

ARCGIS FOR DESKTOP 10.2

INTRODUCTION A L'ANALYSE SPATIALE

[Hanquiez Vincent – formateur](#), IE Univ. Bordeaux – EPOC UMR 5805 – v.hanquiez@epoc.u-bordeaux1.fr

[Coutelier Clément](#), IE Univ. Bordeaux 3 – Ausonius UMR 5607 – clement.coutelier@u-bordeaux3.fr

[Pierson Julie](#), AI CNRS – adess UMR 5185 – j.pierson@ades.cnrs.fr



SOMMAIRE

PARTIE A. L'ANALYSE DES DONNEES RASTERS	2
I. RAPPEL	2
II. LA BARRE D'OUTILS 3D ANALYST	2
III. LES JEUX D'OUTILS SURFACE	3
III.1. L'outil Isoligne.....	3
III.2. L'outil Pente.....	3
III.3. L'outil Exposition.....	3
III.4. L'outil Ombrage.....	3
IV. LA CALCULATRICE RASTER.....	4
V. ANALYSE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DE DONNEES PONCTUELLES	4
VI. L'INTERPOLATION DES DONNEES PONCTUELLES.....	4
VI.1. Les voisins naturels	5
VI.2. L'IDW	5
VII. L'AUTOMATISATION DES TRAITEMENTS	5
VIII. LA VISUALISATION DES DONNEES EN 3D SOUS ARCSCENE	6
IX. DONNEES EN ACCES LIBRE	7
PARTIE B. APPLICATION	8
I.1. Analyse spatiale multi-critère	8
I.2. Analyse de la méthode d'interpolation.....	8
I.3. Rendu 3D	8

Liste des figures

Figure 1. Eléments d'une même zone représentés sous la forme de données vecteur et raster	2
Figure 2. La barre d'outils 3D Analyst	2
Figure 3. La Calculatrice Raster	4
Figure 4. La méthode d'interpolation Natural Neighbor	5
Figure 5. La méthode d'interpolation IDW	5
Figure 6. Interface de ModelBuilder	5

PARTIE A. L'ANALYSE DES DONNÉES RASTERS

I. RAPPEL

Une donnée raster est une matrice ou grille à deux dimensions où le pas de la maille (ou pixel) représente la résolution spatiale (Figure 1).

On distingue 2 types de données raster :

- Les images (photographies aériennes) : l'information contenue dans la matrice de pixel concerne la couleur de représentation de l'information et n'est pas directement accessible.
- Les grilles (MNT) : l'information contenue dans la matrice de pixel concerne une valeur quantitative observable et modifiable dans la table attributaire.

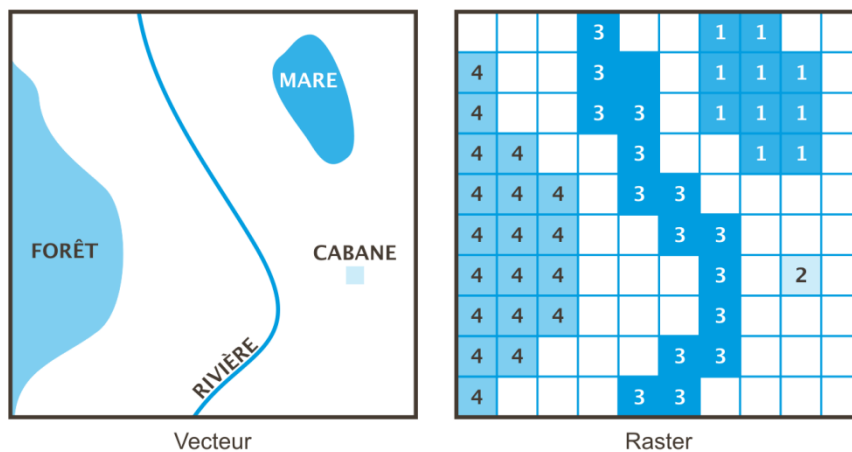


Figure 1. Éléments d'une même zone représentés sous la forme de données vecteur et raster.

