



Contribution de l'imagerie satellite oblique (Pléiades) au suivi et à la compréhension de l'érosion des falaises

Webinaire technique



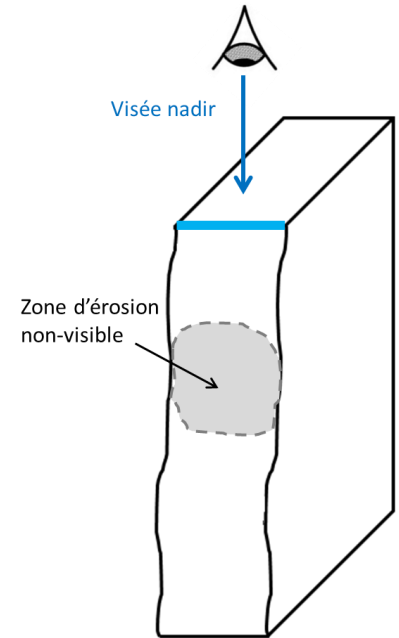
n°2 (30 juin 2023)

Pauline Letortu (pauline.letortu@univ-brest.fr), Zoé Bessin, Marion Jaud, Roza Taouki, Claire Théry, Jean Nabucet, Sébastien Lefèvre, Thomas Corpetti, Stéphane Costa, Olivier Maquaire, Robert Davidson, Niki Evelpidou, Emmanuel Vassilakis, Christophe Delacourt, Alain Hénaff, Nicolas Le Dantec, Jérôme Ammann, Philippe Grandjean, Pascal Allemand, Sophie Passot

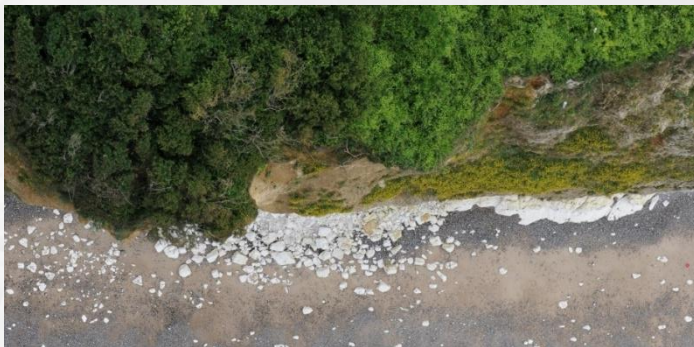
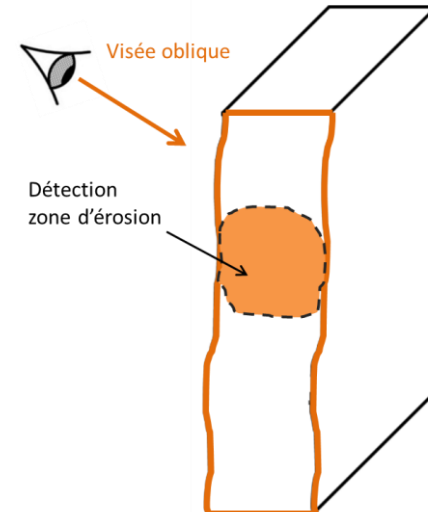
Introduction

- Falaises \approx 52 % du linéaire côtier mondial (Young et Carilli, 2019)
 - Dynamiques d'érosion des falaises mal connues
- Fort besoin en données :
- à très haute résolution spatiale (THRS $<$ 1m)
 - à temps de revisite court (1 j. à qq. mois)
 - sur de vastes zones
 - 3D du **front de falaise** (FF, du pied au sommet) pour observer tous les changements
 - à bas coût

Observation du **sommet** de falaise



Observation du **front de falaise**



Point de vue vertical

(P. Grandjean et J. Ammann, 2016)



Point de vue oblique (drone à 30°)

(P. Grandjean et J. Ammann, 2016)

