



# Mesures combinées d'imagerie de résistivité électrique et de photogrammétrie : étude des falaises des Vaches Noires

**Cyrille Fauchard<sup>1</sup>, Vincent Guilbert<sup>1</sup>, Raphaël Antoine<sup>1</sup>, Olivier Maquaire<sup>2</sup>, Stéphane Costa<sup>2</sup>, Thomas Roulland<sup>2</sup>, Robert Davidson<sup>2</sup>, Yannick Fargier<sup>1</sup>, Jean-Luc Sorin<sup>3</sup>**

*Présentation colloque SFPT, ENSG, 9 mars 2017  
dans le cadre du projet M<sup>2</sup>NUM (Insa Rouen)*

<sup>1</sup>Cerema Rouen, Normandie Université

<sup>2</sup>UMR 6554 CNRS, LETG-Caen Geophen, Normandie Université

<sup>3</sup>Ifsttar Nantes, LUNAM



# Contexte de l'étude

---

**Objectif** : contribuer à l'échelle locale à la compréhension des **phénomènes d'érosion et de mouvements de terrain** sur les falaises des Vaches Noires

1 – observations spatiales, domaine du **visible** et de l'**infrarouge thermique par drone** ;

2 – mesures géophysiques de **tomographies de résistivité électrique** (TRE) ;

3 – campagnes de mesures sur trois ans : au moins deux par ans.

**Intérêts d'un point de vue** :

- local : **communes** (Villers-sur-Mer, Auberville, Gonneville-sur-Mer, Houlgate)
- régional : Réseau d'Observation du Littoral Normand et Picard, projet **M<sup>2</sup>NUM**,
- national : **Service National d'Observation DYNALIT**, Vaches Noires = un des 26 sites

# Le site des falaises des Vaches Noires



Partie des falaises des Vaches Noires

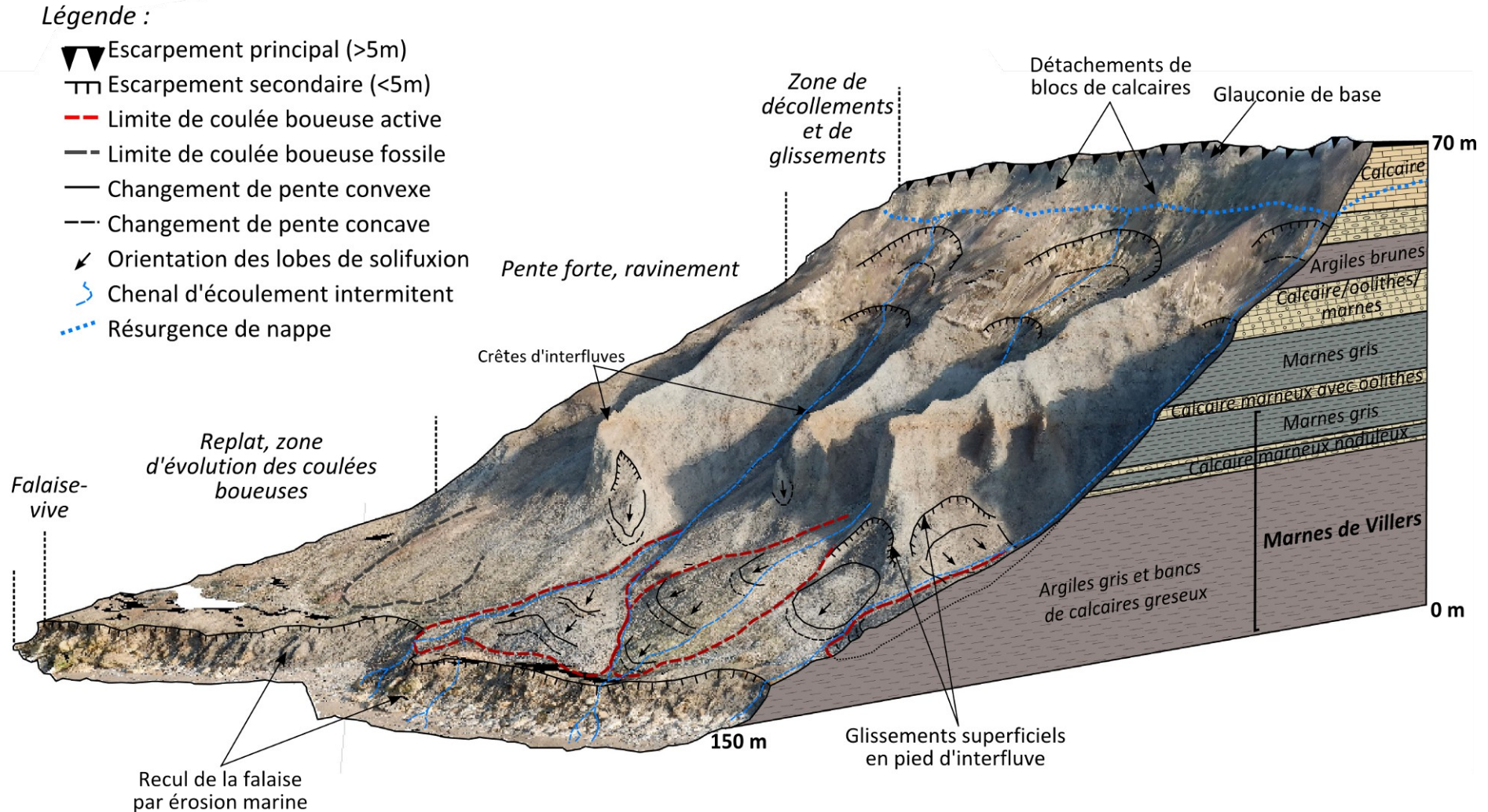
Ouest de Villers-sur-Mer (14)  
Zone SNO DYNALIT  
Environ 400 \* 300 m





# Géologie locale et mouvements de terrains

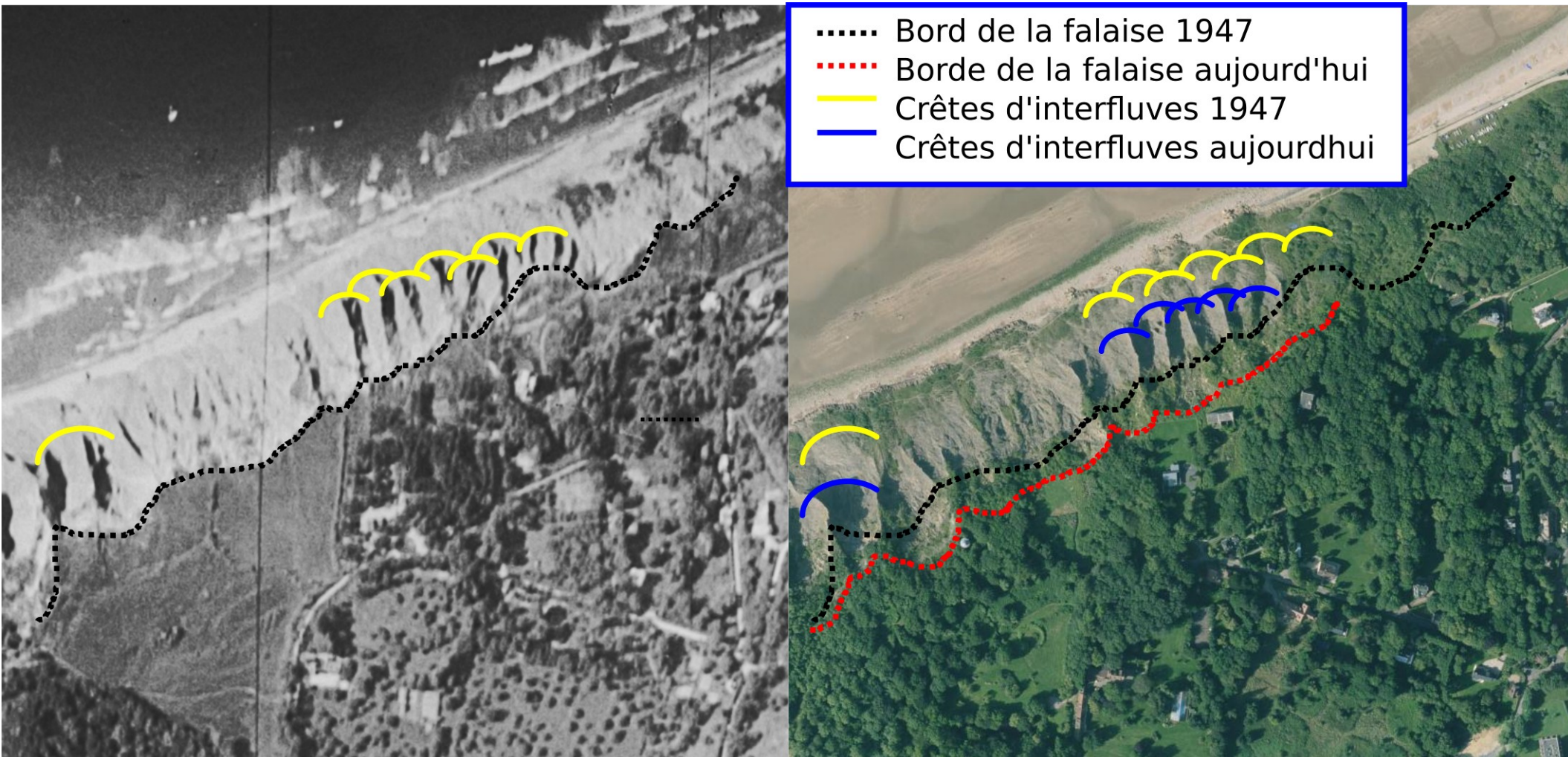
Escarpement principal : glissements rotationnels, basculements,  
 Escarpement secondaire : écroulements rocheux  
 Versant : coulées boueuses entre des pinacles (crêtes d'interfluve)





# Erosion : appréciation qualitative

Quinéjure, 1971 : 10 m en trois ans par endroits, jusqu'à 40 cm/jrs (bornes repères)  
Maquaire et al., 2012 : évolution du trait de côte de l'intégralité des Vaches Noires  
sur une période de 253 ans ~ environ 15 cm/an.