Les extensions **Spatial Analyst** et **3D Analyst** offrent une gamme d'outils variés permettant d'effectuer un grand nombre d'opérations sur les données géographiques. Pour accéder à ces outils, vous devez activer au préalable ces extensions à partir de la **barre de Menu principal** dans **Personnaliser – Extensions**.

Avant toute analyse spatiale, il est recommandé de projeter les données vectorielles (ou le MNT issu de ces données), afin d'obtenir un référentiel XYZ dans la même unité et ainsi éviter l'obtention de valeurs aberrantes lors de l'exécution de certains outils d'analyse.

II. LA BARRE D'OUTILS 3D ANALYST



Figure 2. La barre d'outils 3D Analyst.

1. Raster cible.
2. Création d'**isoligne** (ligne parcourant tous les points contigus dont les valeurs de hauteur, ou autre, sont égales).
3. Création du **chemin de plus grande pente** : sens qu'une bille prendrait si on la lâchait à un point donné du raster cible. La bille emprunte le chemin de plus grande pente jusqu'à ce qu'elle atteigne le bord du raster cible ou une dépression. Les résultats de **chemin de plus grande pente** peuvent être affichés dans un profil (8.).
4. Création d'une **ligne de visée** : ligne graphique entre deux points sur le raster cible qui indique où la vue est obstruée le long de la ligne. La couleur de la ligne indique les emplacements où la surface est visible (vert) et où elle est cachée (rouge). L'emplacement du point d'observation est représenté par un point noir en début de ligne, la cible par un point rouge en fin de ligne, le point bleu représentant le point d'obstruction du point d'observation à la cible. La barre d'état indique si la cible est visible ou masquée. Les résultats de **ligne de visée** peuvent être affichés dans un profil (8.).
5. **Interpoler un point***.

6. **Interpoler une ligne***.
7. **Interpoler un polygone***.
8. Création d'un **diagramme de profil**. Les profils illustrent le changement d'altitude du raster cible le long d'une ligne. Les profils peuvent être générés à partir de toute entité linéaire 3D dessinée sur un raster. Pour générer un profil pour une entité linéaire 2D, il est nécessaire de convertir cette dernière en entité linéaire 3D en utilisant l'outil de géotraitement **Interpoler les formes**. Suite à sa création, un **diagramme de profil** apparaît sous forme d'une fenêtre flottante dans ArcMap. Vous pouvez alors modifier les titres et la symbologie et même sauvegarder ou exporter le **diagramme de profil** afin de l'utiliser avec d'autres applications.

* Outils de création d'entités 3D. Même si vous pouvez afficher des entités 2D en les drapant sur un raster, les entités 3D s'affichent plus rapidement et vous pouvez les partager avec d'autres personnes sans avoir à envoyer en même temps les données surfaciques. Lorsque vous utilisez ces outils d'interpolation, le résultat est ajouté à la carte sous forme d'un graphique ou d'une entité si une classe d'entités 3D modifiable est présente.

III. LES JEUX D'OUTILS SURFACE

Les outils **Surface** permettent de quantifier et de visualiser le relief d'un MNT. Vous pouvez ainsi identifier des motifs qui n'étaient pas directement visibles dans le raster d'origine, tels que des **Isolignes**, l'angle de **Pente**, le sens de la plus grande pente descendante (**Exposition**) ou le relief ombré (**Ombrage**).

III.1. L'OUTIL ISOLIGNE

L'outil **Isoligne** crée des polygones connectant des emplacements de valeur égale dans un jeu de données raster qui représente un phénomène continu comme l'altitude. Les isolignes permettent de visualiser simultanément des surfaces à pente faible ou raide et des vallées et des crêtes. Dans le cas d'un raster d'élévation, la table attributaire des isolignes contient un attribut d'altitude pour chaque isoligne.

Afin d'obtenir des isolignes plus lisses, l'une des méthodes consiste à lisser le raster source à partir de l'outil **Statistiques focales** disponible dans la boîte à outils **Voisinage**.

