



**HAL**  
open science

## Prospecter autrement les montagnes

Marie-Claude Bal, François Baleux, Carine Calastrenc, Pierre Campmajo,  
Nicolas Dobigeon, Jordi Inglada, Luc Lapierre, Muriel Llubes, Nicolas  
Mellado, Magali Philippe, et al.

### ► To cite this version:

Marie-Claude Bal, François Baleux, Carine Calastrenc, Pierre Campmajo, Nicolas Dobigeon, et al.. Prospecter autrement les montagnes: Télédétection Archéologique et Haute et Moyenne Montagne (TAHMM). Séminaire transversal du laboratoire TRACES (2023), Laboratoire TRACES (UMR 5608): Travaux et Recherches Archéologiques sur les Cultures, les Espaces et les Sociétés, Sep 2023, Toulouse, France. hal-04264333

**HAL Id: hal-04264333**

**<https://hal.science/hal-04264333>**

Submitted on 30 Oct 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Prospecter les montagnes autrement

## Téledétection Archéologique en Haute et Moyenne Montagne (T.A.H.M.M.)

Marie-Claude **Bal**<sup>6</sup>, François **Baleux**<sup>1</sup>, Carine **Calastrenc**<sup>1,2</sup> (Dir.), Pierre **Campmajo**<sup>1</sup>, Nicolas **Dobigeon**<sup>3</sup>, Jordi **Inglada**<sup>4</sup> et <sup>5</sup>,  
Luc **Lapierre**<sup>8</sup>, Muriel **Llubes**<sup>7</sup>, Nicolas **Mellado**<sup>3</sup>, Magali **Philippe**<sup>6</sup>, Nicolas **Poirier**<sup>1</sup>, Christine **Rendu**<sup>2</sup>, Claire **Sicre-Marais**<sup>4</sup>,

### Structures de recherche impliquées



### Financeurs Permanents



### Ponctuels



1. TRACES, UMR 5608, Toulouse
2. FRAMESPA, UMR 5136, Toulouse
3. ITRIT, UMR 5505, Toulouse
4. CESBIO, UMR 5126, Toulouse,
5. CNES, Toulouse
6. GEODE, UMR 5602, Toulouse
7. GET, UMR 5563, Toulouse
7. Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection (SFPT)



2

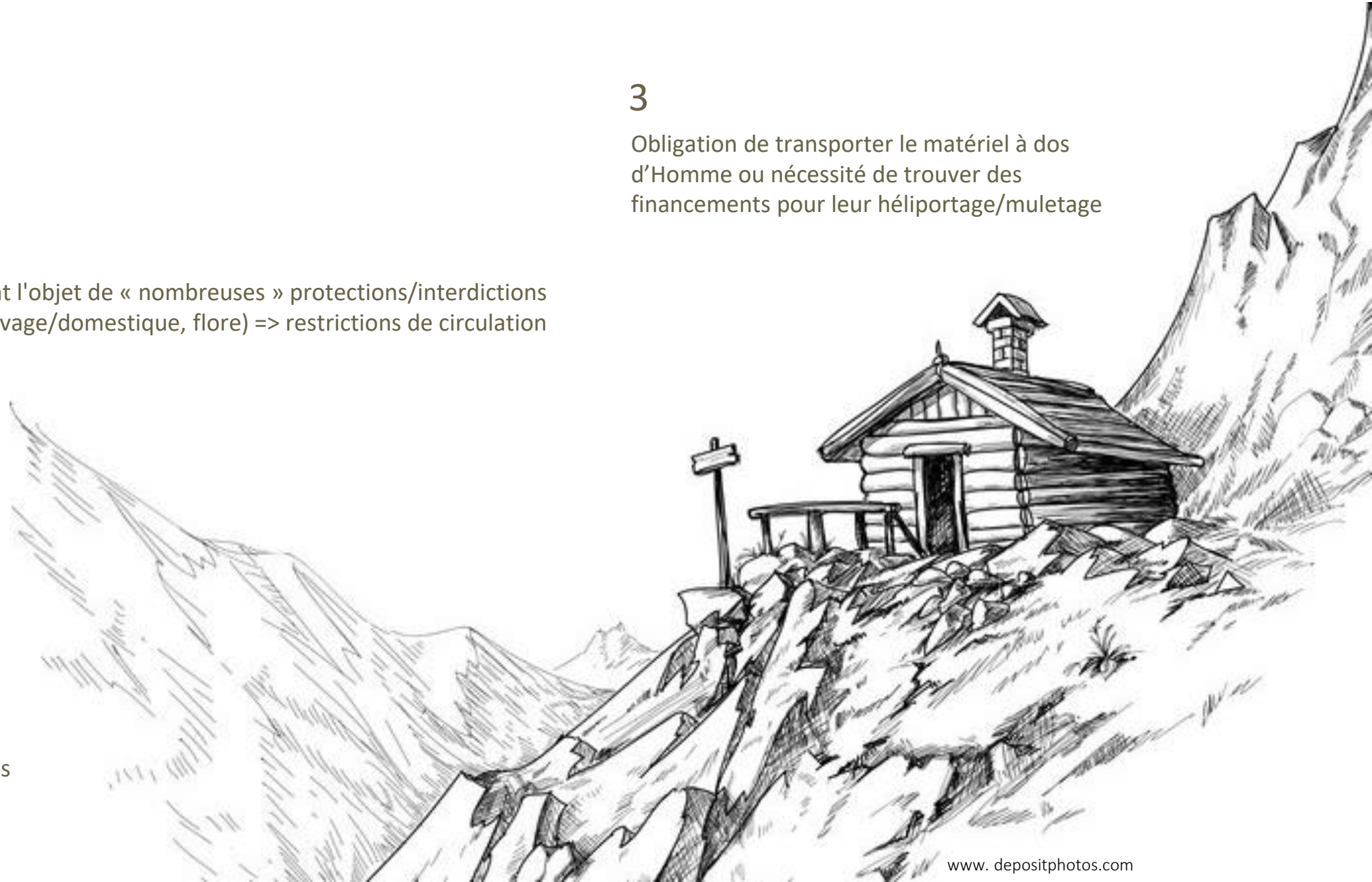
Zones faisant l'objet de « nombreuses » protections/interdictions (faune sauvage/domestique, flore) => restrictions de circulation

3

Obligation de transporter le matériel à dos d'Homme ou nécessité de trouver des financements pour leur héliportage/muletage

1

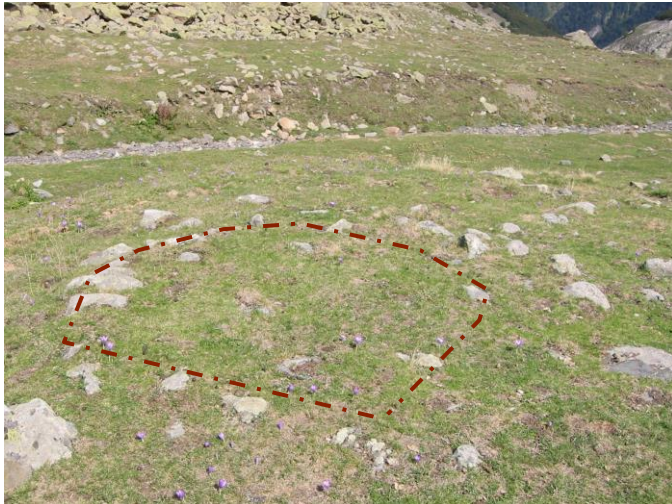
Difficulté d'accès (marche d'approche) et contraintes météorologiques importantes (6 mois d'inaccessibilité)



## Plans des bâtiments visibles en surface



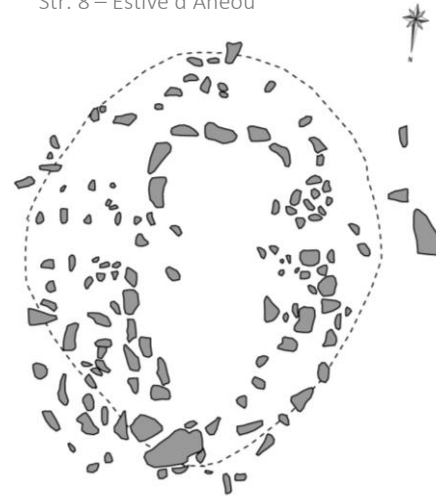
Estive d'Anéou – Str. 235



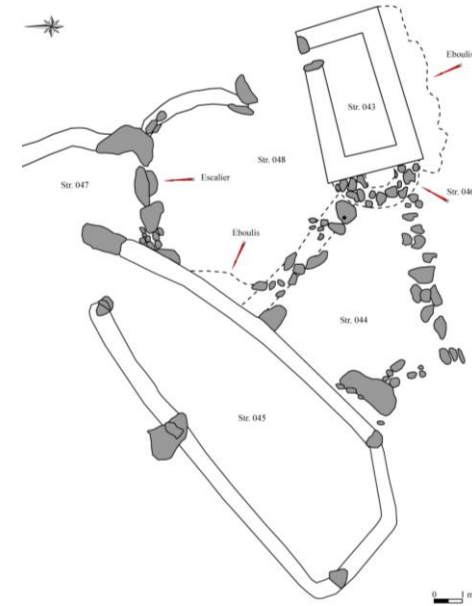
Estive d'Anéou – Str. 308



Str. 8 – Estive d'Anéou



Str. 10 – Estive d'Anéou



Str. 43 à 48 – Estive d'Anéou



Str. 42 – Estive d'Anéou



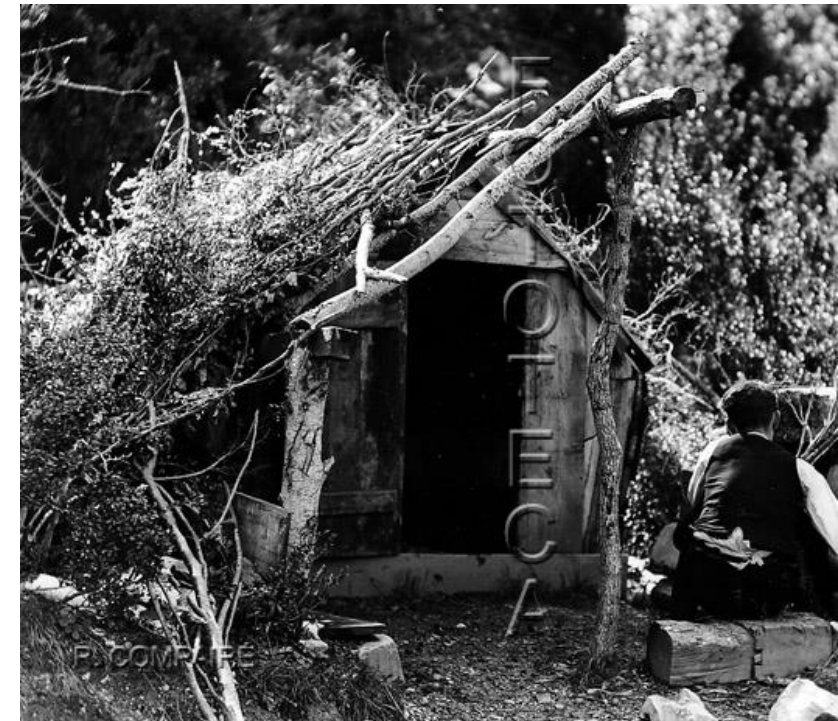
Comment identifier les infrastructures pastorales construites, réalisées totalement ou partiellement en matériaux périssables, recouvertes par les sédiments ou effacées par les activités humaines ?



Hauts de Leud (Maramuresh, Roumanie) 1992 –  
Auteur : C. Macherel © CNRS



Vallée de Guarrinza (Aragon Espagne) – 1933  
Auteur : Compairé



Vallée de Ansó (Aragon - Espagne) – 1920-1936  
Auteur : Ricardo Compairé Escartín



## Anéou

*Rendu, Calastrenc, Le Couédic*

1300 hectares

272 structures

4 mois à 2 personnes



## Benasque

*Calastrenc, Rivas, Ona Gonzalez*

1400 hectares

324 structures

3 mois à 2 personnes



© <https://www.experia.fr/Benasque.dx6049007>

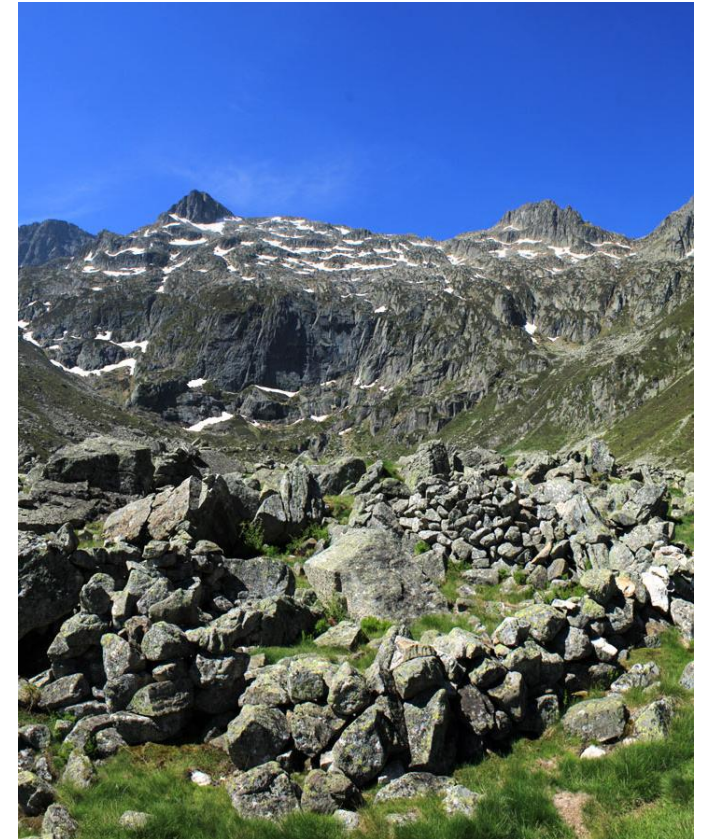
## Liantran

*Calastrenc et al.*

3 hectares

62 structures

15 jours à 2 personnes



© photographie de jean jacques stockli  
<https://www.stockli.photos/le-lac-du-plaa-de-prat-et-les-ruines-de-liantran/>



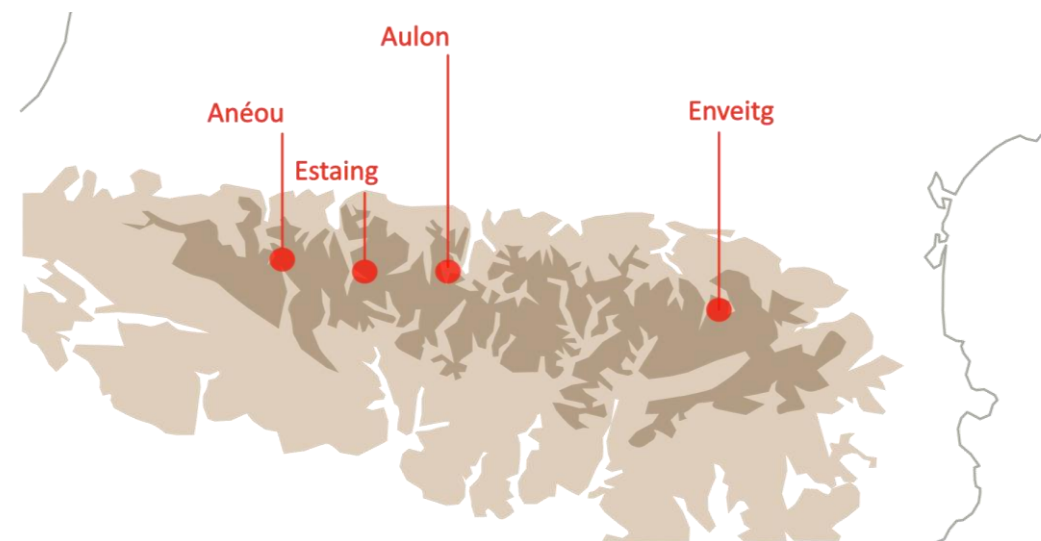
- ✓ Comment traiter archéologiquement des zones plus vastes en moins de temps ?
- ✓ Comment obtenir un inventaire statistiquement significatif et robuste qui inclut les structures en pierres sèches et celles invisibles en surface ?



