

# SÉMINAIRE « DONNÉES, ALGORITHMES ET APPLICATIONS 3D »

## OUTILS 3D OPEN-SOURCE DÉVELOPPÉS POUR LA MISSION CO3D ET LES FUTURES MISSIONS



Valentine  
**BELLET**



Dimitri  
**LALLEMENT**



David  
**YOUSSEFI**

AMPHITHÉÂTRE CAUCHY DE L'ENPC, MARNE-LA-VALLÉE  
**17 MARS 2025**

# SOMMAIRE

- 01 INTRODUCTION & CONTEXTE
- 02 PRÉSENTATION DES OUTILS 3D
- 03 APPLICATION À LA DÉTECTION DE CHANGEMENT

# 01

## INTRODUCTION & CONTEXTE



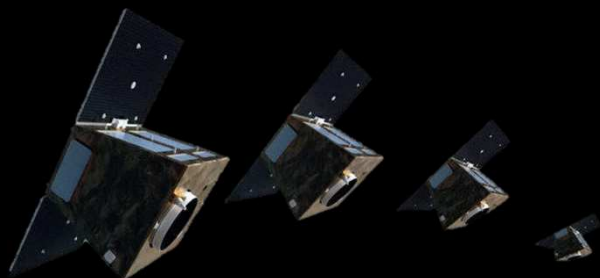
RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



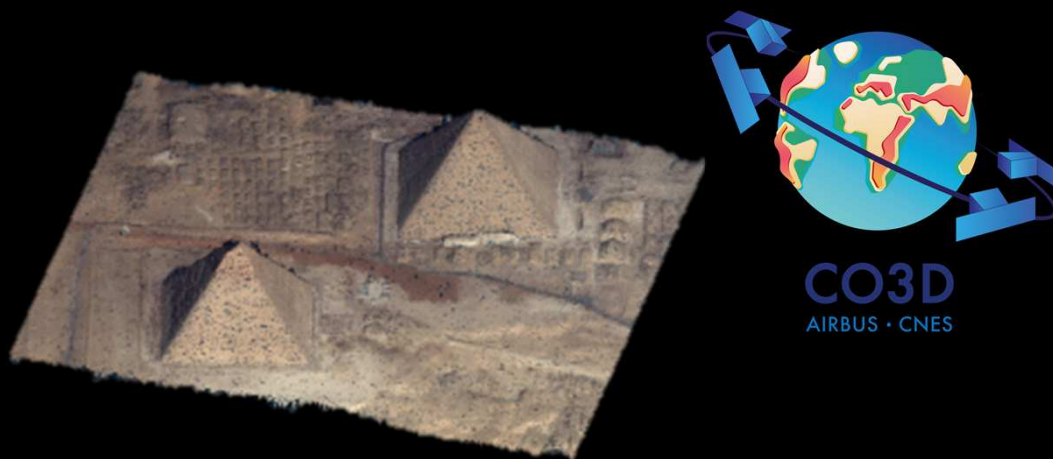
# CONSTELLATION CO3D

INTRODUCTION &  
CONTEXTE



4 satellites

4 bandes : Bleu, Vert, Rouge,  
Proche Infra-rouge à 50 cm



Inclus dans le segment sol



Logiciel de restitution 3D



Logiciel de mise en  
correspondance stéréo



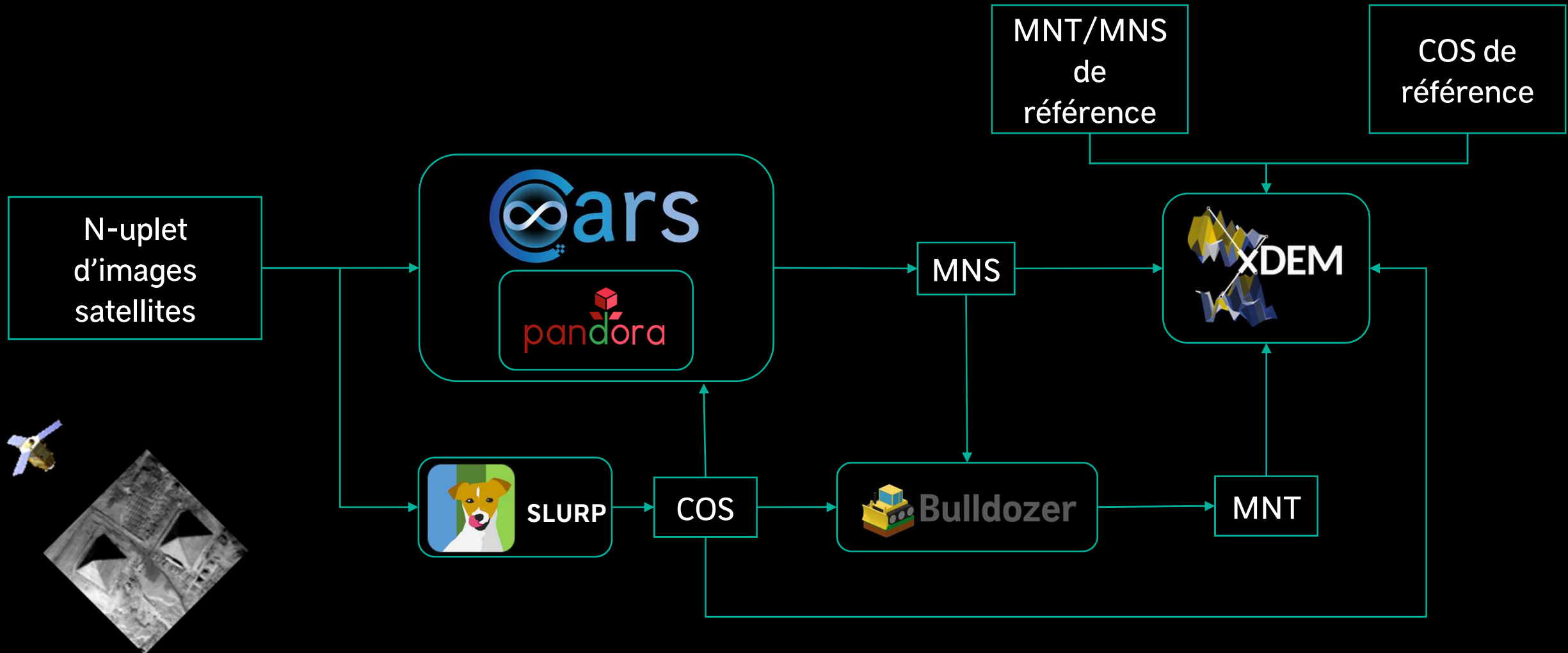
Disponible sous la licence Apache-2.0

**Modèle numérique de surface global à 1 m de résolution au sol (GSD).**  
Pour 15 et 30m (GSD), le MNS sera livre en libre accès.

La production mondiale de ces informations 3D contribuera  
notamment à la création de jumeaux numériques.