III.2. L'OUTIL PENTE

L'outil **Pente** permet d'identifier la pente de chaque cellule d'un raster. Il est indispensable d'utiliser un **facteur Z** pour effectuer des calculs corrects de la pente lorsque les unités z sont exprimées dans des unités autres que des unités x,y au sol. Si la cellule centrale dans le voisinage immédiat (fenêtre 3 x 3) a une valeur NoData, la valeur en sortie est NoData. Si des cellules du voisinage ont une valeur NoData, la valeur de la cellule centrale leur est tout d'abord affectée, puis la pente est calculée.

III.3. L'OUTIL EXPOSITION

L'**Exposition** peut être assimilée à la direction de la pente. Elle correspond à la direction du taux de variation maximal de la valeur z de chaque cellule dans un raster et est exprimée en degrés positifs compris entre 0 et 359,9. Une valeur d'exposition de -1 est affectée aux cellules dans le raster en entrée qui sont plates (avec une pente de zéro).

III.4. L'OUTIL OMBRAGE

L'outil **Ombrage** permet de créer un raster de relief ombré à partir d'un raster. L'ombfrage améliore nettement la visualisation d'un raster, en particulier en ayant recours à la transparence.

La source d'éclairage est considérée comme étant à l'infini. L'**Azimuth** correspond à la direction angulaire de la source d'éclairage, mesurée à partir du nord, dans le sens horaire. L'**Altitude** représente la pente ou l'angle de la source d'éclairage au-dessus de la ligne d'horizon.

Deux types de rasters de relief ombré peuvent être générés. Si l'option **Modéliser les ombres** est désactivée, le raster en sortie tient compte uniquement de l'angle d'éclairage local. Si elle est activée, le raster en sortie tient compte des effets à la fois de l'angle d'éclairage local et de l'ombre portée des cellules adjacentes. Les cellules situées dans l'ombre d'une autre cellule sont codées sur 0.

IV. LA CALCULATRICE RASTER

La **Calculatrice raster** est un outil puissant permettant de créer et d'exécuter une expression d'algèbre spatiale générant un raster en sortie. La **Calculatrice raster** est accessible dans la boîte à outils **Spatial Analyst – Algèbre spatial** (Figure 3).

1. Rasters disponibles dans la **Table des matières**.
2. Opérateurs mathématiques et logiques usuels.
3. Outils mathématiques, trigonométriques et conditionnels.
4. Zone **Expression** de la boîte de dialogue. Vous pouvez utiliser les couches de la **Table des matières** ou saisir le nom de chemin complet du jeu de données raster sur le disque (ex : "c:\spatial\elevation").

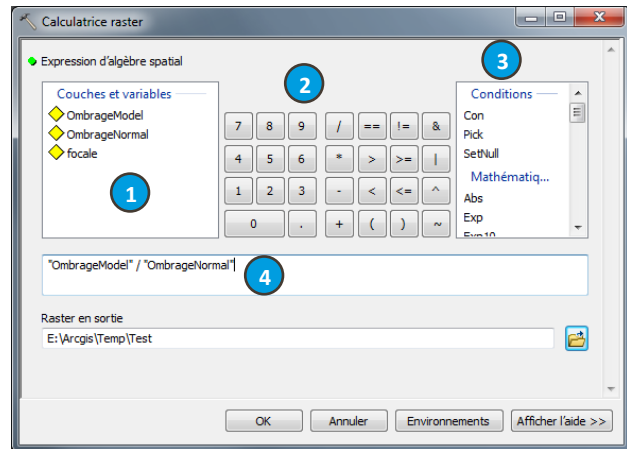


Figure 3. La Calculatrice Raster.

V. ANALYSE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DE DONNEES PONCTUELLES

L'outil **Average Nearest Neighbor**, disponible dans les **Outils de statistiques spatiales – Analyse de modèles**, mesure la distance entre chaque entité et l'emplacement de son voisin le plus proche, et renvoie cinq valeurs dont :

- **Distance moyenne observée** : moyenne de toutes les distances de voisin le plus proche ;
- **Distance moyenne attendue** : moyenne de toutes les distances de voisin le plus proche pour une distribution aléatoire hypothétique ;
- **Rapport voisin le plus proche** : **distance moyenne observée** divisée par **distance moyenne attendue**. Si ce rapport est inférieur à 1, la distribution des entités analysées est considérée comme agrégée ; s'il est supérieur à 1, la distribution est considérée comme dispersée.

