

# GEMAUT

## Génération de Modèles Automatiques de Terrain HR

Nicolas Champion - IGN



**IGN**  
INSTITUT NATIONAL  
DE L'INFORMATION  
GÉOGRAPHIQUE  
ET FORESTIÈRE



1. **Contexte Général**
1. **Méthode de fabrication de MNT Haute Résolution**
1. **Focus sur le masque de Sol / Sursol**
1. **Evaluation des MNT produits & Autoqualification**
1. **Conclusions & Perspectives**

- Les **capacités stéréoscopiques** des capteurs satellite **PHR Spot 6/7 & PNEO** permettent d'envisager la **production de cartes en 3D**
- Dans ce contexte, 2 produits d'importance:
  - ✓ le **MNS** "Modèle Numérique de Surface" > estimation de la **surface visible** (arbres, toits, etc.) > de **nombreuses méthodes** existent dans l'état de l'art



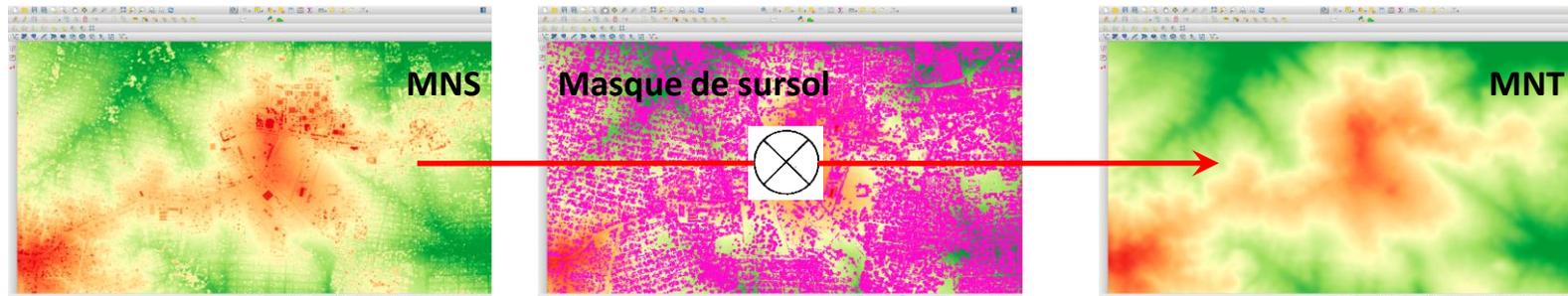
- ✓ le **MNT** "Modèle Numérique de Terrain" > estimation de la **surface du sol** important pour:
  - la reconstruction 3D complète des bâtiments
  - La détection d'objets d'intérêt et de cibles
  - L'orthorectification fine d'images satellite





1. Contexte Général
1. **Méthode de fabrication de MNT Haute Résolution**
1. Focus sur le masque de Sol / Sursol
1. Evaluation des MNT produits & Autoqualification
1. Conclusions & Perspectives

- **MNS: Utilisation des propriétés stéréo des images satellite pour reconstruire la surface physique 3D grâce au corrélateur MicMac**
- **Quid du MNT?**



- **Retours Utilisateur : Seul le MNS doit être utilisé pour la génération du MNT (pas de ML / IA ou autre BD) : C'est un besoin identifié dans le projet AI4GEO et le cas d'utilisation pour Bulldozer (CNES)**



MNT = Minimum d'une certaine énergie :

$$E(z) = K(z) + \lambda G_{\alpha,k}(z, \sigma)$$

Terme de Régularisation :

$$K(z) = \sum_{(c,l) \in [1,M] \times [1,N]} \left( \frac{\partial^2 z}{\partial^2 x_c} \right)^2 + \left( \frac{\partial^2 z}{\partial^2 y_l} \right)^2$$

minimise les variations d'altitude  
(contraintes internes)

Terme d'Attache aux Données :

$$G_{\alpha,k}(z, \sigma) =$$

$$\sum_{\substack{(c,l) \in [1,M] \times [1,N] \\ \rho_{c,l} \notin \text{Sursol}}} \rho_{\alpha,k} \left( \frac{z_{c,l} - \text{obs}_{c,l}}{\sigma} \right)$$

minimise la distance entre le modèle à estimer et les observations (contraintes externes)

⇒ Paramètres de la fonctionnelle:

- Le coefficient de lissage  $\lambda$
- La norme  $\rho_{\alpha,k}$
- L'écart-type  $\sigma$

⇒ Paramètres de la minimisation

- Initialisation avec le MNS
- Minimisation avec un Gradient Conjugué



MNT = Minimum d'une certaine énergie :

$$E(z) = K(z) + \lambda G_{\alpha,k}(z, \sigma)$$

Terme de Régularisation :

$$K(z) = \sum_{(c,l) \in [1,M] \times [1,N]} \left( \frac{\partial^2 z}{\partial^2 x_c} \right)^2 + \left( \frac{\partial^2 z}{\partial^2 y_l} \right)^2$$

minimise les variations d'altitude  
(contraintes internes)

Terme d'Attache aux Données :

$$G_{\alpha,k}(z, \sigma) =$$

$$\sum_{\substack{(c,l) \in [1,M] \times [1,N] \\ \rho_{c,l} \notin \text{Sursol}}} \rho_{\alpha,k} \left( \frac{z_{c,l} - \text{obs}_{c,l}}{\sigma} \right)$$

