



Master SIG

Modèles Numériques de Terrain



Table des matières

- ⊕ Définition et représentation des MNTs
- ⊕ Génération des MNTs
- ⊕ Données altimétriques disponibles
- ⊕ Les référentiels verticaux
- ⊕ Applications des MNTs
- ⊕ Logiciels de visualisation et de traitement des MNTs
- ⊕ Références



⊕ Définition et représentation des MNTs

- ❖ Grilles, courbes de niveaux et TIN
- ❖ Passage entre les représentations
- ❖ Résolution planimétrique et résolution altimétrique
- ❖ Les référentiels verticaux (géoïdes et ellipsoïdes)
- ❖ Rendus: estompage, LUT verticale, vue anaglyphe, vues 3D

Définition et représentation des MNTs

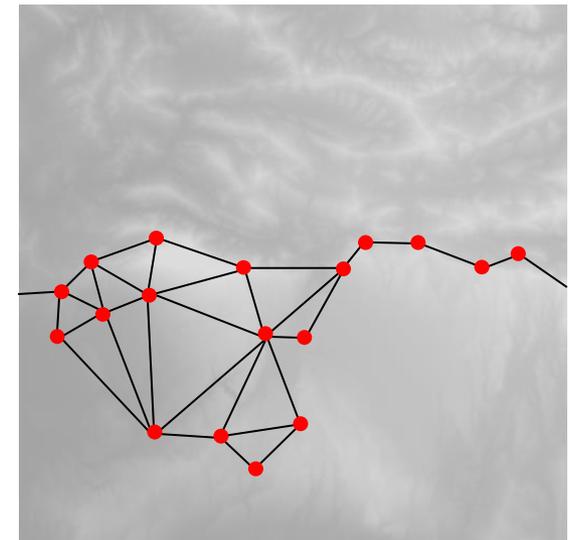
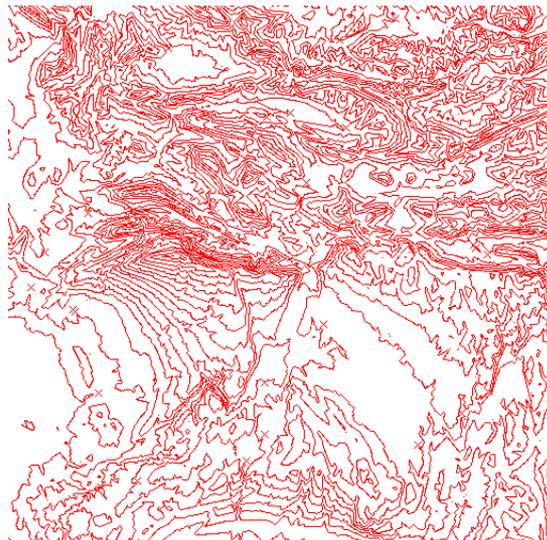
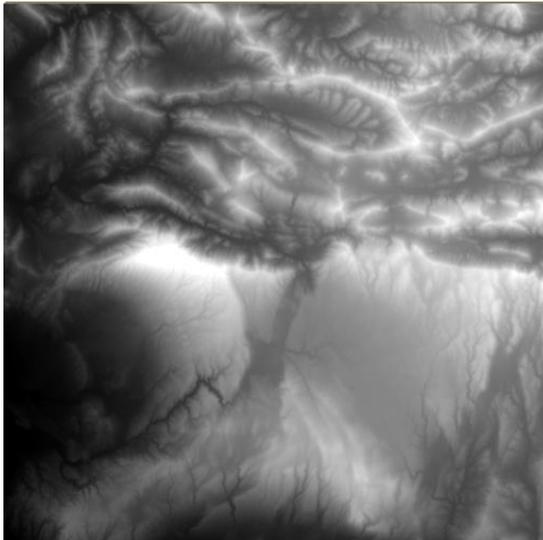
- Données maillées, courbes de niveau et TIN



représentation maillée
(grille, matrice, *raster*)

courbes de niveau
(intervalle de 100 m)

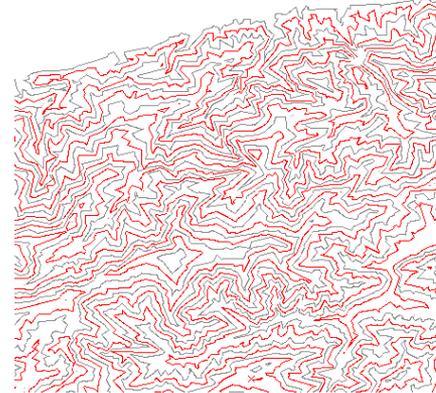
TIN (*Triangular
Irregular Network*)



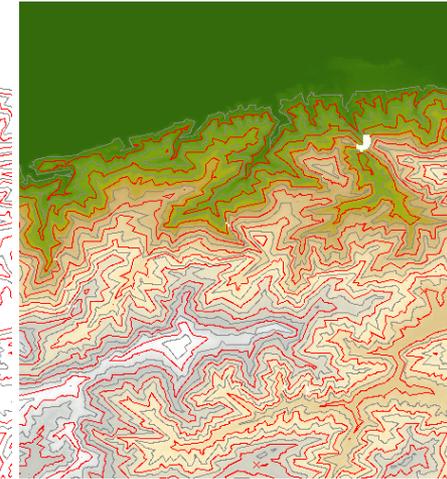
Modèles Numériques de Terrain

Représentations

- Niveaux de gris
- Courbes de niveau
- Estompage et LUT altimétrique
- Vue perspective
- Vue anaglyphe

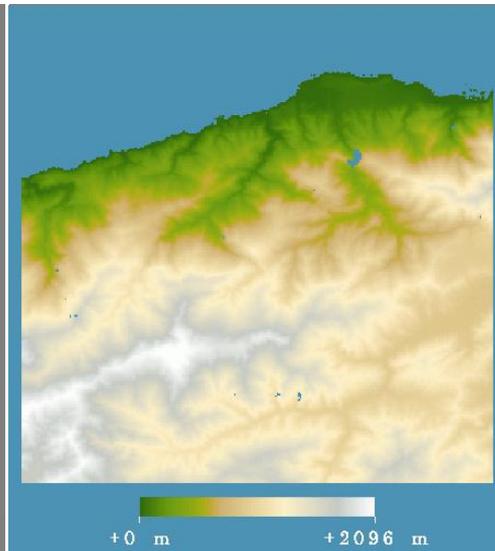


Courbes de niveau 200 m (rouge) et intercalaires 100 m (gris)



+0 m +1048 m +2096 m

SRTM Caracas (Venezuela)
Niveaux de gris

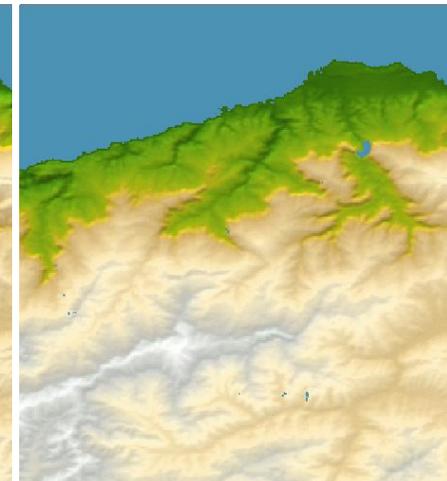


+0 m +2096 m

LUT « altimetry »



LUT « altimetry » + ombrage $\alpha=0.4$

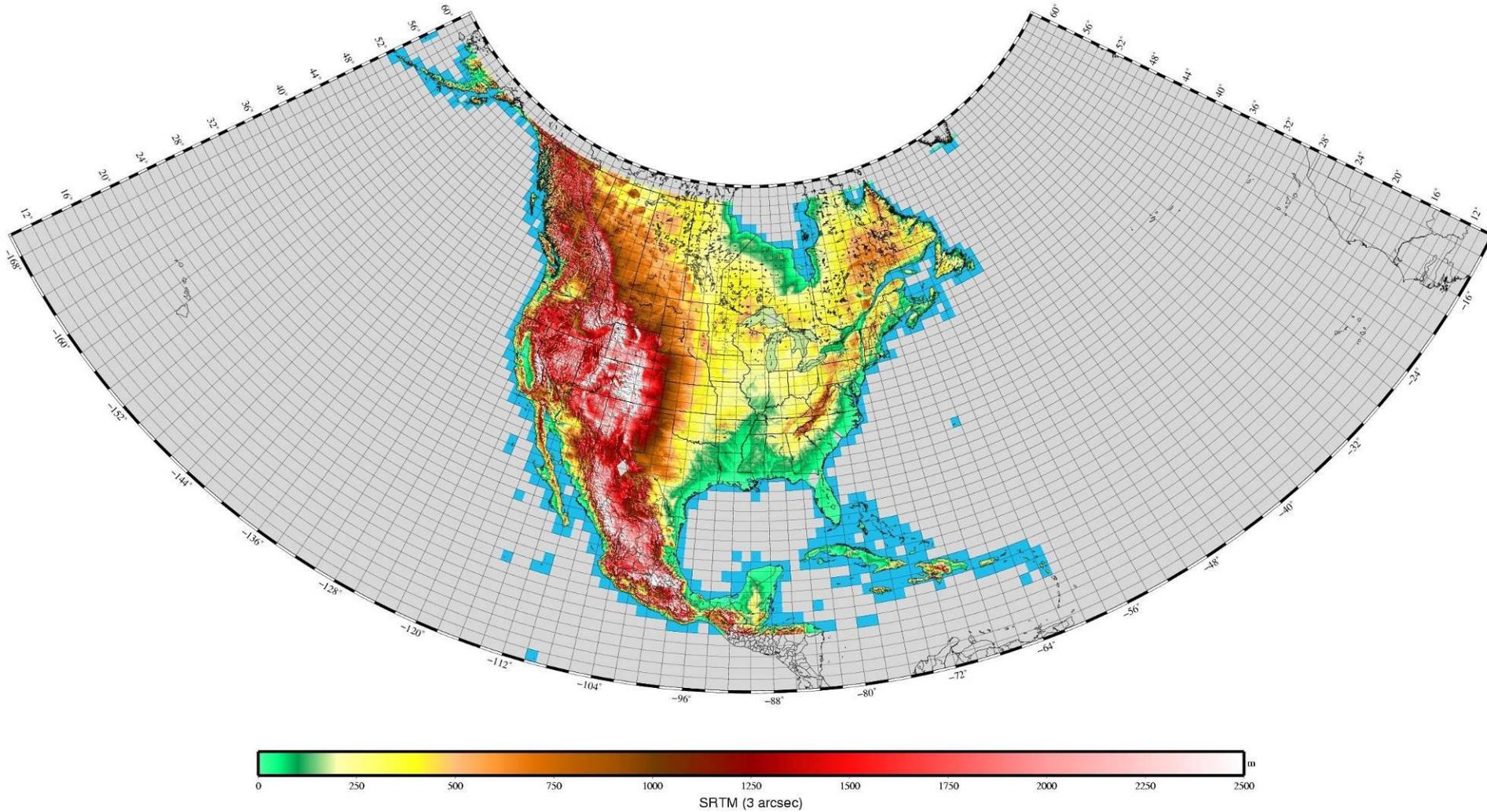


LUT « altimetry » + ombrage $\alpha=0.2$

$$\alpha \times \begin{bmatrix} -4 & -3 & -2 \\ -1 & 1/\alpha & 1 \\ 2 & 3 & 4 \end{bmatrix}$$



❏ LUT altimétrique

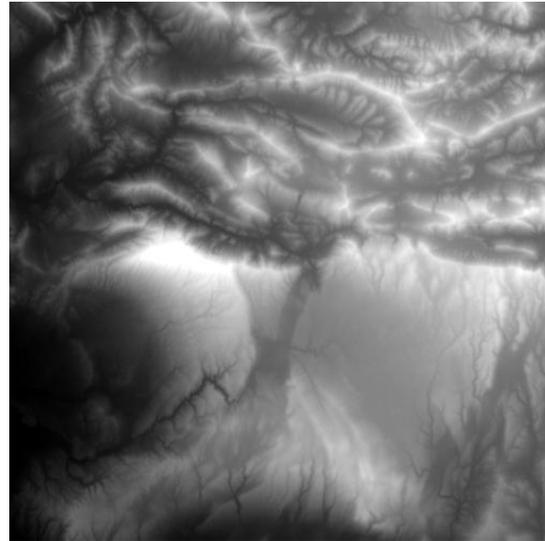


http://www.geod.nrcan.gc.ca/hm/images/srtm3_na_2m.jpg

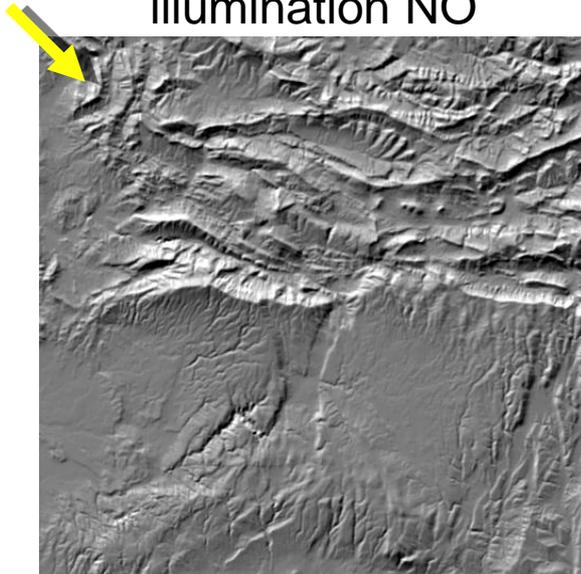


❖ Estompage
(ombrage)

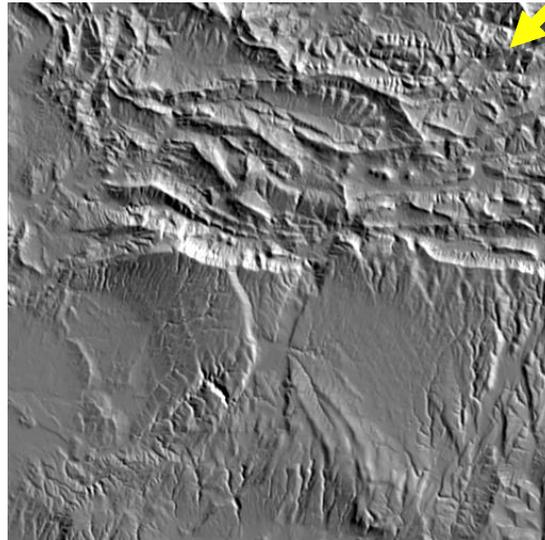
*Le Mont Ventoux,
France*



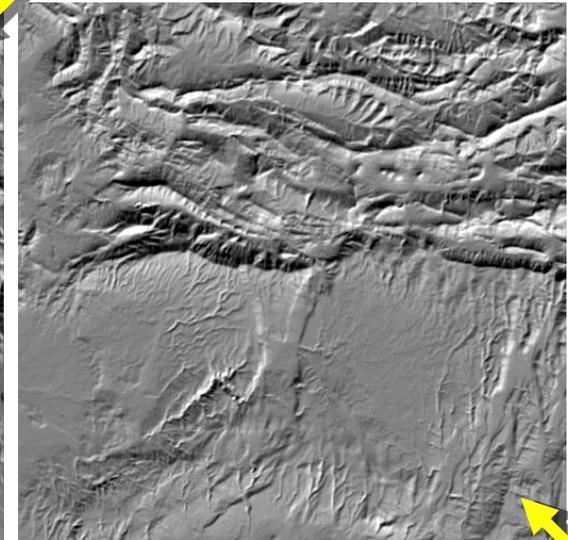
illumination NO

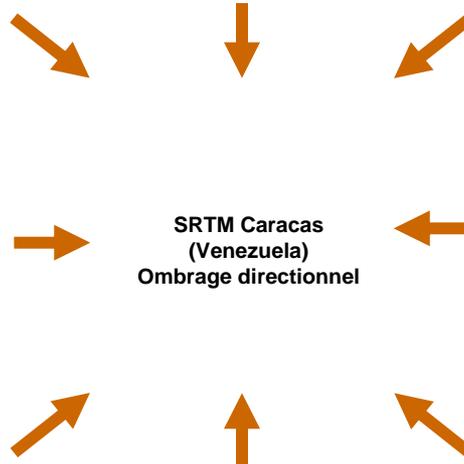
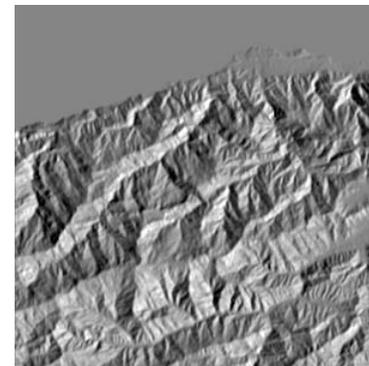
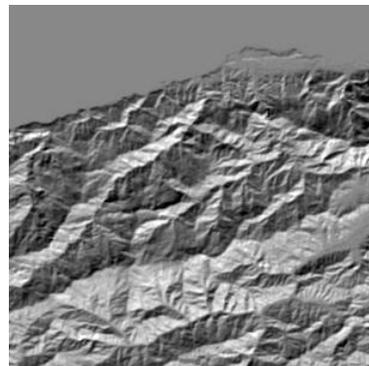
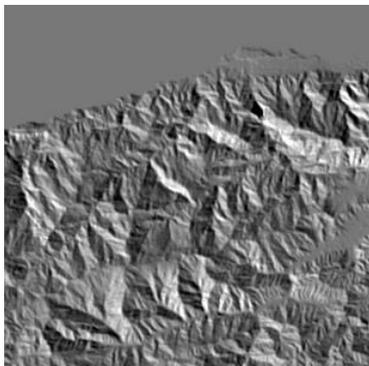
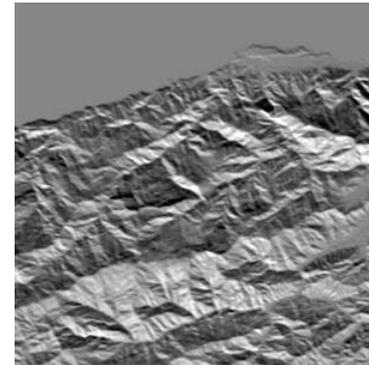
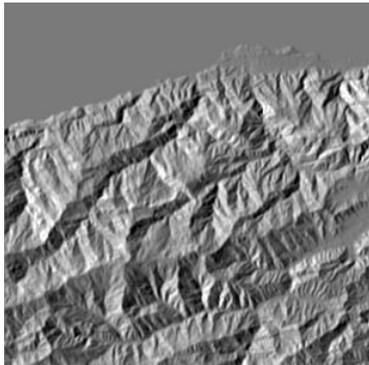
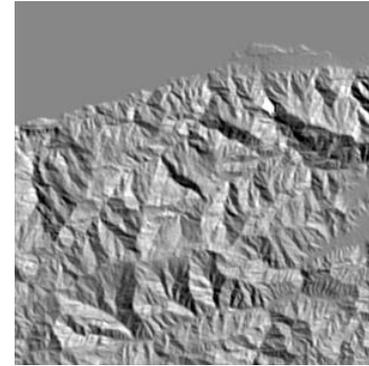
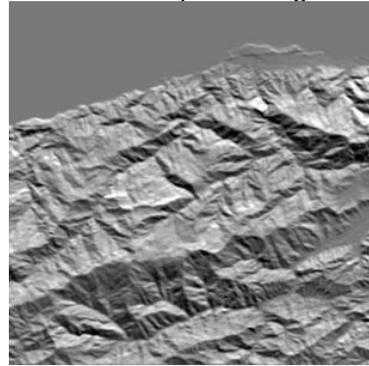
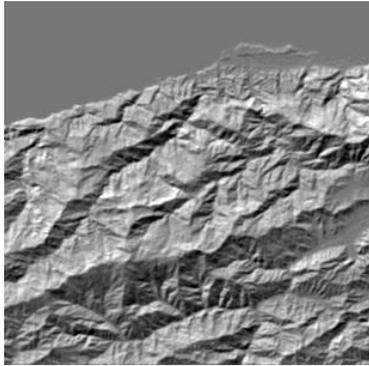


illumination NE



illumination SE





SRTM Caracas
(Venezuela)
Ombrage directionnel

$$1 \times \begin{bmatrix} -3 & -1 & 2 \\ -3 & 0 & 3 \\ -2 & 1 & 3 \end{bmatrix} + 32768$$