Ces valeurs, utiles dans le choix de la méthode d'interpolation à employer et dans la taille de la maille élémentaire à définir, sont disponibles dans la fenêtre **Résultats** du menu **Géotraitement**. Il est possible d'obtenir un récapitulatif graphique de ces résultats sous la forme d'un fichier HTML.

VI. L'INTERPOLATION DES DONNEES PONCTUELLES

L'interpolation prédit les valeurs des cellules d'un raster à partir d'un nombre limité de points d'échantillonnage. Plusieurs méthodes sont disponibles pour créer des rasters à partir de données vectorielles ponctuelles, le choix dépendant du phénomène à modéliser et de la répartition des points d'échantillonnage. Vous trouverez les méthodes d'interpolation classique dans les menus **Outils Spatial Analyst – Interpolation** et **Outils 3D Analyst – Raster-Interpolation** de l'**ArcToolbox**.

Les outils d'interpolation sont divisés généralement en méthodes déterministes et géostatistiques :

- Les méthodes d'interpolation déterministes (**IDW**, **Voisin naturel**, **Tendance**, **Spline**) attribuent des valeurs aux emplacements en fonction des valeurs mesurées environnantes et des formules mathématiques spécifiées qui déterminent le lissage de la surface résultante.
- Les méthodes géostatistiques (**krigeage**) reposent sur des modèles statistiques qui comprennent l'auto-corrélation (relation statistique parmi les points mesurés). Par conséquent, les techniques géostatistiques ont non seulement la capacité de produire une surface de prévision, mais elles peuvent aussi fournir des mesures quant à la certitude ou l'exactitude de ces prévisions.
- Les autres outils d'interpolation, **Topo vers raster** et **Topo vers raster – fichier**, utilisent une méthode d'interpolation conçue pour créer des surfaces continues à partir d'isolignes contenant également des propriétés conçues pour créer des surfaces en vue d'analyses hydrologiques.

VI.1. LES VOISINS NATURELS

La méthode **Voisin naturel** (*Natural Neighbor*) est basée sur une construction géométrique réalisée à partir des points à interpoler (Figure 4). Au départ, un diagramme de Voronoï est constitué de tous les points donnés. Un nouveau polygone de Voronoï est ensuite créé autour du point à interpoler. La proportion de superposition entre ce nouveau polygone et les polygones initiaux est alors utilisée comme pondération. Cette méthode est la plus appropriée lorsque la densité des points d'échantillon est irrégulière.

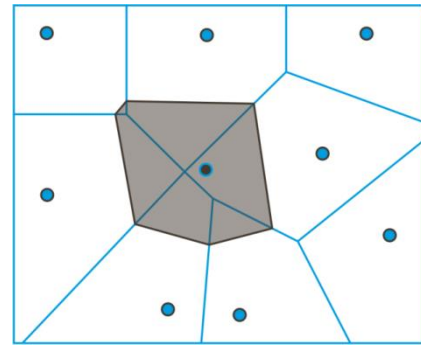


Figure 4. La méthode d'interpolation Natural Neighbor.

VI.2. L'IDW

L'**IDW** (*Inverse Distance Weighted*) est une méthode d'interpolation qui détermine la valeur des cellules en calculant une moyenne pondérée à partir des valeurs des points du voisinage. La pondération est inversement proportionnelle à la distance séparant le centre de la cellule des points du voisinage. Avec ce type de méthode, on ne souhaite pas exalter de forts contrastes locaux mais illustrer une tendance en gommant les différences (le bruit) entre points proches. Cette méthode d'interpolation est particulièrement adaptée pour des données variables et éparées comme les sondages géologiques ou les mesures environnementales.

- Le **Rayon de recherche** (R, Figure 5) limite le nombre de points en entrée pouvant être utilisés pour calculer chaque surface interpolée.
- La définition d'une **Puissance** (P, Figure 5) plus faible donne d'avantage d'influence aux points éloignés, générant ainsi une surface plus lisse.
- L'utilisation de **Polygones barrières** (B, Figure 5) en entrée permet de limiter la recherche de points d'échantillonnage. Une polygones peut représenter une falaise, une crête ou toute autre interruption du paysage.

