

# Drone et archéologie

*De nouveaux outils pour la recherche*

François BALEUX - Carine CALASTRENC – Nicolas POIRIER

Laboratoire TRACES – UMR 5608

15 Juin 2021 – AIRBUS

l'Univers Culture du CSE d'Airbus Defence and Space





## Méthode non-invasive

Repérage de sites au moyen de capteurs positionnés à distance de l'objet

≠ fouille

Utilisée en amont d'une fouille, en association avec d'autres méthodes de prospection



<http://www.corpusetampois.com/che-21-francoisbesse2006prospection-etampois.html>  
Sanctuaire religieux de Méréville



Principe général : la présence de vestiges enfouis dans le sol modifie ou perturbe la structure du sol

« Soil marks » = anomalies de couleur du sol



<https://theconversation.com/seen-from-the-air-the-dry-summer-reveals-an-ancient-harvest-of-archaeological-finds-101651>



[http://www.bahsoc.org.uk/?page\\_id=509](http://www.bahsoc.org.uk/?page_id=509)



<https://www.devon.gov.uk/historicenvironment/land-management/farming-and-the-historic-environment/>



Principe général : la présence de vestiges enfouis dans le sol modifie ou perturbe la structure du sol

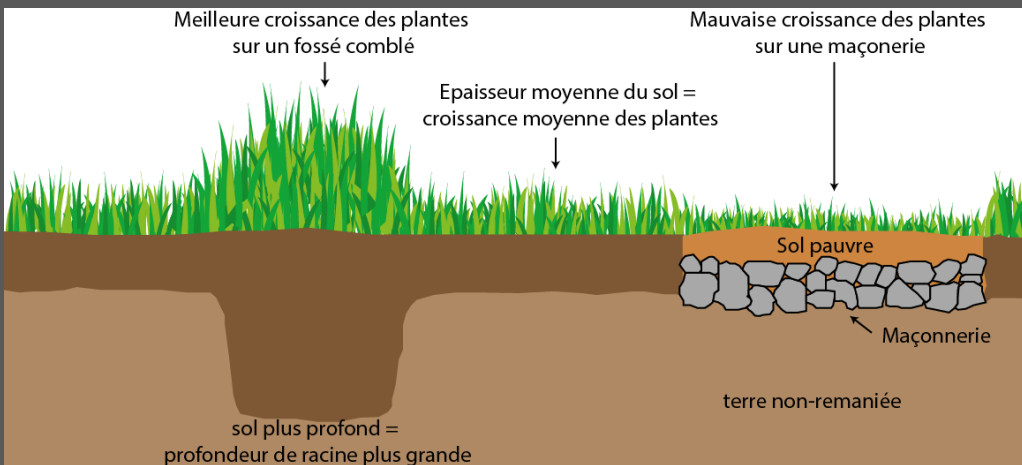
## « Crop marks »



<https://en.wikipedia.org/wiki/Cropmark>



<https://medium.com/@anna.moudra>



<https://scarf.scot/thematic/scarf-science-panel-report/5-detecting-and-imaging-heritage-assets/5-2-aerial-reconnaissance-and-photographs/>

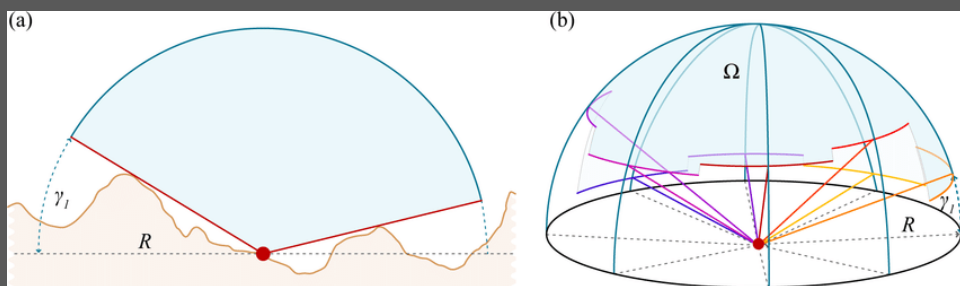


<http://vent.ouest.pagesperso-orange.fr/text/197bad3-1418.html>



Principe général : la présence de vestiges enfouis dans le sol modifie ou perturbe la structure du sol

Reliefs et micro-reliefs



[https://www.researchgate.net/figure/The-sky-view-factor-is-defined-by-the-part-of-the-visible-sky-O-above-a-certain\\_fig2\\_49620296](https://www.researchgate.net/figure/The-sky-view-factor-is-defined-by-the-part-of-the-visible-sky-O-above-a-certain_fig2_49620296)



<https://mythicalireland.com/MI/blog/ancient-sites/farewell-2017-the-year-in-photographs/>



## Photographie aérienne verticale ou oblique (domaine visible)

*Utilisée depuis début XXe s.*

*Essor dans les années 1960-1970*

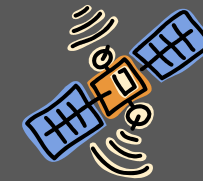
*A révélé le potentiel archéologique des campagnes*



## Téledétection satellitaire

*Traitements multispectraux*

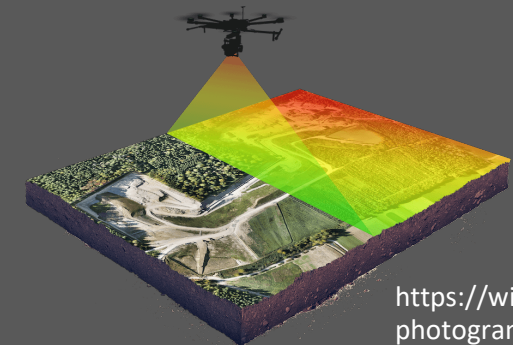
*Utilisation d'index de végétation pour l'archéologie*



## LiDaR

*Détection des micro-reliefs indépendamment des conditions de lumière*

*Documentation des espaces forestiers*



<https://wingtra.com/drone-photogrammetry-vs-lidar/>



## Coût élevé

1H de vol = 150 €

100 km<sup>2</sup> d'image satellite Ikonos ou Quickbird = 1000 – 3000 €

50 km<sup>2</sup> d'acquisition LiDaR = 10000 €

## Faible flexibilité d'utilisation

Impossibilité (financière) de répéter des acquisitions fréquentes de données

Planification très amont des missions

=> Faible maîtrise des paramètres d'acquisition

## Faible résolution spatiale des données acquises (sauf LiDaR)

Altitude et vitesse de vol des avions de tourisme

Résolution des images satellites multispectrales



## Les drones sont partout

Surveillance et militaire

Sécurité et police

Livraison

Art et spectacle

...jusqu'à l'archéologie







Miniaturisation des vecteurs et  
des capteurs

=> une **rupture méthodologique**  
pour la prospection  
archéologique



© Plateforme ArchéoScience - Environnement Occitanie Ouest –  
Lab. Traces – UMR 5608

Quels changements de pratiques pour les archéologues ?



## Coût modéré

Investissement de départ important (>10K€)

Faible coût d'exploitation (<1K€/an)

<https://www.sensefly.com/fr/drone/ebec-classic/>





## Abaissement des altitudes de vol

Gain de résolution spatiale

Echelle intermédiaire entre site et micro-région = terroir



10 m



50 m



150 m

Site de Maurélis (Lot – Dir. Florent Hautefeuille)

© Plateforme ArchéoScience - Environnement Occitanie  
Ouest – Lab. Traces – UMR 5608





Environnement de vol sécurisé

Stabilisation inertielle / GPS

Programmation de vol semi-automatisés

Détection/évitement d'obstacle et de terrain

Retour « Maison »

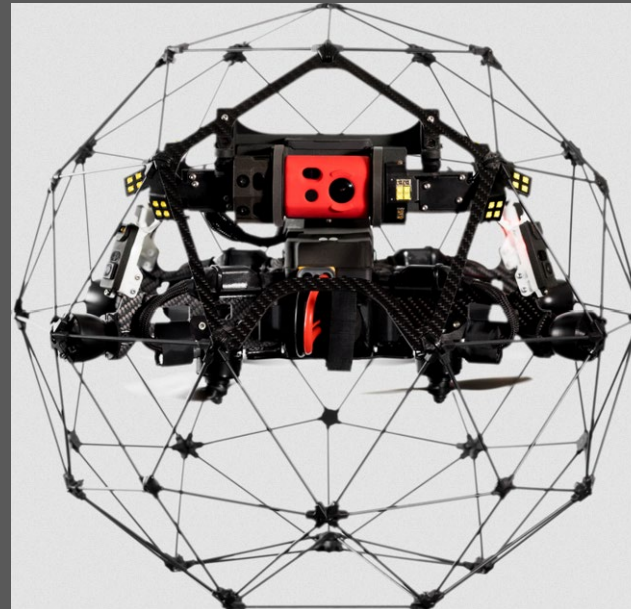
Décollage et atterrissage automatique

...

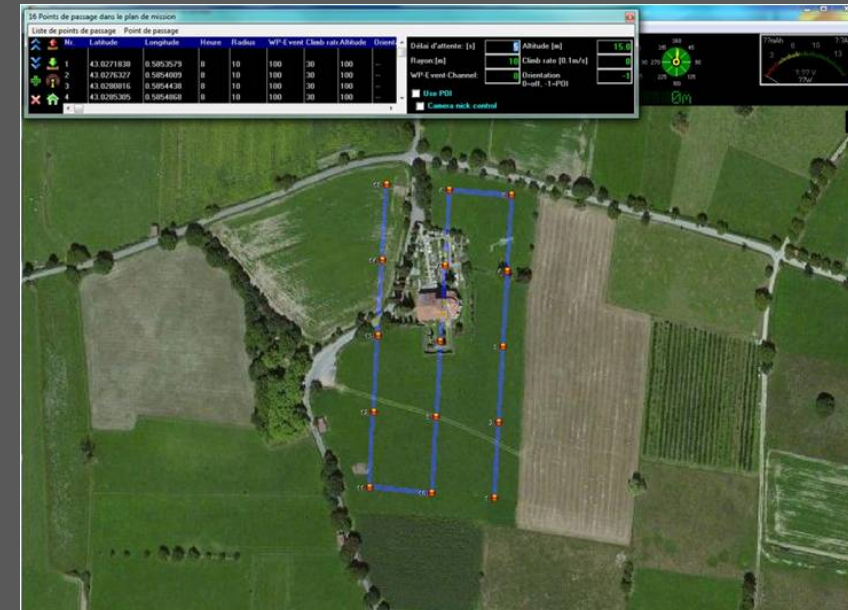
<https://4sales.bg/dron-hubsan-h109s-x4-pro-s-obkhvat-do-1500-metra-i-1080p-hd-kamera-1347>



<https://cep-srl.com/il-drone-un-alleato-perfetto/>



© Plateforme ArchéoScience - Environnement Occitanie Ouest – Lab. Traces – UMR 5608





## Flexibilité d'utilisation

Faible encombrement

Choix des paramètres optimaux d'intervention

Répétition des survols de la même zone





Pour résumer ...



Flexibilité



Coût / vol



Répétabilité



Densité



Régularité



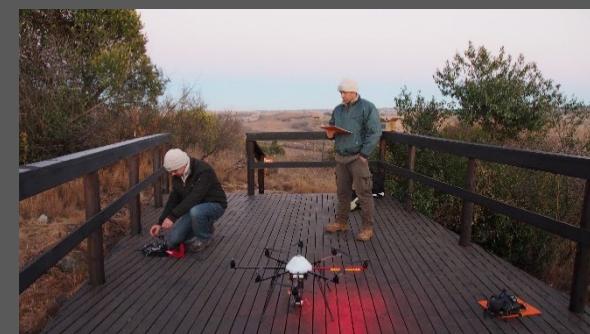
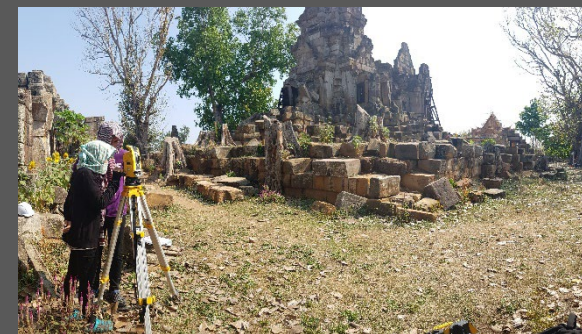
Précision





## Plateau « Télédétection, Imagerie, Géomatique, 3D »

- Support à l'acquisition et au traitement de l'information spatialisée en France et à l'étranger
- Développe des process et des outils dédiés à des applications archéologiques
- Formation interne et externe
- Prestation de service





Financement FEDER Presage 35827 – 2010-2011

© Plateforme  
ArchéoScience -  
Environnement  
Occitanie Ouest – Lab.  
Traces – UMR 5608



## Mikrokopter Okto XL

Système de stabilisation inertielle 3D  
GPS  
Station sol pour gestion des plans de vol  
Retour vidéo temps réel

<https://sites.google.com/site/buildingthermalgroupnordic/>



## Caméra thermique FLIR T620

640x480 pixels  
infra-rouge thermique : 7.5 à 14  $\mu\text{m}$   
Haute sensibilité : 0.04°C

<https://www.lesnumeriques.com/compact-bridge/canon-powershot-g1-x-mark-iii-p41545.html>



## Appareil photographique numérique Canon G1X

Capteur CMOS 14,3Mp  
Objectif 28/112mm f/2,8 – f/5,8  
Fichiers JPEG et RAW





# L'imagerie en archéologie

François BALEUX - Carine CALASTRENC – Nicolas POIRIER



## Financement CPER – 2015 - 2020



<https://shop.prodrones.fr/drones-industrie/309-dji-matrice-600-pro.html>

### DJI M 600 Pro

Système de stabilisation inertielle 3D  
GPS  
Pilotage par Waypoint  
Système de sécurité  
Autonomie : entre 15 et 25 minutes



<https://www.ldlc.com/fiche/PB00267088.html>

### DJI Phantom Multispectral

Portée : 7 km  
Autonomie : 27 minutes  
R, V, B, Red edge et Proche Infrarouge

[https://www.researchgate.net/figure/Yellow-scan-LiDaR-Mapper-II\\_fig2\\_343917228](https://www.researchgate.net/figure/Yellow-scan-LiDaR-Mapper-II_fig2_343917228)



### Lidar YellowScan Mapper II

Scanner laser Ibeo Lux  
GNSS-station Inertielle  
10 cm (X/Y) et 5 cm (Z)  
Autonomie 1,5 h



<https://www.ldlc.com/fiche/PB00267088.html>

### Parrot Anafi

Poids : 320 gr  
Autonomie : 25 minutes  
Résolution : 21 Mp

<https://www.ainonline.com/aviation-news/aerospace/2015-07-07/natural-gas-utility-starts-drone-based-surveillance-france>



### DT 18 Delair

Voilure fixe  
Capteur 5 bandes (RVB + PIR + Red Edge)  
2h d'autonomie



<https://www.guide-drone.com/parrot-anafi-test-drone-4k/>

### Parrot Anafi Thermal

Poids : 320 gr  
Autonomie : 26 minutes  
Caméra Flir 160 x 120 px



## Thermographie

Détection des infrastructures enfouies par la mesure des écarts de température entre le bâti et l'encaissant



## Multispectral

Utilisation de drones équipés de capteur multispectraux pour la détection du stress hydrique des plantes.



## Photogrammétrie

Réalisation d'une modélisation 3D d'un territoire grâce à la Correspondance d'image dense pour produire et traiter des Modèles Numériques de Terrain (MNT)



## Lasergrammétrie

Réalisation d'une modélisation 3D d'un territoire grâce à un laser pour produire et traiter des Modèles Numériques de Terrain (MNT)

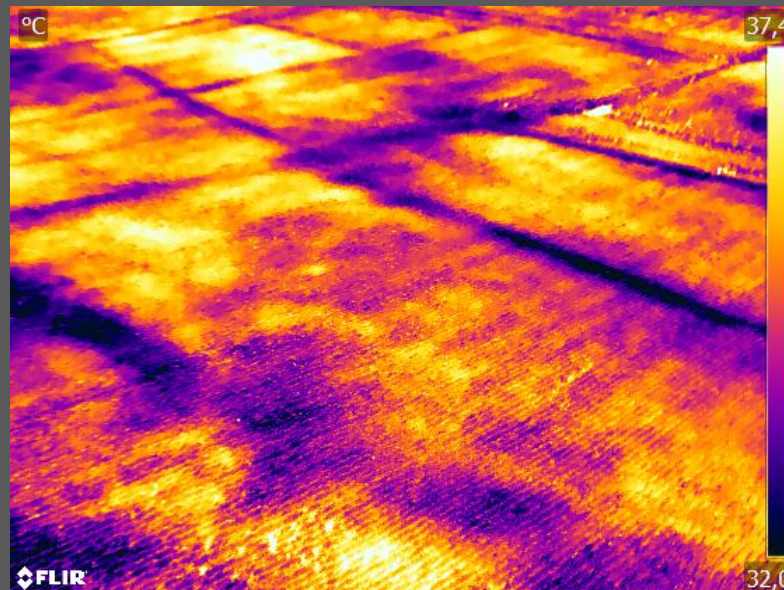
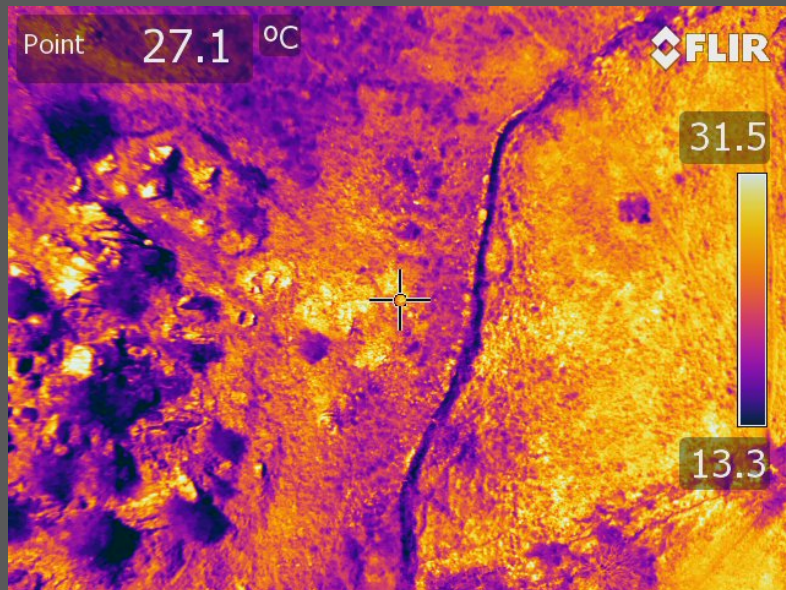




## Thermographie aéroportée à basse altitude

*sur sol nu*

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

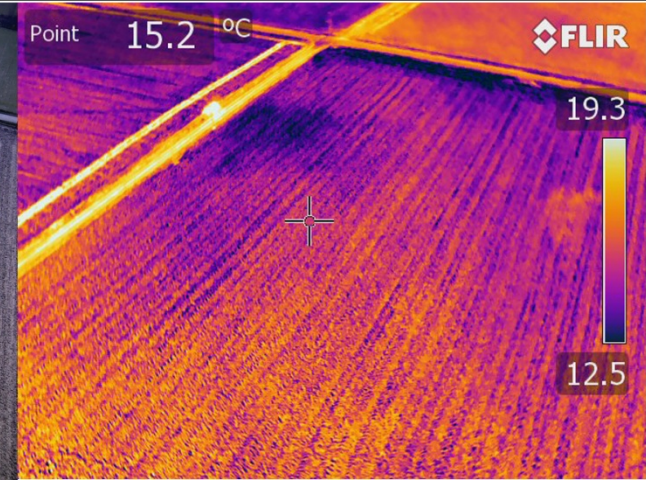




Imagerie classique



Imagerie thermique



Croisement de méthodes non-invasives à Saint-Porquier (82)

Prog. REPERAGE – Dir. Nicolas Poirier – CNRS – TRACES – UMR 5608)

