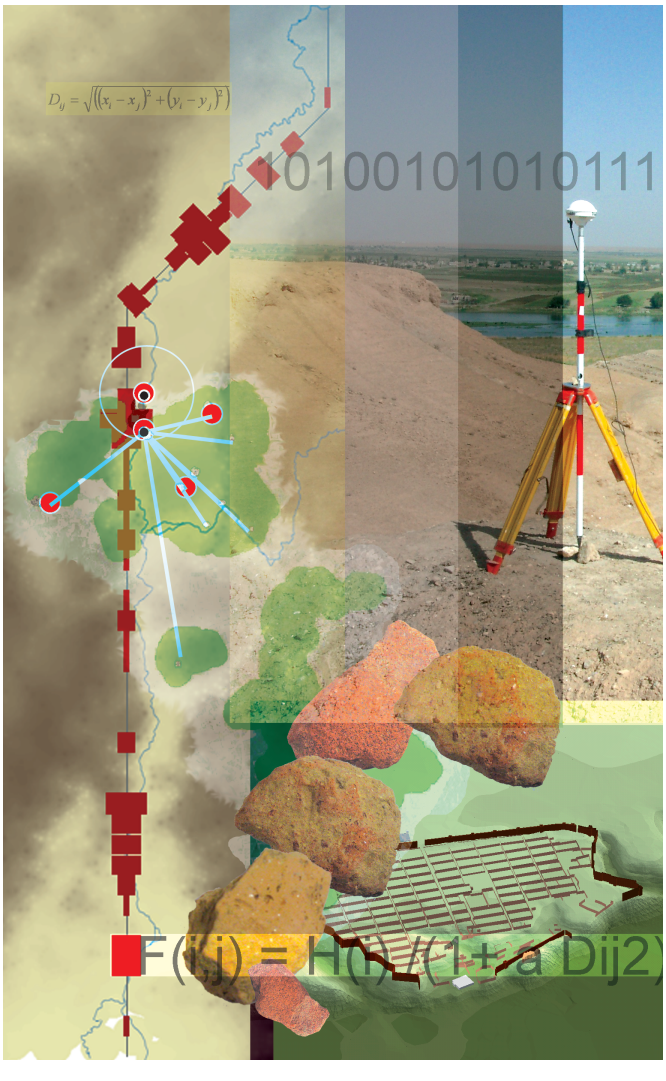
ECOLE THEMATIQUE

Géomatique, Analyse & Modélisation Spatiale en Archéologie

Réseau ISA
Information Spatiale et Archéologie
http://www.univ-tours.fr/isa

du 12 au 17 septembre 2005
à Messigny et Vantoux (Côte d'Or)

Support de cours - **Constitution d'un MNT à partir de relevés GPS (S. Aussel, L. Saligny)**



CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Chrono-Ecologie, UMR 6565, Besançon
Archéologie, Culture et Société, UMR 5594, Dijon
UNIVERSITÉ DE BOURGOGNE
Maison des sciences de l'homme Dijon
Patrimoines, Espaces, Mutations
UMS 2913 MSH LEDOUX
Institut national de recherches archéologiques préventives
UNIVERSITÉ DE FRANCHE COMTÉ

CONCEPTION D'UN MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN (MNT) A PARTIR DE RELEVES GPS

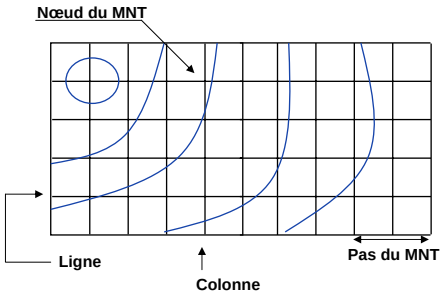
École Thématique : Géomatique, Analyse & Modélisation Spatiale en Archéologie (12/09/2005 – 17/09/2005 Dijon)

Sandra Aussel, Laure Saligny (Pôle Géomatique et Cartographie, MSH Dijon)

Représentation des données altimétriques

➔ Modèle Numérique de Terrain (MNT)

Le MNT est constitué d'une grille régulière de points. A chaque point d'intersection de la grille est associée une altitude et la distance entre deux points voisins suivant les axes est appelé le pas du MNT



