

Le problème de l'inversion du relief dans la visualisation des images satellite

Interprétation visuelle des images 2D

La plupart des personnes interprètent l'image ci-dessous comme une empreinte de pied en bas-relief éclairée par le haut de la page.



Elle résulte pourtant de la photographie d'une empreinte classique de pied dans le sable (empreinte concave).



Les yeux et le cerveau humain analysent une image 2D et reconstruisent un environnement net, coloré et tridimensionnel reconnaissable en ayant recours à un ensemble d'indicateurs dépendant de différents facteurs (niveau d'éducation, expertise, expérience, etc.). Par exemple, il sait qu'une rivière coule au fond d'une vallée, rarement en haut d'une crête, que les glaciers sont blancs ou gris, etc. Ainsi, il saura plus ou moins interpréter le relief mais dans l'exemple de l'empreinte du pied dans le sable comme ici, il ne peut avoir recours à autre chose que

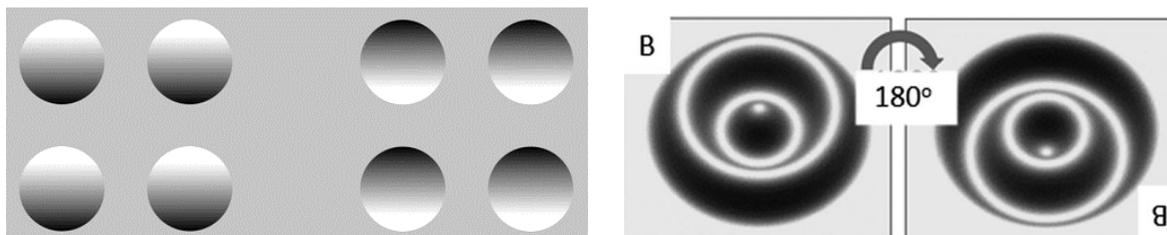
l'étude des ombres. Quoi qu'il en soit les études montrent que l'analyse des ombres imprimées sur une image 2D joue un rôle prépondérant dans cette interprétation.

L'effet d'inversion du relief

L'effet d'inversion du relief est un phénomène perceptif qui conduit à une perception inversée des formes convexes et concaves. Cette inversion perceptuelle se produit dans les scènes où l'ombrage/les ombres agissent comme le principal indice de profondeur. Dans les affichages visuo-spatiaux, tels que les cartes en relief ombré, le positionnement des ombres sur les pentes nord, donc lorsque la source lumineuse est placée largement au sud, induit en erreur le système cognitif basé sur l'hypothèse de la « lumière d'en haut » (Mamassian et Goutcher 2001). Ainsi, en supposant que la lumière doit venir d'en haut (ou plus exactement de l'horizon qu'il voit), notre esprit crée une illusion et nous percevons les reliefs de manière incorrecte. On parle de phénomène de fausse perception du relief (FTPP pour « False Topographic Perception Phenomenon »).

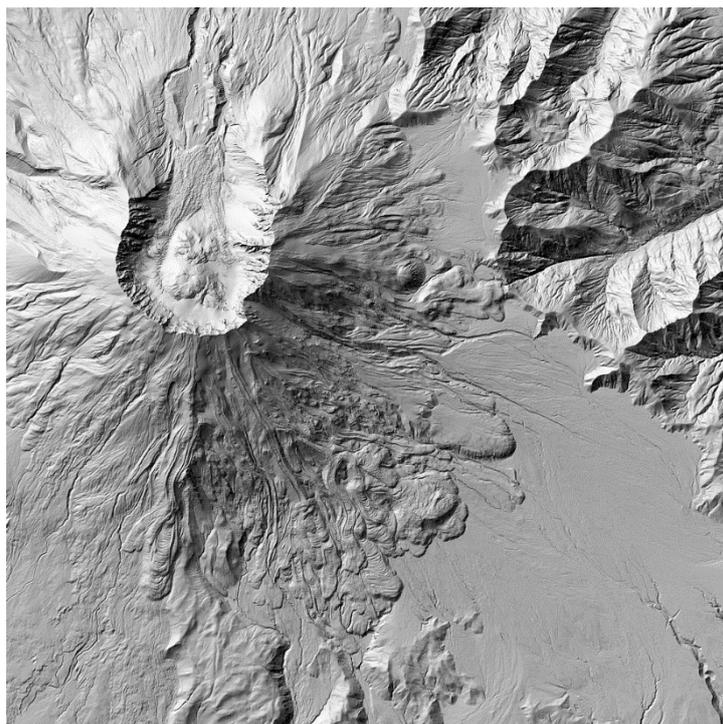
Pour juger correctement les relations spatiales 3D dans les représentations du terrain, l'effet d'inversion du relief doit être évité.

La convention cartographique permettant de contrer cet effet consiste à placer la source lumineuse au nord-ouest (315°), alors qu'une étude récente a démontré que le nord-nord-ouest (333°), ou même le nord (0°), donne des résultats plus précis (Biland et Çöltekin, 2016).



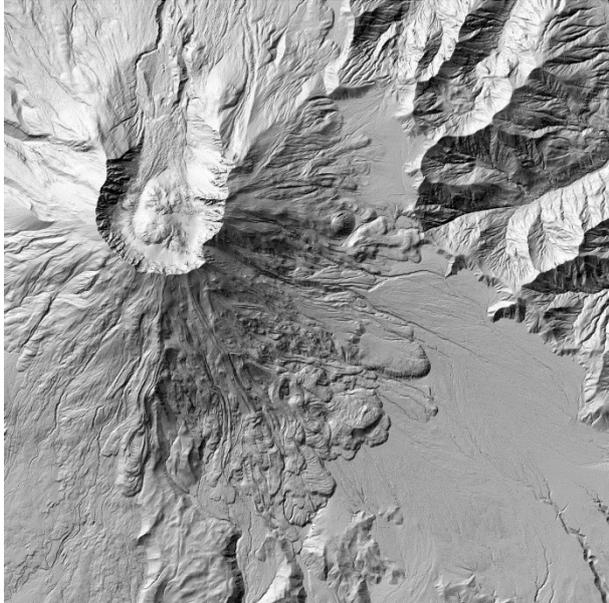
Les cercles de gauche sont éclairés par le haut et apparaissent comme des bosses, tandis que les cercles de droite sont éclairés par le bas et apparaissent comme des cratères. La figure est recréée à partir de Ramachandran, 1988