Ramassage de surface



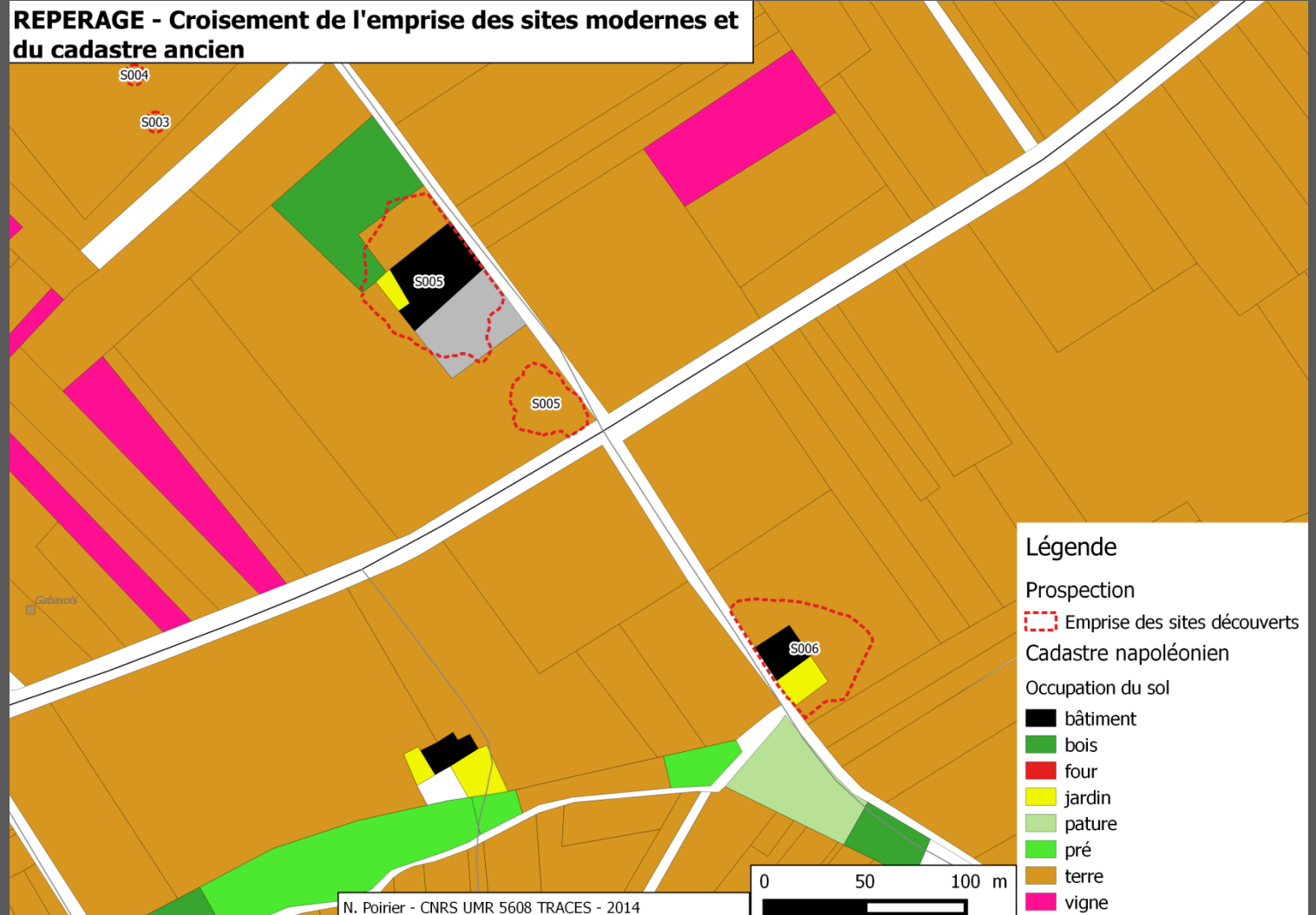
Cadastre Napoléonien





## Croisement de méthodes non-invasives à Saint-Porquier (82)

Prog. REPERAGE – Dir. Nicolas Poirier – CNRS – TRACES – UMR 5608)

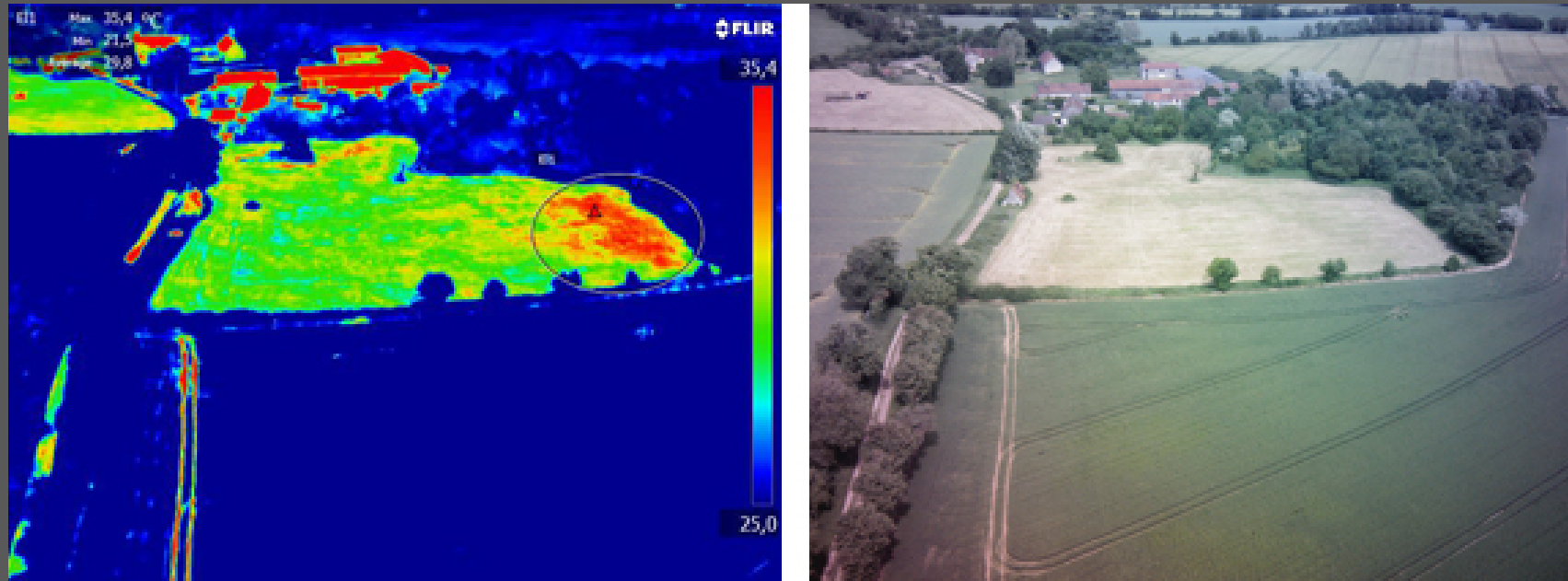




## Thermographie aéroportée à basse altitude

*sur sol cultivé*

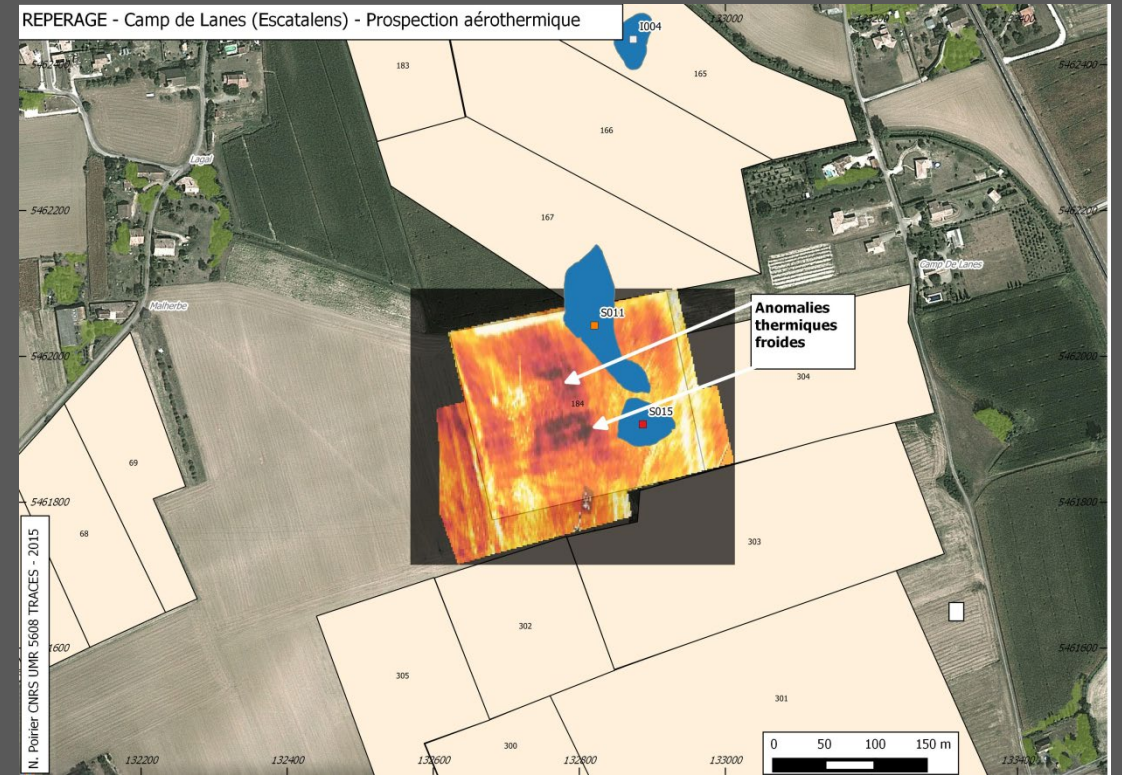
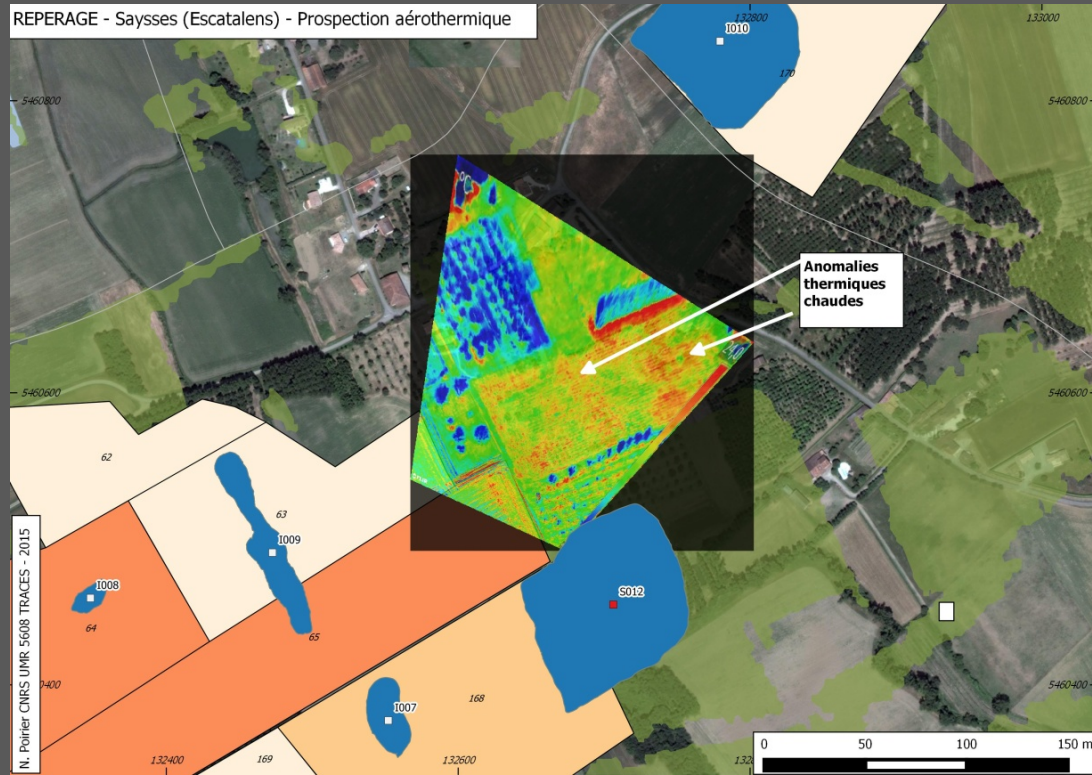
Repérer des anomalies de température des plantes liées à leur stress hydrique.



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



Prog. REPERAGE – Dir. Nicolas Poirier – CNRS – TRACES – UMR 5608)

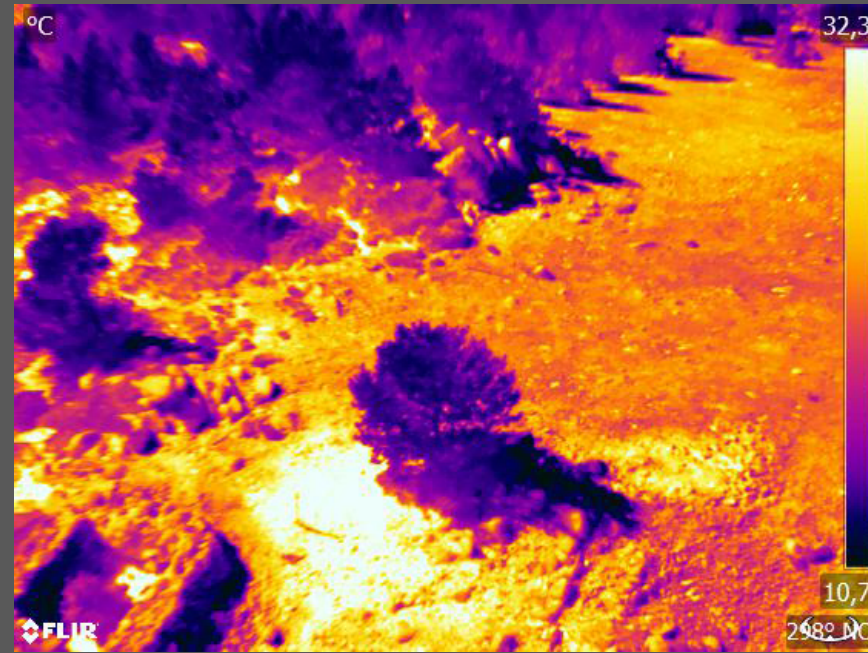




## Thermographie aéroportée à basse altitude

### *Sur prairie*

Repérer des anomalies de température des plantes et du sol



Anomalie thermique liée à un possible site pastoral (Enveitg, 66))



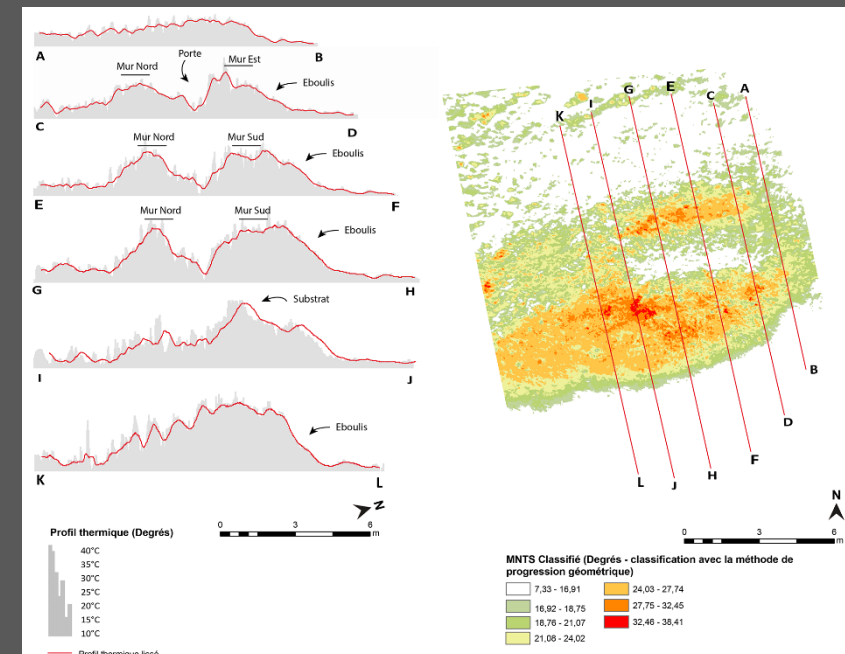
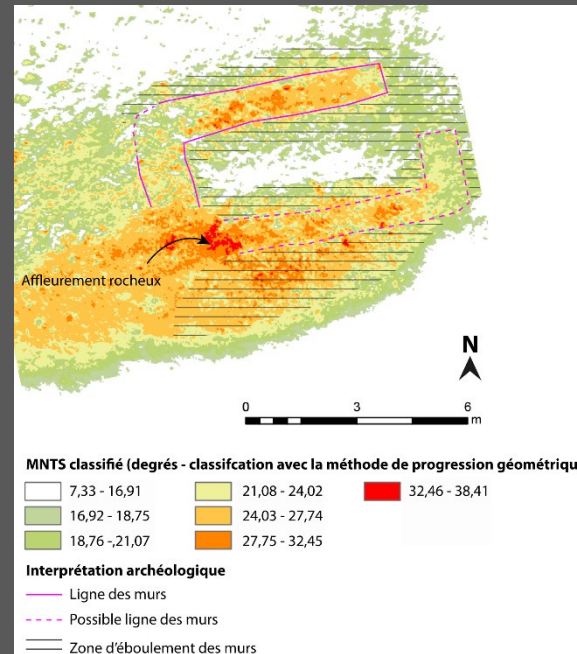
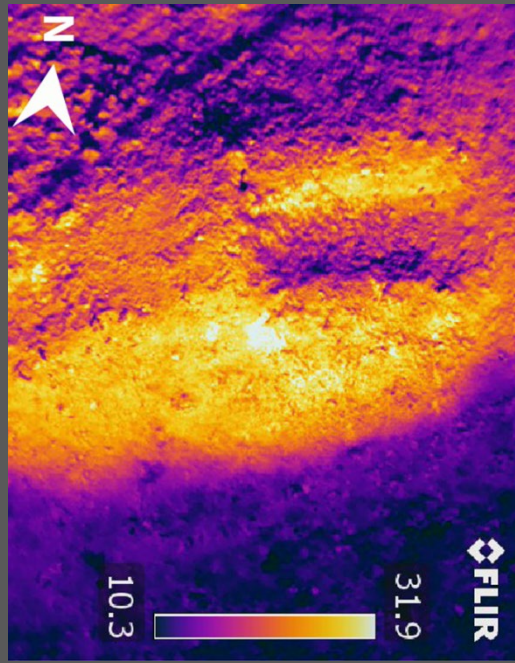
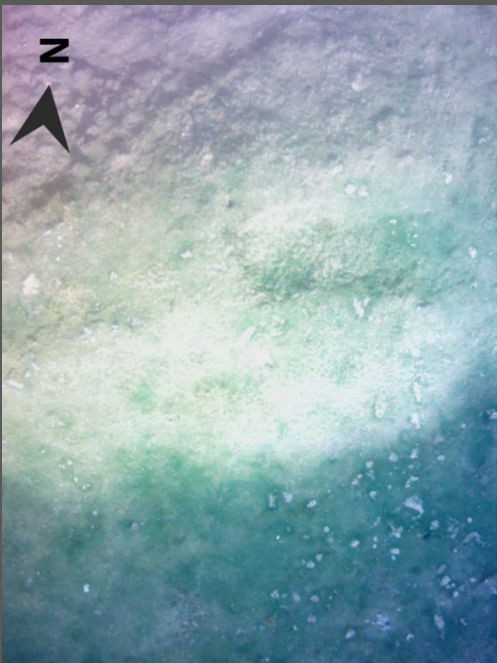


Prog. TAHMM  
Dir. Carine Calastrenc – CNRS  
Lab. TRACES (UMR  
5608)/FRAMESPA (UMR 5136)

Repérage de petites anomalies = échelle du bâtiment

Survols répétés = détection et suivi d'anomalies sur toute la saison culturale

Définition des paramètres optimaux de détection archéologique selon le type de vestiges recherchés





# Thermographie aéroportée

François BALEUX - Carine CALASTRENC – Nicolas POIRIER

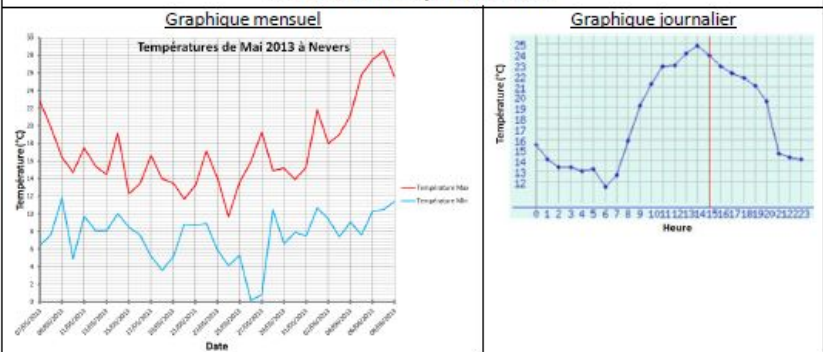


Mission du 08 Juin 2013 vers 15h

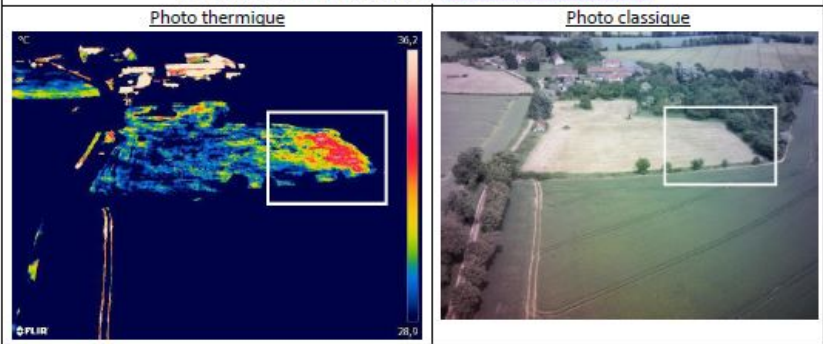
Température Max du jour : 24.9°C	Température Min du jour : 11.5°C	Amplitude : 13.4°C
Température de Vol : 23.9°C	Température du Sol : 16°C	Différence température Sol/Air : 7.9°C
Ensoleillement journalier : 5.7 h	Pression : 1012 hPa	Nébulosité réelle : 5/8
Pluviométrie durant les dernières 24h : 6 mm	Vent : 22 Km/h	Rafale : 41 Km/h

Type de sol : Couverture éolienne argilo-limoneuse et sableuse (LP)

Couverture du sol : prairie de fauche



Source des graphiques ci-dessus : <http://www.meteociel.fr/>



Ce jour-là, la prospection aéroportée s'est déroulée sur la même parcelle que durant la mission du 06 juin mais une anomalie a pu être repérée sur la parcelle voisine qui venait d'être fauchée. Cette anomalie, flagrante sur l'image thermique, avait une température variant de 32 à 35°C alors que le reste de la prairie tournait autour de 27 voire 32.9°C.

