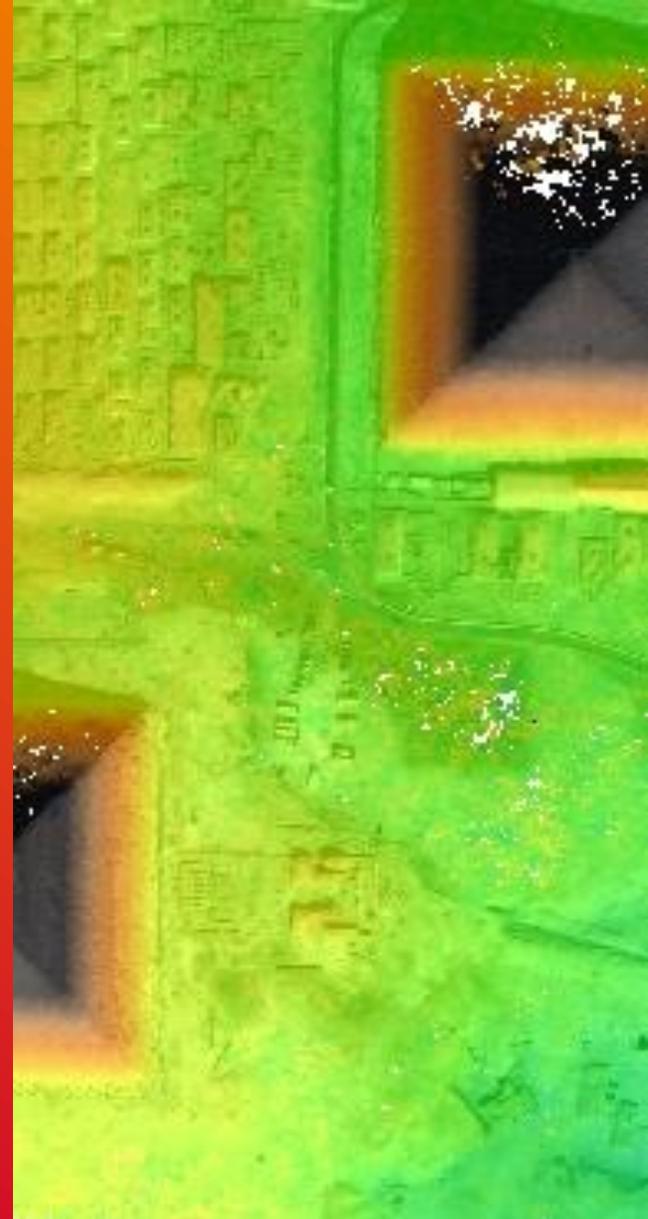


Du Mesh au NeRF

La photogrammétrie open-source avec CARS

—
Séminaire « Données, algorithmes et applications 3D », SFPT, 17-18 mars 2025

Yoann STEUX, Theïlo TERRISSE



The world is how we shape it

Sommaire

01

Un pipeline de stéréo multi-vues pour la production de modèles 3D massifs: CARS

02

Quelles extensions pour CARS ? Plugins

Nuage de points à Mesh

03

Quelles extensions pour CARS ? API

CVSat-NeRF:
NeRF supervisé par le volume de coût

01

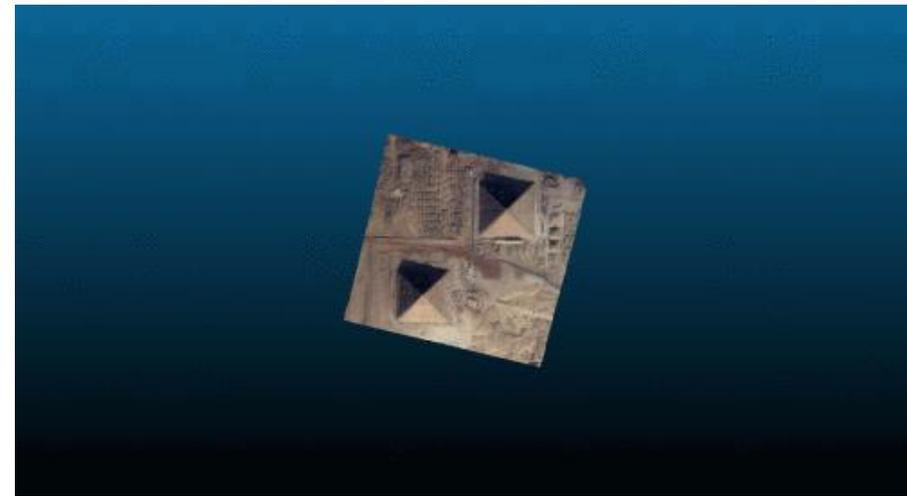
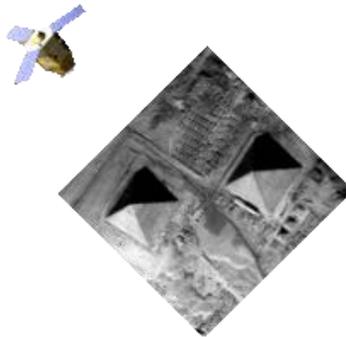
CARS

**Un pipeline de stéréo multi-vues
pour la production de modèles 3D
massifs**

Qu'est ce que CARS ?



- CARS est un outil Open Source de génération de modèles 3D. Il crée des Modèles Numériques de Surface à partir de paires d'images.
- CARS est pensé pour de la production massive, capable de passer à l'échelle : l'outil peut être utilisé autant sur un HPC qu'un PC.
- CARS est le cœur de la reconstruction 3D dans la chaîne image de la mission satellite CO3D.



[1] <https://github.com/CNES/cars>

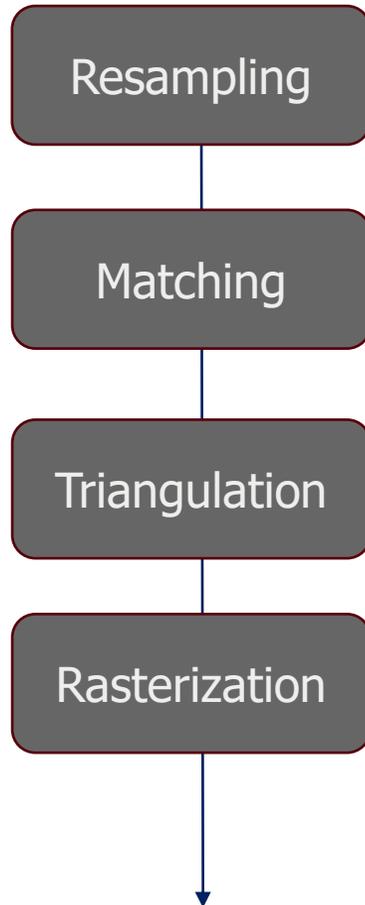
[2] Michel, J., Sarrazin, E., Youssefi, D., Cournet, M., Buffe, F., Delvit, J. M., ... & L'Helguen, C. (2020). A new satellite imagery stereo pipeline designed for scalability, robustness and performance. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2, 171-178.

Qu'est ce que CO3D ?

- Constellation de 4 satellites d'observation de la Terre
- Développé par le CNES et Airbus DS
- Objectifs:
 - Cartographier la Terre en 3D
 - Images spectrales à résolution 50 cm
 - Modèle 3D à la résolution 1m
- Besoins:
 - Civils: prévention des inondations, fonte des glaciers, interventions de secours, évaluation des dommages en cas de catastrophe naturelle, aménagement du territoire ...
 - Militaires: planification des missions, analyse de traficabilité du terrain pour les véhicules ...
- Lancement: Août 2025