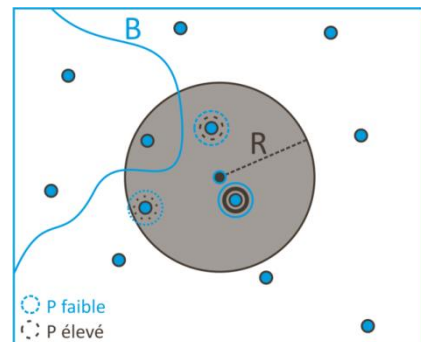


Figure 5. La méthode d'interpolation IDW.

VII. L'AUTOMATISATION DES TRAITEMENTS

ModelBuilder est une application permettant de créer, modifier et gérer des modèles. Un modèle correspond à une séquence d'outils et de données enchaînés, la sortie d'un outil alimentant l'entrée d'un autre. Un modèle peut être lancé à plusieurs reprises et vous pouvez modifier les valeurs de ses paramètres pour l'expérimenter avec différents résultats.

ModelBuilder, disponible dans le menu **Géotraitement** de la barre de **Menu principal**, est doté d'une interface simple comportant des menus déroulants, des outils de barre d'outils et des options de menus contextuels (Figure 6).

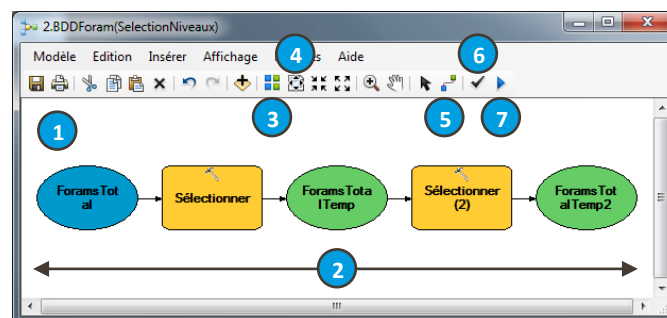


Figure 6. Interface de ModelBuilder.

1. **Zone d'affichage** : permet de faire glisser des outils et de connecter les variables.

2. **Diagramme de modèle** : ensemble des outils et des variables connectés mis en forme.
3. **Mise en forme automatique** : réorganise logiquement l'architecture du **Diagramme de modèle**.
4. **Vue générale** : contraint le **Diagramme de modèle** dans l'emprise de la **Zone d'affichage**.
5. **Connecter** : connecte les données aux outils.
6. **Valider le modèle entier** : une fois validé, le modèle est prêt à être exécuté si chaque élément du **Diagramme de modèle** est coloré.
7. **Exécuter** : exécution de l'ensemble de la chaîne de traitement. L'exécution d'une partie des processus d'un modèle s'effectue à partir de la commande **Exécuter** du menu contextuel obtenu par un clic droit sur l'outil choisi. Une fois le traitement terminé, les différents éléments du modèle deviennent ombrés, indiquant que le traitement est achevé et que les données en sortie ont été créées sur le disque dur.

La construction d'un modèle s'effectue en réalisant des actions de glisser-déposer des outils de l'**ArcToolbox** vers la **Zone d'affichage** et en les connectant entre eux à partir du bouton **Connecter**. Un double-clic sur un outil sélectionné dans la **Zone d'affichage** permet de le paramétrer. Une fois paramétré, le processus se colore, indiquant qu'il est prêt à être exécuté. Pour visualiser la donnée générée dans ArcMap, vous devez cliquer sur l'option **Ajouter à la carte** à la suite d'un clic droit sur cette dernière. Notez que le menu contextuel précédent permet également de renommer chaque partie du processus afin de clarifier le modèle. Les **Variables d'environnement** d'un processus (paramètres cartographiques, paramètres d'analyse,...) sont modifiables à partir du menu **Propriétés** du processus.

