

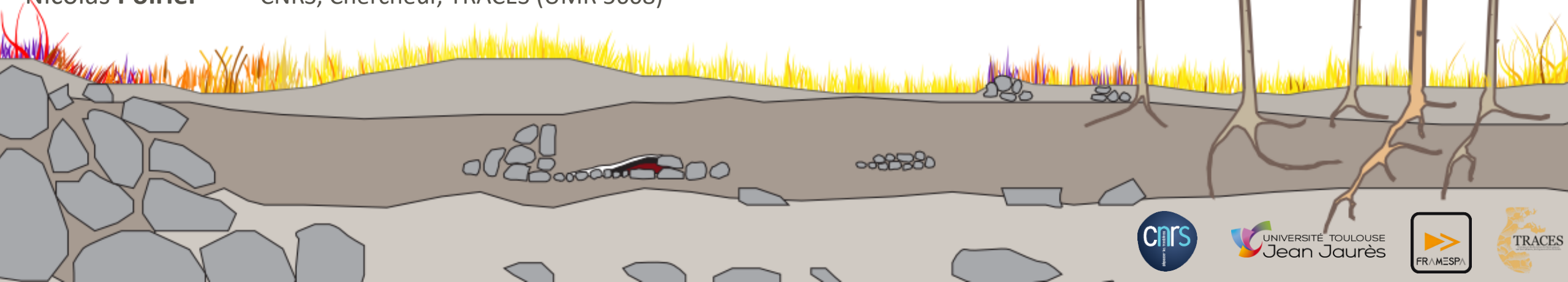


Vol au-dessus des plaines et des estives

Thermographie aéroportée par drone appliquée à l'archéologie

Carine Calastrenc CNRS, Ingénieur de Recherche, TRACES (UMR 5608)

Nicolas Poirier CNRS, Chercheur, TRACES (UMR 5608)



Archéologie

Prospection

Appréhension de l'ensemble des traces des aménagements apportés par les sociétés humaines à leur environnement physique et vivant.

=> Diagnostic

Fouille

Exploration du sous-sol par une action mécanique afin d'étudier les vestiges enfouis laissés par l'activité humaine.

=> Action destructive



Archéologie

Prospection

Appréhension de l'ensemble des traces des aménagements apportés par les sociétés humaines à leur environnement physique et vivant.

=> Diagnostic

Utilisation d'appareillage non-invasifs



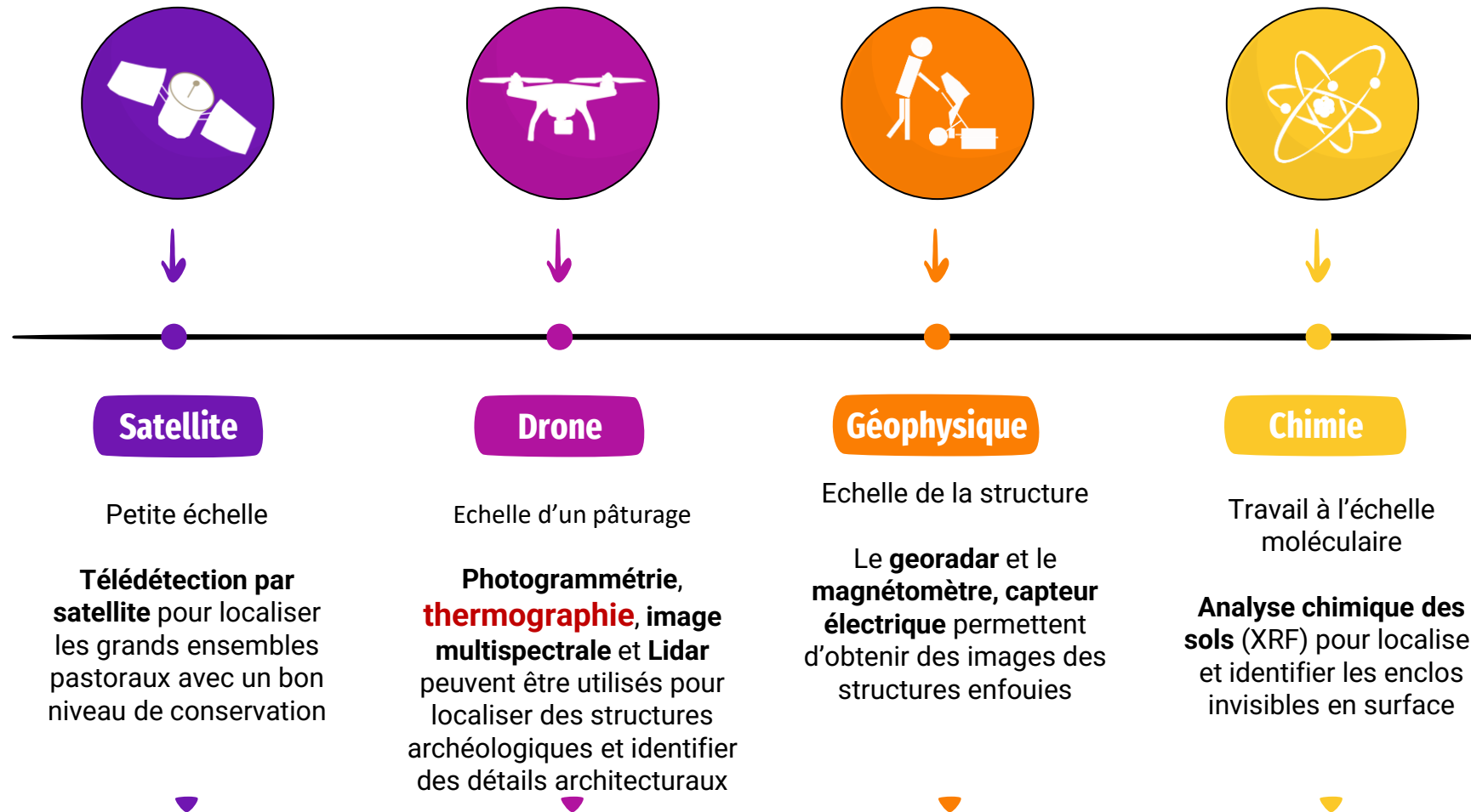
Fouille

Exploration du sous-sol par une action mécanique afin d'étudier les vestiges enfouis laissés par l'activité humaine.

=> Action destructive



Equipements scientifiques non-invasifs



Prospection thermique aéroportée

Méthode de détection est utilisée en archéologie depuis les années 1970

Difficile d'accès par son coût et ses contraintes d'organisation

Altitude et la vitesse de vol ne permet la détection que de structures de grande ampleur
(chemins et limites parcellaires)

