

Modèles numériques d'altitude



Buts de la leçon

- Exposer les principaux modes d'acquisition de l'altitude
- Présenter les différentes méthodes de représentation de l'altitude

Après cette leçon vous serez capables

- D'expliquer le fonctionnement des modes d'acquisition de l'altitude
- De maîtriser les méthodes de représentation du relief

Introduction aux systèmes d'information géographique

Bienvenue à cette leçon de base sur les modèles numériques d'altitude qui nous permettent de modéliser la topographie. Le relief représente par définition la forme et les inégalités de la surface terrestre. Il est issu des mouvements géologiques et climatologiques survenus au cours de l'histoire de la Terre. Selon ces propriétés, les règnes animal et végétal trouvent des conditions favorables à leur évolution. Ils conditionnent également l'appropriation de l'espace géographique par les êtres humains. La mesure primaire du relief est l'altitude sur mer. Et un fichier numérique qui contient les mesures d'altitude au noeud d'une grille régulière constitue ce que l'on appelle un modèle numérique d'altitude. Dans cette leçon, nous allons étudier quelques modes d'acquisition de l'altitude ainsi que les différentes techniques de représentation des modèles numériques d'altitude. Les buts de cette leçon sont de vous expliquer le fonctionnement des différentes techniques d'acquisition de l'altitude de représentation du relief. A la fin de cette leçon, vous devriez être en mesure d'expliquer le fonctionnement des différentes techniques d'acquisition de l'altitude, ceci de manière à évaluer leur précision et leur fiabilité mais aussi de maîtriser les diverses techniques de représentation de la topographie.

Notes

Summary

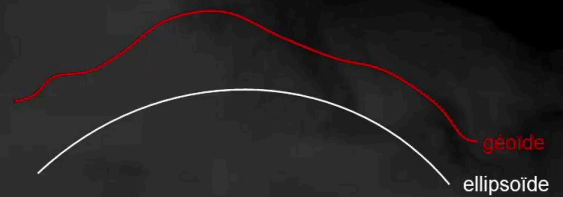


0m 30s

L'altitude

Le relief est une composante importante de l'analyse spatiale

- Mesure primaire du relief: l'altitude
 - Distance verticale entre un point et le géoïde terrestre (niveau moyen de la surface de la mer)



Introduction aux systèmes d'information géographique

Le relief façonne le paysage et crée des conditions plus ou moins favorables pour les activités humaines, pour l'exploitation de ressources contenues dans le sol et aussi pour déterminer l'habitat d'espèces végétales ou animales. La connaissance de ces propriétés est donc indispensable pour beaucoup de disciplines et constitue un élément important en analyse spatiale. La mesure primaire du relief est l'altitude. La définition de l'altitude est la distance verticale qui sépare un point du relief de la surface du géoïde terrestre.

Notes

Summary

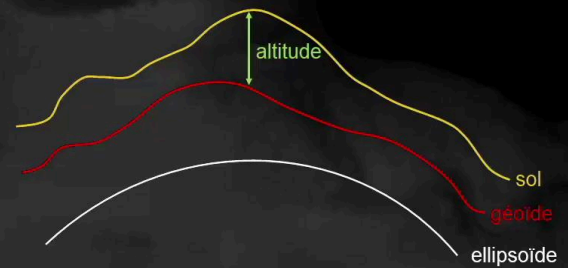
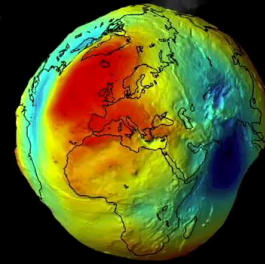


2m 03s

L'altitude

Le relief est une composante importante de l'analyse spatiale

- Mesure primaire du relief: l'altitude
 - Distance verticale entre un point et le géoïde terrestre (niveau moyen de la surface de la mer)
 - Variable continue
- Mesurée de façon discontinue pour créer un **Modèle Numérique d'Altitude**
- Les propriétés d'un **MNA** dépendent du mode d'acquisition et de la résolution



Introduction aux systèmes d'information géographique

Le géoïde est quant à lui défini comme la surface équipotentielle en gravité ajustée sur un niveau moyen de la surface de la mer. L'altitude est une variable continue puisqu'il est possible de déterminer sa valeur en tout point de l'espace géographique. Cependant, comme la prise en compte exhaustive de cette information n'est pas réalisable, on crée un modèle dans le cadre duquel les altitudes sont acquises de façon discontinue selon un mode d'échantillonnage régulier ou irrégulier. C'est ce que l'on appelle un modèle numérique d'altitude ou modèle numérique de terrain. Les propriétés d'un modèle numérique d'altitude sont déterminées par son mode d'acquisition et par sa précision comme nous allons le voir dans la partie suivante.