Le phénomène d'inversion du relief s'exprime dans les affichages visuo-spatiaux où le principal indice de profondeur est l'ombre. C'est ce principe qui est utilisé pour générer à partir d'un modèle numérique de terrain, une image montrant le relief (MNT ombré par calcul)

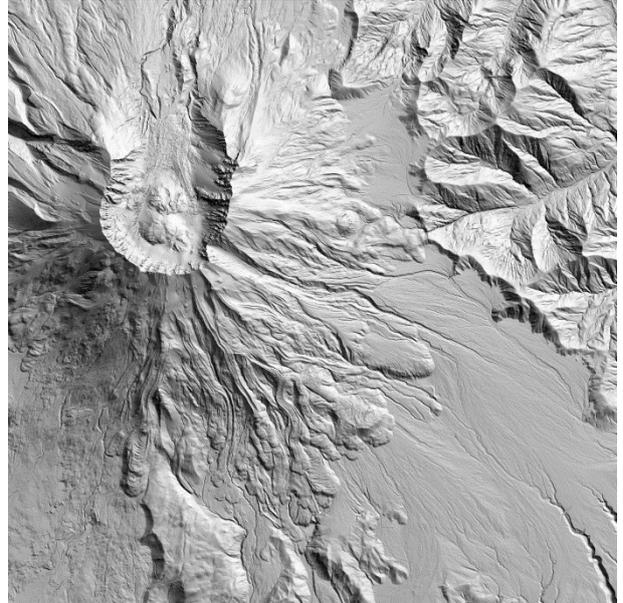


Modèle numérique ombré du mont St. Helens calculé avec l'outil GDAL avec les paramètres par défaut : azimut 315° et angle d'élévation 45°. L'azimut 315° tire partie de la préférence du cerveau humain pour interpréter la forme et la texture lorsque l'éclairage provient du coin supérieur gauche, et l'angle d'élévation 45° est un bon compromis qui met en évidence les pentes raides et peu profondes. Notez que l'éclairage naturel sous ces angles est impossible à cette latitude ! La lumière du soleil proviendra toujours du sud à cette distance au nord (46,2) de l'équateur.

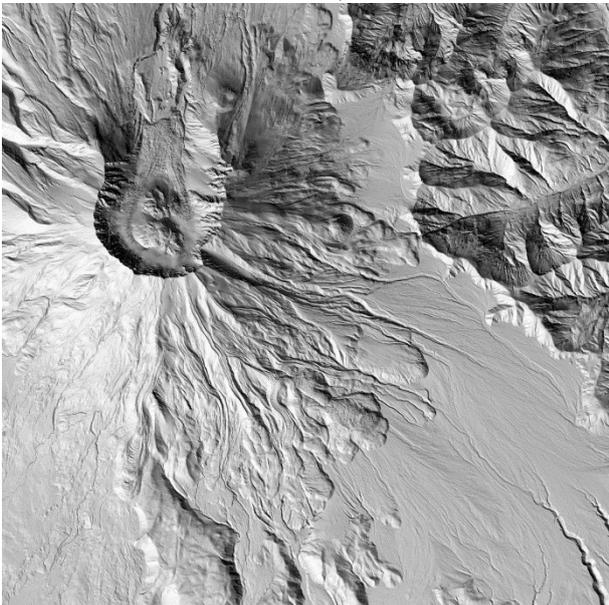
Il est intéressant de montrer l'image résultant de l'application de quatre paramètres d'éclairage:



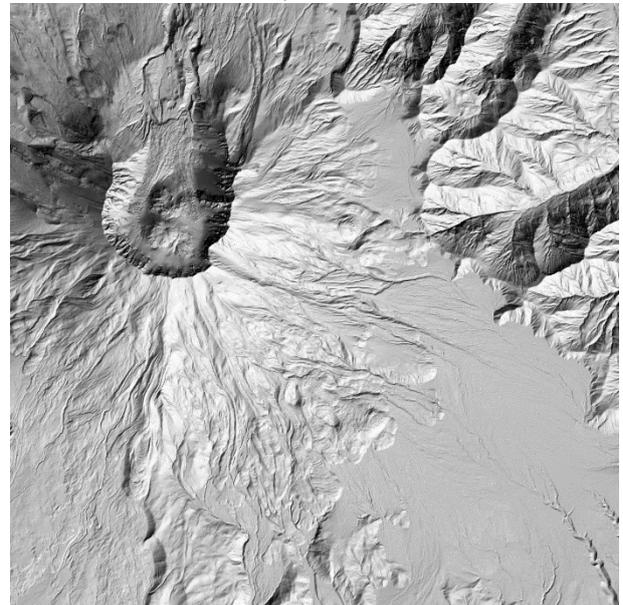
315° / 45°



45° / 45°



135° / 45°



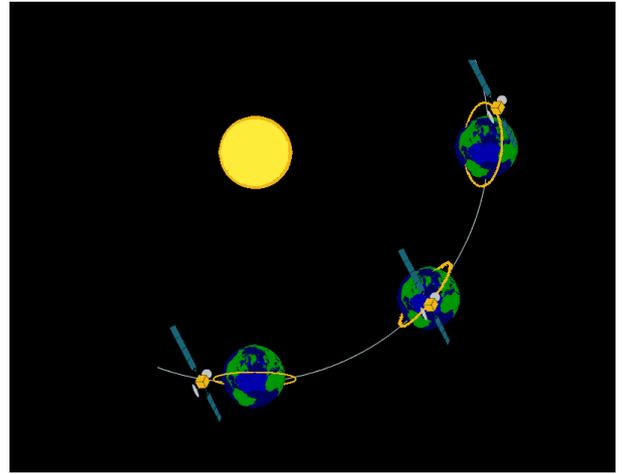
225° / 45°

Les satellites d'observation de la terre

Les satellites d'observation de la terre (Landsat, Spot, Airbus Pléiade Neo, etc.) sont héliosynchrones.

Une orbite héliosynchrone désigne une orbite terrestre quasi polaire légèrement rétrograde dont on choisit l'altitude et l'inclinaison de sorte que l'angle entre le plan orbital et la direction du Soleil demeure quasiment constant.