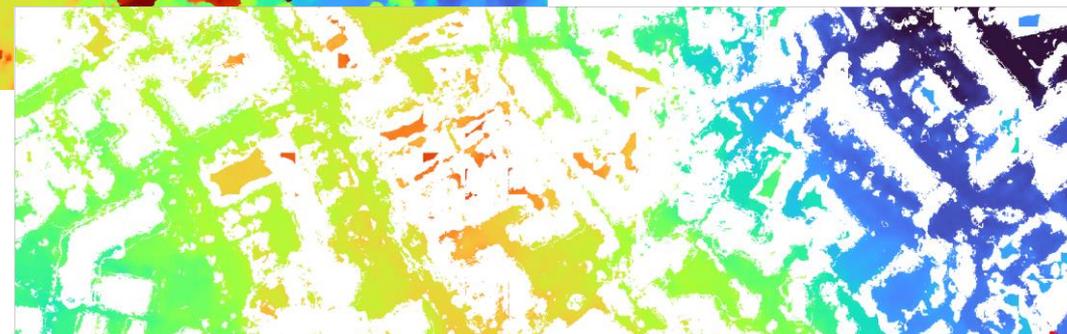
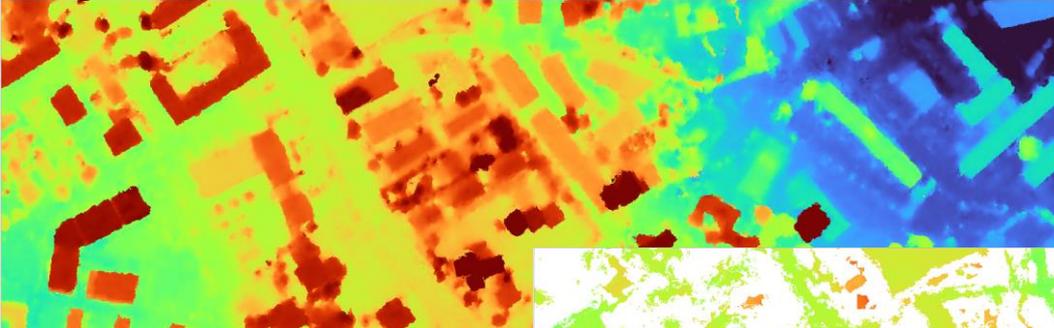
minimise la distance entre le modèle à estimer et les observations (contraintes externes)

⇒ Paramètres de la fonctionnelle:

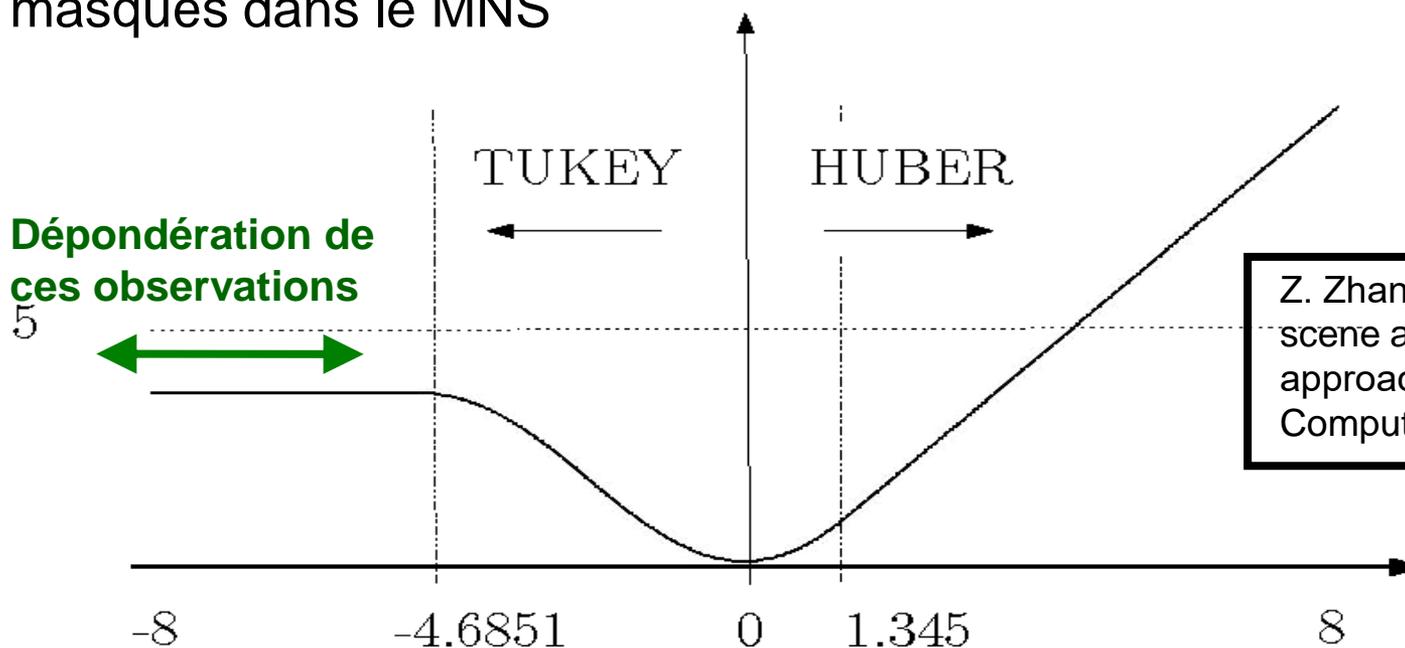
- Le coefficient de lissage  $\lambda$
- **La norme  $\rho_{\alpha,k}$**
- L'écart-type  $\sigma$

⇒ Paramètres de la minimisation

- Initialisation avec le MNS
- Minimisation avec un Gradient Conjugué

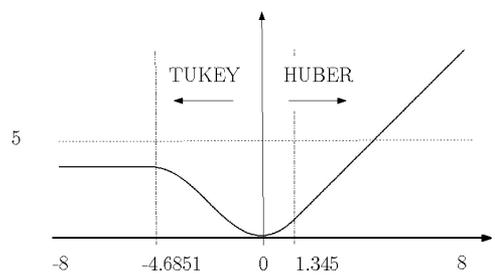
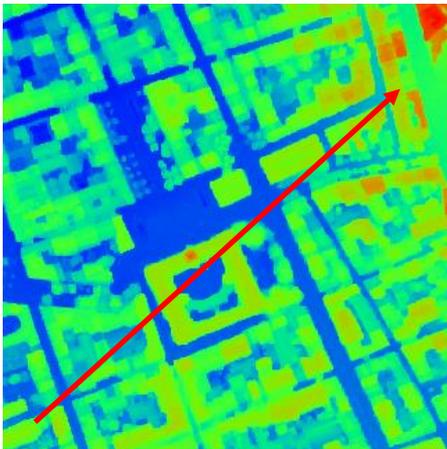


→ **point-clé pour déterminer la norme  $\rho_{\alpha,k}$** : filtrer les points du sursol non masqués dans le MNS