Notes

Summary



2m 38s

Mesure de l'altitude

Différentes méthodes de mesure de l'altitude:

- Nivellement
- Photogrammétrie
- LiDAR *Light Detection and Ranging*



géographique

Il existe différents modes d'acquisition de l'altitude et nous avons choisi de présenter ici les plus courants, soit le nivellement, la photogrammétrie et l'altimétrie par laser à balayage.

Notes

Summary

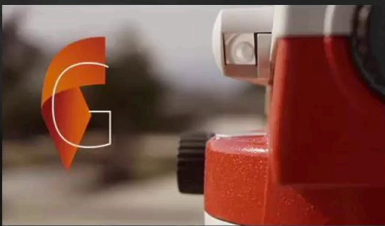


3m 31s

Mesure de l'altitude

Différentes méthodes de mesure de l'altitude:

- Nivellement
- Photogrammétrie
- LiDAR *Light Detection and Ranging*



<https://www.coursera.org/course/geomatique>



géographique

Des compléments d'information à leur propos pourront être trouvés dans le MOOC "élément de géomatique" dont l'adresse internet est affichée ici.

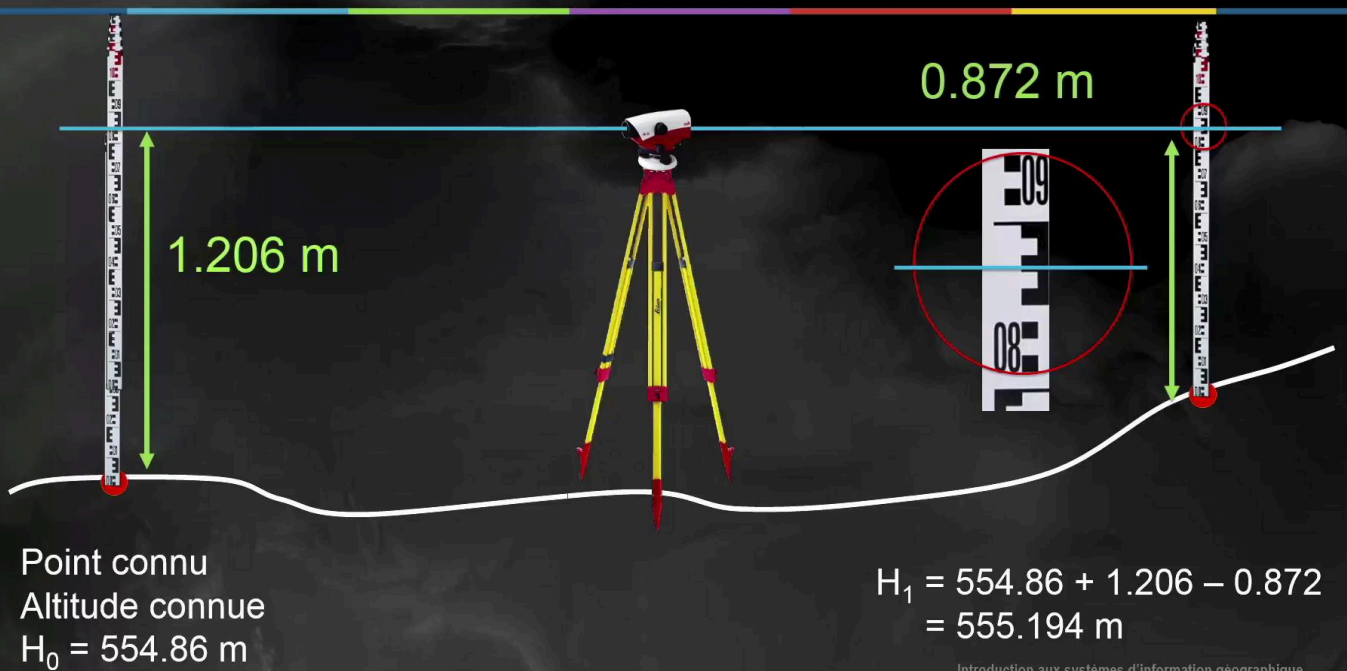
Notes

Summary



3m 43s

Mesure de l'altitude - Nivellement



Le nivellement géométrique consiste à mesurer une différence d'altitude par rapport à un point d'altitude connu que l'on appelle repère de nivellement. Ce type de nivellement est également appelé nivellement par visée horizontale ou nivellement direct. L'opération consiste à mesurer la différence de hauteur ou dénivelé entre le point dont l'altitude est connue et le point dont l'altitude n'est pas connue. Ce qui permet par simple soustraction de déterminer l'altitude des points. Pour ce faire, on utilise un niveau qui est un appareil permettant de matérialiser une ligne de visée horizontale. Ce niveau est placé sur un trépied à mi-distance de 2 mires qui sont tenues verticalement aux 2 points. On pourra alors successivement lire dans la lunette du niveau une valeur pour chacun des points. La dénivelée qui est la différence entre les 2 valeurs lues ajoutée à l'altitude du point connu donne l'altitude du second point. Pour minimiser les erreurs, la longueur d'une nivelée ne dépasse pas 80 m.