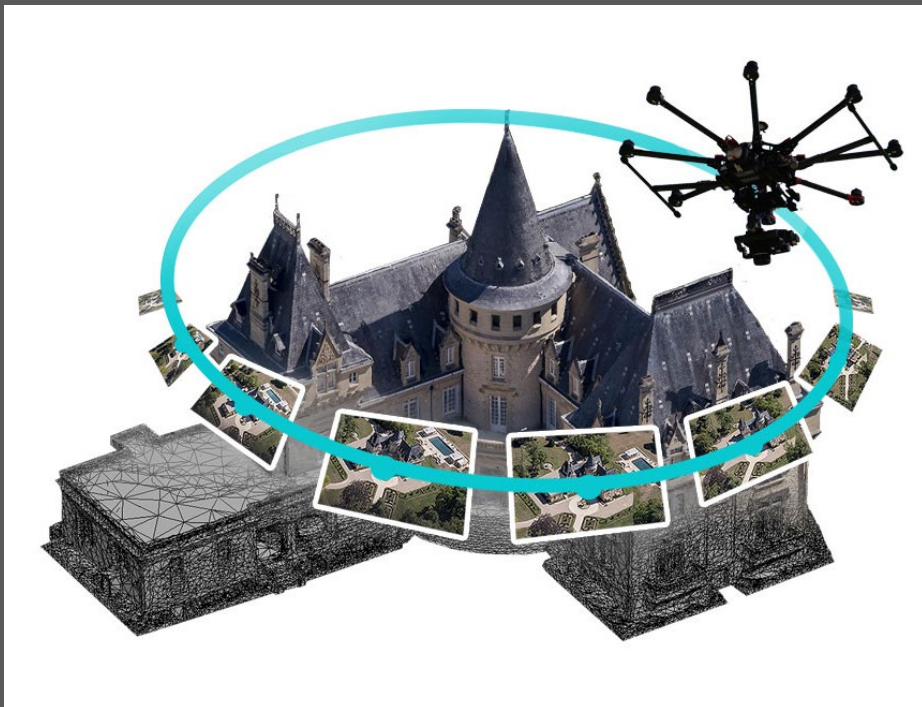




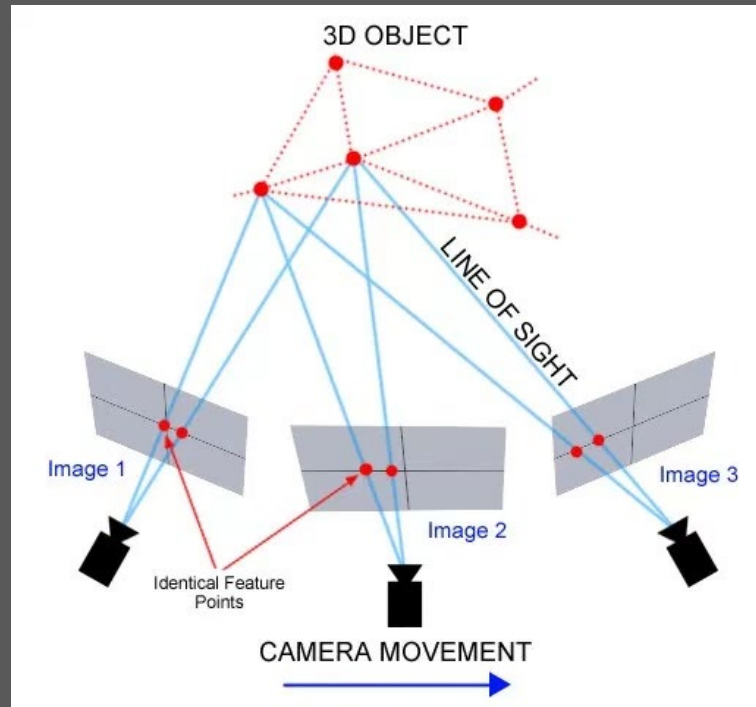
## De la photographie à la photogrammétrie

Photographie numérique = possibilité de multiplier les clichés à haute résolution spatiale

Puissance des calculateurs = automatiser la correspondance d'images par corrélation dense



<https://veillecarto2-0.fr/2017/11/10/a-ne-publier-drones-collectivites/>



<https://seascape.fr/blog/2020/03/04/la-photogrammetrie-sous-marine/>

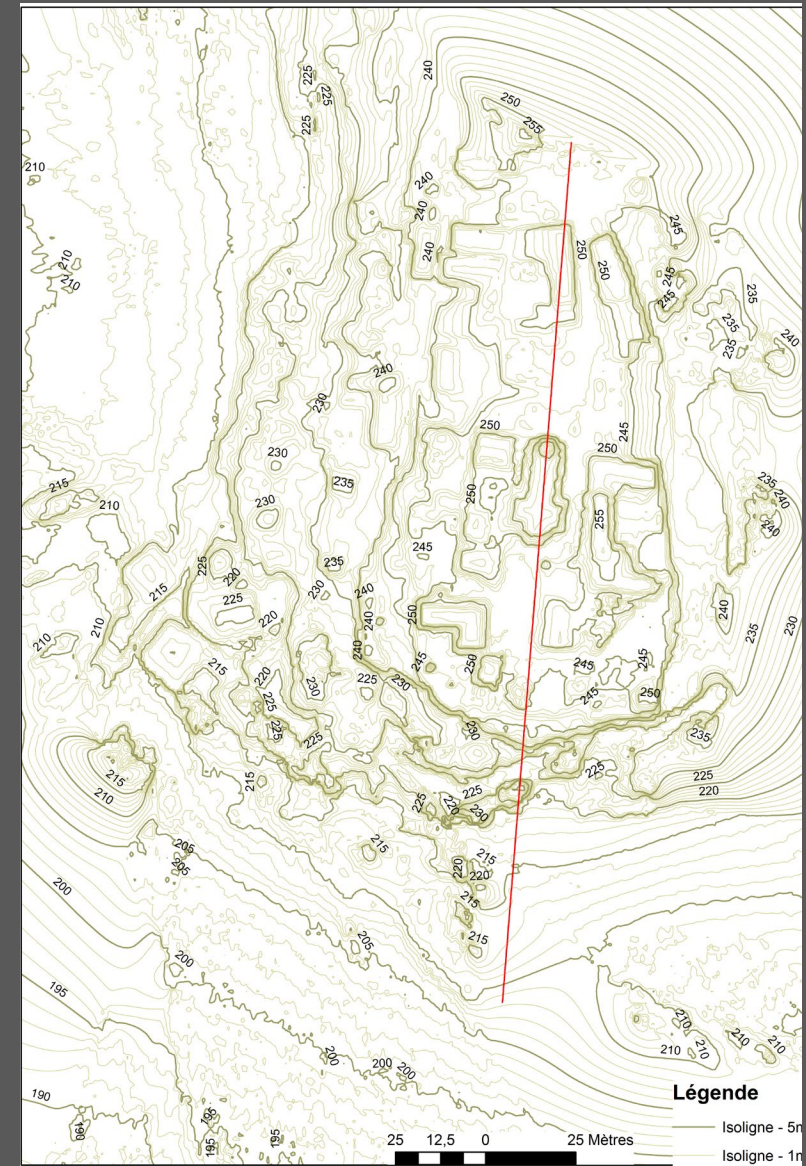
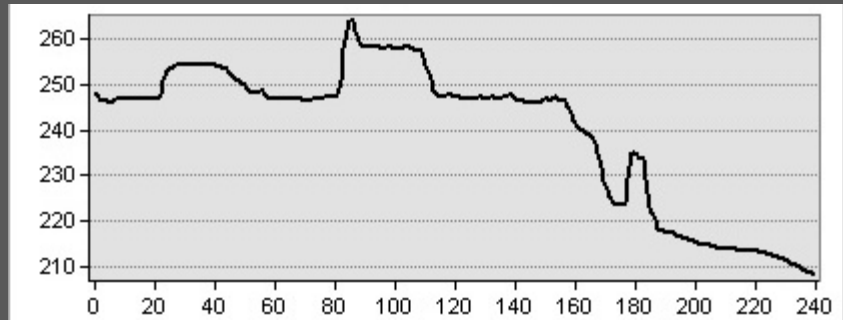
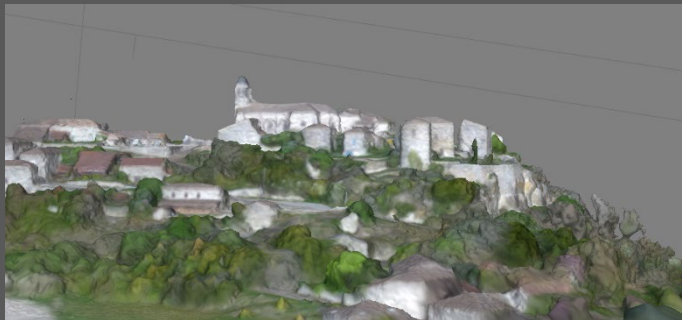
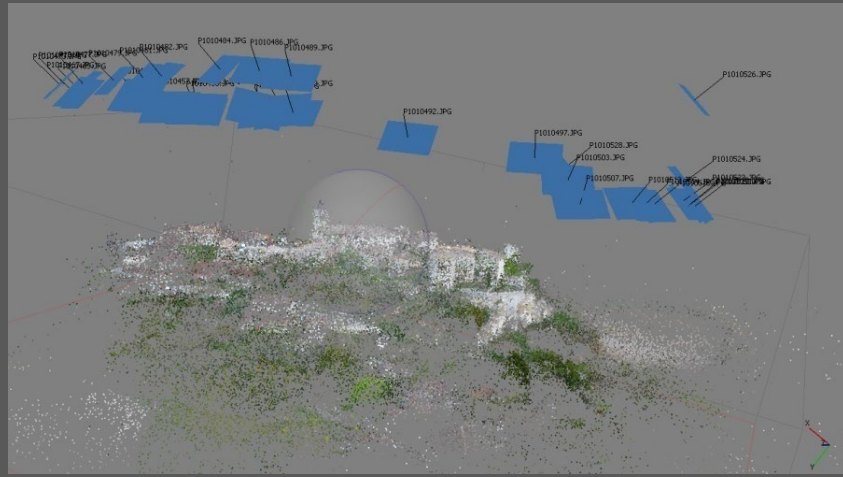


© Plateforme ArchéoScience - Environnement Occitanie Ouest – Lab. Traces – UMR 5608



## Restitution topographique du village médiéval de Flaugnac (Lot)

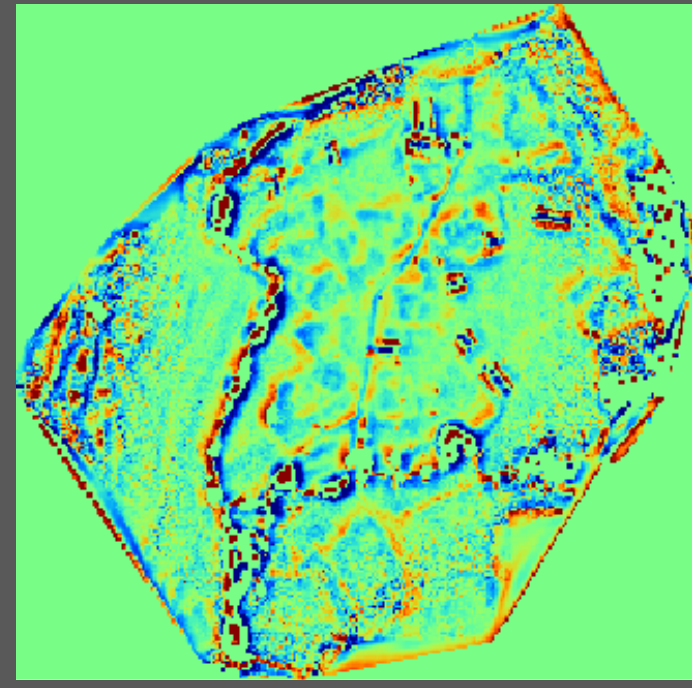
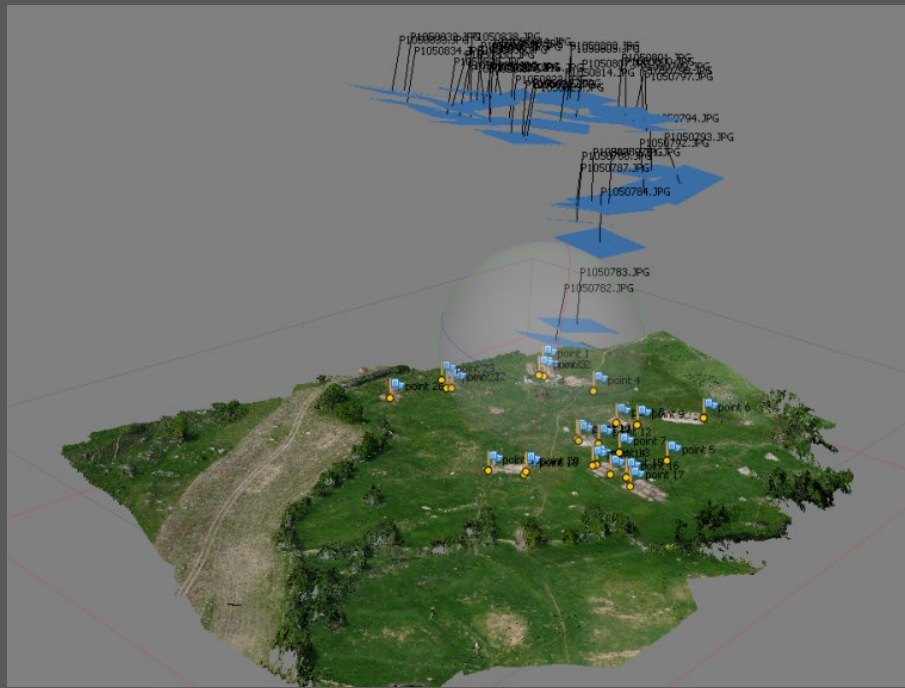
Dir. Florent Hautefeuille (MCF – Univ. Jean Jaurès – Lab. TRACES (UMR 5608))





## Détection de micro-reliefs agraires

Archéologie préventive – Vilalta (Pyrénées-Orientales)  
Dir. Olivier Passarius (Pôle archéologique - CG 66)





## Détection de micro-reliefs pastoraux

Prog. TAHMM

Dir. Carine Calastrenc – CNRS Lab. TRACES (UMR 5608)/FRAMESPA (UMR 5136)



Liantran (Estaing) – 3 hectares



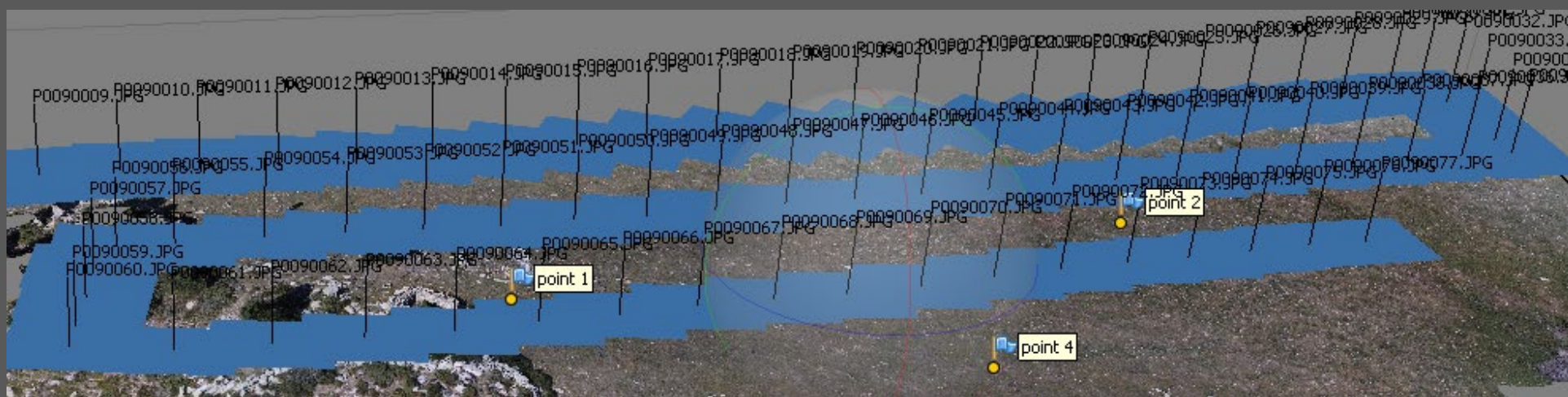
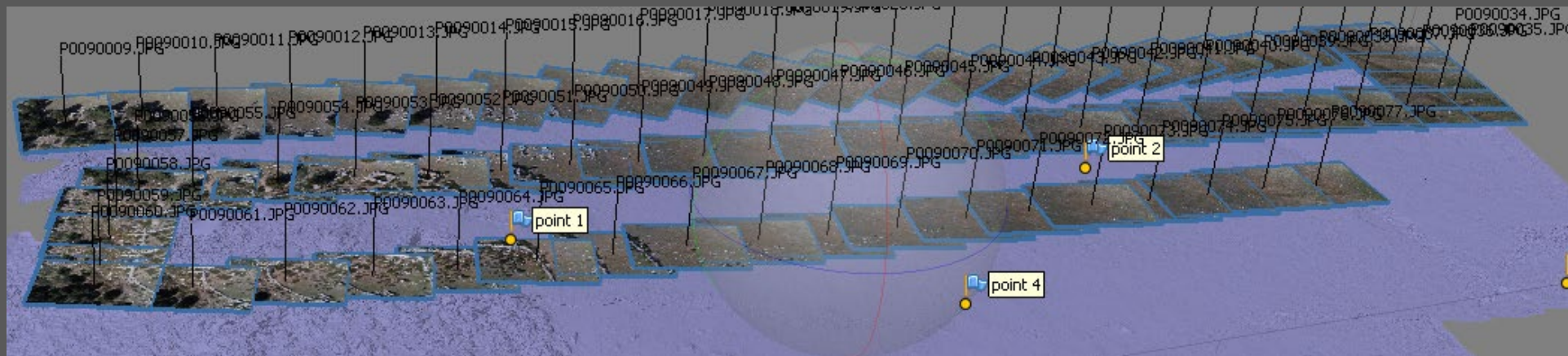
Avays (Aulon) – 7 hectares



## Détection de micro-reliefs pastoraux

Prog. TAHMM

Dir. Carine Calastrenc – CNRS Lab. TRACES (UMR 5608)/FRAMESPA (UMR 5136)