Ce type d'orbite est choisi pour les satellites effectuant des observations photographiques car l'éclairage solaire des lieux observés est pratiquement constant d'un cliché à l'autre (hors incidence des saisons) ce qui permet de détecter les changements intervenus entre deux survols. Autrement dit, un satellite placé sur une telle orbite repasse au-dessus d'un point donné de la surface terrestre à la même heure solaire locale.

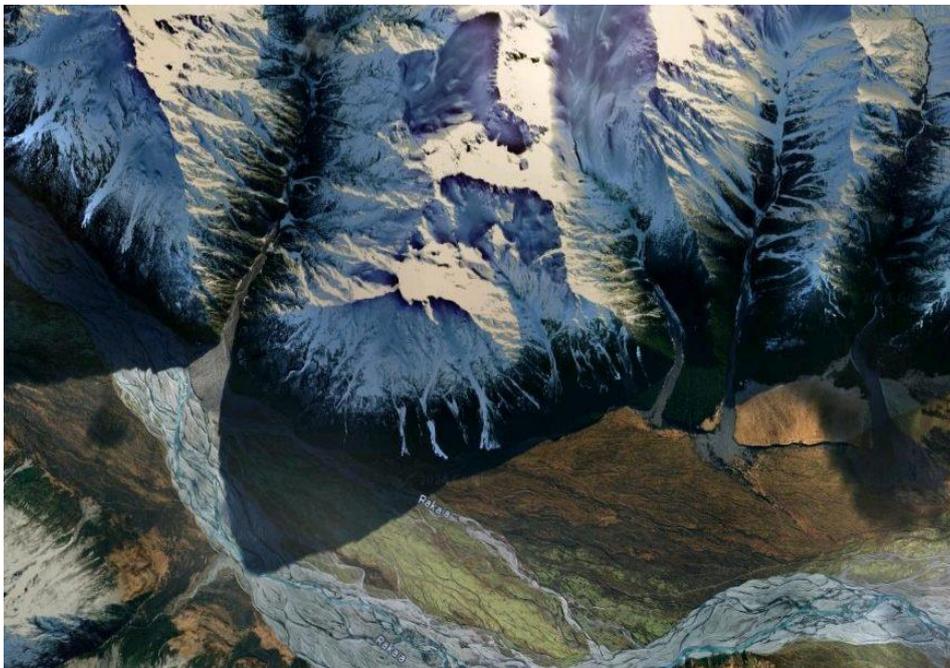


En raison de l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au plan de l'écliptique traversé par le soleil, les terres situées au sud du tropique du Capricorne seront toujours éclairées par le soleil depuis le nord et les terres situées au nord du tropique du Cancer seront toujours éclairées depuis le sud. Les mêmes problèmes se produisent dans les zones intertropicales, dans lesquelles le soleil est à certaines dates au nord et à d'autres au sud

Or, ces satellites héliosynchrones sont programmés pour enregistrer leurs images le matin entre 8h30 et 11h00, à une heure où le soleil projette donc une ombre assez marquée, justement afin de mettre en évidence le relief.

Le relief terrestre projette des ombres dont la densité est proportionnelle à son élévation. Celles-ci sont donc bien plus marquées (pixels presque noirs) dans les images satellites des régions montagneuses élevées comme les Alpes, l'Himalaya, les Andes, les Alpes Néo-zélandaises, etc.

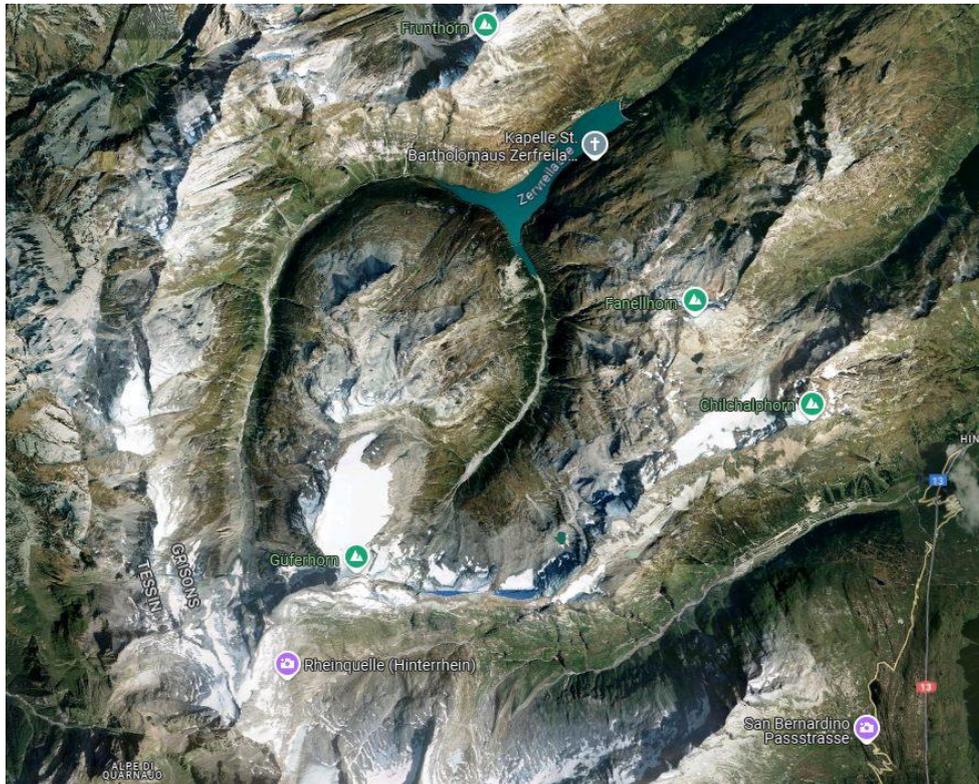
La Nouvelle-Zélande est située entièrement au sud du tropique du capricorne, donc le soleil passe toute l'année par le nord entre son lever à l'est et son coucher à l'ouest. Les ombres sont donc établies sur l'image satellite au sud du relief créant cette ombre. On le voit sur cette image des alpes néozélandaises:



Dans cette région, le phénomène de perception d'un relief inverse sera quasi absent bien que la source de la lumière (le soleil) ne soit pas positionnée à 315° mais plutôt à 30° .

Selon le même principe, l'Arc alpin tout comme la chaîne de l'Himalaya au Népal, objet de cette étude, est situé au nord du tropique du Cancer, où le soleil passe toute l'année par le sud entre son lever à l'est et son coucher à l'ouest. Les ombres sont donc établies sur l'image satellite au nord du relief créant cette ombre.