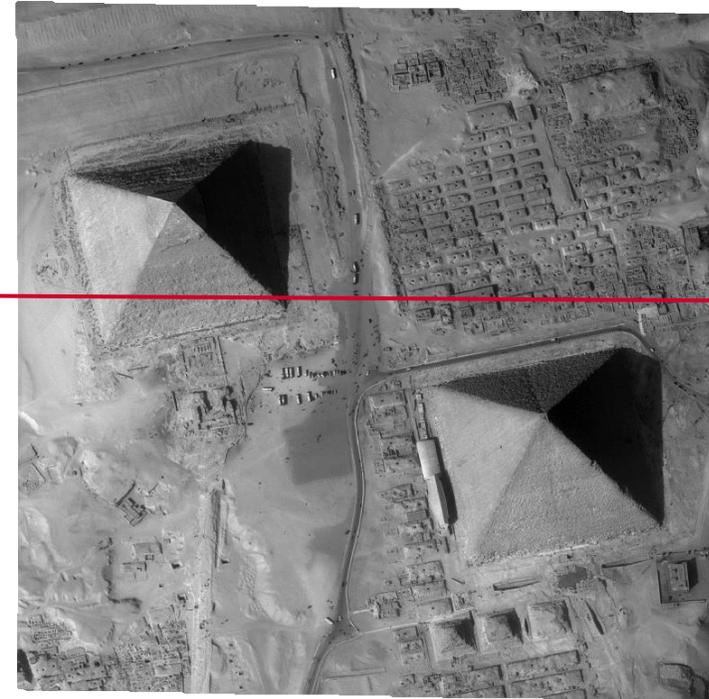
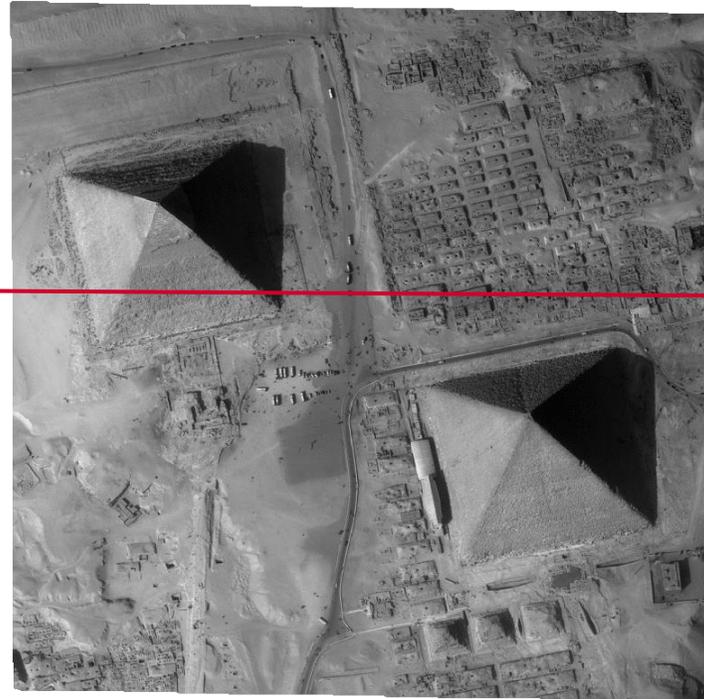
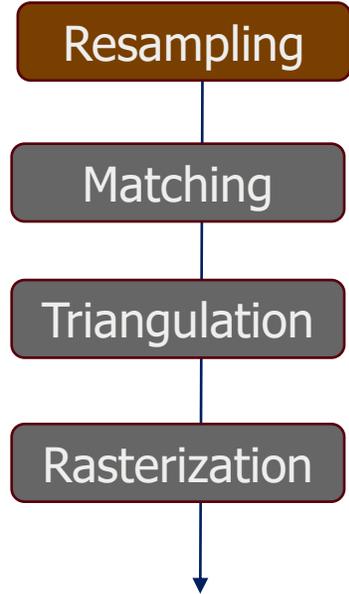


Comment fonctionne CARS ?



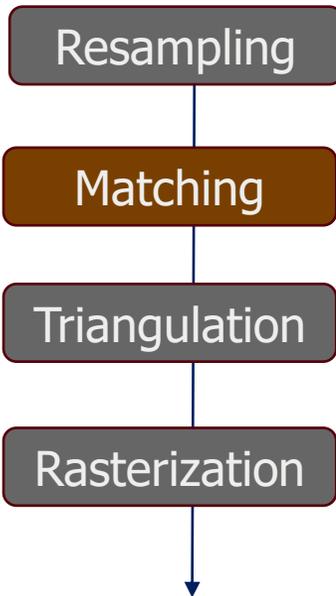
Comment fonctionne CARS ?

Génération des images
épipolaires



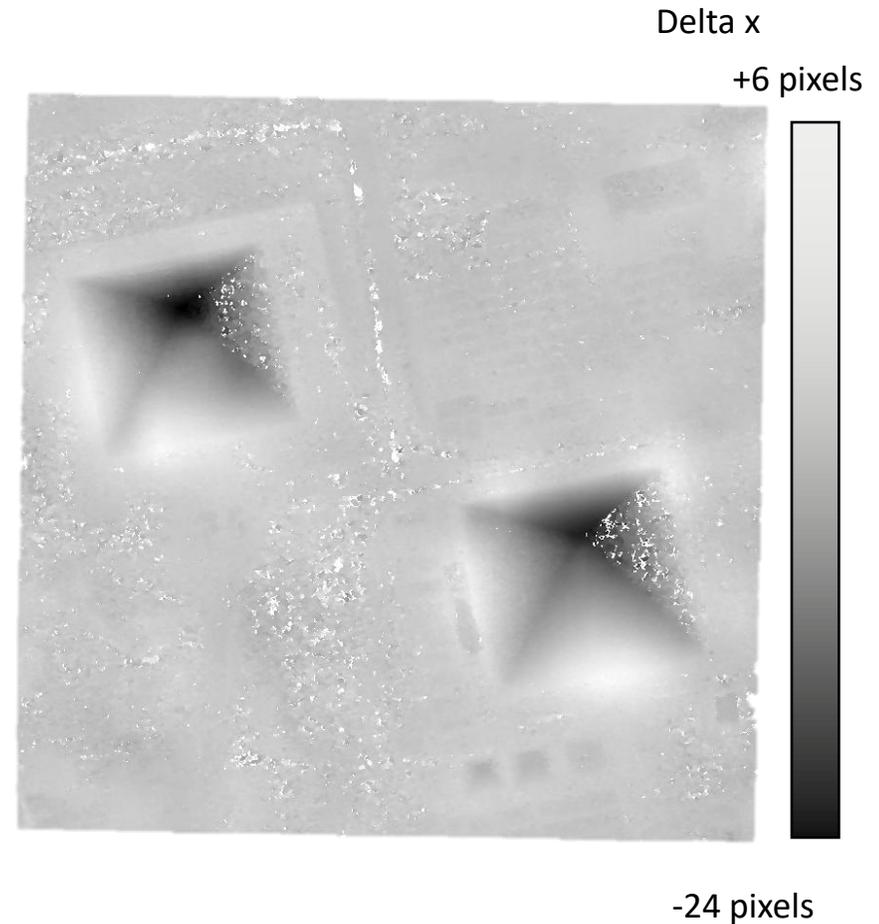
Comment fonctionne CARS ?

Génération de carte de disparités



Pandora: OpenSource Stereo matching framework

<https://github.com/CN ES/Pandora>



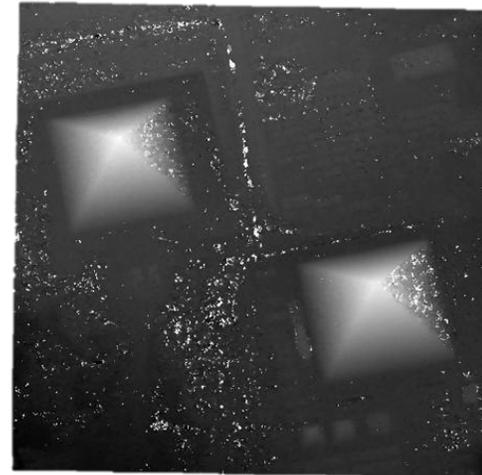
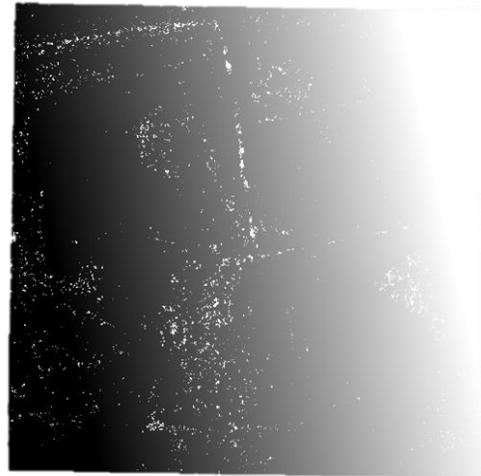
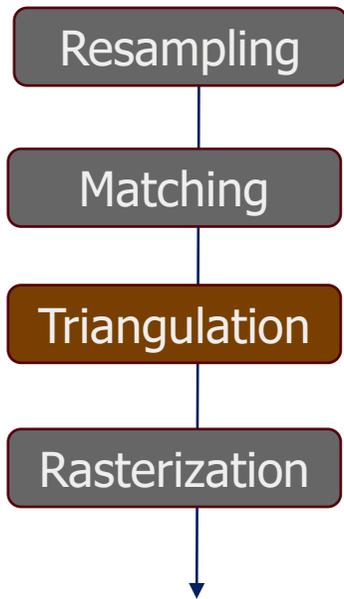
Comment fonctionne CARS ?