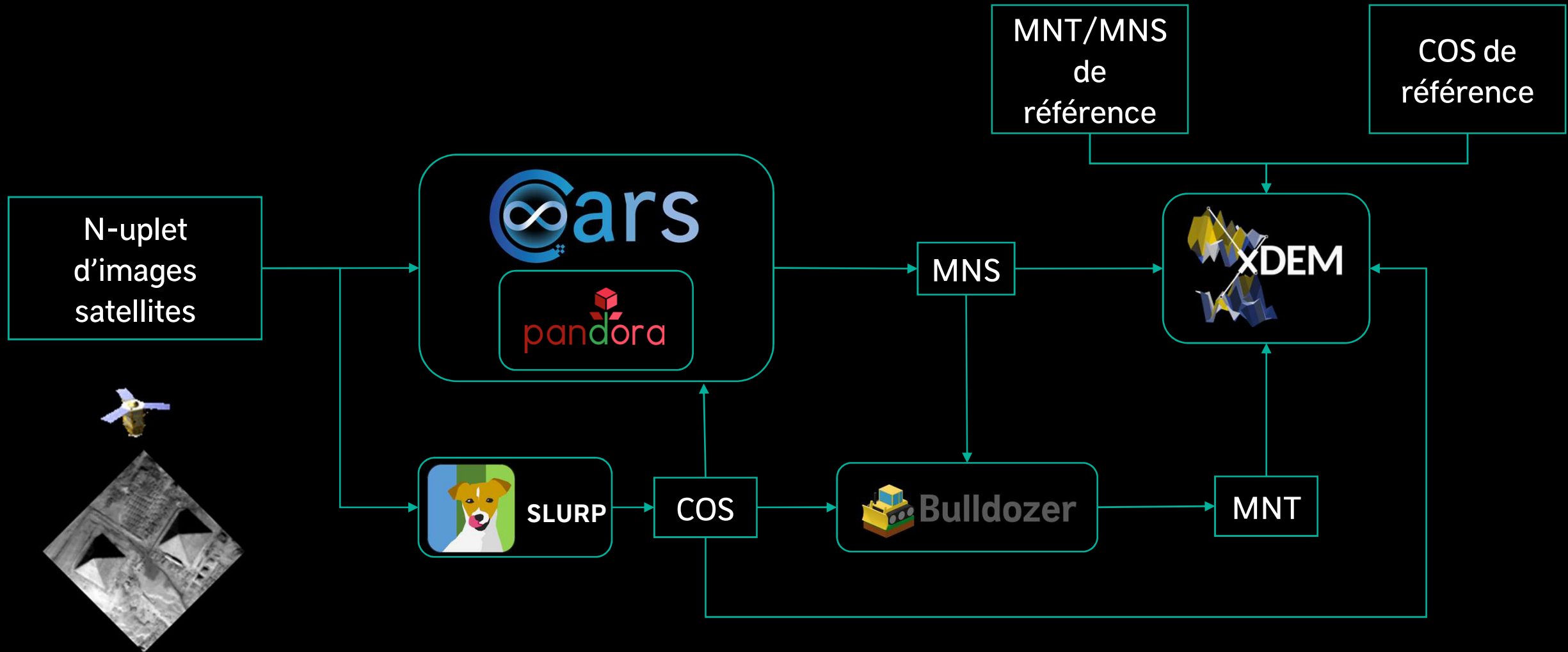
# ÉCOSYSTÈME DES OUTILS 3D

INTRODUCTION &  
CONTEXTE



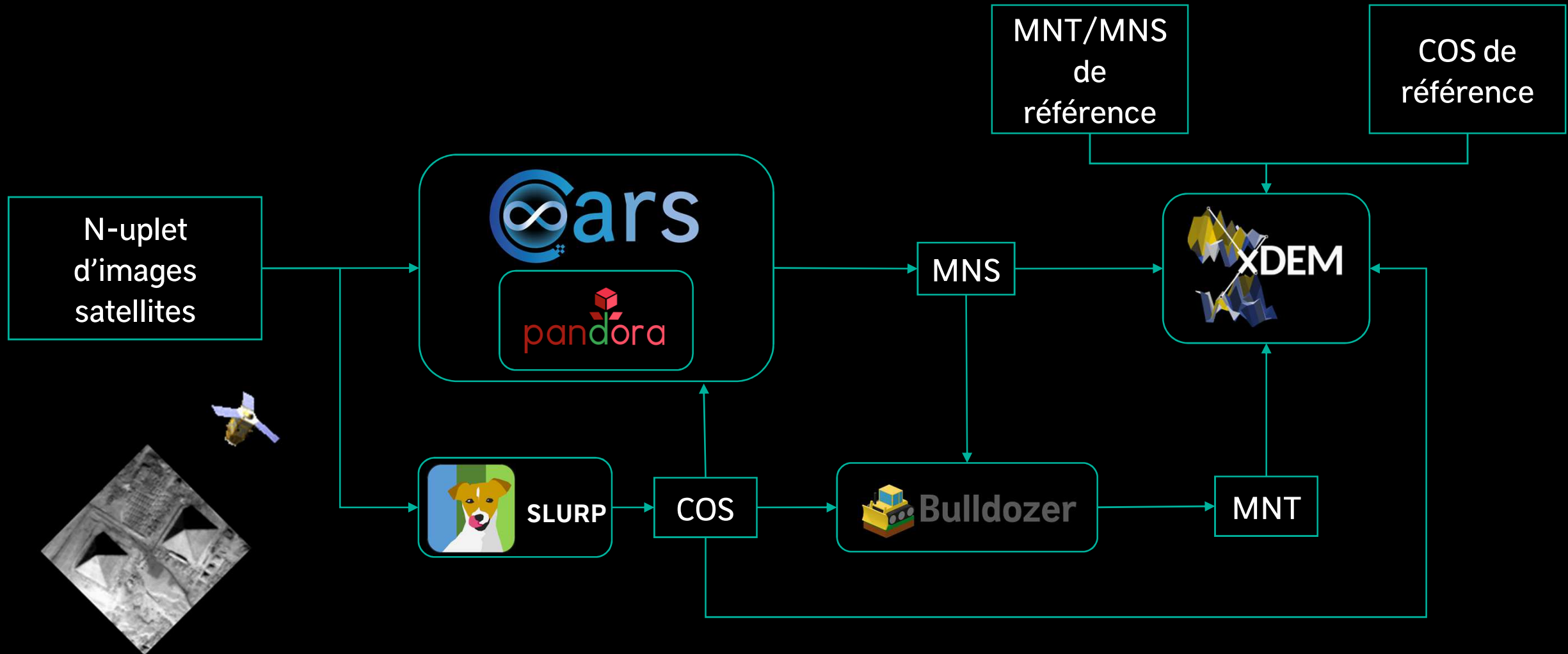
# ÉCOSYSTÈME DES OUTILS 3D

INTRODUCTION &  
CONTEXTE



# ÉCOSYSTÈME DES OUTILS 3D

INTRODUCTION &  
CONTEXTE



02

**PRÉSENTATION DES  
OUTILS 3D**



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

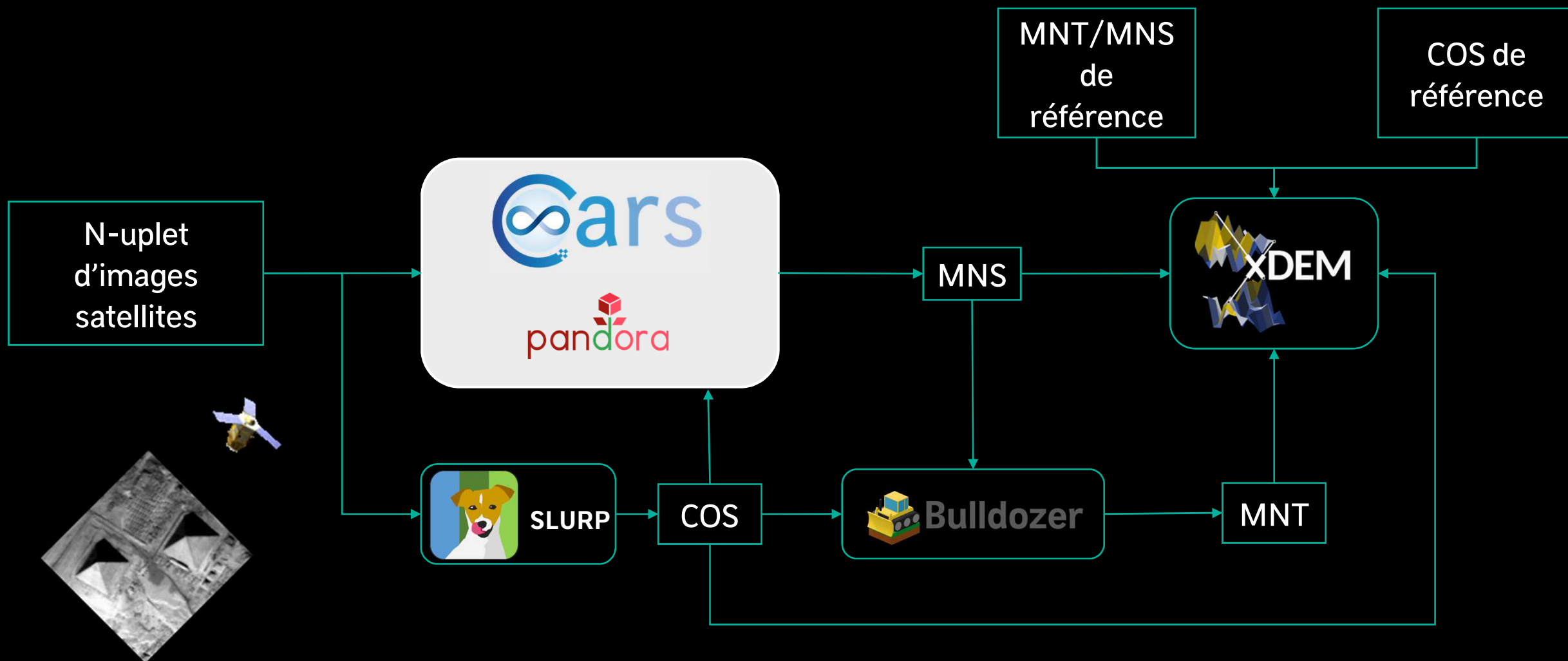
*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

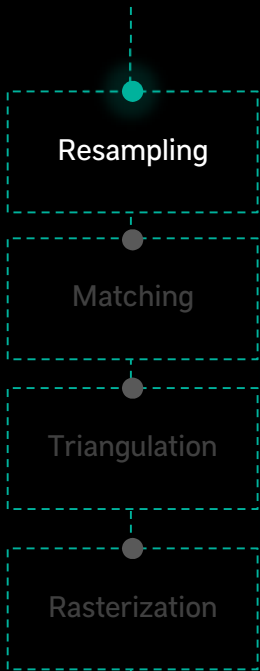


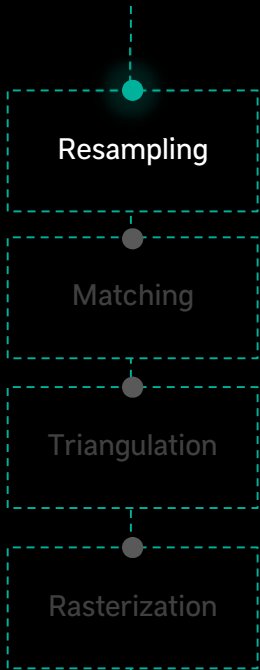


# FOCUS SUR CARS ET PANDORA

PRÉSENTATION DES  
OUTILS 3D

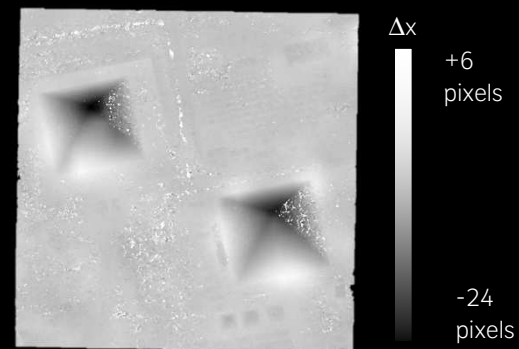
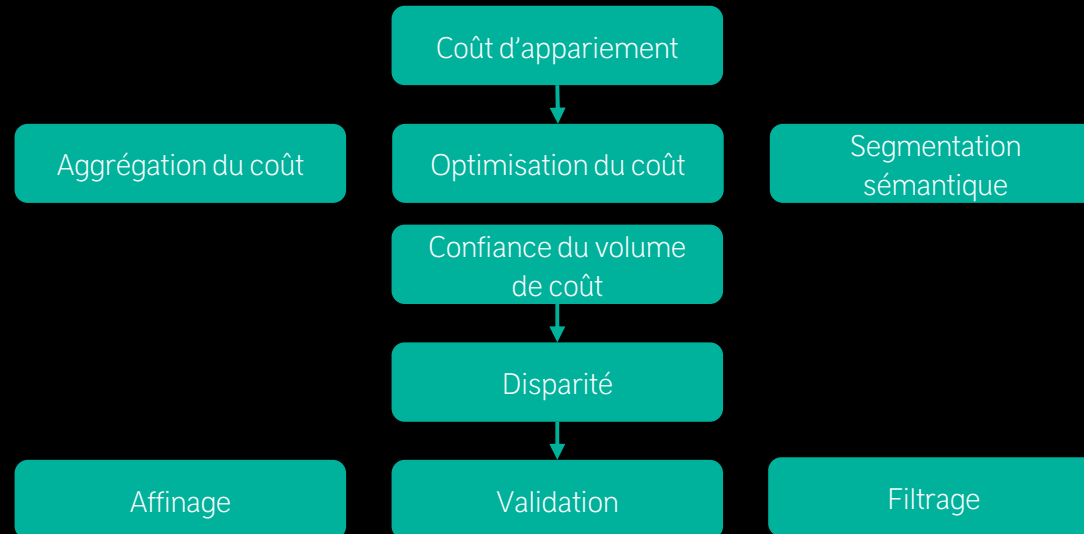






# PANDORA

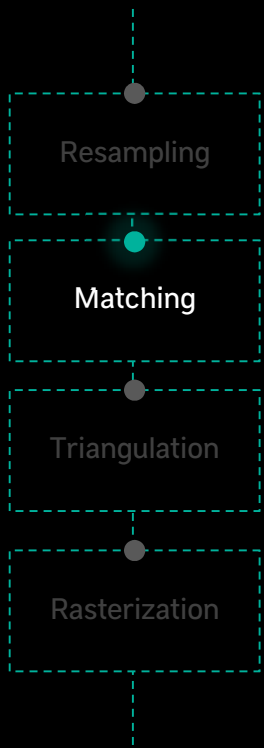
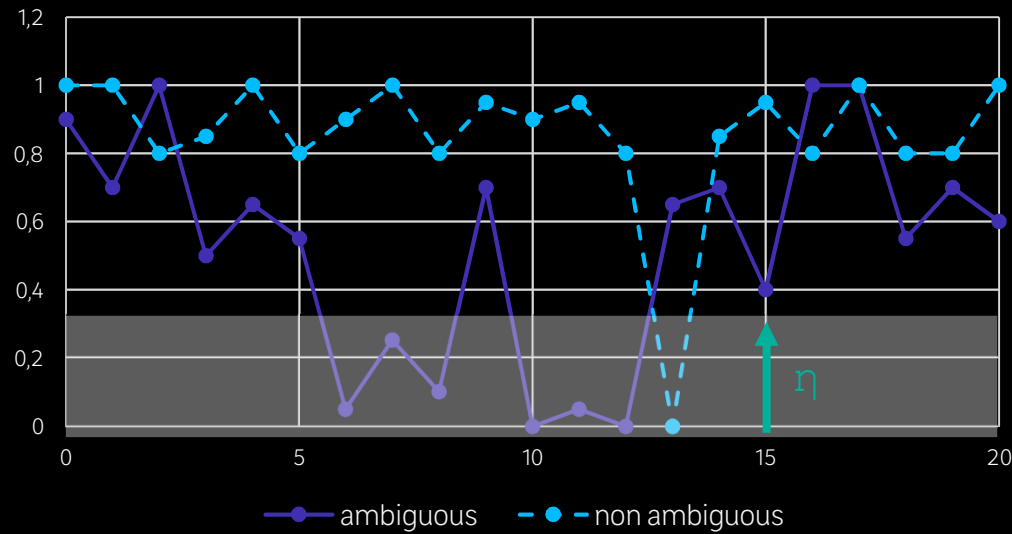
PRÉSENTATION DES  
OUTILS 3D



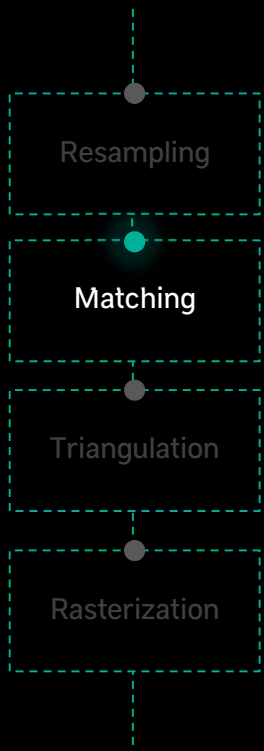
Source: Pleiades images from CNES.

# CONCEPT D'AMBIGUÏTÉ

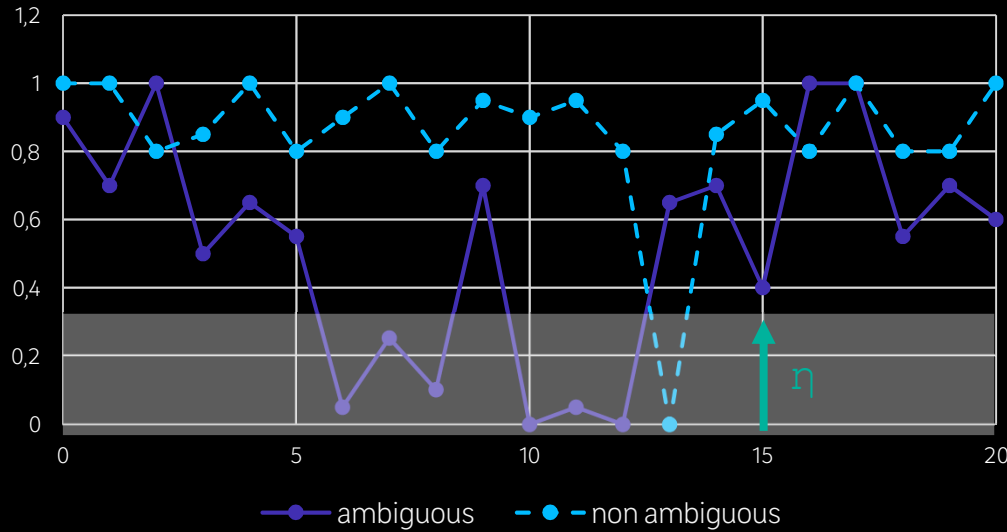
Profil de la courbe de coût



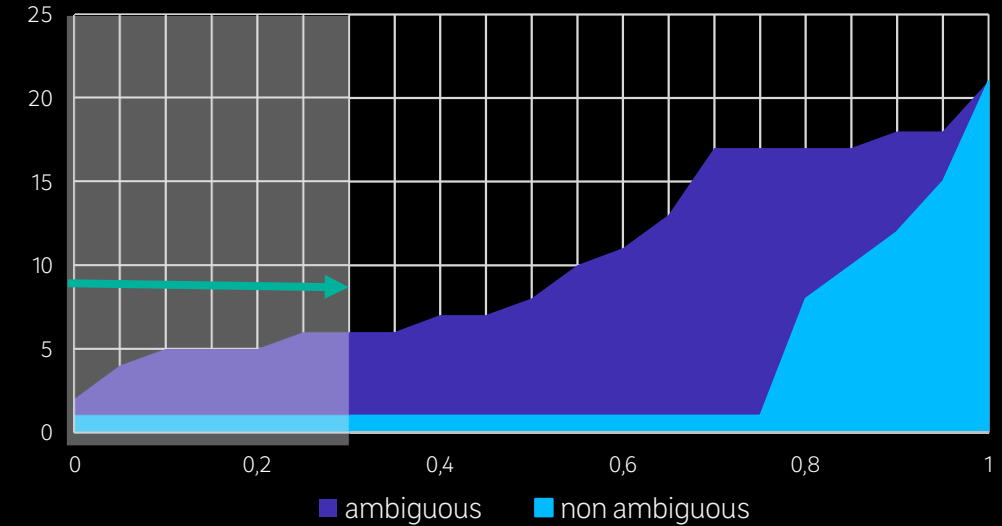
# CONCEPT D'AMBIGUÏTÉ



Profil de la courbe de coût



Profil de la courbe d'ambiguïté



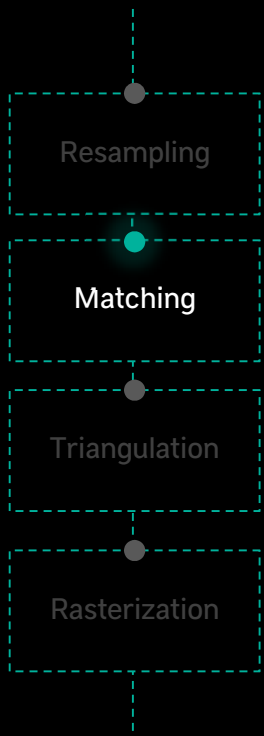
Ambiguïté

$$Amb(x,y,\eta) = \text{Card} (\{d \in [d_{min}, d_{max}] \mid cv(x,y, d) < \text{mind}(cv(x,y,d)) + \eta\})$$