Il est important de bien se rappeler de ce principe avant d'interpréter l'image suivante prise dans les alpes suisses :



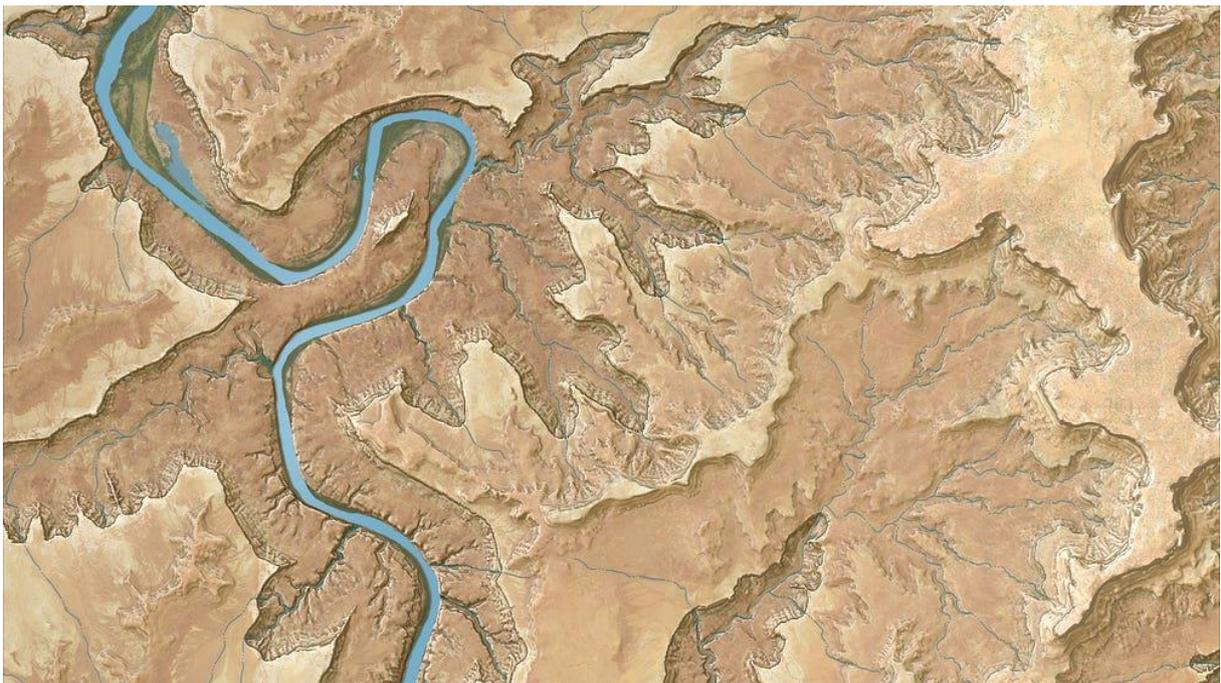
En effet, le problème dont il est question dans cette étude est évident : Du premier coup d'œil, on perçoit une inversion du relief et le cerveau est trompé : Les vallées glaciaires semblent surgir comme des crêtes !

Image satellite présentant une inversion du relief et sa représentation graphique

<https://medium.com/planet-stories/whats-false-about-true-color-2951ea5a4b5a>



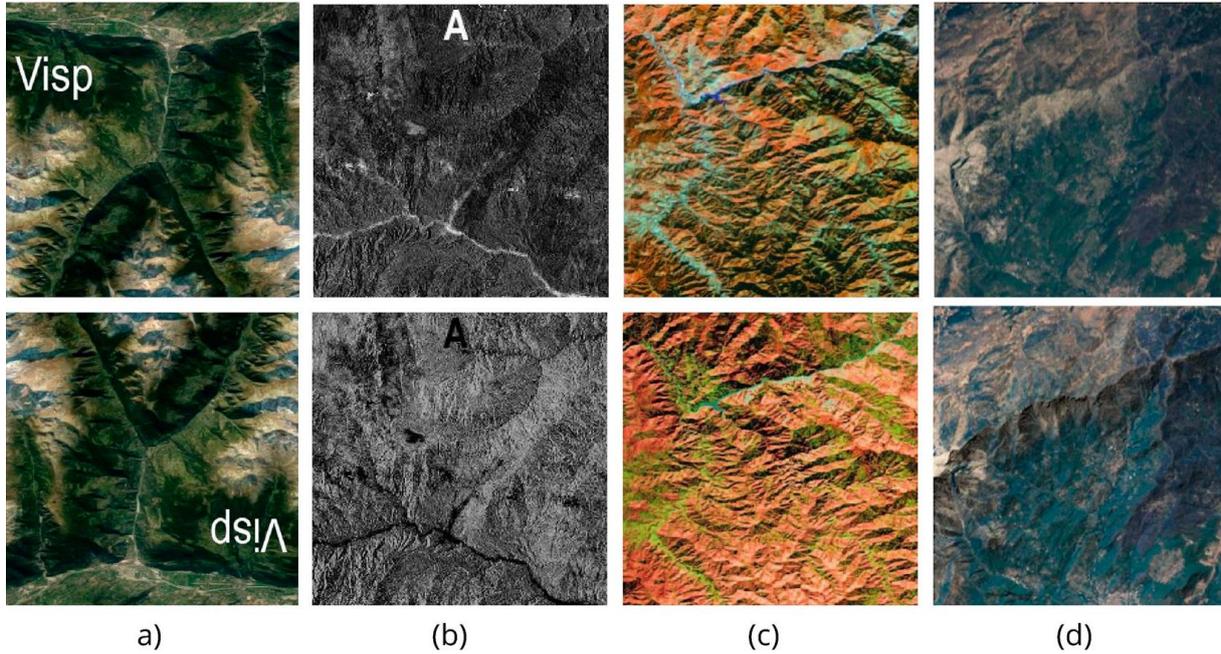
Parfois, une image réaliste est trop détaillée, comme cet instantané de Planet Labs des Canyonlands de l'Utah (hémisphère nord). La topographie complexe, une rivière remplie de limon et un éclairage inhabituel (la lumière du soleil vient naturellement du coin inférieur droit du fait de la latitude du lieu) rendent le paysage difficile à interpréter.