Introduction

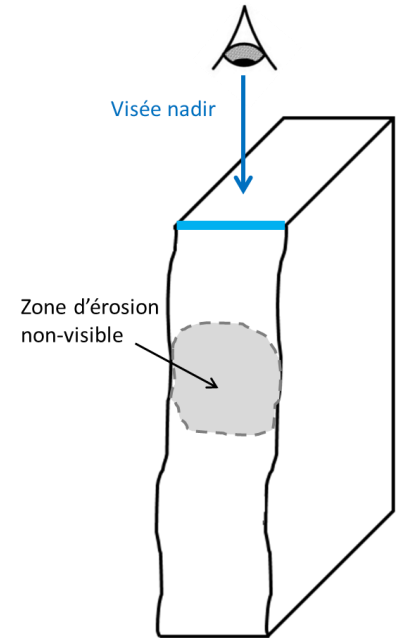
→ Fort besoin en données :

- ✓ - à très haute résolution spatiale (THRS < 1m)
- ✗ - à temps de revisite court (1 j. à qq. mois)
- ✗ - sur de vastes zones
- ✓ - 3D du front de falaise (FF, du pied au sommet) pour observer tous les changements
- ✗ - à bas coût

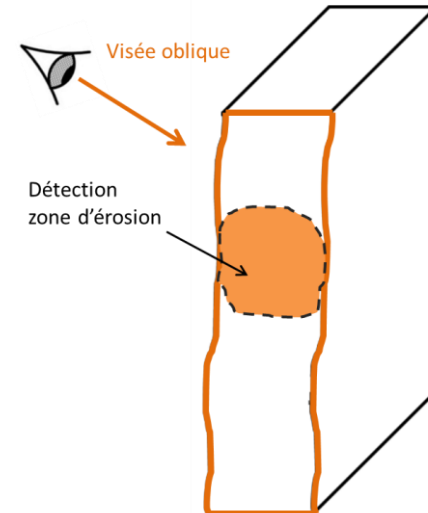
Méthodes terrestres

scanner laser terrestre (TLS)
photogrammétrie terrestre
photogrammétrie drone

Observation du **sommet** de falaise



Observation du **front de falaise**



Introduction

→ Fort besoin en données :

- ✗ - à très haute résolution spatiale (THRS < 1m)
- ✓ - à temps de revisite court (1 j. à qq. mois)
- ✓ - sur de vastes zones
- ✗ - 3D du front de falaise (FF, du pied au sommet) pour observer tous les changements
- ✓ - à bas coût

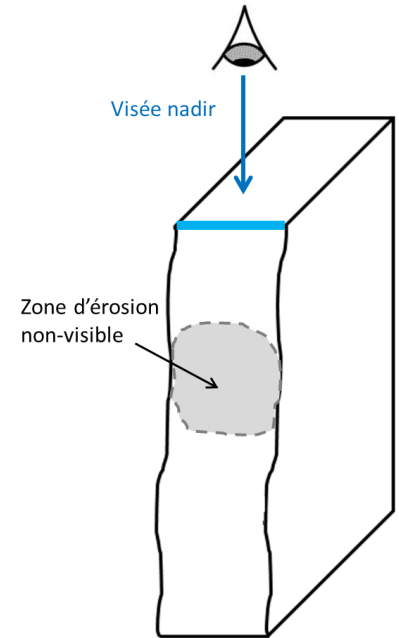
Méthodes terrestres

scanner laser terrestre (TLS)
photogrammétrie terrestre
photogrammétrie drone

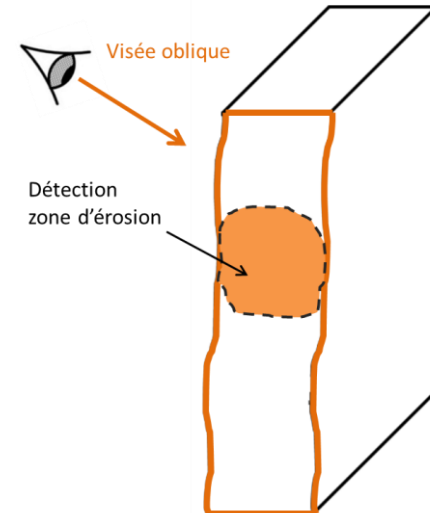
Méthodes spatiales

Imagerie satellite

Observation du **sommet** de falaise



Observation du **front de falaise**



Introduction

→ Fort besoin en données :

- ✓ - à très haute résolution spatiale (THRS < 1m)
- ✓ - à temps de revisite court (1 j. à qq. mois)
- ✓ - sur de vastes zones
- ✓ - 3D du front de falaise (FF, du pied au sommet) pour observer tous les changements
- ✓ - à bas coût