Estompage (ombrage)

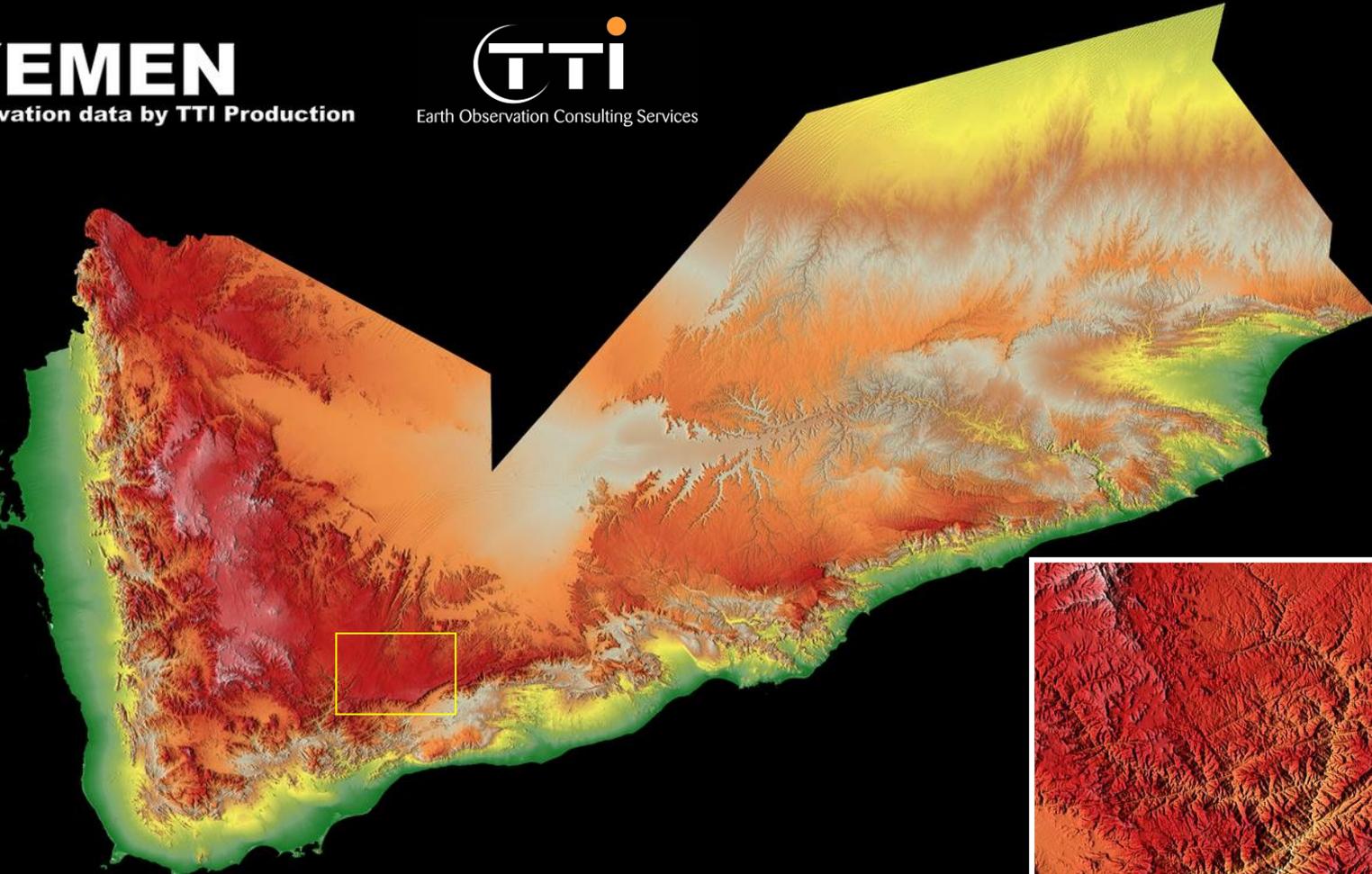
ORTHOCOVERAGE® - Satellite Imagery for Energy Companies - www.orthocoverage.com

YEMEN

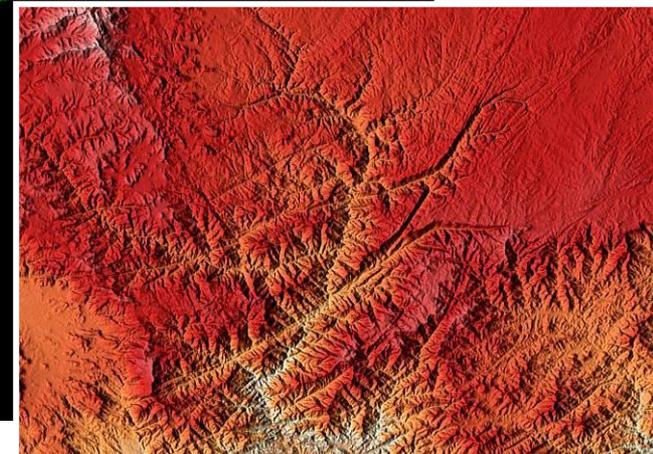
Elevation data by TTI Production



Earth Observation Consulting Services

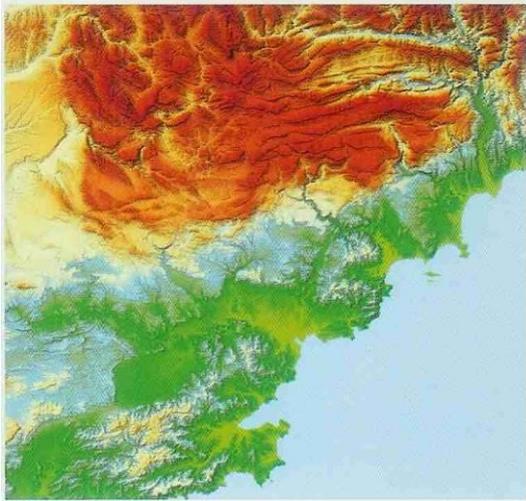


<http://www.tti.fr/satellite-data/free-satellite-maps.php>





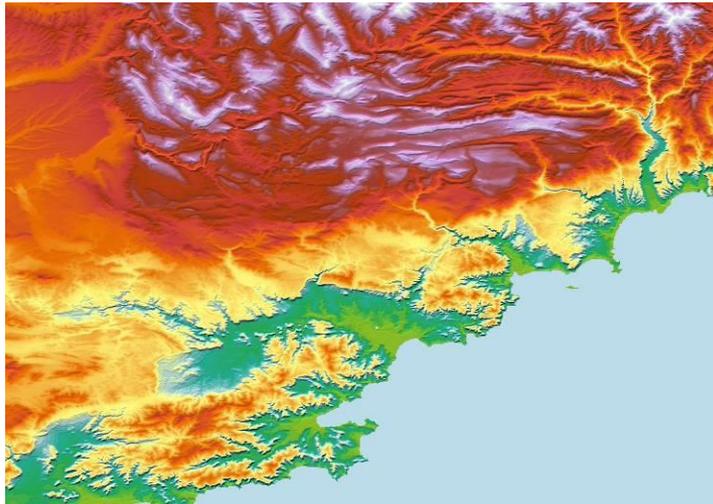
❖ Estompage (ombrage) – Différentes teintes hypsométriques



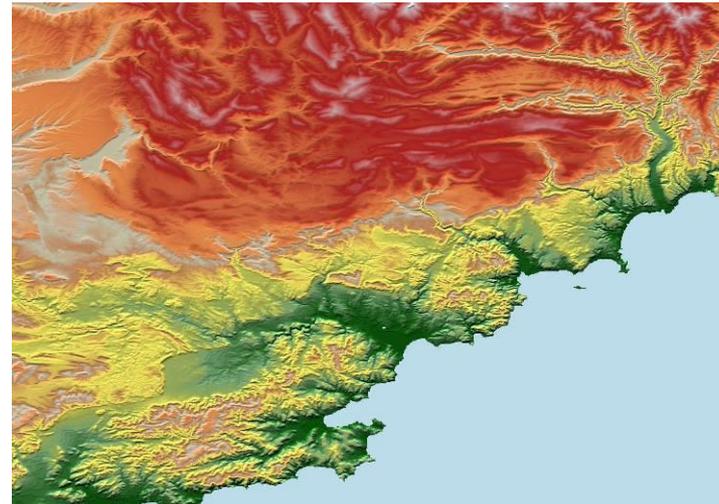
Charte IGN Semio 666 (CMJ)
« IGN Magazine » de mai-juin 2009 page 5



Charte NASA

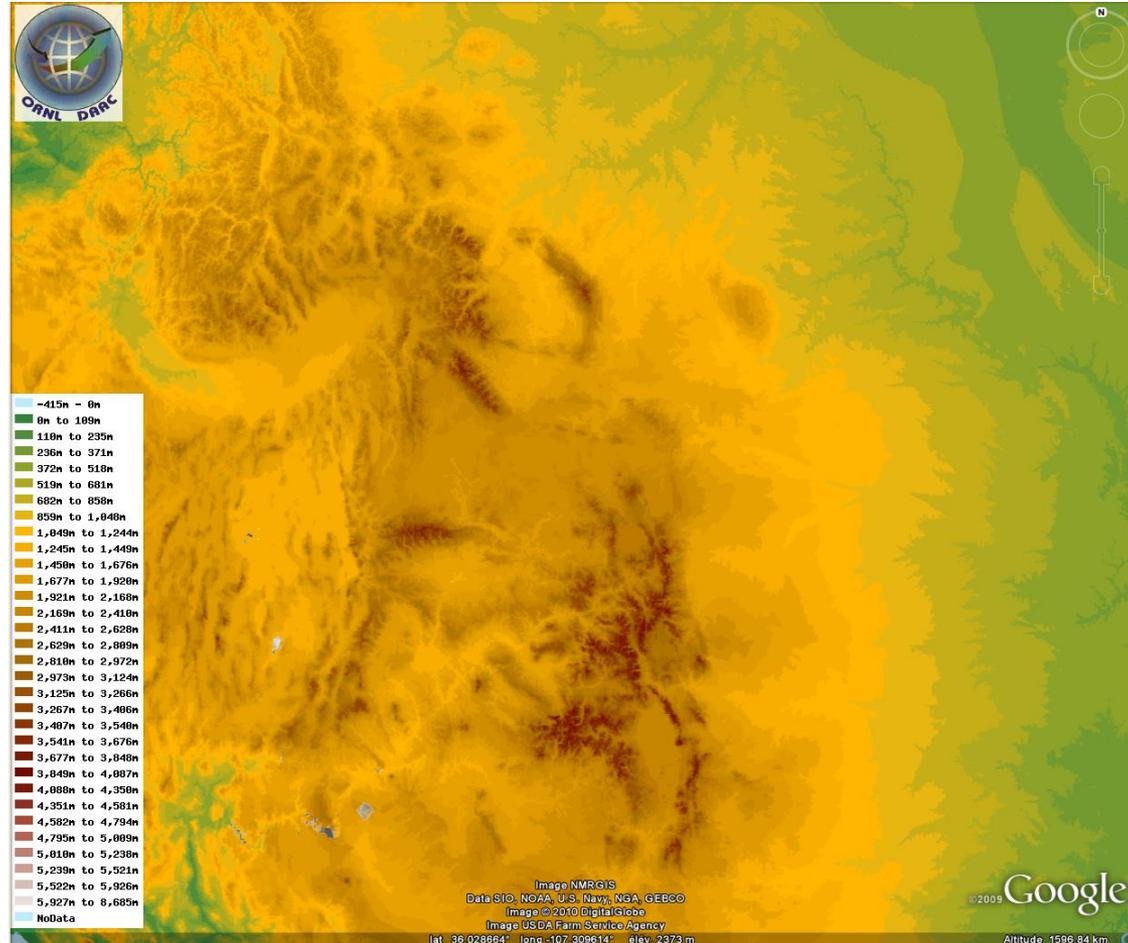


Dérivé de la charte IGN



Logiciel TNT (courtoisie TTI)

☒ Charte NASA par paliers

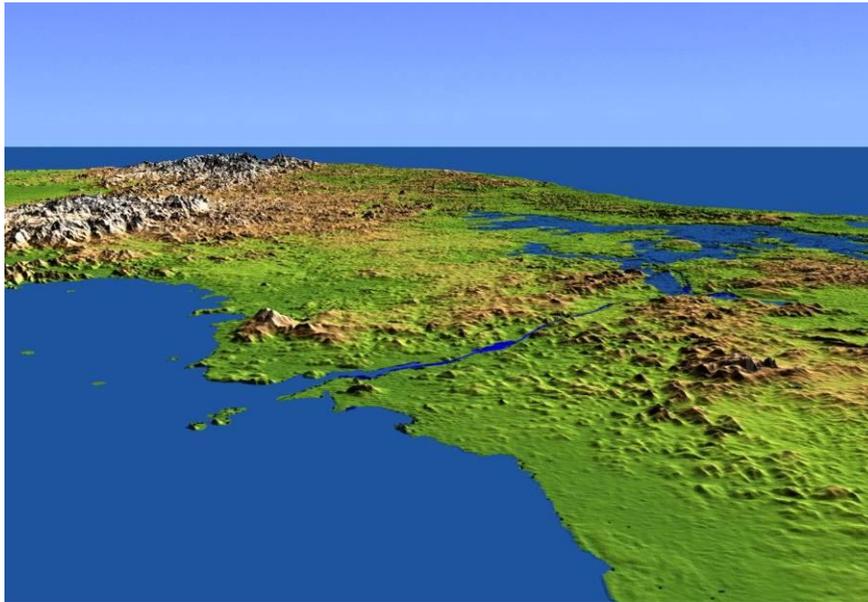


NASA ORNL DAAC - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Near-global Digital Elevation Models (DEMs) http://webmap.ornl.gov/wcsdown/dataset.jsp?ds_id=10008

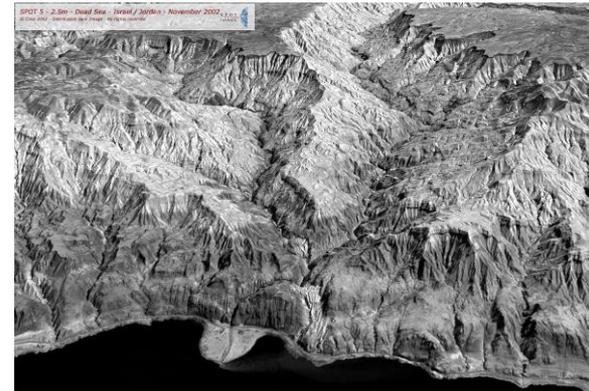
Modèles Numériques de Terrain

Représentations

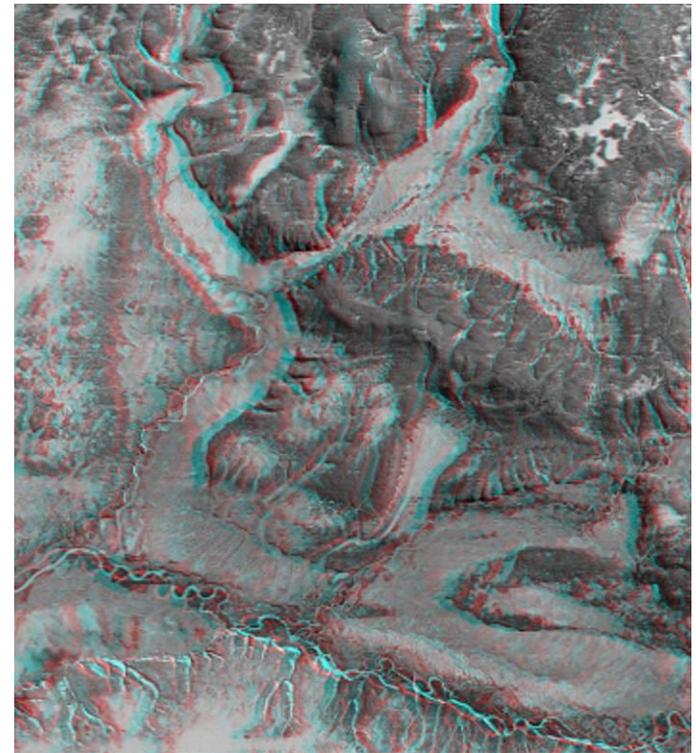
- Niveaux de gris
- Courbes de niveau
- Ombrage et LUT altimétrique
- Vue perspective
- Vue anaglyphe



Vue perspective du Canal de Panama
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA03368/>



Vue 3D de l'image HRS drapée sur le SPOT DEM sur la Mer Morte
<http://www.spotimage.fr/web/743-spot-3d.php>

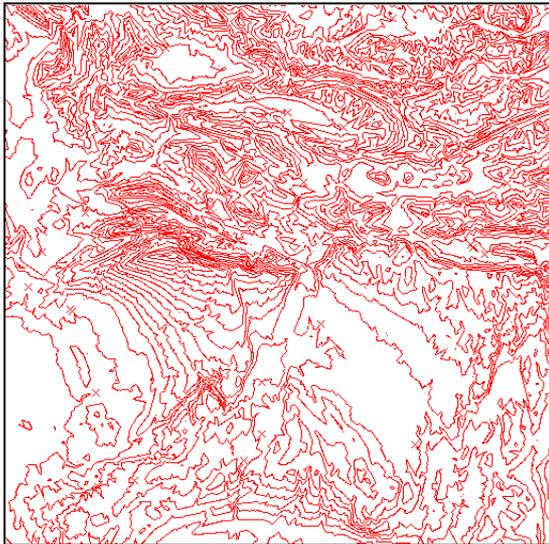


Ouest de la péninsule du Kamchatka (Russie)
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA02709/>