Triangulation

X

Y

Hauteur

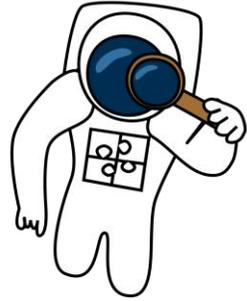


Shareloc: OpenSource
remote sensing
geolocation library

<https://github.com/CN-ES/shareloc>

Comment fonctionne CARS ?

Triangulation



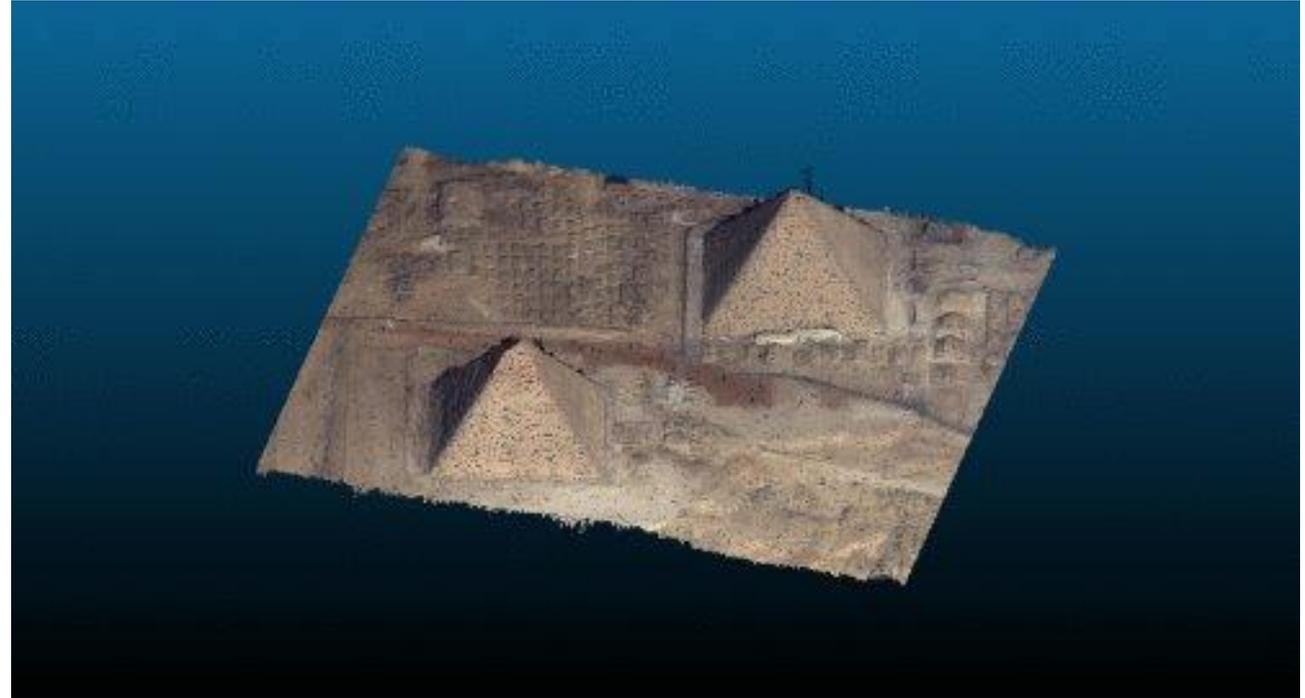
Resampling

Matching

Triangulation

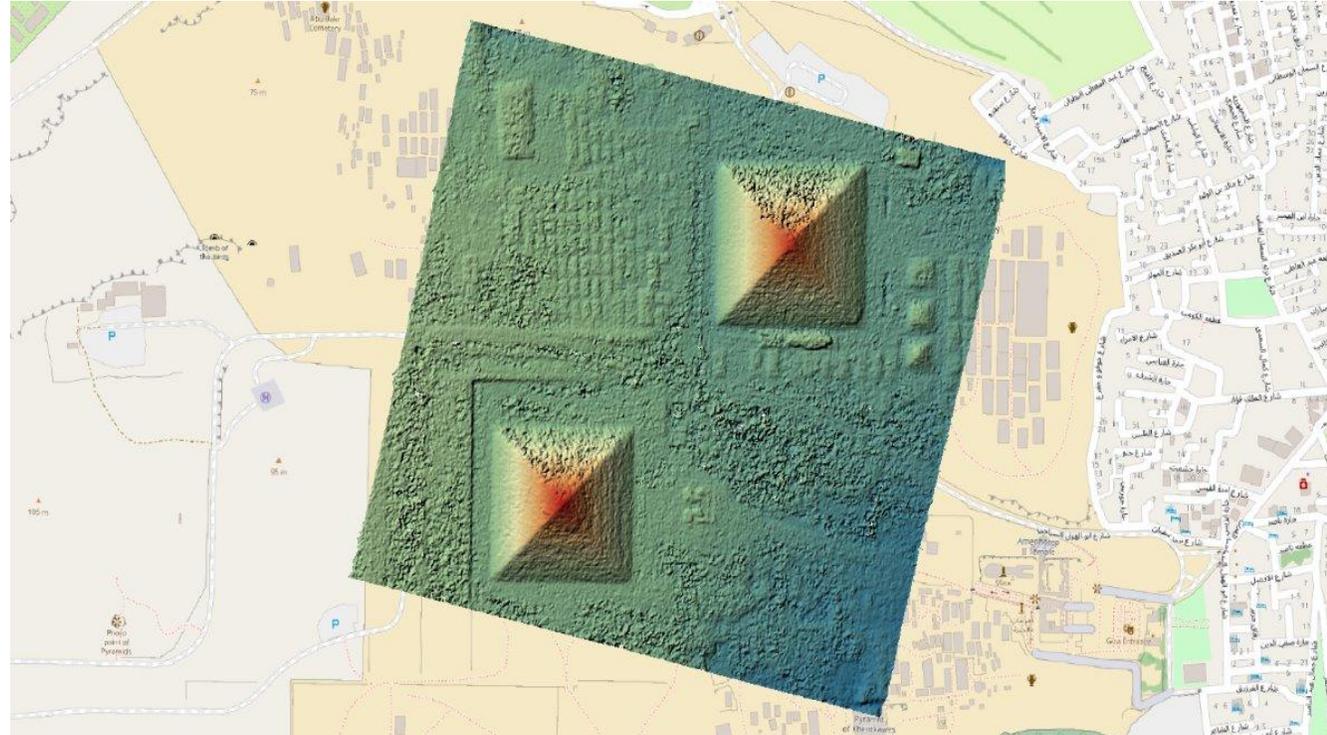
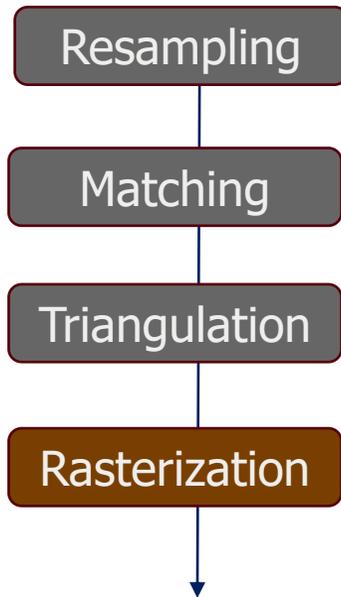
Rasterization

Shareloc:
OpenSource
remote
sensing
geolocation
library



Comment fonctionne CARS ?

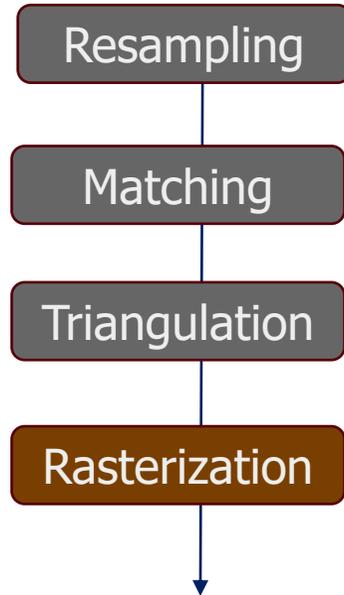
Rasterisation



MNS

Comment fonctionne CARS ?