# Campagne de mesures 2015 et 2016

**Nov. 2015 : TRE pied falaise  
Coulée boueuse amont**



**1<sup>ère</sup> campagne en nov. 2015 :**  
- 2 profils TRE en pieds de falaises  
- TLS

**2<sup>ème</sup> campagne en avril 2016 :**  
- 5 en pieds de falaises  
- 2 en travers  
- relevés DGPS  
- TLS  
- drone visible et IR

**Nov. 2015 : TRE pied falaise  
Coulée boueuse chenal**



**Avril 2016 : TRE ravine Début de  
coulée boueuse chenal**



**Avril 2016 : TRE haut  
vers bas de falaise  
Entre interfluves**



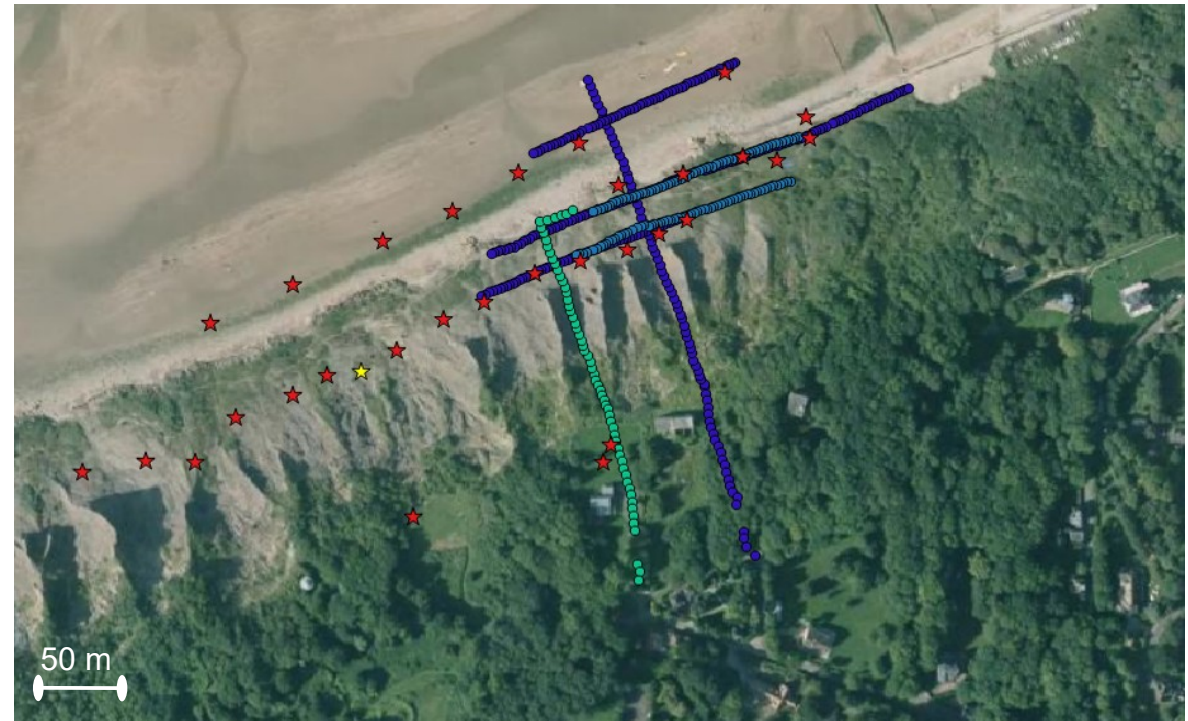


# Relevés au DGPS, implantation profils géophysiques

- DGPS Trimble 5800 (Contrôleur + récepteur) + GPS SX Blue – Geophen/Caen
- + 30 cibles au sol



★ Cibles GPS ●●● Profils TRE



- 7 profils TRE en 2016, env. 640 points d'électrodes
- $Dx=2$  à 4m, Wenner et Dipôle-Dipôle



# Mesures drone (avril 2016)



**Drone, Survey Copter**

**Autonomie 1h ;**

**M = 12 kg à vide ;**

**4,1 kg d'instrumentation,**

**IHM gestion du drone**

**et instrumentation embarquée**





# Mesures drone (novembre 2016)



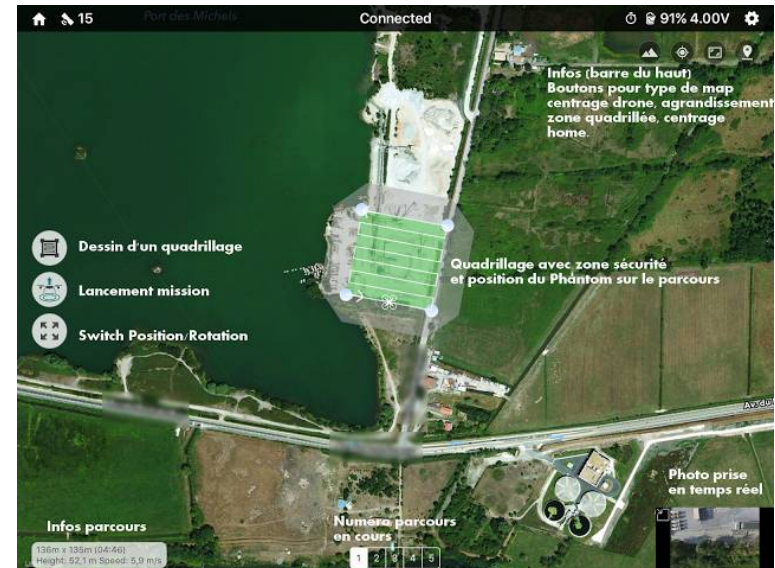
**Drone, DJI Phantom 3**

**Autonomie 20 mn ;**

**M = 1,2 kg à vide ;**

**~200 g d'instrumentation ;**

**IHM gestion du drone (Altizure).**



# Appareils utilisés

		Caractéristiques								Résolution			
		Taille Image (Px)	Angle (°)	f(mm)	d(m)	Lc (mm)	lc (mm)	Ls (m)	ls (m)	As (cm <sup>2</sup> )	Px/m <sup>2</sup>	Px/cm <sup>2</sup>	cm/Px
avr-16	Flir A230	320*240	45	9,66	190	8,14	5,43	160,14	106,76	170971565	4	0,0004	47
	Nikon D7000	4928*3264	45	28,00	190	23,60	15,70	160,14	106,54	170609337	943	0,0943	3
nov-16	Sony Exmor	4000*3000	94	3,85	110	6,16	4,62	176,00	132,00	232320000	517	0,0517	4

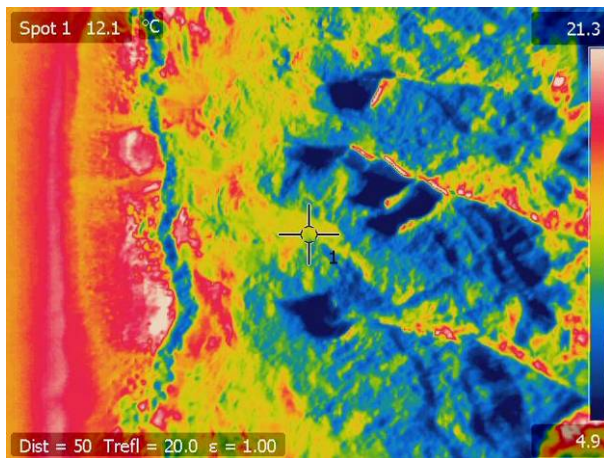
Flir A320, [www.flir.com](http://www.flir.com)



Nikon D7000, [www.nikon.fr](http://www.nikon.fr)



Sony Exmor, [www.dji.fr](http://www.dji.fr)