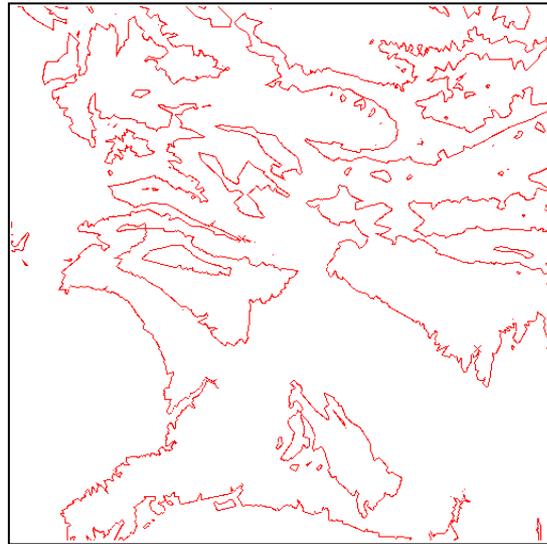


☉ Intervalle des courbes de niveau

intervalle de 100 mètres

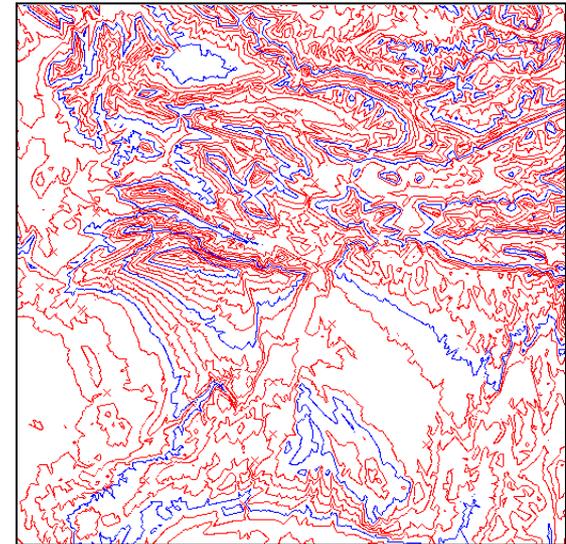


intervalle de 500 mètres



intervalle de

- 100 mètres (rouge)
- 500 mètres (bleu)





❖ Génération des MNTs

- ❖ Stéréoscopie (points homologues, disparités, corrélation)
- ❖ Altimétrie laser (LIDAR)
- ❖ Altimétrie Radar
- ❖ Interférométrie
- ❖ Bathymétrie sonar
- ❖ « Analyse des bleus »
- ❖ Interpolation des valeurs altimétriques
- ❖ Contrôle qualité des MNTs

Stéréoscopie optique

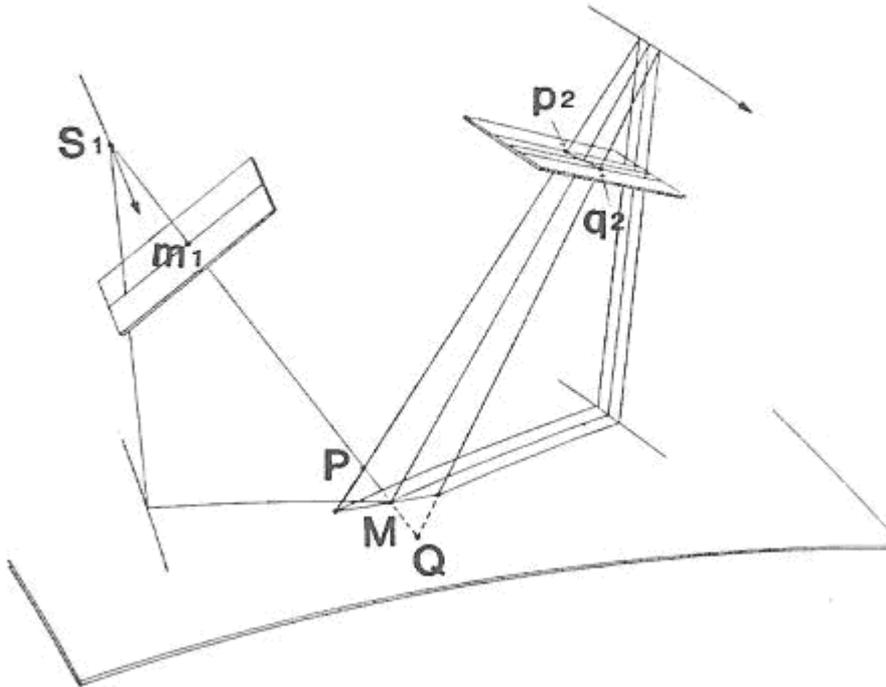


Image dans chacune des vues stéréoscopiques du point de terrain M situé sur l'élément de courbe PQ .

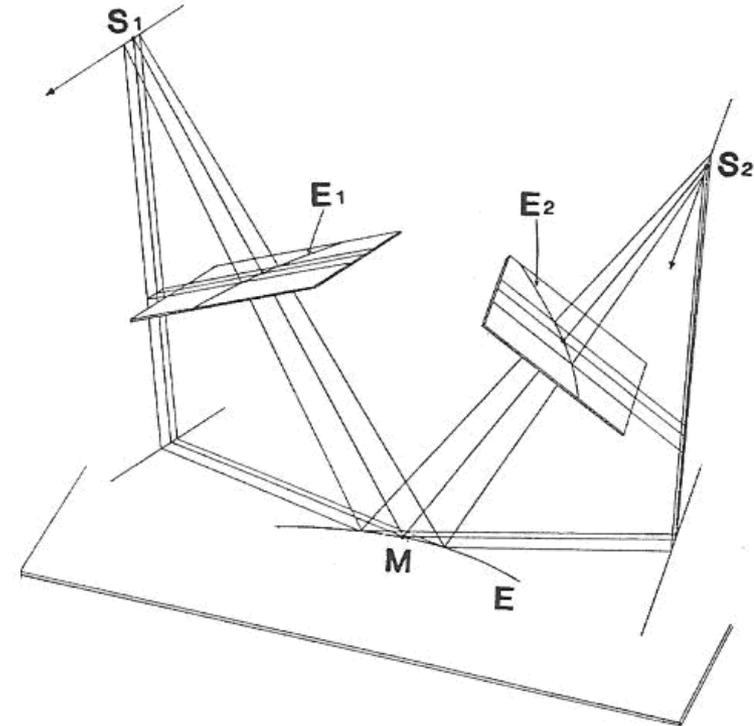


Image d'une courbe épipolaire E dans la vue 1 (E_1) et dans la vue 2 (E_2).

Serge RIAZANOFF et Patrick JULIEN – *Extraction et analyse automatiques d'un réseau hiérarchisé de talwegs. Application à un modèle numérique de terrain dérivé d'un couple stéréoscopique SPOT.* – *International Journal of Remote Sensing*, 1992, vol. 13, N°2, 337-364. - http://www-igm.univ-mlv.fr/~riazano/publications/199201xx_IJRS_vol13_No2_pp337-364_Extraction_et_analyse_automatiques_reseau.pdf

LIDAR – Technique (1)

Laser scanning = 3 technologies + 1 vecteur

- Laser scanner system : laser pulsé (mesure des distances) et miroir rotatif (fournit le balayage transversal)
- GPS : 1 récepteur embarqué (fournit la position du système) + 1 récepteur au sol (permet d'améliorer les positions, erreur < 15cm) = DGPS « differential GPS »
- INS : centrale inertielle (fournit les attitudes du système)
- Vecteur : avion ou hélicoptère (fournit le balayage longitudinal)

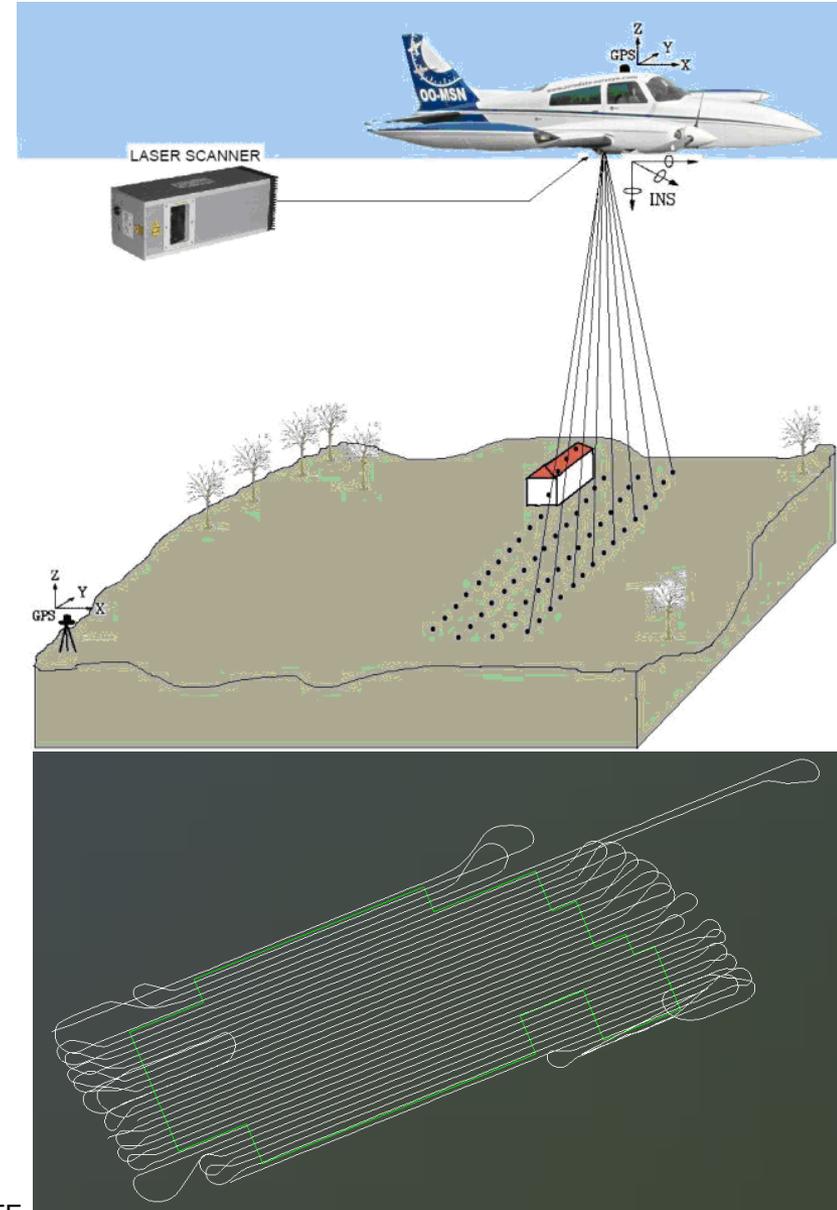
Systèmes actuels > 200 000 impulsions/sec. (200 kHz)

Avion (limite à 60-70 m/s) → densité de 5 à 10 points/m²

Hélicoptère → densités > 10 points/m²

Acquisition d'une emprise par bandes de vol parallèles se recouvrant

Acquisition sur le bassin de la Scarpe (Nord Pas-de-Calais)
Courtoisie Aerodata © 2009



LIDAR – Technique (2)

Mesure

On mesure des distances par la mesure des temps de retour des échos renvoyés par les objets.

Pour une impulsion plusieurs possibilités:

- simple écho (écho unique) sur objets sans relief (ex. sol)
- échos élargis sur objets avec relief (pentes)
- multiple échos sur objets a forte verticalité (arbres, façades)

Spécificités sur certains objets, selon leur réflectivité et leur état de surface (ex. eau, toitures).

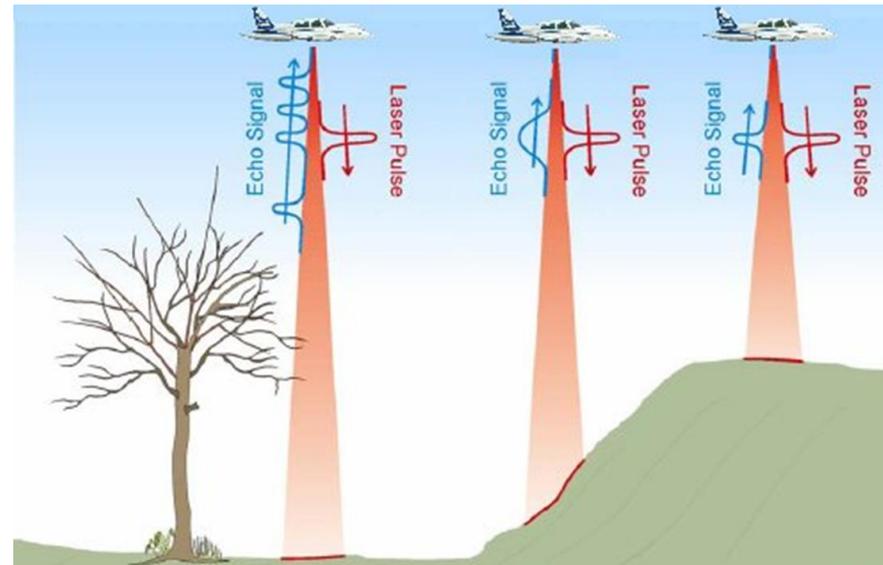
On mesure aussi la réflectivité des objets (intensité).

Courtoisie Aerodata © 2009

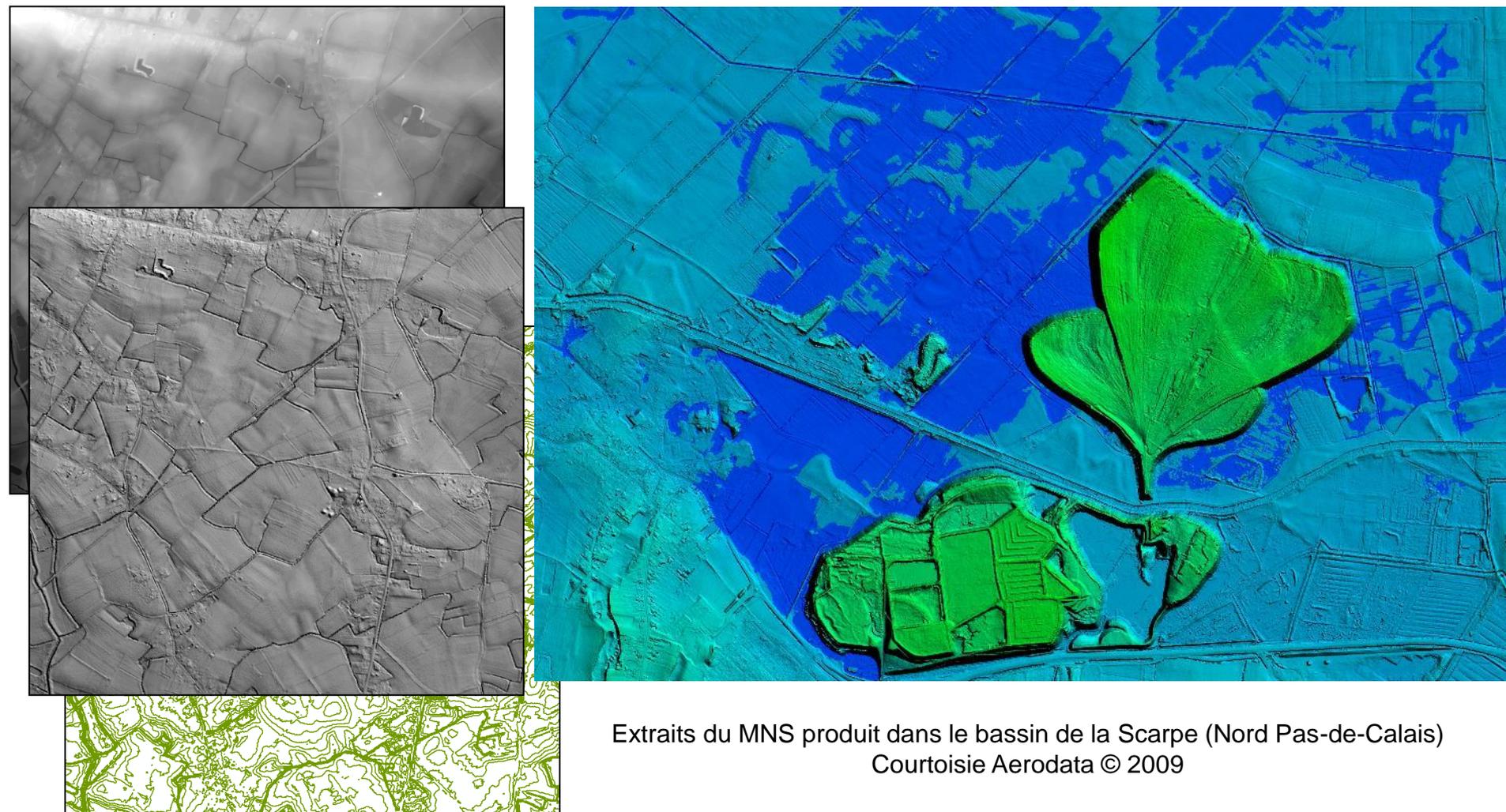
Traitements

Avant exploitation les données subissent des traitements importants :

- restitution géométrique, ajustement entre bandes de vol, transformations cartographiques
- utilisation d'outils spécifiques pour travailler en mode nuage de points
- traitements de classification pour isoler les différents thèmes d'intérêt (sol, sursol, bâti, végétation...)
- génération de produits dérivés, par exemple MNT, contours, bâti 3D...