Si vous utilisez un nouveau modèle qui n'a pas encore été enregistré dans une **boîte à outils**, vous devez enregistrer le modèle dans une **Nouvelle boîte à outils** ou dans une **boîte à outils** existante. Une fois un modèle réalisé et enregistré, celui-ci est modifiable en passant par la commande **Modifier** à la suite d'un clic droit sur le modèle dans l'arborescence de l'**ArcToolbox**.

VIII. LA VISUALISATION DES DONNEES EN 3D SOUS ARCSCENE

L'Extension 3D Analyst intègre 2 applications permettant la visualisation des données SIG en 3D :

- **ArcGlobe** est généralement conçue en vue d'une utilisation avec des jeux de données très volumineux et permet la visualisation uniforme de données vectorielles et raster, toutes les données étant projetées dans une projection Cube globale. Les entités vectorielles sont généralement rasterisées et affichées d'après le niveau de détail associé, ce qui permet une navigation et un affichage très rapides.
- **ArcScene** est une visionneuse 3D adaptée à la génération de scènes de perspective sur de petites zones d'étude vous permettant de naviguer et d'interagir avec vos données vectorielles et raster 3D. **ArcScene** prend en charge une cartographie de texture et une symbologie linéaire 3D complexes, ainsi que la création de surfaces et l'affichage de TIN (*Triangulate Irregular Network*). Toutes les données sont chargées en mémoire, ce qui permet des fonctionnalités de navigation, de déplacement et de zoom relativement rapides. Les entités vectorielles sont rendues comme vecteurs et les rasters sont affichés avec une résolution réduite ou configurés avec un nombre fixe de lignes/colonnes à définir dans l'onglet **Hauteurs de base** des **Propriétés de la couche**.

Lors de l'ajout d'une couche à **ArcScene**, les entités avec des géométries 3D sont dessinées automatiquement en 3D. Le comportement par défaut lors de l'ajout d'entités 2D consiste à attribuer une valeur de hauteur constante de zéro. Pour afficher des entités 2D en 3D, il est nécessaire de définir leurs valeurs z à partir des **Hauteurs de base**, dans les **Propriétés de la couche**, suivant l'une des 2 méthodes suivantes :

- Utilisation d'un attribut ou d'une valeur constante ;
- Drapage des entités sur une surface, en cliquant sur l'option **Flottante sur une surface personnalisée**.

Une autre méthode pour créer la symbologie 3D consiste à extruder des géométries plates en formes 3D à partir de l'onglet **Extrusion** dans les **Propriétés de la couche**.

Chaque vue 3D a besoin d'une source de lumière pour l'éclairer. La configuration de l'**Azimut** et de l'**Altitude** de la source de lumière est disponible dans l'onglet **Eclairage** des **Propriétés de la scène**. L'ombrage peut être activé individuellement pour chaque couche à partir de l'onglet **Rendu** des **Propriétés de la couche**.

Lors de l'ajout de plusieurs données 3D, il est possible, et nécessaire, de définir la **Priorité d'affichage** entre celles-ci afin d'éviter des problèmes d'affichage. La **Priorité d'affichage**, modifiable dans l'onglet **Rendu** des **Propriétés de la couche**, est particulièrement importante dans les cas suivants :

- Utilisation de la transparence partielle ;
- Plusieurs couches partagent la même localisation 3D ;
- Plusieurs couches drapées sont drapées sur la même surface.

La **Priorité d'affichage** des couches est également modifiable de façon interactive à partir du bouton **Changer la priorité de profondeur** de la barre d'outils **Effet 3D**.

L'export d'une scène 3D sous forme d'image s'effectue à partir du menu **Fichier – Exporter une scène – 2D** de la barre de **Menu principal**.