Méthodes terrestres

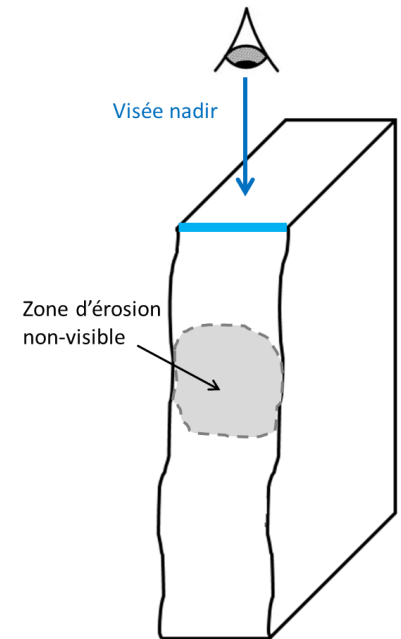
scanner laser terrestre (TLS)
photogrammétrie terrestre
photogrammétrie drone

Méthodes spatiales

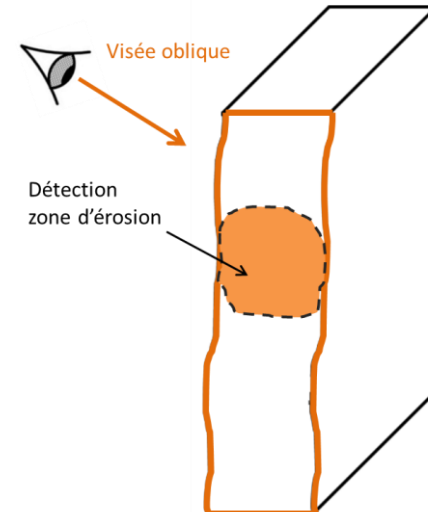
Imagerie satellite

→ satellites **Pléiades** : imagerie optique THRS (0,70 m en panchromatique), dépointée jusqu'à 47° (observation du front de falaise) et avec une revisite journalière (ASTRIUM, 2012)

Observation du **sommet** de falaise

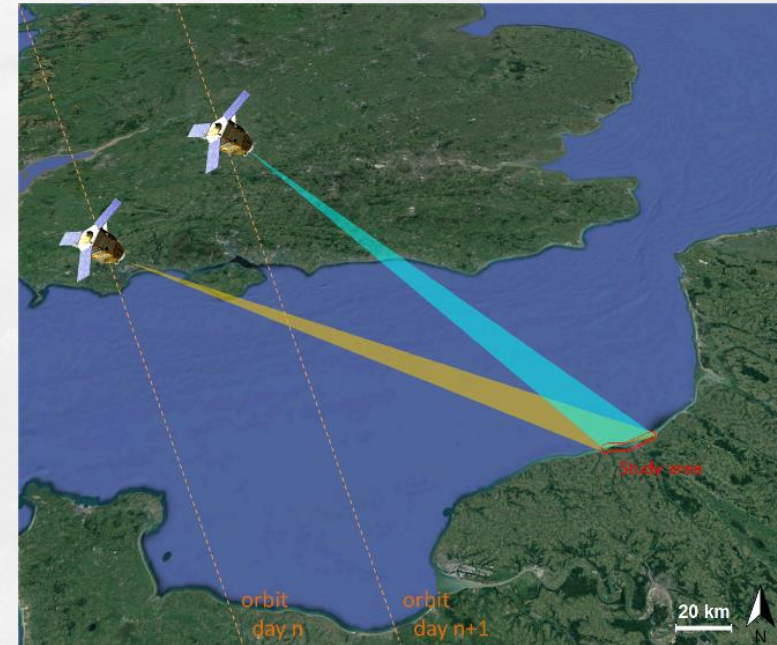
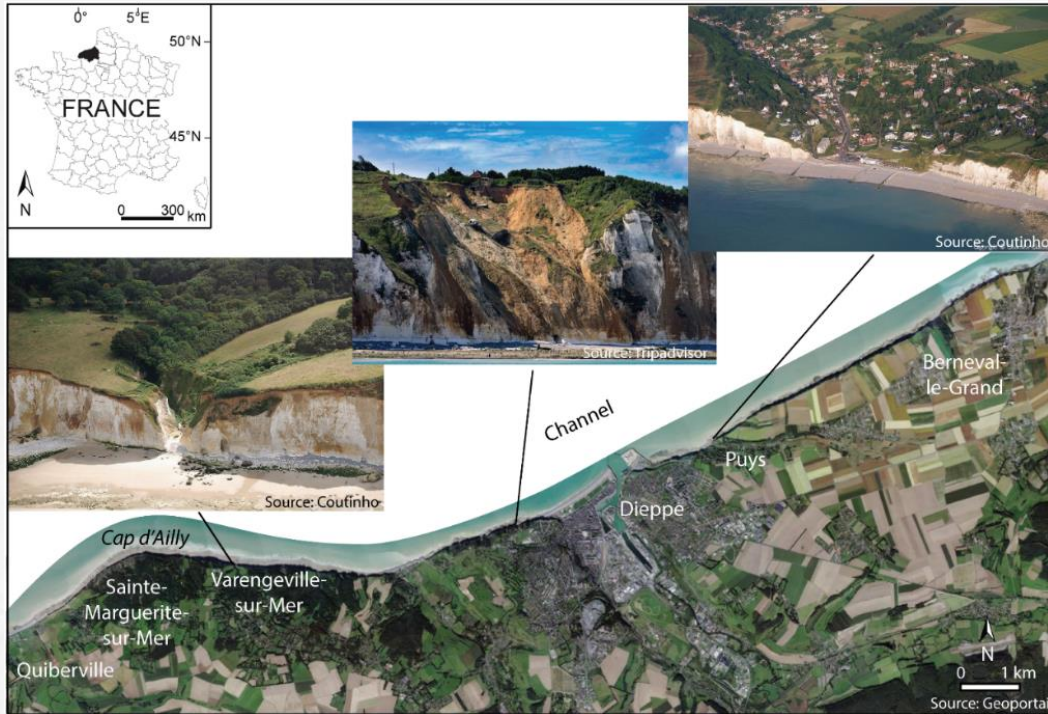