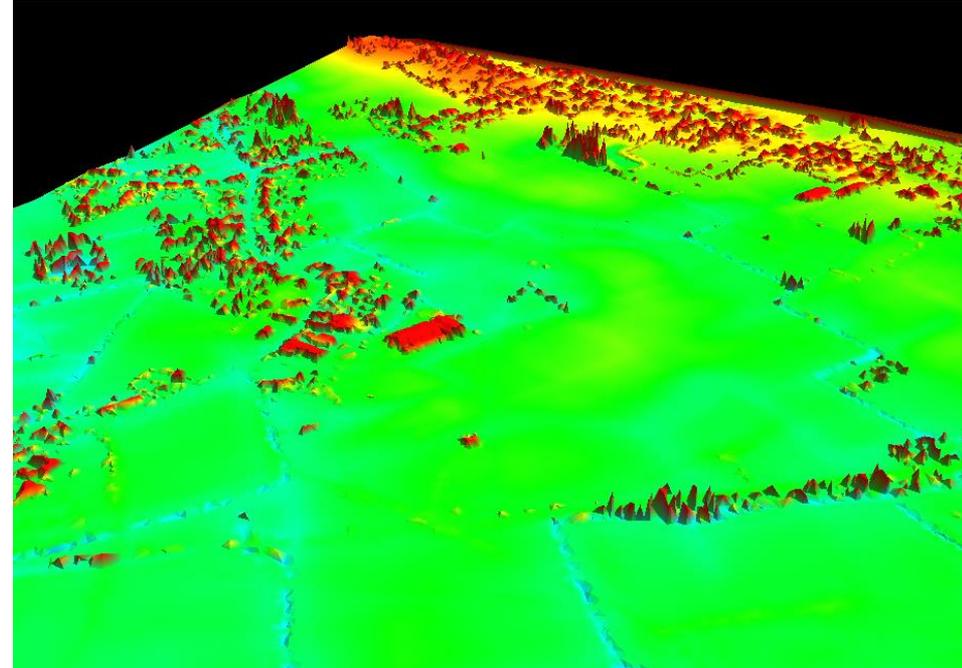
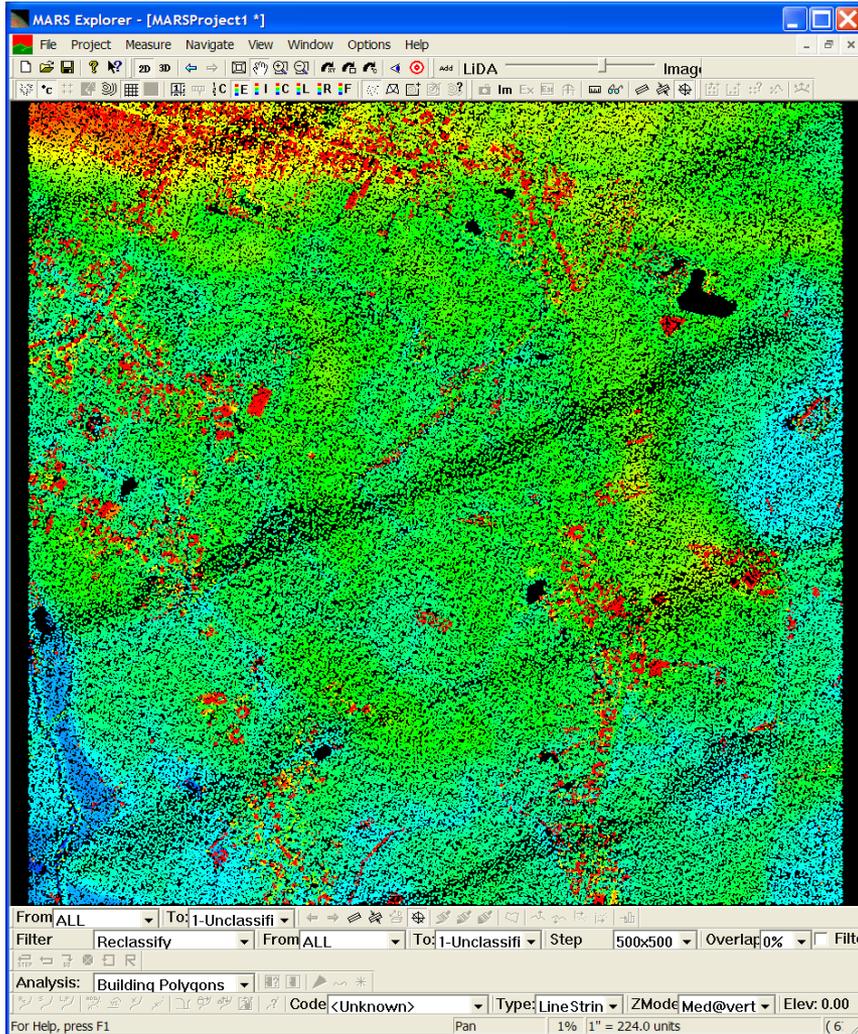


LIDAR – Résultats (1)



Extraits du MNS produit dans le bassin de la Scarpe (Nord Pas-de-Calais)
Courtoisie Aerodata © 2009

LIDAR – Résultats (2)



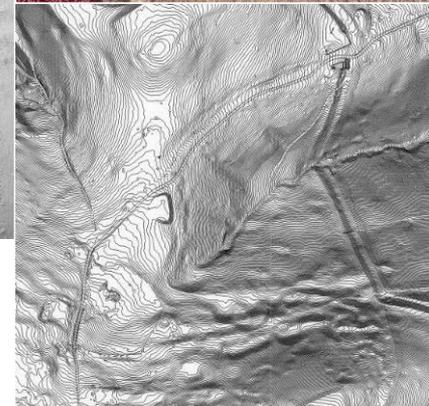
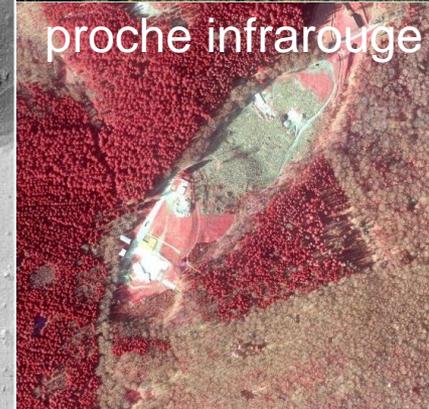
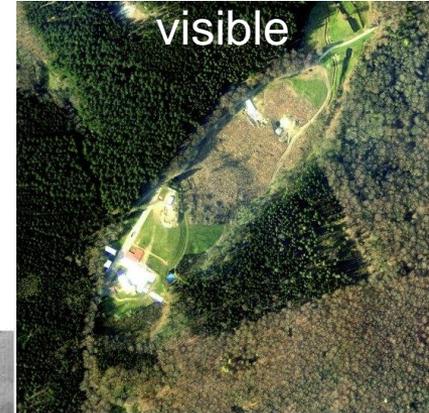
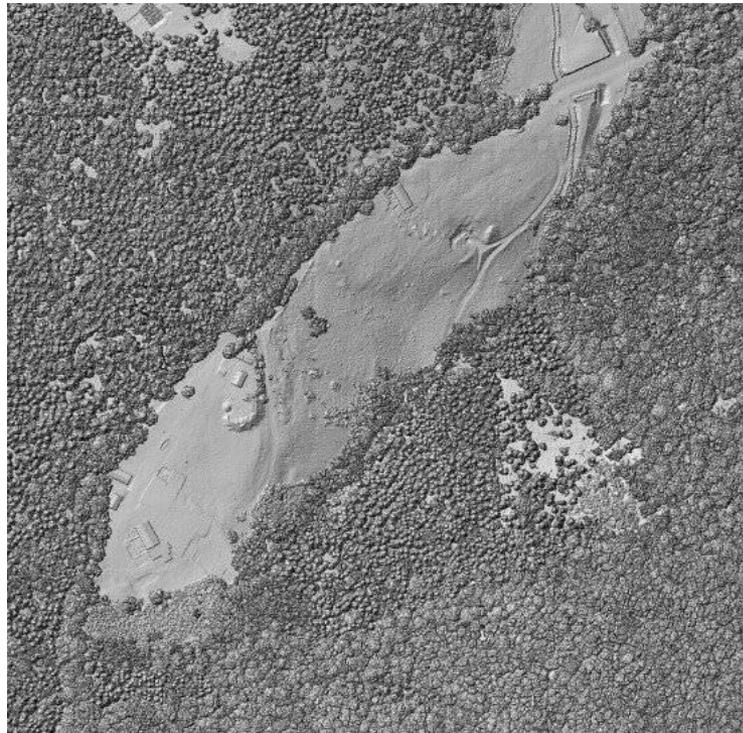
Extraits du MNS produit dans le bassin de la Scarpe
Visualisation dans « MARS Explorer »
Courtoisie Aerodata © 2009



LIDAR – Résultats (2)

Modèle Numérique d'Élévation
(sommet de la végétation)

Modèle Numérique de Terrain
(sols)



Site gaulois de recherche archéologique de Bibracte

<http://www.bibracte.fr/page.php?langue=fr&rub=02&srub=04&ssrub=05>



📍 Données altimétriques disponibles

- ❑ Historique, données sensibles
- ❑ MNT SPOT, Référence 3D
- ❑ MNT ASTER
- ❑ MNT ALOS
- ❑ GeoTopo
- ❑ Analyse et traitements de SRTM
 - La mission
 - Format des données
 - Analyse qualité des données
 - Le « bouchage des trous »
- ❑ ASTER GDEM
- ❑ MNTs dans les globes virtuels



DTED ® - « Digital Terrain Elevation Data »

Nomenclature proposée par la NIMA (National Imagery and Mapping Agency) puis reprise par la NGA (National Geospatial-Intelligence Agency)
<https://www1.nga.mil/ProductsServices/TopographicalTerrestrial/DigitalTerrainElevationData/Pages/default.aspx>

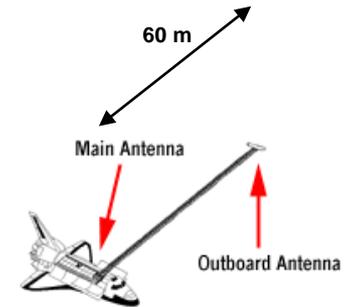
DTED	pas d'échantillonnage géographique	distance au sol à l'équateur	cellule	échantillons par cellule
DTED-0	30 ''	≈ 1 km	5 ° x 5 °	600 x 600
DTED-1	3 ''	≈ 100 m	1 ° x 1 °	1200 x 1200
DTED-2	1 ''	≈ 30 m	1 ° x 1 °	3600 x 3600
DTED-3	0,3333 '' (≈1/3 '')	≈ 10 m	5 ' x 5 '	900 x 900
DTED-4	0,1111 '' (≈1/9 '')	≈ 3 m	1 ' x 1 '	540 x 540
DTED-5	0,0370 '' (≈1/27 '')	≈ 1 m	30 '' x 30 ''	810 x 810



SRTM

Description

- Lancement 11 février 2000
- Mission 10 jours
- Couverture 80% des terres émergées
- Données <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/>
<ftp://ftp.glcf.umd.edu/glcf/SRTM/>
- Défauts Quelques trous en particulier sur les crêtes
- Produits 1" arc (environ 30 m à l'équateur) - US
3" arc (environ 90 m) – reste du monde
- CRS horizontale : WGS84
verticale : EGM96 ???



Reflected radar signals collected at two antennas, providing two sets of radar signals separated by a distance.

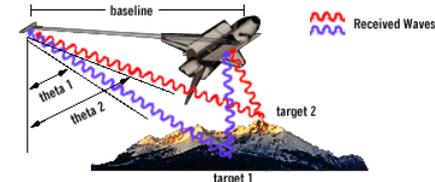
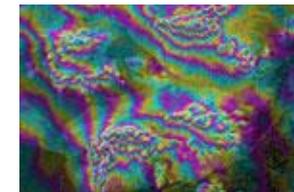
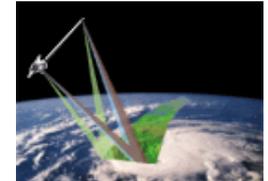
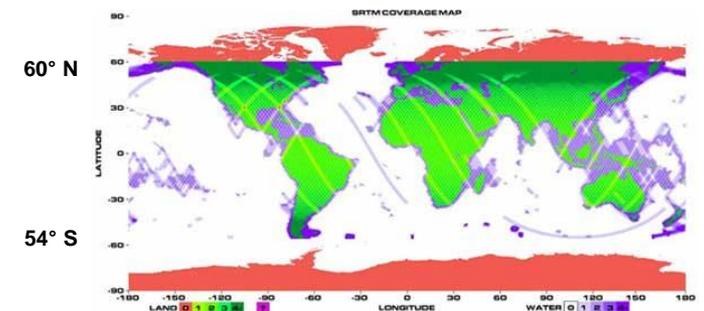
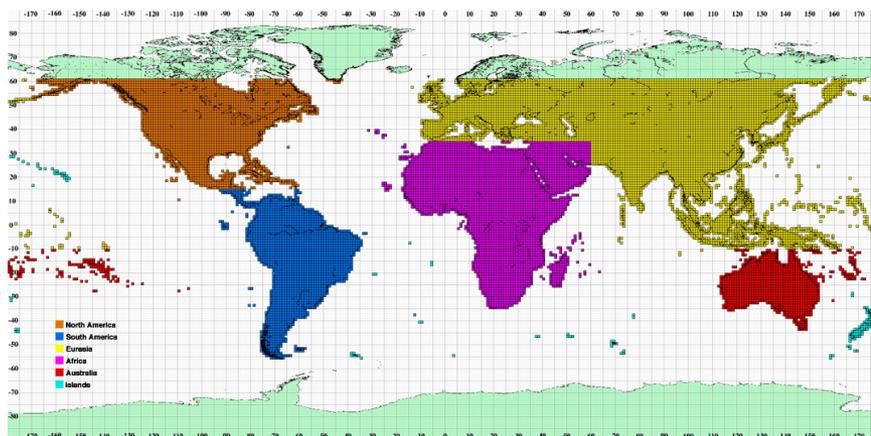