Autres appellations :

- Modèles numériques d'élévation = *digital elevation model*
- Modèles numériques d'élévation de terrain
- Modèles numériques altimétriques (MNA)

Acquisition des données altimétriques

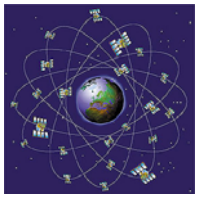
⇨ Acquisition directe par des méthodes de topométrie : **Levés sur le terrain**

⇨ Restitution photogrammétrique de photographies aériennes : **Stéréoscopie**

⇨ Corrélation automatique **d'images satellitaires**

⇨ **Numérisation** (vectorisation) de courbes de niveau provenant de cartes

GPS Différentiel



Constellation

Station de référence implantée (Syrie) : GPS différentiel en temps différé

- Par US Departement of Defense (DOD)
- 24 satellites, situés à 20 200 Km de la Terre ; 6 plans orbitaux
- 5 stations de contrôle
- Information de position, de vitesse et de temps
- Ondes radioélectriques sur deux fréquencesL1 et L2 produisant des codes pseudo-aléatoires (code P et code C/A) et une phase
- Deux modes de positionnement : absolu ou relatif (en temps réel ou en temps différé)

Fonctionnement du GPS

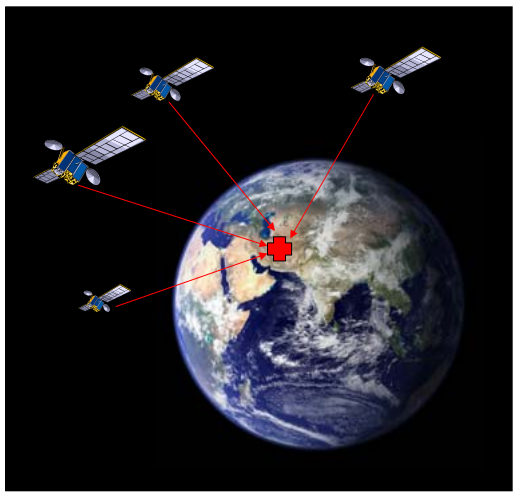
1 – Mesure de la distance

2 – Intersection spatiale
(Trilatération)
4 satellites minimum

3 – Mesures précises du
Temps (Erreurs d'horloges)

4 – Positionnement
des satellites

5 – Correction des erreurs
atmosphériques



Précision du GPS

Dépend :

1 – De la technique utilisée

2 – Du type de récepteur

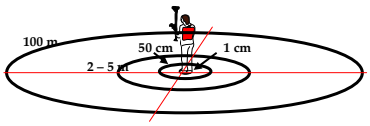
3 – De la position et
du nombre de satellite

4 – Du temps d'observation

Précision

● **Planimétrique :**
- Mode autonome, sans correction : < 100 m
- Mode différentiel sur le code (temps réel) : 50 cm / 1m
- Mode différentiel sur le code (post-traité) : < 50 cm
- Mode différentiel sur la phase : 1 à 30 cm

● **Altimétrique :** (3 fois < à la précision planimétrique)
- Mode autonome, sans correction : < 150 m
- Mode différentiel sur le code : < 3 m
- Mode différentiel sur la phase : < 1 m



Notions générales

Les semis de points ou les courbes de niveaux obtenus lors des relevés GPS, peuvent être utilisés pour créer des modèles numériques de terrain, mais également des surfaces triangulaires telles que les TIN, à partir de méthodes d'interpolation.

A partir de points dispersés de manière homogène ou non, les méthodes d'interpolation vont créer une grille régulière où l'altitude sera estimée à partir des points les plus proches. Plusieurs méthodes, plus ou moins adaptées selon les cas, permettent de convertir ces données en une image maillée ou raster.

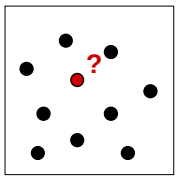
La précision du MNT va dépendre du semis de points, de sa répartition et de la résolution requise lors du traitement des données, mais elle est également fonction de la qualité des données initiales (levés de terrain, …) et des processus de traitement de l'information.

