



**HAL**  
open science

## Programme Télédétection Archéologique en Haute et Moyenne Montagne (T.A.H.M.M.) - Campagne 2019

Carine Calastrenc, François Baleux, Nicolas Poirier, Antoine Laurent, Magali  
Philippe, Christine Rendu

► **To cite this version:**

Carine Calastrenc, François Baleux, Nicolas Poirier, Antoine Laurent, Magali Philippe, et al.. Programme Télédétection Archéologique en Haute et Moyenne Montagne (T.A.H.M.M.) - Campagne 2019. [Rapport de recherche] CNRS. 2019. hal-03263265

**HAL Id: hal-03263265**

**<https://hal.science/hal-03263265>**

Submitted on 17 Jun 2021

**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.

# Programme Télédétection Archéologique en Haute et Moyenne Montagne

(T.A.H.M.M.)

CALASTRENC Carine (Dir.), BALEUX François, POIRIER Nicolas,  
LAURENT Antoine, PHILIPPE Magali, RENDU Christine

2019





## Table des matières

<b>Table des matières .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Tableau analytique de l'opération.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Remerciements .....</b>	<b>7</b>
<b>3. Bilan chargé .....</b>	<b>8</b>
<b>4. Contexte scientifique.....</b>	<b>9</b>
<b>5. Problématiques scientifiques .....</b>	<b>12</b>
<b>6.1- Les indicateurs de surface.....</b>	<b>12</b>
<b>6.2- Les différents outils et techniques actuellement mises en oeuvre .....</b>	<b>15</b>
6.2.1- Relevé au pierre à pierre .....	16
6.2.2- Relevé à la boussole .....	17
6.2.3- GPS Différentiel.....	18
<b>6.3- Mise en place d'une nouvelle procédure de prospection des terrains d'altitude .....</b>	<b>20</b>
<b>7. Les zones d'intervention .....</b>	<b>21</b>
7.1- Estive d'Enveitg (Commune d'Enveitg – 66) .....	22
7.2- Estive d'Anéou (Commune de Laruns – 64).....	24
7.3- Réserve Naturelle d'Aulon (Commune d'Aulon – 65) .....	29
<b>8. Equipe scientifique .....</b>	<b>30</b>
<b>9. Moyens techniques .....</b>	<b>33</b>
9.1- Plateau technique TIG-3D .....	34
9.2- Plateau technique P2P .....	38
9.3- Partenariat avec le CNES.....	38
9.4- TGIR (Très Grande Infrastructure de Recherche) Huma-Num.....	38
9.5- Outils collaboratifs et de valorisation .....	40
<b>10. Résultat de la campagne 2019 .....</b>	<b>41</b>
<b>10.1- Thermographie aéroportée par drone.....</b>	<b>41</b>
10.1.1- Un nouveau drone thermique : Anfai Thermal .....	41
10.1.2- Nouvelle procédure de Traitement des IR.....	44
10.1.2.1- TERRAINS d'application.....	44
10.1.2.2- Vers une nouvelle procédure de Traitements et analyses des données thermographiques	46
10.1.2.2.1- Chaîne de traitement avec le logiciel propriétaire.....	46
10.1.2.2.2- S'affranchir du format propriétaire .....	49
10.1.2.3. Amélioration de la visualisation de l'information thermique .....	49
10.1.2.4. Approche par les profils thermiques.....	57
10.1.3- Amélioration de la perception des structures enfouies.....	59
<b>10.2- Détection des aires de stabulation .....</b>	<b>61</b>
10.2.1- Définition des éléments chimiques à rechercher .....	65
10.2.2- Enveitg .....	67
10.2.2.1- Protocole d'acquisition .....	67
10.2.2.2.- Statistiques descriptives .....	68
10.2.2.3. Analyse planimétrique du taux de P .....	72
10.2.2.3.1- Choix de la méthode du calcul de probabilité de P.....	72
10.2.2.3.2 Résultats.....	74
10.2.2.4. Analyse de la distribution verticale de P .....	75
10.2.3 Aulon .....	76
10.2.3.1. Protocole d'acquisition .....	76
10.2.3.2. Analyse de la distribution verticale de P .....	78

10.2.3.2.1. Site 2a : Au sud de la structure AU-088-001 .....	79
10.2.3.2.2. Site 2b : A l'intérieur de la structure AU-089-001 .....	84
10.2.3.2.3. Site 1a : Entre la structure AU_017_002 et AU_017_004 .....	88
10.2.3.2.4. Site 1b : A 3 mètres à l'ouest de la structure AU_090_001 .....	90
10.2.4. Améliorer l'acquisition et le traitement des données XRF .....	92
<b>10.3. Détection des micro-reliefs .....</b>	<b>94</b>
10.3.1. Réalisation MNS .....	95
10.3.1.1. Alignement des clichés .....	95
10.3.1.2. Positionnement des Markers (ou point de repère) .....	95
10.3.1.3. Sélection graduelle .....	96
10.3.1.4. Construction du nuage dense .....	96
10.3.2. Traitements du MNS .....	96
10.3.2.1. L'ombrage .....	97
10.3.2.2. Simple local relief model (SLRM) .....	98
10.3.2.3. Orthophotographie .....	98
<b>10.4. Perspectives .....</b>	<b>101</b>
<b>Partie 5 -ANNEXES .....</b>	<b>104</b>
<b>I. Lettre de la revue ArchéoSciences .....</b>	<b>104</b>
<b>II. Caractéristiques des objets à détecter .....</b>	<b>105</b>
II-a- Imagerie .....	108
II-a-1. Photo-interprétation .....	108
II-a-2. Imagerie multispectrale satellitaire .....	112
II-a-2.1. Indices de végétation .....	113
II-a-2.2. Classification d'image .....	116
II-a-2.2.1. Classification non supervisée .....	116
II-a-2.2.2. Classification Orientée Objet .....	117
II-a-2.3. Image multispectrale par drone .....	118
II-a-2.4. Thermographie aéroportée par drone .....	119
II-b. 3D .....	120
II-b-1. Lasergrammétrie (Lidar) .....	120
II-b-2. Photogrammétrie .....	122
II-c. Géophysique .....	123
II-c-1. Géoradar .....	124
II-c-2. Magnétomètre .....	125
II-d. Analyses chimiques .....	127
II-d-1. Fluorescence des rayons X (XRF) pour la délimitation des zones de parcage (Magali PHILIPPE – GEODE (UMR 5602)) .....	127
<b>V. Traitements des Rasters (MNS/MNT) issus de photogrammétrie et/ou de lasergrammétrie .....</b>	<b>128</b>
Ombre unidirectionnel .....	128
L'Ombre multidirectionnel .....	130
Sky View Factor et Visible Sky .....	130
Simple Local Relief Modeling .....	131
Mesure de la rugosité vectorielle (VRM) .....	131
Indice de rugosité Topographique (TRI) .....	131
Indice de Position Topographique (TPI) .....	132
Multi-Scale Topographic Position Index (MTPI) .....	132
Vertical Distance to Channel Network .....	132
VI. Traitements des nuages de point issus de photogrammétrie et/ou de lasergrammétrie (François BALEUX) .....	133
Position du Ciel Visible (PCV) .....	133
VII. Relevé XRF .....	134
Tableau de résultat des mesures XRF faites au Pla de l'Orri à Enveitg .....	134
Tableau de résultat des mesures XRF faites sur le secteur de l'Auloueihl dans la réserve d'Aulon le 10 octobre 2019 .....	159

Tableau de résultat des mesures XRF faites sur le secteur de l'Auloueihl le 11 octobre 2019 .....	166
<i>VIII. Contrat de collaboration recherche avec l'association La Frênette .....</i>	<i>177</i>
<b>VI- Travaux cités .....</b>	<b>181</b>
<b>VII- Liste des figures et tableaux .....</b>	<b>192</b>

## 1. Tableau analytique de l'opération

Rapport d'opération :	TAHMM (Télédétection Archéologique en Haute et Moyenne Montagne)
Année :	2019
Suivi scientifique et administratif :	Service Régional de l'Archéologie d'Occitanie Didier Deloume Michel Barrère Anne Berdoy Véronique Lallemand
Coordination scientifique :	Carine CALASTRENC
Equipe scientifique (ordre alphabétique)	Baleux François (Laboratoire TRACES) Laurent Antoine Philippe Magali (Laboratoire GEODE) Poirier Nicolas (Laboratoire TRACES) Rendu Christine (Laboratoire FRAMESPA)

## 2. Remerciements

Ce travail n'aurait pu avoir lieu sans l'appui et le soutien de nombreuses personnes.

Nous remercions en premiers lieux Didier Deloume, Conservateur du service régional d'Occitanie, ainsi Michel Barrère, Anne Berdoy et Véronique Lallemend qui ont favorisé la mise en place de ce programme de recherche et lui ont donné les moyens de fonctionner.

Nous remercions chaleureusement Maurice Dubarry, Président de l'association la Frênette en charge de la gestion de la Réserve Naturelle d'Aulon, pour ses soutiens financiers, logistiques et techniques tout au long de cette année de recherche

Nos remerciements vont également à Didier Galop, directeur du laboratoire Geode (UMR 5602) ainsi qu'à Nicolas Valdeyron, directeur du laboratoire TRACES qui ont facilité notre travail.

Nous tenons également à remercier les équipes du CNES qui nous ont soutenues dans la partie télédétection satellitaire de ce programme de recherche.



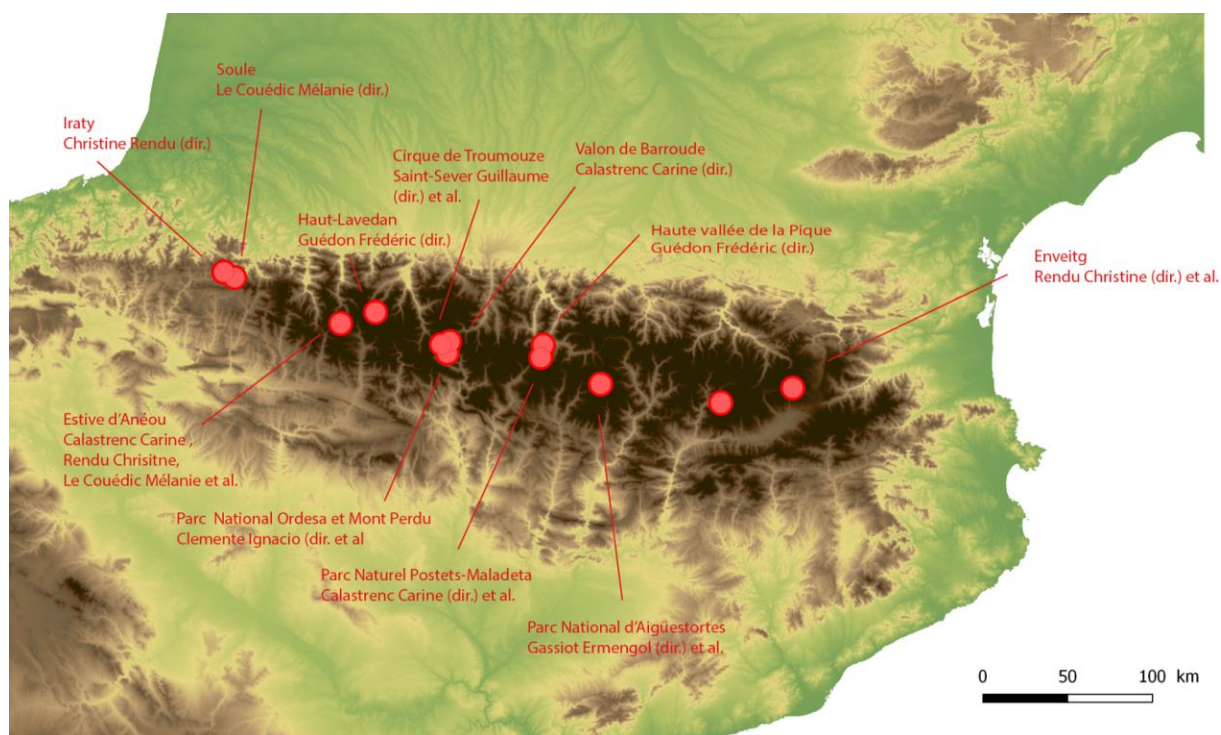
## 3. Bilan chargé

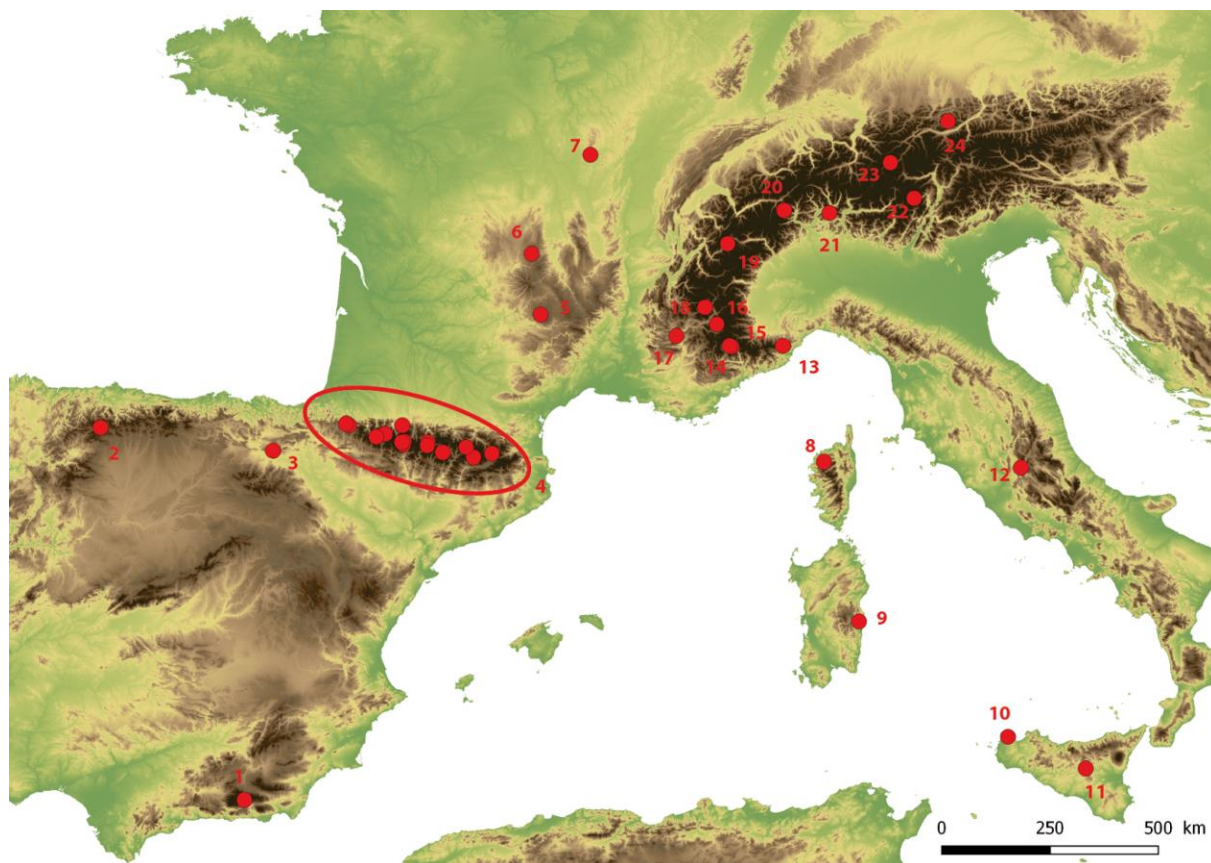
	2018	2019	Prévisionnel 2020
<b>CNRS - Mise à disposition de personnel</b>			
<b>Acquisition des données</b>			
CR (2 personnes)	1 400,00 €	1 400,00 €	1 400,00 €
IR (1 personne)	700,00 €	700,00 €	700,00 €
IE (2 personnes)	688,89 €	1 377,78 €	1 377,78 €
AI (1 personne)	588,89 €	588,89 €	588,89 €
<b>Traitement des données</b>			
CR (2 personnes)	1 400,00 €	1 400,00 €	2 100,00 €
IR (1 personne)	10 500,00 €	10 500,00 €	10 500,00 €
IE (2 personnes)	688,89 €	688,89 €	1 377,78 €
AI (1 personne)	588,89 €	588,89 €	1 177,78 €
<b>SOUS-TOTAL Mise à disposition personnel</b>	<b>16 555,56 €</b>	<b>17 244,44 €</b>	<b>19 222,22 €</b>
<b>Subventions et partenariats de recherche</b>			
<b>Etat</b> (autres que SDP/SDA)	€	€	€
<b>Collectivités territoriales :</b>			
Région	€	€	€
Département	€	€	€
Commune, communauté de communes	€	€	€
Autres	€	€	€
<b>Ministère de la Culture (SDA)</b>	1 000,00 €	1 000,00 €	4 000,00 €
<b>Autre –</b>			
Réserve naturelle d'Aulon	1 000,00 €	1 000,00 €	1 000,00 €
Parc National des Pyrénées	1 500,00 €	€	
CNES (ISIS-Pléiade Acquisition d'image satellite)	€	12 183,00 €	12 183,00 €
<b>SOUS-TOTAL Subventions et Partenariats</b>	<b>3 500,00 €</b>	<b>14 183,00 €</b>	<b>17 183,00 €</b>
<b>TOTAL</b>	<b>36 611,11 €</b>	<b>48 671,89 €</b>	<b>55 627,44 €</b>

## 4. Contexte scientifique

Depuis 30 ans, les Pyrénées constituent un cadre novateur de recherche sur les dynamiques des systèmes pastoraux des espaces d'altitude dans la longue durée. Débuté sur la montagne d'Enveitg au milieu des années 1980 (Rendu C, 2003, Rendu C, 2000, Rendu C, 2002, Rendu C., Campmajo, Davasse, & Galop, 1995), se sont constitués par la suite une dizaine de zones ateliers interdisciplinaires (Bal, Rendu, Ruas, & Campmajo, 2010, Guédon, 2006, Gassiot, et al., 2016, Guillot, 2017, Le Couédic, Champagne, Contamine, Coughlan, Gragson, & Haley, 2014, Saint-Sever, Remicourt, & Soula, 2016, Rendu, Calastrenc, Le Couédic, & Berdoy, 2016). Chacune de ces zones a été conçue comme un laboratoire d'étude des interactions entre les sociétés, leur espace et leur environnement, dans la longue durée (Fig. 1).

Au fil des années, cette thématique de recherche a pris de l'ampleur et s'est étendue aux Alpes (françaises, italiennes, suisses, autrichiennes), au Massif Central, au Jura, à la cordillère cantabrique et à la Sierra Nevada en Espagne. (Fig. 2).





Numm	Zone d'étude	Pays	Resp. op.	Numm	Zone d'étude	Pays	Resp. op.
1	Sierra Nevada	Espagne	Romeo. P et al	13	Apennin	Italie	Moreno. D et al
2	Cabrillanes	Espagne	Alvarez D et al	14	Mercantour	France	Geist et al.
3	Alava	Espagne	Varon R et al	15	Vallée La Roya	France	Palmero B et al.
4	Pyrénées (cf fig. 1)			16	Ubaye	France	Garcia et al
5	Aubrac	France	Fau L et al	17	Vallée de Buech	France	Morin et al
6	Puy-de-Dôme	France	Toumazet. J-P	18	Champsaur	France	Leveau et al
7	Mont Beuvray	France	Jouffroy-Bapicot et al	19	Col du Petit St Bernard	France	Leveau, Segard et al
8	Balagne	France	Weiss et al	20	Col du Simplon	Suisse	Cury. P et al
9	Fonni	Italie	Mientjes et al	21	Levantine	Suisse	Della Casa et al
10	Cistonaci	Italie	Day. P et al	22	Val di Sole	Italie	Carrer et al.
11	Enna	Italie	Mientjes et al.	23	Silvretta	Autriche	Reitmaier et al
12	Cicolano	Italie	Barker et al	24	Karwendel	Autriche	Nicolai (von) et al

Figure 2 - Localisation des programmes de recherche en archéologie pastorale dans les montagnes du sud de l'Europe

Actuellement, au vu du nombre des terrains d'étude ouverts, il est possible de disposer d'une quantité importante et statistiquement significative de données archéologiques de prospection mais aussi de données archéologiques

datées qui permettent de systématiser l'information et d'avoir une réelle lecture comparée des évolutions des trajectoires des territoires d'altitude sur le temps long.

Les différentes équipes de recherche impliquées dans ces travaux se trouvent toutefois confrontées au problème de l'acquisition de l'information primaire lors de la phase de prospection.

Préalable indispensable à toute recherche en archéologie, la prospection en haute et moyenne montagne a des spécificités : parcours pédestre sur des pentes fortes, territoire difficile d'accès, terrains enneigés une partie de l'année, emport à dos de l'ensemble du matériel ou nécessité d'organiser et de financer un portage (muletage ou héliportage).

Accéder à une information archéologique qui soit la plus complète possible dans un temps le plus court possible est l'enjeu de la phase du travail archéologique.

Se posent alors les questions suivantes :

- Comment rendre plus efficace la prospection dans ces milieux ? Quels outils utiliser ?
- Comment améliorer la qualité de l'information recueillie lors de l'acquisition, mais également lors du traitement des données ?



Figure 3 - Estive d'Anéou (Photo C. Calastrenc)

## 5. Problématiques scientifiques

Contrairement au travail de prospection en plaine, en haute et moyenne montagne, la détection des structures archéologiques ne prend pas appui sur l'analyse de la répartition des artefacts récoltés en surface (Poirier, 2010 ; Poirier & Hautefeuille, 2014, 2015, 2016, 2017) ; la couverture végétale y est bien trop dense et empêche toute remontée du mobilier archéologique.

### 6.1- *Les indicateurs de surface*

De façon très générale, mais pas systématique, les infrastructures pastorales les plus arasées sont perceptibles par des alignements de pierres ou des anomalies topographiques (microreliefs) (Fig. 4 et Fig. 5). ; les autres, plus récentes, sont identifiables par des murets (Fig. 6 et Fig. 7).



Figure 4 - Structure 11 - Prospection d'Anéou - 2004



Figure 5 - Structure 14 - Prospection d'Anéou - 2004

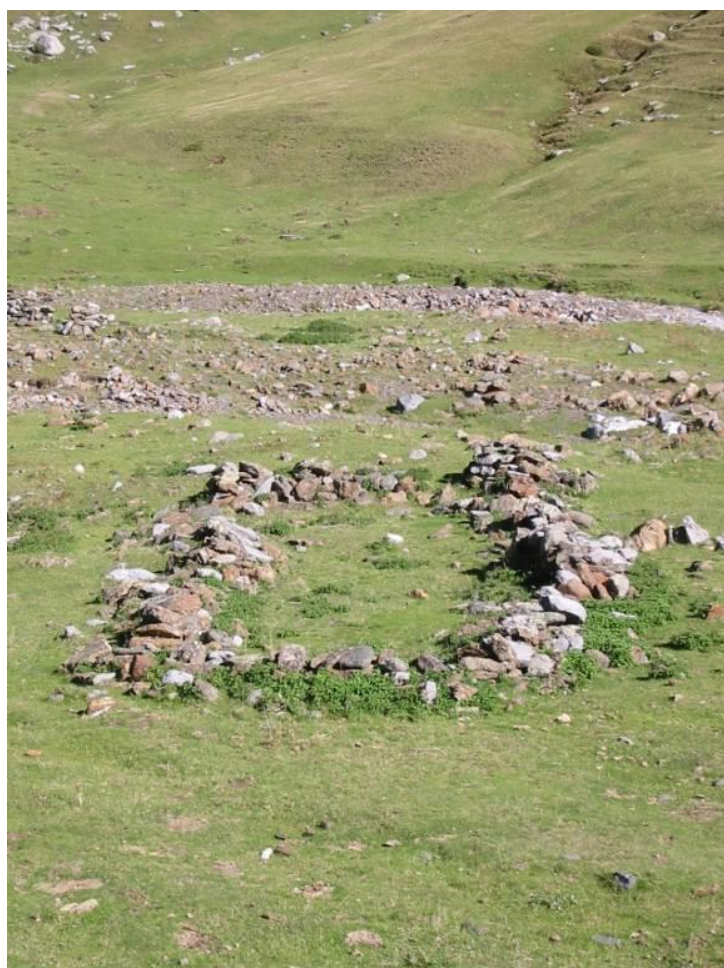


Figure 6 - Enclos 179 - Prospection archéologique d'Anéou - 2005



Figure 7 - Cabane 116 - Prospection d'Anéou - 2004

A l'échelle du site, souvent quelques centaines de mètres carré, le travail de prospection révèle donc des plans de bâtiment qui peuvent être ordonnés par type. L'observation des différences des états de conservation permet de classer ces "types" suivant une chronologie relative, à minima Ancien/Récent.

A l'échelle d'une estive, d'un versant, le "nuage de point" issu de ces prospections montre des zones de concentration (durabilité des occupations ? identification de zones d'attractivité de l'activité pastorale ?) et des zones de vide (biais de prospection ou réel vide d'occupation ?).

C'est sur les bases de ce travail de prospection et de l'établissement d'un corpus qu'il est possible de commencer à réfléchir aux transformations des dynamiques des systèmes pastoraux et à la détermination des facteurs, physiques et sociaux qui ont été à l'initiative de ces changements.

Le semi de points et les plans résultant de ce travail de diagnostic ne doit donc pas se réduire à un simple inventaire. La prospection est un véritable outil de recherche historique et archéologique (Rendu, Calastrenc, Le Couédic, & Berdoy, 2016, p. 61). Mais pour ce faire, il faut tendre vers l'exhaustivité, car seul un corpus représentatif et statistiquement fort peut permettre une analyse de l'organisation spatiale des structures pastorales dans le temps long.

Malgré les différentes évolutions techniques déployées pour faciliter et maximiser le travail de prospection pédestre en haute et moyenne montagne, cette phase de travail se heurte encore aujourd'hui à deux verrous méthodologiques majeurs :

1. Comment dépasser le cadre de la monographie d'une estive ou d'une montagne, pour approcher de plus grandes surfaces et ainsi pouvoir commencer à faire de réelles comparaisons entre les territoires d'altitude à l'échelle d'un massif ou d'une chaîne en s'appuyant sur un référentiel statistiquement significatif et solide ?

2. Comment compléter le corpus des structures visibles en surface avec celles hors-sol recouvertes par la végétation, des colluvionnements, arasées par l'activité humaine ou parce- qu'elles ont été édifiées en matériaux périssables ?

## 6.2- *Les différents outils et techniques actuellement mises en oeuvre*

Le programme de recherche **TAHMM** (Télédétection Archéologique en Haute et Moyenne Montagne) vise au développement d'une nouvelle procédure d'approche archéologique de ces milieux par l'utilisation de méthodes non-invasives et la mise en place d'une chaîne opératoire intégrée multisource, multi-échelle et multitemporelle.

La méthode de prospection actuelle (Rendu, 2003, Reitmaier, 2010, Ermengol, 2016) repose sur le parcours, à pied, de l'ensemble de la zone d'étude durant les périodes estivales et automnales (entre la fonte et la tombée des neiges). Cette phase du travail archéologique est chronophage. A titre d'exemple, la prospection de l'estive d'Anéou (vallée d'Ossau - Pyrénées-Atlantiques), d'une surface de 1256 hectares, a duré 4 ans à hauteur de 1 mois de terrain par an à deux personnes (Calastrenc, Le Couédic, Rendu, Barge, & Bal, 2007, Calastrenc, Le Couédic, & Rendu, 2006, 2005, 2004). Elle a permis d'inventorier 272 structures réparties en 86 ensembles pastoraux. Un autre exemple, la prospection du versant sud du Llanos del Hospital de Benasque (Aragon, Espagne), d'une surface de 1400 hectares. Elle a duré 3 ans à hauteur de 1 mois par an à 2 personnes et a permis d'inventorier 297 structures (Calastrenc, Rivas, & Ona Gonzalez, 2004 ; Calastrenc, Rivas, & Ona Gonzalez, 2005 ; Calastrenc, Rivas, & Ona Gonzalez, 2006).

Du fait des méthodes actuellement utilisées, l'approche pédestre systématique des espaces pastoraux d'altitude ne peut donc être que spatialement limitée et ne concerner que de "petits" territoires (quelques milliers d'hectares).

Les membres de l'équipe [Terraë](#) se sont fortement impliqués à la fois en archéologie pastorale (cf, les recherches menées par [Christine Rendu](#), Chercheur CNRS au laboratoire FRAMESPA et Carine Calastrenc, Ingénieur CNRS affecté à l'équipe Terraë et mutualisée entre les laboratoires TRACES et FRAMESPA ) dans le cadre du [Thème 2](#) « Pratiques des terroirs, du sol au cadastre », mais également dans les travaux d'amélioration des procédures d'acquisition, de traitement et d'analyse des données archéologiques réalisés dans la [thématique n° 4](#) « Outils méthodologiques ».

Ainsi, nous cherchons à optimiser la phase de prospection des milieux de haute et moyenne montagne. Un exemple, l'estive d'Anéou en vallée d'Ossau (Pyrénées-Atlantiques) a été un terrain de tests méthodologiques et de développement de nouvelles pratiques en matière de prospection pédestre.



### 6.2.1- Relevé au pierre à pierre

En 2004, les relevés de prospection s'effectuaient aux pierres à pierres (Fig. 8 et Fig. 9) ; les plans étaient ensuite complétés par une fiche descriptive permettant d'indiquer toutes les informations contribuant à la définition du site ou de la structure : localisation, implantation, orientation, caractérisation fonctionnelle, forme, mensurations, matériaux. Cette fiche était complétée par un schéma et des prises de vue photographiques. L'ensemble de ces informations étaient ensuite reportées à la main dans une base de données gérée sous Système d'Information Géographique (SIG).

Ce type de relevé permet d'obtenir une représentation très détaillée de la structure. On peut y observer des détails qui permettent de commencer à percevoir des différences dans les modes constructifs et des organisations internes spécifiques des structures étudiées.

Mais même avec l'habitude, un relevé de ce type est chronophage. En fonction de la complexité de la structure à relever, le temps nécessaire peut aller d'une demi-heure à plusieurs heures.



Figure 8 - Enregistrement des données dans les fiches descriptive - Estive d'Anéou - 2005

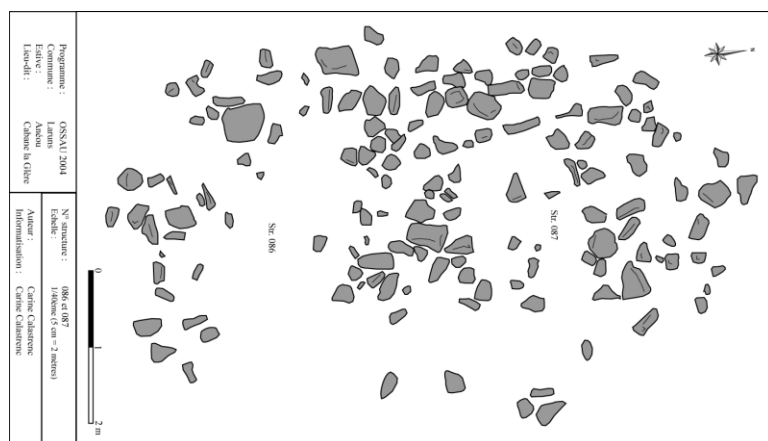


Figure 9 - Relevé aux pierres à pierres des structures n° 86 et 87 - Estive d'Anéou – 2004

### 6.2.2- Relevé à la boussole

En 2005, nous avons introduit un nouveau mode de relevé : le relevé à la boussole inventée par Pierre Campmajo et Christine Rendu et testé pour la première fois sur la montagne d'Enveitg en Cerdagne française (Pyrénées-Orientales). Il s'agit d'orienter vers le nord le papier millimétré qui sert de support au relevé, de viser le point à relever et le reporter ensuite sur le papier. L'angle entre ce point et le Nord ainsi que la distance entre ce point et le point 0 défini sur le papier millimétré permettent de positionner le point relevé. Ainsi, de point en point, se dessine le plan de la structure (Fig. 10). Ce mode de relevé est plus rapide que le précédent. A titre d'exemple, il aura fallu environ 30 à 45 minutes pour réaliser le relevé des structures 347 à 352 (Fig. 11).



Figure 10 - Relevé à la boussole (Estive d'Anéou - Photo C. Calastrenc)

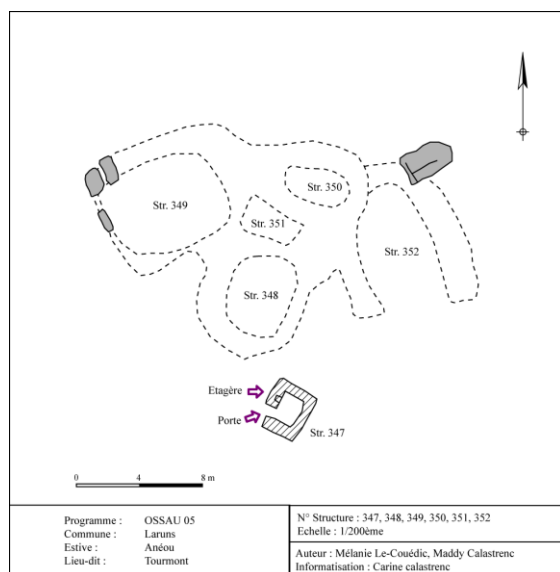


Figure 11 - Relevé à la boussole des structures n° 347 à 352 - Estive d'Anéou - 2005

Le type de plan qui en ressort permet d'obtenir une représentation plus schématique des structures que le relevé pierres à pierres. Toutefois, on peut y apporter des précisions, le compléter avec un relevé plus détaillé sur certaines zones et faire toutes les précisions que l'on souhaite.

Tout comme la méthode précédente, ici aussi, cette représentation graphique est complétée par une fiche descriptive dont les données sont ensuite reportées dans une base de données gérée sous SIG.

### 6.2.3- GPS Différentiel

En 2006 (avant-dernière année de la prospection pédestre sur l'estive d'Anéou), nous avons utilisé le DGPS (Differential Global Position System). Cet appareil fonctionne comme un GPS classique à la différence qu'il est capable de relever des points, des lignes et des polygones et d'associer à chaque élément dessiné des données alphanumériques. Cette base de données est directement renseignée lors de l'acquisition dans le carnet de terrain, ce qui limite les erreurs et fait gagner du temps de post-traitement.

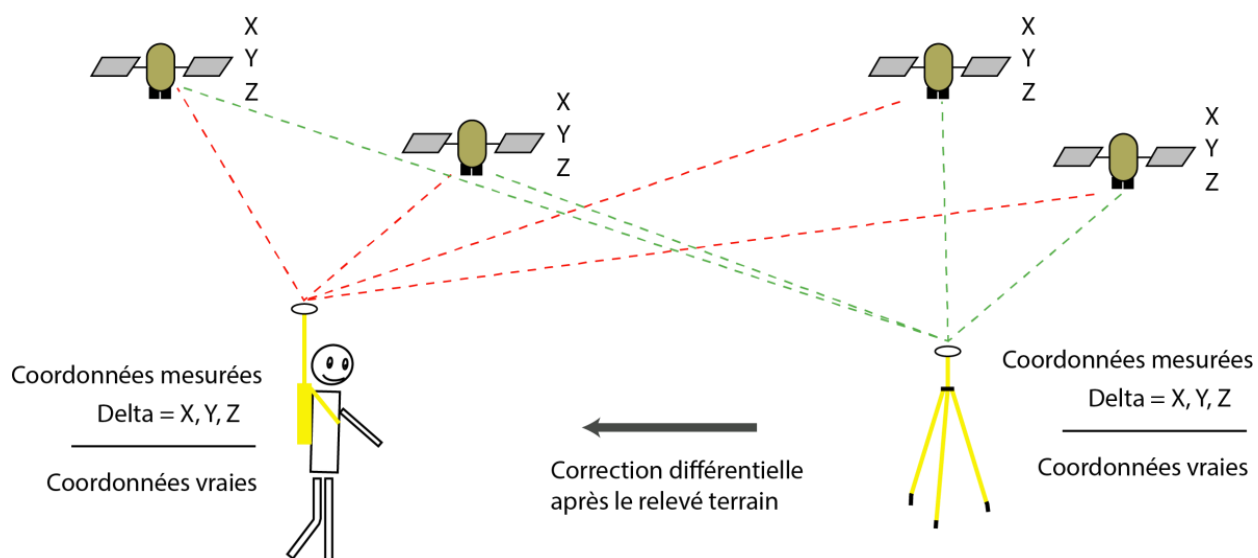


Figure 12 - La DGPS en pratique



Figure 13 - Prospection pédestre à l'aide d'un DGPS - Estive d'Anéou - 2006

La précision de ce type de relevé est très bonne. C'est la méthode de la triangulation qui est utilisée pour le positionnement par satellite des DGPS (Fig. 12). Parce-que le DGPS utilise à la fois un capteur mobile et un fixe qui peut être soit une base installée à proximité de la zone d'étude durant toute la phase de prospection, soit une base du réseau [RGP](#) de l'IGN (dont les données sont accessibles gratuitement). Il est possible de réaliser une correction différentielle pour arriver à une précision du positionnement des éléments relevés sur le globe terrestre allant de 1 à 10 centimètres. (Fig.13 et Fig. 14) (Saligny, 2003)

L'emploi de cet outil permet un gain de temps considérable à la fois lors la phase de relevé (représentation graphique) des structures, la réalisation des plans, mais également dans la saisie des données dans une base informatisée et gérée sous SIG.

Les nouvelles avancées technologiques (diversification et miniaturisation de capteur), la démocratisation de certains outils (développement des drones aériens) et des logiciels de traitement des données permettent de réfléchir à la mise en œuvre de nouvelles procédures d'acquisition de l'information pour la détection des vestiges archéologiques des milieux d'altitude.

En archéologie non-invasive, baser sa réflexion sur une seule source d'information donne une vision partielle ou du moins limitative d'un objet. C'est "l'accumulation" de différents « points de vue » issus de la mise en œuvre de plusieurs méthodes et outils qui permettent d'obtenir une image plus « complète » d'une réalité terrain, en gardant à l'esprit que les propriétés techniques des méthodes et outils utilisés, ainsi que les caractéristiques propres des objets archéologiques relevés et des milieux étudiés, déterminent le potentiel et les limites des perceptions.

### **6.3- Mise en place d'une nouvelle procédure de prospection des terrains d'altitude**

Le projet de recherche **TAHMM** vise à la mise en place d'une procédure permettant la détection des structures archéologiques pastorales et/ou agro-pastorales de haute et moyenne montagne par des méthodes non-invasives. Il ne s'agit pas de se substituer à l'approche traditionnelle de ces espaces, mais bien de mettre en œuvre des méthodes et outils capables d'appréhender de plus grandes surfaces avec le maximum de précision et de résolution possible afin d'intégrer ces nouvelles données dans un processus de recherche qui soit monographique (étude d'une estive, d'un site, d'une montagne) ou plus global (comparaison de territoires).

L'objectif de ce programme de recherche est donc de croiser, sur une même zone d'étude, plusieurs sources d'information à haute voire très haute résolution spatiale (taille du pixel), spectrale (nombre de bandes spectrales), radiométrique (sensibilité du capteur) et temporelle (répétitivité des acquisitions). L'objectif est d'utiliser toutes les ressources techniques possibles du satellite à l'analyse chimique des sols : images multispectrales satellite et par drone, lidar par drone, photogrammétrie par drone et satellite, géophysique (géoradar, magnétique) et analyse chimique des sols (fluorescence-X) sont les premiers outils envisagés.

Ce projet de recherche s'appuiera donc sur une démarche multisources, multi-échelles et multi-temporelle. Du traitement des images satellites à l'analyse physico-chimique en passant par l'acquisition et l'étude de données acquises par drone avec différents capteurs, c'est l'ensemble des outils de télédétection archéologique et de géophysique qui seront mis en œuvre pour permettre une identification des vestiges archéologiques en haute et moyenne montagne.

Il est bien sûr impossible de développer une procédure fonctionnelle en une année. Le présent rapport fait donc le point sur les résultats d'étude de faisabilité mise en œuvre en 2018 et exposera les perspectives possibles de cette recherche.

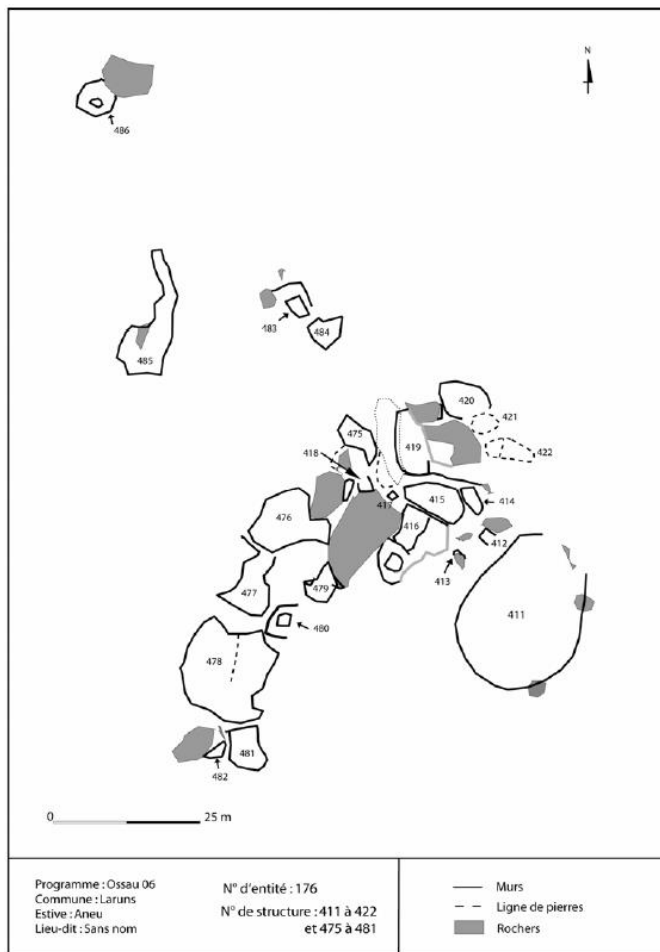


Figure 14 - Relevé au DGPS des structures 411 à 481 - Estive d'Anéou - 2006

## 7. Les zones d'intervention

Ce projet se centrera sur deux zones ateliers principales, toutes deux situées en région Occitanie (Enveitg et Aulon) et deux terrains secondaires en Nouvelle Aquitaine (Estain et Laruns). Deux zones archéologiquement très bien connues, la montagne d'Enveitg en Cerdagne française (Pyrénées-Orientales) et l'estive d'Anéou (Pyrénées-Atlantiques) serviront de zones d'étalonnage des données, et deux zones, vierges de toute recherche archéologique, la réserve naturelle d'Aulon (Hautes-Pyrénées) et la commune d'Estain (Hautes-Pyrénées) seront des zones test. (Fig. 15)

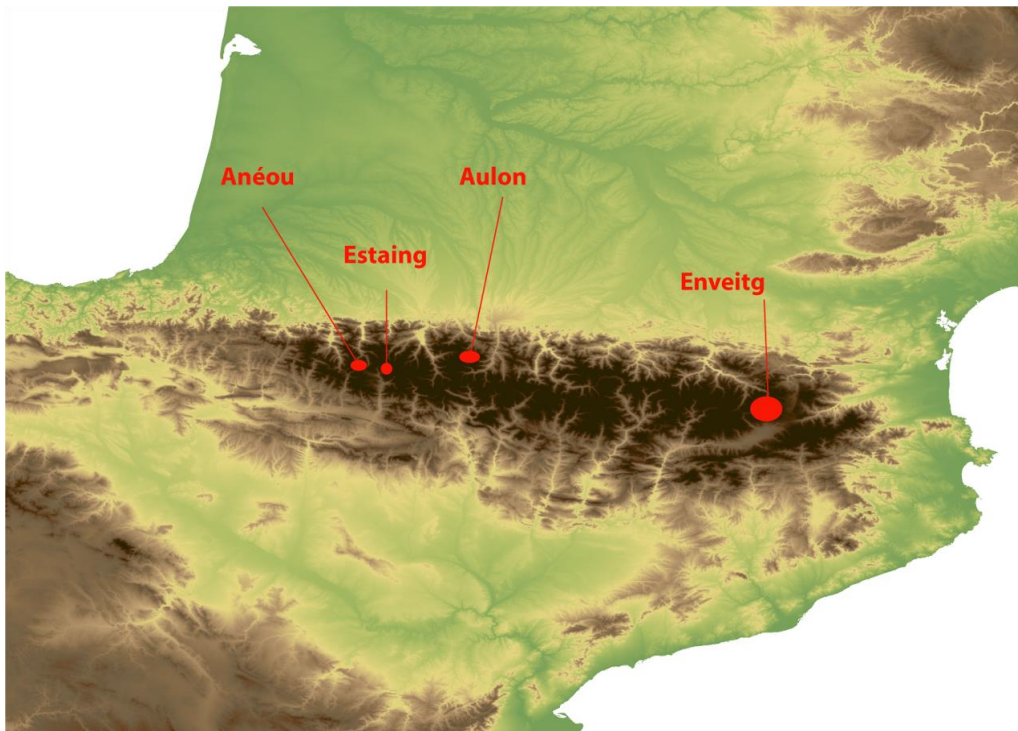


Figure 15 - Localisation des zones d'étude

### 7.1- Estive d'Enveitg (Commune d'Enveitg – 66)

Enveitg est une commune des Pyrénées Orientales située aux pieds de la vallée du Carol. Son territoire s'étend sur 3052 hectares et s'étagent entre 1179 et 2579 m d'altitude. Les pâturages d'Enveitg dominent la plaine de la Cerdagne et font face à la Sierra del Cadi.

L'espace des estives est en partie recolonisé par une végétation méditerranéenne dominée par les genêts et est fragmentés par des petits bosquets de pin. Cette recolonisation est parfois très dense. Le paysage est également marqué par de groupements gros blocs de granit. (Fig. 16)



Figure 16 - Estive d'Enveitg - 26 septembre (Photo. Nicolas Poirier)

La montagne d'Enveitg est archéologiquement très bien connue pour avoir été le cadre de la thèse de Christine Rendu (Rendu, 2003) qui a fait naître le domaine scientifique de l'archéologie pastorale.

Le corpus archéologique établi, entre les années 1985 et 2005, par Christine Rendu et l'équipe du GRAC (Groupe de Recherche Archéologique de Cerdagne) a été retravaillé par Mélanie Le Couédic dans le cadre de sa maîtrise (Le Couédic, 2004). Elle y a repris les données de prospection primaire, les a géoréférencées. Elle a également restructuré les informations acquises sur le terrain dans une base de données spatialisée sous SIG (un point = 1 structure = 1 ligne dans la base de données).

Ce corpus bénéficie également du travail réalisé dans le cadre du programme de recherche DEPART qui a permis le développement d'un SIG collaboratif et international entre la France, l'Espagne et l'Andorre sur les aménagements de la haute montagne (Le Couédic M, 2016).

Dans le cadre de ce projet, la base de données d'Enveitg a été vérifiée et complétée et les différents plans des structures ont été géoréférencées par Laurent Augereau.

Aujourd'hui, cet inventaire comprend 271 structures dont, 6 abris sous roche, 98 cabanes, 9 couloirs de traite, 58 enclos, 64 murs isolés, 6 terrasses et 30 structures indéterminées.

Sur ces 271 structures, 16 ont fait l'objet de fouille extensive. 7 de ces structures sont caractérisées par un seul niveau d'occupation. La fouille des 9 autres a permis de documenter plusieurs niveaux d'occupations au même emplacement. 42 datations 14C ont permis de dater l'ensemble des structures.

Ces datations couvrent une période s'étendant du Néolithique ancien à nos jours. (Fig. 17 et Fig. 18)

Nom date	Dates BP	+/- BP	Date inf BC	Date sup BC	Siècle inf	S. sup.	Période	Site	Niveau	Pr1	Campagne	Code labo
88 US 130	4980	40	-3940	-3650	-37	-40	Néo Moyen		88 US 130	p.23	2004	Poz-10900
88 US 161b	4500	40							88 US 161b	p.61bis	2004	Poz-11211
88 uS 161	4445	35	-3340	-2930	-30	-34	Néo F / Chald		88 uS 161	p. 61	2004	Poz-10901
88 Fy2	3470	25	-1880	-1690	-17	-19	BM1		88 Fy2		2003	VERA-2974
88 C3n2	3450	35	-1880	-1680	-17	-19	BM1		88 C3n2		2002	VERA-2806
88 Fy1	3110	25	-1440	-1310	-14	-15	BF1		88 Fy1		2003	VERA-2973
88 C3n1	3005	40	-1400	-1110	-12	-12	BF1		88 C3n1		2002	VERA-2805
88 US 156	1770	30	350	130	2	4	Ant.tard		88 US 156	p.53	2004	Poz-10881
88 C2	1200	130	920	720	8	10	HMA		88 C2		2002	VERA-2804
130 C3F1	2670	25	-900	-795	-8	-9	F1		130 C3F1		2003	VERA-2972
130 US 123b	2510	35							130 US 123b	p. 7bis	2004	Poz-11003
130 US 123	2460	80	-780	-400	-4	-8	F1		130 US 123	p. 7	2004	Poz-10904
130 C2	2430	35	-770	-400	-4	-8	F1		130 C2	conc.	2002	VERA-2803
100 Foy B	1340	35	780	640	7	8	HMA		100 Foy B		2003	VERA-3248
101 C2	206	40	1948	1641	17	20	Mod		101 C2	base	2002	Ly-12146
128 zone 2	6735	25	-5720	-5560	-56	-58	Néo ancien		128 zone 2	MR Oues	2003	VERA-2970
128 US 115	6550	40	-5620	-5460	-55	-57	Néo ancien		128 US 115	H 24	2004	Poz-10902
128 US122	3965	35	-2580	-2340	-24	-26	Cha/BA		128 US122	I 25	2004	Poz-10903
128 St3	1715	20	410	250	3	5	Ant.tard		128 St3		2003	VERA-2971
128 St2 FyH21	990	35	1160	980	10	12	MA		128 St2 FyH21		2004	Poz-10899
Charbon 4	2030	40	59	-160	-2	1	Antiquité	Charbon 4			2003	Ly-12145
22 C2 Fy1	1015	50	903	1151	10	12			22 C2 Fy1			Ly-5337
13 C3 Fy2	200	50	1641	1955	17	20	Moderne		13 C3 Fy2			Ly-7537
42 42.1 sond. C6	480	40	1341	1470	14	15			42 42.1 sond. C6			Ly-5530
42 42.3 Fy 5	815	45	1070	1282	11	13			42 42.3 Fy 5			Ly-7063
42 42.2.sous C4	800	50	1094	1286	11	13			42 42.2.sous C4			Ly-7539
42 42.3 Fy3	810	30	1165	1278	12	13			42 42.3 Fy3			Ly-9922
42 42.2 Fy4	610	50	1298	1417	13	15			42 42.2 Fy4			Ly-7540
42 42.1 C6	520	45	1341	1460	14	15			42 42.1 C6			Ly-7495
42 E.2 Sond 5	4370	68	-3302	-2880	-34	-29			42 E.2 Sond 5			Ly-6242
75 C2 FyO13	4450	60	-3473	-3051	-35	-31			75 C2 FyO13			Ly-7064
75 Sond. N 14	4950	50	-3903	-3651	-40	-37			75 Sond. N 14			Ly-7496
49 Fy L11-L12	3810	55	-2435	-2057	-25	-21			49 Fy L11-L12			Ly-8223
49 Fy L10	4680	80	-3643	-3136	-37	-32			49 Fy L10			Gif-A99607
49 C1 FyL14	770	60	1167	1379	12	14			49 C1 FyL14			pb ref : Gif-A
49 Sond. L12	5290	?	-4287	-3985	-43	-40			49 Sond. L12			Ly-7541
82 C2 Fy1	1375	50	601	766	7	8			82 C2 Fy1			Ly-7060
82 C5n6-10 Fy019	2215	50	-376	-126	-4	-2			82 C5n6-10 Fy019			Ly-7061
83 C4	2020		-145	91	-2	1			83 C4			Ly-7062
81 C2	1225	50	673	957	7	10			81 C2			Ly-7519
85.1 C2	3107	45	-1491	-1261	-15	-13		85.1	C2			Ly-8222
charb1 niv5	1930	80	-103	320	-2	4		charb1	niv5			Gif-10920

Figure 17 - Tableau des dates 14C réalisés dans le cadre des sondages et des fouilles extensives réalisés sur la montagne d'Enveitg (Données transmises par Ch. Rendu)



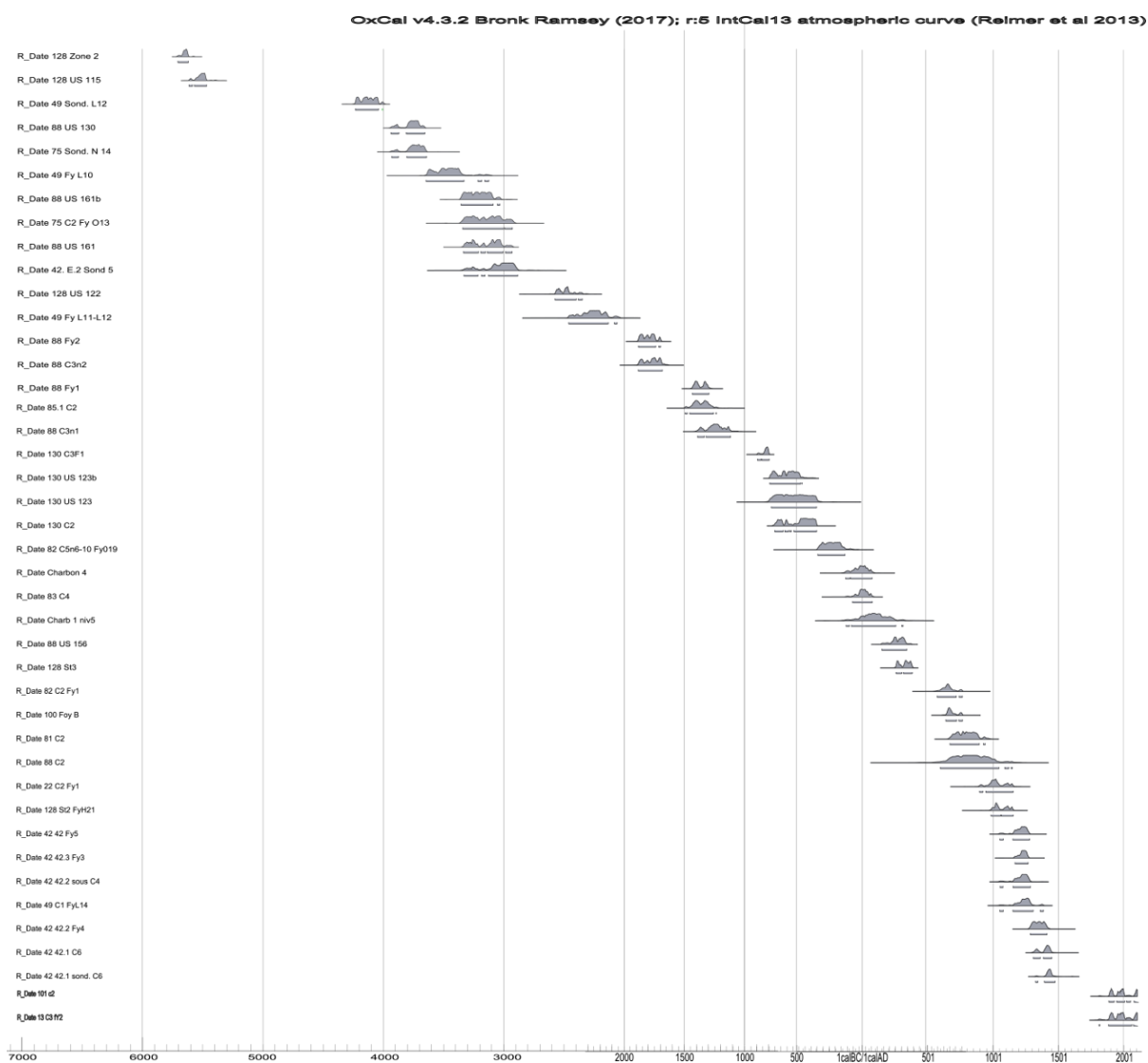


Figure 18 - Graphique des dates obtenues dans les structures fouillées d'Enveitg (calibration effectuée avec le logiciel Oxcal, courbe IntCal 13)

## 7.2- Estive d'Anéou (Commune de Laruns – 64)

L'estive d'Anéou se trouve à l'extrémité sud de la commune de Laruns dans les Pyrénées-Atlantiques. Elle s'étend sur 1256 hectares qui s'étagent de 1719 à 2487 m d'altitude. (Fig. 19)

Elle correspond à une petite vallée glaciaire. Son paysage est donc marqué par de vastes espaces plans ou faiblement pentus, des épaulements rocheux, des moraines, des chaos d'éboulement de décomposition et des éboulis gravitaires. La géologie dominante est celle du calcaire.

Cette estive est un espace ouvert recouvert d'une végétation herbacée dominée par le *nardus stricta* et le *trifolium alpinum*, en fonction des expositions des pentes, la végétation varie et s'agrément de de *festuca paniculata*, de *brachypodium* ou de *festuca eskia*. Entre ce système de pelouse, s'intercale des landes à callune vulgaire et des myrtilles. (Rendu, Calastrenc, Le Couédic, & Berdoy, 2016, p.19-31)



Figure 19 - Estive d'Anéou - 2007 (Photo. C. Calastrenc)

De 2004 à 2011, cette estive a été le centre du Programme Collectif de Recherche (PCR) « Dynamiques sociales, spatiales et environnementales dans les Pyrénées centrales » dirigé par [Christine Rendu](#) et [Didier Galop](#). L'ensemble de ces travaux ont été publié en 2016 aux éditions [Le pas d'oiseau](#) dans l'ouvrage « [Estives d'Ossau](#) » (Rendu, Calastrenc, Le Couédic, & Berdoy, 2016).

A l'issue des prospections, le corpus disponible comprend 256 structures dont 5 abris sous roche, 50 cabanes, 8 couloirs de traite, 116 enclos, 1 niche, 29 murs isolés et 47 structures indéterminées.

De 2005 à 2007, 27 sondages ont été réalisés sur 27 structures dans le but de renseigner la puissance stratigraphique au sein des bâtiments sondés, de vérifier les successions d'occupation, de cerner les relations entre le ou les niveau(x) d'occupation et les éléments d'architecture et de recueillir des artefacts et écofacts pour permettre leur datation. (Fig. 20 et Fig. 21). Seulement 3 structures n'ont pu être datées faute de charbon dans les niveaux d'occupation.

L'ensemble de ces datations documente une occupation de l'estive d'Anéou de l'âge du Bronze à nos jours.

Pour ces deux terrains d'étude, nous disposons d'un corpus de **527 structures** issu de prospection. Cela représente un panel de forme, de morphologie, d'association, de regroupement, d'état de conservation et de positionnement dans le paysage permettant de déterminer les indicateurs permettant leur identification et l'établissement de critères de détection pertinent et probants.

Sur ces 527 structures, 69 ont été datées par 14C lors de fouilles extensives ou de sondages. (Fig. 23)

Ces dates permettent de documenter une occupation de ces deux estives qui s'étend aux 8000 dernières années, avec pour Enveitg deux périodes phares, le néolithique et le Moyen âge, et pour l'estive d'Anéou trois focus, l'âge du Bronze, l'Antiquité et l'époque Moderne/Contemporaine.

(Fig. 22 et Fig. 24)

Numéro Etablissement	Numéro structure	Altitude	Type	Sous-type	Etat	Numéro occupation	Us-Essence	Date non calibrée	Date calibrée à 2 Sigma (95,4% de probabilité)		Code laboratoire
									De	à	
E 150	Str347	1773	?	?	Non visible	1	515-Fagus sylvatica	4440 ± 30	-3335	-2927	Poz-19300
E 39	Str113	1995	Parcage	?	Non visible	1	705-Pinus	3470 ± 30	-1884	-1695	Poz-22777
E 82	Str450	2011	Habitat	209	Arasé	2	205-Pinus	3220 ± 30	-1608	-1422	Poz-22804
E 5	Str14	1995	Habitat	209	Arasé	1	205-Fagus sylvatica	3055 ± 35	-1411	-1223	Poz-13141
E 3	Str8	2014	Habitat	209	Arasé	1	308-Fagus sylvatica	2990 ± 35	-1383	-1111	Poz-13139
E 3	Str9	2012	Habitat	209	Arasé	1	404-Fagus sylvatica	2950 ± 30	-1260	-1051	Poz-13140
E 165	Str487	1820	Parcage	105	Elévation	1	304-Pinus	2735 ± 30	-972	-811	Poz-22805
E 27	Str63	1868	Habitat	209	Arasé	1	105-Fagus sylvatica	2070 ± 30	-174	-1	Poz-18713
E 32	Str87	1848	Habitat	211	Arasé	1	306-Pinus	1735 ± 30	240	385	Poz-18715
E 20	Str40	1867	Habitat	209	Arasé	1	504-Pinus	1710 ± 30	251	397	Poz-14307
E 32	Str84	1849	Habitat	211	Arasé	1	107-Fagus sylvatica	1645 ± 30	332	534	Poz-18714
E 149	Str350	1769	Habitat	209	Arasé	1	709-Pinus	1600 ± 30	391	544	Poz-19301
E 149	Str348	1772	Habitat	209	Arasé	1	5-Pinus	1520 ± 30	428	609	Poz-22779
E 36	Str102	1868	Parcage	105	Elévation	1	604-Fagus sylvatica	745 ± 30	1223	1289	Poz-22775
E 172.2	Str488	1907	Habitat	211	Arasé	1	204-Fagus sylvatica	420 ± 30	1427	1618	Poz-22806
E 141	Str334	1711	Indéterminé?	?	Non visible	1	206-Betula	295 ± 30	1491	1659	Poz-22778
E 39	Str121	1927	Parcage	105	Arasé	1	810-Fagus sylvatica	190 ± 30	1648	Présent	Poz-22773
E 150	Str347	1773	Habitat	?	Non visible	3	508-Fagus sylvatica	190 ± 30	1648	Présent	Poz-19298
E 181	Str446	2023	Habitat	212	Elévation	1	201-Pinus	170 ± 30	1659	Présent	Poz-22803
E 150	Str347	1773	Habitat	210	Elévation	4	505-Fagus silvatic	160 ± 30	1664	Présent	Poz-19297
E 172	Str405	1907	Habitat	210	Elévation	1	108-Pinus	160 ± 30	1664	Présent	Poz-22780
E 21	Str61	1868	Parcage	106	Elévation	1	206-Fagus sylvatica	95 ± 30	1682	1931	Poz-18712
E 150	Str347	1773	Habitat	?	Non visible	2	513-Fagus sylvatica	95 ± 30	1682	1931	Poz-19299
E 36	Str101	1842	Habitat	210	Elévation	1	404-Fagus sylvatica	70 ± 30	1691	1924	Poz-22774
E 39	Str113	1914	Parcage	101	Arasé	2	703-Fagus sylvatica	70 ± 30	1691	1924	Poz-22776
E 39	Str120	1927	Parcage	105	Elévation	1	808-Fagus sylvatica	50 ± 30	1694	1919	Poz-22771
E 140	Str 333	1711	Habitat	213	Elévation	1	Pas de charbon		1800	Présent	
E 141.1	Str334	1711	Habitat	213	Elévation	2	Pas de charbon		1800	Présent	
E 20	Str42	1865	Parcage	108	Arasé	1	Pas de charbon				
E 171	Str403	1910	Parcage	105	Arasé	1	Pas de charbon				
E 171	Str404	1910	Habitat	211	Arasé	1	Pas de charbon				

Figure 20 - Tableau des datations 14 obtenues dans le cadre des sondages sur l'estive d'Anéou

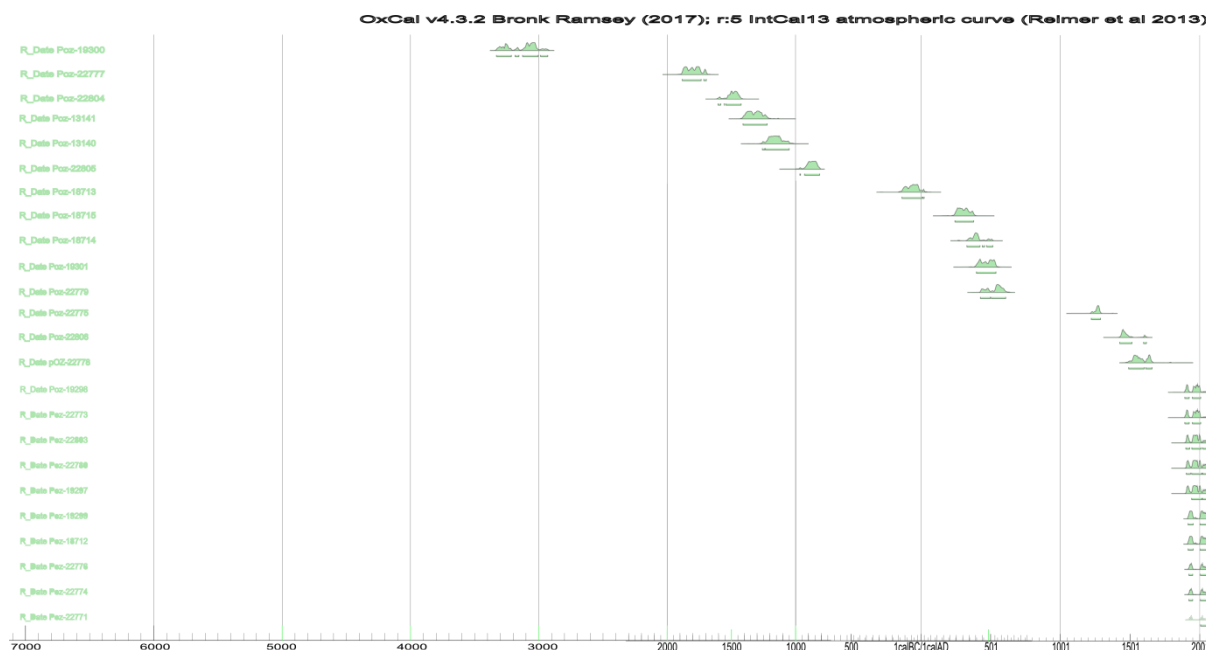


Figure 21 - Graphique des dates obtenues dans les structures sondées d'Anéou (calibration effectuée avec le logiciel Oxcal, courbe IntCal 13)

	Zone d'étude			
	Enveitg		Anéou	
	Nb Date	% total date	Nb Date	% total date
Néolithique	11	26	1	3
Âge du Bronze	6	14	6	20
Âge du fer	5	12	1	3
Antiquité	5	12	5	17
Moye-âge	13	31	2	7
Epoque Moderne / Contemporaine	2	5	12	40
Non daté			3	10
<b>Total</b>	<b>42</b>	<b>100</b>	<b>30</b>	<b>100</b>

Figure 22-Nombre de date 14C qui documente les différentes périodes



Figure 23 - A droite, fouille de la structure 88 d'Enveitg (Age du Bronze) ; A gauche, fouille du site 32 d'Anéou (Antiquité tardive/Haut Moyen âge) (Photo. Pierre Campmajo)



Figure 24 - Graphique des dates obtenues dans les structures sondées et fouilles d'Enveitg (En gris) et d'Anéou (en vert) (calibration effectuée avec le logiciel Oxcal, courbe IntCal 13)

### 7.3- Réserve Naturelle d'Aulon (Commune d'Aulon – 65)

La commune d'Aulon est située dans les Hautes-Pyrénées. Elle se trouve sur les contreforts Nord du massif de l'Arbizon, en vallée d'Aure. Son territoire s'étend sur 2884 hectares et s'étage entre 1061 et 2884 m d'altitude. Les estives de cette commune forment, depuis 2001, le territoire de la [Réserve Naturelle d'Aulon](#), géré par l'Association La Frênette. La Réserve Naturelle d'Aulon fait également partie de l'aire d'adhésion du [Parc National des Pyrénées](#).

