

Modélisation de la topobathymétrie par fusion de l'imagerie aérienne par drone et satellite SuperDove en Martinique

Antoine COLLIN, Dorothee JAMES, Nancy LAMONTAGNE, Renaud HARDY
Coralie MONPERT, Laetitia DUPUY, Franck DOLIQUE



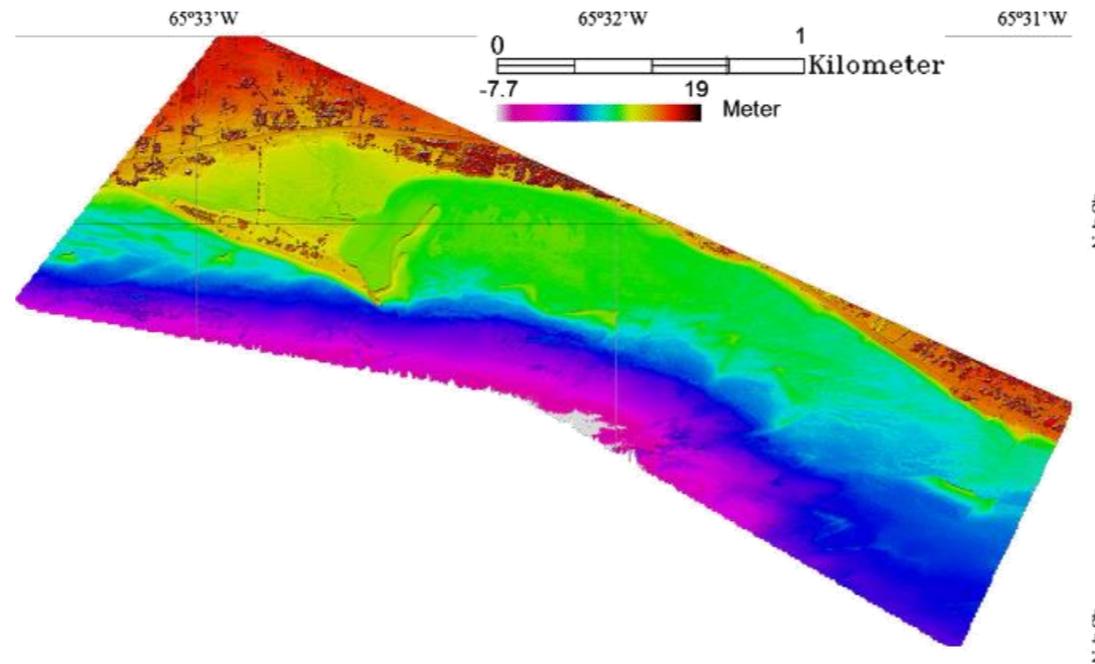
INTRODUCTION



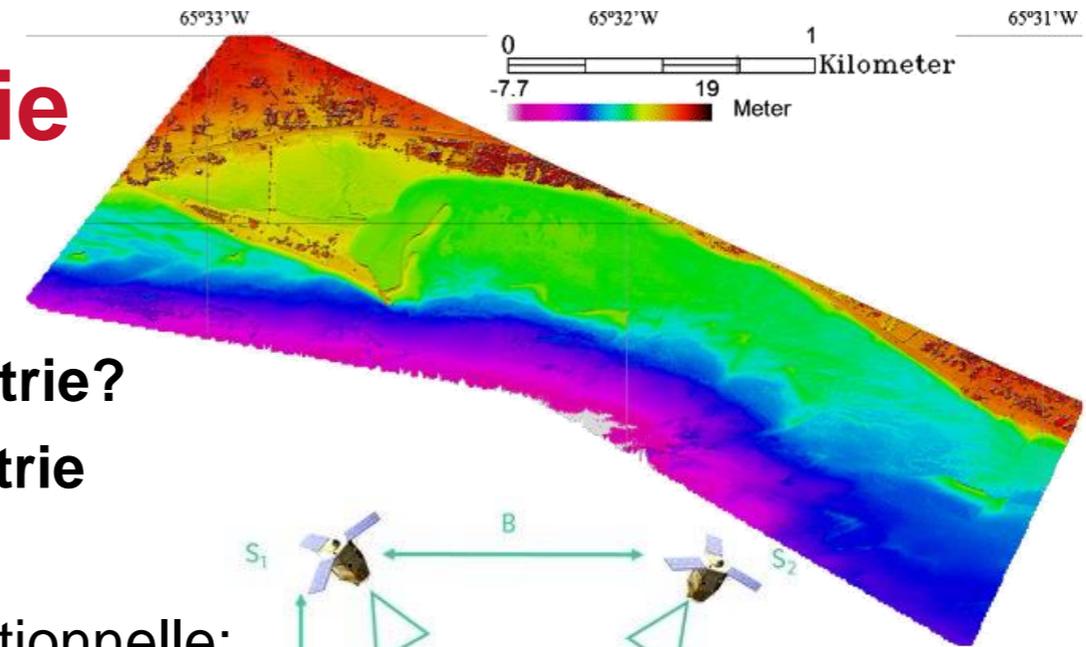
Cartographie de la topobathymétrie

— Pourquoi cartographier la topobathymétrie?

- Seulement **15% des rivières, fleuves, mers et océans ont été levés par de la technologie fiable: sonar ou lidar** (Wölfl *et al.*, 2019).
- Cette lacune entrave la compréhension et la gestion éclairée des **risques fluviaux et côtiers**, ainsi que la **préservation de la biodiversité** dans un contexte de **hausse du niveau marin et d'intensification des tempêtes/cyclones et précipitations** (Firth *et al.*, 2016).



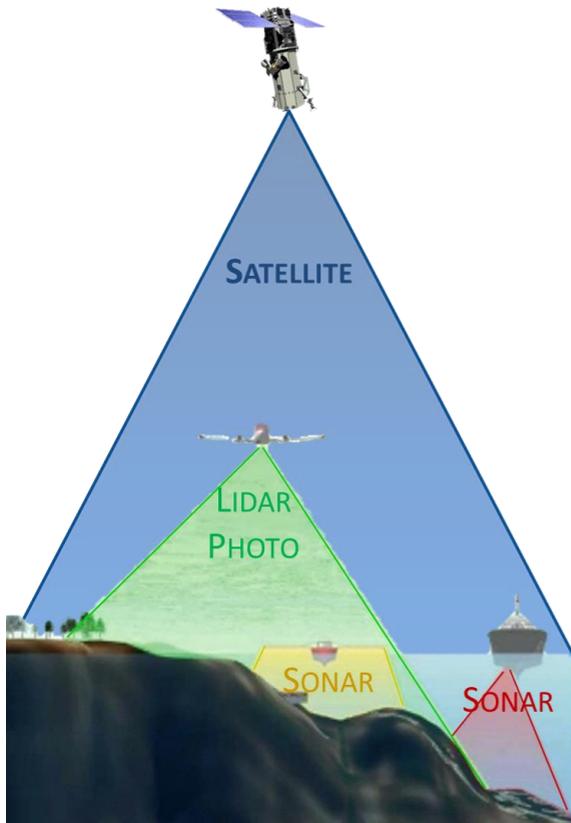
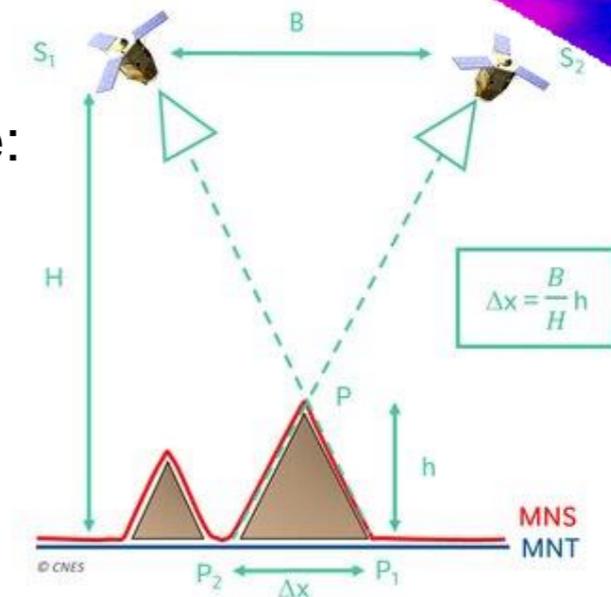
Cartographie de la topobathymétrie



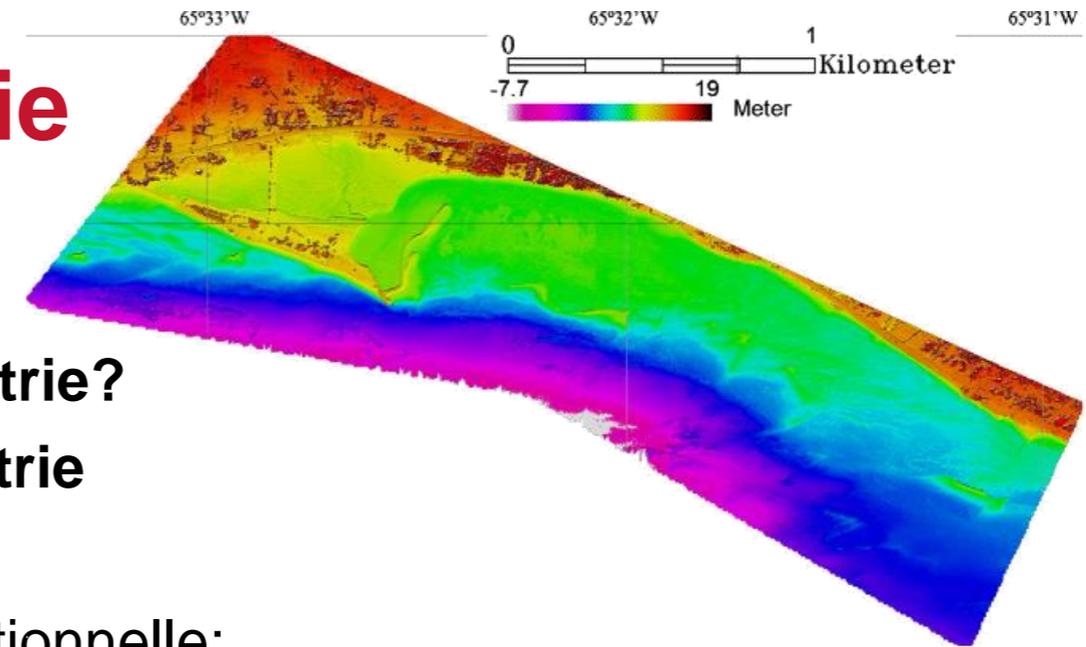
Comment cartographier la topobathymétrie?
=> Fusion de la topographie et bathymétrie

La cartographie de la **topographie** conventionnelle:

- lidargrammétrie par avion (Collin *et al.*, 2012);
- photogrammétrie par satellite (Collin *et al.*, 2018; 2021);
- photogrammétrie par drone aérien (Mury *et al.*, 2019);
- lidargrammétrie par drone aérien (Collin *et al.*, 2024a).