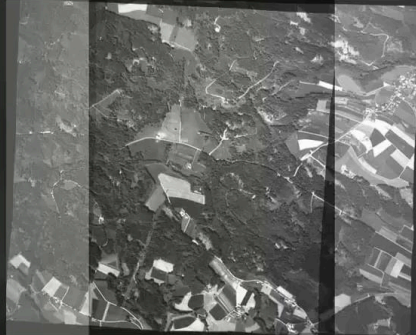
Notes

Summary



3m 52s

Mesure de l'altitude - Photogrammétrie



- Altitude dérivée d'images aériennes ou satellitaires
- Fonctionnement similaire à celui de l'œil humain
- Reconstruction de la 3D à partir de deux images planes d'un même lieu, prises sous deux angles différents
- Implique une connaissance parfaite de la position de prise de vue des images

Introduction aux systèmes d'information géographique

Dès que l'on a disposé d'images aériennes à partir de la fin du XIX^e siècle, on a commencé à mettre en oeuvre des techniques photogrammétriques pour réaliser des cartes topographiques et effectuer des mesures d'altimétrie. D'un point de vue géométrique, la photogrammétrie procède de façon similaire au système visuel humain qui est capable de percevoir les objets sous 2 angles différents. Comme une seule image est formée dans notre cerveau, les différences de relation entre les objets se traduisent en la perception de la profondeur. A la place de nos 2 rétines, la photogrammétrie utilise 2 images planes d'un même lieu et prises sous 2 angles différents. Les 2 images forment un couple stéréoscopiques à partir duquel, grâce à des repères identifiables au sol, on calcule le positionnement de tout objet au sol dans les 3 dimensions X, Y et Z.

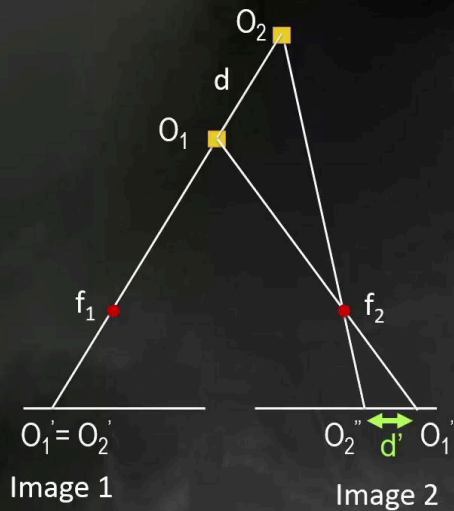
Notes

Summary



4m 52s

Mesure de l'altitude - Photogrammétrie



- Altitude dérivée d'images aériennes ou satellitaires
- Fonctionnement similaire à celui de l'œil humain
- Reconstruction de la 3D à partir de deux images planes d'un même lieu, prises sous deux angles différents
- Implique une connaissance parfaite de la position de prise de vue des images