INTERPOLATION SPATIALE

Comment à partir d'un nombre limité de mesures, peut-on avoir une représentation fidèle et non lissée d'un phénomène localisé dans l'espace?

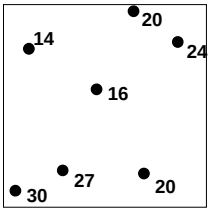
Interpolation ?

◆ Les techniques d'interpolation permettent d'estimer des valeurs situées sur des lieux non échantillonnés, à partir de données mesurées, localisées dans l'espace.



Principe de l'interpolation

◆ A partir d'un ensemble de points mesurés de manière aléatoire ou non, on peut modéliser une surface continue.



13	14	16	**20**	23
14	14	16	19	**24**
18	16	**16**	18	22
24	22	19	19	21
30	**27**	23	**20**	20

Domaines d'application

Topographie, Hydrologie, Environnement, Aménagement du territoire, etc.

Que peut-on interpoler?
- Élévation
- Température, Précipitations, Concentrations chimiques

Ex.
- Perméabilité du sol d'un bassin versant
- Altitude d'un semis de points disposés de manière irrégulière dans l'espace
- Concentrations en polluants dans différentes régions
- Teneur en azote mesurée sur des échantillons de sol répartis géographiquement

Visualisation du relief
Exemple du Mont St-Helens (EU)

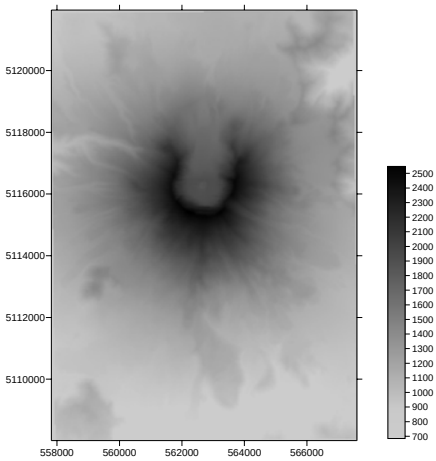
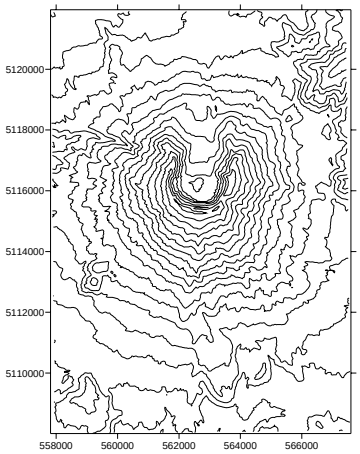


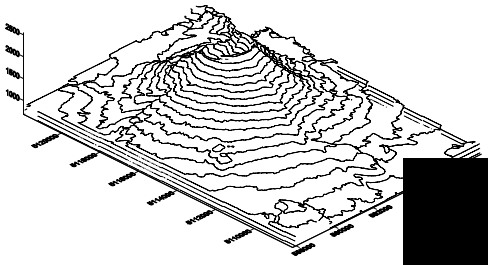
Image raster : MNT



Isolignes

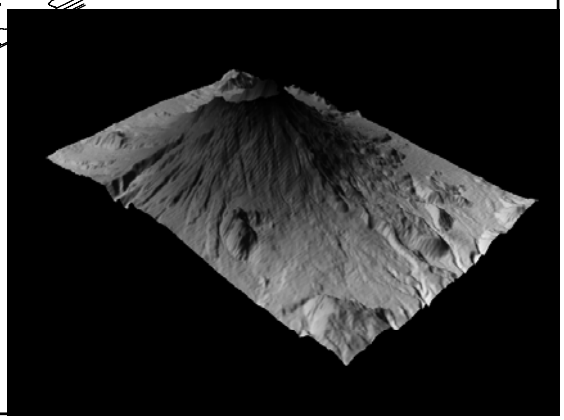
Source : fichier de données livré avec le logiciel Surfer

Visualisation du relief
Exemple du Mont St-Helens (EU)