Les estives gérées par cette réserve naturelle sont des espaces ouverts herbacée constitué d'une grande variété floristique caractéristique des milieux montagnards. On y rencontre également des plantes endémiques des Pyrénées comme l'androsace des Pyrénées, le géranium cendré ou la scrofulaire des Pyrénées. L'ensemble forme un paysage de lande qui est en phase de recolonisation par des rhododendrons avec quelques petites zones forestières dont une sapinière.

D'un point de vue géologique ce territoire est varié avec la présence de terrains calcaires, argileux, schisteux et une forte présence de granit dans la partie nord.

Le paysage de cette réserve naturelle est accidenté composé de pentes assez fortes qui tracent des petites vallées encaissées. (Fig. 25)

Aucune opération archéologique n'a été réalisée sur ces espaces d'altitude.

Avant l'insertion de ce territoire dans le programme de recherche TAHMM, une rapide évaluation du potentiel archéologique a été réalisée afin de déterminer s'il était intéressant de l'insérer dans ce programme de recherche. Ce travail a été réalisé à partir de l'observation des images aériennes de l'IGN. Ce travail a permis de dénombrer 155 structures dont 20 cabanes, 4 couloirs de traite, 73 enclos, 16 murs isolés et 39 structures indéterminées.

Une convention de recherche a été signée avec l'association la Frênette (cf ci-avant).

La Réserve Naturelle d'Aulon vient également d'inscrire à son Plan de gestion le programme de recherche TAHMM comme une de ses actions scientifiques et patrimoniales.



Figure 25 - Secteur d'Avays dans la Réserve Naturelle d'Aulon - 21 septembre 2018

## 8. Equipe scientifique

Ce programme de recherche se rattache au [Thème 4](#) de l'équipe Terrae « Outils méthodologiques ».

L'un des axes de recherche de cette équipe repose sur le développement technique et méthodologique en archéologie. Cela passe par l'ouverture à d'autres disciplines comme les mathématiques (avec les programmes de recherche [Modelespace/Architerre](#) et [Graphcomp](#) dirigé par Florent Hautefeuille) ou par l'utilisation des nouvelles technologies et notamment des drones pour la détection des sites archéologiques (programmes [Archéodrone](#) dirigé par Florent Hautefeuille et programme [REPERAGE](#) dirigé par Nicolas Poirier).

Les chercheurs et ingénieurs impliqués dans cette thématique de recherche font également partie de plusieurs réseaux scientifiques parmi lesquels

- le Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) « [Micro-drones](#) » dirigé par [Jean-Marc Mochetta](#) de l'[ISAE](#) (Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace). Il s'agit d'un réseau thématique multidisciplinaire visant à promouvoir et fédérer les acteurs publics de la recherche qui exercent une activité dans le domaine des micro-drones,
- le consortium « [3D-SHS](#) » d'TIG Huma-Num. Il s'agit d'un réseau thématique qui a vocation de regrouper l'ensemble des laboratoires qui participent à l'optimisation et à l'insertion de la 3D dans les domaines des Sciences Humaines et Sociales,
- le réseau des [plateformes SPATIO](#) du réseau des MSH (Maison des Sciences de l'Homme) qui fédère les différentes plateformes orientées vers l'acquisition de données spatiales en Sciences Humaines et Sociales et labellisées MSH.

Un autre marqueur du dynamisme et de l'implication des membres de l'équipe Terrae pour le développement de nouvelles pratiques et l'insertion de nouveaux outils en archéologie est le nombre de participation à des demandes ANR et ERC :

**En gras les demandes de financements acceptées**

*En Italique, les demandes de financements en cours dépôt*

- **2018 - ANR ArcheoSens pour la mise en place d'un process pour la détection des vestiges archéologiques sur de grandes surfaces et pour la caractérisation des horizons archéologiques (Dir. Nicolas Poirier du laboratoire Traces)**
- *2018 - ERC Starting Grant 2019 - HOCH pour la modélisation des interactions Homme/Milieu en haute montagne du néolithique à l'époque Moderne (Dir. Francesco Carrer au McCord Centre for Landscape à l'Université de Newcastle – Angleterre)*
- *2018 – ANR Bendly pour l'étude comparée de l'évolution dans la longue durée des forêts anciennes entre les Carpates en Roumanie et les Pyrénées en France (Dir. Vanessa Py – laboratoire GEODE)*

- 2017 – ANR HOMME pour la détection de gisements potentiellement fossilifère avec des méthodes non-invasives au Mozambique (Dir. Laurent Bruxelles, INRAP/TRACES)
- 2017 ANR ASTID - Drone E<sup>3</sup> pour l'étude de l'influence sur le vol d'un drone de la circulation d'air en milieu confiné (Dir. Sébastien Prothin de l'ISAE -Institut Supérieur de l'Aéronautique de l'Espace-)
- 2017 - **ANR MONUMEN** pour la comparaison des architectures néolithiques par le croisement de méthodes non-invasives (Dir. Vincent Ard du laboratoire Traces)
- 2013 – ANR LIPAD pour le développement d'un drone Lidar destiné à l'archéologie (Dir. Nicolas Poirier du laboratoire Traces)

L'équipe Terrae développe également des outils Open Source destinés à l'acquisition de l'information en archéologie. C'est notamment le cas de l'application [Archeotracker](#). Elle permet l'enregistrement et la géolocalisation des artefacts prélevés lors de prospection archéologique. Cette application est basée sur "[OSMTracker](#)" développée par [N. Guillaumin](#). Cette application a été adaptée au travail archéologique par Emile Hautefeuille, sur une idée de Florent Hautefeuille Elle a été testée sur plusieurs chantiers de l'UMR 5608 TRACES et en particulier dans le cadre des acquisitions de terrain du programme REPERAGE, dirigé par Nicolas Poirier.

L'équipe scientifique du programme **TAHMM** est composée de :

#### **Baleux François**



#### **Ingénieur d'étude CNRS - Laboratoire TRACES (UMR 5608)**

Spécialiste de la 3D, de la Géomatique, de la Télédétection et de la Topographie. Il travaille notamment sur l'amélioration de la précision des relevés en archéologie et sur la caractérisation de l'erreur de positionnement des données spatiales.

#### **Calastrenc Carine**



#### **Ingénieure de recherche CNRS rattaché aux Laboratoires TRACES (UMR 5608) / FRAMESPA (UMR 5136) et membre de l'équipe Terrae.**

Archéologue, spécialisé dans les espaces agro-pastoraux et en détection des vestiges archéologiques avec des méthodes non-invasives.

*Responsable scientifique du programme TAHMM.*



**Hautefeuille Florent**



**Maître de conférences en archéologie et histoire médiévale**

Archéologue et historien spécialisé dans l'étude des sociétés rurales sur sud-ouest de la France de la fin du Moyen âge et notamment l'habitat dispersé autour des questions de l'évolution des modes d'occupation de l'espace. Ses recherches s'articulent autour de plusieurs projets qui intègrent autant les données écrites que les sources archéologiques. L'évolution des terroirs médiévaux et- Laboratoire TRACES (UMR 5608)

**Laurent Antoine**



**Archéologue, géomaticien, topographe et spécialiste de la 3D en archéologie.**

Il travaille à l'intégration de la 3D dans toutes les phases de la recherche en archéologie, du territoire à l'objet, de la prospection à la valorisation scientifique et vers le grand public.

**Philippe Magali**



**Assistant Ingénieur CNRS, Laboratoire GEODE (UMR 5602)**

Ecologue de formation, elle travaille sur l'analyse des dynamiques environnementales par le développement d'approches multisources permettant l'évaluation de services écosystémiques, d'analyses paléo-immunologiques et des éléments chimiques des sols.

### Poirier Nicolas



#### Chargé de Recherche CNRS - Laboratoire TRACES (UMR 5608) et membre de l'équipe Terrae

Archéologue médiéviste spécialiste des dynamiques de l'habitat et des territoires. Ses problématiques de recherche sont centrées sur l'implantation des finages médiévaux, abordée au travers d'une approche micro-historique et diachronique.

### Rendu Christine



#### Chargée de Recherche CNRS - Laboratoire FAMESPA (UMR 5136)

Archéologue et ethnologue, spécialiste des transformations des systèmes d'estivage des montagnes du sud de l'Europe et des dynamiques sociales et paysagères des zones de hautes et moyennes montagnes.

## 9. Moyens techniques

Le programme TAHMM bénéficie des équipements scientifiques de la plateforme Archéologiques avec d'une part le plateau TIG-3D (Télédétection Imagerie Géomatique 3D) du laboratoire TRACES (UMR 5608) et d'autre part du plateau P2G (Palynologie et Paléoécologie) du laboratoire GEODE (UMR 5602).

De plus, il bénéficie d'un partenariat avec le CNES pour la programmation d'images Pléiade grâce au soutien du programme d'accompagnement scientifique DINAMIS (Dispositif Institutionnel National d'Approvisionnement Mutualisé e Imagerie Spatiale) anciennement programme ISIS.

En 2019, les membres du programme TAHMM ont également pu bénéficier du prêt à titre gratuit de deux DGSP Trimble GeoExplorer XT 6000 grâce au dispositif DIPEE (Dispositif de Partenariat en Ecologie et Environnement).

Le stockage, le partage et la pérennisation des données produites et acquises dans le cadre du programme TAHMM sont gérées par le [TGIR Huma-Num](#).

### 9.1- Plateau technique TIG-3D

Le programme de recherche **TAHMM** s'appuie sur les moyens techniques de la plateforme [ArchéoScience](#) du laboratoire TRACES (UMR 5608) inscrite par Toulouse Métropole et le Conseil Régional dans la liste des plateformes technologiques et reconnue comme moyen communs des établissements d'enseignement supérieur et de la recherche.

Cette plateforme intègre 5 plateaux techniques organisés en fonction de la chaîne opératoire de la recherche archéologique, 6 [archéothèques](#) regroupant des référentiels archéologiques matériel et virtuel, ainsi qu'un Hôtel à projet et un centre de ressources documentaires. (Fig. 27)

Cette plateforme a pour vocation de s'ouvrir à une large communauté scientifique.

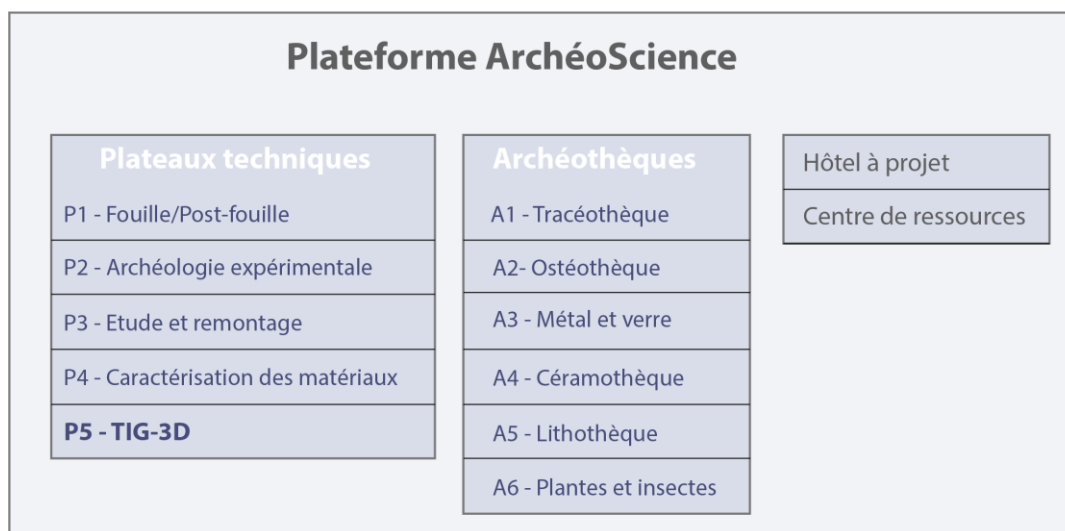


Figure 26 - Structuration de la plateforme ArchéoScience

Le plateau [TIG-3D](#) s'est développé et enrichi au fil de l'évolution des besoins scientifiques des chercheurs du laboratoire TRACES (UMR 5608). Il regroupe le matériel acquis par ce laboratoire et financé par un Contrat de Plan Etat-Région 2015-2020 et celui acquis par l'équipe Terrae grâce à une subvention FEDER (presage 35827). Dans le cadre du programme de recherche **TAHMM**, seront notamment utilisés les matériels du plateau technique TIG-3D (Télédétection, Imagerie, Géomatique-3D).

- 2 DGPS Trimble GeoXH 3000 série (Fig. 28)
- 1 drone octorotor pouvant être équipé soit d'un appareil photographique numérique (Canon G1X), soit d'une caméra thermique [Flir T620](#) (Fig. 29 et Fig. 31)
- 1 drone quadrirotor [DJI Mavic Pro](#) équipé d'un appareil photographique numérique (Fig. 33)
- 1 drone quadrirotor à voilure tournante Anafi
- 1 drone quadrirotor à voilure tournante Anafi Thermal
- 1 drone à voilure fixe équipé d'une caméra multispectrale 5 bandes ([DT18 de Delair](#))

- 1 drone octorotor équipé d'un capteur lidar de [Yellowscan](#) (Fig. 30)
- 1 GPR (Ground Penetrating Radar) [GNSSI SIR 4000](#) avec 3 antennes de 200, 400 et 900 MHz (Fig. 32)
- 1 magnétomètre à proton champ total GSM-19

Les données seront ensuite traitées grâce aux suites logicielles suivantes :

- ✓ Photoscan d'[Agisoft](#)
- ✓ [QGIS](#)
- ✓ ArcGis d'[ESRI](#)
- ✓ [SagaSig](#)
- ✓ [GRASS](#)
- ✓ [CloudCompare](#)
- ✓ [Realworks](#) de Trimble
- ✓ [3DReshaper](#) d'Hexagone
- ✓ [RVT](#) de l'Institut of Anthropological and Spatial Studies
- ✓ [Orféo](#) et Monteverdi du CNES
- ✓ [ENVI](#) d'Harris
- ✓ [Radan](#)
- ✓ [R](#)



Figure 27 - Base DGPS (Trimble GeoXH3000 Série) – (Photo. C. Calastrenc)



Figure 28 - Drone octorotor équipé d'un appareil photographique numérique Canon G1X – (Photo. C. Calastrenc)



Figure 29 - Drone octorotor équipé d'un capteur Lidar (Yellowscan) – (Photo. V. Py)



Figure 30 - Drone octorotor équipé d'une caméra thermique Flir T620 – (Photo. C. Calastrenc)



Figure 31 - GPR SRI 4000 (GNSSI) – (Photo. N. Poirier)



Figure 32 - Drone quadrirotor DJI Mavic

### 9.2- Plateau technique P2P

Ce programme bénéficie également du matériel de la plateforme "[Paléo-environnement et géo-archéologie](#)" du laboratoire GEODE (UMR 5602) et notamment d'un spectromètre de fluorescence par rayon X (Marque Niton – Modèle XL3t-980).



Figure 33 - XRF Nitron XL3t-980 du plateau P2P du laboratoire GEODE (UMR 5602)

### 9.3- Partenariat avec le CNES

Le laboratoire TRACES étant adhérent du dispositif Geosud, le programme de recherche TAHMM a également profité d'une programmation d'acquisition d'image Pléiade par le CNRS grâce au DINAMIS (Dispositif Institutionnel National d'Approvisionnement Mutualisé en Imagerie Spatiale). Ce dispositif a été mis en place pour faciliter l'accès aux images satellite du territoire national que ce soient les couvertures annuelles à haute résolution, les couvertures régionales d'archives ou les images acquises sur des zones plus restreintes.

### 9.4- TGIR (Très Grande Infrastructure de Recherche) Huma-Num

Le programme TAHMM disposera également des services pour le traitement et le stockage des données numériques proposés par le [TGIR Huma-Num](#) qui met à disposition des chercheurs en Sciences Humaines et Sociales tout un ensemble de logiciels destinés au traitement de leur données.

C'est via le TGIR Huma-Num qu'il a été possible d'avoir accès aux logiciels de gestion de bases de données relationnelles et objets (SGBDRO) PostgreSQL, PostGIS implémentable sur les SIG QGis et ArcGis.

La base de données mise en place est très simple et réduite aux seules informations nécessaires pour les besoins du programme de recherche TAHMM. Elle comprend 3 tables : Sources, Structure, Tronçon.

1. La table Source est un tableau constitué de 5 champs :

#	Nom	Type
1	Num_Raster	Chaîne de caractère
2	Nom	Chaîne de caractère
3	Type	Chaîne de caractère
4	Institution_Origine	Chaîne de caractère
5	Date	Date

2. La table Structure correspond à un vecteur (shape) de ligne dont la table associée est constituée de 15 champs

#	Nom	Type	Longueur	Clé
1	Num_Structure	Lettre et chiffre	4	Clé étrangère
2	Geometrie	Ligne		
3	Num_Entité	Chaîne de caractère		
4	Type	Chaîne de caractère		
5	Validité-Type	Chaîne de caractère		
6	Etat-conservation	Chaîne de caractère		
7	Forme	Chaîne de caractère		
8	Superficie	Réel double	4	
9	Longueur	Réel double		
10	Largeur	Réel double	4	
11	Commentaire	Texte		
12	Secteur	Chaîne de caractère		
13	Num_DEPART	Chaîne de caractère		
14	Class	Lettre et chiffre	2	
15	Longeur2	Réel double	8	

3. La table Tronçon correspond à un vecteur (shape) de ligne dont la table associée est constituée de 6 champs :

#	Nom	Type	Clé
1	Num-Troncon	Lettre et chiffre	Clé primaire
2	Num_Structure	Lettre et chiffre	Clé étrangère
3	Longueur	Réel double	
4	Largeur	Réel double	
5	Hauteur	Réel double	
6	Geometrie	Ligne	

Cette structuration de l'information permet d'avoir une relation de 1 à n entre Structure et Tronçon. Ainsi une structure peut être constituée de plusieurs tronçons, mais 1 tronçon ne peut appartenir qu'à une seule structure. Entre la table Structure et la Table Source, la relation est de n à n (une source peut documenter plusieurs structures et une structure peut être renseignée par plusieurs sources d'information). (Fig. 34)

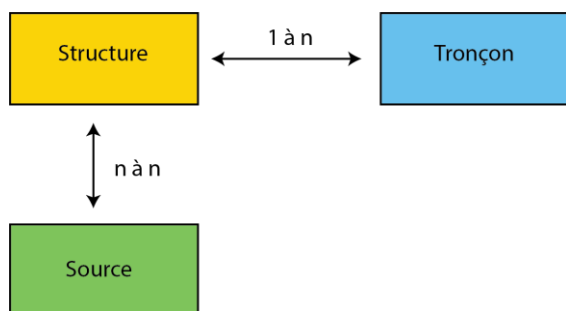


Figure 34 - Structuration de la base de données



### 9.5- Outils collaboratifs et de valorisation

Un ensemble d'outils de partage de l'information a été créé et mit à la disposition de l'ensemble des partenaires du programme de recherche TAHMM.

En premier lieu, un **espace de stockage et de partage** des données a été ouvert sur le site de [MyCore](#) du CNRS. Il permet à l'ensemble des membres et des partenaires institutionnels du programme d'avoir accès aux données primaires des différentes acquisitions réalisées.

Le TIG Huma-Num a également permis au programme de recherche TAHMM de disposer d'un **espace de stockage** pour l'ensemble des données produites et celles issues des traitements de données via [Huma-Num Box](#). Il permet de stocker, mettre à jour et de partager de façon sécurisée des fichiers de travail via une plateforme web. Sur cet espace sont stockés l'ensemble des données primaires, ainsi que tous les documents de travail. A la mi-décembre 2018, cela représente un volume de 300 Go.

Un **espace partagé** regroupant l'ensemble des photographies prises lors des acquisitions a été ouvert sur **Google Photo**. Il permet aux membres et aux institutions engagées dans ce programme de recherche d'y retrouver de la documentation photographique (avec l'identification des auteurs) pour la réalisation de supports de diffusion et de valorisation.

Les différents modèles 3D réalisés dans le cadre de ce programme de recherche sont visualisables dans le dossier TAHMM de la plateforme **Sketchfab**.

Un **site internet** présentant les objectifs scientifiques du programme TAHMM, les méthodes et outils mit en œuvre ainsi que les différents partenaires a été créé. La conception de ce site ainsi que son hébergement est assuré par Raphaël Goulais de la société F5C. Il s'agit d'un **mécénat d'entreprise**.

<http://www.tahmm.fr>

## 10. Résultat de la campagne 2019

Ne pouvant financer un hélicoptage du matériel lourd et non transportable à dos d'Homme (Géophysique, drone Lidar), le travail de terrain s'est centré sur l'utilisation d'un drone pour la réalisation d'un Modèle Numérique de Terrain par photogrammétrie, sur la thermographie aéroportée par drone avec un nouvel drone (Parrot Anafi Thermal) et sur l'emploi de l'XRF pour la détection de zones de stabulation.

De plus, une collaboration avec le CNES a été mise en place pour la programmation de deux acquisitions d'image Pléiade. Ces images seront traitées pour des travaux de télédétection archéologique à petite échelle.

	Date acquisition	Imagerie	3D	XRF	Géophysique
		Multispectral satellite			
Enveitg	30/09/2019 - 01/10/2019	✓	✓	✓	
Aulon	10/10/2019 - 11/10/2019	✓	✓	✓	

### 10.1- Thermographie aéroportée par drone

#### 10.1.1- Un nouveau drone thermique : Anafi Thermal

En 2019, le plateau TIG-3D a acquis un nouveau drone thermique, l'Anafi Thermal de Parrot.

Les avantages du drone Anafi Thermal :

- Poids : 315 grammes (sans la batterie) ; 439 grammes (avec la batterie)
- Compacité : 218x69x64mm (Plié) ; 241x315x64mm (déplié)
- Capteur CMOS ayant une résolution de 21 MP (5344 x 4016)
- Capteur thermique fournissant des images de 3264 x 2448
- Durée des vols : 26 minutes

- Résistance au vent : 50 km/h
- Eléments de sécurisation des vols : Géobarrière personnalisable, retour automatique au point de décollage
- Possibilité de connecter le drone en Wifi avec un rayon d'action de 4km
- Géolocalisation basé sur le réseau GPS + GLONASS
- Passerelle possible avec le logiciel FlirTool pour le traitement des images

Les premiers tests d'utilisation de ce drone ont été réalisés dans le cadre du programme TAHMM au Pla de l'Orri sur l'estive d'Enveitg et sur le secteur d'Auloueilh dans la Réserve Naturelle d'Aulon.

- 120 images thermiques ont été prises au Pla de l'Orri
  - 115 images ont été prises sur le secteur de l'Auloueilh.
- ⇒ Aucune de ces images n'est malheureusement exploitables pleinement (soit, suivant la procédure mise en place en 2019 et développée ci-dessous).

Cette impossibilité de traiter les données s'explique par les limites techniques et les choix faits par la société Parrot dans la conception de ce drone thermique.

#### **La résolution du capteur IR :**

Le capteur RVB de l'Anafi Thermal a une résolution qui peut être définie par l'opérateur : entre le 21MP (5344 x 1016 px) et 12 Mp (4000 x 3000 px) en mode photo et entre 4K (4096 x 2160 px) et FHD (1920 x 1080 px) en mode vidéo. Quant au capteur thermique, il a une résolution de l'image qui est annoncée à 3264 x 2448 px. En réalité, la résolution des IR est de 160 x 120 px. La différence de résolution des IR affichée et réelles s'explique par la fusion automatique des IR et des images RVB qui fait artificiellement passer les IR d'une résolution spatiale faible (la résolution réelle) à forte (la résolution du capteur RVB). L'incidence de cette fusion, est que les IR fusionnées sont beaucoup plus lourdes mais aussi beaucoup moins précises.

Ainsi, l'image IR acquise au nord de la cabane ENV-003-122 en 2018 avec le capteur Flir T620 (Fig. 36) a une petite résolution (561 x 421 px) mais un rendu fin de l'information thermographique. On peut y observer des détails. Par exemple, les branches et ramures de l'arbre situé au centre de l'image sont parfaitement visibles. L'IR fusionnée réalisée sur ce même secteur en 2019 avec l'Anafi Thermal pèse presque 23 Mo et à une résolution de 3264 x 2448 px. Avec une image 6 fois plus grande, on s'attend à une précision plus importante de l'information thermique. Or, l'image thermique est floue (Fig. 37).

Sa résolution provient de la couche RVB ; l'image thermique elle est très grossière avec une résolution de 160 x 120 px.

La fusion des données peut toutefois être « annulée » dans les paramètres du drone. Dans ce cas-là, la fusion existe toujours, mais il est possible de traiter uniquement l'information thermique via l'application mobile de Flir. L'image thermique dont on disposera aura alors une résolution de 160 x 120 px.

Pour compenser la faible résolution des IR, il est possible d'abaisser la hauteur d'acquisition. Des tests ont commencé à être faits dans ce sens sur le secteur de l'Auloueihl dans la Réserve Naturelle d'Aulon. Ils devront être poursuivis. L'objectif étant de déterminer les meilleures conditions d'utilisation de ce nouveau matériel et de définir la procédure d'acquisition la plus efficace et celle qui permet d'obtenir une résolution suffisante pour l'identification d'indicateur de la présence de structures archéologiques enfouies.

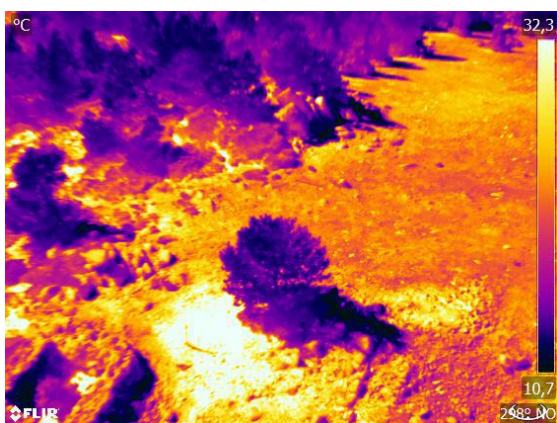


Figure 35 - IR réalisée en 2018 avec la caméra Flir T620 implémenter sur un drone octorotor. Taille de l'IR = 561 x 421 px. Poids de l'IR = 691,94 Kox

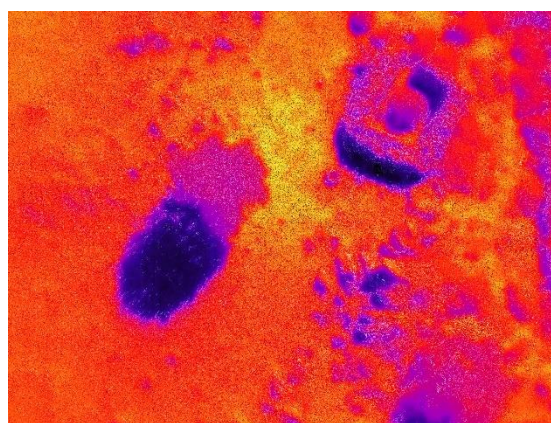


Figure 36 - IR fusionné (IR + RVB) réalisée en 2019 avec le drone Anafi Thermal. Taille de l'IR fusionnée = 3264 x 2448 px. Poids de l'IR fusionnée = 22,9 Go

### Passerelle avec FlirTool :

L'une des caractéristiques de ce drone qui nous a fait l'acquérir venait également de la passerelle possible entre les données acquises par le drone et le support FlirTools. Dans la documentation commerciale, il est indiqué que le couplage IR+RVB est transférable et exploitable dans le logiciel FlirTool en connectant le drone à l'ordinateur. Toutefois, dans la réalité, ce transfert est bien plus complexe. Pour que les IR soient utilisables sur la plateforme logicielle de Flir, il est nécessaire d'enregistrer les images thermiques une à une, non pas sur la carte SD du drone, mais sur le téléphone portable qui sert à son pilotage et de les télécharger depuis le téléphone sur l'application. Cette

manipulation interdit les acquisitions séquentielles sur de grande superficie. Il est notamment impossible de faire un MNT Thermique d'une grande surface.

La procédure permettant la bascule des IR sur le logiciel FlirTools n'a été découverte qu'en se confrontant pour la première fois au téléchargement et au traitement des données acquises avec l'Anafi Thermal dans le logiciel FlirTools, soit après les deux phases d'acquisition.

Ces premières séries de mesures thermiques ont été très utiles. Elles nous ont permis de définir les limites de ce nouvel appareillage et d'établir les bonnes procédures d'acquisitions des données. Les nouvelles acquisitions devront permettre de les conforter et d'exploiter ce nouveau vecteur. Les IR réalisées seront en partie exploitables.

#### 10.1.2- Nouvelle procédure de Traitement des IR

Cette partie est la reproduction de l'article soumis à la revue **Archéométrie**, qui présente la procédure de traitement des images thermiques nouvellement développée à des fins de détection des structures archéologiques enfouies en haute montagne. La soumission de cet article a été faite le 31 décembre 2019. En Annexe est placée le courrier de réception de l'article.

Travailler au déploiement de nouveaux appareillages scientifiques pour la détection de vestiges archéologie est une partie des enjeux du programmes TAHMM. Toutefois, ce n'est pas le seul. Le deuxième enjeu est l'amélioration des procédures de traitements et d'analyse des données acquises. C'est dans ce cadre que les images thermographiques faites en 2018 ont été retraitées et retravaillées pour essayer de développer une nouvelle approche de l'information thermographique.

##### 10.1.2.1- TERRAINS d'application

La technique de prises de vue thermographique suivie dans le cadre du programme de recherche TAHMM s'est basée sur les préconisations établies par les chercheurs du programme *Archéodrone* et *REPERAGE* (dir. Nicolas Poirier, CR CNRS, Laboratoire TRACES) (Poirier et al, 2017 ; Poirier, 2018). Ces dernières varient en fonction des saisons. De façon générale, la première règle est d'effectuer les survols de façon à avoir le plus grand contraste possible entre les températures du sol (froid) et de l'air (plus chaud). La seconde concerne l'incidence de l'orientation du capteur en vol (verticale ou oblique)

qui a démontré de meilleures capacités de détection des anomalies thermiques, en plaine, lorsque la position du capteur est oblique.

En septembre et octobre 2018, une première série d'acquisitions thermographiques par drone a été réalisée sur deux terrains pyrénéens (Fig. 38), le Pla de l'Orri situé à 2013 m d'altitude dans la commune d'Enveitg (Pyrénées Orientales) et le secteur d'Avays situé à 1935 m d'altitude dans la Réserve Naturelle d'Aulon (Hautes-Pyrénées).

Le Pla de l'Orri à Enveitg est archéologiquement très bien connu par des prospections, sondages et fouilles extensives réalisés entre les années 1985 et 2005 par Christine Rendu (CR CNRS – FRAMESPA-UMR 5136) et l'équipe du GRAHC (Groupe de Recherche Archéologique et Historique de Cerdagne), notamment dans le cadre du Programme Collectif de Recherche « *Cerdagne : estivage et structuration sociale d'un espace Montagnard* » (Rendu, Campmajo, & Crabol, 2012 ; Rendu, 2003 ; Rendu C. , 2000 ; Rendu, Bille, Conesa, Campmajo, & Crabol, 2009 ; Rendu, Campmajo, & Crabol, 2012). Sur les 31 hectares du replat du Pla de l'Orri, ces travaux ont permis de localiser 37 structures archéologiques dont 1 abri sous roche, 18 cabanes, 2 couloirs de traite, 8 enclos, 4 murs et 4 structures dont la fonction est indéterminée qui se répartissent de part et d'autre d'une tourbière et de documenter une occupation allant de l'âge du bronze à nos jours. La première série d'acquisitions thermiques par drone a été réalisée le 26 septembre 2018 à 15h30 (Fig. 38) par une chaude journée d'automne (température de l'air entre 19 et 20°C dans la plage horaire 13h et 16h). Un vol thermique oblique, de 10 minutes, fait à 30 m d'altitude, a permis de documenter deux zones : un replat à l'ouest d'un habitat daté par la fouille de l'Âge du Bronze (structure ENV\_088\_088) et une zone située au nord de la cabane ENV\_003\_122. 19 images thermiques et 19 images en classiques RVB ont été enregistrées.

Quant au secteur d'Avays dans la Réserve Naturelle d'Aulon, aucun travail archéologique n'avait été entrepris avant son introduction dans le programme de recherche TAHMM. Il s'agit d'un petit vallon très encaissé de 6 hectares orienté vers le nord. Au mois d'octobre, ce vallon est entièrement au soleil vers 12h30-13h00. L'acquisition thermographique par drone a été réalisée, à 30 m d'altitude au-dessus du point de décollage, le 26 octobre 2018 à 12h18 par une journée d'automne chaude (entre 13 et 22°). Ayant testé sur le site d'Enveitg les acquisitions obliques, il a été choisi ici de tester l'impact d'une acquisition au nadir (zénithale) sur une structure remarquable, située au sud-est de la zone d'étude : la structure n° AU\_015\_001 (Fig. 38). 26 prises de vue ont été faites. A l'occasion de ces acquisitions, une prospection pédestre du vallon avec un enregistrement des données par DGPS a été réalisée. Elle

a permis d'inventorier 23 structures dont 2 cabanes, 1 couloir de traite, 9 enclos, 5 murs et 10 constructions à la fonction indéterminée. (Calastrenc et al, 2018)

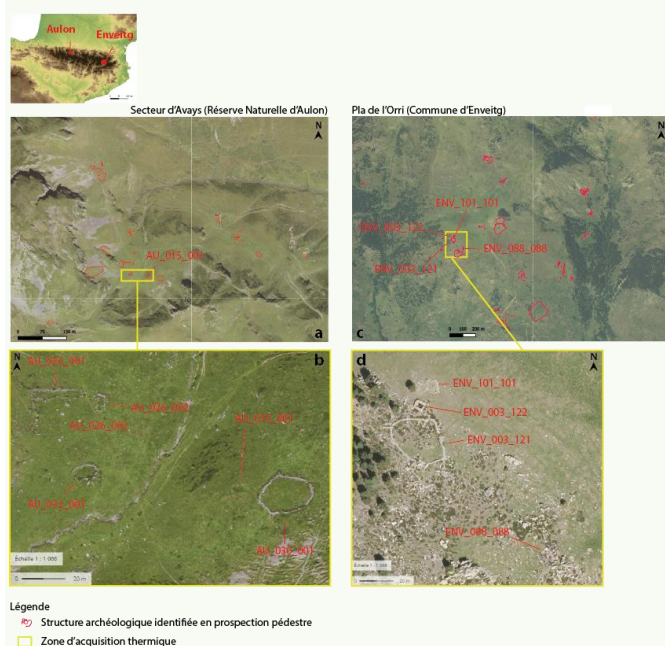


Figure 37 - Localisation des zones d'étude et des aires d'acquisition thermographique par drone. a. En haut à gauche, le secteur d'Avays de la Réserve Naturelle d'Aulon (Hautes-Pyrénées). b. En bas à gauche, zoom sur le secteur d'Avays avec la localisation des structures situées aux environs de la construction AU\_015\_001 c. En haut à droite, le secteur de Pla de l'Orri sur la commune d'Enveitg (Pyrénées-Orientales) d. En bas à droite, partie du Pla de l'Orri testé thermiquement.

### 10.1.2.2- Vers une nouvelle procédure de Traitements et analyses des données thermographiques

#### 10.1.2.2.1- Chaîne de traitement avec le logiciel propriétaire

Le capteur FLIR T620 permet une double acquisition, thermique et RVB. Ces images thermiques montrent les variations de la Ts à l'aide d'un dégradé allant du jaune (zone pour les températures les plus chaudes) au bleu (pour les zones les plus froides). Pour chaque pixel, en plus de la valeur de couleur, est associée l'information relative à la Ts de l'objet qu'il renseigne. (Fig. 39).

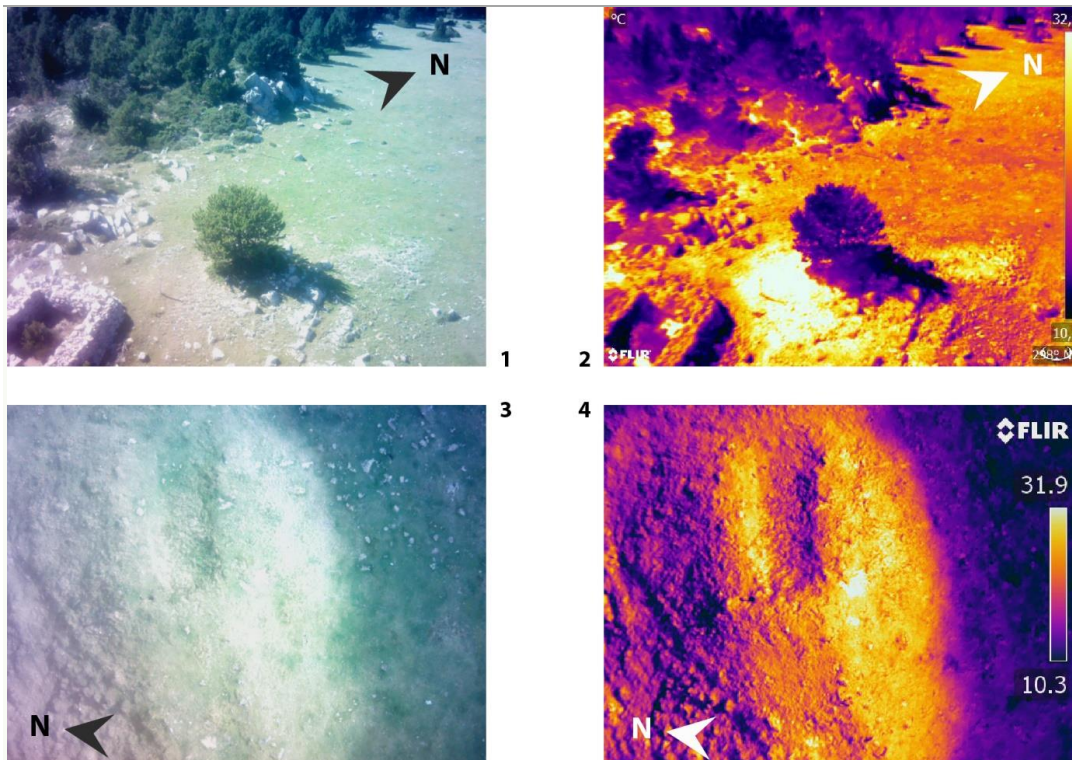


Figure 38 - Prise de vue thermographique avec la caméra Flir T 620. 39.1- Image RVB faite au nord de la structure ENV\_003\_122 sur l'estive d'Enveitg. 39.2- Image thermographique correspondante. 39.3- Image RVB prise par drone de la structure Au\_015\_001 du secteur d'Avays de la Réserve Naturelle d'Aulon. 39.4- Image thermographique correspondante.

Sur le secteur du Pla de l'Orri à Enveitg, un premier test de traitement a été réalisé avec le logiciel propriétaire de Flir, FlirTools, sur les images servant à documenter le replat situé au nord d'une cabane moderne (structure n° ENV\_003\_122) et à l'ouest de la structure ENV\_101\_101. L'objectif est de déterminer si des constructions sous-jacentes au couvert végétal sont présentes à cet emplacement. Les prises de vues ont donc été réalisées en oblique. Elles ne se sont pas focalisées sur un point précis, mais sur une zone. (Fig. 39.1 et 39.2)

Un deuxième test a été réalisé sur la structure AU\_015\_001 du secteur d'Avays de la Réserve Naturelle d'Aulon. L'objectif ici n'est pas de chercher à percevoir des structures non visibles en surface, mais de déterminer s'il est possible de disposer d'information plus fine qu'une seule observation de surface sur une construction recouverte par de la végétation. (Fig. 39.3 et 39.4)

Les mesures thermiques ont, dans un premier temps, suivi la chaîne de traitement « classiquement » utilisé dans le cadre de travaux archéologiques : modification des bornes de températures affichées et choix d'un gradient de couleur parmi les différents dégradés prédéfinis dans le logiciel FlirTool. (Fig. 40)



La prise de mesure faite au nord de la structure ENV\_003\_122 du Pla de l'Orri à Enveitg, a été centrée sur le gradient de température allant de 38,1 à 24,3 degrés Celsius et la palette de couleur Midgreen.apl a été appliquée. Cela permet de mettre en évidence une anomalie thermique chaude de forme quadrangulaire (Fig. 40.1 et 40.3), au nord de laquelle s'étend une deuxième anomalie chaude, de surface plus réduite (Fig. 40.3).

Quant à l'image thermique prise au-dessus de la structure AU\_015\_001 du secteur d'Avays à Aulon, les températures affichées ont été limitées à la fourchette allant de 32,8 à 16,4 degrés Celsius. La palette de couleur choisie est GreyRed.pal. Ce paramétrage permet de délimiter plus précisément le mur nord de cette construction. Quant à la façade sud, elle est moins bien définie et semble à la fois comprendre le mur et son éboulement. (Fig. 40.2 et 40.4)

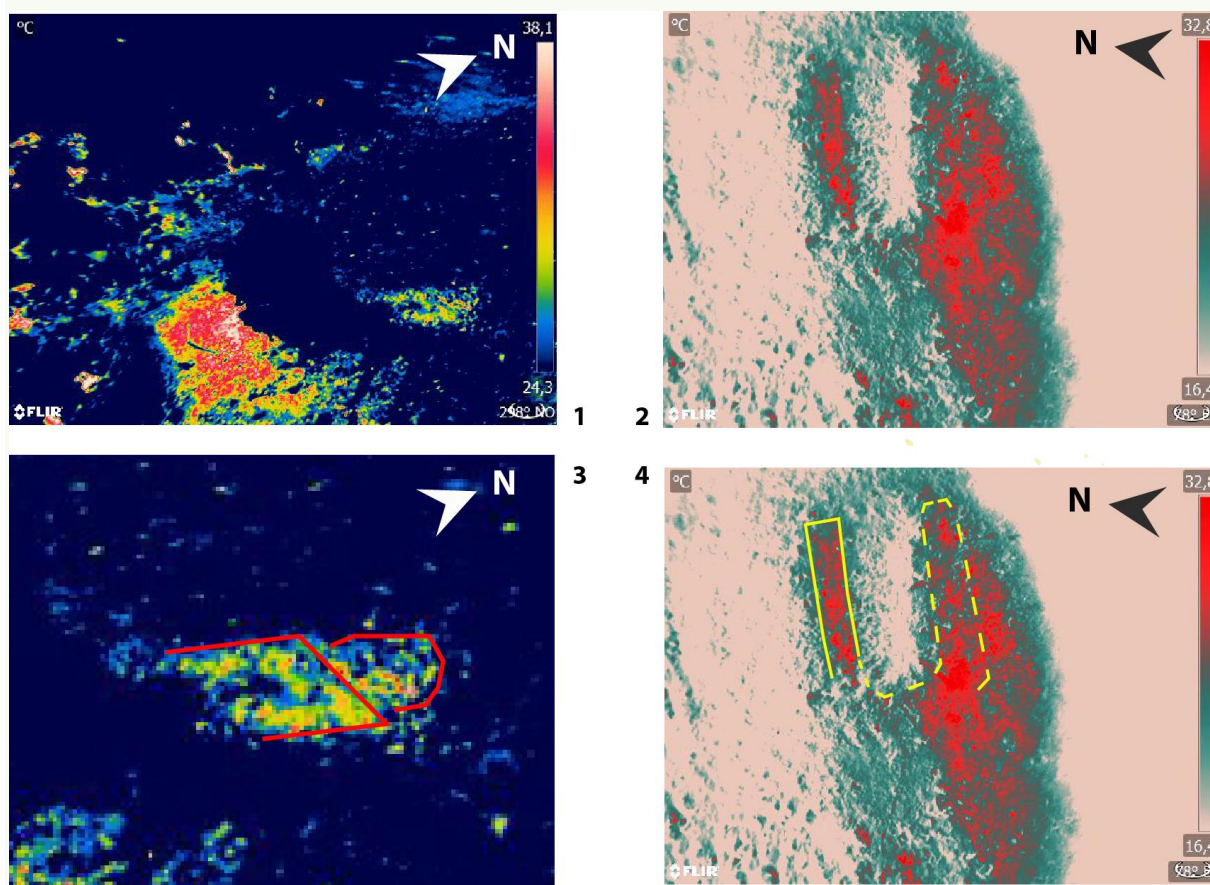


Figure 39 - Traitement des images thermiques dans le logiciel FlirTools. 40.1. Image thermique prise au nord de la structure ENV\_003\_122 Enveitg et traitée dans FlirTools. 40.2. Image thermique prise au-dessus de la structure AU\_015\_001 à Aulon et traitée dans FlirTools. 40.3. Zoom sur le traitement de l'anomalie thermique située au nord de la structure de la structure ENV\_003\_122 (en rouge, tracé du contour de l'anomalie thermique). 40.4. Analyse de l'image thermique prise au-dessus de la structure AU\_015\_001 (en jaune, l'identification des indices archéologiques)

#### 10.1.2.2.2- S'affranchir du format propriétaire

Le logiciel FlirTool, bien que performant, limite les possibilités de traitement de l'image thermique. Il oblige à se contraindre à des cadres trop stricts : impossibilité de modifier les gradients de couleur, limitation dans les températures affichées, absence d'outils d'analyses complémentaires. De plus, le format propriétaire de Flir bloque tout traitement des images thermiques dans d'autres logiciels. En effet, exportées telles quelles dans un logiciel de DAO ou un SIG, ces images perdent l'information de température et ne conservent que la valeur de couleur du pixel (qui dépend du gradient appliqué). Analyser les données thermiques à des fins de détection archéologique demande d'établir une procédure qui permette de sortir du format imposé par Flir.

Dans un premier temps, depuis le logiciel FlirTools, les images thermiques ont été exportées en format .csv. Le résultat est une matrice dans laquelle chaque cellule spécifie la température du pixel quelle représente. Ainsi, le positionnement de ces valeurs n'est pas aléatoire. Par exemple, la mesure située dans le coin en haut à gauche du tableau correspond au pixel de l'angle haut gauche de l'image thermique. Les coordonnées de l'angle haut gauche sont connues ainsi que la taille des pixels. Il est alors possible de restituer le raster. Dans un SIG, ce fichier est importé dans un format raster pour décrire un MNTS (Modèle Numérique de Température de Surface) donc chaque pixel correspond à la valeur de température de surface. Ce MNTS est ensuite géoréférencé, soit à partir de points topographiques pris au DGPS lors de l'acquisition thermique, soit en s'appuyant sur des relevés topographiques faits à la station totale. Pour les photographies thermiques obliques, les images géoréférencées ont ensuite été découpées pour supprimer les parties déformées et ne conserver que les zones exploitables de l'image. Une fois les images utilisables dans d'autres logiciels, il est nécessaire d'établir une procédure de traitement et d'analyse de l'information thermique qui passe par l'amélioration de la visualisation de la Ts et la réalisation de profils thermiques.

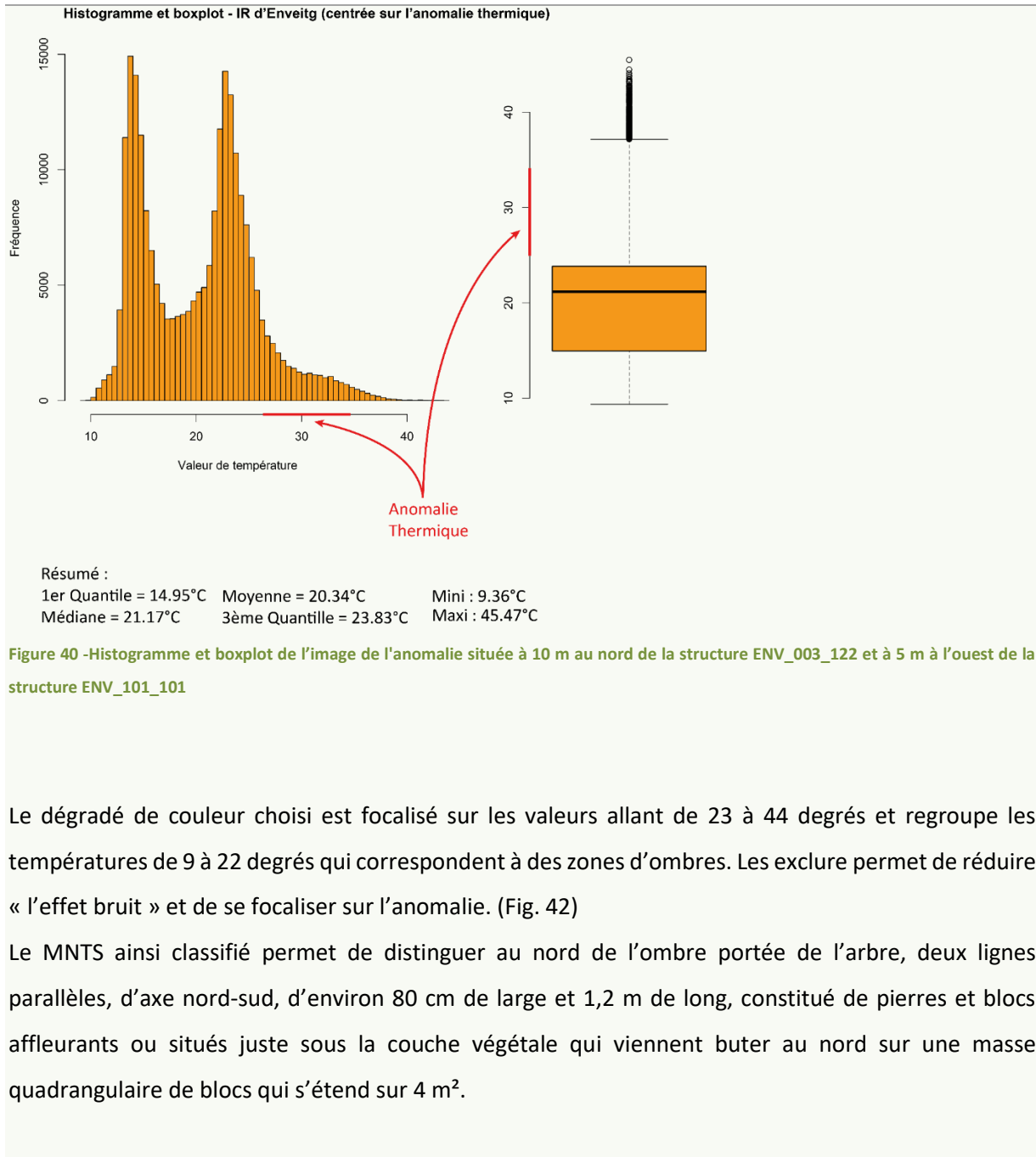
#### 10.1.2.3. Amélioration de la visualisation de l'information thermique

Faire varier le gradient de couleur revient à modifier la représentation des valeurs de Ts. L'objectif est d'essayer de faire correspondre le plus possible le gradient de couleur appliqué à la distribution des mesures. (Jegou, 2013) Le choix des couleurs, leur nombre et les bornes appliquées à une image, ici thermique, sont donc primordiaux. Ainsi, pour chaque image, il est nécessaire de déterminer la meilleure palette de couleur à utiliser pour donner à voir l'organisation quantitative et spatiale de l'information thermique et également de pouvoir justifier ces choix. Pour avoir une meilleure

visualisation de l'information, il est nécessaire de sortir de l'adoption d'un gradient en se basant uniquement sur une validation visuelle et l'intuition, pour s'appuyer sur un raisonnement et des outils statistiques qui peuvent rendre compte de phénomènes spatialisés en déterminant les bornes des classes à appliquer pour qu'elles soient homogènes et distinctes entre elles. Le choix de la méthode appliquée varie en fonction des objectifs de représentation (Que souhaite-t-on montrer ?) et en fonction de la forme de la distribution des données (normale, symétrique, asymétrique). Pour réaliser ce travail de discrétisation, les outils de la suite logicielle R, mais aussi l'application de cartographie en ligne Magrit développée par le pôle géomatique de l'UMS RIATE (<http://www.ums-riate.fr>) ont été utilisés. Cette application propose différentes méthodes de discrétisation (intervalles égaux, quantiles, Q6, Seuils naturels, Moyenne-Ecart-type, progression arithmétique ou géométrique) et indique pour chacune le nombre de classes le plus adapté à la série statistique. Pour se faire, elle s'appuie sur la formule de Sturges-Huntsberger (Herbert, 1926 ; Sturges, 2019 ; Huntsberger, 1962).

Mais définir les classes les plus adaptées à un jeu de données n'est pas tout. Il faut aussi sélectionner les valeurs de couleurs et les ruptures colorimétriques pour donner à voir le mieux possible l'information.

Les images thermiques prises sur le Pla de l'Orri présentent une anomalie chaude (entre 26 à 34 degrés) de forme oblongue (de 4,60 m de long sur 2 m de large) à l'ouest de la structure ENV\_101\_101 et au nord de la structure ENV\_003\_122. L'ombre d'un arbre masque la partie sud de cette anomalie. Les images aériennes prises par drone, en même temps que les images thermiques, montrent à cet emplacement une dégradation de la couche végétale qui laisse apparaître, par endroits, le sol nu, mais aucun indice (alignement de pierre, microrelief) de la présence d'une structure archéologique enfouie. Après la phase de recomposition, géoréférencement et découpage de l'image, il a fallu définir le gradient de couleur à appliquer pour faire ressortir le plus précisément possible la distribution de l'information thermique au niveau de l'anomalie. L'histogramme des valeurs (Fig. 41) montre une distribution asymétrique des données avec deux pics (autour de 13 °C et 22°C). La forme de la distribution des valeurs de Ts limite les méthodes de discrétisation utilisable à celle des quantiles qui peut s'appliquer à ce type de distribution. Elle crée des classes qui contiennent le même nombre de données. Ici, le choix s'est porté sur 16 classes. Quant au boxplot, il indique que l'anomalie thermographique se trouve en dehors de l'écart inter-quantile. Le gradient de couleur devra donc mettre l'accent sur cette partie du spectre.



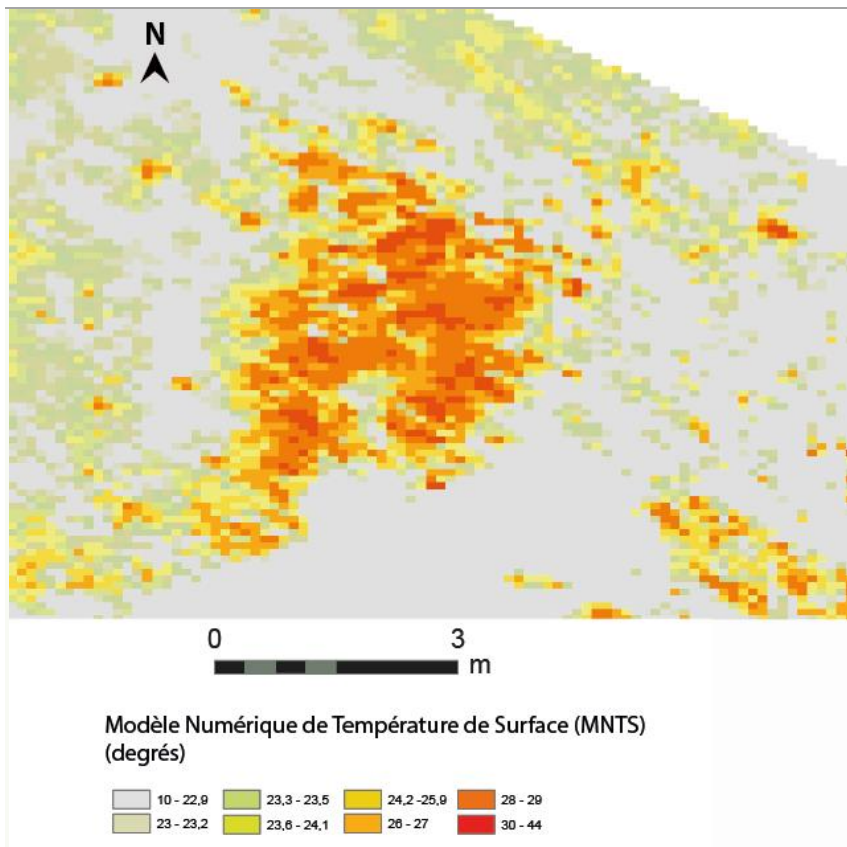


Figure 41 - MNTS classifié suivant la méthode des quantiles en 16 classes - Anomalie située au nord de la structure ENV\_003\_122 au Pla de l'Orri.

Juxtaposer le MNTS classifié sur une image aérienne prise par drone en octobre 2019 permet de mieux situer l'anomalie thermique par rapport aux irrégularités du couvert végétal (Fig. 43). La partie ouest de l'anomalie est fortement corrélée à la présence du sol nu. Il en va différemment pour la partie est. L'anomalie thermique chaude à cet emplacement résulte de la présence de roche sous le couvert végétal sans qu'il soit possible de confirmer, avec ces seules données, s'il s'agit d'une formation naturelle ou d'un aménagement anthropique.

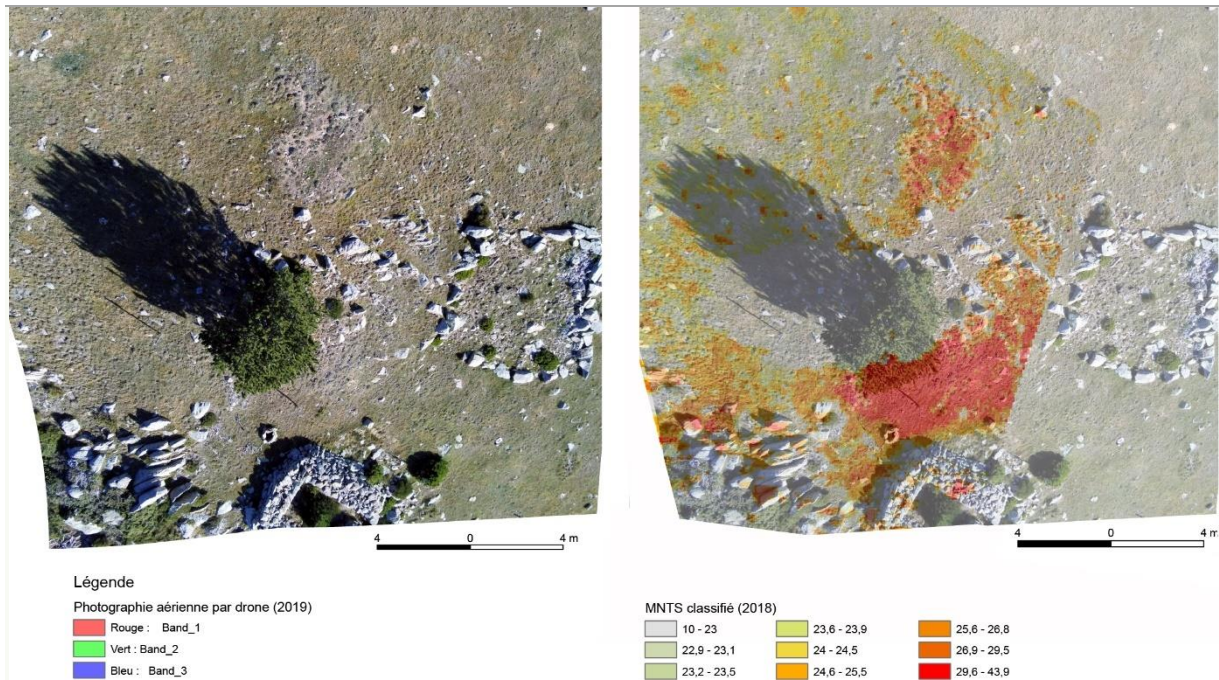


Figure 42 - A gauche, une photographie aérienne prise par drone en octobre 2019 de la zone située à 5 m à l'ouest de la structure ENV\_101\_101 et à 10 au nord de la structure ENV\_003\_122 ; A droite, juxtaposition de la photographie aérienne prise par drone en octobre 2019 de la zone située à 5 m à l'ouest de la structure ENV\_101\_101 et à 10 au nord de la structure ENV\_003\_122 et le MNTS reclassifié fait à partir d'une image thermique prise par drone en 2018

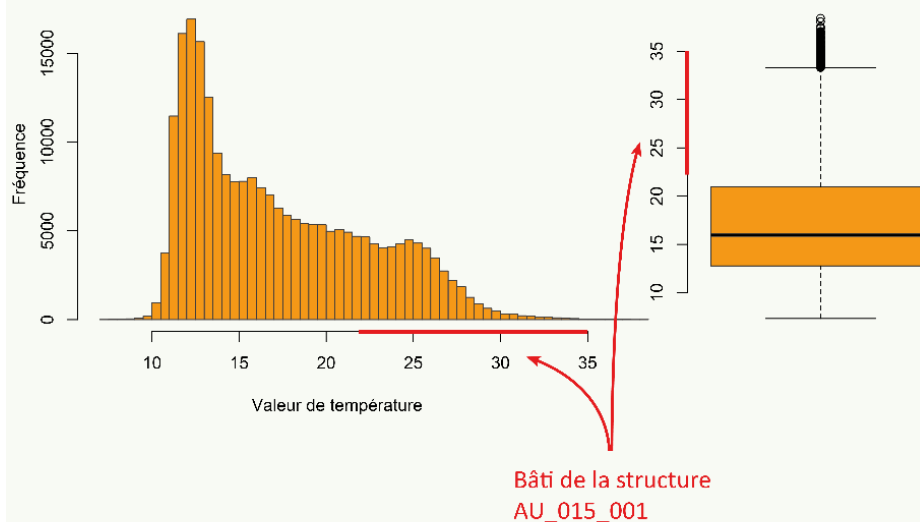
Placée sur une plateforme, la structure AU\_015\_001 domine le secteur d'Avays. Elle est parfaitement visible en surface et est identifiable par un macrorelief de forme rectangulaire de 6,34 m de long et 2,53 m de large (soit une surface intérieure évaluée à 15 m<sup>2</sup>). Ses hauts bourrelets, qui entourent une dépression centrale, sont bien conservés au sud, nord et ouest avec respectivement une hauteur de 1,26 m, 0,54 m et 0,48 m. La face est est totalement arasée.

L'objectif de cette acquisition thermographique est de déterminer si cette technologie permet d'avoir une meilleure lisibilité des modes de construction même sur les parties éboulées du bâtiment et/ou actuellement situées sous la couche végétale. Après reconstruction et géoréférencement de l'image thermique, il a fallu définir la méthode de discrétisation la plus adaptée pour répondre à l'objectif. Le choix de classification des données thermiques s'est appuyé sur l'analyse de l'histogramme, le boxplot (Fig. 44) et l'application Magrit.