Cette carte du National Park Service utilise l'abstraction pour améliorer la lisibilité. Elle est moins réaliste (les ombres sont idéalisées, la texture et la couleur sont générées par ordinateur et l'eau de la rivière est d'un bleu uni), mais elle permet de voir plus facilement les relations entre les hautes mesas et les canyons profonds.

Est-il possible d'obtenir le meilleur de ces deux images : La richesse informative de l'image satellite et l'absence de phénomène d'inversion du relief ? C'est l'objet de cette étude.

Solutions possibles pour résoudre le problème



Différentes méthodes ont été suggérées pour contrer le rendu d'inversion du relief. La rangée supérieure montre les originaux, la rangée inférieure montre les images manipulées.

(a) Rotation à 180°: Supprime la fausse perception mais l'orientation vers le nord est perdue, ce qui va à l'encontre de la convention du nord vers le haut en cartographie. De plus, une option de rotation plus nuancée peut être nécessaire car l'angle d'éclairage n'est pas toujours droit vers le haut à partir du nord.

(b) Image négative: la conversion d'une image orthochromatique en son « négatif » photographique (Bernabé-Poveda, Manso Callejo et Ballari 2005) résout le problème, mais cela n'est pas pratique car les caractéristiques deviennent méconnaissables lorsque leur couleur est inversée. Non seulement cette intervention transforme les zones ensoleillées en zones ombragées et vice versa, mais les caractéristiques du terrain apparaissent également avec des valeurs de gris qui ne correspondent pas à celles des objets réels (les plaques de neige et la rivière semblent noires). Cette méthode n'est donc pas adaptable pour traiter une image en couleurs réelles.

(c) Inversion des canaux d'intensité: la transformation d'une image panchromatique fausses couleurs du système rouge-vert-bleu (RVB) au système teinte-saturation-valeur (HSV), et l'inversion des gris du canal d'intensité (I) pour les retransformer ultérieurement en RVB (Saraf et al. 2007) semblent également aider ; cependant, cette approche a des conséquences similaires à la prise du négatif de l'image dans la mesure où les couleurs sont affectées. Cette méthode n'est donc pas adaptable pour traiter une image en couleurs réelles.

(d) Superposition d'un modèle numérique du terrain ombré: les couleurs d'origine sont affichées à travers un filtre semi-transparent. De manière plus prometteuse, la superposition de l'image avec une carte en relief ombré (SRM: Shaded Relief Model) correctement éclairée et le réglage de sa transparence (Bernabé-Poveda, Sánchez-Ortega et Çöltekin 2011) semble résoudre le problème, bien que selon le niveau de transparence/opacité et les couleurs contenues dans les images d'origine, cela peut conduire à un grisage des images résultantes. Une telle manipulation améliore systématiquement la perception du relief 3D mais altère la reconnaissance de la couverture terrestre ; par conséquent, les niveaux d'opacité doivent être bien pris en compte (Hartung et Çöltekin 2020). Dans les cas de zones à très fort relief où les ombres sont très marquées, cette méthode n'est pas envisageable.

Essais de traitements d'images sur la zone d'étude

La zone d'étude se situe au nord-est du Népal, à la frontière de la Chine au nord et de l'Inde (Sikkim) à l'est. Il s'agit de la région du Kangchenjunga, 3^{ème} sommet mondial.

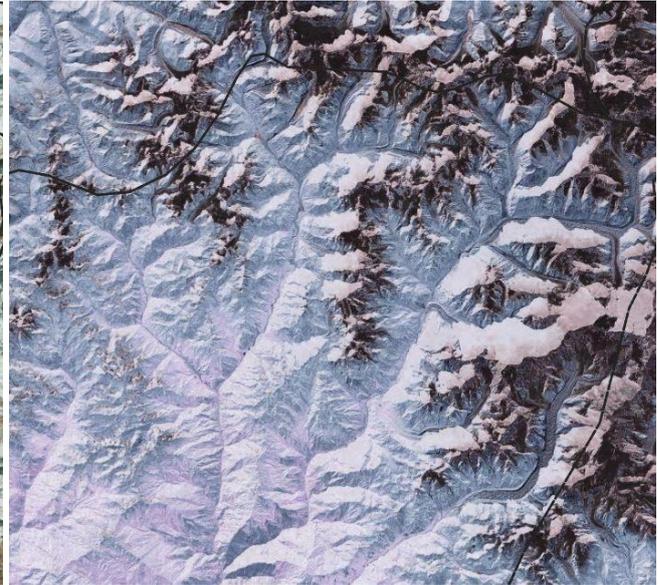
Selon le contenu de l'image à traiter, on pourra avoir recours à l'une ou l'autre des méthodes montrées plus haut.

Toutefois, pour reprendre l'exemple des images satellites 3 canaux (RVB) en couleurs réelles prises au Népal dans le cadre de mon étude, images montrant des ombres saturées (pixels noirs) et des glaciers étincelants (pixels blancs), la méthode consistant en une inversion des couleurs n'est pas idéale car, même si le phénomène d'inversion du relief est annulé, les ombres réelles apparaissent comme de la neige ou des glaciers et les sommets enneigés ne sont plus blancs :