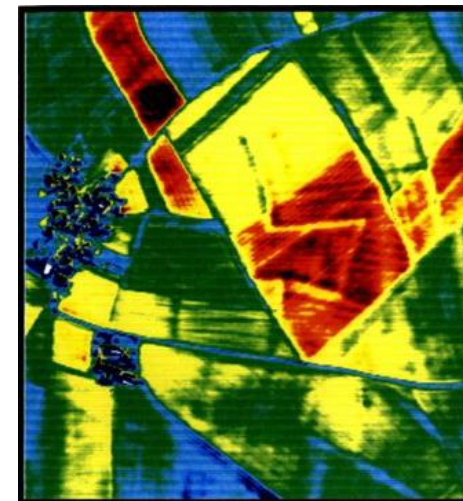


Roger AGACHE

Prospection aérienne

Alain TABBAGH

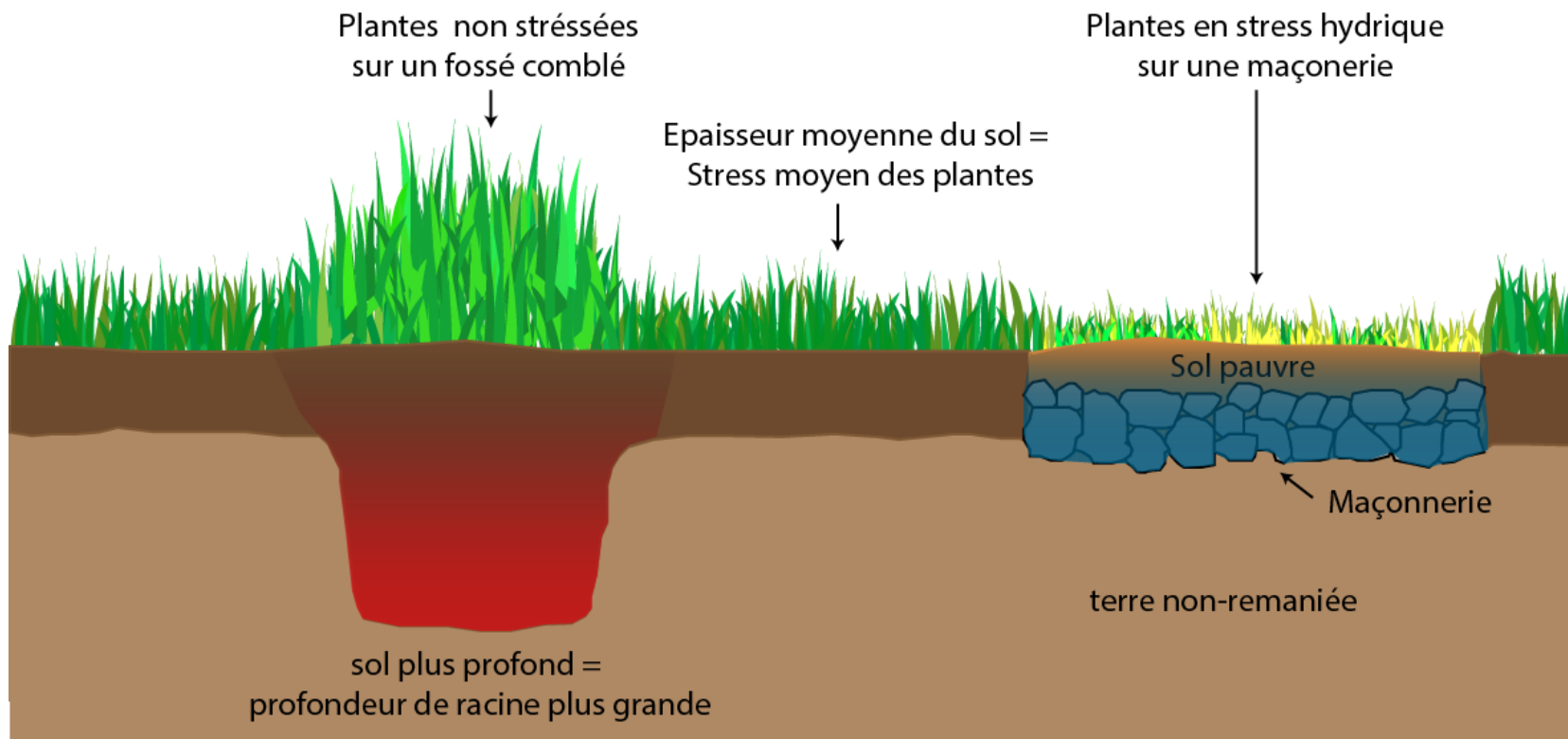
Prospection aérienne
thermographique



Thermographie à basse altitude

La thermographie aérienne permet de déterminer, à distance et sans contact, la température d'un objet.

Repérer des anomalies de température du sous-sol produites par l'inertie thermique de vestiges enfouis et transmises en surface par rémanence.



Drones

Octorotor à propulsion électrique (Flying eyes – 2011)

- 80 cm d'envergure
- Système de stabilisation inertiel tridimensionnel et GPS
- Emport de 3 Kg
- Système de télémétrie pour un affichage en temps réel des données de vol
- Système de navigation pour la réalisation de vols automatiques (waypoints)
- Temps de vol = 10 minutes



Parrot Anafi Thermal (2019)

- 31 cm d'envergure
- 315 g (sans la batterie)
- Système de télémétrie pour un affichage en temps réel des données de vol
- Système de navigation pour la réalisation de vols automatiques
- Temps de vol = 26 minutes



Caméra thermique

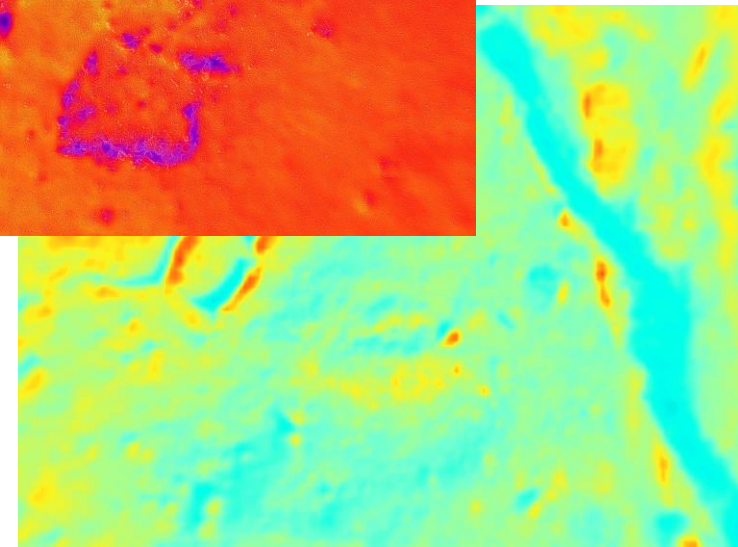
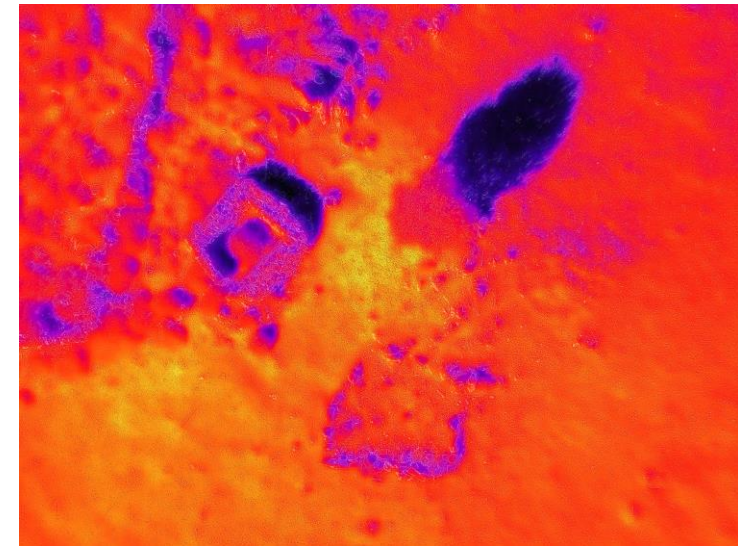
FLIR T620

- Détection de deltas de températures de l'ordre de $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Plage de mesure = -40° à 650°
- Résolution = 640×480 pixels
- Transmission radio en temps réels des images captées



Parrot – Anafi Thermal

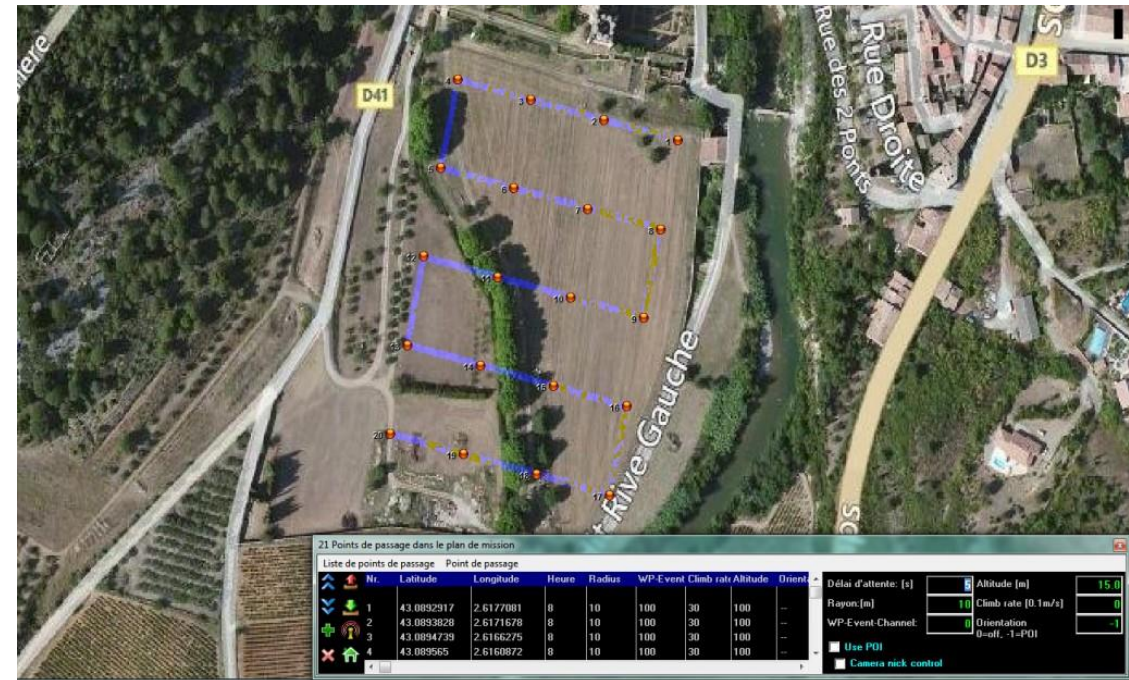
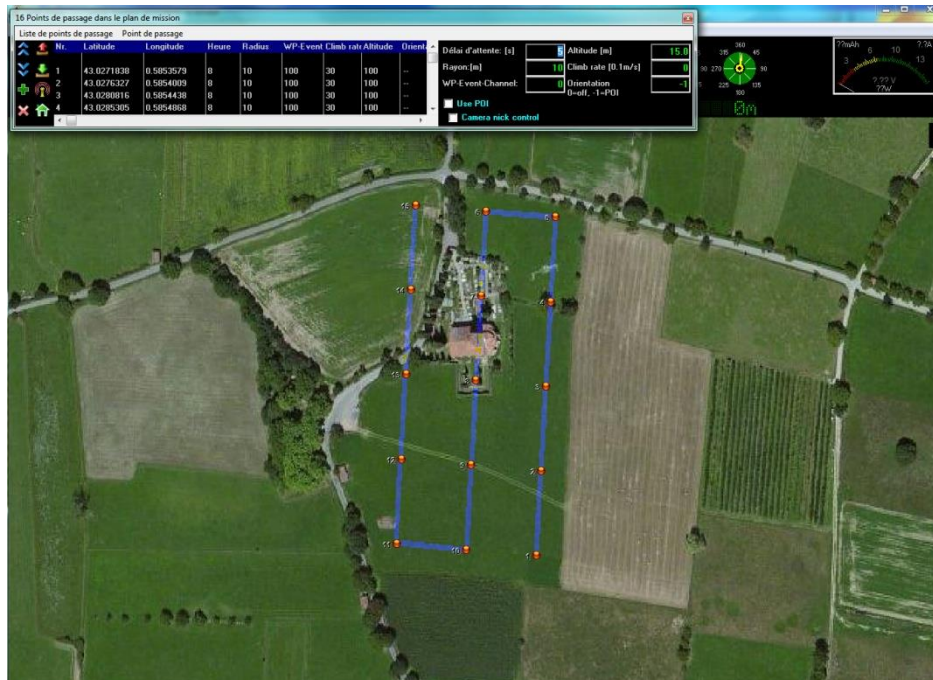
- Caméra intégrée (FLIR Lepton 3.5)
- Bande spectrale $8-14\ \mu\text{m}$
- Résolution = 160×120
- Carte micro-SD