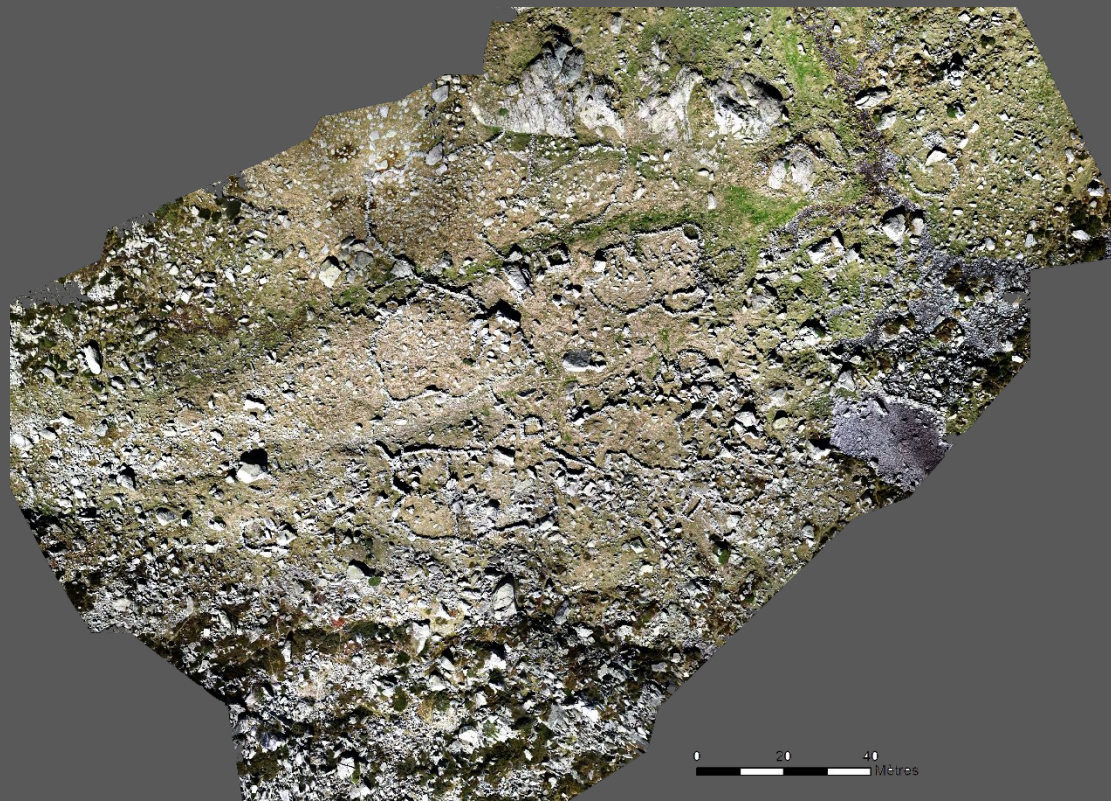




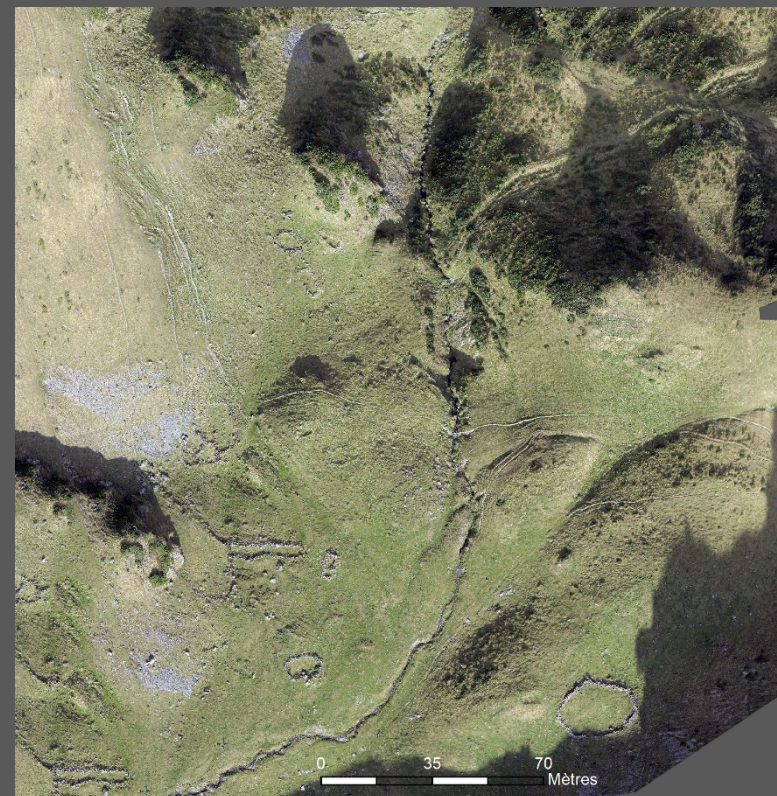
## Détection de micro-reliefs pastoraux

Prog. TAHMM

Dir. Carine Calastrenc – CNRS Lab. TRACES (UMR 5608)/FRAMESPA (UMR 5136)



Liantran (Estaing) – 3 hectares

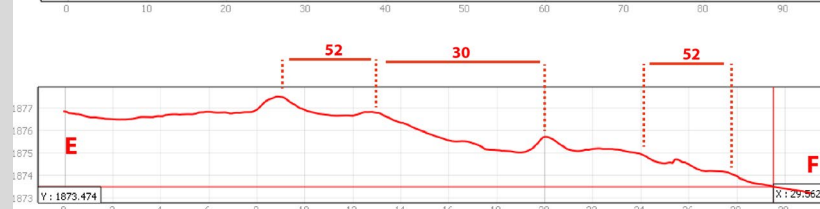
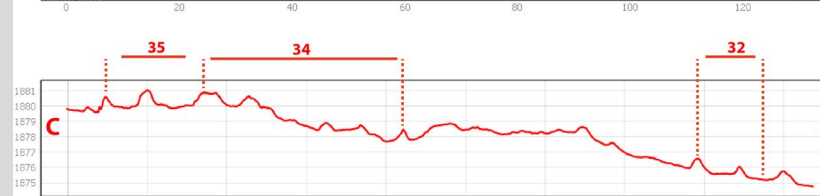
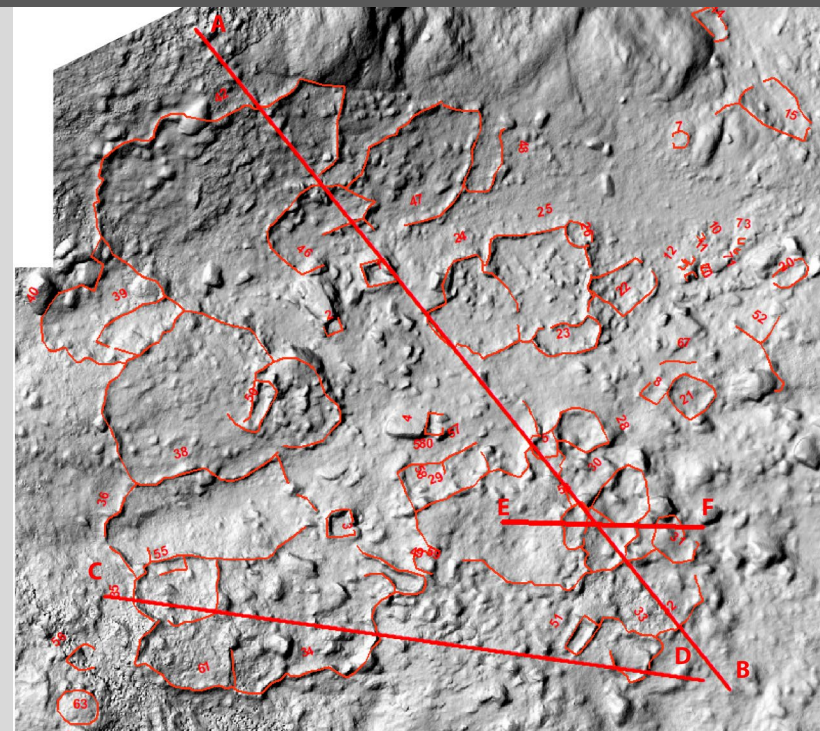
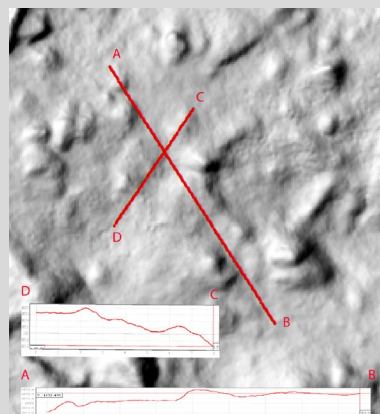
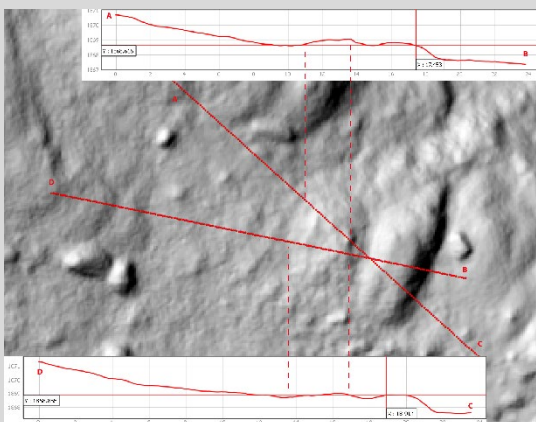
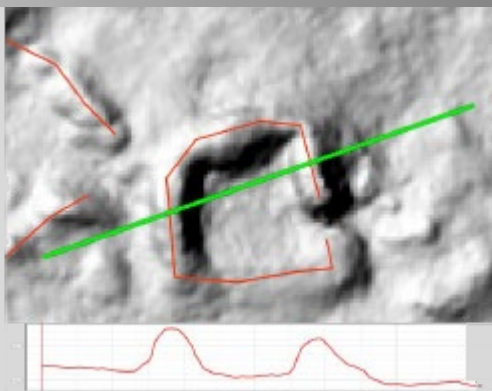


Avays (Aulon) – 7 hectares



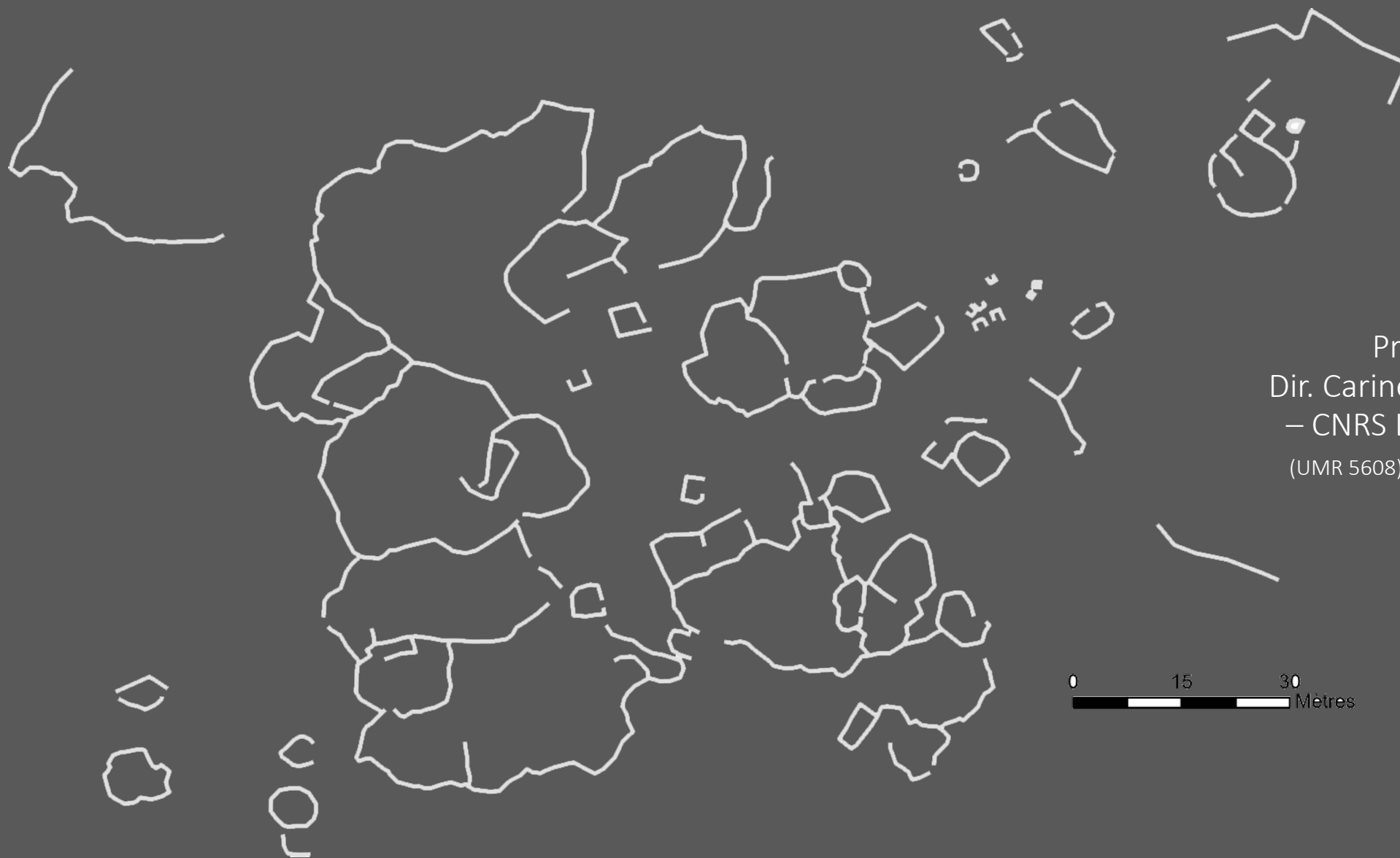


Prog. TAHMM  
Dir. Carine Calastrenc  
– CNRS Lab. TRACES  
(UMR 5608)/FRAMESPA  
(UMR 5136)





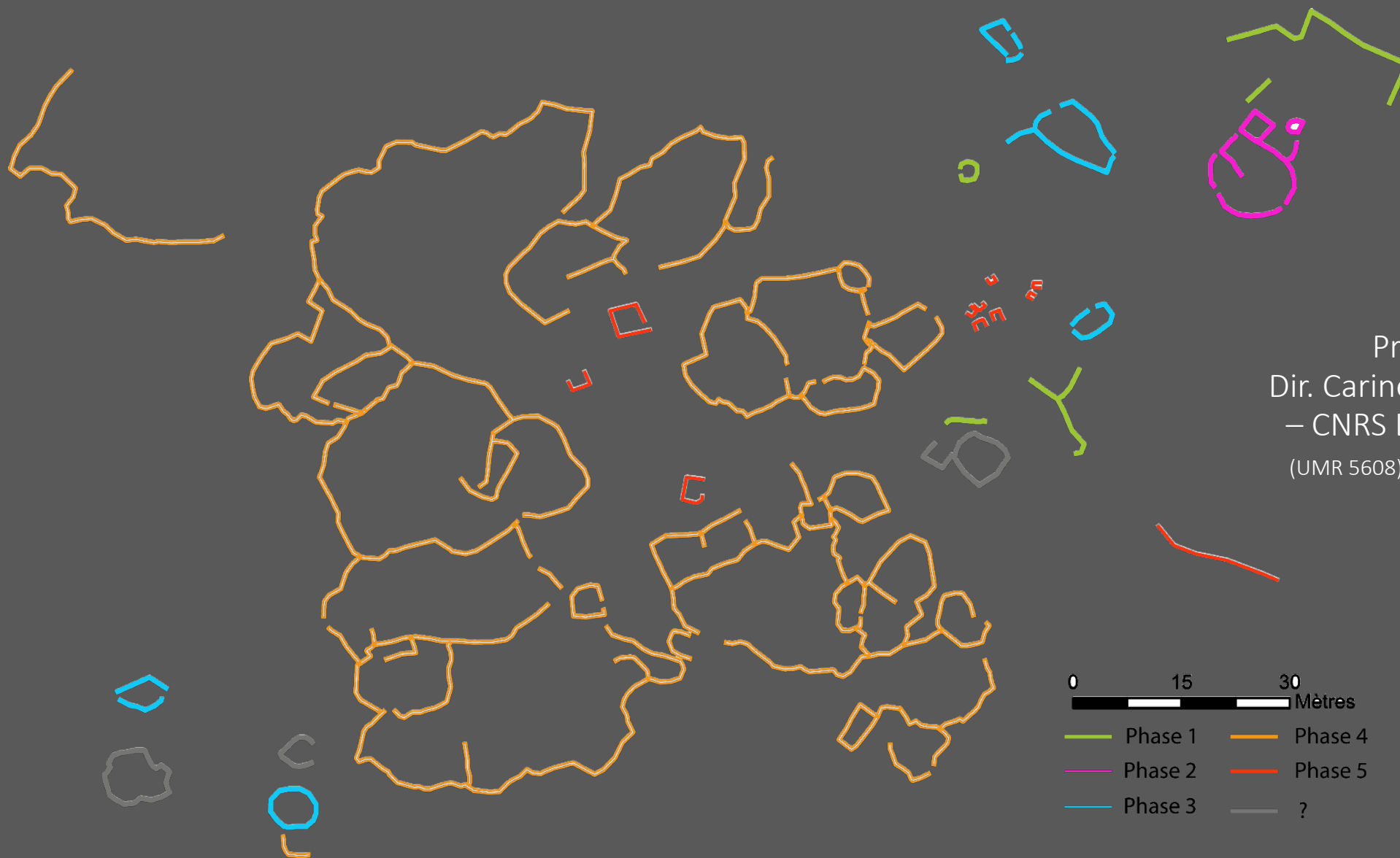
## Relevé des structures du secteur du Liantran par photogrammétrie



Prog. TAHMM  
Dir. Carine Calastrenc  
– CNRS Lab. TRACES  
(UMR 5608)/FRAMESPA  
(UMR 5136)



## Relevé des structures du secteur du Liantran par photogrammétrie



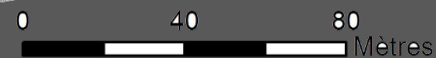
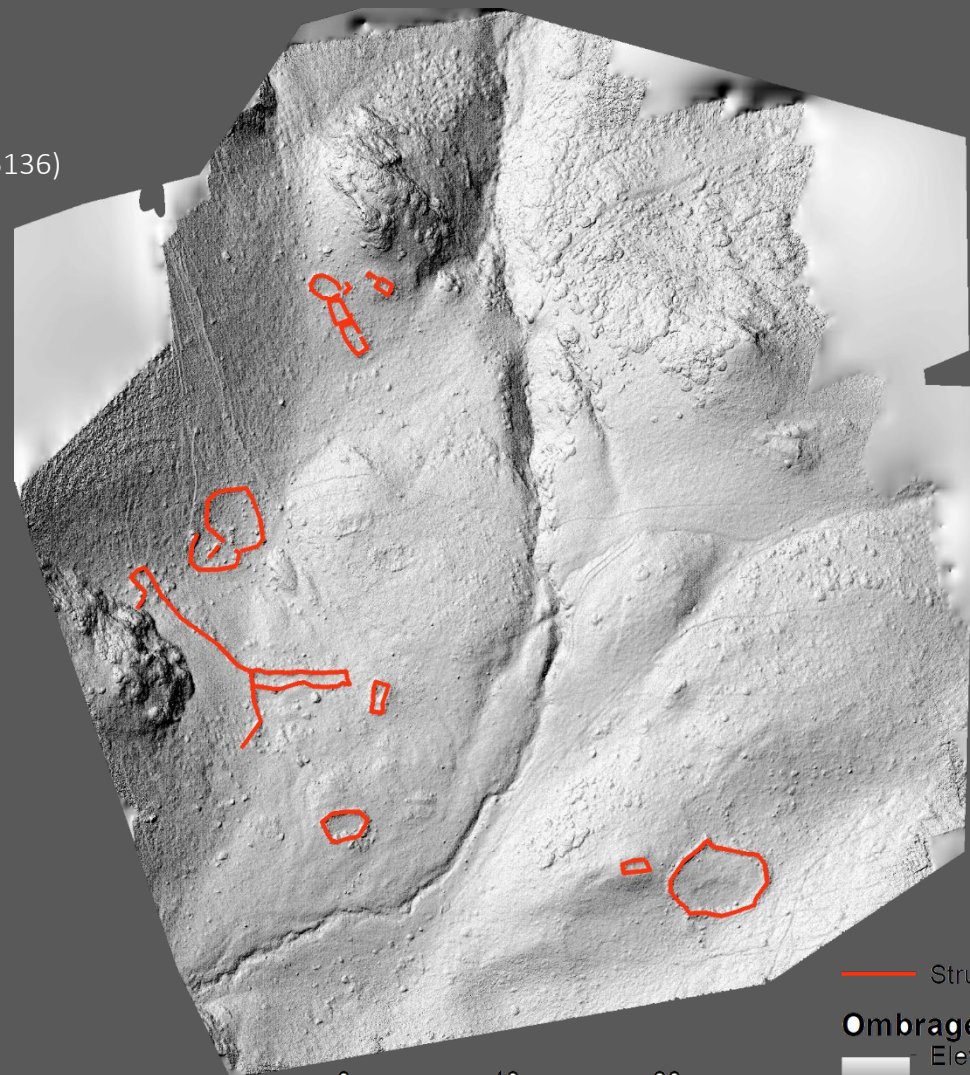
Prog. TAHMM  
Dir. Carine Calastrenc  
– CNRS Lab. TRACES  
(UMR 5608)/FRAMESPA  
(UMR 5136)



Avays (Aulon) – 7 hectares

Prog. TAHMM

Dir. Carine Calastrenc – CNRS Lab. TRACES (UMR 5608)/FRAMESPA (UMR 5136)



— Structure

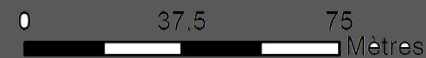
**Ombrage**  
Elevée : 254  
Faible : 0



Avays (Aulon) – 7 hectares

Prog. TAHMM

Dir. Carine Calastrenc – CNRS Lab. TRACES (UMR 5608)/FRAMESPA (UMR 5136)