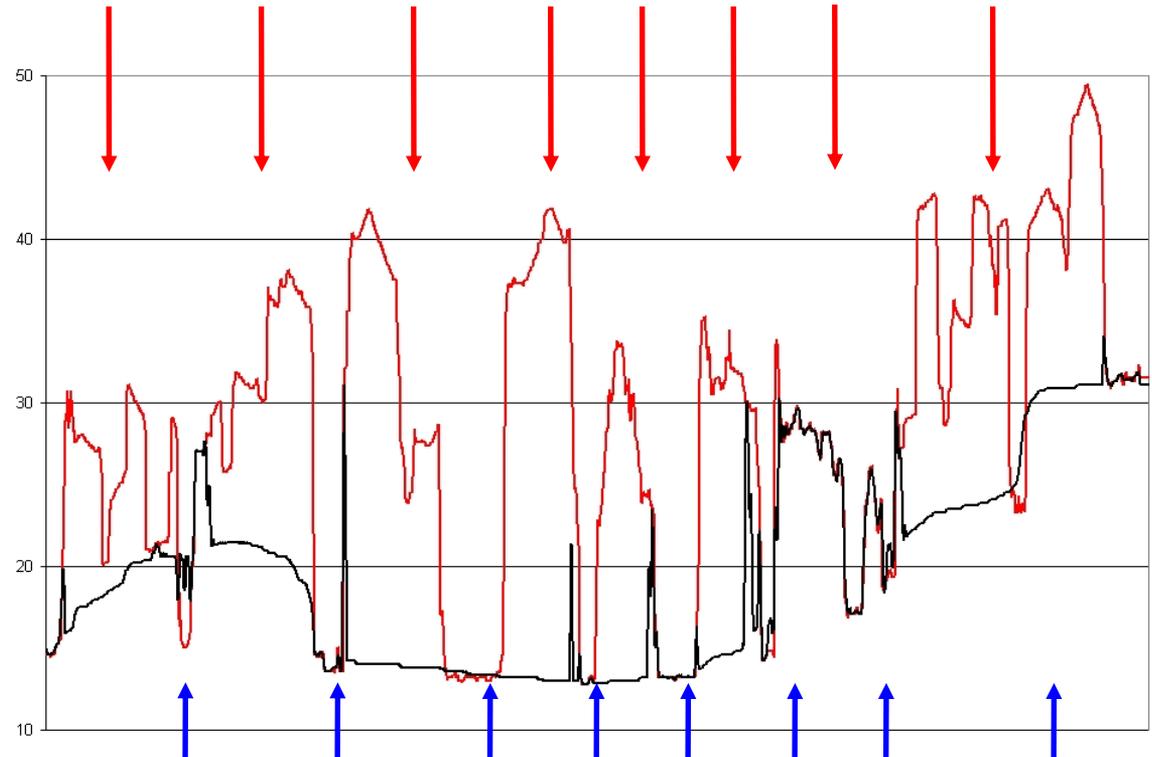


Z. Zhang, O. Faugeras: "3D scene analysis: a stereo based approach", Image and Vision Computing Journal, 1992.

# ➤ Illustration du processus de minimisation pour le calcul du MNT



On dépendère (Tukey)



On pondère



- - 2 triplets PNEO
- - PVS Hiver
- - 6 MNS unitaires (calculés par couple dans le triplet) avec MicMac
- - Fusion

➤ **Illustration du processus GEMAUT sur MTPL avec PNEO**



**Masque  
de sol /  
sursol**

➤ **Illustration du  
processus  
GEMAUT sur  
MTPL avec  
PNEO**



➤ **Illustration du processus GEMAUT sur MTPL avec PNEO**



1. Contexte Général
1. Méthode de fabrication de MNT Haute Résolution
1. **Focus sur le masque de Sol / Sursol (avec SAGA)**
1. Evaluation des MNT produits & Autoqualification
1. Conclusions & Perspectives

Implémentation de la méthode « Slope based filtering of **laser** altimetry data » de George Vosselman (ISPRS 2000) dans SAGA



## Step 1/ Seed Point Extraction: Lowest Points

The dataset is divided into grid cells (e.g., 50m x 50m or 100m x 100m). The lowest point in each cell is selected as an initial seed point

## Step 2/ Filtering Approach / Region-Growing Algorithm

Large height differences between nearby points are assumed to indicate non-ground points. A function  $\Delta h(d)$  is defined to set the maximum allowable height difference between points based on their distance  $d$ , considering the local slope. Points satisfying the formula are classified as ground points.

$$h_j - h_i \leq \Delta h_{\max}(d)$$

**+++ Simple & Old School** mais ça marche « assez bien » et vif regain d'intérêt sur les MNS PNEO à 30cm !

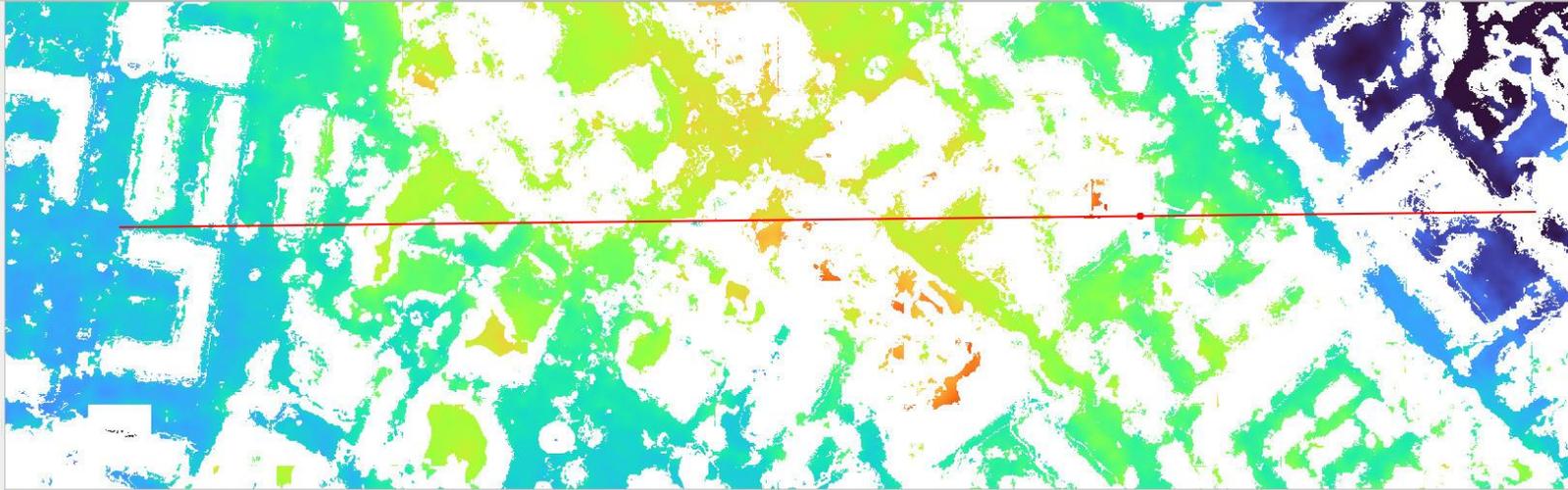
**---** Extraction malencontreuse de points au sol sur les centres urbains très denses où les bâtiments > taille de la fenêtre d'analyse !