Définition des plans de vols

Extraction d'emprises géographiques (Google Earth)

Génération de waypoints selon des trames orthogonales ou circulaires dont ont définit l'équidistance et l'altitude

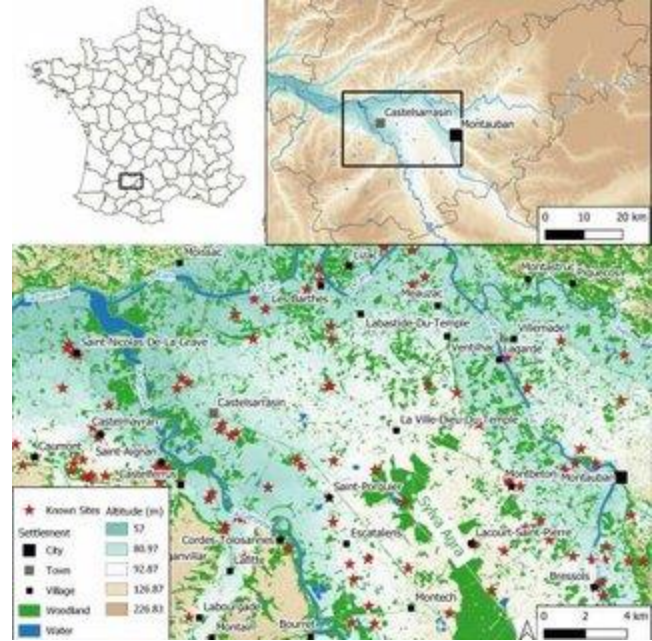


Prog. REPERAGE (Dir. N. Poirier)

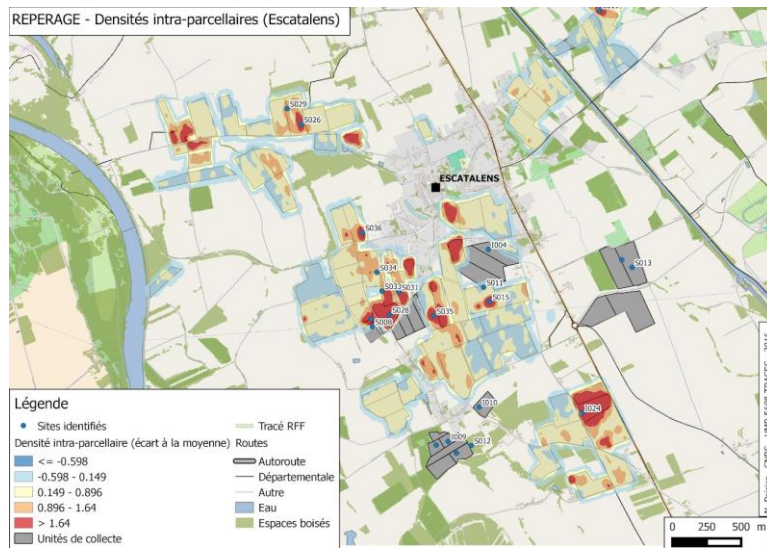
Evolution des relations sociétés/milieu dans la vallée de la Garonne moyenne, en aval de Toulouse, dans la longue durée.

L'approche du territoire est non-invasive et vise à combiner différentes méthodes :

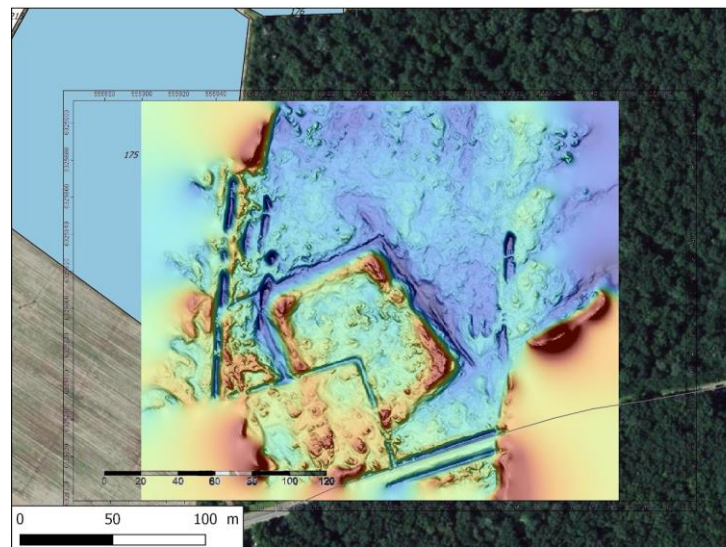
- Prospections pédestres systématiques
- Prospections aérothermiques et télédétection multispectrale par drone
- Relevés microtopographiques par Lidar embarqué sur drone
- Prospections géophysiques
- Exploitation des sources écrites et planimétriques anciennes



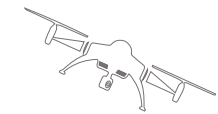
Carte de densité des artefacts retrouvés en surface



Carte de Lidar par drone



Carte de georadar (géophysique)

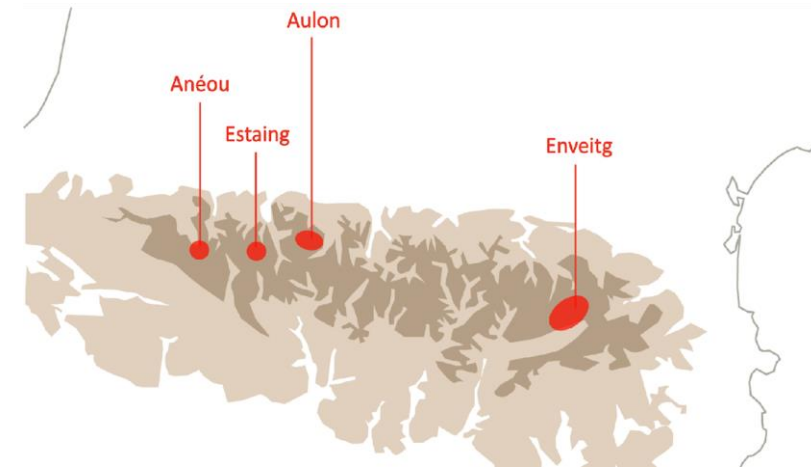


Prog. TAHMM (Dir. C. Calastrenc)

Renouvellement des méthodes de prospection en haute et moyenne montagne

Développement d'un process basé sur des outils non-invasifs :

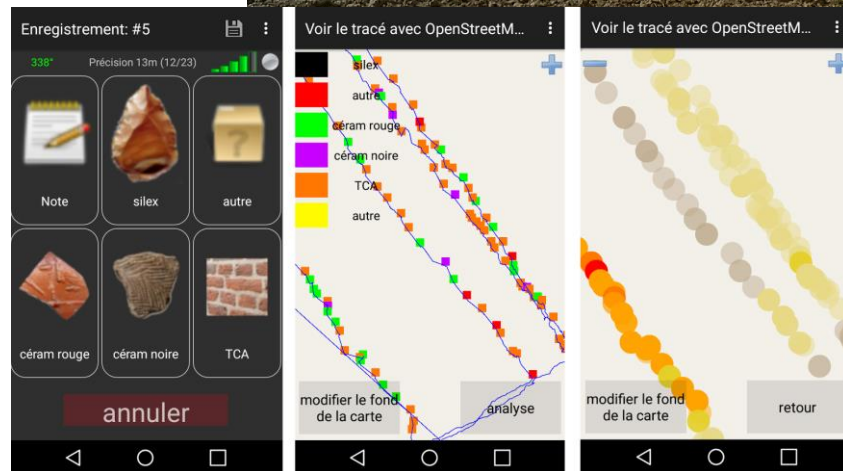
- Télé-détection par satellite
- Photogrammétrie par drone
- Prospections thermiques
- Télé-détection multispectrale par drone
- Relevés microtopographiques par Lidar embarqué sur drone
- Prospections géophysiques
- Analyses chimiques des sols



Spécificités des objets archéologiques recherchés

Plaine

- Détection par l'étude de la repartition spatiale des artefacts (céramique, éléments de construction, ...) retrouvés en surface
- Structures totalement recouvertes par des sédiments
- Aucun plan de bâtiment visible en surface



Montagne

- Plans des bâtiments construits en pierres sèches visibles en surface
- Structures recouvertes par une végétation dense et rase
- Degrès d'arasement différents



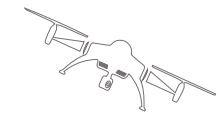
Observation d'anomalies thermiques

Présence / Absence d'anomalie

sur sol cultivé : repérer des anomalies de température des plantes liées à leur stress hydrique.