— Structure

VRM

Élevée : 0.8

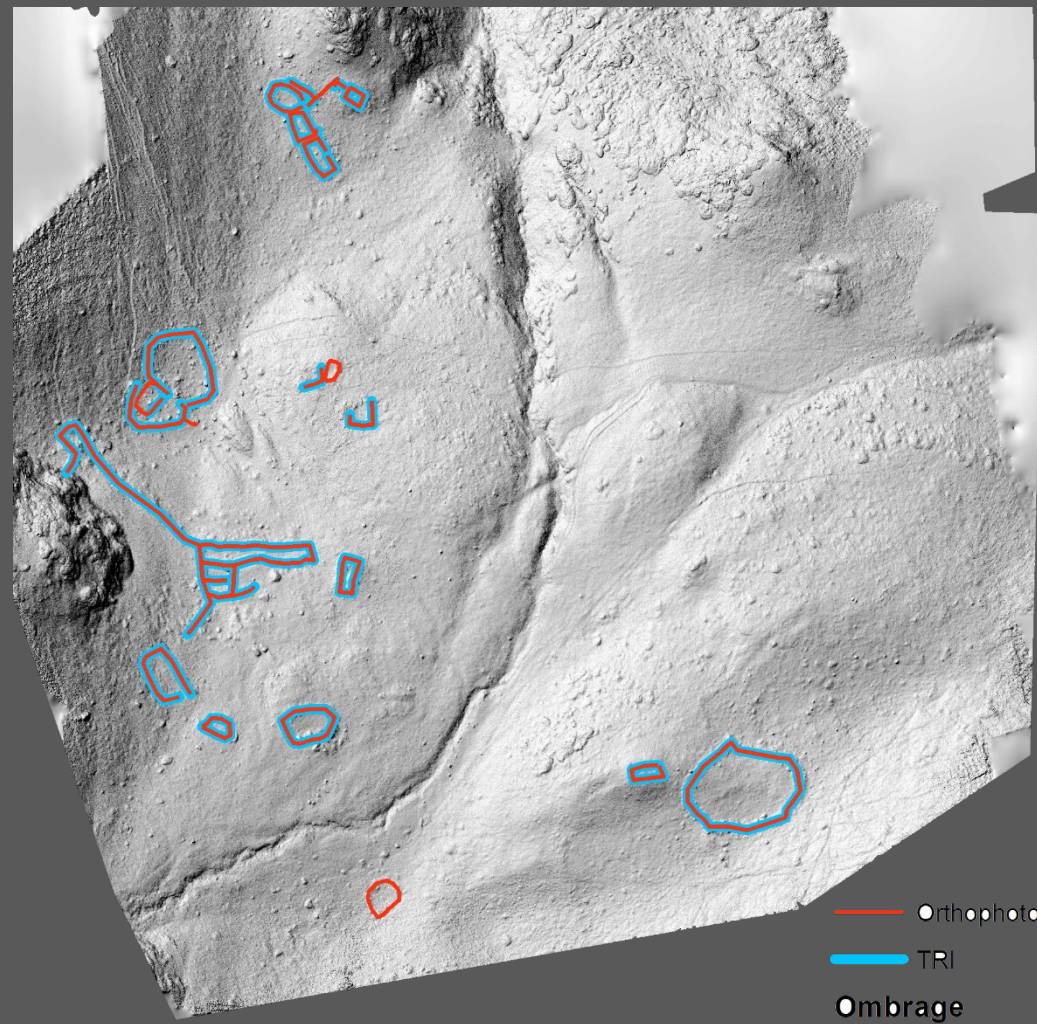
Faible : -2.9



Avays (Aulon) – 7 hectares

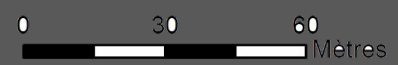
Prog. TAHMM

Dir. Carine Calastrenc – CNRS Lab. TRACES (UMR 5608)/FRAMESPA (UMR 5136)



— Orthophoto  
— TRI

**Ombre**  
Elevée : 25  
Faible : 0

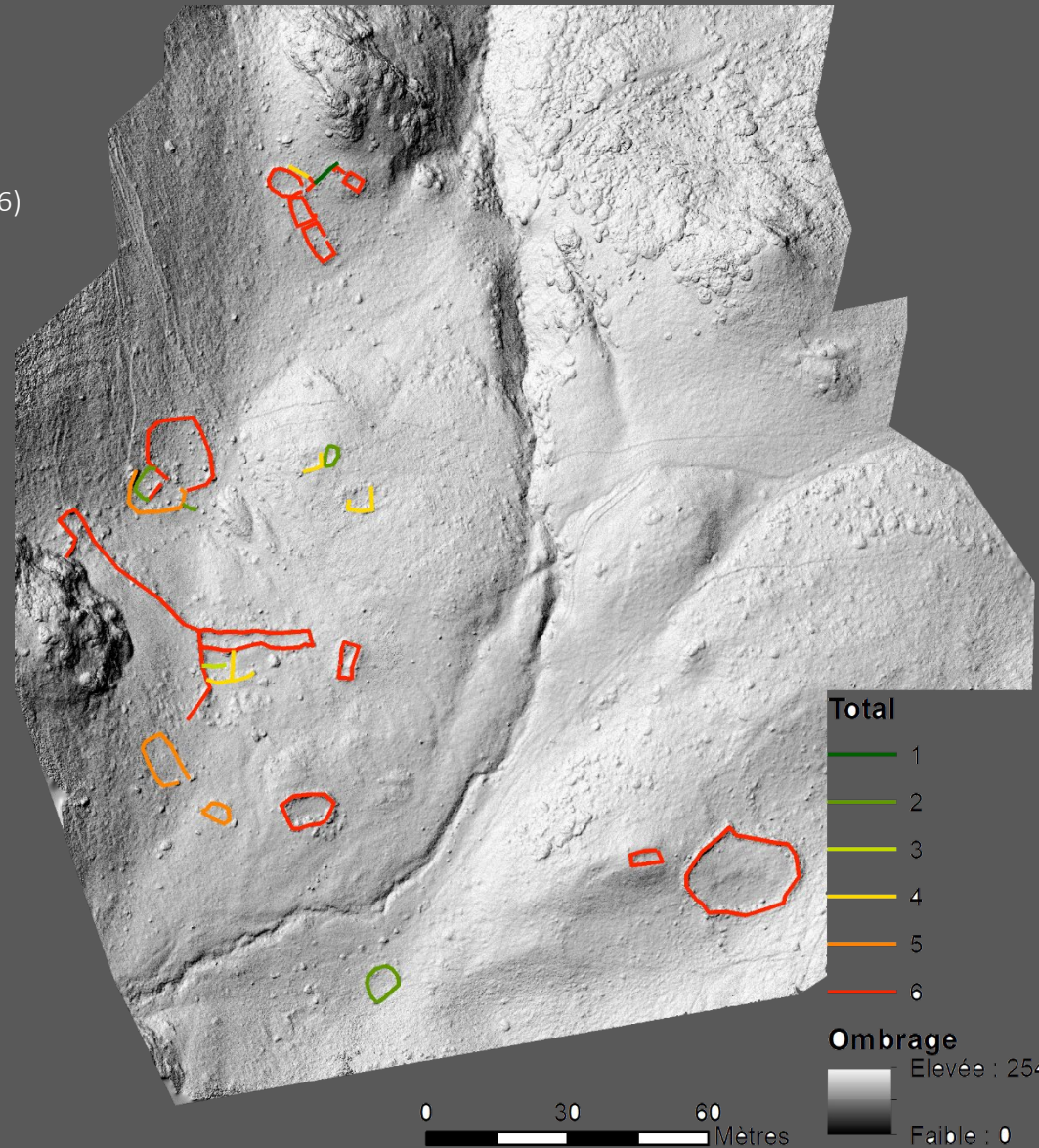




Avays (Aulon) – 7 hectares

Prog. TAHMM

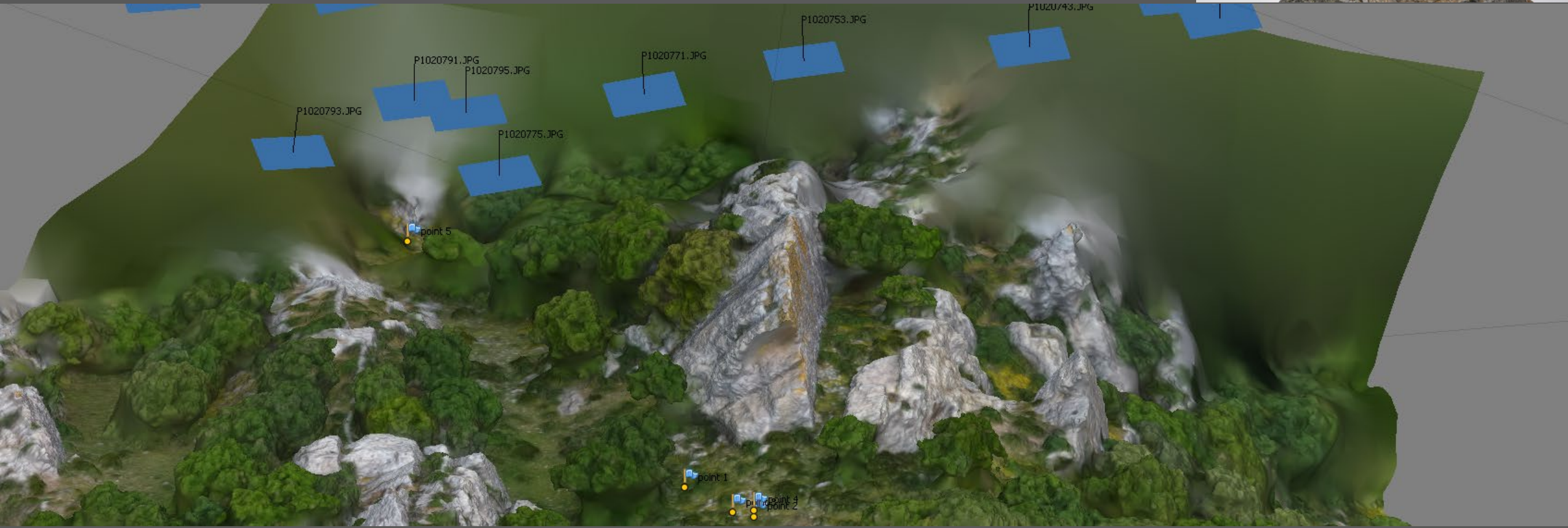
Dir. Carine Calastrenc – CNRS Lab. TRACES (UMR 5608)/FRAMESPA (UMR 5136)





## Modélisation 3D de zones difficiles d'accès

La Silla del Papa, Belo, Espagne  
(dir. P. Moret, UMR 5608 TRACES)

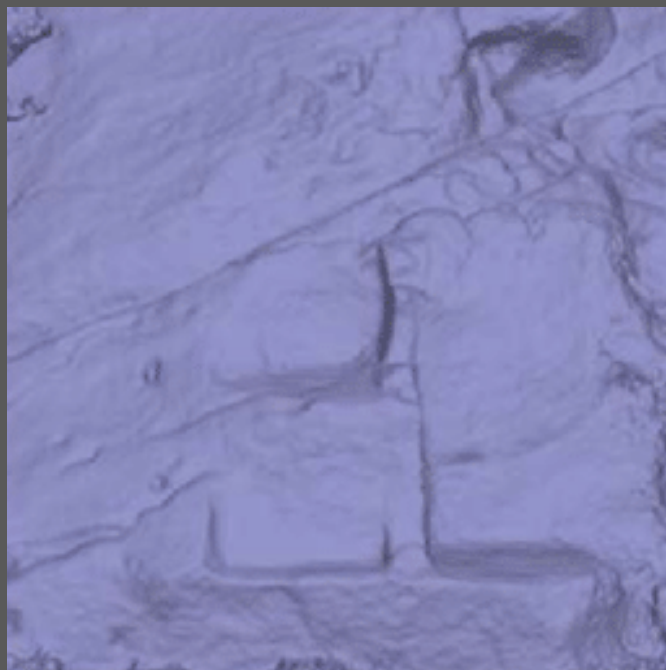
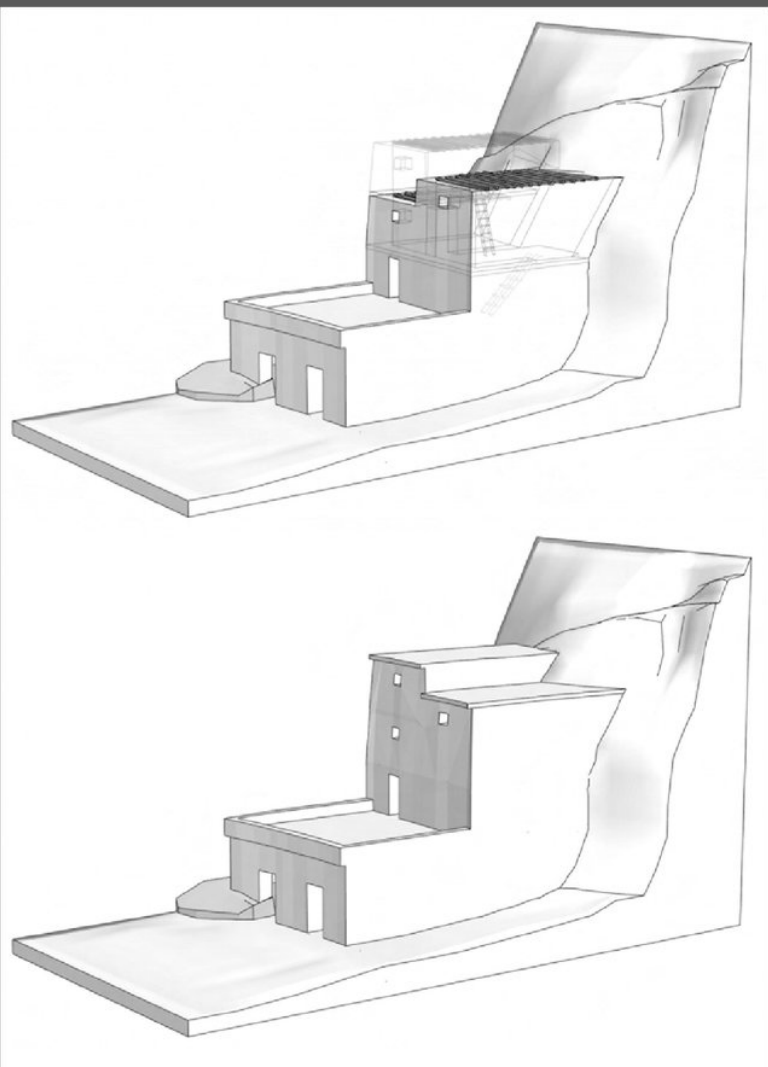






## Modélisation 3D de zones difficiles d'accès

La Silla del Papa, Belo, Espagne  
(dir. P. Moret, UMR 5608 TRACES)





- Voilure fixe type avion
  - Décollage, plan de vol ,atterrissage automatisé
  - 2H d'autonomie => grand rayon d'action
- 5 bandes spectrales  
Rouge, Vert, Bleu, Proche Infra-rouge, Red Edge
- Logiciels de préparation/suivi de mission et traitement d'images

<https://www.usinenouvelle.com/article/delair-tech-lance-le-drone-civil-longue-portee.N196881>



- Voilure tournante
  - Décollage, plan de vol ,atterrissage automatisé
  - 27 minutes d'autonomie => rayon d'action moyen
- 5 bandes spectrales  
Rouge, Vert, Bleu, Proche Infra-rouge, Red Edge
- Logiciels de préparation/suivi de mission

<https://www.ldlc.com/fiche/PB00267088.html>



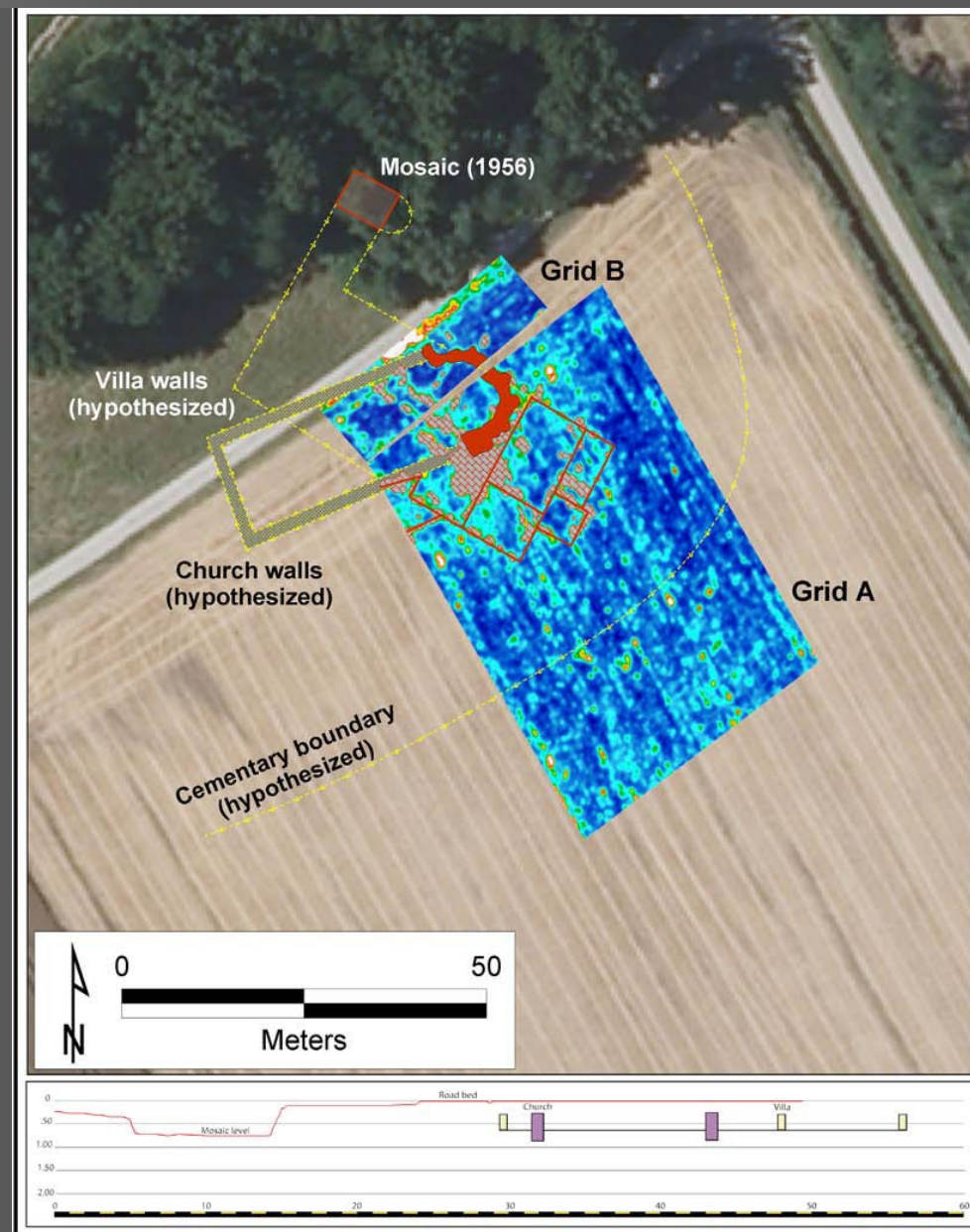


Prog. REPERAGE – Dir. Nicolas Poirier – CNRS – TRACES – UMR 5608)





Prog. REPERAGE – Dir. Nicolas Poirier – CNRS – TRACES – UMR 5608)

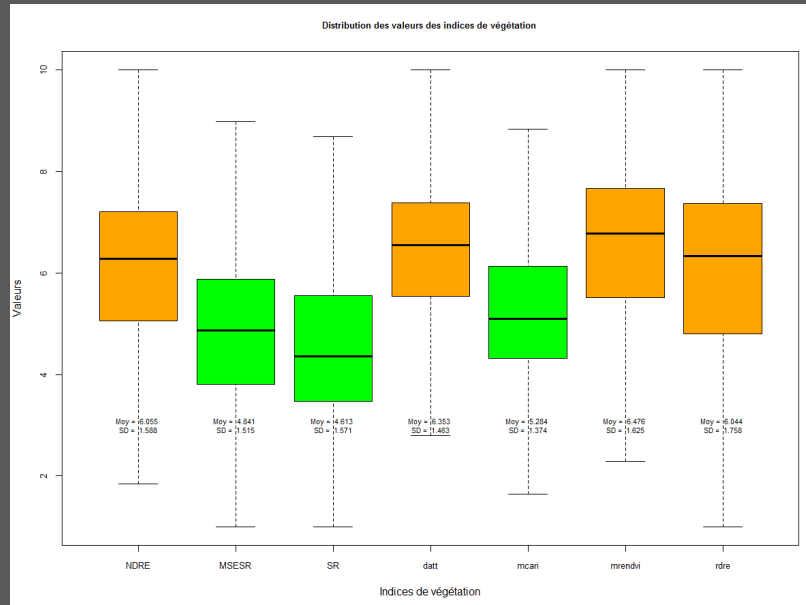


Notre-Dame-de-Baude,  
Labastide-du-Temple (82)

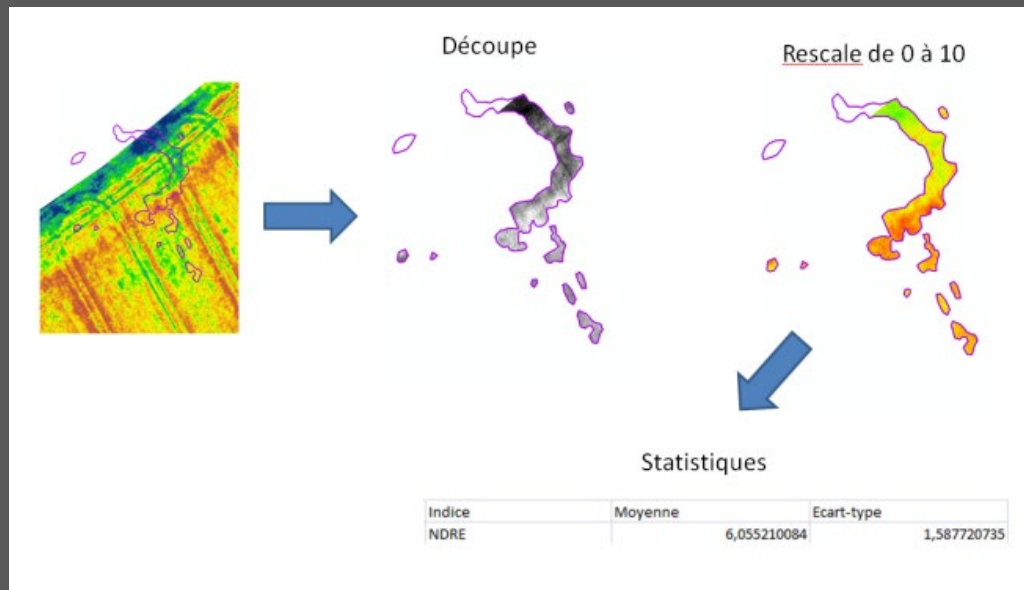
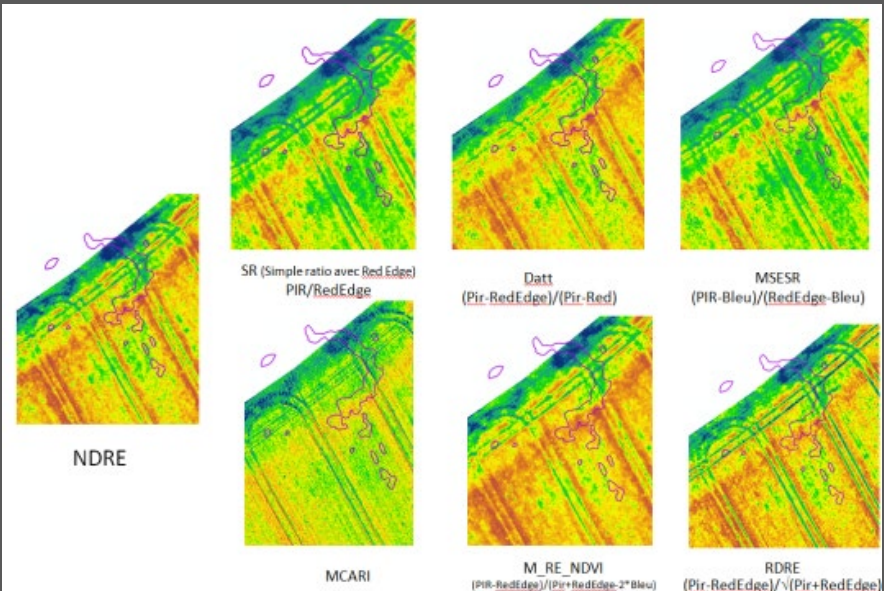
Ted L Gragson, Florent Hautefeuille, Victor D. Thompson [et al.], « Discovery and appraisal of the early Christian church of Notre Dame de Baudes near Labastide-du-Temple, France », *Journal of Archaeological Science: Reports*, vol. 6, avril 2016, p. 584-593.