1. Contexte Général
1. Méthode de fabrication de MNT Haute Résolution
1. Focus sur le masque de Sol / Sursol avec SAGA
1. **Evaluation des MNT produits & Autoqualification**
1. Conclusions & Perspectives

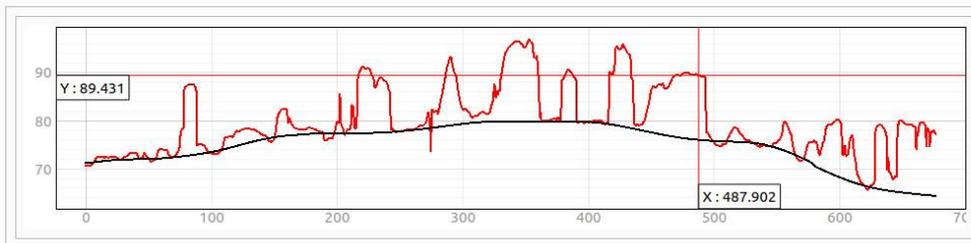


- Couches
- MASQUE\_compute
  - diff\_MNS\_FusionPNEC
  - MNT\_GEMO\_SAGA\_L
  - FusionPNEO\_CROP\_L



Profile Tool

Profile Table Settings



99,55  
maximum  
61,70  
minimum

	Layer	Band/Field	Search buffer
1	FusionPNE...	1	
2	MNT_GEM...	1	

Add Layer Remove Layer

Options

Selection Temporary polyline

Show cursor  Link mouse position on graph with canvas

Same axis scale

Reset view Height Interpolated profile Graph - PNG Save as

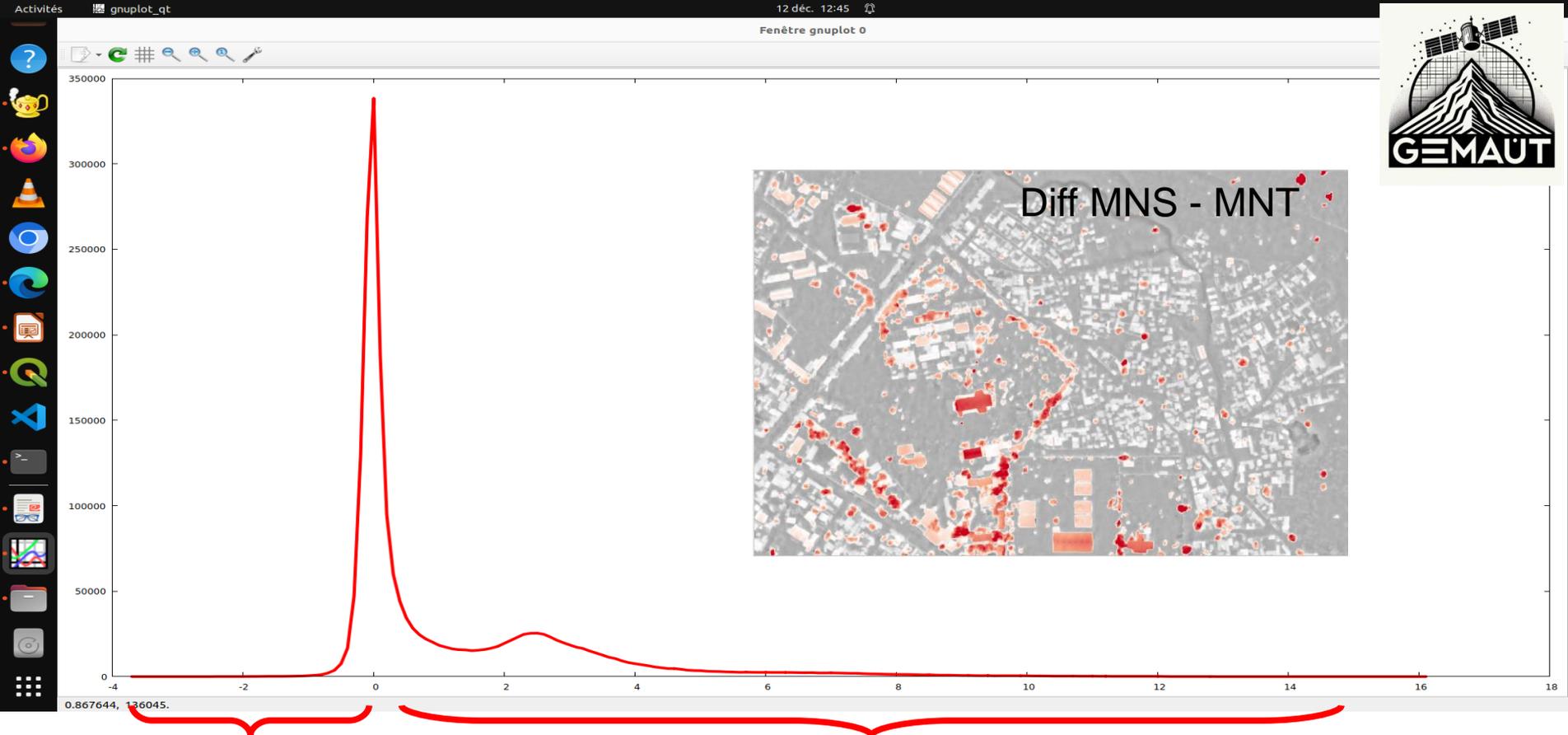
Taper pour trouver (Ctrl+K)



1. Contexte Général
1. Méthode de fabrication de MNT Haute Résolution
1. Focus sur le masque de Sol / Sursol avec SAGA
1. **Evaluation des MNT produits & Autoqualification**
1. Conclusions & Perspectives



- **Autoqualification :**
- - **L'objectif, c'est de calculer un masque de qualité.**
- - **Plus précisément, on veut avoir, pour chaque pixel, un intervalle de confiance en Z qui soit vrai dans 90% des cas.**
- - **Donc si le MNT GEMAUT annonce 100m et le masque de qualité 1m, la valeur réelle de l'altitude doit être comprise entre 99m et 101m. Et ça doit être vérifiée dans 90 % des pixels**