Rasterisation



Quelles sont les particularités de CARS ?

- Open source (Apache v2)
- Scalable: tous les traitements sont tuilés et parallélisés
- Modulaire : possibilité d'utiliser des plugins pour exploiter
 - ses Pipelines
 - ses Applications
 - sa bibliothèque de géométrie ...

02

Quelles extensions pour CARS ? Plugins

Nuage de points à Mesh

Plugin de Génération de Mesh

CARS Point cloud to Mesh Plugin



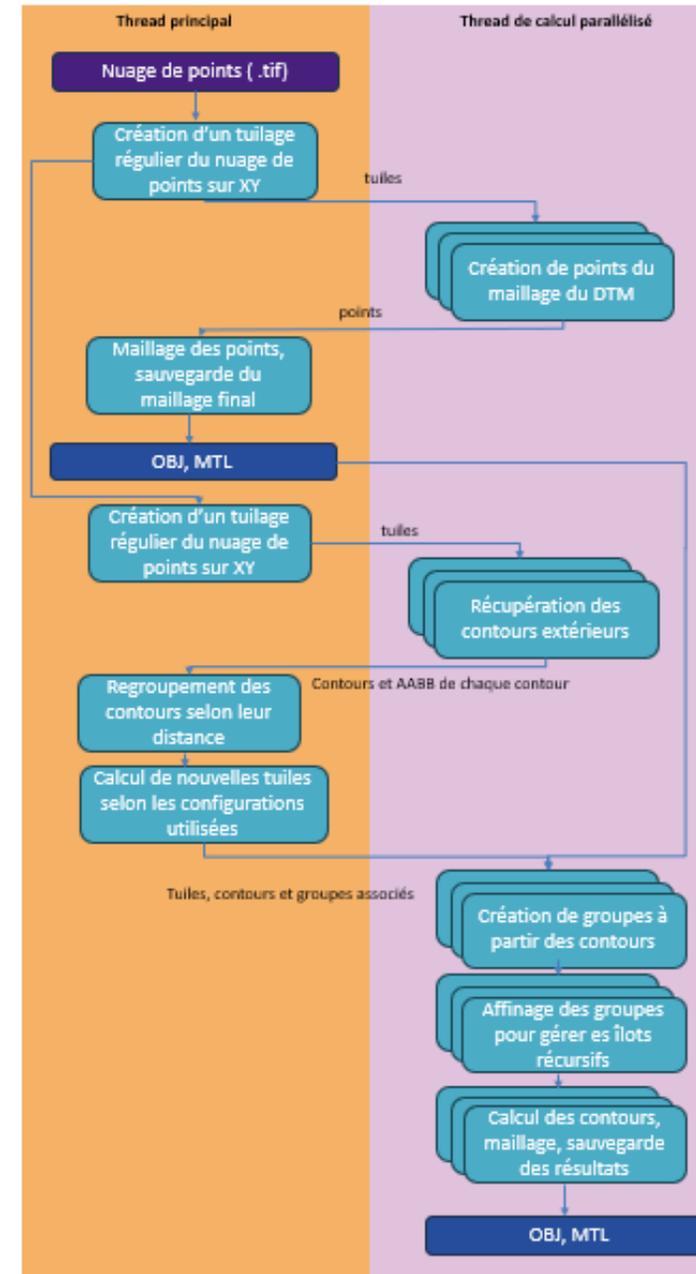
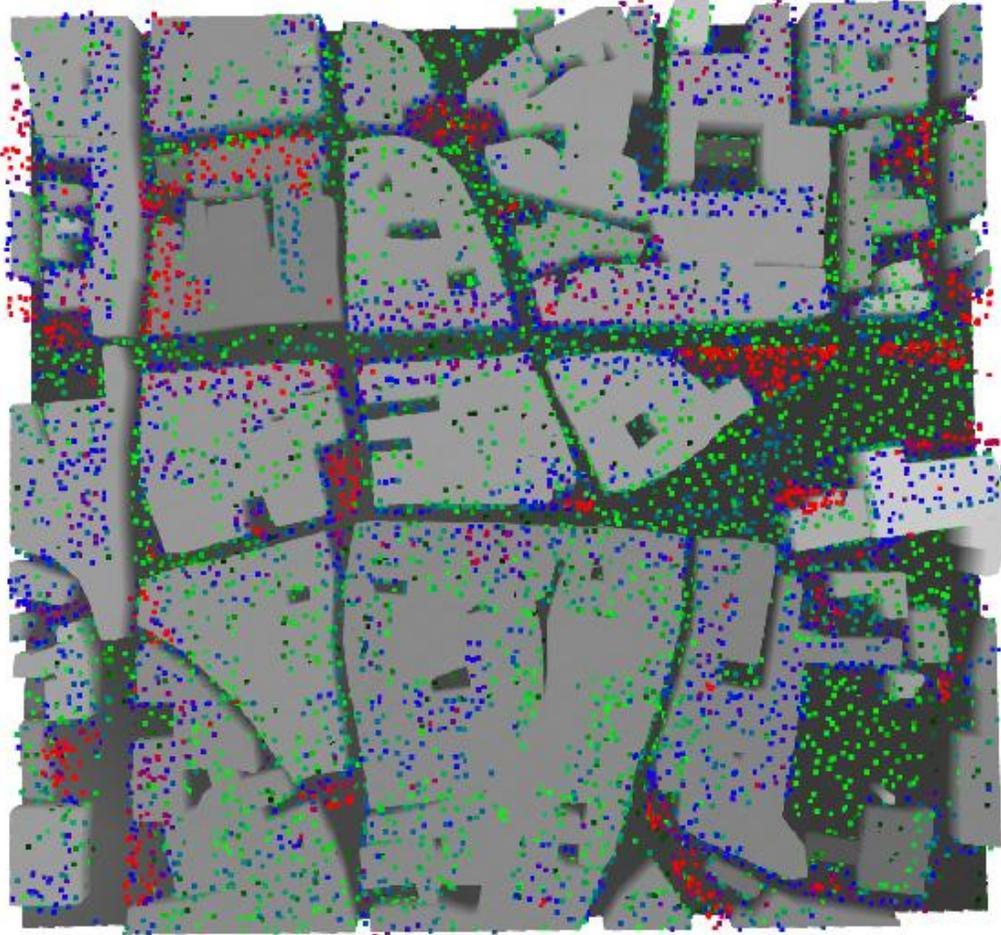
<https://github.com/CS-SI/cars-point-cloud-to-mesh>

Que fait ce plugin ?

- Génère des maillages de points 3D, texturés et classifiés, à partir de nuages de points CARS
- Utilise des concepts de CARS, et sa librairie de parallélisation
 - Ajoute de nouvelles Applications, et un nouveau Pipeline : Nuage de points -> Mesh
- L'outil utilise fortement la classification des bâtiments pour la création des maillages 3D



Que fait ce plugin ?



Visualiser ces données ?



- Visualiser
- Naviguer
- Simuler : inondations

Data under Creative Common Attribution 4.0 licence, generated from Pléiades CNES, 201309241057236_SEN_677987101-001 & 201309241057386_SEN_677987101-002



Data under Creative Common Attribution 4.0 licence, generated from Pléiades CNES, Distribution
Airbus DS : 201309241057236_SEN_677987101-001 & 201309241057386_SEN_677987101-002

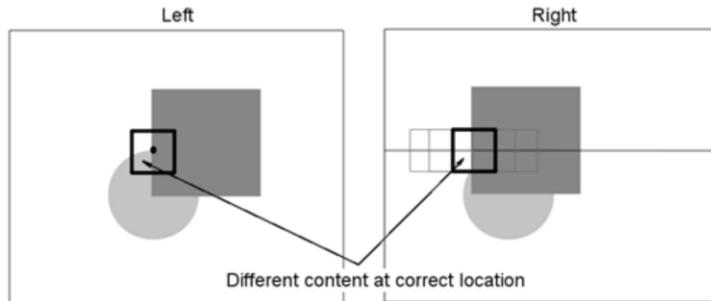
03

Quelles extensions pour CARS ? API

CVSat-NeRF :
**NeRF supervisé par le
volume de coût**

Motivation

Stéréo-vision par patchs



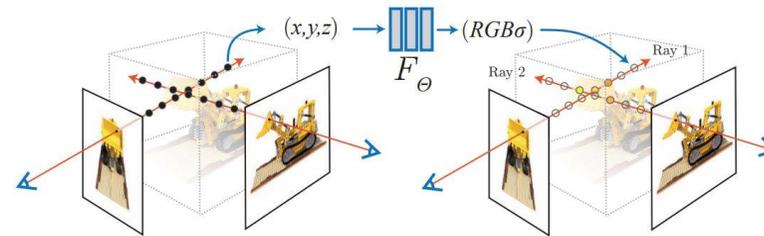
Avantages :

- + Bien étudié dans la littérature
- + Explicable
- + Fonctionne avec peu de vues

Inconvénients :

- Adhérence
- Perte de détails
- Manque de régularité sur les surfaces uniformes
- Atrophie/Hypertrophie de bâtiments

Neural Radiance Fields (NeRF)



Avantages :

- + Fonctionne par rayons
→ *contourne les limites des méthodes par patch.*
- + Représentation implicite utilisant une méthode de rendu explicite
→ *flexibilité et possibilité d'incorporer des priors de reconstruction.*

Inconvénients :

- **Nécessite beaucoup de données en entrée.**

Littérature: adaptation aux images multi-dates.