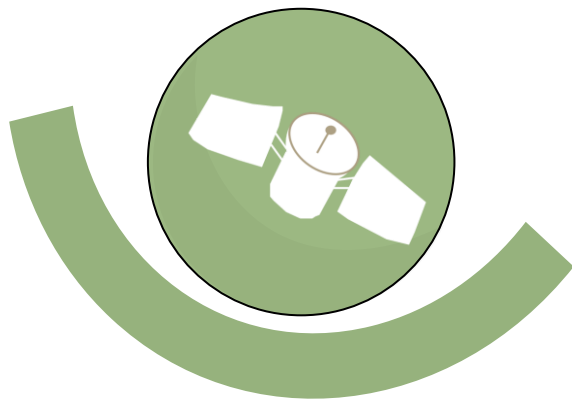


## Zones « tests » et de calibrations

- Secteur du Liantran, Estaing (Hautes-Pyrénées)
- Réserve Naturelle d'Aulon (Hautes-Pyrénées)
- Montagne d'Enveitg (Pyrénées-Orientales)
- Estives d'Anéou (Pyrénées-Atlantiques)







Satellite

Échelle de travail : une montagne

### Téledétection par satellite

=> Localiser les grands groupes pastoraux en bon état de conservation.

Acquisition d'images Pléiades réalisée par le prog. ISIS du CNES en 2019, 2020 et 2023.



Drone

Echelle de travail : une partie d'estive

### Photogrammétrie, thermographie, images multispectrales et Lidar

=> Localiser les structures en pierres sèches et identifier les détails architecturaux.

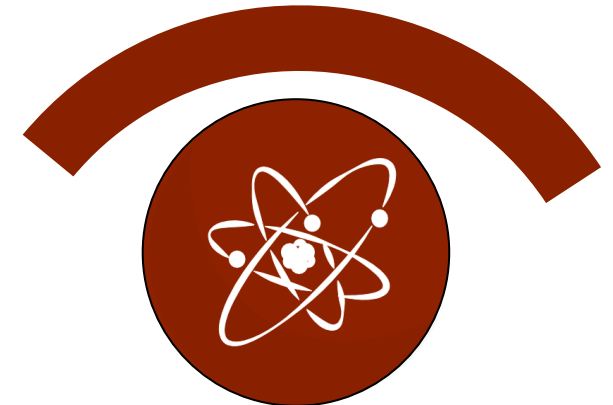


Géophysique

Echelle de travail : une structure

### Géoradar et magnétomètre

=> Localiser et identifier certaines infrastructures invisibles en surface (aire de chauffe, mur, ... etc).



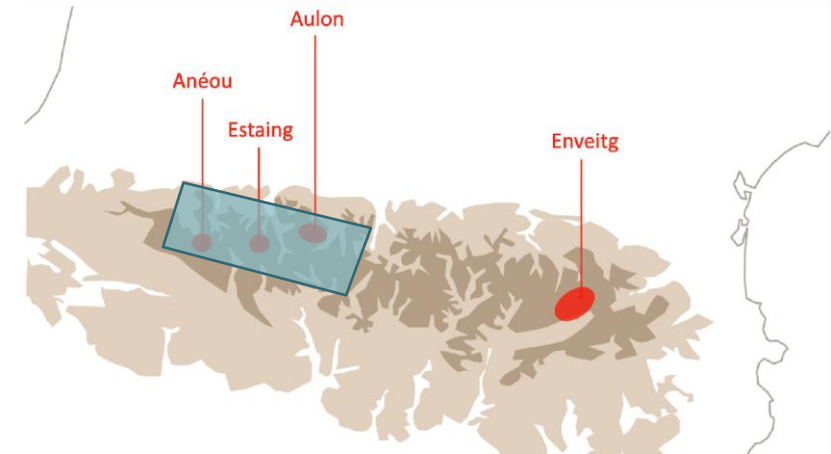
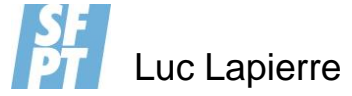
Chimie

Echelle de travail : une molécule

### Analyse chimique des sols (XRF)

=> Localiser des aires de stabulation invisibles en surface.

# Téledétection satellite

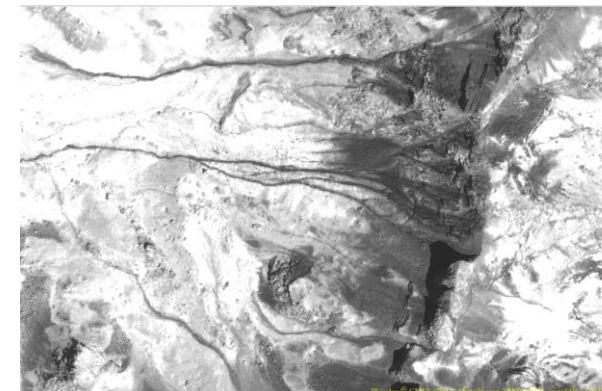
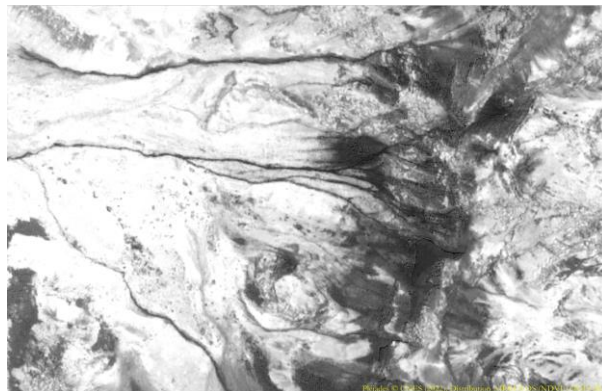
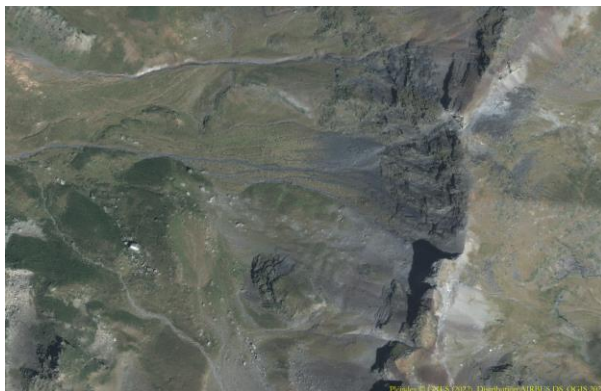


IGN BD Ortho 20 cm

Canal infrarouge  
(végétation en blanc)

NDVI

NDWI2

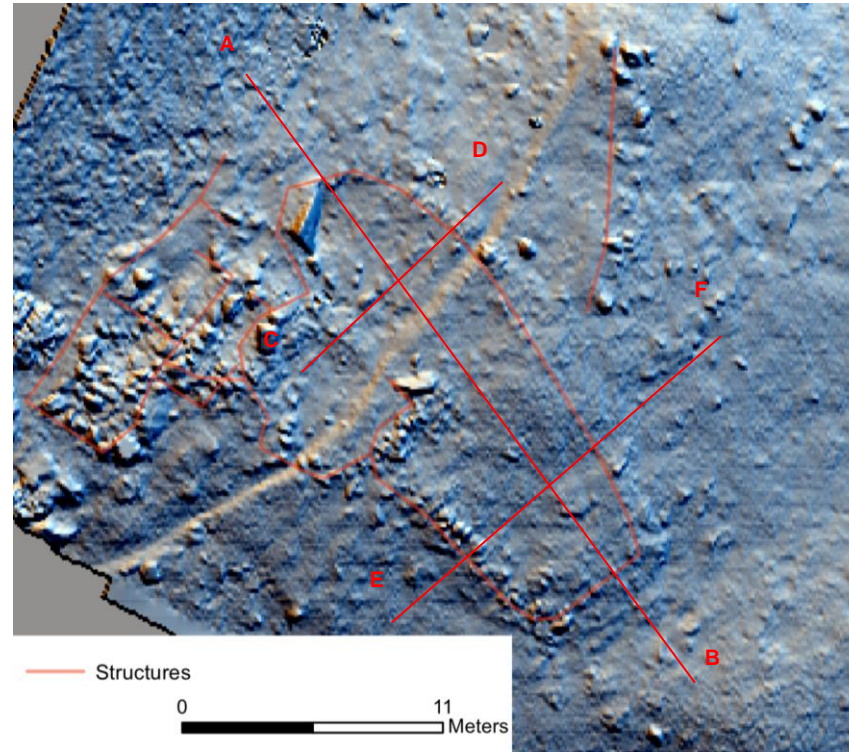




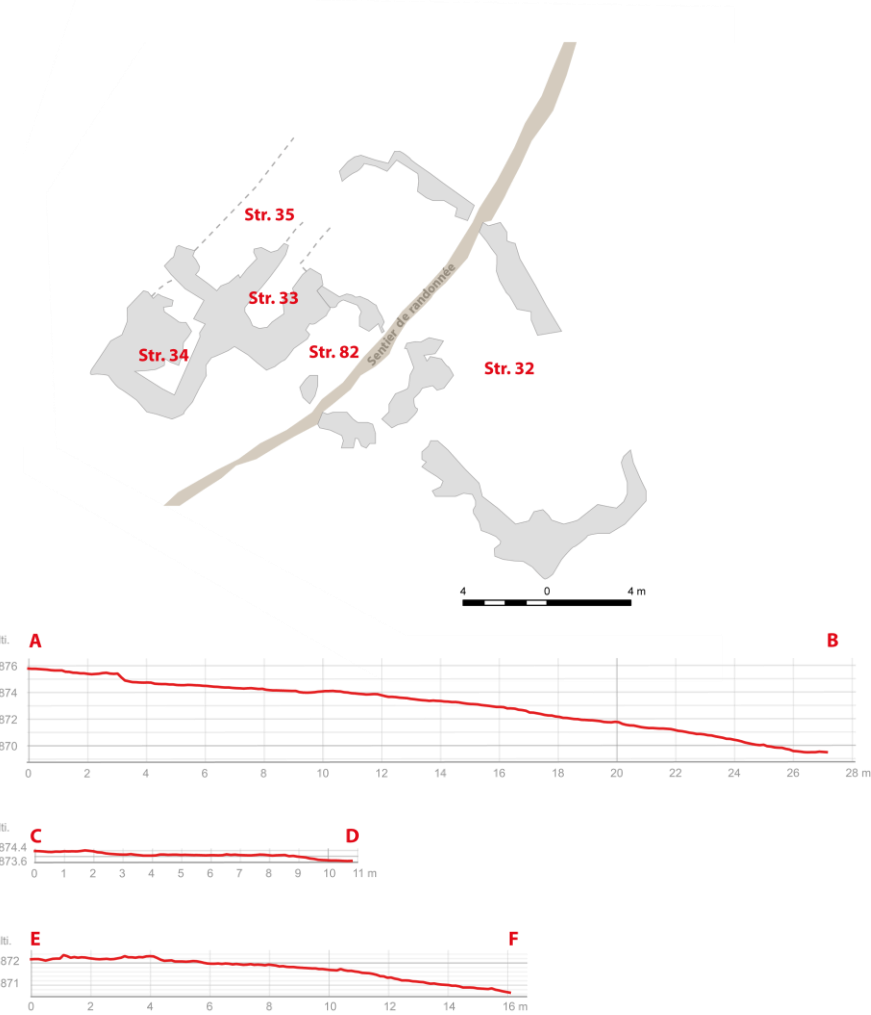
# Drones (photogrammétrie)