Contrairement à l'analyse de l'image thermique prise à Enveitg, ici, les données sont plus homogènes (l'écart inter-quantile s'étend sur 4.27°C alors qu'il est de 8.88°C à Enveitg). Avec un pic de valeurs, entre 10 et 15 degrés Celsius, l'histogramme montre une distribution asymétrique biaisée à droite. Ce pic de température correspond aux zones d'ombre et notamment à celle située au sud de la structure (il s'agit de l'ombre portée des montagnes environnantes). Quant au bâti de la structure AU\_015\_001,

il est thermiquement situé dans une fourchette de température allant de 23 à 38 degrés Celsius. Tout comme pour le secteur d'Enveitg ici aussi, les valeurs thermiques à mettre en évidence sont situées en dehors de l'écart inter-quantile.

Histogramme et boxplot - IR d'Aulon (prise au zénith 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

Figure 43 -Histogramme et boxplot de l'image thermique prise au-zénith de la structure AU\_015\_001

Les méthodes de discrétisation des formes de distribution asymétrique sont limitées aux Seuils observés, aux effectifs égaux (quantiles), à la progression géométrique, à la progression arithmétique, aux Seuils naturels (Jenks) et au Q6 (Fig. 45). Après plusieurs tests, le choix s'est porté sur la méthode de progression géométrique parce-qu'elle permet de mieux représenter les valeurs faibles et qu'elle regroupe les valeurs fortes.

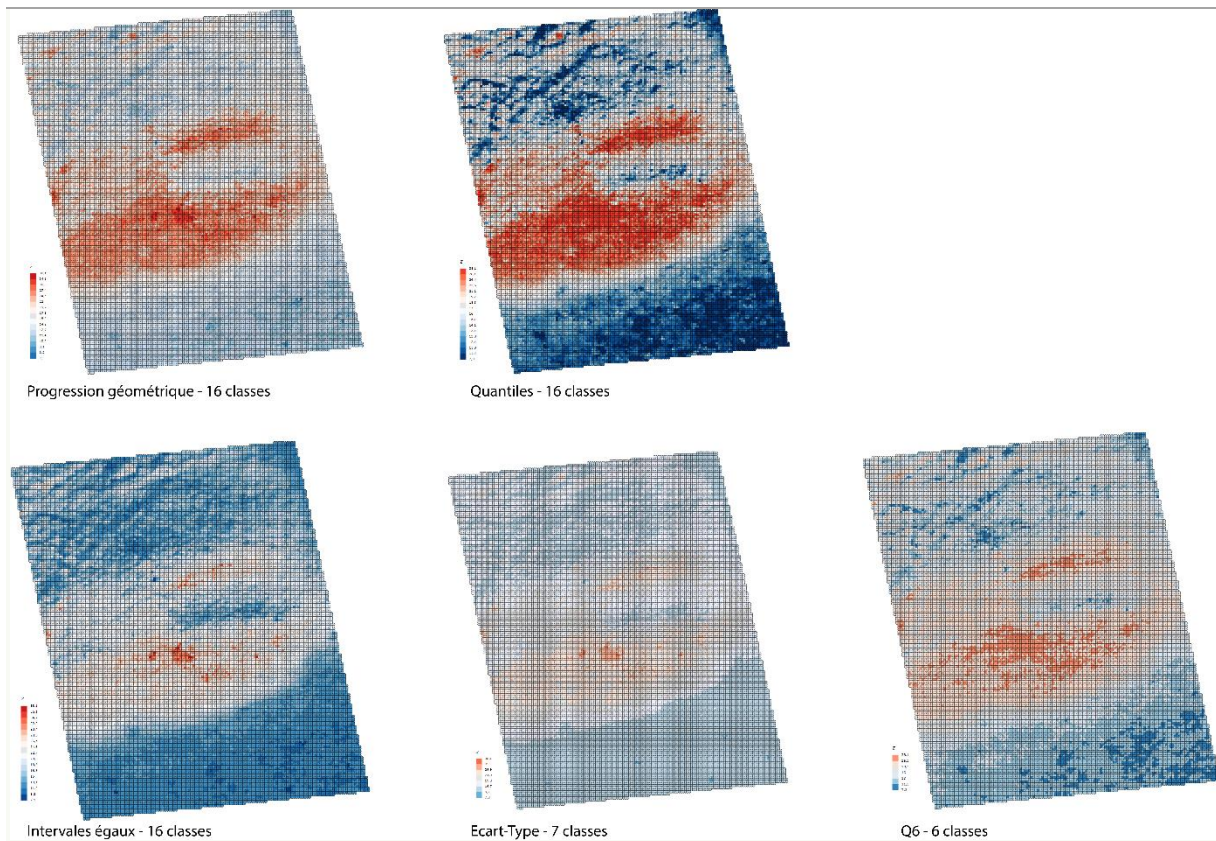


Figure 44 - Tests de discrétisation (réalisés avec l'application Magrit du CNRS)

Les valeurs froides (entre 7 et presque 17 degrés Celsius) ont été regroupées ; ce qui a permis de mettre l'accent sur les valeurs les plus chaudes et d'écarter les valeurs correspondant à l'ombre. Deux ruptures colorimétriques ont été positionnées à 22 degrés et 27 degrés de façon à mettre du contraste dans les températures chaudes et ainsi y distinguer des variations fines.

La modification du dégradé de couleur, son adaptation aux valeurs de température et à l'objet recherché (Fig. 46) permet d'observer plus finement le mur nord. Sur 5 m de long et 0,50 m de large deux lignes parallèles de points chauds (entre 27 et 37 degrés Celsius) indiquent la présence d'un mur à double parement de 80 cm de largeur. Pour la face sud se dessine une ligne de température plus basse (entre 22 et 23 degrés Celsius) qui marque la ligne entre les vestiges du mur sud en place et son éboulement. Ce mur aurait également une largeur de 80 cm. L'angle sud-ouest (murs ouest et sud) de cette construction prend appui sur un gros bloc rocheux ou du substrat. Ce système d'épaulement à un élément rocheux est très usuel dans ce type de contexte car il permet une stabilisation de l'édifice. La face ouest paraît peu marquée avec des températures allant de 19 à 29 degrés Celsius. La faible incidence thermique de ce mur peut résulter de son mode constructif. En effet, la structure AU\_015\_001 paraît avoir été installée soit dans une petite dépression, soit dans la pente obligeant un



creusement du sol naturel vers l'ouest pour aplanir le sol. Dans ce cas, le mur ouest aurait eu une élévation moins importante que le reste du bâti. La porte d'entrée paraît être située dans l'angle sud-est qui correspond à la zone présentant une Ts plus basse et assez homogène. Quant au mur est, il est thermiquement peu marqué (entre 14 et 23 degrés Celsius) et paraît avoir été constitué soit d'une paroi faite partiellement ou totalement en matériaux périssables, soit fait d'un mur en pierre totalement éboulé et recouvert par une épaisseur plus importante de sédiment qui empêcherait la perception de l'incidence thermique de l'éboulis. Enfin, l'image thermique retravaillée interroge sur une possible extension du site vers l'ouest avec la présence d'une trace linéaire thermique chaude pouvant révéler la présence sous-jacente d'un mur ou de la poursuite de l'épine du substrat rocheux. (Fig. 46)

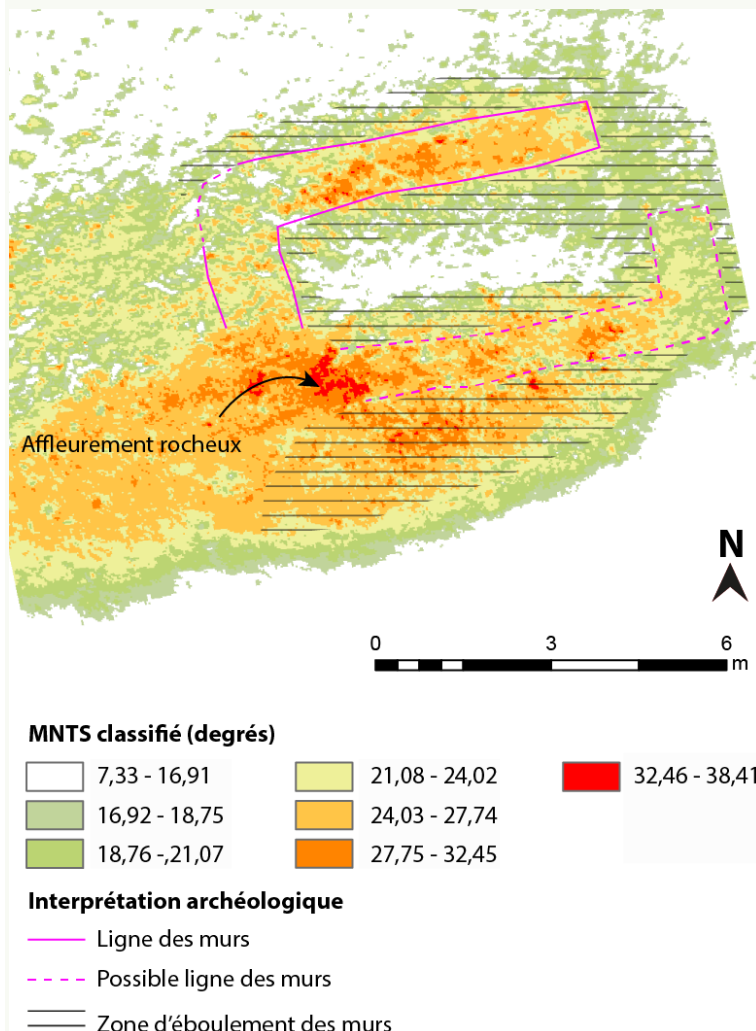


Figure 45 - MNTS classifié suivant la méthode de progression géométrique de la structure AU\_015\_001

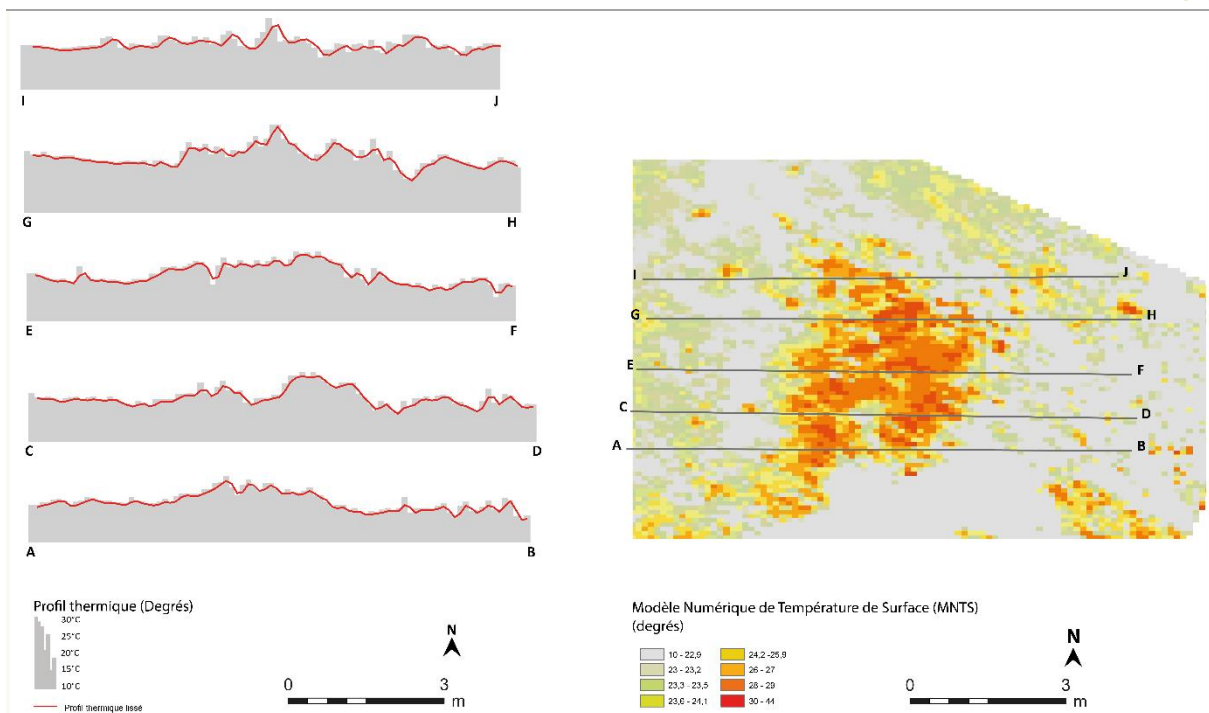
#### 10.1.2.4. Approche par les profils thermiques

Comme pour un Modèle Numérique de Terrain (MNT), il est possible de traiter un MNTS autrement que par la seule définition du meilleur gradient de couleur appliqué aux données.

Sur le MNTS réalisé à Enveitg au niveau de l'anomalie thermique situé à 5 m à l'est de la structure ENV\_101\_101, plusieurs profils thermiques ont été réalisés (Fig. 47). Par ces profils, ce qui est recherché est de représenter les valeurs de  $T_s$  le long d'un axe prédéfini. Ce travail a été réalisé avec le logiciel QGis et la fonction Profil Tool. Les différents tests réalisés montrent qu'il est préférable de positionner les profils thermiques perpendiculairement à l'anomalie et non pas dans leur prolongement. Les profils thermiques obtenus sont des courbes très anguleuses qui demandent à être lissées et généralisées pour en faciliter la lecture. Il est ainsi nécessaire de les recalculer sur la base des moyennes mobiles dans un logiciel tableur de type Excel. Ces profils lissés permettent d'observer les variations d'amplitude et la forme des changements de température.

Les profils thermiques obtenus se lisent comme les profils topographiques. Les pics correspondent aux températures fortes et les creux à des valeurs thermiques basses. Ainsi, un pic isolé de  $T_s$  peut indiquer la présence d'un bloc affleurant la surface qui s'est réchauffé plus vite que les sédiments qui l'entourent et un creux peut correspondre à une zone d'ombre ou à une zone plus humide qui se réchauffe plus lentement que les éléments qui l'entourent. De plus, plus l'angle d'incidence de la courbe est fort (quel que soit sa direction) et plus le changement de température est brutal.

Dans le cas des profils effectués sur l'anomalie thermique à Enveitg, le « lissage » a été calculé suivant la méthode des moyennes mobiles avec un ordre de 2. Ces profils thermiques (Fig. 47) montrent, de part et d'autre de l'anomalie, de légères fluctuations de la courbe de température, entre 20 et 22 degrés, qui signent un couvert végétal non uniforme avec la présence de quelques blocs épars. Ces légères variations se retrouvent sur l'ensemble des profils thermiques, excepté au niveau de l'anomalie thermique où les profils notent une très nette augmentation de la température (entre 25 et 42 degrés). Les profils thermiques G-H, E-F et C-D présentent, au niveau de l'anomalie, une hausse des températures indicatrice de la présence sous-jacente d'une masse de pierre plus importante à cet emplacement. Le profil C-D est marqué par deux hausses de température sur 0,80 m de large espace de 1 m.



**Figure 46 - Profils des températures sur l'image thermique – zone Nord - Enveitg. Localisation des profils et représentation des profils thermiques brutes et lissés avec les méthodes des moyennes mobiles avec une période de 2.**

Le même type de traitement a été reproduit sur le MNTS de la structure AU\_015\_001 du secteur d'Avays dans la Réserve Naturelle d'Aulon. 6 profils d'axe nord-est/sud-ouest ont été effectués puis lissés avec la méthode des moyennes mobiles avec un ordre de 30. (Fig. 48). Tout comme sur Enveitg, les profils thermiques montrent ici aussi une différence de température entre le bâti et l'extérieur. Les alentours de la construction sont thermiquement presque « atones » et seulement marqués de quelques pics de température qui signalent la présence de blocs épars. Cette uniformité thermique est rompue par la présence de la structure. Avec une moyenne de température située aux alentours de 16 degrés Celsius, l'intérieur même du bâtiment est thermiquement bas et correspond à l'extérieur de la structure. Les profils C-D, E-F, G-H et I-J soulignent l'incidence thermique des murs de cette construction ainsi que celle laissée par la masse de leurs éboulements. A l'emplacement des murs la Ts peut plus que tripler (passer de 11 à 38 degrés) par rapport à l'environnement immédiat. Les augmentations de température brusques, notables par un fort angle d'incidence du profil, suivie d'un « plateau thermique » sont les indicateurs de la présence sous-jacentes d'un mur (la masse des blocs qui constitue le mur est identique sur toute sa largeur). Les pics dépassant de ces plateaux notent la présence de pierres affleurantes ou dépassants la couverture végétale qui recouvre la structure. Lorsque cette augmentation est tout aussi importante mais avec un angle d'incidence plus doux, cela désigne la présence de l'éboulis d'un mur. Le profil CD permet de confirmer la localisation de la porte

du bâtiment dans l'angle nord-est. En effet, le mur nord, qui forme le jambage droit de la porte, est perceptible par une hausse de température, un plateau thermique, et une chute des températures au niveau de la porte, suivie d'une remontée de la TS qui marque la présence du mur de la face est. Quant au substrat rocheux sur lequel s'appuie l'angle sud-ouest de la structure, il ne se traduit pas thermiquement par une hausse très importante des températures (profil IJ) par rapport aux murs. A son emplacement la Ts fluctue entre 30 et 34 degrés.

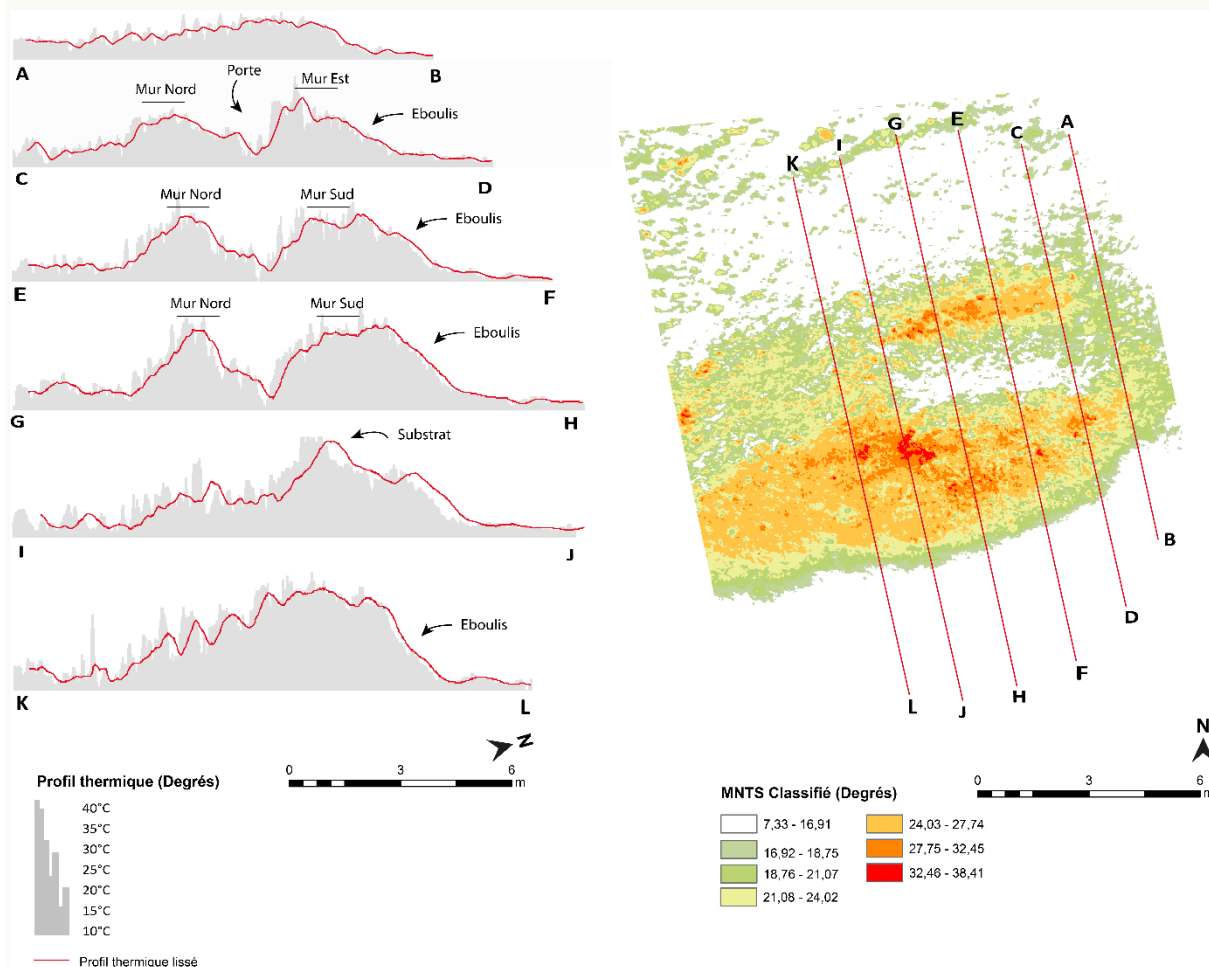


Figure 47 - Profils thermiques bruts et lissés (méthodes moyennes mobiles avec un ordre de 30) réalisés au niveau de la structure AU\_015\_001 – Secteur d'Avays (Réserve Naturelle d'Aulon).

### 10.1.3- Amélioration de la perception des structures enfouies

Sur le secteur d'Enveitg, l'investigation thermographique à partir de clichés obliques réalisés en 2018 avait pour objectif la détection de structure archéologique enfouie. Elle a d'ailleurs permis de localiser et préciser une anomalie de la Ts à 10 m au nord de la structure ENV-001-122. En analysant cette

irrégularité, sa forme générale (rectangulaire), la présence d'un angle droit au nord-est et de deux lignes parallèles de 80 cm de large (qui est la largeur la plus courante pour des murs de structures pastorales d'altitude) (Rendu et al, 2016) pourraient être des indicateurs permettant de l'identifier comme étant le marqueur de la présence d'une structure anthropique sous la couverture végétale. Toutefois, la faible distance, 1 m, qui sépare les deux lignes parallèles interroge. Certaines infrastructures pastorales sont étroites, comme les couloirs de traite, mais ce type d'aménagement s'étend à minima sur une dizaine de mètres alors que cette anomalie se développe sur 6 m de long. La masse de blocs au nord de l'anomalie thermique interpelle également. Elle n'est pas située dans le prolongement des deux lignes parallèles, mais légèrement décalée dans l'angle nord-est. S'agit-il du substrat qui affleure ou résulte-t-elle du processus de destruction d'un bâtiment qui serait visible par les deux lignes parallèles plus chaudes ?

Dans le cas présenté ici, la thermographie aéroportée par drone ne fournit pas suffisamment d'information pour pouvoir identifier avec certitude l'anomalie comme étant indicatrice de la présence d'une structure archéologique sous-jacente. Elle marque toutefois une zone d'interrogation et d'intérêt qui devra être inspectée de façon ciblée avec d'autres outils non-invasifs tels que le géoradar ou le magnétomètre.

Sur le secteur d'Avays dans la Réserve Naturelle d'Aulon, la thermographie aéroportée par drone avec des prises de vue zénithale à basse altitude permet une observation fine des modes constructifs d'une structure archéologique repérée lors d'une prospection pédestre : localisation de la porte, identification d'une architecture avec des murs à double parement et d'un épaulement du bâti sur un ressaut du substrat rocheux dans l'angle sud-ouest, délimitation des murs et de leurs éboulis. Elle ouvre également à des interrogations sur le travail préalable du terrain et questionne sur un possible surcreusement ou sur une installation du bâtiment en exploitant un relief naturel existant.

Ces deux séries d'acquisition interpellent également sur la traduction thermique de la profondeur des vestiges archéologique. En d'autres termes, est-ce-que l'amplitude des variations de la Ts visible sur les images thermiques et sur les profils thermographiques peut être significative de la profondeur des vestiges, de leur volume et/ou de leur proximité par rapport à la surface ?

De la détection d'anomalies thermiques indicatrices de la présence de structures enfouies à l'amélioration de la perception des modes constructifs, la thermographie aéroportée par drone est un outil à valoriser et à intégrer dans le cadre des programmes de détection archéologique en montagne et à tester dans d'autres milieux. Toutefois, utiliser un capteur thermique en archéologie demande de pousser l'analyse des images et d'aller au-delà de la simple constatation visuelle d'une variation du

gradient de couleur appliqué automatiquement par le logiciel propriétaire. Il faut sortir de ces cadres trop « restrictifs » et traiter l'information thermique différemment. Cette ouverture a d'autres traitements des données thermographiques peut notamment passer par la réalisation d'un Modèle Numérique de Température de Surface (MNTS) et des profils thermographiques. C'est la mise en évidence des variations de  $T_s$ , l'analyse de leur distribution spatiale et la confrontation des points de vue entre les profils et la vision planimétrique qui est le plus riche de renseignement.

## 10.2- Détection des aires de stabulation

En 2018, le premier test d'utilisation de l'XRF pour la détection et la délimitation des aires de parcage du bétail a donné de très bons résultats (Calastrenc et al, 2018). Ces tests se sont poursuivis en 2019 à la fois sur l'estive d'Enveitg et dans le territoire de la Réserve Naturelle d'Aulon sur le secteur de l'Auloueilh.

Une campagne de deux jours de relevés XRF a été réalisée sur le secteur du Pla de l'Orri à Enveitg. Il avait pour but de poursuivre le travail de détection des aires de parcage en s'axant sur un relevé planimétrique et sur des transects. Le choix s'est porté sur un enclos récent : ENV-003-121. (Fig. 49)

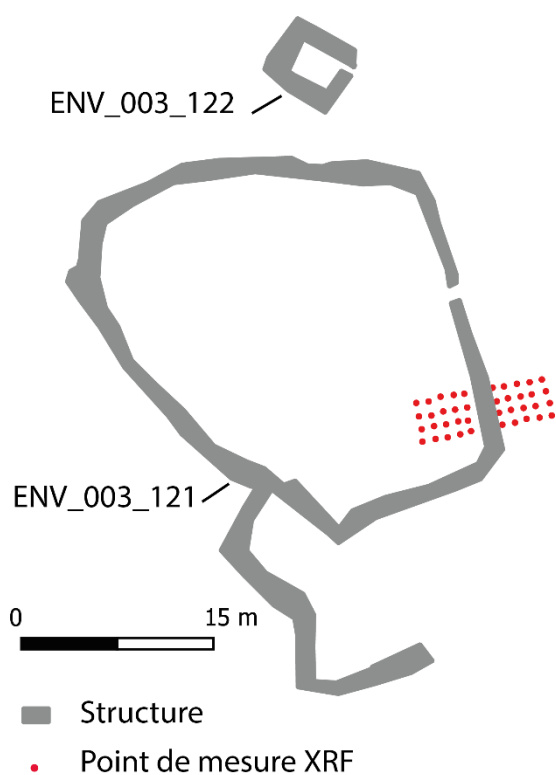


Figure 48 - Localisation des points de mesure XRF réalisés en 2019 au Pla de l'Orri (Enveitg - 66)

Quant à la campagne de deux jours de relevés XRF sur le secteur de l'Auloueilh de la Réserve Naturelle d'Aulon, il s'est agi de poursuivre le travail de définition des conditions d'utilisation de l'XRF en prospection et d'affiner la procédure de traitement des données. Sur ce secteur, le mode d'acquisition choisi a été le relevé par transect.

Quatre transects ont été réalisés (Fig. 50) :

1. Entre la structure AU\_017\_002 et AU\_017\_004, 6 points de mesure ont été faits dans une zone très modifiée par les derniers travaux d'aménagement de l'ensemble pastoral actuel et par une valorisation des structures pastorales anciennes non suivie par les services d'état en charge du patrimoine. (Site 1a)
2. A 3 mètres à l'ouest de la structure AU\_090\_001, 6 points de mesures ont été faits sur un espace pour lequel aucun indicateur de surface ne permet d'indiquer qu'il a été utilisé comme aire de parcage. (Site 1b)
3. A l'intérieur d'un espace herbagée délimité à l'est par des blocs repoussés sur les marges et entassés sans soin, deux transects comprenant 6 points de mesure chacun ont été réalisés. (Site 2a et 2b)

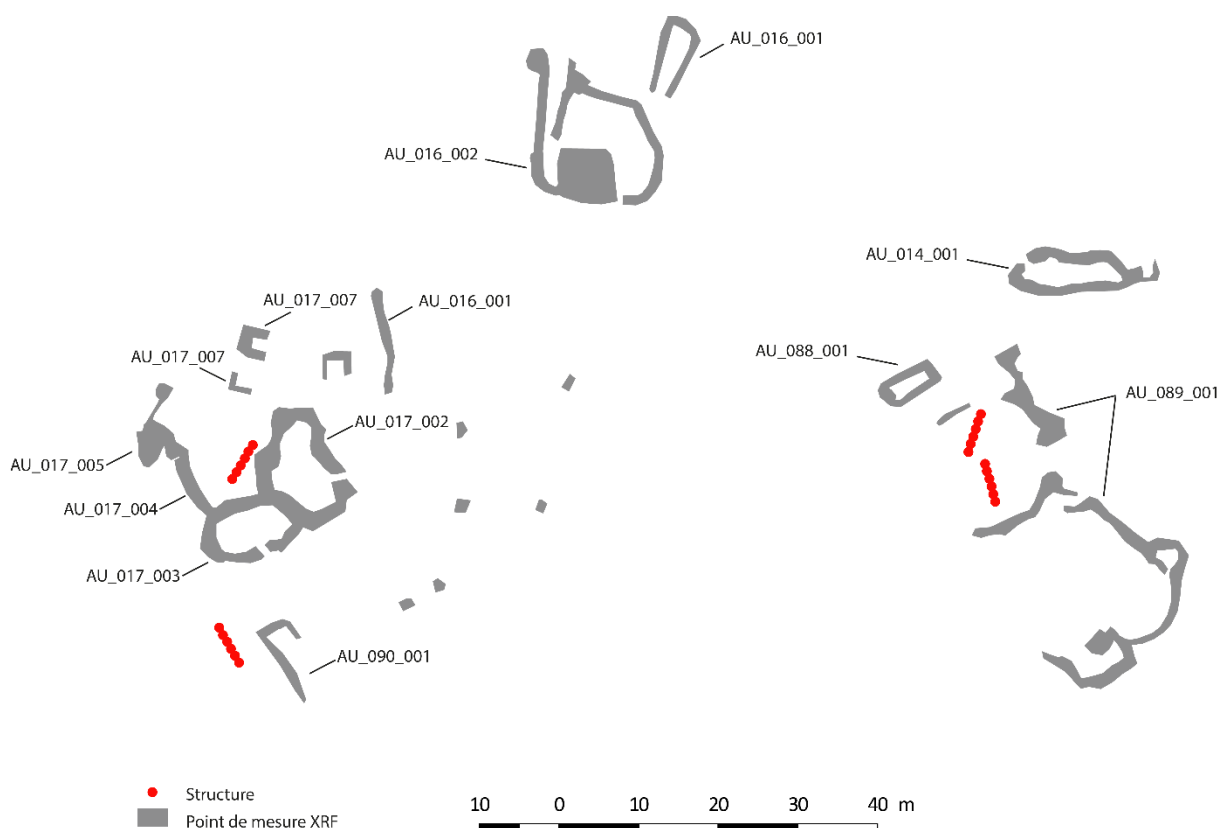


Figure 49 - Localisation des points de mesure XRF réalisés en 2019 au secteur de l'Auloueilh de la Réserve Naturelle d'Aulon (65)

Le travail en planimétrie, sur une « aire de mesure », est l'approche la plus couramment utilisée en archéologie. Elle permet une visualisation des variations spatiales des taux des éléments chimiques pris en compte et peut-être réalisée sur la totalité des niveaux stratigraphiques mis au jour. Toutefois, cette technique est très longue. Une mesure prend impérativement 2 minutes auquel il faut rajouter 2 à 3 minutes pour s'installer sur le point suivant. Il est donc difficile de traiter plus de 60 points de mesure par jour. Travailler suivant des transects permet de traiter plus de surface, plus de site mais réduit la visualisation de l'information à une ligne.

### **Choisir la méthode de forage**

Maximiser le nombre de points de mesure demande également de définir le meilleur outil pour faire le « forage ». Le choix du matériel est important. Il doit permettre de faire un « forage » de 20 cm de large (pour laisser de la place à l'appareillage XRF) et doit être transportable à dos sur de grande distance. L'accès aux zones-test se fait à pied. Ainsi, monter au Pla de l'Orris représente 1h45 de marche et demande de couvrir un dénivelé de 500 m de dénivelé. Quant au secteur de l'Auloueuilh, il faut marcher 1h30 et parcourir 400 m de dénivelé. Le matériel transporté ne peut donc pas être lourd, ni encombrant. En 2018, nous avons utilisé une truelle. Avec cet outil, le travail de creusement est précis, mais très chronophage. En 2019, nous avons utilisé une tarière à main de 20 cm de diamètre. (Fig. 51) Ce matériel s'est avéré efficace. Le seul problème : les pales de 20 cm sont trop fragiles. Elles se sont tordues et une s'est même arrachée au bout du 4<sup>ème</sup> jour d'utilisation. En 2020, nous devons essayer un autre type de système de forage : tarière manuelle de 10 cm, tarière motorisée (qui a pour défaut majeur son poids) ou un appareillage de carottage (qui permettrait de faire tout ou partie des mesures sur place et d'emporter des échantillons en laboratoire).

### **Temps d'acquisition**

Acquérir des mesures XRF demande du temps et des bras. En effet, la prise de mesure nécessite de positionner un carroyage, puis d'enlever, pour chaque point de mesure, l'herbe en la coupant au niveau du collet. Pendant qu'un opérateur place l'appareil en contact avec le sédiment sans bouger pendant 2 minutes (temps de la prise de mesure), deux autres opérateurs se chargent de préparer les points de mesure suivants. Une fois les mesures de surface faites, un opérateur se charge de forer le point de mesure jusqu'au point de mesure suivant. A ce temps, il faut rajouter le temps de montée et de descente sur zone (3h), le temps de mise en place du carroyage (1h) et les temps de pause (1h). A trois personnes, avec 4 minutes par points de mesure, il est possible de prendre 60 points de mesure par jour.





Figure 50 - A gauche réalisation d'un point de mesure avec une tarière manuelle de 20 cm de diamètre ; à droite, mesure avec l'XRF

#### Choix des filtres XRF :

La plateforme "[Paléo-environnement et géo-archéologie](#)" du laboratoire GEODE (UMR 5602) dispose d'un spectromètre de fluorescence par rayon X, le Niton – Modèle XL3t-980. Il permet de mesurer une partie des éléments lourds et légers (Fig. 51).

Le résultat d'un relevé XRF est un tableau présentant les taux relevés des différents éléments (Cf Annexe du présent rapport). Lors d'un relevé XRF, il arrive que la valeur mesurée soit inférieure au seuil de détection. Dans le tableau figurera alors l'information suivante : <LOD. Les limites de détections sont connues. Par exemple, la limite de détection du phosphore est située entre 10 et 50 ppm et entre 5 à 10 ppm pour le potassium (Abrahams et al, 2010).

Cet appareillage permet également de disposer de la marge d'erreur de la mesure par élément. Or, il arrive parfois que la marge d'erreur ne puisse pas être calculée parce que la valeur mesurée est inférieure au seuil de détection. Dans ce cas-là, la précision « 300000 » est notée dans la case de la marge d'erreur correspondante. Il faut également faire attention aux données pour lesquelles la marge d'erreur est trop importante par rapport à la valeur mesurée. A titre d'exemple, pour le phosphore, les valeurs mesurées à Enveitg en 2019 s'étalonnent entre 887 et 9735 ppm avec une marge d'erreur qui va de 106 à 896 ppm. La mesure XRF peut dans ce cas être utilisée.

**TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS**

Le tableau périodique des éléments chimiques est présenté avec les éléments mesurés par l'XRF du laboratoire GEODE en vert. Les éléments sont classés par périodes (1 à 7) et groupes (IA à VIIIA). Les éléments en vert incluent : B, C, N, O, F, Ne, Al, Si, P, S, Cl, Ar, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba, La-Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Po, At, Rn, Fr, Ra, Ac-Lr, Rf, Db, Sg, Bh, Hs, Mt, Uu, Uub, Uuq, Uuq.

Figure 51 - Tableau périodique des éléments (en vert, les éléments mesurés par l'XRF du laboratoire GEODE)

### 10.2.1- Définition des éléments chimiques à rechercher

Avant de s'intéresser à l'analyse des différents taux d'éléments chimiques relevés sur le terrain, il est nécessaire de s'interroger sur la composition des déjections (solides et liquides) des herbivores domestiques.

En archéologie, le phosphore (P) est considéré comme l'indicateur à prendre en compte pour localiser et reconnaître certaines activités humaines (dépotier, sépulture, ...). Lorsque le taux de P est très élevé, il est perçu comme le marqueur d'une zone de stabulation/parcage (Holliday, Gartner, 2007 ; Lancelotti, Madella, 2012). Ce qui est recherché par l'archéologue de l'élevage est la variation de la distribution spatiale de P. Cette spatialisation non-homogène trouve son origine dans la distribution des déjections animales. En contexte de pâturage d'altitude, la localisation des déjections dépend principalement du comportement animal (choix des zones de repos comme les replats, les bords de point d'eau, les pieds de falaise ou de gros blocs, ...) et de la variabilité spatio-temporelle de leurs activités (pâturages, repos, traite, garde pour la nuit).

Les micromorphologues identifient les aires de stabulation/parcage par une structuration particulière des sédiments : la fraction fine, constituée de matière organique, entoure et comble l'espace entre la fraction grossière (Shahack-Gross, 2002, p. 445). Avec le temps, la matière organique (végétaux et fumier) déposée sur le sol va se décomposer et s'incorporer aux sédiments. Le phosphore va se fixer sur les minéraux argileux ou ferreux, l'aluminium ou le calcium pour former des minéraux phosphatés.

Les travaux en ethnoarchéologie réalisés en Kurdistan iranien (Elliot, Bendreu, Whitlam, Rauf, Evans, 2015, p. 295) sur l'élevage moderne, se sont appuyés sur l'analyse des phytolithes (microfossile végétal) et sur des mesures XRF réalisées sur 11 échantillons de fumier moderne. Seul a été pris en compte, le taux de P. Il montre que le taux de phosphore est un peu plus important sur du fumier bovin (variation entre 3865 ppm et 15600 ppm) que sur celui de ovi-caprinés (variation de 1879 ppm à 9346 ppm). Il y a donc une variabilité du taux de P dans les fumiers en fonction des espèces. Sur un de nos terrains d'expertise, le Pla de l'Orri, trois mesures XRF ont été faites sur des bouses de bovin, plus ou moins sèches, visibles à la surface du pâturage. Elles indiquent un taux de P de 3825 ppm, 4899 ppm et 6261 ppm. Les mesures des taux de P relevés sur les excréments bovins en surface à Enveitg et en Iran donnent une « échelle de comparaison », une gradation, avec les taux de P relevés dans les sédiments. Ainsi, un taux de P inférieur aux valeurs mesurées indique un espace pâturé mais sur lequel les animaux ne stationnent pas, alors qu'un taux de P supérieur à 3000 ppm dénote un espace plus chargé en matière organique. Un taux supérieur à 6000 ppm note la forte présence de matières organiques dans le sol. Ces valeurs ne sont pas fixes. Elles permettent juste d'avoir une représentation mentale basée sur l'expérience et la mesure des taux de P

Mais, le phosphore n'est pas le seul constituant des fumiers, ni le seul traceur de l'activité d'élevage. De nombreux travaux de recherches en écologie montrent l'impact du fumier sur le développement végétal des pâturages et s'intéressent à sa composition (Bloor, Jay-Robert, Morvan, Fleurance, 2012 ; Christophe, 2004). Ainsi, pour les fèces, les éléments à tracer sont le phosphate (P), le calcium (Ca), la magnésium (Mg) et l'azote (N). Quant aux urines, elles sont retraçables par le potassium (K), le sodium (Na) et l'azote (N). A ces éléments, il est possible de rajouter trois métaux lourds, le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le manganèse (Mn). (Bloor, Jay-Robert, Morvan, Fleurance, 2012 ; Christophe, 2004) Ces études (Trotter, Nicol, Ridgway, 2006) notent également que le taux des éléments chimiques sont différents une fois incorporés dans le sol. Il existe donc une variation entre le taux perçu dans les déjections en surface et dans le sol. Ainsi le taux de P retenus dans le sol varie entre 51 et 59 % par rapport à la surface (il y a environ 50% moins de P dans le sol qu'en surface), alors que celui du S (Soufre) oscille entre 15 et 31% (Seul 15 à 30% du S est conservé dans les sédiments). Quant au potassium (K) son taux dans le sol est quasi identique que lors de son dépôt.

Les relevés réalisés, en 2019, au Pla de l'Orri sur l'estive d'Enveitg seront centrés sur l'observation des taux de P, Mg, Cu, Zn et Mn.

Quant à ceux réalisés sur le territoire de la Réserve Naturelle d'Aulon, deux transects (2a et 2b) permettront d'élargir le spectre au phosphore (P), Magnésium (Mg), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Manganèse (Mn), calcium (Ca) et potassium (K).

---

## 10.2.2- Enveitg

### 10.2.2.1- Protocole d'acquisition

---

En 2019, le protocole d'acquisition XRF a été le suivant :

- Positionnement d'un carroyage de 1m<sup>2</sup> à l'extérieur et à l'intérieur de l'enclos ENV-003-121. Un premier quadrillage de 4 x 5 m a été mis en place à l'intérieur de l'enclos entre la porte est et le mur sud. Le second carroyage, de même superficie, a été placé dans le prolongement du premier, vers l'est. L'ensemble représente 40 points de mesure (Fig. 52)  
L'avantage de mettre en place un carroyage de 1m<sup>2</sup> est d'avoir une résolution fine et égale à l'intérieur et à l'extérieur de la structure. L'inconvénient est le temps d'acquisition (presque 3h par niveau de mesure).
- 3 niveaux de mesure ont été réalisés
  - ✓ 1 mesure en surface
  - ✓ 1 mesure à 5 cm de profondeur
  - ✓ 1 mesure à 10 cm de profondeur
  - ✓ Et 7 points de mesure, situés le long d'un transect intérieur/extérieur, ont fait l'objet d'une mesure à 15 cm de profondeur.

En deux jours, 125 mesures XRF ont été prises : 64 mesures à l'intérieur de l'enclos et 61 mesures à l'extérieur.

L'enclos choisi pour ce deuxième test d'utilisation de l'XRF est un enclos récent (XIX-XXème siècle). L'objectif est de définir s'il est possible de percevoir l'occupation récente de ce site, s'il est possible d'observer une différence entre intérieur et extérieur de l'enclos et si cet espace a fait l'objet d'une occupation antérieure (ce qui est soupçonné par Christine Rendu).

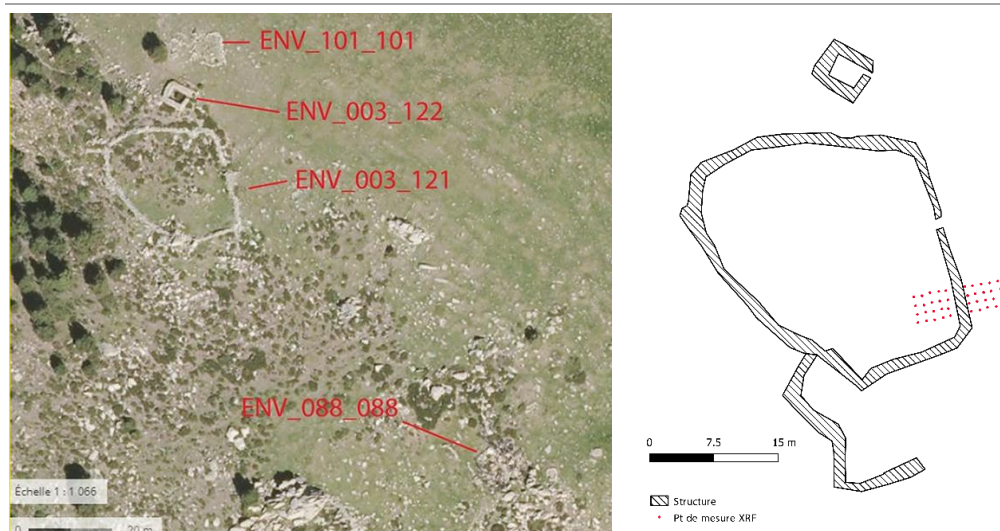


Figure 52 - Localisation des points de mesure XRF

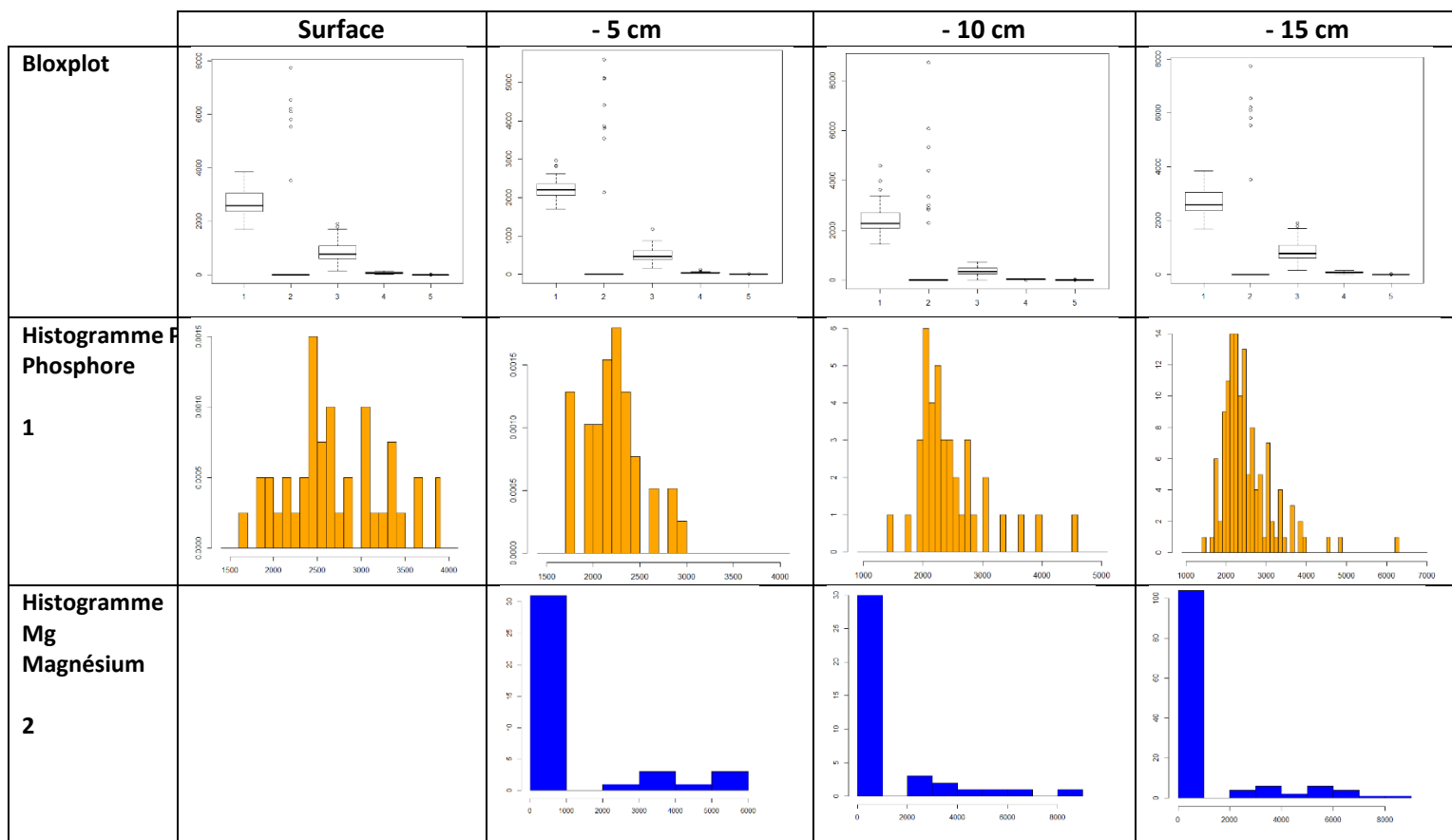
### 10.2.2.2.- Statistiques descriptives

Observer les résultats des mesures XRF dans leur ensemble (Fig. 53 et 54), permet de distinguer une variation des valeurs en fonction des éléments et de la profondeur de la mesure.

	Surface		- 5 cm		- 10 cm		- 15 cm	
	Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur
<b>Nombre de mesures</b>	<b>Phosphore (P)</b>							
	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
Minimum 1er Quantile Médiane Moyenne 3ème quantile Maximum	<b>Phosphore (P)</b>							
	1944	1696	1753	1706	1938	1438	2144	2106
	2389	2369	2115	1969	2105	2075	2240	2287
	2661	2524	2208	2202	2324	2265	2662	2467
	2766	2603	2247	2185	2605	2311	2643	2394
	3123	3021	2322	2366	2753	2456	3065	2538
	3850	3431	2824	2968	4579	3631	3105	2609
Minimum 1er Quantile Médiane Moyenne 3ème quantile Maximum	<b>Magnésium (Mg)</b>							
	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	224.1	0	0	0
	0	0	0	0	348.4	0	0	0
	1146	928.4	818.8	906	361.9	1298	0	0
	0	0	0	0	519.2	2595	0	0
	7750	6539.1	5604.6	5123	728.4	8739	0	0
Minimum 1er Quantile Médiane Moyenne	<b>Manganèse (Mn)</b>							
	149.1	222.2	157.9	222.4	0	0	58.91	372.9
	582.6	625.7	361.2	419.9	0	279.4	78.42	440.6
	780.6	810.0	445.0	473.9	0	345.0	181.30	508.3
	829.4	889.9	05.2	488.4	711.4	331.3	176.12	503.1

3ème quantile	1053.3	1099.5	639.5	572.7	0	105.4	279.00	568.2
Maximum	1925.7	1805.2	1177.3	715.2	607.1	662.5	282.95	628.1
<b>Zinc (Zn)</b>								
Minimum	24.31	28.44	28.78	33.99	0	15.99	20.19	33.08
1er Quantile	54.51	61.98	43.40	39.02	29.31	28.77	20.24	35.12
Médiane	90.31	74.47	45.95	43.52	37.42	34.18	25.75	37.16
Moyenne	94.79	77.44	51.45	43.80	34.34	32.87	25.74	37.47
3ème quantile	129.52	91.62	55.91	48.89	43.24	36.91	31.25	39.66
Maximum	162.34	148.70	120.82	62.70	54.48	51.21	31.28	42.17
<b>Cuivre (Cu)</b>								
Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0
1er Quantile	0	0	0	0	0	0	0	0
Médiane	0	0	0	0	0	0	0	0
Moyenne	2.66	2.136	2.228	0	1.833	2.249	0	0
3ème quantile	0	0	0	0	0	0	0	0
Maximum	16.69	16.49	13.040	0	12.830	18.000	0	0

Figure 52 –Tableau présentant les statistiques descriptives des mesures XRF du P, Mg, Mn, Zn et Cu



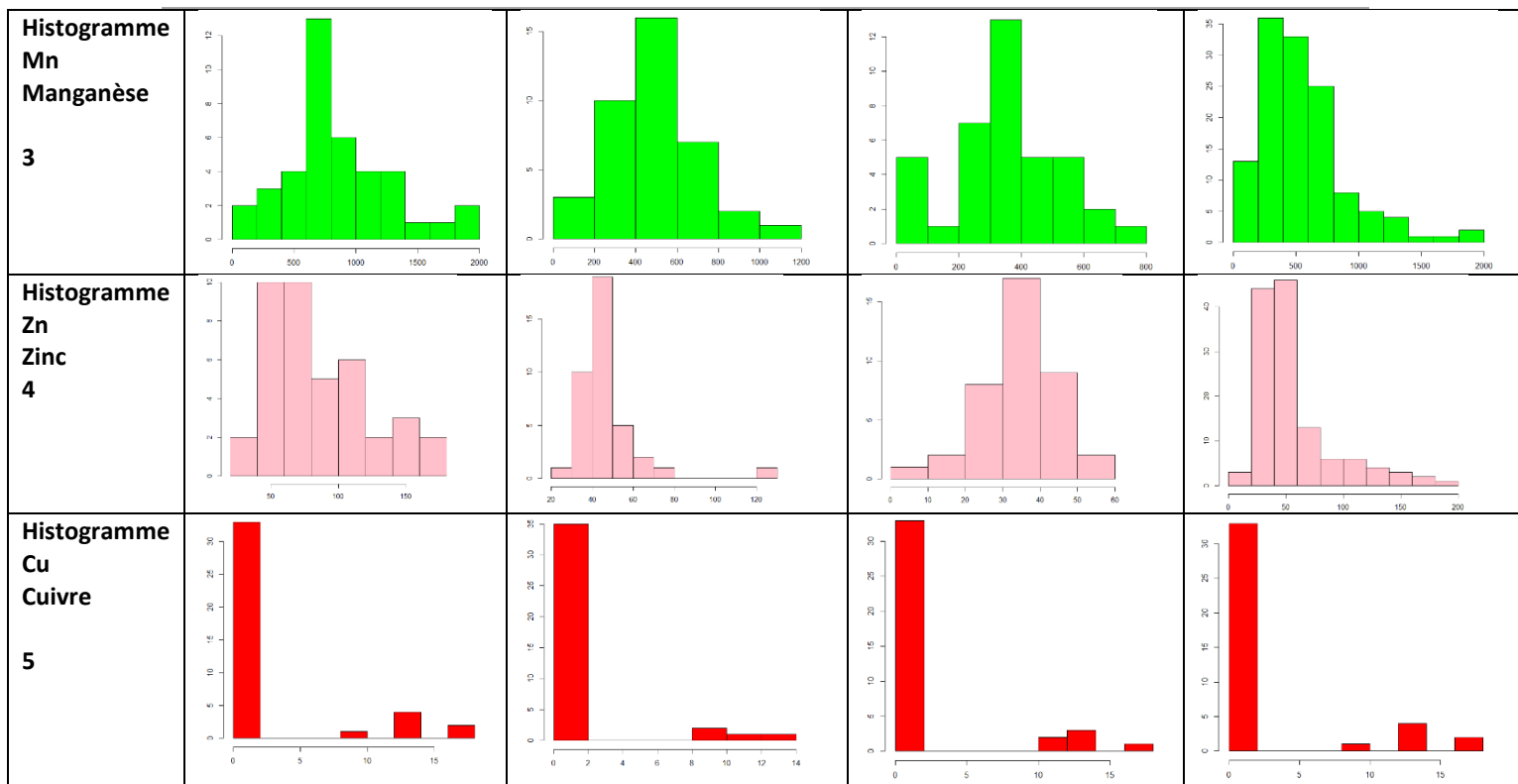


Figure 53 - Tableaux de répartition des effectifs de P, Mg, Mn, Zn et Cu en fonction de la profondeur (Boxplot et histogramme)

Parmi les 5 éléments tracés (P, Mg, Mn, Zn et Cu), celui qui est le plus présent est le Phosphore (P) alors que sa masse atomique n'est pas très élevée (avec 30,9737 uma -unité de masse atomique- il fait partie des éléments légers). Vient ensuite, en proportion, le Manganèse (Mn), le Magnésium (Mg), le Zinc (Zn) et le cuivre (Cu). Le Manganèse, le Zinc et le Cuivre sont des métaux lourds. Ainsi, si l'on tient compte de la quantité relevée et de la masse de ces éléments, le magnésium est plus marquant que les Manganèse, le Zinc et le Cuivre.

Masse atomique des éléments	
Phosphore =	30.9737 uma
Manganèse =	54.9380 uma
Magnésium =	24.305 uma
Zinc =	65.38 uma
Cuivre =	63.546 uma

Avec le logiciel R, il est possible de pousser un peu plus avant l'analyse des données en se basant sur des statistiques descriptives de chaque élément (Minimum, maximum, 1<sup>er</sup> quantile, médiane, moyenne et 3<sup>ème</sup> quantile) en fonction de la profondeur et en prenant en compte l'intérieur et l'extérieur de l'enclos testés de façon différenciée. Ces statistiques servent à décrire chaque série de données de façon globale et voir des tendances d'évolution. Il est également possible de faire varier les modes de représentation en créant des boxplots (ou Boîte à moustache) et des histogrammes (Fig. 55)

Placées sur un histogramme groupé (Fig. 55), il est possible d'observer la distribution des valeurs des éléments mesure. Ainsi, le taux de P est élevé en surface (de 1600 ppm à 3800 ppm), puis, à 5 cm de profondeur, il décroît (1700 à 2900 ppm), pour ensuite remonter à 10 cm de profondeur (entre 1400 et 4500 ppm). Cette variation se perçoit également pour le Manganèse. En surface, il est fort (entre 140 et 1900 ppm), puis baisse légèrement (de 5 à 1100 ppm) pour remonter (de 400 à 700 ppm). Les 3 autres éléments (Magnésium, Zinc et Cuivre) ont une forme de distribution différente : elle décroît avec la profondeur.

Les 7 points de mesure faits à 15 cm de profondeur seront traités à part.

Les taux de Mg et Cu sont inférieurs au seuil de détection de l'XRF utilisé. Ces deux éléments ne seront donc pas pris en compte dans l'analyse.

Les roches du Pla de l'Orri sont des blocs de granite qui sont constitués à 73% de dioxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ ), à 14% d'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), à 9% d'oxyde de sodium et de potassium ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) et de 2% d'oxyde de fer, de magnésium, de manganèse et de calcium. Prendre en compte le fer, le magnésium, le manganèse et le calcium demande de mesurer les taux précis de ces éléments dans l'environnement immédiat du site pour connaître leurs taux moyens et ainsi pour observer des apports externes.

Ne sera donc ici pris en compte que le phosphore.



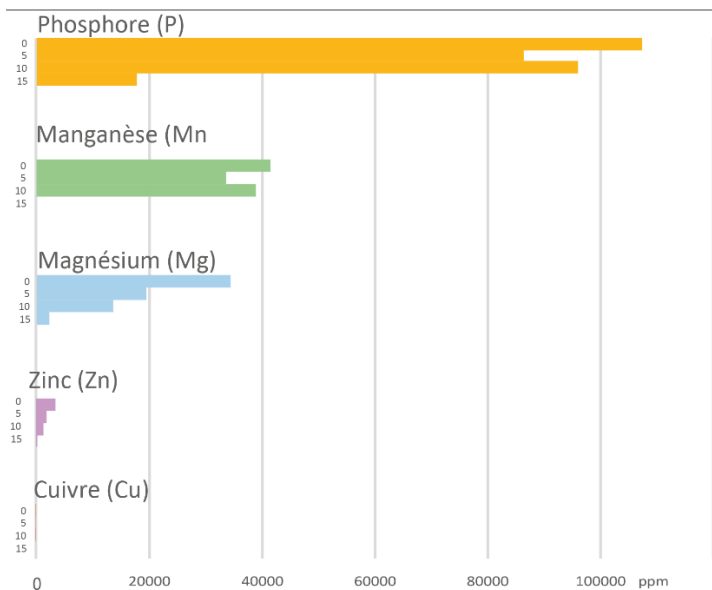


Figure 54 – Histogramme des valeurs de la série statistique de P, Mn, Mg, Zn et Cu un cumulés pour la totalité des points de mesure en fonction de la profondeur

### 10.2.2.3. Analyse planimétrique du taux de P

Une fois ces premières observations effectuées, les données XRF ont été traitées dans un SIG. Pour ce faire, une jointure entre le relevé DGPS des points de mesure et le tableur excel du résultat des mesures XRF (Cf Annexe du présent rapport) permet une spatialisation de l'information.

#### 10.2.2.3.1- Choix de la méthode du calcul de probabilité de P

Hormis pour la ligne de mesure à 15 cm de profondeur, le taux de P a été interpolé de façon à « remplir » les espaces « vides » de mesure par des valeurs de probabilité de présence de P. Les SIG permettent de faire cette interpolation suivant deux méthodes : le calcul de densité et le krigeage. Les deux méthodes ont été testées. La légende et les classes appliquées aux résultats sont identiques pour les deux méthodes (afin de pouvoir les comparer)

#### Calcul de densité

Le calcul de densité utilise des données ponctuelles et permet de calculer la densité d'une valeur en se basant sur des valeurs inscrites dans un champ de la table attributaire. Les valeurs de densités manquantes sont calculées soit avec l'outil de densité simple, soit avec l'outil de densité par noyaux.

L'outil de densité simple identifie pour chaque point les autres points présents dans un rayon fixé par l'opérateur. Il additionne leurs valeurs, puis divise le résultat par la taille de la zone de recherche. Le résultat sera la valeur appliquée au pixel correspondant à cette zone.

L'outil de densité par noyau répartit les valeurs connues pour chaque point et utilise une fonction de noyau quadratique ( $K(u) = \frac{15}{16}(1 - u^2)^2 \mathbf{1}_{(|u| \leq 1)}$ ) pour ajuster une surface régulièrement effilée. Le produit obtenu est un raster où chaque pixel correspond à la valeur de densité réelle et interpolée.

Un premier test a été fait en faisant une carte de densité sur les noyaux. Le rayon de recherche adopté est un cercle de 1,5 m et la taille du pixel du raster de sortie est de 1 cm.

Suivants ces paramètres, une carte de densité de P a été réalisée par niveau de mesure. (Fig. 56)

### Krigeage

Le krigeage est un outil de géostatistique qui réalise des interpolations spatiales d'une variable par la modélisation du variogramme expérimental (Hennequi, 2010). Il permet de prendre en compte la distance entre les données et le point d'estimation mais également entre les données deux à deux. Cette méthode de calcul se base sur l'idée que deux données rapprochées dans l'espace tendent à posséder des caractéristiques similaires. Cette technique n'est déployable qu'avec des données auto-corrélées. Il demande une analyse du semi-variogramme.

Un premier test a été fait avec le logiciel SagaSig avec les paramètres suivants :

- Qualité de la mesure : Variance
- Rayon de recherche : global sur l'ensemble des points
- Rééchantillonnage : Le plus proche voisin
- Fonction du semi-variogramme :  $a+b \times \text{sqrt}(x)$

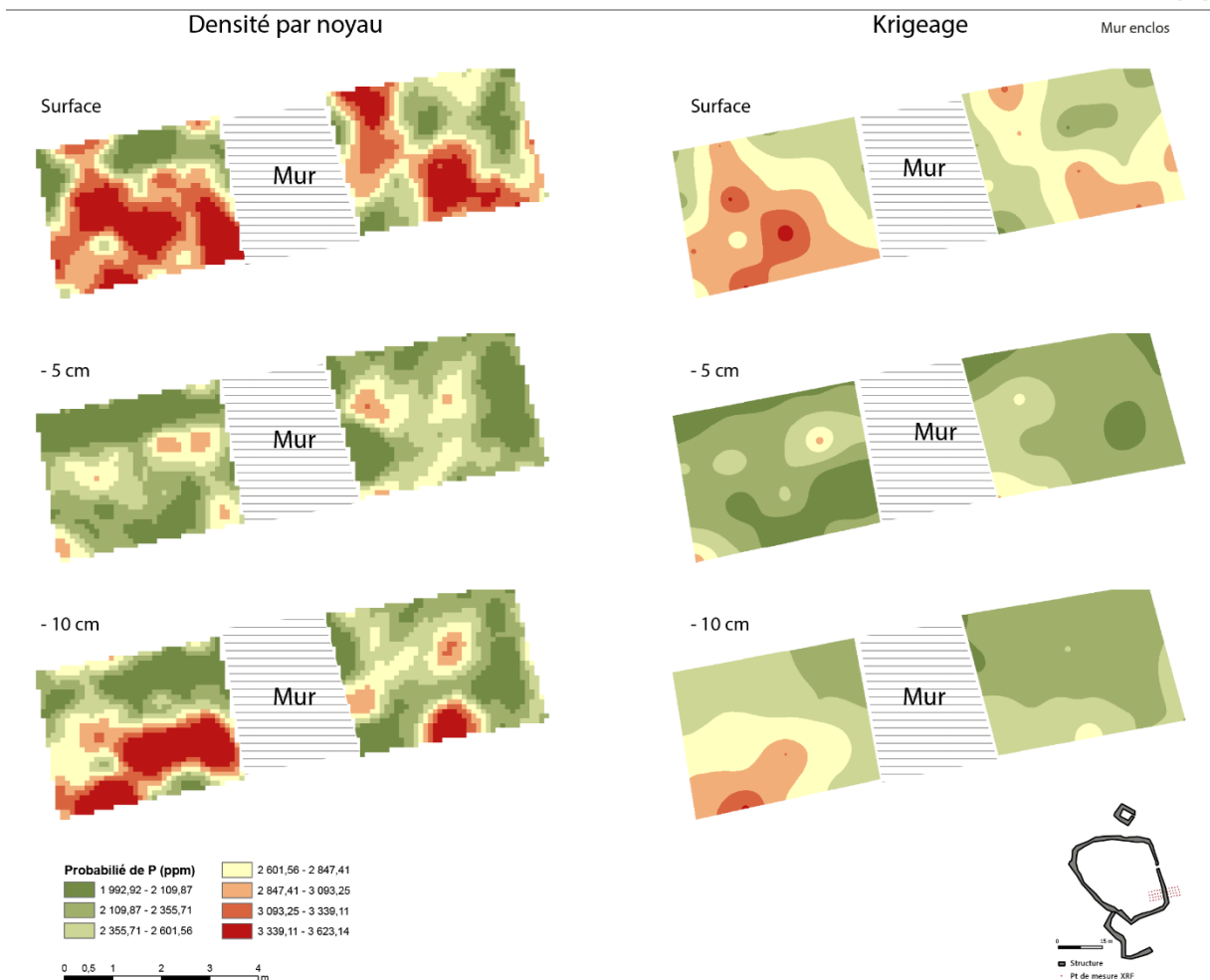


Figure 55 - Carte de densité de P par calcul de densité par noyau et par krigage

### 10.2.2.3.2 Résultats

Le calcul de densité et le krigage (Fig. 56) donnent globalement à voir la même variation du taux de P pour les 3 niveaux de mesure. Les cartes faites par krigage montrent toutefois une plus faible empreinte du P alors que le calcul de densité renforce les zones de concentration de P. De plus, avec le calcul de densité, les cartes produites paraissent « pixelisées » alors qu’avec le krigage, elles semblent plus lissées.