IX. DONNEES EN ACCES LIBRE

Liste non exhaustive de sites internet proposant le téléchargement gratuit de données intégrables dans un SIG :

- **Natural Earth** (<http://www.naturalearthdata.com>) : couverture du sol, relief ombré, surfaces océaniques avec rivières et lacs, trait de côte, limites administratives mondiales, etc. 3 niveaux de résolution disponibles.
- **GDEM** (<http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>) : données d'élévation mondiale à 30m de résolution, dérivées des images satellites ASTER.
- **SRTM** (<http://srtm.csi.cgiar.org/>) : données d'élévation mondiale à ≈90m (3 secondes d'arc) de résolution, dérivées de la Shuttle Radar Topography Mission. Les données SRTM sont également disponibles sous forme de GeoTIFF à l'adresse suivante : <http://dwtkns.com/srtm/>
- **Global Multi-Resolution Topography** (<http://www.marine-geo.org/portals/gmrt/>) : modèle d'élévation à ≈100m de résolution (surfaces continentales et fonds océaniques).
- **USGS Earthquakes Database** (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>) : tremblements de terre enregistrés par l'USGS de 1973 à l'actuel.
- **Corine Land Cover** (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2000-raster-1>) : couverture continentale à 100m ou 250m de résolution issue de données satellitaires pour les années 1990, 2000 et 2006, aux formats vecteur et raster. Pour l'Europe uniquement.
- **IGN** (<http://professionnels.ign.fr/gratuit>) : relief, drainage, limites administratives, trait de côte, etc. pour la France.
- **GéoLittoral** (<http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr>) : orthophotos couvrant l'ensemble des côtes françaises.
- **InfoTerre** (<http://infoterre.brgm.fr>) : données géoscientifiques du BRGM.
- **Diva-GIS** (<http://www.diva-gis.org/gdata>) : données d'élévation, limites administratives, données démographiques, etc. pour un grand nombre de pays à l'échelle mondiale.
- **Open Street Map Data** (<http://download.geofabrik.de/>) : réseau routier, réseau ferré, occupation du sol... de l'échelle régionale à l'échelle continentale.

I.1. ANALYSE SPATIALE MULTI-CRITERE

Objectif : détermination d'une zone favorable à l'implantation d'une résidence en fonction des contraintes suivantes : le terrain devra se situer entre 1975m et 2025m d'altitude, être orienté SW, et sa pente n'excédera pas 10°. Pour cela, vous intégrerez les étapes suivantes dans un modèle :

- Conversion du tableur *Altitude.txt* en *Altitude.shp*.
- Projection de *Altitude.shp* en *AltitudeL93.shp* en utilisant le système de coordonnées projetées *RGF93*.
- Analyse de *AltitudeL93.shp* avant interpolation en utilisant l'outil *Average Nearest Neighbor*.
- Création du raster *mnt* par interpolation de *AltitudeL93.shp* en utilisant la méthode *IDW*.
- Création d'un raster de pente *slope* et d'un raster d'exposition *expo*.
- Utilisation d'une expression d'algèbre spatial pour créer le raster *area* favorable à l'implantation de l'habitation.
- Conversion du raster *area* en shapefile (polygone) *Habitation.shp*.

I.2. ANALYSE DE LA METHODE D'INTERPOLATION

- Extraction de la valeur des mailles de *mnt* en chaque point de *AltitudeL93.shp* en utilisant l'outil *Extraction de valeurs vers des points* (shapefile *AltitudeMnt.shp* en sortie).
- Création d'un champ *Diff* dans la table attributaire de *AltitudeMnt.shp* afin de calculer la différence entre les valeurs *Z* et *GRID_CODE*.
- Statistiques sur le champ *Diff* afin d'obtenir l'erreur moyenne, l'erreur max et l'écart-type.
- Création du raster *nat* par interpolation de *AltitudeL93.shp* en utilisant la méthode *Voisin Naturel* et comparaison avec la méthode *IDW* par calcul de l'erreur d'interpolation en répétant les 3 points précédents.
- Comparaison des rasters *mnt* et *nat* par soustraction et estimation des variations de volume générés par les 2 méthodes en utilisant l'outil *Remblais/Déblais*.

I.3. RENDU 3D

- Réalisation d'une scène 3D contenant l'image satellite *sat.jpg* drapée sur le raster *mnt* ainsi que la zone favorable à l'implantation de l'habitation (*Habitation.shp*) sous une forme extrudée.
- Export de la scène sous la forme d'un fichier *pdf*.