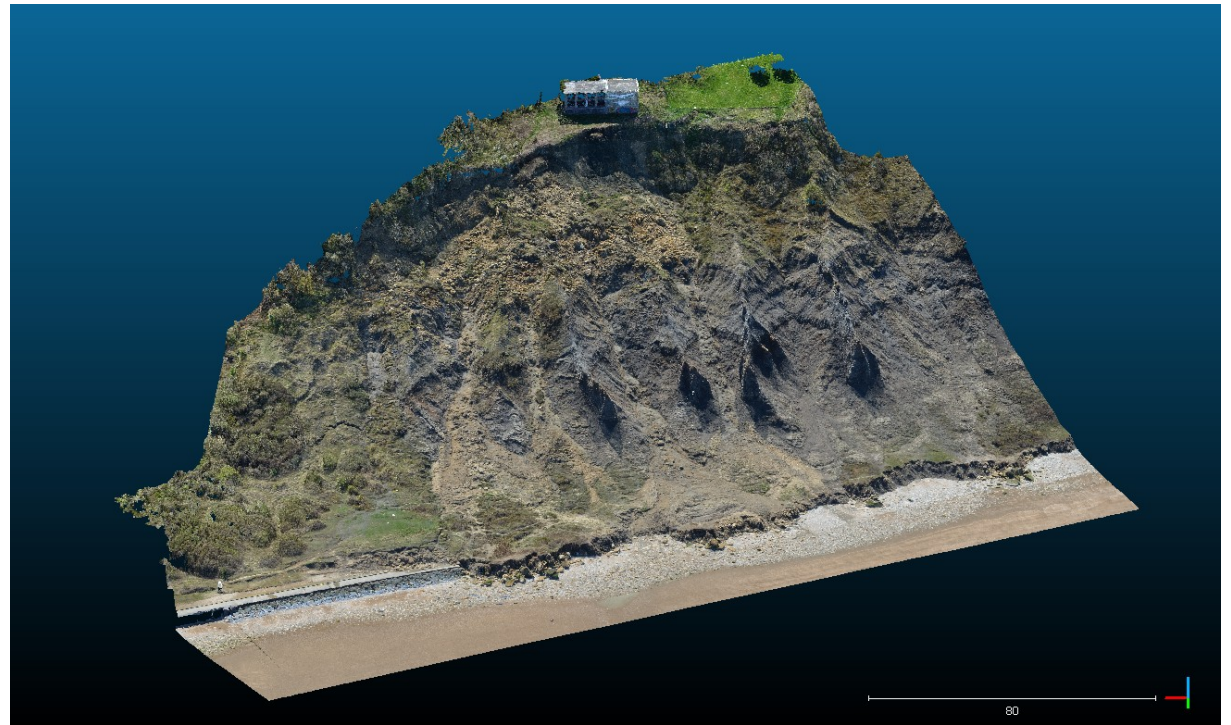




# MNT photogrammétrique, avril 2016

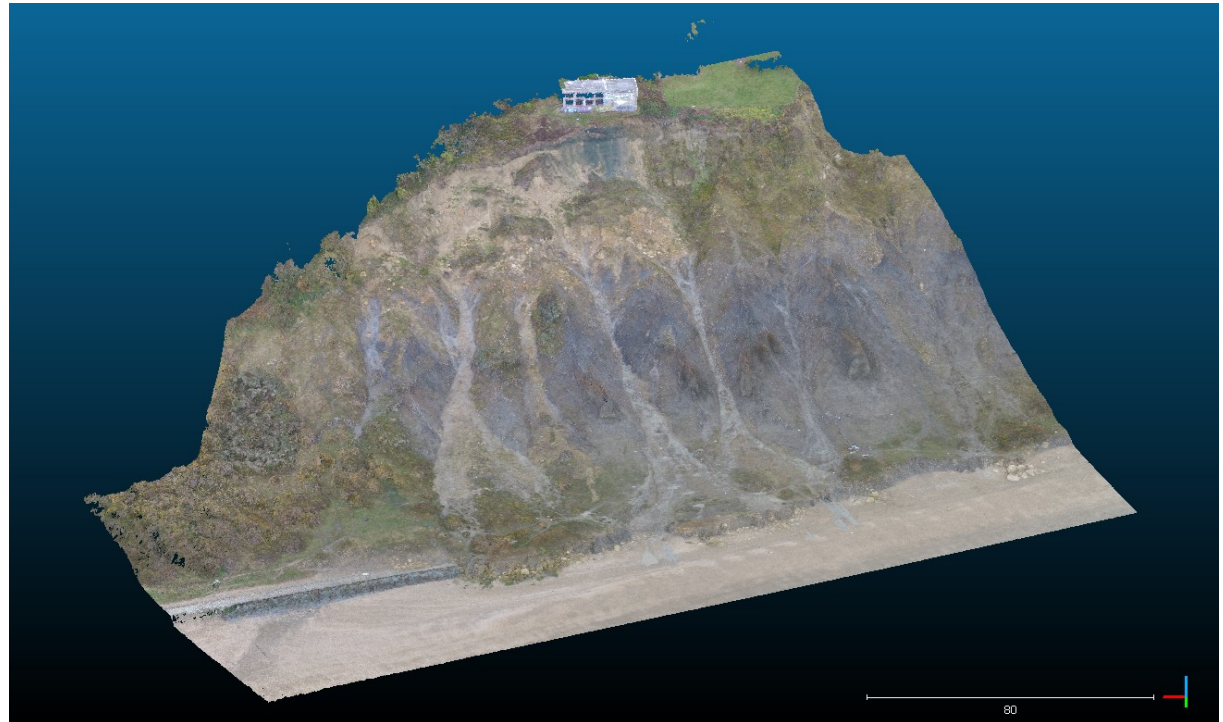
---

- Traitement sous **Photoscan**
- **CloudCompare**
  - Détermination des points homologues
  - 40 photos
  - 23.500.000 points
  - 555 pts/m<sup>2</sup>
  - ~4 heures (mesures et traitements)
  - géoréférencement sur 20 cibles DGPS
  - Résultats similaires sous MicMac



# MNT photogrammétrique, novembre 2016

- Traitement sous **Photoscan**
- **CloudCompare**
  - Détermination des points homologues
  - 40 photos
  - 12.400.000 points
  - 307 pts/m<sup>2</sup>
  - ~4 heures (mesures et traitements)
  - géoréférencement sur 20 cibles DGPS
  - Résultats similaires sous MicMac

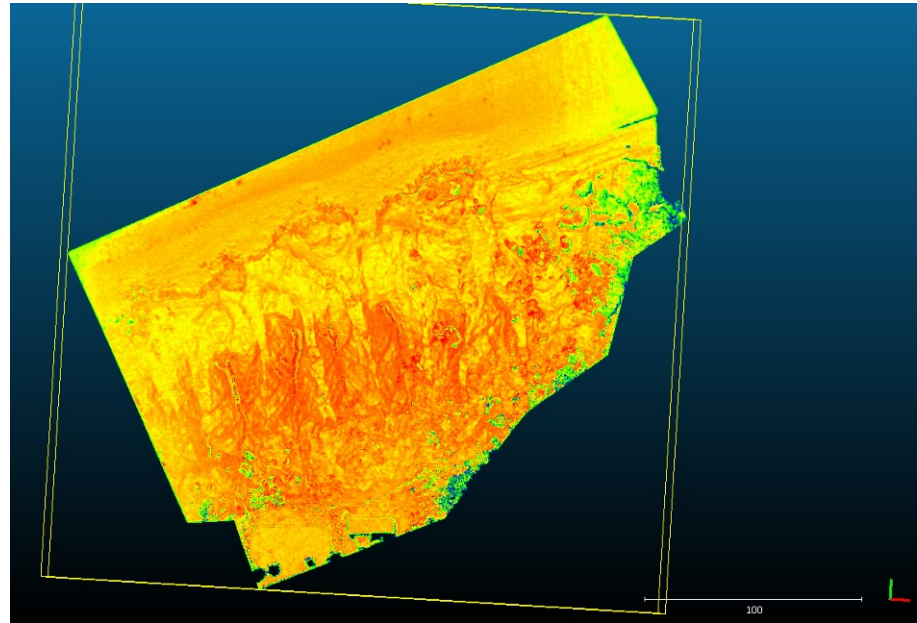
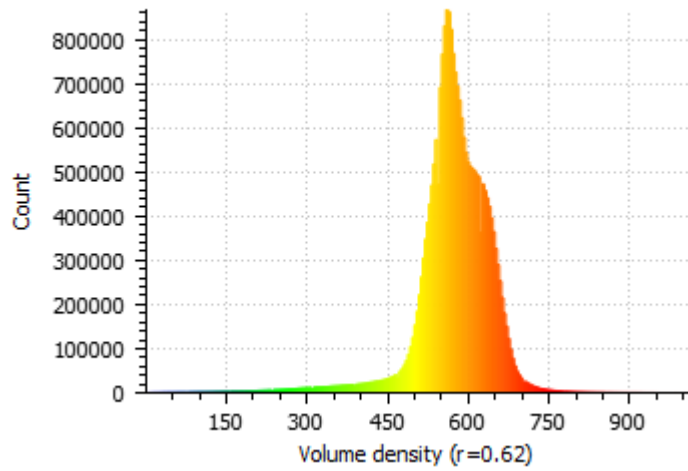




# Densité de points

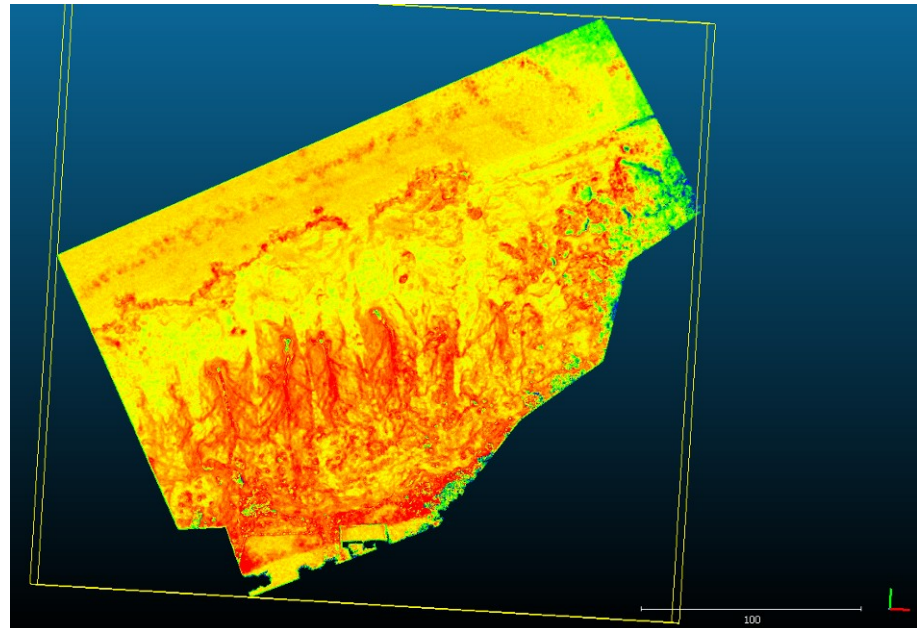
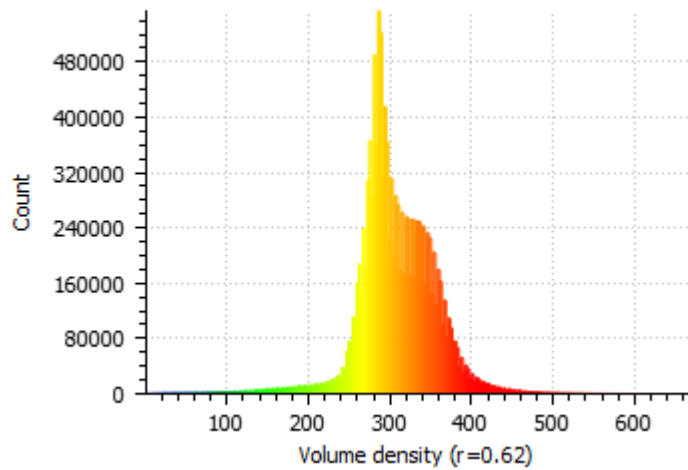
Avril 2016 : 555 +/- 70 pts

Volume density ( $r=0.62$ ) (23500937 values) [256 classes]



Novembre 2016 : 307 +/- 50 pts

Volume density ( $r=0.62$ ) (12405106 values) [256 classes]



# Qq traitements sur les modèles modèles

---

- **MicMac ou Photoscan : initialement, différences de l'ordre de 0 à 1 m entre points MNT avril et novembre, y compris sur points d'appui DGPS**
- **Découpage des MNT avril et novembre autour de la zone étudiée**
- **Solutions : sous [CloudCompare](#)**
  - **1 - Point Pairs picking (matrice de rotation et échelle) sur points amovibles (plaque au sol, quai, roches calcaires en crête, bâtiment...);**
  - **2 - après recalage, distance significative de 20 cm définie en z.**
  - **3 - M3C2 et C2C pour l'évaluation de distances entre MNT**