En surface, la répartition spatiale du phosphore n’est pas homogène. Il est plus dosé à l’intérieur (de 1900 à 3800 ppm) de l’enclos qu’à l’extérieur (de 1600 à 3400 ppm). Cela peut être l’indicateur d’une charge en bétail aux alentours très proche de l’enclos, ce qui est normal puisque le bétail stationne souvent autour de la porte d’entrée des enclos en attendant son ouverture.

Toujours en surface, à l'intérieur de l'enclos, ces cartes de probabilité montrent un taux de P plus fort au deux-tiers sud de l'aire de mesure XRF. Le mur de l'enclos semble donc être une barrière à la diffusion du phosphore.

A 5 cm de profondeur, la valeur P est beaucoup plus faible qu'en surface et quasi-homogène à l'intérieur (entre 1700 à 2800 ppm) et à l'extérieur de l'enclos (1700 à 2900 ppm). L'XRF permet donc de distinguer l'occupation récente (qui serait datée de l'époque contemporaine) et une phase plus ancienne moins chargée en matière organique. La baisse du taux de phosphore à 5 cm de profondeur est tangible mais quelques pics de P apparaissent indifféremment à l'intérieur et à l'extérieur de l'enclos. Les animaux (domestiques et/ou sauvages) n'étaient donc pas absents du pâturage au moment où cet horizon était à l'air libre. La chute du taux de phosphore dans les sédiments peut trouver son origine dans une pression pastorale moindre ou une délocalisation des aires de stabulation.

A 10 cm de profondeur, le taux de P remonte à l'intérieur de l'espace de l'enclos (entre 1900 et 4500 ppm). Quant à l'extérieur de l'enclos, la valeur P est un peu plus faible avec un taux qui varie de 1400 et 3600 ppm. Mais, la répartition des taux de P n'est pas homogène. Il présente une concentration sur la partie nord-ouest. La carte de densité du P donne l'impression d'être en bordure d'une zone plus fortement chargée en matière organique, sans que l'on puisse préciser, ni sa taille, ni sa fonction.

Sur l'espace de l'aire de mesure XRF, il y aurait donc deux périodes marquées par la présence de bétail : à 10 cm de profondeur que l'on ne perçoit que très partiellement et en surface qui correspondrait avec l'utilisation de l'enclos. Ces deux périodes seraient entre-coupées d'une phase de pâturage ouvert sans aire de parcage (5 cm de profondeur).

#### *10.3.2.4. Analyse de la distribution verticale de P*

---

La visualisation de la variation du taux de P suivant un profil s'appuie sur une ligne de point de mesure (un transect). Lors des relevés XRF faits au Pla de l'Orris, un 4<sup>ème</sup> niveau de mesure (soit 15 cm de profondeur) a été réalisé à l'intérieur et à l'extérieur de l'enclos sur 7 points. Comme pour une approche planimétrique, il est possible de calculer la probabilité de présence du phosphore par krigeage le long de ce profil. Ce travail a été réalisé avec le logiciel de SagaSig (Fig.57).

Les points de mesure, situés sur l'axe disposant de mesures à 15 cm de profondeur, ont été extraits. La valeur Z a été recalculée car l'espacement de 5 cm entre les niveaux de mesure est trop étroit pour permettre une bonne visualisation de la variation de P. Il a fallu dilater le profil en Z, mais pas trop pour ne pas fausser la lecture. Le choix a été d'étirer la valeur Z par 4 (l'espace entre chaque niveau de mesure

est de 5 cm dans la réalité et de 20 cm dans la représentation figurée du taux de P). Les points ont ensuite été projetés en spécifiant que la valeur X sont les coordonnées X du relevé DGPS et la valeur Y sont les altitudes recalculées.

Une fois fait le travail de krigeage réalisé avec les paramètres suivants :

- Qualité de la mesure : Variance
- Rayon de recherche : global sur l'ensemble des points
- Rééchantillonnage : Le plus proche voisin
- Fonction du semi-variogramme :  $a+b \times \text{sqrt}(x)$

Ce mode de représentation du taux de phosphore permet d'observer la même variation qu'avec le cumul des plans faits par niveau de mesure. On y distingue très bien la rupture dans la concentration de P à 5 cm de profondeur. A ce niveau, P baisse à l'intérieur comme à l'extérieur de l'enclos pour ensuite remonter mais que dans la partie intérieure de l'enclos actuel.

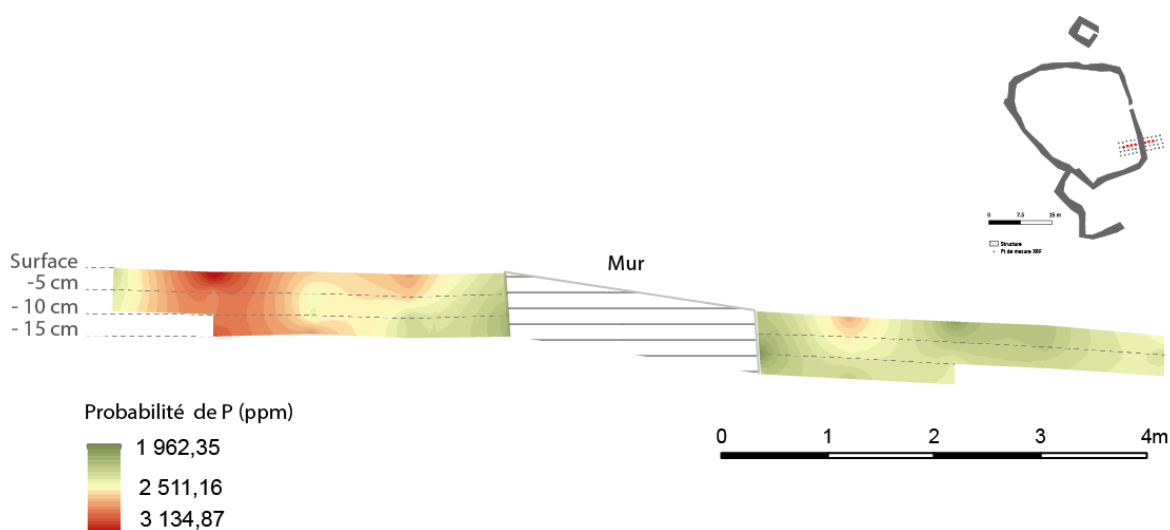


Figure 56 - Résultat du krigeage de la valeur P en altimétrie

### 10.2.3 Aulon

#### 10.2.3.1. Protocole d'acquisition

En 2019, le protocole d'acquisition XRF a été le suivant :

- Positionnement de 4 transects avec des points de mesure espacés tous les mètres (Fig. 58).
  - ✓ Entre la structure AU\_017\_002 et AU\_017\_004, 6 points de mesure ont été faits dans une zone très modifiée par des travaux d'aménagement de l'ensemble pastoral actuel et par une valorisation des structures pastorales anciennes non suivie par les services d'état en charge de la protection du patrimoine. (Site 1a)
  - ✓ A 3 mètres à l'ouest de la structure AU\_090\_001, 6 points de mesures ont été faits sur un espace pour lequel aucun indicateur de surface ne permet d'indiquer qu'il a été utilisé comme aire de parcage. (Site 1b)
  - ✓ A l'intérieur d'un espace herbagé délimité à l'est par des blocs repoussés sur les marges et entassés sans soin (AU\_089\_001), deux transects comprenant 6 points de mesures chacun ont été réalisés (site 2a et 2b).

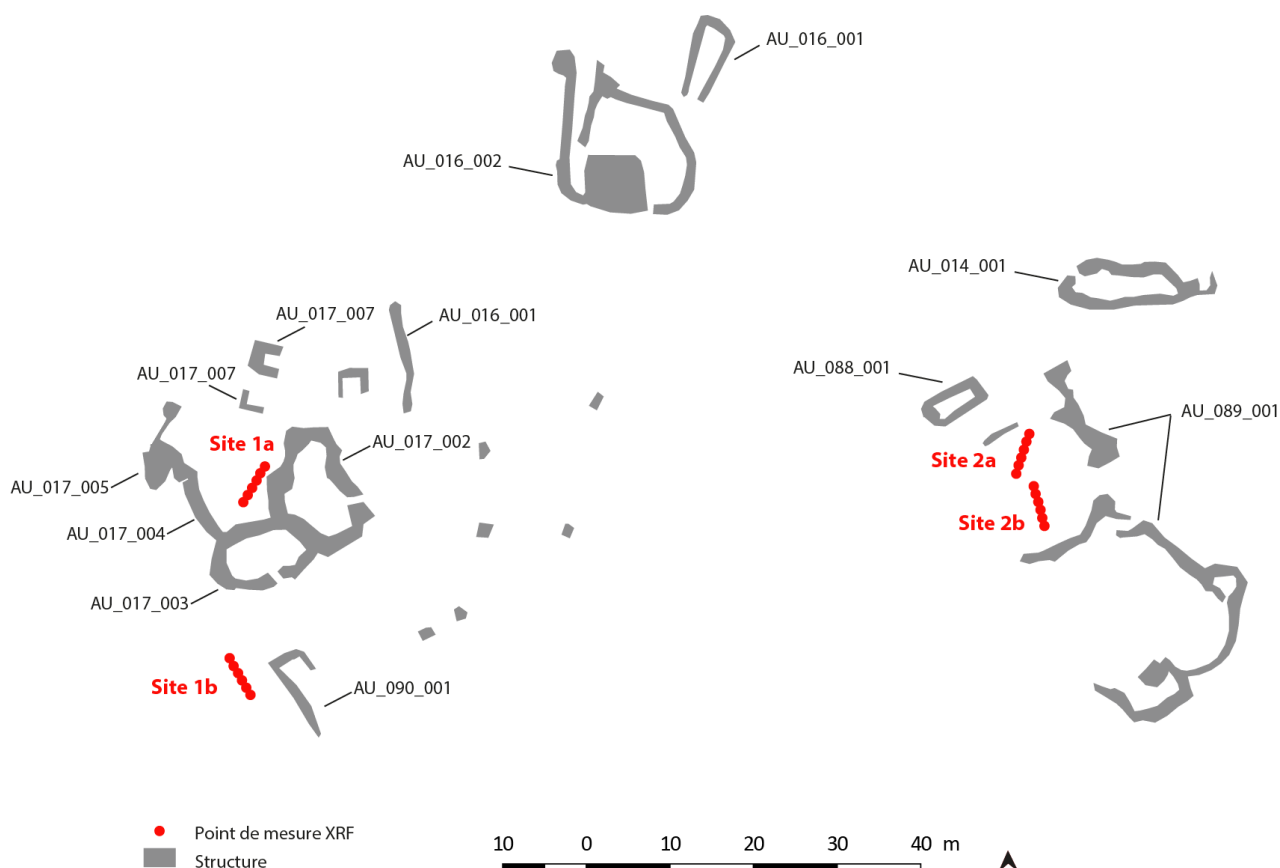


Figure 57 - Localisation des transect XRF dans le secteur de l'Auloueilh de la Réserve Naturelle d'Aulon

- 3 niveaux de mesure ont été réalisés
  - ✓ 1 mesure à 5 cm de profondeur
  - ✓ 1 mesure à 10 cm de profondeur

- 
- ✓ Et 6 points de mesure, situés le long du transect n° 3 (structure AU\_089\_001), ont fait l'objet d'une mesure à 20 cm de profondeur.

Pour maximiser le temps de relevé et essayer de doser les éléments chimiques sous les 15 cm de profondeur, il a été décidé de ne pas faire de mesure de surface.

Pour ce troisième test d'utilisation de l'XRF, le choix s'est centré sur des zones « vides » (aucun indicateur de surface ne permet d'identifier une structure à l'emplacement des transects) mais situées à proximité de bâtiments en élévation ou totalement arasés. L'objectif est de déterminer s'il est possible de détecter des zones de concentration de matière organique dans le sous-sol.

Les taux de Mg et Cu sont inférieurs au seuil de détection de l'XRF utilisé. Ces deux éléments ne seront donc pas pris en compte dans l'analyse.

Les roches présentes sur le secteur de l'Auloueilh sont des granites et des schistes. Les granites sont constitués de dioxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ ), d'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), d'oxyde de sodium, de potassium ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), de fer, de magnésium, de manganèse et de calcium. Quant aux schistes, ils sont composés de silice ( $\text{SiO}_2$ ), d'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) et d'oxyde de fer ( $\text{FeO}$ ). Prendre en compte le fer, le magnésium, le manganèse demande de mesurer les taux précis de ces éléments dans l'environnement immédiat du site pour connaître leurs taux moyens et ainsi observer des apports externes.

Ne seront donc ici pris en compte que le phosphore, le potassium et le calcium.

#### *10.2.3.2. Analyse de la distribution verticale de P*

---

Comme pour le site d'Enveitg, pour pouvoir disposer d'une bonne visualisation du dosage du phosphore, il a été nécessaire de « dilater » les valeurs Z. En effet, l'espacement de 5 cm entre les points de mesure est trop petit pour permettre un bon affichage de la variation de P. Il a fallu étirer le profil en Z, mais pas trop pour ne pas fausser la lecture. Le choix a été de multiplier la valeur Z par 4 (l'espace entre chaque niveau de mesure est de 5 cm dans la réalité et de 20 cm dans la représentation figurée du taux de P). Les points ont ensuite été projetés en spécifiant que la valeur X sont les coordonnées X du relevé DGPS et la valeur Y sont les altitudes recalculées.

Une fois les points projetés sur un axe, il est possible de calculer la densité des différents éléments. Ce calcul permet d'interpoler les valeurs relevées en créant une carte de probabilité. Les premiers tests ont

porté sur les éléments suivants : P, K et Ca. Il a ensuite été possible de cumuler ces cartes de probabilité en faisant une somme pondérée.

#### 10.2.3.2.1. Site 2a : Au sud de la structure AU-088-001

Le résultat du calcul de densité du taux de P permet d'identifier un très fort taux de phosphore (9735 ppm) à l'extrémité nord du transect à 15 et 20 cm de profondeur. Rappelons que les mesures faites sur une bouse sèche de bovin au Pla de l'Orri a donnée des valeurs de phosphore de 4 000 à 6 000 ppm et que les mesures faites en Iran sur des fumiers bovins ont donné des mesures de 1500 à 3800 ppm et sur des fumiers d'ovins de 1800 à 9000 ppm. La valeur de 9735 ppm mesurée sur le transect 2a du secteur de l'Auloueilh n'est donc pas aberrante. Elle marque seule la présence d'un fort taux de matière organique.

Plus les mesures ont été faites en profondeur et plus le taux de P augmente. (Fig. 58 et 59) Observées plus en détail, on remarque que le taux de P à 5 cm de profondeur est très resserré (entre 1500 et 2000 ppm). A 10 et 15 cm de profondeur, les pics de P se multiplient. A 10 cm de profondeur, il y a deux pics au-dessus de 2500 ppm, alors qu'il y a 5 pics au-dessus de 2000 ppm à 15 cm de profondeur (soit la quasi-totalité des mesures). A 20 cm de profondeur, le taux de P explose : 2 mesures se situent autour de 2200 ppm, deux autres sont entre 4500 et 5200 ppm et une culmine à 9735 ppm.

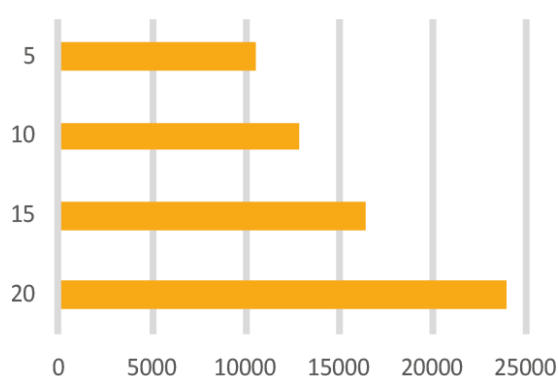


Figure 58 - Histogramme groupé des mesures de P



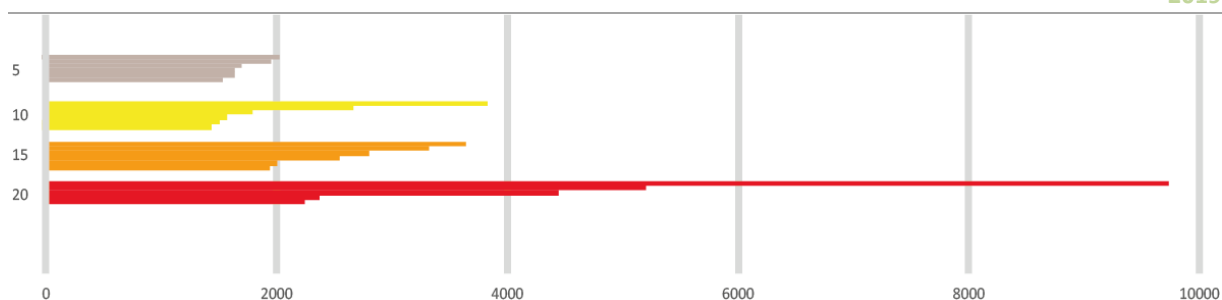


Figure 59 - Histogramme des valeurs de P classé par profondeur de mesure

Ce très fort taux de phosphore se retrouve à l'extrémité sud du transect. La rupture visible au niveau du 3<sup>ème</sup> axe de mesure ne représente pas un faible taux de phosphore. A 15 cm de profondeur, un caillou a limité la mesure XRF et l'a totalement empêchée à 20 cm de profondeur. La présence de cet élément a pu empêcher un bon contact avec les sédiments.

Ce calcul de densité permet donc d'identifier un niveau fortement chargé en phosphore entre 15 et 20 cm sous la surface. (Fig. 60)

Quant au Calcium (Ca) et au Potassium (K), ils paraissent suivre la même tendance et avoir la même répartition spatiale, mais différer complètement de la distribution spatiale du phosphore. Ces deux éléments paraissent plus concentrés sur les 2/3 sud du transect. Une vraie rupture apparaît sur les 3 premières lignes de mesure. Les deux cartes de densité dessinent un niveau à forte teneur en K et Ca entre 5 et 15 cm sous la surface.

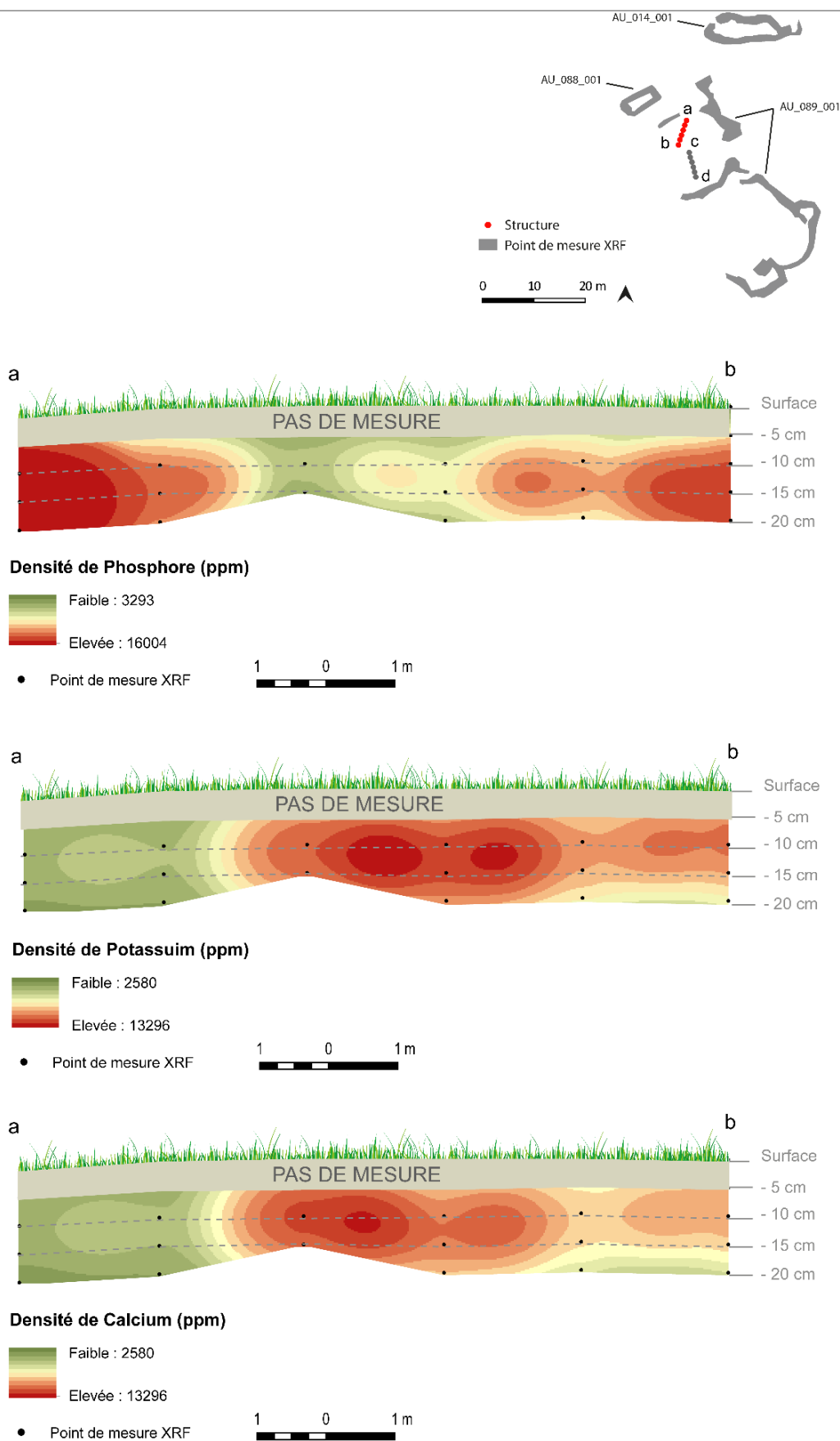


Figure 60 - Dosage P, K et Ca - Site 2a

Pris indépendamment, la visualisation des taux de ces éléments est intéressante parce qu'elle permet de distinguer des zones de concentration à la fois en plan et en Z. Mais cumuler ces indicateurs peut-il permettre d'avoir une vision plus claire de leur distribution spatiale ?

Additionner les valeurs brutes ne suffit pas et peut même provoquer des erreurs car les éléments tracés ne sont pas dosés sur la même échelle de valeur. Chaque élément est mesuré suivant son propre gradient. Pour être juste et précis, il est nécessaire de les pondérer pour qu'aucun de ces éléments ne soit artificiellement sur-représenté, mais qu'il corresponde à son véritable poids.

$$\text{Somme pondérée} = (a \times P) + (b \times K) + (c \times Ca)$$

Reste à définir les valeurs de pondération au moyen d'une régression linéaire multiple avec le logiciel R.

Le résultat est le suivant :

```
Call:
lm(formula = P ~ K + Ca, data = Sla)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1687.8  -851.7  -169.6   544.7  5527.2

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 4563.5300    638.4554   7.148 6.35e-07 ***
K              0.1798     0.4594   0.391  0.700
Ca            -0.9735     0.7336  -1.327  0.199
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1531 on 20 degrees of freedom
(7 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.3585,    Adjusted R-squared:  0.2944
F-statistic: 5.589 on 2 and 20 DF, p-value: 0.0118
```

Valeurs de pondération

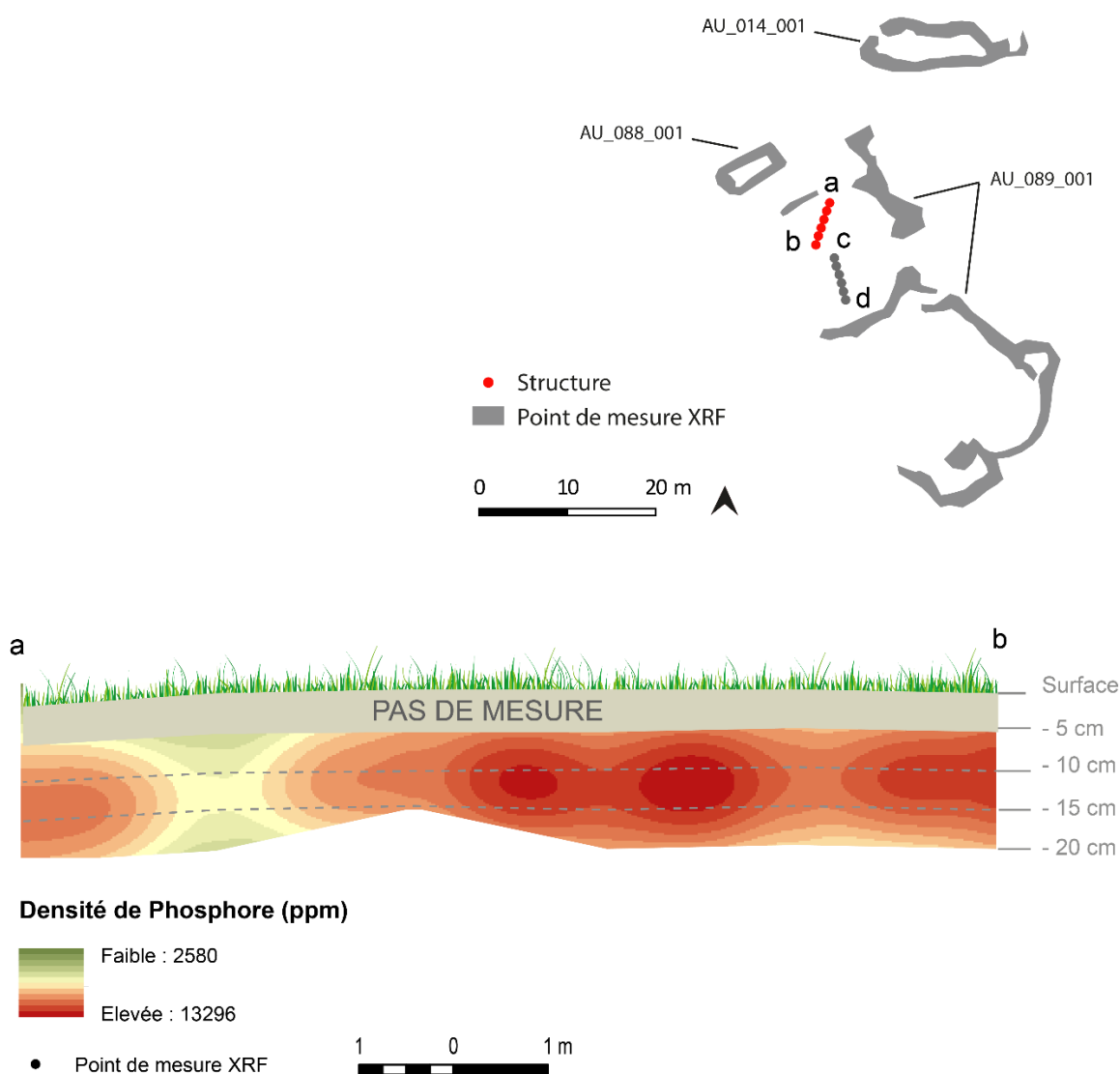
Ce calcul permet également de déterminer s'il existe une relation, une corrélation, entre les différentes variables. Avec un p-value de 0.01818 (et donc inférieur à 5%), il est possible d'indiquer que pour cette série statistique, les 3 variables impliquées sont statistiquement associées. Il y a donc une relation entre un fort taux de P et les deux autres variables (K et Ca). Toutefois, comme le t-value de Ca est négatif, cela indique également que pour un taux élevé de P, il y a une plus forte probabilité de voir le taux de Ca baisser.

Pour aller un peu plus loin, il faut utiliser la fonction Exponentielle, dont voici le résultat :

```
(Intercept)           K           Ca
           Inf  1.1969475  0.3777761
```

Ce calcul montre que le fait d'avoir un niveau élevé de P multiplie par deux la probabilité d'avoir un taux élevé de K. Quant au taux de Ca, il y a environ 30% de probabilité de voir un niveau élément de Ca et de P.

A partir de ces données, il a été possible de faire une somme pondérée de P, K et Ca. Le résultat montre un niveau fortement chargé en phosphore, calcium et potassium entre 10 et 15 cm de profondeur. (Fig. 61) dans l'angle nord, c'est la teneur en phosphore qui domine entre 15 et 20 cm de profondeur. Sur ces seules informations, il est impossible de préciser s'il s'agit d'une ou de deux occupations différentes de l'espace. Il est seulement possible de poser des interrogations. Pour y répondre, il faudra poursuivre le travail d'acquisition à la fois en développant les lignes de mesure et en acquérant de nouveaux points plus profondément.



## 10.2.3.2.2. Site 2b : A l'intérieur de la structure AU-089-001

Ce site, pourtant situé à 2 m du transect 2a paraît avoir eu une trajectoire totalement différente. Les taux de phosphore sont beaucoup plus bas (entre 2006 ppm et 3965 ppm) que pour le transect 2a (qui rappelons le, étaient de 1464 ppm à 3735 ppm). (Fig. 62) Les taux les plus élevés du transect 2b correspondent au niveau 10-15 cm du transect 2a.

## Site 2b



## Site 2a

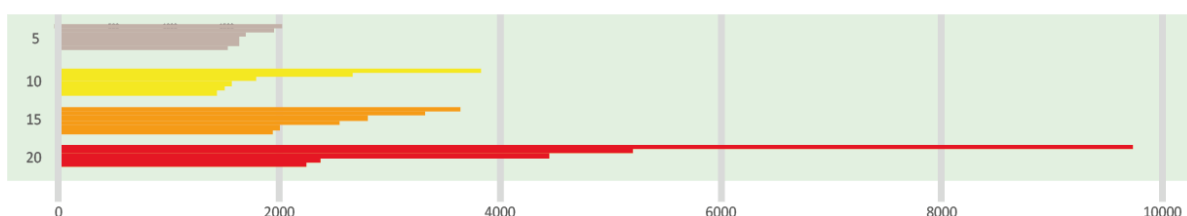


Figure 62 - Histogramme groupé des valeurs de P classées par profondeur des transects 2a et 2b

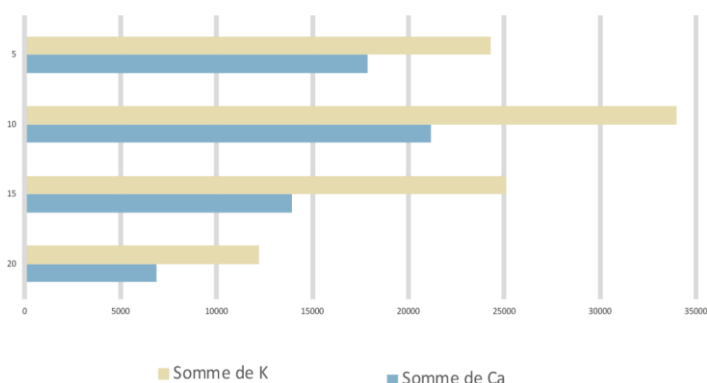


Figure 63 - Histogramme groupé des valeurs K et Ca classées par profondeur

Quant au Calcium (Ca) et au Potassium (K), comme pour le transect 2a, ils paraissent suivre la même tendance et avoir la même répartition spatiale. Ces éléments semblent plus concentrés sur les 4/5 sud du transect. Seule la dernière ligne de mesure est faiblement dosée en Ca et K. Les deux cartes de densité produites dessinent un niveau à forte teneur en K et Ca entre 5 et 10 cm sous la surface.

Comme pour le transect 2a, ici aussi, la somme des indicateurs a été réalisée suivant la même procédure.

Le résultat de la régression linéaire multiple est le suivant :

```
Call:
lm(formula = P ~ K + Ca, data = S2b)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-983.91 -414.22 -17.34  324.91 1258.25

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 3012.95233   380.83758    7.909 9.91e-07 ***
K             0.12417     0.09995    1.242  0.2332
Ca            -0.59365     0.24502   -2.423  0.0285 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 669.5 on 15 degrees of freedom
(12 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.3807,    Adjusted R-squared:  0.2981
F-statistic: 4.61 on 2 and 15 DF, p-value: 0.0275
```

Valeurs de pondération

Ce calcul permet de déterminer s'il existe une corrélation entre les différentes variables. Avec un p-value de 0.0275 (donc inférieur à 5%), il est possible d'indiquer que pour cette série statistique, les 3 variables sont statistiquement associées. Il y a donc une relation entre un fort taux de P et les variables K et Ca. Toutefois, comme le t-value de Ca est négatif, cela indique que pour un taux élevé de P, il y a une plus forte probabilité de voir le taux de Ca baisser.

Pour aller un peu plus loin, il faut utiliser la fonction Exponentielle, dont voici le résultat :

```
(Intercept)           K           Ca
      Inf  1.1322031  0.5523101
```

Ce calcul montre qu'il y a une relation de 1 pour 1 entre le phosphore et le potassium. Ils progressent de façon linéaire. Quant au Calcium, il y a 50% de probabilité d'avoir un fort taux de Ca pour un fort taux de Phosphore.

A partir de ces indications, il a été possible de faire la somme pondérée de P, K et Ca. (Fig. 62) Le résultat montre deux « spots » plus fortement chargés en phosphore, calcium et potassium. Les taux les plus importants sont situés entre 10 et 15 cm de profondeur. (Fig. 62) Mais, il faut relativiser ce résultat. En effet, les taux de concentration de ces éléments sont très bas (entre 45 et 5011 ppm) en comparaison au site 2a qui lui s'étalent sur une échelle de valeur allant de 7496 à 27609 ppm.

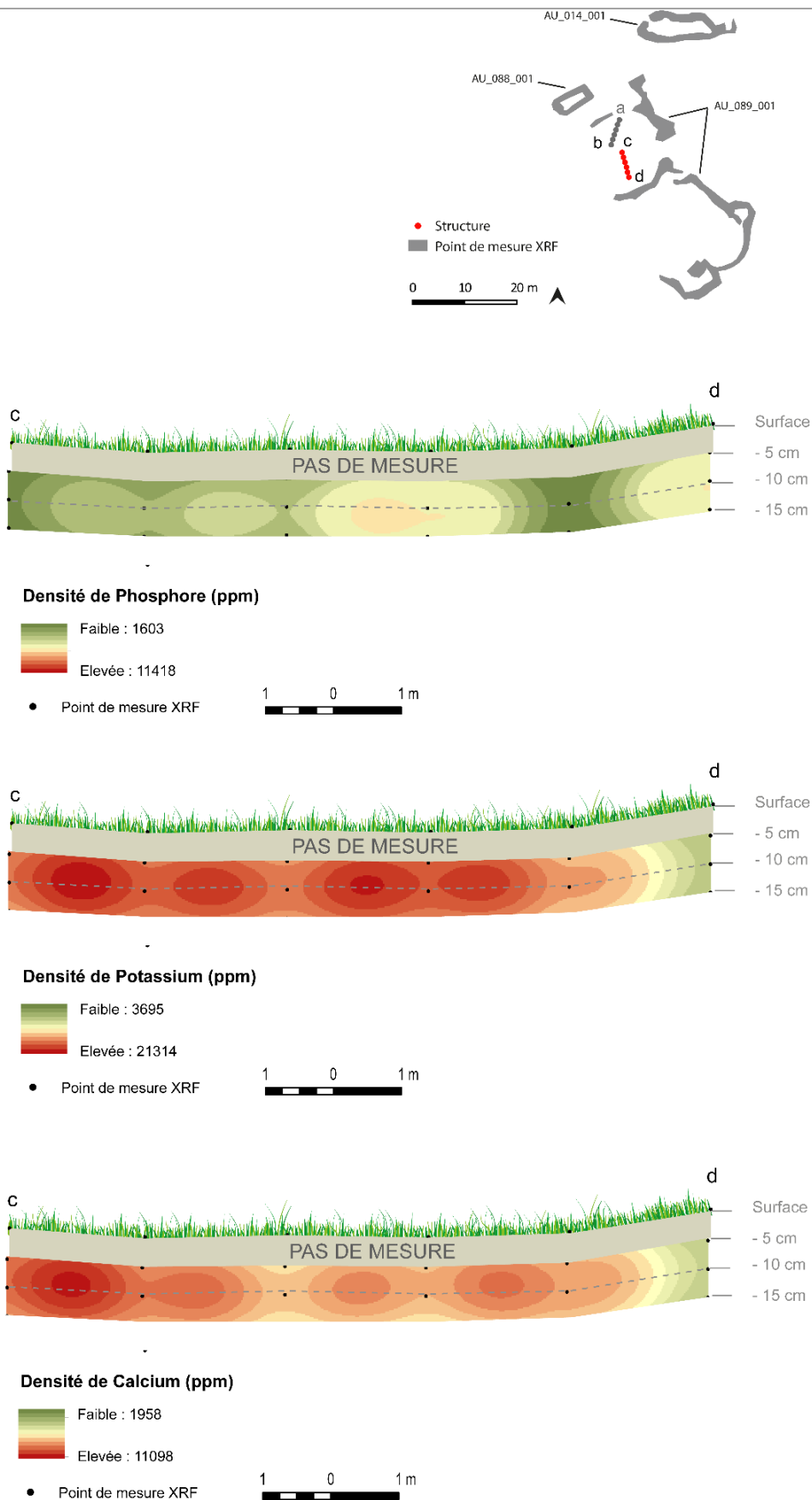
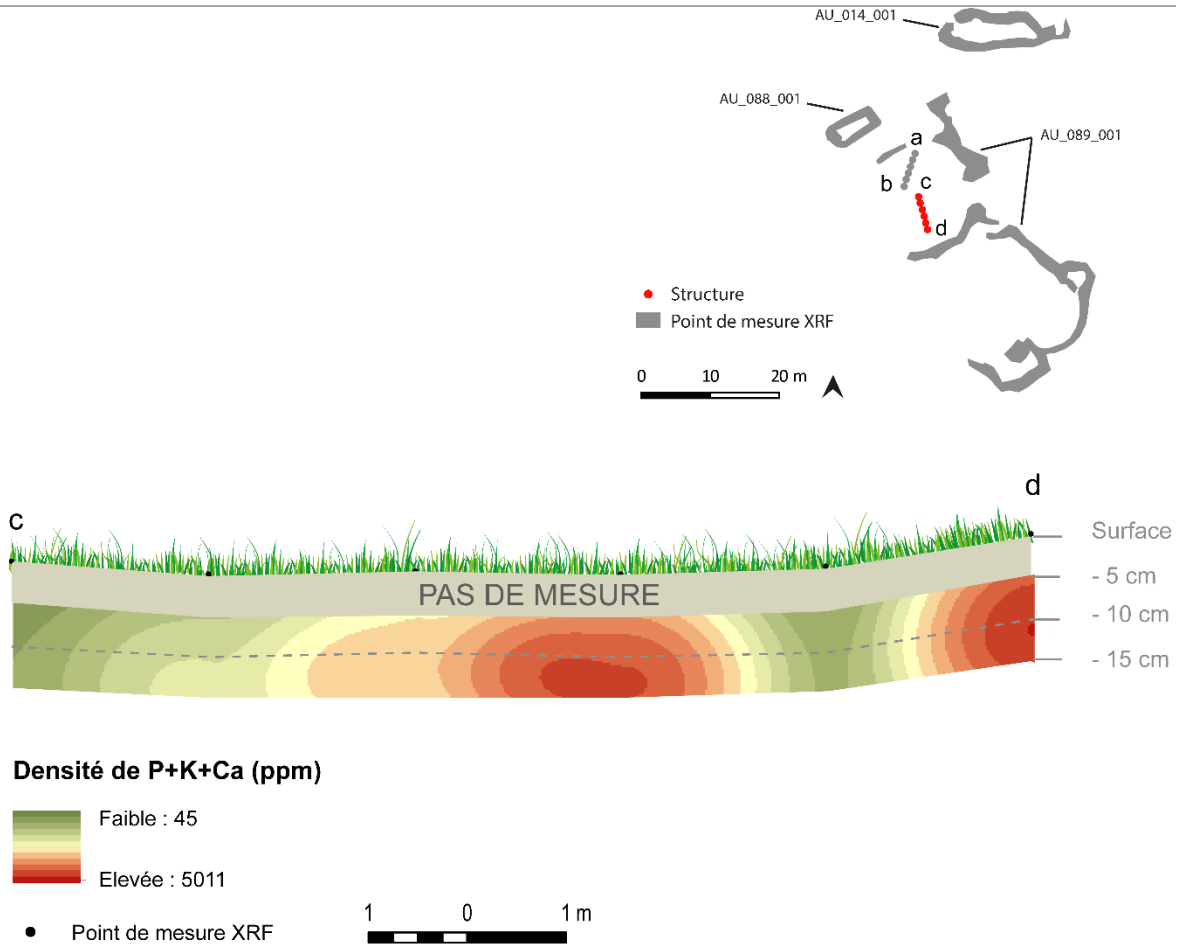


Figure 64 - Dosage P, K et Ca du site 2b



**Figure 65 - Somme pondérée de P + K + Ca du site 2b**

L'analyse des mesures de P, K et Ca du transect 2b donne à voir, entre 10 et 15 cm de profondeur, un espace pâturé qui pourrait être le prolongement de ce qui a été observé dans la partie sud du transect 2a. La juxtaposition de la distribution des valeurs classées par profondeur de ces deux transects (Fig. 62) renforce un peu plus l'impression de deux possibles occupations différentes du secteur 2 :

- une entre 10 et 15 cm de profondeur marqué par un horizon chargé en matière organique et qui laisserai penser à un espace où le bétail est présent sans que l'on puisse le qualifier de zone de stabulation ;
- une à 20 cm de profondeur, seulement visible dans la partie nord du transect 2a, très fortement chargée en matière organique qui laisse vraiment l'impression d'une forte présence animal.



### 10.2.3.2.3. Site 1a : Entre la structure AU\_017\_002 et AU\_017\_004

Le transect 1a est situé dans un espace fortement perturbé par plusieurs séries de travaux de réaménagement et de valorisation. De plus, lors de ces relevés, le filtre « haut » du mode d'acquisition choisi (TestAllGeo) avait été désactivé. Il manque donc les valeurs de dosage de K et Ca. Nous ne travaillerons donc que sur P.

Les taux de P pris sur les points de mesure ont des valeurs basses et peu variables : de 887 ppm (en surface) à 2651 ppm (à 5 et 10 cm de profondeur – angle nord), avec une moyenne à 1711.7 ppm.

En surface, le taux de P est le plus bas : entre 887 ppm et 2077 ppm avec une valeur moyenne de 1290 ppm. Cela doit être mis en relation avec les travaux de réaménagement du site pour en faire une aire de bivouac. L'espace a donc dû être totalement nettoyé et doit être interdit au bétail qui pâture actuellement sur le secteur de l'Auloueilh. La charge en matière organique doit donc être plus faible. A 5 cm de profondeur, les valeurs de P augmentent passant à une fourchette située entre 1428 ppm et 2546 ppm. Cette augmentation se poursuit légèrement à 10 cm de profondeur avec des valeurs de P allant de 1505 ppm à 2651 ppm. A 15 cm de profondeur le taux de P baisse et se contracte autour de 1830 ppm (valeurs allant de 1687 à 1950 ppm) (Fig. 66 et 67).

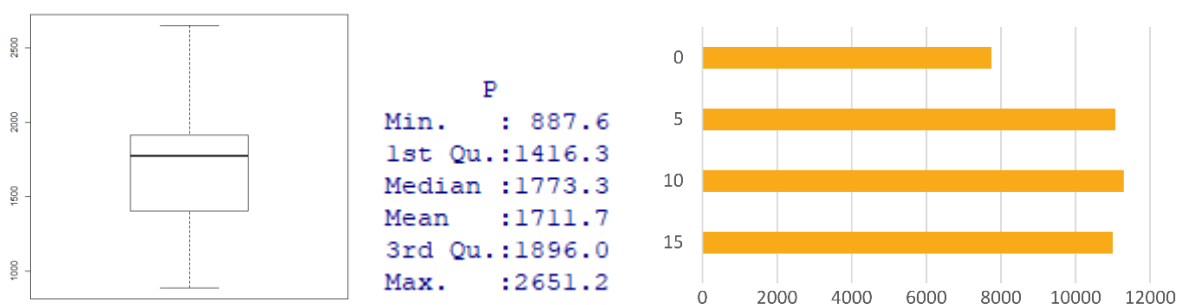


Figure 66 - Site 1a : A gauche, boxplot (boîte à moustache) - Au centre, les statistiques descriptives - A droite, l'histogramme groupé (en abscisse les valeur en ppm ; en ordonnée la profondeur)

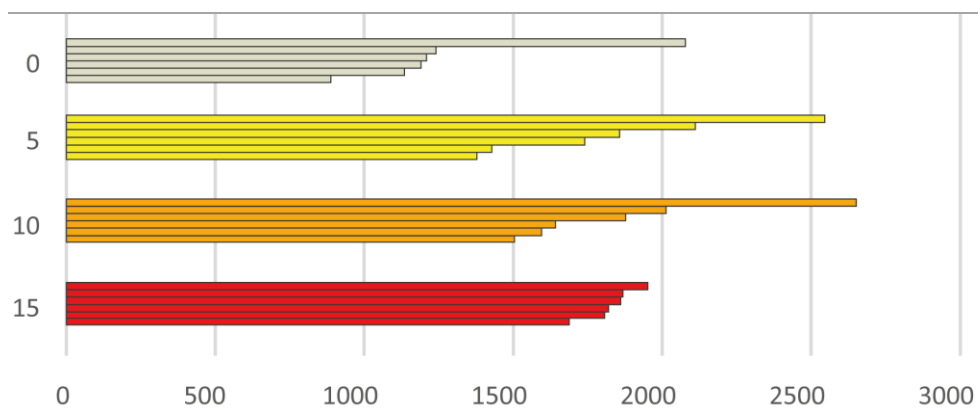


Figure 67 - Site 1a : Histogramme des mesures de P classées par profondeur (en abscisse les valeur en ppm ; en ordonnée la profondeur)

Le calcul de densité par noyau de P a été fait avec les paramètres suivants :

- Taille du pixel 1 cm
- Rayon de recherche 1 m
- Unité de surface  $m^2$

On peut y identifier une zone plus concentrée en P entre 5 et 10 cm de profondeur, avec un pic de P sur la partie nord du transect (a). (Fig. 68) La documentation historique et les observations de surface permettent d'indiquer que l'espace sur lequel le transect 1a a été positionné se trouve à moins de 5 m d'un groupement de cabanes occupées au XIX<sup>ème</sup> siècle pour l'élevage bovin laitier. Il est cependant impossible de rattacher cette occupation au niveau plus concentré en matière organique. Il sera très compliqué de travailler dans l'espace de ce groupement pastoral ancien tant les travaux de réaménagements l'ont bouleversé.

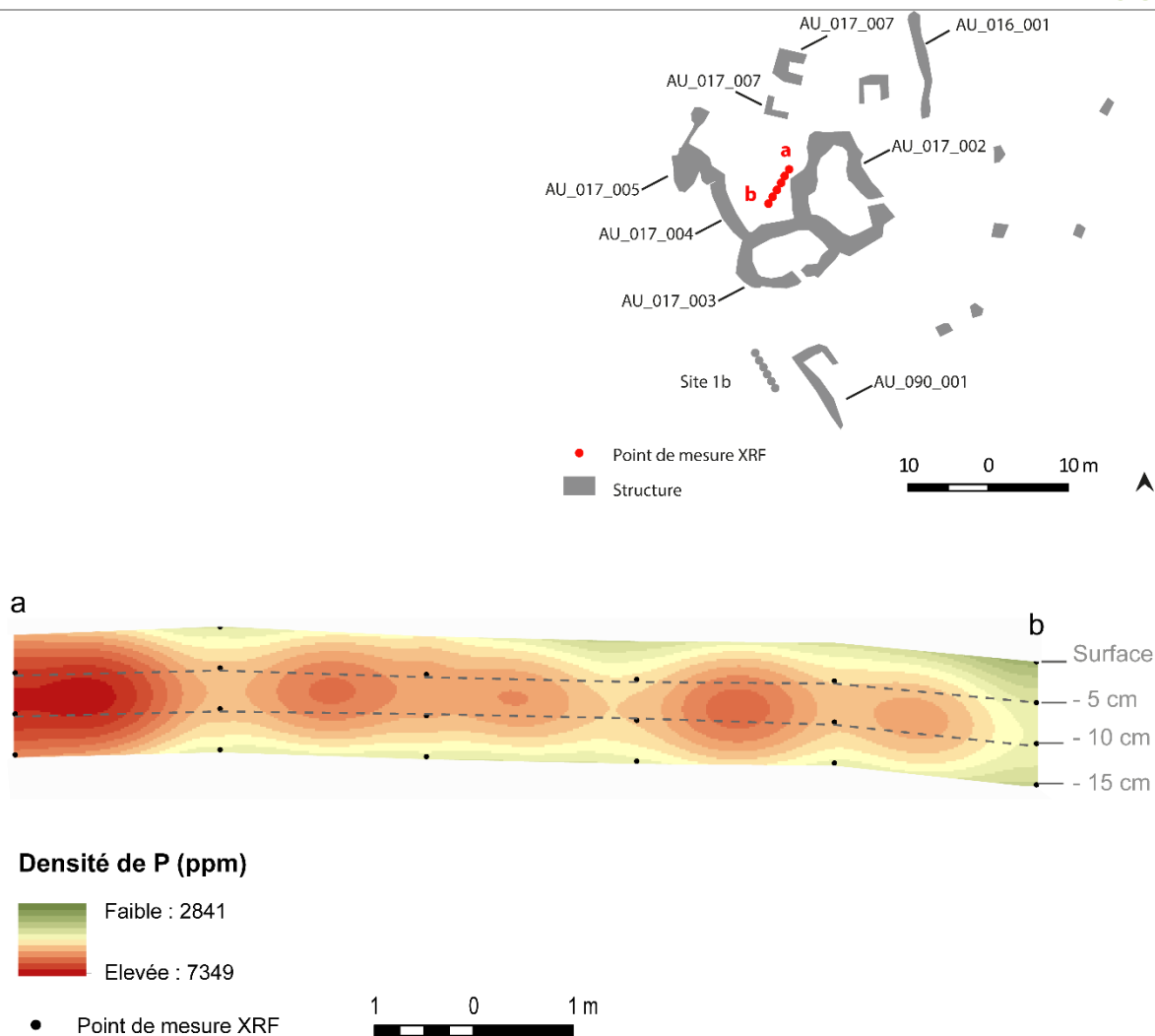


Figure 68 - Densité de P - Site 1a

#### 10.2.3.2.4. Site 1b : A 3 mètres à l'ouest de la structure AU\_090\_001

Le transect 1b est situé au sud des enclos modernes et des réaménagements récents (mise en place d'aire de bivouac) et à moins de 5 m à l'ouest de la structure AU-090-001 (une cabane arasée). Le relevé XRF n'a pris en compte qu'une partie des éléments légers. Il manque donc les valeurs de dosage de K et Ca. Nous ne travaillerons donc que sur P.

Pris globalement, les taux de P varient entre 1101 ppm (en surface) et 3443 ppm (à 10 cm de profondeur) avec une moyenne située à 2011 ppm. La distribution spatiale de P paraît très uniforme.

Jusqu'à 5 cm de profondeur inclus, le dosage de P est situé autour de 10 000 ppm (en cumulé) et passe à presque 15 000 ppm à 10 et 15 cm de profondeur. On observe donc une augmentation du phosphore

dans les niveaux les plus profonds. (Fig. 69) Si l'on observe de plus près la répartition des valeurs en les classant par profondeur d'acquisition, on remarque qu'en surface et à 5 cm de profondeur, les taux sont les plus faibles et ne dépassent que deux fois les 2000 ppm.

A 10 cm de profondeur, l'histogramme des taux de P note une augmentation des valeurs qui s'échelonnent entre 1303 et 3442 ppm. A 15 cm de profondeur, le taux de P baisse très légèrement (entre 1706 et 1951 ppm avec une moyenne située à 2353 ppm). (Fig. 67)

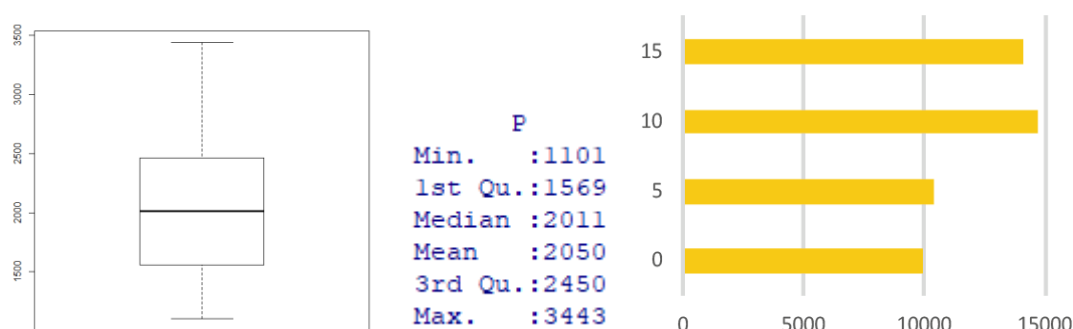


Figure 69 - Site 1b : A gauche, boxplot (boîte à moustache) - Au centre, les statistiques descriptives - A droite, l'histogramme groupé (en abscisse les valeurs en ppm ; en ordonnée la profondeur)

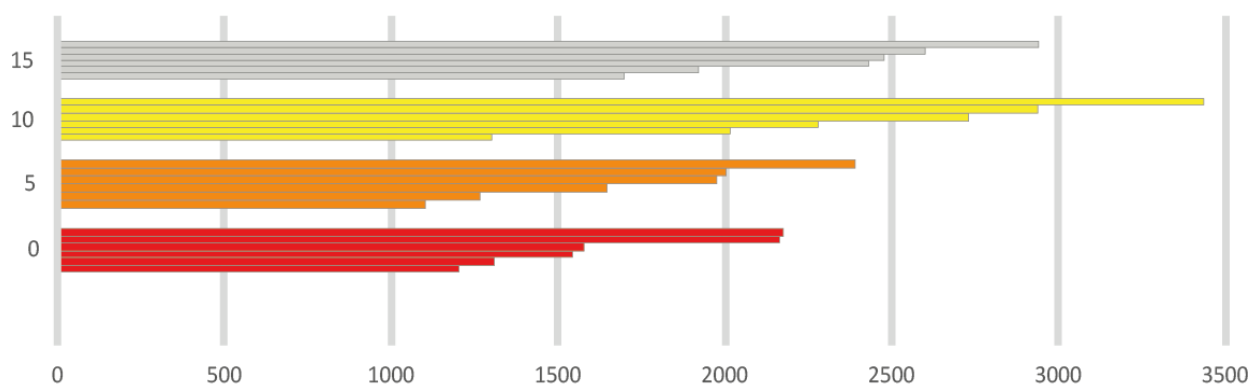


Figure 70 - Site 1b : Histogramme des mesures de P classées par profondeur (en abscisse les valeurs en ppm ; en ordonnée la profondeur)

Le calcul de densité par noyau de P a été fait avec les paramètres suivants :

- Taille du pixel 1 cm
- Rayon de recherche 1 m
- Unité de surface m<sup>2</sup>

Le résultat de calcul de densité est très similaire à celui fait sur le transect 1a. Il dessine un niveau plus concentré en matière organique entre 5 et 10 cm de profondeur. Il faut également noter que la partie sud du transect est beaucoup plus chargée en phosphore. Toutefois, comme pour le transect 1a, les valeurs de P restent basses et contrastent avec les taux relevés sur les transects 2a et 2b. (Fig. 71)

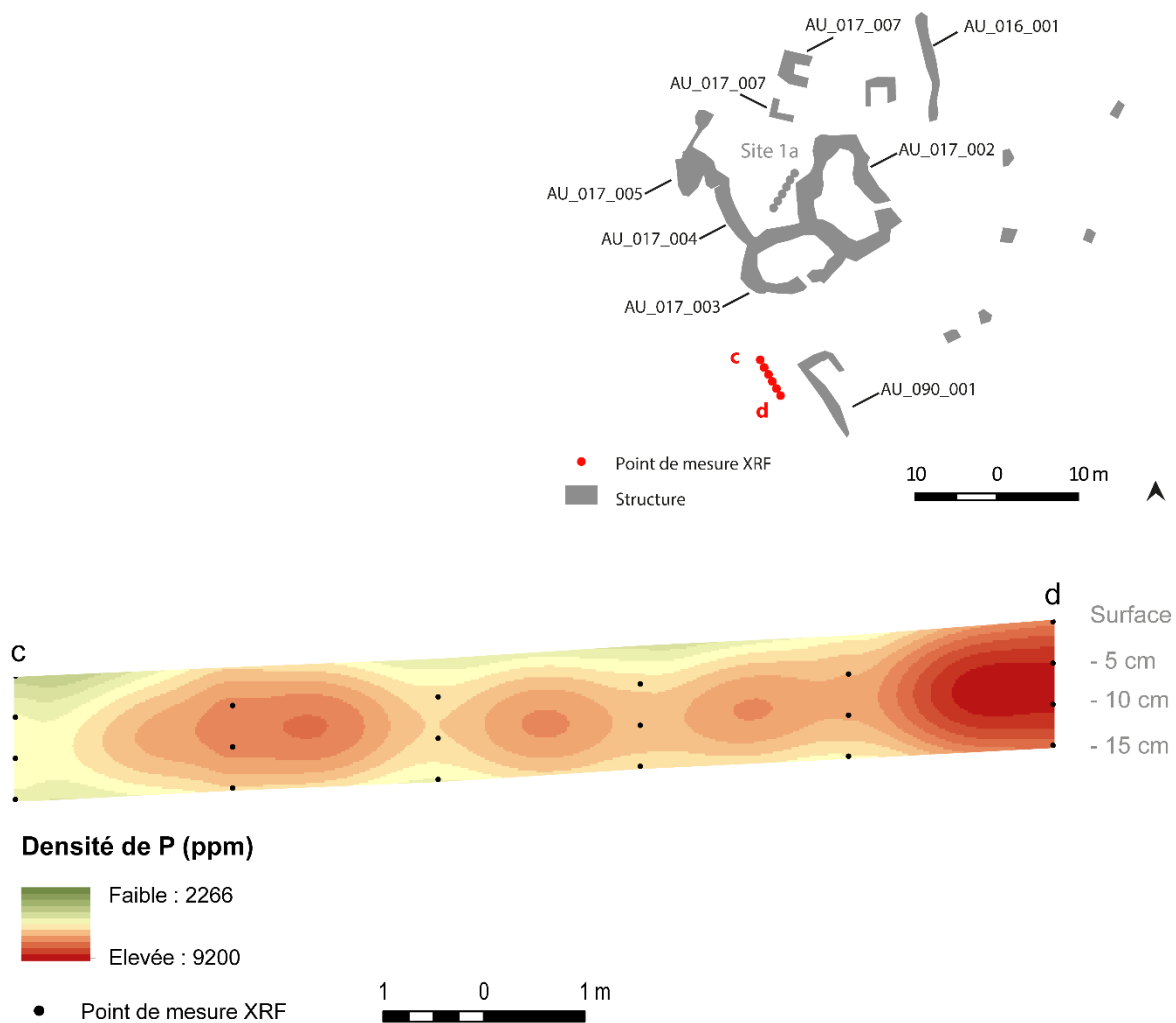


Figure 71 - Densité de P - Site 1b

#### 10.2.4. Améliorer l'acquisition et le traitement des données XRF

Après les campagnes de 2018 et 2019, qui ont été très concluantes. Cette année, les tests ont permis de confirmer qu'il est possible de détecter des zones de concentration de matière organique en zone de

pâturage avec l'XRF à plusieurs profondeurs en planimétrie (Le site 2a montre une très forte concentration de P à 20 cm sous la surface).

Cette année, nous avons également acquis et traité des données XRF suivant un profil. Cette méthode de visualisation de taux de P, pourtant peu répandue (Cannell et al, 2018), est efficace et probante. Elle demande toutefois de bien positionner le transect de façon à pouvoir disposer d'informations correctes. Il faudra toutefois continuer les tests, notamment en augmentant l'espace entre les points (2 m au lieu de 1 m), essayer de faire des mesures sur une profondeur supérieure à 20 cm pour avoir une lecture plus importante et en positionnant les transects en croix.

Que l'on travaille sur une surface ou sur un profil, le traitement des données demande de passer par la construction de carte de probabilité de présence des éléments tracés et donc de peaufiner les méthodes de krigeage.

Cette année de recherche fut donc riche d'enseignement, et plusieurs axes de travail encore restent ouverts :

1. **Multiplier les prélèvements** sur des estives différentes (Enveitg et Aulon), sur des sites différents (état de conservation, typologie) mais également sur des aires ouvertes hors site susceptibles de renfermer des aires de stabulation et sur des aires ouvertes hors site qui ont été qualifiées de zone sans structures archéologiques afin d'avoir la vision d'un espace « naturel ».

Ce travail a été fait. En 2019, 1 surface de 40 m<sup>2</sup> et 5 transects ont été testés sur les secteurs d'Enveitg et d'Aulon. Le travail a porté à la fois sur une étude surfacique et en profil. L'objectif est de définir la meilleure méthodologie d'utilisation de l'XRF pour la délimitation des aires de stabulation en haute montagne. Ces tests ont montré que le travail en coupe, moins chronophage, peut être utilisé dans ce contexte. Toutefois, il sera nécessaire de trouver un moyen technique pour disposer de mesures plus profondes que 20 cm. Les tests devront donc être poursuivis.

2. **Déterminer si l'association d'autres éléments**, comme le calcium ou potassium, ne permettrait pas une détection plus fine des zones de stabulation et /ou ne permettrait pas une spatialisation des différentes activités réalisées au sein de l'estive.

Les premiers tests d'addition des rasters issus de l'interpolation des valeurs mesurées ont été faits. Ils demandent d'être grandement affinés. Il faut pouvoir travailler avec des données interpolées par krigeage qui seront beaucoup plus fiables. Il faut également envisager d'autres modes d'association de l'information ; une simple addition, même pondérée, doit pouvoir être

améliorable. L'équipe impliquée dans ce programme de recherche est en train d'essayer de mettre en place une collaboration avec un laboratoire de mathématique pour développer les méthodes d'analyse des données XRF.

3. **Prendre en compte l'environnement**, notamment la nature du sol ou les paléoreliefs qui peuvent avoir une incidence sur les résultats. En effet, un même taux de Phosphore n'aura pas la même « valeur » dans un sol calcaire que dans un sol schisteux.
4. Essayer de définir et de **mesurer l'implication des processus taphonomiques** des sédiments dans l'analyse de ce taux de densité et de répartition des taux de phosphore, calcium et potassium.

### 10.3. Détection des micro-reliefs

L'acquisition des images a été réalisée avec un drone à voilure tournante DJI Mavic Pro. Plusieurs vols ont été nécessaires pour couvrir la totalité de la zone d'étude.

Pour pouvoir obtenir des données qui soient métriquement justes et un positionnement du relevé photogrammétrique sur le globe terrestre, des cibles codées (Fig. 72) ont été placées sur l'ensemble de la zone d'étude. Leurs coordonnées ont ensuite été relevées avec un GPS Différentiel (2 Trimble GeoXH 6000 série prêtée par le Deepe).

Pour cela, une base GPS a été installée à proximité de la zone de décollage. Le deuxième GPS a servi au pointage de toutes les cibles codées.



Figure 72 - Exemple de cible codée Photoscan

Le travail s'est ensuite poursuivi en laboratoire. Les données obtenues avec les DGPS Base et Mobile ont été téléchargées et traitées avec le logiciel Pathfinder. Une correction différentielle des points acquis permet de maximiser la précision des points la faisant passer de 2 m à moins de 10 cm. Cette procédure est une triangulation entre les satellites, la base et le mobile.

---

### 10.3.1. Réalisation MNS

La construction du MNS du secteur d'Avays a été réalisée avec le logiciel Photoscan.

708 photographies ont été intégrées au projet Photoscan et 34 repères topographiques ont été positionnés (Lambert 93 – EPSG 2154)

#### 10.3.1.1. Alignement des clichés

---

Les paramètres d'alignement choisis ont été :

- ✓ Qualité : haute
- ✓ Sans présélection de référence
- ✓ Avec une présélection générique
- ✓ Taille limite de point de 60 000
- ✓ Nombre de point homologues de 6 000
- ✓ Pas d'ajustement des caméras

A la fin du processus de traitement (qui a duré 6 minutes), un nuage épars de 1 077 136 points a été obtenu.