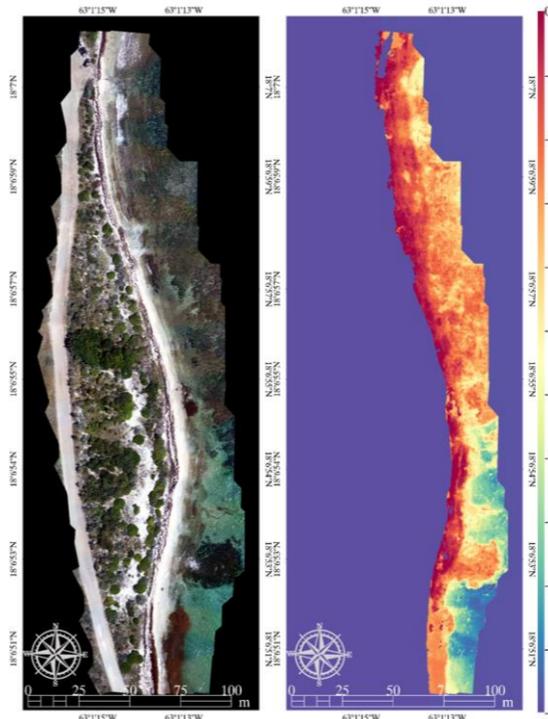
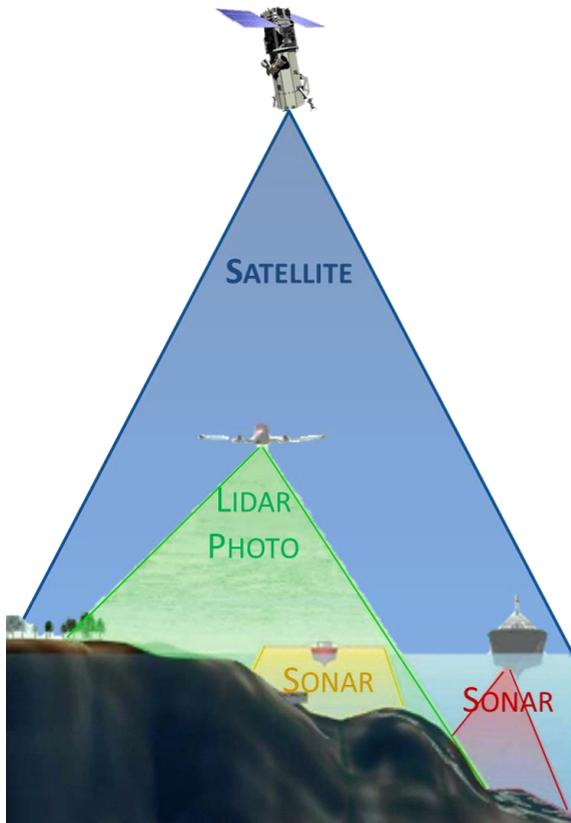
Cartographie de la topobathymétrie



Comment cartographier la topobathymétrie?
=> Fusion de la topographie et bathymétrie

La cartographie de la **bathymétrie** conventionnelle:

- transfert radiatif (analytique-empirique) par satellite (Collin et al., 2016)
- lidargrammétrie par avion (Collin et al., 2018),
- lidargrammétrie par satellite (Le Quilleuc et al., 2022).
- sonargrammétrie par bateau (Le Quilleuc et al., 2023),
- photogrammétrie par drone aérien (Collin et al., 2024b),



Modélisation de la topobathymétrie à UHR spatiale via la fusion du drone et du satellite

Objectif:

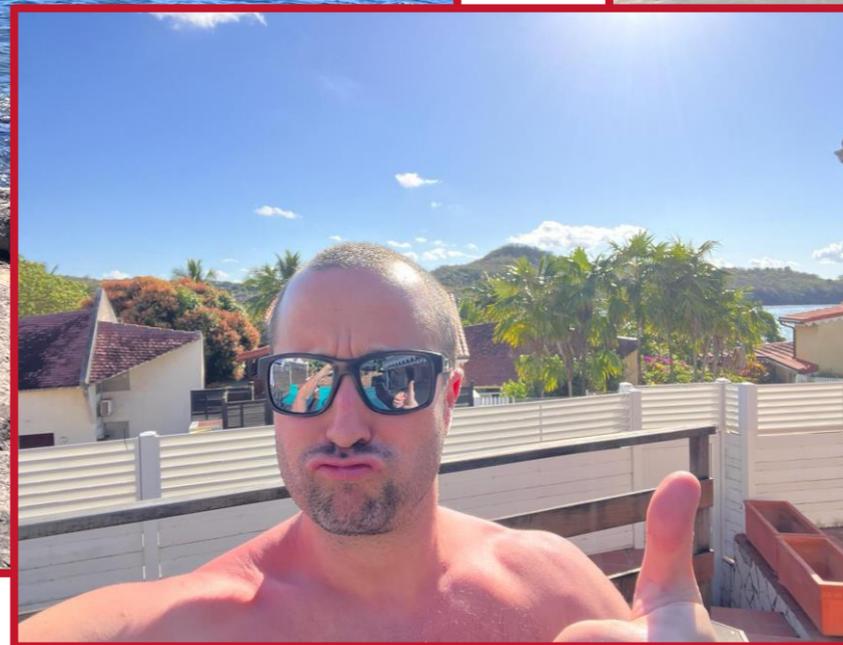
Nous proposons dans cette recherche originale de produire un modèle topobathymétrique à ultra haute résolution (UHR, <0.1 m) spatiale au-dessus du littoral des Gros Raisins (Martinique) à partir de la fusion de **l'imagerie aérienne par drone DJI P1** et du **satellite PlanetScope SuperDove**, tous deux sujets à une très haute résolution temporelle.



1. **Fusion drone-satellite** pour bénéficier d'une imagerie multispectrale à UHR spatiale
2. **Modélisation de la topobathymétrie** à UHR spatiale



METHODOLOGIE



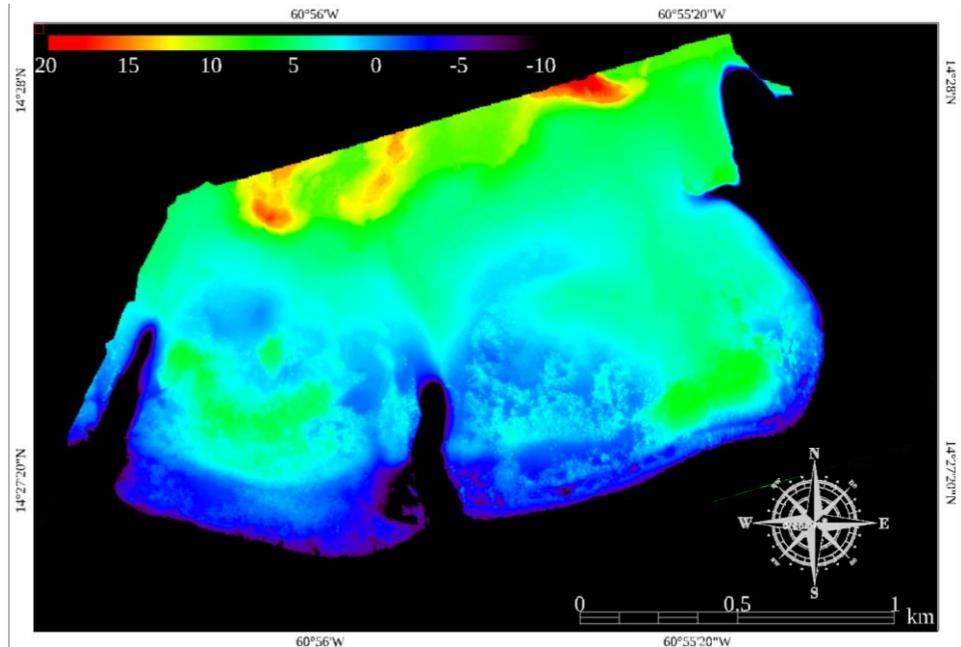
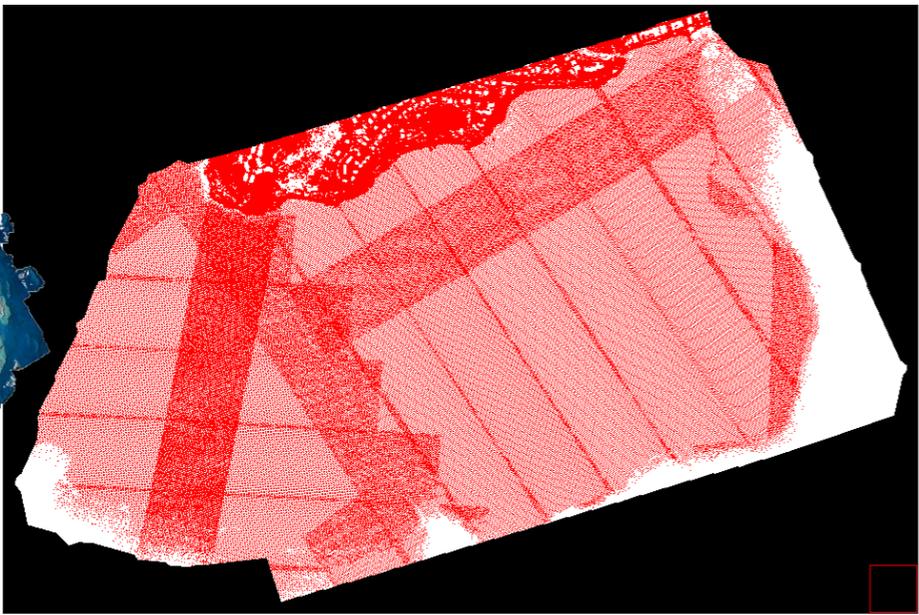
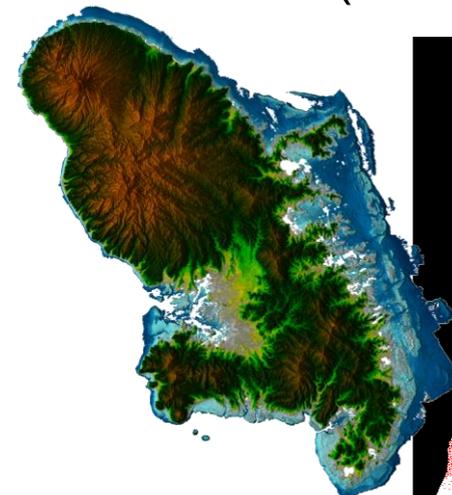
Site d'étude

Littoral de la plage des Gros Raisins (N14°46; W60°93, Sainte-Luce, Martinique):

Il s'agit d'un continuum terre-mer de 3,31 km², constituée de forêts, pelouses, bâtis, routes, plages, herbiers marins, récifs coralliens.

Litto3d© Martinique 2016:

Les données de drone et satellite ont été calibrées/validées/testées par les sondages (levés 2010-2011), rasterisés à 0,08 m (pixel du drone) en WGS84-UTM20N-IGN87.



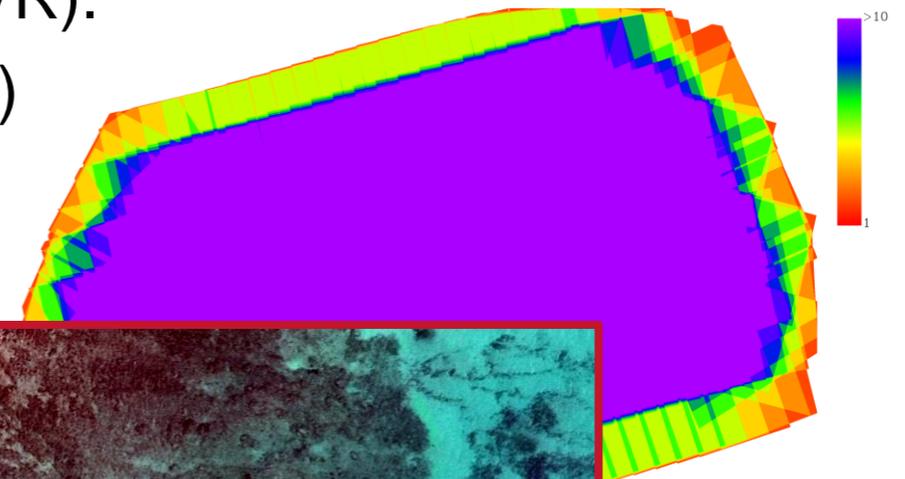
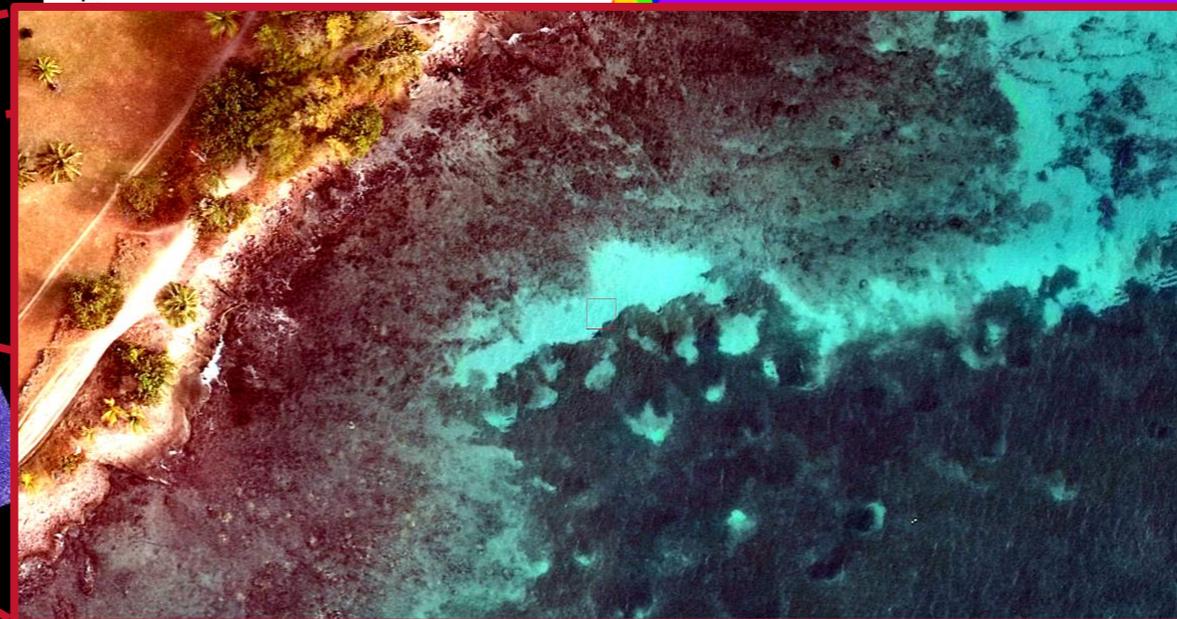
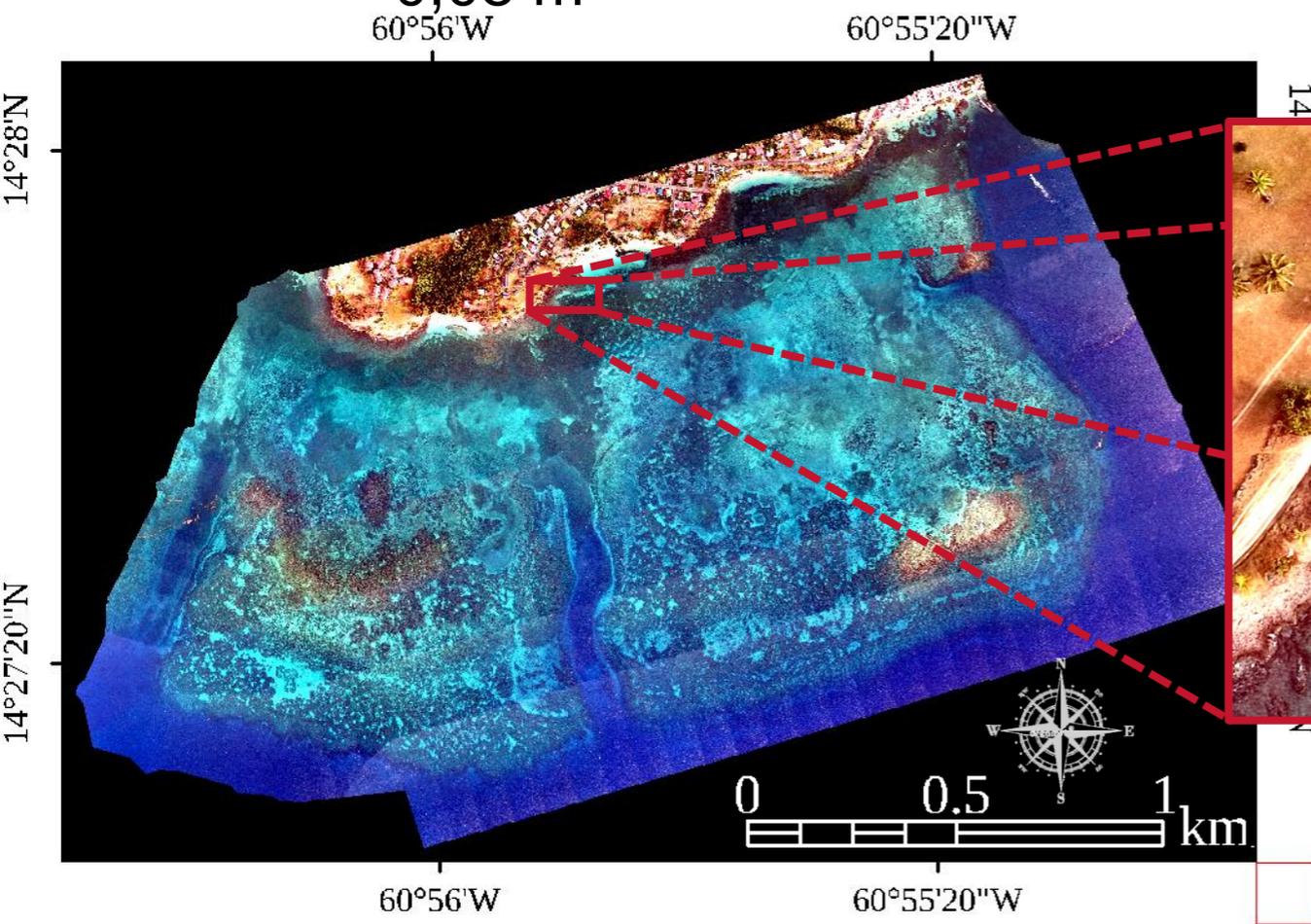
Source des données