à gauche, image par défaut

à droite, image traitée par inversion des couleurs

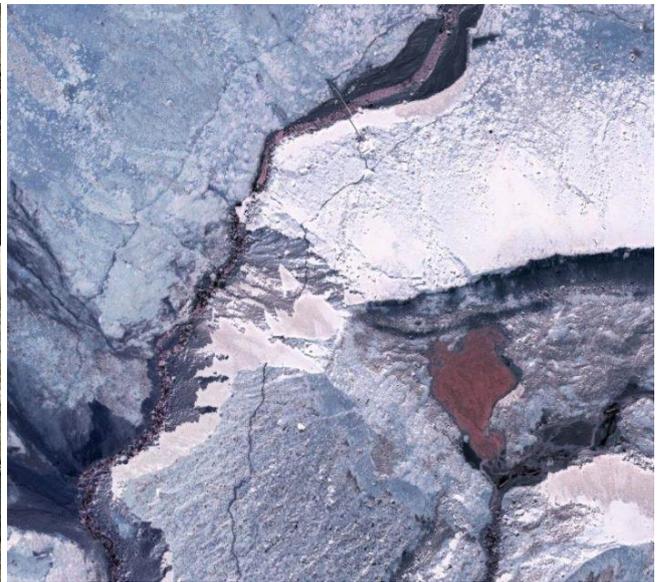
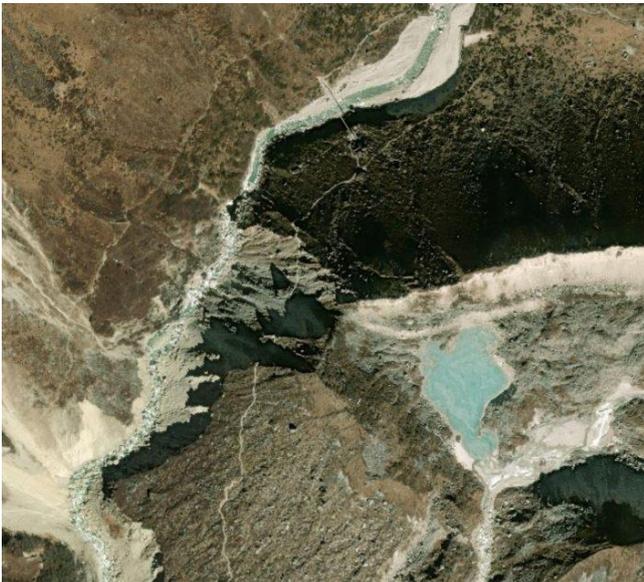


Images issues de BingMaps

à gauche, image par défaut



à droite, image traitée par inversion des couleurs



Images issues de BingMaps

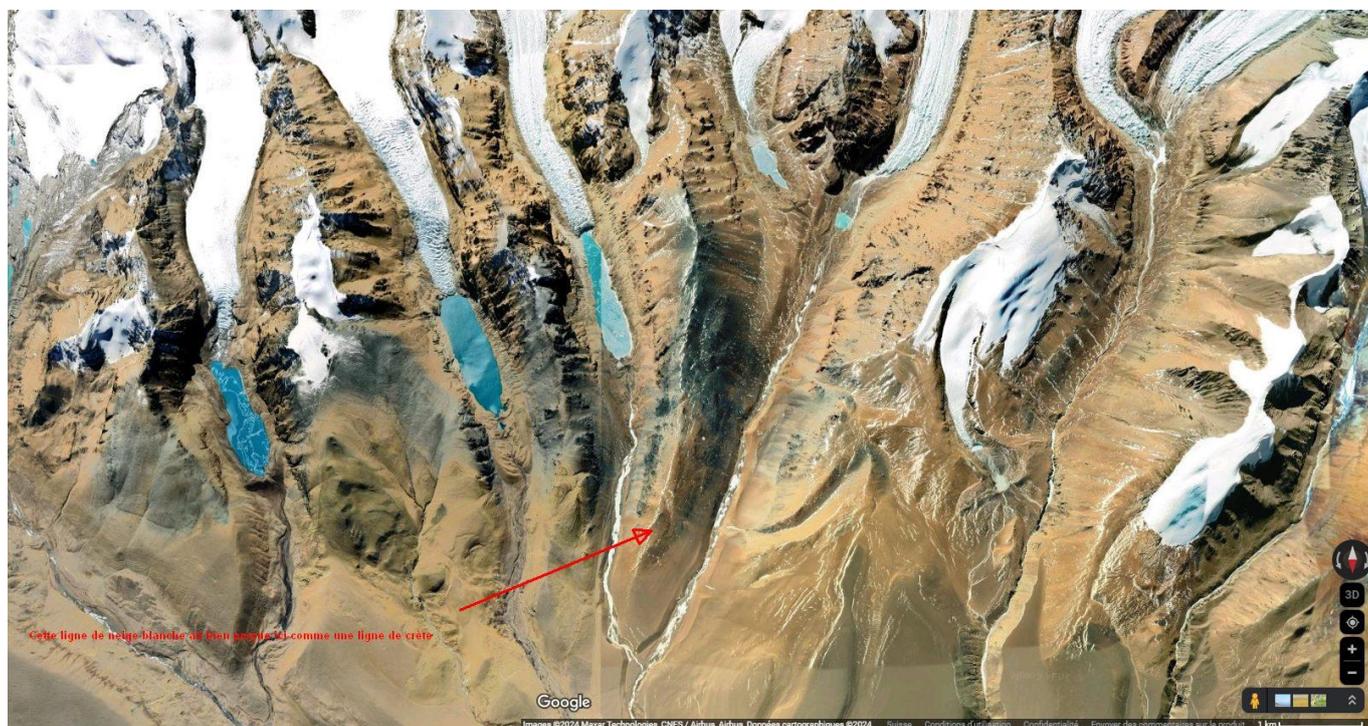
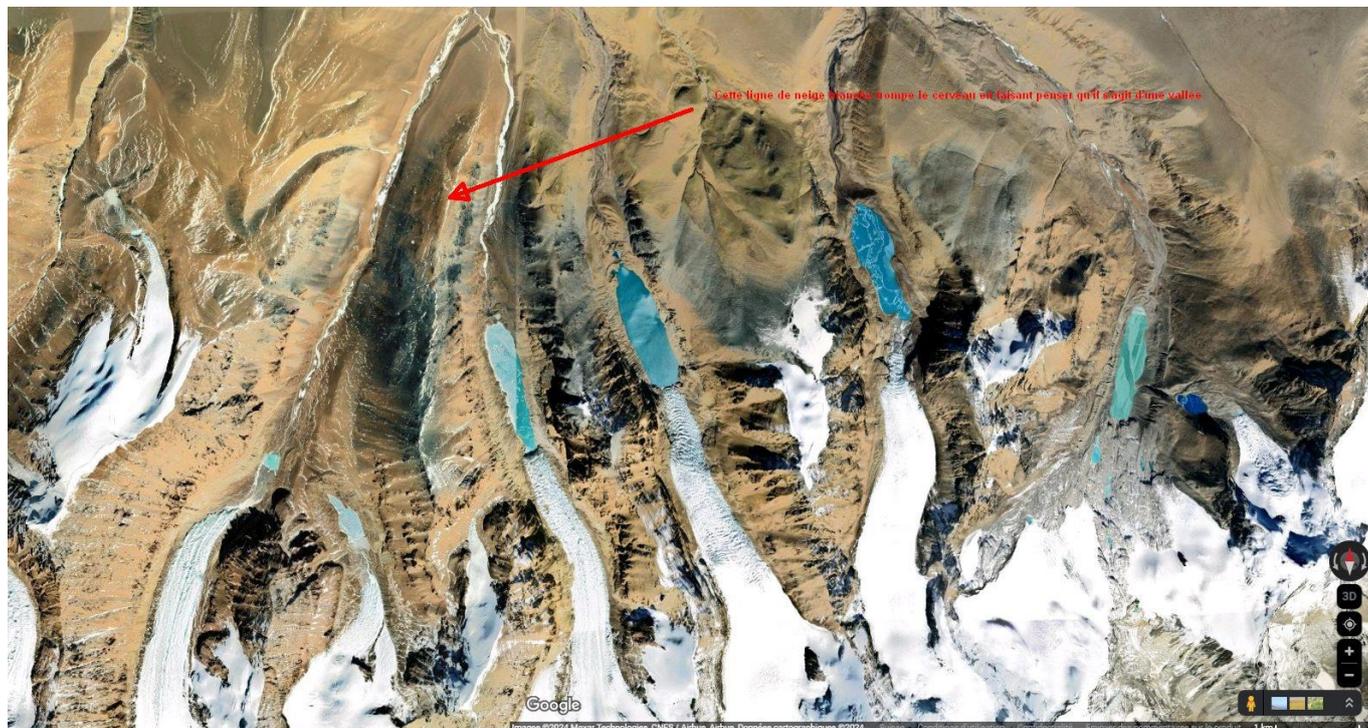
La seule méthode permettant de conserver la richesse informative des images semble être la solution consistant à retourner l'image à 180° et donc à présenter une carte allant à l'encontre des normes cartographiques: Sud en haut!