Orthophotographie par photogrammétrie

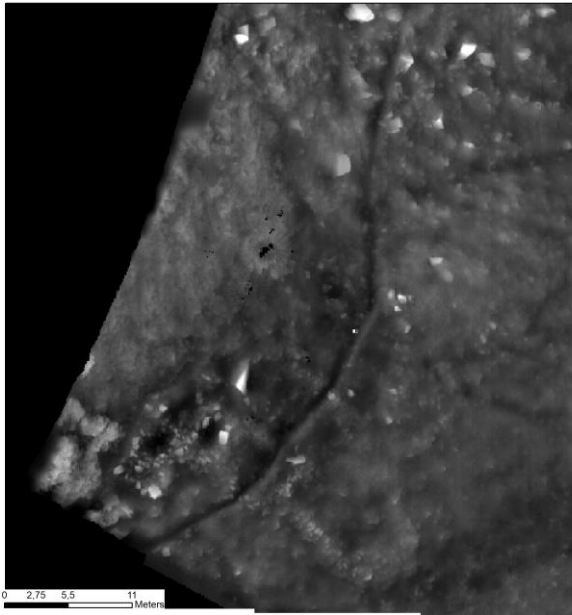


Modèle Numérique de Terrain par photogrammétrie

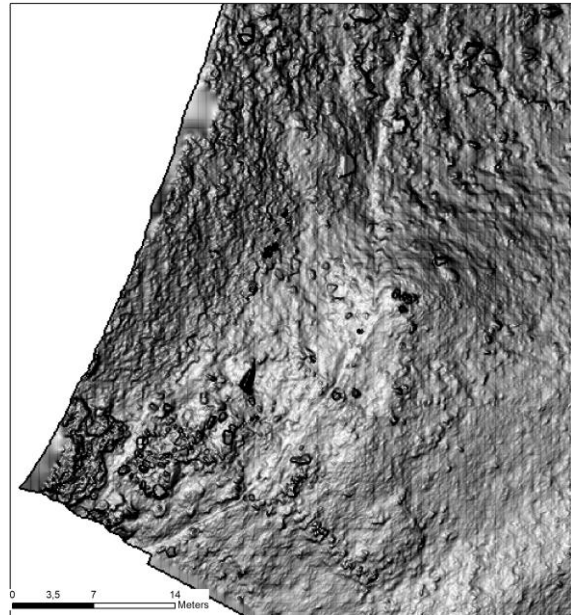


Profils et mesures

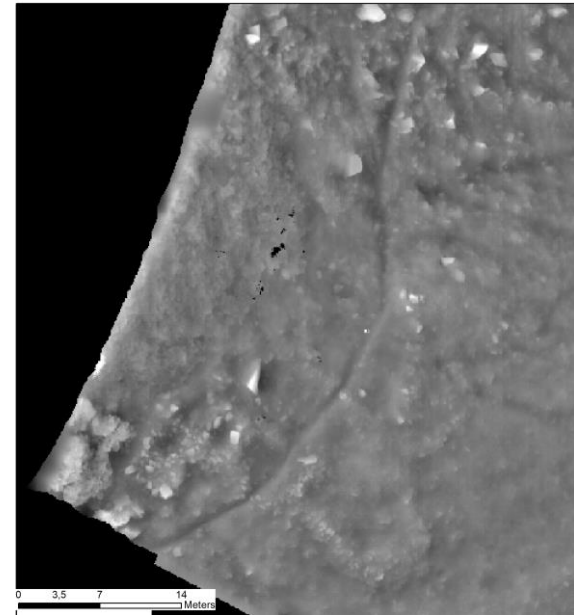
## Drones (photogrammétrie)



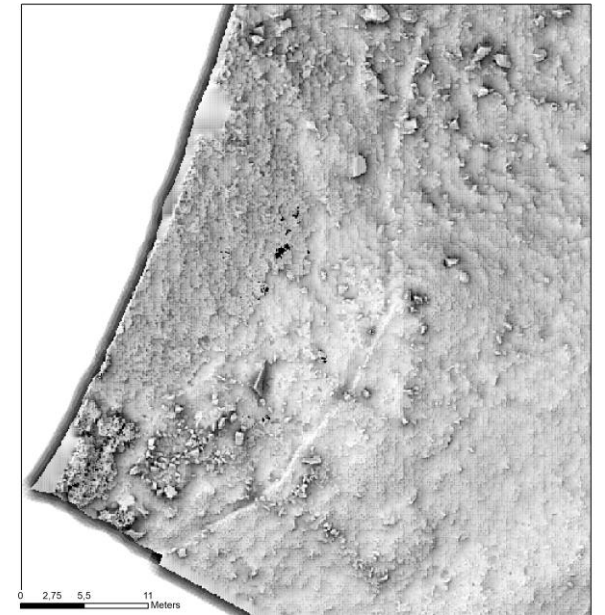
*Local dominance  
(RVT Software)*



*Slope  
(RVT Software)*



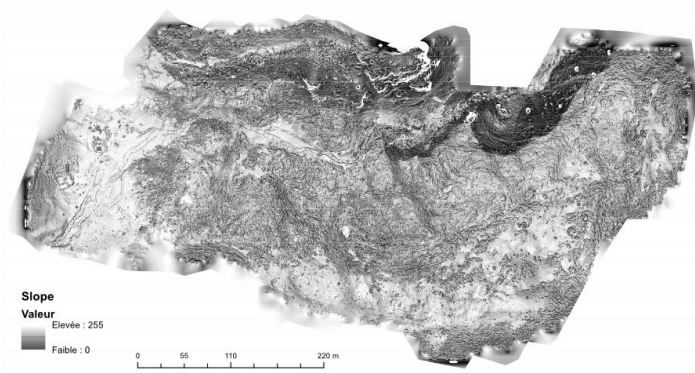
*Simple Local Relief  
(RVT Software)*



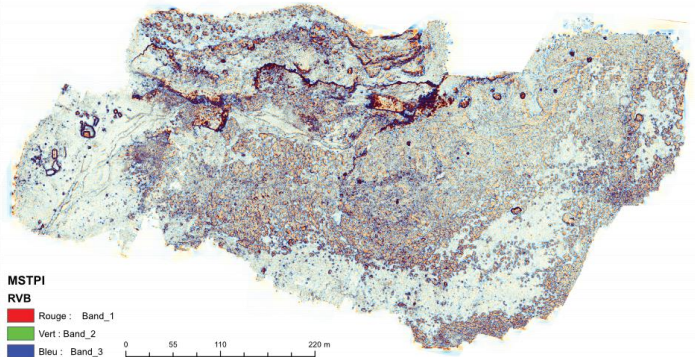
*Sky View Factor  
(RVT Software)*

⇒ 31 méthodes de visualisation testées

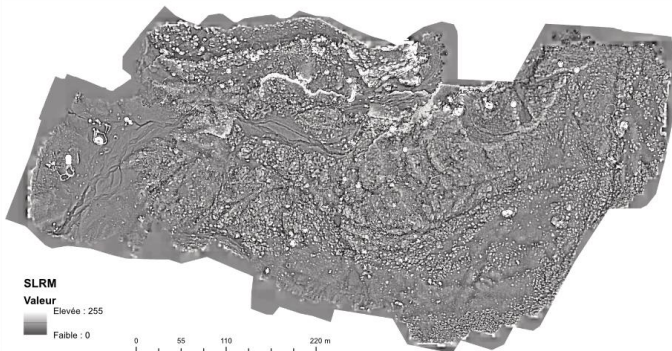




Slope  
(RVT Software)

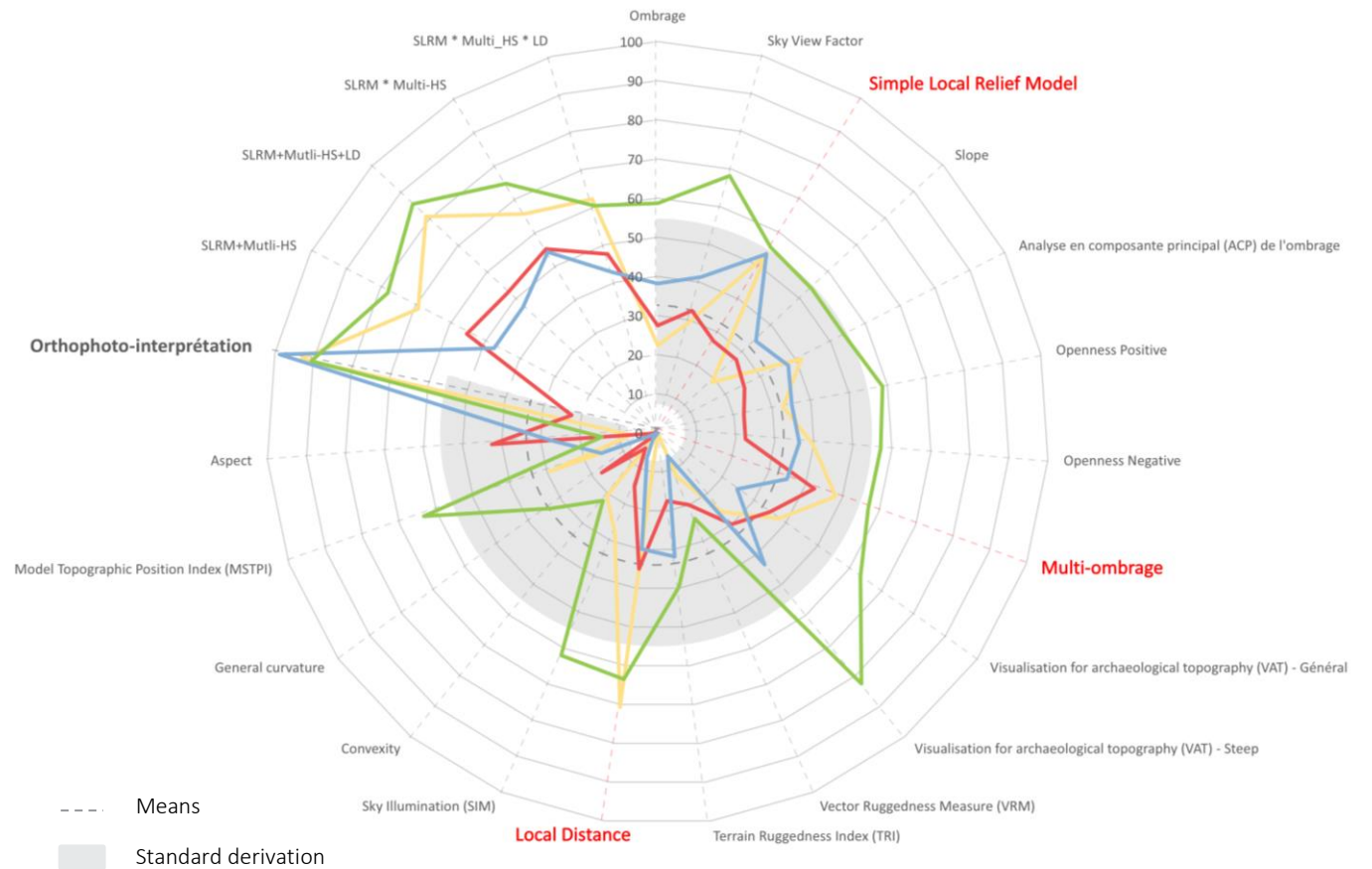


Multiscale Topographic Position Index  
(SagaSig Software)



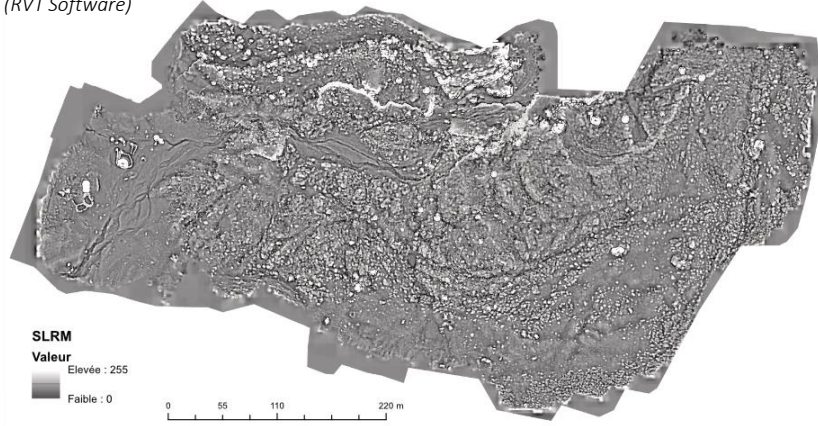
Simple Local Relief Model  
(RVT Software)

— Larruns (64) - Estive d'Aneou - La Glère — Enveitg (66) - Plaa de l'Orri — Aulon (65) - Auloueilh — Estaing (65) - Liantran