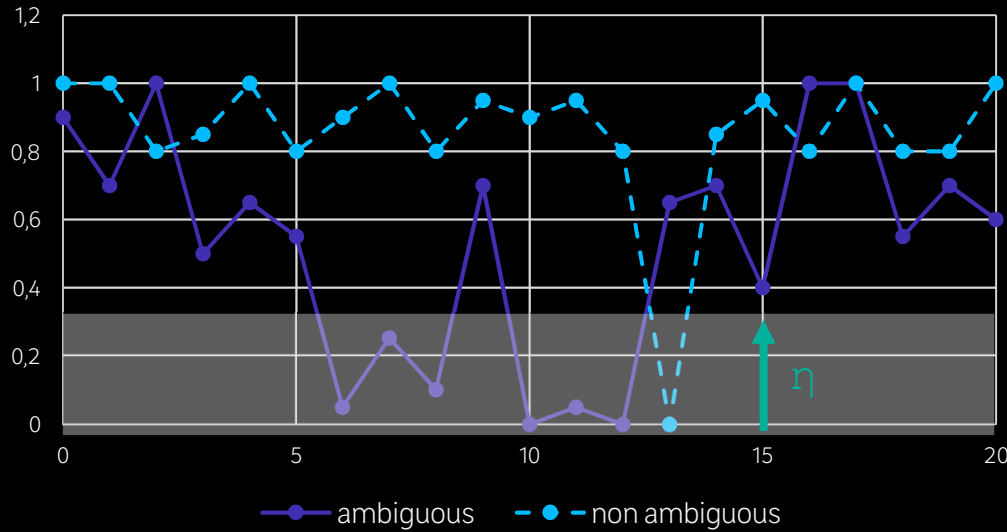
Avec  $cv(x,y, d)$  la valeur de coût pour le pixel  $(x,y)$  pour une disparité  $d$



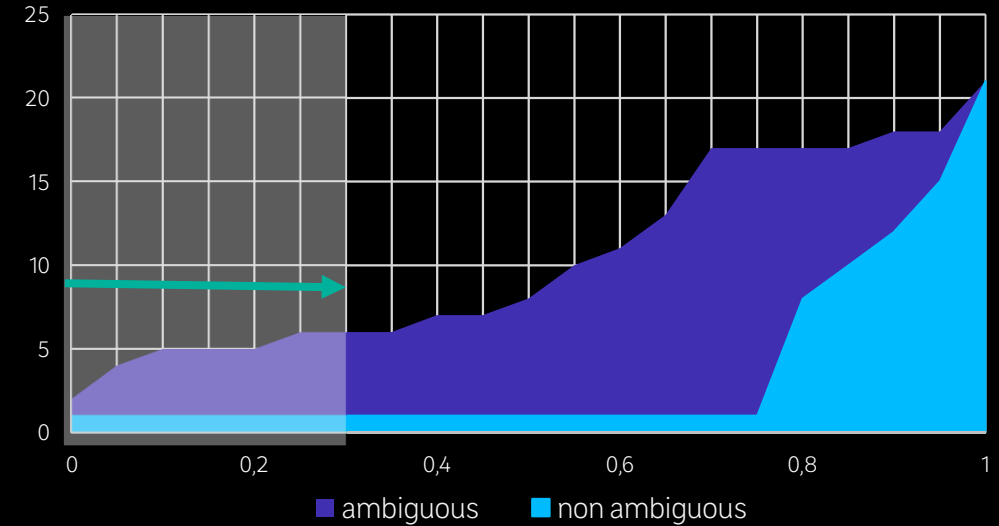
# CONCEPT D'AMBIGUÏTÉ



Profil de la courbe de coût



Profil de la courbe d'ambiguïté



Ambiguïté

$$Amb(x,y,\eta) = \text{Card} (\{d \in [d_{min}, d_{max}] \mid cv(x,y, d) < \text{mind}(cv(x,y,d)) + \eta\})$$

Avec  $cv(x,y, d)$  la valeur de coût pour le pixel  $(x,y)$  pour une disparité  $d$

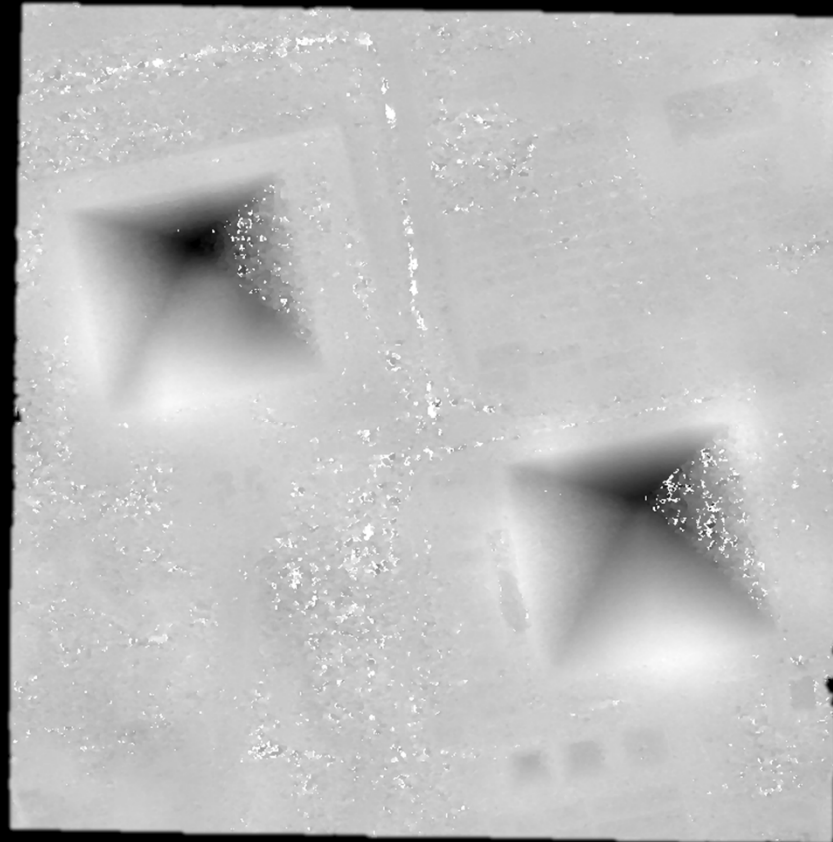
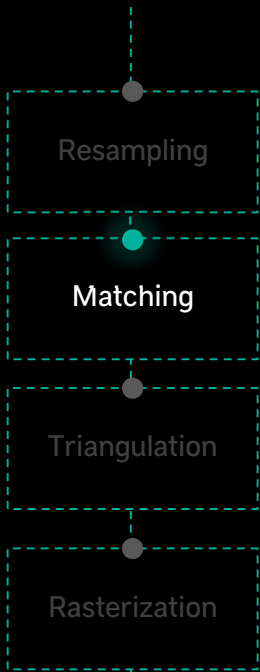
Métrique  
intégrale de  
l'ambiguïté

$$Amb_{int}(x,y) = \int Amb(x,y,\eta) d\eta$$

Confiance

$$Conf(x,y) = 1 - Amb_{int}(x,y)$$





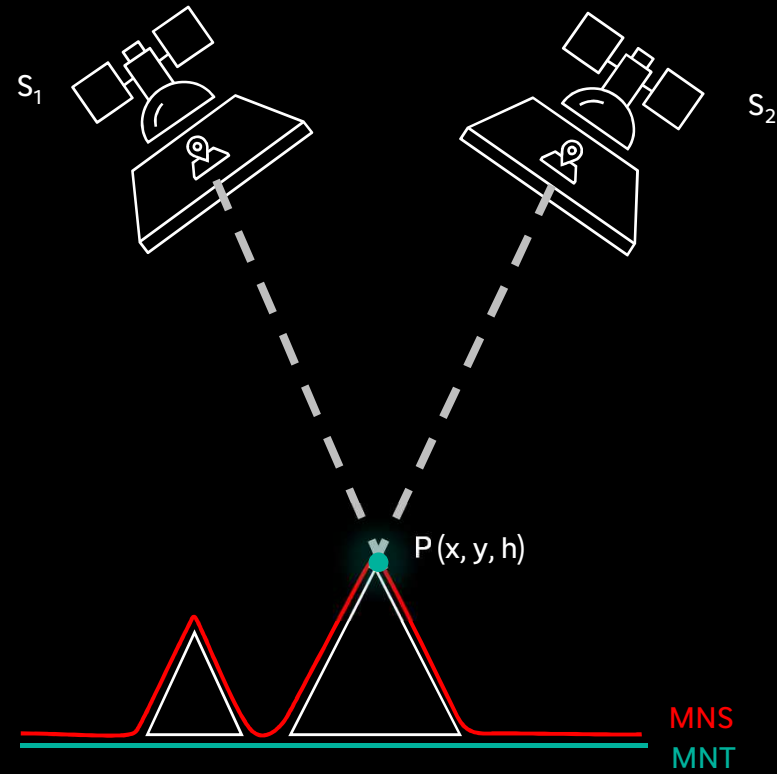
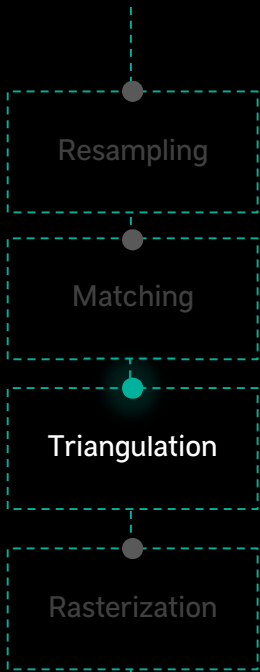
$\Delta x$

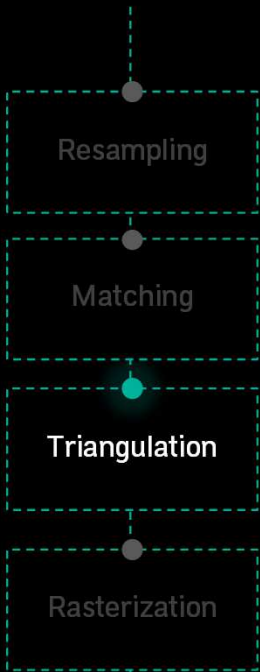
+6 pixels

-24 pixels



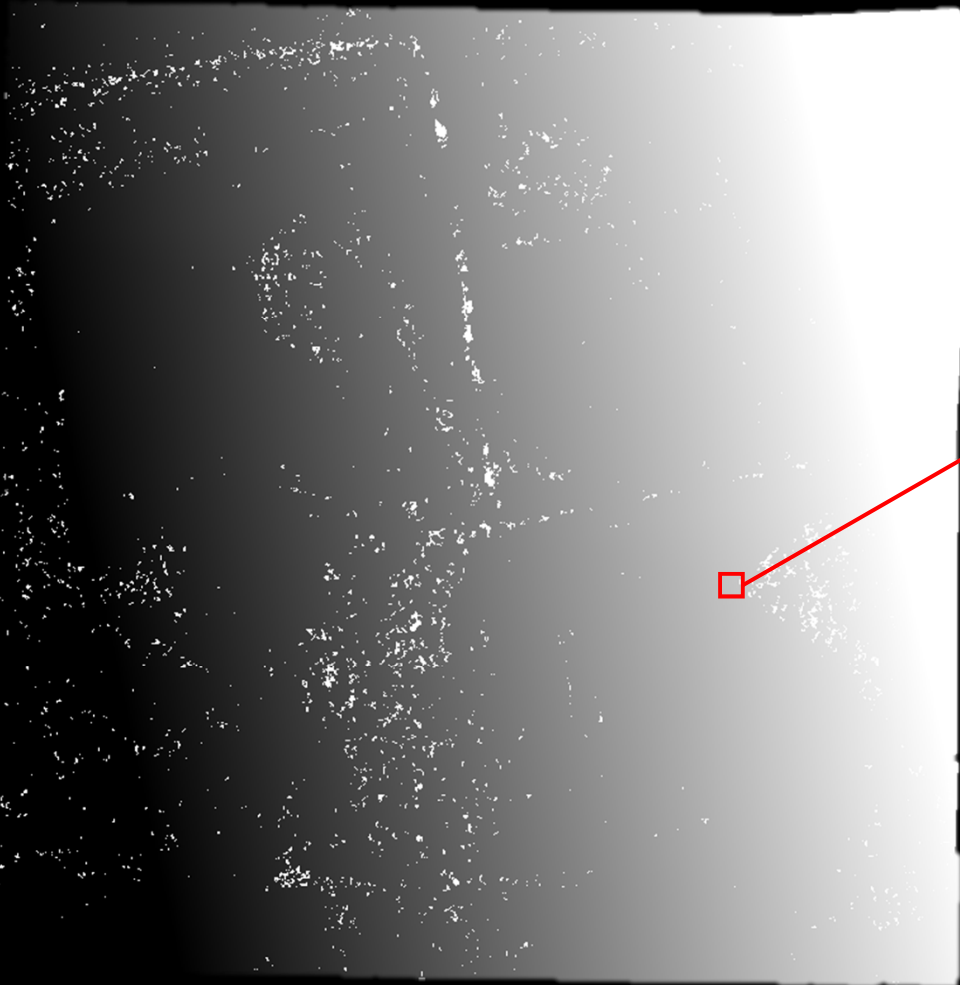
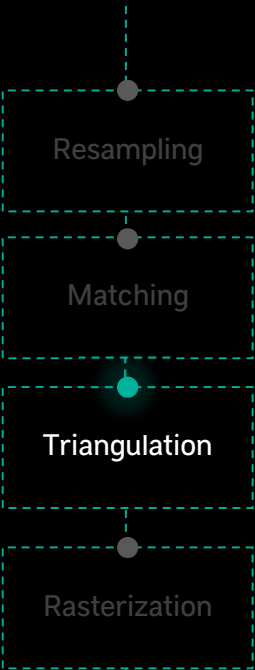






