

Journées des préventeurs de l'enseignement supérieur
Le 30 novembre 2023

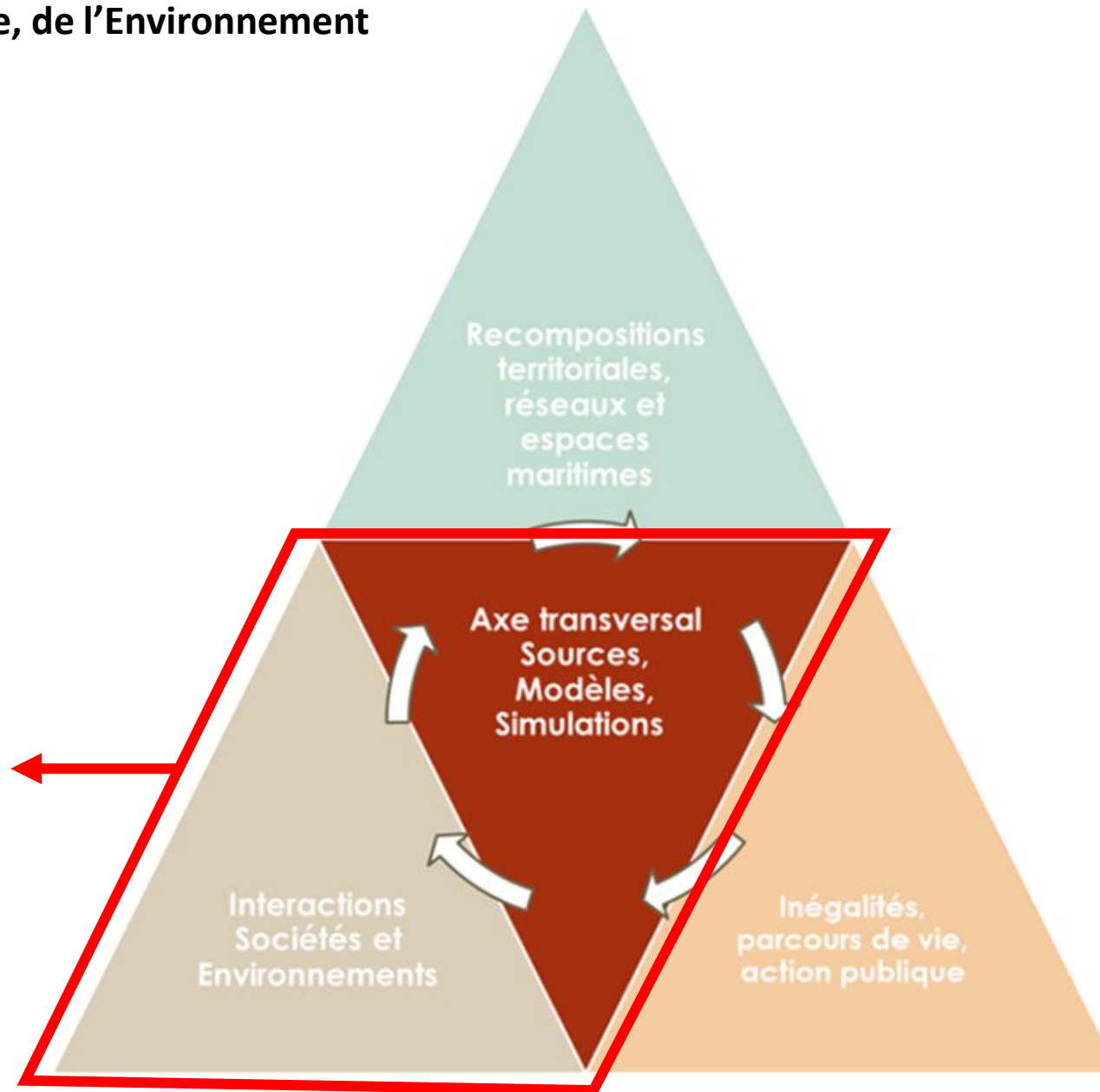
Les drones pour la recherche en géomorphologie

Exemples d'application à l'UMR CNRS 6266 IDEES

Olivier Maquaire, Mathieu Fressard, Bastien Sandberg, Robert Davidson
UMR 6266 CNRS IDEES

Identité et Différenciation de l'Espace, de l'Environnement
et des Sociétés

**Activité drone
du laboratoire**



ides



Problématiques de recherche

→ Questions de recherches fondamentales et réponses pour une aide à la décision : applications opérationnelles, gestion et prévention (cartographie du risque, ...).

Quels sont les rythmes et vitesses d'évolution des versants/falaises, plages sableuses et du trait de côte ?, la répartition spatiale et les volumes ?

Quelle est la part des mouvements particuliers et des mouvements de masse dans l'évolution ? transferts terre-mer, bilans et cascades sédimentaires, ...

Quels sont les impacts sur les habitats naturels (faune, flore et qualité des eaux, ...)

Quels sont les agents et les processus responsables de l'évolution de ces différents milieux ?

→ **Echelle spatiale vs échelle temporelle**

Problématiques de recherche

Quelles stratégies ? : sites expérimentaux, surveillance, ...

Méthodes et techniques de mesure de l'évolution des versants (marqueurs tels que points, lignes, surfaces) ou des MNT (volume 3D) :

→ **Combinaison de techniques** à disposition selon les progrès accomplis selon **capteurs statiques** ou **en mouvement** avec des résolutions et des précisions très différentes

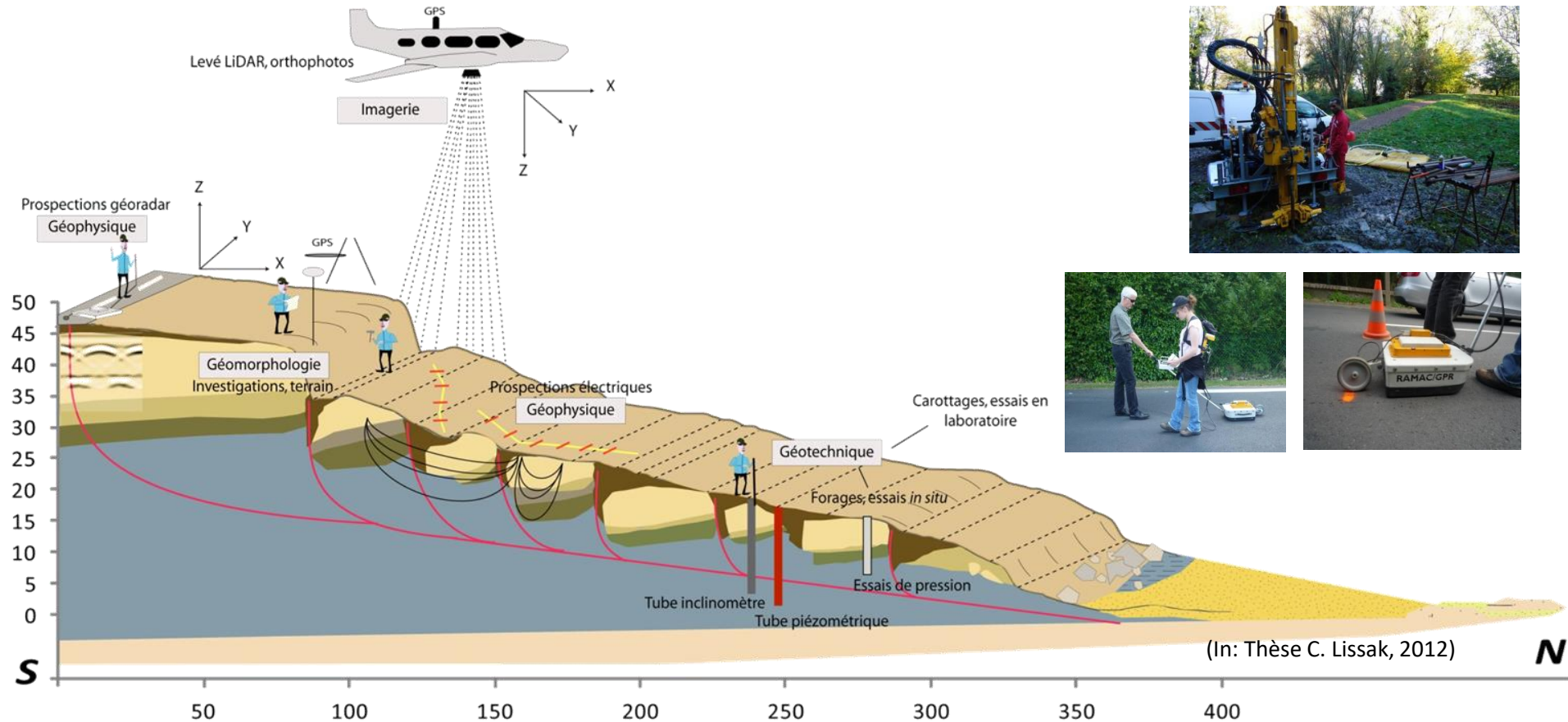
- Photo-interprétation (photographies aériennes verticales de l'IGN)
- Comparaison des feuilles cadastrales
- Imagerie Satellitaire
- Station totale (topométrie, tachéométrie)
- GNSS différentiel (bornes repères au sol)
- Scanner laser (Lidar) : aéroporté, terrestre (TLS), véhiculé (MLS = bateau, voiture)
- Photogrammétrie : terrestre (SfM), **Drone** (UAV = Unmanned Aerial Vehicle)



De l'intérêt de la complémentarité des techniques de mesures sur des sites expérimentaux (observatoires) = échelle locale

Problématiques de recherche

- Approche multidisciplinaire → Collaborations



→ Réseau d'observation (surveillance) continue à haute-fréquence multi-paramètres (surface et profondeur) et investigations géomorphologique, hydrologique et géophysique

Problématiques de recherche

Questions :

Techniques d'acquisition 3D alternatives « à bas coût »

- Leurs avantages / désavantages?
- Leur précision?
- Leur géoréférencement?
- Leur utilité?
- Leur comparaison avec autres méthodes?
- Leurs perspectives?