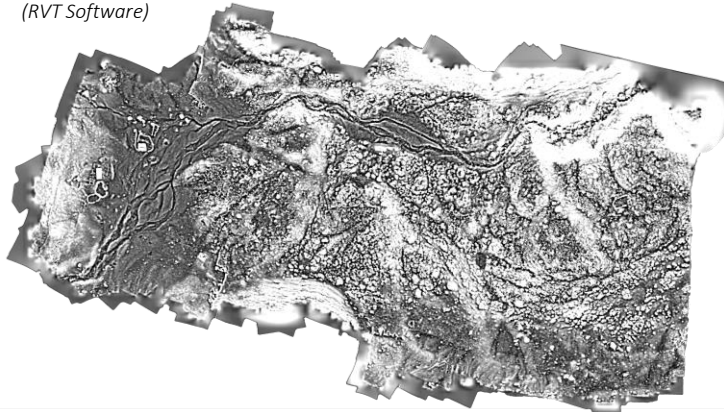




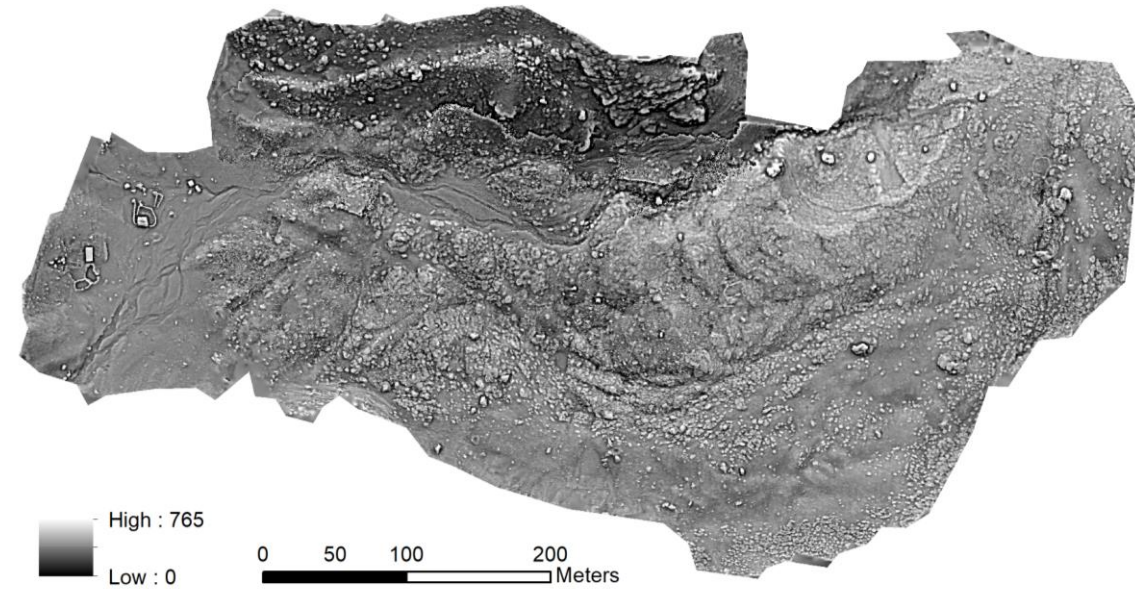
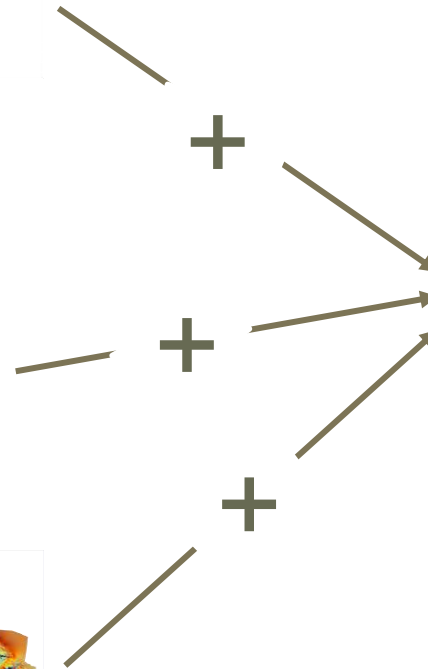
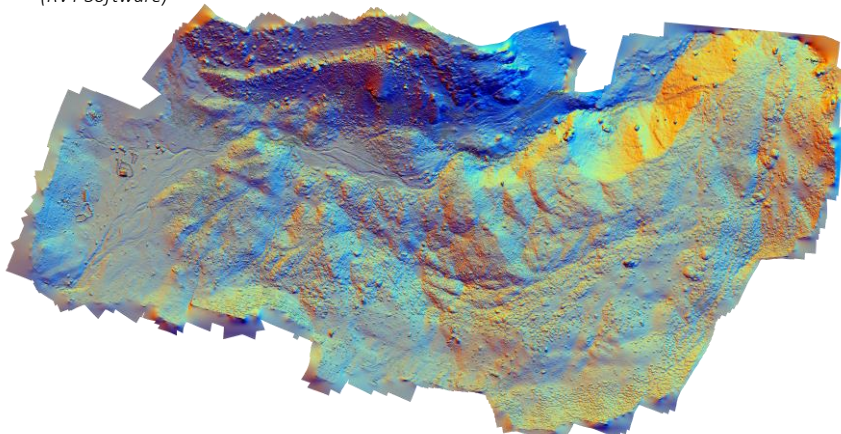
Simple Local Relief Model  
(RVT Software)



Local Dominance  
(RVT Software)



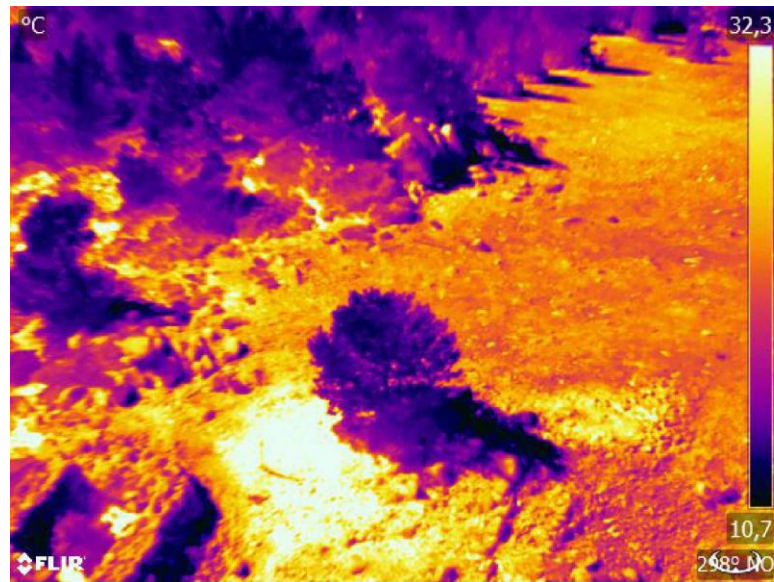
Multi-Hilshade  
(RVT Software)



Exemple d'addition de raster : Simple Local Relief + Local dominance + Multi-Hilshade



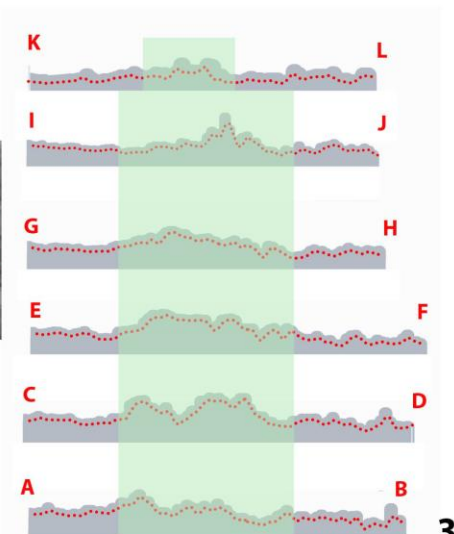
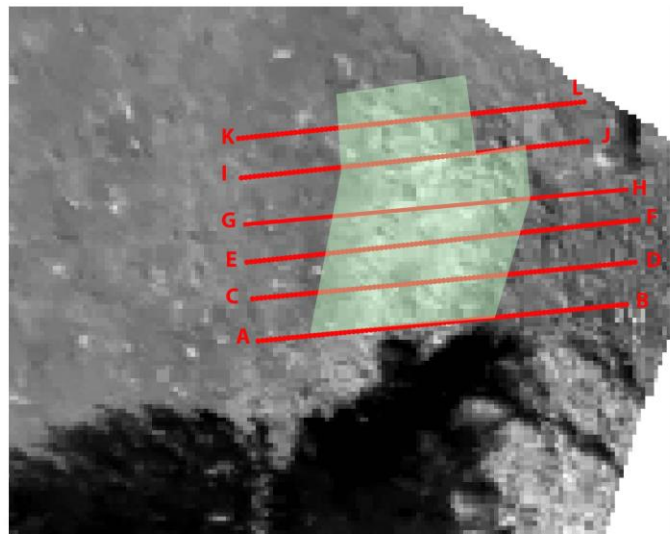
## Drones (Thermographie)



1







2



3

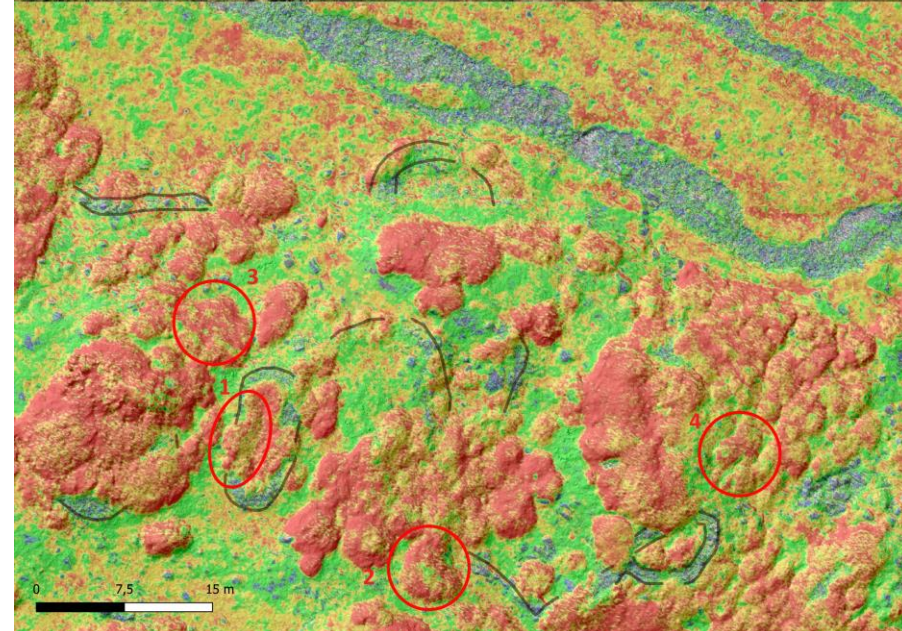
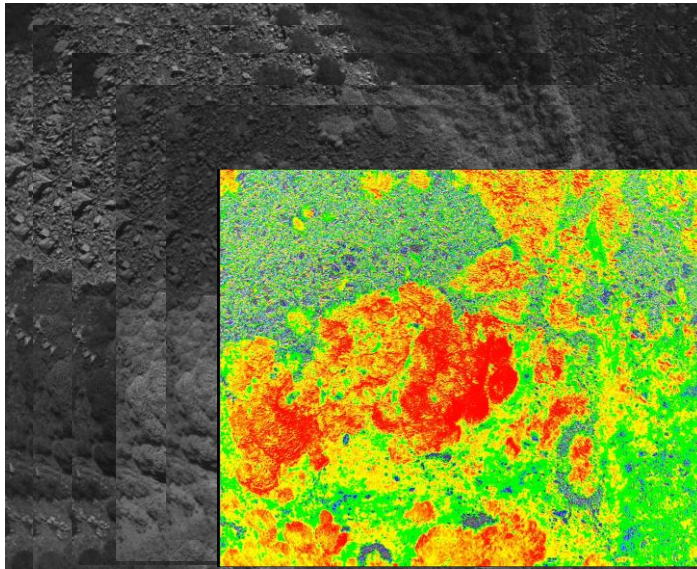
Légende :

1. Image thermique
2. Image RVB
3. Analyse de l'image thermique

-  Anomalie thermique
-  coupes thermiques
-  profils thermiques
-  profils thermiques simplifié suivant les moindres carré

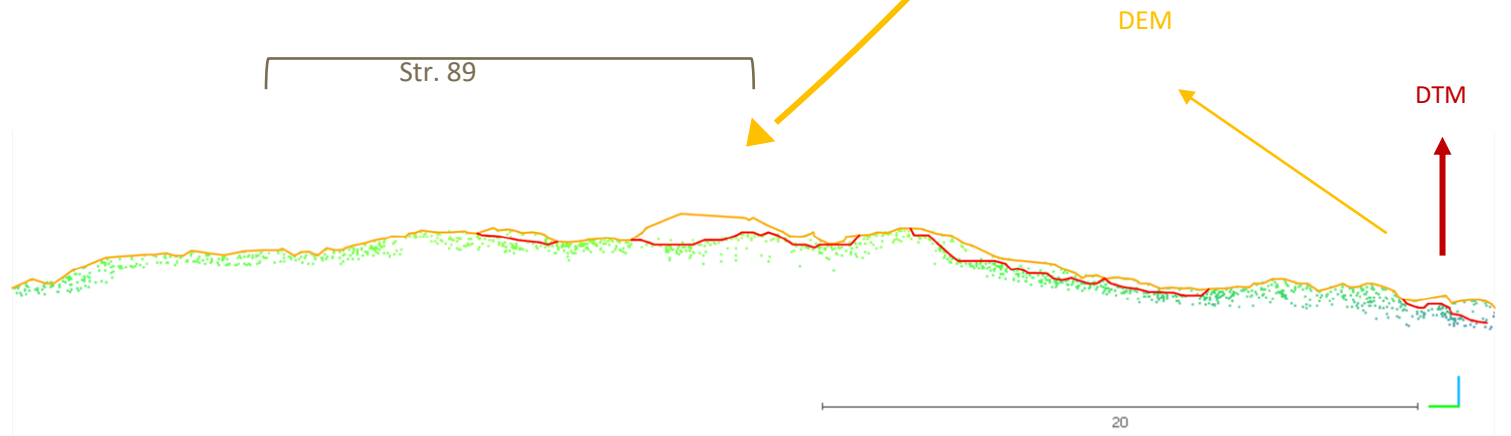
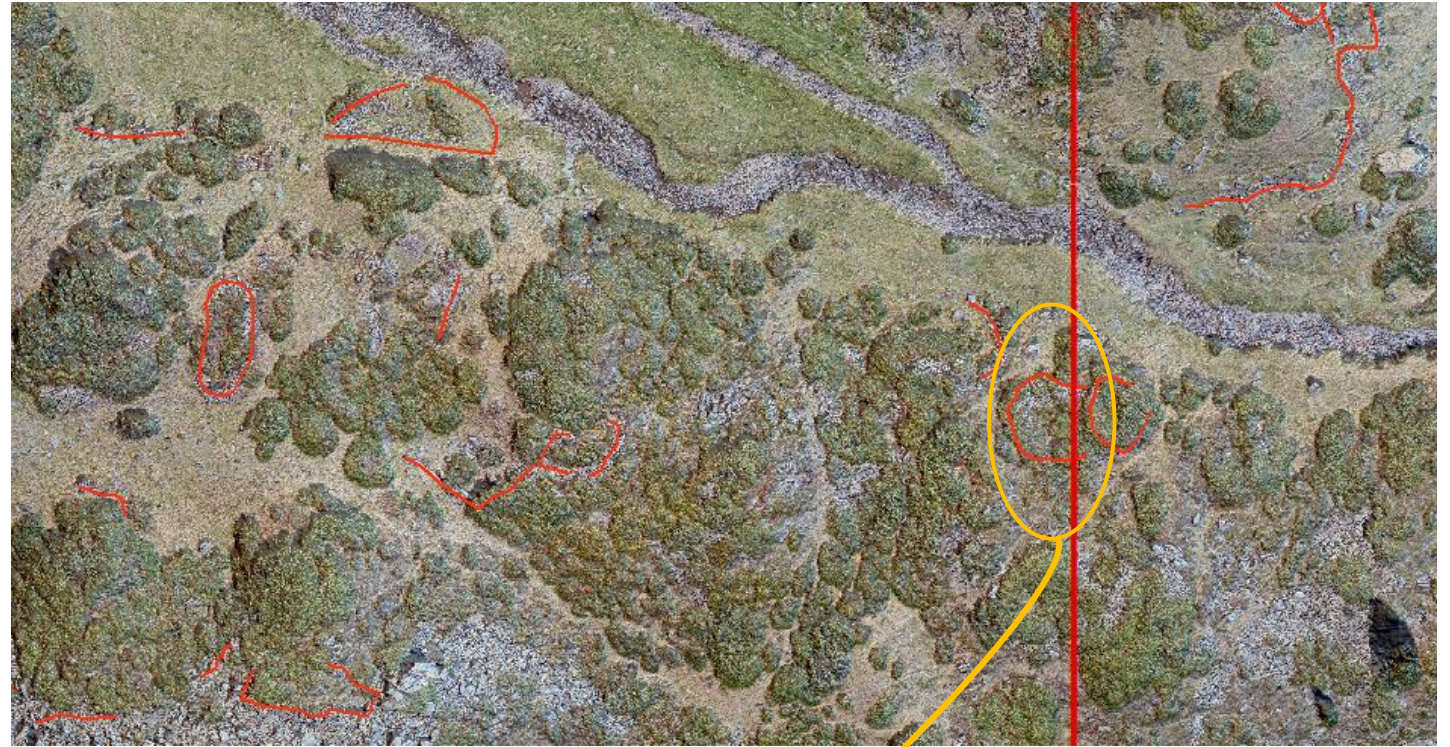