Figure 4: Differential Distance Gives Topography

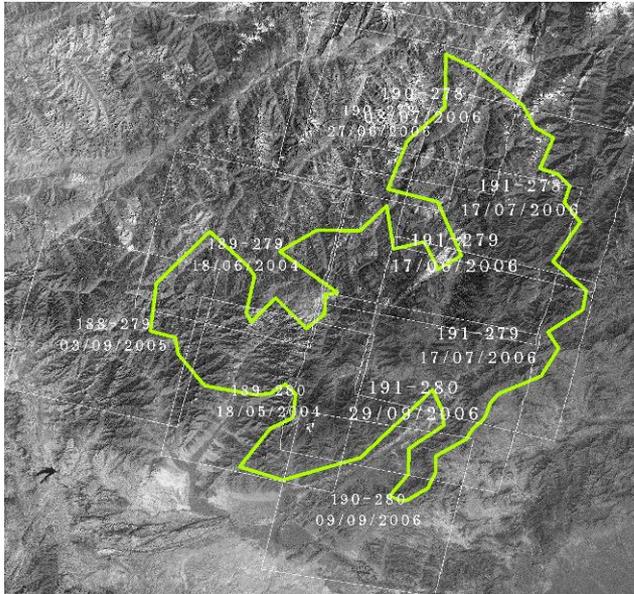


<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

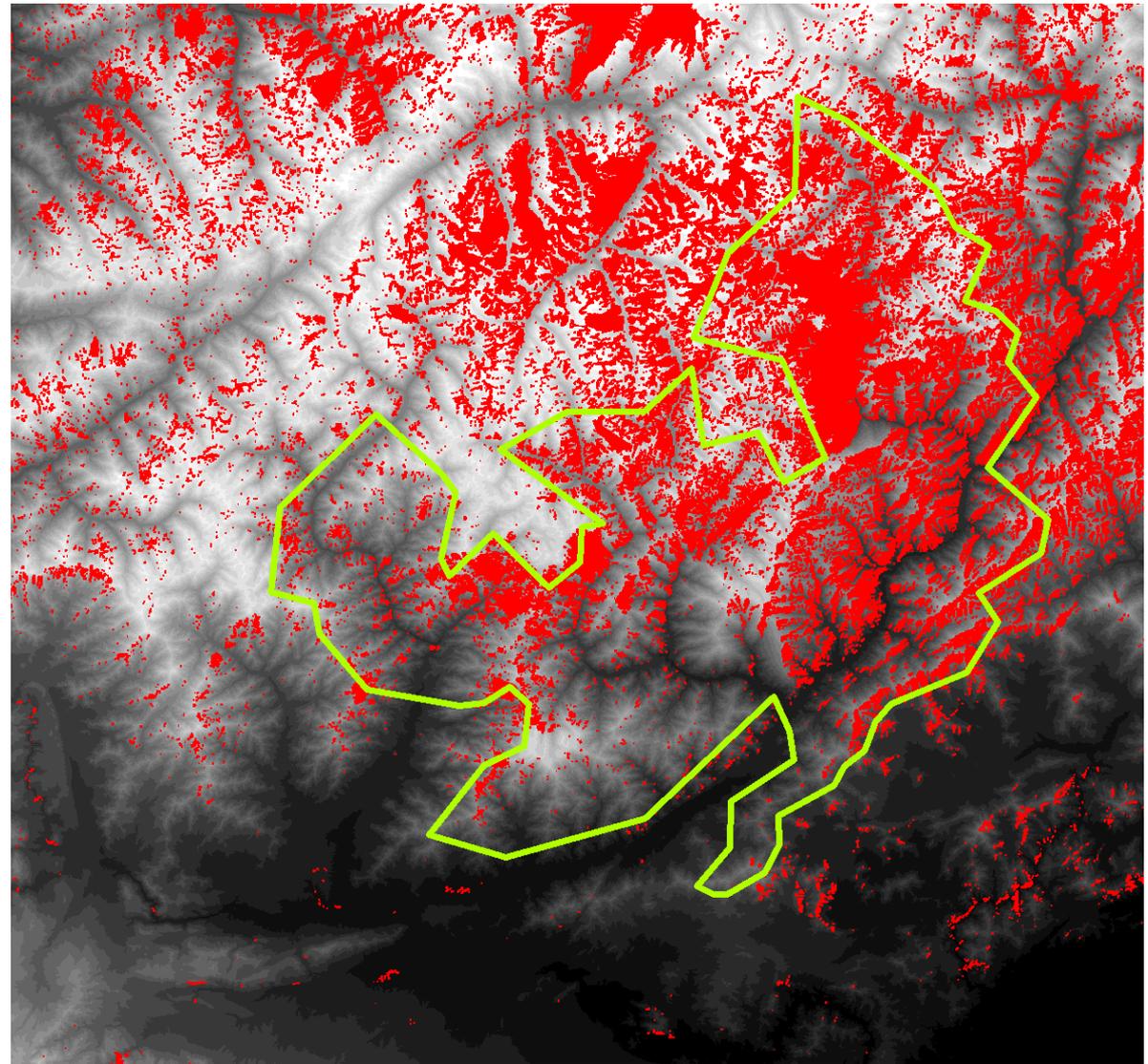


SRTM

Défauts



Plan de position des scènes SPOT
à orthorectifier sur la zone

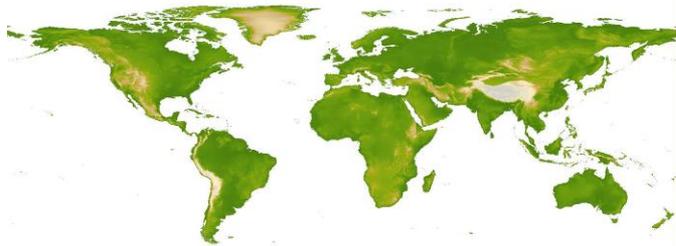


Trous de valeur (rouge) dans le SRTM à l'ouest de l'Afghanistan

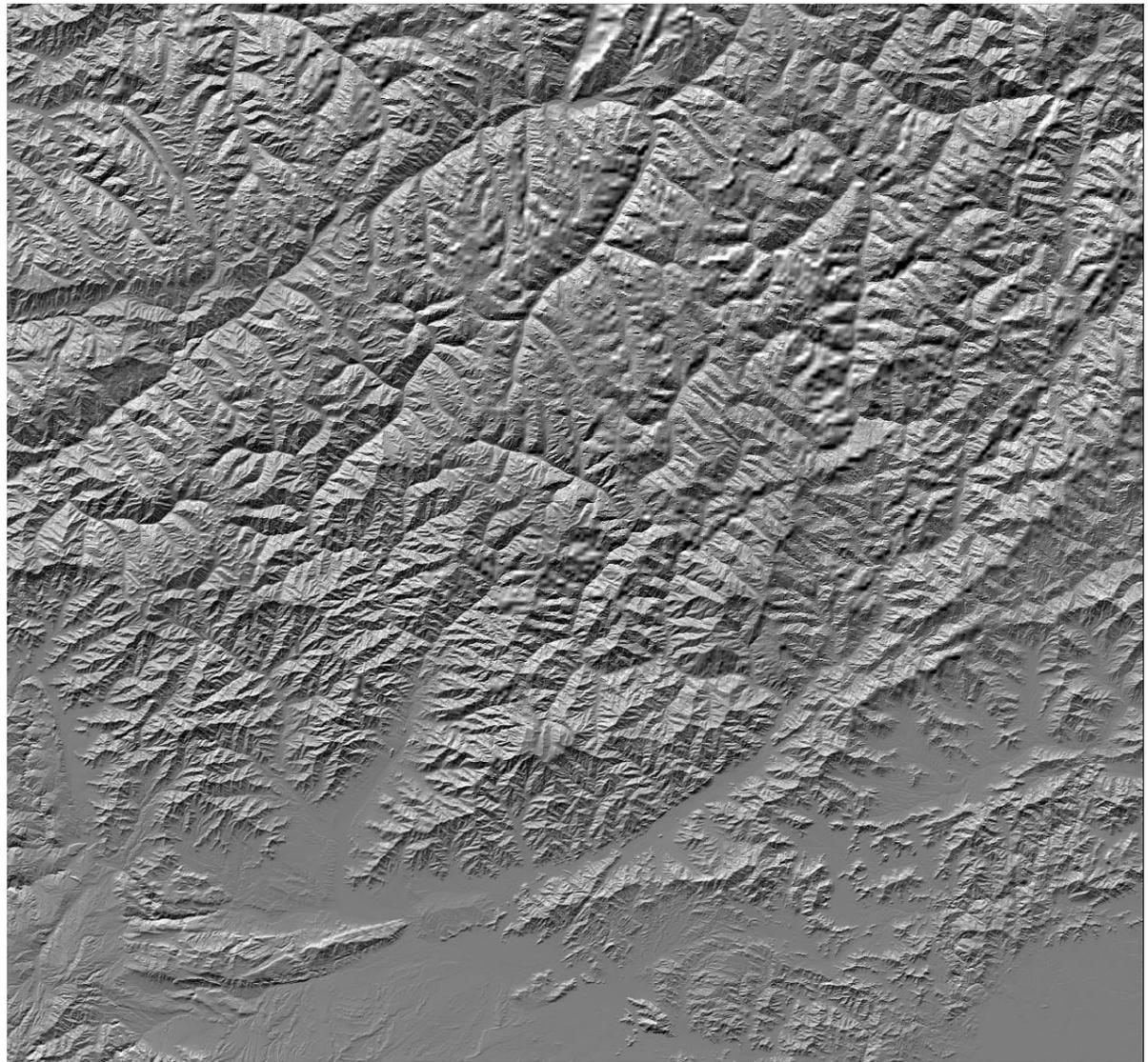


✚ SRTM

- ✚ Correction par SRTM30



SRTM30 (30" arc \approx 900 m à l'équateur)
vue en pseudo-couleurs

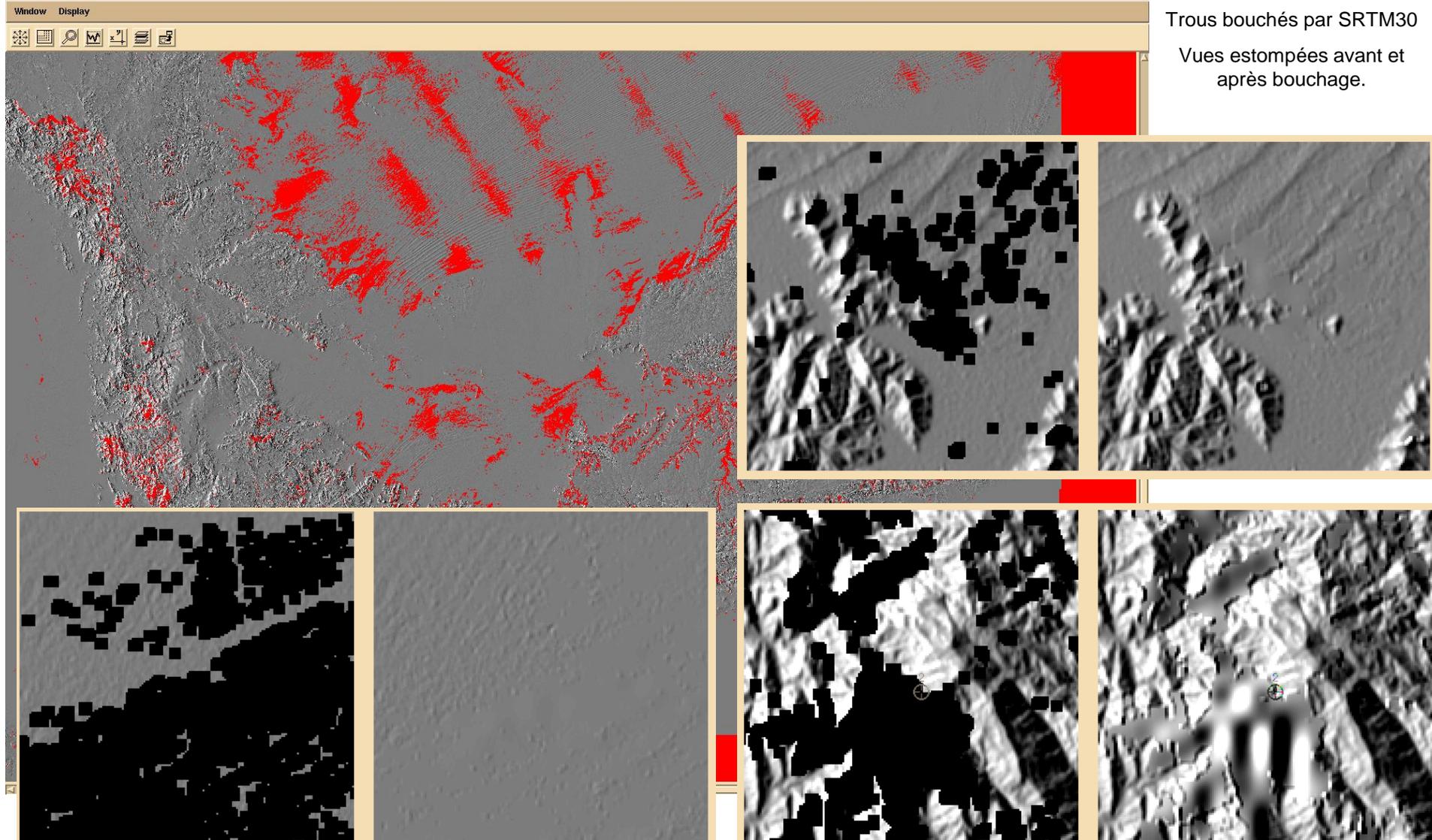


Trous bouchés par SRTM30 – Vue estompée



❖ Correction par SRTM30 (suite) – MNT Yemen

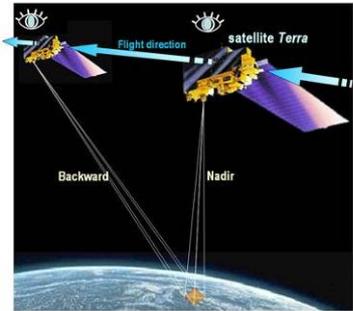
Trous bouchés par SRTM30
Vues estompées avant et
après bouchage.





ASTER GDEM

Description

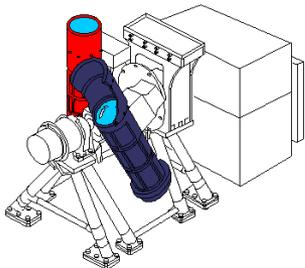


- Lancement
- Mission
- Instrument

Terra (NASA) lancé en décembre 1999
 environ 8 années d'observation → 1.264.118 couples stéréo
Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) construit par le METI (Japon)
 Stéréo sur bande 3 (0.78-0.86 μm), vue NADIR 3N et arrière 3B
 angle de visée = $27,6^\circ$ → angle d'incidence = $30,97^\circ$ → B/H \approx 0,6
 $83^\circ\text{N} - 83^\circ\text{S}$

<http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/2.html>

- Couverture
- Données



Ministry of Economy, Trade, and Industry (METI) of Japan
<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/search.jsp>
 NASA's Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC)
<https://wist.echo.nasa.gov/api/>

<http://asterweb.jpl.nasa.gov/vnir.asp>

- Produits
- V1: 22600 tuiles $1^\circ \times 1^\circ$ GeoTIFF géographique WGS84 / EGM96
 3601x3601 pixels à $1''$ arc (environ 30 m à l'équateur)

- CRS
 horizontale : WPS84
 verticale : EGM96
- Précision
 horizontale : 30 m à 95%
 verticale : 20 m à 95%

- Doc. de référence [SR-MNT-COURS ASTER GDEM README.pdf](#)

http://www.crms.uga.edu/pubs/isprs_aster_2003.pdf

<http://www-igm.univ-mlv.fr/~riazano/>

version 1.7

Serge RIAZANOFF
Modèles Numériques de Terrain



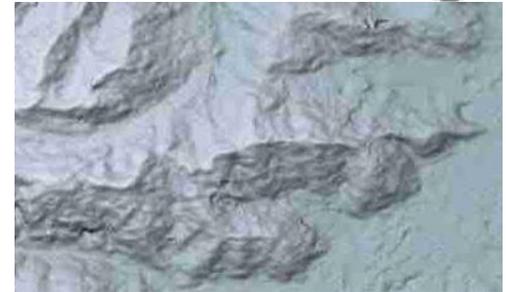
<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/search.jsp>
page 27



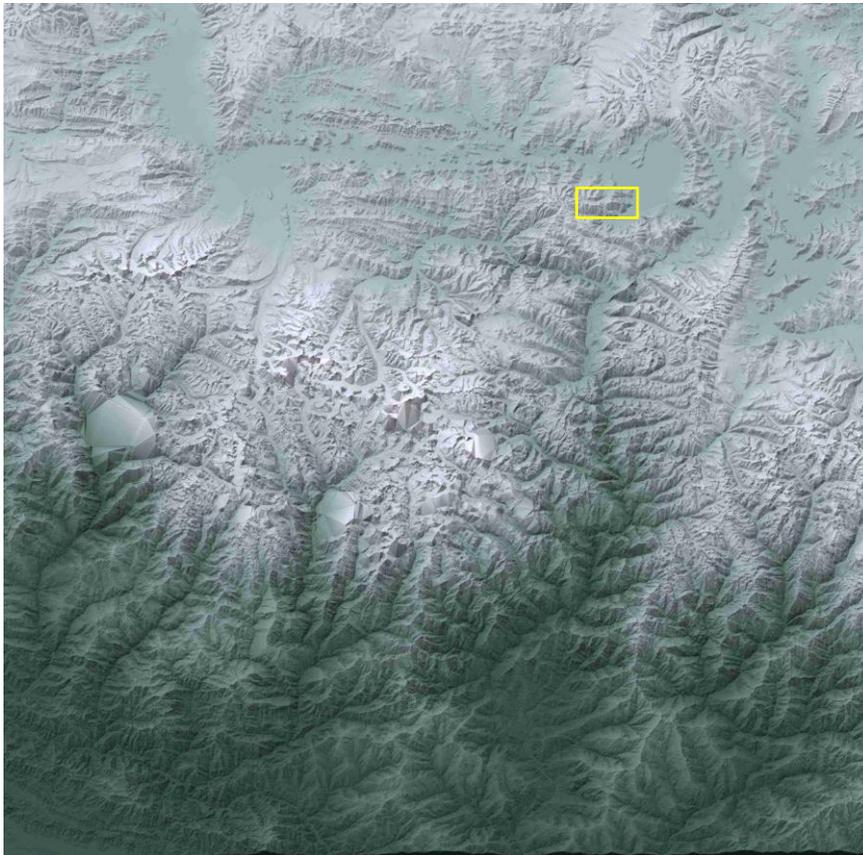
ASTER GDEM

☒ Comparaison avec SRTM

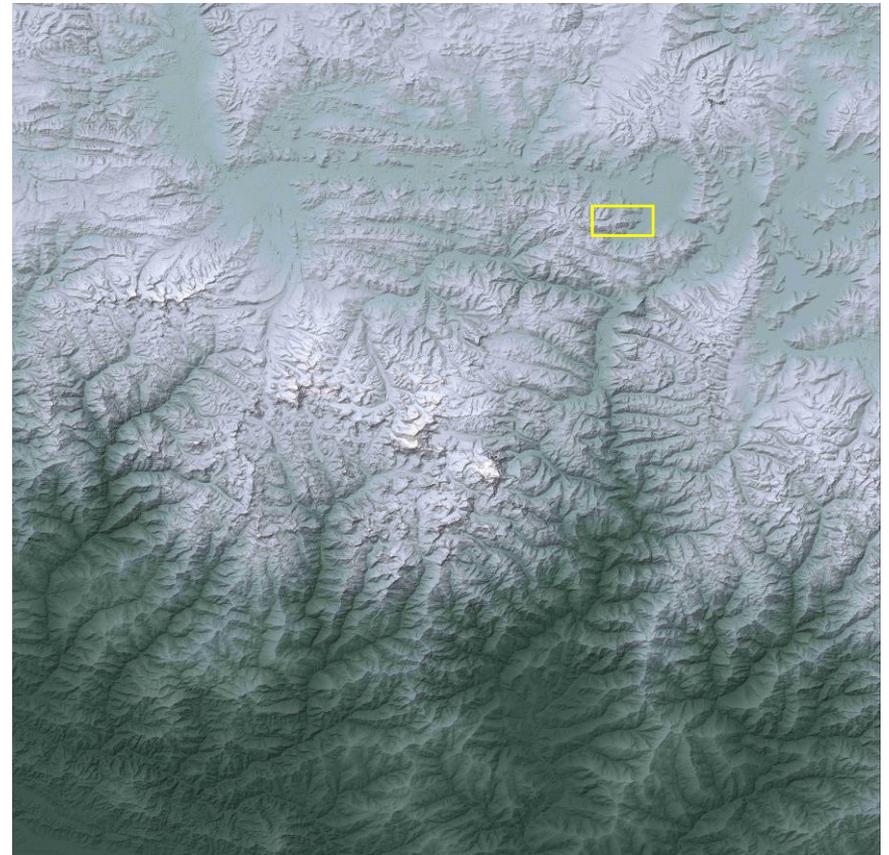
<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=39160>



SRTM SR-MNT-COURS/everest_srt_dem_lrg.jpg



ASTER GDEM SR-MNT-COURS/everest_ast_dem_lrg.jpg



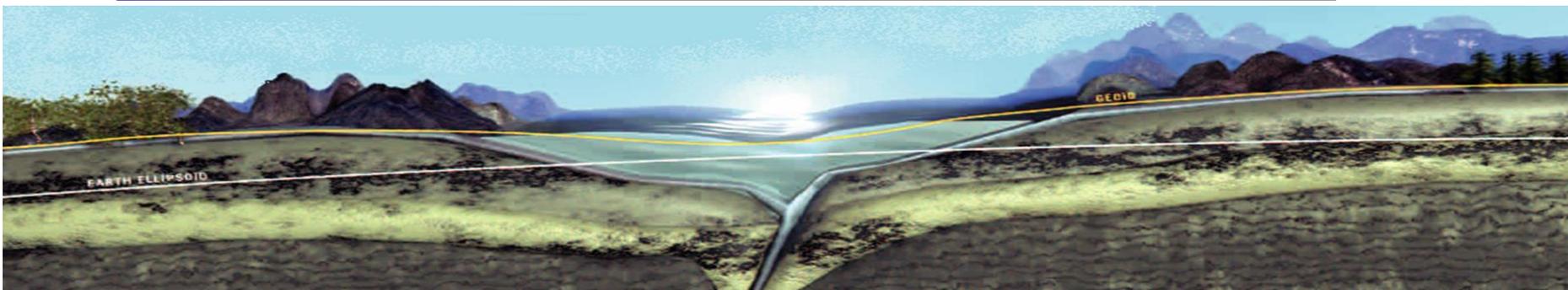
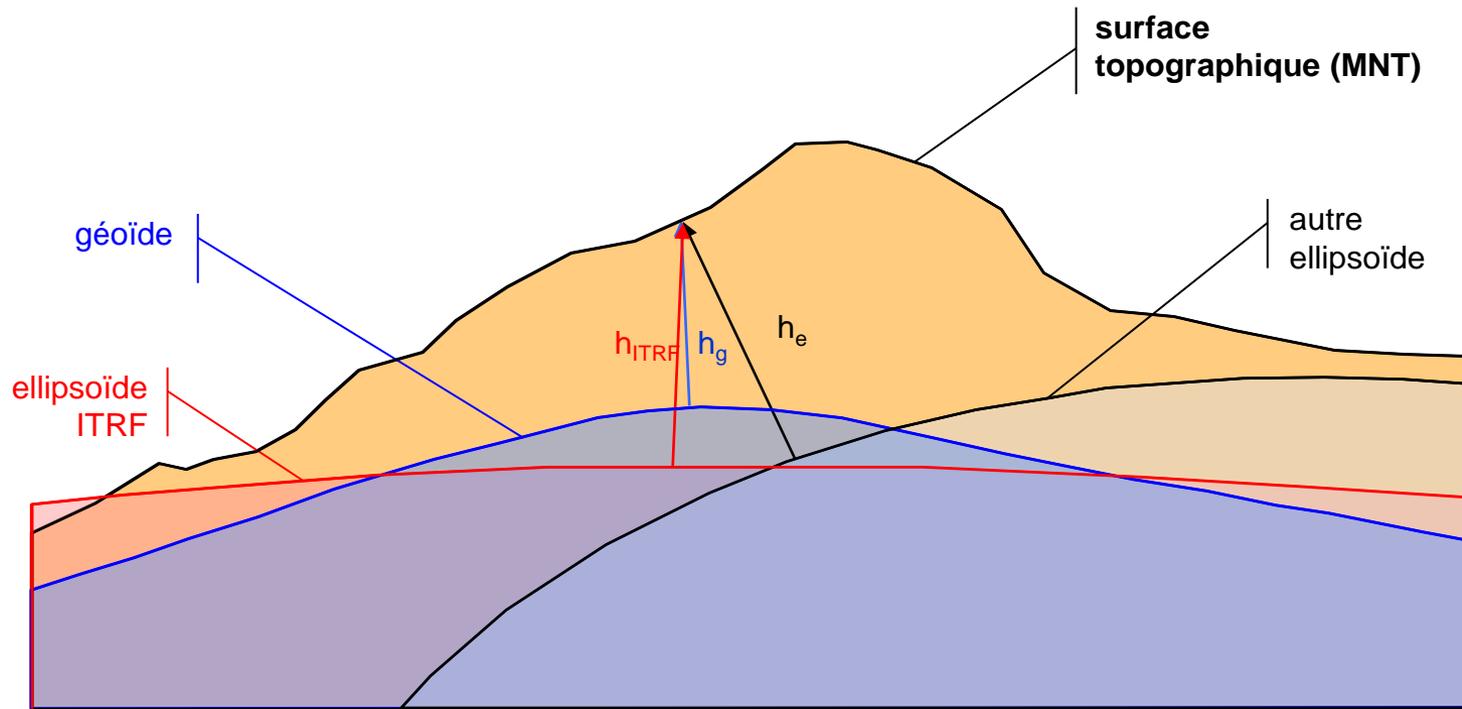