Problématiques de recherche

Questions :

Techniques d'acquisition 3D alternatives « à bas coût »

- Leurs avantages / désavantages?
- Leur précision?
- Leur géoréférencement?
- Leur utilité?
- Leur comparaison avec autres méthodes?
- Leurs perspectives?

**Révolution instrumentale et
méthodologique depuis quelques années**



Problématiques de recherche

Questions :

Techniques d'acquisition 3D alternatives « à bas coût »

- Leurs avantages / désavantages?
- Leur précision?
- Leur géoréférencement?
- Leur utilité?
- Leur comparaison avec autres méthodes?
- Leurs perspectives?

La place du drone dans la recherche va croissante en fonction des progrès dans **la plateforme** (cf. diapo supra) et dans la possibilité d'y adjoindre de **nouveaux capteurs** (du simple appareil photo (panchromatique ou infrarouge), à une caméra hyperspectrale, à un Lidar, ...)

→ Exemples d'applications dans différents milieux

Nota : Drone « pas forcément toujours très innovant », on fait la même chose qu'avec un lidar, les différentiels permettent de montrer des évolutions.

Quelles sont les mesures de prévention mises en œuvre ?

Mesures de prévention mises en œuvre

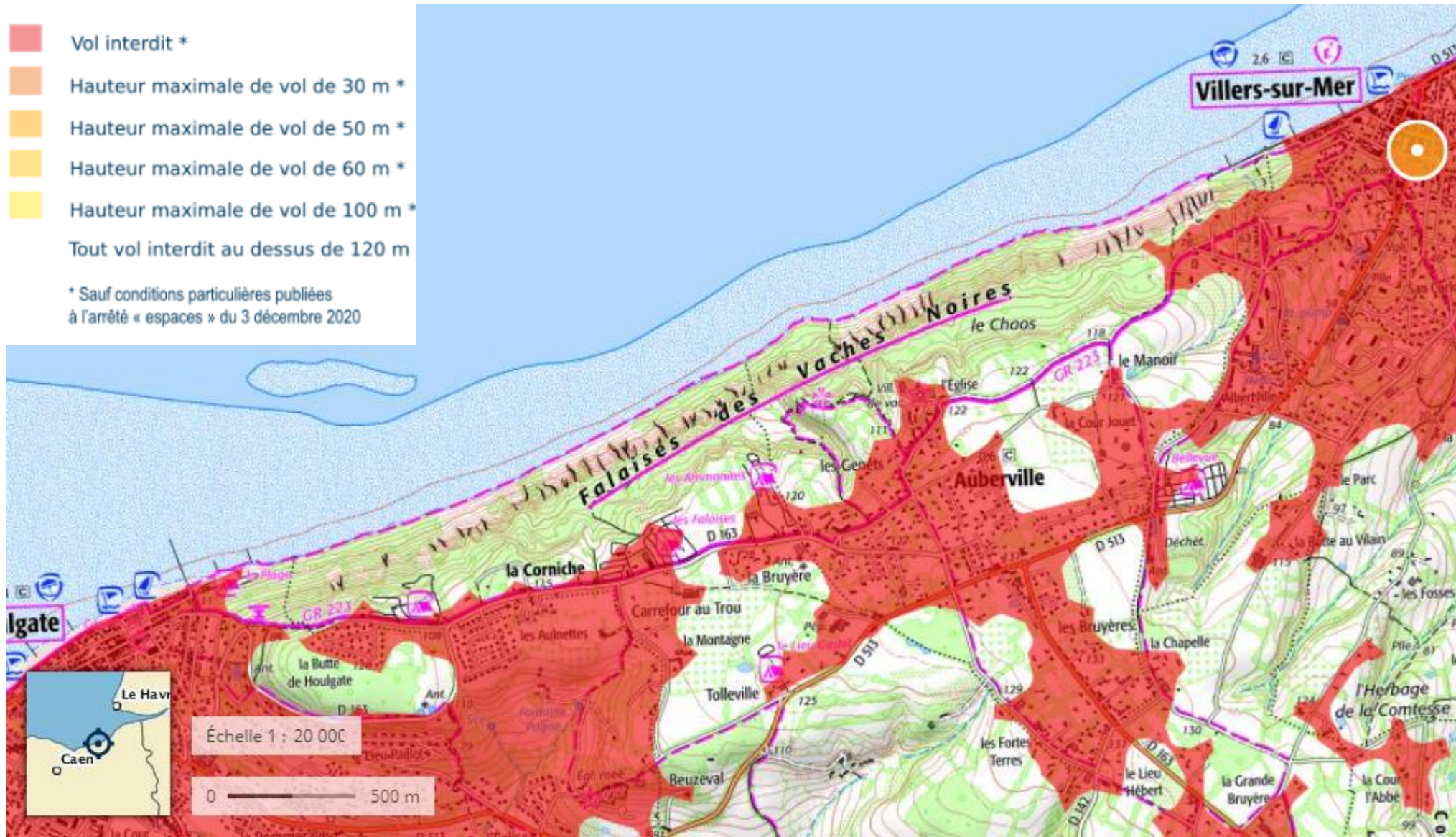
Respect de la législation lors de nos captations

Réalisation dans le cadre de programmes de recherche selon **deux modalités** :

- Captation par une équipe spécialiste des vols drone (Uni. de Lyon, Uni. de Brest, Crec Unicaen, Cerema-Rouen, ...), par un prestataire (Société Azur-Drones, ...) ayant la responsabilité et se chargeant de tous les aspects législatifs et des mesures de prévention à mettre en œuvre ;
- Captation par un membre de Geophen-Caen à partir d'un drone de loisirs.