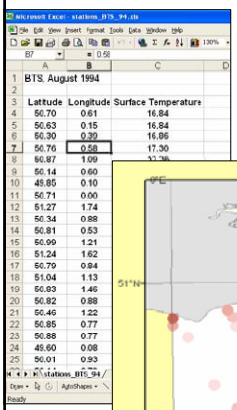
Isolignes : vue 3D
(Wireframe)

Modèle surfacique
3D



Source : fichier de données livré avec le logiciel Surfer

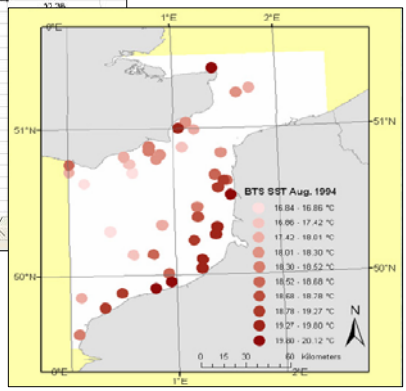
Exemple environnemental

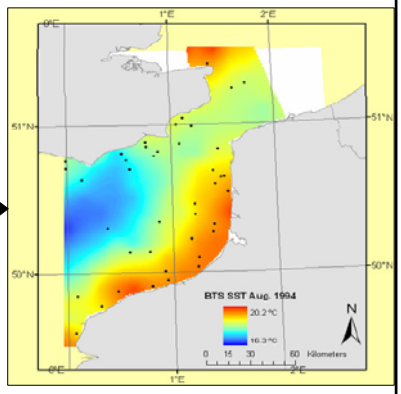


	A	B	C
1	BTS, August 1994		
2			
3	Latitude	Longitude	Surface Temperature
4	50.70	0.61	16.84
5	50.63	0.15	16.84
6	50.30	0.39	16.86
7	50.76	0.58	17.30
8	50.87	1.09	
9	50.14	0.60	
10	49.85	0.10	
11	50.71	0.00	
12	51.27	1.74	
13	50.34	0.88	
14	50.81	0.53	
15	50.99	1.21	
16	51.24	1.62	
17	50.79	0.84	
18	51.04	1.13	
19	50.93	1.46	
20	50.82	0.88	
21	50.46	1.22	
22	50.85	0.77	
23	50.88	0.77	
24	49.60	0.08	
25	50.01	0.93	

Ex. Étude sur l'environnement physique de la Manche Orientale

➥ L'un des paramètres étudiés :Température & Salinité de l'eau





Source : Poster ESRI 2004, intitulé : Un atlas Numérique pour l'Environnement physique de la Manche Orientale

Méthodes d'interpolation

- Nombreuses méthodes d'interpolation

- Le choix de la méthode va dépendre :
  - Type de données (facteur étudié)
  - Type d'échantillonnage (régulier, aléatoire, …)
  - Distribution spatiale du semis de points
  - Temps de traitement
  - Capacité de l'ordinateur (mémoire vive, disque dur)

Méthodes Déterministes/ Géostatistiques

Méthodes déterministes :

- Modèles mathématiques à plusieurs paramètres
- Prise en compte de la position géométrique des données et de la distance entre les points

Ex. Triangulation, Inverse des distances (IDW), Splines

Méthodes géostatistiques (Stochastiques) :

- Variables aléatoires associées à des probabilités
- Utilisation de fonction aléatoire
- Prise en compte de la corrélation spatiale des données
- Calcul des erreurs de prédiction, calcul de probabilité

Ex. Krigeage, cokrigeage

Méthodes déterministes

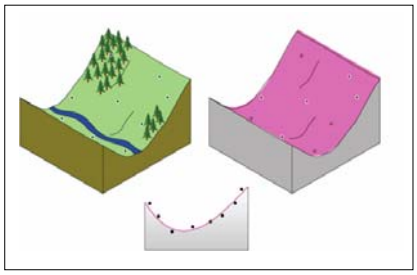
2 types d'approche

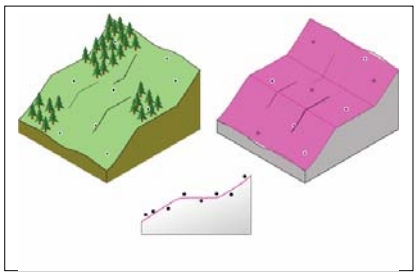
Globale

- Ensemble du jeu de données utilisé lors de l'interpolation
- Permet de représenter des phénomènes montrant de grandes tendances générales