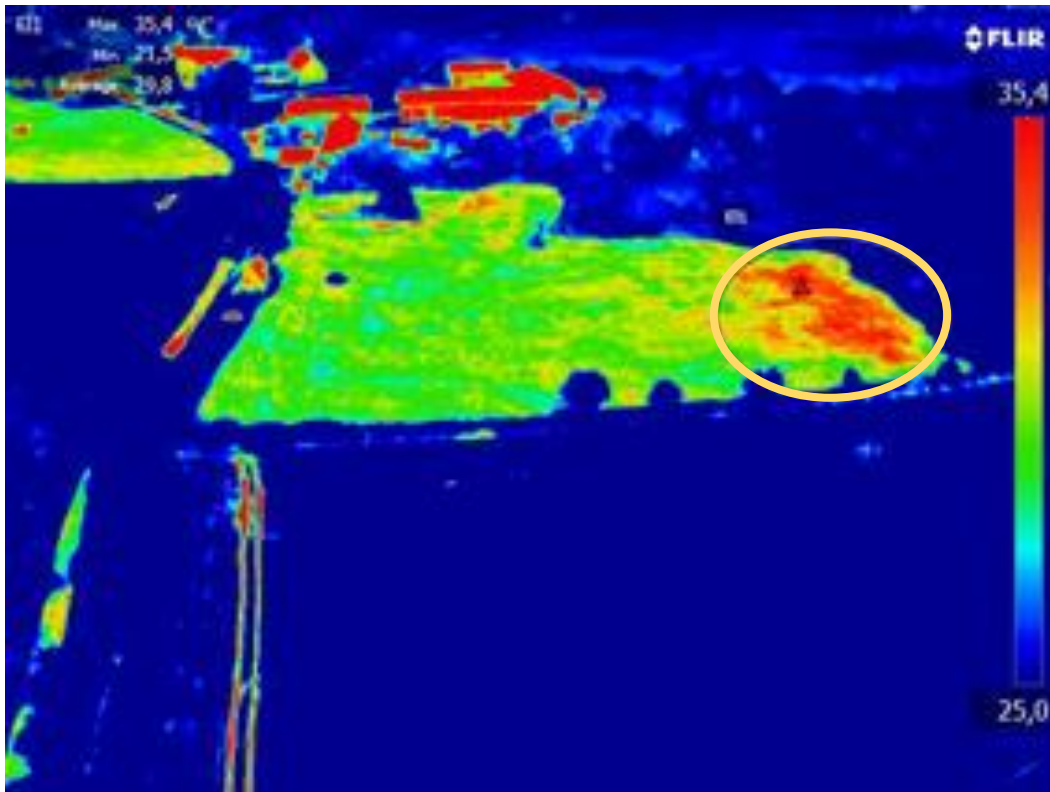
possible site gallo-romain (Sancergues 18)



Observation d'anomalies thermiques

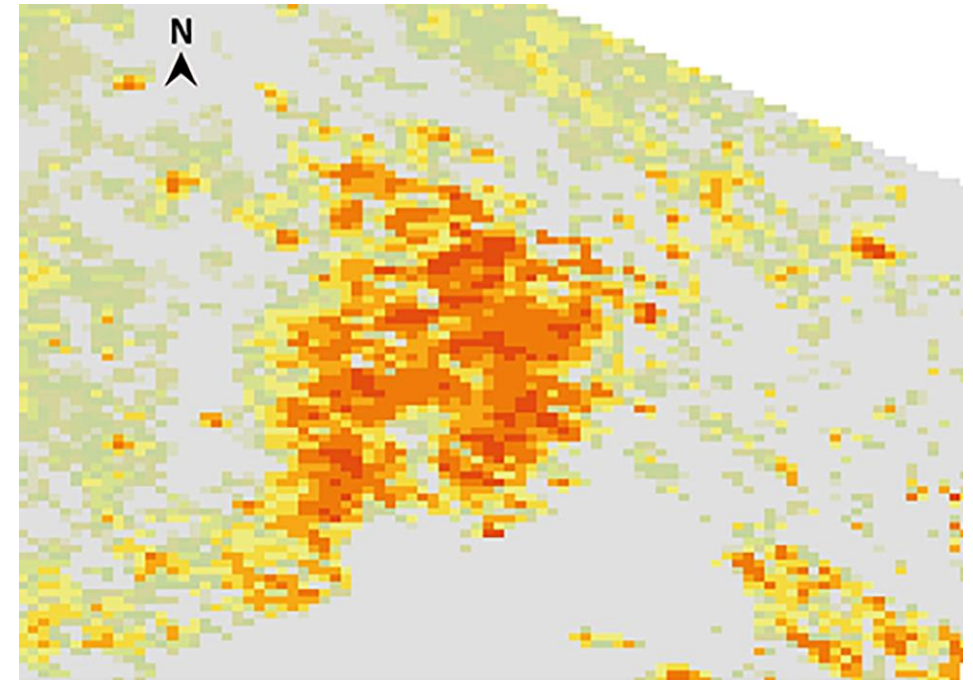
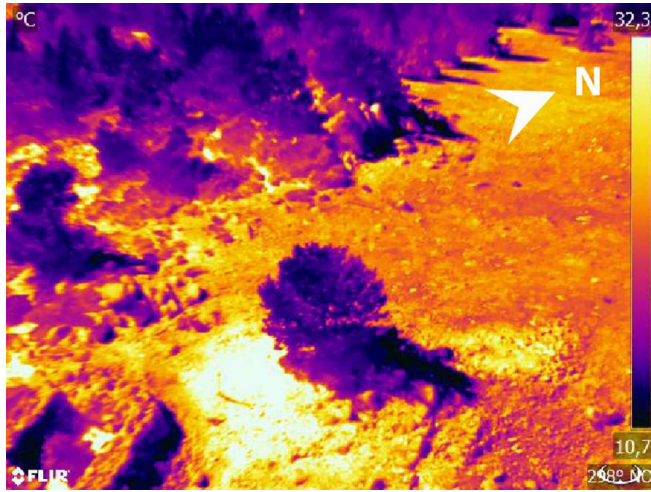
Présence / Absence d'anomalie

sur sol cultivé : repérer des anomalies de température des plantes liées à leur stress hydrique.

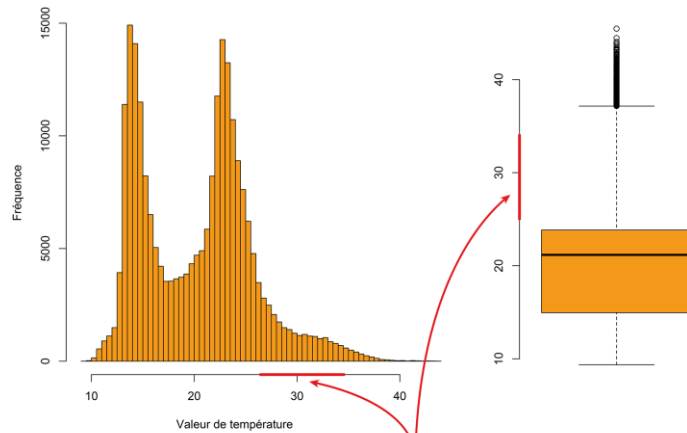


Anomalie thermique liée à un possible site gallo-romain (Sancergues 18)

Améliorer la visualisation de l'anomalie



Histogramme et boxplot - IR d'Enveitg (centrée sur l'anomalie thermique)