Mesures de prévention mises en œuvre

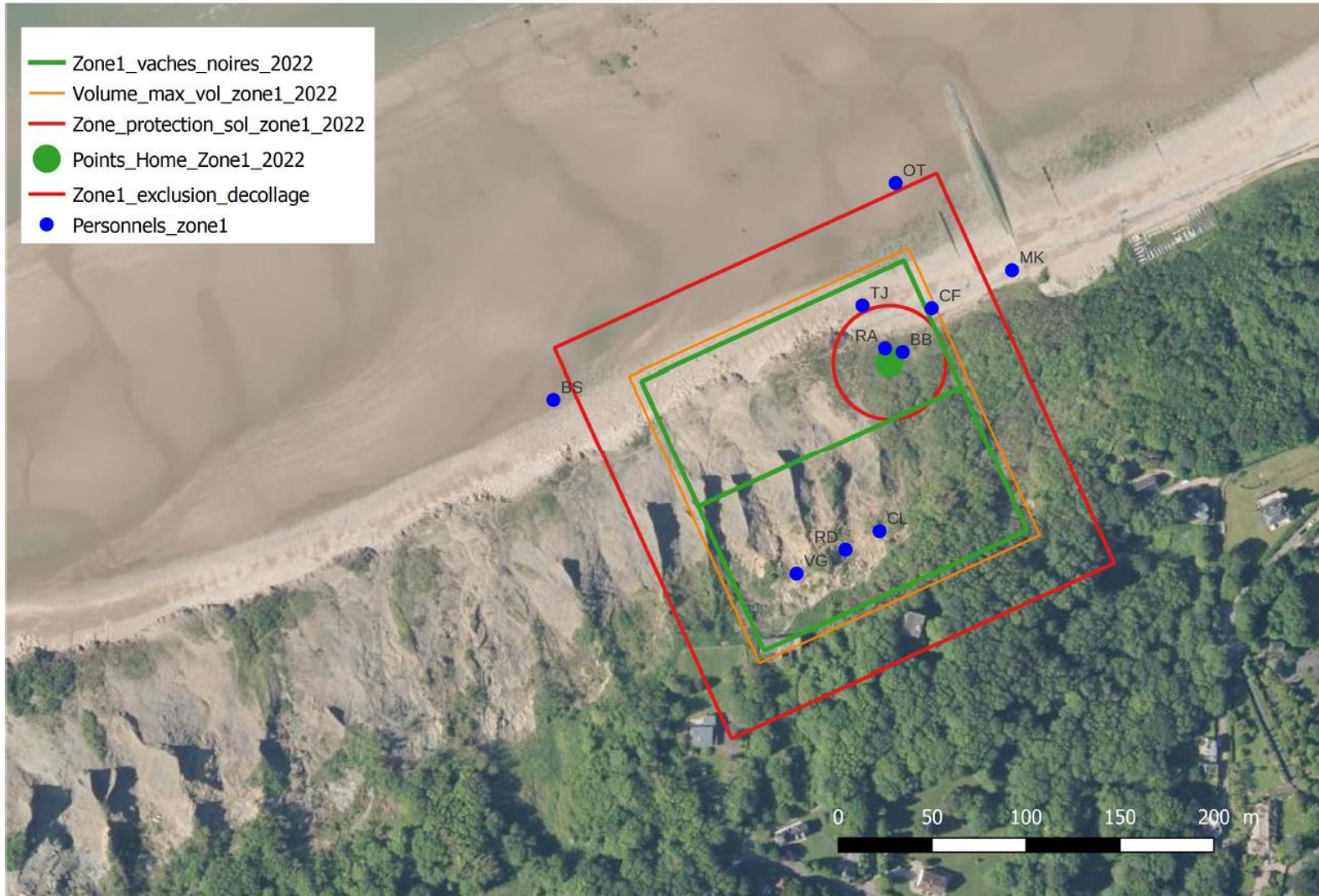
Carte des restrictions UAS catégorie Ouverte et aéromodélisme
Version mise à jour en juin 2023 – Donnée de mai 2023



Mesures de prévention mises en œuvre

Exemple des zonations de sécurité pour la réalisation d'un vol de drone (Source : Vol de drone CEREMA)

VILLERS SUR MER - falaises des Vaches Noires - Zone 1



Avec les noms des collègues, par exemple :

- BB : Bruno Beaucamp (Cerema) : Télépilote
- RA : Raphaël Antoine (Cerema) : Assistant
- BS : Bastien Sandberg (Unicaen)
- RD : Robert Davidson (Unicaen)
- CF : Cyrille Fauchard (Cerema)
- VG : Vincent Guilbert (Cerema)
- MK : Mohamed Kouah (Unicaen)
- etc

Mesures de prévention mises en œuvre



Ligne de plots + panneau
indicatif « vol drone en cours »
Collègue en position

Mesures de prévention mises en œuvre



Mesures de prévention mises en œuvre

Consignes lors d'un vol (extrait des consignes employées par le CEREMA)

Consignes d'urgences

Les situations d'urgence sont signalées par l'un des messages suivants de la part du télépilote et relayés par son assistant à l'ensemble des personnes en lien avec l'activité :

- « **PAN PAN PAN** » : Le télépilote rencontre une situation d'urgence et va tenter un atterrissage au plus vite, soit au point de décollage, soit sur tout autre point dans la zone de protection des tiers, à sa convenance.
- « **MAYDAY MAYDAY MAYDAY** » : Le télépilote rencontre une situation de détresse et va procéder à un atterrissage d'urgence par coupure des moteurs (crash forcé).

Procédures d'urgence / Actions du télépilote :

Les actions à mener en procédures d'urgence sont indiquées par ordre de priorité. Suivant la nature, la gravité et le lieu de l'incident, certaines mesures peuvent ne pas être applicables. Le télépilote saute l'option et envisage l'action suivante dans l'ordre des priorités.

- le télépilote informe l'assistant télépilote de la situation d'urgence (« **PAN PAN PAN** ») ;
- interruption de la mission de vol automatique (si applicable) et passage en pilotage manuel ;
- lâcher des manches de commande et passage en vol stationnaire ;
- déclenchement manuel du « Return To Home » ;
- atterrissage immédiat à la verticale de la position actuelle (atterrissage d'urgence contrôlé) ;
- atterrissage sur la zone dégagée la plus proche (atterrissage d'urgence contrôlé) ; –le télépilote informe l'assistant télépilote de la situation de détresse (« **MAYDAY MAYDAY MAYDAY** ») ;
- coupure des moteurs (atterrissage d'urgence par coupure moteur ou « crash » forcé) ;
- déclenchement du parachute si l'aéronef en est équipé.

Mesures de prévention mises en œuvre

Caractéristique du drone du laboratoire « DJI Air 2S »

(Extrait du site DJI)

Poids au décollage : 595 g

Temps de vol max (Temps de vol sans prise de photos ni retour de sécurité automatique) : 31 minutes

Système mondial de navigation par satellite : GPS + GLONASS + Galileo

Plage de précision du vol stationnaire **verticale** : $\pm 0,5$ m (avec systèmes de positionnement satellite)

Plage de précision du vol stationnaire **horizontale** : $\pm 1,5$ m (avec systèmes de positionnement satellite)

Le drone est enregistré, auprès de la Direction Générale de l'Aviation civile sur le site suivant : <https://alphantango.aviation-civile.gouv.fr/login.jsp>



Sécurité pour l'emploi de drone de loisirs

Usage d'un drone de loisir : les 10 commandements
(https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/regles_usage_drone_loisir.pdf)

Usage d'un drone de loisir



Assurer la sécurité des personnes et des autres aéronefs est de votre responsabilité

1 Je ne survole pas les personnes.

2 Je respecte les hauteurs maximales de vol.

3 Je ne perds jamais mon drone de vue et je ne l'utilise pas la nuit.

4 Je n'utilise pas mon drone au-dessus de l'espace public en agglomération.

5 Je n'utilise pas mon drone à proximité des aéroports.

6 Je ne survole pas de sites sensibles ou protégés.

7 Je respecte la vie privée des autres.

8 Je ne diffuse pas mes prises de vues sans l'accord des personnes concernées et je n'en fais pas une utilisation commerciale.

9 Je vérifie dans quelles conditions je suis assuré pour la pratique de cette activité.

10 En cas de doute, je me renseigne.

L'utilisation d'un drone dans des conditions d'utilisation non conformes aux règles édictées pour assurer la sécurité est passible d'un an d'emprisonnement et de 75 000 euros d'amende en vertu de l'article L. 6232-4 du code des transports.

Faire survoler par un drone une portion du territoire français en violation d'une interdiction de survol est passible de 45 000 euros d'amende, 1 an de prison, et de la confiscation du drone en vertu des articles L. 6232-12 et L. 6232-13 du code des transports.

Règles d'un bon usage d'un drone de loisir

Pour plus d'information rendez-vous sur le site de la direction générale de l'Aviation civile :

www.developpement-durable.gouv.fr/-Drones-aeronefs-telepilotes-.html

Mesures de prévention mises en œuvre

Mesures appliquées lors de la réalisation de vol avec le drone de loisirs par le laboratoire IDEES Geophen-Caen :

- ❑ Le **télépilote** doit **avoir** complété la « **Formation des télépilotes d'aéronefs civils circulant sans personne à bord utilisés à des fins de loisir** » (Formation disponible au lien suivant : <https://fox-alphatango.aviation-civile.gouv.fr/>) et encore être dans la période de validité (Durée de 5 ans). Il faut en **avoir une copie avec soit sur le terrain** en cas de contrôle des autorités
 - ❑ Un **minimum de 2 personnes** lors de la **réalisation de vol** (1 personne garde les yeux fixés sur le drone, 1 personne garde les yeux fixés sur l'écran pour réagir au plus vite en cas de message d'alerte ou de dysfonctionnement).
 - ❑ L'application d'une **distance de sécurité** (humain et matériel) de **4 mètres** de la **base de décollage** lorsque le drone est actifs
 - ❑ **TOUJOURS** garder le drone **visible à l'œil nu** (ne pas dépasser les 500 mètres de distance)
 - ❑ Ne **jamais** faire décoller le drone si des **personnes** sont présentes **sous la zone de vol**.
 - ❑ **Eviter** de faire **décoller** le drone lorsque des **oiseaux** sont **présent** en vol sur le site (ex : Mouette / Goéland)
 - ❑ Le **drone** doit être **programmé** pour se mettre en **vol stationnaire** en cas **d'interruptions courte** de la connexion et avoir le « **Home Return** » en cas de **déconnexion longue** (> 5sec).
- ➔ Stockage des batteries dans des sacs de sécurité pendant et entre les périodes d'utilisation du drone.