Observation du **front de falaise**



1- Projet CNES EROFALITT (2016-2020) : évaluation du potentiel

Quel est le potentiel des images obliques et THRS Pléiades pour la reconstitution 3D du FF ?



Zone d'étude et méthode d'acquisition des images (Letortu et al., 2020)

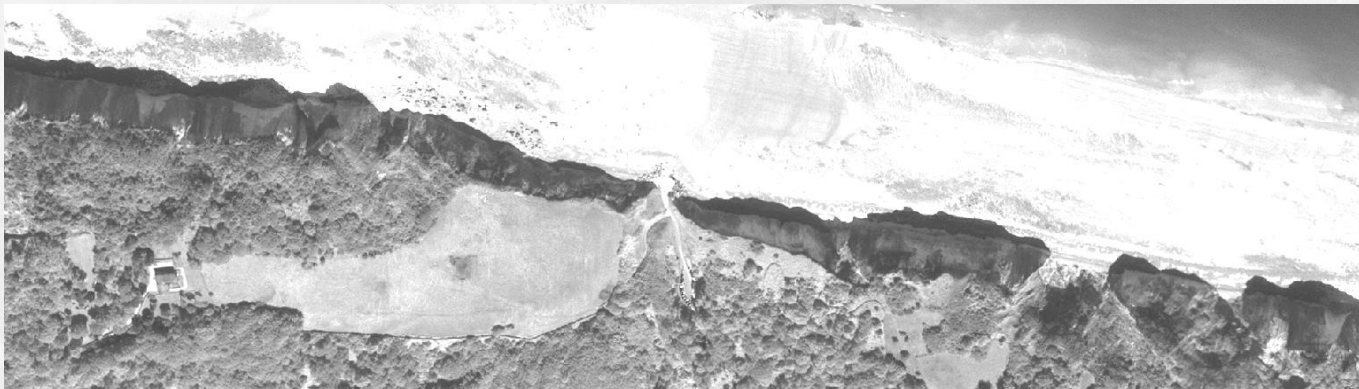


Image Pléiades
panchromatique à 40° de
Varengville-sur-Mer
(18/06/2017)
(Pléiades © CNES,
Distribution AIRBUS DS)

1- Projet CNES EROFALITT (2016-2020) : évaluation du potentiel

Reconstructions 3D du FF avec les chaînes de traitement libres (MicMac, ASP) à partir des images Pléiades acquises à 40° (Letortu et al., 2021):