## Drones (Multispectral)





## Drones (Lidar)





# Magnétomètre / Géoradar





## Spectromètre de fluorescence X

2019

Manuel



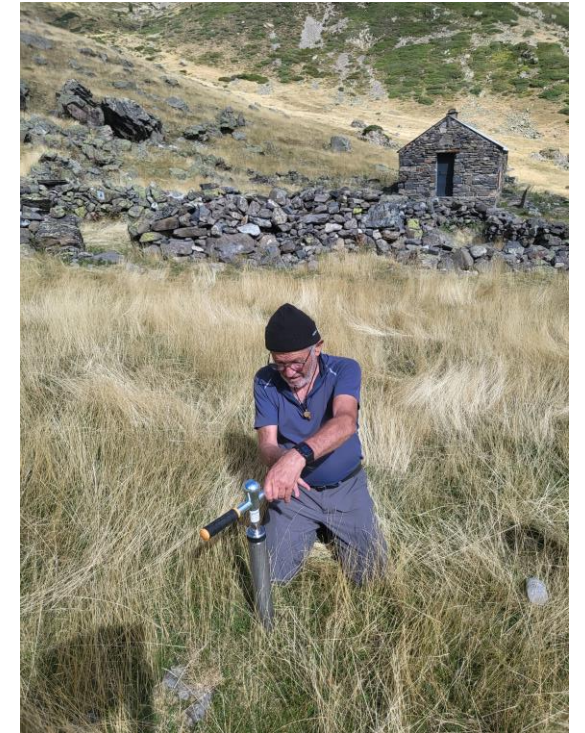
2020

Tarière à vis



2023

Carottier manuel

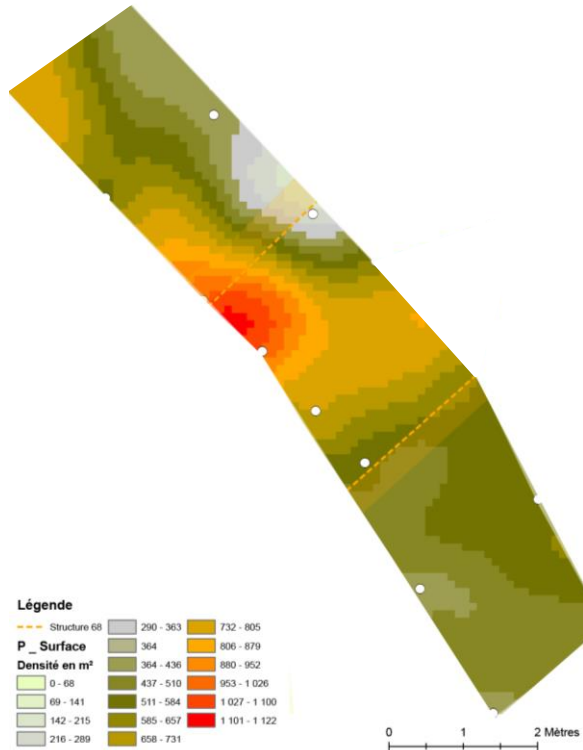


# Spectromètre de fluorescence X

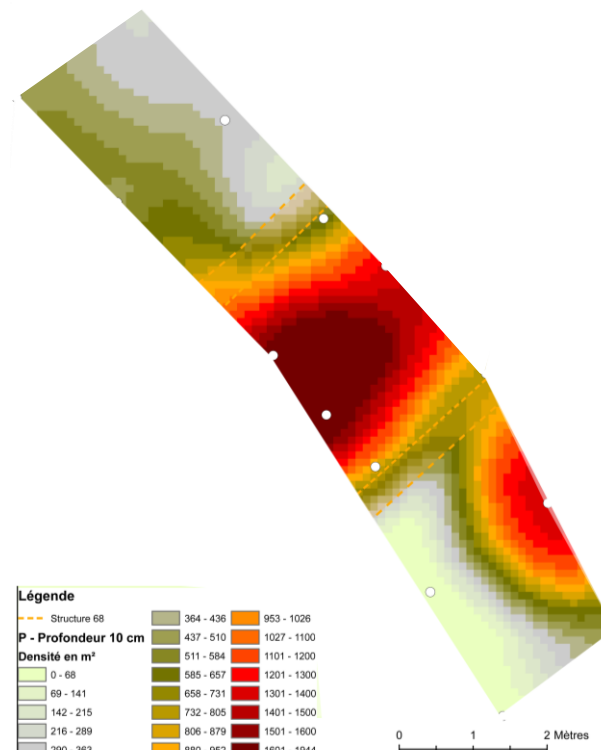
Mesure du Phosphore (P)

Spectromètre à fluorescence X

Mesures sur un couloir de traite possiblement médiéval (Enveitg – 66)

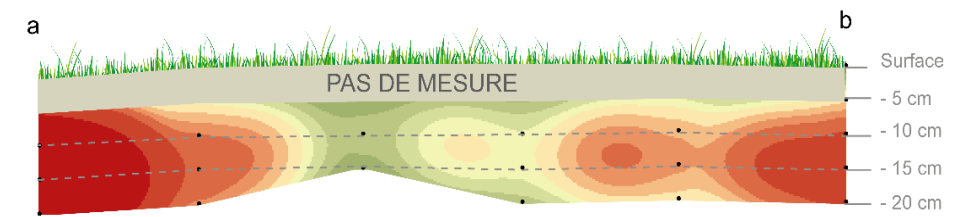
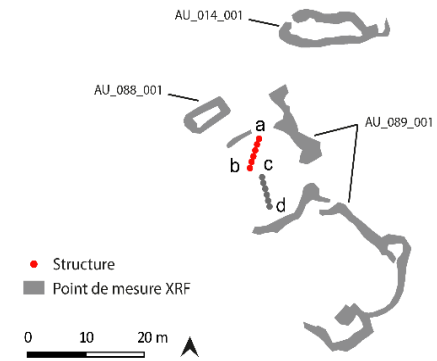


Surface

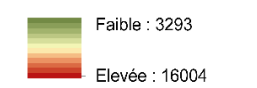


10 cm de profondeur

Mesures sur un espace présentant des traces de réoccupation (Aulon – 65)



Densité de Phosphore (ppm)



• Point de mesure XRF

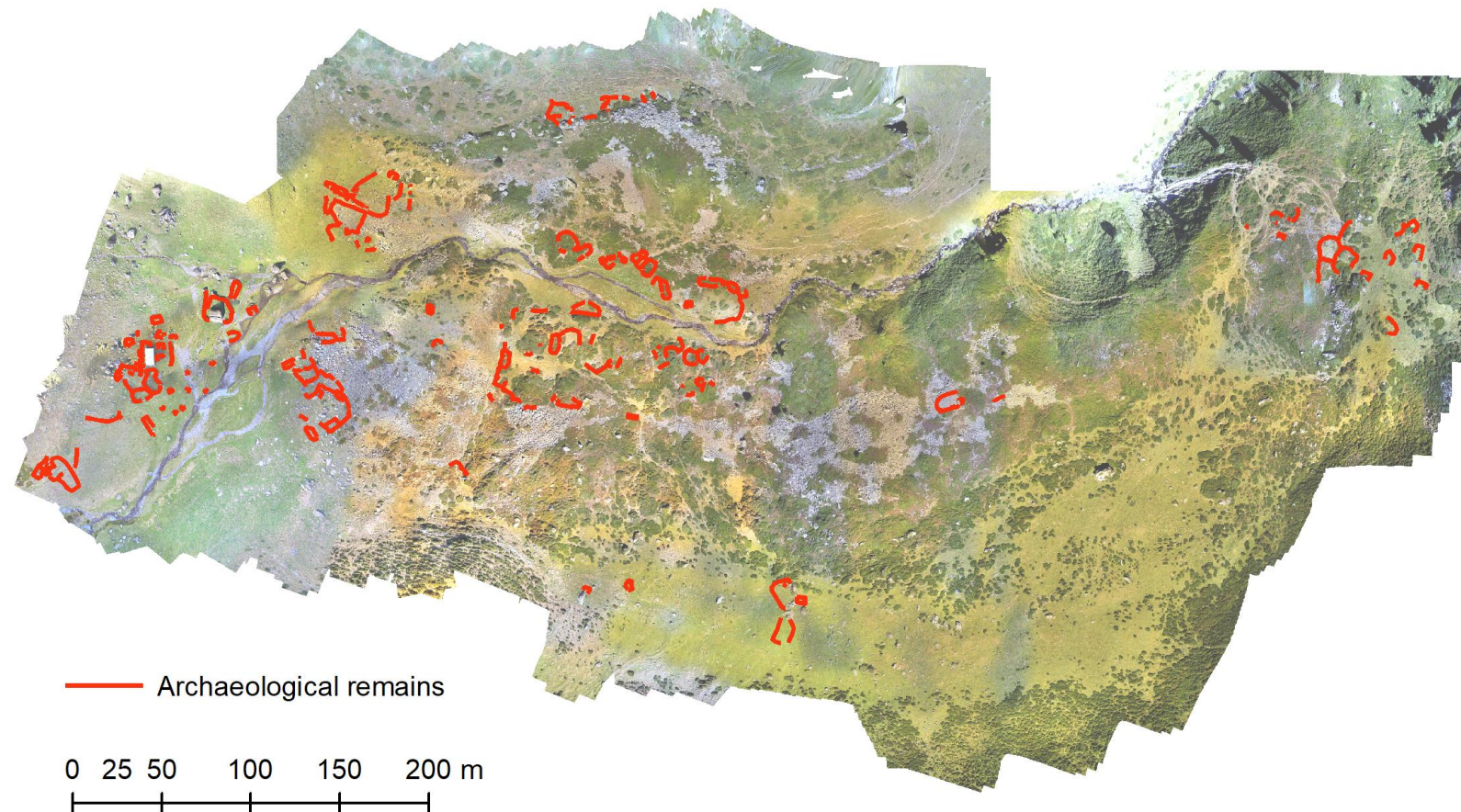




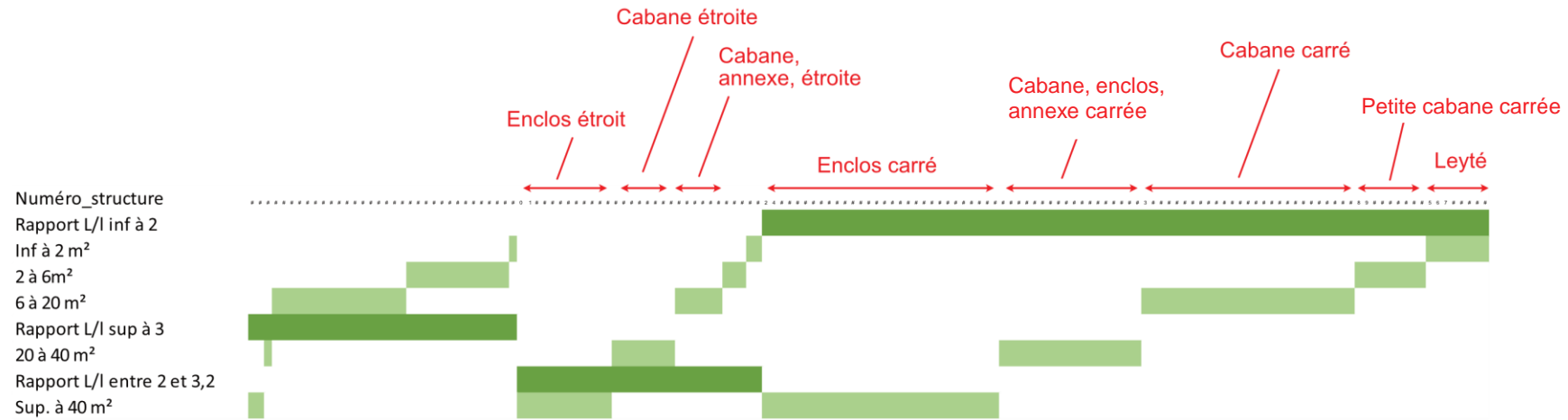
## Replat de l'Auloueilh (Réserve Naturelle d'Aulon - 65)

⇒ 23 hectares

⇒ 157 vestiges archéologiques décrits, photographiés, mesurés et documentés par différents appareillages