Mesures de prévention mises en œuvre

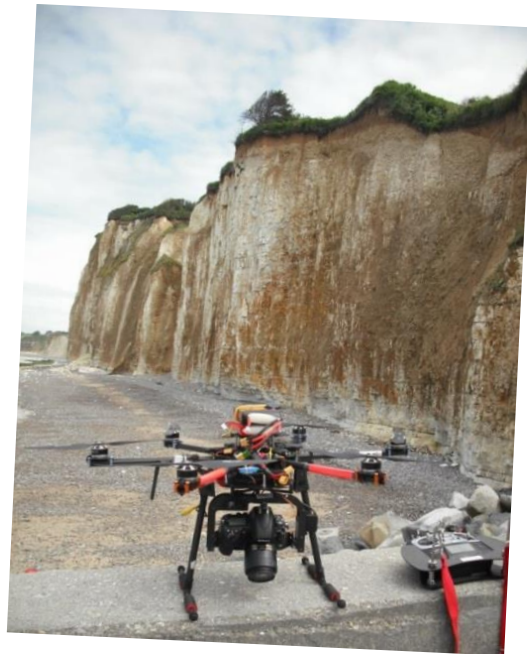
Quatre sections du plans de vol permettant de réaliser le suivi des Vaches Noires en **gardant le drone à moins de 500 m du télépilote.**

Image extrait du site internet / logiciel permettant la programmation du vol (Dronelink)



Quelques exemples d'utilisation des drones

❖ Quelles applications ?



Quelques exemples d'utilisation des drones

1. Suivi de l'évolution morphologique des falaises des vaches noires
2. Observation et mesure des vitesses d'érosion des sols viticoles (Beaujolais)
3. Optimisation des angles de prise de vue en photogrammétrie drone pour le suivi des falaises verticales (côte d'Albâtre, 76)
4. Suivi de l'impact de l'accident de Fukushima sur la structure de la végétation forestière
5. Archéologie : repérage de site d'habitation ancien Inuits
6. Numérisation de cavités souterraines

Suivi de l'évolution morphologique des falaises des vaches noires

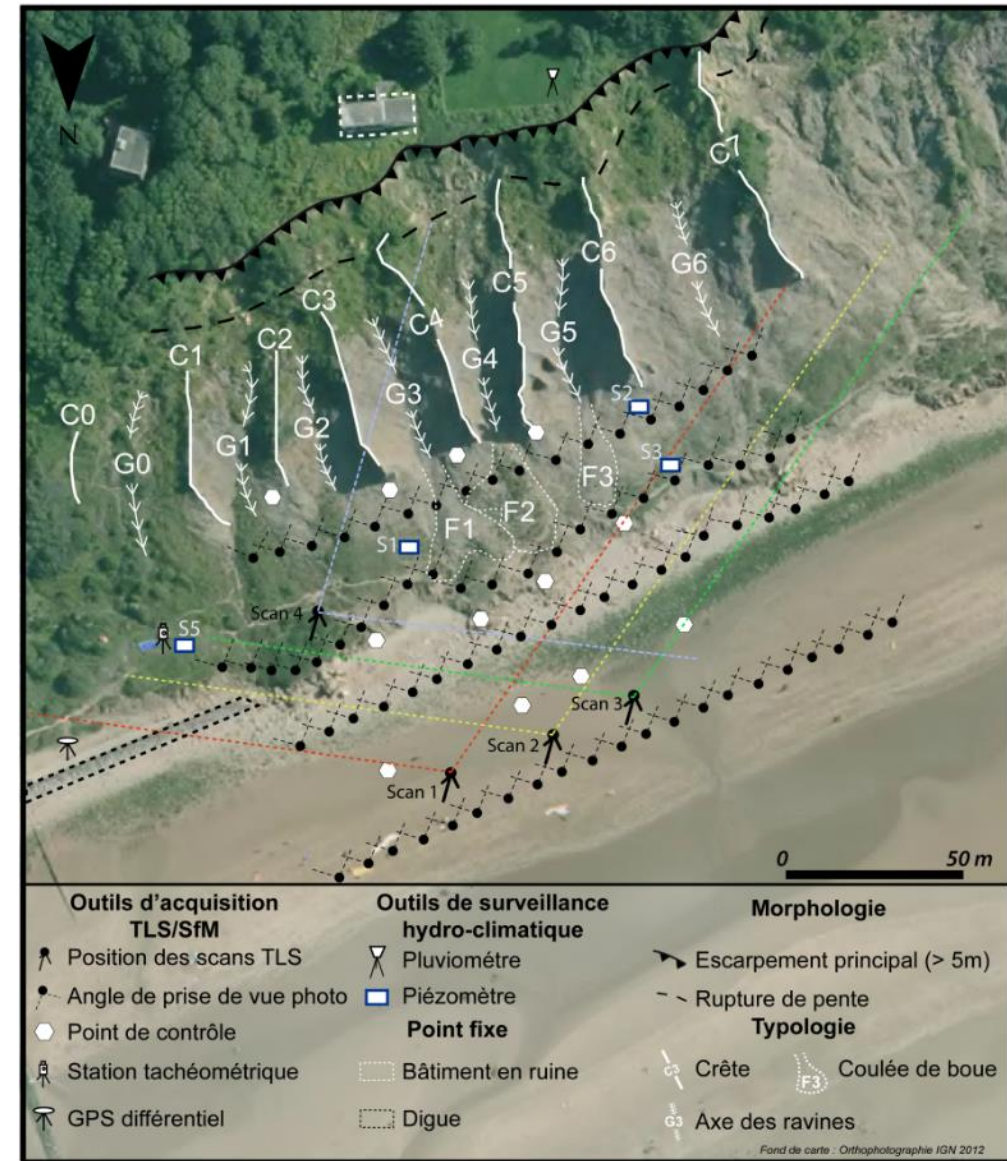
Observatoire SNO Dynalit : Vaches noires

- **Laboratoires** : IDEES-Caen, CEREMA Rouen
- **Morphologie** : Falaise vive
- Coulées boueuses
- Suivi depuis 2012



- ➔ Rythmes et modalités d'évolution de la falaise
- ➔ Formaliser les relais de processus qui amènent à l'instabilité
- ➔ Vitesse d'évolution

Utilisation d'une plateforme « Drone » en complément, en alternative ou en substitution d'autres techniques...



Plan d'implantation des méthodes d'acquisition TLS/SfM et de surveillance hydro-climatique

Suivi de l'évolution morphologique des falaises des vaches noires

Suivi par drones

➤ Suivi régulier depuis 2016 avec évolution du matériel



Surveycopter



DJI Phantom 3 and 4



Hexacopter DJI



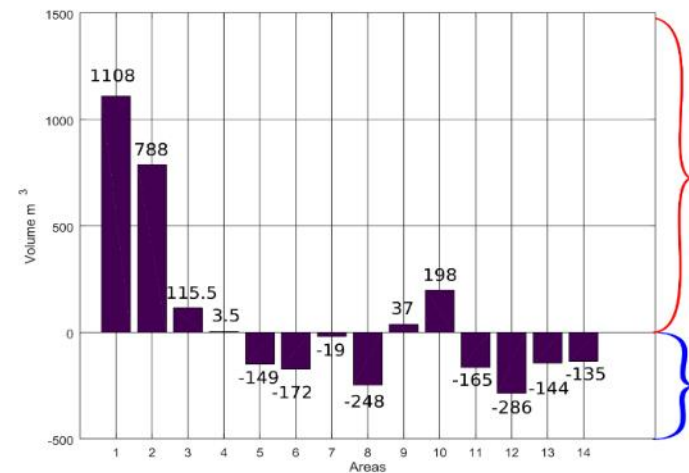
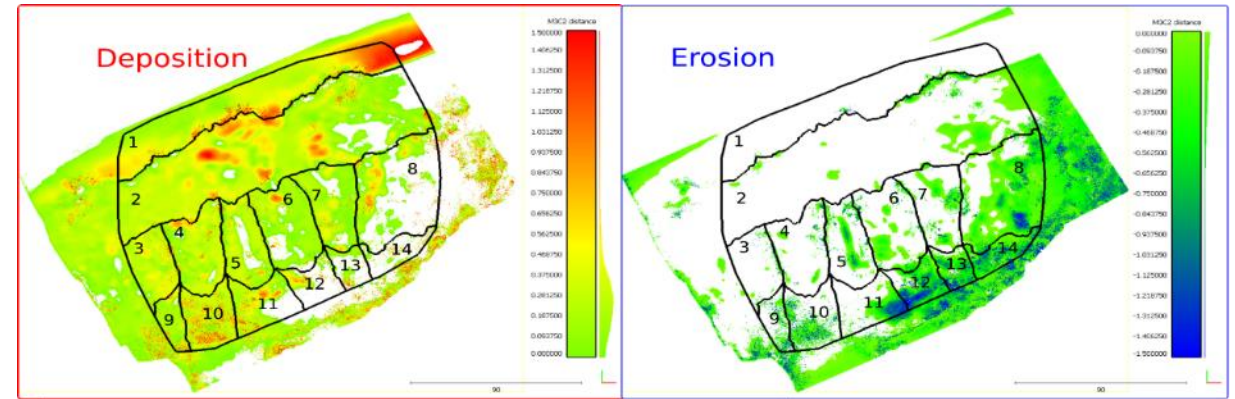
Flight parameters