Not satisfactory result (10/06/2017 and 15/06/2017 at 40°, MicMac®, UrbanMNE, size of correlation window: 5×5, regularization factor: 0.2)



Few satisfactory result (10/06/2017 and 15/06/2017 at 40°, ASP®, Local Search Window, cost mode:2, correlation kernel: 15×15, subpixel kernel: 41×41)



Satisfactory result (10/06/2017 and 15/06/2017 at 40°, MicMac®, GeomImage, multiscale correlation: 1, size of correlation window: 3×3, regularization factor: 0.05)



Cliff face reconstruction from UAV data (RICOCHET project, 26/06/2017)



FF reconstruit à partir des données drone (projet RICOCHET, 26/06/2017) et classement des reconstructions 3D à Varengueville-sur-Mer (Letortu et al., 2021)

- ✓ Densité de points sur le FF : 1,7 pt/m²
- ✓ Erreur de précision moyenne : 0,04 m (écart type de 1,72 m)

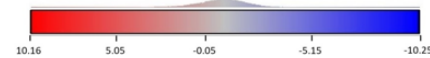
UAV 3D Reconstruction



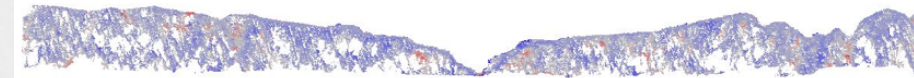
ASP®



Relative distance (normals of the cliff face) from UAV 3D reconstruction (m)



MicMac®



06/07/2017(40°)(Pléiades® CNES 2017)



Distance relative des normales au FF (m) à Varengueville entre les reconstruction 3D à partir de Pléiades et du drone (Letortu et al., 2021)

- ✓ Seuil de détection des éboulements en comparaison multisource (données satellite et TLS): > 100 m³ (69 %)

1- Projet CNES EROFALITT (2016-2020) : évaluation du potentiel

Verrous identifiés (pour la généralisation de cette approche, techniques) :



Dépendance de la restitution 3D aux paramètres environnementaux (orientation du front de falaise, couleurs, texture...)

Peu de travaux / outils logiciels adaptés à l'imagerie oblique

Besoin de travailler sur des sites exposés à des forçages météo-marins différents → rôle des facteurs environnementaux dans l'érosion

Gros volumes de données → nécessité de semi-automatisation (apprentissage profond) à adapter sur des images obliques

→ Augmenter la diversité des sites

→ Améliorer le protocole de traitement

2. Projet CNES HIRACLES (2021-2025) : vers un traitement accessible

Comment généraliser l'utilisation de l'imagerie satellite THRS et multiangulaire (Pléiades) afin d'améliorer le suivi et la compréhension du fonctionnement de l'érosion des falaises ?

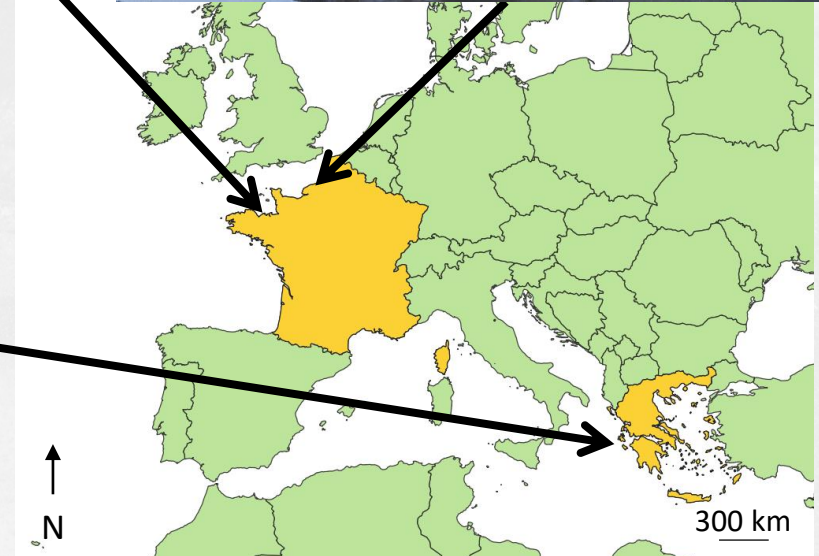
Pléneuf-Val-André (Bretagne)