Introduction aux systèmes d'information géographique

Le principe est d'exploiter la paralaxe, soit le déplacement apparent sur les images d'un objet qui est vu sous 2 angles différents. O_1 et O_2 sont 2 objets dans l'espace réel. Ces 2 objets sont perçus sur la même ligne de visée. Comme on connaît la position relative des images 1 et 2, on peut en déduire des relations angulaires. Ici, f_1 et f_2 sont les foyers photographiques des images 1 et 2. Les points O_1' O_2' et O_1'' et O_2'' dans l'espace des images sont dits homologues des objets O_1 et O_2 . Cette identification d'une paire de points homologues est appelée appariement stéréoscopique. Maintenant, connaissant les relations angulaires des triangles dont le sommet est f_2 et la distance D' sur l'image 2, on en déduit la distance D . Pour assurer la restitution photogramétrique on doit disposer de points de repère au sol qui soient facilement identifiables sur les images. Ce repérage est nécessaire car la géométrie de la restitution des 3 dimensions exige de connaître parfaitement la position relative des images lors de la prise de vue.

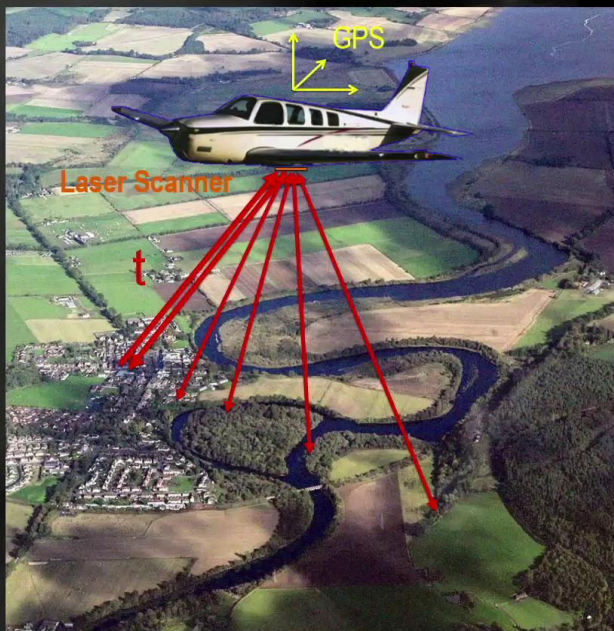
Notes

Summary



5m 46s

Mesure de l'altitude - LiDAR



- LiDAR = *Light Detection And Ranging*
- Laser aéroporté
- Position de l'avion mesurée très précisément avec un système GPS différentiel
- Mesure du temps de parcours aller-retour et de l'intensité d'une onde envoyée au sol
- Calcul de l'altitude du sol
- Plusieurs échos mesurés (sol et sursol)

Introduction aux systèmes d'information géographique

Le troisième mode d'acquisition de l'altitude présenté ici est l'altimétrie par laser à balayage. Il s'agit d'un système électronique appelé LIDAR qui mesure le temps d'aller-retour et l'intensité d'un faisceau laser qui est émis depuis une plateforme aéroportée. L'altitude sur sol de l'avion ou de l'hélicoptère et sa position sont mesurées avec une très haute précision par un système de GPS différentiel. La connaissance de la position précise de la plateforme et la mesure des temps d'aller-retour des impulsions lasers permettent de calculer la position des éléments de surface qui ont réfléchi le signal. Plusieurs échos du signal émis peuvent être mesurés selon la nature de la couverture du sol.

Notes

Summary



7m 00s

Mesure de l'altitude - LiDAR



Profil vertical d'échos LiDAR

- LiDAR = *Light Detection And Ranging*
- Laser aéroporté
- Position de l'avion mesurée très précisément avec un système GPS différentiel
- Mesure du temps de parcours aller-retour et de l'intensité d'une onde envoyée au sol
- Plusieurs échos mesurés (sol et sursol)
- Nuage de points de haute résolution

Introduction aux systèmes d'information géographique

En effet, si une première réflexion est produite par les parties hautes d'un arbre, une partie du signal pourra atteindre des couches plus basses voire le sol avant d'être à son tour réfléchi. Le laser d'un télémètre émet de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de milliers d'impulsions chaque seconde. Il est donc possible d'enregistrer plusieurs échos par rayon. La longueur d'onde du faisceau est généralement comprise entre 0,8 et 1 micromètre c'est-à-dire dans le proche infrarouge. L'intensité du signal de retour est porteuse d'informations sur les propriétés des surfaces, principalement le couvert végétal car celui-ci réfléchit bien ses longueurs d'ondes. L'enveloppe supérieure des réflexions, ici représentée en vert, prend le nom de modèle numérique de surface, ou MNS alors que l'enveloppe inférieure représentée en jaune correspond en grande majorité aux échos qui proviennent du sol et conserve le nom de modèle numérique de terrain.