Dates	UAV	Image size (Px)	Flight height (m)	Pixel size (cm)
18/04/2016	Surveycopter	4928*3264	150	~ 9
23/11/2016	DJI Phantom 3	4000*3000	110	~ 6.5
04/04/2017	DJI Phantom 3	4000*3000	110	~ 6.5
30/10/2017	Surveycopter	4928*3264	150	~ 9
22/02/2018	DJI Phantom 4	5472*3648	110	~ 3
24/05/2018	DJI Phantom 4	5472*3648	110	~ 3
27/09/2018	DJI Phantom 4	5472*3648	110	~ 3
24/01/2019	DJI Phantom 4	5472*3648	110	~ 3

Suivi de l'évolution morphologique des falaises des vaches noires



40 à 50 images par vol traités avec Metashape ou MicMac.
+/- 20 points de contrôle au sol. Plus de 20 millions de points par nuage



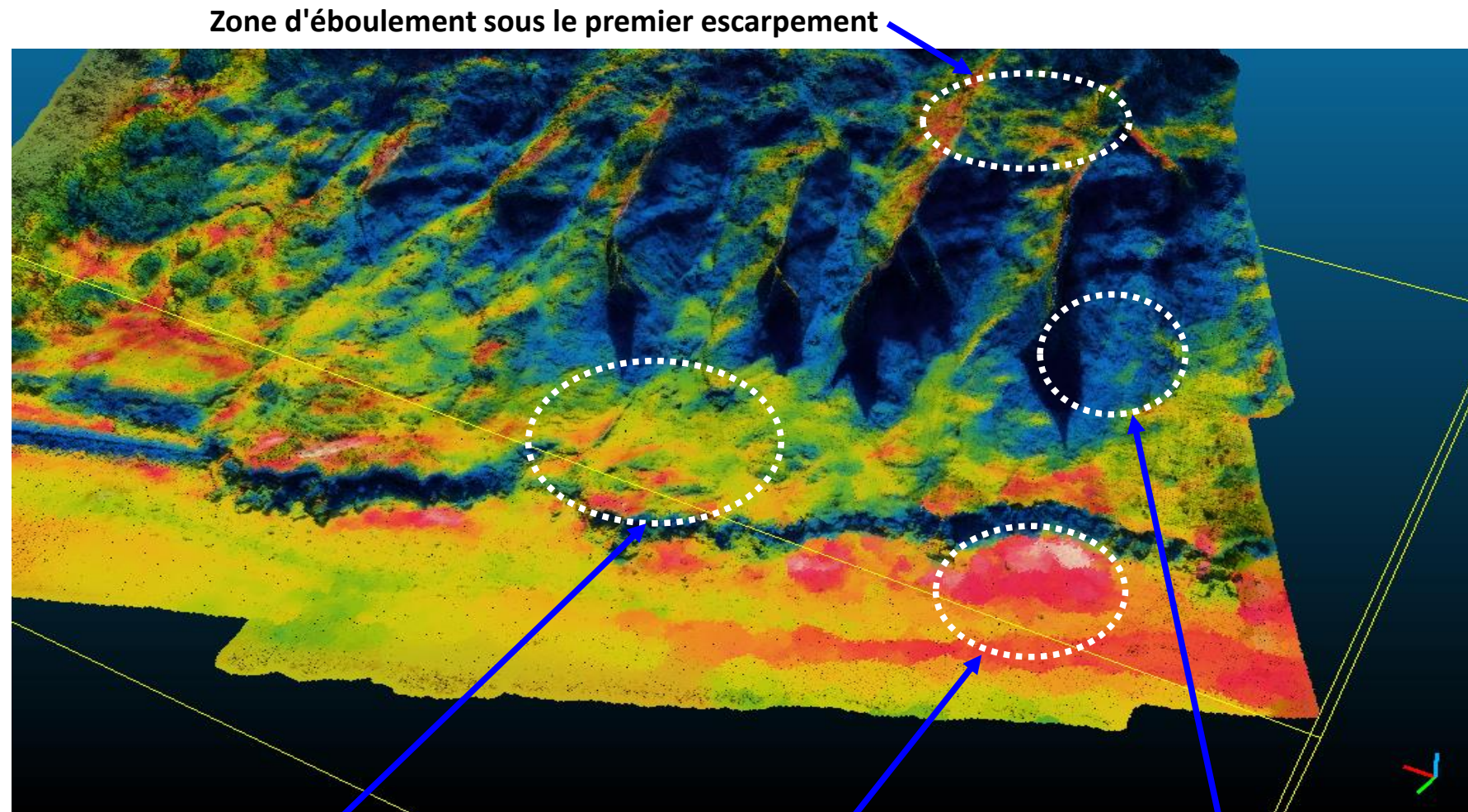
At cliffs toe, on the beach
At the end of the gullies

Top cliffs (rock slide) and gullies.
Locally at cliffs toe (tidal erosion)

Analyse par MNT différentiels (érosion/accumulation)

Suivi de l'évolution morphologique des falaises des vaches noires

- Photogrammetrie + IR Thermique : acquisitions pluriannuelles



 Cerema

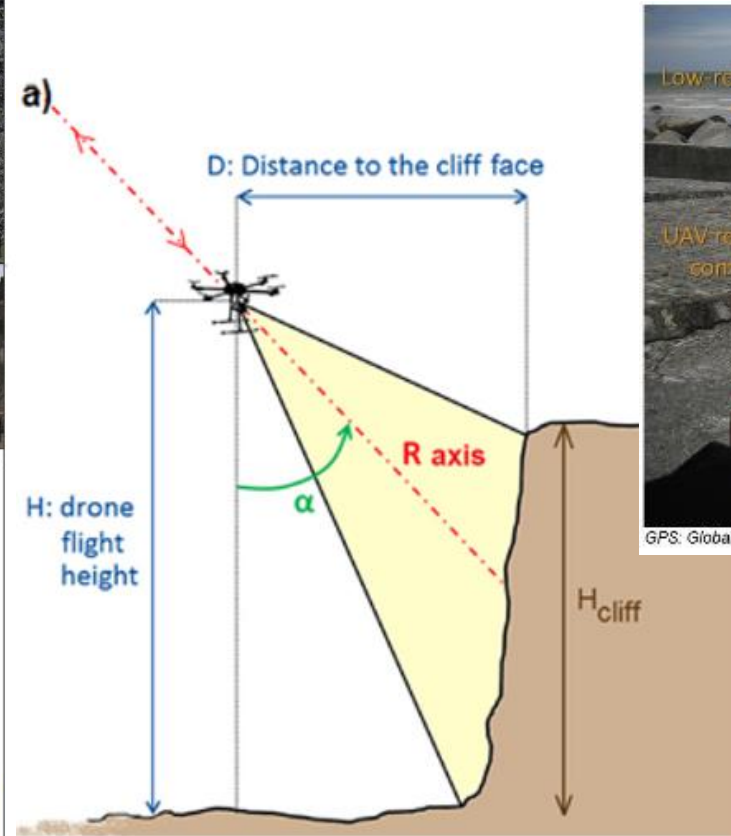
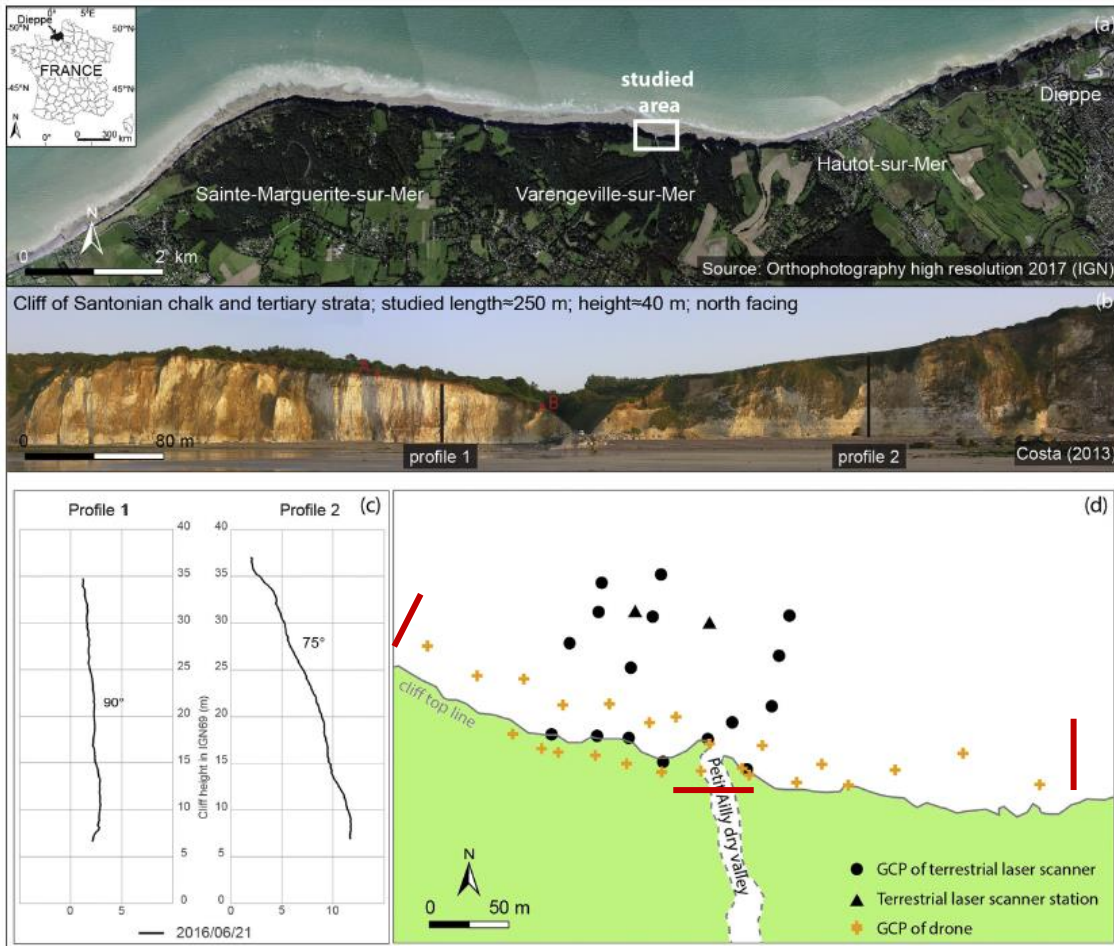
**Zone de coulées boueuses
(marnes, argiles, ...)**