Varengville-sur-Mer (Normandie)



Porto Vromi (Grèce)



Sites étudiés dans HIRACLES

2. Projet CNES HIRACLES (2021-2025) : vers un traitement accessible

Combinaison d'approches classiques et des volets innovants :

Approche classique : sommet de falaise

suiti diachronique sous SIG
(exploitation d'archives)



vitesse annuelles d'érosion

Approche innovante : front de falaise

détection semi-automatique
des éboulements par
apprentissage profond



**reconstruction 3D par
stéréorestitution** efficace pour
une cartographie fine et en
temps réel de l'érosion

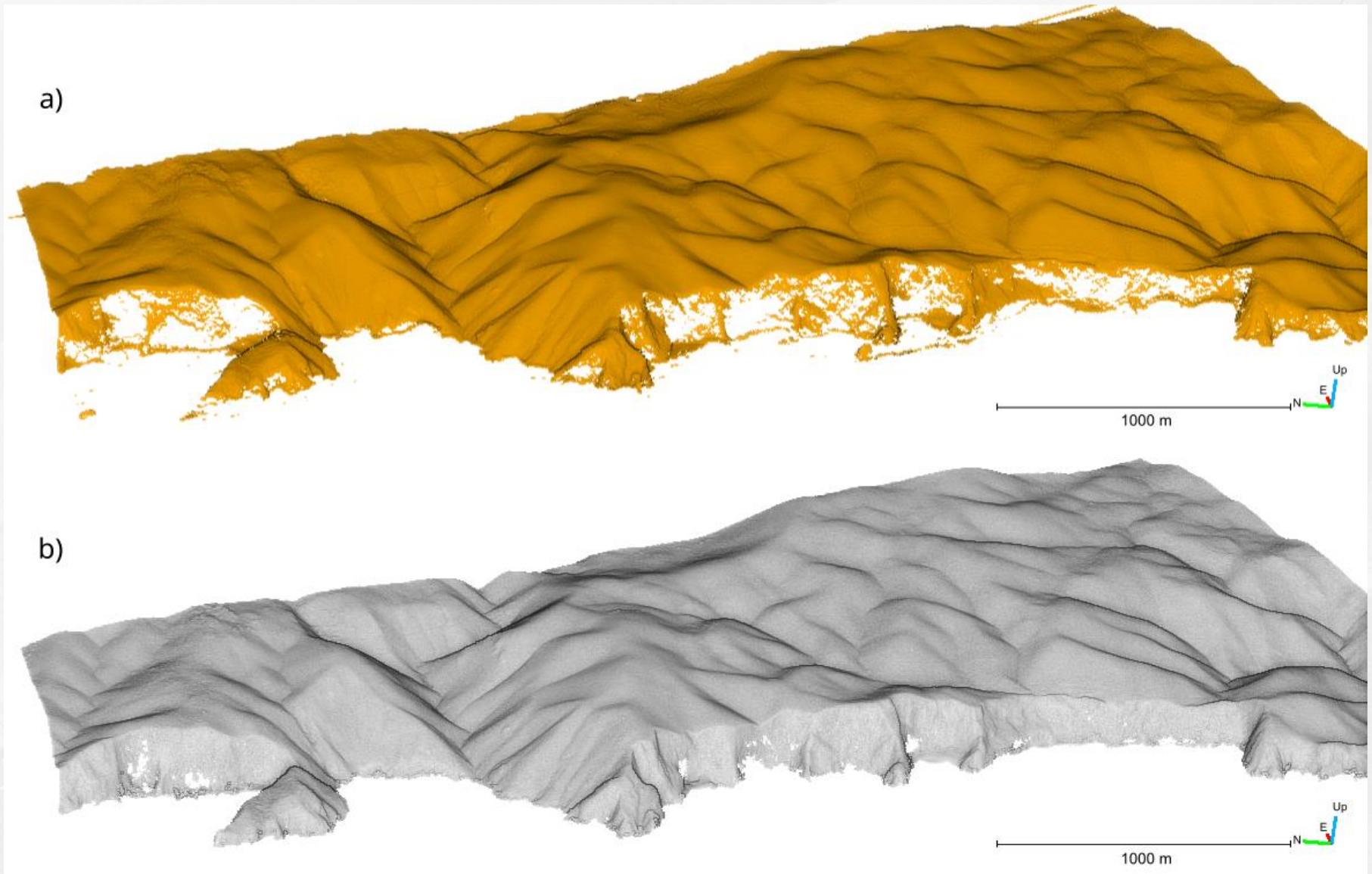
vitesse, rythmes et modalités d'érosion -> analyse pour
expliquer les différences obtenues entre les sites