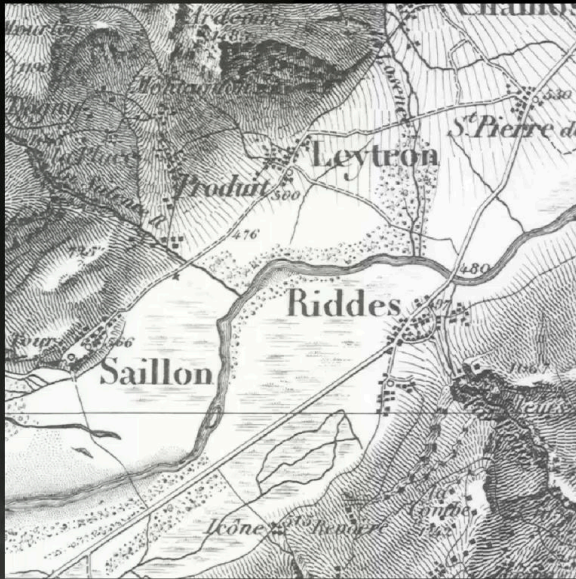
Notes

Summary



7m 48s

Ombrage et courbes de niveaux



- Sur les premières cartes, on représentait le relief avec des hachures (carte Dufour)

Introduction aux systèmes d'information géographique

un lever d'altitude par semis de points réguliers ou irréguliers, et acquis par l'une des méthodes que nous venons de présenter permet de créer un modèle numérique d'altitude. Nous allons maintenant présenter différents types de modèles en commençant par une technique de représentation du relief utilisée sur les premières cartes. Nous verrons ensuite la technique de l'ombrage et le modèle de courbes de niveaux puis les semis irréguliers de points avant de terminer avec le modèle en grilles régulières. La cartographie a dès ses débuts accordé de l'importance à la représentation du relief. Il s'agit en effet d'une information indispensable pour situer les objets dans leur contexte géographique. On se contentait alors sur les anciennes cartes de représenter le relief par des hachures comme ici sur la carte Dufour qui représente une région du Valais central en Suisse en 1855.

Notes

Summary



8m 57s

Ombrage et courbes de niveaux



- Sur les premières cartes, on représentait le relief avec des hachures (carte Dufour)
- On utilise maintenant l'ombrage et les courbes de niveaux
- Ombrage : représentation qualitative

Introduction aux systèmes d'information géographique

On utilise maintenant l'ombrage et les courbes de niveaux pour suggérer le relief. Sur les cartes topographiques, l'ombrage est une représentation qualitative qui suggère un éclairage du relief et une ombre projetée vers le sud-est.

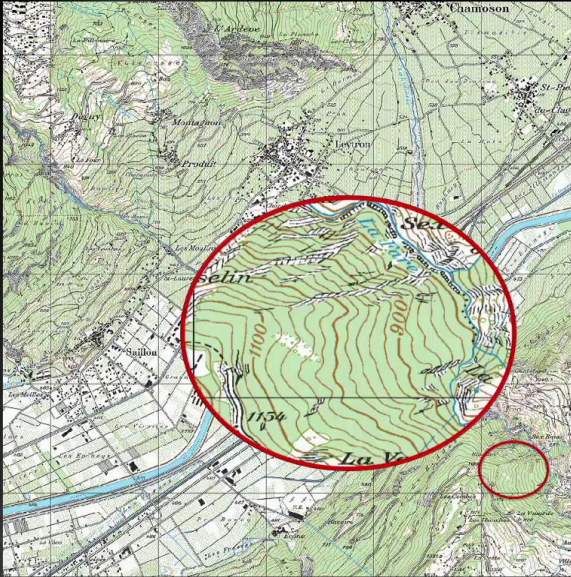
Notes

Summary



9m 53s

Ombrage et courbes de niveaux



- Sur les premières cartes, on représentait le relief avec des hachures (carte Dufour)
- On utilise maintenant l'ombrage et les courbes de niveaux
- Ombrage : représentation qualitative
- Courbes de niveau : représentation quantitative
 - Lignes reliant des points de même altitude (isolignes)
 - Inconvénient: difficile d'utiliser ces objets linéaires pour des calculs, tels que la pente ou l'orientation

Introduction aux systèmes d'information géographique

Les courbes de niveaux quant à elles sont des objets linéaires dont l'attribut quantitatif est l'altitude. Ce type de modèle est peu satisfaisant car sur sa base, tout calcul de variable dérivée comme la pente ou l'orientation est fastidieux.