Résurgence

Flanc marneux

In Fauchard et al., 2019

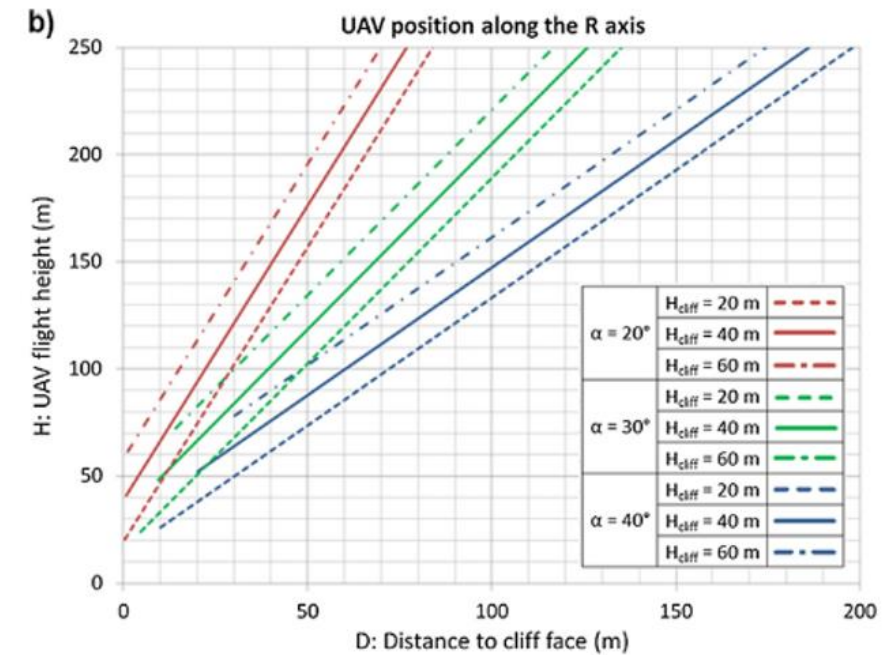
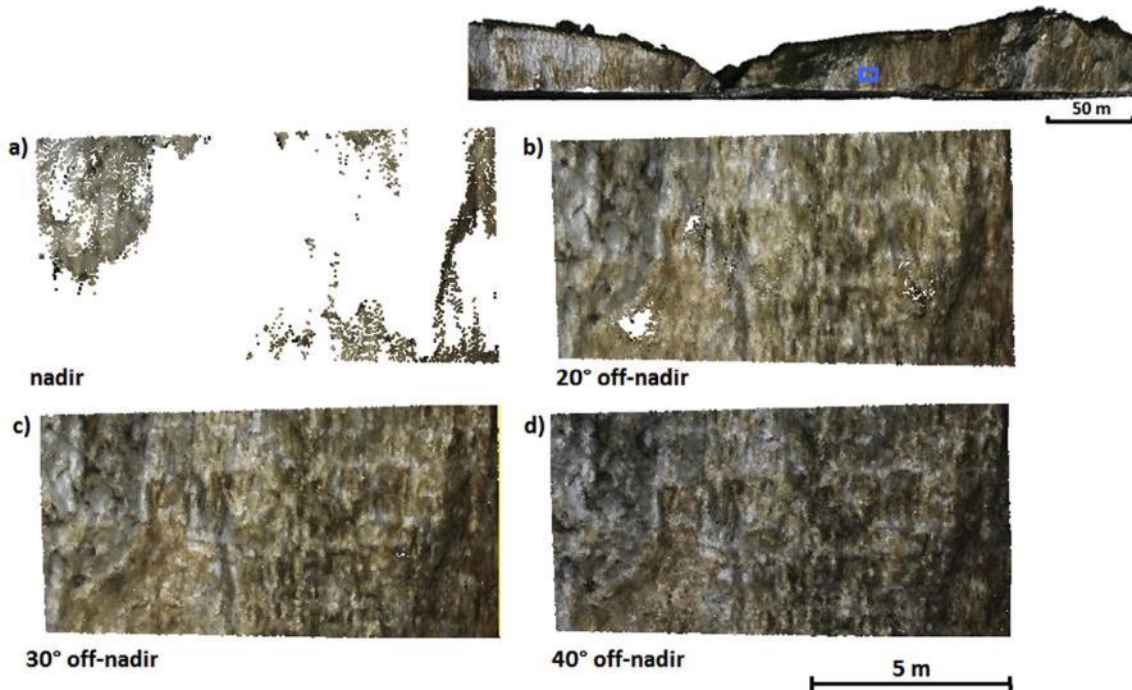
Optimisation des angles de prise de vue en photogrammétrie drone pour le suivi des falaises verticales (côte d'Albâtre, 76)



Optimisation de l'angle de prise de vue et de la distance à la falaise pour la reconstitution photogrammétrique

Utilisation de données TLS acquises au même moment pour comparaison et validation des résultats obtenus dans les différentes configurations

Optimisation des angles de prise de vue en photogrammétrie drone pour le suivi des falaises verticales (côte d'Albâtre, 76)



Measurement 139 (2019) 10–20

Des conseils avec abaques sont fournis pour la paramétrisation des relevés par UAV, visant à capturer l'ensemble du front de falaise avec un bon compromis entre la distance à la falaise, la hauteur de vol et la résolution spatiale des photographies.