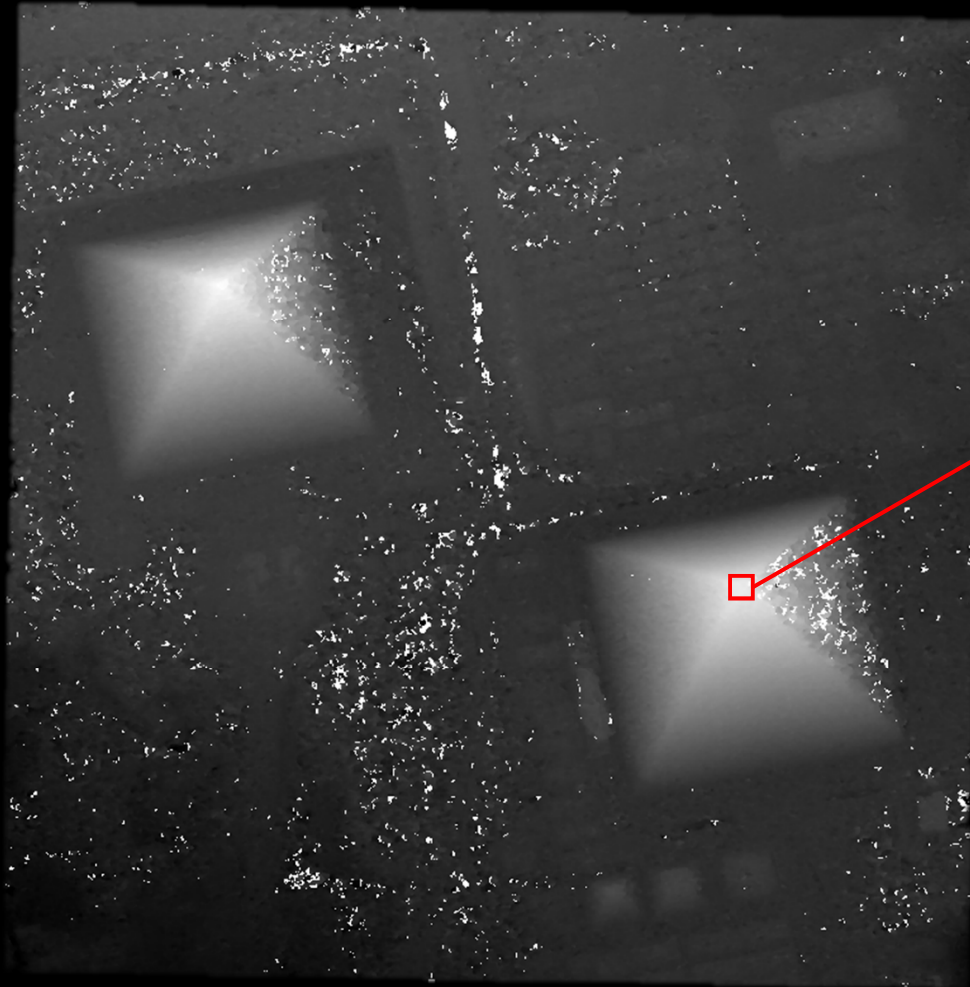
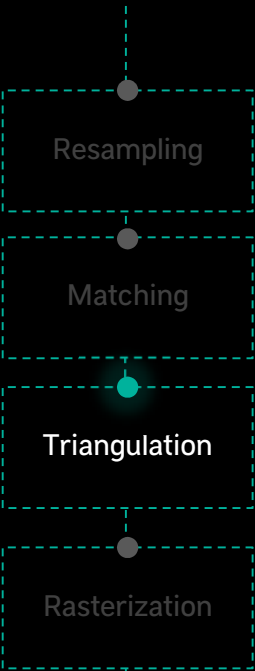
X	Y	H
31,13421367	29,97919492	213,94
31,13421442	29,97919954	213,84
31,13421436	29,97920426	213,51
31,13421524	29,97920886	213,45
<b>31,13421740</b>	<b>29,97921329</b>	<b>213,75</b>
31,13421664	29,97921811	213,23
31,13421646	29,97922284	212,87
31,13421737	29,97922744	212,81
31,13423816	29,97922945	218,40
31,13422711	29,97924503	214,34
31,13421735	29,97925101	211,26





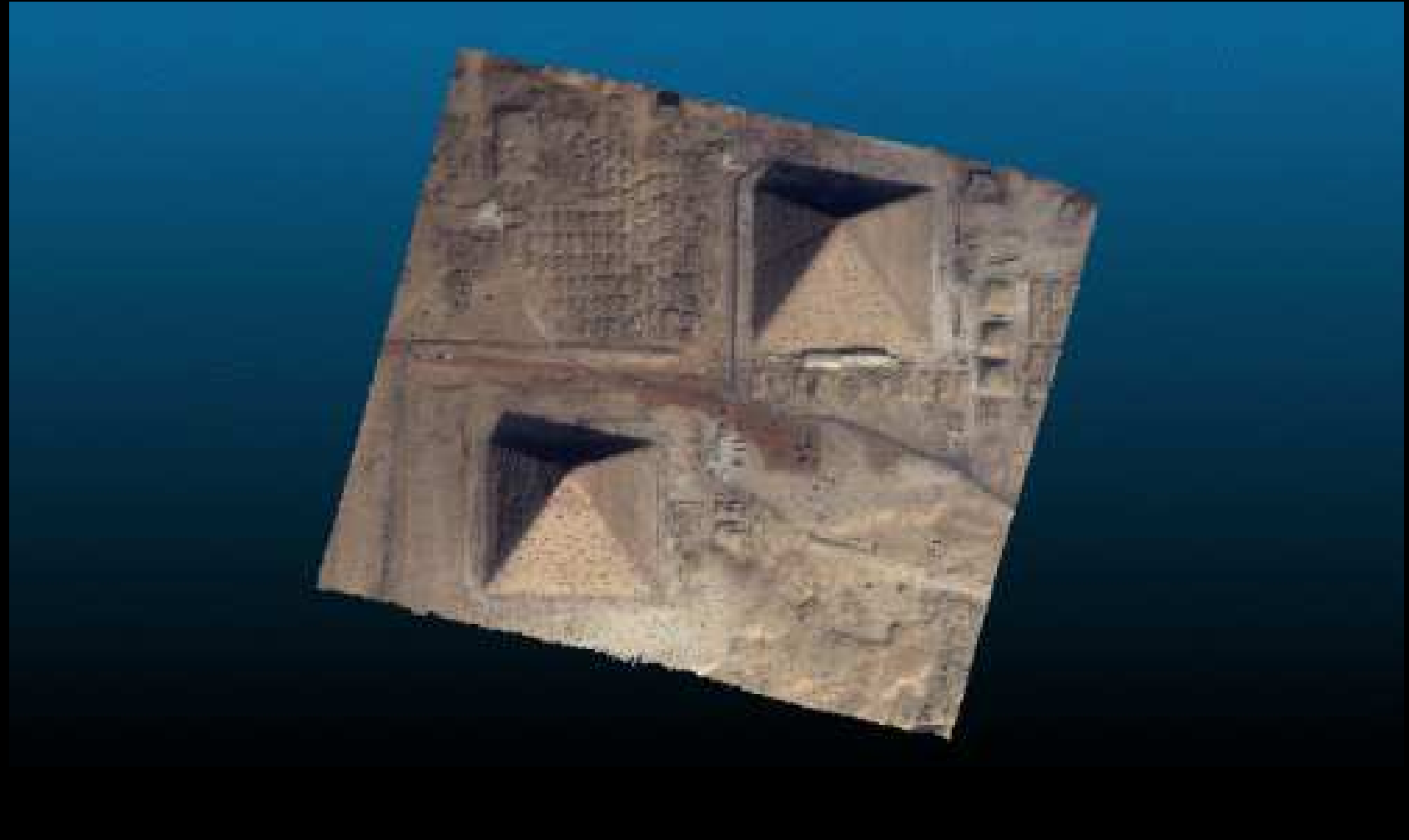
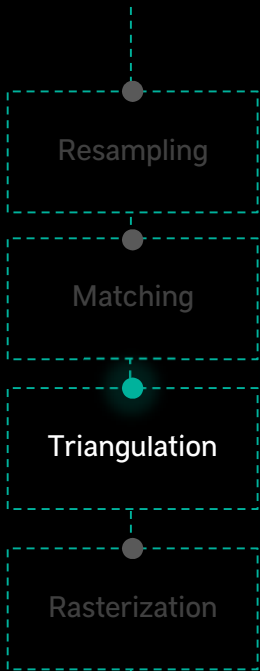
X	Y	H
31,13421367	29,97919492	213,94
31,13421442	29,97919954	213,84
31,13421436	29,97920426	213,51
31,13421524	29,97920886	213,45
<b>31,13421740</b>	<b>29,97921329</b>	213,75
31,13421664	29,97921811	213,23
31,13421646	29,97922284	212,87
31,13421737	29,97922744	212,81
31,13423816	29,97922945	218,40
31,13422711	29,97924503	214,34
31,13421735	29,97925101	211,26

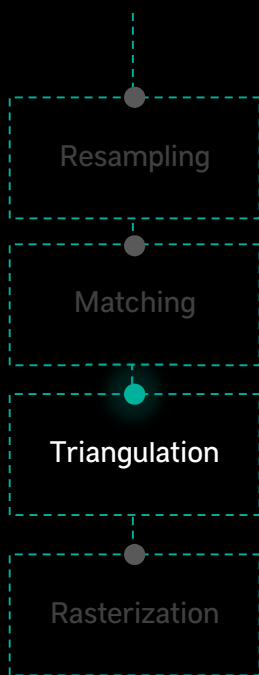


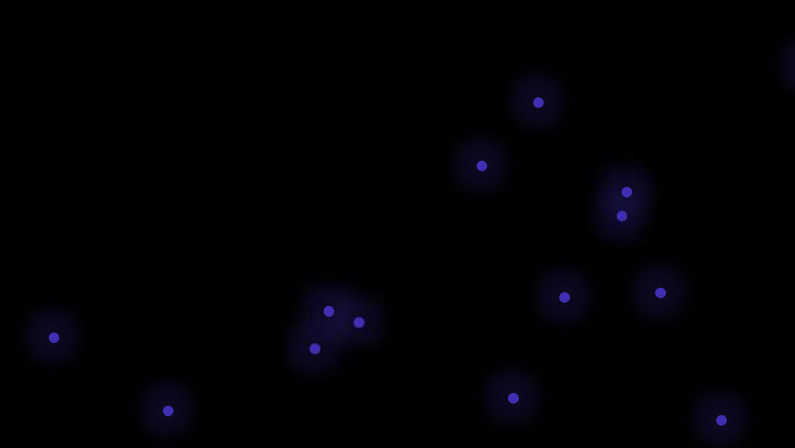
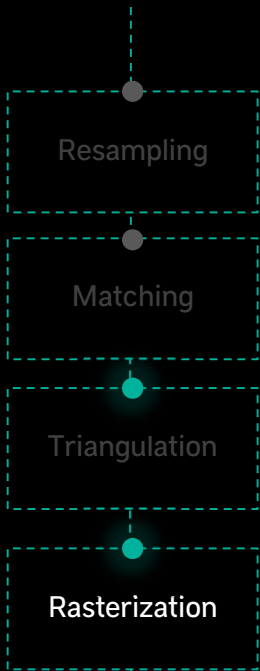


X	Y	H
31,13421367	29,97919492	213,94
31,13421442	29,97919954	213,84
31,13421436	29,97920426	213,51
31,13421524	29,97920886	213,45
<b>31,13421740</b>	<b>29,97921329</b>	<b>213,75</b>
31,13421664	29,97921811	213,23
31,13421646	29,97922284	212,87
31,13421737	29,97922744	212,81
31,13423816	29,97922945	218,40
31,13422711	29,97924503	214,34
31,13421735	29,97925101	211,26