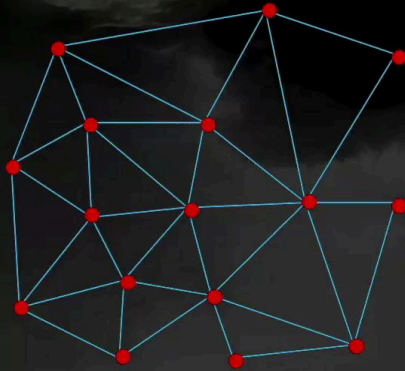
Notes

Summary



10m 07s

Semis de points irréguliers



- Altitude mesurée ponctuellement
- Points distribués de façon irrégulière sur le territoire
- Création d'un modèle triangulé
- Avantage: permet de représenter précisément des points d'altitude particuliers (sommet, crête, fossé,...)

Introduction aux systèmes d'information géographique

Un semis de points irréguliers apparaît lorsque l'altitude est mesurée ponctuellement de manière aléatoire ou en suivant des lignes de structure du relief. L'altitude en chaque point est une valeur mesurée et sa précision dépend de la procédure et des appareils utilisés. Ce modèle de description de l'altitude s'apparente à celui de la modélisation par facette triangulaire, ou triangulated irregular network, fréquemment utilisée en ingénierie pour représenter des objets dans leur volume. Son avantage principal est de permettre de représenter précisément des points particuliers du relief. Sa précision dépend de la densité de points mesurés.

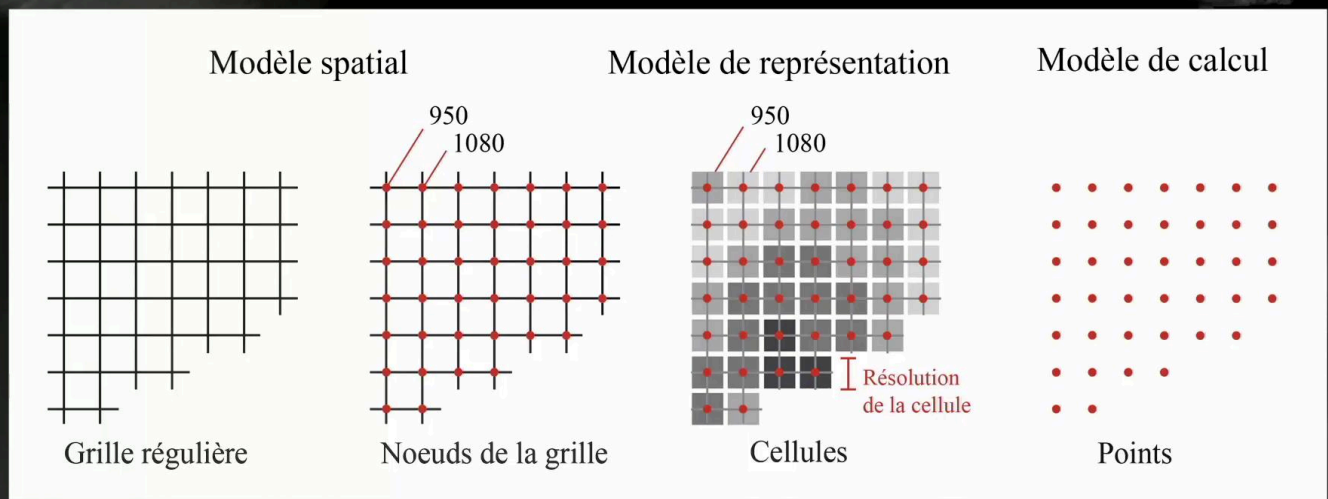
Notes

Summary

10m 24s



Grille et points réguliers



Introduction aux systèmes d'information géographique

Dans le modèle en grille, les points d'altitude sont disposés selon une structure régulière. La résolution ou précision du modèle est alors le côté de la maille. Les coordonnées de chaque point localisent soit les noeuds de la grille soit le plus fréquemment le centre de la maille. Il est rare qu'un tel modèle soit formé de points mesurés. Généralement, il est produit par interpolation d'un semis points irréguliers de sorte que la précision dépend du mode d'acquisition et de la procédure d'interpolation.