Locale

- Utilise les valeurs mesurées les plus proches et non l'ensemble

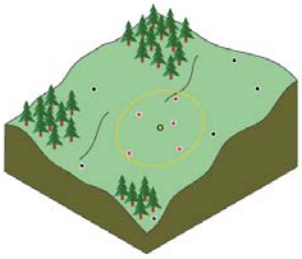




Source : « Using Geostatistical Analyst » (ArcGis, ESRI)

IDW (Inverse Distance Weight)

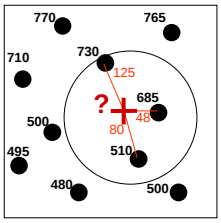
Technique qui attribue à chaque site retenu dans la sélection un poids inversement proportionnel à la distance entre ce site et le point à estimer



$$Zp = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{z_i}{d_i}\right)}{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{d_i}\right)}$$

Ex.

- Distance
- Altitude



$$640{,}8 = \frac{\frac{730}{125}+\frac{685}{48}+\frac{510}{80}}{\frac{1}{125}+\frac{1}{48}+\frac{1}{80}}$$

IDW (Inverse Distance Weight)

Caractéristiques

Chaque point à une influence locale qui diminue avec la distance. Le nombre de points ou les points à prendre en compte dans un rayon défini sont spécifiés lors du traitement des données

Inconvénients

- Technique indifférente à la configuration géométrique des données entre elles.
Seule la distance par rapport au point à estimer compte.

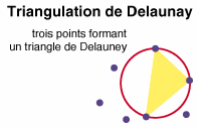
- Fournit des cartes d'isovaleurs en forme « d'œil-de-bœuf » autour des sites d'observation

Autres méthodes déterministes (1)

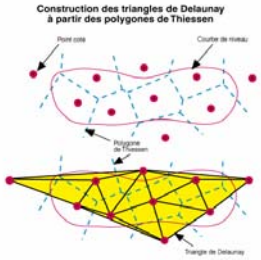
L'interpolation par Triangulation consiste :
- à diviser l'espace géographique en triangles
- puis, à interpoler en chaque point.

➔ Triangulation de Delaunay
(la plus connue)
Méthode reposant sur la création d'un réseau irrégulier de triangles.

Cette méthode ne considère que les points immédiatement voisins. Par conséquent, la totalité de l'information n'est pas pris en compte.



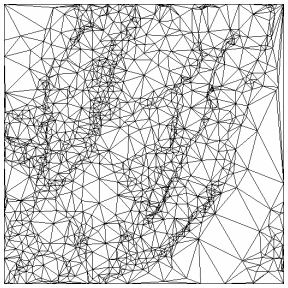
➥ Déf. Un cercle qui passent par les sommets d'un triangles de Delaunay ne contient pas d'autres points



➥ Les Polygones de Thiessen ou de Voronoï reposent sur le découpage de l'espace en polygones

Modèle TIN

TIN : *Triangular Irregular Network*
= Réseaux triangulaires irréguliers



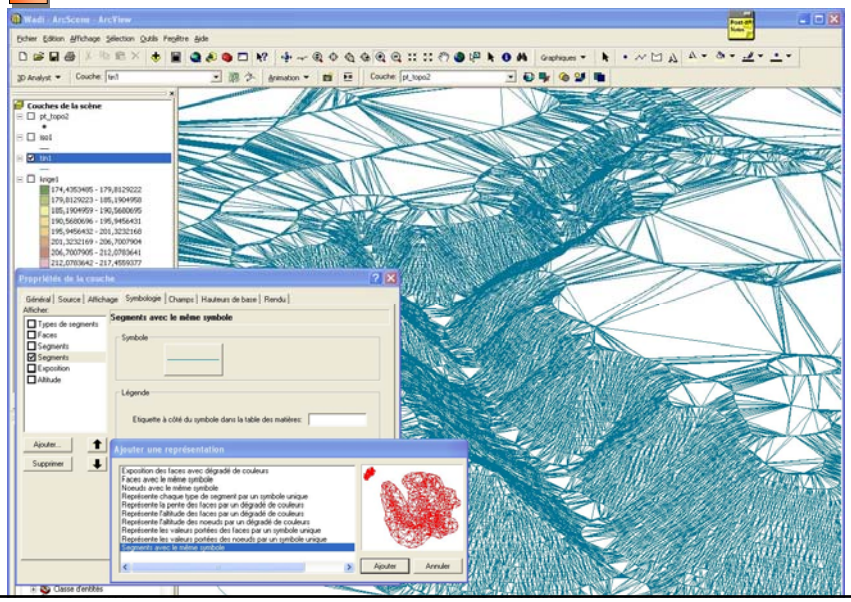
TIN : surface triangulaire représentée par des facettes définies en 3D