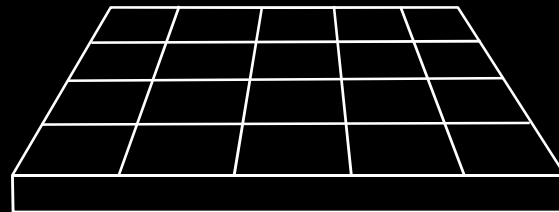








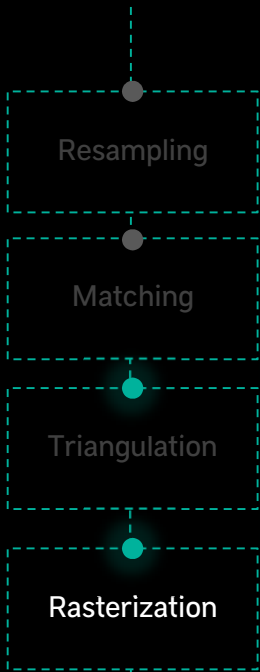
**Le nuage de points** est une liste non régulière de positions (X, Y, H)



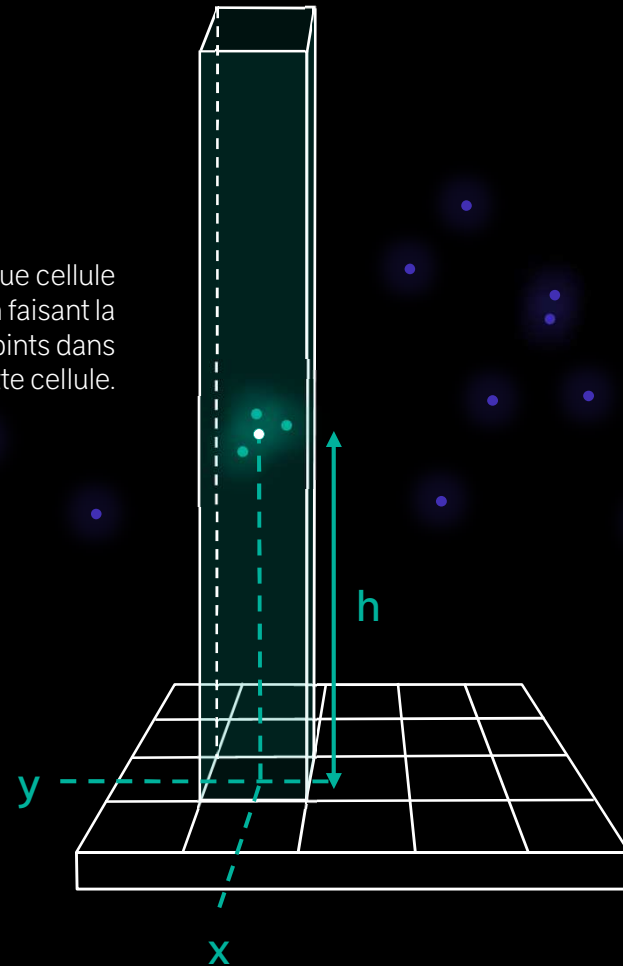
**Le MNS** est une grille régulière avec un espacement fixe en X et en Y où chaque cellule contient une altitude H.



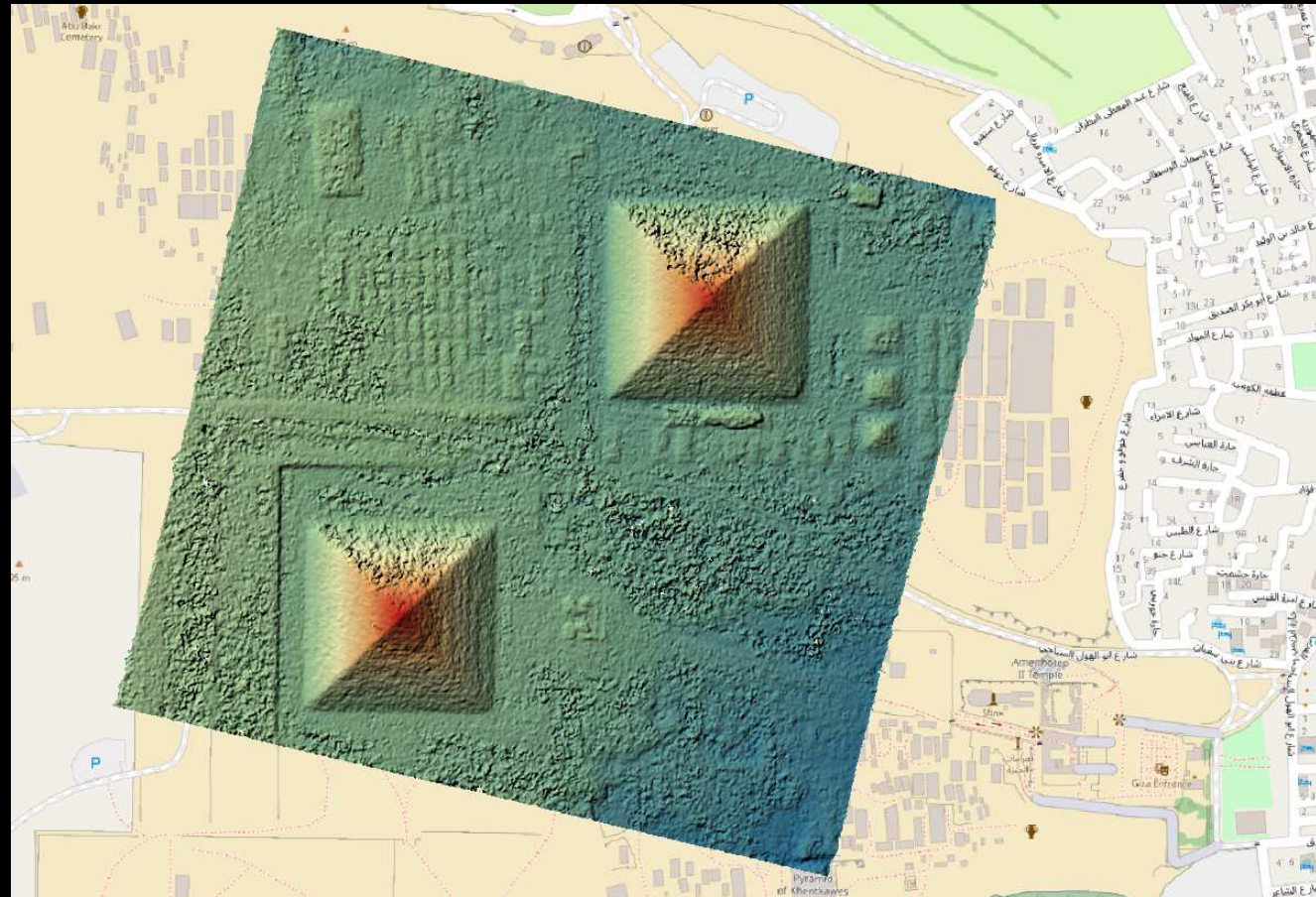
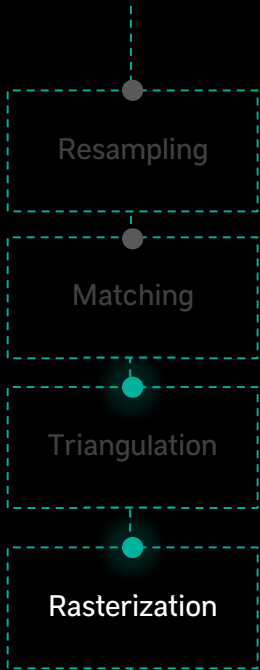
# CARS

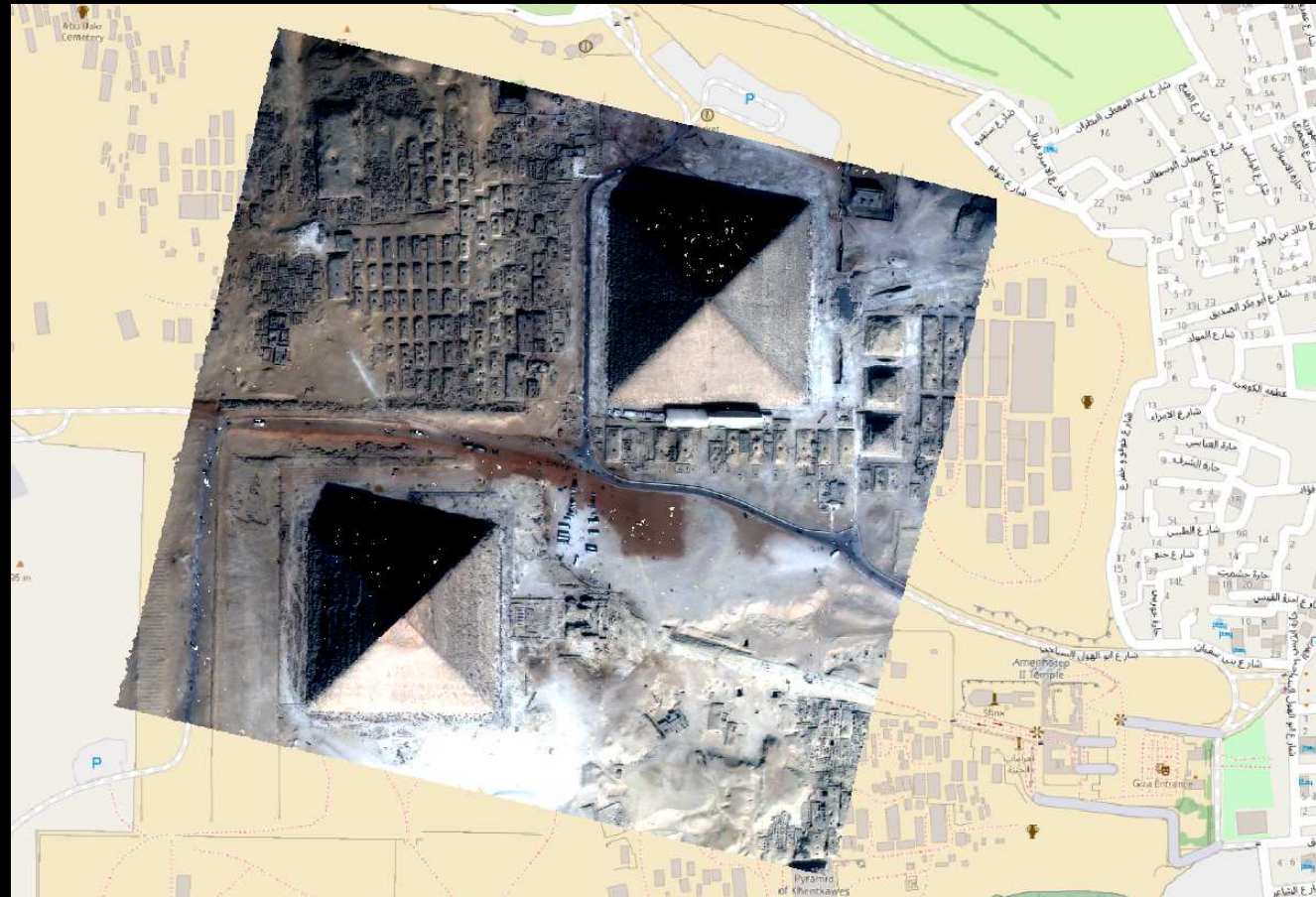
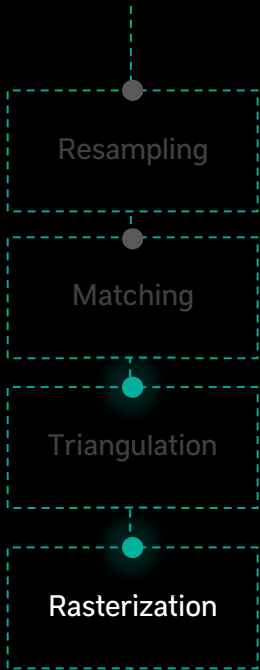


L'altitude de chaque cellule est calculée en faisant la moyenne des points dans cette cellule.