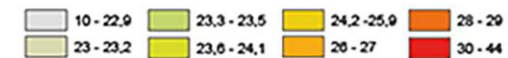


Anomalie Thermique

Distribution asymétrique

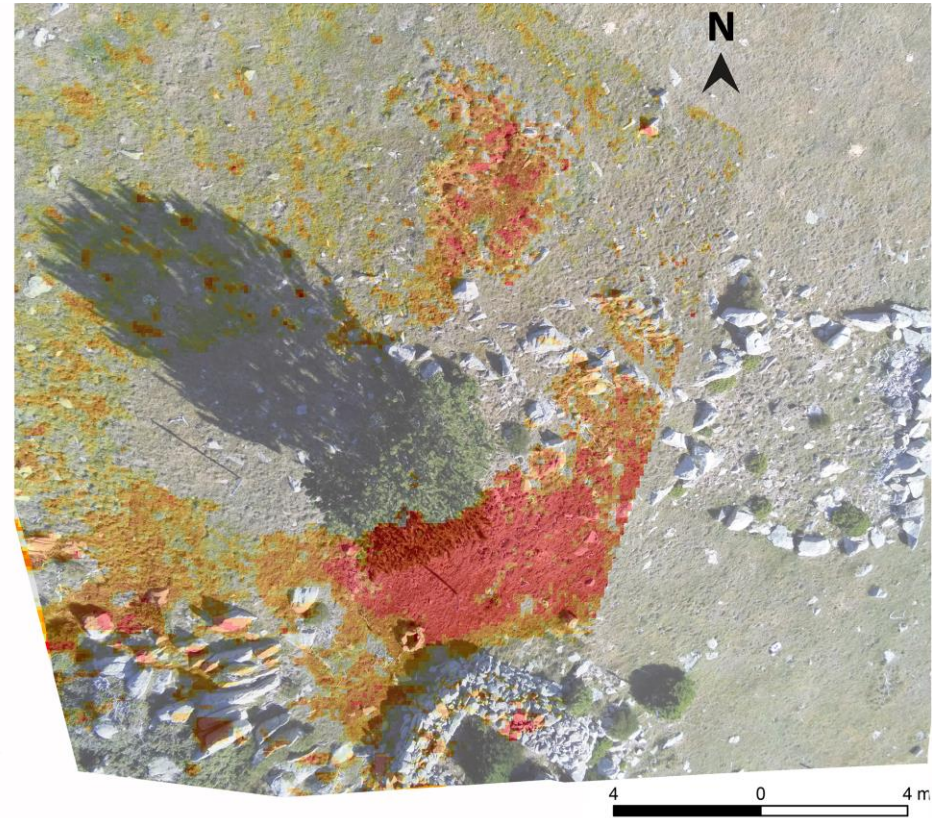
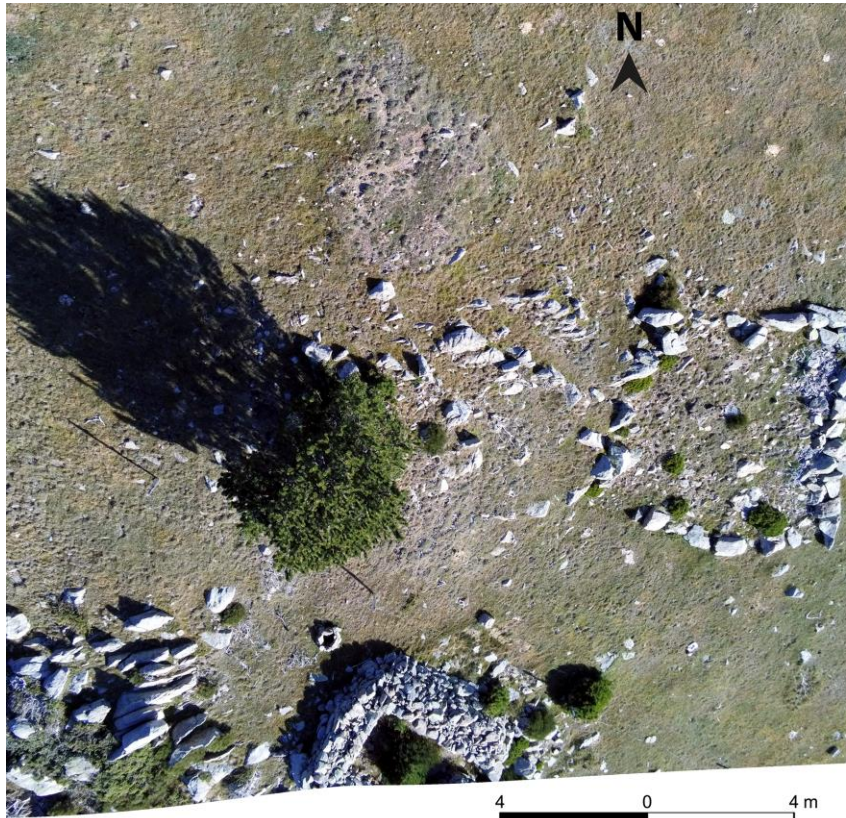
Résumé :
 1er Quantile = 14.95°C Moyenne = 20.34°C Mini : 9.36°C
 Médiane = 21.17°C 3ème Quantile = 23.83°C Maxi : 45.47°C

Modèle Numérique de Température de Surface (MNTS) (degrés)



=> Test détection d'une structure invisible en surface

Améliorer la visualisation de l'anomalie



Légende

Photographie aérienne par drone (2019)

- Rouge : Band_1
- Vert : Band_2
- Bleu : Band_3

MNTS classifié (2018)

- | | | |
|-------------|-------------|-------------|
| 10 - 23 | 23,6 - 23,9 | 25,6 - 26,8 |
| 22,9 - 23,1 | 24 - 24,5 | 26,9 - 29,5 |
| 23,2 - 23,5 | 24,6 - 25,5 | 29,6 - 43,9 |

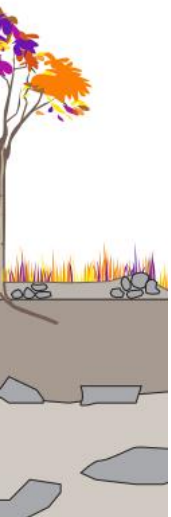
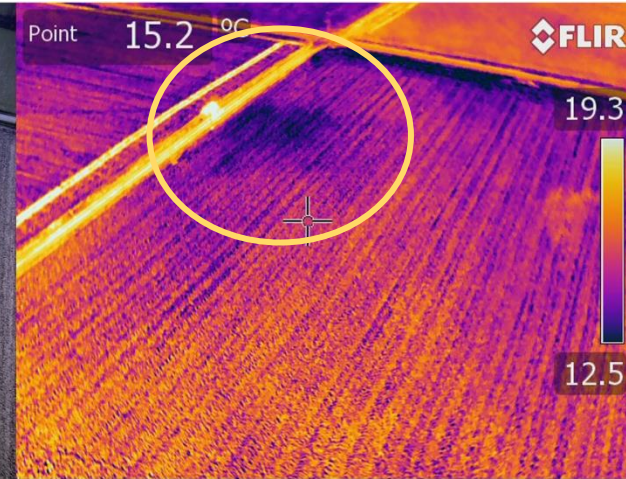
=> Test détection d'une structure invisible en surface