→ Disponibilité/Coût de la donnée ?

Exemples:

- Cartographie rapide de zones sinistrées.
- Couverture de zones larges (*e.g.* CO3D).

→ **Objectif:** fusionner les 2 méthodes dans le contexte à vues parcimonieuses.

Méthode: CVSat-NeRF

Principe

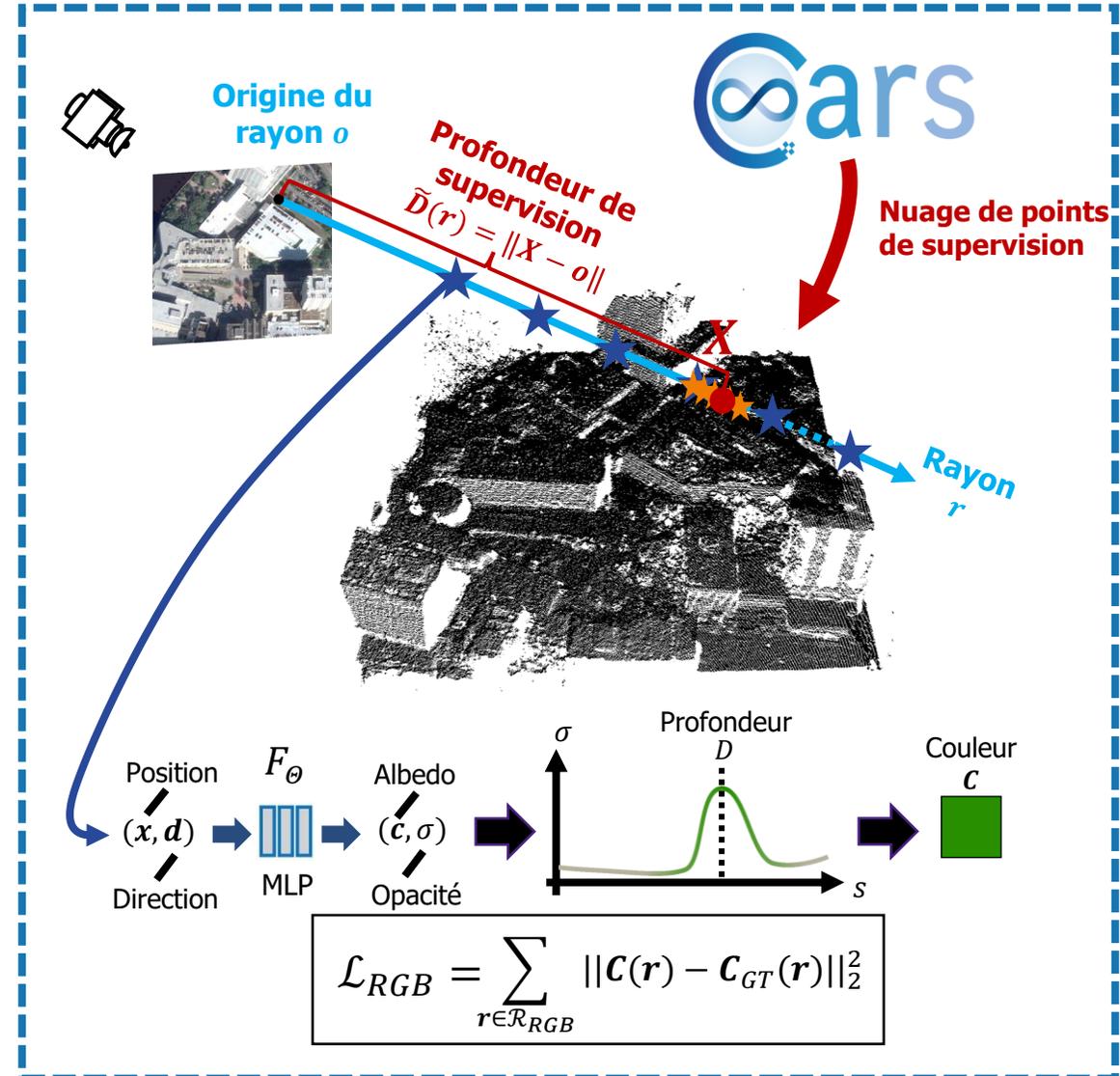
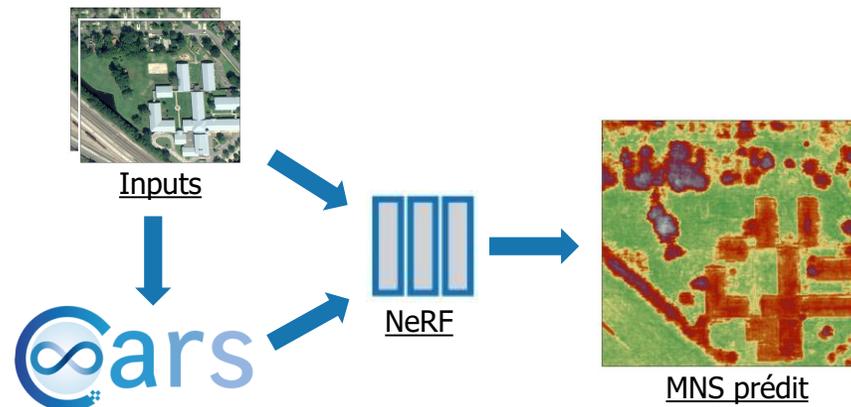
→ S'inspirant de SpS-NeRF¹, guider le NeRF par CARS.

Challenge:

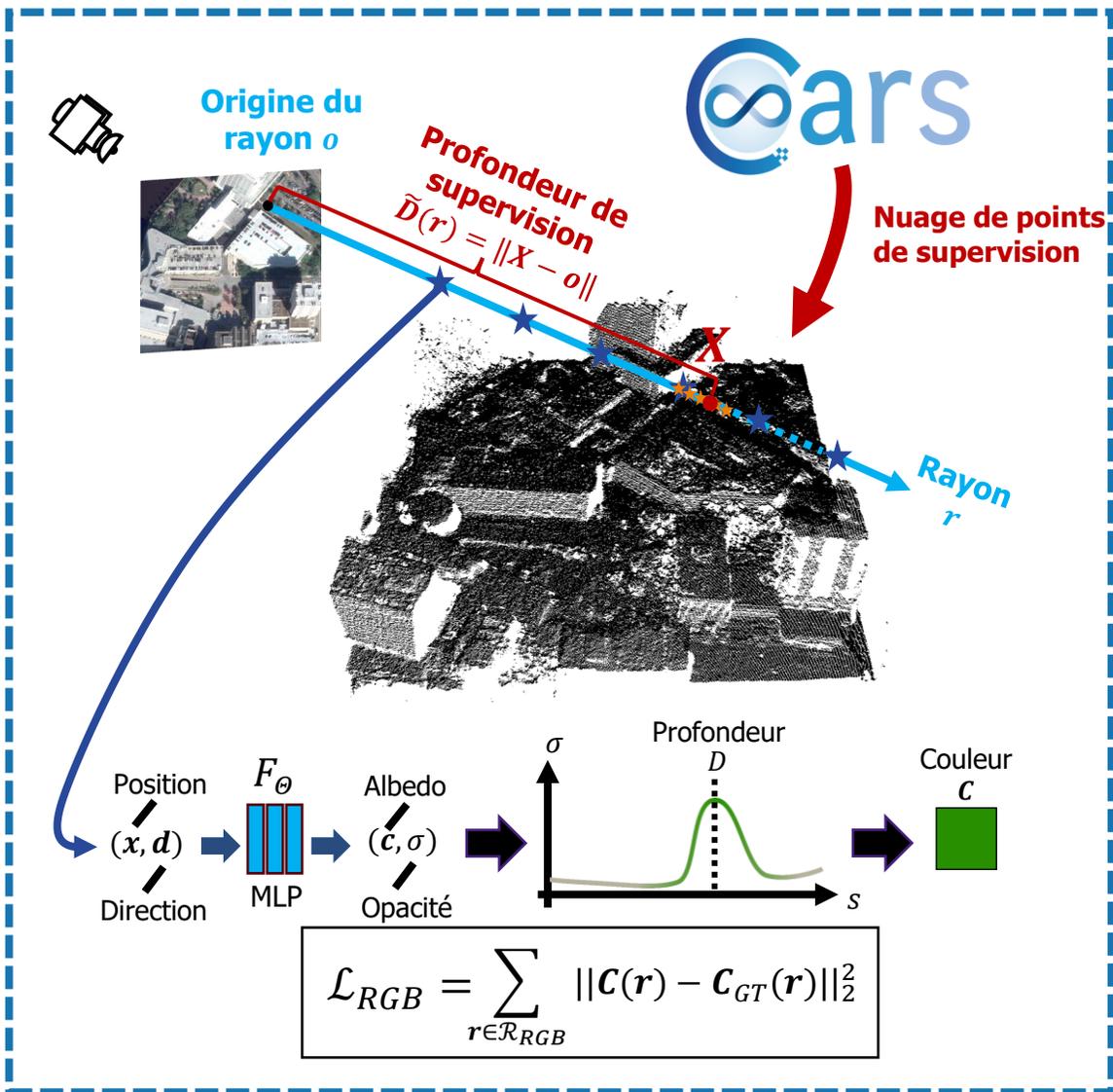
1. **Amener le réseau de neurones à converger** : suivre la prédiction de CARS là où elle est précise.
2. **Laisser le NeRF surmonter les limitations de la stéréo** : se détacher de la prédiction CARS là où elle est imprécise.

2 contributions principales:

1. Utilisation de **l'ambiguïté** pour la pondération d'une **supervision de profondeur** \mathcal{L}_D .
2. **Échantillonnage des rayons guidés par le volume de coût** prédit par CARS.



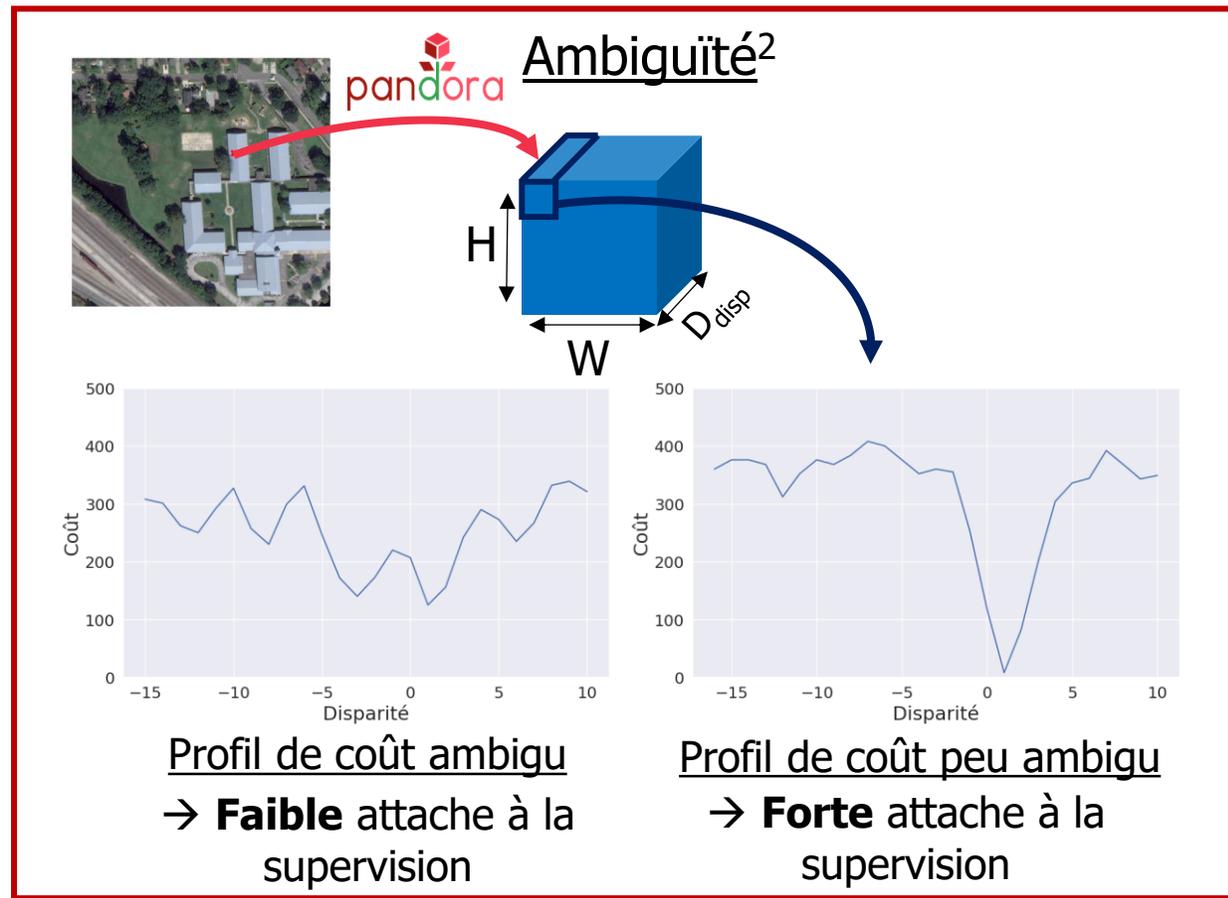
Méthode: CVSat-NeRF



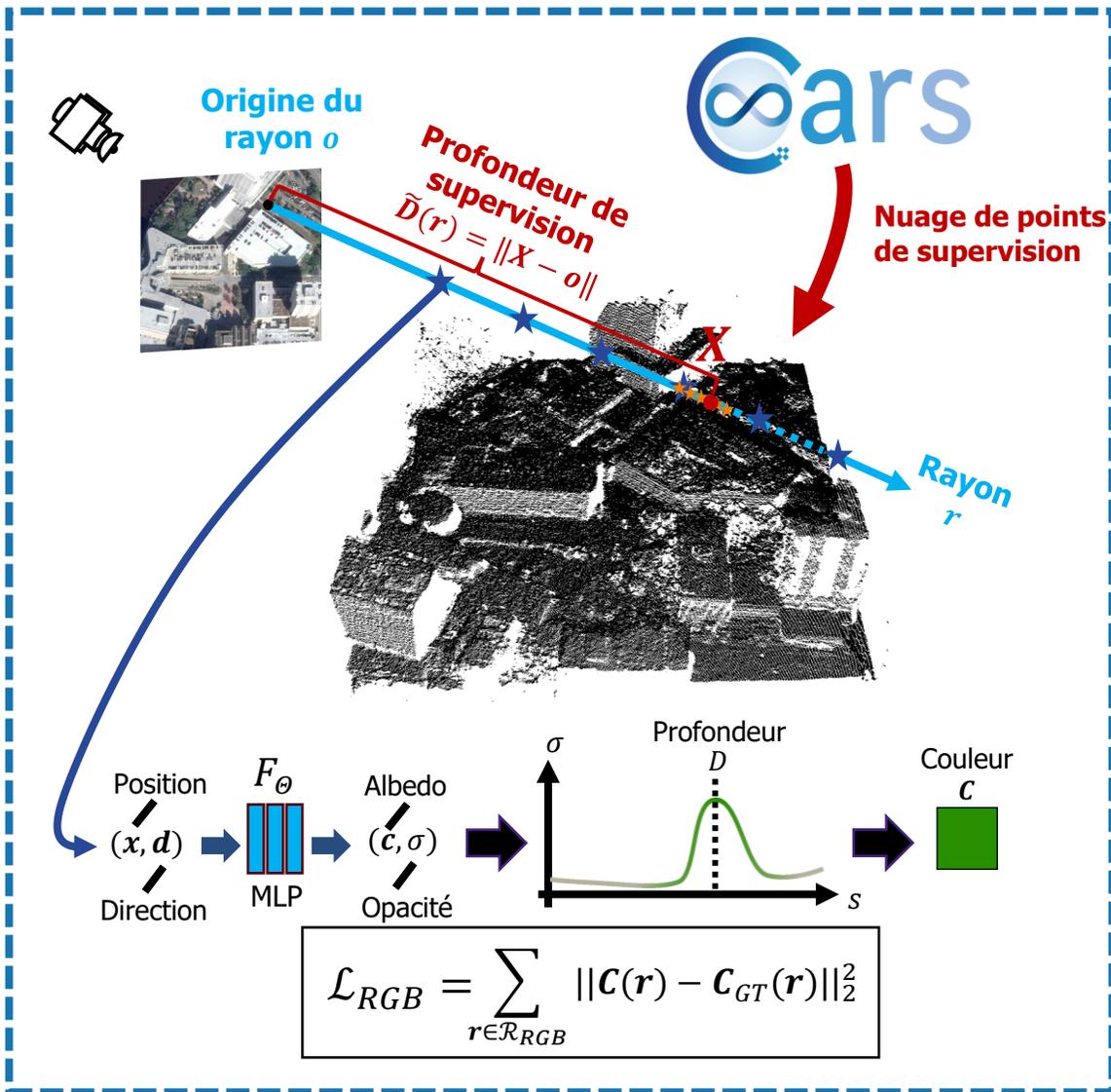
Supervision de profondeur dans la fonction d'erreur