« boîte à outils » méthodologique à destination des élus
et des gestionnaires afin d'intégrer durablement le jeu de
données d'imagerie spatiale

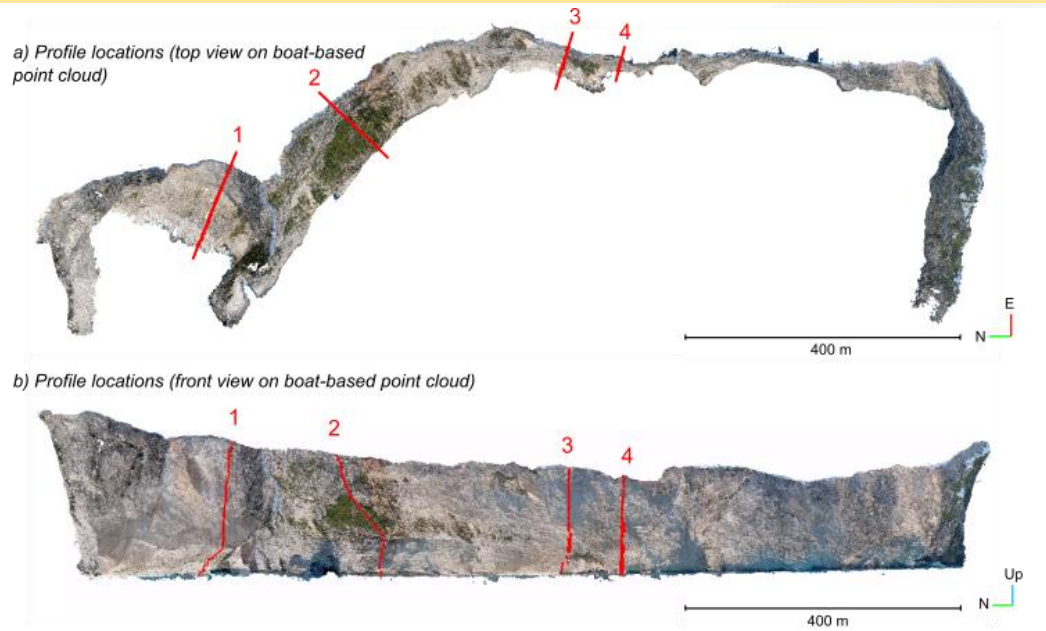
2. Projet CNES HIRACLES (2021-2025) : vers un traitement accessible

Reconstruction 3D par stéréorestitution (d'après Lastilla et al., 2020)



Comparaison a) MicMac et b) Metashape à partir d'images Pléiades du 17 juin 2022 à Porto Vromi (Z. Bessin)¹¹