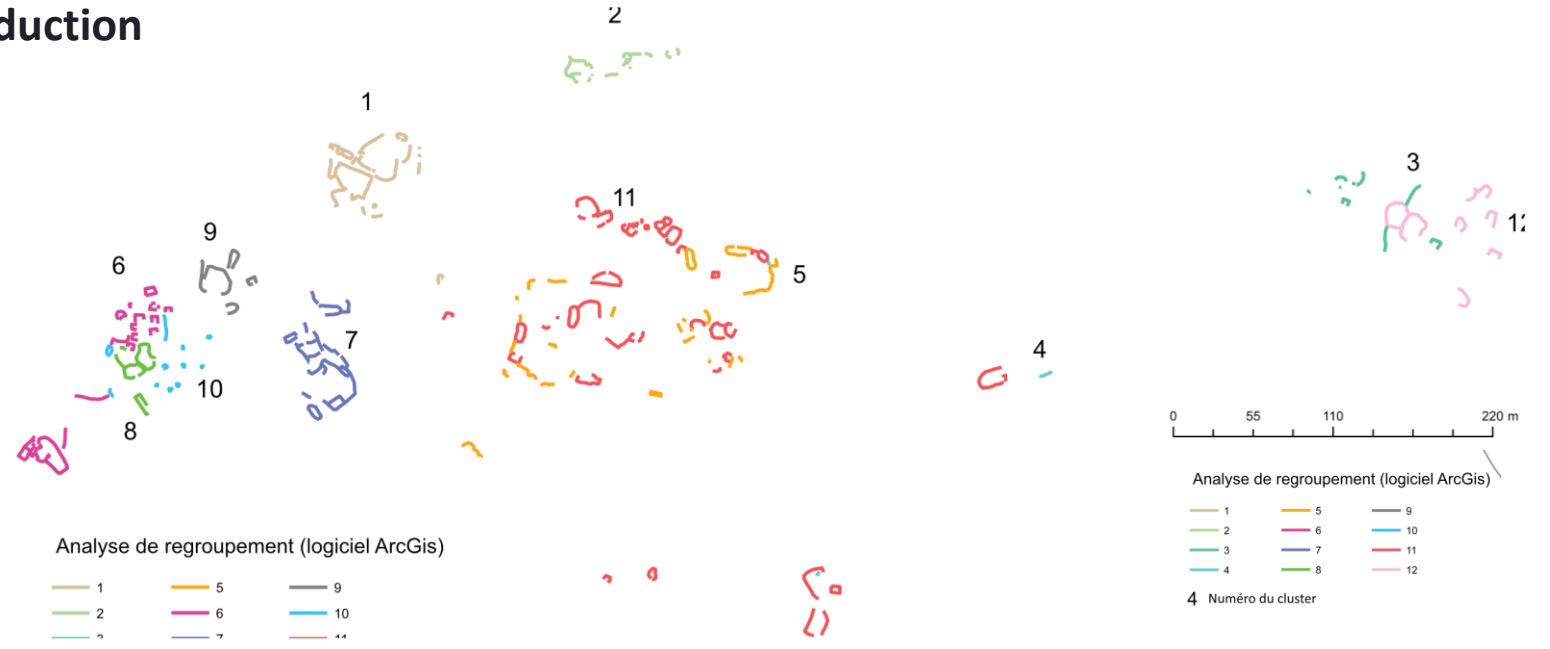
# Classification des vestiges archéologiques



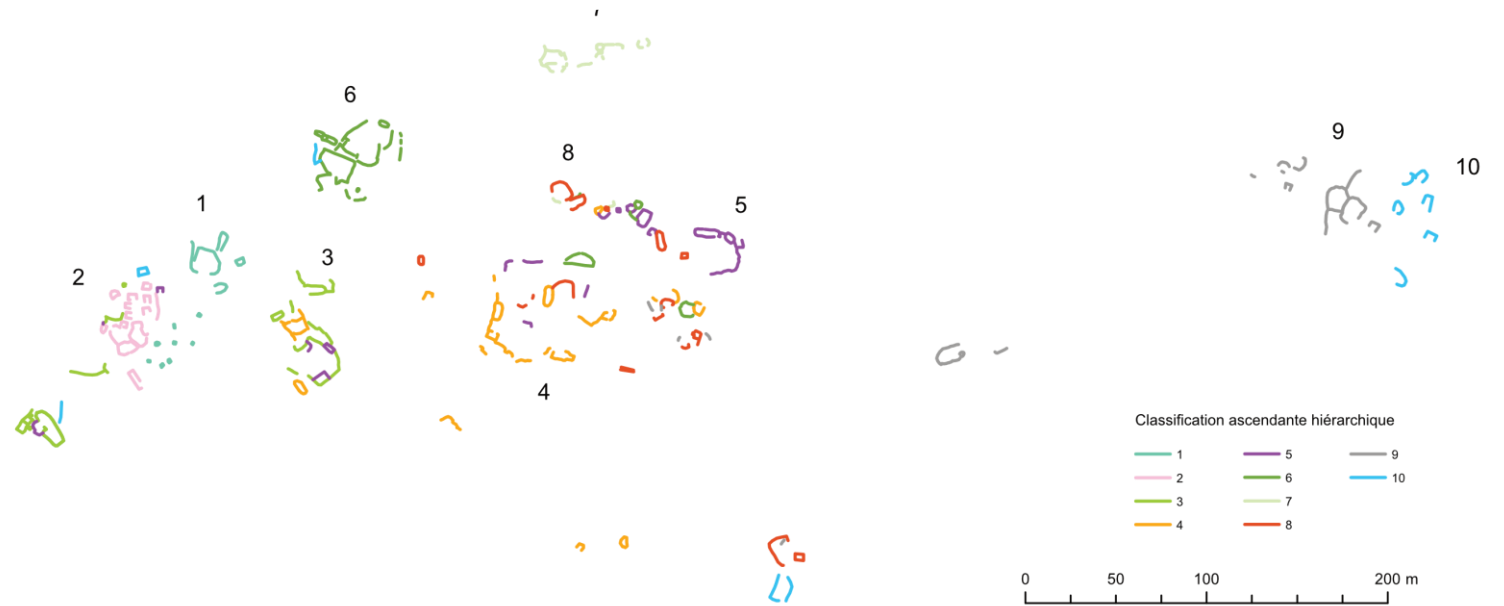


# Classification en unites théoriques de production

Méthode du clustering analysis (ArcGis)

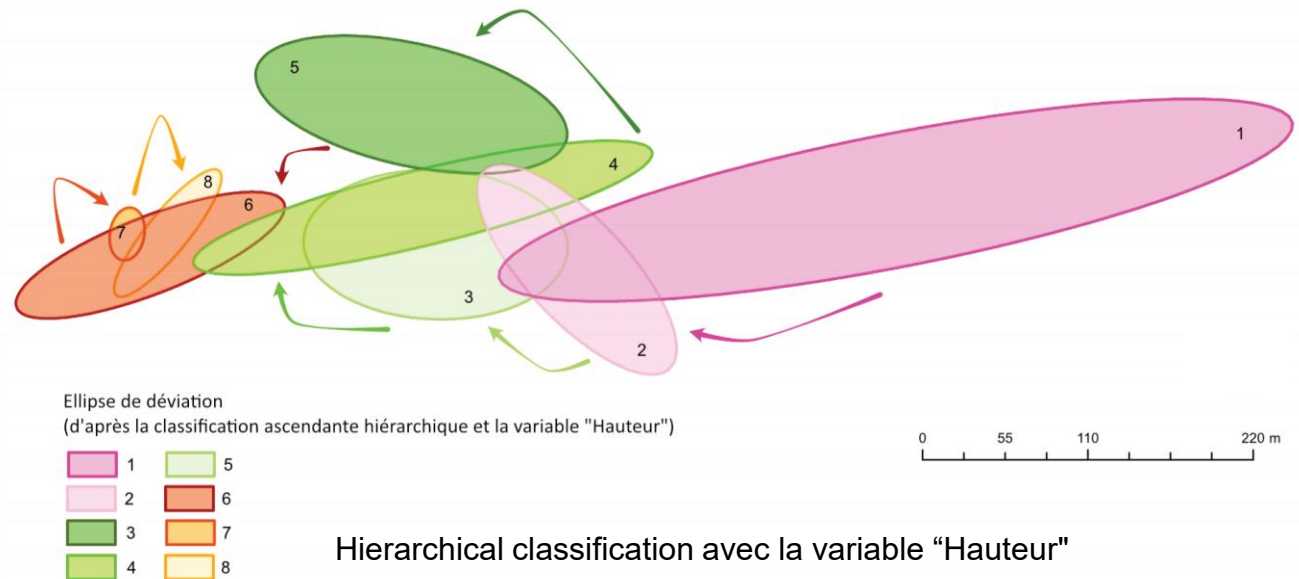
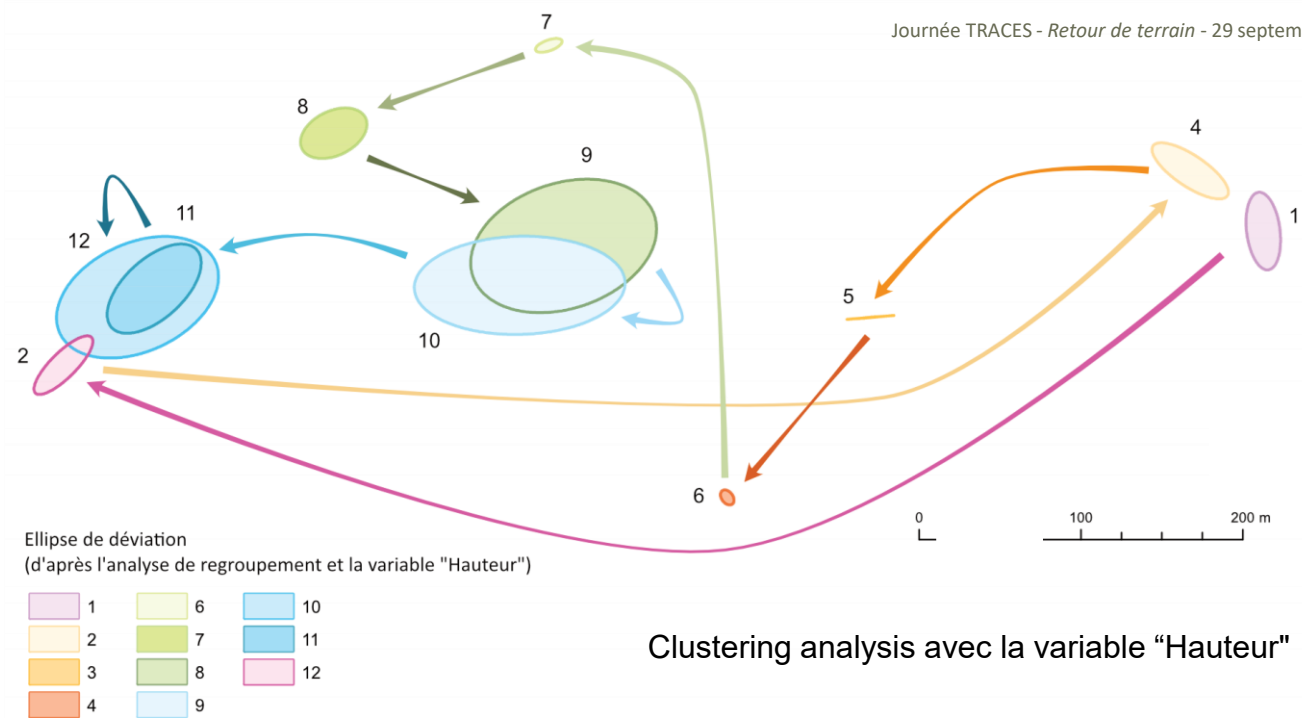


Méthode hierarchical ascending classification (Aclgis)



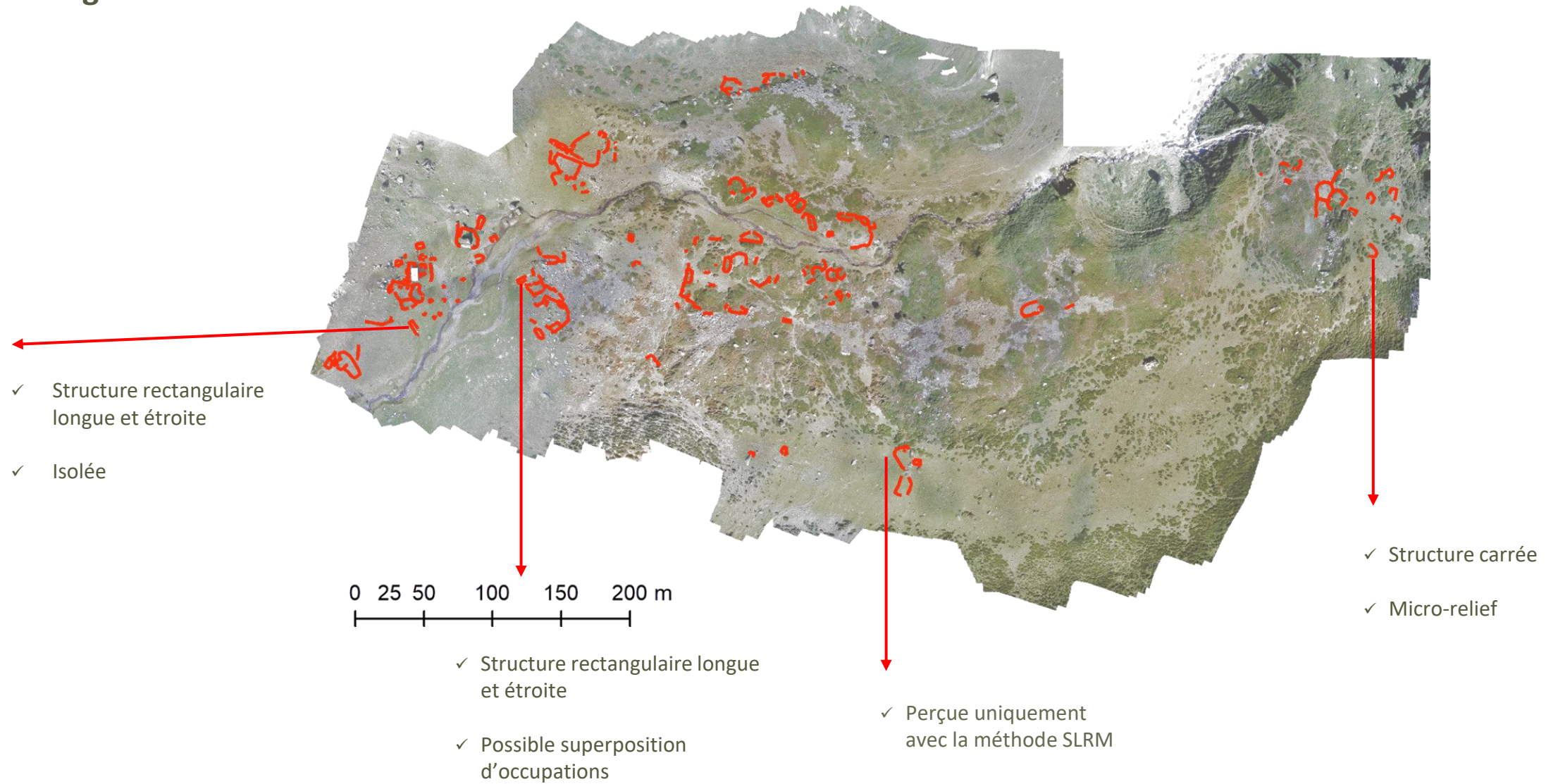
# Insertion du temps

Carte des ellipses d'écart-type (ArcGis)