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{RGB} + \lambda \mathcal{L}_D \text{ où } \mathcal{L}_D = \sum_{r \in \mathcal{R}_D} \text{conf}(r) (D(r) - \tilde{D}(r))^2$$

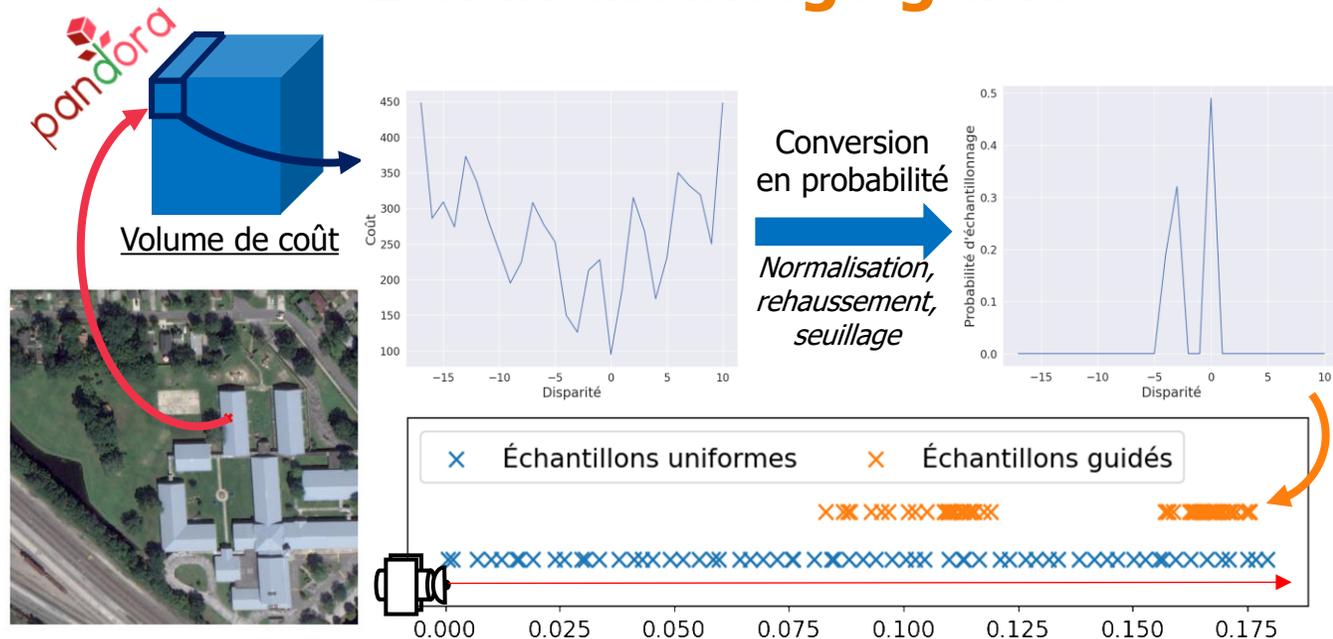
→ conf mesure la confiance accordée en chaque pixel, mesurée par l'« ambiguïté ».



Méthode: CVSat-NeRF



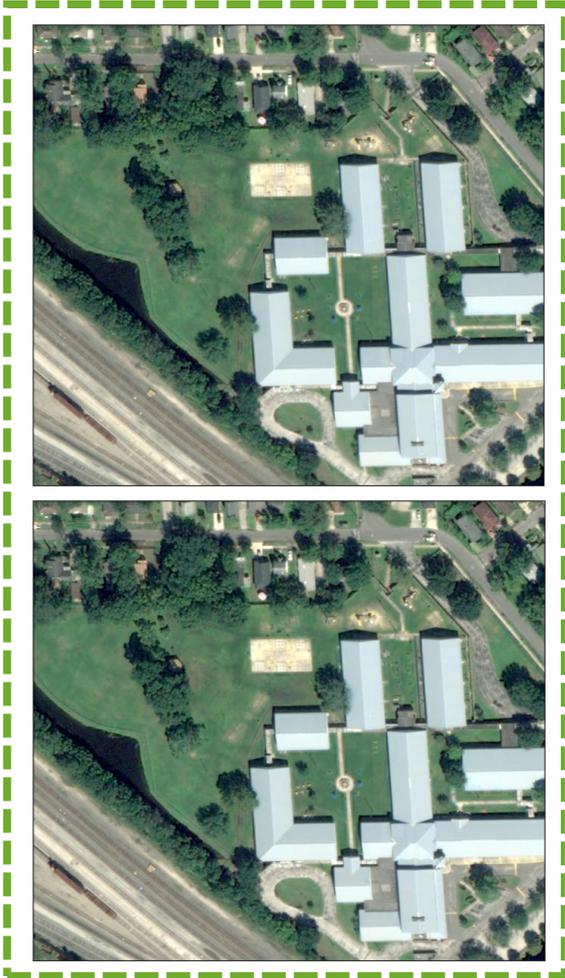
Echantillonnage guidé



Principe: conversion d'une courbe de coût en distribution d'échantillonnage d'un rayon, passant par les intervalles robustes de disparité³.

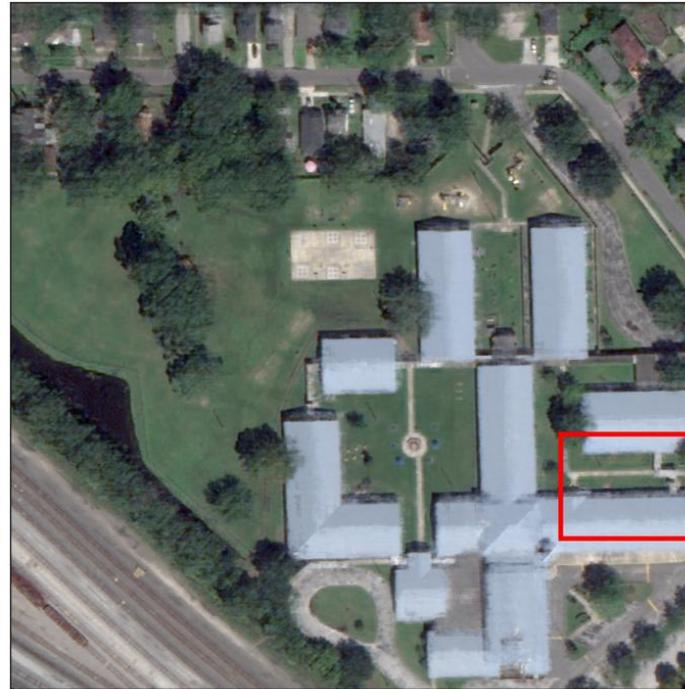
→ Exploration des minima locaux d'une courbe, facilement paramétrable.