2. Projet CNES HIRACLES (2021-2025) : vers un traitement accessible



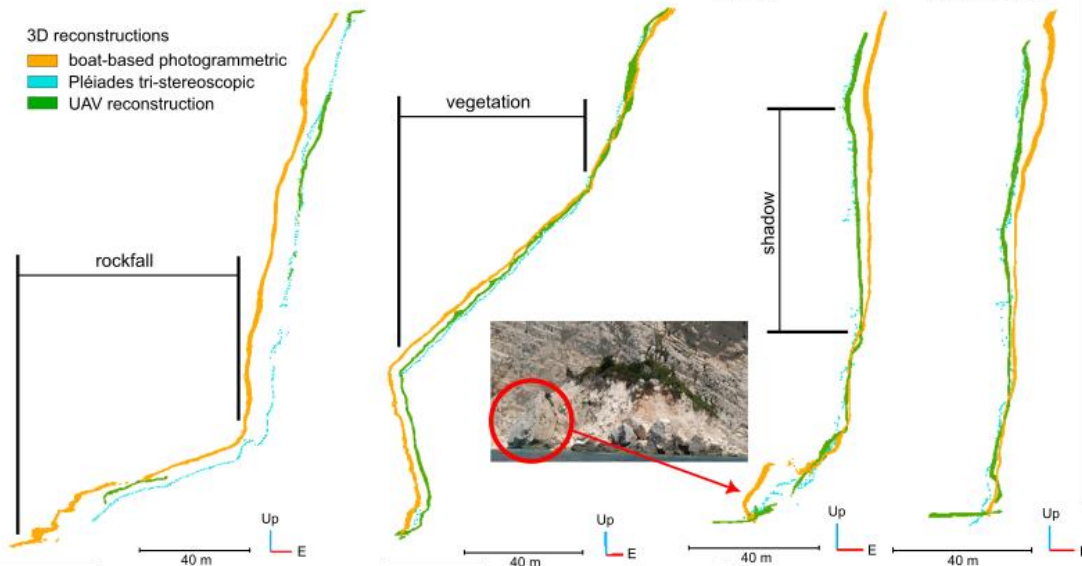
1. rockfall at the cliff foot

2. variation of slope and vegetation

3. vertical cliff face with shadow

4. vertical cliff face without shadow

3D reconstructions
boat-based photogrammetric
Pléiades tri-stereoscopic
UAV reconstruction



Cohérence de la reconstruction 3D du FF à partir des images Pléiades sous Metashape par rapport aux données de photogrammétrie issues d'un drone et d'un smartphone depuis un bateau (Bessin et al., accepté)

2. Projet CNES HIRACLES (2021-2025) : vers un traitement accessible

	Pléiades tri-stereo	Photogrammétrie drone	Photogrammétrie smartphone depuis un bateau
Couverture spatiale	Très large (~ 100 km)	Faible à moyenne (~ 1 km)	Large (~ 10 km)
Sensibilité au temps	Nuages	Fort vent et pluie	Conditions d'agitation marine et pluie
Durée du levé	Quelques secondes	39 min (28 min pour 1 km)	90 min (8 min pour 1 km)
Flexibilité de la géométrie d'acquisition	Limitée	Haute	Modérée
Flexibilité temporelle de l'acquisition	Limitée (dépendant de l'orbite)	Modérée (fonction des batteries)	Haute (fonction de la batterie)
Coût	Gratuit jusqu'à 5500 km ² pour les utilisateurs institutionnels + 0 personne sur le terrain + 500 € de licence éducation Metashape	~ 8 500 € (coût du système RTK) + 2 personnes sur le terrain + 500 € de licence éducation Metashape	~ 150 € (pour 1h de bateau avec pilote et le coût du téléphone) + 1 personne sur le terrain + 500 € de licence éducation Metashape
Temps de post-traitement	~ 2h pour 5 zones	~ 1-2h pour chaque zone	~ 1-2h pour chaque zone
Distorsion	Limitée	Limitée en RTK	~ 2 m pour 100 m de trait de côte
Occlusions	Surtout en pied de falaise	Quelques unes en pied de falaise	Aucune en pied de falaise
Précision de détection d'un éboulement	~ 2 m	< 1 m	< 1 m
Résolution moyenne	0,3 pt/m ² (~ 1 m)	14 pts/m ² (~ 10 cm)	22 pts/m ² (~ 10 cm)

Comparaison des trois méthodes de levé du FF (Bessin et al., accepté)

→ Adapté au besoin en données :

- ✓ à très haute résolution spatiale (< 1m)
- ✓ à temps de revisite court (1 j. à qq. mois)
- ✓ sur de vastes zones
- ✓ 3D du FF
- ✓ à bas coût
- ✓ **traitées correctement et rapidement**

Conclusion

- La restitution 3D du front de falaise par imagerie satellite oblique Pléiades a un fort potentiel (échelle de la cellule hydrosédimentaire, faible coût, acquisition rapide, temps de revisite court, résolution métrique, temps de traitement court...) et est complémentaire par rapport aux autres méthodes
- La diversité des sites d'étude permet de tester la transposabilité des méthodes et la représentativité des résultats
- Les projets interdisciplinaires permettent de développer des méthodes originales d'apprentissage automatique (entre autres) et de proposer des méthodes de suivi appliquées
- La discussion et le partage des données, des méthodes et des outils permettent une large diffusion scientifique, notamment auprès des élus et des gestionnaires