Drone aérien DJI Zenmuse P1:

Le vol a été réalisé le 30/03/2024 par un **DJI M300-RTK** muni d'une caméra **DJI Zenmuse P1** (45 Mpix, 24 mm, BVR).

- 220 photos (80%/70% recouvrement frontal/latéral)
- 0,08 m



Traitement des données

Modélisation photogrammétrique:

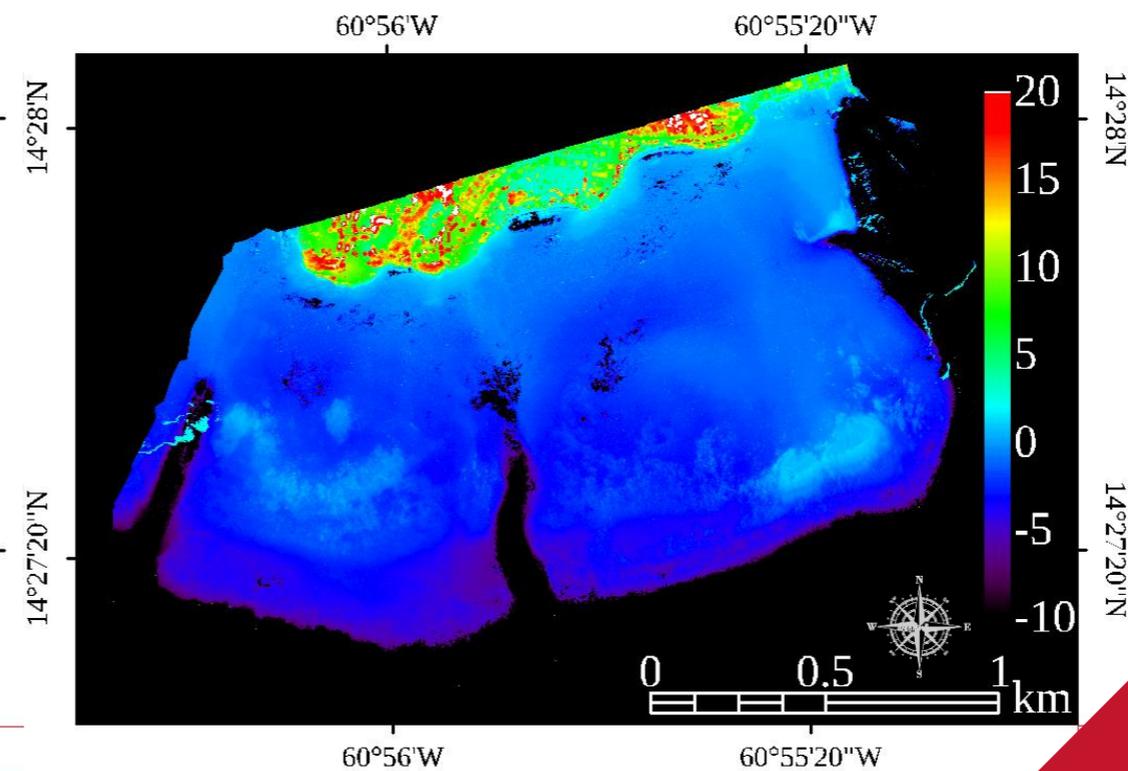
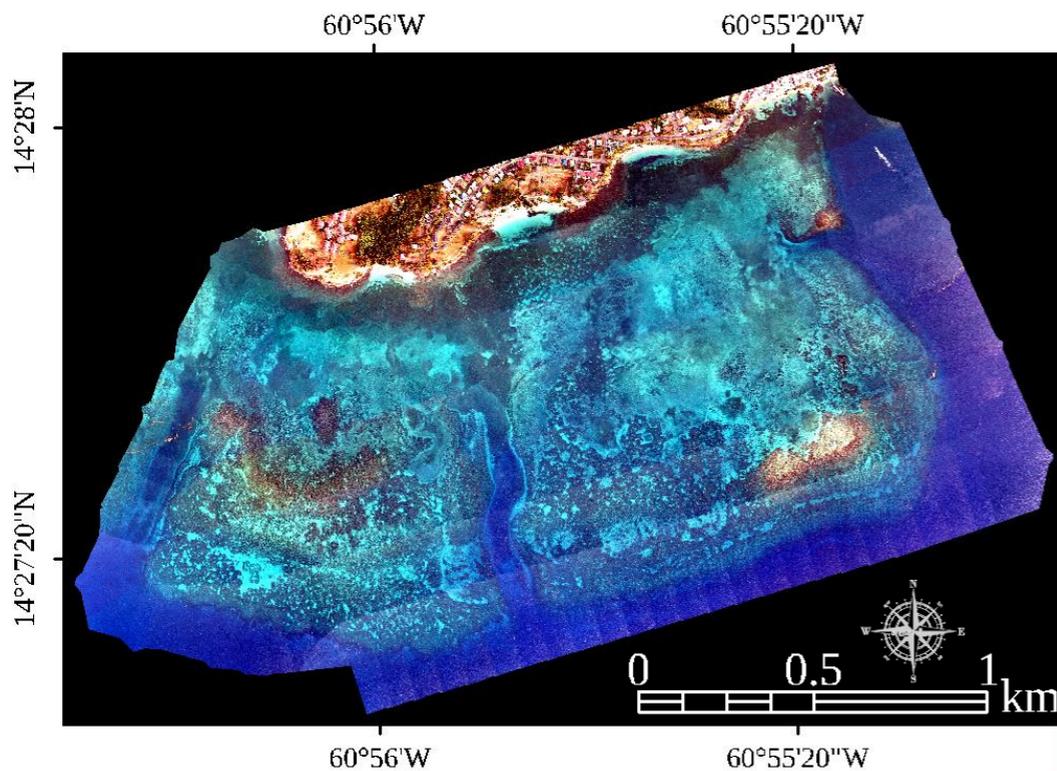
Positionnement RTK (basé sur le réseau Teria)

Orthorectification de chaque image (/220)

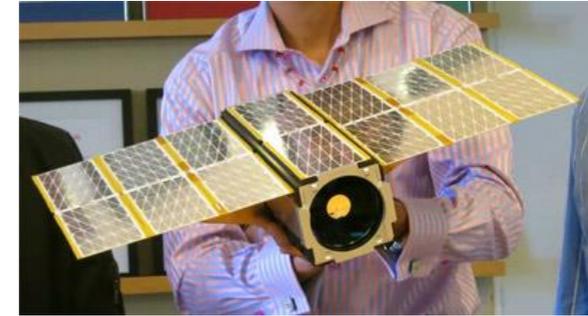
Aéro-triangulation

Densification du nuage de points

Rasterisation du MNS puis de l'orthomosaique en WGS84-UTM20N-IGN87 à 0,08 m



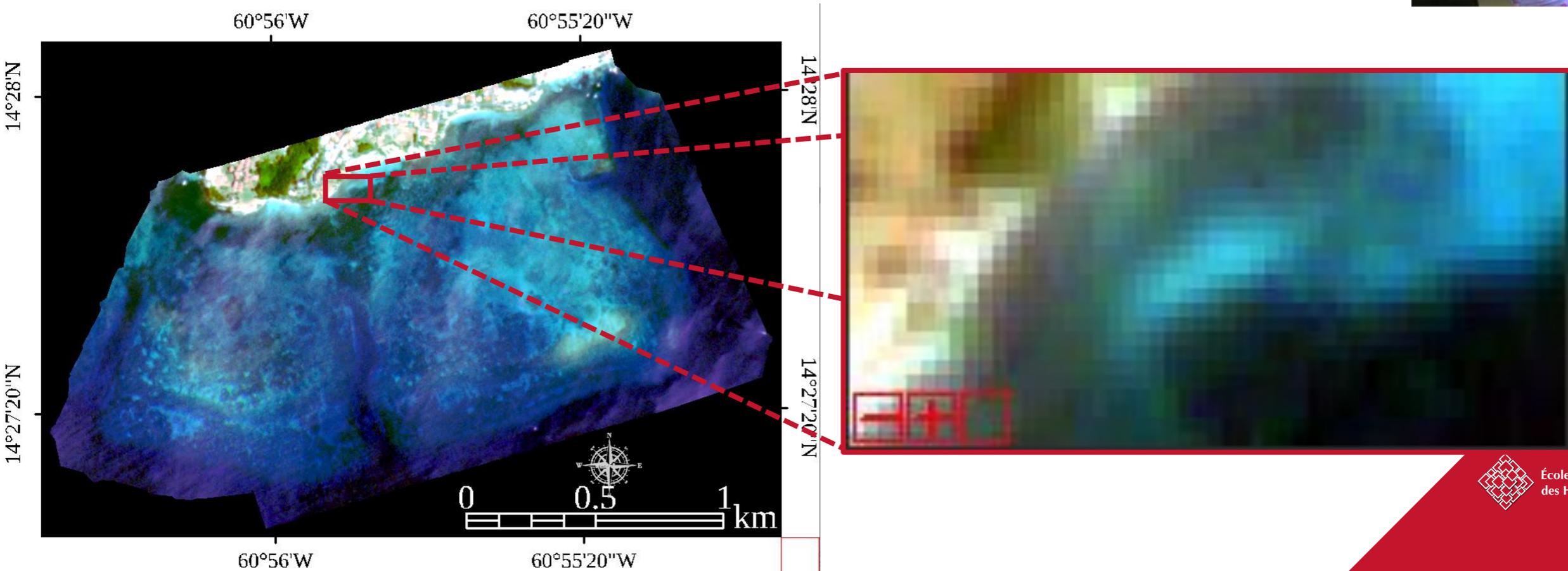
Source de données



Imagerie SuperDove:

L'imagerie SuperDove a été acquise le 31/03/2024 par un CubeSat (10 cm × 10 cm × 30 cm) dotée de:

- 1 jour de résolution temporelle
- 3 m de résolution spatiale



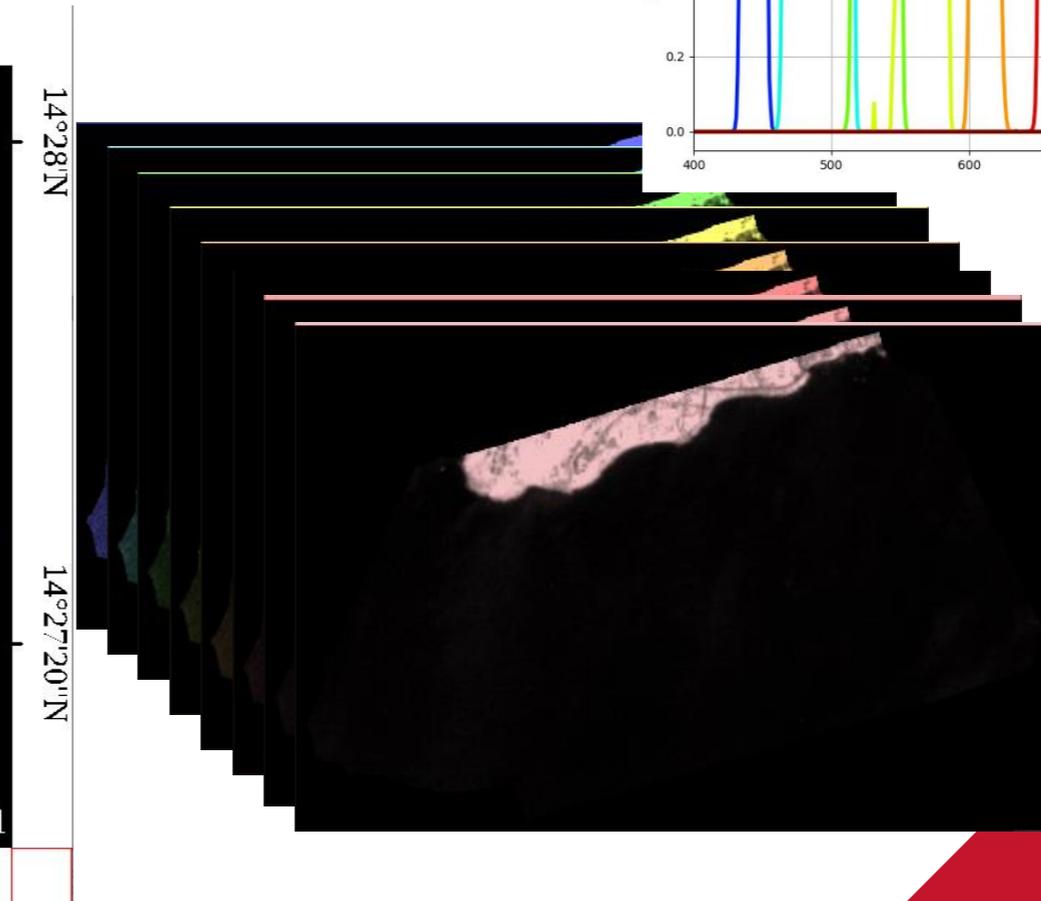
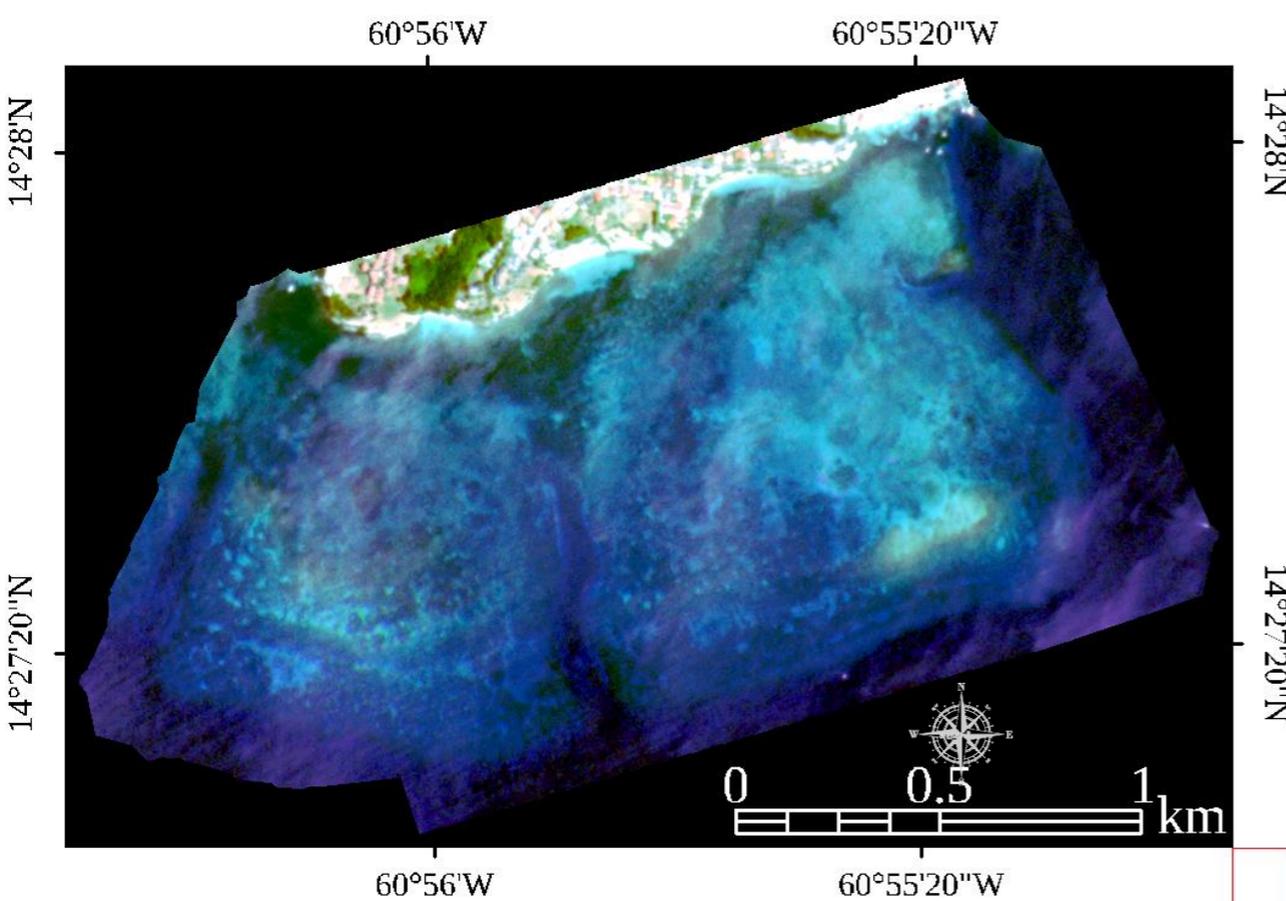
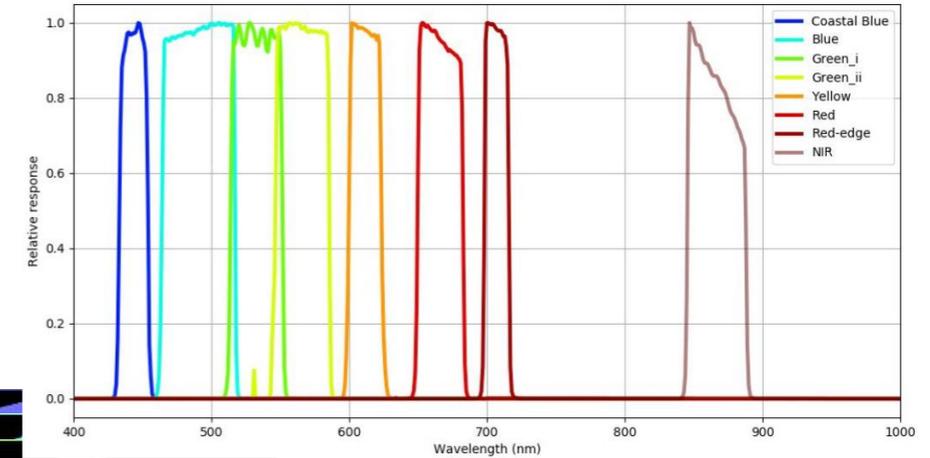
Source de données



Imagerie SuperDove:

L'imagerie SuperDove a été acquise le 31/03/2024 par un CubeSat (10 cm × 10 cm × 30 cm) dotée de:

- 8 bandes spectrales (optiques)
- Géométrie et radiométrie (réflectance de surface)

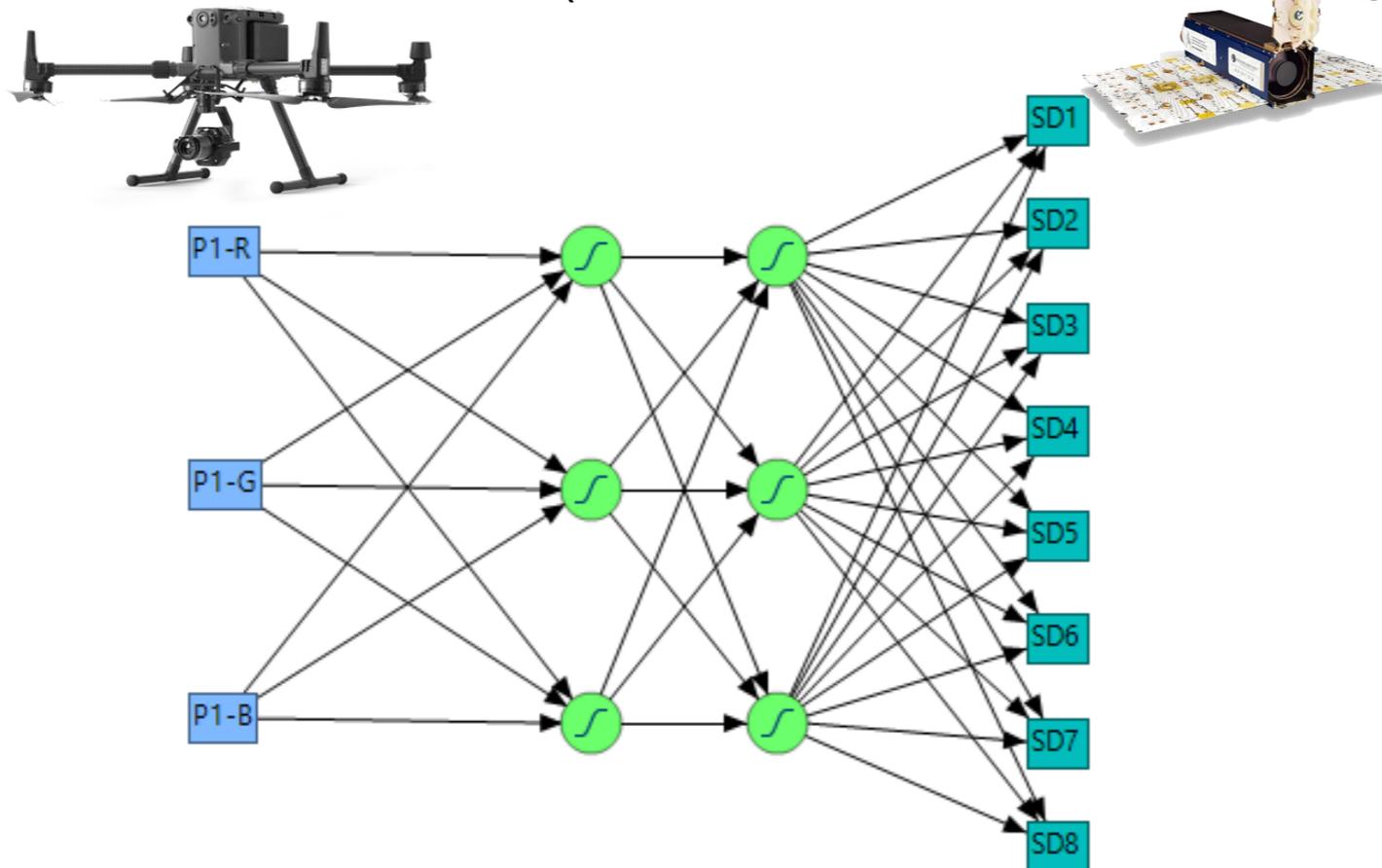
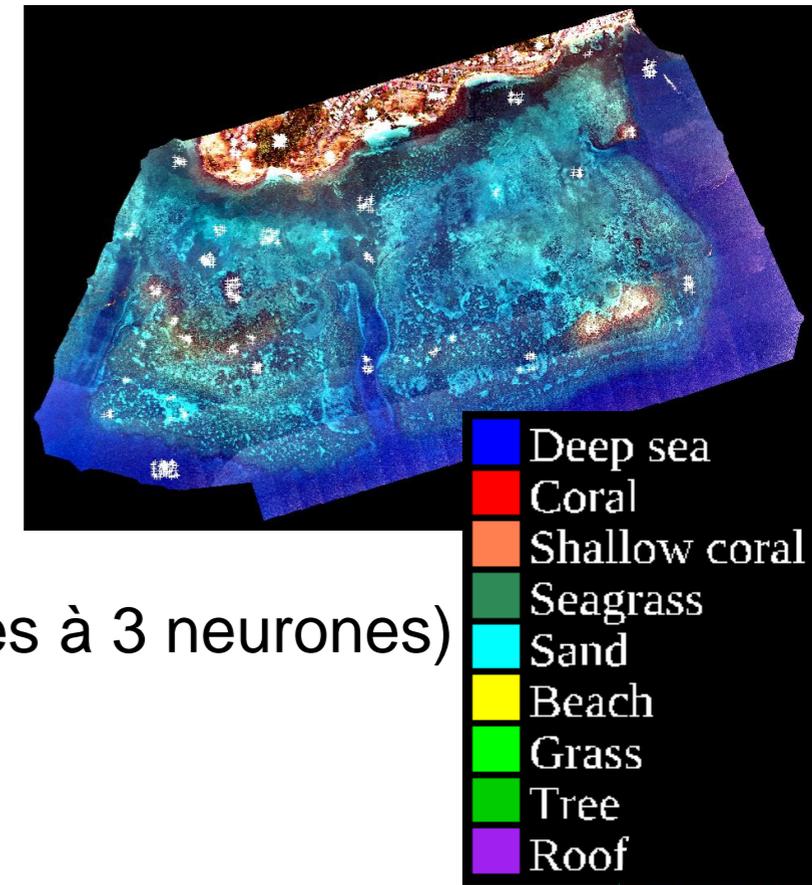