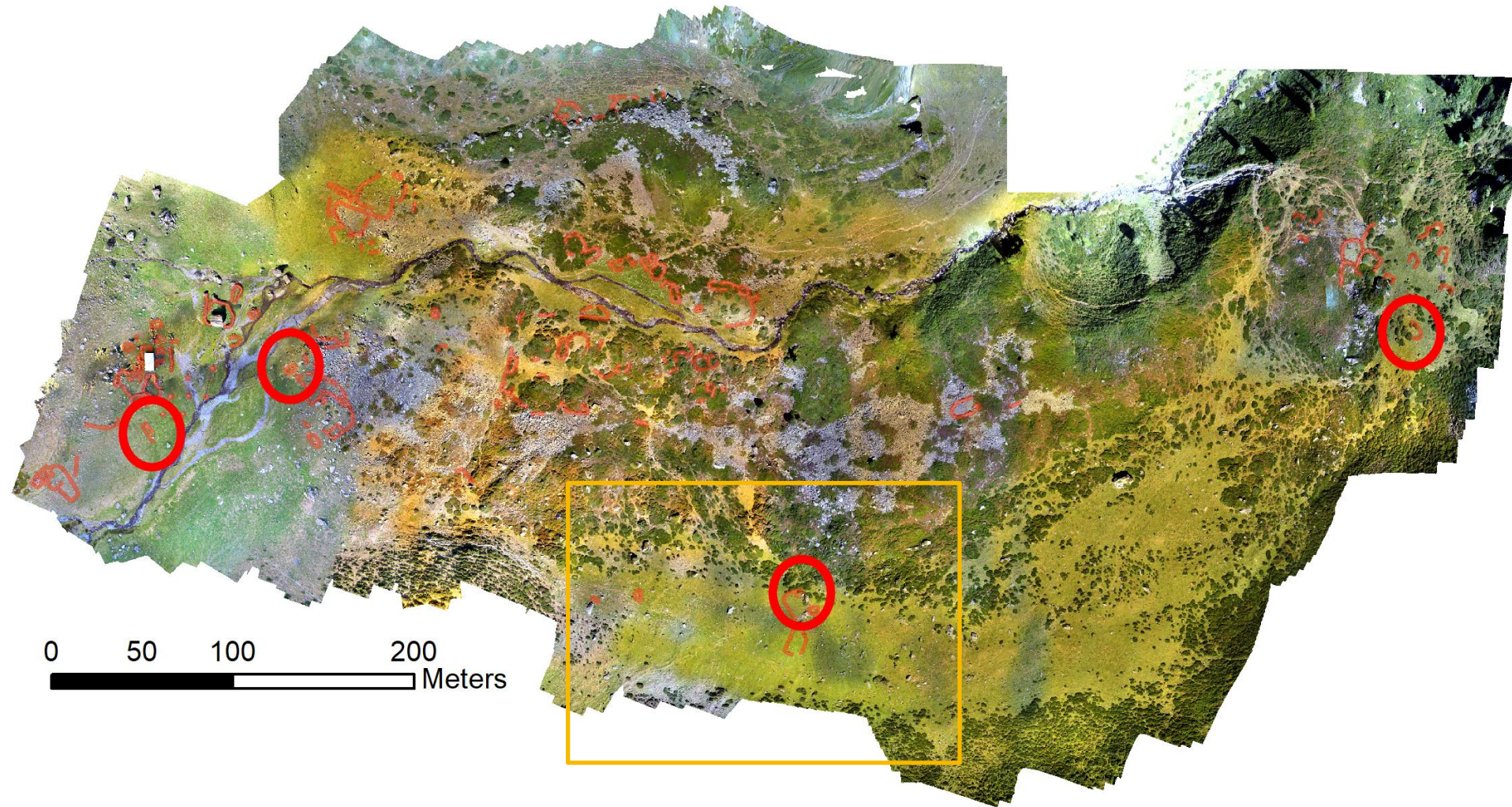


## Sondage de validation



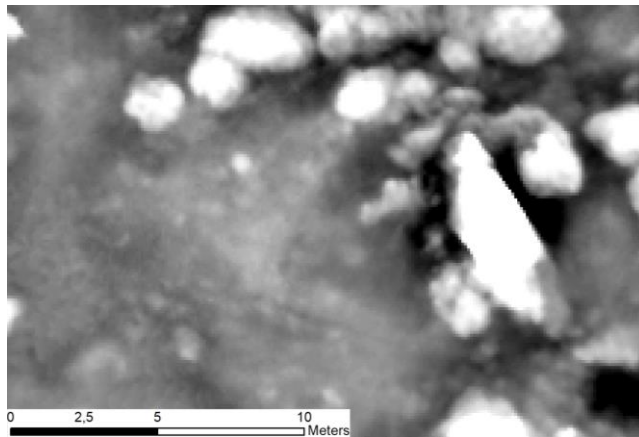
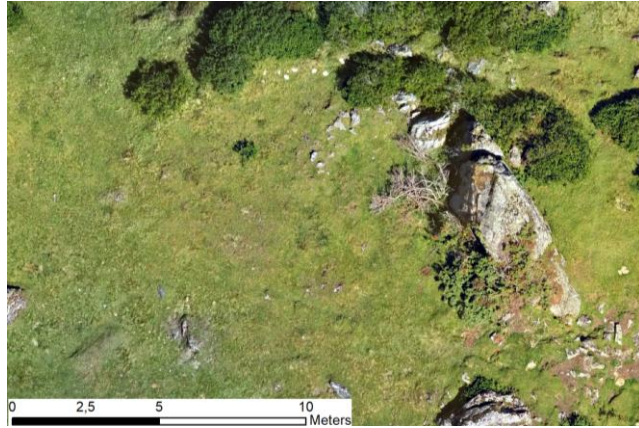


## Sondage de validation



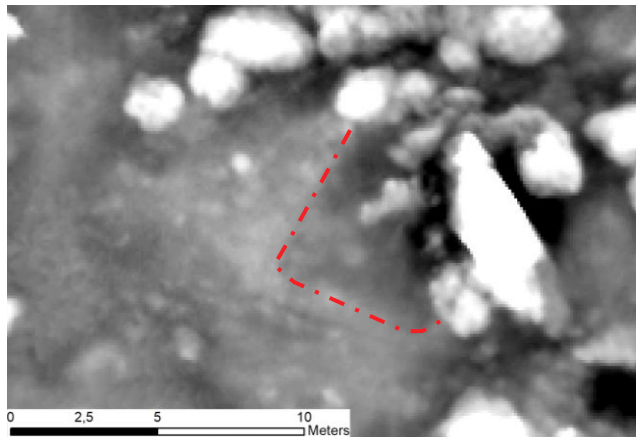
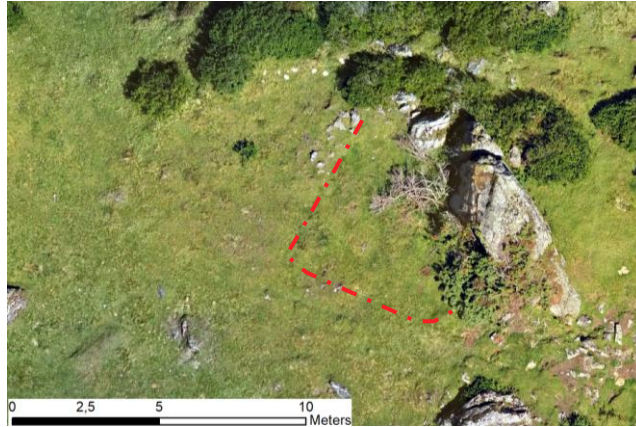


## Sondage de validation



Anomalie perçue avec la méthode SLRM

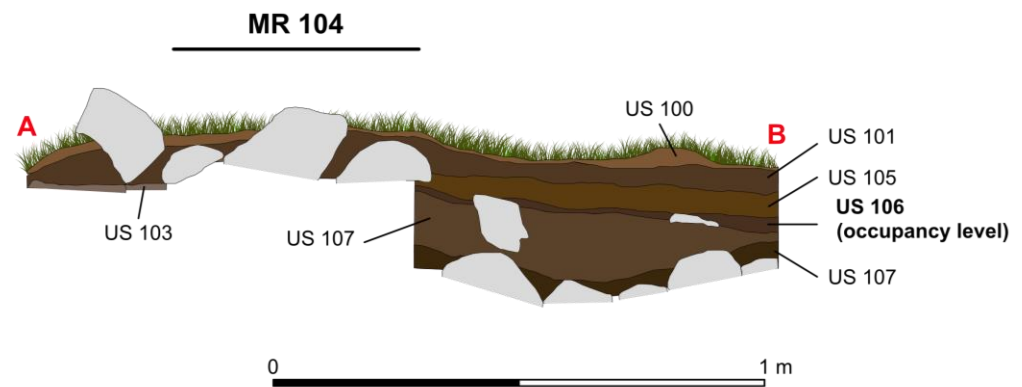
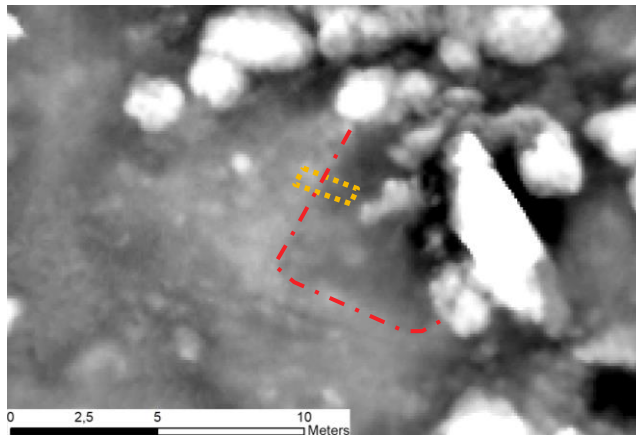
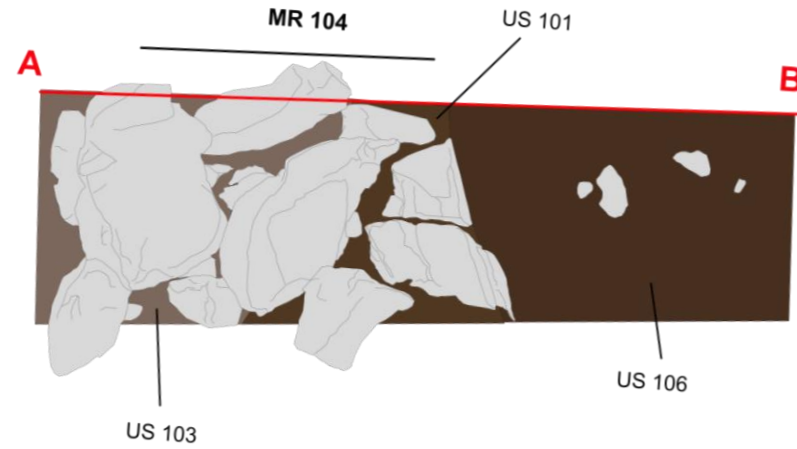
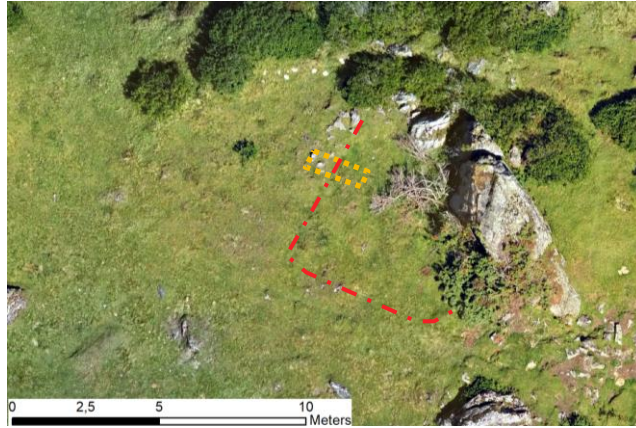
## Sondage de validation