➔ le meilleur compromis semble être autour de 20° avec une luminosité modérée et constante,



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)
Measurement
 journal homepage: www.elsevier.com/locate/measurement



UAV survey of a coastal cliff face – Selection of the best imaging angle

Marion Jaud ^{a,*}, Pauline Letortu ^b, Claire Théry ^b, Philippe Grandjean ^c, Stéphane Costa ^d, Olivier Maquaire ^d, Robert Davidson ^d, Nicolas Le Dantec ^{e,f}

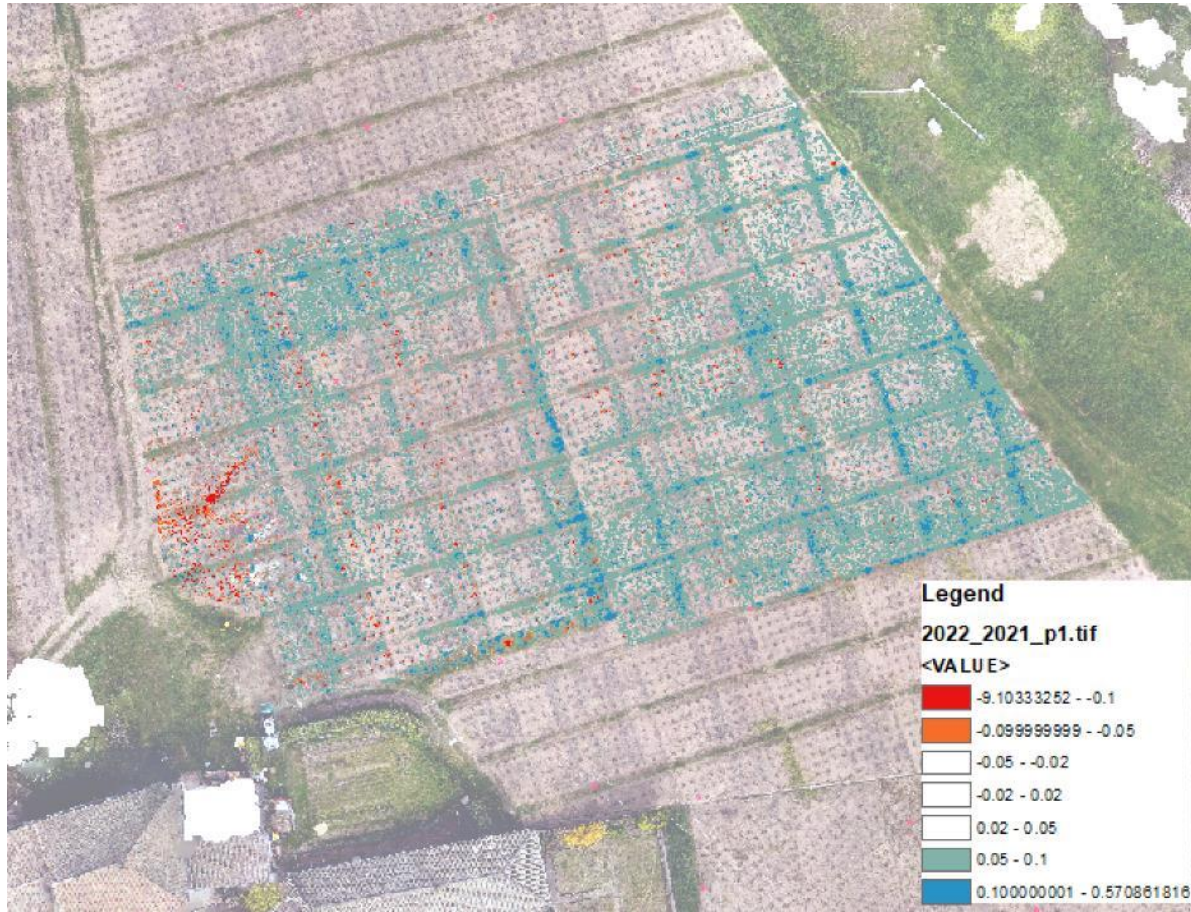
^a University of Bretagne Occidentale, IUEM, CNRS, UMS 3113, Technopôle Brest-Iroise, Rue Dumont d'Urville, Plouzané 29280, France
^b University of Bretagne Occidentale, IUEM, CNRS, UMR 6554 – LETG, Technopôle Brest-Iroise, rue Dumont d'Urville, Plouzané 29280, France
^c University of Lyon 1, CNRS, UMR 5276 – Laboratoire de Géologie de Lyon, 2 rue Raphaël Dubois, Bâtiment GEODE, Villeurbanne 69622, France
^d Normandie University, UNICAEN, CNRS, UMR 6554 – LETG, esplanade de la paix, Caen 14000, France
^e Cerema, Direction Eau Mer et Fleuves, 134 Rue de Beauvais, 60280 Margny-lès-Compiègne, France
^f University of Bretagne Occidentale, IUEM, CNRS, UMR 6538 – Géosciences Océan, Technopôle Brest-Iroise, Rue Dumont d'Urville, Plouzané 29280, France



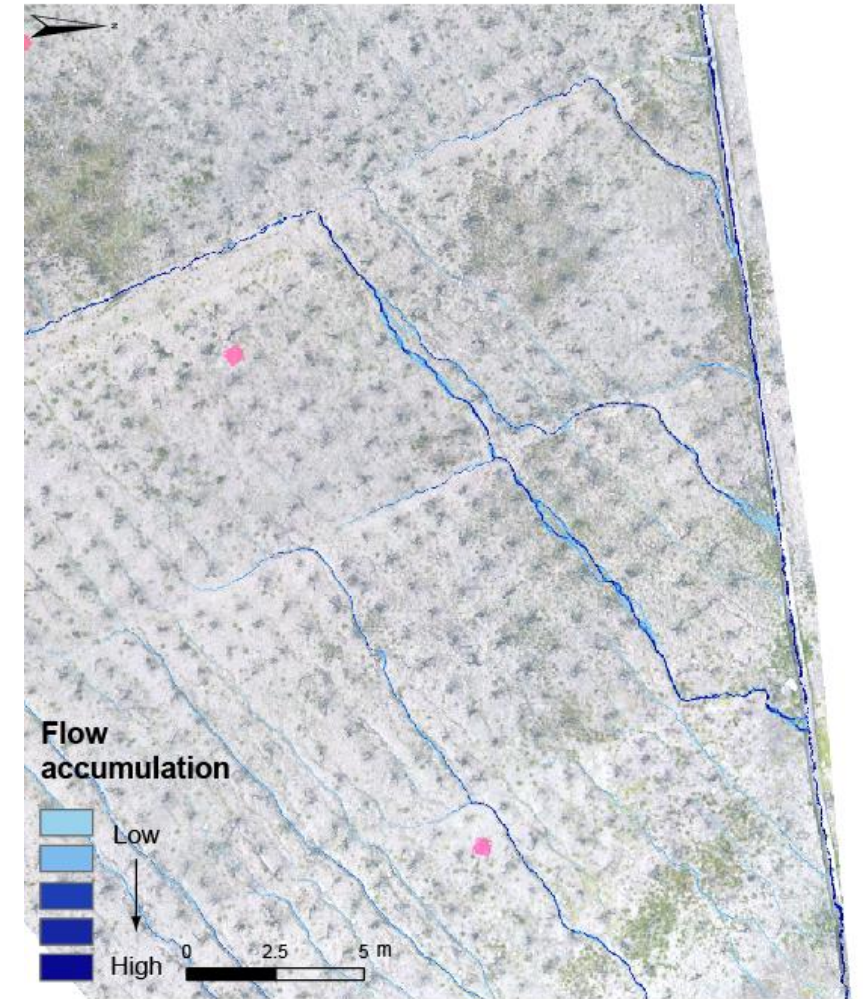
Quantification des vitesses d'érosion des sols en contexte viticole



Quantification des vitesses d'érosion des sols en contexte viticole



Suivi de l'érosion des sols difficile (précision)



Cartographie des chemins d'écoulement et effet de l'abandon des systèmes de drainage sur l'érosion des sols

Suivi de l'impact de l'accident de Fukushima sur la structure de la végétation forestière


L'étude des profils de végétation est importante pour une meilleure compréhension des processus physiologiques dans les systèmes forestiers et pour l'étude de l'interception et des transferts de césium

Objectif : Changement de la structure de la végétation suite à la contamination au Césium?



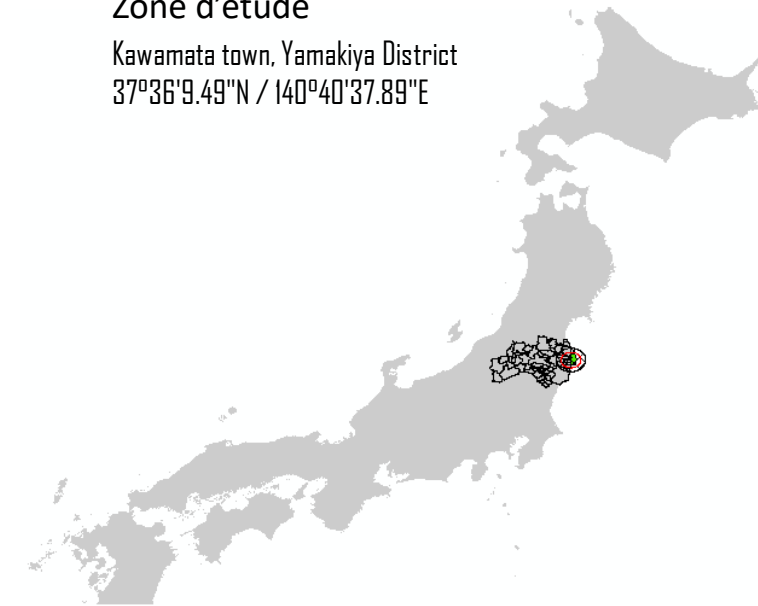
-  Nuclear power plant
-  Alert 20km
-  Alert 30km
-  Fukushima prefecture (municipality)
-  Study area