⊕ Les référentiels verticaux

- ❏ Référence à une des représentations du géoïde
- ❏ Référence à un des ellipsoïdes
- ❏ Passage WGS84 ↔ EGM96



Surface topographique – Géoïde - Ellipsoïde



Paramètres de l'ellipsoïde

distance aux foyers

$$OM + FM = 2 \times a$$

demi distance focale

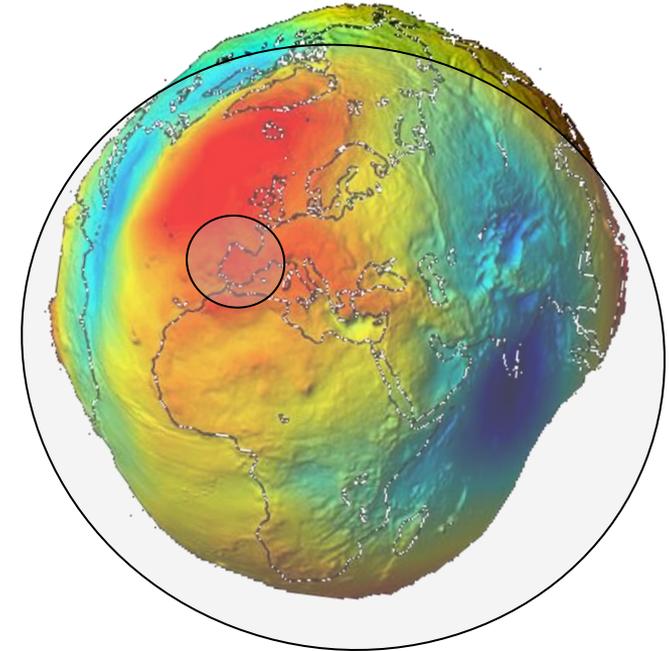
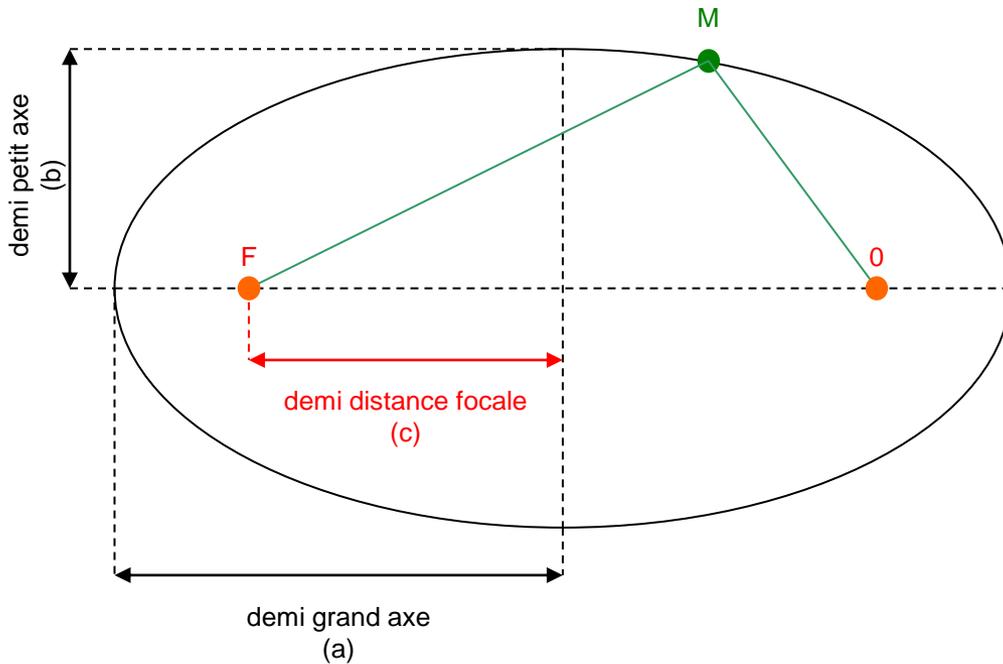
$$c = \sqrt{a^2 - b^2}$$

excentricité

$$e = \frac{c}{a} = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$$

aplatissement

$$f = \frac{a - b}{a} \rightarrow \frac{1}{f} = \frac{a}{a - b}$$

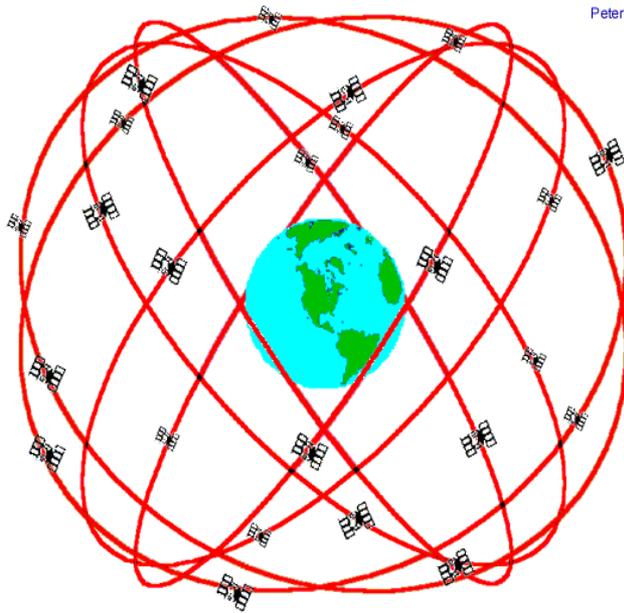


Approximation locale du géoïde

WGS84 – World Geodetic System 1984

Semi-major axis (a)	6 378 137 m
Semi-minor axis (b)	6 356 752.3 m
Inverse flattening	298.257 223 563

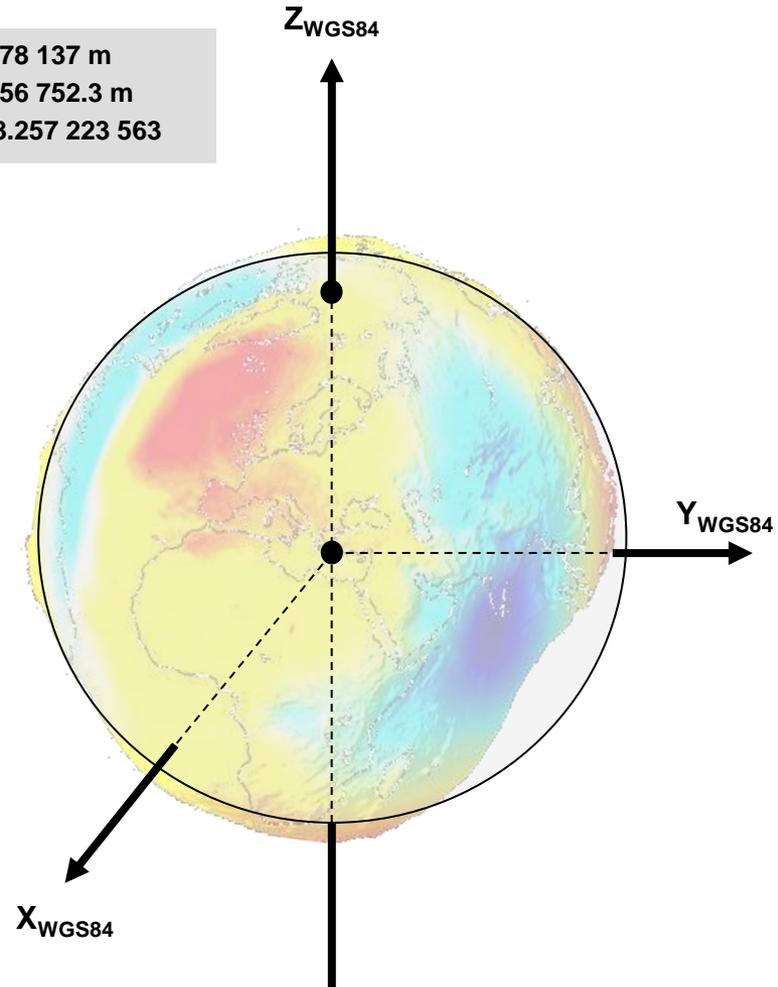
Peter H. Dana 9/22/98



GPS Nominal Constellation
24 Satellites in 6 Orbital Planes
4 Satellites in each Plane
20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination

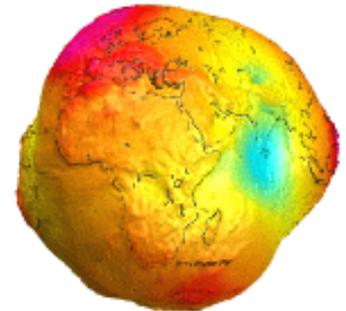
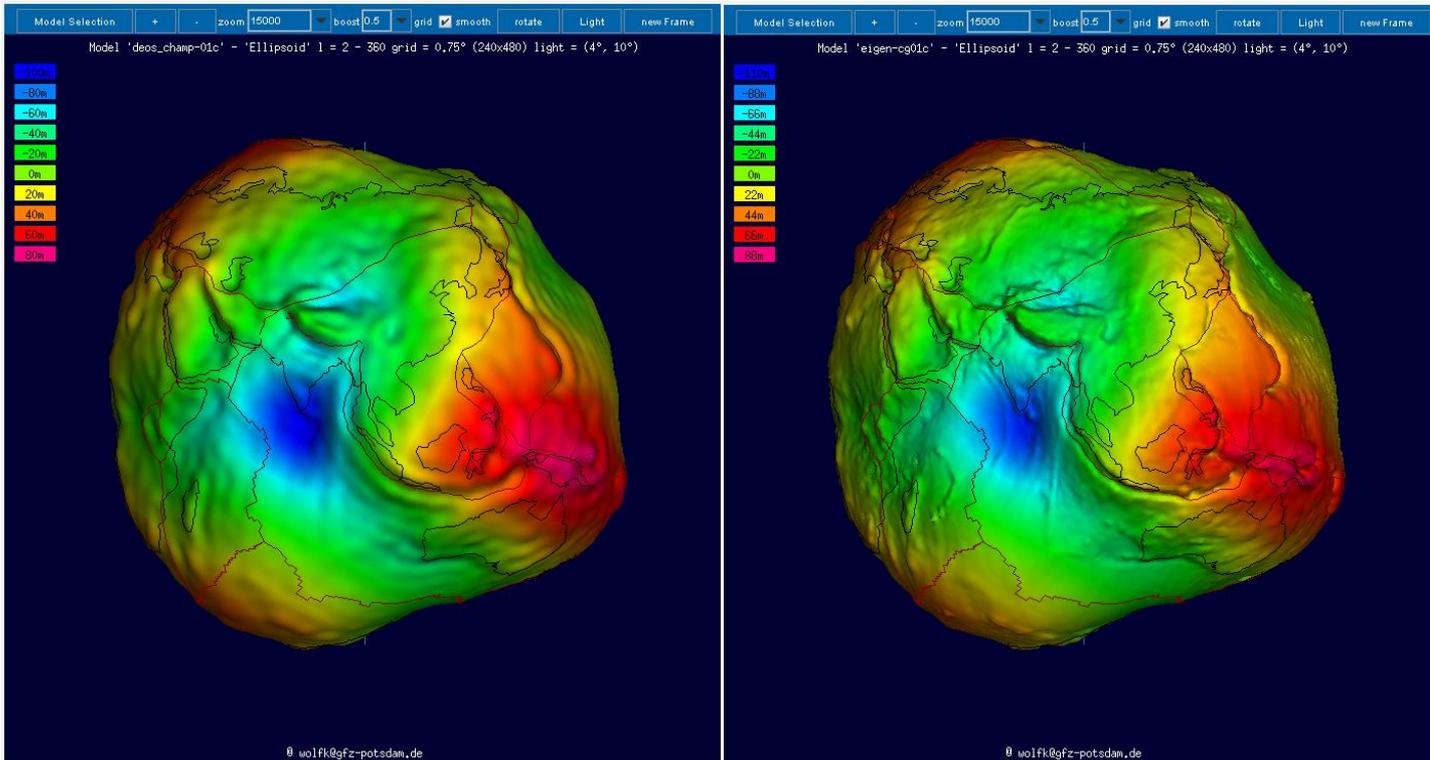
<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gif/orbits.gif>

<http://www-igm.univ-mlv.fr/~riazano/>
version 1.7



<http://www.wgs84.com/>
<http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/>

Géοïde



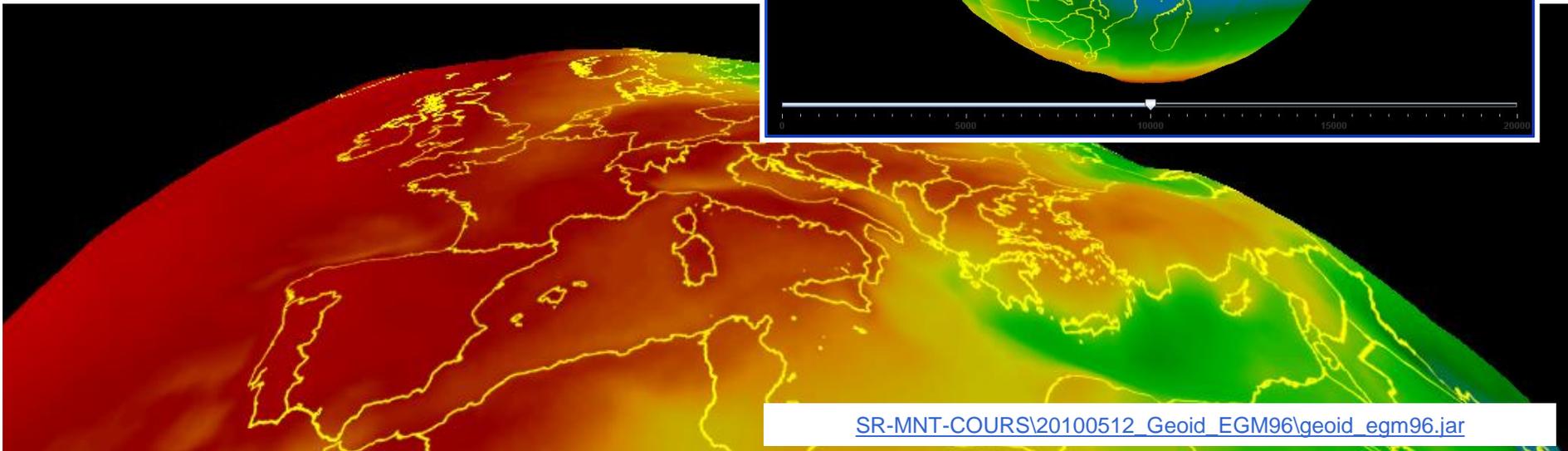
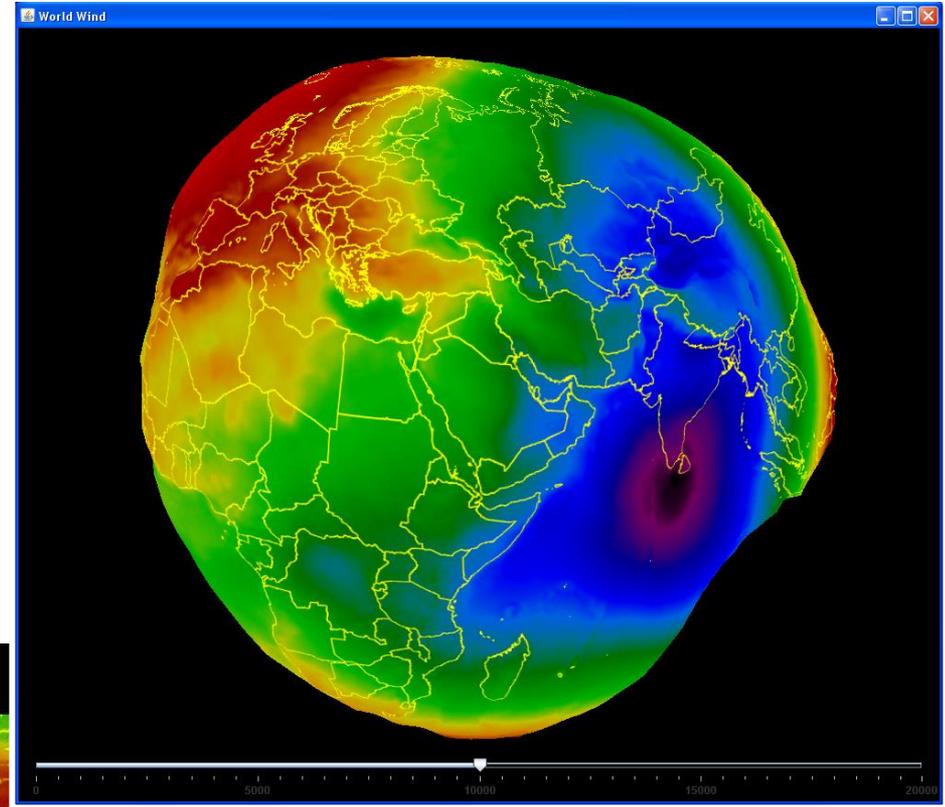
Géοïde mesuré par le satellite CHAMP
http://www.gfz-potsdam.de/pb1/op/champ/

Géοïde mesuré par le satellite CHAMP (gauche) et CHAMP combiné avec GRACE (droite)
<http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/ICGEM.html/>



EGM96

Auteur: [NGA](#) + [NASA/GSFC](#)
Sources: mixte
Résolution: 15' arc
Précision: RMSE < ??? cm
Site référence: <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm96/egm96.html>