École Pratique des Hautes Études | PSL

Traitement des données

Modélisation statistique pour la fusion P1-SuperDove:

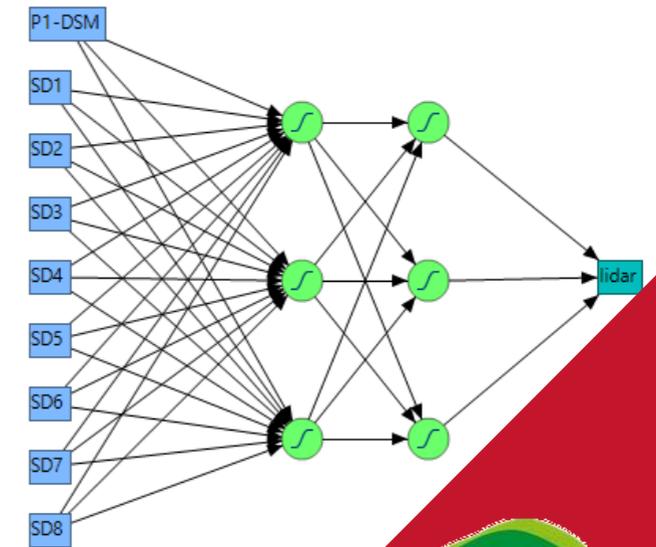
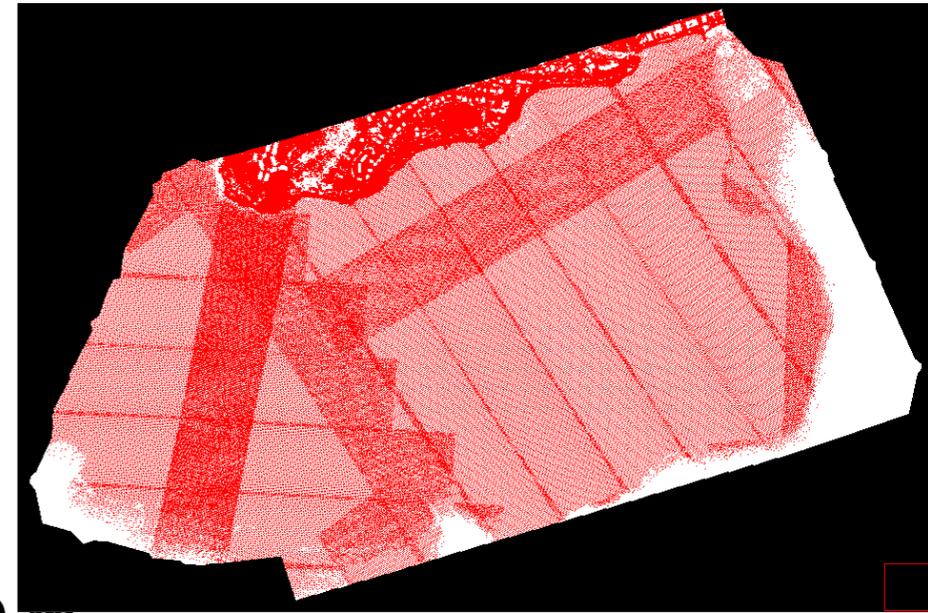
- Sélection de 100 pixels pour chacune des 9 classes
- Sub-division de chaque classe en cal/val/test (33/33/33)
- Régression linéaire multiple
- Régression non-linéaire (réseaux de neurones 2 couches à 3 neurones)



Traitement des données

Modélisation numérique de surface suite à la fusion P1-SuperDove:

- Topographie:
 - Sélection de 179 758 pixels (de 17,69 m à -0,20 m, IGN87)
 - Sub-division en cal / val / test (59 919 / 59 919 / 59 920)
 - Régression linéaire et non-linéaire
- Bathymétrie:
 - Sélection de 124 696 pixels (de -0,2 m à -10 m, IGN87)
 - Sub-division de chaque classe en cal / val / test (41 565 / 41 565 / 41 566)
 - Régression linéaire et non-linéaire



RESULTATS DISCUSSION



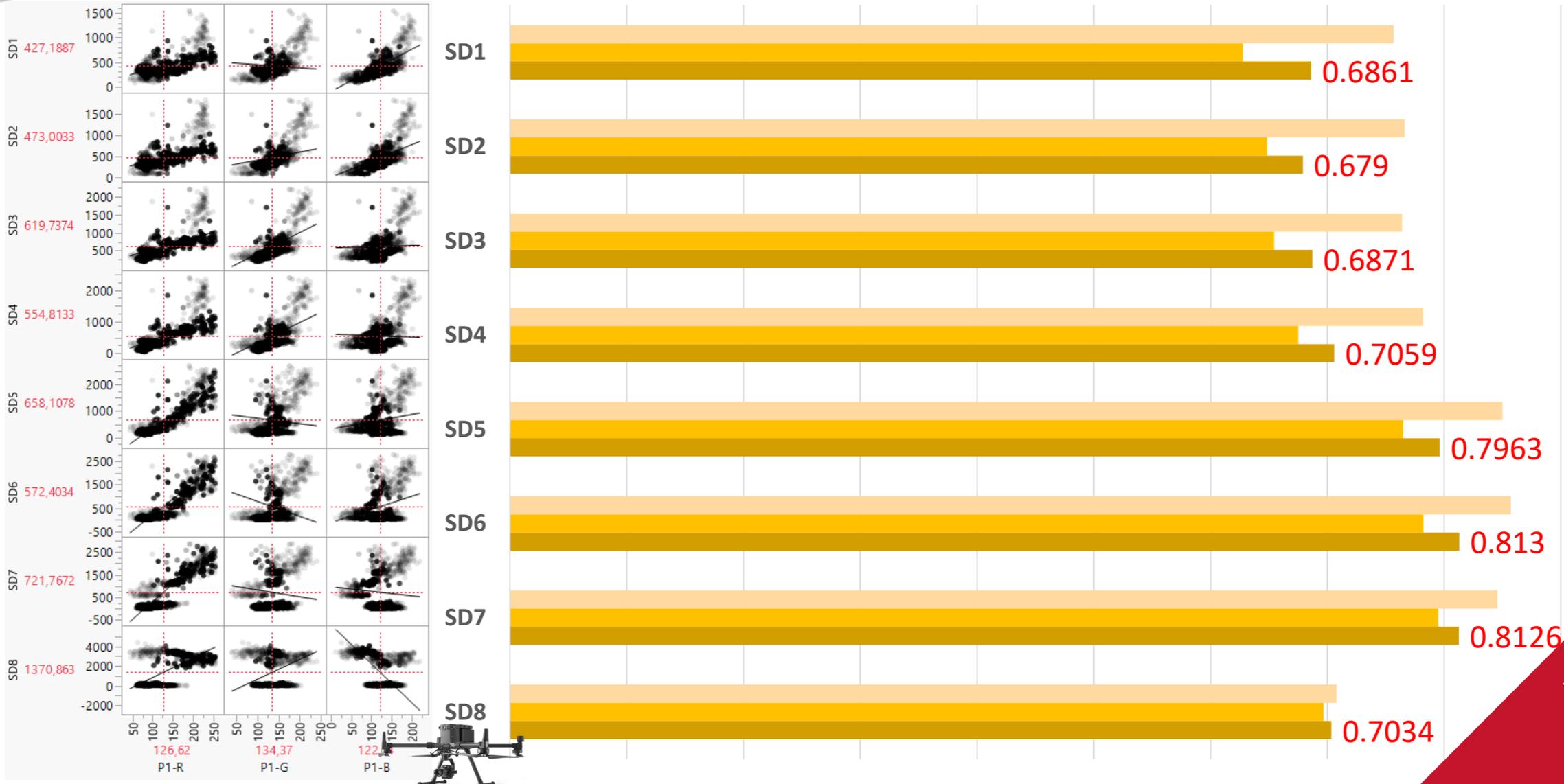
1. Fusion des données drone et satellite

Fusion P1-SuperDove:

Régression **linéaire** multiple

Cal Val Test

0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1



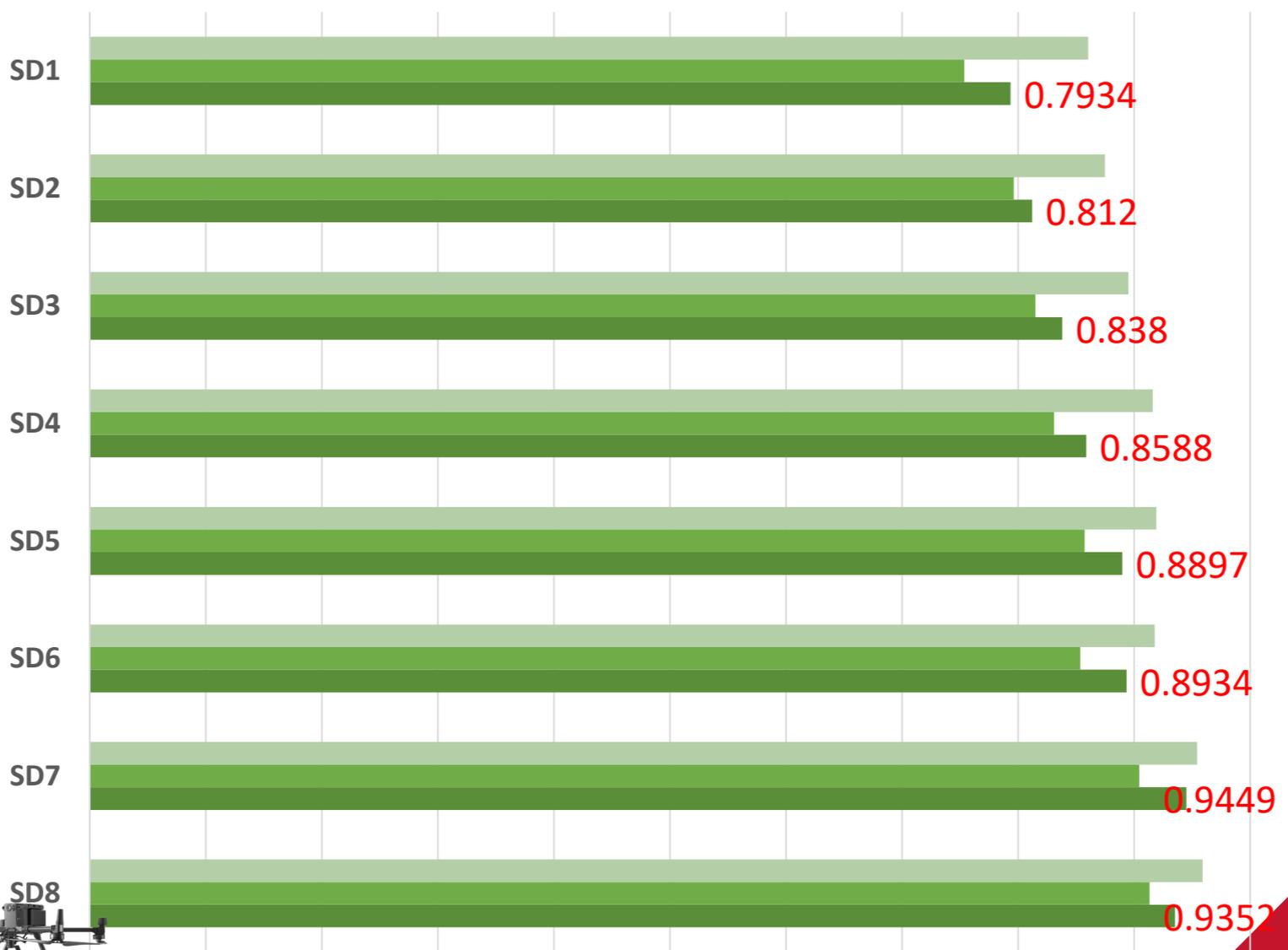
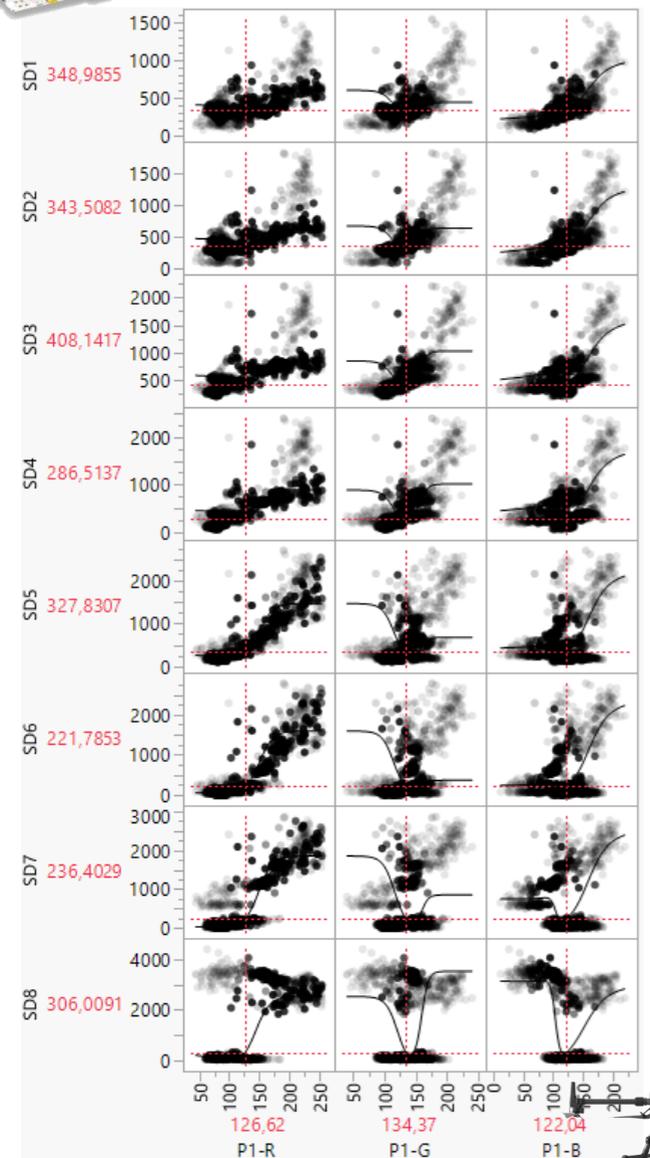
1. Fusion des données drone et satellite

Fusion P1-SuperDove:

Régression **non-linéaire** (réseaux de neurones)

Cal Val Test

0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1

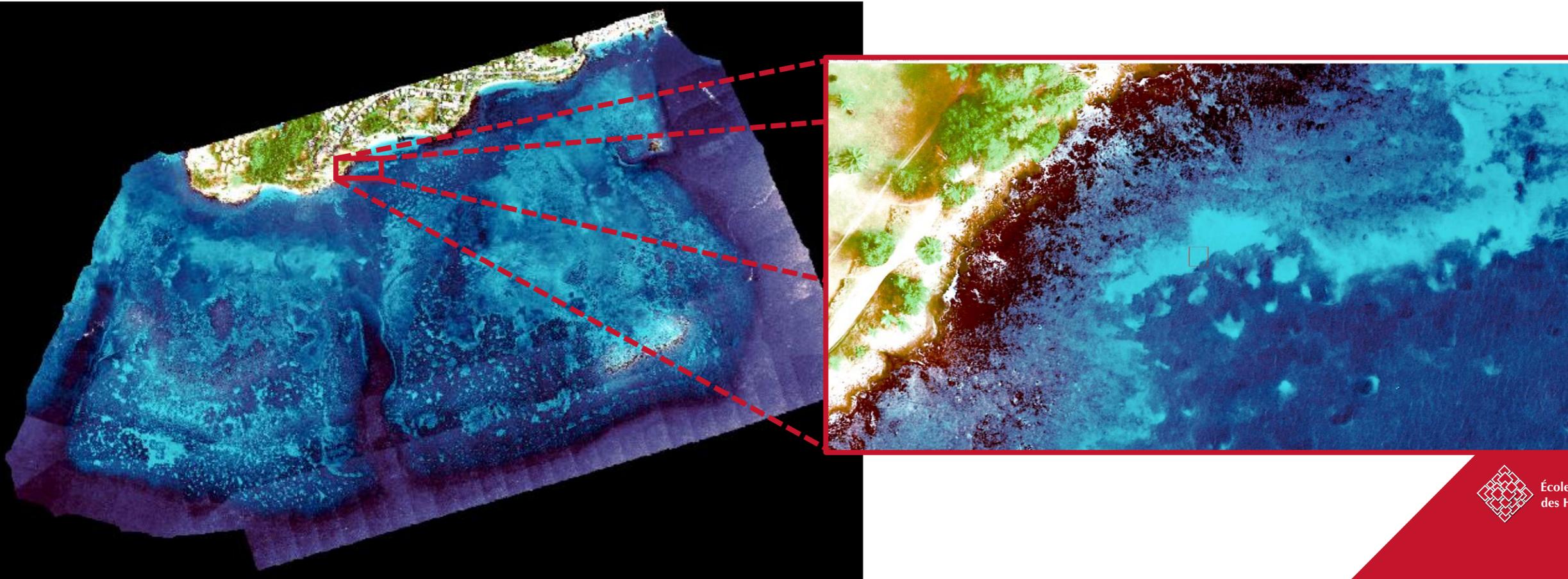


1. Fusion des données drone et satellite

— Fusion P1-SuperDove:

Régression **non-linéaire** (réseaux de neurones)

0,08 m de résolution spatiale

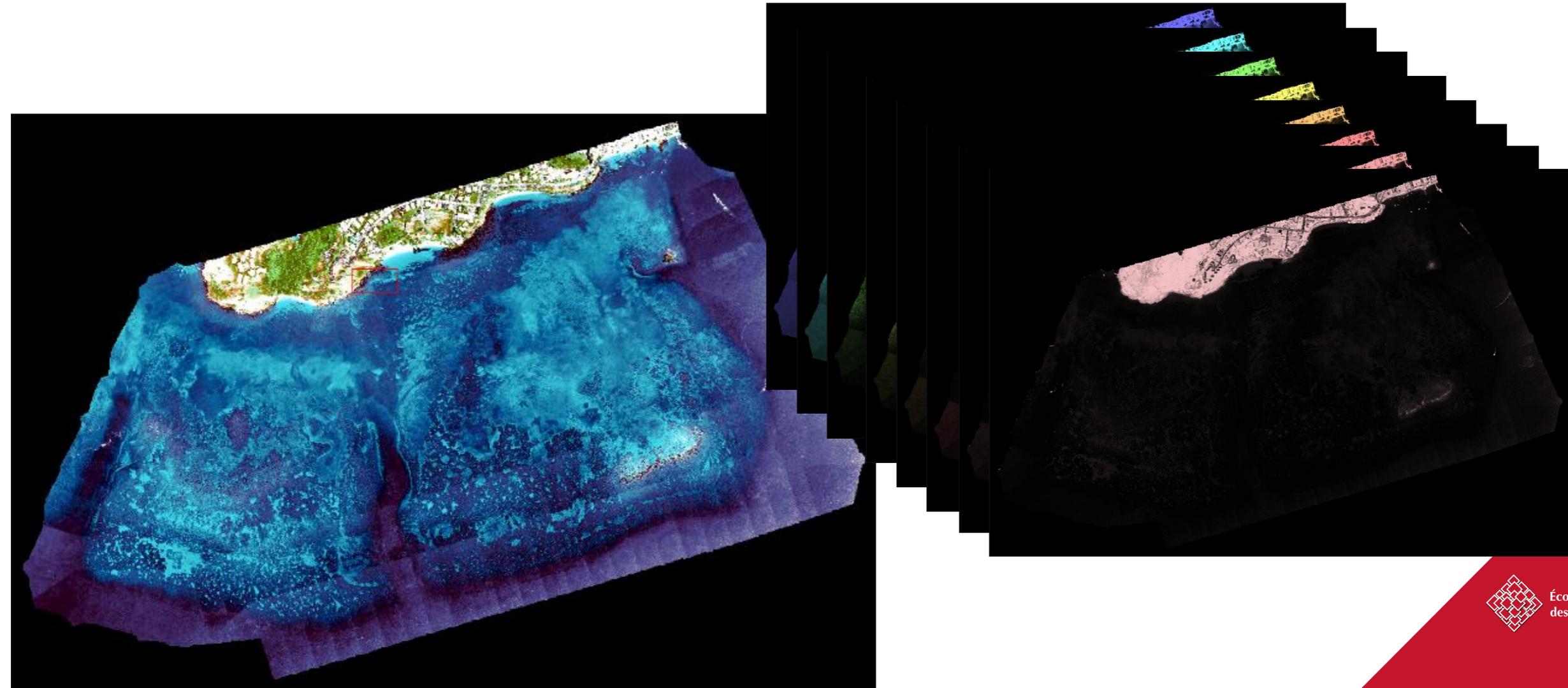


1. Fusion des données drone et satellite

— Fusion P1-SuperDove:

Régression **non-linéaire** (réseaux de neurones)