Analyses multi-sources

Imagerie classique



Imagerie thermique

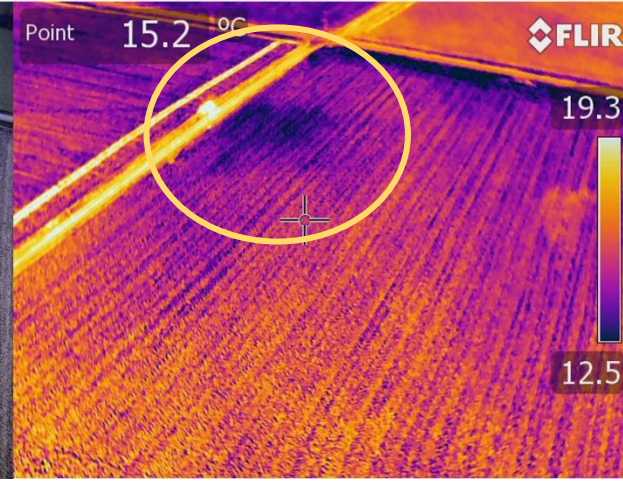


Analyses multi-sources

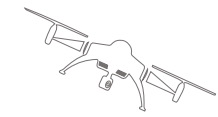
Imagerie classique



Imagerie thermique

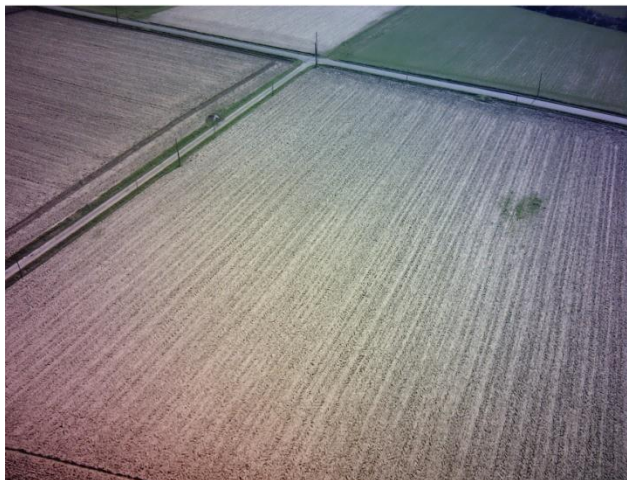


Ramassage de surface



Analyses multi-sources

Imagerie classique



Imagerie thermique



Ramassage de surface

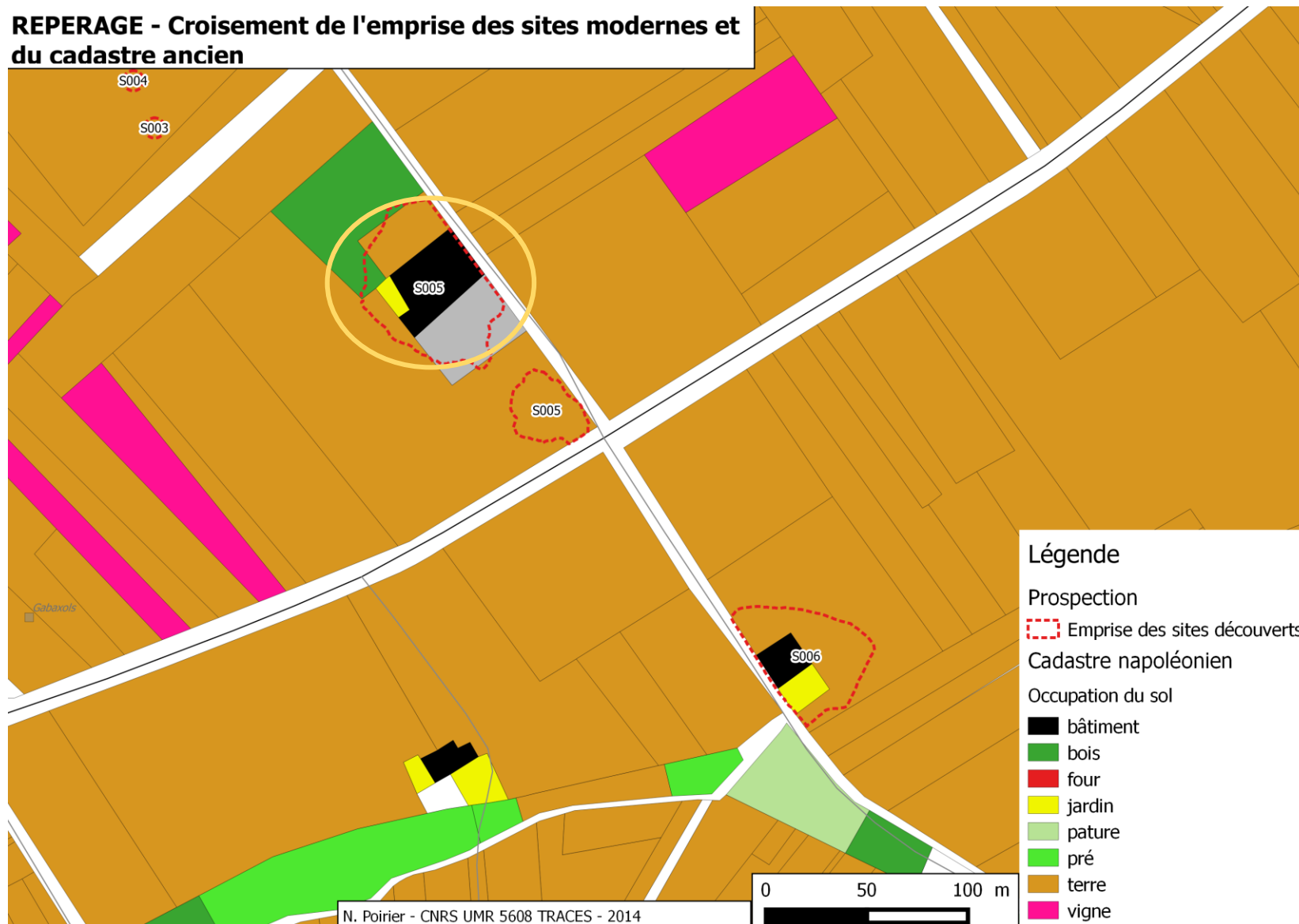


Cadastre Napoléonien



Analyses multi-sources

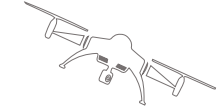
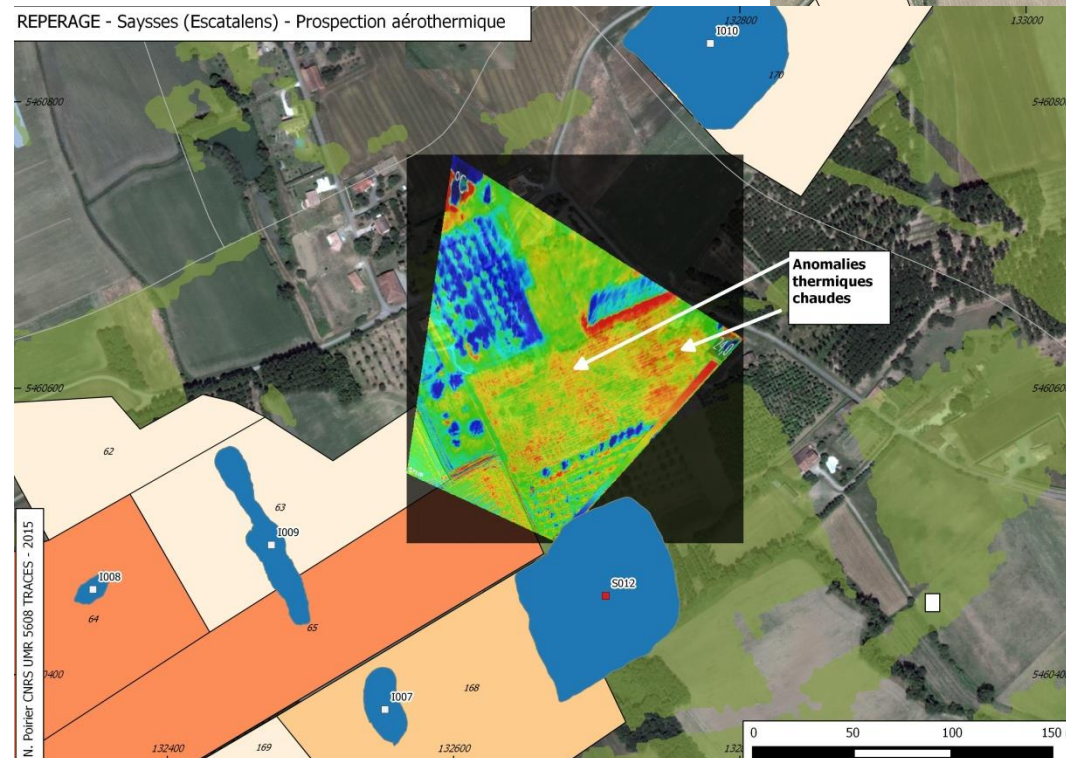
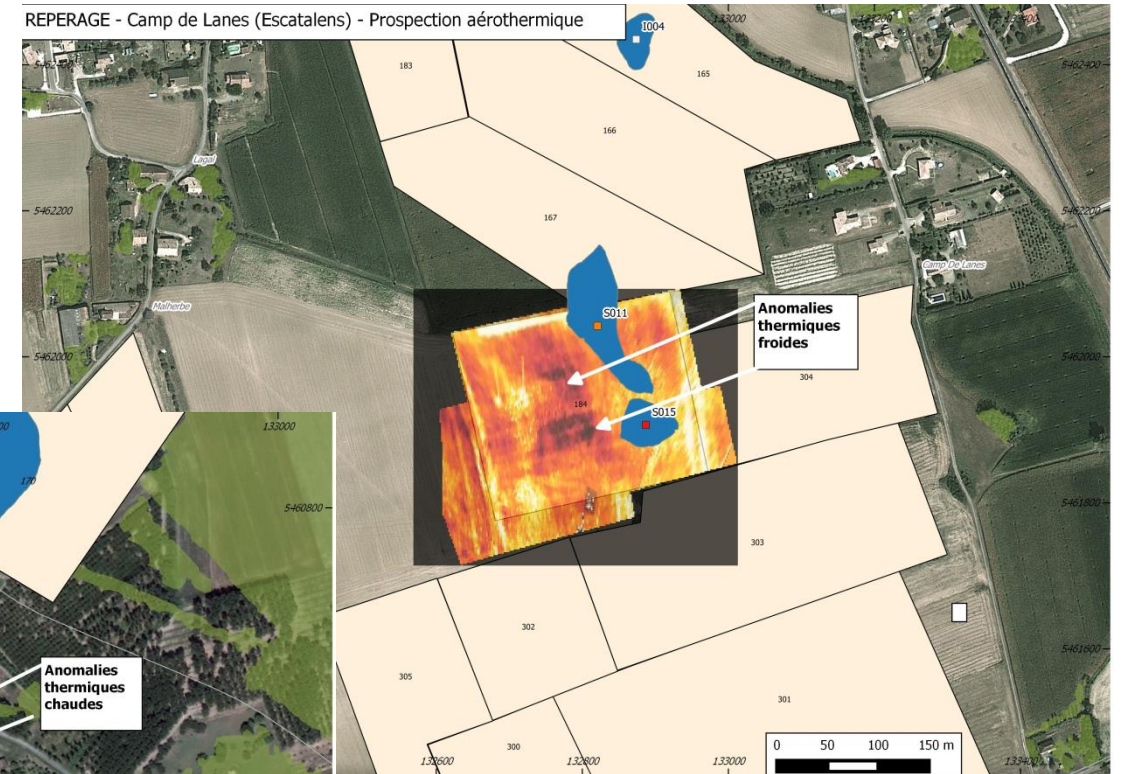
REPERAGE - Croisement de l'emprise des sites modernes et du cadastre ancien