Sur les vues suivantes, issues de GoogleMaps avec des images satellites de Airbus (Pléiade), le phénomène est encore plus visible. La première image est une vue 3D avec le plateau tibétain au nord, placé en haut de l'image :



Ces deux images montrent la vue par défaut (nord en haut) et la même vue retournée à 180° (sud en haut)



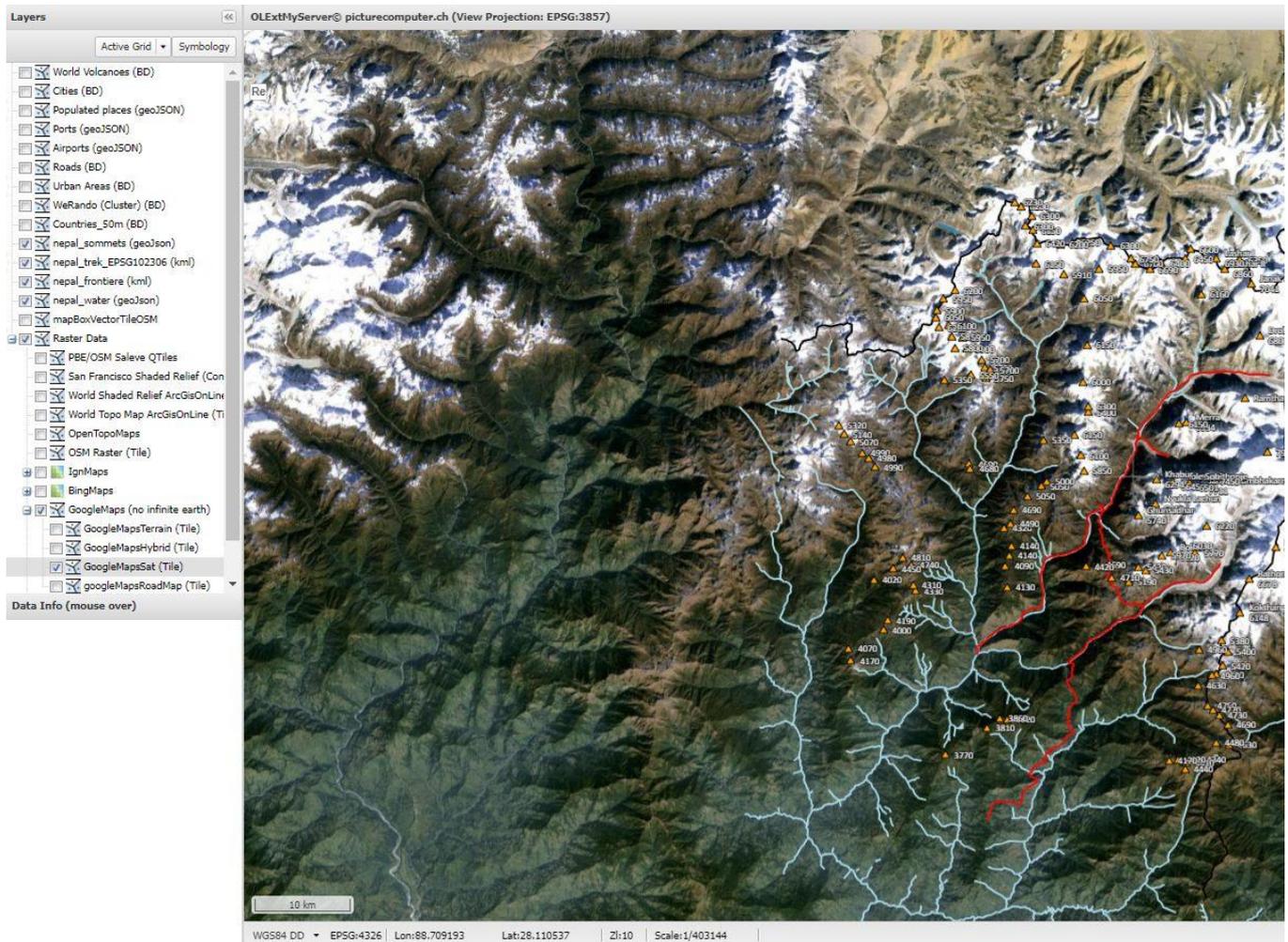
Le résultat est impressionnant.

Réalisation d'une cartographie nord en bas.