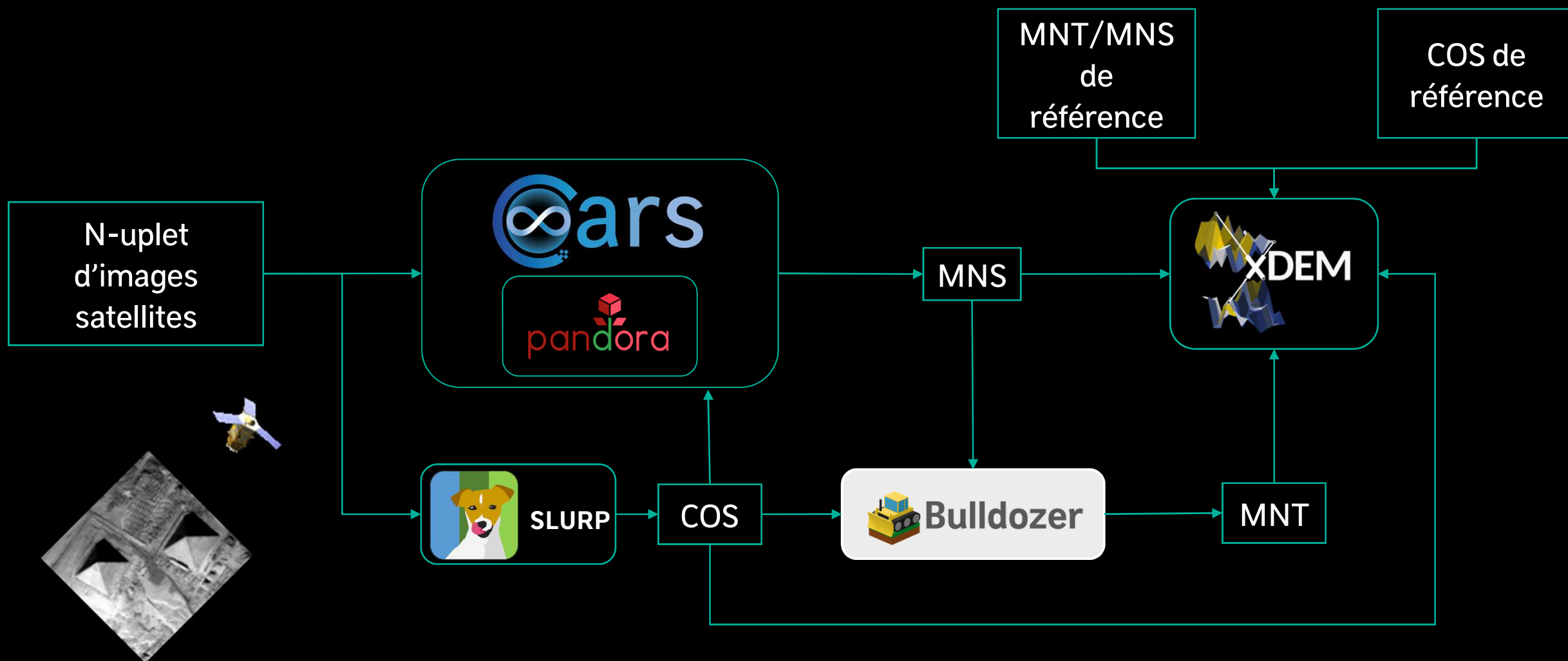






# FOCUS SUR BULLDOZER

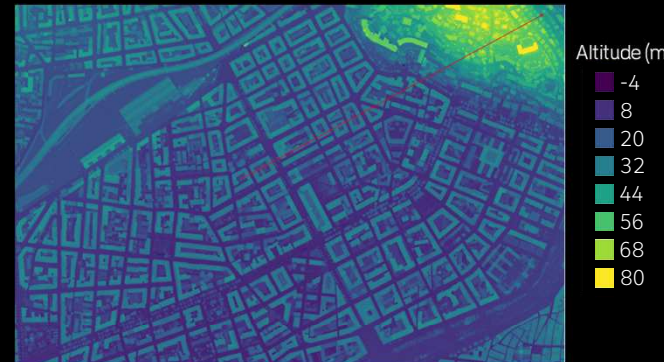
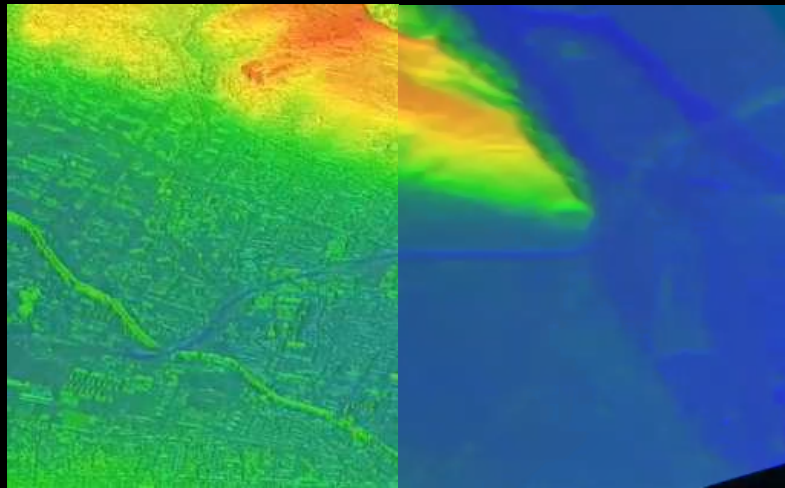
PRÉSENTATION DES  
OUTILS 3D





## Caractéristiques principales

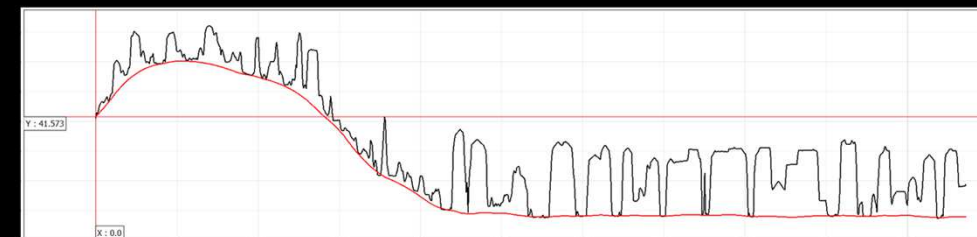
- Pas de données exogènes requises (e.g. masque d'eau, masque de sursol, etc.)
- Gère des données bruitées
- Passe à l'échelle (méthode pseudo-locale)
- Gère tout type de MNS raster (THR, EHR, LiDAR, etc.)



MNS LiDAR HD



MNH LiDAR HD



### Légende profil 1D

- MNS LiDAR HD
- MNT Bulldozer

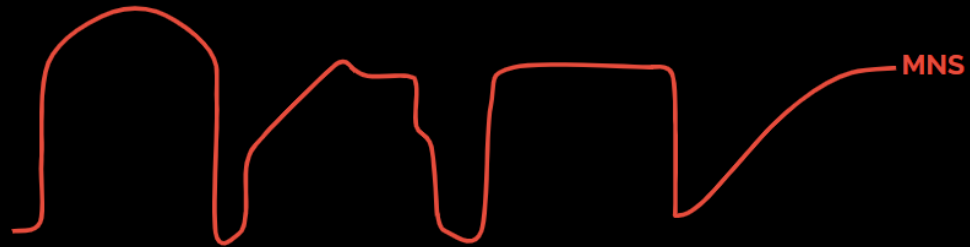


# BULLDOZER

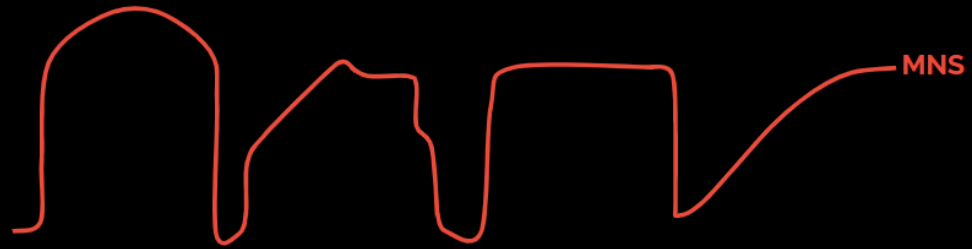
PRÉSENTATION DES  
OUTILS 3D



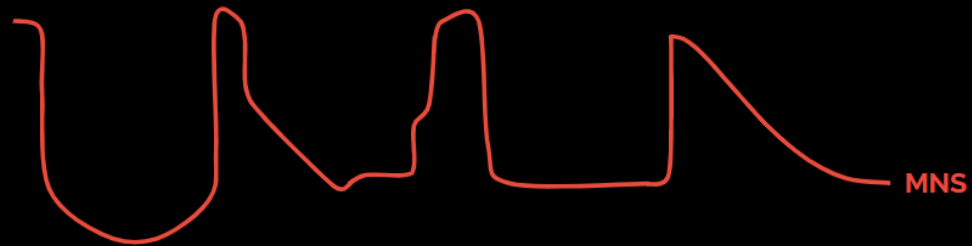
# BULLDOZER



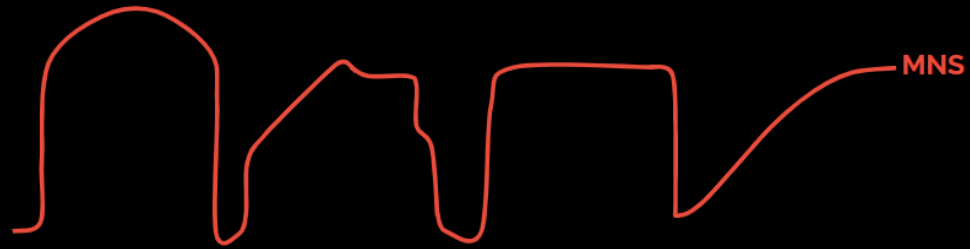
# BULLDOZER



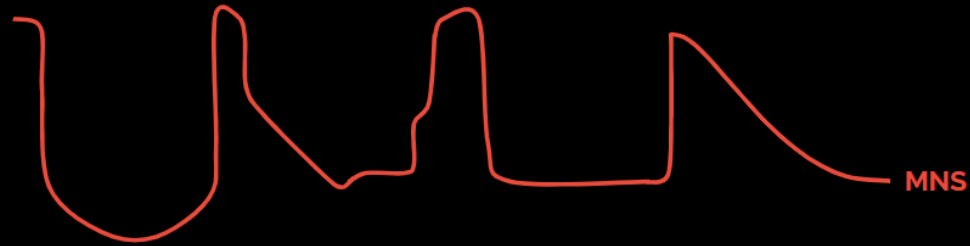
Inversion du MNS



# BULLDOZER

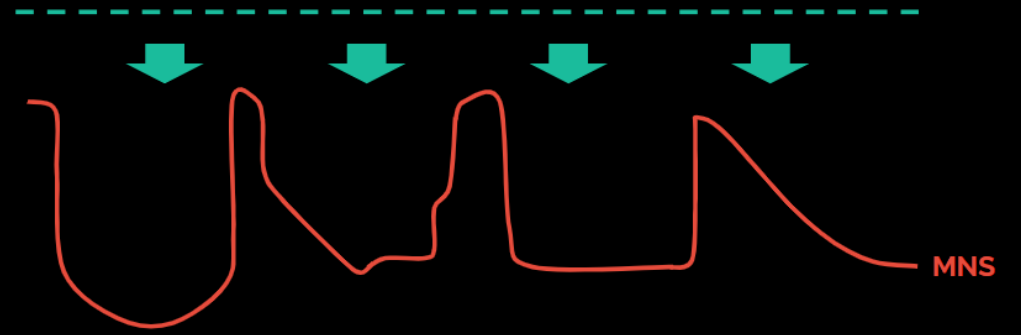


Inversion du MNS



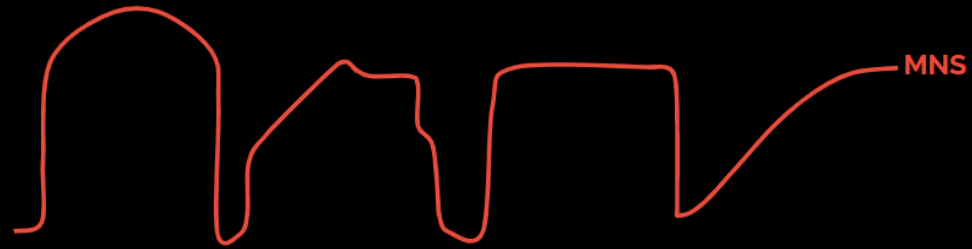
PRÉSENTATION DES  
OUTILS 3D

Drap

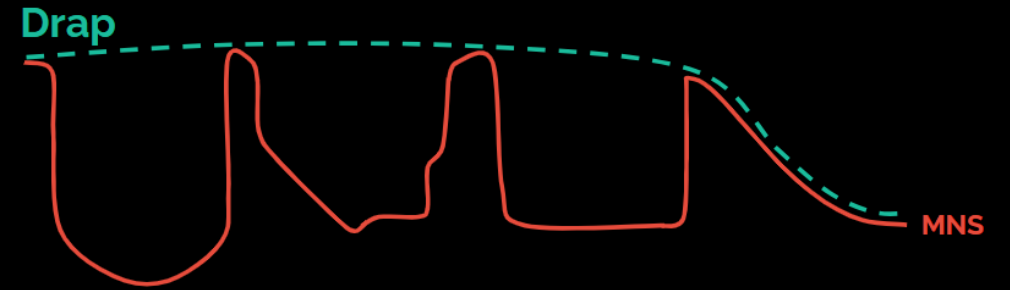
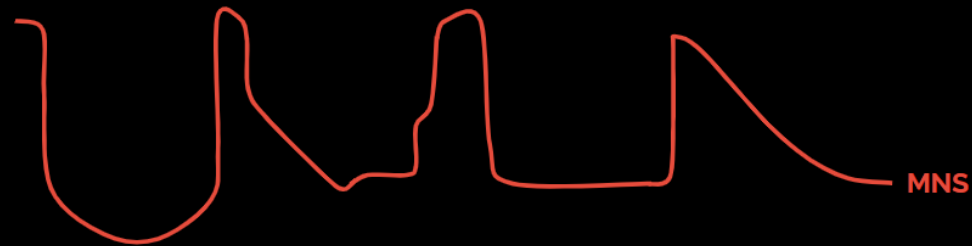