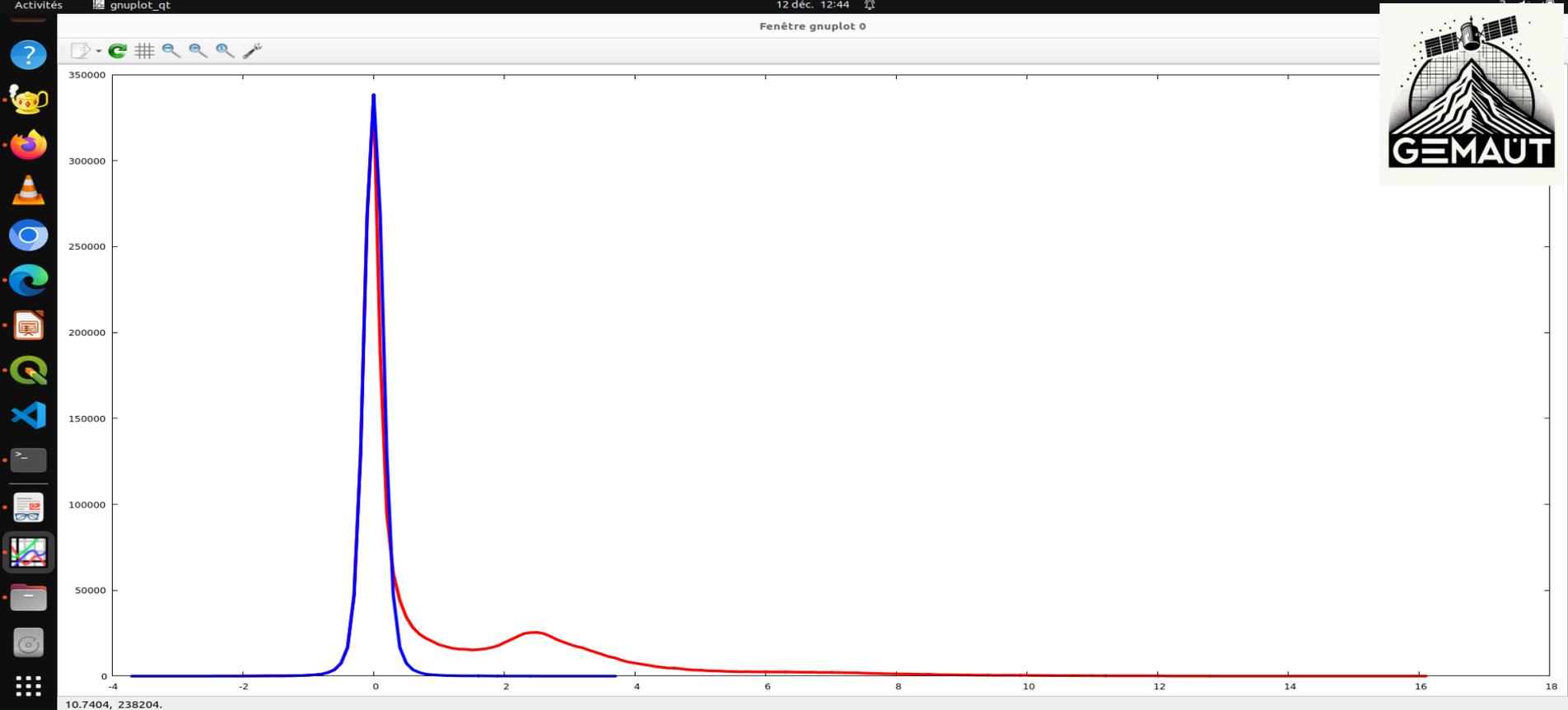


Points du sol  
(MNT > MNS)

Points du sursol  
(MNS > MNT)

**Méthodologie**

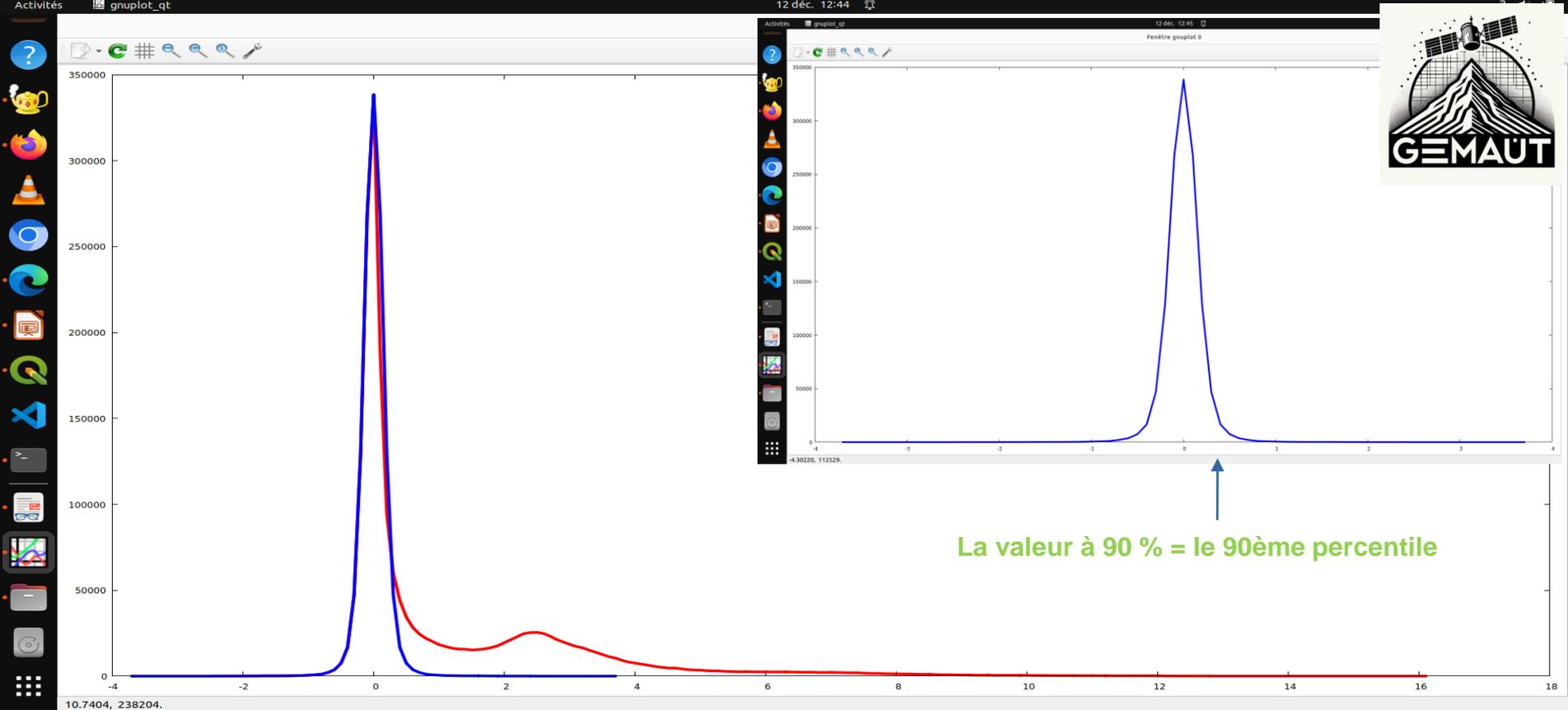
- 1/ Analyse de la précision entre le MNT GEMAUT et le MNS MicMac (On parle de précision relative !)
- 2/ Méthodologie basée sur la différence MNS – MNT et l’histogramme correspondant
- 3/ L’analyse se focalise sur les points du sol → ça correspond à la partie négative de l’histogramme → on l’exclut la partie positive de l’histogramme !