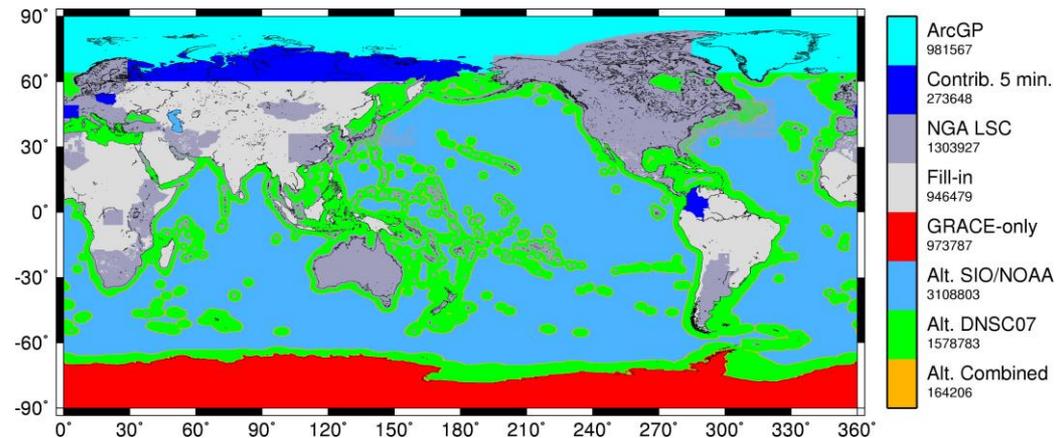
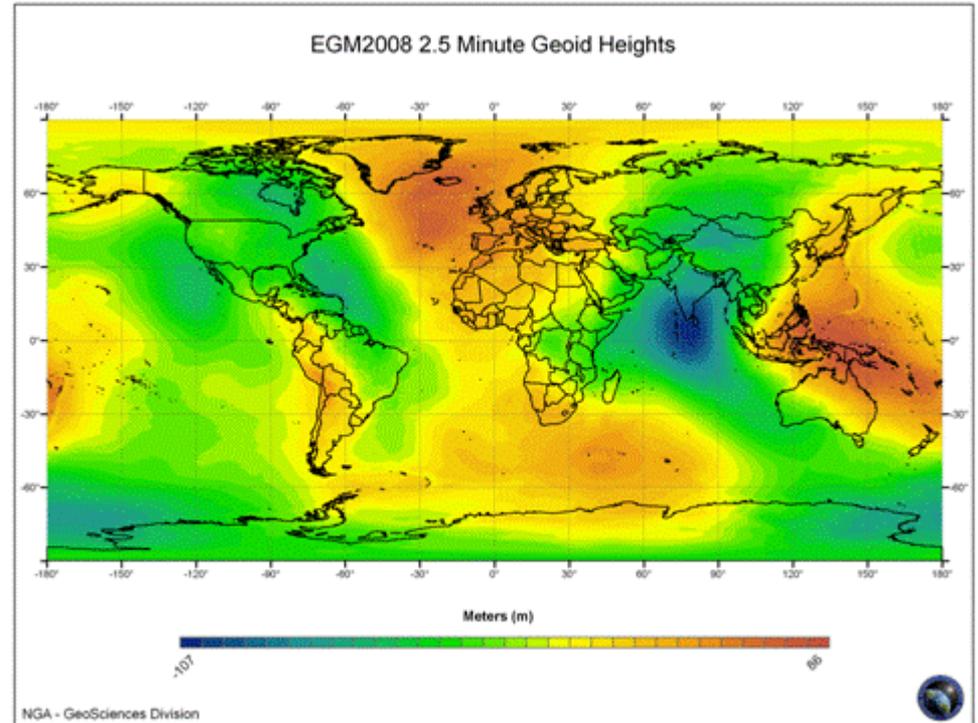


[SR-MNT-COURS\20100512_Geoid_EGM96\geoid_egm96.jar](#)



EGM2008

Auteur: [NGA + IAG / IGFS](#)
Sources: mixte
Résolution: 5' arc
Précision: RMSE < 7.1 cm
Site référence: <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/index.html>





❖ Applications des MNTs

❖ Géomorphométrie

- Modélisation locale des surface
- Pentes et expositions
- Courbures horizontales et verticales

❖ Extraction de réseaux hydrographiques et bassins versants

❖ Géologie structurale

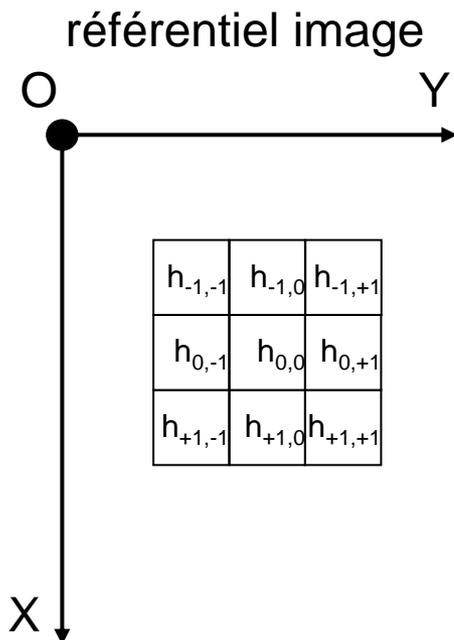
❖ Support à l'orthorectification des données optiques et Radar

❖ Gestion des risques (inondations, glissements de terrain...)



Géomorphométrie

☛ Pentes et azimuts (expositions)

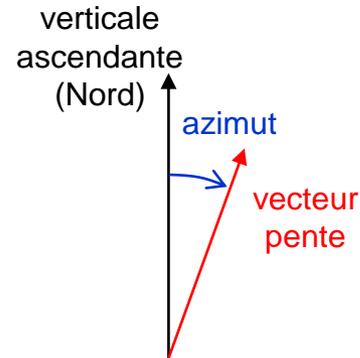
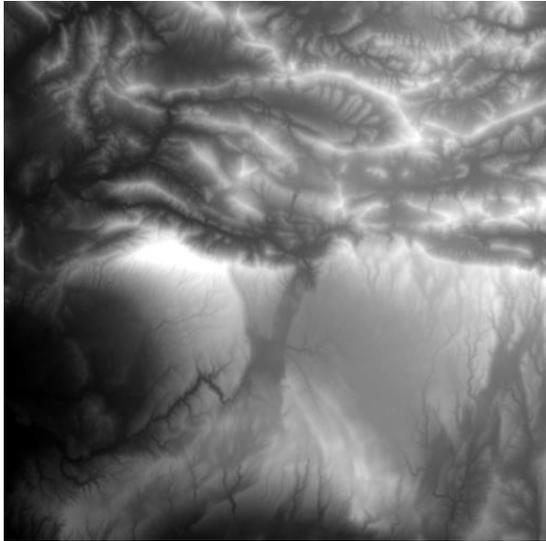


$$dX = \frac{-[h_{i+1,j} - h_{i-1,j}]}{2 \times GSD_X}$$

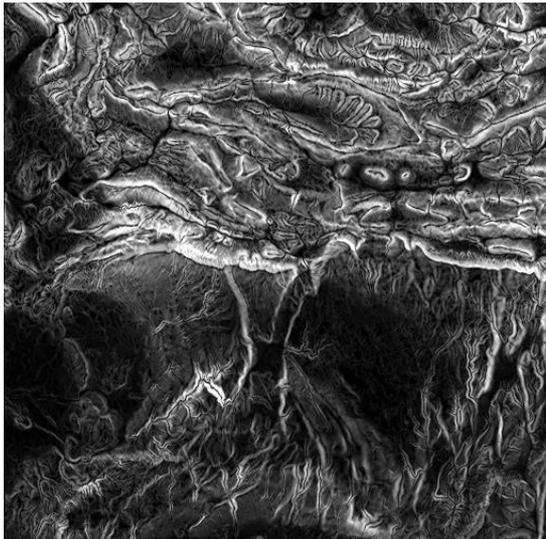
$$dY = \frac{-[h_{i,j+1} - h_{i,j-1}]}{2 \times GSD_Y}$$

$$\|\vec{p}\| = \sqrt{dX^2 + dY^2}$$

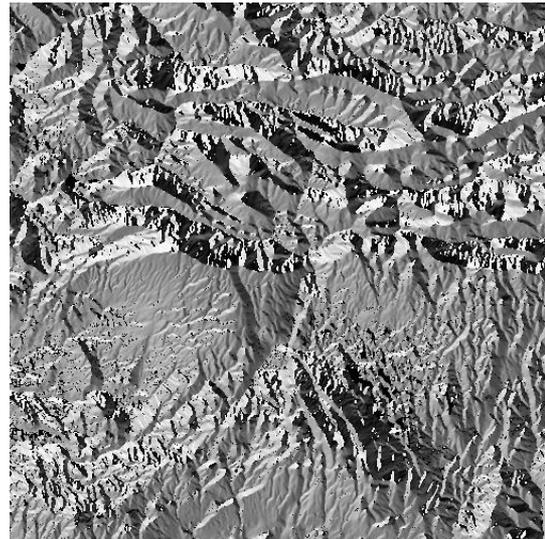
$$\alpha_{azimuth} = 180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{dY}{dX}\right)$$



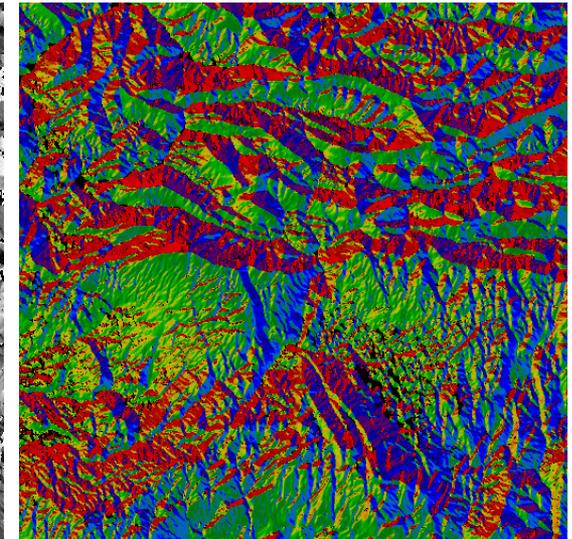
pent



azimut

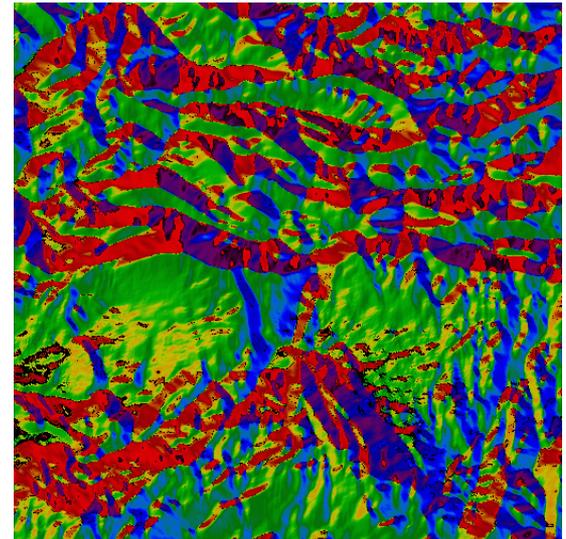
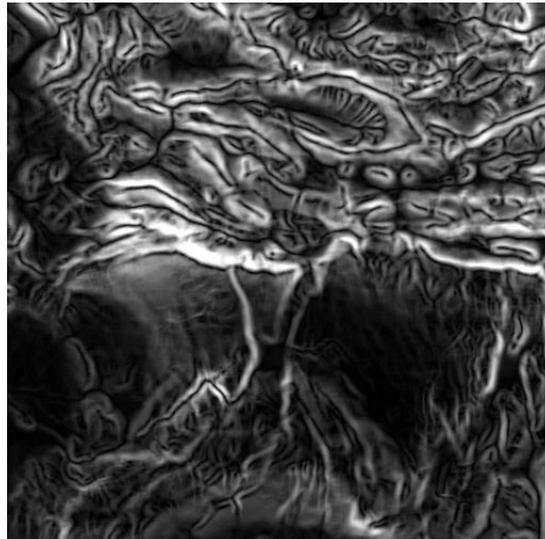
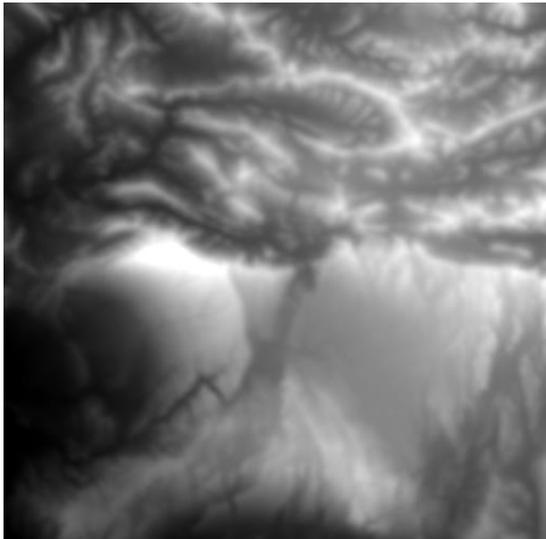
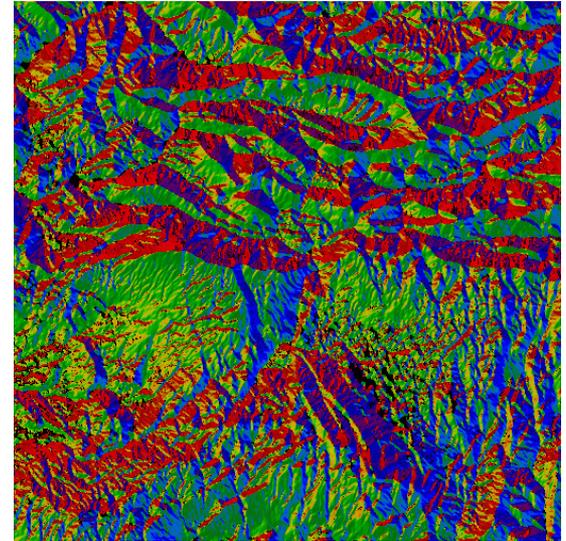
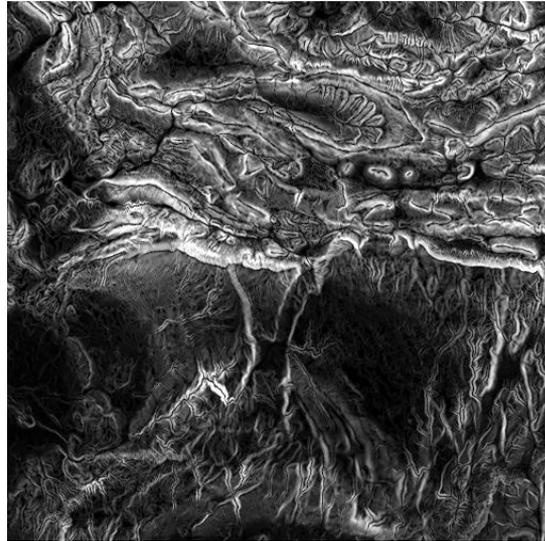
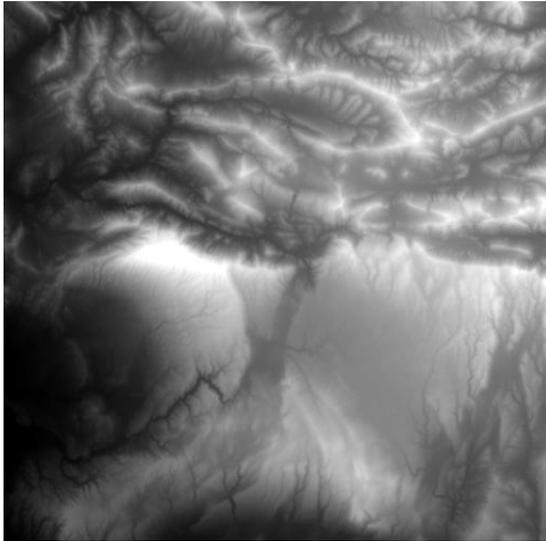


azimut





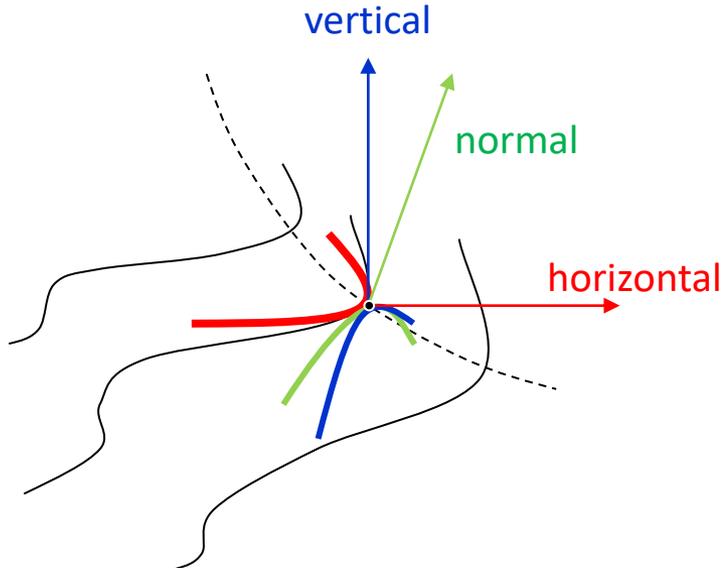
❖ Influence d'un filtrage passe-bas (mean 7x7)





Courbures

- ▣ horizontales
- ▣ verticales
- ▣ tangentielles



$$dX = \frac{-[h_{i+1,j} - h_{i-1,j}]}{2 \times GSD_X}$$

$$dY = \frac{-[h_{i,j+1} - h_{i,j-1}]}{2 \times GSD_Y}$$

$$dXX = \frac{h_{i+1,j} - 2 \times h_{i,j} + h_{i-1,j}}{GSD_X^2}$$

$$dYY = \frac{h_{i,j+1} - 2 \times h_{i,j} + h_{i,j-1}}{GSD_Y^2}$$

$$dXY = \frac{[h_{i+1,j+1} - h_{i+1,j-1}] - [h_{i-1,j+1} - h_{i-1,j-1}]}{4 \times GSD_X \times GSD_Y}$$