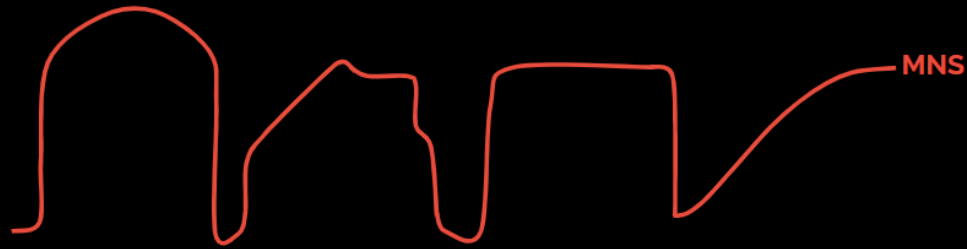
# BULLDOZER



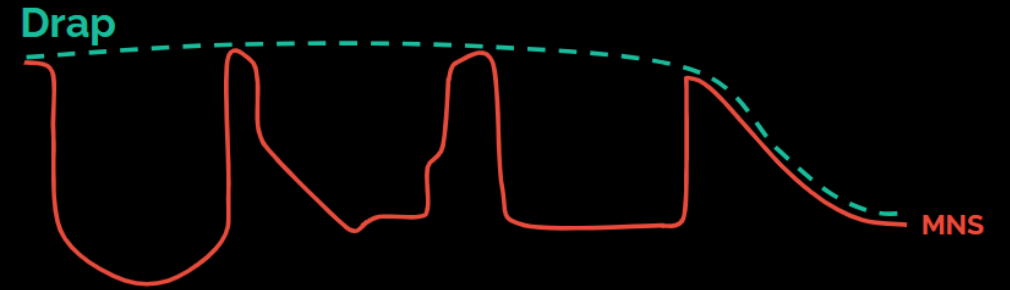
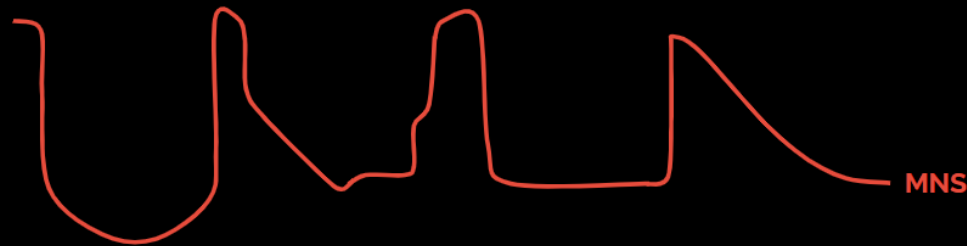
Inversion du MNS



# BULLDOZER

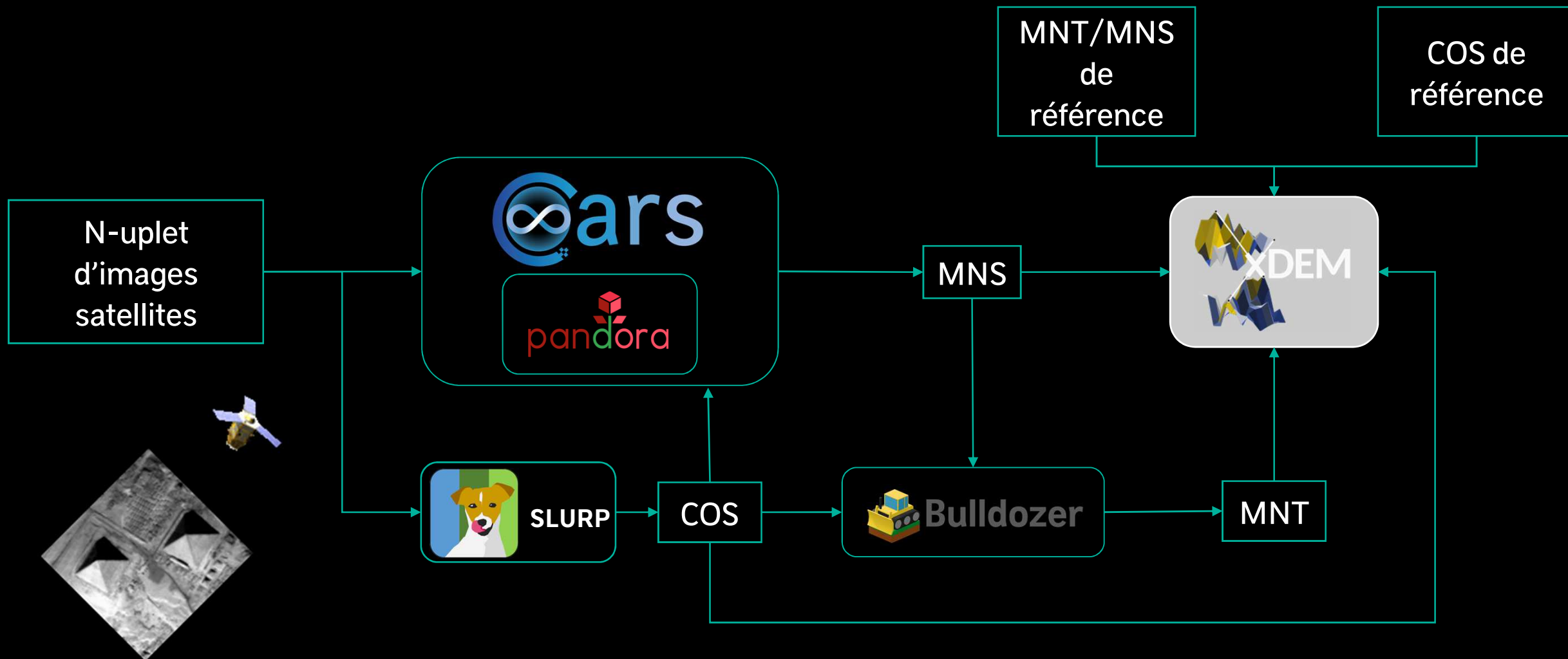


Inversion du MNS



# FOCUS SUR xDEM

PRÉSENTATION DES  
OUTILS 3D



## MANIPULATION

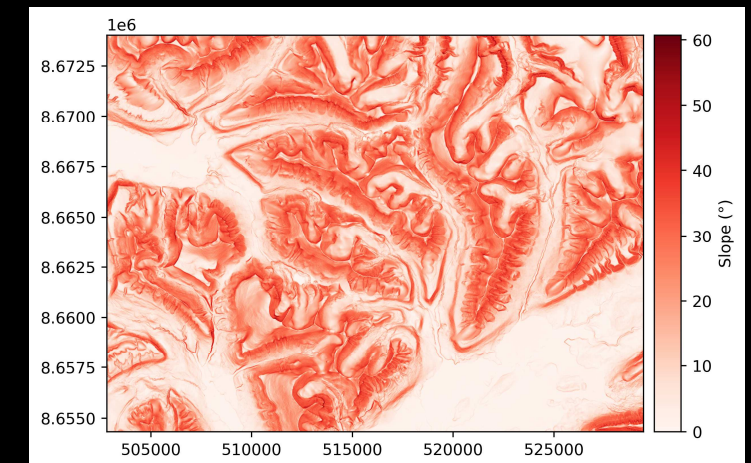
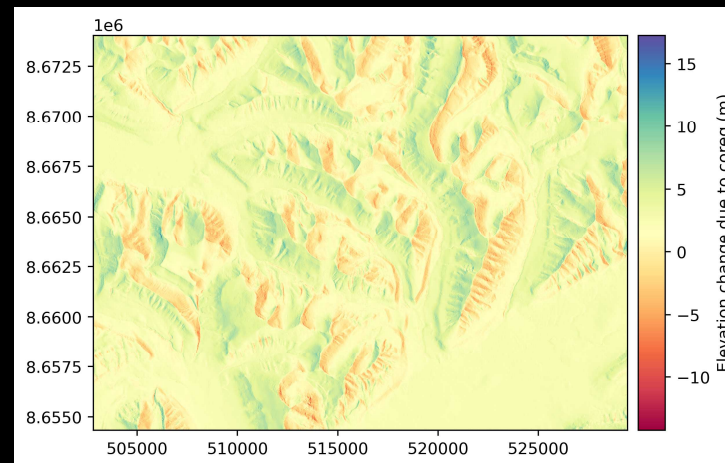
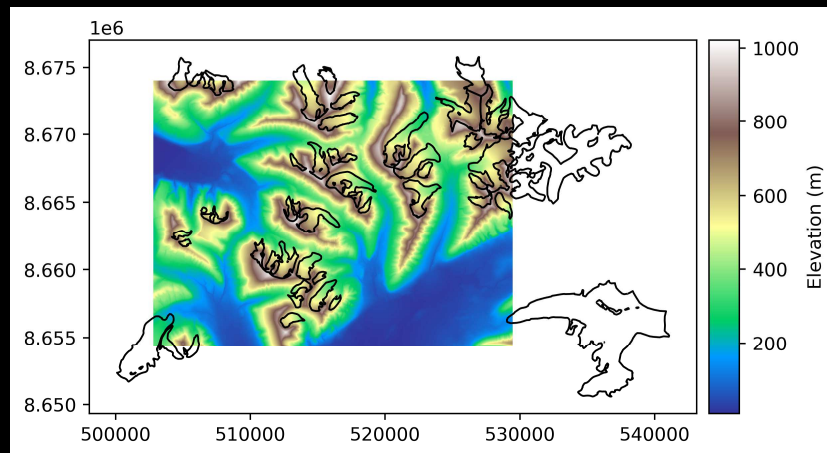
- Découpage
- Référencement vertical
- Affichage
- etc.

## CALCUL

- Correction de biais
- Interpolation
- Co-registration
- etc.

## ANALYSE

- Analyse d'incertitudes
- Statistiques
- Attributs de terrain (ombre, pente, etc.)
- etc.

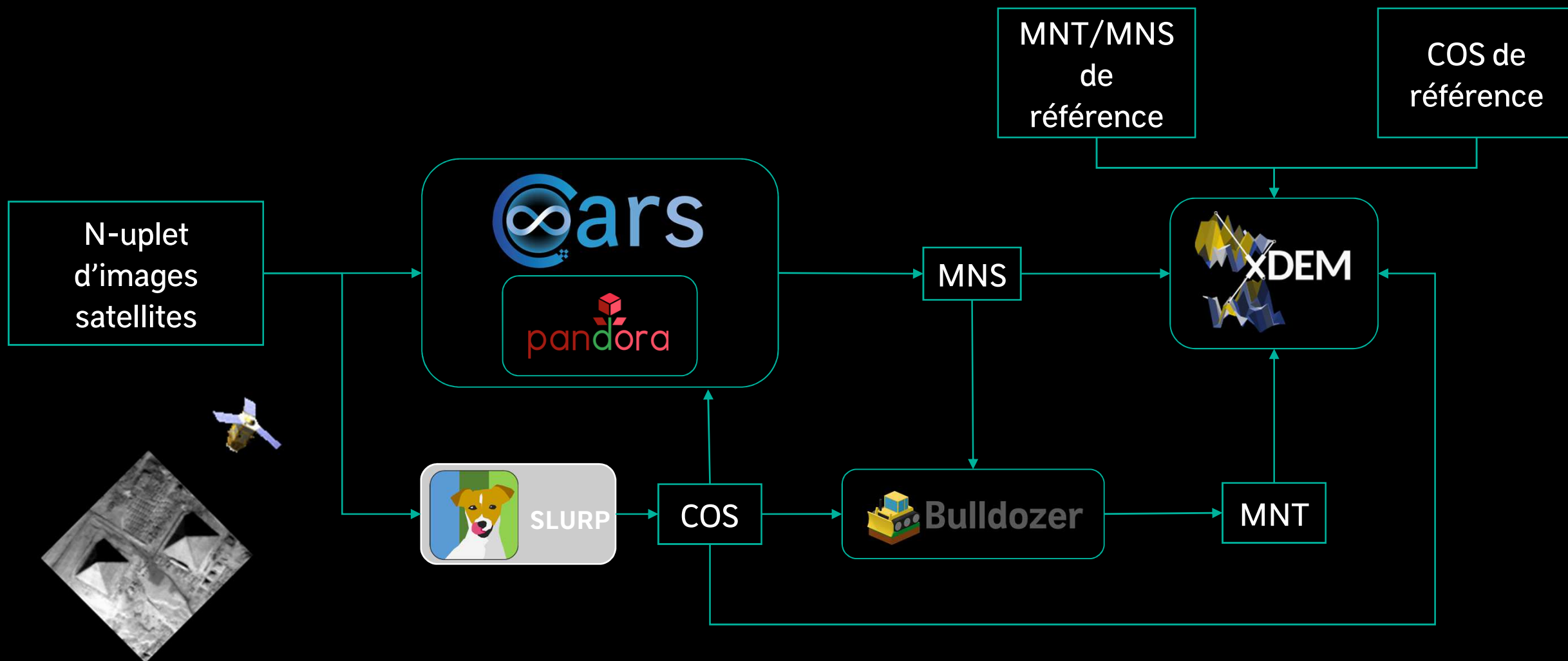


Logiciel développé en collaboration  
avec une communauté de  
chercheurs en glaciologie

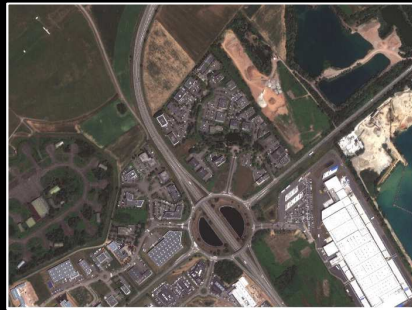
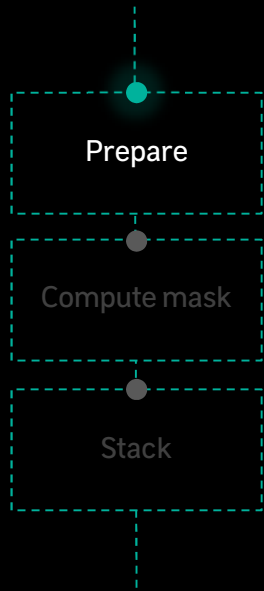