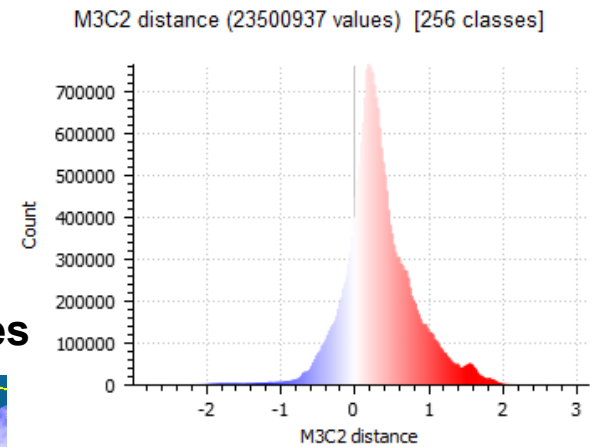
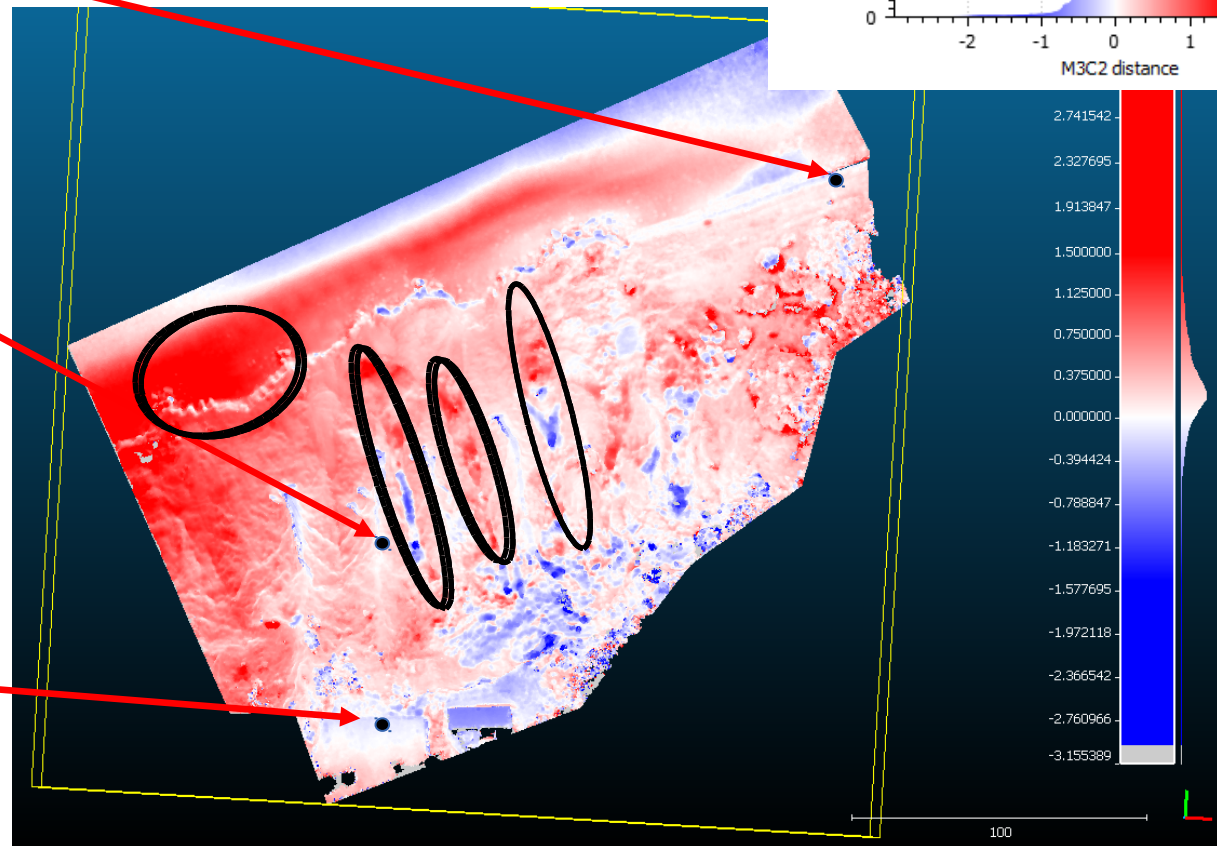
# Comparaison Avril/novembre 2016

Plugin CloudCompare M3C2

Rmin=1, Rmax=1, Dist=2

Normal

Erosion/accrétion entre crêtes d'interfluves



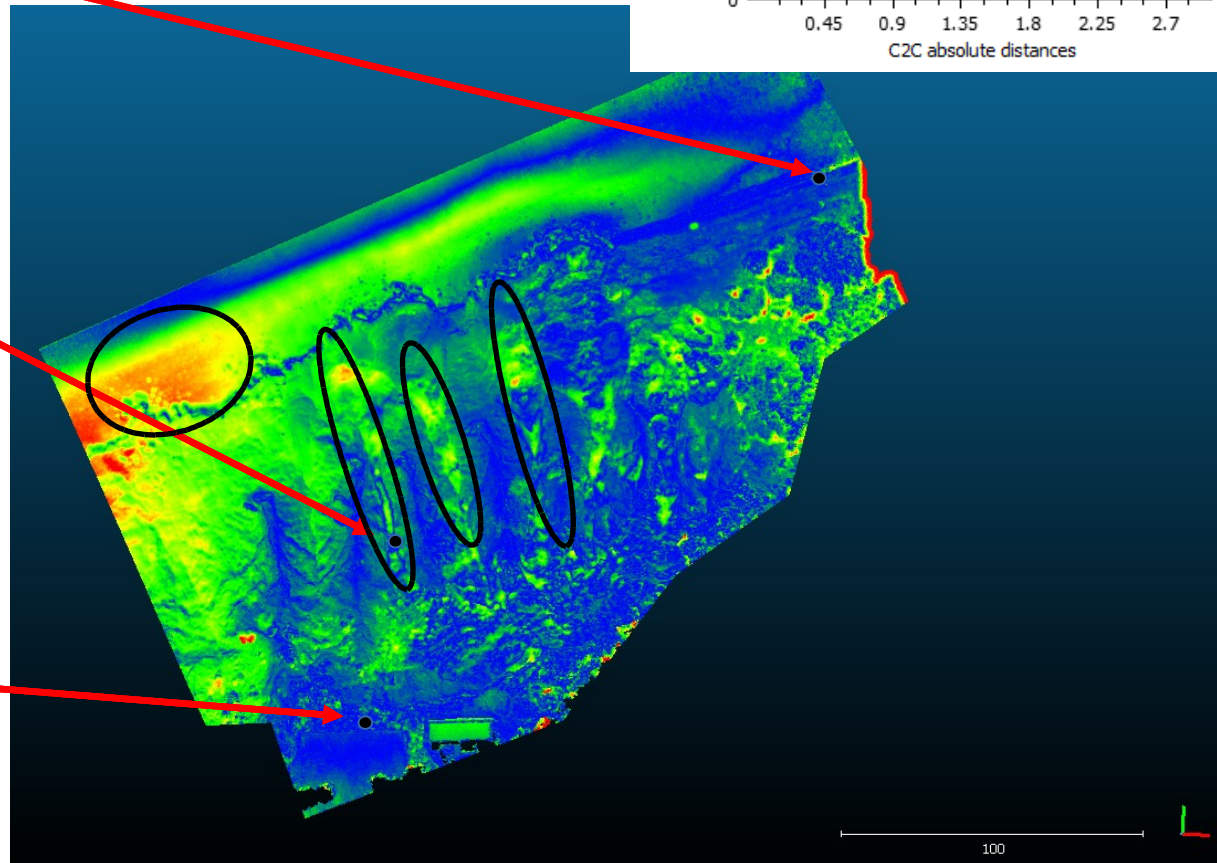
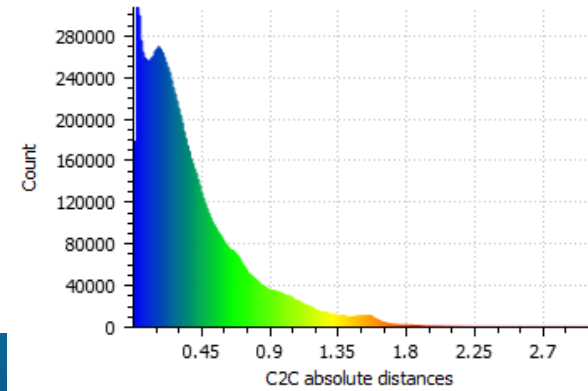
# Comparaison Avril/novembre 2016

Plugin CloudCompare M3C2

Rmin=1, Rmax=1, Dist=2

Normal

C2C absolute distances (12357370 values) [256 classes]