Faire un bon alignement des photographies est primordial dans le cadre d'un travail photogrammétrique car de lui dépend la qualité du nuage dense et des produits dérivés qui pourront être exportés.

Avec Photoscan, un bon alignement se caractérise par les valeurs suivantes :

Erreur RMS de reprojection	0.171802 (0.347812 px)
Erreur Max de reprojection	5.06348 (9.25816 px)
Taille moyenne de point	2.02233 px

#### 10.3.1.2. Positionnement des Markers (ou point de repère).

---

Photoscan utilise des repères pour indiquer la localisation des cibles au sein de la scène (le modèle). Ces repères sont utilisés pour mettre en place le système de coordonnées, l'optimisation de l'alignement des photographies et les mesures des distances et des volumes. Plus les repères sont



visibles sur de nombreuses photographies et plus le modèle sera précis. Le placement des cibles peut se faire par détection automatique ou positionnement à la main. Ici, la détection automatique n'a pu être réalisée car la hauteur de prise de vue fait que les cibles n'étaient pas parfaitement visibles sur la majorité des clichés. Les Markers ont donc été positionnés « à la main » sur les images au niveau des cibles codées. Ce travail n'a fait qu'une fois par cible car Photoscan retrouve automatiquement sur l'ensemble des clichés les cibles ainsi annotées.

Une fois les Markers placés, il suffit de noter leurs coordonnées obtenues avec le GPS Différentiel dans le système de coordonnées choisit (Lambert 93).

#### 10.3.1.3. Sélection graduelle

---

Pour ne conserver que les meilleurs points, les plus précis, une sélection graduelle a été effectuée. Elle permet de supprimer les points aberrants (fonction Incertitude de reconstruction), d'affiner l'épaisseur du nuage de points (fonction Précision de la projection) et enfin réduit la taille des pixels (Fonction Précision de la projection).

#### 10.3.1.4. Construction du nuage dense

---

La construction du nuage dense a ensuite été réalisée avec les paramètres suivants :

- ✓ Qualité : Haute
- ✓ Filtrage : Modéré
- ✓ Carte profondeur = Non

Ces paramètres permettent d'obtenir un nuage de 2 401 915 994 points

#### 10.3.2. Traitements du MNS

A partir du Modèle Numérique de Surface (MNS), et dans le but déterminer les meilleurs algorithmes pour la détection des vestiges archéologiques en milieu de haute montagne, plusieurs types de traitement et de visualisation ont été utilisés.

Parmi tous les tests réalisés, il faut citer les outils suivants : Sky View Factor, Multiscale Topographic Position Index, Relative Heights and Slope Positions, Slope, Aspect, Curvature, Terrain Ruggedness Index, Vector ruggedness measure, Topographic position index, curvature classification.

Seuls les résultats des tests les plus probants seront présentés ci-dessous. Le fonctionnement de chaque algorithme est présenté en annexe (*Annexe V-Traitement des Rasters (MNS/MNT) issus de photogrammétrie et/ou de la lasergrammétrie*).

Ces outils sont implémentés dans plusieurs logiciels tels que [RVT](#) de l'Institut d'anthropologie et d'études spatiales de Ljubljana -Slovénie), QGis, ArcGis, mais SAGASig est le seul qui les regroupe tous.

#### 10.3.2.1. L'ombrage

Le calcul d'un ombrage est une méthode très classique de détection des microreliefs en archéologie. (Pour plus d'information voir en Annexe du présent rapport)

Cette opération a été réalisée avec l'outil Hilshade dans ArcGis.

Les paramètres utilisés sont les suivants :

- ✓ Azimuth = 315
- ✓ Altitude = 45°
- ✓ Exagération = 1

Le résultat obtenu est un raster en dégradé de gris (Fig. 73) qui recrée les ombres portées. C'est cet ombrage rasant artificiel qui permet de mettre en valeur des microreliefs qui peuvent être interprétés comme étant des vestiges archéologiques.

Ainsi, et même si un chaos entrelacé avec des rhododendrons présents sur les 2/3 de la zone d'étude perturbe considérablement la lecture, il est possible de distinguer 29 structures sur ce raster : 11 cabanes, 8 enclos, 1 mur, 5 leytes et 4 structures à la fonction indéterminée.

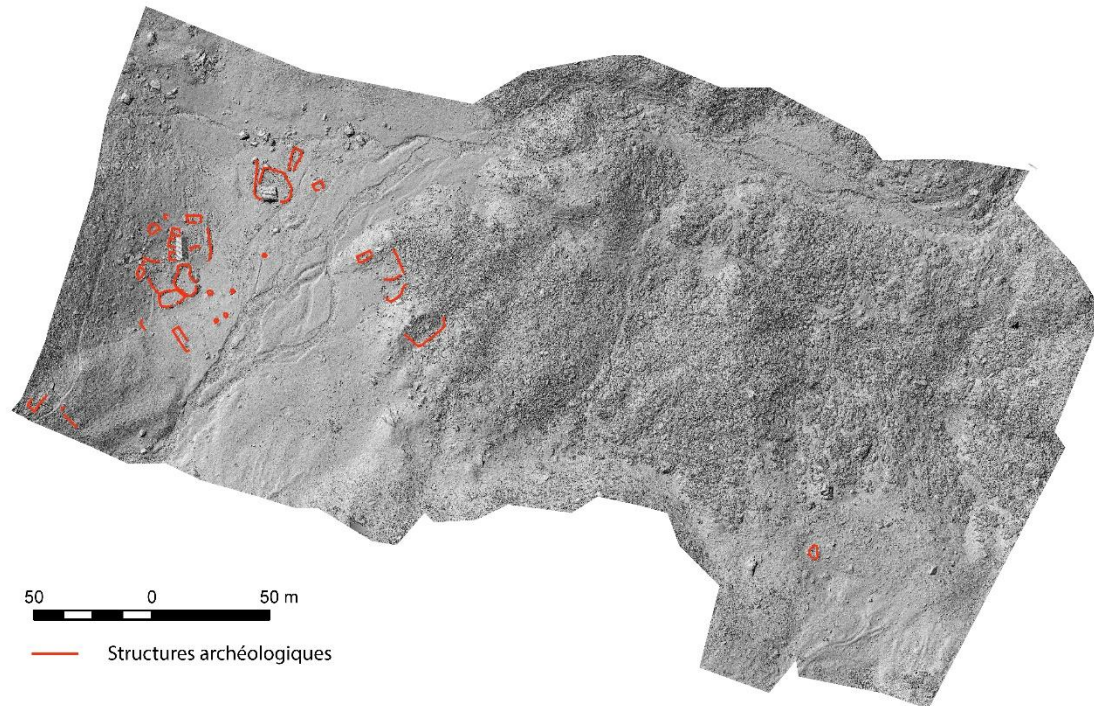


Figure 73 - Calcul d'ombrage

#### 10.3.2.2. Simple local relief model (SLRM)

Le calcul de SLRM a été réalisé avec l'outil RVT (Relief Visualization Toolbox) de l'Institute of Anthropological and Spatial Studies (Pour plus d'information voir en Annexe du présent rapport).

Les paramètres utilisés sont les suivants :

- ✓ Azimuth = 315
- ✓ Altitude = 45°
- ✓ Exagération = 1

#### 10.3.2.3. Orthophotographie

Orthophotographie, MNS et profils, ne sont pas seulement utilisés pour de la détection d'indicateurs. A l'aide de ces produits dérivés, il est possible de travailler à plusieurs échelles, du site à la structure. Ainsi, le site peut être étudié dans sa globalité pour repérer les structurations internes particulières, des superpositions des constructions. Des calculs annexes tels que l'extraction de réseau hydrologique

théorique ou la modélisation de zone de sédimentation peuvent être inclus dans ces analyses et faciliter la perception de phénomènes particuliers comme les processus taphonomiques.

A partir de ces données il est aussi possible d'identifier 52 structures archéologiques qui se répartissent en 5 ensembles pastoraux distincts. (Fig. 78)

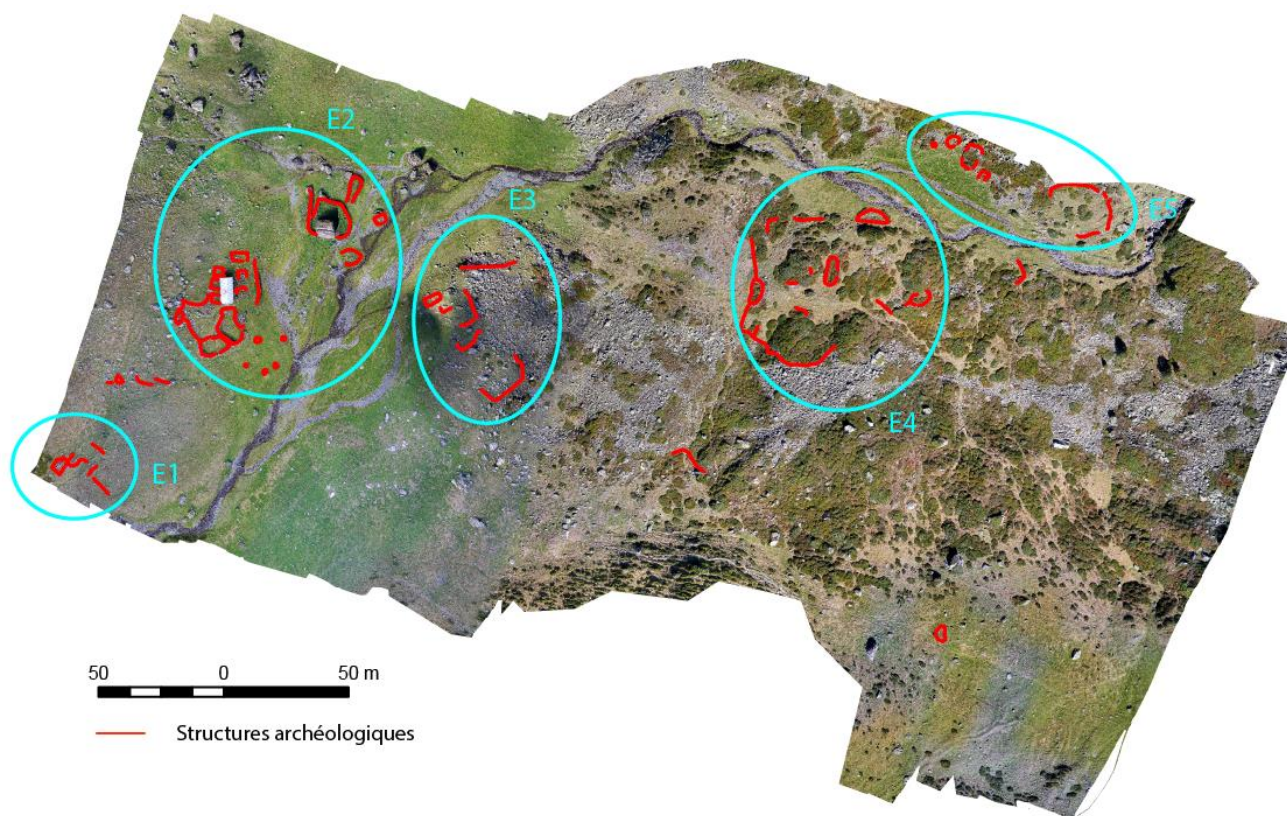


Figure 74 – Structures archéologiques visibles sur l'orthophotographie

Ensemble pastoral n°1 (E1)	4 structures très arasées à la fonction indéterminée
Ensemble pastoral n° 2 (E2)	5 leytsés
	3 enclos
	6 cabanes « récentes »
	1 cabane très arasée (ancienne)
Ensemble pastoral n° 3 (E3)	4 tronçons de mur d'un enclos
	1 cabane
Ensemble pastoral n° 4 (E4)	2 tronçons de mur d'un enclos
	1 structure à la fonction indéterminée
	5 cabanes (sans que l'on puisse déterminée si elles étaient destinées aux Hommes ou au bétail)

---

Ensemble pastoral n° 5 (E5)    4 cabanes

1 enclos

Ainsi que :

3 tronçons d'un mur

1 structure très arasée à la fonction indéterminée

1 cabane

1 tronçon de mur qui semble être un mur d'enclos

Cette orthophotographie ne permet pas visualiser les structures identifiables par une rupture du terrain comme une possible cabane au nord de l'E2 qui semble édifiée par creusement du sol pour aplanir la zone de vie et la construction d'un mur à l'avant pour fermer la construction. La grande structure rectangulaire au sud de l'E2 est également imperceptible sur l'orthophotographie.

Sont également cachées, les structures installées dans le chaos et masquée sous le couvert végétal. Pour arriver à détecter ces structures, il faudrait essayer de mettre en œuvre un lidar.

Les procédures d'acquisition et de traitement des données issues de photogrammétrie pour la détection de vestiges archéologiques est très bien maîtrisée maintenant. Elle est totalement opérationnelle.

## 10.4. Perspectives

L'année 2019 avait pour objectif de poursuivre les démarches engagées l'année dernière.

Même si certain appareillage n'a pas pu être mis œuvre parce-qu'intransportable à dos d'homme, l'ensemble des tests renforce les résultats des premiers tests. Le potentiel de l'approche multisource et multiscalaire développée dans le cadre de programme de recherche TAHMM se confirme et s'affine.

La campagne de 2019 s'est centré sur les estives d'Enveitg et le territoire de la réserve naturelle d'Aulon. Cette année, nous avons poursuivi l'étalonnage des différents outils mis en œuvre et travailler au développement de nouvelles procédures d'intervention et de traitement des données. Nous commençons à cerner maintenant quelques règles nous permettant de déterminer les procédures et les conditions d'acquisition optimales pour la détection de vestiges archéologiques enfouis en zone d'altitude. Les apports et limites des produits de la photogrammétrie par drone sont établis et les procédures d'acquisitions des données sont maîtrisées. Ce travail reste encore à affiner par d'autres tests pour les autres techniques mises en œuvre.

La démarche multi-source et multi-échelle permet de prospecter plus rapidement les zones d'altitude et donc, de couvrir de plus grands territoires que ne peut le faire une procédure plus traditionnelle (prospection pédestre). A titre d'exemple, en dehors des différents tests de traitement des MNS, de calcul d'indice de végétation et de classification d'image, la prospection de l'ensemble pastoral complexe au Liantran, de 3 hecatres, qui nécessite 3h de marche d'approche, a été réalisée avec 1 jour d'acquisition de terrain et 1 semaine de traitement en laboratoire.

Les différents outils utilisés sont donc probants. Reste à définir les conditions d'acquisition optimales et les meilleurs traitements pour une approche archéologiques. Un travail important sera de développer des outils de croisement des données, par appareillage utilisé et entre les appareillages.

Durant cette deuxième année la réalisation de MNS et d'orthophotographie par photogrammétrie se confirme comme étant une phase importante du renouvellement des méthodes de prospection en haute et moyenne montagne. Avec un temps de terrain minime il est possible d'obtenir un maximum d'information utile pour la prospection archéologique.

Toutefois, les méthodes d'acquisition des images et la procédure photogrammétrique doit être parfaitement maîtrisées. Les tests effectués sur le secteur d'Enveitg montrent que l'acquisition des images ne peut se faire qu'à partir de capteur de qualité. En, 2018, les essais opérés avec des smartphones se sont révélés décevants car les flous variables à l'intérieur même des images empêchent toutes utilisations à des fins photogrammétrique. La procédure de traitement photogrammétrique doit également être bien maîtrisée. Les logiciels dédié à ce type de travaux permettent toujours d'avoir un résultat qu'il est agréable de regarder mais dont il nécessaire d'évaluer la qualité qui définira également les limites des produits dérivés et donc par voie de conséquences, les limites des capacités de détection archéologique.

Il en va de même pour les traitements appliqués au MNS. De nombreux tests existent et sont facilement utilisables dans des SIG conventionnels. Toutefois leur application à des fins archéologiques demande en préalable de comprendre le fonctionnement de chaque algorithme. Sans cela, le risque est de faire de mauvaises interprétations des résultats obtenus. Il est aussi nécessaire d'arriver à tester la capacité de détermination archéologique. Ce travail reste encore à faire et devra passer par l'utilisation d'outils statistique et géostatistique.

Le traitement des images satellite est un enjeu pour l'approche archéologique de grand territoire montagnard. Le travail de détection des vestiges archéologiques en haute et moyenne montagne à partir des images satellites multispectrales devra être développé. Cette année a permis de mettre en place un partenariat avec le CNES pour la réalisation d'une série d'acquisition d'image satellite. Une série d'image ont été faite sur Enveitg et Aulon en juin et juillet 2019. Cette acquisition sera renouvelée en 2020. L'objectif étant de travailler sur du multitemporel.

Les tests XRF se sont poursuivis. Cette année un enclos moderne a été testé sur Enveitg (en surfacique) et 4 transects ont été réalisés sur Aulon. Ils confirment l'utilité de cette technologie pour la détection des aires de stabulation. Le premier travail a été de consulter la bibliographie pour trouver les éléments traces des fumiers. Ils démontrent que les éléments à suivre et doser sont le Phosphore, le Calcium, le Magnésium, le Potassium et le Sodium. Comme en 2018, ces travaux se sont focalisés sur le dosage du Phosphore. La carte de densité obtenue à partir des données brutes ne prend pas en compte l'environnement, notamment la nature du sol ou les paléoreliefs. Or ces paramètres peuvent avoir une incidence sur les résultats. Même si l'analyse des données se sont focalisées sur le Phosphore. Des tests ont été faits pour associer les marqueurs des fumiers, mais il faudra mettre en place un partenariat avec des statisticiens spécialistes des tests de probabilité pour pouvoir poursuivre dans cette voie de recherche.

Il faudra également essayer d'améliorer la méthode d'acquisition des données XRF. Il faut arriver à tester plus profondément que 20 cm sous la surface. Il faut couvrir plus de terrain et donc mettre l'accent sur la réalisation de profils XRF. Cela demande de modifier les outils de forage pour pouvoir prélever des carottes de sédiments et faire tout ou partie des mesures XRF en laboratoire. Nous sommes en train de réfléchir à l'établissement de ces nouvelles procédures d'acquisition.

Les procédures d'acquisition des données thermique s'est également affinée, mais cette année, nous avons fourni un travail important pour arriver à traiter convenablement les données thermographiques et en tirer le maximum d'information archéologique. Nous sommes arrivés à un processus opérationnel qui fait l'objet d'un article proposé à la revue ArchéoSciences.

Pour différentes raisons de transport du matériel le drone Lidar et les outils de géophysique n'ont pu être mis en œuvre en 2019. Leur mise en pratique ne sera possible que si nous arrivons à trouver des financements pour payer des hélicoptères.

---

Cette année, nous avons acheté un nouveau drone multipectral à voilure tournante (Phantom de DJI) qui sera testé en 2020.

L'ensemble des résultats obtenus en 2019 permettent de confirmer le potentiel des méthodes non-invasives pour la détection des vestiges archéologiques enfouis en haute montagne et du croisements des données acquises. Les différents outils non-invasifs mis en œuvre fournissent des informations permettant la caractérisation des structures archéologiques des zones d'altitude.

Le programme de recherche TAHMM a fait l'objet d'une présentation lors des séminaire de l'équipe Terrae, le 14 février 2020.

En 2020, nous souhaitons poursuivre le travail débuté en 2018 et renforcé en 2019, en déployant l'ensemble des outils et appareillages (photogrammétrie, imagerie multispectrale, lidar, géophysique et analyses chimiques de sols) sur nos terrains applications. Les tests XRF, géophysique et le drone Lidar ne seront réalisés que sur les estives d'Enveitg et d'Aulon. Quant aux autres acquisitions drone (photogrammétrie et thermographie), elles seront réalisés sur l'ensemble des zones d'étude, tout comme la photo-interprétation. Les traitements d'image satellite dependent de notre capacité à pouvoir disposer de données pour l'ensemble des zones d'étude.

Il serait également intéressant de commencer à travailler sur une approche multi-temporelle, notamment grace aux acquisitions pléiade du CNES, qui pourrait apporter d'autres indicateurs archéologiques. En effet, l'exploitation multi-temporelle d'image satellite par exemple mais aussi d'acquisition thermique ou photographique permettent de distinguer des évolutions intra-annuelles d'une zone d'étude en mettant en évidence des stades phénologiques des végétaux qui pourraient spatialement varier et avoir pour origine la présence de vestige archéologiques enfouis.

En plus de l'évaluation du potentiel intrinsèque de chaque outil développé dans le cadre du programme de recherche TAHMM, il s'agira de mettre en place une procédure d'intégration et de combinaison de l'information acquises par plusieurs appareillages pour arriver à une détection plus fine des vestiges archéologiques en haute montagne. Il s'agit là des enjeux majeurs pour ce programme de recherche qui nécessitera la mise en place de collaboratoire avec des statisticiens spécialisés dans les tests de probabilité et avec des spécialistes dans les approches multifactorielles.



Partie 5 -ANNEXES

I **Lettre de la revue ArchéoSciences**



**ARCHEOSCIENCES**  
Revue d'Archéométrie

<http://gmpca.u-bordeaux3.fr>

Rennes, le 31 janvier 2020

Philippe LANOS  
Editeur en chef d'ARCHEOSCIENCES revue d'archéométrie

**ATTESTATION**

Nous attestons par la présente que Carine CALASTRENC, François BALEUX, Nicolas POIRIER et Christine RENDU nous ont envoyé le 31 décembre 2019 pour publication dans la revue ARCHEOSCIENCES, revue d'archéométrie, le manuscrit intitulé :

***Thermographie aéroportée par drone.  
Nouvelle procédure pour la détection archéologie en haute montagne.***

Le manuscrit complet (texte et figures) sera confié prochainement pour relecture à deux experts.

Son éventuelle recevabilité pour notre revue vous sera communiquée dans les prochains mois.

Fait pour valoir ce que de droit.

Pour toute correspondance concernant ARCHEOSCIENCES revue d'archéométrie,  
Ph. Lanos, Laboratoire Géosciences-Rennes, université Rennes 1, Beaulieu, 35042 RENNES Cedex (F)  
Tél. : 02 23 23 56 77 ou 02 23 23 56 39 - Fax : 02 23 23 69 34  
<http://gmpca.u-bordeaux3.fr> / E-mail : [philippe.lanos@univ-rennes1.fr](mailto:philippe.lanos@univ-rennes1.fr)

## II **Caractéristiques des objets à détecter**

- III. Avant de poser la question des outils et méthodes à mettre en œuvre, la première question est : Que cherche-t-on à détecter ? Sur quels indicateurs est-il possible de se baser ?
- IV. Il sera ensuite possible de définir les différents moyens à mettre en pratique pour parvenir à la détection des structures agropastorales en milieu de haute et moyenne montagne avec des méthodes non invasives. Grâce aux outils et techniques de la télédétection (traitement des images classiques et multispectrales), à l'analyse d'image thermique, à la lasergrammétrie et photogrammétrie, aux outils de géophysique (géoradar et magnétique) et à des analyses chimiques des sols (XRF-Fluorescence des rayons X), il est possible de commencer à travailler sur les procédures d'acquisition et de traitement pour une meilleure détection des vestiges archéologiques en milieu d'altitude.

Avant de mettre en œuvre tout un ensemble d'outil et d'appareillage, la première étape est celle de la définition des caractéristiques des objets à repérer à partir des produits dérivés issus des méthodes de détection non invasives envisagée (raster, nuage de point).

- Comment perçoit-on les structures ?
- Quelles sont les indicateurs de leur présence et les caractéristiques à rechercher ?
- Quels sont les seuils de détection ?

La majorité des outils qui seront mis en œuvre dans le cadre du programme de recherche TAHMM fournissent des données rasters qu'il faut traiter et analyser. Les traitements possibles divergent en fonction des types de rasters. Image « classique » où chaque pixel expriment une valeur de couleur (3 bandes – Rouge, Vert, Bleue), image traduisant le relief où chaque pixel complète l'information de couleur avec l'altitude, image multispectrale qui rajoute à la valeur de couleur celle d'une 4<sup>ème</sup> bande, le PIR (Proche Infra Rouge), image thermique où chaque pixel rajoute à la valeur de couleur celle de la température.

L'identification d'une structure archéologique en prospection pédestre passe par l'observation de l'environnement. Contrairement au travail en plaine, le matériel archéologique, traditionnellement utilisé pour identifier et dater un site en prospection, est en contexte de haute et moyenne montagne, masqué par le couvert végétal qui n'est pas labouré. Le mobilier archéologique n'est que très rarement mis au jour par les animaux fouisseurs tels que les rongeurs (musaraignes, taupes, campagnols ou mulots) et les marmottes. Même si l'archéologie des taupinières est à développer dans ce contexte (Trachet, Poulain, Delefortie, Van Meirvenne, & De Clercq, 2017), la localisation des traces d'anthropisation ne peut pas passer par la détection du mobilier archéologique présent à la surface de taupinière.

En surface, l'identification des structures agro-pastorales se fait par l'observation de linéaments, les murs qui délimitent les constructions.

Dans le cadre d'une approche telle que celle développée par le programme de recherche TAHMM, c'est donc les aménagements, les murs, qu'il faudra rechercher sur les produits dérivés issus des techniques mises en œuvre. Le

travail de détection se fera sur des supports de type raster ou nuage de point. Identifier des structures archéologiques sur un raster ne peut s'appuyer que sur l'identification de caractéristiques particulières des pixels. Les infrastructures agro-pastorales d'altitude sont en pierres sèches, c'est-à-dire qu'aucun mortier n'est utilisé. Il est donc impossible de s'orienter vers une recherche et une identification d'un quelconque liant qui serait discernable par exemple des différences de couleur de pixel.

Les pierres utilisées pour leur construction proviennent de l'environnement immédiat du site d'implantation. Elles ne sont donc pas différentes de celles non remaniées. L'identification des structures archéologiques ne peut donc pas reposer sur la différenciation de nature, de couleur ou de texture des matériaux de construction.

Toutefois, le milieu d'altitude ne subissant que peu d'impact des activités humaines, les constructions et aménagements de l'espace pastoral se perçoivent par la présence de mur. (Fig. 35)



Figure 75 - Ensembles pastoraux en bon état de conservation situés sur des zones herbeuses (à Gauche, Secteur d'Aulon - Station de ski de Saint-Lary-Soulan ; à droite, secteur d'Avays, Réserve naturelle d'Aulon)

Il est à noter que la perception des murs est différente en fonction de leur état de conservation et de l'environnement.

Lorsque la structure se trouve dans une zone herbeuse et que les murs ont une élévation (pouvant aller de quelques dizaines de centimètre à plus d'un mètre de haut), ils sont facilement identifiables (Fig. 35). Une simple observation d'une image aérienne permet, par exemple, de les distinguer par comparaison de la couleur des pixels. Le travail de détection repose sur l'observation de différences de textures ou de forme sur l'image. Ce qui sera alors recherché est une répétition d'un motif (agencement de plusieurs pixels) ayant des propriétés homogènes. Ici, sera recherché des linéaments gris (pierre) au milieu de la pelouse (vert).

Cela devient plus complexe lorsque la structure a été édifée dans un chaos rocheux (Fig. 36). Comment différencier le mur de ce qui l'entoure ? Si le mode constructif de ces aménagements a été de dégager des espaces plats et enherbés entre les gros blocs du chaos en repoussant sur les limites les plus petits rochers, il est alors possible d'identifier, non pas les murs, mais les intérieurs des aménagements. (Fig. 37) Dans ce cas, les indicateurs seront inversés. Sera recherché des aplats vert (pelouse) au milieu de chaos rocheux.

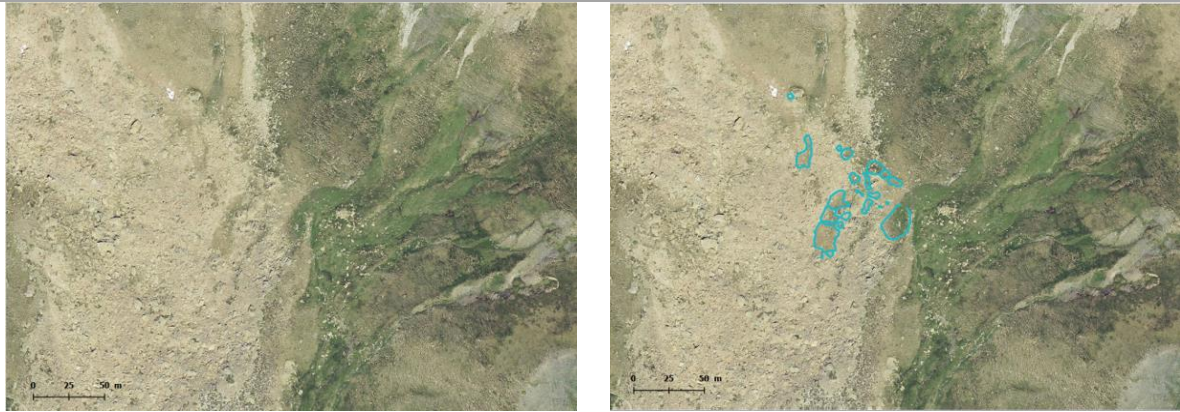


Figure 76 - Ensemble pastoral installé dans un chaos rocheux (Estive d'Anéou - 64)

Lorsque les murs sont arasés et perceptibles que par un alignement de pierre ou un microrelief, et/ou que les structures sont totalement recouvertes par la végétation, leur localisation devient plus complexe.

L'observation de l'agencement des pierres visibles en surface peut permettre leur identification. Elle est cependant très complexe. La localisation des infrastructures pastorales pourra également passer par la détection des micro-reliefs à partir de différents traitements des Modèles Numériques de Surface (MNS) construits par photogrammétrie.

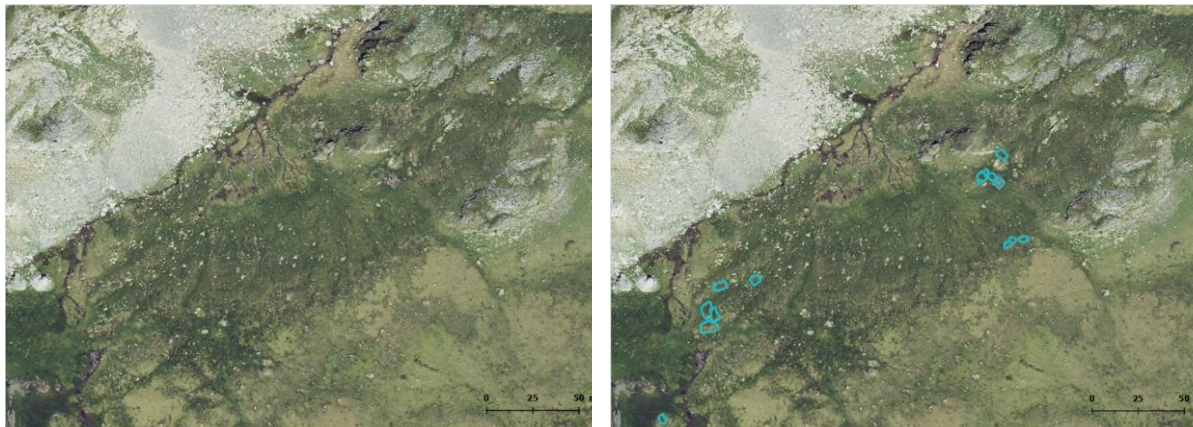


Figure 77 - Structures arasées - Murs visibles par un alignement de pierre et un microrelief (Estive d'Anéou - 64)

Pour ces constructions, il faut également se demander si la croissance de la végétation qui les recouvre ne peut pas être impactée par la présence des murs en sous-sol.

Est-ce que le développement de la végétation de haute et moyenne montagne est perturbé par les murs des structures archéologiques enfouies ?

Il faudra alors rechercher des traces de stress et/ou d'inertie hydrique comme possible marqueur de la présence de ces murs. La recherche des crop marks (Fig. 38) est courante en archéologie. Toutefois, les travaux menés jusqu'ici portent essentiellement sur des zones agricoles et notamment de céréaliculture. Le système racinaire de

plantes vivant en haute et moyenne montagne est peu développé. Toutefois, il est très dense. Ces espèces se caractérisent également par leur rusticité.

Les fouilles et sondages effectuées en milieu de montagne, que ce soit les Pyrénées ou les Alpes, montrent que dans la très grande majorité des cas, les murs affleurent sous la couche herbeuse. Se pose alors la question de savoir si dans un contexte de pelouse, la présence d'un mur en sub-surface a un impact perceptible sur la croissance et sur l'état sanitaire de la végétation que l'on pourrait identifier ? Et si oui, de déterminer quels indices de végétation peut permettre de visualiser ce stress et donc les murs sous-jacents.

Des structures ont également pu être aménagées dans les pentes par nivellement du sol. Ces édifices sont très facilement identifiables sur les modèles numériques de surface (MNS).

La détection des structures réalisées en matériaux périssables, et donc totalement invisibles en surface, demande, quant à elles, une approche particulière. Outre l'inspection du sous-sol avec des appareils de géophysique, il faudra s'appuyer sur des analyses chimiques de sols. L'occupation et les activités humaines d'un site laissent des traces chimiques. En contexte archéologique, les indicateurs chimiques les plus souvent recherchés sont ceux liés aux activités et traitement des métaux. Toutefois, ils peuvent être utilisés pour caractériser d'autres activités. Dans le contexte qui intéresse le programme TAHMM, on s'axera vers la recherche de la variation du taux de phosphate comme indicateur de la présence d'aire de parcage du bétail.

Grace aux outils et techniques de la télédétection (traitement des images classiques et multispectrales), à l'analyse d'image thermique, à la lasergrammétrie et photogrammétrie, aux outils de géophysique (géoradar et magnétique) et à des analyses chimiques des sols (XRF-Fluorescence des rayons X), il est possible de commencer à travailler sur les traitements et méthodes d'analyse à mettre en œuvre pour détecter des vestiges archéologiques en contexte de montagne. Mais comment fonctionne ces différents outils ? Qu'enregistrent-ils ?

---

## II-a- Imagerie

A partir des rasters produits par les outils mis en œuvre, il est possible de faire différents traitements. Photo-interprétation, calcul d'indices de végétation, classification non supervisée la détection des microreliefs sont les types d'analyses qu'il est possible de développer.

Toutefois, l'extraction d'information à partir d'image requiert de porter une attention particulière à la résolution spatiale des images car plus elle est petite et plus il est possible d'identifier des objets de petite taille, mais plus elle est petite et plus les objets sont perçus de façon hétérogène ce qui rend l'analyse plus complexe.

### *II-a-1. Photo-interprétation*

---

Les images aériennes permettent de repérer des anomalies, des variations de couleur du sol (Soil marks) (Fig. 38) ou des végétaux (Crop mark) pouvant être révélatrices de la présence de structures archéologiques enfouies.

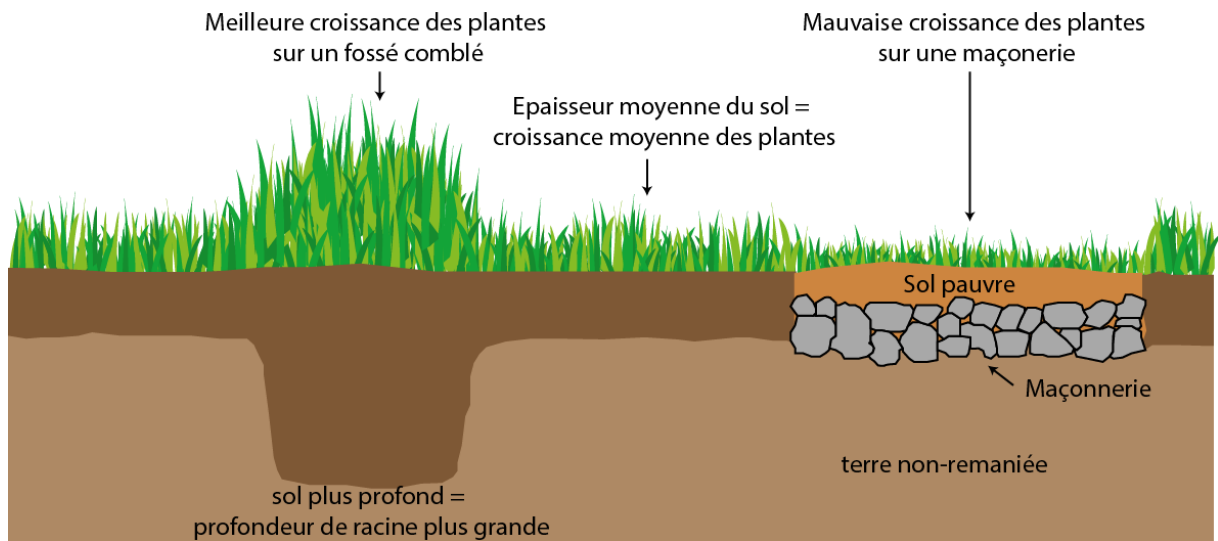


Figure 78 - Crop marks

Il est également possible de repérer des vestiges archéologiques sur des images réalisées avec une forte lumière rasante.

Les premier vecteur utilisé pour ces acquisition vont être les avions de tourisme parce-qu'ils ont une bonne autonomie ce qui leur permet de couvrir de grand territoire ou des ULM (Ultra Léger Motorisé) parce-qu'ils permettent les vols plus lents à faible altitude.

Toutefois, ces deux vecteurs ont un coût d'usage élevé (actuellement environ 150€ de l'heure) et nécessitent une mise en œuvre complexe. En effet ils demandent le recours à un pilote, nécessitent une planification des vols plusieurs semaines à l'avance ce qui réduit la maîtrise des conditions optimales d'observation, qu'elles soient météorologiques ou de lumière. Autre inconvénient, les acquisitions ne peuvent pas être faites en dessous de 150 mètres d'altitude et à moins de 140 km/h, ce qui complexifie la prise de vue (augmentation du nombre de floue) et donne une résolution spatiale moyenne des images. L'ensemble de ces contraintes sont des facteurs limitant les possibilités de répétabilité des acquisitions et donc de travailler en multitemporel. (Poirier N. , 2018)

Dans les années 2010, l'usage des drones civils s'est démocratisé. Le déploiement de drones équipés de systèmes de sécurité (retour maison, décollage et atterrissage semi-automatique, navigation par waypoint), la minaturisation des capteurs photographiques numériques ainsi que des moyens de stockage et de transmission des données, permettent aujourd'hui de proposer une réelle rupture technologique dans la détection des vestiges archéologiques.

C'est dans cet esprit que les membres de l'équipe Terrae ont développé le programme de recherche *Archéodrone* (Poirier, Hautefeuille, & Calastrenc, 2013). Ce programme vise à associer la souplesse d'utilisation des drones, la possibilité qu'ils offrent de faire varier la hauteur des acquisitions de 1 à 150 mètre. L'abaissement de la hauteur de vol et le fait que la vitesse de vol des drones peut être contrôlée et limitée (généralement à 4m/s) font que les clichés réalisés ont une très bonne résolution spatiale (généralement, les pixels font quelques centimètres

carré), ce qui a un impact majeur sur les capacités de détection. De plus, la possibilité d'effectuer plusieurs vols aux mêmes endroits à différentes périodes de la journée et/ou de l'année, cumulé à la régularité des vols programmés permet de réaliser des analyses multitemportelles. (Poirier, Hautefeuille, & Calastrenc, 2017)

L'abaissement de la hauteur d'acquisition des images aériennes a-t-il quel impact sur les capacités de détection des vestiges archéologiques ? Avec la mise à disposition par l'IGN d'orthophotographie ayant une résolution spatiale de 20 cm, une photo-interprétation ne peut-elle pas, à elle seule, s'avérer suffisante ?

Un test a été réalisé sur les 3,6 hectares du secteur de la Glère de l'estive d'Anéou (vallée d'Ossau, Pyrénées Atlantiques) à partir des images aériennes de l'IGN (Institut National de l'Information Géographique et forestière) prises en 2016 (images qui ont des pixels de 27 cm). 23 structures y ont été identifiées, là où la prospection pédestre a permis la localisation de 47 structures. Dans ce cas, la photo-interprétation sur les images aériennes de l'IGN permet l'identification de 57% des structures visibles en surface. (Fig. 39)

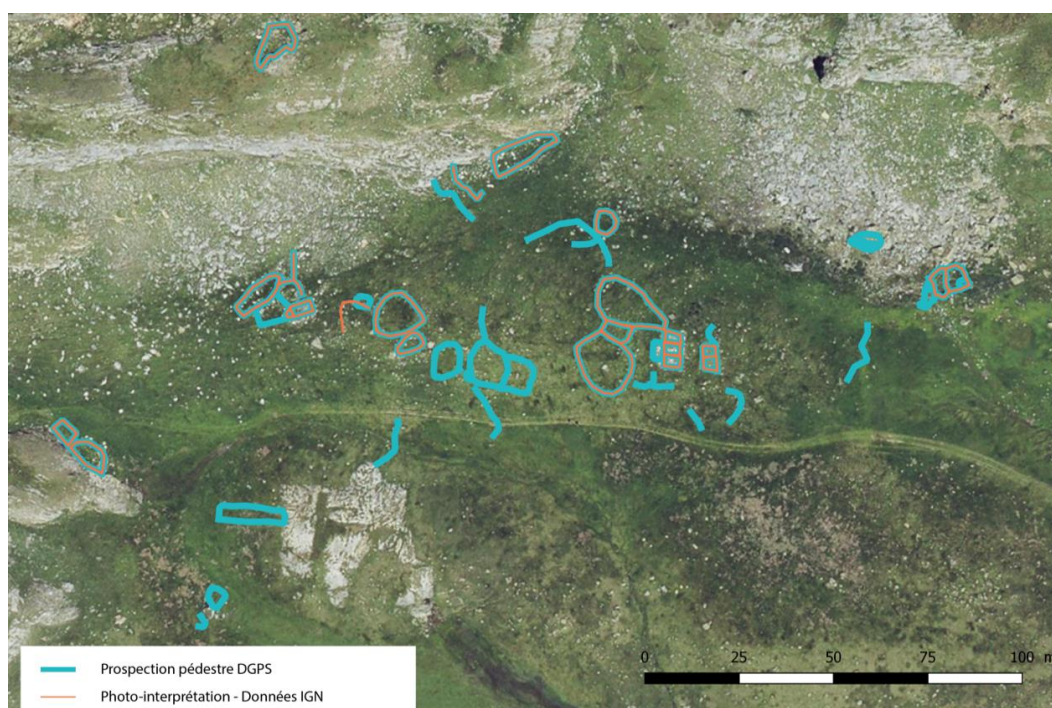


Figure 79 - Comparaison des structures vues par photo-interprétation (en orange) à partir des orthophotographies de l'IGN produites en 2016 (pixel = 27 cm) et en prospection (en bleu)

Toutefois, si l'on change la hauteur d'acquisition et que l'on réalise ce même test à partir d'une orthophotographie réalisée sur la base d'images prises par drone (ici, les images ont été acquises en 2007 par Olivier Barge, Ingénieur de Recherche CNRS au laboratoire Archéorient – UMR 5133 avec un drone Pixie) Ces images ont été prises à 100 m de haut et ses pixels font 7 cm<sup>2</sup>. A partir de l'orthophotographie, il est possible d'identifier 33 structures, ce qui représente 70% des structures visibles en surface. (Fig. 40)

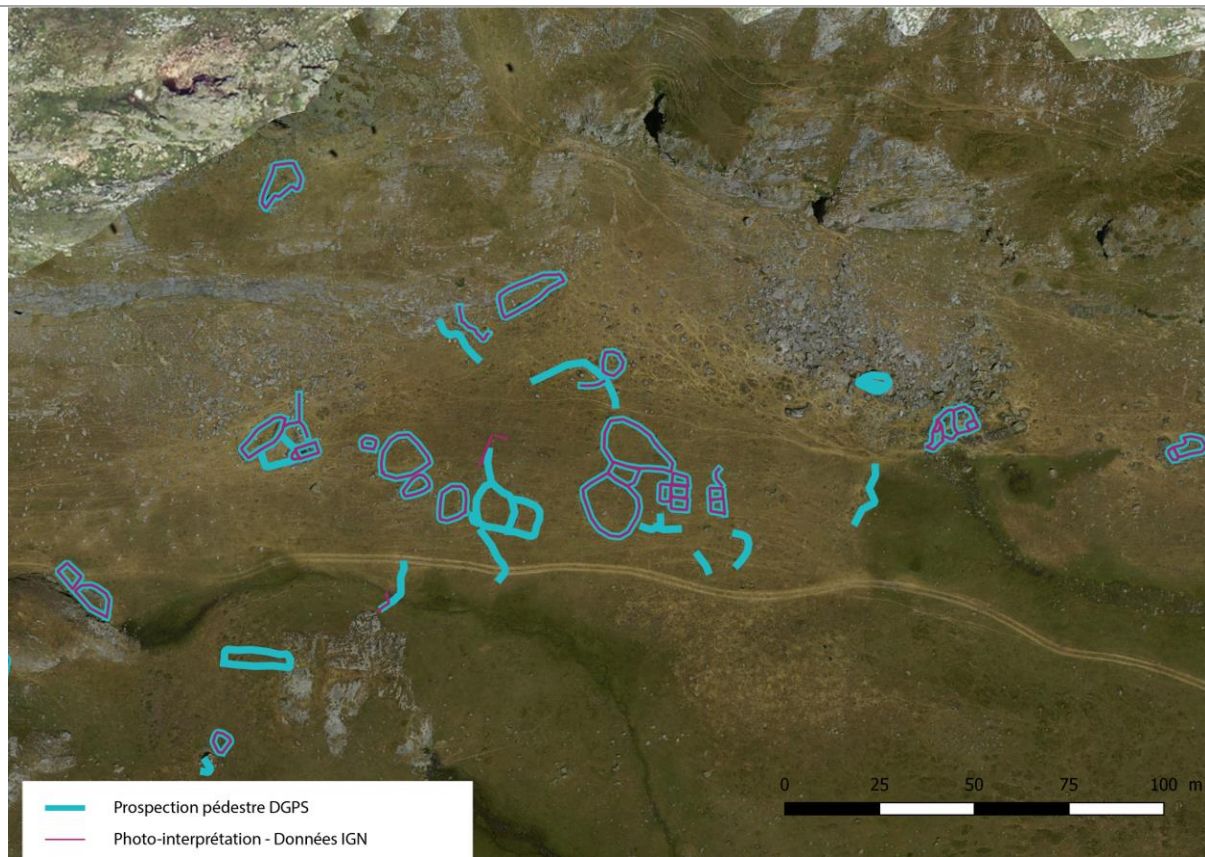


Figure 80 - Comparaison des structures vues par photo-interprétation (en rouge) à partir d'une acquisition par drone à 100 m d'altitude faites par Olivier Barge du laboratoire Archéorient (UMR 5133) (pixel 8 cm) et en prospection (en bleu)

Ce simple test démontre que la lisibilité archéologique à partir de données raster dépend de plusieurs facteurs :

- La résolution spatiale. Plus la résolution spatiale est petite, plus on distingue de détail et meilleure est la détection des vestiges archéologiques.
- la saison, l'heure d'acquisition et la météorologie. En période estivale, lorsque la végétation est rase la lisibilité des vestiges archéologique est plus facile.
- la nature de l'environnement. En zone de chaos rocheux l'identification des structures est beaucoup moins aisée et précise que sur une zone enherbée,

Les limites de la photo-interprétation sont connues et sont marquées par des temps de traitement long et une hétérogénéité de l'interprétation en fonction des images et des opérateurs. (Sparfel, Gourmelon, & Le Berre, 2008)

La photo-interprétation permet donc la localisation de zones ayant un potentiel archéologique. Elle peut être un outil pour la réalisation d'une première évaluation. Toutefois, elle demande d'être couplée à d'autres types de traitements d'image et à des analyses spatiales.



---

## II-a-2. Imagerie multispectrale satellitaire

---

Lorsque l'on cherche à adapter les méthodes de la détection archéologique pour pouvoir aborder de plus grand territoire, la question de l'usage d'imagerie satellitaire se pose.

Des travaux de détection automatique ou semi-automatique de sites archéologiques de haute et moyenne montagne par traitement d'images satellite ont déjà été réalisés.

Ainsi dans le Alpes, sur la montagne de Silvretta en Autriche (Lambers & Zingman, 2013, Lambers K. , 2010 ; Zingman, Saupe, Penatti, & Lambers, 2016 ; Lambers & Zingman, 2012 ; Zingman, Saupe, & Lambers, 2012 ; Zingman, Saupe, & Lambers, Automated, 2013 ; Zingman, Saupe, & Lambers, 2013 ; Zingman, Saupe, & Lambers, 2014 ; Zingman, Saupe, & Lambers, 2015) l'équipe de recherche dirigée par Thomas Reitmaier a travaillé sur la détection semi-automatique de structures pastorales d'altitude à partir d'algorithmes de segmentation d'image, pour repérer les différences de texture, par exemple entre l'herbe et des murs et de détection des formes, par exemple les enclos carrés sur une image.

Ce groupe de travail a obtenu des résultats. Toutefois, il s'est confronté à deux problèmes majeurs :

1. La résolution radiométrique des images satellite n'est actuellement pas suffisante pour une identification de "qualité" des sites archéologiques. En effet, les images satellites gratuites ont une taille de pixel d'au mieux, de 1.5 m, Pour ces images, la grille de pixel la plus fine proviennent des images Spot 6/7. Quant aux images satellites payantes, avec des pixels de respectivement de 0.3 m et de 0.5 m, les meilleures résolutions spatiales sont issues des images [Worldview 4](#) et [Pléiade](#) THRS.

Attention, il faut veiller à différencier résolution spatiale et taille de pixels. La taille des pixels correspond à la distance entre les pixels au sein de la grille qu'est l'image. On parle de GSD (Ground Sampling Distance). La résolution spatiale correspond au plus petit objet identifiable au sol. Elle varie en fonction de la position du capteur par rapport à l'objet. Par exemple, pour une image ayant une taille de pixel de 50 m, au nadir (le point situé sous le satellite), la résolution spatiale peut être de 50 m alors qu'en périphérie de l'image elle peut être de 125 m.

Les membres du programme de recherche travaillant sur le Puy de Dôme et sur la montagne de Silvretta notent cependant que ce problème de résolution spatiale peut être modéré par une approche multisource (De Laet & Lambers, 2009, p. 12).

2. La complexité et l'extrême variété des formes à détecter est le second écueil (Rendu, Calastrenc, Le Couédic, & Berdoy, 2016, p. 69 et 70, Le Couédic, 2010, p. 511-515). Comment repérer l'ensemble ou du moins la très grande majorité des structures archéologiques d'un pâturage lorsque les plans, les superficies et les états de conservation divergent ? Identifier les aménagements récents est aisé. Leurs murs sont très souvent visibles sur les images aériennes par une ligne de pierre bien nette au milieu d'une zone herbeuse. Igor Zingman a notamment travaillé sur l'identification de ce type de vestiges par détection semi-automatique des formes

notamment rectangulaires (Zingman, Saupe, & Lambers, 2013 ; Zingman, Saupe, Penatti, & Lambers, 2016) et des textures (Zingman, Saupe, & Lambers, 2014 ; Zingman, Saupe, & Lambers, 2014).

Mais comment repérer les constructions totalement arasées, généralement les plus anciennes, entièrement recouvertes par de la végétation et visibles que par des micros-reliefs d'une dizaine de centimètre de hauteur ou par un alignement de quelques pierres éparses ?

Travailler avec des images satellite a deux atouts :

1. Elles permettent de travailler sur plusieurs bandes spectrales. Il est ainsi possible de faire des calculs d'indice de végétation
2. Elles permettent de réaliser des classifications non supervisées et/ou supervisées d'objet.

### *II-a-2.1. Indices de végétation*

Les capteurs satellite multispectraux enregistrent le rayonnement solaire réfléchi par « la Terre ».

La résolution spectrale des images satellites varie en fonction de ces derniers. Ainsi, les images satellites provenant de services gratuits (Spot 6/7) ou payants (WorldView et Pléiade) offrent 4 bandes spectrales (le rouge -R-, le vert -V-, le bleu -B-et le Proche-Infra rouge -PIR-) mais, pour chacun avec des plages spectrales légèrement différentes.

<b>Pléiade</b>	<b>Worldview</b>
Bleu - 450 et 510 nm	Bleu - 420 et 500 nm
Vert - 510 et 580 nm	Vert - 520 et 600 nm
Rouge - 655 et 690 nm	Rouge - 610 et 690 nm
PIR - 780 et 920 nm	PIR - 760 et 890 nm

Chaque satellite définit les bornes des bandes spectrales qu'il perçoit. Tous les satellites ne voient donc pas de la même manière une même surface.

Ces satellites produisent des images qui permettent de distinguer des « signatures spectrales » différentes en fonction des surfaces. Ce qu'ils permettent de percevoir, c'est la réflectance des objets (qui correspond au rapport de l'intensité du rayonnement réfléchi par une surface à celle du rayonnement incident). (SEOS Project, s/d)

Ces signatures correspondent à la courbe de réflectance de la surface en fonction des longueurs d'ondes du spectre électromagnétiques. Par exemple, la végétation réfléchit plus dans les plages spectrales allant de 0,7 à 0,9 micromètre alors qu'un sol nu se caractérisera par une signature spectrale allant de 0,6 à 0,7 micromètre.

Les propriétés spectrales de la végétation dépendant du type de plante, de leur état physiologique, de leur teneur en eau mais aussi du type de sol.

Les feuilles des plantes ont des propriétés optiques qui dépendent de leurs caractéristiques biochimiques (teneur en pigments, structure cellulaire, teneur en eau, état physiologique, ...). Il est possible de distinguer 3 éléments qui

interviennent dans les propriétés optiques des feuilles : la teneur en pigments, leur structure cellulaire, leur teneur en eau. Ces trois éléments sont variables dans le temps. (Météosat seconde génération ; Tisseyre, 2014)

Tous les végétaux renferment des pigments comme la chlorophylle, le carotène ou les anthocyanes. La chlorophylle possède deux bandes d'absorption : le bleu (450 nm) et le rouge (600 nm). (Fig. 41) La présence de pigments foliaire dans les végétaux est donc responsable de la forte absorption du rayonnement visible avec un maximum relatif de réflectance autour du vert (550 nm).

La structure anatomique des plantes joue également un rôle important dans la signature spectrale de la végétation (Fig. 42). La chlorophylle absorbe la majeure partie du rayonnement visible mais le Proche-Infra Rouge (PIR) traverse la feuille jusqu'à la couche cellulaire constituée de cellules irrégulières et d'espace intercellulaires dans lesquels sont stockés les gaz échangés entre la feuille et l'atmosphère. La réflectance dans les bandes rouges et PIR est donc directement liée à la biomasse. C'est sur ces deux bandes que se feront les calculs d'indices de végétation. (GIRARD & GIRARD)

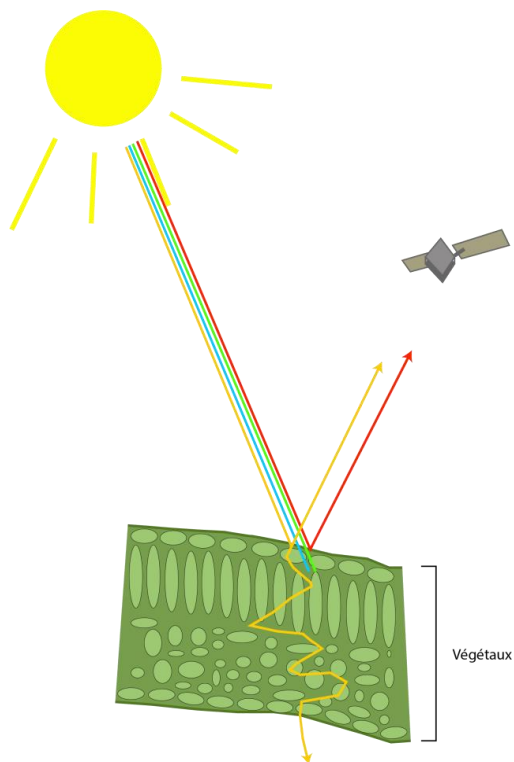


Figure 81 - Réflectance des bandes spectrales sur les végétaux

La teneur en eau des feuilles est aussi un facteur qui influence la signature spectrale de la végétation. Plus la teneur en eau est forte et plus la réflectance de la végétation baisse, notamment dans les longueurs d'onde allant de 1450 nm à 1900 nm qui permettent de détecter le stress hydrique des plantes.

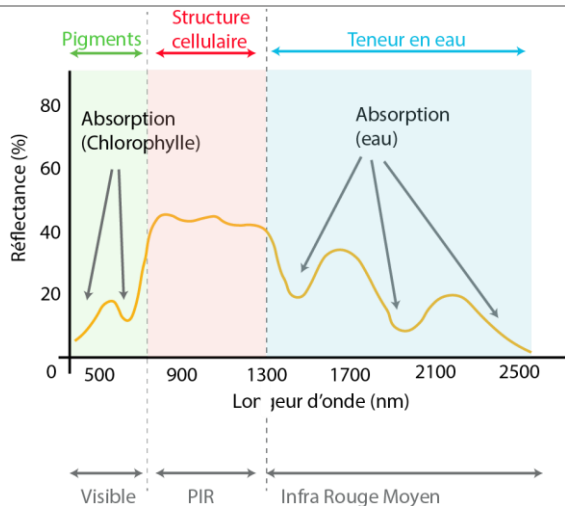


Figure 82 - Signature spectrale des végétaux

Pour effectuer des calculs d'indice de végétation, qui permettent d'identifier des végétaux, de connaître leur densité et/ou leur état de santé, seront utilisées les longueurs d'onde et l'intensité de la réponse spectrale. Ce que l'on va essayer de détecter, c'est l'impact des structures archéologiques enfouies sur le développement ou la couleur de la végétation (Fig. 43)

Les indices de suivi de la végétation les plus couramment utilisés sont l'*Indice de Végétation par Différence Normalisée* (NDVI), l'*Indice de Végétation Amélioré* (EVI) ou l'*indice Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI). (Lasaponara & Masini, 2006, Agapiou, Hadjimisis, & Alexakis, 2012) Sont également utilisé l'amélioration des histogrammes et les Analyse en Composante Principale (ACP).

Ces dernières années, des chercheurs travaillent sur l'amélioration des traitements des images multispectrales pour de la détection archéologique par l'utilisation d'équation linéaires. Ces équations ont été développées pour plusieurs capteurs satellites à moyenne et haute résolution (essentiellement QuickBird et GeoEye qui ont une résolution spatiale avec un pixel de 46 cm). Elles permettent d'obtenir un nouvel espace spectral 3D où les 3 composantes sont : Croissance végétale, les cultures, le sol. (Agapiou, Lysandrou, Lasaponara, Masini, & Hadjimitsis, 2016)

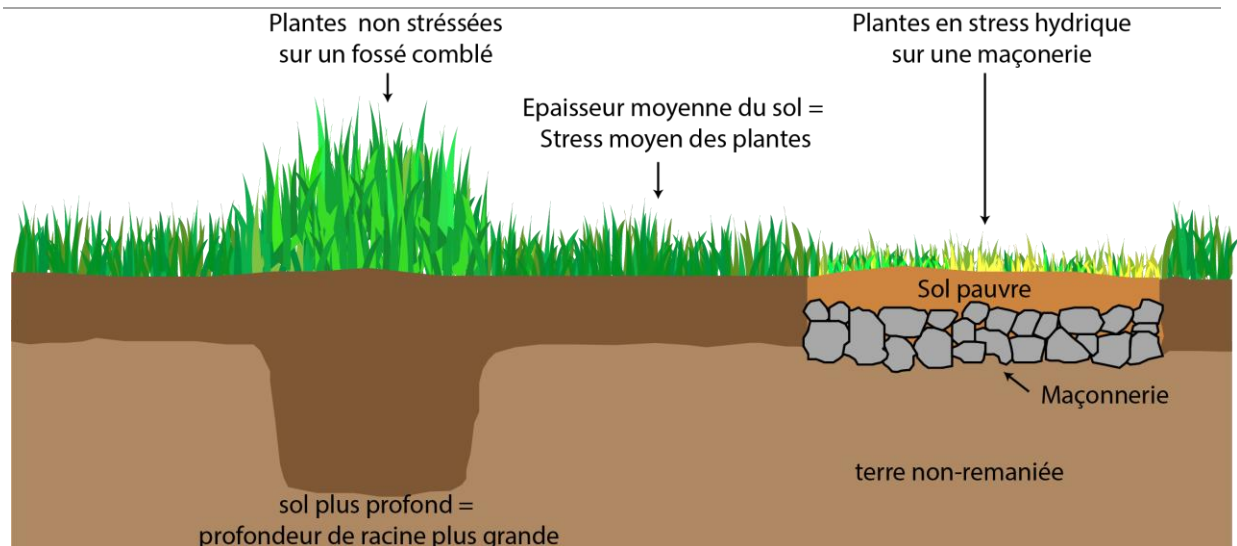


Figure 83 - Principe du stress hydrique des plantes

### II-a-2.2. Classification d'image

Le traitement des images multispectrales peut également être un peu plus poussé en réalisant des classifications non supervisée ou orientée objet. (Ducrot, 2005)

#### II-a-2.2.1. Classification non supervisée.

Lors d'une classification non supervisée ou semi supervisée, les objets recherchés ne sont pas déterminés par l'opérateur mais par des algorithmes.

Pour classifier l'image, ces algorithmes utilisent la valeur spectrale des pixels. (Fig. 44)

L'opérateur détermine le nombre de classe qu'il souhaite obtenir et peut également définir des paramètres de distance entre les classes. Une fois que l'algorithme a effectué la classification, l'opérateur affecte un nom à chaque classe et/ou peut combiner plusieurs classes.

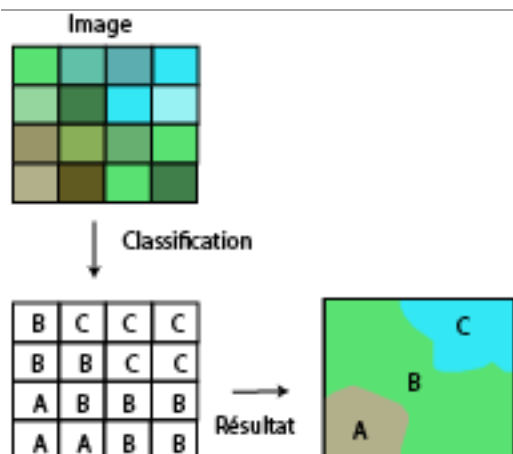


Figure 84 - Principe de la classification non supervisée

L'équipe menée par Lambers, Zingman et Reitmaier dans les Alpes, sur la montagne de Silvretta en Autriche (Lambers & Zingman, 2013, Lambers K., 2010 ; Zingman, Saupe, Penatti, & Lambers, 2016 ; Lambers & Zingman, 2012 ; Zingman, Saupe, & Lambers, 2012 ; Zingman, Saupe, & Lambers, Automated, 2013 ; Zingman, Saupe, & Lambers, 2013 ; Zingman, Saupe, & Lambers, 2014 ; Zingman, Saupe, & Lambers, 2015) a travaillé sur la détection semi-automatique de structures pastorales d'altitude à partir d'un algorithme de segmentation d'image pour repérer les différences de texture entre l'herbe et les murs des structures archéologiques visibles en surface et pour détecter les enclos carrés sur une image. Leurs travaux montrent que la classification non supervisée ou semi-supervisée est difficile à mettre en œuvre sur ce type d'objet tant leur identification est complexe du fait de leur extrême hétérogénéité de forme et de texture.

#### II-a-2.2.2. Classification Orientée Objet

Contrairement à la classification non supervisée ou semi-supervisée, la Classification Orientée Objet (COO) ne traite pas les pixels individuellement, mais se base sur des groupes (des objets) définis par l'opérateur.

Cette démarche demande d'avoir une connaissance très fine des objets recherchés car en premier lieu, il faut les définir (ici, les structures archéologiques) et donc disposer de référentiels. Il est donc nécessaire d'établir une nomenclature des objets recherchés et d'identifier les variables qui les définissent. C'est l'étape de définition des classes, étape qui est réalisée par l'utilisateur et correspond aux objets qu'il recherche.

La seconde étape consiste à découper l'espace, à segmenter l'image, en sections, en groupe de pixels, de même apparence. Ce regroupement portera non seulement sur les valeurs spectrales des pixels mais aussi sur la taille, la forme et son voisinage. Durant cette étape, les pixels sont progressivement regroupés à leurs voisins pour créer des objets de plus en plus grands tout en respectant un seuil d'hétérogénéité (Sparfel, Gourmelon, & Le Berre, 2008). Le seuil d'hétérogénéité des objets est calculé en prenant en compte la couleur des pixels, ce qui renvoie à la valeur spectrale, et à la forme de l'objet ce qui correspond à sa texture. Il s'agit de déterminer les classes, une nomenclature de classification et de fournir des échantillons permettant l'initialisation et la validation de la classification. Il faut donc prendre en compte la taille des objets que l'on souhaite identifier. Si elle est supérieure à la taille des pixels de l'image, les contraintes de détermination des pixels servant à la classification sont faibles.

Si l'objet est inférieur à la taille des pixels de l'image, les contraintes de sélection des pixels servant à la classification vont être fortes.