Prog. REPERAGE – Dir. Nicolas Poirier – CNRS – TRACES – UMR 5608)



Analyse François Baleux (CNRS – Lab. TRACES – UMR 5608)





# Drones multispectraux

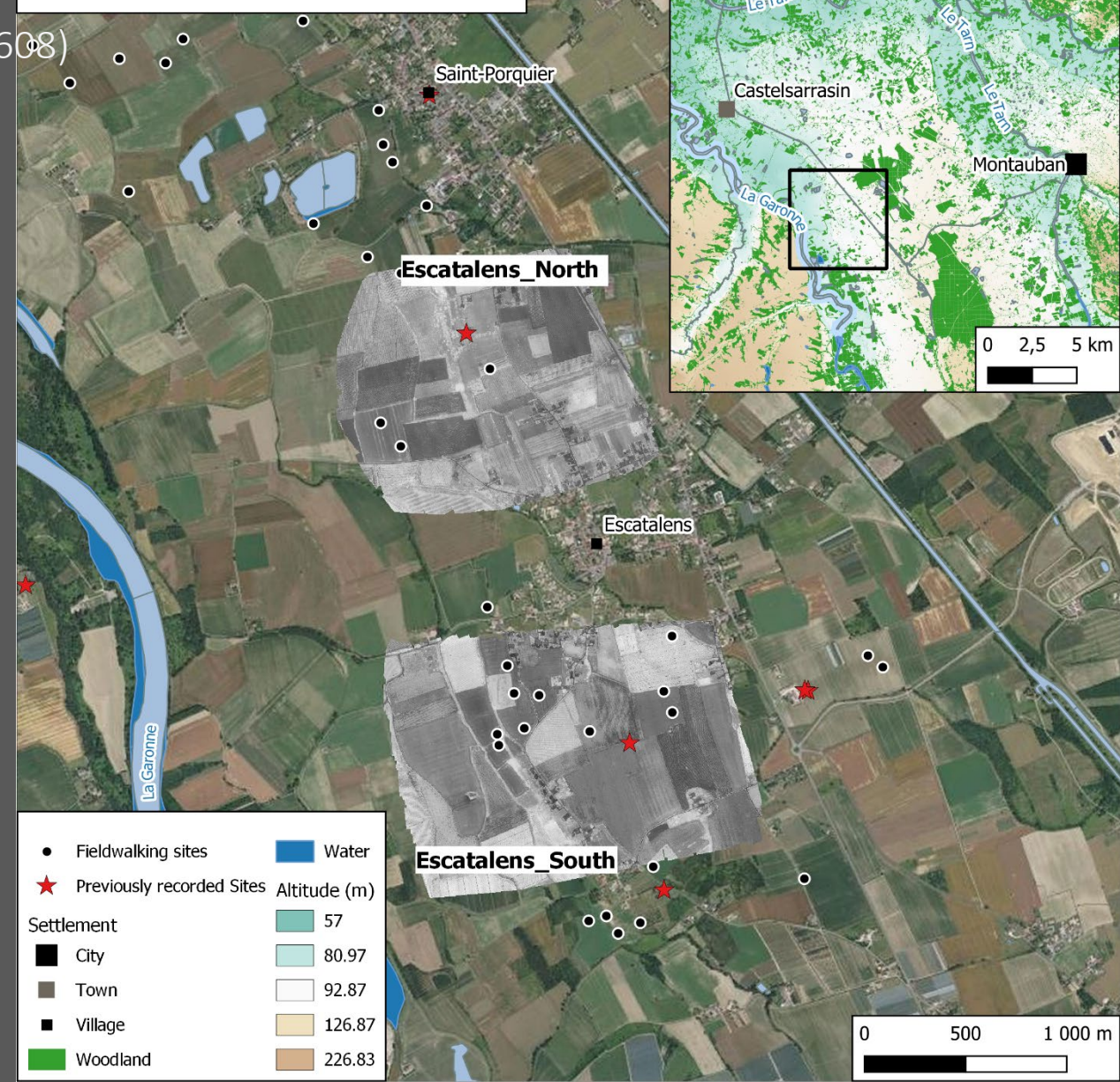
François BALEUX - Carine CALASTRENC – Nicolas POIRIER



Prog. REPERAGE – Dir. Nicolas Poirier – CNRS – TRACES – UMR 5608



## Location of multispectral study areas

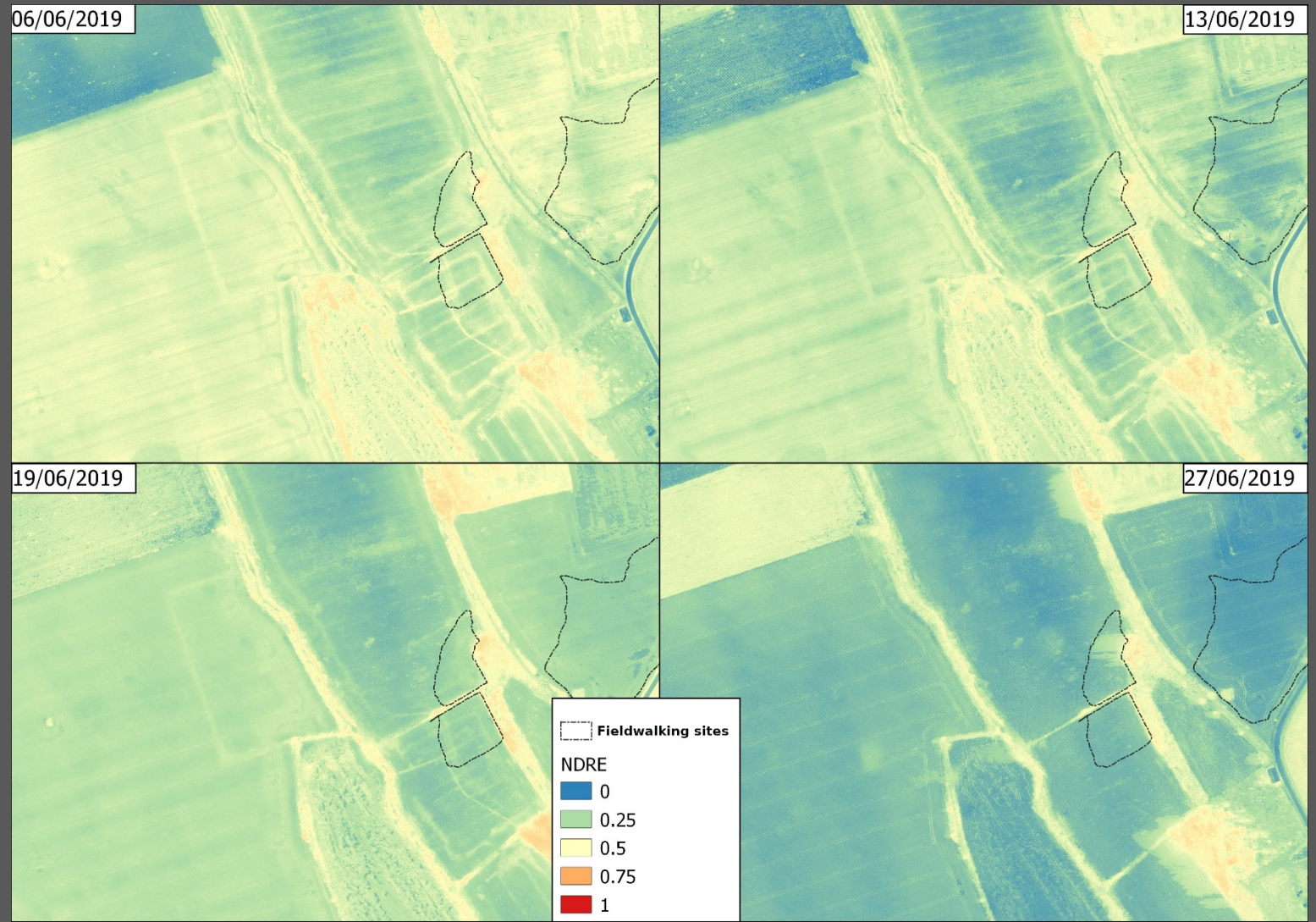




Prog. REPERAGE – Dir. Nicolas Poirier – CNRS – TRACES – UMR 5608)

Acquisitions multi-temporelle

Juin 2019





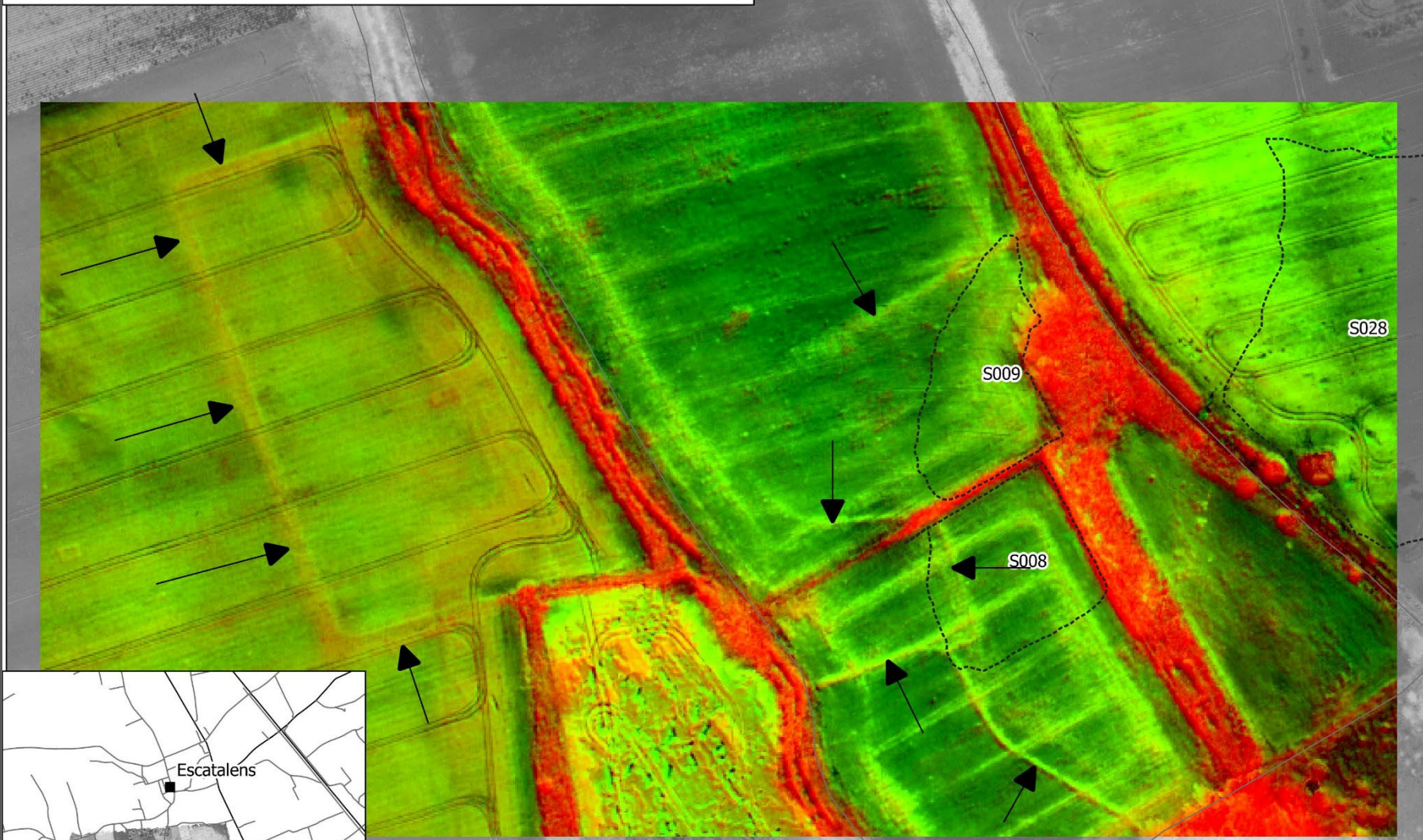
# Drones multispectraux

François BALEUX - Carine CALASTRENC – Nicolas POIRIER

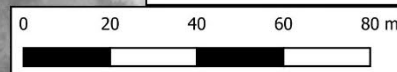


Prog. REPERAGE – Dir. Nicolas Poirier – CNRS – TRACES – UMR 5608)

Escatalens\_South - Zone A - NDRE PCA for Change Detection on 6th, 13th & 19th June 2019 Coverages



Fieldwalking sites







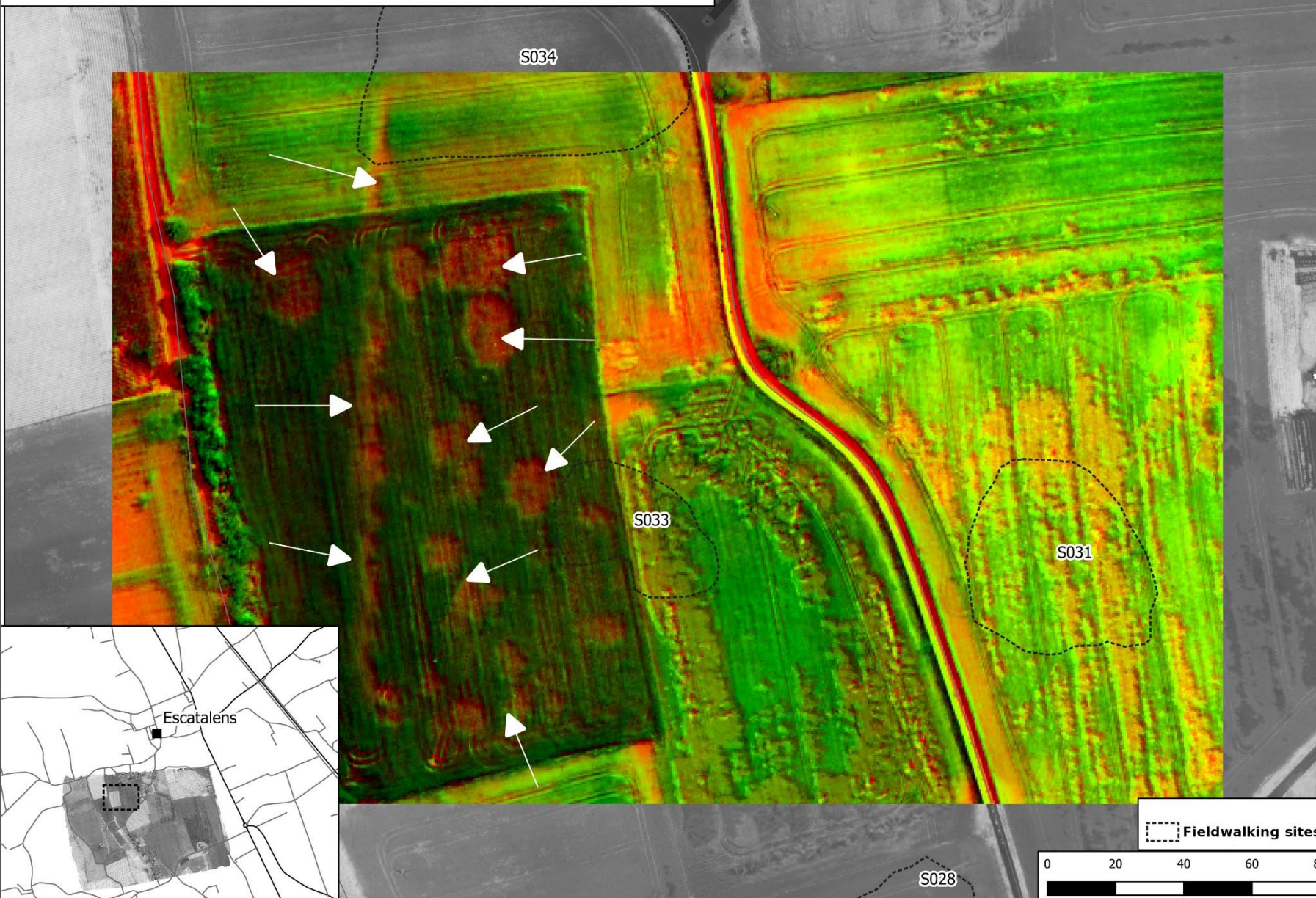
# Drones multispectraux

François BALEUX - Carine CALASTRENC – Nicolas POIRIER



Prog. REPERAGE – Dir. Nicolas Poirier – CNRS – TRACES – UMR 5608)

Escatalens\_South - Zone B - NDRE PCA for Change Detection on 6th, 13th & 19th June 2019 Coverages