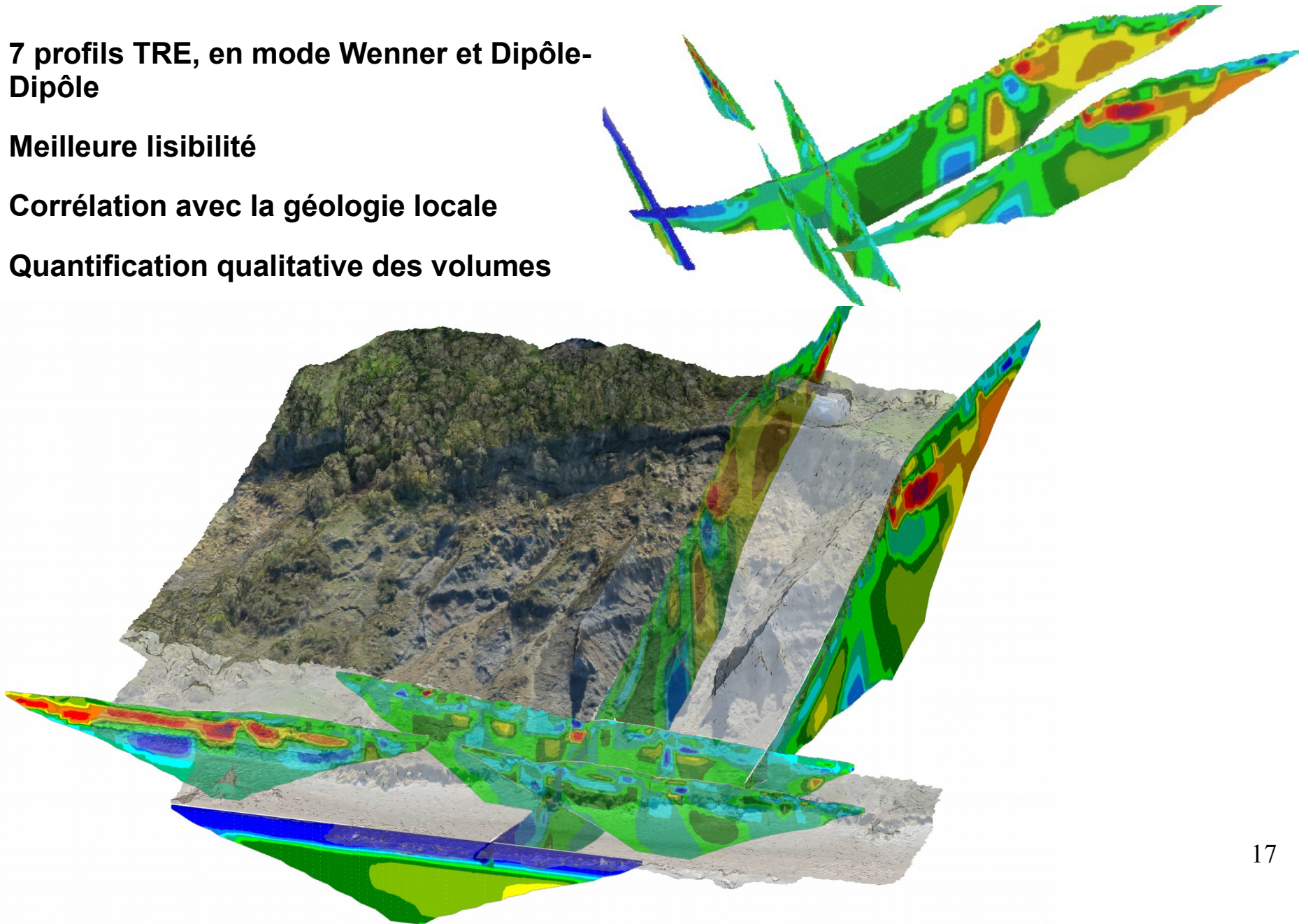




# Intégration des profils TRE dans le MNT visible

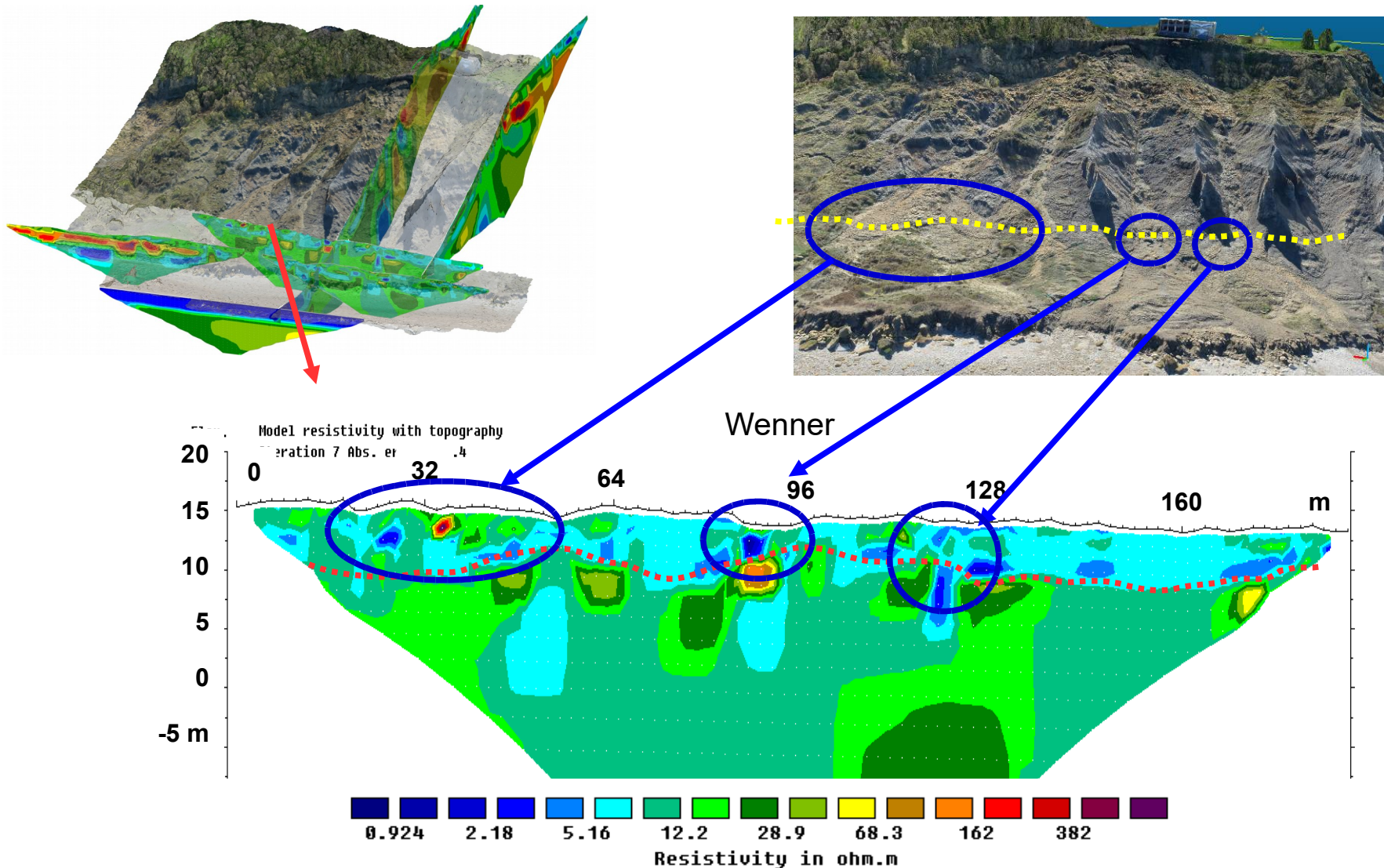
---

- 7 profils TRE, en mode Wenner et Dipôle-Dipôle
- Meilleure lisibilité
- Corrélation avec la géologie locale
- Quantification qualitative des volumes



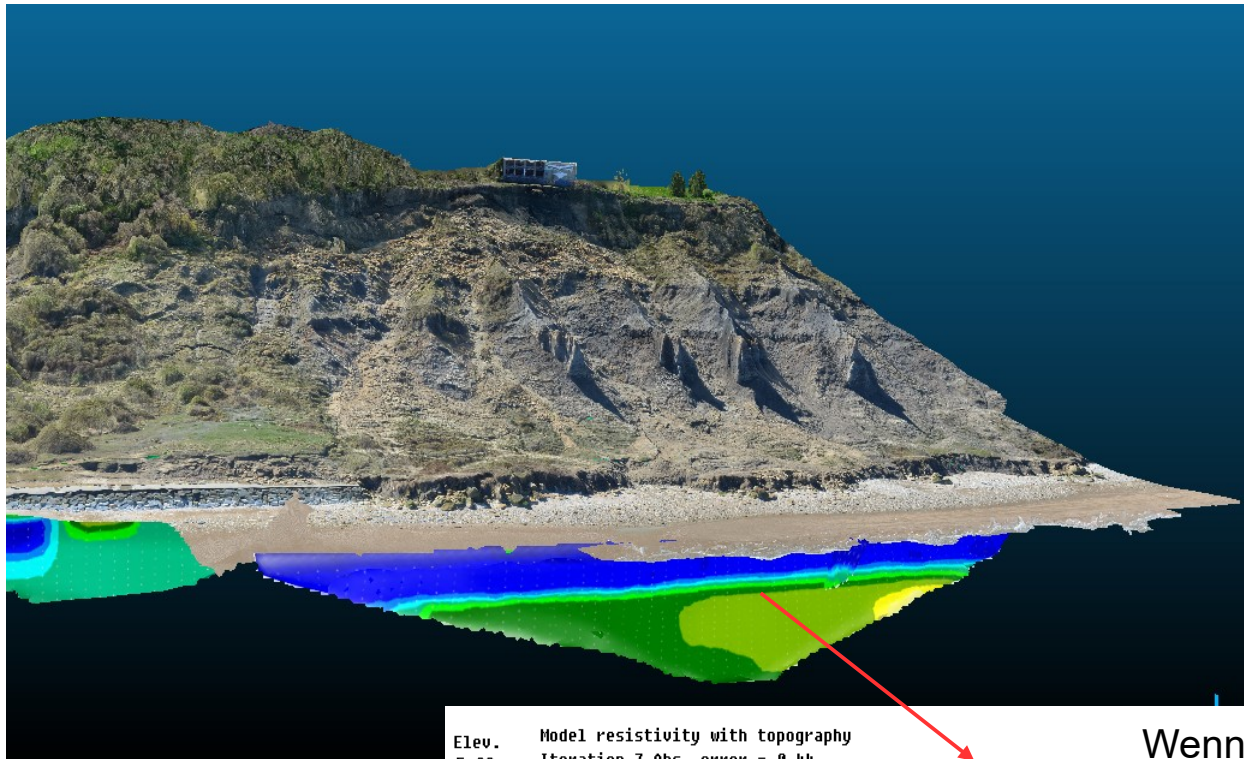
# Profils TRE dans le MNT visible

- En pied d'interfluves
- Interface altérée (marnes de Dives?) entre 3 et 5 m de profondeur
- Blocs + résistants (rochers calcaires) au sein des argiles et marnes.