Il est constitué de 3 éléments de base :
- sommets ou points
- arêtes : côtés des faces triangulaires
- triangles ou facettes

La construction des facettes d'un TIN suit la méthode de Delaunay qui consiste à créer des triangles les plus équilatéraux possible. Chaque triangle est constitué de telle sorte que le cercle qui passe par ses trois sommets ne contient aucun autre point du TIN.

Un TIN peut être construit directement à partir de points altimétriques (représentation schématique de la réalité) ou à partir de lignes de rupture de pente ou des lignes de crêtes définies en 3D, provenant d'un MNT (grille raster).

Exemple de TIN (sous ArcScene)



Autres méthodes déterministes (2)

➔ **Méthode de Shepard** *(disponible sous Surfer)*

Plusieurs facteurs sont pris en compte :
- Distance entre les données
- Effets d'écran
- Suppression de l'effet « œil-de-bœuf »

➔**Splines**

Le Spline consiste à ajuster une courbe autour des points et à attribuerà la cellule raster la valeur de la courbe. Cette méthode es adaptée aux surfaces de faible variation

2 catégories de fonctions splines :
- Splines d'interpolation qui passent exactement par les points d'observation
- Splines de lissage qui passent à proximité de ceux-ci

Méthodes déterministes

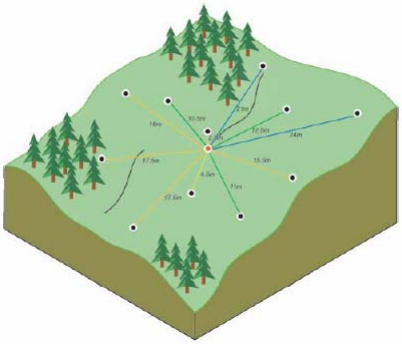
Conclusion

- Techniques limitées
- Procédures « automatiques » qui ne tiennent pas compte de la structure spatiale du phénomène étudié
- Obtention de surfaces interpolées lissées, Perte de précision
- Question :
  Quel est l'intérêt d'obtenir une surface interpolée lissée?

➔ Pour optimiser la précision des données, d'autres outils doivent être utilisés, tel que les **Méthodes probabilistes ou géostatistiques**

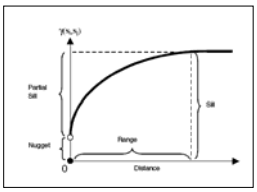
Méthodes géostatistiques

- Méthode qui utilise l'information relative à la position des points
- Certains paramètres permettent d'améliorer l'estimation des valeurs inconnues



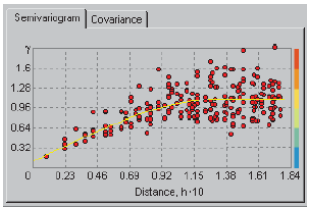
➔Analyse Variographique

- Notion de corrélation spatiale représentée par le variogramme
- L'analyse de la structure spatiale permet de :
  - Estimer la valeur d'une variable en un site non-échantillonné
  - Mesurer la précision de l'estimation
  - Cartographier la zone étudiée

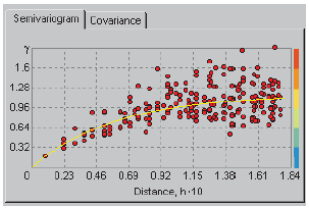


Semi-Variogramme

- Nombreux types de semi-variogrammes (γ) :
  Sphérique, exponentiel, gaussien, linéaire, etc.