## Méthodologie (suite)

4/ On reconstruit une distribution virtuelle sans la partie positive, par miroir vis-à-vis de l'axe de ordonnées

5/ Comment choisir la valeur *valeur* pour que 90 % des altitudes soient comprises entre [MNT-*valeur*; MNT+*valeur*] ?

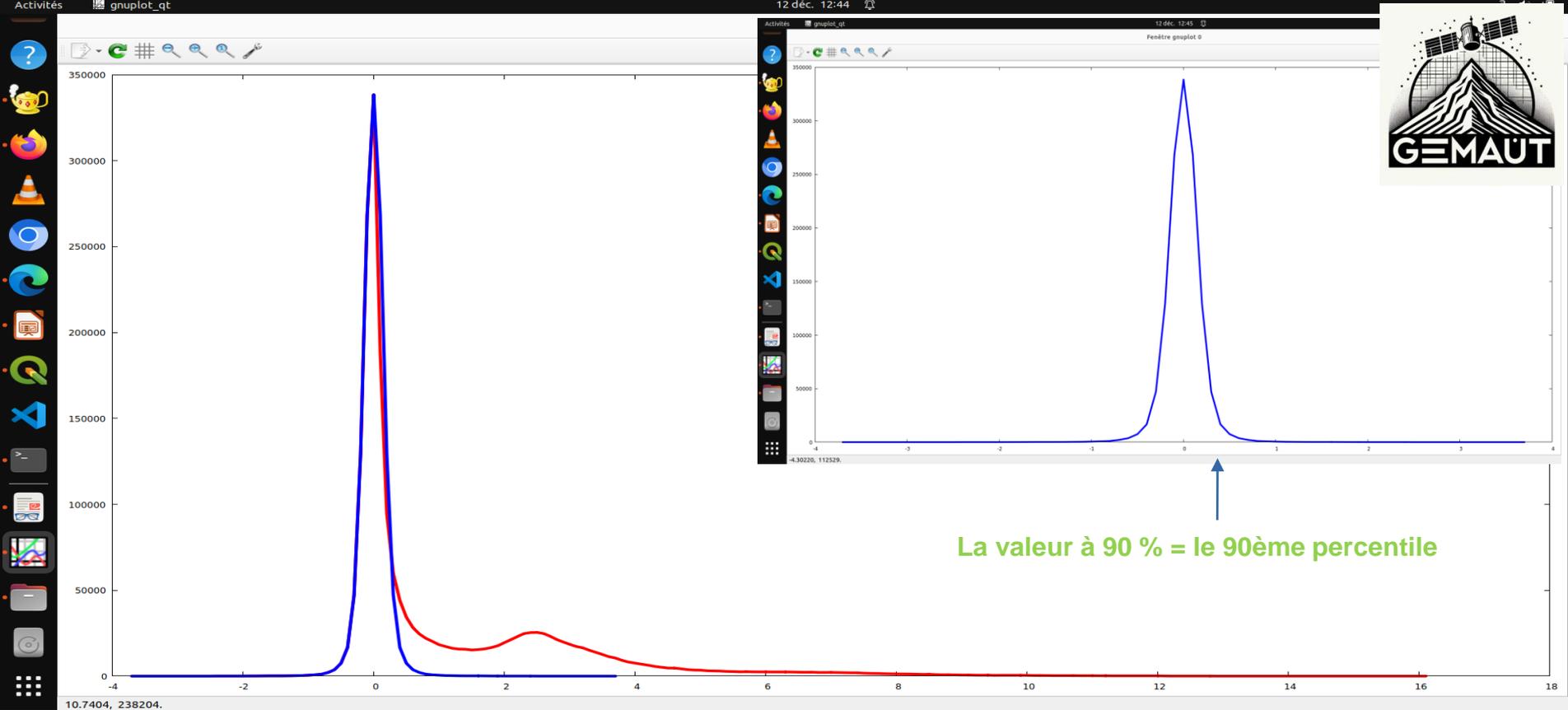


## Méthodologie (suite)

4/ On reconstruit une distribution virtuelle sans la partie positive, par miroir vis-à-vis de l'axe de ordonnées

5/ Comment choisir la valeur *valeur* pour que 90 % des altitudes soient comprises entre [MNT-*valeur*; MNT+*valeur*] ?

**Réponse :** On prend le 90<sup>e</sup> percentile dans une distribution ! C'est la valeur en dessous de laquelle se trouvent 90 % des observations, ici les différences MNS – MNT !



**Méthodologie (suite)**

4/ On reconstruit une distribution virtuelle sans la partie positive, par miroir vis-à-vis de l'axe de ordonnées

5/ Comment choisir la valeur *valeur* pour que 90 % des altitudes soient comprises entre [MNT-*valeur*, MNT+*valeur*] ?

**Réponse :** On prend le 90<sup>e</sup> percentile dans une distribution ! C'est la valeur en dessous de laquelle se trouvent 90 % des observations, ici les différences MNS – MNT !