8 bandes spectrales



2. Modélisation de la topographie à UHR

Cal Val Test

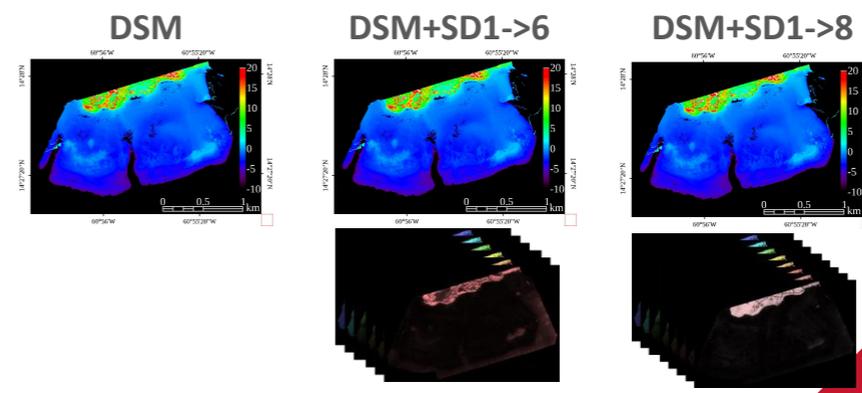
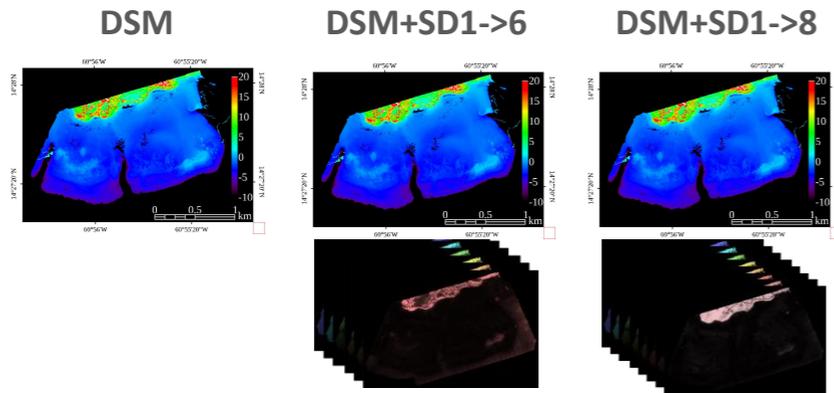
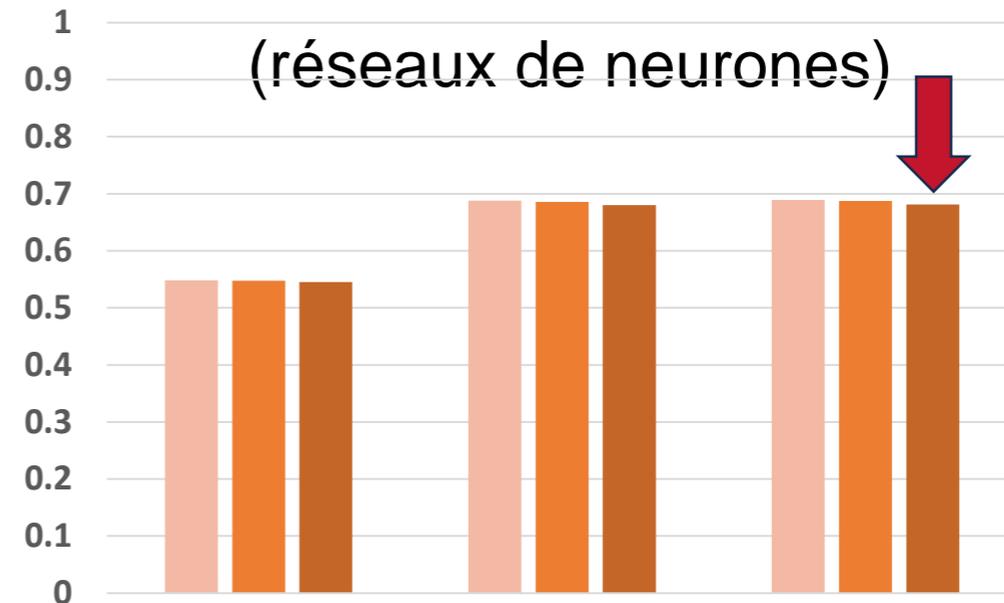
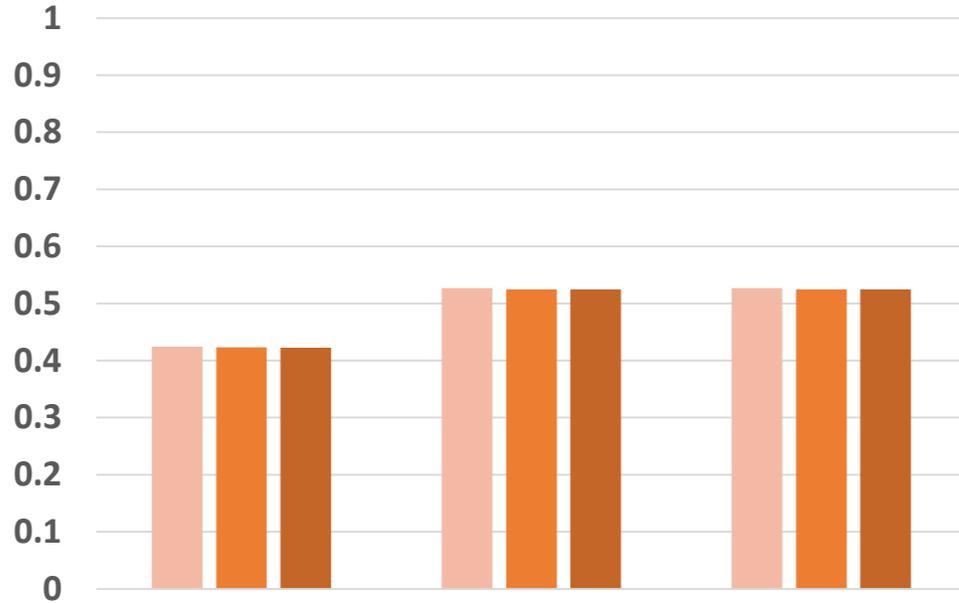
Comparaison des résultats de régression

linéaire

versus

non-linéaire

(réseaux de neurones)



2. Modélisation de la topographie à UHR

Cal Val Test

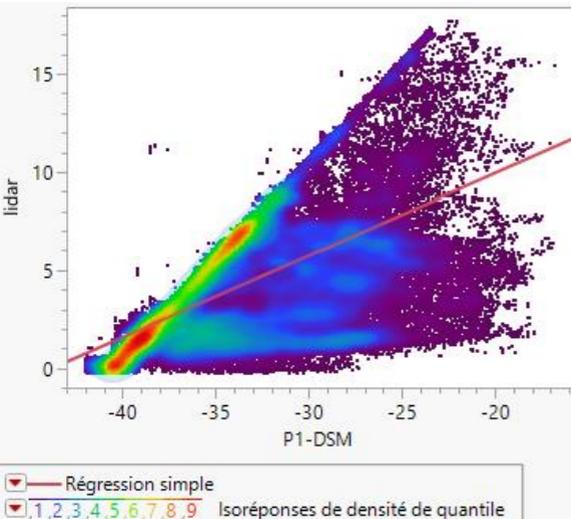
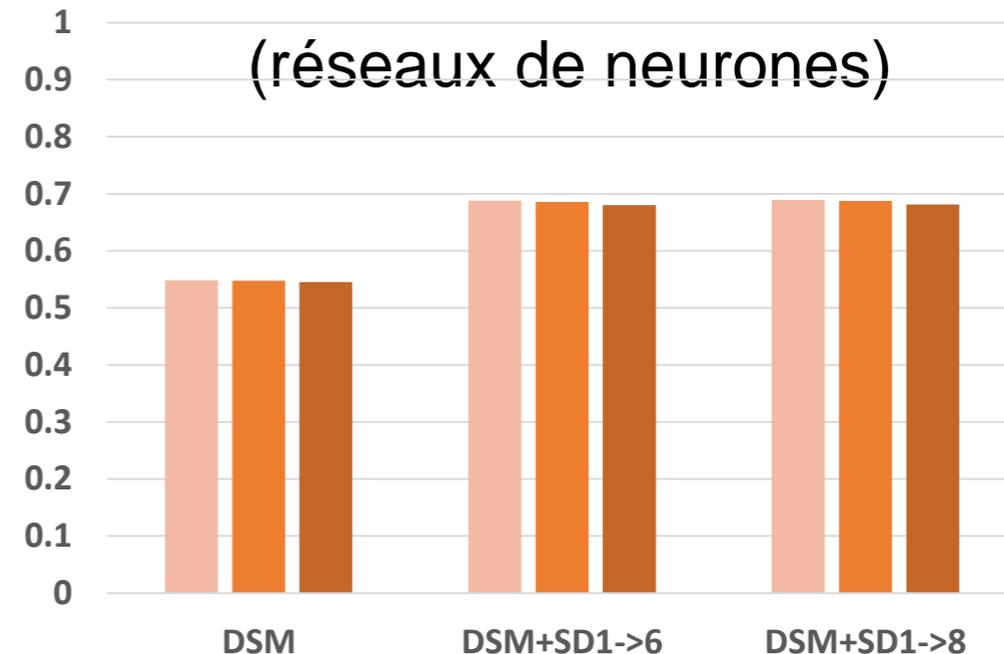
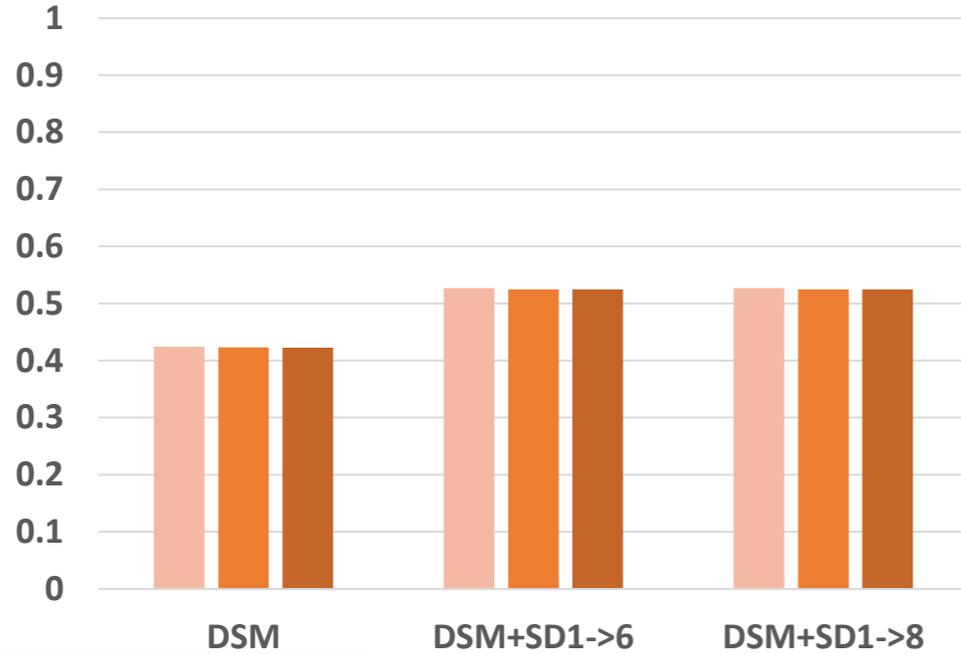
Comparaison des résultats de régression

linéaire

versus

non-linéaire

(réseaux de neurones)



4.2. Définition du produit

Le produit Litto3D[®] est une base de données altimétrique unique et continue terre-mer donnant une représentation tridimensionnelle de la forme et de la position du sol sur la frange littorale du territoire français (métropole, départements et collectivités d'Outre-Mer). Les éléments de sursol ne sont pas décrits dans ce produit : bâtiments, objets mobiles ou temporaires (véhicules par exemple), tabliers de pont, végétation, etc...

Il est disponible sous deux formes : un semis de points tridimensionnels et un modèle numérique de terrain maillé et qualifié.



École Pratique des Hautes Études

PSL

2. Modélisation de la bathymétrie à UHR

■ Cal ■ Val ■ Test

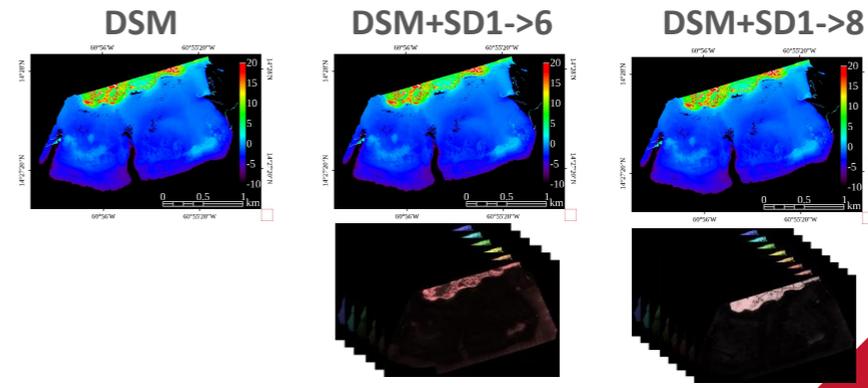
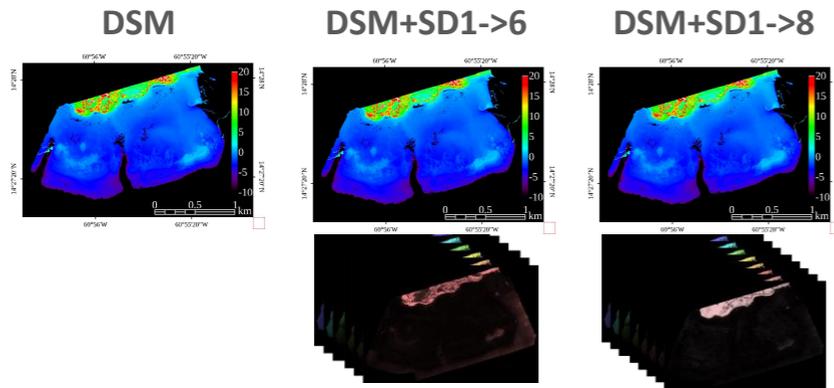
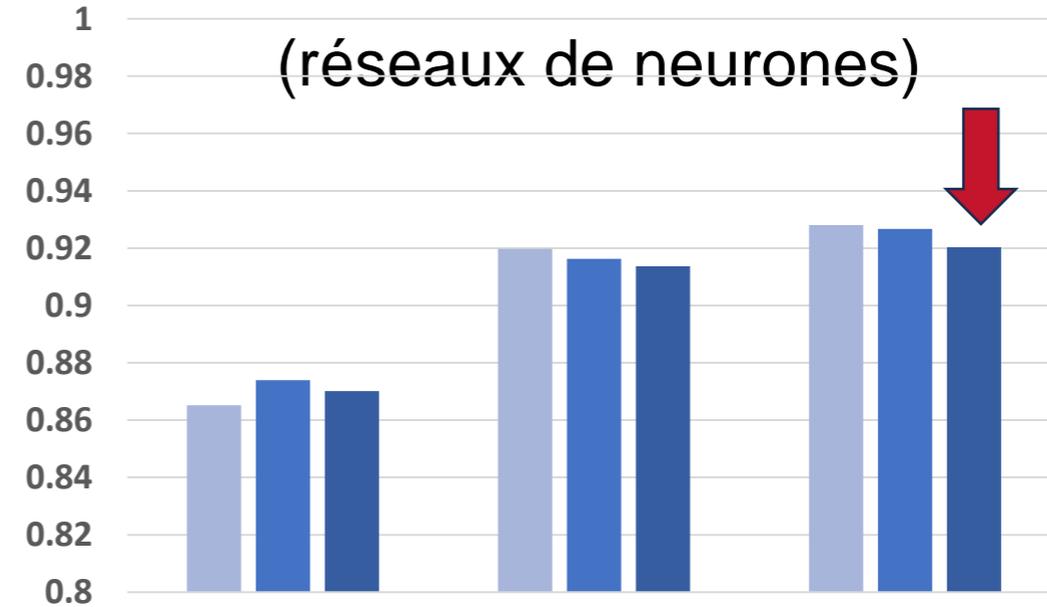
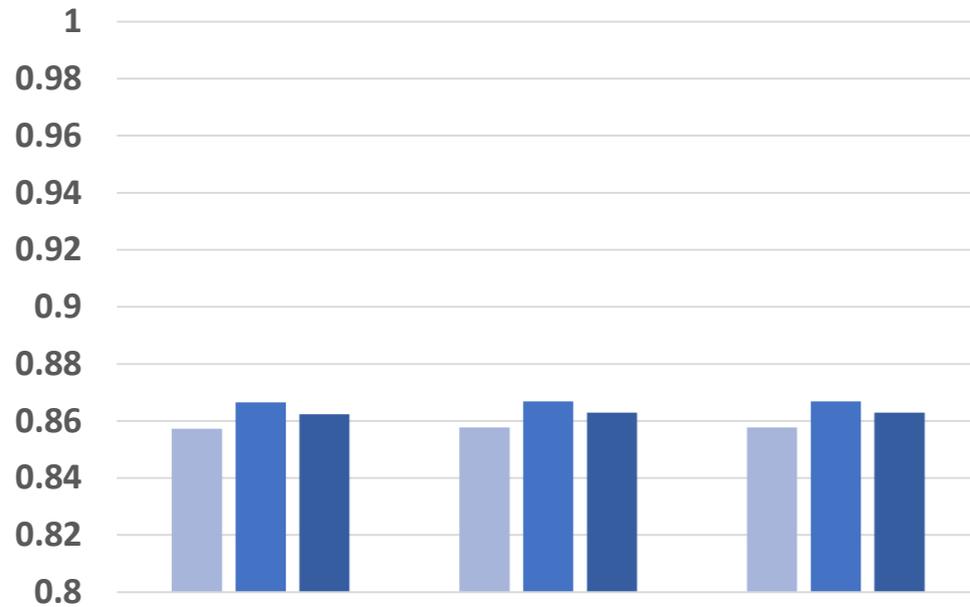
Comparaison des résultats de régression