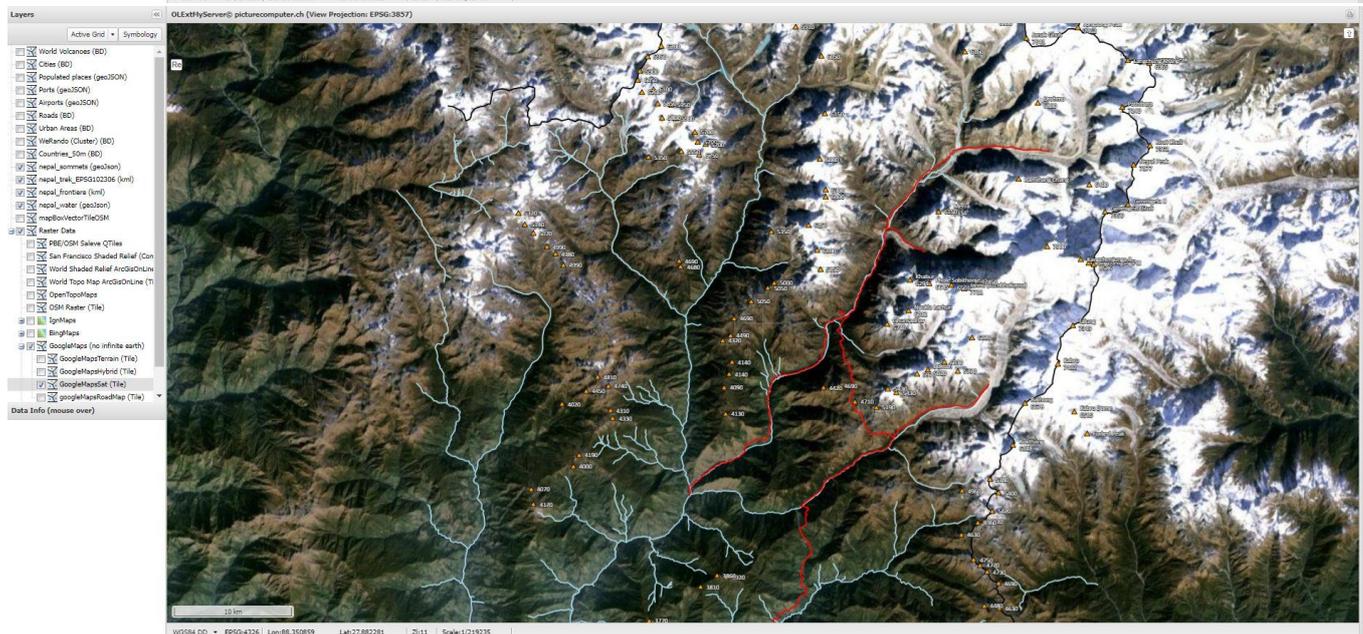
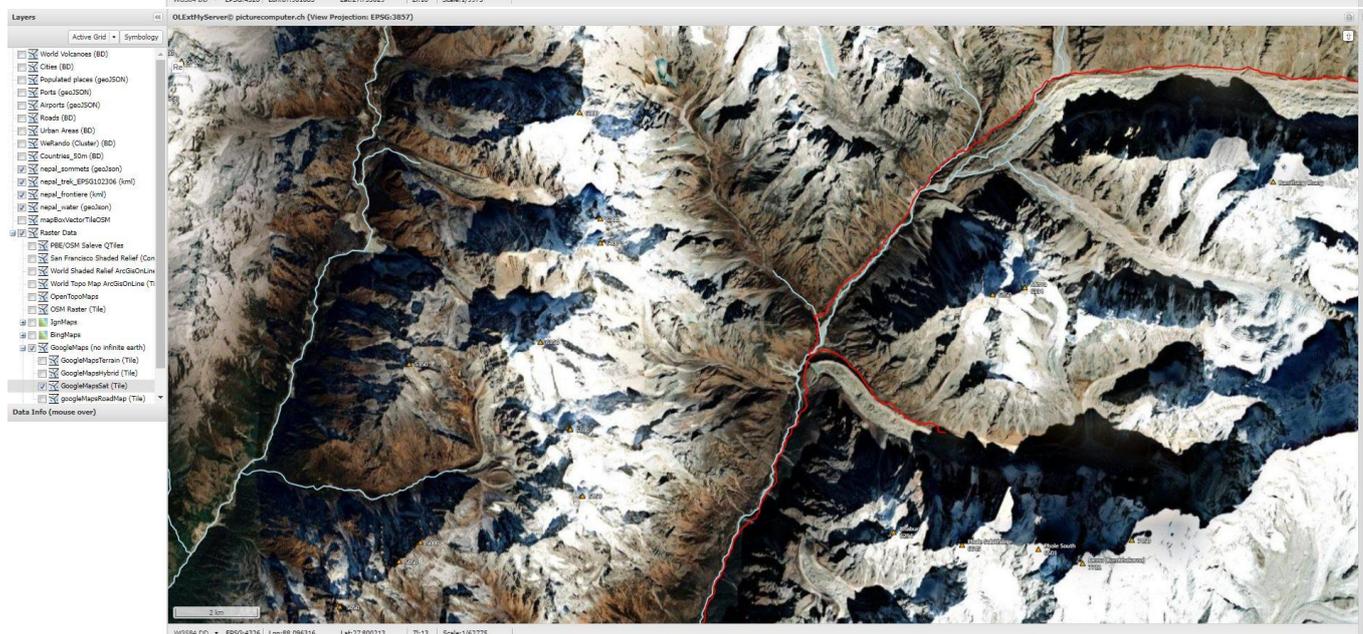
J'ai réalisé un outil en ligne (Javascript, OpenLayers et ExtJs / GeoExt) permettant l'affichage de couches raster issues de BingMaps, GoogleMaps, etc. et de couches vectorielles permettant de cartographier des routes, sentiers, rivières, lieu-dits, etc.

Cet outil permet surtout, c'est ce qui nous importe ici, de pivoter l'image raster sans retourner les textes vectoriels (ce que fait aussi GoogleMaps, mais il permet aussi d'afficher toute autre donnée raster comme vecteur).

https://carto.picturecomputer.ch/webmapping/GeoExt_projet/geoExt15_c3.html



Images raster orientées au **nord** à différents niveaux de zoom. Le phénomène de perception de relief inversé est très gênant : Le torrent glaciaire semble couler au-dessus du fond de la vallée et le glacier semble placé au-dessus de sa moraine. Le trait rouge est le sentier du trek de la région du Kangchenjunga.



Les mêmes images raster orientées au sud à différents niveaux de zoom. Le phénomène de perception de relief inversé est annulé. Le torrent glaciaire coule bien dans son lit et le glacier est bien entouré de sa moraine située au-dessus :