# Exemple : identification du socle

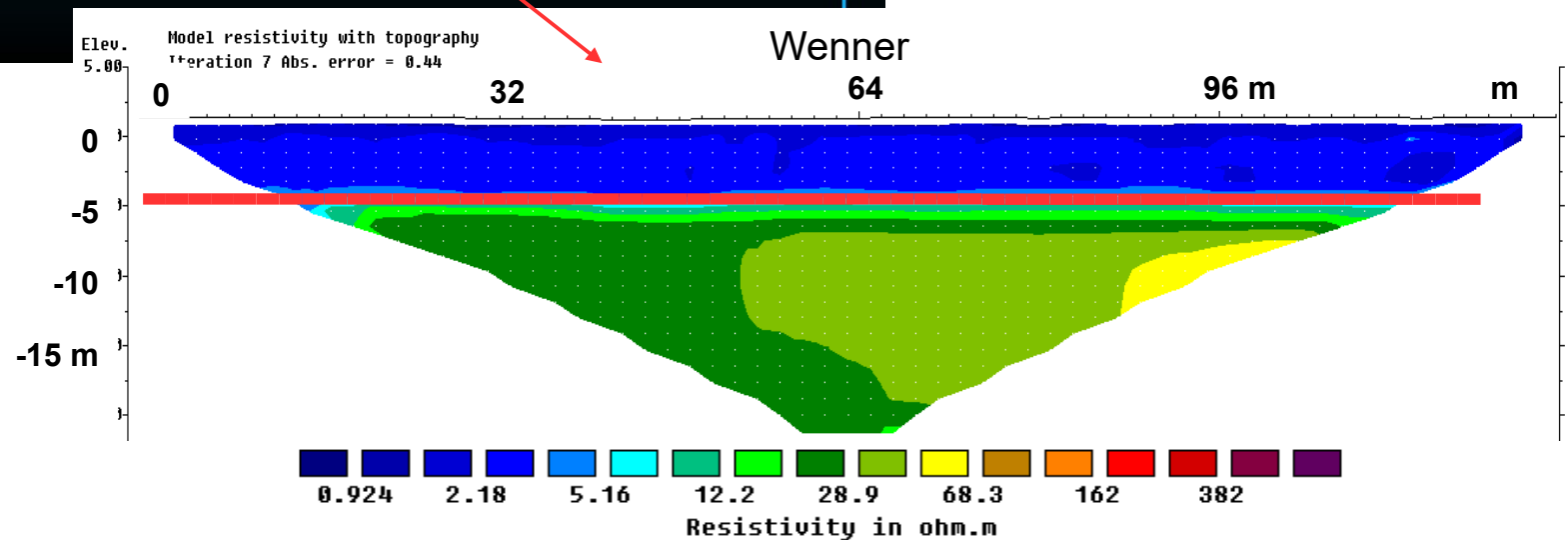


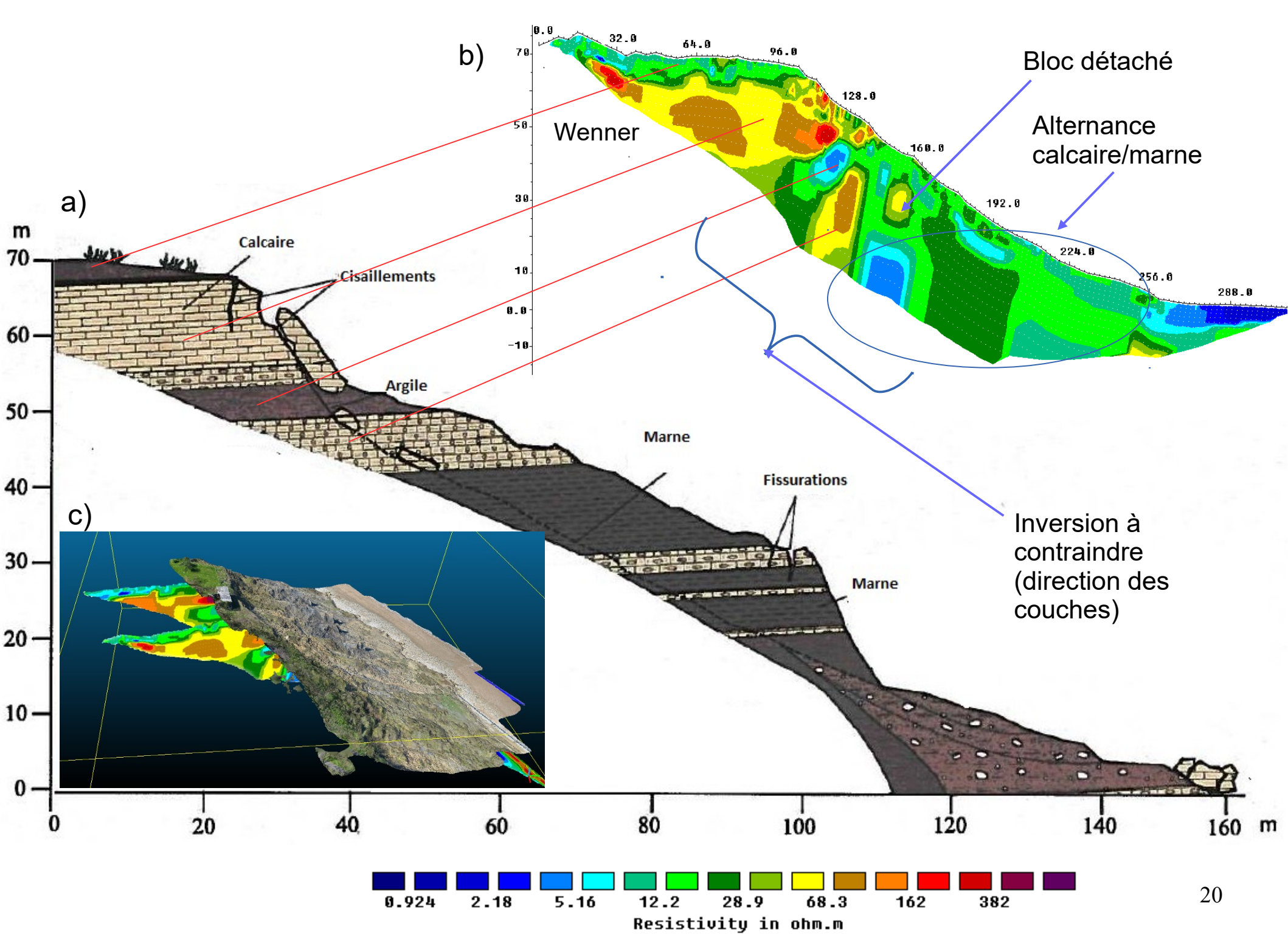
Estran - Wenner,

64 électrodes, 126 m

Sable imbibé d'eau  
salée,

Socle vers 4 m

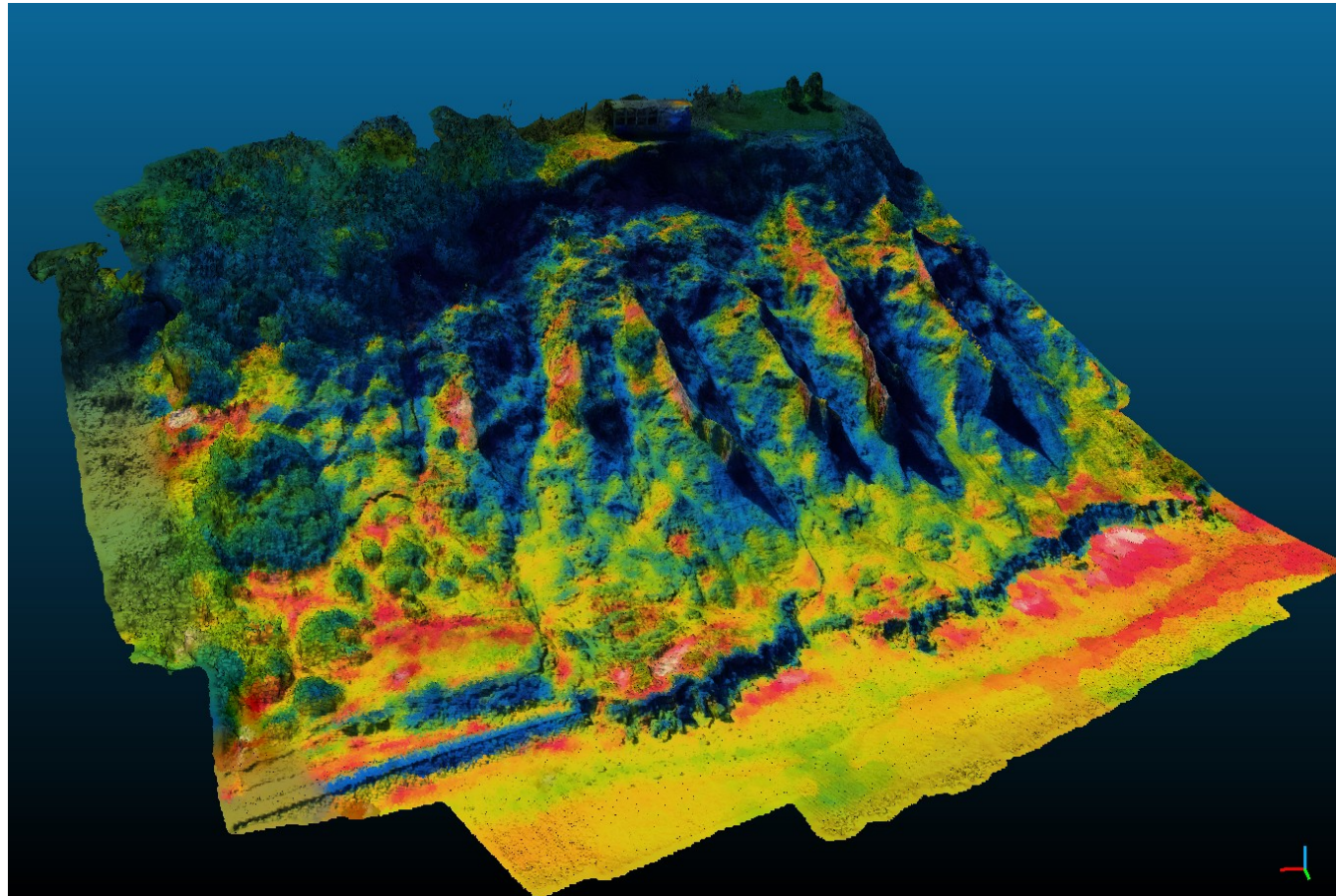






# MNT IR Thermique

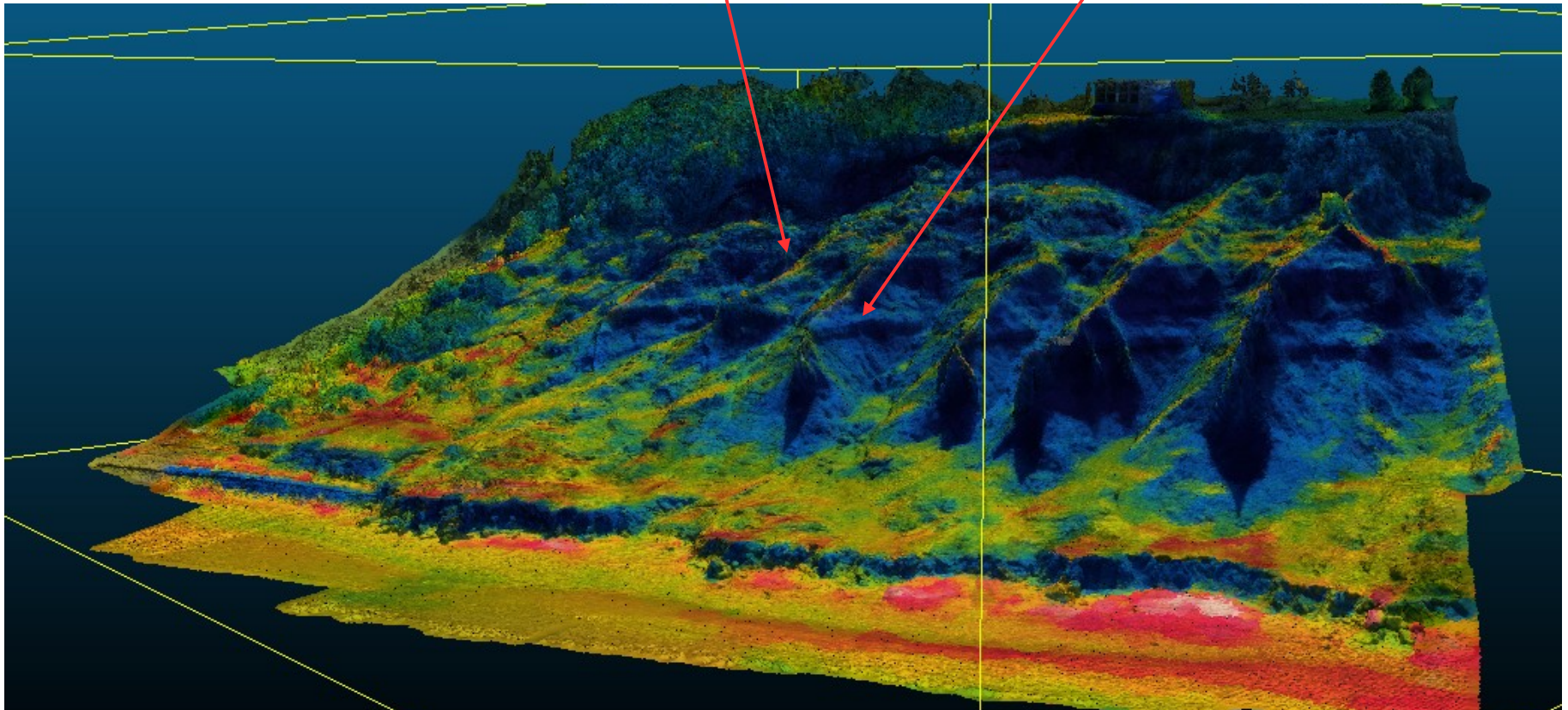
- **Traitements sous Micmac, ApéroDeDenis et CloudCompare**
  - **Points homologues**
  - **Différents angles**
  - **40 photos**