S'ensuit une validation de l'apprentissage qui peut être inter-classe ou intra-classe. (Fig. 45)

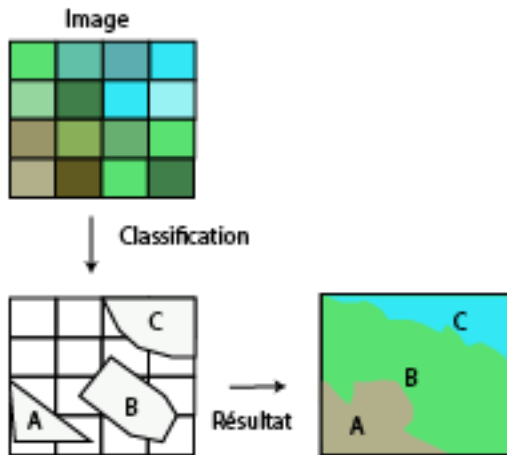


Figure 85 - Principe de la classification supervisée

L'avantage de la classification supervisée est qu'elle prend appui sur la connaissance des chercheurs, mais ne peut servir dans le cadre d'une première approche d'un secteur. Elle ne peut être généralisée à l'ensemble d'un massif par exemple.

### II-a-2.3. Image multispectrale par drone

Il est maintenant possible de faire ces analyses (calcul d'indice de végétation, classification supervisée et non-supervisée) à partir d'images multispectrales prises par drone. L'abaissement de la hauteur d'acquisition des données permet d'obtenir une meilleure résolution spatiale (Poirier, Hautefeuille, & Calastrenc, 2013) et donc une classification plus fine. Par exemple, avec un drone à voilure fixe, le [DT18 de Delair Tech'](#) (Fig. 46), l'image multispectrale (R, V, B, PIR et Red Edge) en sortie, prise à environ 100 m de hauteur, aura un pixel de 7,5 cm contre 50 cm pour une image satellite Pléiade. Théoriquement, avec les images de ce drone, il serait possible de détecter des objets d'une quinzaine de centimètres contre 1 m pour les images Pléiade. Reste que l'utilisation de ce drone en haute montagne est compliquée. Les reliefs forts empêchent très souvent son utilisation car les taux d'incidence nécessaires pour passer les reliefs sont supérieurs à ceux supportés par ce drone. Son utilisation ne peut pas être généralisée. Toutefois, un capteur multispectral, voire même hyperspectral, implémenté sur un drone à voilure tournante permettrait de résoudre ce problème.



Figure 86 - DT18 (Photo. Nicolas Poirier)

#### *II-a-2.4. Thermographie aéroportée par drone*

---

La thermographie par avion est utilisée depuis les années 1970 en archéologie (Tabbagh, 1977, Lundén, 1985 , Bellerby, 1990). Cette technique coûteuse et compliquée à mettre en œuvre a été abandonnée par les archéologues. Toutefois, un regain d'intérêt s'observe depuis quelques années. La minaturisation récente des capteurs infrarouges thermiques et l'amélioration de leur résolution spatiale et spectrale permet détecter des anomalies thermiques fines (Cailloce, 2015) C'est en 2011 que l'équipe Terrae a commencer les premiers tests de télédétection archéologique par thermographie par drone. (Poirier N. H., 2013)

La prospection thermique aéroportée repose sur le principe selon lequel il existe une différence thermique de la surface du sol ou de la végétation sur les zones renfermant des structures archéologiques enfouies par rapport aux milieux (Eppelbaum, 2009). (Fig. 47) Les structures archéologiques enfouies auront tendance à réagir différemment aux changements de température par rapport aux sédiments encaissants, se réchauffant ou se refroidissant plus ou moins rapidement selon leur nature. Par exemple, les structures construites en pierre auront une inertie thermique plus grande que les sédiments qui l'entourent. Ce que l'on va donc pouvoir observer en thermographie par drone, c'est une plus grande inertie thermique à l'emplacement des structures archéologiques. Ainsi, dans un champ de céréales, les racines des plantes viennent en contact avec les vestiges archéologiques comme des murs. Les plantes situées sur ces vestiges vont avoir moins d'eau et moins de nutriments que les autres. Elles vont donc être stressées et vont avoir tendance à chauffer plus que les autres. (Poirier, 2012 ; Poirier, Prospection aérothermique, 2016)



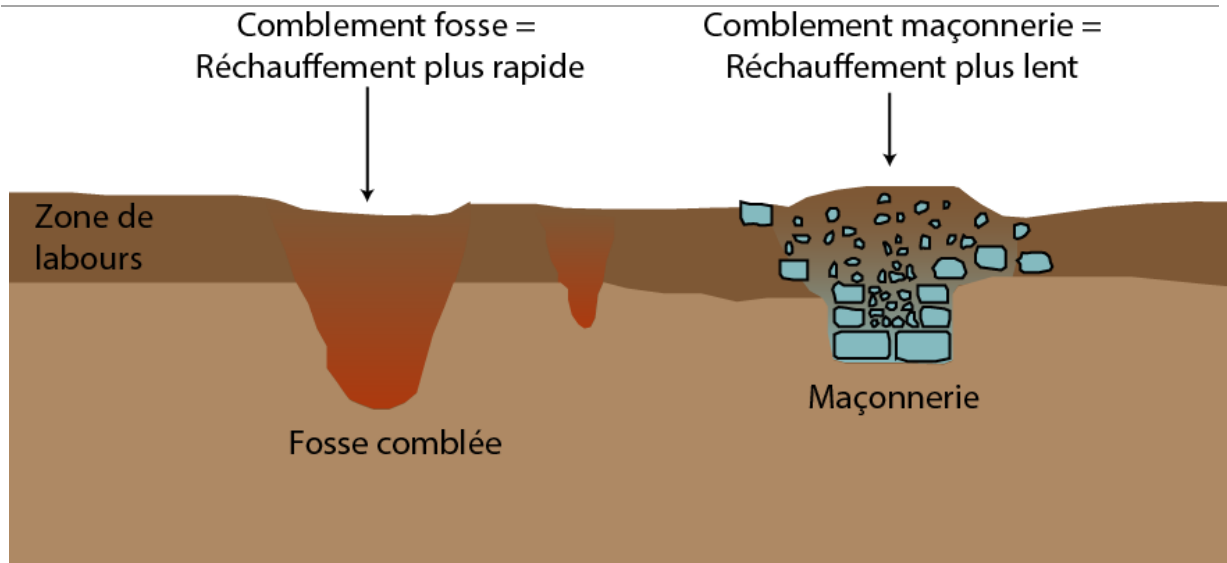


Figure 87 - Principe de la thermographie en archéologie

Coupler cette technologie avec un drone permet de pallier les contraintes fortes des acquisitions par avion ou hélicoptère. C'est ce qui a été développé dans le cadre du programme *Archéodrone*. Le premier type de capteur implémenté sur un drone a été un appareil photographique numérique pour des travaux de photogrammétrie (Cf chapitre Photogrammétrie) et une caméra thermique pour de la détection par thermographie. Pour la thermographie, les choix s'est portés sur un drone octorotor équipé d'une caméra thermique FLIR T620 posée sur une navette munie d'un axe de rotation horizontal. Cette caméra permet d'obtenir des clichés thermiques situés dans la gamme d'infrarouge thermique allant de 7,5 à 14  $\mu\text{m}$  avec une sensibilité de 0,04°. La résolution des images est relativement faible (480 x 640 pixels) mais cela peut être en partie compensé par l'abaissement de l'altitude de vol. Ces clichés peuvent être travaillés et traités dans un logiciel FLIR dédié « Flir Tools ». (Poirier, Hautefeuille, & Calastrenc, 2013)

## II-b. 3D

L'identification des anomalies de relief (microreliefs), possible révélateurs de la présence de vestiges archéologiques, est un des enjeux de la prospection archéologiques. En archéologie des milieux d'altitude où le couvert végétal est très dense, la lasergrammétrie et la photogrammétrie peuvent être utilisées pour cela.

### II-b-1. Lasergrammétrie (Lidar)

La lasergrammétrie aéroportée à partir d'avion est utilisée depuis les années 2000 en archéologie, et sa fiabilité n'est plus à démontrer (Georges-Leroy, Bock, Dambrine, & Dupouey, 2011 ; Florez, et al., 2013 ; Toumazet J.-P. , Vautier, Roussel, Rassat, & Doustreysier, 2016 ; Toumazet j.-p. , Vautier, Roussel, & Doustreysier, 2017).

Toutefois, ce type d'acquisition est coûteuse, environ 15 000 € par km<sup>2</sup> et ne peut concerner que de grands espaces boisés (Fig. 48).

Le principe d'acquisition lasergrammétrique repose sur la mesure du temps entre l'émission d'un faisceau laser à partir du vecteur (avion, hélicoptère ou drone) et sa réception. Cela permet de calculer la distance entre la source et la cible. Comme l'angle d'émission du faisceau est connu, il est alors possible de connaître la position de chaque point.

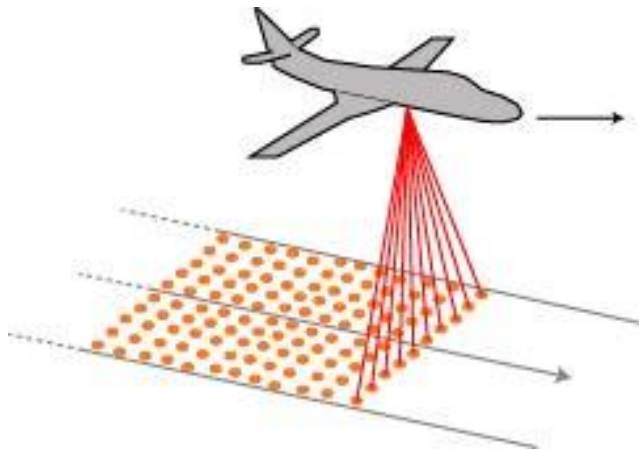


Figure 88 - Principe de l'acquisition par lasergrammétrie aéroportée par avion

L'équipe de recherche travaillant sur le Puy-de-Dôme (Toumazet, Vautier, Roussel, & Dousteysier, 2017) a mis au point, à partir de données Lidar acquises par avion, une procédure d'extraction automatique des caractéristiques correspondant à des structures agropastorales, qui se caractérisent par une forme très simple (une structure circulaire dont l'accès se fait par un couloir) et très "standardisée". Dans ce cas, l'utilisation classique de l'ombrage n'a pas été réalisée car les ombres structurées introduisent une erreur de position et une déformation de la morphologie des structures.

Leur travail s'est orienté vers l'appariement de modèles et sur une classification orientée objet. La méthode mise en place est efficace. Elle a permis d'identifier 91% des structures archéologiques présentes sur la zone d'étude. Les structures archéologiques qui n'ont pas été identifiées (7% du corpus) correspondent, soit à des formes très érodées, soit à des endroits où l'algorithme a regroupé 2 structures très proches. 25% des structures identifiées sont des détections abusives (Toumazet J.-P., Vautier, Roussel, Rassat, & Doustreysier, 2016 ; Florez, et al., 2014 ; Toumazet j.-p., Vautier, Roussel, & Dousteysier, 2017).

Dans le cadre du programme TAHMM, l'usage de la lasergrammétrie aéroportée par avion n'est pas prévu. En premier lieu parce-que les terrains d'étude ne sont que très faiblement boisés et que d'autre part le coût d'une acquisition ne peut être financée. La lasergrammétrie par drone sera, cependant utilisée pour tenter d'acquérir des données notamment dans les parties recouvertes de végétation basse de type genêts ou rhododendron. (Fig. 49)

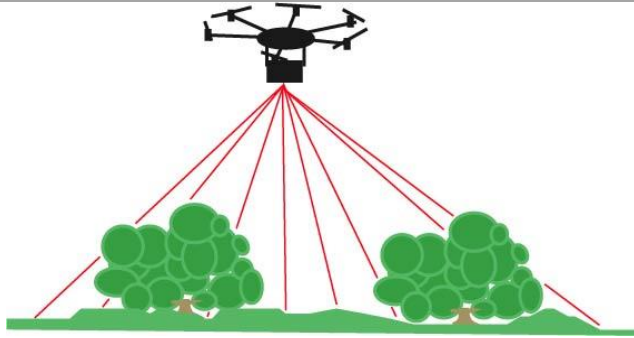


Figure 89 - Principe acquisition lasergrammétrique par drone

Le capteur Lidar du laboratoire TRACES étant en panne cette année, il a été impossible de le mettre en œuvre. Cela sera réalisé en 2019.

### *II-b-2. Photogrammétrie*

C'est à partir des années 2000, avec le développement de la photographie numérique et de la puissance de calcul des ordinateurs civils que va se renouveler la pratique de la photogrammétrie. L'automatisation des tâches et la mise au point de logiciel ergonomique permettant la correspondance d'image par corrélation dense a été un véritablement le facteur de démocratisation de cette technique. (Pierrot-Deseilligny & Clery, 2011) La correspondance d'image par corrélation dense permet d'obtenir un modèle 3D de façon automatique à partir d'image numérique sans étalonnage de l'appareil photo. C'est la création du détecteur de Harris (Harris & Stephens, 1988) et du détecteur SIFT (Lowe, 1999) qui est à l'origine de sa mise au point. Ces deux types d'algorithme permettent l'appariement de détails homologues, c'est-à-dire de points d'un même objet présent sur plusieurs clichés pris de points de vue différents. (Fig. 50)

C'est la distance de prise de vue et la qualité du capteur de l'appareil photo utilisé qui donne la qualité du modèle 3D obtenue.

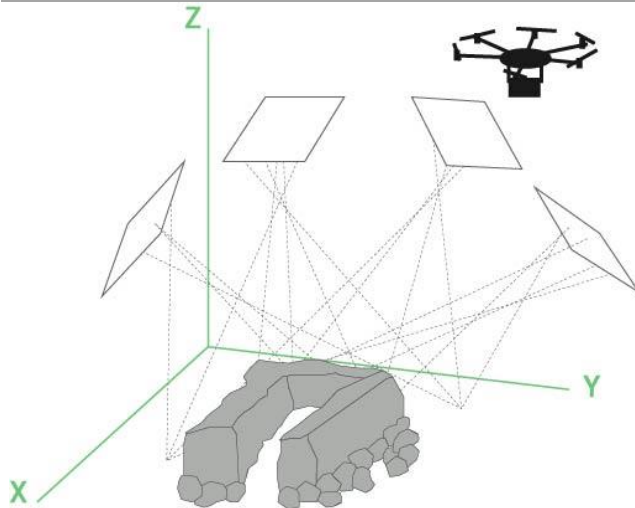


Figure 90 - Photogrammétrie par drone

La solidité des modèles produits repose sur la redondance des images. Ces dernières doivent montrer un très fort recouvrement (80%).

La création de Modèles Numériques de Terrain (MNT) par photogrammétrie permet de travailler à la détection des microreliefs via différents types de traitement tels que les ombrages multidirectionnels, le Skyview Factor, le calcul de la rugosité, le Simple Local Relief Model, ...etc.

## II-c. Géophysique

Initialement mis au point pour des études en géologie et pour la prospection minière et pétrolière, la prospection géophysique entre dans les pratiques de l'archéologie dans les années 40. Les matériels et logiciels de traitement qui sont utilisés dans le cadre de ces travaux sont rodés et leurs capacités de détection archéologique ne sont plus à démontrer. Ces outils permettent d'étudier le sous-sol à partir de mesures de certaines de ses propriétés.

Dans le cadre du programme TAHMM, seront utilisés le géoradar et le magnétomètre.

## II-c-1. Géoradar

Le géoradar ou GPR (*Ground Penetrating Radar*) est un des outils de la géophysique. Il envoie des ondes électromagnétiques dans le sous-sol grâce à une antenne émettrice. Lorsque ces ondes rencontrent des changements de textures et/ou de composition du sous-sol, une partie du signal est renvoyé vers la surface et enregistré par une antenne réceptrice.

La profondeur d'acquisition des données dépend des types d'antenne et des longueurs d'ondes qu'elle peut envoyer dans le sous-sol mais aussi de la conductivité de ce dernier. Plus le sous-sol sera conducteur et plus le relevé sera limité en profondeur. De plus, il faut prendre en compte la fréquence de l'antenne émettrice. Plus elle est élevée plus la résolution des données sera fine mais la perception sera moins profonde qu'avec une antenne à fréquence plus faible. (Fig. 51)

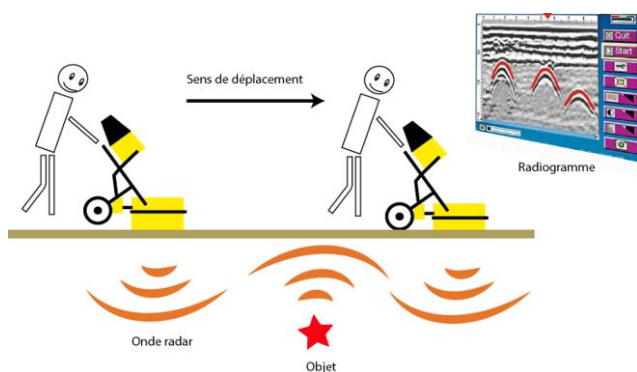


Figure 91 - Principe de fonctionnement du géoradar

Le relevé s'effectue en déplaçant l'antenne émettrice et le boîtier de commande sur le terrain à prospecter suivant des lignes parallèles régulièrement espacées. L'antenne doit toujours être en contact avec le sol. L'écart entre chaque ligne de relevé déterminera la précision de ce dernier. Plus l'écart sera large et moins précis sera le relevé. D'une façon générale, elles sont le plus souvent écartées de 50 cm.

Le résultat de l'acquisition est un ensemble de radiogrammes (un radiogramme par ligne de relevés effectués) qui sont ensuite traités dans un logiciel dédié. Après association et filtrage, il est possible d'obtenir une cartographie 3D du sous-sol.

Le géoradar permet donc d'obtenir une représentation 3D des contrastes de permittivités ou de conductivités rencontrés par les ondes électromagnétiques émises et d'y distinguer des anomalies pouvant correspondre à des structures archéologiques. Cet outil a été utilisé par Ted Gracson à Laurrau (Pyrénées-Atlantiques) dans le cadre des prospections archéologiques dirigées par Mélanie Le Couédic (Le Couédic, Champagne, Contamine, Coughlan, Gracson, & Haley, 2014). Il a montré tout son intérêt en

milieu de haute et moyenne montagne en dévoilant, sur plusieurs sites, des anomalies pouvant correspondre à des vestiges d'aménagements enfouis sous la surface.

Le laboratoire TRACES est équipé d'un géoradar de la marque GSSI équipé d'une unité de contrôle SIR 4000 et de 3 antennes émettrices (200 MHz, 400MHz et 900MHz) permettant des acquisitions entre 50 cm et 6 m de profondeur. L'antenne de 400MHz peut être opérée sur le terrain à l'aide d'un chariot à 3 roues poussé ou tiré par l'opérateur (Fig. 52). Les données acquises sont traitées avec le logiciel RADAN7. (Poirier, Géophysique, 2016)

Pour des raisons de difficulté de portage du matériel, ces appareils n'ont pas pu être mis en œuvre cette année. Cela sera réalisé en 2019.



Figure 92 - Relevé au géoradar (Photo Poirier. Nicolas)

### II-c-2. Magnétomètre

Le magnétomètre est un appareil de géophysique qui mesure en surface et enregistre les légères variations locales du champ magnétique terrestre qui sont liées à des variations d'aimantations dans le sous-sol. Ces mesures se font en nano tesla (nT). (Gavazzi & Calou, 2016). (Fig. 53)

Les anomalies magnétiques ont toujours une partie positive et une autre négative. La forme de ce dipôle dépend de la direction du champ magnétique régional ainsi que des propriétés de la source de l'anomalie. Cet outil est particulièrement adapté pour identifier les structures en creux de type fosses, fossés, des zones ayant subi l'action du feu (foyer, four, forge) et dans certains cas des murs.

Le laboratoire TRACES (UMR 5608) a acquis un magnétomètre à protons champ total GSM-19. Sa technologie « overhauser » permet de décupler sa sensibilité jusqu'à 0,01 nT avec un échantillon par seconde de relevé. Il est équipé d'un GPS permettant l'acquisition en continu au fil de la marche. Il se compose de deux capteurs installés à la verticale sur une perche accrochée à un sac à dos. Le boîtier de contrôle est positionné sur le ventre du prospecteur et est clipsé au sac à dos. (Poirier, Géophysique, 2016) (Fig. 54)

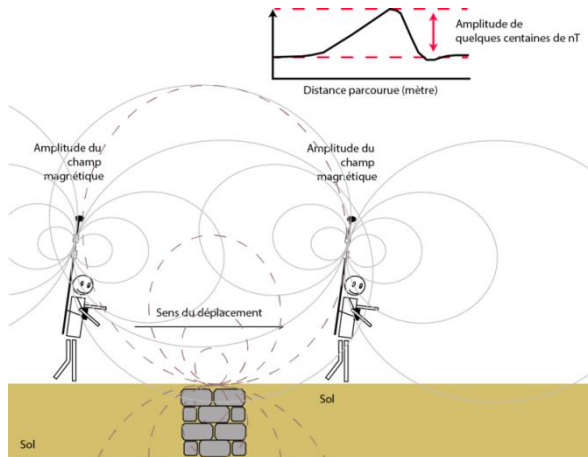


Figure 93 - Principe de fonctionnement du magnétomètre

Pour des raisons de difficulté de portage du matériel, cet appareil n'a pas pu être mis en œuvre en 2018. Cela sera réalisé en 2019.



Figure 94 - Magnétomètre GSM-19

## II-d. Analyses chimiques

Caractériser et identifier des vestiges de structures bâties demande de mettre en œuvre plusieurs outils et méthodes, mais c'est simple au regard de l'identification des enclos non bâtis mais réalisés en matériaux périssables. Ce type d'aménagement a été utilisé en haute et moyenne montagne, mais ils sont actuellement inaccessibles par les techniques classiques de prospection archéologique.

Quelle part des infrastructures pastorales représentent-ils ? Quelle forme ont-ils ? A quelle distance des cabanes se trouvent-ils ? Quelles sont leurs limites spatiales ?

Et que dire des activités annexes ou connexes au pastoralisme qui se pratiquait à l'intérieur de ces enclos. Peut-on les localiser ? les identifier ? Et en cerner l'ampleur spatiale ?

Pour ce faire, il faut avoir recours aux analyses chimiques du sol.

### *II-d-1. Fluorescence des rayons X (XRF) pour la délimitation des zones de parcage (Magali PHILIPPE – GEODE (UMR 5602))*

---

L'XRF est un appareil qui permet d'identifier la plupart des éléments chimiques qui composent l'élément étudié que ce soit des objets ou du sol. L'échantillon à analyser est placé au contact du rayon X. Sous l'effet de ce rayon, les atomes qui composent l'échantillon quittent leur état fondamental et sont rendus instables. Les atomes tentent alors de revenir à leur état fondamental en libérant de l'énergie sous forme de photons X. Chaque atome libère des photons d'énergie et de longueur d'onde qui lui sont propres. C'est l'analyse de cette émission qui permet de déterminer la nature des éléments chimiques qui constituent un échantillon ainsi que leur concentration massique. (Thirion-Merle V. , 2014) L'XRF permet d'analyser tous les éléments chimiques d'un échantillon du Béryllium (Be) à l'Uranium (U) (Fig. 55).



**TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS**

■ Non-métaux    ■ Métaux pauvres    ■ Gaz nobles  
 ■ Métaux alcalins    ■ Métalloïdes    ■ Lanthanides  
 ■ Métaux alcalino-terreux    ■ Halogènes    ■ Actinides  
 ■ Métaux de transition

Figure 95 - Tableau périodique des éléments

Il existe deux grands types d'XRF :

- les spectromètres à dispersion en longueur d'onde (WD-XRF, Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry)
- les spectromètres à dispersion en énergie (ED-XRF, Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry).

Le laboratoire GEODE dispose d'un XRF portable, le Nitron XL3t 980.

Ce que l'on cherchera à caractériser avec cet appareillage, c'est notamment la présence de taux de phosphore élevé permettant d'identifier une action anthropique et surtout une zone de parcage du bétail. (Elliott, Bendrey, Whitlam, Rauf Aziz, & Evans, 2014 ; Holliday & Gartner, 2006)

## V **Traitements des Rasters (MNS/MNT) issus de photogrammétrie et/ou de lasergrammétrie**

Il existe un très large choix d'outil pour traiter et analyser les données issues, de photogrammétrie et de lasergrammétrie.

Ne serons présenté ici que ceux ayant eu une action positive pour la détection de vestiges archéologiques enfouies.

### Ombrage unidirectionnel

Ce type de traitement permet de créer un relief ombré à partir d'un MNT ou d'un MNS en tenant compte de l'angle de la source d'éclairage et des ombres. Les zones perpendiculaires au soleil sont les plus éclairées alors

que les zones ayant un angle d'incidence supérieur ou égal à  $90^\circ$  sont visualisées comme des zones d'ombre. Il s'agit d'une méthode de visualisation de la topographie qui permet une représentation faussement « 3D », en nuances de gris, de la surface du sol en tenant compte de la position du soleil pour le calcul de l'ombrage. Il est alors possible, en faisant varier la position du soleil de modéliser les ombres à différentes heures du jour.

Les paramètres à définir lors de la création d'un ombrage sont l'azimut et l'altitude qui permettent d'indiquer la position du soleil à utiliser pour la création de l'ombrage.

L'altitude indique la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon. Les valeurs s'étendent donc de  $0^\circ$  à  $90^\circ$ . La valeur 0 étant l'horizon, la valeur 90 étant le nadir. (Fig.158)

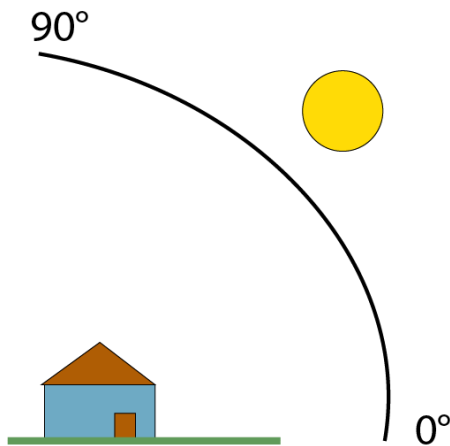


Figure 96 - Principe de l'altitude

L'azimut indique la position du soleil mesuré à partir du Nord dans le sens horaire. Ainsi, la valeur 0 indique le Nord, la valeur 90 représente l'Est, la valeur 180 indique le Sud et la valeur 270 donne l'Ouest. (Fig.159)

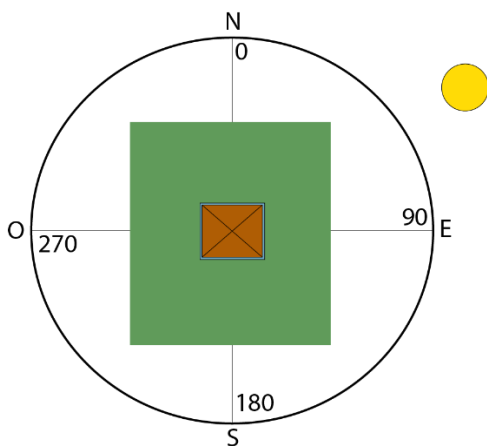


Figure 97-Principe de l'azimut

Travailler sur l'ombrage unidirectionnel demande de produire différents rasters avec différentes altitudes et azimut.

## L'Ombre multidirectionnel

L'algorithme repose sur le même principe que le calcul de l'ombrage unidirectionnel. La seule spécificité est qu'est calculé l'ombre de la scène dans 6 directions différentes. Chaque ombre est ensuite multipliée par un poids, puis les 6 ombres sont additionnées. C'est cette addition qui donne le raster final. Ce type de traitement améliore la visualisation des zones à faible relief. Il produit un ombrage plus détaillé dans les zones affectées par une saturation et des ombres profondes. Il permet aussi d'accentuer l'illumination oblique sur l'ensemble de la zone d'étude.

## Sky View Factor et Visible Sky

Ce traitement du MNT ou du MNS permet de calculer un indice qui mesure la portion de ciel visible en un point donnée sur un hémisphère centré sur l'emplacement analysé. L'algorithme calcule l'angle vertical d'élévation par rapport à l'horizon pour n directions spécifiques au rayon. Sur un point haut la portion du ciel visible sera plus grande que dans un creux. (Fig. 160)

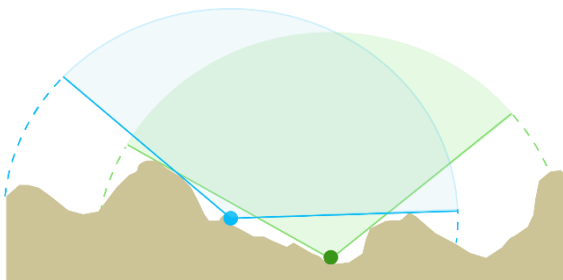


Figure 98 - Principe du Skyview Factor

Ce type de traitement a l'avantage de mettre de petites caractéristiques du relief tout en conservant la vision générale de la topographie. (Kokalj, Zaksek, & Ostir, 2011 ; Zaksek, Ostir, & Kokalj, 2011)

Les paramètres à utiliser sont la taille du radius, le nombre de direction et la méthode de traitement. Ont également une influence sur le résultat la résolution spatiale du MNT/MNS, l'exagération verticale et l'étirement de l'histogramme.

Le nombre de direction et la taille du radius sont deux paramètres interdépendants. Le nombre minimal de direction est 8. Les tests effectués montrent qu'au-delà de 32 directions, il n'y a pas d'amélioration de la détection des vestiges archéologiques. Pour déterminer le nombre de direction minimale, il faut prendre une valeur comprise entre la moitié de la valeur du rayon de recherche en pixel et la valeur de ce rayon. Par exemple, avec un rayon de recherche de 10 pixels, le nombre de direction devra être compris entre 5 et 10. (Zaksek, Ostir, & Kokalj, 2011 ; Doneus, 2013 ; Stular, Kokalj, Ostir, & Nuninger, 2012 ; Opitz, 2016 ; Opiz & Cowley, 2013)

La taille des objets à détecter est également à prendre en compte. En effet, en choisissant un grand rayon de recherche, il sera possible de visualiser de grandes caractéristiques alors qu'en choisissant un rayon de recherche petit, il sera possible de visualiser de petites caractéristiques. Il est à noter que plus la taille du rayon choisit est grand et plus le temps de calcul sera long.

### Simple Local Relief Modeling

Le « Simple Local Relief Modeling » (SLRM) permet de réduire l'impact des éléments les plus importants comme les grands reliefs (collines, vallées) pour mettre en avant les petits composants. Cet outil est utilisé depuis quelques années en archéologie (Hesse R. , 2010 ; Moyes & Montgomery, 2016 ; Štular, Kokalj, Oštir, & Nuninger, 2012 ; Fernández Lozano & Gutiérrez Alonso, 2016 ; Roman, Ursu, Lăzărescu, Opreanu, & Fărcaș, 2017). Il permet une meilleure visibilité des éléments topographiques peu profonds à petite échelle quel que soit l'angle d'éclairage. Il produit une carte matricielle des variations locales, positives et négatives, du relief.

Pour réaliser un SLRM, il faut utiliser un filtre moyen. C'est-à-dire que l'on va dégrader, lisser, le modèle numérique de terrain. Ensuite une soustraction entre le modèle numérique de terrain filtré et MNT/MNS l'original est réalisé. Et ensuite créé un modèle de différence à partir duquel est calculé les contours du zéro mètre, c'est-à-dire les isolignes pour lesquelles la valeur de la soustraction est égale à zéro. Ces isolignes sont converties en point et la valeur Z du MNT.MNS leur est attribuée. C'est à partir de ces points qu'est construit un Modèle Numérique de Terrain/Surface simplifié. La dernière étape consiste à soustraire le MNT simplifié avec le MNT/MNS Original. (Novak, 2014)

L'ensemble de ce processus permet de produire une représentation du relief où les valeurs expriment la différence entre l'élévation prévue du terrain et l'élévation réelle.

Ce type de traitement peut être existé en boîte à outil dans plusieurs logiciels comme RVT, ArcGis ou QGIS. Toutefois, le réaliser soi-même permet de maîtriser totalement les paramètres et donc d'arriver à un résultat qui soit le plus adapté possible au terrain d'étude.

### Mesure de la rugosité vectorielle (VRM)

Ce traitement, développé par Sappington, Longshore, Thompson (Sappington & Thompson, 2007) permet d'obtenir une mesure de la rugosité d'un terrain qui est moins fortement corrélé à la pente. Cette mesure est basée sur la dispersion vectorielle. Ce traitement raster permet de calculer la variabilité de la pente, de l'aspect en une seule mesure qui est calculée en décomposant ces facteurs en vecteurs tridimensionnels et en calculant l'amplitude vectorielle dans une fenêtre dont la taille est spécifiée par l'utilisateur.

Le résultat est un raster dont la valeur des pixels qui le compose s'échelonne de 0 (zones plates et reliefs doux) à 1 (zones de forte complexité). Parce que les rochers ont plus complexes que les secteurs uniquement recouverts de sédiment, le calcul VRM permet de faire une distinction entre ces deux types de surface.

### Indice de rugosité Topographique (TRI)

Cet indice mesure l'hétérogénéité topographique. Il calcule pour chaque pixel la moyenne du dénivelé avec ses 8 voisins.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

$$TRI = (|a+e| + |b+e| + |c+e| + |d+e| + |f+e| + |g+e| + |h+e| + |i+e|) / 8$$

Les résultats positifs représentent les zones surélevées ; les valeurs négatives représentent les zones encaissées ; les valeurs proches de zéro représentent les zones plates ou à pente constante.

Ce calcul n'incorpore pas la variabilité liée aux différentes directions de la pente. Pour corriger cet inconvénient, il est souvent recommandé de passer par la méthode VRM (Vector Ruggedness Measure).

### Indice de Position Topographique (TPI)

Comme le TRI, cet indice mesure également l'hétérogénéité topographique, mais il affecte au pixel le dénivelé maximal de ses 8 voisins. Il calcule la valeur moyenne des 8 voisins est soustraite à la valeur du pixel du point central.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

$$TPI = e - ((a+b+c+d+f+g+h+i) / 8)$$

Cette méthode permet d'identifier des formes de relief et des ruptures topographiques.

Tout comme le TRI, les résultats positifs représentent les zones surélevées ; les valeurs négatives représentent les zones encaissées ; les valeurs proches de zéro représentent les zones plates ou à pente constante.

### Multi-Scale Topographic Position Index (MTPI)

Il s'agit du même calcul que pour le TPI. La différence vient juste du fait que ce calcul se fait pour différentes échelles et les intègre dans une seule grille. L'intégration est hiérarchique, c'est-à-dire qu'elle commence par les valeurs normalisées du TIP de la plus grande échelle, puis sont ajoutées les valeurs normalisées des petites échelles.

Ce traitement permet de discerner les reliefs du reste de la topographie.

### Vertical Distance to Channel Network

Ce traitement calcule la distance verticale qui existe en tout point du Modèle Numérique de Surface par rapport au niveau de base d'un réseau de canaux.

---

L'algorithme se décompose en deux temps :

1. Interpolation de l'élévation de base d'un réseau de canaux (réseau hydrologique)
2. Soustraction de ce niveau de base avec les élévations d'origine.

Cela signifie qu'aux pixels situés hors du réseau hydrologique sera attribué une valeur correspondant à la différence entre l'altitude de ce pixel et celle du réseau hydrologique.

Ce calcul ressemble au Simple Local Relief Modelling (SLRM). Ce qui diffère c'est l'objet qui détermine le niveau 0. Ici, il s'agit du réseau hydrologique.

---

VI. Traitements des nuages de point issus de photogrammétrie et/ou de lasergrammétrie (François BALEUX)

Les microreliefs peuvent être recherchés à partir des nuages de points produits par photogrammétrie et/ou lasergrammétrie.

*Position du Ciel Visible (PCV)*

---

Cet algorithme, créé par Tarini Marco, Cignoni Paolo et Scopogno Roberto (Tarini, Cignoni, & Scopigno, 2003), implémenté dans CloudComapre calcule l'éclairage d'un nuage de point comme si la lumière provenait d'un hémisphère Z positif (Z correspondant à la direction verticale) ou d'une sphère théorique autour de l'objet. (Fig. 161) Ainsi, pour chaque point est calculée la quantité de ciel qu'il voit. Les paramètres principaux sont le nombre de rayons lumineux (pour chaque rayon l'algorithme calcule la visibilité du point. Plus le nombre est grand est plus la dynamique est importante et les différences d'éclairage entre deux points est fin), la résolution du buffer de rendu (plus la valeur est forte et plus les points sont dissociés). Cela permet de colorier les points en fonction de leur profondeur relative et fait ressortir les microgéométries. (DGM, AB, & RM, sd)

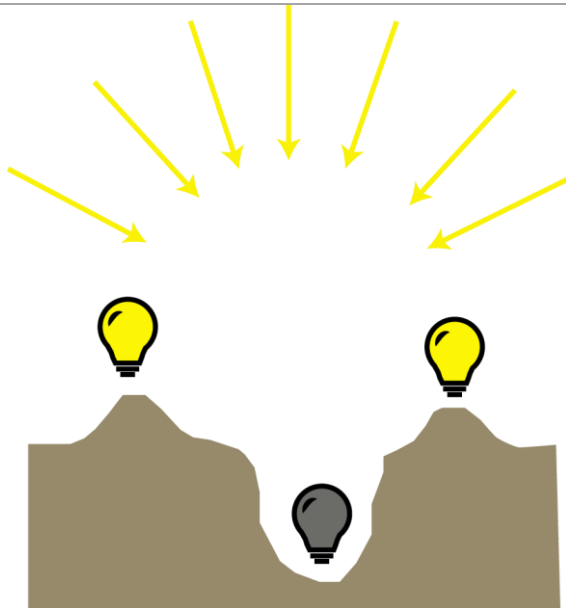


Figure 99-PCV (Position du Ciel Visible)

Si  $T_s$  est l'estimation de la luminosité du canal de température.

## VII. Relevé XRF

Tableau de résultat des mesures XRF faites au Pla de l'Orri à Enveitg

Time	Duration	Units	SAMPLE	Profondeur	Num_Pt	Mo	Mo Error
30/09/2019 15:00	120	ppm	Enclos_00_I01	0	1	<LOD	300000
30/09/2019 15:06	119,5	ppm	Enclos_00_I02	0	2	<LOD	300000
30/09/2019 15:09	120	ppm	Enclos_00_I03	0	3	8,7	1,25
30/09/2019 15:12	120	ppm	Enclos_00_I04	0	4	<LOD	300000
30/09/2019 15:14	120	ppm	Enclos_00_I05	0	5	10,88	1,51
30/09/2019 15:17	120	ppm	Enclos_00_I06	0	6	9,06	1,41
30/09/2019 15:20	120	ppm	Enclos_00_I07	0	7	<LOD	300000
30/09/2019 15:23	120	ppm	Enclos_00_I08	0	8	<LOD	300000
30/09/2019 15:27	120	ppm	Enclos_00_I09	0	9	9,81	1,47
30/09/2019 15:29	120	ppm	Enclos_00_I10	0	10	8,18	1,26
30/09/2019 15:32	120	ppm	Enclos_00_I11	0	11	4,98	1,53
30/09/2019 15:36	120	ppm	Enclos_00_I12	0	12	8,98	1,4
30/09/2019 15:39	120	ppm	Enclos_00_I13	0	13	2,86	1,44

30/09/2019 15:42	120	ppm	Enclos_00_I14	0	14	8,86	1,36
30/09/2019 15:45	120	ppm	Enclos_00_I15	0	15	11,64	1,62
30/09/2019 15:48	120	ppm	Enclos_00_I16	0	16	5,83	1,41
30/09/2019 15:51	120	ppm	Enclos_00_I17	0	17	<LOD	300000
30/09/2019 15:54	120	ppm	Enclos_00_I18	0	18	10,08	1,52
30/09/2019 15:57	120	ppm	Enclos_00_I19	0	19	<LOD	300000
30/09/2019 16:00	120	ppm	Enclos_00_I20	0	20	<LOD	300000
30/09/2019 16:06	120	ppm	Enclos_05_I01	5	21	4,8	1,52
30/09/2019 16:10	120	ppm	Enclos_05_I02	5	22	5,09	1,4
30/09/2019 16:12	120	ppm	Enclos_05_I03	5	23	4,98	1,46
30/09/2019 16:15	120	ppm	Enclos_05_I04	5	24	4,44	1,37
30/09/2019 16:19	120	ppm	Enclos_05_I05	5	25	7,2	1,47
30/09/2019 16:22	120	ppm	Enclos_05_I06	5	26	5,54	1,62
30/09/2019 16:25	120	ppm	Enclos_05_I07	5	27	4,36	1,54
30/09/2019 16:28	120	ppm	Enclos_05_I08	5	28	5,56	1,7
30/09/2019 16:31	120	ppm	Enclos_05_I09	5	29	5,12	1,6
30/09/2019 16:34	120	ppm	Enclos_05_I10	5	30	3,85	1,48
30/09/2019 16:37	120	ppm	Enclos_05_I11	5	31	<LOD	300000
30/09/2019 16:40	120	ppm	Enclos_05_I12	5	32	4,97	1,22
30/09/2019 16:43	120	ppm	Enclos_05_I13	5	33	4,05	1,7
30/09/2019 16:46	120	ppm	Enclos_05_I14	5	34	4,6	1,39
30/09/2019 16:49	120	ppm	Enclos_05_I15	5	35	5,63	1,4
30/09/2019 16:52	120	ppm	Enclos_05_I16	5	36	5,25	1,75
30/09/2019 16:56	120	ppm	Enclos_05_I17	5	37	7,66	1,62
30/09/2019 16:59	120	ppm	Enclos_05_I18	5	38	4,29	1,62
30/09/2019 17:02	120	ppm	Enclos_05_I19	5	39	6,11	1,62
30/09/2019 17:05	120	ppm	Enclos_05_I20	5	40	5,97	1,52
30/09/2019 17:09	120	ppm	Enclos_10_I01	10	41	3,27	1,5
30/09/2019 17:13	120	ppm	Enclos_10_I02	10	42	4,4	1,67
30/09/2019 17:17	120	ppm	Enclos_10_I03	10	43	<LOD	300000
30/09/2019 17:21	120	ppm	Enclos_10_I04	10	44	<LOD	2,39
30/09/2019 17:24	120	ppm	Enclos_10_I05	10	45	3,98	1,47
30/09/2019 17:27	120	ppm	Enclos_10_I06	10	46	<LOD	2,08
30/09/2019 17:31	120	ppm	Enclos_10_I07	10	47	4,34	1,61
30/09/2019 17:35	120	ppm	Enclos_10_I08	10	48	<LOD	2,66
30/09/2019 17:39	120	ppm	Enclos_10_I09	10	49	3,8	1,67
30/09/2019 17:42	120	ppm	Enclos_10_I10	10	50	3,41	1,66
30/09/2019 17:46	120	ppm	Enclos_10_I11	10	51	4,53	1,62
30/09/2019 17:48	120	ppm	Enclos_10_I12	10	52	<LOD	300000
30/09/2019 17:51	120	ppm	Enclos_10_I13	10	53	<LOD	300000
30/09/2019 17:54	120	ppm	Enclos_10_I14	10	54	4	1,48
30/09/2019 17:56	120	ppm	Enclos_10_I15	10	55	3,61	1,69
30/09/2019 17:59	120	ppm	Enclos_10_I16	10	56	4,63	1,76



30/09/2019 18:02	120	ppm	Enclos_10_I17	10	57	4,91	1,6
30/09/2019 18:05	120	ppm	Enclos_10_I18	10	58	6,06	1,5
30/09/2019 18:07	120	ppm	Enclos_10_I19	10	59	3,26	1,51
30/09/2019 18:10	120	ppm	Enclos_10_I20	10	60	4,47	1,46
01/10/2019 10:32	120	ppm	Enclos_00_E21	0	61	7,48	1,62
01/10/2019 10:34	120	ppm	Enclos_00_E22	0	62	5,17	1,53
01/10/2019 10:37	120	ppm	Enclos_00_E23	0	63	<LOD	300000
01/10/2019 10:40	120	ppm	Enclos_00_E24	0	64	<LOD	300000
01/10/2019 10:43	120	ppm	Enclos_00_E25	0	65	4,26	1,7
01/10/2019 10:46	120	ppm	Enclos_00_E26	0	66	<LOD	300000
01/10/2019 10:49	120	ppm	Enclos_00_E27	0	67	<LOD	300000
01/10/2019 10:52	120	ppm	Enclos_00_E28	0	68	6,64	1,7
01/10/2019 10:55	120	ppm	Enclos_00_E29	0	69	<LOD	300000
01/10/2019 10:58	120	ppm	Enclos_00_E30	0	70	5,68	1,58
01/10/2019 11:00	120	ppm	Enclos_00_E31	0	71	6,17	1,49
01/10/2019 11:03	120	ppm	Enclos_00_E32	0	72	5,19	1,5
01/10/2019 11:06	120	ppm	Enclos_00_E33	0	73	6,26	1,54
01/10/2019 11:09	120	ppm	Enclos_00_E34	0	74	6,94	1,55
01/10/2019 11:12	120	ppm	Enclos_00_E35	0	75	7,4	1,58
01/10/2019 11:14	120	ppm	Enclos_00_E36	0	76	4,82	1,29
01/10/2019 11:17	120	ppm	Enclos_00_E37	0	77	3,45	1,68
01/10/2019 11:20	120	ppm	Enclos_00_E38	0	78	7,56	1,48
01/10/2019 11:22	120	ppm	Enclos_00_E39	0	79	<LOD	300000
01/10/2019 11:25	120	ppm	Enclos_00_E40	0	80	5,64	1,58
01/10/2019 11:28	120	ppm	Bouse vache	0	81	9,77	1,36
01/10/2019 11:31	120	ppm	Bouse vache	0	82	<LOD	300000
01/10/2019 11:33	120	ppm	Bouse vache	0	83	2,59	1,56
01/10/2019 11:37	120	ppm	Enclos_05_E21	5	84	5,13	1,74
01/10/2019 11:40	120	ppm	Enclos_05_E22	5	85	4,56	1,56
01/10/2019 11:43	120	ppm	Enclos_05_E23	5	86	4,9	1,45
01/10/2019 11:46	120	ppm	Enclos_05_E24	5	87	2,93	1,53
01/10/2019 11:49	120	ppm	Enclos_05_E25	5	88	3,63	1,56
01/10/2019 11:53	120	ppm	Enclos_05_E26	5	89	4,5	1,55
01/10/2019 11:57	120	ppm	Enclos_05_E27	5	90	<LOD	300000
01/10/2019 12:01	120	ppm	Enclos_05_E28	5	91	5,54	1,47
01/10/2019 12:04	120	ppm	Enclos_05_E29	5	92	4,32	1,49
01/10/2019 12:11	120	ppm	Enclos_05_E31	5	93	5,23	1,51
01/10/2019 12:14	120	ppm	Enclos_05_E32	5	94	3,58	1,53
01/10/2019 12:16	120	ppm	Enclos_05_E33	5	95	5,04	1,57
01/10/2019 12:20	120	ppm	Enclos_05_E34	5	96	4,04	1,5
01/10/2019 12:24	120	ppm	Enclos_05_E35	5	97	3,19	1,5
01/10/2019 12:30	120	ppm	Enclos_05_E36	5	98	3,56	1,53
01/10/2019 12:33	120	ppm	Enclos_05_E37	5	99	2,98	1,53

01/10/2019 12:38	120	ppm	Enclos_05_E38	5	100	3,5	1,51
01/10/2019 12:41	120	ppm	Enclos_05_E39	5	101	4,32	1,55
01/10/2019 12:44	120	ppm	Enclos_05_E40	5	102	4,14	1,55
01/10/2019 13:28	120	ppm	Enclos_10_E22	10	103	5,56	1,58
01/10/2019 13:32	120	ppm	Enclos_10_E23	10	104	<LOD	300000
01/10/2019 14:37	120	ppm	Enclos_10_E24	10	105	2,32	1,52
01/10/2019 13:40	120	ppm	Enclos_10_E25	10	106	3,6	1,75
01/10/2019 13:44	120	ppm	Enclos_10_E26	10	107	<LOD	300000
01/10/2019 13:49	120	ppm	Enclos_10_E27	10	108	5,17	1,68
01/10/2019 13:52	120	ppm	Enclos_10_E28	10	109	<LOD	2,53
01/10/2019 13:55	120	ppm	Enclos_10_E29	10	110	5	1,54
01/10/2019 14:02	120	ppm	Enclos_10_E30	10	111	<LOD	300000
01/10/2019 14:06	120	ppm	Enclos_10_E31	10	112	4,68	1,72
01/10/2019 14:10	120	ppm	Enclos_10_E32	10	113	3,87	1,56
01/10/2019 14:12	120	ppm	Enclos_10_E33	10	114	5,67	1,67
01/10/2019 14:15	120	ppm	Enclos_10_E34	10	115	2,64	1,61
01/10/2019 14:17	120	ppm	Enclos_10_E35	10	116	4,44	1,67
01/10/2019 14:23	120	ppm	Enclos_10_E36	10	117	<LOD	2,26
01/10/2019 14:26	120	ppm	Enclos_10_E37	10	118	4,38	1,5
01/10/2019 14:30	120	ppm	Enclos_10_E38	10	119	3,95	1,7
01/10/2019 14:32	120	ppm	Enclos_10_E39	10	120	4,75	1,83
01/10/2019 14:35	120	ppm	Enclos_10_E40	10	121	5,65	1,7
01/10/2019 14:40	120	ppm	Enclos_15_E33	15	122	3,57	1,69
01/10/2019 14:43	120	ppm	Enclos_15_E32	15	123	4,71	1,61
01/10/2019 14:46	120	ppm	Enclos_15_E31	15	124	3,87	1,77
01/10/2019 14:49	120	ppm	Enclos_15_I07	15	125	3,43	1,77
01/10/2019 14:52	120	ppm	Enclos_15_I08	15	126	<LOD	300000
01/10/2019 14:57	120	ppm	Enclos_15_I09	15	127	4,97	2,1
01/10/2019 15:00	120	ppm	Enclos_15_I10	15	128	<LOD	300000

Zr	Zr Error	Sr	Sr Error	U	U Error	Rb	Rb Error	Th	Th Error
61,35	2,35	39,74	1,89	<LOD	300000	59,88	2,1	<LOD	300000
66,5	2,75	40,07	2,15	<LOD	300000	60,79	2,39	<LOD	300000
21,86	1,17	27,25	1,05	<LOD	2,72	26,47	1,25	<LOD	1,73
60,78	2,17	52,09	1,94	<LOD	300000	80,57	2,22	<LOD	300000
18,27	1,34	16,19	1,06	<LOD	3,14	19,83	1,35	<LOD	2,09
46,7	1,56	27,12	1,16	<LOD	3,5	55,51	1,83	<LOD	2,19
10,72	1,89	15,76	1,65	<LOD	300000	12,78	1,35	<LOD	300000
47,66	2,39	32,61	1,94	<LOD	300000	43,79	2,01	<LOD	300000
26,44	1,44	36,11	1,34	<LOD	3,35	26,48	1,12	<LOD	2,08
29,75	1,26	30,23	1,09	3,24	1,92	23,71	1	<LOD	1,79
38,11	1,68	40,98	1,5	<LOD	3,79	37,25	1,36	<LOD	2,24
23,61	1,35	34,19	1,27	<LOD	2,99	24,7	1,36	<LOD	1,91

25,89	1,64	27,33	1,49	<LOD	300000	27,73	1,36	<LOD	300000
25,81	1,31	24,55	1,09	<LOD	3,06	32,46	1,46	<LOD	1,96
20,69	1,46	16,36	1,13	<LOD	3,31	15,17	1,01	<LOD	2,16
60,61	1,73	40,96	1,36	<LOD	3,99	86,45	2,24	<LOD	2,34
60,64	2,09	42,92	1,75	<LOD	300000	65,23	1,96	<LOD	300000
24,1	1,44	24,96	1,22	<LOD	3,26	20,79	1,06	<LOD	2,07
36,39	1,78	35,14	1,61	<LOD	300000	33,63	1,47	<LOD	300000
46,36	2,02	35,52	1,71	<LOD	300000	53,41	1,88	<LOD	300000
108,58	2,24	57,18	1,64	<LOD	4,74	89,77	1,91	6,58	1,82
98,68	1,99	53,43	1,47	<LOD	4,28	81,18	1,69	6,68	1,66
109,69	2,15	48,81	1,47	<LOD	4,44	80,44	1,75	13,36	1,92
83,22	1,84	38,56	1,29	<LOD	3,89	63,78	1,51	5,03	1,6
57,97	1,75	38,63	1,37	<LOD	4,09	59,51	1,55	2,57	1,58
80,7	2,15	45,3	1,6	<LOD	4,67	71,68	1,85	<LOD	2,7
67,71	1,97	44,78	1,54	<LOD	4,49	70,01	1,77	3,32	1,73
107,71	2,47	52,86	1,76	<LOD	5,17	86,64	2,08	3,69	1,92
78,05	2,12	47,05	1,61	<LOD	4,69	71,12	1,83	4,85	1,83
103,55	2,15	49,74	1,52	<LOD	4,48	79,86	1,77	4,74	1,72
74,65	2,29	46,04	1,83	<LOD	300000	75,5	2,14	<LOD	300000
44,02	1,37	35,42	1,13	3,32	2,07	37,84	1,1	<LOD	1,95
80,99	2,32	56,64	1,86	<LOD	5,21	85,43	2,13	7,04	2,09
64,62	1,74	40,34	1,33	<LOD	4,1	70,09	1,66	4,38	1,59
65,97	1,76	45,87	1,4	<LOD	4,12	71,54	1,62	5,68	1,71
84,8	2,38	46,1	1,75	<LOD	5,07	71	1,99	4,21	1,99
105,16	2,31	56,62	1,7	<LOD	4,92	87,78	1,98	6,14	1,87
101,89	2,33	46,98	1,62	<LOD	4,72	71,86	1,84	<LOD	2,63
83,47	2,18	48,16	1,64	<LOD	4,65	70,36	1,83	<LOD	2,64
85,09	2,07	48,03	1,54	<LOD	4,32	66,65	1,69	5,81	1,77
104,47	2,21	60,22	1,67	<LOD	4,73	86,3	1,87	9,34	1,89
84,28	2,29	65,37	1,92	<LOD	5,49	106,52	2,3	3,9	1,96
88,59	2,44	44,98	1,82	<LOD	300000	75,58	2,15	<LOD	300000
68,46	2,08	46,52	1,64	<LOD	4,8	76,03	1,93	4,76	1,88
95,64	2,08	50,85	1,53	<LOD	4,73	96,54	1,94	6,45	1,79
92,51	1,98	49,92	1,46	<LOD	4,42	84,18	1,75	5,46	1,68
66,31	2,05	53,4	1,72	<LOD	5,1	91,02	2,08	3,07	1,86
86,65	2,49	55,03	1,93	<LOD	5,34	78,23	2,14	4,29	2,06
78,32	2,26	63,56	1,91	<LOD	5,4	97,94	2,23	7,91	2,09
95,34	2,4	74,48	2,02	<LOD	5,23	89,55	2,11	6,29	2,01
80,11	2,19	56,94	1,77	<LOD	4,91	77,46	1,93	3,3	1,81
99,46	2,75	47,89	2	<LOD	300000	102,92	2,66	<LOD	300000
88,14	2,64	51,83	2,06	<LOD	300000	96,68	2,59	<LOD	300000
90,73	2,06	40,52	1,42	<LOD	4,28	68,37	1,66	6,08	1,76
72,13	2,24	56,85	1,87	<LOD	5,02	74,24	2	4,8	1,98

78,09	2,34	44,44	1,74	<LOD	5,03	70,94	2,01	3,16	1,98
113,36	2,4	75,13	1,91	<LOD	4,99	90,81	2	6,53	1,92
93,27	2,11	63,82	1,69	<LOD	4,59	85,38	1,85	4,15	1,73
91,05	2,14	73,11	1,82	<LOD	4,82	93,41	1,96	5,09	1,79
82,39	1,99	60,57	1,63	<LOD	4,52	113,52	2,6	4,63	1,68
70,98	2,08	50,22	1,67	<LOD	4,42	61,99	1,73	3,21	1,77
33,52	1,62	32,71	1,38	<LOD	3,73	35,27	1,34	<LOD	2,33
39,91	2,04	38,71	1,84	<LOD	300000	59,09	2,05	<LOD	300000
57,23	2,63	33,9	2,03	<LOD	300000	55,48	2,3	<LOD	300000
60,75	2,12	40,29	1,64	<LOD	4,64	60,25	1,84	7	2,04
34,39	1,87	31,39	1,64	<LOD	300000	42,87	1,72	<LOD	300000
28,74	1,7	28,83	1,53	<LOD	300000	37,24	1,55	<LOD	300000
38,74	1,85	31,86	1,5	<LOD	3,96	33,23	1,43	<LOD	2,52
56,58	2,33	30,02	1,76	<LOD	300000	56,54	2,09	<LOD	300000
65,21	1,98	40,98	1,52	<LOD	4,38	63,86	1,73	2,72	1,72
76,43	1,94	43,67	1,45	<LOD	3,96	51,94	1,48	3,52	1,62
45,38	1,72	45,62	1,52	<LOD	4,05	52,25	1,53	<LOD	2,41
65,71	1,93	48,88	1,58	<LOD	4,3	67,66	1,73	2,93	1,68
68,5	1,95	39,61	1,46	<LOD	3,98	50,4	1,52	<LOD	2,43
31,11	1,62	33,69	1,42	<LOD	3,74	34,81	1,35	<LOD	2,33
46,89	1,48	33,14	1,18	<LOD	3,14	36,44	1,15	<LOD	1,97
70,91	2,2	45,26	1,69	<LOD	4,76	69,02	1,92	3,53	1,91
51,14	1,72	44,67	1,46	<LOD	3,82	49,33	1,45	<LOD	2,25
92,41	2,45	57,74	1,97	<LOD	300000	93,17	2,32	<LOD	300000
68,7	2,03	53,62	1,68	<LOD	4,4	62,38	1,71	3,34	1,75
11,64	1,2	50,72	1,43	<LOD	2,84	15,62	1,16	<LOD	1,8
6,15	1,63	24,22	1,68	<LOD	300000	38,47	1,81	<LOD	300000
10,49	1,62	40,7	1,87	<LOD	300000	12,67	1,15	<LOD	300000
103,08	2,52	53,19	1,82	<LOD	5,31	88,93	2,18	8,06	2,14
94,45	2,2	53,16	1,64	<LOD	4,96	92,6	2,01	7,69	1,92
84,82	1,97	49,11	1,49	<LOD	4,59	91,76	1,87	7,49	1,79
116,42	2,33	51,72	1,6	<LOD	4,79	92,06	1,97	7,03	1,88
115,65	2,36	50,69	1,61	<LOD	4,68	79,34	1,87	7,82	1,89
119,88	2,36	58,17	1,67	<LOD	4,78	87,54	1,91	8,06	1,9
95,84	2,56	45,31	1,85	<LOD	300000	80,92	2,26	<LOD	300000
95,81	2,07	51,01	1,52	<LOD	4,44	80,65	1,77	9,3	1,83
122,37	2,27	56,89	1,59	<LOD	4,7	94,12	1,9	6,2	1,77
102,19	2,17	50,4	1,55	<LOD	4,39	71,6	1,72	7,46	1,8
105,66	2,25	54,61	1,63	<LOD	4,69	84,81	1,89	6,16	1,83
113,07	2,33	57,63	1,68	<LOD	4,96	94,55	2	8,19	1,93
106,51	2,21	57,95	1,63	<LOD	4,76	124,97	2,76	7,15	1,84
113,35	2,26	60,33	1,66	<LOD	4,84	93,08	1,93	6,09	1,8
86,69	2,13	65	1,77	<LOD	4,54	74,04	1,79	3,91	1,75

108,97	2,28	53,88	1,63	<LOD	4,72	85,99	1,91	5,84	1,82
104,73	2,21	55,72	1,62	<LOD	4,91	100,32	2	11,03	1,97
109,53	2,29	57,06	1,67	<LOD	4,85	93,8	1,99	8,7	1,94
96,43	2,2	50,04	1,6	<LOD	4,62	79,29	1,86	5,17	1,81
125,06	2,42	63,27	1,75	<LOD	4,96	100,97	2,07	7,41	1,92
111,71	3,31	36,28	2,08	<LOD	300000	88,46	2,85	<LOD	300000
128,24	2,4	55,04	1,62	<LOD	4,87	94,63	1,97	20,22	2,22
104,57	2,58	58,91	1,92	<LOD	5,45	92,58	2,24	7,7	2,15
99,72	2,96	38,97	1,99	<LOD	300000	73,5	2,44	<LOD	300000
99,14	2,41	69,62	1,95	<LOD	5,25	91,65	2,12	9,74	2,12
116,45	2,59	65,24	1,94	<LOD	5,44	99,17	2,23	7,69	2,1
116,57	2,32	58,51	1,66	<LOD	4,98	136,74	2,91	17,84	2,16
100,86	3,37	46,48	2,39	<LOD	300000	84,11	2,92	<LOD	300000
118,49	2,6	63,36	1,91	<LOD	5,39	96,21	2,21	6,73	2,06
125,82	2,42	64,98	1,76	<LOD	5,06	101,63	2,06	7,26	1,9
101,67	2,41	68,86	1,93	<LOD	5,15	91,79	2,11	5,91	1,98
107,17	2,41	66,32	1,87	<LOD	5,2	96,39	2,11	7,24	1,99
94,73	2,38	61,81	1,87	<LOD	5,14	85,34	2,06	6,35	2,01
113,59	2,29	59,31	1,67	<LOD	4,82	91,94	1,94	6,48	1,84
111,59	2,23	63,98	1,69	<LOD	4,94	101,99	1,99	6,39	1,81
123,12	2,63	63,6	1,9	<LOD	5,38	99,51	2,23	13,16	2,26
118,2	2,76	54,96	1,92	<LOD	5,71	93,97	2,32	7,43	2,23
108,83	2,49	56,17	1,8	<LOD	5,23	93,02	2,15	7,93	2,08
124,11	2,61	64,16	1,9	<LOD	5,46	101,59	2,23	8,03	2,09
158,22	2,68	61,33	1,75	<LOD	5,13	104,9	2,12	8,9	2
121,14	2,73	64,66	2	<LOD	5,7	102,81	2,36	8,7	2,22
72,7	2,32	42,35	1,73	<LOD	5,07	64,11	1,95	<LOD	2,9
67,87	2,32	40,87	1,83	<LOD	300000	80,91	2,31	<LOD	300000
81,48	2,85	58,14	2,31	<LOD	6,55	128,09	3,92	8,08	2,61
74,61	2,4	42,48	1,86	<LOD	300000	72,51	2,2	<LOD	300000

Pb	Pb Error	Au	Au Error	Se	Se Error	As	As Error	Hg	Hg Error	Zn	Zn Error
6,21	3,95	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	42,37	10,31
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	24,31	11,58
2,59	1,69	<LOD	2,35	<LOD	1,65	<LOD	1,88	<LOD	3,75	162,34	6,14
14,2	3,91	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	119,76	11,22
<LOD	2,87	<LOD	2,88	<LOD	2,08	<LOD	2,2	<LOD	4,94	50,6	5,16
13,52	2,37	<LOD	2,86	<LOD	1,99	<LOD	2,69	<LOD	4,37	54,29	4,9
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	54,58	13,37
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	47,53	11,85
<LOD	2,76	<LOD	2,81	<LOD	2,11	<LOD	2,17	<LOD	4,86	114,51	6,37
3,93	1,77	<LOD	2,39	<LOD	1,71	<LOD	1,92	<LOD	3,82	156,29	6,07
5,95	2,32	<LOD	3,17	<LOD	2,22	<LOD	2,63	<LOD	5,18	89,91	6,31