Résultats

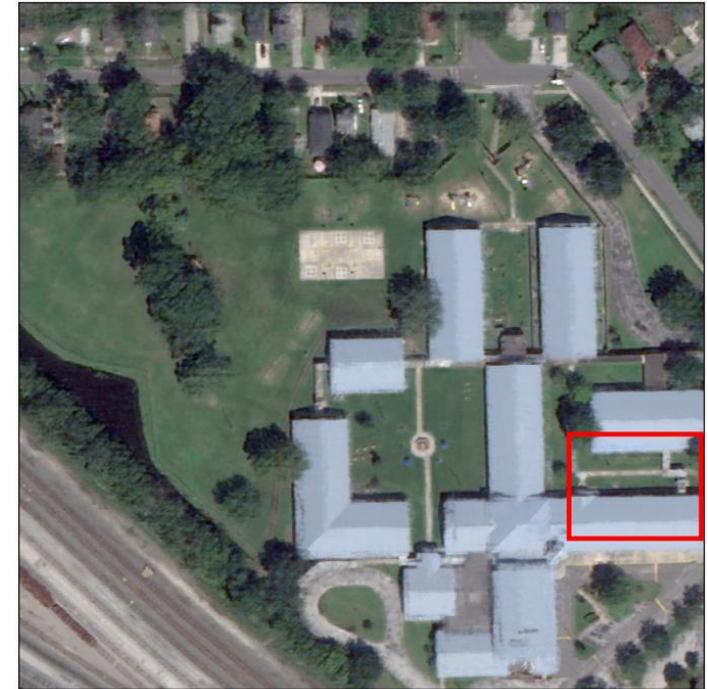


Inputs

SpS-NeRF



CVSat-NeRF



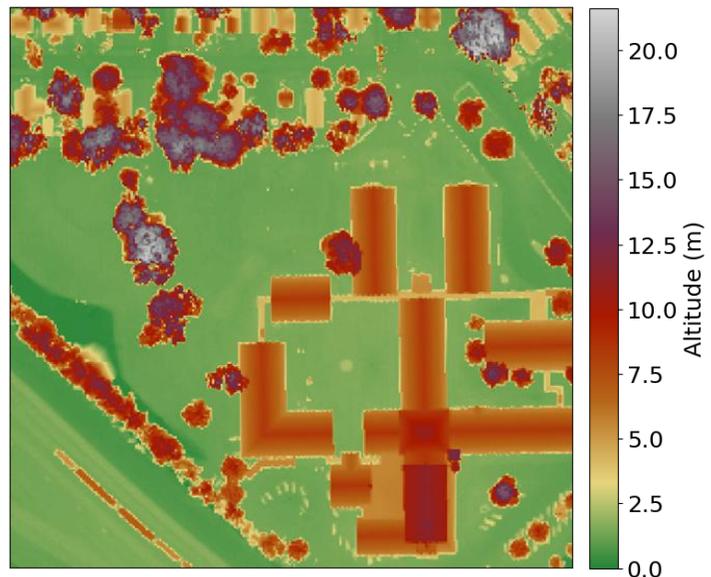
Synthèse de nouvelles vues

Résultats

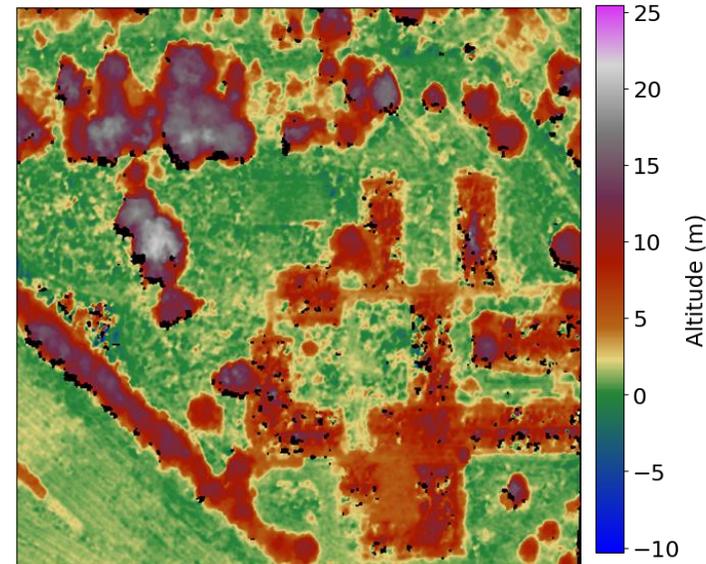


Inputs

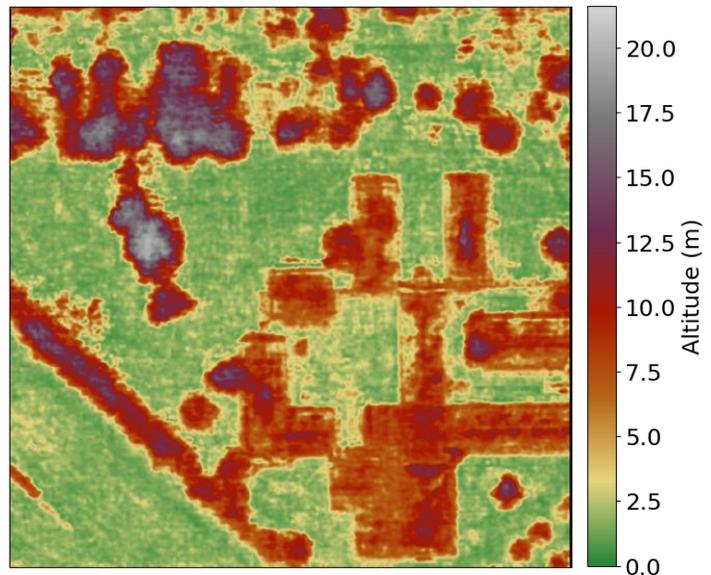
LiDAR (VT)



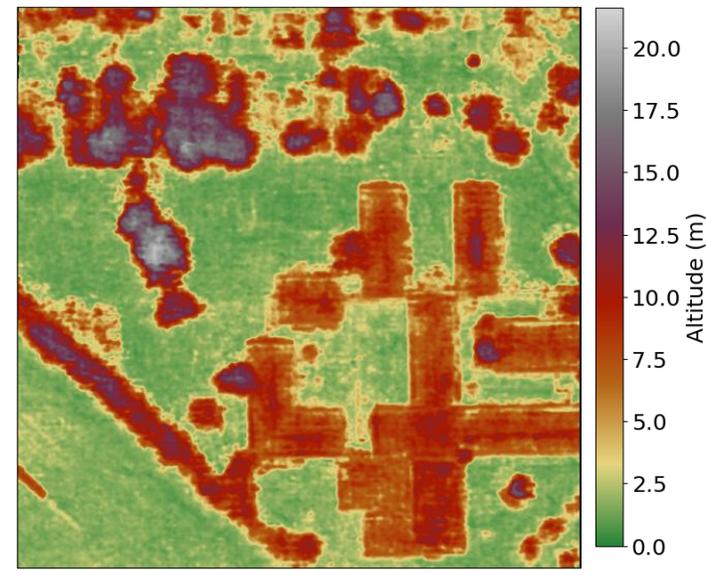
CARS



SpS-NeRF



CVSat-NeRF



Génération de MNS

Quels horizons pour CVSat-NeRF ?

Pistes de développement envisagées :

- Couplage plus intriqué entre MVS et NeRF : NeRF en géométrie épipolaire.
- Ajouts d'autres priors de supervision :
 - Géométriques (régularisation des normales...) → *RegNeRF, DiffNeRF...*
 - Sémantiques (généralisation entre scènes...) → *PixelNeRF, MVSNeRF, DietNeRF...*

Quelles applications ?

- Amélioration de la qualité des productions dans le contexte à vues parcimonieuses.
→ Meilleur compromis entre **qualité du rendu** et **disponibilité/coût d'acquisition des données**.
- Ouvre la voie aux NeRF dans ce contexte, et donc à leurs avantages:
 - Précision du rendu
 - Compression de la scène
 - Synthèse de nouvelles vues (*e.g.* rendu immersif)
 - Éditableté
 - ...

04

Conclusion



Pipeline de photogrammétrie au cœur de l'activité 3D de la BU espace de CS

→ Génération de produits 3D à partir d'images satellites haute résolution

MNS, Nuages de points...

→ Produit open-source, modulable, en extension continue

Ex: Plugin Point cloud to Mesh

→ Contribution à l'état de l'art

Ex: CVSat-NeRF

Q&A