  - **2471000 points**
  - **3 heures (mesures et traitements)**
- **Superposition IR + visible**



# MNT IR Thermique

---

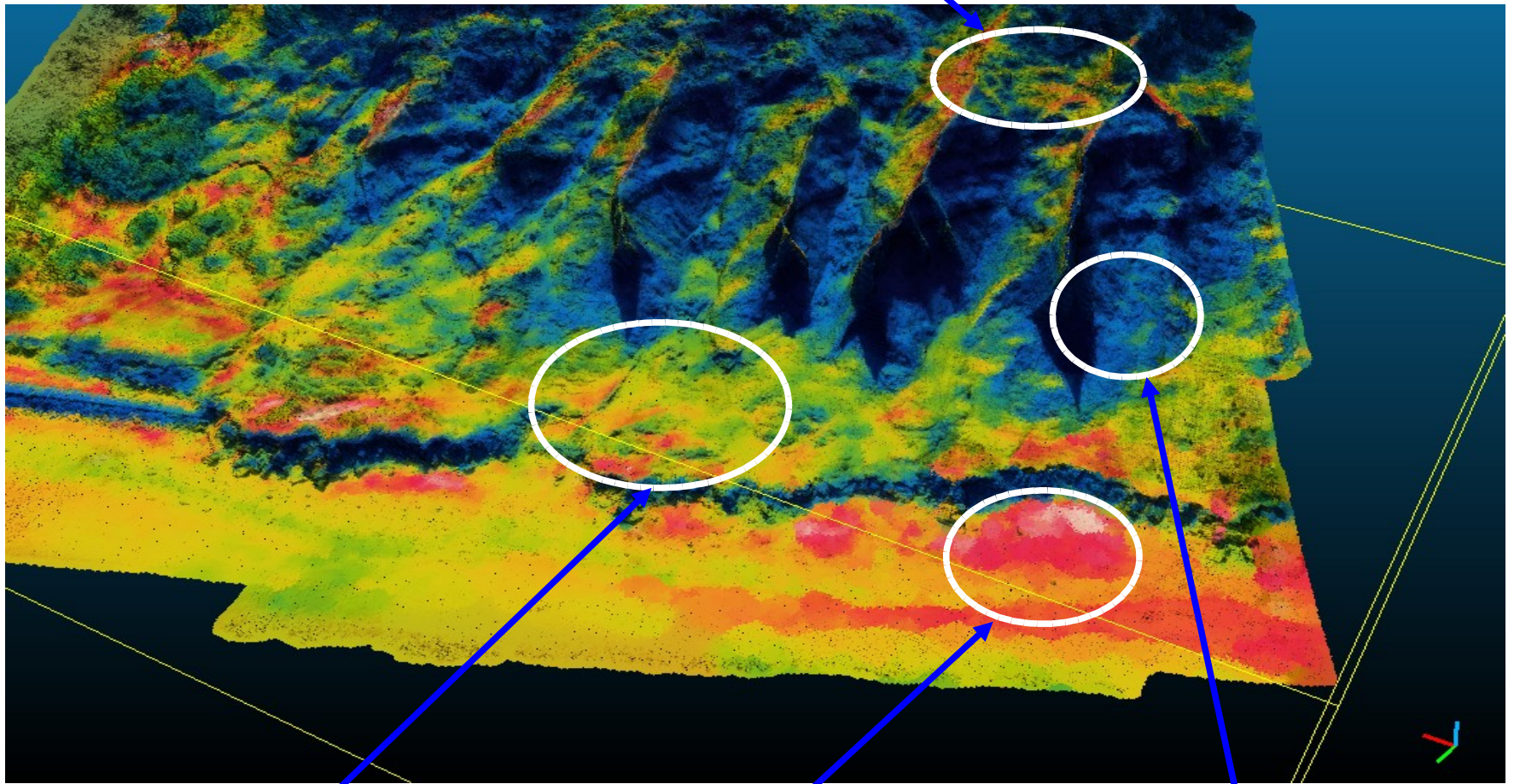
- **Identification des horizons calcaires (Auberville et à oolithes ferrugineuse de Villers)**





# MNT IR Thermique

- Zone d'éboulement sous le premier escarpement

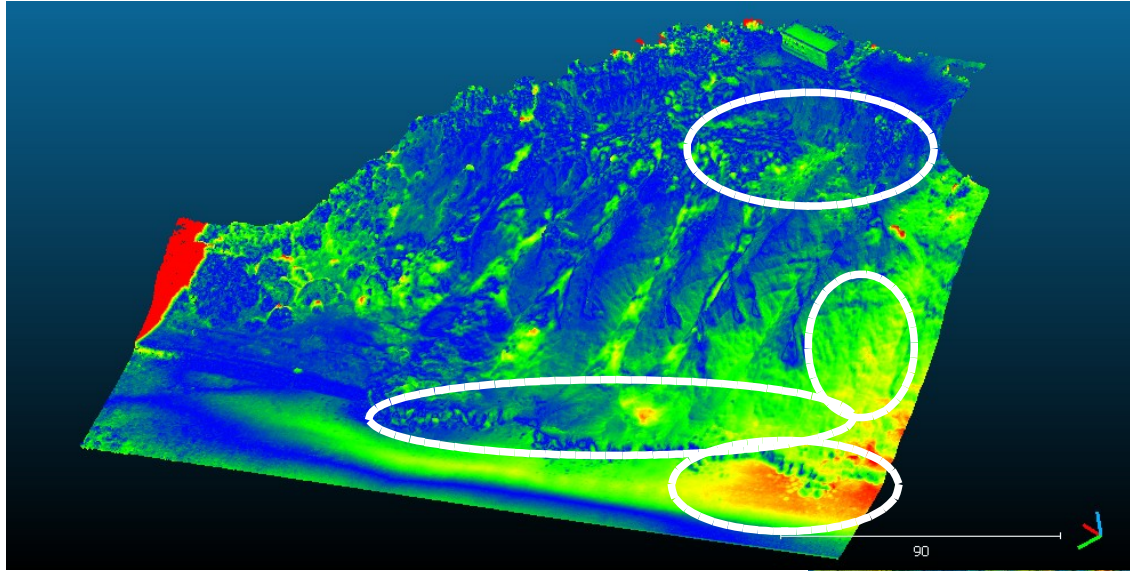


● Zone de coulées boueuses  
(marnes, argiles, ...)