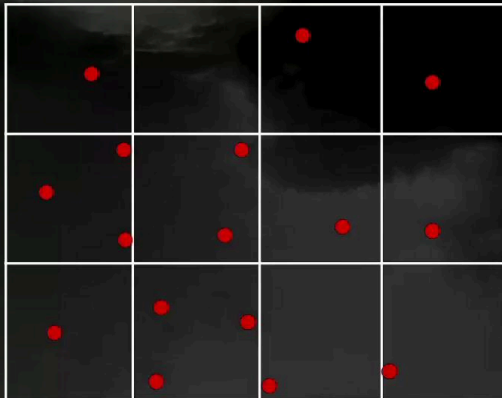
Notes

Summary



11m 05s

Grille et points réguliers



←→
résolution

- Grille régulière
- Interpolation à partir des points irréguliers mesurés
- Résolution = taille du côté d'une cellule

Introduction aux systèmes d'information géographique

Mais la précision de ce type de modèle va également dépendre de la densité de points mesurés par cellule. Typiquement, dans le cas de données d'altitude acquises par altimétrie laser à balayage, le nombre de points par cellule peut considérablement varier en fonction de la résolution spatiale des cellules qui constituent la grille régulière.

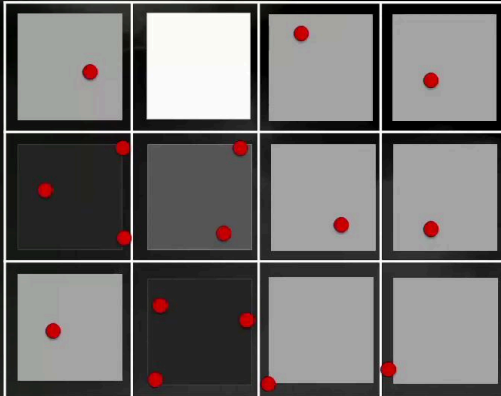
Notes

Summary



11m 36s

Grille et points réguliers



0 1 2 3 Points / cellule

- Grille régulière
- Interpolation à partir des points irréguliers mesurés
- Résolution = taille du côté d'une cellule
- Densité = nombre de points mesurés par cellule

Introduction aux systèmes d'information géographique

De manière relativement standard de nos jours, on génère des modèles numériques d'altitude avec une résolution spatiale d'1 m, ou moins encore, et ceci sur la base d'une densité de points au sol qui varie entre 5 et 30 m par m² selon les modèles de télémètre laser. Ceci a pour effet d'ouvrir de nombreuses perspectives dans l'étude du microrelief.

Notes

Summary

12m 02s



Modèles numériques d'altitude

- MNA : Modèle numérique d'altitude

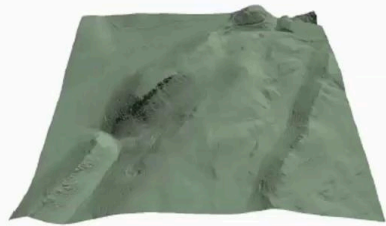
- MNH : Modèle numérique de hauteur

- MNT : Modèle numérique de terrain (sol nu)
- MNS : Modèle numérique de surface (sol + sursol)

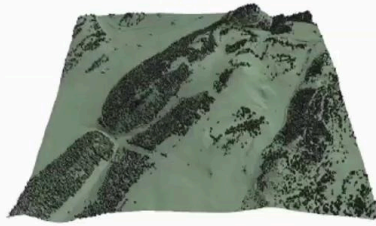
$$\text{MNH} = \text{MNS} - \text{MNT}$$

MNA

MNT



MNS



MNH



Nous avons vu que la technologie LIDAR permettait de générer 2 types distincts de modèles, soit le modèle numérique de terrain, qui donne l'altitude du sol nu, et le modèle numérique de surface qui indique l'altitude de la première surface capable de réfléchir le rayon laser comme la couverture végétale par exemple. Ces 2 modèles font partie de la catégorie des modèles numériques d'altitude. Mais leur qualité respective permet de générer un troisième type de modèle qui est le modèle numérique de hauteur et qui est obtenu en soustrayant l'altitude du modèle de surface à l'altitude du modèle de terrain.

Notes

Summary



12m 17s