Sphérique



Exponentiel

- Variogramme (γ) : caractérise la variabilité
  - Calculé dans une direction donnée
  - Spécifique au phénomène étudié

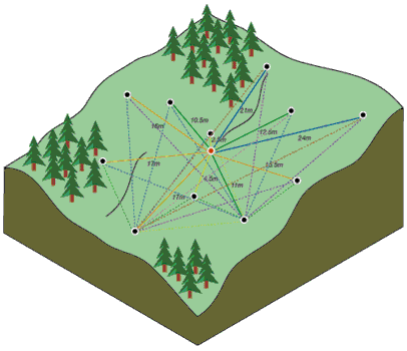
- Variogramme (γ) et covariance (C) permettent de modéliser les principales caractéristiques du phénomène étudiée
  - Régularité spatiale et variabilité
  - Changements de structuration selon l'échelle

Krigeage/Cokrigeage

- Techniques géostatistiques d'estimation locale

- Une analyse variographique doit précédée toute interpolation

➥ Élaboration d'un modèle de variogramme à partir de l'ensemble des données disponibles



➔ Krigeage : 1 seule variable

➔ Cokrigeage : multivariable

KRIGEAGE

◆ Le krigeage permet d'estimer les valeurs d'une variable dans des zones non-échantillonées, à partir des données voisines. Cette méthode s'appuie sur un modèle variographique qui décrit la structure spatiale du phénomène.

◆ Plusieurs types de krigeage :

- Krigeage ordinaire (le plus utilisé)
- Krigeage universel : Suppose une tendance importante dans les données (ex. facteur dominant)

Géostatistique

Conclusion

Par le biais de fonctions de covariance et de variogramme, la géostatistique permet de modéliser la structure des phénomènes étudiés

L'analyse variographique est une étape prépondérante. Elle va permettre dans un premier temps le calcul d'un variogramme expérimentale, et dans un second temps sa modélisation.

Limites

- Nécessite une bonne maîtrise des outils (pour avoir de bons résultats)
- Imprécision en cas de forte hétérogénéité des données

L'Interpolation avec Surfer

Surfer : logiciel de topographie

⇨ Inverse Distance to a Power (IDW)
⇨ Kriging
⇨ Modified Shepard's Method
⇨ Natural Neighbor
⇨ Polynomial Regression
⇨ Triangulation with Linear Interpolation
…

L'Interpolation avec ArcGis

- **3D Analyst**
⇨ IDW, Spline, Natural Neighbors, Kriging

- **Spatial Analyst**
⇨ IDW, Spline, Kriging

- **Geostatistical Analyst**
⇨ IDW, Kriging, Cokriging, Local Polynomial, Global Polynomial, etc.

CONCLUSION

Méthode d'interpolation	Type	Avantages	Inconvénients
IDW Shepard Triangulation Splines …	Déterministe	Rapidité Simplicité	Pas d'analyse spatiale des données Modélisation automatique
Krigeage Cokrigeage	Probabiliste (géostatistique)	Analyse des données Analyse Variographique	Expérience recommandée

Bibliographie

◆ Arnaud (M.), Emery (X.), 2000. Estimation et interpolation spatiale, Méthodes déterministes et méthodes géostatistiques. Hermès Science Europe, 2000, 221p.

◆Traitement et visualisation des données tridimensionnelles
http://www.unites.uqam.ca/dgeo/GEO7511/htm/section11.htm

◆ Interpolation spatiale. Méthodes d'interpolation
http://www.ggr.ulaval.ca/Cours/ggr-13470/htm/Semaine10.htm

◆ Le krigeage : la méthode optimale d'interpolation spatiale (Yves Gratton)
http://www.iag.asso.fr/pdf/krigeage_juillet2002.pdf

Statistiques et Interpolations dans les SIG (Laurent Drapeau)
http://www.faocopemed.org/vldocs/0000028/publi10.pdf

◆ Technologie MNT (Computa maps)
http://www.computamaps.com/fr_tech_dtm.php

◆ Manuel ESRI
➔ Using ArcGis 3D Analyst
➔ Using ArcGis Geostatistical Analyst