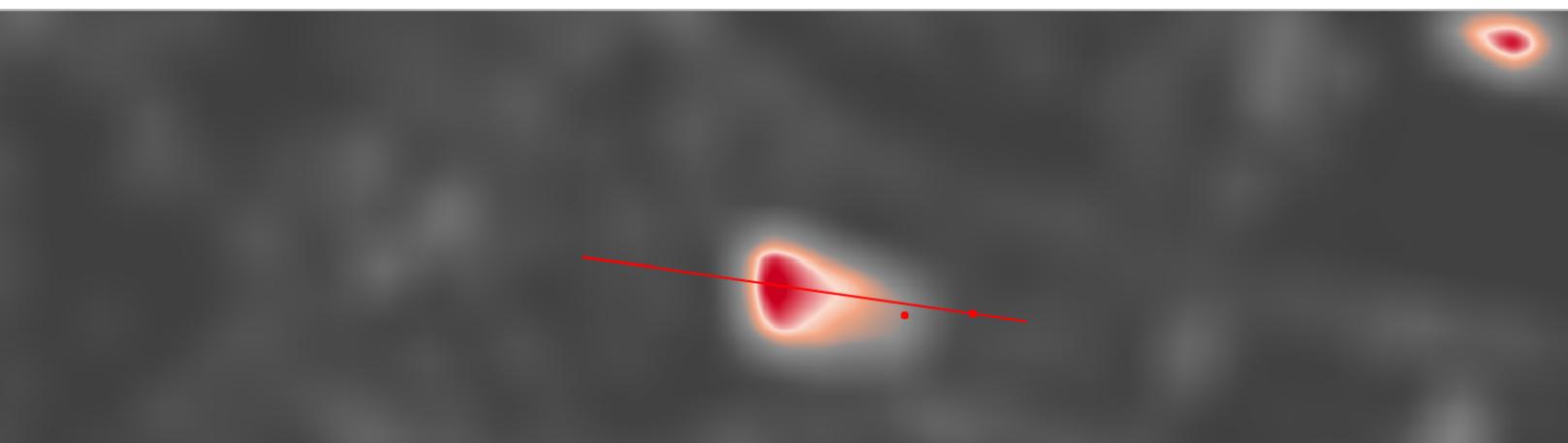
6/ L'algorithme marche sur des patchs de 50x50m pour fournir une mesure spatialisée

MNT



Masque de Précision



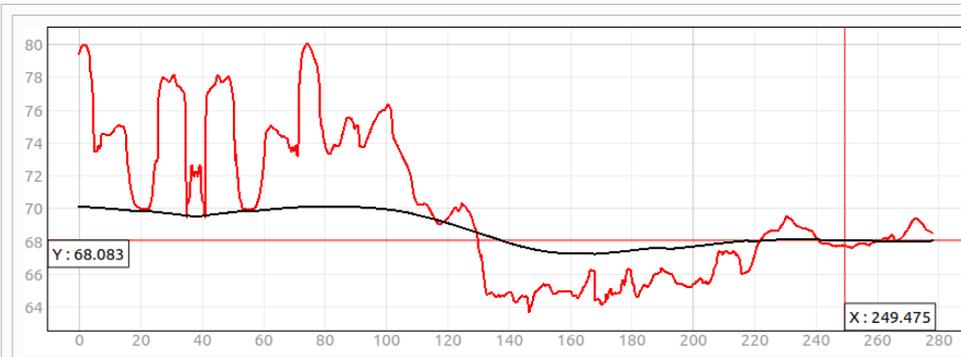


Résultats de l'identification

Entité	Valeur
MASQUE...	0
Bande 1	3,02623
(Dérivé)	

Profile Tool

Profile Table Settings



81,09  
maximum  
  
62,59  
minimum

	Layer	Band/Field	Search buffer
1	FusionPNE...	1	
2	MNT_GEM...	1	

Add Layer Remove Layer

Options

Selection Temporary polyline

Show cursor  Link mouse position on graph with canvas

Same axis scale

Reset view Height

Interpolated profile

Graph - PNG Save as

Mode Couche courante

Vue Arborecence

rouver (Ctrl+K)

Click for polyline and double click to end (right click to cancel then quit)

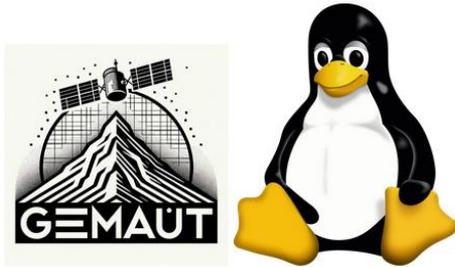
Coordonnée 768383,9 6279414,7

Échelle 1:2157

Loupe 100%

Rotation 0,0°

Rendu EPSG:2154



L'outil pour le passage MNS > MNT sous Linux (& conda)

## installation

```
git clone https://github.com/IGNF/GEMAUT-pipeline.git
```

```
cd GEMAUT-pipeline
```

```
conda env create -n gemaut_env -f gemaut_env.yml
```

```
conda activate gemaut_env
```

```
bash bash_install_saga_gemaut.bash
```

```
source $CONDA_PREFIX/etc/conda/activate.d/activate_gemaut.sh
```

```
script_gemaut --help
```

```
script_gemaut --mns /chem/vers/MNS_in.tif --out /chem/vers/MNT.tif --reso 4 --cpu 24 --RepTra /chem/vers/RepTra [--nodata_ext -32768] [--nodata_int -32767]
```

git clone <https://github.com/IGNF/GEMAUT-pipeline.git>

```
(gemaut_env) [NChampion@rocky-dev2 GEMAUT-pipeline]$ script_gemaut --help
usage: script_gemaut [-h] --mns MNS --out OUT --reso RESO --cpu CPU --RepTra REPTRA [--masque MASQUE] [--groundval GROUNDVAL] [--init INIT] [--nodata_ext NODATA_EXT] [--nodata_int NODATA_INT]
        [--sigma SIGMA] [--regul REGUL] [--tile TILE] [--pad PAD] [--norme NORME] [--clean]
```