linéaire

versus

non-linéaire

(réseaux de neurones)

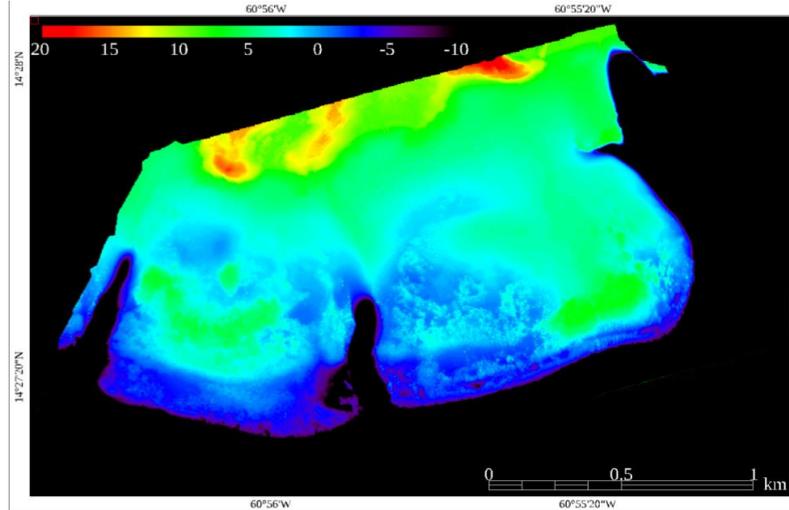
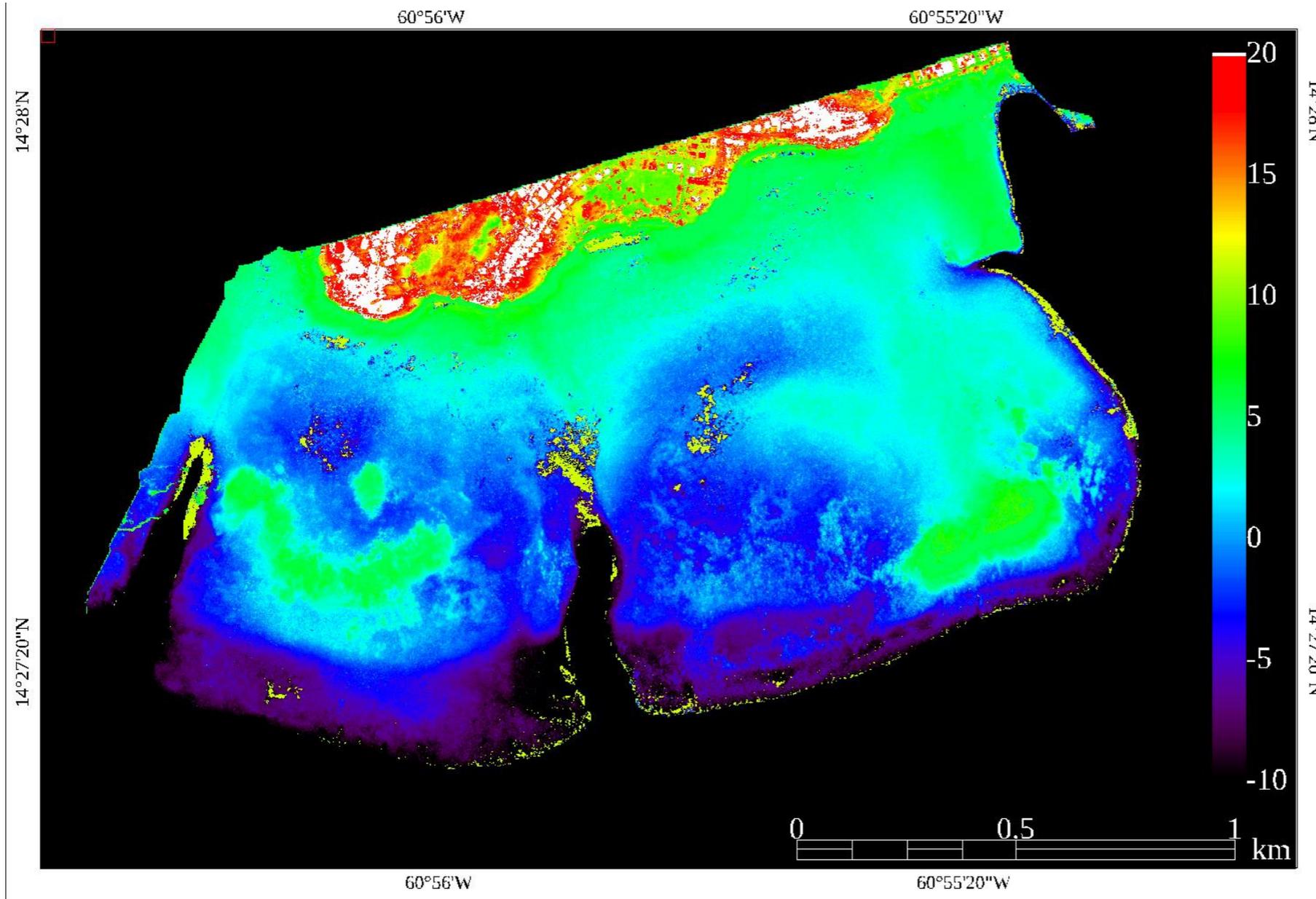


2. Modélisation de la topobathymétrie à UHR

Topobathymétrie à UHR

versus

lidar (sol)



CONCLUSION

1: La fusion des données visibles (bleu-vert-rouge) du drone aérien (DJI P1) et de l'imagerie multispectrale (8 bandes optiques en réflectance de surface) satellite (SuperDove) a été réalisée avec succès:

- Linéaire: R^2 variant de 0,68 à 0,81
- Non-linéaire (Réseaux de Neurones à 2 couches et 3 neurones): R^2 variant de 0,79 à 0,94

2: La modélisation de la topobathymétrie a aussi été satisfaisante à très satisfaisante :

- **Topographie:**

- Linéaire: R^2 variant de 0,42 à 0,52
- Non-linéaire (Réseaux de Neurones à 2 couches et 3 neurones): R^2 variant de 0,55 à 0,68

- **Bathymétrie**

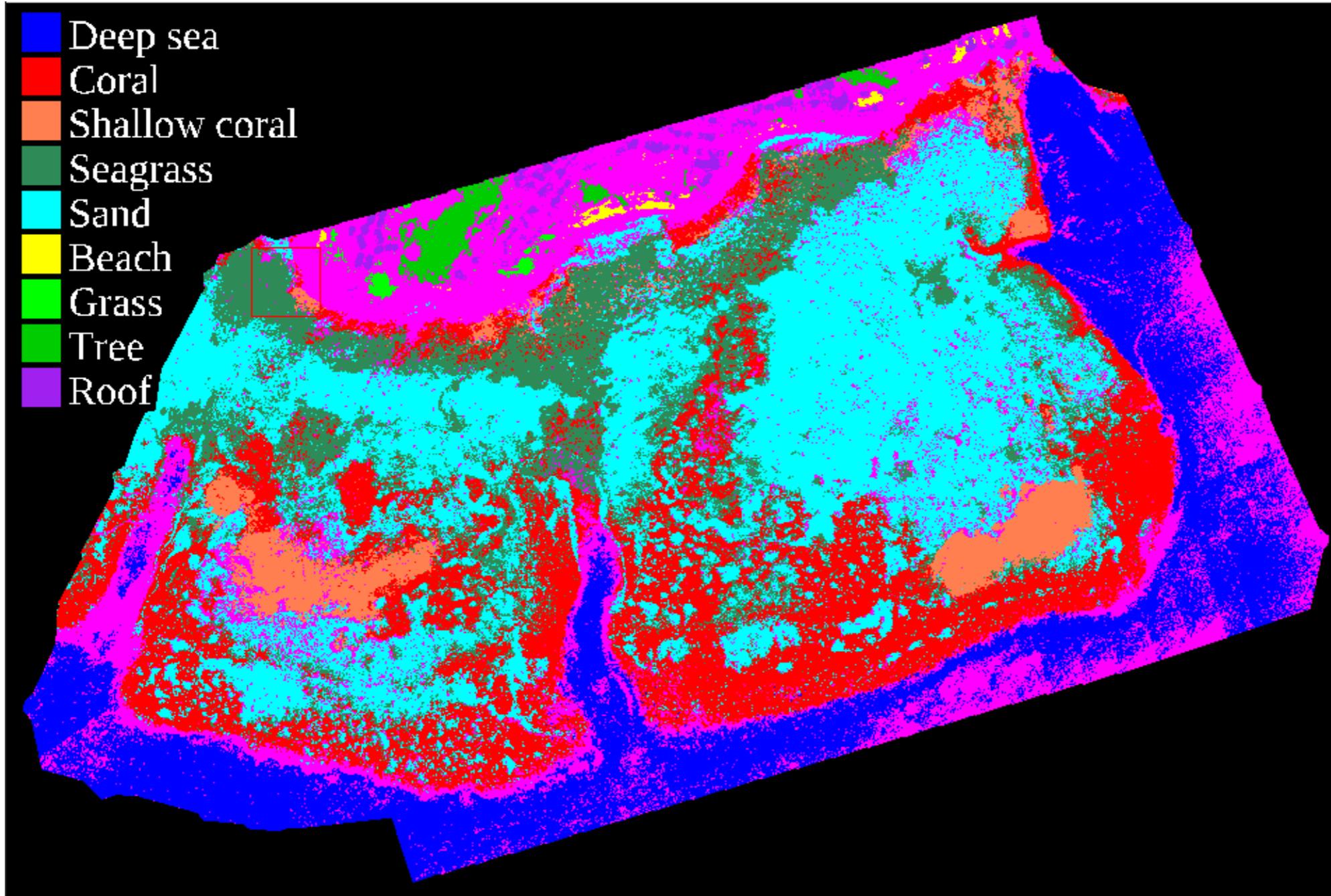
- Linéaire: R^2 égal à 0,86
- Non-linéaire (Réseaux de Neurones à 2 couches et 3 neurones): R^2 variant de

0,87 à 0,92

PERSPECTIVE



Classification 3D du sol, sursol et fond à UHR





Merci
pour votre attention

antoine.collin@epehe.psl.eu