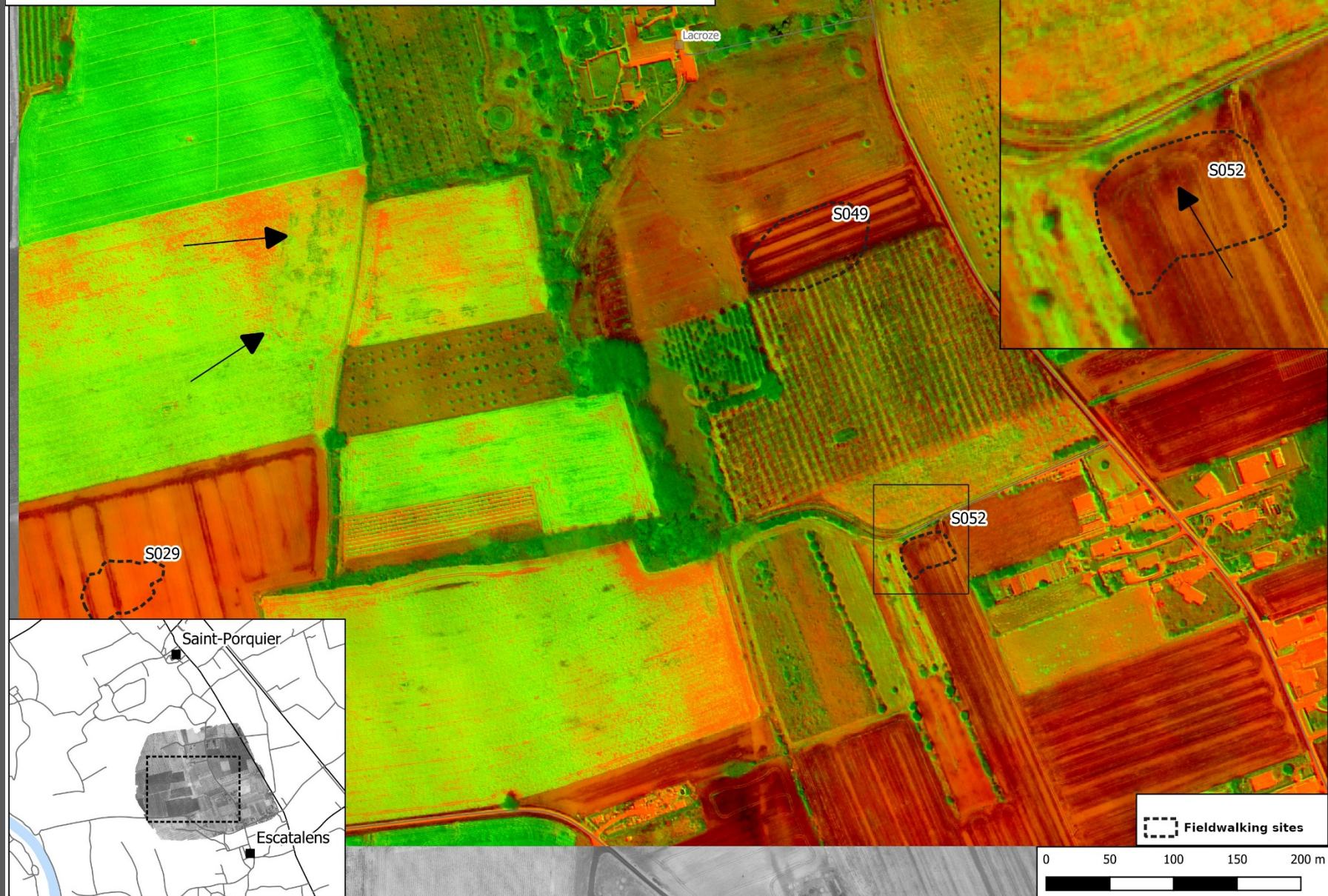
# Drones multispectraux

François BALEUX - Carine CALASTRENC – Nicolas POIRIER



Prog. REPERAGE – Dir. Nicolas Poirier – CNRS – TRACES – UMR 5608)

Escatalens\_North - NDRE PCA for Change Detection on 6th, 13th & 19th June 2019 Coverages





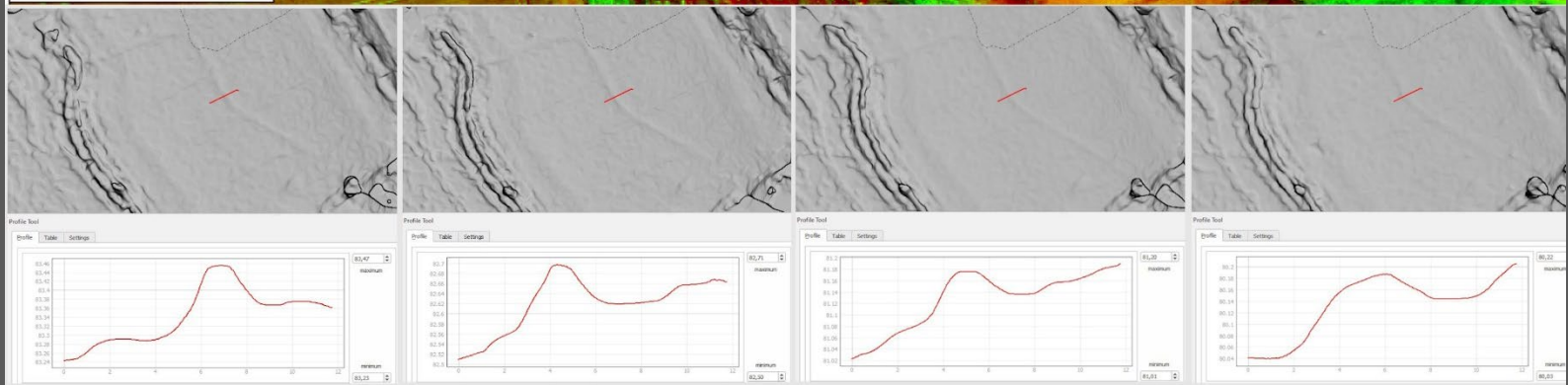
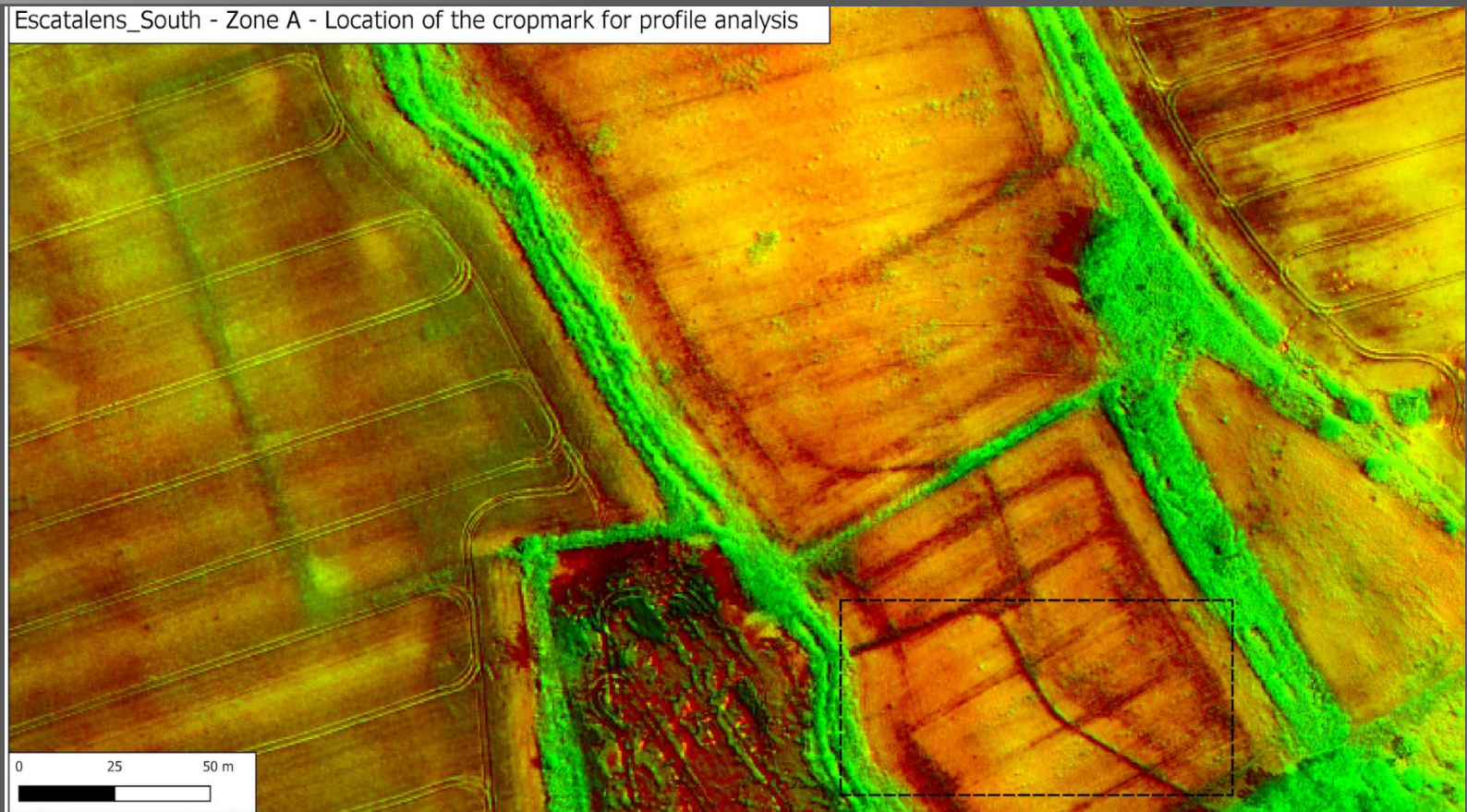
# Drones multispectraux

François BALEUX - Carine CALASTRENC – Nicolas POIRIER



Prog. REPERAGE – Dir. Nicolas Poirier – CNRS – TRACES – UMR 5608)

Escatalens\_South - Zone A - Location of the cropmark for profile analysis





Mapper II – Yellowscan implémenté sur un  
DJI Matrice 600 Pro

## Caractéristiques :

- 6 rotors
- 6 batteries de 4500 mAh – 6 S – 595 g
- Poids = 9 kg
- Emport = 6 kg
- Résistance a vent = 8 m/sec.
- Plafond max. = 2500 m
- Durée vol stationnaire (charge de 6kg) = 32 '





## Mapper II – Yellowscan

### Caractéristiques :

- Longueur d'onde : 950 nm
- 3 échos
- 18 500 shots par seconde
- Hauteur d'acquisition : entre 10 et 75 m
- Précision = 10 cm
- Exactitude : XY = 15 cm ; Z = 5 cm
- Scan sur 100°
- Poids = 2,1 kg





# Lasergrammétrie aéroportée

François BALEUX - Carine CALASTRENC – Nicolas POIRIER



Hiver 2019 => Crash dans une forêt roumaine

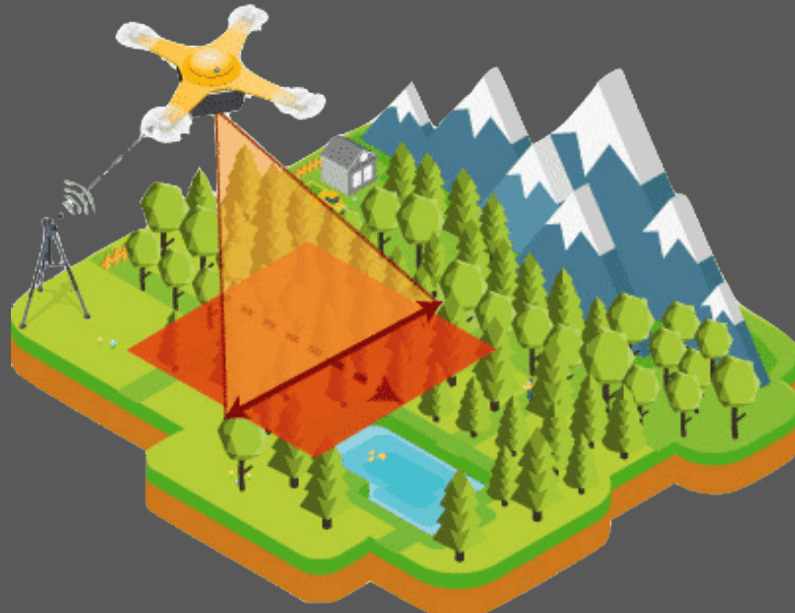
Prg. Foretexil (Dir. Vanessa Py – Lab. GEODE – UMR 5602)





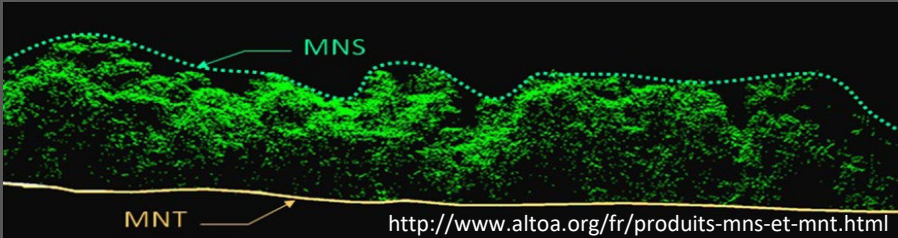
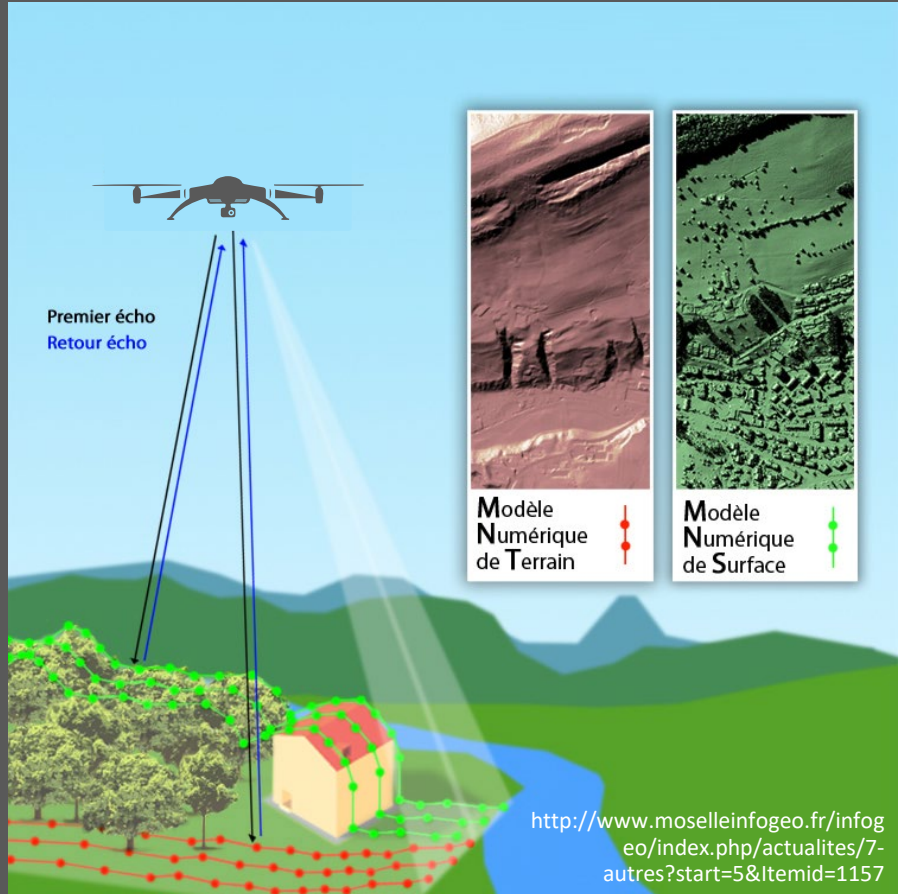
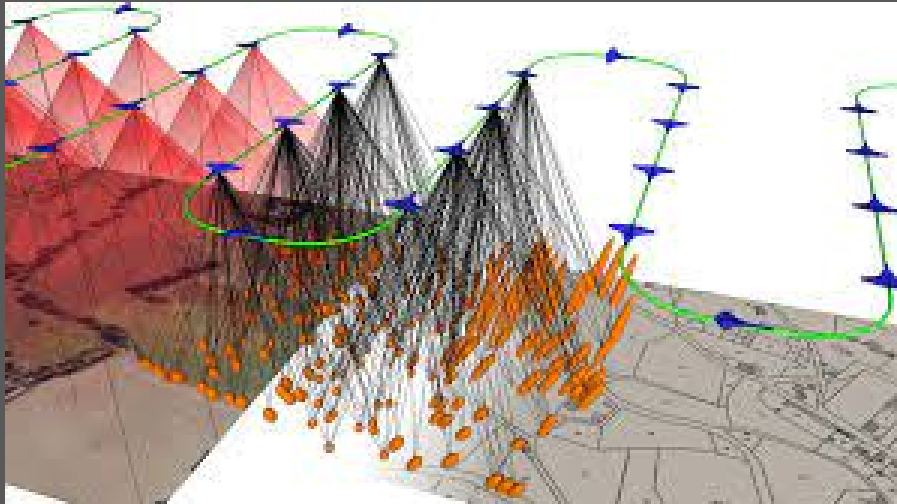
# Lasergrammétrie aéroportée

François BALEUX - Carine CALASTRENC – Nicolas POIRIER



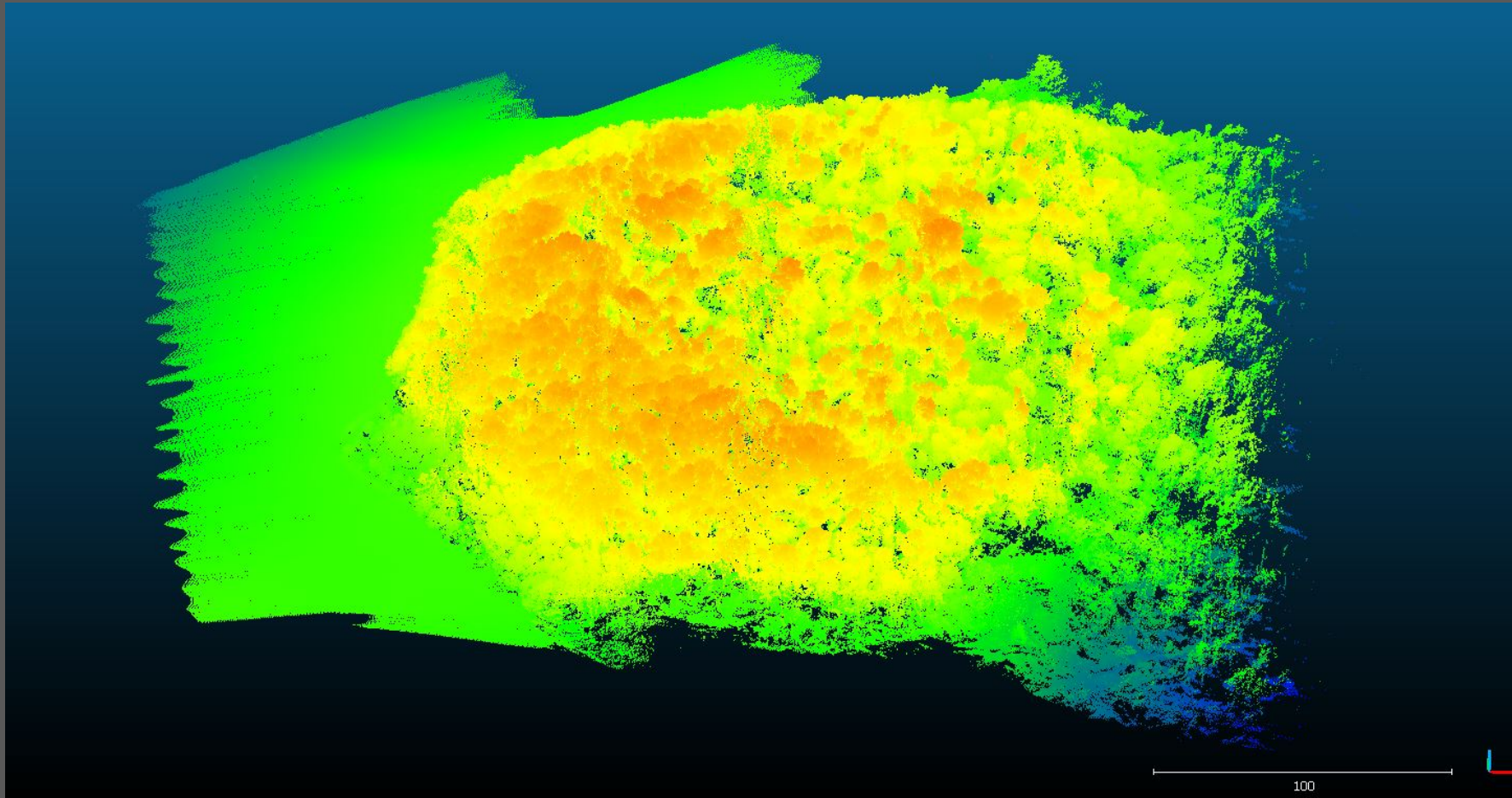
<https://www.msdi.co.id/fr/nos-services/cartographie-lidar/>