Anomalie perçue avec la méthode SLRM

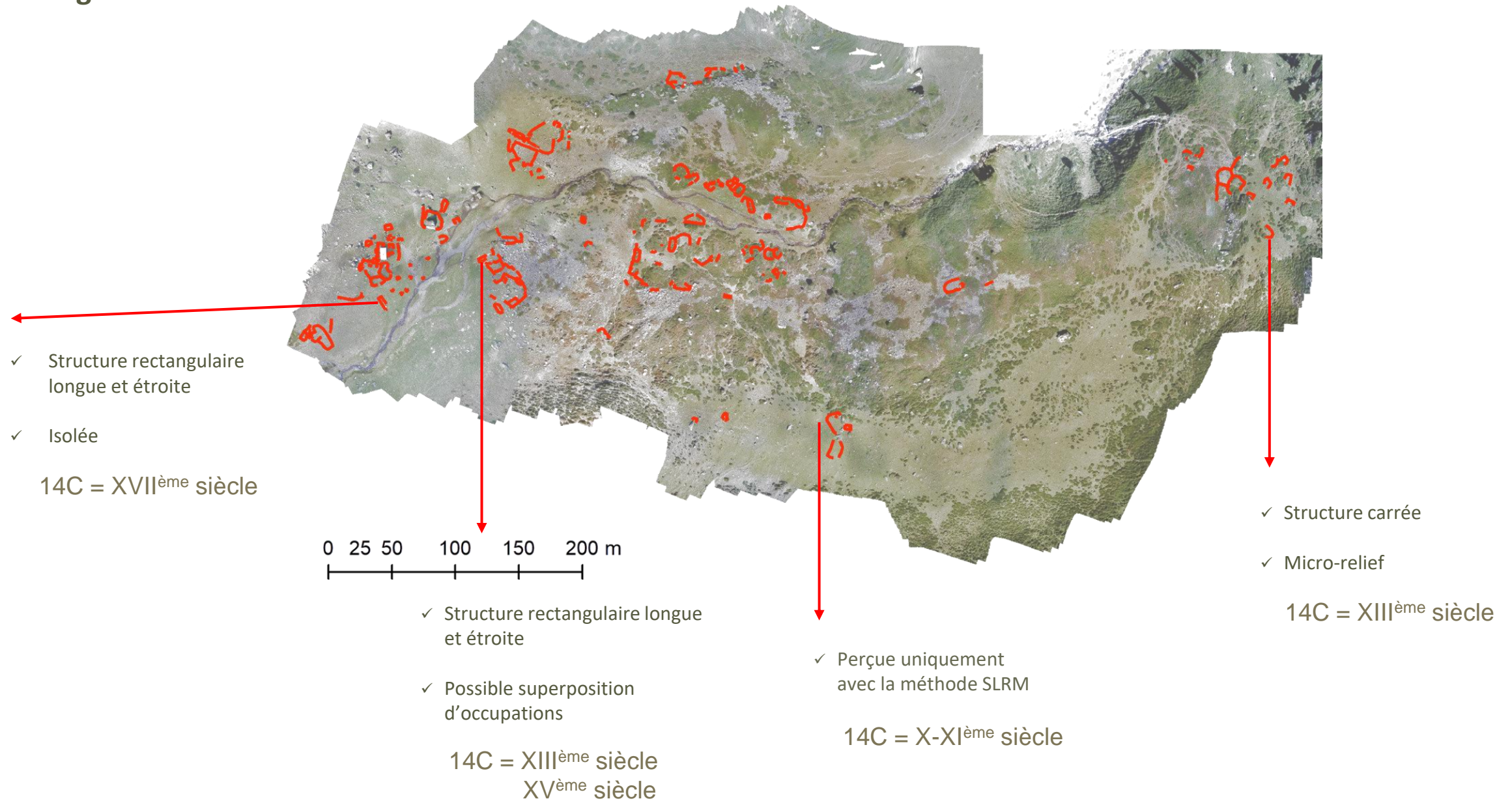


# Sondage de validation



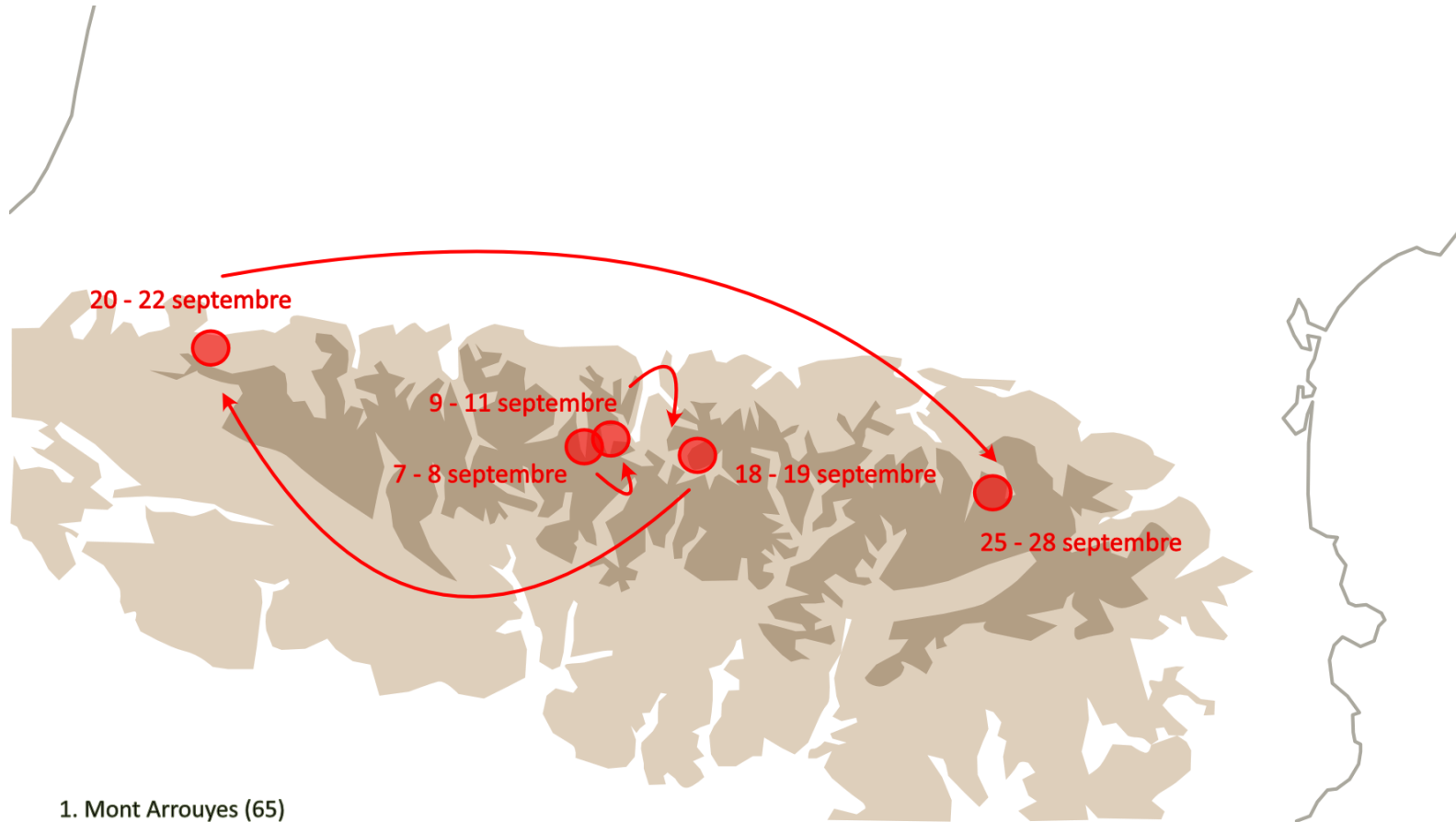
Anomalie perçue avec la méthode SLRM

## Sondage de validation





## 2023 ... passer des tests à l'opérationnel

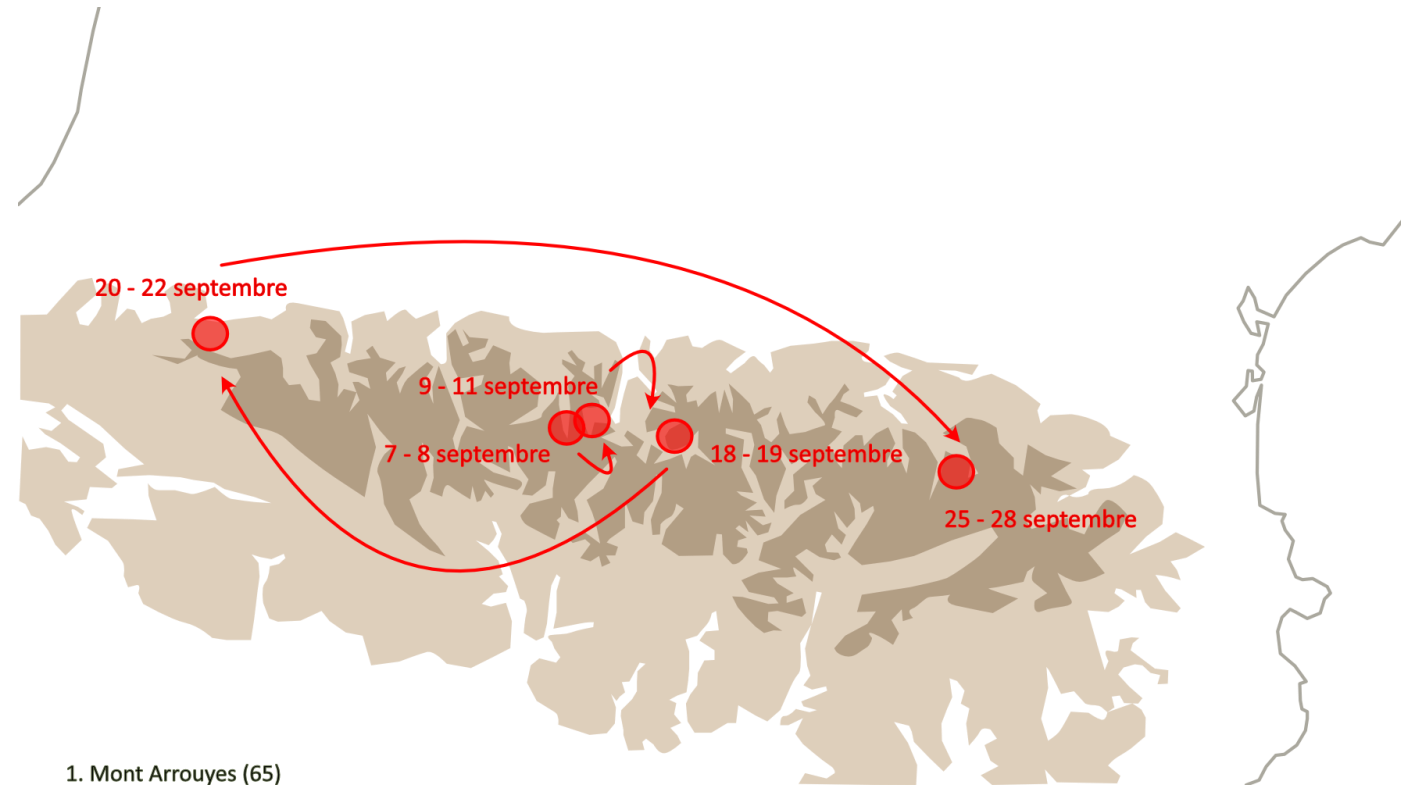


1. Mont Arrouyes (65)
2. Aulon (65)
3. Vallée du Lys (31)
4. Cize (64)
5. Enveitg (66)



## 2023 ... passer des tests à l'opérationnel

- 3 personnes
- 5 terrains répartis sur l'ensemble de la chaîne pyrénéenne
- 3 héliportages
- 250 kg de matériel scientifique transporté
- 11 jours de terrain effectifs
- 1 campement d'altitude (2000 m d'alt.)

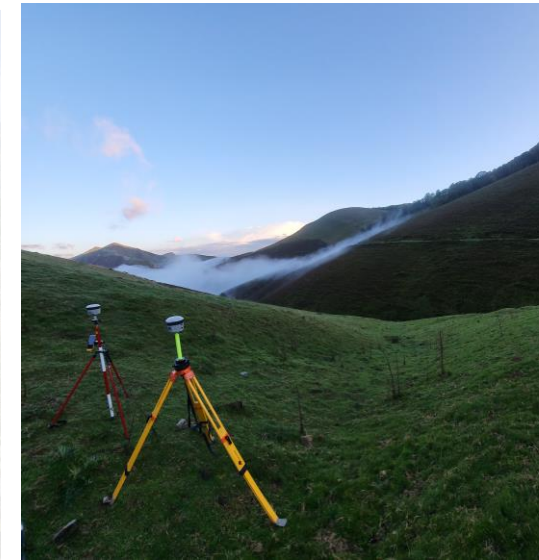


1. Mont Arrouyes (65)
2. Aulon (65)
3. Vallée du Lys (31)
4. Cize (64)
5. Enveitg (66)



## 2023 ... passer des tests à l'opérationnel

- **22 hectares** couverts par drone (photogrammétrie, thermographie)
- **3696 m<sup>2</sup>** couvert avec le magnétomètre
- **869 m<sup>2</sup>** couverts avec le géoradar
- **8 carottages** sédimentaires positifs



## Futur du programme T.A.H.M.M.

✓ Travailler au regroupement/fusion de l'information via l'I.A.

=> Collaboration avec l'IRIT et le CNES



✓ Améliorer la classification des données Lidar

=> Collaboration avec les laboratoires IRIT et CESBIO



✓ Développer la télédétection satellitaire

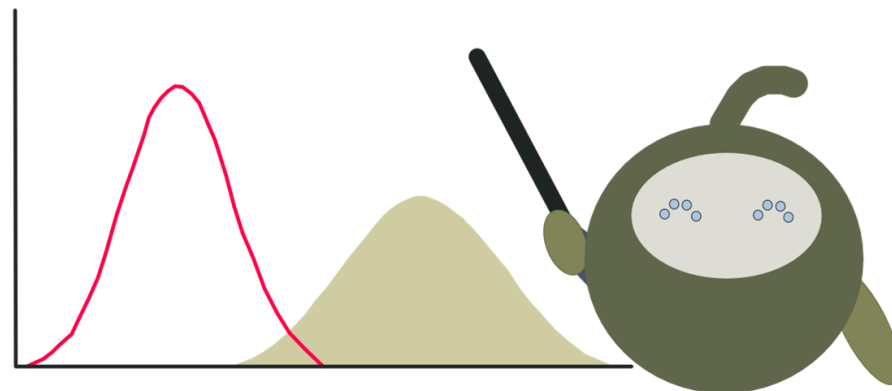
=> Collaboration avec la SFPT et le CNES (lab'OT)



✓ Affiner le traçage des fumiers

✓ Tester l'ADN sédimentaire en milieu non lacustre

=> En recherche de collaboration





# Prospecter les montagnes autrement

## Téledétection Archéologique en Haute et Moyenne Montagne (T.A.H.M.M.)

Marie-Claude **Bal**<sup>6</sup>, François **Baleux**<sup>1</sup>, Carine **Calastrenc**<sup>1,2</sup> (Dir.), Pierre **Campmajo**<sup>1</sup>, Nicolas **Dobigeon**<sup>3</sup>, Jordi **Inglada**<sup>4 et 5</sup>, Luc **Lapierre**<sup>8</sup>, Muriel **Llubes**<sup>7</sup>, Nicolas **Mellado**<sup>3</sup>, Magali **Philippe**<sup>6</sup>, Nicolas **Poirier**<sup>1</sup>, Christine **Rendu**<sup>2</sup>, Claire **Sicre-Marais**<sup>4</sup>, Maialen **Gauthier** (Master Etudes médiévales), Jean-Pierre **Calastrenc**

### Structures de recherche impliquées



### Financeurs Permanents



### Ponctuels



1. TRACES, UMR 5608, Toulouse
2. FRAMESPA, UMR 5136, Toulouse
3. IRIT, UMR 5505, Toulouse
4. CESBIO, UMR 5126, Toulouse,
5. CNES, Toulouse
6. GEODE, UMR 5602, Toulouse
7. GET, UMR 5563, Toulouse
7. Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection (SFPT)