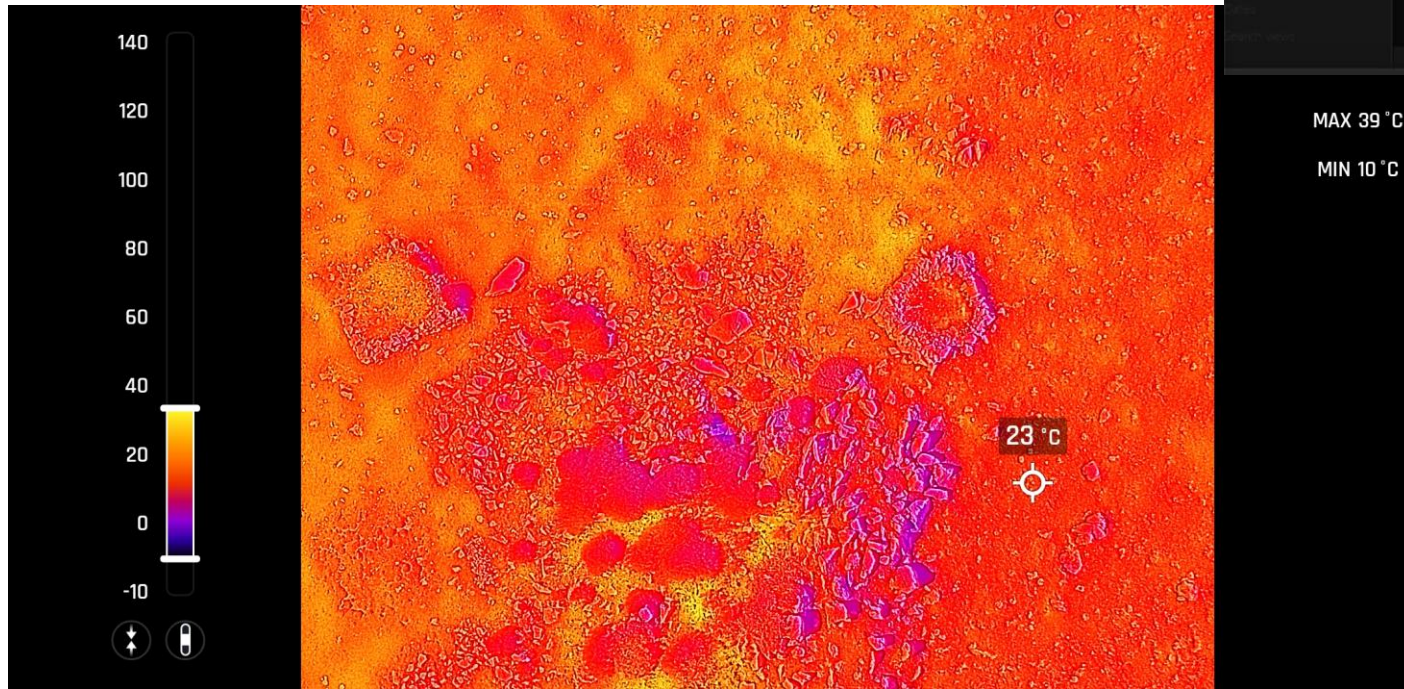
Acquisitions multi-temporelles

⇒ Aube / Midi / Tombée du jour

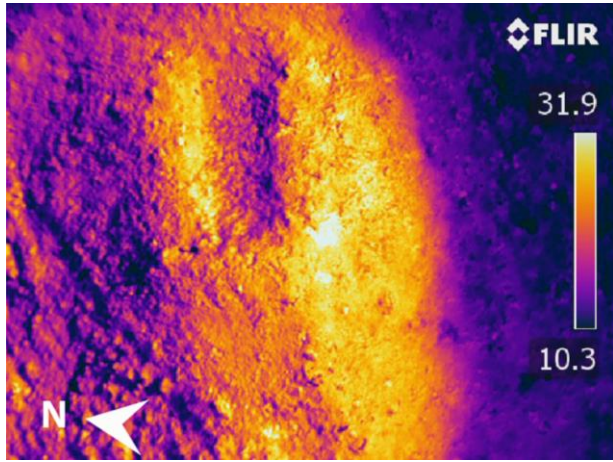
⇒ À Intervalle régulier pendant la saison culturale



Sortir du format propriétaire

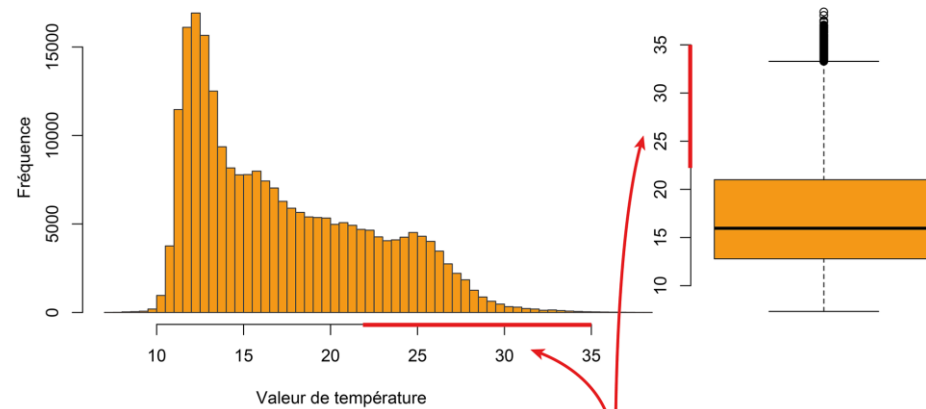


Dépasser l'anomalie => l'objet archéologique



Distribution asymétrique

Histogramme et boxplot - IR d'Aulon (prise au zénith de la structure AU_015_001)



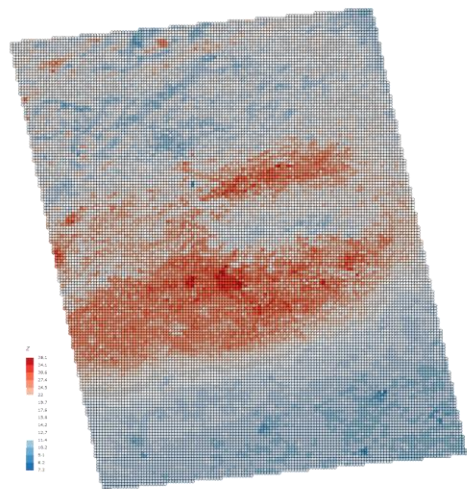
Bâti de la structure
AU_015_001

Résumé :

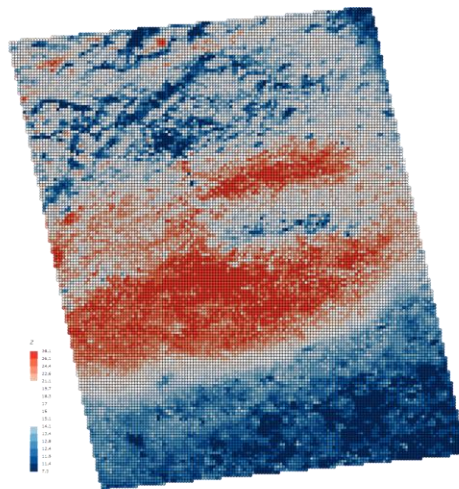
1er Quantile = 12.95°C Moyenne = 17.22°C Mini : 7.32°C
Médiane = 15.96°C 3ème Quantile = 20.99°C Maxi : 38.42°C

- Quantiles
- Progression géométrique
- Progression arithmétique
- Seuil naturels (Jenks)
- Q6

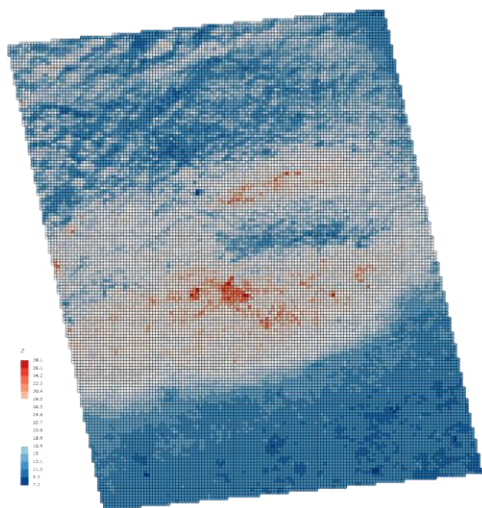
Dépasser l'anomalie => l'objet archéologique