<LOD	2,79	<LOD	2,81	<LOD	1,98	<LOD	2,09	<LOD	4,62	135,97	6,49
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	127,37	11,17
5,11	1,97	<LOD	2,59	<LOD	1,86	<LOD	2,23	<LOD	4,28	76,75	5,2
<LOD	3,22	<LOD	3,15	<LOD	2,21	<LOD	2,45	<LOD	5,58	57,04	5,77
31,43	2,99	<LOD	2,88	<LOD	2,02	<LOD	3,41	<LOD	4,48	64,72	5,21
25,59	4,15	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	149,1	11,46
<LOD	2,89	<LOD	3	<LOD	2,2	<LOD	2,2	<LOD	5,01	117,3	6,65
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	160,28	11,71
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	90,72	10,84
21,84	2,88	<LOD	3,32	<LOD	2,24	<LOD	3,26	<LOD	4,91	43,68	5,07
18,18	2,53	<LOD	3,02	<LOD	2,04	<LOD	2,87	<LOD	4,42	75,34	5,28
24,69	2,86	<LOD	3,22	<LOD	2,23	3,56	2,18	<LOD	4,74	45,82	4,88
28,37	2,8	<LOD	2,83	<LOD	1,94	<LOD	3,11	<LOD	4,21	33,63	4,27
16,16	2,58	<LOD	2,99	<LOD	2,11	<LOD	2,9	<LOD	4,77	54,71	5,12
26,63	3,26	<LOD	3,48	<LOD	2,54	<LOD	3,71	<LOD	5,68	45,46	5,55
15,57	2,75	<LOD	3,43	<LOD	2,37	<LOD	3,08	<LOD	5,32	28,78	4,89
24,17	3,28	<LOD	3,74	<LOD	2,57	<LOD	3,71	<LOD	5,97	47,53	5,82
15,19	2,82	<LOD	3,43	<LOD	2,45	<LOD	3,22	<LOD	5,48	46,07	5,49
21,19	2,78	<LOD	3,29	<LOD	2,18	<LOD	3,1	<LOD	4,81	44,44	4,99
9,94	3,75	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	42,56	9,1
20,84	2,3	<LOD	2,46	<LOD	1,64	<LOD	2,57	<LOD	3,53	120,82	5,39
24,1	3,4	<LOD	3,79	<LOD	2,76	<LOD	3,79	<LOD	6,26	45,25	5,96
19,24	2,58	<LOD	3	<LOD	2,07	<LOD	2,95	<LOD	4,47	36,4	4,46
49,51	3,44	<LOD	3	<LOD	2,05	<LOD	3,73	<LOD	4,53	47,07	4,72
17,86	3,21	<LOD	4,05	<LOD	2,84	<LOD	3,7	<LOD	6,34	41,21	5,99
17,21	2,84	<LOD	3,48	<LOD	2,41	<LOD	3,19	<LOD	5,24	59,53	5,67
20,25	3,02	<LOD	3,48	<LOD	2,45	<LOD	3,47	<LOD	5,5	49,02	5,61
16,51	2,88	<LOD	3,42	<LOD	2,42	<LOD	3,28	<LOD	5,53	59,54	5,87
18,57	2,78	<LOD	3,23	<LOD	2,25	<LOD	3,18	<LOD	5,09	62,11	5,54
19,8	2,81	<LOD	3,36	<LOD	2,29	<LOD	3,2	<LOD	4,98	45,15	5,1
23,43	3,29	<LOD	3,84	<LOD	2,73	<LOD	3,74	<LOD	5,86	38,19	5,58
13,99	3,94	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	27,49	8,69
15,6	2,89	<LOD	3,51	<LOD	2,47	<LOD	3,22	<LOD	5,67	15,02	4,75
23,47	2,87	<LOD	3,34	<LOD	2,27	<LOD	3,21	<LOD	4,79	36,66	4,78
25,73	2,82	<LOD	3,12	<LOD	2,15	<LOD	3,18	<LOD	4,53	29,92	4,39
24,32	3,21	<LOD	3,79	<LOD	2,55	<LOD	3,63	<LOD	5,66	40,14	5,43
15,16	3,21	<LOD	4,04	<LOD	2,92	<LOD	3,74	<LOD	6,92	31,55	5,94
17,66	3,11	<LOD	3,75	<LOD	2,76	<LOD	3,59	<LOD	5,95	40,02	5,7
20,21	3,16	<LOD	3,73	<LOD	2,61	<LOD	3,54	<LOD	5,93	43,62	5,75
13,67	2,8	<LOD	3,62	<LOD	2,51	<LOD	3,18	<LOD	5,71	30,38	5,17
9,79	4,14	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	44,96	10,09
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000
14,96	2,61	<LOD	3,22	<LOD	2,21	<LOD	2,93	<LOD	4,83	22,67	4,57

15,73	3,07	<LOD	4	<LOD	2,8	4,32	2,41	<LOD	6,28	24,97	5,41
17,89	3,25	<LOD	4,03	<LOD	2,87	<LOD	3,77	<LOD	6,42	33,07	5,81
22,78	3,06	<LOD	3,58	<LOD	2,44	4,64	2,37	<LOD	5,39	54,48	5,64
23,84	2,92	<LOD	3,21	<LOD	2,28	<LOD	3,3	<LOD	5	43,12	5
18,63	2,8	<LOD	3,32	<LOD	2,31	4,89	2,19	<LOD	5,01	40,8	5,04
13,56	2,51	<LOD	3,14	<LOD	2,2	<LOD	2,88	<LOD	4,83	44,58	4,94
11,35	2,68	<LOD	3,4	<LOD	2,44	<LOD	3,1	<LOD	5,5	66,71	6,04
4,06	2,24	<LOD	3,31	<LOD	2,28	<LOD	2,65	<LOD	5,24	77,26	6,05
6,21	3,86	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	78,72	11,09
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	56,86	12,75
12,88	2,97	<LOD	3,85	<LOD	2,78	<LOD	3,27	<LOD	6,28	47,91	6,1
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	113,51	11,53
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	109,6	10,78
4,91	2,53	<LOD	3,53	<LOD	2,55	<LOD	2,83	<LOD	6,29	80,98	6,85
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	28,44	10,17
9,91	2,57	<LOD	3,37	<LOD	2,39	<LOD	2,95	<LOD	5,26	74,54	6,12
12,91	2,49	<LOD	3,12	<LOD	2,16	<LOD	2,79	<LOD	4,85	63,05	5,41
7,45	2,36	<LOD	3,16	<LOD	2,3	3,24	1,87	<LOD	5,11	110,21	6,62
10,11	2,49	<LOD	3,25	<LOD	2,23	<LOD	2,92	<LOD	5,17	92,91	6,31
7,25	2,36	<LOD	2,96	<LOD	2,18	<LOD	2,73	<LOD	5,13	74,39	5,9
4,48	2,3	<LOD	3,22	<LOD	2,29	<LOD	2,53	<LOD	5,37	91,19	6,47
4,2	1,87	<LOD	2,56	<LOD	1,77	<LOD	2,12	<LOD	4	62,76	4,74
15,46	3,03	<LOD	3,7	<LOD	2,68	<LOD	3,48	<LOD	6,09	69,36	6,52
9,36	2,33	<LOD	3,01	<LOD	2,09	<LOD	2,64	<LOD	4,81	148,7	7,05
15,64	3,91	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	59,62	9,33
13,24	2,7	<LOD	3,35	<LOD	2,38	<LOD	3,11	<LOD	5,44	42,09	5,36
<LOD	2,41	<LOD	2,64	<LOD	1,89	<LOD	1,81	<LOD	4,36	184,99	7,05
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	99,71	12,77
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	138,28	12,83
19,57	3,24	<LOD	3,8	<LOD	2,68	<LOD	3,7	<LOD	6,21	33,99	5,75
18,48	2,87	<LOD	3,55	<LOD	2,38	<LOD	3,28	<LOD	5,37	43,75	5,33
25,32	2,88	<LOD	3,02	<LOD	2,08	<LOD	3,24	<LOD	4,73	39,85	4,76
22,17	2,96	<LOD	3,44	<LOD	2,39	<LOD	3,38	<LOD	5,18	39,63	5,12
15,7	2,76	<LOD	3,42	<LOD	2,36	3,34	2,14	<LOD	5,32	36,52	5,11
21,73	2,92	<LOD	3,29	<LOD	2,25	<LOD	3,33	<LOD	5,05	49,28	5,32
13,83	4,04	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	38,56	9,18
21,12	2,76	<LOD	3,1	<LOD	2,13	3,25	2,12	<LOD	4,73	48,5	5,02
22,24	2,82	<LOD	3,23	<LOD	2,23	<LOD	3,19	<LOD	4,71	51,1	5,1
16,36	2,68	<LOD	3,23	<LOD	2,26	3,89	2,08	<LOD	4,89	37,1	4,88
21,49	2,91	<LOD	3,48	<LOD	2,34	<LOD	3,31	<LOD	5,11	50,23	5,34
23,25	3,01	<LOD	3,59	<LOD	2,43	3,46	2,3	<LOD	5,22	39,48	5,18
24,53	2,95	<LOD	3,21	<LOD	2,23	<LOD	3,26	<LOD	4,93	46,45	5,13
20,31	2,81	<LOD	3,19	<LOD	2,21	<LOD	3,22	<LOD	4,97	43,87	5,08

15,77	2,73	<LOD	3,19	<LOD	2,29	<LOD	3,13	<LOD	5,13	62,7	5,7
18,53	2,82	<LOD	3,26	<LOD	2,35	3,95	2,19	<LOD	5,14	42,22	5,15
21,47	2,88	<LOD	3,21	<LOD	2,24	3,4	2,2	<LOD	4,93	49,6	5,24
22,71	2,98	<LOD	3,47	<LOD	2,35	<LOD	3,35	<LOD	5,17	43,52	5,26
19,56	2,89	<LOD	3,39	<LOD	2,39	<LOD	3,28	<LOD	5,13	35,89	5,04
21,87	2,98	<LOD	3,52	<LOD	2,41	<LOD	3,35	<LOD	5,23	38,99	5,22
7,21	4,69	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	22	11,4
19,52	2,86	<LOD	3,55	<LOD	2,38	3,89	2,19	<LOD	5,19	34,18	4,95
14,34	3,08	<LOD	4,01	<LOD	2,8	<LOD	3,56	<LOD	6,32	30,39	5,74
<LOD	6,34	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	15,99	10,33
18,27	3,08	<LOD	3,69	<LOD	2,62	4,11	2,38	<LOD	5,87	36,81	5,57
19,05	3,16	<LOD	3,69	<LOD	2,63	<LOD	3,65	<LOD	5,94	35,59	5,64
19,07	2,83	<LOD	3,39	<LOD	2,37	3,84	2,17	<LOD	5,1	37	5,01
<LOD	7,43	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	24,81	12,33
18,64	3,14	<LOD	3,71	<LOD	2,65	<LOD	3,61	<LOD	5,99	33,03	5,55
20,48	2,92	<LOD	3,48	<LOD	2,41	3,62	2,24	<LOD	5,35	38,65	5,16
19,03	3,07	<LOD	3,72	<LOD	2,6	<LOD	3,51	<LOD	5,81	33,6	5,45
17,14	2,96	<LOD	3,79	<LOD	2,62	4,91	2,31	<LOD	5,66	24,67	5,08
18,8	3,11	<LOD	3,89	<LOD	2,72	3,81	2,4	<LOD	5,93	27,39	5,34
22,06	2,92	<LOD	3,47	<LOD	2,39	<LOD	3,31	<LOD	5,05	34,92	4,96
18,17	2,73	<LOD	3,29	<LOD	2,25	4,61	2,12	<LOD	4,93	51,21	5,22
18,83	3,15	<LOD	3,96	<LOD	2,74	<LOD	3,62	<LOD	5,85	40,24	5,72
20,95	3,45	<LOD	4,36	<LOD	2,93	<LOD	3,94	<LOD	6,66	34,94	6,06
21,6	3,22	<LOD	3,75	<LOD	2,65	<LOD	3,68	<LOD	5,94	30,15	5,4
19,61	3,13	<LOD	3,86	<LOD	2,61	<LOD	3,55	<LOD	6,05	33,08	5,52
20,9	2,99	<LOD	3,71	<LOD	2,53	<LOD	3,38	<LOD	5,41	42,17	5,39
18,85	3,29	<LOD	4,18	<LOD	2,88	<LOD	3,69	<LOD	6,44	37,16	5,96
11,61	3,02	<LOD	4,05	<LOD	2,94	<LOD	3,5	<LOD	6,69	20,19	5,51
9,8	3,96	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	31,28	9,27
18,98	3,91	<LOD	4,34	<LOD	3,16	<LOD	4,37	<LOD	6,82	31,24	6,64
8,37	3,91	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	20,26	8,94

W	W Error	Cu	Cu Error	Ni	Ni Error	Co	Co Error	Fe	Fe Error	Mn	Mn Error
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	11402,16	161,82	605,75	70,06
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	10943,13	179,33	252,78	71,95
<LOD	13,99	<LOD	8,44	<LOD	13,68	<LOD	24,92	3045,24	48,59	1119,33	35,79
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	11827,55	151,84	1242,71	75,67
<LOD	18,92	<LOD	11,44	<LOD	18,5	<LOD	28,4	2697,87	54,47	797,94	37,89
<LOD	16,34	<LOD	9,97	<LOD	16,64	<LOD	46,84	13350,18	278,9	769,8	35,45
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	3466,22	113,36	883,04	90,17
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	9502,44	163,32	168,07	66,85
<LOD	18,12	13,68	7,35	<LOD	17,82	<LOD	32,02	3787,59	61,32	513,32	32,22
<LOD	14,07	9,8	5,72	<LOD	14,05	<LOD	25,23	3107,58	49,23	1170,56	36,57



Programme Télédétection Archéologique en Haute et Moyenne Montagne

Autorisation n° 1411105

2019

<LOD	19,69	<LOD	11,89	<LOD	20,1	<LOD	39,47	5559,72	77,91	727,23	38,48
<LOD	17,32	13,03	6,95	<LOD	16,93	<LOD	27,17	2716,29	51,34	718,61	34,33
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	5749,59	107,56	1716,18	81,6
<LOD	16,06	<LOD	9,61	<LOD	16,01	<LOD	33,3	4956	64,89	811,23	34,76
<LOD	21,43	16,69	8,59	<LOD	20,65	<LOD	36,16	4329,63	71,14	727,67	39,07
<LOD	16,59	<LOD	9,87	<LOD	16,94	<LOD	52,03	16097,41	268,54	149,12	25,53
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	13967,16	159,56	1925,72	83,11
<LOD	19,13	<LOD	11,39	<LOD	18,75	<LOD	32,1	3709,01	63,15	791,42	38,08
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	10009,56	135,82	1031,35	69,58
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	10887,22	149,35	466,25	63,21
<LOD	17,92	<LOD	10,78	<LOD	18,84	<LOD	61,39	20428,97	160,47	583,76	35,57
<LOD	15,53	9,71	6,37	<LOD	16,75	<LOD	56,63	20145,51	147,49	666,18	33,91
<LOD	17,01	11,93	6,79	<LOD	17,65	<LOD	57,69	19399,44	149,89	379,1	30,7
<LOD	14,93	9,87	6,18	<LOD	16,08	<LOD	48,89	15294,67	128,83	182,42	25,28
<LOD	17,39	<LOD	10,57	<LOD	17,99	<LOD	47,86	12550,51	125,14	817,37	37,63
<LOD	21,11	<LOD	12,44	<LOD	21,06	<LOD	57,43	15005,98	148,83	172,21	29,47
<LOD	19,74	<LOD	11,46	<LOD	19,88	<LOD	54,94	14859,58	143,43	157,9	28,2
<LOD	22,11	<LOD	13,16	<LOD	22,37	<LOD	61,18	16013	157,83	383,26	35,29
<LOD	20,43	<LOD	11,99	<LOD	21,07	<LOD	58,89	16455,15	154,18	443,84	34,87
<LOD	17,81	<LOD	10,37	<LOD	18,28	<LOD	58,87	19557,48	169,41	547,21	34,27
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	17598,6	181,46	310	56,91
<LOD	12,86	<LOD	7,74	<LOD	13,48	<LOD	31,67	5315,93	61,11	1177,32	36,05
<LOD	23,14	<LOD	13,62	<LOD	23,4	<LOD	64,41	16877,88	166,58	637,47	41,42
<LOD	16,33	<LOD	9,54	<LOD	16,87	<LOD	46,92	13064,87	166,31	378,23	29,27
<LOD	16,27	<LOD	9,73	<LOD	17,11	<LOD	48,36	14049,23	148,09	303,89	27,97
<LOD	23,92	<LOD	14,13	<LOD	24,46	<LOD	66,07	16838,88	169,89	446,23	38,49
<LOD	19,32	13,04	7,93	<LOD	20,02	<LOD	58,04	16489,88	151,04	556,37	36,14
<LOD	20,71	<LOD	12,14	<LOD	21,43	<LOD	59,59	16376,79	154,71	644,24	38,8
<LOD	20,58	<LOD	12,03	<LOD	21,06	<LOD	58,96	16081,06	153,89	443,12	35,04
<LOD	18,73	<LOD	11,12	<LOD	19,04	<LOD	54,03	15224,03	141,29	873,29	40
<LOD	18,01	12,8	7,28	<LOD	19,15	<LOD	62,36	20853,94	161,51	520,25	34,38
<LOD	21,79	<LOD	12,66	<LOD	22,69	<LOD	66,72	19304,13	172,78	474,97	37,56
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	17450,55	181,39	97,79	52,76
<LOD	20,91	<LOD	12,68	<LOD	21,45	<LOD	57,91	14846,11	150,08	47,3	26,89
<LOD	17,55	<LOD	10,41	<LOD	18,32	<LOD	60,11	19992,93	155,14	245,7	28,59
<LOD	16,52	11,04	6,48	<LOD	17,02	<LOD	54,45	17953,38	142,09	224,68	27,25
<LOD	20,66	<LOD	12,55	<LOD	21,47	<LOD	59,27	15799,05	153,3	354,69	33,7
<LOD	25,31	<LOD	14,92	<LOD	25,84	<LOD	67,02	16066,59	170,92	327,84	37,29
<LOD	22,2	<LOD	13,1	<LOD	23,36	<LOD	68,25	19565,64	175,71	518,83	38,81
<LOD	21,82	<LOD	12,88	<LOD	22,65	<LOD	68,3	20332,01	176,96	619,6	40,43
<LOD	21,15	<LOD	12,52	<LOD	21,48	<LOD	54,14	13529,6	142,75	317,61	33,32
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	18860,11	202,29	368,63	63,28
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	23218,26	225,04	<LOD	82,6

Programme Télédétection Archéologique en Haute et Moyenne Montagne

Autorisation n° 1411105

2019

<LOD	17,54	<LOD	10,57	<LOD	18,75	<LOD	72,2	27717,19	189,99	342,02	31,46
<LOD	23,4	<LOD	13,59	<LOD	23,65	<LOD	61,51	15070,24	158,66	222,36	33,11
<LOD	24,05	<LOD	14,26	<LOD	24,81	<LOD	65,57	16329,02	169,42	209,66	33,37
<LOD	19,55	<LOD	11,74	<LOD	20,63	<LOD	68,67	23053,88	177,52	728,38	39,72
<LOD	17,89	<LOD	10,71	<LOD	18,78	<LOD	59,53	19264,04	154,41	555,31	34,55
<LOD	18,42	<LOD	11,04	<LOD	19,35	<LOD	60,07	19357,15	157,35	555,92	35,26
<LOD	17,81	12,83	7,04	<LOD	18,27	<LOD	54,6	16557,83	191,39	507,39	33,12
<LOD	20,5	<LOD	12,62	<LOD	21,23	<LOD	58,17	15755,96	152,66	962,21	43,9
<LOD	19,73	<LOD	11,64	<LOD	20,17	<LOD	42,41	6525,53	83,84	629,01	37
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	11027,24	156,78	855,26	74,19
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	11295,58	182,9	222,25	70,82
<LOD	24,01	<LOD	13,56	<LOD	23,96	<LOD	57,86	13506,07	152,4	504,68	38,84
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	6991,2	123,07	1244,12	78,48
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	8100,53	125,72	1051,26	72,09
<LOD	23,48	16,49	9,61	<LOD	23,51	<LOD	46,98	6766,89	94,2	1396,41	53,1
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	10702,8	160,72	335,06	66,52
<LOD	20,09	<LOD	11,93	<LOD	20,34	<LOD	57,37	15416,97	149,08	765,08	40,18
<LOD	18,19	12,33	7,32	<LOD	18,44	<LOD	49,53	13080	129,1	945,84	39,97
<LOD	19,48	13,91	7,8	<LOD	19,51	<LOD	53,27	14568,2	140,28	1591,72	49,84
<LOD	19,63	<LOD	11,11	<LOD	19,57	<LOD	52,58	14089,26	138,71	1366,37	47,38
<LOD	19,12	<LOD	11,63	<LOD	19,35	<LOD	48,34	11406,64	126,58	782,18	38,98
<LOD	20,59	<LOD	12,23	<LOD	20,63	<LOD	37,51	4573,35	72,61	706,32	38,81
<LOD	14,66	<LOD	8,61	<LOD	14,87	<LOD	40,22	11044,94	107,55	449,63	28,45
<LOD	22,82	<LOD	13,75	<LOD	23,53	<LOD	62,61	15627,65	160,73	837,73	44,37
<LOD	18,31	<LOD	10,9	<LOD	18	<LOD	47,47	12244,82	125,45	1805,2	50,57
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	21302,51	195,71	615,95	60,97
<LOD	20,45	<LOD	11,8	<LOD	20,75	<LOD	57,34	15646,4	149,94	732,55	40,11
<LOD	16,37	34,02	7,04	<LOD	15,81	<LOD	25,68	2750,62	50,1	775,75	34,04
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	1940,8	82,34	593,21	74,09
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	3963,22	100,2	491,11	66,69
<LOD	23,16	<LOD	13,75	<LOD	23,69	<LOD	74,57	22317,85	191,7	572,69	40,58
<LOD	19,68	<LOD	11,66	<LOD	20,26	<LOD	64,99	21076,45	168,38	392,3	33,38
<LOD	16,93	<LOD	10,07	<LOD	17,97	<LOD	58	19308,33	150,79	567,85	33,96
<LOD	18,79	<LOD	11,01	<LOD	19,55	<LOD	66,98	22906,29	172,25	257,61	30,52
<LOD	19,24	<LOD	11,55	<LOD	20,13	<LOD	63,6	20019	164,33	290,08	31,38
<LOD	18,02	<LOD	11,17	<LOD	19,59	<LOD	71,07	25592,48	181,34	673,56	37,7
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	21499,58	203,81	222,43	55,87
<LOD	17,21	<LOD	10,23	<LOD	17,98	<LOD	60,52	20300,98	155,6	572,68	34,15
<LOD	17,17	<LOD	10,15	<LOD	18,16	<LOD	64,35	22875,34	164,54	645,03	35,57
<LOD	17,82	<LOD	10,55	<LOD	18,61	<LOD	61,25	20010,5	158,44	473,9	33,38
<LOD	18,87	<LOD	11	<LOD	19,77	<LOD	62,69	20245,96	162,21	649,4	37,04
<LOD	19,26	<LOD	11,37	<LOD	19,88	<LOD	68,07	23569,66	175,73	481,87	34,91
<LOD	17,83	<LOD	10,67	<LOD	18,9	<LOD	65,95	23362,04	258,16	469,64	33,54

Programme Télédétection Archéologique en Haute et Moyenne Montagne

Autorisation n° 1411105

2019

<LOD	18,06	<LOD	10,35	<LOD	18,85	<LOD	66,38	23642,45	170,92	398,85	32,28
<LOD	19,2	<LOD	11,28	<LOD	19,34	<LOD	63,38	20208,08	163,82	715,18	38,39
<LOD	18,58	<LOD	10,98	<LOD	19,44	<LOD	63,64	20703,66	164,35	459,98	33,99
<LOD	17,87	<LOD	10,62	<LOD	18,88	<LOD	67,97	24595,23	177,26	454,23	33,58
<LOD	18,88	<LOD	10,98	<LOD	19,61	<LOD	70,22	25130,29	180,74	441,04	34
<LOD	18,98	<LOD	11,41	<LOD	19,92	<LOD	60,7	18456,43	157,62	541,35	35,7
<LOD	19,26	<LOD	11,14	<LOD	19,77	<LOD	74,97	27730,01	190,45	346,44	32,74
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	17717,76	225,55	<LOD	102,04
<LOD	18,28	<LOD	10,93	<LOD	19,96	<LOD	72,14	27073,14	184,62	335,89	32,12
<LOD	23,81	<LOD	14	<LOD	24,55	<LOD	75,41	22105,11	192,74	319,49	36,51
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	20220,22	225,12	<LOD	300000
<LOD	21,62	<LOD	12,81	<LOD	22,63	<LOD	74,62	24134,21	191,07	290,33	34,26
<LOD	21,8	13,7	8,86	<LOD	23,42	<LOD	78,64	25494,53	199,67	362,36	36,53
<LOD	18,55	11,03	7,26	<LOD	19,4	<LOD	69,99	25732,24	364,48	394,82	32,98
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	20306,29	253,16	158,27	70,76
<LOD	21,82	<LOD	12,94	<LOD	23,22	<LOD	75,68	23970,37	193,63	344,97	35,8
<LOD	18,87	<LOD	11,07	<LOD	20,1	<LOD	74,04	27679,73	189,07	662,52	38,04
<LOD	21,57	<LOD	12,66	<LOD	22,16	<LOD	73,74	23757,7	188,44	460,65	37,03
<LOD	20,6	18	8,35	<LOD	21,88	<LOD	72,89	24352,38	187,03	415,98	35,6
<LOD	21,8	<LOD	12,72	<LOD	22,83	<LOD	73,85	23172,45	188,6	320,25	34,86
<LOD	18,48	<LOD	10,9	<LOD	19,61	<LOD	68,72	24974,64	177,64	268,43	30,69
<LOD	17,44	<LOD	10,48	<LOD	18,94	<LOD	71,5	27264,52	181,46	493,32	34,03
<LOD	21,76	<LOD	13,24	<LOD	23,23	<LOD	76,1	24623,37	194,94	372,93	35,91
<LOD	24,41	<LOD	14,63	<LOD	25,53	<LOD	78,77	23117,87	202,58	485,78	41,12
<LOD	21,88	<LOD	12,94	<LOD	22,69	<LOD	70,98	21502,36	181,98	262,48	33,25
<LOD	21,58	<LOD	12,8	<LOD	22,91	<LOD	79,08	27018,88	202,65	508,28	38,58
<LOD	19,57	<LOD	11,59	<LOD	20,42	<LOD	78,53	29707,09	198,93	628,09	38,3
<LOD	23,55	<LOD	14,12	<LOD	24,62	<LOD	79,73	24701,31	203,76	372,93	37,58
<LOD	24,87	<LOD	14,42	<LOD	25,59	<LOD	61,96	14201,23	160,72	58,91	29,96
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	13527,77	167,58	84,92	55,11
<LOD	25,47	<LOD	15,03	<LOD	26,98	<LOD	83,45	18522,38	311,32	282,95	42,15
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	16294,81	183,61	277,68	60,22

Sb	Sb Error	Sn	Sn Error	Cd	Cd Error	Pd	Pd Error	Ag	Ag Error	Bal	Bal Error
<LOD	13,33	<LOD	13,72	<LOD	11,59	<LOD	7,34	<LOD	6,96	979734,94	117,42
<LOD	15,61	<LOD	15,99	<LOD	13,39	<LOD	8,48	<LOD	8,19	980852,38	126,32
<LOD	7,39	<LOD	7,57	<LOD	6,78	<LOD	4,22	<LOD	3,71	979257,69	80,19
<LOD	12,18	<LOD	12,51	<LOD	10,63	<LOD	6,69	<LOD	6,37	963469,63	194,27
<LOD	8,98	<LOD	9,17	<LOD	8,22	<LOD	5,16	<LOD	4,66	986081,75	34,21
<LOD	8,54	<LOD	8,79	<LOD	7,72	<LOD	4,86	<LOD	4,39	970842	24,04
<LOD	14,72	<LOD	14,98	<LOD	13,22	<LOD	8,52	<LOD	7,88	979784,56	142,57
<LOD	14,4	<LOD	14,74	<LOD	12,7	<LOD	8,08	<LOD	7,66	972536,06	178,97
<LOD	8,84	<LOD	9,05	<LOD	8,08	<LOD	5,11	<LOD	4,55	977867,44	98,27

<LOD	7,58	<LOD	7,74	<LOD	6,89	<LOD	4,29	<LOD	3,8	979513,88	79
<LOD	9,8	<LOD	10,05	<LOD	8,76	<LOD	5,48	<LOD	5,06	977830,19	103,39
<LOD	8,43	<LOD	8,64	<LOD	7,71	<LOD	4,85	<LOD	4,34	979729,69	22,97
<LOD	11,05	<LOD	11,28	<LOD	9,93	<LOD	6,28	<LOD	5,79	964940,56	184,89
<LOD	8,18	<LOD	8,37	<LOD	7,46	<LOD	4,7	<LOD	4,17	978761,63	47,49
<LOD	9,59	<LOD	9,82	<LOD	8,79	<LOD	5,58	<LOD	5,02	970145,5	143,13
<LOD	8,79	<LOD	9,04	<LOD	7,9	<LOD	4,96	<LOD	4,51	962962,75	57,74
<LOD	11,59	<LOD	11,88	<LOD	10,18	<LOD	6,41	<LOD	6,03	960318,13	201,98
<LOD	9,14	<LOD	9,36	<LOD	8,32	<LOD	5,23	<LOD	4,73	980607	89,25
<LOD	11,05	<LOD	11,33	<LOD	9,93	<LOD	6,27	<LOD	5,8	974694,81	130,3
<LOD	12,38	<LOD	12,66	<LOD	10,82	<LOD	6,78	<LOD	6,4	972589,63	150,4
<LOD	9,85	<LOD	10,17	<LOD	8,55	<LOD	5,39	<LOD	5,02	958537,19	171,54
<LOD	8,92	<LOD	9,16	<LOD	7,81	<LOD	4,92	<LOD	4,48	962087,25	144,32
<LOD	9,4	<LOD	9,69	<LOD	8,16	<LOD	5,12	<LOD	4,73	960096,69	159,74
<LOD	8,82	<LOD	9,03	<LOD	7,75	<LOD	4,87	<LOD	4,4	965981,81	132,08
<LOD	9,31	<LOD	9,52	<LOD	8,2	<LOD	5,14	<LOD	4,74	971964,63	118,69
<LOD	10,49	<LOD	10,74	<LOD	9,16	<LOD	5,76	<LOD	5,39	971636,81	130,22
<LOD	10,23	<LOD	10,51	<LOD	8,87	<LOD	5,55	<LOD	5,21	966586,81	147,78
<LOD	11,15	<LOD	11,39	<LOD	9,59	<LOD	6,01	<LOD	5,71	967334,13	153,1
<LOD	10,55	<LOD	10,81	<LOD	9,16	<LOD	5,71	<LOD	5,39	965949,19	153,18
<LOD	9,7	<LOD	10,01	<LOD	8,43	<LOD	5,27	<LOD	4,92	959793,56	188,55
<LOD	11,97	<LOD	12,28	<LOD	10,49	<LOD	6,65	<LOD	6,27	969255,38	157,04
<LOD	7,56	<LOD	7,72	<LOD	6,82	<LOD	4,31	<LOD	3,75	975956,13	88,93
<LOD	11,48	<LOD	11,83	<LOD	9,93	<LOD	6,24	<LOD	5,91	959701,19	194,39
<LOD	8,9	<LOD	9,15	<LOD	7,87	<LOD	4,93	<LOD	4,5	971447,81	159,78
<LOD	8,97	<LOD	9,23	<LOD	7,89	<LOD	4,96	<LOD	4,54	967068,38	164,95
<LOD	11,67	<LOD	11,93	<LOD	10,05	<LOD	6,35	<LOD	6,03	960899,94	191,73
<LOD	10,21	<LOD	10,54	<LOD	8,94	<LOD	5,63	<LOD	5,25	969823,81	132,96
<LOD	10,42	<LOD	10,72	<LOD	9,13	<LOD	5,74	<LOD	5,39	963398,56	165,46
<LOD	10,42	<LOD	10,7	<LOD	9,14	<LOD	5,75	<LOD	5,39	957755,88	191,37
<LOD	9,67	<LOD	9,92	<LOD	8,51	<LOD	5,33	<LOD	4,94	951432,94	208,85
<LOD	9,9	<LOD	10,23	<LOD	8,58	<LOD	5,37	<LOD	5,03	955478,38	182,07
<LOD	11,22	<LOD	11,52	<LOD	9,65	<LOD	6,04	<LOD	5,76	952215,44	219,98
<LOD	12,5	<LOD	12,82	<LOD	10,71	<LOD	6,73	<LOD	6,49	937432,69	320
<LOD	10,93	<LOD	11,25	<LOD	9,41	<LOD	5,89	<LOD	5,58	955302,06	206,35
<LOD	9,64	<LOD	9,93	<LOD	8,36	<LOD	5,25	<LOD	4,86	952919,38	190,89
<LOD	9,35	<LOD	9,6	<LOD	8,08	<LOD	5,09	<LOD	4,65	945341,25	212,99
<LOD	10,84	<LOD	11,14	<LOD	9,32	<LOD	5,83	<LOD	5,54	959330,19	185,37
<LOD	12,34	<LOD	12,62	<LOD	10,49	<LOD	6,56	<LOD	6,3	945800,19	270,05
<LOD	11,44	<LOD	11,76	<LOD	9,77	<LOD	6,13	<LOD	5,87	943336,69	263,49
<LOD	11,37	<LOD	11,69	<LOD	9,66	<LOD	6,04	<LOD	5,78	949637,69	229,68
<LOD	11,02	<LOD	11,33	<LOD	9,41	<LOD	5,93	<LOD	5,63	953789,38	211,56
<LOD	13,95	<LOD	14,26	<LOD	11,79	<LOD	7,35	<LOD	7,16	943017,38	311,49

<LOD	14,14	<LOD	14,6	<LOD	11,9	<LOD	7,47	<LOD	7,28	935062,5	350,48
<LOD	9,76	<LOD	10,07	<LOD	8,47	<LOD	5,28	<LOD	4,95	945496,13	229,48
<LOD	11,85	<LOD	12,14	<LOD	10,01	<LOD	6,27	<LOD	6,06	953989,94	222,52
<LOD	11,75	<LOD	12,09	<LOD	10,17	<LOD	6,4	<LOD	6,08	903516,94	463,37
<LOD	10,37	<LOD	10,67	<LOD	8,97	<LOD	5,65	<LOD	5,3	809906,63	740,49
<LOD	9,84	<LOD	10,12	<LOD	8,51	<LOD	5,33	<LOD	4,99	951542,38	198,68
<LOD	10,03	<LOD	10,33	<LOD	8,65	<LOD	5,42	<LOD	5,11	953844,75	192,52
<LOD	9,6	<LOD	9,89	<LOD	8,32	<LOD	5,21	<LOD	4,84	964682	97,99
<LOD	10,21	<LOD	10,46	<LOD	9,03	<LOD	5,63	<LOD	5,27	972405,19	125,81
<LOD	9,83	<LOD	10,02	<LOD	8,73	<LOD	5,48	<LOD	5,04	979887,25	93,54
<LOD	12,74	<LOD	13,09	<LOD	11,25	<LOD	7,11	<LOD	6,72	968812,88	179,13
<LOD	15,09	<LOD	15,4	<LOD	13,3	<LOD	8,49	<LOD	8	971534,13	189,07
<LOD	11,37	<LOD	11,57	<LOD	9,89	<LOD	6,19	<LOD	5,83	975418,38	122,35
<LOD	12,06	<LOD	12,3	<LOD	10,66	<LOD	6,77	<LOD	6,3	979761,5	112,65
<LOD	11,32	<LOD	11,56	<LOD	10,09	<LOD	6,36	<LOD	5,91	977203,13	121,59
<LOD	10,86	<LOD	11,14	<LOD	9,69	<LOD	6,1	<LOD	5,64	975449,5	124,38
<LOD	13,74	<LOD	14	<LOD	11,91	<LOD	7,47	<LOD	7,14	978980,94	125,17
<LOD	10,13	<LOD	10,39	<LOD	8,96	<LOD	5,58	<LOD	5,23	969979,94	135,3
<LOD	9,3	<LOD	9,57	<LOD	8,29	<LOD	5,16	<LOD	4,76	975354,69	104,82
<LOD	9,49	<LOD	9,75	<LOD	8,52	<LOD	5,38	<LOD	4,89	965567,31	149,61
<LOD	9,66	<LOD	9,92	<LOD	8,6	<LOD	5,39	<LOD	4,96	975358	108,04
<LOD	9,67	<LOD	9,91	<LOD	8,62	<LOD	5,4	<LOD	4,96	971339,06	130,22
<LOD	9,92	<LOD	10,11	<LOD	8,9	<LOD	5,6	<LOD	5,11	982195,13	85,51
<LOD	7,99	<LOD	8,16	<LOD	7,22	<LOD	4,5	<LOD	4,03	978693,88	82,77
<LOD	11,22	<LOD	11,44	<LOD	9,74	<LOD	6,1	<LOD	5,75	968325,44	153,06
<LOD	9,1	<LOD	9,33	<LOD	8,18	<LOD	5,11	<LOD	4,68	969056,5	131,57
<LOD	11,94	<LOD	12,34	<LOD	10,41	<LOD	6,57	<LOD	6,26	952802,75	235,56
<LOD	10,27	<LOD	10,54	<LOD	9	<LOD	5,64	<LOD	5,27	968015,19	143,57
<LOD	7,97	<LOD	8,11	<LOD	7,4	<LOD	4,66	<LOD	4,08	975974,38	47,92
<LOD	12,68	<LOD	12,96	<LOD	11,63	<LOD	7,5	<LOD	6,8	971877,88	177,18
<LOD	11,92	<LOD	12,15	<LOD	10,83	<LOD	6,93	<LOD	6,33	971514,06	166,65
<LOD	11,52	<LOD	11,85	<LOD	9,95	<LOD	6,26	<LOD	5,93	959755,63	189,82
<LOD	10,26	<LOD	10,57	<LOD	8,88	<LOD	5,6	<LOD	5,24	958343,19	178,38
<LOD	9,43	<LOD	9,71	<LOD	8,22	<LOD	5,16	<LOD	4,74	961408,69	155,09
<LOD	10,18	<LOD	10,45	<LOD	8,77	<LOD	5,5	<LOD	5,14	958938,88	170,39
<LOD	10,37	<LOD	10,66	<LOD	8,92	<LOD	5,55	<LOD	5,24	960979,81	167,37
<LOD	9,97	<LOD	10,3	<LOD	8,71	<LOD	5,46	<LOD	5,12	953601,44	189,3
<LOD	12,65	<LOD	12,94	<LOD	10,9	<LOD	6,84	<LOD	6,57	957747,13	218,15
<LOD	9,45	<LOD	9,66	<LOD	8,24	<LOD	5,16	<LOD	4,76	962327,13	151,28
<LOD	9,55	<LOD	9,85	<LOD	8,33	<LOD	5,22	<LOD	4,83	952946,63	187,99
<LOD	9,69	<LOD	9,98	<LOD	8,52	<LOD	5,33	<LOD	4,95	960625,06	162,44
<LOD	10,06	<LOD	10,36	<LOD	8,74	<LOD	5,46	<LOD	5,1	953741	195,94
<LOD	10,21	<LOD	10,47	<LOD	8,82	<LOD	5,52	<LOD	5,21	953863,63	191,89

<LOD	9,79	<LOD	10,12	<LOD	8,5	<LOD	5,33	<LOD	4,98	955250,69	114,88
<LOD	9,83	<LOD	10,12	<LOD	8,52	<LOD	5,34	<LOD	5,01	944969,19	223,12
<LOD	9,91	<LOD	10,2	<LOD	8,7	<LOD	5,45	<LOD	5,09	955800,94	187,44
<LOD	10,15	<LOD	10,48	<LOD	8,75	<LOD	5,5	<LOD	5,15	951626,69	202,7
<LOD	9,9	<LOD	10,24	<LOD	8,57	<LOD	5,41	<LOD	5,06	951294,94	205,24
<LOD	10,03	<LOD	10,36	<LOD	8,73	<LOD	5,5	<LOD	5,12	952556,75	195,26
<LOD	10,1	<LOD	10,37	<LOD	8,82	<LOD	5,51	<LOD	5,15	963888,06	155,53
<LOD	10,11	<LOD	10,41	<LOD	8,77	<LOD	5,52	<LOD	5,19	949702,06	206,79
<LOD	16,41	<LOD	16,93	<LOD	13,74	<LOD	8,7	<LOD	8,49	964248	226,46
<LOD	10,15	<LOD	10,49	<LOD	8,74	<LOD	5,52	<LOD	5,14	943609,38	227,65
<LOD	12,08	<LOD	12,37	<LOD	10,18	<LOD	6,39	<LOD	6,15	954195,81	218,31
<LOD	14,77	<LOD	15,16	<LOD	12,59	<LOD	7,97	<LOD	7,71	961210,56	229,8
<LOD	11,2	<LOD	11,57	<LOD	9,57	<LOD	6,01	<LOD	5,75	955251,31	200,51
<LOD	11,53	<LOD	11,83	<LOD	9,81	<LOD	6,15	<LOD	5,87	948901,44	231,27
<LOD	10,08	<LOD	10,35	<LOD	8,63	<LOD	5,44	<LOD	5,09	952222,63	293,57
<LOD	17,08	<LOD	17,42	<LOD	14,4	<LOD	9,17	<LOD	8,95	963751,25	239,49
<LOD	11,38	<LOD	11,72	<LOD	9,79	<LOD	6,11	<LOD	5,87	958913,38	188,47
<LOD	10,32	<LOD	10,61	<LOD	8,81	<LOD	5,54	<LOD	5,22	948053,31	210,05
<LOD	11,15	<LOD	11,46	<LOD	9,52	<LOD	6	<LOD	5,73	951298,75	216,68
<LOD	10,99	<LOD	11,31	<LOD	9,37	<LOD	5,9	<LOD	5,6	944409,94	240,96
<LOD	11,46	<LOD	11,75	<LOD	9,72	<LOD	6,08	<LOD	5,79	954123,06	207,78
<LOD	10,22	<LOD	10,49	<LOD	8,71	<LOD	5,46	<LOD	5,12	944610,88	225,35
<LOD	9,83	<LOD	10,13	<LOD	8,47	<LOD	5,32	<LOD	4,96	931423,81	268,02
<LOD	11,28	<LOD	11,6	<LOD	9,68	<LOD	6,08	<LOD	5,82	956740,31	195,74
<LOD	12,27	<LOD	12,59	<LOD	10,5	<LOD	6,58	<LOD	6,31	946096,75	265,6
<LOD	11,18	<LOD	11,52	<LOD	9,63	<LOD	6,03	<LOD	5,75	962846,13	169,95
<LOD	11,41	<LOD	11,73	<LOD	9,67	<LOD	6,09	<LOD	5,81	951129,44	216,64
<LOD	10,43	<LOD	10,77	<LOD	8,97	<LOD	5,66	<LOD	5,32	950146,25	203,73
<LOD	12,03	<LOD	12,4	<LOD	10,22	<LOD	6,41	<LOD	6,17	954318,63	215,93
<LOD	12,21	<LOD	12,49	<LOD	10,43	<LOD	6,51	<LOD	6,23	966259,81	172,38
<LOD	13,05	<LOD	13,42	<LOD	11,19	<LOD	7,07	<LOD	6,76	963134,63	202,18
<LOD	14,26	<LOD	14,72	<LOD	12,39	<LOD	7,89	<LOD	7,44	960908,25	145,28
<LOD	13,22	<LOD	13,65	<LOD	11,28	<LOD	7,1	<LOD	6,87	965973,69	184,46

Nb	Nb Error	Bi	Bi Error	Re	Re Error	Ta	Ta Error	Hf	Hf Error	Cr	Cr Error
3,99	1,81	<LOD	5,55	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	143,31
<LOD	3,05	<LOD	6,57	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	184,13
6,48	1,18	<LOD	2,49	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	77,49
7,63	1,71	<LOD	5,43	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	129,77
6,35	1,47	<LOD	3,2	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	100,83
5,33	1,3	<LOD	3,39	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	89,71
4,49	2,12	<LOD	5,14	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	175,83
5,25	2,02	<LOD	5,97	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	167,19

7,35	1,38	<LOD	3,25	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	87,98
7,5	1,19	<LOD	2,58	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	79,99
4,74	1,43	<LOD	3,58	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	103,3
7,67	1,36	<LOD	2,88	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	88,11
5,74	1,64	<LOD	4,19	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	110,69
6,56	1,29	<LOD	2,86	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	83,97
9,18	1,53	<LOD	3,43	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	99,17
6,49	1,33	<LOD	3,74	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	91,95
6,82	1,65	<LOD	4,95	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	122,53
6,1	1,42	<LOD	3,18	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	93,51
6,19	1,63	<LOD	4,34	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	117,41
<LOD	2,85	<LOD	5,18	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	134,3
8,46	1,39	5,8	3,64	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	103,32
8,11	1,27	<LOD	4,92	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	90,49
8,75	1,33	14,6	3,65	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	100,43
7,23	1,26	<LOD	4,73	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	90,72
7,72	1,36	<LOD	3,85	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	97,65
7,11	1,48	<LOD	4,6	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	109,62
4,42	1,4	<LOD	4,38	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	106,51
5,31	1,5	<LOD	4,9	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	118,34
7,52	1,47	<LOD	4,94	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	108,07
7,84	1,35	<LOD	7,26	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	101,08
7,18	1,69	<LOD	5,38	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	130,27
5,59	1,14	<LOD	2,91	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	77,93
8,33	1,58	6,43	4,15	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	124,04
8,07	1,29	<LOD	5,25	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	93,92
5,92	1,27	<LOD	5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	92,97
6,98	1,6	<LOD	5,09	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	124,43
8,56	1,45	5,72	3,77	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	104,18
6,48	1,47	<LOD	4,37	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	110,1
6,47	1,48	<LOD	4,37	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	105,6
5,83	1,38	<LOD	6,31	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	102,72
8,44	1,38	8,05	3,66	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	100,47
5,86	1,51	<LOD	5,35	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	121,37
6,44	1,68	<LOD	8,44	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	133,23
5,57	1,48	<LOD	6,35	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	113,31
7,84	1,35	<LOD	6,79	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	95,71
5,52	1,26	5,32	3,38	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	98,43
6,46	1,48	<LOD	4,81	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	111,9
4,38	1,62	<LOD	6,6	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	135,45
7,96	1,55	7,88	4,18	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	123,03
8,13	1,54	<LOD	6,03	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	124,46
4,61	1,45	<LOD	4,63	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	125

8,74	1,84	<LOD	7,31	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	152,98
6,08	1,8	7,82	4,88	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	145,35
6,86	1,36	<LOD	5,1	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	92,46
6,61	1,57	<LOD	7,15	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	130,33
6,59	1,62	<LOD	5,16	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	121,32
9,82	1,46	<LOD	5,68	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	105,94
6,34	1,35	<LOD	5,07	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	99,78
6,38	1,37	<LOD	5,44	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	103,62
7,54	1,36	<LOD	5,17	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	101,8
6,09	1,48	<LOD	4,46	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	108,19
5,39	1,44	<LOD	3,7	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	105,77
<LOD	2,63	<LOD	5,42	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	146,71
7,79	2,13	<LOD	8,87	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	178,37
4,42	1,57	<LOD	5,88	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	120,01
7,02	1,75	<LOD	4,98	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	128,57
4,55	1,64	<LOD	4,32	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	129,68
6,64	1,61	<LOD	4,12	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	113,56
<LOD	2,73	<LOD	5,6	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	158,2
6,94	1,47	<LOD	4,29	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	104,95
7,21	1,37	<LOD	4,89	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	98,33
5,47	1,4	<LOD	3,9	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	96,17
5,32	1,4	<LOD	4,2	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	100,76
6,27	1,43	<LOD	4,04	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	99,52
5,91	1,48	<LOD	3,84	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	107,47
6,52	1,23	<LOD	2,98	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	79,43
5	1,55	<LOD	4,89	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	113,74
6,69	1,37	<LOD	3,64	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	92,98
8,65	1,68	<LOD	9,72	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	121,89
8,36	1,48	<LOD	4,38	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	119,96
8,7	1,33	<LOD	2,69	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	81,76
3,35	1,89	<LOD	4,93	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	133,17
5,91	1,8	<LOD	4,26	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	123,98
9,06	1,61	6,28	4,18	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	115,49
8,95	1,44	7,54	3,82	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	104,04
7,43	1,33	7,23	3,56	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	98,67
8,43	1,41	5,58	3,71	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	103,93
7,42	1,43	<LOD	5,51	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	105,59
10,18	1,42	7,25	3,71	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	97,28
8,1	1,74	8,62	4,56	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	136,09
9,07	1,36	9,22	3,57	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	94,21
9,32	1,35	5,65	3,56	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	95,31
7,94	1,38	5,75	3,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	97,27
7,54	1,4	<LOD	5,48	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	100,35



9,71	1,43	7,41	3,8	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	104,58
9,33	1,4	<LOD	5,42	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	97,87
9,16	1,38	<LOD	5,39	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	96,32
8,12	1,43	<LOD	5,58	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	98,66
8,45	1,41	<LOD	7,72	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	103,14
10,18	1,4	12,33	3,85	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	98,49
8,17	1,41	6,84	3,76	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	97,48
8,98	1,44	<LOD	6,88	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	103,97
9,98	1,44	8,98	3,87	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	98,88
7,44	2,11	<LOD	8,77	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	201,48
11,14	1,41	26,75	4,16	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	103,09
6,88	1,59	8,02	4,29	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	127,77
7,92	1,98	<LOD	8,93	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	171,97
7,4	1,51	10,13	4,14	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	119,6
7,59	1,54	6,7	4,15	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	121,63
11,28	1,4	23,11	4,07	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	103,07
5,49	2,19	<LOD	7,75	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	185,9
8,69	1,56	<LOD	9,01	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	119,46
10,07	1,42	6,07	3,78	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	101,77
8,57	1,52	<LOD	8,53	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	113,21
5,65	1,45	5,92	3,93	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	111,79
8,04	1,53	<LOD	5,93	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	119,39
7,87	1,38	6,38	3,69	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	105,27
10	1,37	6,72	3,65	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	98,57
9,21	1,55	15,22	4,36	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	113,01
8,36	1,66	<LOD	6,53	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	129,53
6,78	1,52	7,35	4,1	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	114,87
8,93	1,53	7,02	4,12	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	114,46
13,21	1,48	10,04	3,96	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	103,27
8,27	1,61	9,54	4,42	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	120,46
4,32	1,61	<LOD	5,03	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	129,21
5,75	1,74	<LOD	7,04	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	137,03
7,06	1,94	<LOD	7,77	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	145,09
5	1,74	<LOD	5,83	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	149,03

V	V Error	Ti	Ti Error	Al	Al Error	P	P Error	Si	Si Error
<LOD	433,59	<LOD	747,11	<LOD	619,17	2440,27	168,61	4890,07	279,12
<LOD	505,57	<LOD	877,69	<LOD	773,74	2357,99	208,94	5218,97	343,32
<LOD	237,32	<LOD	401,35	357,94	203,65	1978,39	86,53	7245,39	187,8
<LOD	398,51	<LOD	681,81	<LOD	594,19	3344,16	161,42	11746,3	333,09
<LOD	281	<LOD	480,66	<LOD	407,83	2092,74	150,37	5565,4	325,78
<LOD	258,8	<LOD	449,91	630,52	233,82	1944,4	105,3	10490,24	310,86
<LOD	447,95	<LOD	757,12	<LOD	921,17	3675,18	253,69	6286,5	404,92

<LOD	447,96	<LOD	766,68	<LOD	758,13	2642,13	202,02	6725,7	347,87
<LOD	275,96	<LOD	474,47	796,35	290,17	2889,12	122,35	10656,86	265,75
<LOD	245,04	<LOD	418,78	540,12	202,19	2188,79	86,95	8256,55	194,48
<LOD	308,07	<LOD	530,64	764,55	296,66	2551,59	122,18	8559,3	249,6
<LOD	269,94	<LOD	458,89	782,17	280,15	2741,51	132,57	7675,18	283,02
<LOD	345,84	<LOD	589,29	1828,21	422,43	3850,35	169,33	15778,83	375,33
<LOD	258,97	<LOD	439,94	702,81	241,35	2398,94	107,86	8399,27	243,47
<LOD	298,93	<LOD	505,07	706,77	337,19	3348,03	145,07	16010,32	342,54
<LOD	271,92	<LOD	475,56	664,47	242,33	2489,19	111,47	15571,65	360,08
<LOD	364,47	<LOD	632,78	675,06	376,45	3615,55	154,47	11271,02	313,13
<LOD	285,91	<LOD	496,85	488,2	286,15	2679,65	122,13	8508,6	246,92
<LOD	334,86	<LOD	574,6	<LOD	621,27	3049,07	152,32	9352,27	298,21
<LOD	384,31	<LOD	667,59	<LOD	600,37	3042,49	162,21	8029,2	298,38
<LOD	318,82	<LOD	561,16	1047,89	246,44	2083,91	95,07	14203,29	258,7
<LOD	290,51	<LOD	509,32	1056,96	215,41	1998,24	83,58	12592,66	226,99
<LOD	310,76	<LOD	544,46	965,18	223,26	1958,34	86,52	12218,65	229,5
<LOD	291,55	<LOD	502,82	571,75	180,86	2056,67	76,93	14372,58	222,55
<LOD	299,4	<LOD	520,38	585,7	226,77	1731,45	90,13	8728,37	208,93
<LOD	343,52	<LOD	598,88	654,8	281,55	2362,56	114,23	8783,83	241,06
<LOD	333,64	<LOD	582,77	816,02	267,35	2464,97	109,22	13619,14	273,5
<LOD	379,98	<LOD	654,86	645,59	290,72	2297,2	117,05	12094,83	276,48
<LOD	345,4	<LOD	599,85	711,07	287,31	2827,3	119,12	11892,6	271,69
<LOD	317,23	<LOD	550,3	963,05	244,85	2425,34	98,16	15070,11	270,2
<LOD	379,39	<LOD	662,02	538,44	351,79	1748,36	135,33	9433,16	290,9
<LOD	248,67	<LOD	421,22	1152,07	171,18	1752,2	68,26	10775,76	188,8
<LOD	390,52	<LOD	677,68	773,17	305,24	2374,81	119,71	13134,2	287,97
<LOD	293,5	<LOD	504,66	700,78	201,38	1971,94	82,67	11269,28	227,75
<LOD	299,69	<LOD	513,82	789,1	221,55	2193,42	90,81	14016,45	254,88
<LOD	378,25	<LOD	659,73	1306,28	352,78	2967,57	139,54	15928,77	338,97
<LOD	329,92	<LOD	570,54	747,03	274,21	2301,24	109,7	8509,19	233,35
<LOD	331,35	<LOD	575,54	982,31	268,63	1706	102,47	13968,78	273,96
<LOD	335,72	<LOD	578,82	1592,33	305,62	2273,7	116,63	20339,82	340,02
<LOD	303,1	<LOD	526,58	2244,08	294,44	2210,53	106,15	20626,26	322,59
<LOD	328,53	<LOD	577,19	1467,03	243,73	1938,25	91,37	18418,1	282,58
<LOD	374,23	<LOD	654,16	2077,17	320,61	2109,09	115,26	20264,35	340,14
<LOD	417,53	<LOD	730,35	4180,35	428,88	2675,69	145,59	31233,84	464,99
<LOD	366,26	<LOD	631,74	2297,79	332,62	2710,06	125,45	23335,26	372,56
<LOD	315,74	<LOD	550,23	1739,93	253,79	2283,61	94,94	18847,04	287,32
<LOD	319,61	<LOD	551,44	2659,46	246,24	2250,55	88,77	28307,89	330,02
<LOD	366,72	<LOD	640,06	1304,2	295,59	2705,15	117,75	19089,82	326,17
<LOD	416,05	<LOD	722,19	2885,82	372,91	2093,37	132,52	31643,49	450,74
<LOD	383,33	<LOD	965,56	2028,98	321,47	2083,62	115,43	25176,75	376,33
<LOD	386,44	<LOD	798,37	1901,49	313,7	2029,92	113,5	21966	349,91

<LOD	381,47	<LOD	661,92	2284,6	311,96	2545,8	117,44	26211,13	376,32
<LOD	509	<LOD	959,88	3175,62	462	3381,32	168,97	29641,47	494,38
<LOD	471,28	1346,54	546,06	3263,39	479,76	3973,12	176,59	31099,25	509,15
<LOD	298,38	<LOD	528,87	1984,63	257,57	2201,25	93,85	20947,12	300,04
<LOD	424,29	<LOD	727,81	2431,41	348,36	2882,56	131,47	24145,49	387,33
<LOD	403,21	<LOD	692,48	8959,68	501,37	3030,38	153,68	66032,68	665
<LOD	338,76	<LOD	709,98	21481,52	602,04	4578,59	151,55	133265	842,17
<LOD	329,66	<LOD	576,85	1617,94	256,39	2346,34	97,97	21179,67	307,47
<LOD	330,87	<LOD	576,47	1457,22	254,77	1981,02	95,56	19524,99	298,25
<LOD	325,37	<LOD	565,45	1204,17	249,29	2301,81	101,42	13443,02	282,21
<LOD	313,97	<LOD	541,25	<LOD	425,98	1695,87	110,9	7342,8	231,49
<LOD	308,91	<LOD	534,91	<LOD	430,69	2461,81	119,53	6506,93	225,3
<LOD	410,45	<LOD	694,22	723,04	455,89	3049,59	178,29	7789,72	320,96
<LOD	481,96	<LOD	822,19	<LOD	1265,21	3282,55	234,88	7457,9	399,14
<LOD	370,71	<LOD	638,53	<LOD	492,27	2518,6	133,22	6341,82	243,2
<LOD	397,31	<LOD	675,28	671,16	424,72	3180,07	174,27	6384,49	297,58
<LOD	350,95	<LOD	601,82	<LOD	897,76	2438,43	147,53	6347,19	266,08
<LOD	343,8	<LOD	584,95	867,56	369,15	3365,01	152,19	7582,05	275,43
<LOD	444,39	<LOD	764,9	<LOD	754,89	2467,75	176,15	6472,99	309,49
<LOD	313,41	<LOD	542,21	787,56	308,09	2825,79	124,21	8210,83	246,99
<LOD	293,07	<LOD	506,83	560,22	270,32	2204,53	108,32	5613,7	203,42
<LOD	296,09	<LOD	514,16	651,48	309,41	3011,77	126,34	9625,65	262,92
<LOD	297,42	<LOD	515,65	<LOD	375,88	1803,35	100,63	5236,19	190,78
<LOD	305,04	<LOD	522,82	722,34	279,98	2160,82	109,33	6179,21	209,54
<LOD	314,93	<LOD	538,26	<LOD	455,77	2641,9	127,6	6031,77	229,97
<LOD	252,55	<LOD	437,54	716,19	212,22	1878,58	85,16	5649,17	171,4
<LOD	350,2	<LOD	609,28	815,44	333,77	2687,14	133,38	9911,61	277,9
<LOD	279,82	<LOD	486,87	403,37	257,79	2530,19	107,05	9327,89	232,06
<LOD	383,7	<LOD	667,09	1118,26	381,69	3430,65	148,97	11930,08	313,27
<LOD	334,59	<LOD	582,79	632,48	316,42	2424,09	124,87	10491,58	278,42
<LOD	249,87	<LOD	421,57	1170,62	303,61	3825,35	144,96	10244,32	307,22
<LOD	389,25	<LOD	653,6	1410,26	585,22	6261,57	252,13	10431,07	415,83
<LOD	364,5	<LOD	612,39	1588,47	507,14	4899,71	212,04	14773,83	422,36
<LOD	369,84	<LOD	647	1044,26	325,35	2824	127,13	11974,17	285,32
<LOD	321,85	<LOD	710,07	1203,16	285,53	2608,46	111,1	12446,93	267,54
<LOD	304,06	<LOD	531,54	1210,51	236,2	2186,03	91,01	11912,19	232,32
<LOD	328,49	<LOD	580,3	1052,09	250,42	2249,48	97,32	12656,48	248,06
<LOD	342,03	<LOD	604,31	1640,44	273,35	2157,42	101,63	13815,8	267,33
<LOD	313,9	<LOD	551,87	1472	269,03	2344,24	101,26	14127,4	266,69
<LOD	405,58	<LOD	707,49	1227,99	399,71	1945,37	145,01	12142,38	331,59
<LOD	297,81	<LOD	520,95	1291,82	256,58	2283,25	98,67	11443,15	242,99
<LOD	312,18	<LOD	585,4	1309,22	243,43	2254,44	91,97	13868,94	248,44
<LOD	311,04	<LOD	541,9	1180,13	259,99	2436,38	101,98	13681,45	262,76

<LOD	324,87	<LOD	570,55	1387,75	281,56	2622,59	108,07	14168,11	274,84
<LOD	331,94	<LOD	583,47	1679,07	279,55	2300,5	103,84	16146,59	286,33
<LOD	313,5	<LOD	548,6	1427,87	270,71	2208,16	105,05	15609,39	318,93
<LOD	313,25	<LOD	552,71	2941,06	286,67	2103,51	96,14	19971,05	301,21
<LOD	308,06	<LOD	544,2	2412,17	298,37	2069,17	104,6	16797,16	295,79
<LOD	333,21	<LOD	633,47	3242,29	297,31	2154,96	100,7	20388,39	311,32
<LOD	316,8	606,4	371,39	2135,4	265,67	2126,58	94,35	17378,12	279,89
<LOD	319,09	<LOD	836,86	2095,24	269,17	2069,44	95,8	16416,67	276,8
<LOD	332,88	<LOD	577,85	867,97	260,34	1753,46	99,59	13168,5	264,11
<LOD	315,44	748,13	373,69	1553,7	273,59	2275,63	99,92	13404,32	258,75
<LOD	588,55	<LOD	1451,26	906,82	551,14	3630,76	217,68	12115,29	422,66
<LOD	332,1	1616,38	389,43	1741,56	262,36	2119,15	93,94	17815,33	283,45
<LOD	403,19	<LOD	1122,12	1166,01	323,81	2264,75	122,03	16027,31	321,49
<LOD	472,84	<LOD	1067,12	1434,88	502,68	2706,11	188,66	13349,87	402,36
<LOD	376,54	<LOD	724,34	1703,61	289,74	1758,47	103,07	15644,95	288,67
<LOD	412,02	1063,55	439,99	2550,06	317,79	2011,94	108,95	18484,37	317,26
<LOD	331,83	858,03	386,39	1726,13	250,09	2121,42	92,26	15638,54	310,02
<LOD	556,59	<LOD	949,53	<LOD	899,19	3026,56	229,01	11144	436,34
<LOD	364,32	689,45	425,18	814,24	272,59	1438,25	99,38	9739,91	238,18
<LOD	328,79	1163,83	387,5	1603,09	265,36	2460,4	99,26	16890,2	279,55
<LOD	388,11	901,22	418,42	2310,77	329,32	2573,74	118,82	17400,13	321,76
<LOD	363,25	<LOD	634,05	3096,26	317,04	2424,74	109,2	23467,65	344,47
<LOD	382,8	678,64	445,52	2085,6	317,14	2450,81	115,22	16048,3	304,89
<LOD	338,81	1029,87	393,8	2864,79	275,81	2061,55	92,69	19968,43	294,8
<LOD	314,22	1076	369,12	4115,73	302,16	2087,91	95,31	29836,15	357,67
<LOD	367,09	<LOD	641,02	1087,79	305,28	2186,13	114,8	13130,25	284,37
<LOD	397,86	<LOD	697	1471,63	358,4	2360,97	129,33	15749,27	327,79
<LOD	365,17	<LOD	970,88	894,02	291,24	1950,62	110,92	11575,43	268,04
<LOD	375,71	1449,24	436,69	1516,7	309,65	2467,34	114,85	14654,06	294,28
<LOD	332,46	1126,3	393,59	1503,77	264,22	2105,93	95,91	13279,64	252,6
<LOD	391,34	<LOD	681,03	1325,39	339,81	2609,46	128,32	14832,61	316,52
<LOD	408,16	<LOD	706,91	1353,38	363,23	3051,32	143,94	13802,05	326,79
<LOD	434,57	<LOD	754,28	1010,12	420	3105,48	165,71	14188,08	366,4
<LOD	463,55	<LOD	806,72	1226,81	246,5	2271,84	102,6	15553,95	334,15
<LOD	455,97	<LOD	784,14	828,06	390,1	2143,62	150,58	13617,3	351,14

Cl	Cl Error	S	S Error	Mg	Mg Error
90,88	49,43	622,38	119,2	<LOD	3780,8
<LOD	92,61	<LOD	223,03	<LOD	5817,74
197,9	22,95	1613,56	62,61	3519,06	1322,18
132,87	43,91	1334,93	109,77	6093,89	2599,22
140,5	33,2	1136,76	98,44	<LOD	3599,37
200,14	26,51	1472,57	76,22	<LOD	2034,31