0 225 450 km

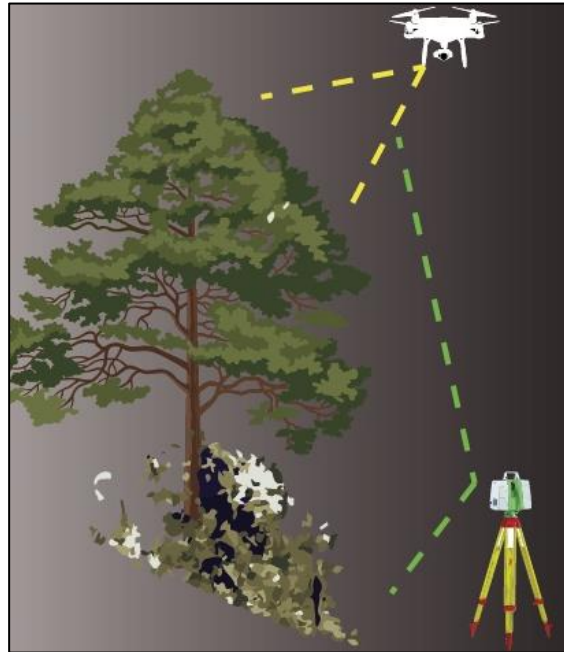


Zone d'étude

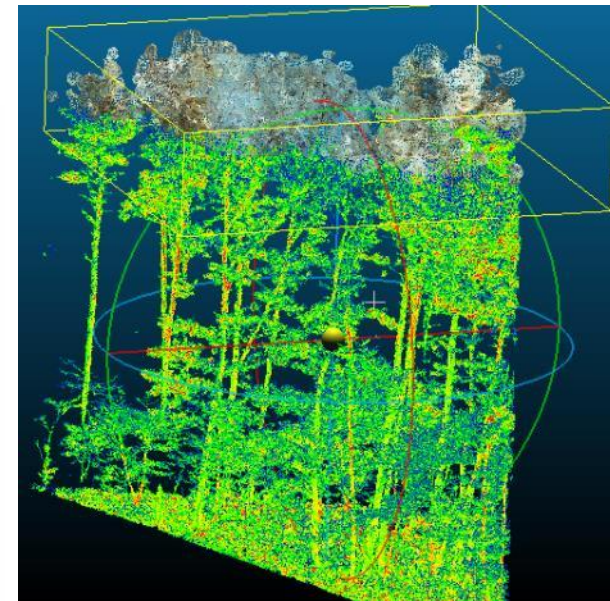
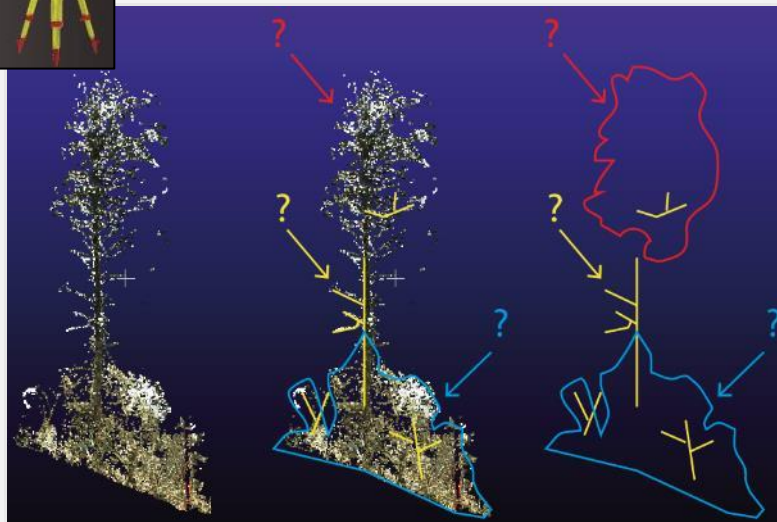
Kawamata town, Yamakiya District
37°36'9.49"N / 140°40'37.89"E



Suivi de l'impact de l'accident de Fukushima sur la structure de la végétation forestière



Nuage de points (TLS + UAV)



Archéologie : repérage de site d'habitation ancien Inuits

Remote Sensing of Environment 243 (2020) 111780

Contents lists available at ScienceDirect

Remote Sensing of Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rse

ELSEVIER

Can UAVs fill the gap between in situ surveys and satellites for habitat mapping?

Emilien Alvarez-Vanhard^{a,c,*}, Thomas Houet^{a,c}, Cendrine Mony^{b,c}, Lucie Lecoq^{b,c}, Thomas Corpetti^a

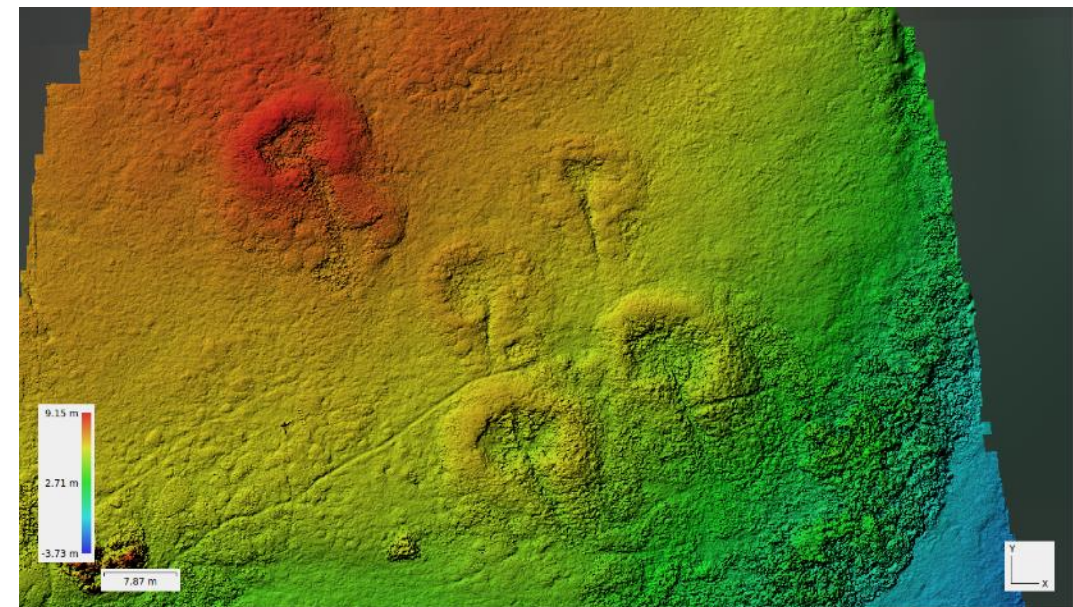
^a CNRS UMR 6554 LETG, Université Rennes 2, Place du recteur Henri le Mout, 35000 Rennes, France
^b CNRS UMR 6553 ECOBIO, Université Rennes 1, Avenue Général Leclerc, 35000 Rennes, France
^c LTSER site "ZA Armorique", France

Check for updates

DJI Phantom4 Pro + DJI Mavic2 Pro



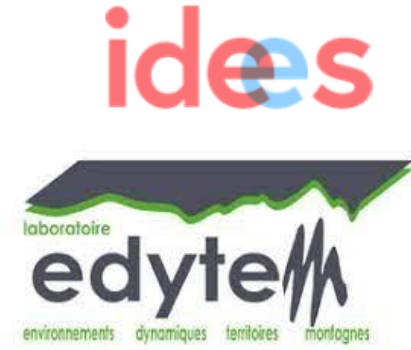
ides



Oakes Bay, Canada, juillet 2022, A. Couillet (675 clichés)

Numérisation de cavités souterraines

Cavités habitées : archéologie
Cavités Karstiques



Evolution / Acquisition future de matériel de mesure (LIDAR)



Drone Lidar



ZEB Horizon



Pour le drone en général :

Limitations / inconvénients/contraintes :

Limites règlementaires selon évolution de la législation, sécurité, restriction (zones aménagées),
Météorologie (vent, luminosité, contraste, ...),
Signal GNSS dégradé dans topographie escarpée,
Si SfM, problème avec la végétation (bien adaptée aux estrans sableux, falaises, verticales, ...)
Investissement ++

Avantages :

Bon rapport coût/résultat (selon les capteurs embarqués)
Précision vs résolution (mais dépend si SfM avec ou sans points de contrôle)
Facilité de mobilisation, temps de réaction par rapport à un événement (ex tempête)
Passages récurrents (évolution diachronique)
Maintenance peu coûteuse
Possibilité d'emporter des **capteurs performants** (caméra hyper spectrale, lidar, ...) avec production des données d'entrée à nos modélisations numériques spatialisés pour la compréhension du fonctionnement de ces milieux (→ champ des possibles élargi !)

Merci pour votre attention