GEMAUT - Génération de Modèles Automatiques de Terrain

```
options:
-h, --help            show this help message and exit
--mns MNS             input DSM
--out OUT             output DTM
--reso RESO          resolution du MNT en sortie
--cpu CPU            nombre de CPUs à utiliser dans le traitement
--RepTra REPTRA      repertoire de Travail
--masque MASQUE      input ground/above-ground MASK
--groundval GROUNDVAL
                    valeur de masque pour le SOL (obligatoire si --masque est renseigné)
--init INIT          initialisation [par défaut le MNS]
--nodata_ext NODATA_EXT
                    Valeur du no_data sur les bords de chantier
--nodata_int NODATA_INT
                    Valeur du no_data pour les trous à l'intérieur du chantier
--sigma SIGMA        sigma / précision du Z MNS
--regul REGUL        regul / rigidité de la nappe
--tile TILE          taille de la tuile
--pad PAD            recouvrement entre tuiles
--norme NORME        choix entre les normes /tukey/huber/hubertukey/L1/L2
--clean              supprimer les fichiers temporaires à la fin du traitement
```

EXEMPLE DE LIGNE DE COMMANDE:

```
script_gemaut --mns /chem/vers/MNS_in.tif --out /chem/vers/MNT.tif --reso 4 --cpu 24 --RepTra /chem/vers/RepTra [--sigma 0.5] [--regul 0.01] [--tile 300] [--pad 120] [--norme hubertukey] [--nodata_ext -32768] [--nodata_int -32767] [--init /chem/vers/MNS_in.tif] [--masque /chem/vers/MASQUE_GEMO.tif] [--groundval 0] [--clean]
```



## ➤ Temps de calcul

- La config : 6 processeurs Intel Core i7 – Un bon PC de Gamers... en 2019 !
- Aire de test: 4 km<sup>2</sup>
- Temps total: ~ 20 minutes
  - **Découpage en dalles: ~ 5 secondes**
  - **SAGA: ~ 19 minutes**
  - **GEMO (optimisation) ~ 30 secondes**



## ➤ Temps de calculs

- La config : 6 processeurs Intel Core i7 – Un bon PC de Gamers... en 2019 !
- Aire de test: 4 km<sup>2</sup>
- Temps total: ~ 20 minutes
  - **Découpage en dalles: ~ 5 secondes**
  - **SAGA: ~ 19 minutes**
  - **GEMO (optimisation) ~ 30 secondes**

## ➤ Conclusions & Perspectives

- Un système qui permet de produire un MNT directement à partir du MNS (besoin identifié dans AI4GEO et cas d'utilisation similaire à CNES/Bulldozer)
- Une implémentation dans SAGA qui pourrait être remplacée par une autre + rapide (ITK, pdal, etc.)
- Des résultats sur Montpellier en-deça de qu'on obtient sur l'arc de crise avec un MNS de meilleure facture (mais travaille à améliorer celui de MTPL)
- Un code Opensource v0 qui ne demande qu'à vivre & être testé !

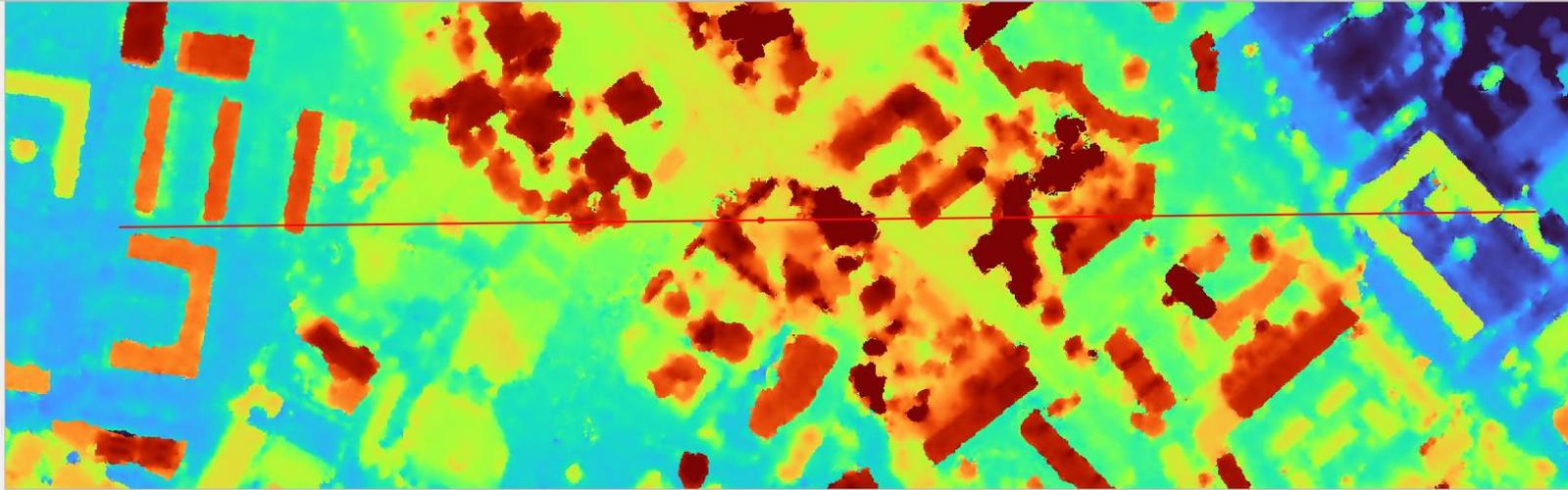
*Merci pour votre attention!*

Nicolas.Champion@ign.fr



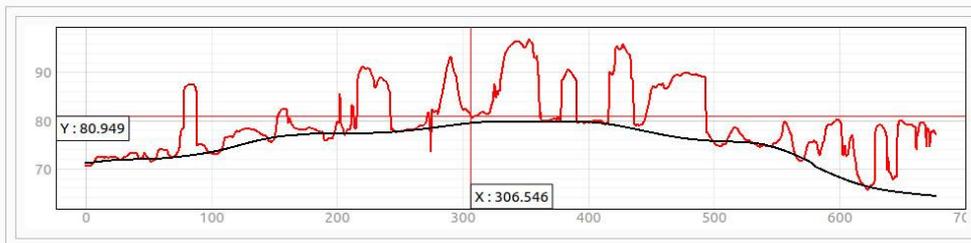


- Couches
- MASQUE\_compute
  - diff\_MNS\_FusionPNEC
  - MNT\_GEMO\_SAGA\_L
  - FusionPNEO\_CROP\_L



Profile Tool

Profile Table Settings



Reset view Height

Interpolated profile

Graph - PNG

Save as

99,55  
maximum

61,70  
minimum

	Layer	Band/Field	Search buffer
1	FusionPNE...	1	
2	MNT_GEM...	1	

Add Layer Remove Layer

Options

- Selection Temporary polyline
- Show cursor  Link mouse position on graph with canvas
- Same axis scale