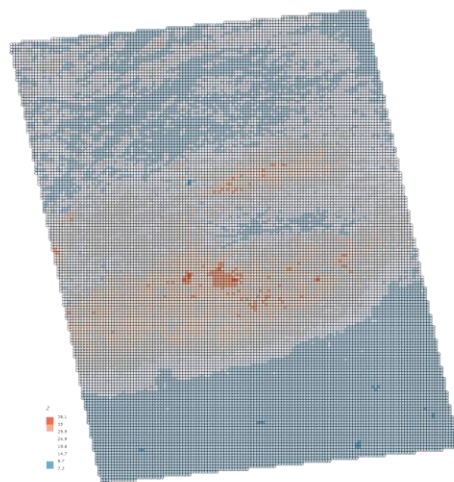
Géométrie – 16 classes



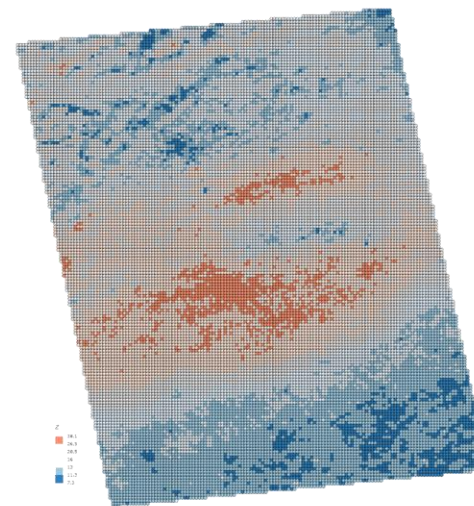
Quantiles – 16 classes



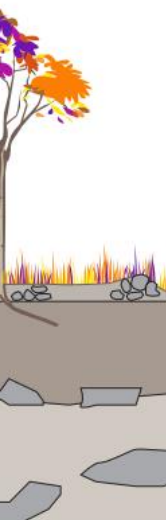
Intervalles égaux – 16 classes



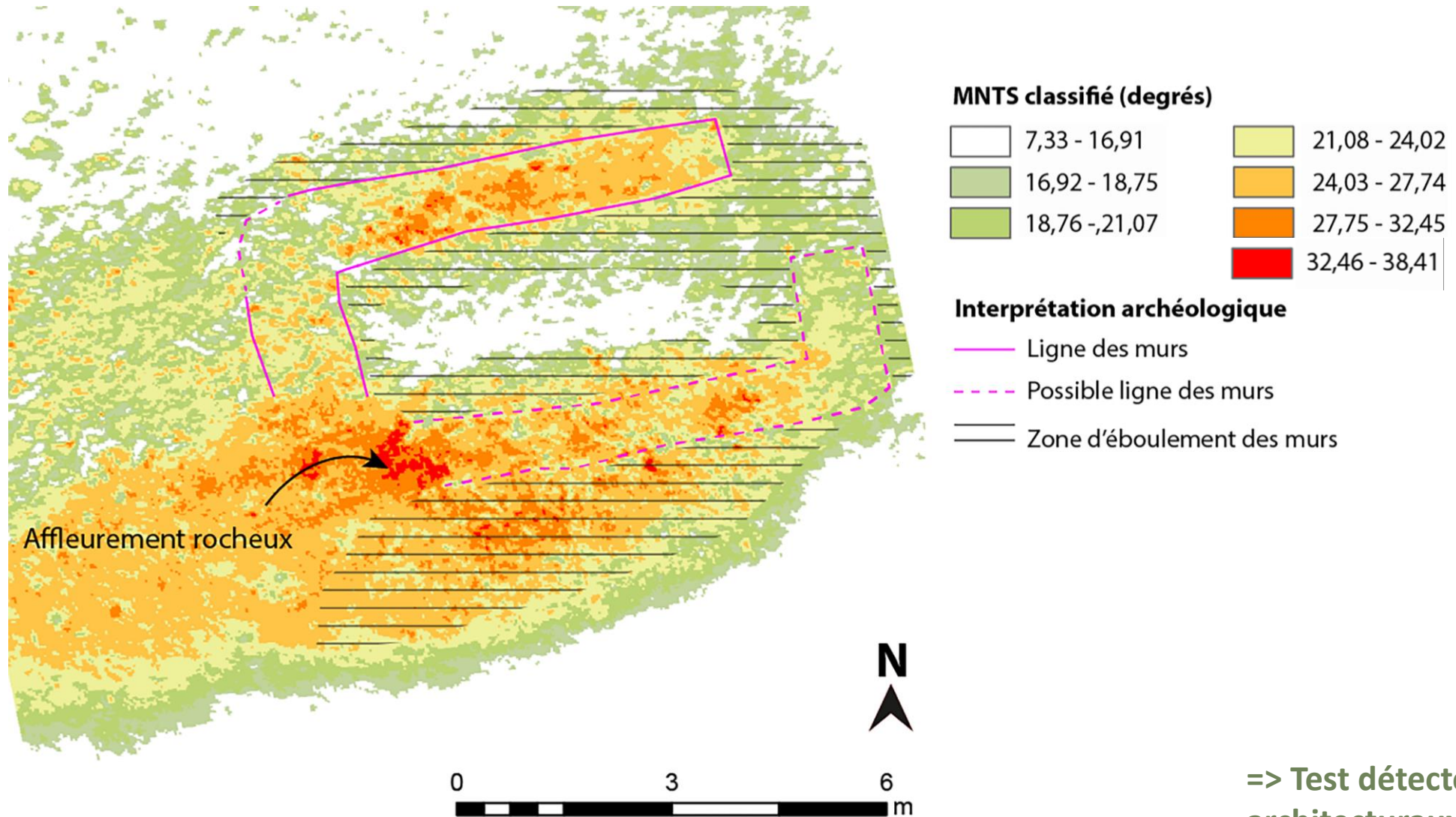
Ecart-Type – 7 classes



Q6 – 7 classes

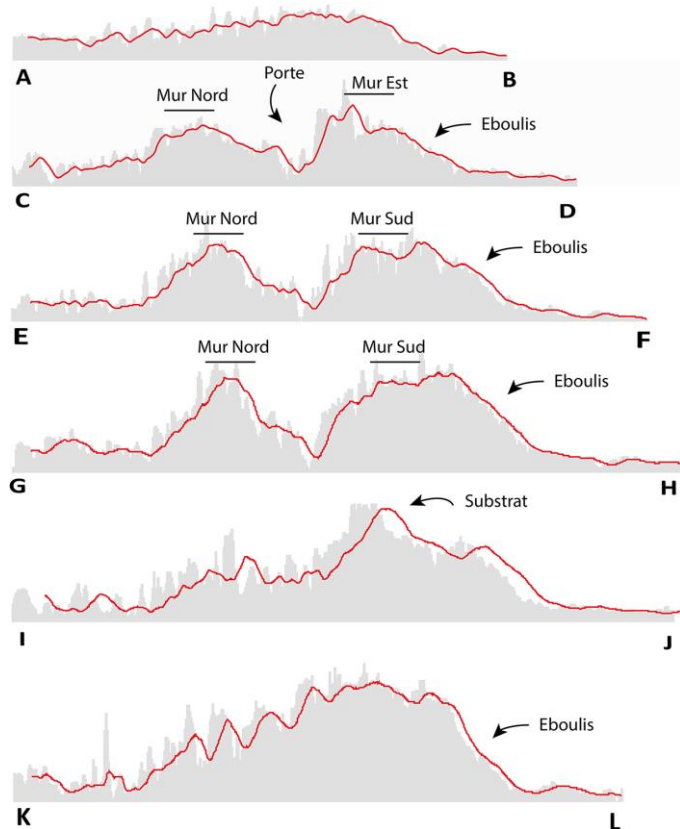


Dépasser l'anomalie => l'objet archéologique

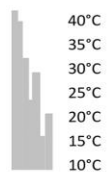


=> Test détecter des détails architecturaux sur une structure visible en surface

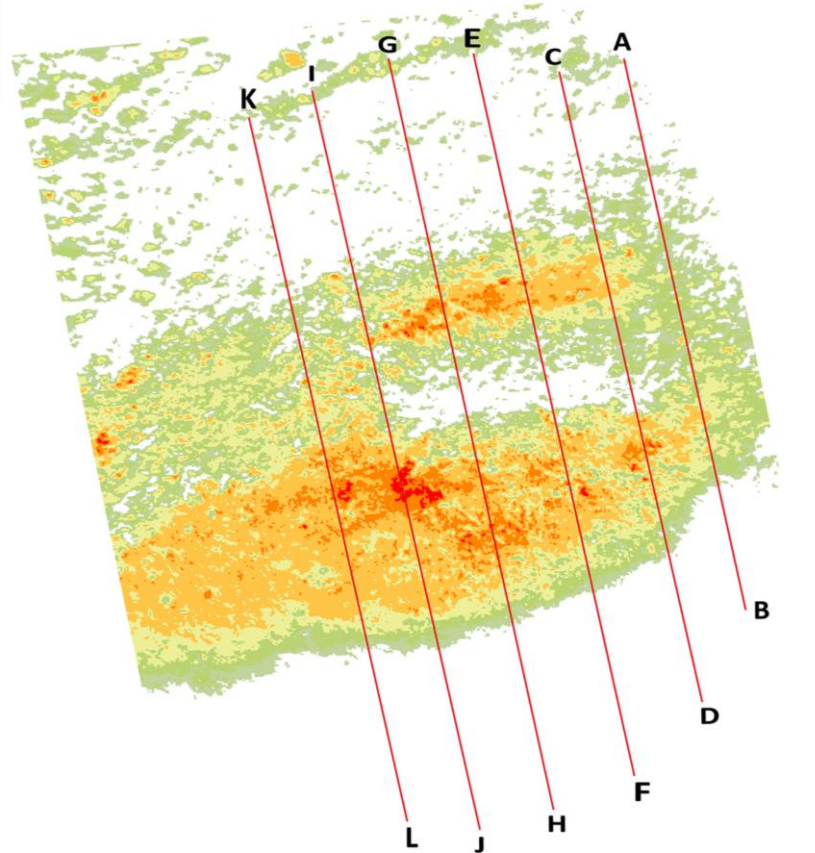
Dépasser l'anomalie => l'objet archéologique



Profil thermique (Degrés)



— Profil thermique lissé



MNTS Classifié (Degrés)



=> Test détecter des détails architecturaux sur une structure visible en surface

Préconisations pour des acquisitions archéologiques

- Sur sol nu :

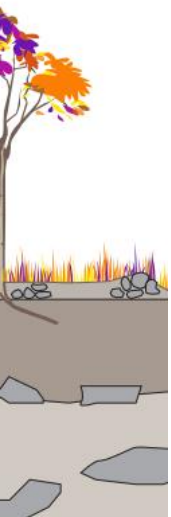
- voler le matin (en phase croissante des températures)
- en hiver
- en période de forte amplitude thermique journalière et forte différence de température Sol/Air

- Sur sol cultivé :

- voler à la mi-journée
- au printemps (période d'épiaison des céréales)

- De manière générale :

- privilégier les surfaces homogènes => détection d'anomalie
- privilégier les vue obliques (plus de contraste et facilités de recalage)
- éviter les passages nuageux (ciel clair ou franchement couvert)
- éviter les périodes humides (« lissage » des anomalies)



Préconisations du traitement

- S'extraire des formats propriétaires
- Travailler les images dans des SIG
- Rechercher la meilleure visualisation de l'information thermique
- Faire attention aux critères de classement de l'image
- Aller au-delà de l'observation des anomalies « brutes »