<https://actu.epfl.ch/news/un-logiciel-pour-ameliorer-la-cartographie-par-dro/>





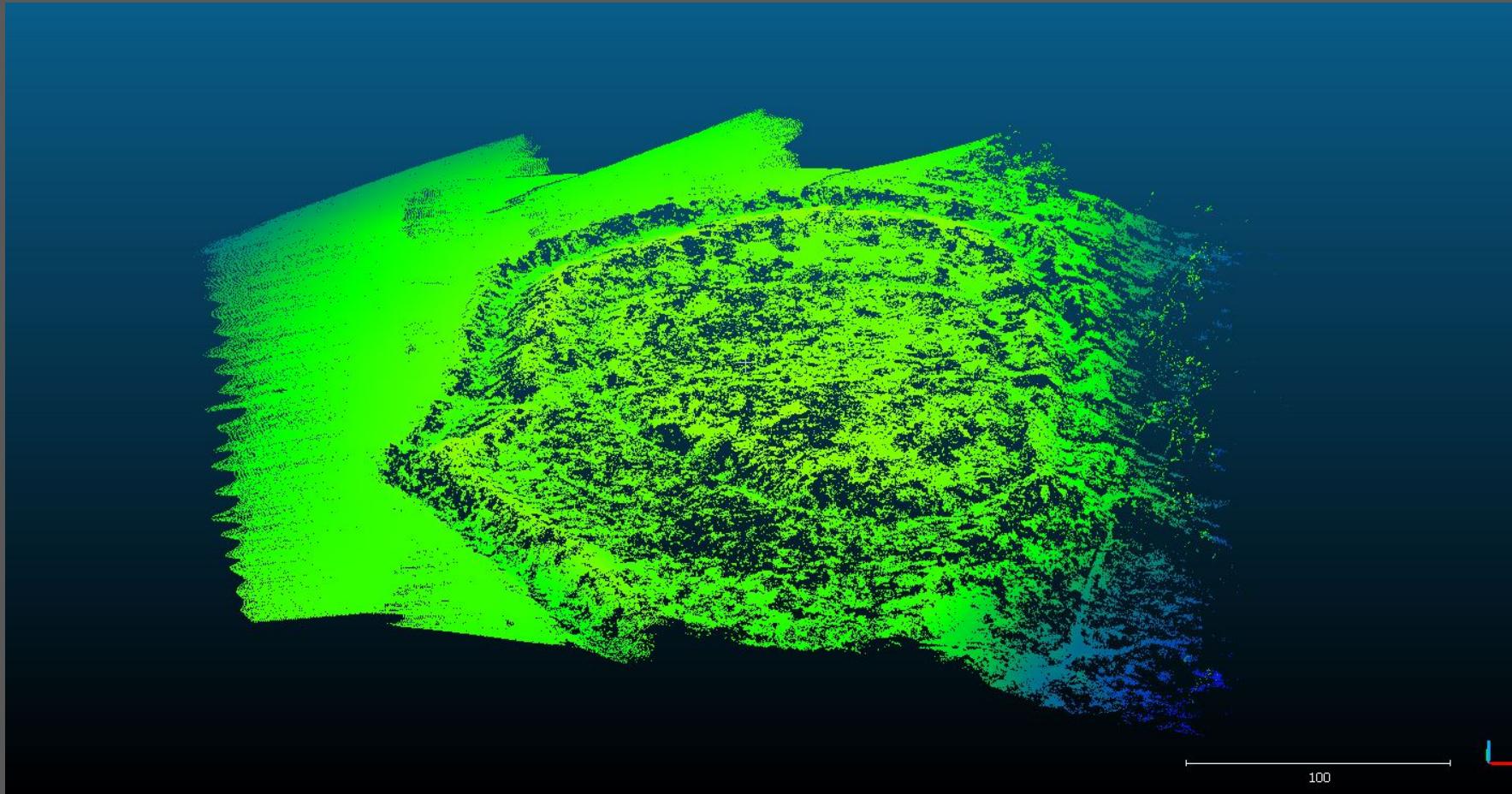
PCR Fortipolis (Ph. Gardes et Thomas Le Dreff)  
Site de Castet Crabe (Hautes-Pyrénées)





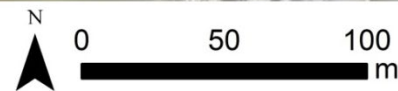


PCR Fortipolis (Ph. Gardes et Thomas Le Dreff)  
Site de Castet Crabe (Hautes-Pyrénées)



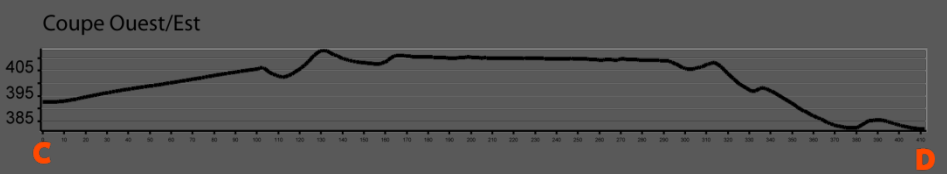
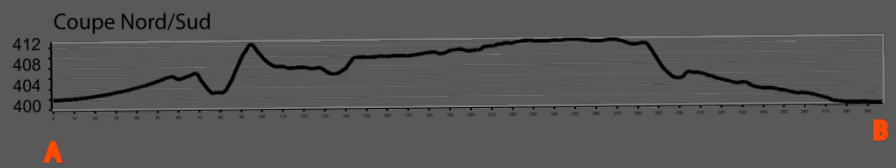
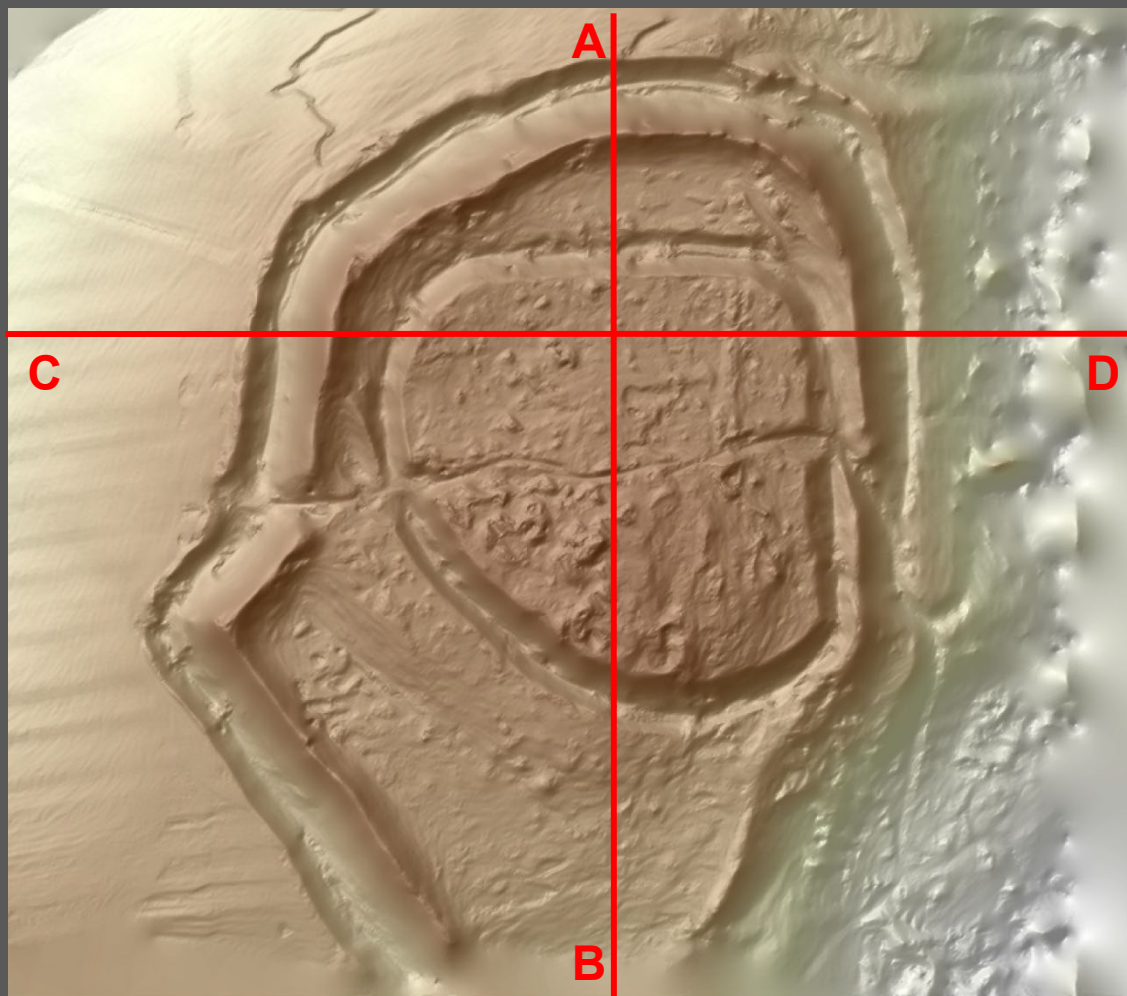


PCR Fortipolis (Ph. Gardes et Thomas Le Dreff)  
Site de Castet Crabe (Hautes-Pyrénées)





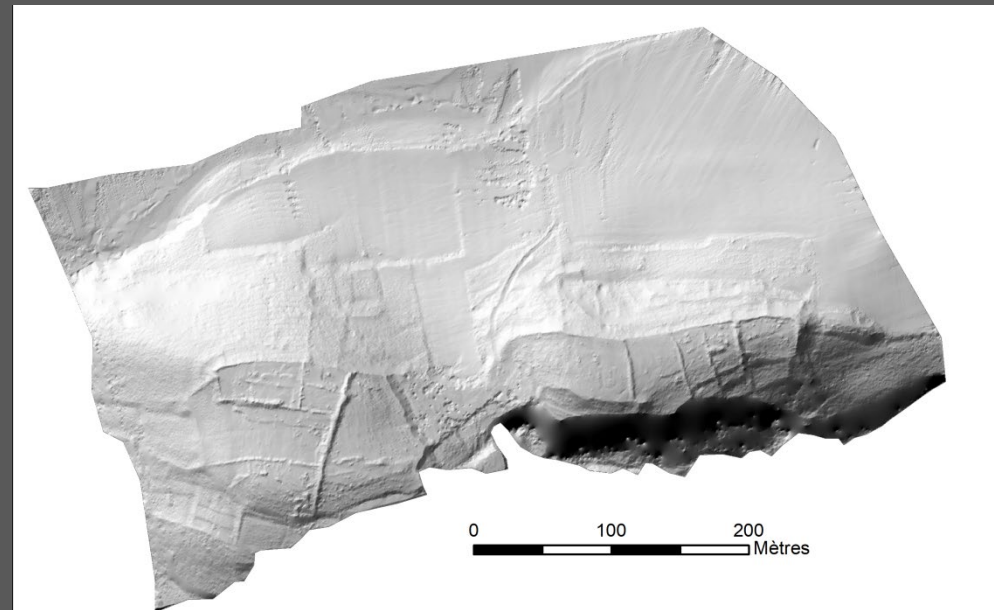
PCR Fortipolis (Ph. Gardes et Thomas Le Dreff)  
Site de Castet Crabe (Hautes-Pyrénées)





PCR Fortipolis (Ph. Gardes et Thomas Le Dreff)

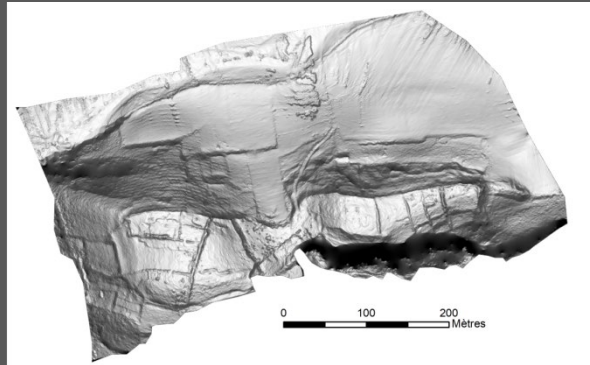
Site de Saint Martory (Haute-Garonne)



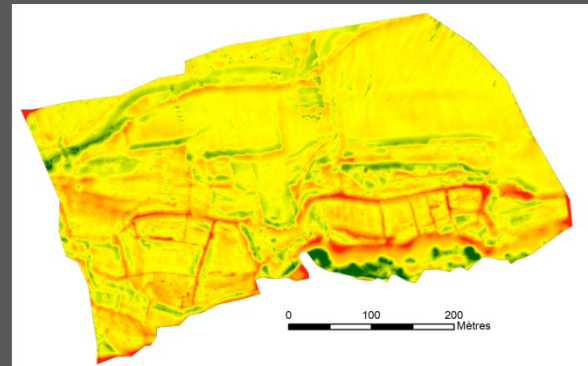


PCR Fortipolis (Ph. Gardes et Thomas Le Dreff)

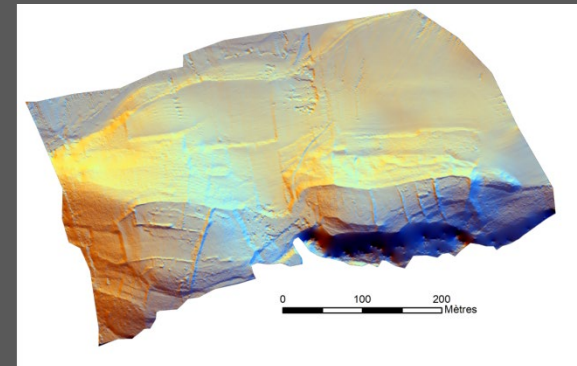
Site de Saint Martory (Haute-Garonne)



Slope



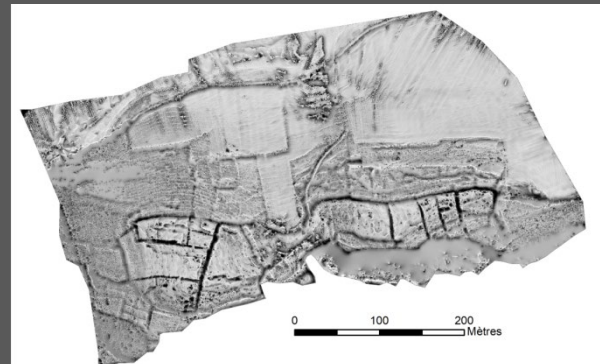
Simple Local Relief Model



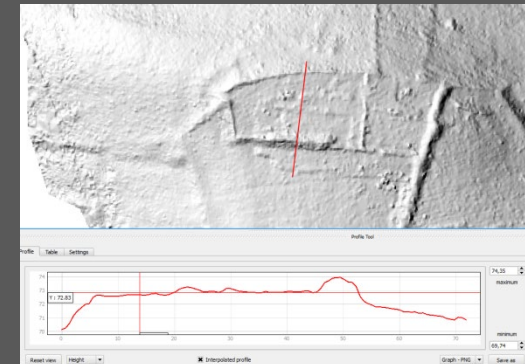
Ombrage multidirectionnel



Openness positive

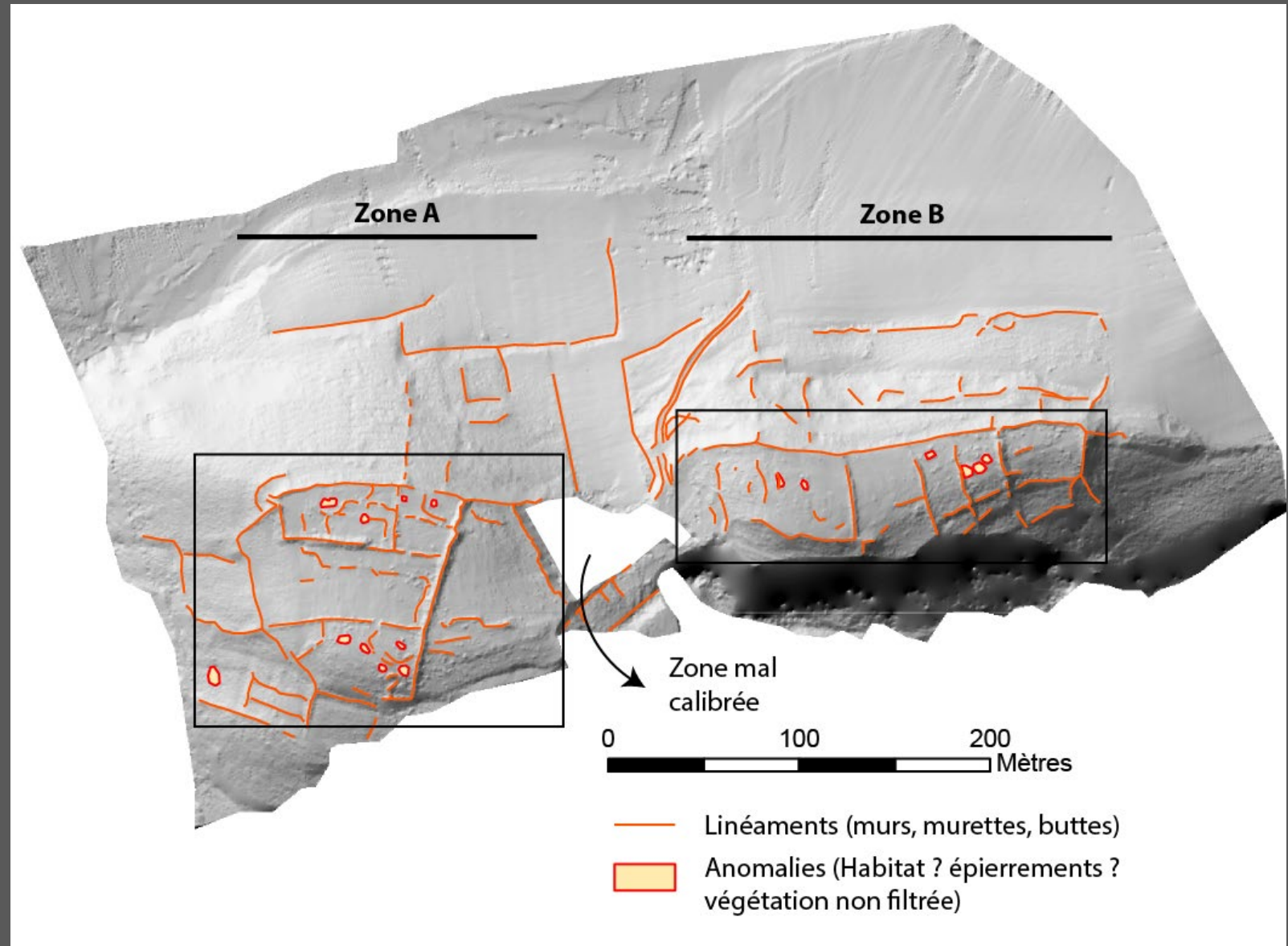


Openness negative





PCR Fortipolis (Ph. Gardes et  
Thomas Le Dreff)  
Site de Saint Martory (Haute-  
Garonne)

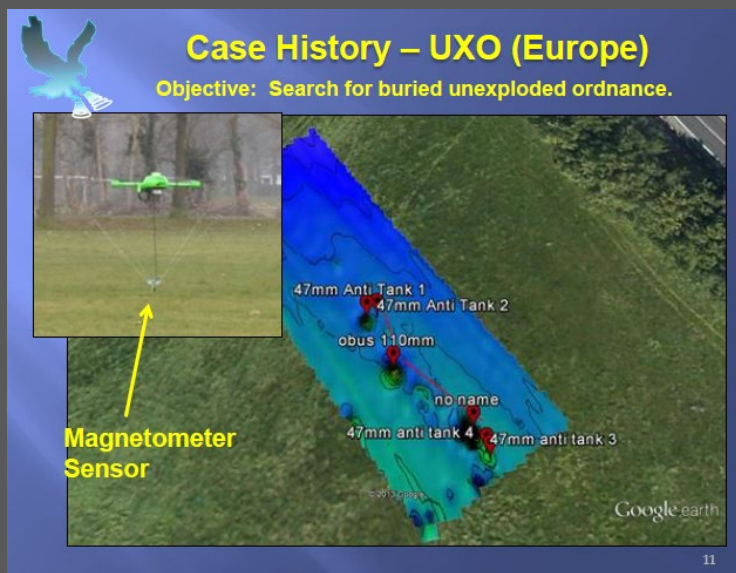
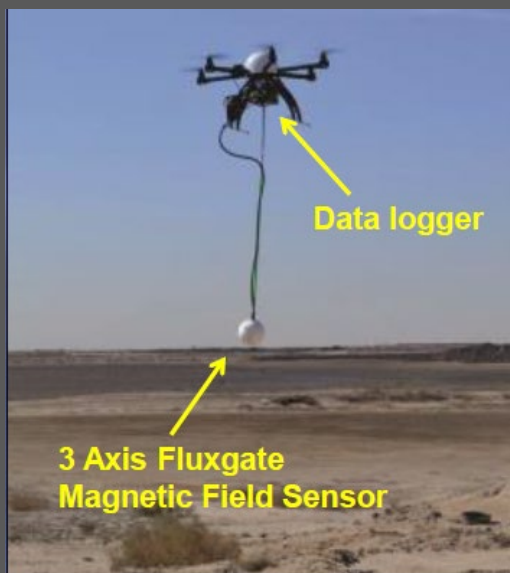




## Capteurs (électro-)magnétiques ?

Accroître la productivité de la méthode (aujourd'hui pédestre)

Verrous techniques (perturbations liées au vecteur lui-même, vol à très basse altitude et vitesse constante)



<http://gisuser.com/2015/11/feature-drones-support-geologic-exploration/>

Projet développé par Bruno Gavazzi du laboratoire IPGS



## Exploration de grottes et autres cavités inaccessibles

Verrous techniques liés au rapport taille/emport, géolocalisation hors signal GPS, cartographie 3D en temps réel des zones explorées, autonomie



<http://digiart-project.eu/2017/04/euronews-filming-at-scaldina/>



<https://www.processonline.com.au/content/business/news/researchers-deploy-autonomous-drone-to-improve-operations-for-mining-industry-1267356273>





## Principaux avantages des drones en archéologie :

Souplesse d'utilisation = survols répétés => maîtrise des paramètres optimaux de détection

Mise à disposition du plus grand nombre de l'approche aérienne

## Un media pour redonner une place aux méthodes non-invasives de détection ?

Assurer la fiabilité de ces méthodes

Prioriser les zones à diagnostiquer en contexte préventif

Croiser les sources d'information en amont des fouilles programmées



# Drone et archéologie

*De nouveaux outils pour la recherche*

François BALEUX - Carine CALASTRENC – Nicolas POIRIER

Laboratoire TRACES – UMR 5608

15 Juin 2021 – AIRBUS

l'Univers Culture du CSE d'Airbus Defence and Space