# FOCUS SUR SLURP

PRÉSENTATION DES  
OUTILS 3D



# SLURP



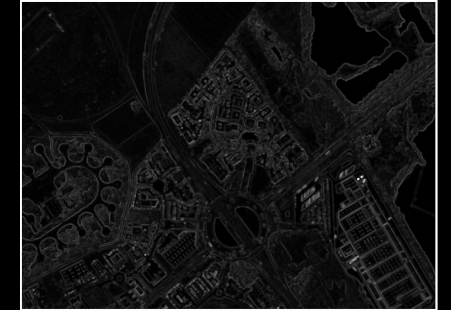
THR image



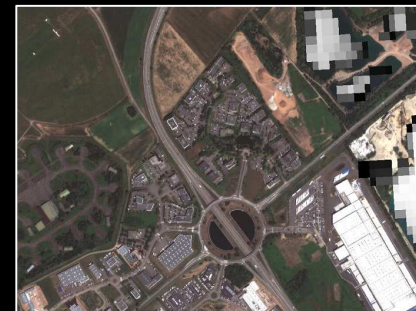
NDVI



NDWI



Texture



Pekel [1]

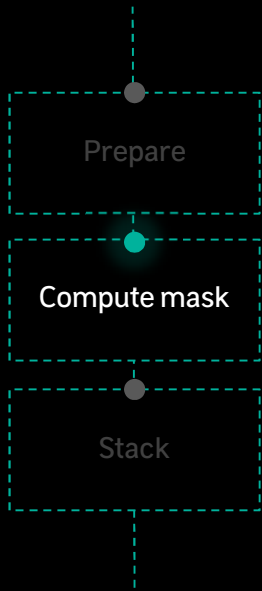


World Settlement  
Footprint [2]



Primitives





Masque d'eau



Masque d'ombre

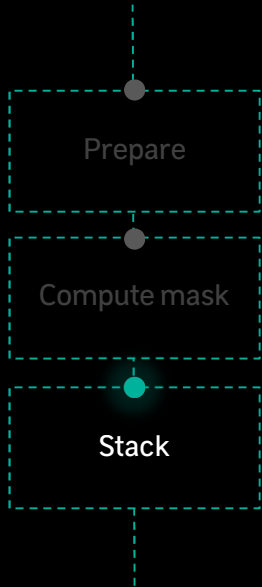


Masque de végétation



Masque urbain





Carte d'occupation du sol (COS)  
(5 classes: eau, végétation basse,  
végétation haute, bâtiment, sursol)





03

**APPLICATION À LA  
DETECTION DE  
CHANGEMENT**

# CONTEXTE

APPLICATION À LA  
DÉTECTION DE  
CHANGEMENT

## Charte Internationale « Espace et Catastrophes Majeures »

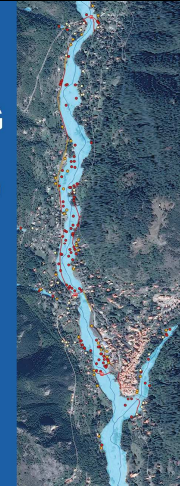


“La Charte internationale Espace et catastrophes majeures s'efforce d'être un fournisseur clé de données satellitaires d'observation de la Terre et travaille avec des experts pour dériver des produits d'information afin d'aider les organisations de secours en cas de catastrophe à sauver des vies, des biens, des infrastructures et l'environnement à la suite de catastrophes majeures dans le monde..”

## ICube-Sertit

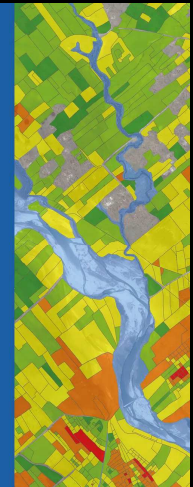
### RAPID MAPPING

Natural disasters, humanitarian and technological crises  
Earth Observation



### RISK & RECOVERY

Natural Risk  
Recovery  
Earth Observation



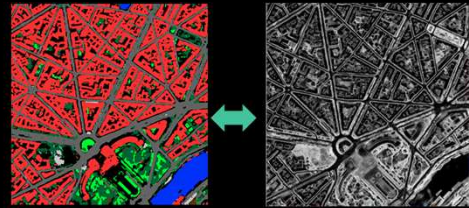
Sous la tutelle conjointe de l'Université de Strasbourg, du CNRS, de l'ENGEES et de l'INSA.

Fournit des outils d'aide à la décision et un service de gestion des risques opérationnels et des crises 24/7/365 :

- dans le cadre du European Copernicus Emergency Management Service
- dans le cadre de la Charte Internationale

# PIPELINE CNES

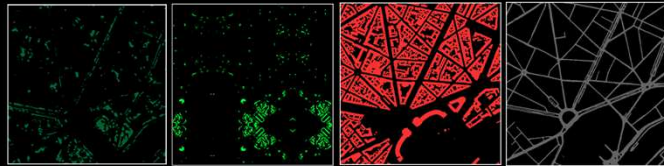
APPLICATION À LA DÉTECTION DE CHANGEMENT



Segmentation sémantique COS9 avec incertitudes associées

2D

COS 1



végétation haute   végétation base   bâtiments   route

Génération des données

Filtrage des données

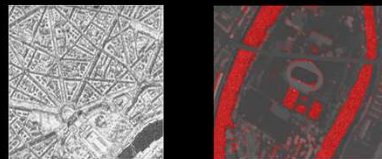


MNS / MNT / MNH



Gestion des zones perturbées

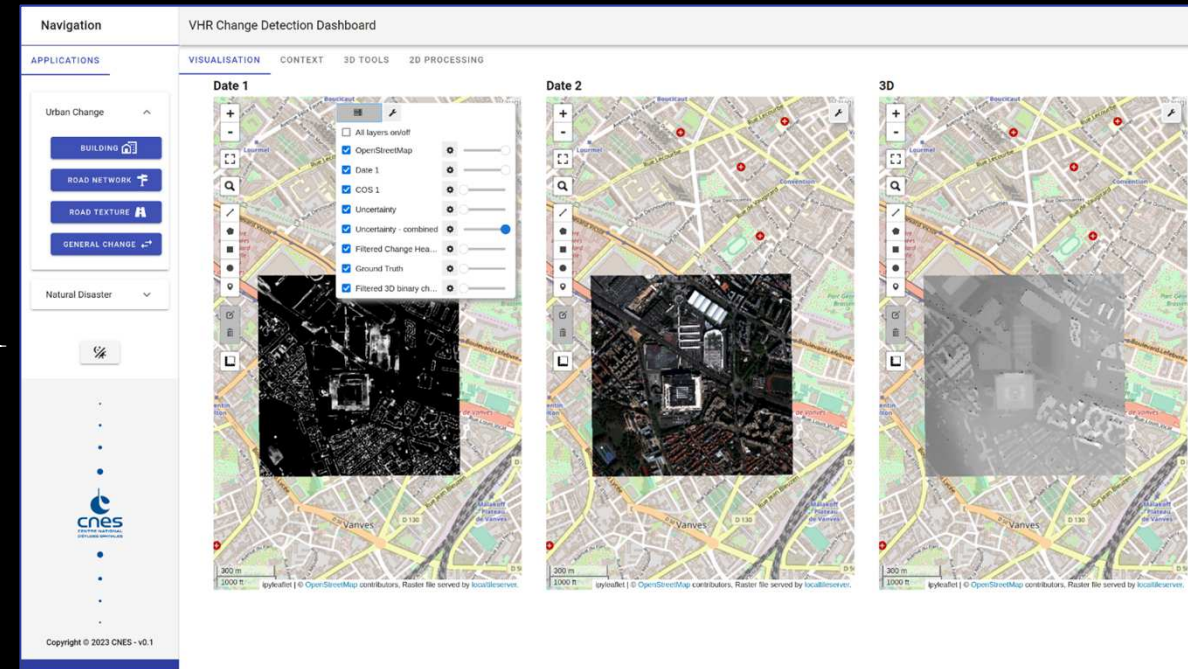
Déviation



Carte d'ambiguïté de CARS

Zones perturbées détectées par Bulldozer

3D



# LA 3D COMPLÉMENTAIRE DE LA 2D

APPLICATION À LA  
 DÉTECTION DE  
 CHANGEMENT

Tremblement de terre Kahramanmaraş, Turquie. Février 2023



Ortho avant



Ortho après



Changement 2D

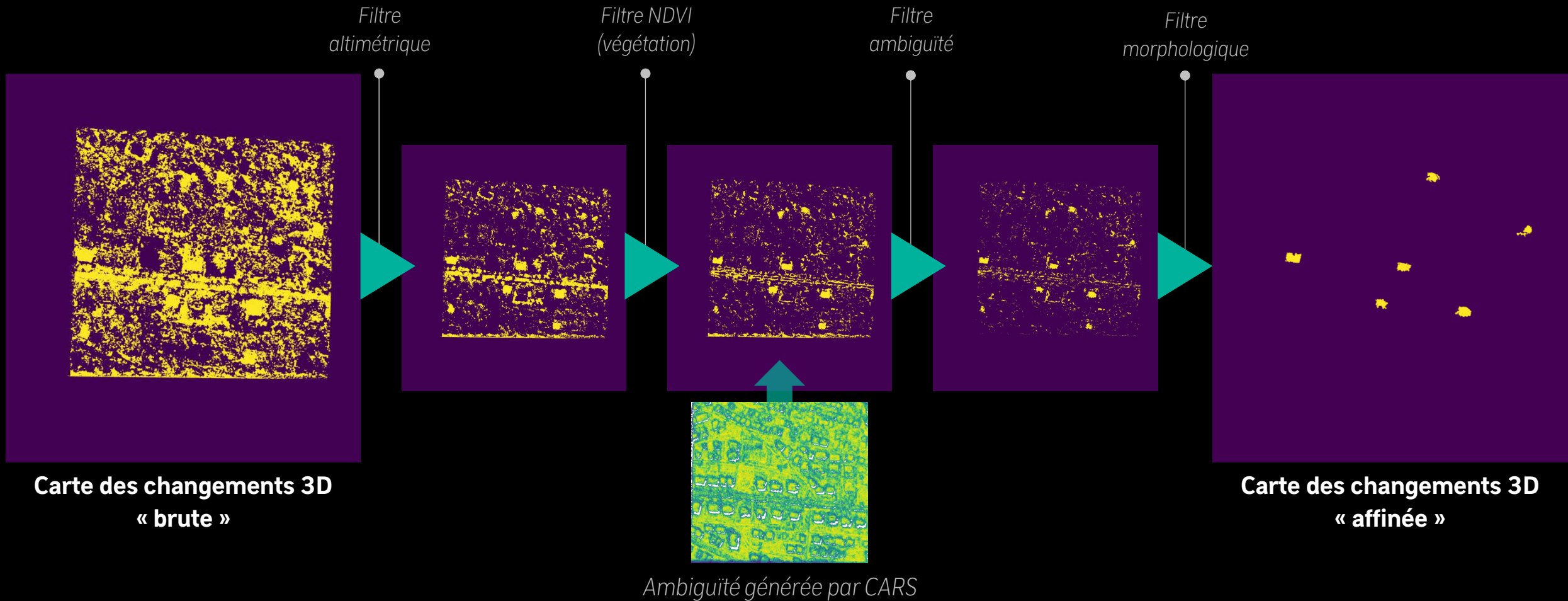


Changement 3D

- La 3D permet de détecter des changements que la 2D ne peut pas voir (ex. : un bâtiment dont un seul étage est détruit) et vice versa (ex.: une route détruite est observée en 2D mais est invisible en 3D).
- Actuellement, la composante 3D est quasiment inexistante pour le *Rapid Mapping* et n'est réservée que pour le *Risk & Recovery* mais des missions comme CO3D ouvrent la porte vers l'utilisation de données 3D en urgence.

# DÉTECTION DE CHANGEMENT 3D

APPLICATION À LA  
DÉTECTION DE  
CHANGEMENT



# RÉSULTATS (TURQUIE, FÉV. 2022)

APPLICATION À LA  
 DÉTECTION DE  
 CHANGEMENT

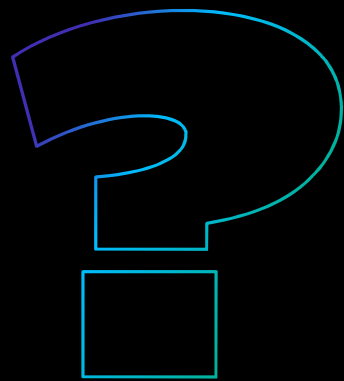


## Nombre de bâtiments détruits

- Combien d'instances de bâtiments (rastérisés) sont couvertes par notre carte des changements ?
- On ne considère que les bâtiments dont au moins la moitié de la surface est prédite comme étant détruite

2D CD	3D CD	Fused CD
88.4 % (459/519)	87.9 % (456/519)	95.2 % (494/519)

Évaluation réalisée à partir d'annotations manuelles des bâtiments réalisées par le SERTIT (photo-interprétation)



# QUESTIONS



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



# OUVERTURE ET COLLABORATION



Logiciels CNES 3D  
disponibles sur GitHub



SLURP



- Méthode agile et open-source pour les besoins du CNES:
  - Développement de nouvelles fonctionnalités, travaux de recherche, etc.
  - Contributions en interne sur le Gitlab du CNES
- Open-source pour les besoins extérieurs au CNES:
  - Collaboration avec des institutions, des entreprises privées, des universités, etc.
  - Possibilité de collaborations externes sur le GitHub du CNES



xDEM est développé en collaboration avec une communauté de chercheurs en glaciologie (efforts de fusion avec DemCompare).