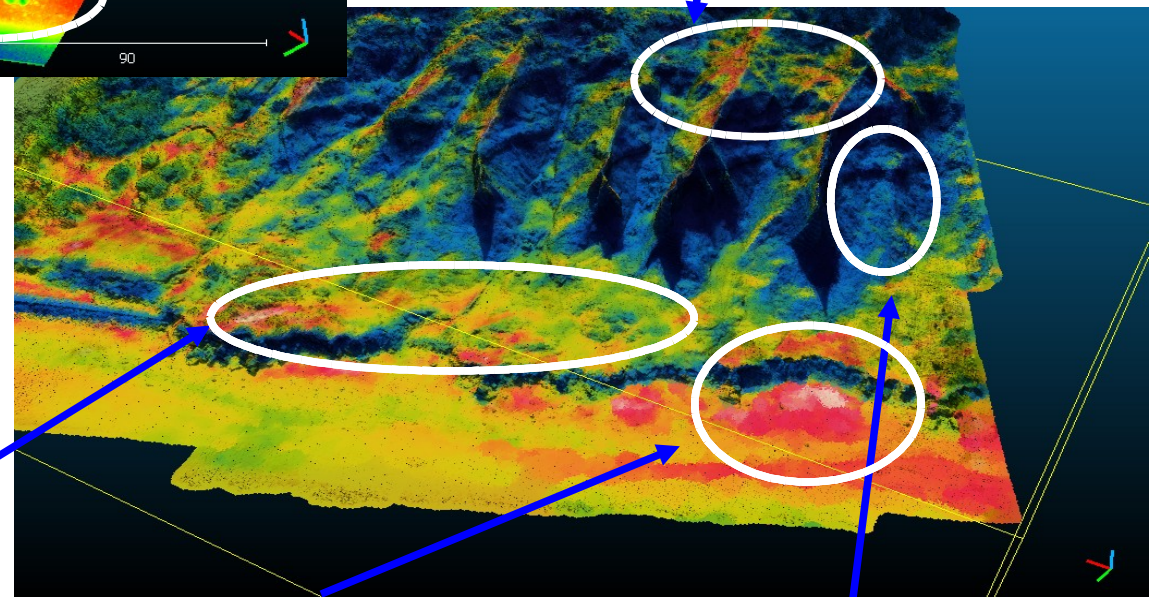
● Résurgence

● Flanc marneux

# MNT IR Thermique



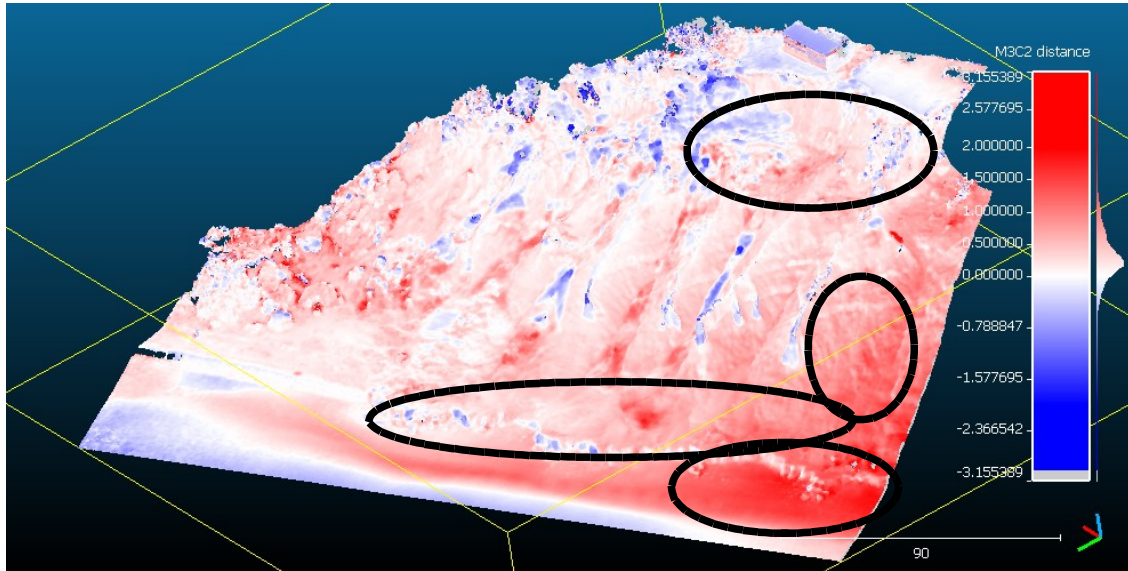
- Zone d'éboulement sous le premier escarpement



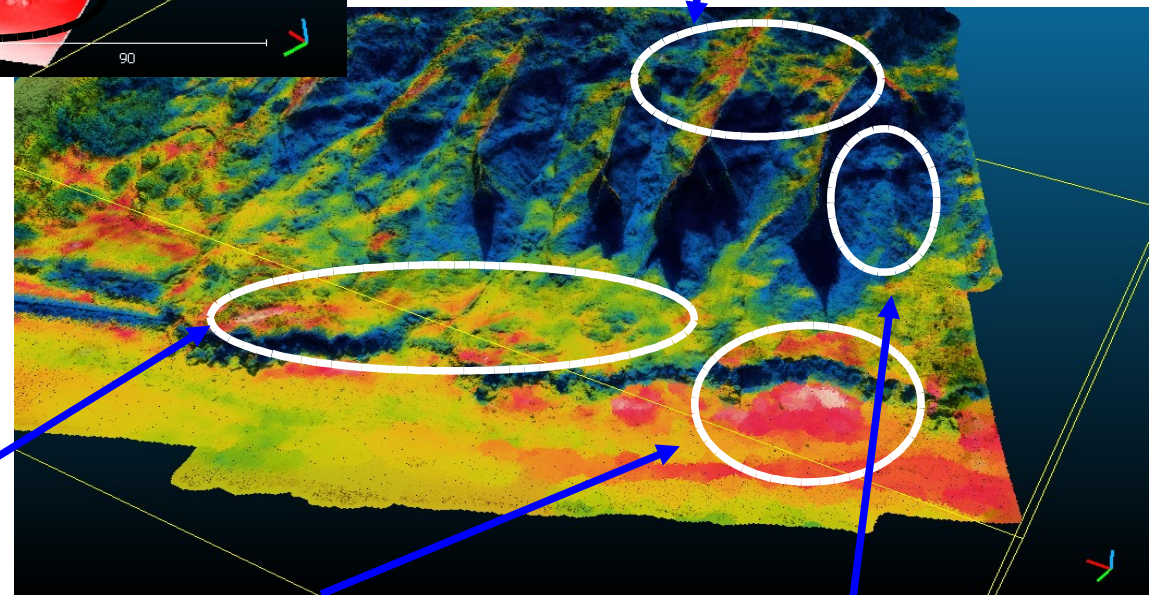
- Zone de coulées boueuses (marnes, argiles, ...)
- Résurgence
- Flanc marneux



# MNT IR Thermique



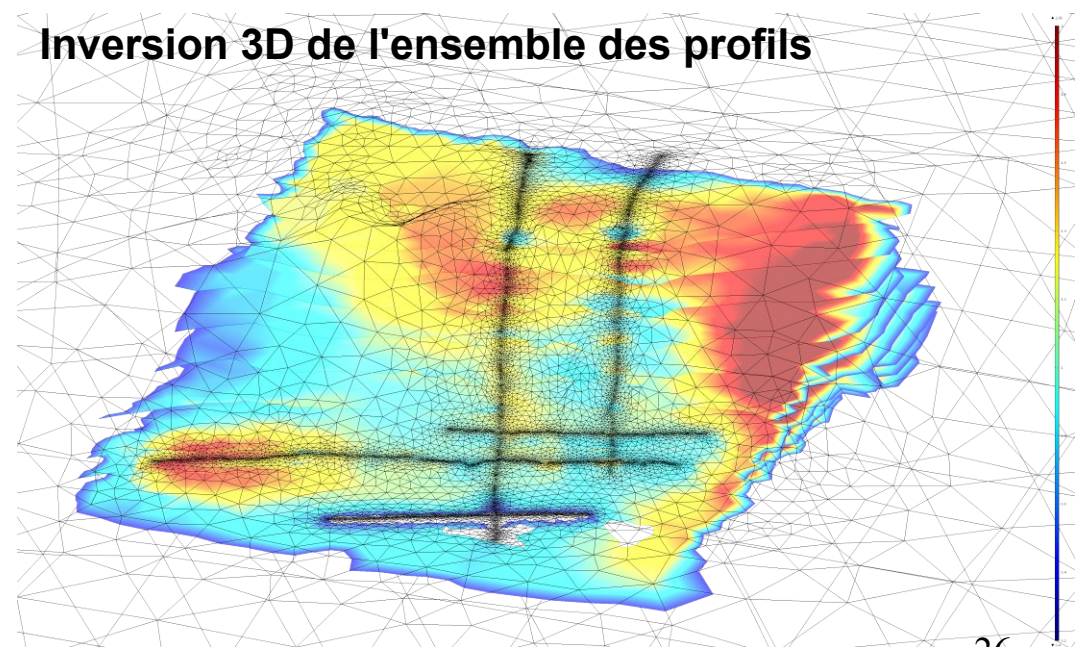
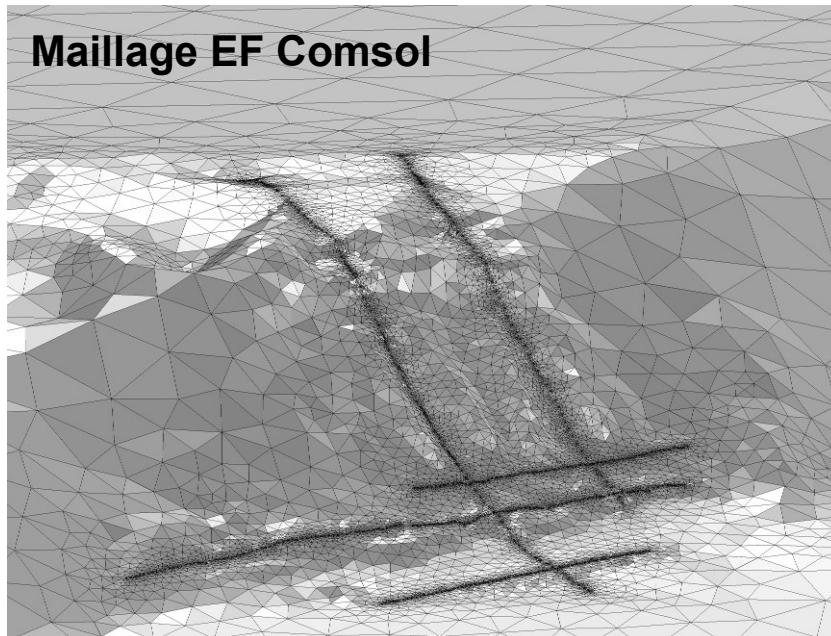
- Zone d'éboulement sous le premier escarpement



- Zone de coulées boueuses (marnes, argiles, ...)
- Résurgence
- Flanc marneux

# Conclusion et perspectives

- Définition d'une **méthodologie d'étude à l'échelle locale** alliant géophysique de surface et observation par drone appliquée aux mécanismes d'évolution du trait de côte.
- Réalisation de **campagnes de mesures supplémentaires pour corrélations** entre mesures TRE, photogrammétriques et IR + sondages : volumes en jeu, évolution des résistivités
- **Amélioration des inversions TRE** : prise en compte de l'orientation des couches géologiques notamment + 3D (Y. Fargier)
- Autres méthodes aériennes en cours d'étude





# Remerciements



Ce projet est cofinancé par l'Union européenne.  
L'Europe s'engage en Normandie  
avec le Fonds européen de Développement Régional (FEDER)



Merci pour votre attention

# Géologie locale et mouvements de terrains