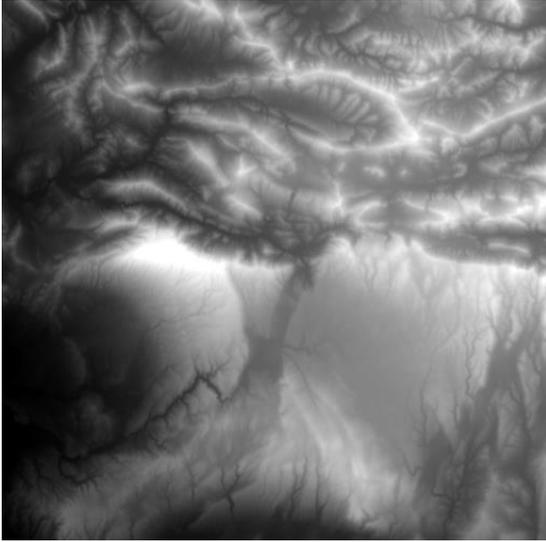
$$p = dX^2 + dY^2$$

$$q = p + 1$$

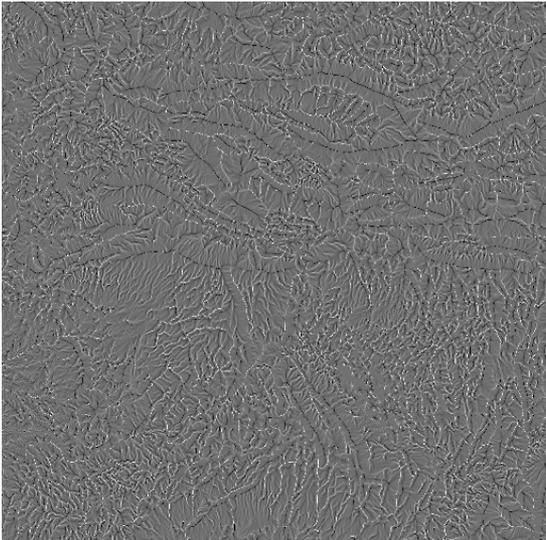
$$K_h = \frac{dXX \times dY^2 - 2 \times dXY \times dX \times dY + dYY \times dX^2}{p \times \sqrt{p}}$$

$$K_v = \frac{dXX \times dX^2 - 2 \times dXY \times dX \times dY + dYY \times dY^2}{p \times q \times \sqrt{q}}$$

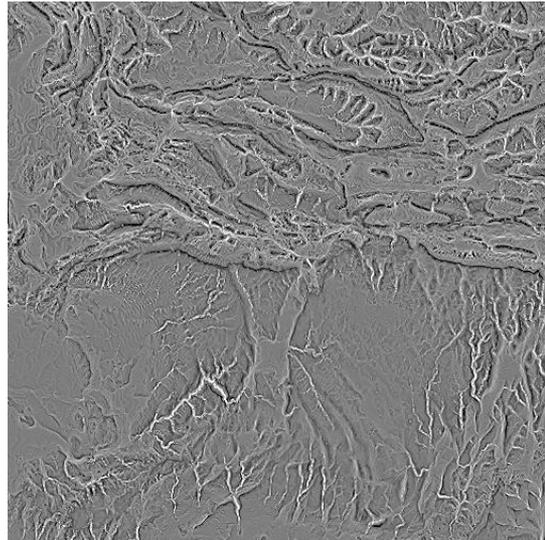
$$K_t = \frac{dXX \times dY^2 - 2 \times dXY \times dX \times dY + dYY \times dX^2}{p \times \sqrt{q}}$$



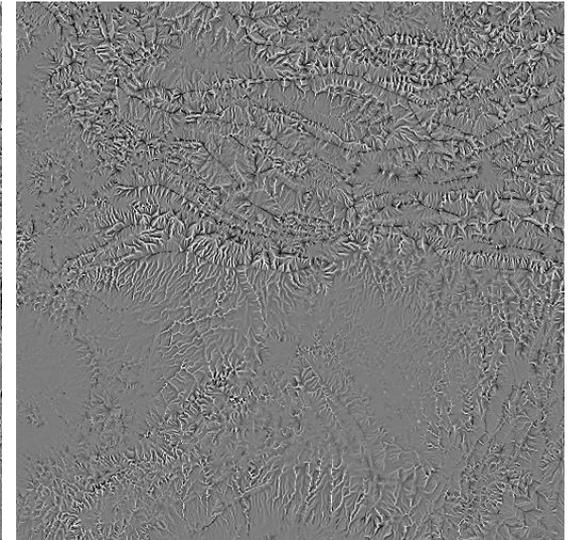
courbure horizontale



courbure verticale



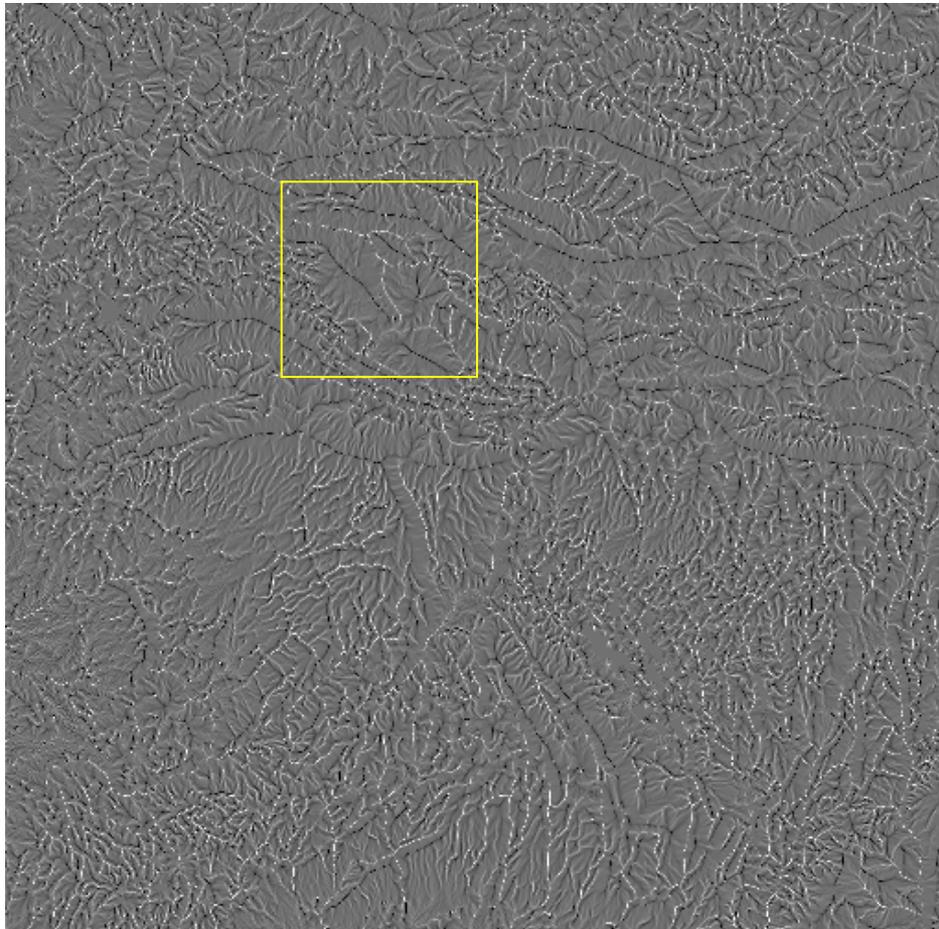
courbure tangentielle



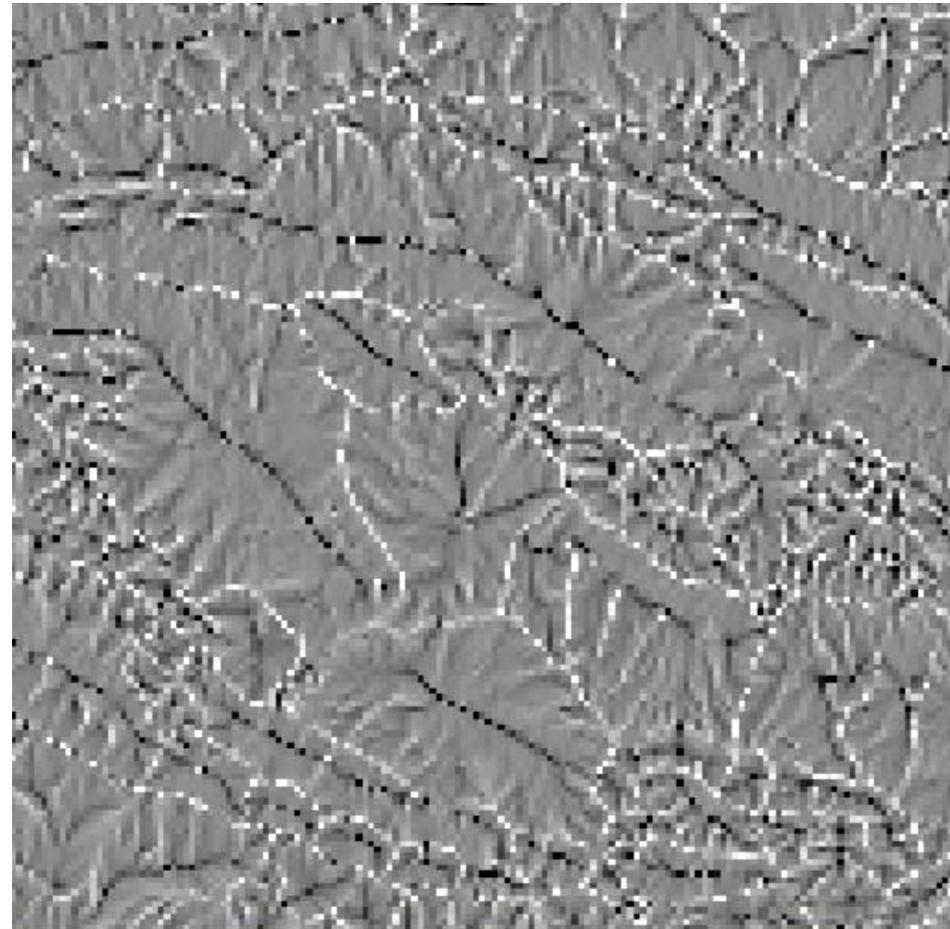


❖ Courbure horizontale

courbure horizontale (image entière)



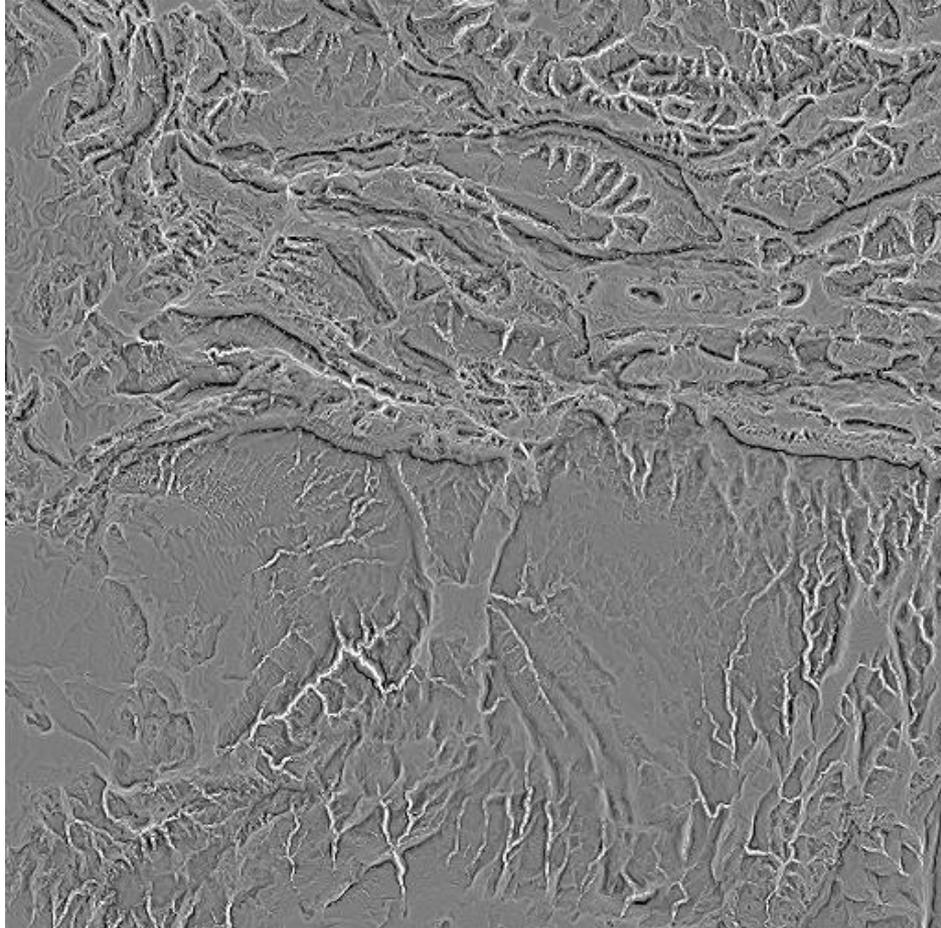
courbure horizontale (zoom)



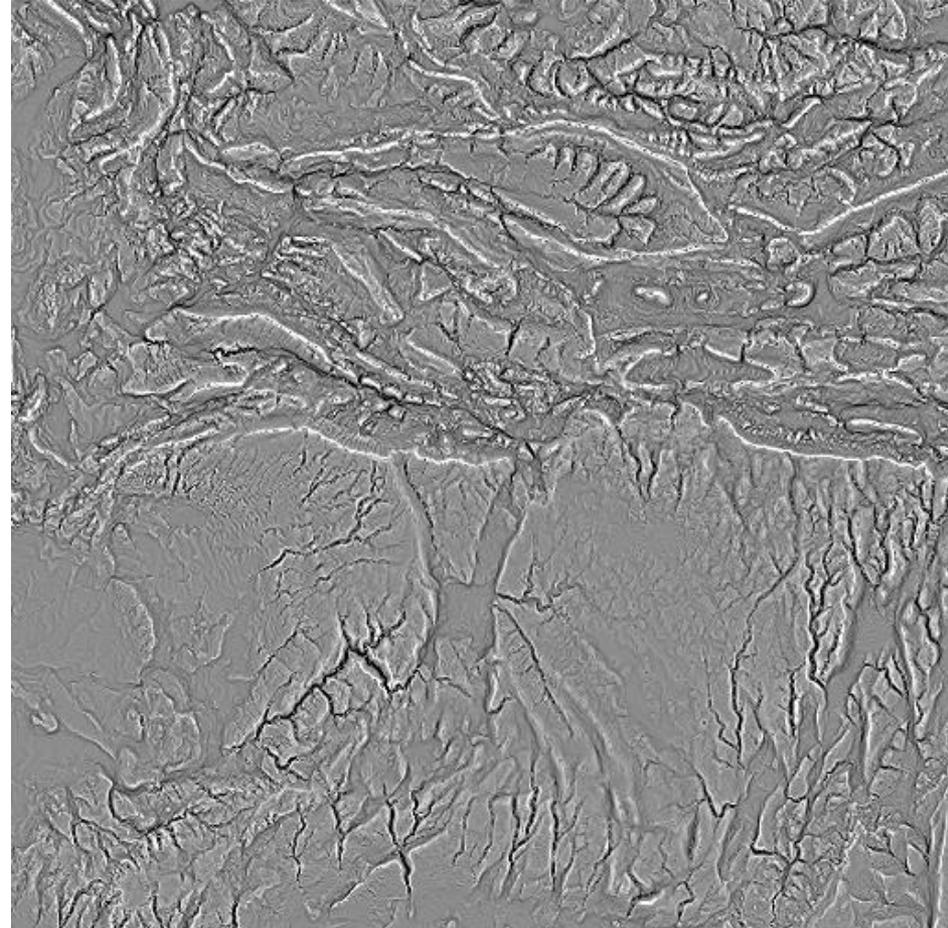


❖ Courbure verticale

surfaces concaves → courbure positive



surfaces convexes → courbure positive

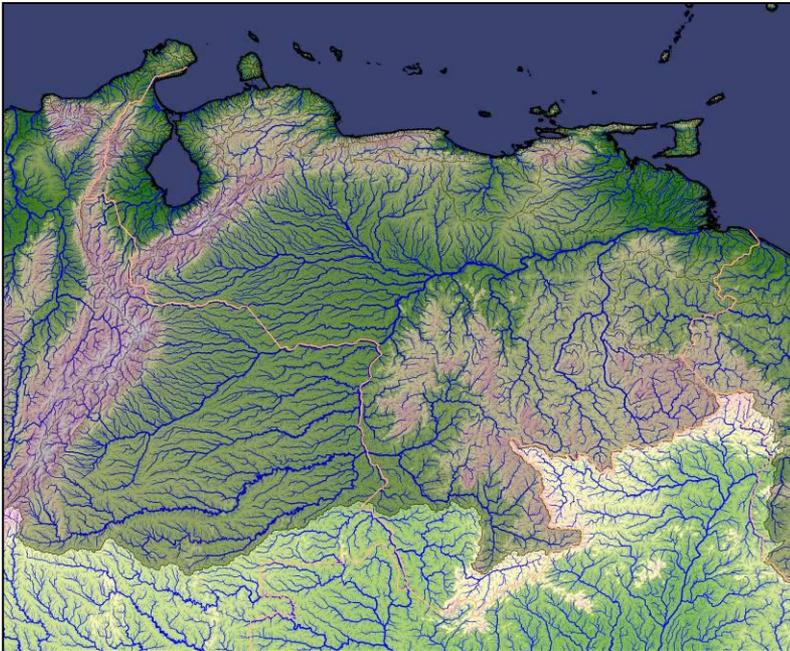


⊕ Modèles Numériques de Terrain

⊞ Produits dérivés

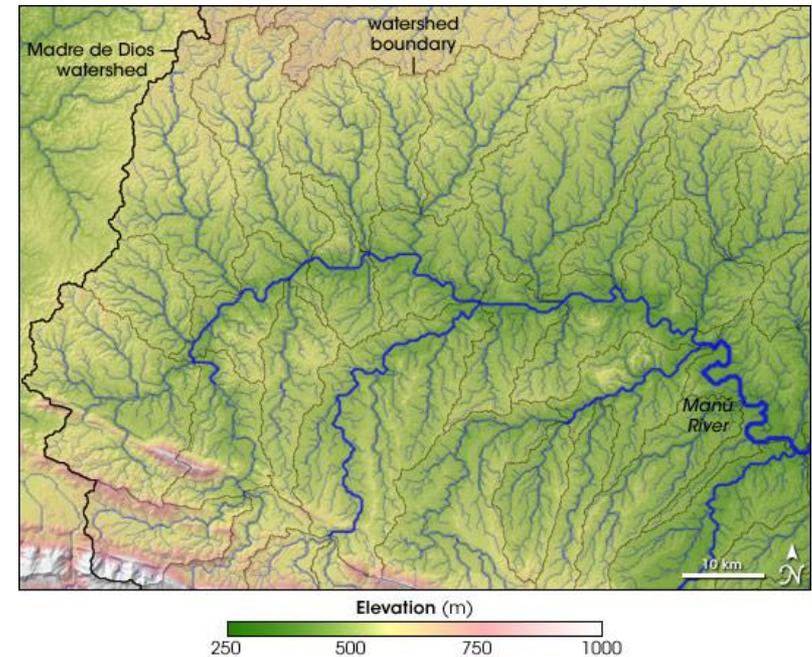
- Réseau hydrographique

Réseau hydrographique extrait de SRTM



<http://hydrosheds.cr.usgs.gov/>

Bassins versants extraits du MNT SRTM
Zone « Madre de Dios » (SO Amazonie)



http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img_id=17549



⊕ Logiciels de visualisation et de traitement des MNTs

- ❖ ArcGIS
- ❖ Surfer
- ❖ 3DEM
- ❖ RiverTools
- ❖ TNTmips
- ❖ ...





➤ Références

▣ Liens

- <http://geomorphometry.org/>

▣ Bibliographie