161,67	74,53	974,78	179,78	<LOD	5961,84
<LOD	87,54	498,72	142,97	7750	3410,19
804,33	35,57	1156,63	80,39	<LOD	2311,86
214,76	22,44	1769,67	62,33	<LOD	1826,37
159,87	33,06	1730,16	87,57	<LOD	3006,06
269,2	32,09	1854,96	92,88	<LOD	2520,75
342,93	45,71	2295,51	118,26	<LOD	3737,55
339,4	28,22	1651,92	75,88	<LOD	2076,31
329,76	38,81	2703,96	105,2	<LOD	2988,99
159,36	26,02	1791,7	77,72	<LOD	2290,42
252,8	41,18	2075,69	107,45	5548,62	2435,51
210,87	33,18	1377,41	84,42	<LOD	3148,18
436,43	43,47	1154,87	103,76	<LOD	5419,73
104,48	45,29	783,64	110,12	<LOD	3791,81
74,59	24,72	1012,79	63,16	<LOD	2206,16
127,79	21,41	946,93	54,41	<LOD	1717,74
86,89	22,38	1122,55	58,54	3538,44	1393,59
117	18,99	1365,85	51,97	<LOD	1509,87
88,32	24,72	1030,92	63,52	2135,06	1415,46
146,22	31,37	1148,09	78,99	<LOD	2503,59
155,12	28,9	1285,44	74,13	<LOD	2100,78
91,27	31,88	925,18	79,39	<LOD	4361,67
200,97	31,48	1331,02	79,93	<LOD	2430,15
127,64	24,95	1232,5	64,36	<LOD	2965,77
<LOD	57,42	860,2	97,89	<LOD	5320,69
116,33	16,82	1337,31	47,35	<LOD	1254,63
72,52	32,41	1022,47	81,48	5098,21	1975,66
106,18	21,61	906,65	54,59	<LOD	2119,32
148,21	23,5	1255,47	61,04	<LOD	2934,53
136,72	37,35	1287,02	94,08	<LOD	3056,53
153,18	29,81	1092,08	75,04	<LOD	2371,15
<LOD	40,77	894,2	71,52	<LOD	2426,22
63,34	30,68	1235,92	79,4	<LOD	3076,72
77,99	27,32	1280,62	71,56	5604,65	1739,4
56,38	23,4	989,46	60,39	<LOD	3002,06
<LOD	60,48	763,54	76,21	<LOD	2763,35
<LOD	75,19	1342,29	98,34	5329,72	2362,72
91,59	32,5	1221,27	82,7	<LOD	2378,11
74,04	23,75	921,21	60,07	2822,33	1464,25
50,84	20,58	1334,9	56,36	<LOD	1906,14
106,73	30,52	1147,13	77,21	<LOD	3364,26
<LOD	51,54	1055,64	90,04	<LOD	4034,55
<LOD	44,19	960,59	76,79	6075,1	1955,66

<LOD	44,05	915,94	76,11	<LOD	2721,2
<LOD	44,73	1161,42	76,61	<LOD	2456,36
114,26	44,96	1121,93	110,6	<LOD	5084,61
178,64	46,06	1549,69	114,94	<LOD	4897,31
83,88	23,33	1107,26	60,84	<LOD	2121,24
121,7	34,27	1127,25	85,66	<LOD	2799,77
<LOD	59,49	1897,87	98,76	<LOD	3247,41
<LOD	37,38	4231,83	90,86	<LOD	2969,07
50,28	24,15	1023,49	62,25	<LOD	2203,33
<LOD	47,5	882,03	62,31	<LOD	2221,99
114,46	25,26	936,47	64,6	<LOD	1863,52
<LOD	61,24	1072,27	80,5	<LOD	2457,75
173,82	33,09	1091,93	82,46	<LOD	2497,51
130,15	50,67	1178,28	125,1	6208,69	2940,97
106,75	68,56	1433,82	169,99	<LOD	5732,07
120,32	37,43	964,58	92,23	<LOD	4672,91
188,29	49,28	1349,96	122,56	<LOD	3512,22
<LOD	95,11	1519,88	107,71	<LOD	3493,99
269,32	41,76	1605,1	105,04	<LOD	5663,27
<LOD	77,23	800,54	125,78	<LOD	3969,48
253,99	33,47	1410,37	84,67	<LOD	2736,99
444,02	31,1	1356,12	76,48	<LOD	3642,82
305,58	33,55	1751,93	86,59	<LOD	2863,24
44,68	27,76	1126,08	72,61	<LOD	2280,73
117,67	30,28	1097,9	76,43	5820,32	1833,82
151,08	34,91	1552,74	90,62	<LOD	2702,96
291,49	23,64	1115,64	59,08	<LOD	2652,54
134,65	36,56	1277,38	92,51	<LOD	2935,34
143,99	27,92	1757,63	75,63	<LOD	2406,82
257,79	40,05	1675,68	101,41	6539,13	2462,45
111,63	33,23	1638,47	88,49	<LOD	2678,61
143,94	31,2	3693,26	112,41	<LOD	2450,37
4569,8	90,41	2743,53	169,5	<LOD	4880,27
294,73	56,81	2264,15	144,86	<LOD	4112,29
162,48	34,16	1078,77	84,52	<LOD	4353,51
157,87	28,99	1134,85	73,03	<LOD	2577,31
116,75	23,35	1264,43	61,33	<LOD	2070,31
115,39	25,36	1112,06	64,9	<LOD	2120,06
94,54	26,9	842,25	66,8	<LOD	2168,82
127,3	26,02	1330,59	68,19	<LOD	2191,66
<LOD	60,94	1064,26	104,69	3859,69	2499,58
127,14	25,53	1353,32	67,08	<LOD	3550,12
101,5	23,2	1216,78	60,74	4417,32	1504,68

120,77	26,1	1244,79	67,75	<LOD	2196,42
172,46	27,72	1553,76	73,06	5122,6	1748,39
61,96	26,59	1227,7	69,51	<LOD	2500,06
104,07	26,09	1298,31	70,32	<LOD	2210,23
105,05	24,42	1308,9	64,35	3813,74	1570,09
109,39	27,61	1531,87	73,71	<LOD	3812,19
95,45	25,91	1084,64	66,4	<LOD	2279,28
80,72	24,11	1046,95	61,71	<LOD	3217,59
58,83	24,7	978,21	63,28	<LOD	2009,92
63,54	27,07	1009,66	69,33	<LOD	3793,48
97,42	25,95	1016,5	65,68	2886,89	1629,87
161,53	62,15	858,69	149,08	<LOD	5727,53
91,25	23,89	956,74	60,3	4401,81	1579,71
<LOD	73,54	793,73	81,4	<LOD	2988,41
<LOD	79,7	838,02	132,52	<LOD	4481,32
<LOD	40,8	1045,33	71,96	<LOD	3444,23
<LOD	42,3	911,91	73,28	<LOD	2487,35
93,59	23,45	954,67	59,18	<LOD	2051,84
<LOD	98,58	480,11	160,75	<LOD	5391,84
<LOD	40,71	555,08	69,48	3337,28	1735,98
102,92	25,04	1043,15	63,52	<LOD	2628,64
90,96	31,02	967,05	77,21	<LOD	2487,12
<LOD	58,49	1006,72	69,98	<LOD	2405,42
89,05	30,5	881,33	75,35	<LOD	2429,24
66,36	23,32	976,58	59,74	3002,82	1489,36
69,81	23,15	1037,46	59,64	2302,56	1497,78
64,66	31,32	999,78	78,31	<LOD	4394,5
60,29	35,5	1055,52	88,48	8739,26	2345,45
<LOD	45,89	773,47	75,87	<LOD	2813,09
136,45	30,66	847,6	74,62	<LOD	2555,56
117,12	25,38	1023,79	64	<LOD	2209,51
84,54	34,67	909,23	85,02	<LOD	4884,59
172,68	39,38	970,64	95,62	<LOD	3012,23
184,78	46,5	930,73	111,87	<LOD	3938,48
70,23	24,34	1018,77	64,96	<LOD	1930,75
<LOD	63,02	641,66	104,75	<LOD	3367,06

Tableau de résultat des mesures XRF faites sur le secteur de l'Auloueihl dans la réserve  
d'Aulon le 10 octobre 2019

Time	Duration	Units	SAMPLE	Mo	Mo Error	Zr	Zr Error	Sr	Sr Error
10/10/2019 15:10	120	ppm	Auloueihl_00_I01	6,4	1,13	13,92	1,06	62,52	1,33
10/10/2019 15:12	120	ppm	Auloueihl_00_I02	7,52	1,39	27,75	1,52	109,73	2,04
10/10/2019 15:17	120	ppm	Auloueihl_00_I03	7,91	1,42	17,84	1,42	92,64	1,93
10/10/2019 15:20	120	ppm	Auloueihl_00_I04	9,73	1,46	17,04	1,39	69,25	1,74
10/10/2019 15:23	120	ppm	Auloueihl_00_I05	6,23	1,37	16,13	1,33	69,94	1,68
10/10/2019 15:29	120	ppm	Auloueihl_00_I06	4,78	1,17	15,79	1,22	127,76	1,89
10/10/2019 15:32	120	ppm	Auloueihl_00_E07	8,54	1,16	14,04	1,06	58,77	1,31
10/10/2019 15:35	120	ppm	Auloueihl_00_E08	9,44	1,48	17,34	1,38	50,51	1,55
10/10/2019 15:37	120	ppm	Auloueihl_00_E09	11,37	1,35	19,79	1,26	52,18	1,41
10/10/2019 15:40	120	ppm	Auloueihl_00_E10	8,62	1,45	18,64	1,4	62,99	1,66
10/10/2019 15:44	120	ppm	Auloueihl_00_E11	8,2	1,56	44,84	1,91	138,27	2,49
10/10/2019 15:48	120	ppm	Auloueihl_00_E12	8,12	1,42	15,83	1,33	52,85	1,53
10/10/2019 15:52	120	ppm	Auloueihl_05_I06	6,34	1,55	44,97	2,52	598,65	4,96
10/10/2019 15:55	120	ppm	Auloueihl_05_I05	7,04	1,48	61,46	2,13	288,54	3,3
10/10/2019 15:58	120	ppm	Auloueihl_05_I04	6,55	1,43	49,95	1,88	199,67	2,71
10/10/2019 16:00	120	ppm	Auloueihl_05_I03	6,68	1,54	52,5	2,08	216,68	3,05
10/10/2019 16:03	120	ppm	Auloueihl_05_I02	5,92	1,47	61,96	2,02	189,69	2,74
10/10/2019 16:07	120	ppm	Auloueihl_05_I01	4,45	1,67	49,59	2,2	181,57	3,06
10/10/2019 16:11	120	ppm	Auloueihl_05_E07	7,35	1,59	44,33	1,96	150,89	2,65
10/10/2019 16:15	120	ppm	Auloueihl_05_E08	3,77	1,31	51,74	1,79	219,67	2,66
10/10/2019 16:20	120	ppm	Auloueihl_05_E09	5,92	1,72	71,52	2,74	411,34	4,56
10/10/2019 16:23	120	ppm	Auloueihl_05_E10	5,26	1,41	41,63	1,72	135,89	2,28
10/10/2019 16:26	120	ppm	Auloueihl_05_E11	6,67	1,44	66,53	2,09	267,82	3,12
10/10/2019 16:29	120	ppm	Auloueihl_05_E12	3,08	1,46	38,4	2,06	158,01	3,11
10/10/2019 16:34	120	ppm	Auloueihl_10_I01	<LOD	300000	51,29	2,92	177,27	4,26
10/10/2019 16:37	120	ppm	Auloueihl_10_I02	<LOD	300000	61,61	2,57	209,36	3,88
10/10/2019 16:41	120	ppm	Auloueihl_10_I03	8,07	1,58	26,77	1,82	173,47	2,82
10/10/2019 16:45	120	ppm	Auloueihl_10_I04	5,24	1,42	44,31	1,82	303,4	3,32
10/10/2019 16:50	120	ppm	Auloueihl_10_I05	7,76	1,74	63,1	2,45	251,28	3,6
10/10/2019 16:54	120	ppm	Auloueihl_10_I06	<LOD	300000	54,76	4,63	2409,82	17,84
10/10/2019 16:59	120	ppm	Auloueihl_10_E07	6,41	1,63	60,71	2,24	220,45	3,19
10/10/2019 17:04	120	ppm	Auloueihl_10_E08	<LOD	300000	54,98	2,59	94,96	2,93
10/10/2019 17:07	120	ppm	Auloueihl_10_E09	<LOD	300000	64,68	2,45	199,79	3,58
10/10/2019 17:11	120	ppm	Auloueihl_10_E10	5,47	1,71	87,47	2,48	151,28	2,8
10/10/2019 17:14	120	ppm	Auloueihl_10_E11	5,98	1,52	65,15	2,15	237,83	3,1
10/10/2019 17:17	120	ppm	Auloueihl_10_E12	5,72	1,67	67,17	2,41	244,6	3,45



U	U Error	Rb	Rb Error	Th	Th Error	Pb	Pb Error	Au	Au Error	Se	Se Error
<LOD	2,36	12,78	0,94	<LOD	1,56	3,62	1,59	<LOD	2,1	<LOD	1,51
<LOD	3,32	36,06	1,57	<LOD	1,98	10,58	2,26	<LOD	2,75	<LOD	1,92
<LOD	3,27	21,02	1,02	<LOD	1,98	9,72	2,26	<LOD	2,85	<LOD	1,96
<LOD	3,27	25,73	1,45	<LOD	2,04	5,81	2,15	<LOD	2,89	<LOD	2,09
<LOD	2,96	22,63	1,32	<LOD	1,94	8,74	2,18	<LOD	2,76	<LOD	1,94
4,82	1,93	29,23	1,28	<LOD	1,67	6,67	1,79	<LOD	2,31	<LOD	1,58
3,13	1,7	20,26	1,08	<LOD	1,61	<LOD	2,29	<LOD	2,22	<LOD	1,53
<LOD	3,31	22,45	1,07	<LOD	2,02	4,05	2,1	<LOD	2,94	<LOD	2,07
<LOD	2,98	27,13	1,34	<LOD	1,83	3,24	1,83	<LOD	2,57	<LOD	1,79
<LOD	3,21	29,09	1,49	<LOD	1,96	3,13	2,02	<LOD	2,8	<LOD	2,02
<LOD	4,2	48,17	1,51	<LOD	2,54	59,2	4,07	<LOD	3,39	<LOD	2,32
<LOD	3,1	19,41	1	<LOD	1,99	3,97	2,03	<LOD	2,87	<LOD	2,02
7,32	3,19	42,26	1,43	<LOD	2,64	34,03	3,38	<LOD	3,37	<LOD	2,4
4,85	3,1	71,92	1,69	5,56	1,79	32,81	3,17	<LOD	3,37	<LOD	2,3
4,87	2,73	52,3	1,5	<LOD	2,46	52,68	3,59	<LOD	3,12	<LOD	2,15
<LOD	4,13	37,72	1,36	<LOD	2,57	37,48	3,44	<LOD	3,16	<LOD	2,23
<LOD	4,17	52,32	1,48	<LOD	2,6	68,86	4,1	<LOD	3,22	<LOD	2,21
4,69	3,09	42,75	1,56	<LOD	2,86	36,3	3,76	<LOD	3,78	<LOD	2,63
<LOD	4,48	56,84	1,65	<LOD	2,6	35,06	3,48	<LOD	3,19	<LOD	2,32
7,04	2,6	51,55	1,34	<LOD	2,29	48,24	3,25	<LOD	2,75	<LOD	1,88
<LOD	5,41	68,74	1,93	3,24	2,07	48,32	4,2	<LOD	3,8	<LOD	2,71
<LOD	3,62	34,73	1,22	<LOD	2,29	43,37	3,34	<LOD	3,05	<LOD	2,05
<LOD	4,42	66,56	1,6	<LOD	2,54	59,54	3,77	<LOD	3,13	<LOD	2,15
<LOD	300000	54,09	1,82	<LOD	300000	29,99	4,33	<LOD	300000	<LOD	300000
<LOD	300000	49,15	2,26	<LOD	300000	23,6	5,48	<LOD	300000	<LOD	300000
<LOD	300000	56,37	2,01	<LOD	300000	32,1	4,82	<LOD	300000	<LOD	300000
5,97	2,67	26,34	1,21	<LOD	2,32	24,63	3,11	<LOD	3,12	<LOD	2,27
5,89	2,84	52,11	1,45	3,32	1,7	49,68	3,54	<LOD	3,1	<LOD	2,1
<LOD	5,18	62,07	1,84	<LOD	2,95	29,68	3,58	<LOD	3,74	<LOD	2,63
<LOD	300000	51,31	1,93	<LOD	300000	24,56	4,55	<LOD	300000	<LOD	300000
8,38	3,47	75,77	1,89	3,55	1,93	41,19	3,73	<LOD	3,47	<LOD	2,43
<LOD	300000	71,12	2,47	<LOD	300000	8,27	4,49	<LOD	300000	<LOD	300000
<LOD	300000	82,27	2,25	<LOD	300000	24,75	4,33	<LOD	300000	<LOD	300000
<LOD	5,56	94,24	2,18	5,84	2,11	35,98	3,78	<LOD	4,03	<LOD	2,81
7,73	3,19	71,97	1,74	2,65	1,74	34,08	3,27	<LOD	3,24	<LOD	2,24
<LOD	5,22	76,66	1,96	3,84	2,02	48,95	4,09	<LOD	3,88	<LOD	2,7

As	As Error	Hg	Hg Error	Zn	Zn Error	W	W Error	Cu	Cu Error	Ni	Ni Error
<LOD	1,78	<LOD	3,18	114,46	4,95	<LOD	11,82	<LOD	6,89	<LOD	11,9
3,89	1,8	<LOD	4,38	92,73	5,68	<LOD	16,51	<LOD	9,92	<LOD	16,76
<LOD	2,59	<LOD	4,59	89,65	5,74	<LOD	17,46	<LOD	10,47	<LOD	17,31
<LOD	2,51	<LOD	4,71	88,37	5,84	<LOD	18,08	18,87	7,48	<LOD	17,97

<LOD	2,45	<LOD	4,31	55,79	4,89	<LOD	16,51	<LOD	9,91	<LOD	16,68
<LOD	2,05	<LOD	3,29	47,23	3,91	<LOD	11,82	<LOD	7,24	<LOD	12,55
<LOD	1,72	<LOD	3,37	77,2	4,38	<LOD	12,13	<LOD	7,39	<LOD	12,29
<LOD	2,4	<LOD	4,92	24,08	4,43	<LOD	18,73	18,53	7,71	<LOD	18,4
<LOD	2,02	<LOD	4,11	44,25	4,34	<LOD	15,36	<LOD	9,26	<LOD	15,14
<LOD	2,3	<LOD	4,69	80,18	5,64	<LOD	17,74	<LOD	10,9	<LOD	17,97
5,95	3,1	<LOD	5,31	73,68	6	<LOD	19,93	<LOD	12,08	<LOD	20,75
<LOD	2,31	<LOD	4,47	56,02	4,98	<LOD	16,74	<LOD	10,19	<LOD	17,49
12,43	2,75	<LOD	5,19	126,13	7,02	<LOD	19,43	19,9	7,98	<LOD	19,78
15,42	2,63	<LOD	4,96	165,24	7,33	<LOD	18,12	44,54	7,74	<LOD	19,08
11,59	2,83	<LOD	4,57	117,63	6,25	<LOD	16,65	17,07	6,92	<LOD	17,15
5,86	2,67	<LOD	5,12	97,95	6,43	<LOD	19,41	<LOD	11,59	<LOD	19,92
16,81	3,27	<LOD	4,88	103,26	6,3	<LOD	17,77	23,57	7,45	<LOD	18,5
14,62	3,11	<LOD	6,07	78,71	6,75	<LOD	22,96	16,08	9,28	<LOD	23,63
8,24	2,75	<LOD	5,33	80,89	6,27	<LOD	20,17	<LOD	11,99	<LOD	20,71
10,08	2,55	<LOD	4,03	66,12	4,9	<LOD	14,58	<LOD	8,67	<LOD	15,66
14,56	3,38	<LOD	5,93	68,17	6,57	<LOD	22,58	<LOD	13,69	<LOD	23,6
5,11	2,56	<LOD	4,43	72,15	5,36	<LOD	16,58	<LOD	10,14	<LOD	17,51
12,1	2,96	<LOD	4,59	68,54	5,39	<LOD	16,52	13,89	6,86	<LOD	17,89
<LOD	5,88	<LOD	300000	60,07	9,5	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000
14,94	5,31	<LOD	300000	76,07	13,72	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000
21,94	4,74	<LOD	300000	80,19	10,82	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000
<LOD	3,59	<LOD	5,22	112,38	6,87	<LOD	19,69	<LOD	12,07	<LOD	20,4
14,76	2,85	<LOD	4,59	93,58	5,93	<LOD	17,07	23,58	7,15	<LOD	17,73
16,75	3,05	<LOD	6,16	111,16	7,59	<LOD	23,05	37,18	9,78	<LOD	23,76
12,93	4,13	<LOD	300000	182,24	12,31	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000
15,61	3,07	<LOD	5,51	70,51	6,21	<LOD	19,94	14,03	8,34	<LOD	21,51
<LOD	300000	<LOD	300000	49,52	11,56	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000
13,01	4,08	<LOD	300000	81,93	10,06	<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000
14,31	3,09	<LOD	6,18	70,46	6,67	<LOD	22,65	33,29	9,37	<LOD	24,22
9,12	2,6	<LOD	4,97	59,07	5,48	<LOD	18,42	14,1	7,45	<LOD	19,17
10,96	3,22	<LOD	5,82	96,38	7,03	<LOD	21,81	22,68	8,96	<LOD	22,73

Co	Co Error	Fe	Fe Error	Mn	Mn Error	Sb	Sb Error	Sn	Sn Error
<LOD	19,4	1814,85	35,94	650,53	27,63	<LOD	6,83	<LOD	6,96
<LOD	38,46	6378,32	74,88	789,12	35,73	<LOD	8,56	<LOD	8,78
<LOD	28,95	3071,55	54,67	390,23	29,5	<LOD	8,68	<LOD	8,84
<LOD	29,1	3042,2	55,79	691,65	35,36	<LOD	8,82	<LOD	8,99
<LOD	25,81	2234,09	46,59	102,42	23,39	<LOD	8,64	<LOD	8,85
<LOD	26,84	3884,97	51,13	122,24	20,49	<LOD	7,18	<LOD	7,34
<LOD	18,7	1674,06	34,69	322,89	23,03	<LOD	6,84	<LOD	6,98
<LOD	25,98	2064,51	47,58	234,28	27,23	<LOD	8,92	<LOD	9,08
<LOD	18,71	1003,38	32,85	555,96	29,99	<LOD	7,91	<LOD	8,08

<LOD	28,18	2828,25	54,76	1359,06	44,68	<LOD	8,88	<LOD	9,02
<LOD	56,19	15300,8	145,92	1997,96	56,01	<LOD	9,72	<LOD	9,98
<LOD	24,44	1787,28	44,02	571,44	32,73	<LOD	8,78	<LOD	8,98
<LOD	63,36	19274,51	160,24	909,26	41,46	<LOD	9,67	<LOD	9,91
<LOD	67,58	23913,1	168,73	1009,06	41,26	<LOD	9,61	<LOD	9,83
<LOD	50,11	14019,86	146,31	1584,23	46,59	<LOD	9,06	<LOD	9,3
<LOD	54,43	14151,88	139,24	558,87	35,82	<LOD	9,79	<LOD	10,07
<LOD	67,03	23629,65	169,61	1784,43	50,98	<LOD	9,49	<LOD	9,71
<LOD	67,13	18397,13	172,09	617,76	40,79	<LOD	11,09	<LOD	11,32
<LOD	56,06	14419,96	144,9	1908,22	55,91	<LOD	10,05	<LOD	10,34
<LOD	54,08	19235,47	139,86	1396,23	41,94	<LOD	8,49	<LOD	8,65
<LOD	76,39	22677,76	191,32	1106,1	49,8	<LOD	11,31	<LOD	11,53
<LOD	43,98	10631,16	114,46	2742,78	58,64	<LOD	9,06	<LOD	9,29
<LOD	65,2	23878,24	165,22	844,99	37,9	<LOD	9,13	<LOD	9,37
<LOD	300000	18269,8	182,2	812,41	65,74	<LOD	11,56	<LOD	11,77
<LOD	300000	17478,76	230,89	355,27	75,67	<LOD	16,15	<LOD	16,4
<LOD	300000	25453,57	231,07	567,48	64,65	<LOD	13,14	<LOD	13,52
<LOD	49,49	11868,54	132,08	194,75	29,28	<LOD	9,72	<LOD	9,98
<LOD	64,13	23006,11	239,2	902,72	38,78	<LOD	9,02	<LOD	9,25
<LOD	81,35	25502,61	203,14	963,55	47,4	<LOD	11,19	<LOD	11,45
<LOD	300000	20346,21	195,8	1208,06	72,7	<LOD	12,38	<LOD	12,6
<LOD	79,06	27299,18	197,72	1200,8	48,04	<LOD	10,48	<LOD	10,74
<LOD	300000	25206,79	257,02	1059,72	83	<LOD	15,04	<LOD	15,39
<LOD	300000	26683,57	224,22	531,41	60,85	<LOD	12,55	<LOD	12,86
<LOD	92,36	32761	226,21	1164,98	50,89	<LOD	11,48	<LOD	11,8
<LOD	64,7	20940,66	162,85	456,22	33,47	<LOD	9,67	<LOD	9,95
<LOD	78,52	25505,1	197,55	2099,14	61,08	<LOD	10,85	<LOD	11,16

Cd	Cd Error	Pd	Pd Error	Ag	Ag Error	Bal	Bal Error	Nb	Nb Error	Bi	Bi Error
<LOD	6,27	<LOD	3,89	<LOD	3,37	992707,69	69,3	4,69	1,05	<LOD	2,06
<LOD	7,72	<LOD	4,81	<LOD	4,37	984629,88	15,62	5,59	1,34	<LOD	3,04
<LOD	7,85	<LOD	4,89	<LOD	4,45	986656,88	59,21	5,45	1,33	<LOD	2,99
<LOD	8	<LOD	5	<LOD	4,52	989989,94	23,72	6,48	1,44	<LOD	3,11
<LOD	7,77	<LOD	4,76	<LOD	4,36	993730,69	10,93	2,99	1,29	<LOD	2,84
<LOD	6,55	<LOD	4,05	<LOD	3,56	991384,56	105,9	3,69	1,09	<LOD	2,32
<LOD	6,27	<LOD	3,89	<LOD	3,4	993069,63	45,78	5,52	1,08	<LOD	2,2
<LOD	8,11	<LOD	5,1	<LOD	4,6	991574,25	38,98	6,64	1,39	<LOD	3,2
<LOD	7,22	<LOD	4,51	<LOD	4,03	993317,31	23,17	7,8	1,27	<LOD	2,77
<LOD	8,01	<LOD	4,98	<LOD	4,52	990185,06	22,17	4,7	1,39	<LOD	3,02
<LOD	8,69	<LOD	5,42	<LOD	5,05	972706,25	119,96	7,32	1,45	<LOD	4,03
<LOD	7,91	<LOD	4,91	<LOD	4,47	988528	51,62	3,49	1,32	<LOD	2,96
<LOD	8,62	<LOD	5,43	<LOD	4,99	964267,88	153,22	8,1	1,44	<LOD	4,19
<LOD	8,37	<LOD	5,25	<LOD	4,85	963499,25	144,08	9,99	1,37	<LOD	5,24

Programme Télédétection Archéologique en Haute et Moyenne Montagne

Autorisation n° 1411105

2019

<LOD	7,99	<LOD	4,95	<LOD	4,57	976026,63	77,49	7,45	1,33	<LOD	3,83
<LOD	8,67	<LOD	5,41	<LOD	5,02	978365,13	95,65	5,35	1,41	<LOD	4,03
<LOD	8,33	<LOD	5,19	<LOD	4,81	962392,88	150,04	8,13	1,37	<LOD	4,14
<LOD	9,66	<LOD	6,05	<LOD	5,69	972049,31	132,92	6,67	1,56	<LOD	4,69
<LOD	8,9	<LOD	5,55	<LOD	5,16	975831,5	109	5,12	1,45	<LOD	4,22
<LOD	7,49	<LOD	4,68	<LOD	4,21	968457,88	116,31	5,52	1,21	<LOD	3,54
<LOD	9,84	<LOD	6,11	<LOD	5,79	962515,19	174,88	8	1,59	<LOD	5,16
<LOD	7,99	<LOD	4,96	<LOD	4,56	978134,25	90,12	5,08	1,3	<LOD	3,5
<LOD	8,07	<LOD	5,02	<LOD	4,63	960237,63	155,61	8,13	1,32	<LOD	4,1
<LOD	10,24	<LOD	6,45	<LOD	6,03	969066,94	156,16	7,81	1,68	<LOD	4,94
<LOD	13,92	<LOD	8,79	<LOD	8,53	973260,19	177,5	5,46	2,16	<LOD	6,73
<LOD	11,39	<LOD	7,16	<LOD	6,9	960766,94	209,13	6,32	1,79	<LOD	7,79
<LOD	8,76	<LOD	5,48	<LOD	5,05	978459,19	99,7	5,44	1,46	<LOD	3,67
<LOD	8,04	<LOD	5,01	<LOD	4,59	963055,56	193,64	7,47	1,32	<LOD	4,32
<LOD	9,78	<LOD	6,13	<LOD	5,8	963030,25	171,11	10,25	1,62	<LOD	4,97
<LOD	10,78	<LOD	6,72	<LOD	6,44	968522,25	164,99	5,08	1,69	<LOD	6,02
<LOD	9,13	<LOD	5,71	<LOD	5,38	960472,44	170,03	8,06	1,49	<LOD	4,78
<LOD	12,89	<LOD	8,16	<LOD	7,93	962361	223,12	9,89	2,06	<LOD	7,9
<LOD	10,73	<LOD	6,75	<LOD	6,49	965325,06	173,09	7,2	1,7	<LOD	5,76
<LOD	9,78	<LOD	6,15	<LOD	5,88	946593,56	235,88	12,6	1,6	<LOD	8,27
<LOD	8,5	<LOD	5,3	<LOD	4,94	943114,75	233,49	8	1,39	<LOD	4,32
<LOD	9,46	<LOD	5,94	<LOD	5,6	924275,38	334,14	8,12	1,54	<LOD	5,01

Re	Re Error	Ta	Ta Error	Hf	Hf Error	Cr	Cr Error	V	V Error	Ti	Ti Error
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	74,44	<LOD	222,27	<LOD	378
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	93,2	<LOD	260,95	<LOD	448,3
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	92,07	<LOD	271,72	<LOD	455,21
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	98,18	<LOD	277,56	<LOD	467,75
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	96,53	<LOD	273,3	<LOD	470,36
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	77,59	<LOD	227,73	<LOD	386,22
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	73,3	<LOD	217,18	<LOD	370,14
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	95,03	<LOD	274,25	<LOD	465,79
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	86,88	<LOD	260,25	<LOD	438,86
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	99,74	<LOD	276,58	<LOD	470,07
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	114,3	<LOD	296,16	<LOD	510,35
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	93,68	<LOD	277	<LOD	468,95
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	97,01	<LOD	303,59	<LOD	521,57
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	100,45	<LOD	311,08	<LOD	535,39
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	92,79	<LOD	287,93	<LOD	495,1
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	107,39	<LOD	310,4	<LOD	533,74
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	96,94	<LOD	295,54	<LOD	516,27
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	120,78	<LOD	354,5	<LOD	604,42
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	107,92	<LOD	306,2	<LOD	527,49

<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	86,68	<LOD	268,79	<LOD	466,93
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	126,52	<LOD	348,82	<LOD	610,62
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	101,9	<LOD	287,96	<LOD	491,25
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	89,9	<LOD	275,97	<LOD	485,2
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	130,06	<LOD	368,76	<LOD	637,09
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	190,31	<LOD	506,81	<LOD	871,54
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	136,18	<LOD	393,4	<LOD	683,06
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	106,45	<LOD	294,41	<LOD	511,86
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	90,66	<LOD	275,01	<LOD	474,14
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	114,9	<LOD	340,43	<LOD	595,04
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	140,31	<LOD	381,17	<LOD	651,69
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	102,4	<LOD	311,09	<LOD	546
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	164,07	<LOD	466,89	<LOD	808,04
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	136,99	<LOD	387,97	<LOD	672,8
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	125,2	<LOD	361,84	<LOD	624,8
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	100,06	<LOD	308,81	<LOD	535,78
<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	112,32	<LOD	342,51	<LOD	601,15

AI	AI Error	P	P Error	Si	Si Error	CI	CI Error	S	S Error
242,68	127,08	1134,12	61,01	1679,06	96,87	72,52	14,46	716,76	41,97
422,04	228,98	1241,23	100,73	3437,24	201,08	<LOD	55,22	728,62	71,4
<LOD	509,62	2077,68	103,42	2357,41	156,71	199,74	29,47	843,18	71,6
<LOD	364,24	1209,22	112,69	2673,31	203,64	<LOD	40,81	804,08	82,34
<LOD	396,71	1191,11	88,54	1553,38	134,06	<LOD	35,68	408,96	61,61
276,56	127,97	887,63	62,05	1340,55	97,28	119,61	15,34	483,73	40,57
<LOD	291,89	1306,88	64,09	2159,01	106,72	178,58	17,94	627,7	43,73
<LOD	400,28	2162,08	113,04	2286,47	168,28	124,47	32,29	639,33	77,62
<LOD	503,5	1577,74	90,58	2217,35	142,85	95,13	25,67	761,23	64,09
<LOD	447,73	1202,35	108,81	2172,22	180,35	<LOD	39,39	704,04	77,29
418,79	269,43	1542,76	104,3	5978,56	208,68	139,29	30,6	898,41	75,93
<LOD	428,81	2177,33	108,45	2115,04	159,44	345,69	31,99	751,5	74,02
552,41	278,55	2546,34	111,99	7168,58	220,86	137	29,73	1458,89	77,7
472,03	240,74	2112,07	94,91	7060,5	200,65	83,65	24,55	998,97	63,3
449,26	220,03	1856,64	90,46	4003,79	162,98	106,31	24,37	973,08	62,73
<LOD	572,01	1378,65	92,67	4433,06	175,01	<LOD	38,89	656,73	66,79
563,5	220,82	1739,08	86,09	8125,18	197,87	<LOD	34,37	805,91	58,66
<LOD	427,47	1428,84	112,08	4018,95	198,78	<LOD	48,15	681,96	82,06
<LOD	381,17	1101,26	96,13	4846,67	189,12	<LOD	41,33	553,86	70,72
404,91	165,49	1645,79	68,18	7129,27	160,66	65,56	17,43	870,28	45,7
<LOD	712,83	2006,12	115,66	9820,06	258,61	<LOD	52,57	1036,81	81,52
<LOD	293,22	1266,66	78,35	4971,85	160,05	<LOD	53,63	632,52	55,93
490,61	208,93	1984,86	83,64	7268,94	182,21	120,97	22,04	1092,96	57,14
711,89	362,66	2389,99	141,12	7338,81	268,92	<LOD	73,34	1053,36	99,77

<LOD	844,71	2651,22	220,53	5478,76	359,99	<LOD	97,14	377,91	157,63
<LOD	900,42	1594,68	141,66	5444,48	258,33	<LOD	61,23	400,76	102,04
436,26	270,44	1505,12	105,91	6534,19	216,87	<LOD	44,14	823,65	76,91
799,68	232,53	2012,47	90,42	8327,34	208,81	85,41	23,85	1127,52	61,93
546,57	311,02	1877,74	117,14	6593,15	231,75	<LOD	48,05	807,76	82,38
<LOD	796,45	1641,95	124,48	4827,85	224,12	<LOD	53,4	712,96	90,34
719,85	262,78	2015,76	100,5	6970,03	206,12	<LOD	41,08	623,71	67,27
<LOD	753,75	2944,36	192,33	7232,13	338	<LOD	110,64	907,28	135,51
<LOD	657,94	1303,77	119,72	5324,05	226,87	<LOD	52,04	358,48	86,89
946,03	286,67	2281,04	106,47	9686,25	237,97	<LOD	65,78	992,34	71,96
3920,89	320,38	2733,39	109,89	26747,96	360,64	68,43	26,35	1610,15	71,89
5797,08	407,9	3442,73	132,88	35800,89	450,43	<LOD	46,83	2001,38	86,12

Mg	Mg Error
<LOD	1061,94
<LOD	2349,96
3183,28	1608,84
<LOD	3770,37
<LOD	1784,16
<LOD	1140,65
<LOD	1264,59
<LOD	3002,45
<LOD	2218,65
<LOD	3111,56
<LOD	2136,64
2955,88	1683,19
2696,61	1772,32
<LOD	3464,19
<LOD	2632,71
<LOD	2155,29
<LOD	2762,14
<LOD	2875,27
<LOD	3714,42
<LOD	1405,84
<LOD	3324,13
<LOD	1805,07
3456,79	1376,28
<LOD	3308,59
<LOD	4843,36
5304,22	2608,35
<LOD	2932,66
<LOD	2049,55
<LOD	2862,99

<LOD	2904,71
<LOD	3763,15
<LOD	4644,26
<LOD	2892,23
4417,14	1859,96
<LOD	2243,55
<LOD	3121,43

Tableau de résultat des mesures XRF faites sur le secteur de l'Auloueilh le 11 octobre 2019

Time	Duration	Units	Sequence	SAMPLE	Mo	Mo Error
11/10/2019 10:42	120	ppm	Final	Auloueilh_15_I06	3,47	2,08
11/10/2019 10:45	120	ppm	Final	Auloueilh_15_I05	<LOD	2,89
11/10/2019 10:49	120	ppm	Final	Auloueilh_15_I04	5,71	2,17
11/10/2019 10:53	120	ppm	Final	Auloueilh_15_I03	4,45	2,19
11/10/2019 10:56	120	ppm	Final	Auloueilh_15_I02	<LOD	2,99
11/10/2019 10:56	0,94	ppm	Final	Auloueilh_15_I02	<LOD	44,48
11/10/2019 10:59	120	ppm	Final	Auloueilh_15_I01	5,92	2,27
11/10/2019 11:05	120	ppm	Final	Auloueilh_15_E07	8,17	2,5
11/10/2019 11:09	120	ppm	Final	Auloueilh_15_E08	6,23	2,34
11/10/2019 11:21	120	ppm	Final	Auloueilh_15_E09	4,7	2,53
11/10/2019 11:24	120	ppm	Final	Auloueilh_15_E10	<LOD	300000
11/10/2019 11:29	120	ppm	Final	Auloueilh_15_E11	<LOD	300000
11/10/2019 11:37	120	ppm	Final	Auloueilh_15_E12	<LOD	300000
11/10/2019 12:10	120	ppm	Final	Auloueilh_05_13	<LOD	300000
11/10/2019 12:14	120	ppm	Final	Auloueilh_05_14	<LOD	300000
11/10/2019 12:18	120	ppm	Final	Auloueilh_05_15	4,29	1,97
11/10/2019 12:20	120	ppm	Final	Auloueilh_05_16	5,01	2,39
11/10/2019 12:23	120	ppm	Final	Auloueilh_05_17	4,35	2,42
11/10/2019 12:26	120	ppm	Final	Auloueilh_05_18	3,08	1,66
11/10/2019 12:28	61,4	ppm	Final	Auloueilh_05_19	3,36	1,71
11/10/2019 12:33	120	ppm	Final	Auloueilh_05_19	2,71	1,73
11/10/2019 12:36	120	ppm	Final	Auloueilh_05_20	4,05	2,45
11/10/2019 12:39	120	ppm	Final	Auloueilh_05_21	3,22	2,05
11/10/2019 12:42	120	ppm	Final	Auloueilh_05_22	6,45	1,82
11/10/2019 12:45	120	ppm	Final	Auloueilh_05_23	4,36	2,25
11/10/2019 12:47	120	ppm	Final	Auloueilh_05_24	<LOD	300000
11/10/2019 12:51	120	ppm	Final	Auloueilh_10_13	<LOD	300000
11/10/2019 12:54	120	ppm	Final	Auloueilh_10_14	4,58	2,21
11/10/2019 12:57	120	ppm	Final	Auloueilh_10_15	4,06	2,33
11/10/2019 13:00	120	ppm	Final	Auloueilh_10_16	6,46	1,78
11/10/2019 13:05	120	ppm	Final	Auloueilh_10_17	3,78	1,72
11/10/2019 13:08	120	ppm	Final	Auloueilh_10_18	4,96	1,71
11/10/2019 14:11	120	ppm	Final	Auloueilh_10_19	8,33	2,1
11/10/2019 14:13	120	ppm	Final	Auloueilh_10_20	7,95	1,98

11/10/2019 14:16	120	ppm	Final	Auloueilh_10_21	5,82	2,25
11/10/2019 14:19	120	ppm	Final	Auloueilh_10_22	10,72	2,28
11/10/2019 14:21	120	ppm	Final	Auloueilh_10_23	7,3	1,87
11/10/2019 14:24	120	ppm	Final	Auloueilh_10_24	8,69	2,15
11/10/2019 14:27	120	ppm	Final	Auloueilh_15_13	<LOD	300000
11/10/2019 14:30	120	ppm	Final	Auloueilh_15_14	<LOD	3,89
11/10/2019 14:33	120	ppm	Final	Auloueilh_15_15	3,02	1,77
11/10/2019 14:36	120	ppm	Final	Auloueilh_15_16	7,15	1,89
11/10/2019 14:39	120	ppm	Final	Auloueilh_15_17	<LOD	3,67
11/10/2019 14:42	120	ppm	Final	Auloueilh_15_18	<LOD	300000
11/10/2019 14:46	120	ppm	Final	Auloueilh_15_19	9,15	2,33
11/10/2019 14:49	120	ppm	Final	Auloueilh_15_20	4,45	2,44
11/10/2019 14:51	120	ppm	Final	Auloueilh_15_21	5,17	2,34
11/10/2019 14:54	120	ppm	Final	Auloueilh_15_22	<LOD	4,84
11/10/2019 14:57	120	ppm	Final	Auloueilh_15_23	9,98	2,52
11/10/2019 15:00	120	ppm	Final	Auloueilh_15_24	11,74	2,76
11/10/2019 15:03	120	ppm	Final	Auloueilh_20_13	<LOD	300000
11/10/2019 15:11	120	ppm	Final	Auloueilh_20_14	<LOD	300000
11/10/2019 15:14	120	ppm	Final	Auloueilh_20_16	5,24	2,05
11/10/2019 15:22	120	ppm	Final	Auloueilh_20_17	<LOD	4,94
11/10/2019 15:27	120	ppm	Final	Auloueilh_20_18	<LOD	300000

Zr	Zr Error	Sr	Sr Error	U	U Error	Rb	Rb Error	Th	Th Error	Pb	Pb Error
60,26	3,25	589,3	6,64	10,75	4,83	71,49	2,41	5,74	2,62	37,51	4,72
51,71	2,85	322,43	4,75	7,72	4,06	55,22	2,05	<LOD	3,5	41,83	4,63
78,36	3,51	429,59	5,81	10,44	4,86	77,15	2,54	<LOD	3,91	51,44	5,34
73,42	3,51	606,85	6,96	10,77	5,19	83,34	2,67	7,36	2,83	45,52	5,22
58,75	2,96	310	4,74	10,57	4,3	62,08	2,2	3,91	2,41	38,64	4,59
58,02	38,01	352,12	67,87	<LOD	69,76	49,49	26,83	<LOD	61,25	<LOD	85,12
72,73	3,42	326,05	5,3	19,47	5,07	70,28	2,52	<LOD	4,09	53,49	5,63
86,94	3,57	165,24	4,17	10,02	5,7	105,23	3,29	5,88	3,05	34,4	5,34
86,19	3,47	209,56	4,43	<LOD	7,87	102,65	3,1	7,19	2,96	36,08	5,13
84,36	3,74	201,69	4,73	<LOD	8,8	106,01	3,41	5,19	3,1	29,68	5,31
67,36	3,63	186,3	5,1	<LOD	300000	90,68	3,47	<LOD	300000	22,17	6,33
70,65	3,59	184,4	4,97	<LOD	300000	98,4	3,54	<LOD	300000	34,73	6,73
74,33	4,69	181,28	6,26	<LOD	300000	100,19	4,52	<LOD	300000	21,03	8,04
54,32	3,6	262,24	6,09	<LOD	300000	48,04	2,61	<LOD	300000	38,51	6,98
46,72	3,16	180,81	4,83	<LOD	300000	38,92	2,3	<LOD	300000	19,18	5,73
53,85	2,68	211,67	3,89	11,68	3,82	41,93	1,82	<LOD	3,3	30,66	4,16
56,51	3,3	232,96	4,85	17,5	4,85	45,86	2,25	<LOD	3,98	30,46	5,03
76,12	3,54	272,13	5,12	45,47	5,75	61,1	2,49	4,18	2,75	24,22	4,65
67,14	2,99	257,24	4,38	43,62	4,93	56,25	2,11	<LOD	3,57	34,06	4,46
84,18	3,27	286,51	4,7	47,35	5,22	62,56	2,26	4,91	2,55	39,19	4,76
97,57	3,51	326,32	5,07	46,48	5,5	76,35	2,5	5,25	2,65	40,32	4,91
91,92	3,92	355,07	5,88	34,01	5,88	75,88	2,77	<LOD	4,32	42,69	5,61
81,99	3,99	329,95	6	58,36	6,72	75,16	2,91	<LOD	4,29	31,52	5,4
79,84	3,26	373,23	5,54	75,76	6,25	78,87	2,6	6,03	2,75	39,23	4,99
67,57	3,34	304,17	5,14	25,17	4,98	56,62	2,3	<LOD	3,96	38,07	5,04
50,62	3,36	204,25	5,26	<LOD	300000	49,37	2,6	<LOD	300000	19,31	5,95
54,18	5,01	273,72	8,46	<LOD	300000	53,72	3,71	<LOD	300000	18,05	8,4



53,34	3,44	224,31	5,51	<LOD	300000	60,66	2,84	<LOD	300000	23,95	6,16
78,98	3,55	305,81	5,27	32,84	5,3	57,13	2,36	4,12	2,71	31,28	4,87
78,9	3,11	313,41	5	65,61	5,8	70,32	2,43	4,87	2,6	33,06	4,61
70,5	2,99	318,48	4,98	59,14	5,56	65,64	2,32	4,78	2,56	35,34	4,67
68,08	2,83	253,68	4,41	63,7	5,48	63,72	2,26	<LOD	3,66	31,61	4,42
94,47	4,13	363,21	6,18	76,63	7,13	81,53	2,98	<LOD	4,62	47,79	6,06
87,94	3,69	433,83	6,41	84,06	7,2	97,58	3,09	7,15	3,13	45,83	5,71
87,73	4,17	371,42	7,2	<LOD	300000	89,97	3,38	<LOD	300000	36,15	6,74
101,76	4,68	462,92	7,39	94,87	8,29	98,03	3,45	5,47	3,41	42,04	6,27
81,48	3,41	411,71	5,94	86,49	6,6	77,04	2,63	7,39	2,87	36,8	5,02
80,66	3,92	287,55	5,65	77,55	7,1	72,25	2,88	<LOD	4,48	36,91	5,7
74,8	4,52	297,11	7,41	<LOD	300000	74,18	3,59	<LOD	300000	29,11	7,54
77,39	4,34	183,95	5,8	<LOD	300000	75,02	3,64	<LOD	300000	13,11	6,83
101,13	3,59	300,6	4,98	59,83	6,05	91,58	2,78	8,02	2,82	34,03	4,78
78,45	3,48	296,18	5,12	68,77	6,13	68,53	2,52	<LOD	3,95	31,73	4,83
50,19	3,73	199,36	5,76	<LOD	300000	56,74	3,06	<LOD	300000	<LOD	9,17
59,45	4,29	176,59	6,02	<LOD	300000	69,98	3,74	<LOD	300000	16,87	7,46
77,58	3,96	299,53	6,47	<LOD	300000	79,24	3,22	<LOD	300000	24	6,3
74,54	4,19	276,34	6,69	<LOD	300000	74,32	3,39	<LOD	300000	25,32	6,96
71,46	3,97	277,88	6,43	<LOD	300000	79,29	3,34	<LOD	300000	20,09	6,34
64,72	5,34	246,51	8,28	<LOD	300000	62,72	4,13	<LOD	300000	13,11	8,56
66,72	4,11	291,52	6,88	<LOD	300000	70,44	3,3	<LOD	300000	20,5	6,6
58,11	4,13	216,5	6,34	<LOD	300000	66,2	3,46	<LOD	300000	14,4	6,84
49,61	6,42	218,3	9,8	<LOD	300000	68,43	5,4	<LOD	300000	<LOD	300000
47,72	4,28	161,07	6,08	<LOD	300000	57,36	3,61	<LOD	300000	<LOD	300000
74,25	3,74	278,12	5,46	62,85	6,59	68,59	2,77	<LOD	4,44	30,09	5,24
68,45	5,42	233,26	8,3	<LOD	300000	79,63	4,74	<LOD	300000	22,67	9,11
52,95	4,59	188,76	6,75	<LOD	300000	50,58	3,51	<LOD	300000	<LOD	300000

Au	Au Error	Se	Se Error	As	As Error	Hg	Hg Error	Zn	Zn Error	W	W Error
<LOD	4,61	<LOD	3,16	13,56	3,82	<LOD	6,88	134,69	9,71	<LOD	25,26
<LOD	4,05	<LOD	2,96	13,92	3,75	<LOD	6,25	145,02	9,41	<LOD	22,29
<LOD	4,97	<LOD	3,36	13,87	4,26	<LOD	7,1	114,94	9,41	<LOD	25,58
<LOD	5,06	<LOD	3,41	16,06	4,24	<LOD	7,26	114,31	9,56	<LOD	26,37
<LOD	4,58	<LOD	3,06	20,63	3,91	<LOD	6,55	83,88	8,09	<LOD	23,34
<LOD	49,08	<LOD	52,26	<LOD	76,76	<LOD	63,08	<LOD	161,7	<LOD	165,05
<LOD	5,05	<LOD	3,37	22,86	4,71	<LOD	7,64	118,83	10,01	<LOD	27,72
<LOD	5,65	<LOD	3,94	23,46	4,65	<LOD	8,7	91,19	10,19	<LOD	31,2
<LOD	5,38	<LOD	3,66	13,92	4,18	<LOD	8,07	88,7	9,6	<LOD	30,19
<LOD	5,89	<LOD	4,29	11,67	4,3	<LOD	9,26	82,05	10,28	<LOD	34,7
<LOD	300000	<LOD	300000	18,11	6,13	<LOD	300000	98,2	15,61	<LOD	300000
<LOD	300000	<LOD	300000	15,81	6,35	<LOD	300000	75,62	14,3	<LOD	300000
<LOD	300000	<LOD	300000	22,85	7,98	<LOD	300000	112,4	21,44	<LOD	300000
<LOD	300000	<LOD	300000	57,74	7,86	<LOD	300000	101,94	15,94	<LOD	300000
<LOD	300000	<LOD	300000	49,27	6,72	<LOD	300000	79,51	14,23	<LOD	300000
<LOD	4,28	<LOD	2,89	39,14	4,08	<LOD	6,13	91,66	8,12	<LOD	23,05
<LOD	5,11	<LOD	3,73	36,28	4,83	<LOD	8,4	77,49	9,45	<LOD	31,58
<LOD	5,49	<LOD	3,7	100,41	6,09	<LOD	7,76	84,05	9,48	<LOD	28,68
<LOD	4,77	<LOD	3,11	91,49	5,35	<LOD	6,62	94,32	8,51	<LOD	23,3
<LOD	4,95	<LOD	3,15	95,92	5,62	<LOD	6,92	75,11	8,25	<LOD	25,27

<LOD	5,12	<LOD	3,35	126,1	6,25	<LOD	7,12	94,61	8,95	<LOD	25,75
<LOD	5,66	<LOD	3,95	121,25	6,94	<LOD	8,2	99,37	10,21	<LOD	30,41
<LOD	5,79	<LOD	4,12	132,77	7,35	<LOD	9,17	95,01	10,72	<LOD	34,1
<LOD	5,32	<LOD	3,37	143,48	6,68	<LOD	7,29	98,02	9,24	<LOD	26,34
<LOD	5,17	<LOD	3,52	83,18	5,72	<LOD	7,48	72,3	8,62	<LOD	27,28
<LOD	300000	<LOD	300000	92,25	8,12	<LOD	300000	84,89	14,97	<LOD	300000
<LOD	300000	<LOD	300000	97,41	11,5	<LOD	300000	73,28	22,24	<LOD	300000
<LOD	300000	<LOD	300000	73,4	7,7	<LOD	300000	98,99	15,21	<LOD	300000
<LOD	5,58	<LOD	3,67	73,75	5,52	<LOD	7,81	92,97	9,55	<LOD	28,64
<LOD	5,19	<LOD	3,19	96,42	5,64	<LOD	7,13	90,82	8,85	<LOD	25,35
<LOD	4,88	<LOD	3,26	102,93	5,73	<LOD	6,93	84,95	8,55	<LOD	24,48
<LOD	4,72	<LOD	3,06	101,26	5,55	<LOD	6,64	97,77	8,73	<LOD	23,64
<LOD	6,44	<LOD	4,06	154,37	7,92	<LOD	8,89	104,62	10,97	<LOD	32,79
<LOD	6,09	<LOD	3,83	171,16	7,79	<LOD	8,45	147,39	14,05	<LOD	30,18
<LOD	300000	<LOD	300000	199,38	10,79	<LOD	300000	144,3	16,48	<LOD	300000
<LOD	6,86	<LOD	4,71	174,96	8,73	<LOD	10,15	122,8	12,38	<LOD	37,59
<LOD	5,46	<LOD	3,59	125,37	6,49	<LOD	7,65	83,75	9,12	<LOD	27,86
<LOD	6,09	<LOD	4,24	135,93	7,56	<LOD	9,08	81,08	10,33	<LOD	33,83
<LOD	300000	<LOD	300000	114,45	10,34	<LOD	300000	98	18,2	<LOD	300000
<LOD	300000	<LOD	300000	70,93	8,65	<LOD	300000	90,51	18,09	<LOD	300000
<LOD	5,39	<LOD	3,5	86,94	5,57	<LOD	7,12	107,63	9,49	<LOD	25,7
<LOD	5,32	<LOD	3,6	88,53	5,76	<LOD	7,76	96,29	9,5	<LOD	28,07
<LOD	300000	<LOD	300000	84,55	8,48	<LOD	300000	79,7	16,71	<LOD	300000
<LOD	300000	<LOD	300000	97,55	10,24	<LOD	300000	77,01	19,03	<LOD	300000
<LOD	300000	<LOD	300000	219,31	11,11	<LOD	300000	115,94	15,84	<LOD	300000
<LOD	300000	<LOD	300000	149,15	10,5	<LOD	300000	94,99	16,84	<LOD	300000
<LOD	300000	<LOD	300000	156,88	10,08	<LOD	300000	105,44	16,11	<LOD	300000
<LOD	300000	<LOD	300000	149,65	13,6	<LOD	300000	79,47	23,62	<LOD	300000
<LOD	300000	<LOD	300000	137,22	10,04	<LOD	300000	80,85	15,95	<LOD	300000
<LOD	300000	<LOD	300000	135,25	10,67	<LOD	300000	66,37	17,43	<LOD	300000
<LOD	300000	<LOD	300000	73,46	13,84	<LOD	300000	82,42	33,07	<LOD	300000
<LOD	300000	<LOD	300000	74,79	9,59	<LOD	300000	82,33	20,84	<LOD	300000
<LOD	6,25	<LOD	4,07	84,88	6,23	<LOD	8,96	93,03	10,49	<LOD	33,79
<LOD	300000	<LOD	300000	129,4	13,42	<LOD	300000	103,01	22,52	<LOD	300000
<LOD	300000	<LOD	300000	95,1	10,74	<LOD	300000	69,99	21,24	<LOD	300000

Cu	Cu Error	Ni	Ni Error	Co	Co Error	Fe	Fe Error	Mn	Mn Error	Sb	Sb Error
25,23	10,34	<LOD	26,9	<LOD	101,2	26733,56	253,04	855,6	56,04	15,5	9,12
35,21	9,85	<LOD	23,61	<LOD	86,91	22010,12	221,72	733,68	50,43	<LOD	12,3
29,34	10,85	<LOD	27,1	<LOD	101,75	26165,23	255,64	1215,92	63,83	<LOD	0,88
26,24	10,89	<LOD	27,82	<LOD	106,84	27612,25	265,9	940,3	59,58	<LOD	0,6
19,49	9,7	<LOD	24,86	<LOD	94,52	25136,07	240,13	900,24	54,83	<LOD	0,49
<LOD	198,15	<LOD	434,1	<LOD	1368,2	28665,06	3300,7	1474,97	862,42	<LOD	194,11
46,33	12,11	<LOD	29,55	<LOD	113,49	29738,5	284,04	1359,06	69,59	<LOD	14,71
36,63	13,3	<LOD	33,66	<LOD	138,05	36017	341,09	1251,26	73,97	<LOD	0,69
<LOD	17,63	<LOD	31,27	<LOD	126,05	33695,39	312,9	1555,91	75,81	<LOD	0,6
<LOD	19,66	<LOD	35,92	<LOD	134,41	31865,02	332,67	1014,25	70,87	22,7	12,66
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	28808,14	344,12	1521,18	112,36	<LOD	21,03
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	30368,18	346,11	1205,62	102,94	<LOD	0,85
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	33818,27	466,62	1027,59	125,14	<LOD	1,26

Programme Télédétection Archéologique en Haute et Moyenne Montagne

Autorisation n° 1411105

2019

<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	23318,23	311,09	978,57	101,3	<LOD	0,81
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	18004,33	261,9	492,61	85,89	20,66	13,37
<LOD	13,75	<LOD	23,66	<LOD	87,98	22294,09	222,99	1073,6	56,75	<LOD	0,56
<LOD	17,95	<LOD	32,18	<LOD	103,52	21533,62	260,86	615,68	57,38	<LOD	0,65
37,99	12,77	<LOD	31,83	<LOD	120,32	29790,8	299,88	489,31	54,07	<LOD	0,66
14,52	9,66	<LOD	26,06	<LOD	107,54	30783,32	268,6	896,09	55,81	<LOD	0,5
16,14	10,03	<LOD	26,72	<LOD	114,1	33195,59	290,6	588,93	50,71	<LOD	52,34
18,31	10,34	<LOD	28,04	<LOD	119,8	35445,22	297,8	605,85	52,35	<LOD	0,55
<LOD	18,71	<LOD	32,57	<LOD	132,56	34402,84	325,26	789,72	62,83	<LOD	0,67
<LOD	20,16	<LOD	35,72	<LOD	134,97	31832,48	330,38	1200,05	75,64	<LOD	0,74
29,65	11,15	<LOD	28,9	<LOD	119,1	33274	293,85	1323,42	67,62	<LOD	14,15
<LOD	16,61	<LOD	29,08	<LOD	107,61	26820,97	270,81	775,22	57,81	<LOD	15,05
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	18919,06	274,47	792,73	95,56	<LOD	1,33
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	25636,47	441,85	775,54	129,98	<LOD	1,29
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	28431,57	339,37	995,05	98,57	<LOD	0,8
25,87	12,18	<LOD	31,1	<LOD	118,08	30656,1	297,55	841,06	60,95	<LOD	0,67
33,36	10,85	<LOD	27,18	<LOD	115	32652,64	287,05	789,17	56,22	<LOD	13,77
22,74	10,43	<LOD	27,55	<LOD	115,94	33771,63	287,81	609	52,09	<LOD	0,53
16,83	9,8	<LOD	26,16	<LOD	110,94	32088,65	278,03	1082,19	60,42	<LOD	0,51
27,61	13,58	<LOD	35,04	<LOD	154,07	41398,91	377,58	815,06	66,91	<LOD	0,79
26,19	12,42	<LOD	33,59	<LOD	153,25	44563,27	369,14	1520,16	77,85	<LOD	0,63
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	37420,68	383,92	1943,77	115,63	<LOD	0,89
32,89	15,42	<LOD	39,14	<LOD	161,88	40543,61	391,54	1570,61	88,22	<LOD	0,86
17,76	11	<LOD	29,52	<LOD	126,73	35530,57	311,17	595,36	55	<LOD	0,59
<LOD	20,33	<LOD	35,9	<LOD	137,96	33148,06	339,9	897,03	69,22	<LOD	0,76
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	28633,89	389,51	845,26	110	<LOD	0,96
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	30346,24	404,99	1145,02	120,1	<LOD	1,04
28,65	10,87	<LOD	29,03	<LOD	126,17	36778,31	309,1	1205,32	65,81	<LOD	0,58
26,64	11,75	<LOD	29,95	<LOD	114,93	29578,17	287,12	953,47	62,45	<LOD	0,89
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	22683,53	336,37	821,17	106,25	<LOD	0,99
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	22682,19	370,65	668,71	114,18	<LOD	1,24
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	35768,31	379,94	781,23	92,24	<LOD	19,68
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	31439,9	383,41	985,36	106,35	<LOD	18,98
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	31640,57	369,37	1394,8	111,27	<LOD	0,86
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	26572,21	465,36	920,05	142,11	<LOD	1,46
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	27660,69	358,85	544,18	95,5	<LOD	0,89
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	22458,21	352,92	725,6	109,83	<LOD	1,1
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	19292,39	503,31	699,72	171,77	<LOD	1,84
<LOD	300000	<LOD	300000	235,1	128,3	34337,68	484,92	989,6	127,76	<LOD	1,3
22,76	13,66	<LOD	35,12	<LOD	125,36	29550,24	314,63	1081,25	71,48	<LOD	0,74
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	31464,75	523,82	791,55	135,85	<LOD	0,86
<LOD	300000	<LOD	300000	<LOD	300000	20148,96	380,12	589,8	121,77	<LOD	1,33

Sn	Sn Error	Cd	Cd Error	Pd	Pd Error	Ag	Ag Error	Bal	Bal Error	Nb	Nb Error
<LOD	0,98	93832,05	49,9	1,31	0,47	<LOD	0,34	939535,31	326,75	10,82	1,95
11,26	7,36	94256,63	44,2	0,77	0,44	5,59	2,52	946335,94	277,24	6,38	1,81
<LOD	12,18	94396,23	45,85	1,32	0,49	<LOD	4,05	948605,13	285,47	10,91	2,01
<LOD	13,02	93920,55	51,12	1,16	0,49	<LOD	0,5	934784,25	367,4	9,6	2,01
<LOD	11,41	94628,77	41,29	1,1	0,46	<LOD	3,85	948391,94	273,07	9,08	1,88
<LOD	193,78	<LOD	172,13	<LOD	114,74	<LOD	106,15	969102,5	2029,14	<LOD	30,92

Programme Télédétection Archéologique en Haute et Moyenne Montagne

Autorisation n° 1411105

2019

<LOD	13,13	93887,24	53,29	1,23	0,5	<LOD	0,52	940720	338,91	10,14	2,08
<LOD	15,52	93338,64	64,14	1,36	0,55	<LOD	5,23	926084,13	459,99	11,23	2,26
<LOD	0,83	93511,4	58,95	1,58	0,53	<LOD	4,65	936292,31	374,08	13,03	2,18
<LOD	1,44	93815,45	61,8	1,04	0,56	<LOD	0,42	938640,19	402,45	8,58	2,3
<LOD	0,88	94344,54	61,74	0,94	0,61	<LOD	0,48	938784	438,97	7,8	2,53
<LOD	1,08	94187,81	62,21	1,03	0,6	<LOD	0,66	939082,94	428,8	8,53	2,48
<LOD	1,85	93945,7	80,61	<LOD	1,18	<LOD	0,68	943408	497,74	9,65	3,24
<LOD	1,11	94916,52	54,1	0,99	0,62	<LOD	0,7	952809,44	354,57	8,15	2,54
<LOD	17,72	95841,9	38,99	1,18	0,6	<LOD	0,45	961551,5	275,77	9,75	2,47
14,78	7,42	94995,09	37,42	1	0,45	3,8	2,47	953186,13	248,23	8,25	1,85
<LOD	0,87	95246,52	42,69	1,11	0,54	5,4	3,27	947878,19	339,15	9,14	2,23
<LOD	0,82	94193,09	53,13	1,9	0,55	<LOD	0,55	944390,69	340,38	15,69	2,29
11,99	7,72	93962,83	47,31	1,34	0,47	<LOD	3,83	939479,81	313,4	11,03	1,93
<LOD	10,22	93509,66	52,39	1,72	0,49	<LOD	0,49	949336,63	265,92	14,19	2,01
<LOD	0,87	93246,58	55,27	1,76	0,49	<LOD	0,5	932200,56	353,61	14,53	2,04
<LOD	0,93	93419,08	62,37	1,49	0,54	<LOD	0,68	936916	378,09	12,28	2,25
<LOD	1,15	93698,72	63,66	1,59	0,58	<LOD	0,59	935615,88	410,52	13,1	2,4
<LOD	12,69	93448,81	55,44	1,89	0,51	0,62	0,35	916881,69	448,86	15,6	2,11
15,31	9,02	94363,59	48,76	1,15	0,5	<LOD	0,6	942031,5	340,86	9,49	2,08
<LOD	1,34	95487,15	45,16	1,42	0,62	<LOD	0,77	943101,25	419,22	11,69	2,57
<LOD	1,56	94221,1	84,72	1,49	0,88	<LOD	8,78	884961,38	1092,87	12,27	3,61
<LOD	1,04	94352,3	60,4	1,26	0,61	<LOD	0,64	930104,69	503,22	10,43	2,53
<LOD	14,97	93676,41	57,79	1,34	0,52	<LOD	0,68	875454,63	716,17	11,07	2,14
<LOD	12,28	93566,93	53,16	1,9	0,5	0,62	0,34	909902,19	476,16	15,65	2,07
<LOD	1,02	93630,58	51,78	1,8	0,49	<LOD	0,5	935352,38	348,73	14,88	2,04
<LOD	0,48	93720,57	49,81	1,56	0,48	<LOD	0,49	937114,44	324,65	12,88	1,97
<LOD	15,04	92577,65	74,51	2,23	0,59	0,8	0,4	921408,94	490,55	18,4	2,44
<LOD	14,24	91681,9	94,61	2,26	0,56	0,77	0,38	905923,25	530,36	18,6	2,31
<LOD	1,39	92484,16	80,57	2,12	0,64	<LOD	0,65	907065,75	612,1	17,47	2,64
<LOD	1,17	92140,13	82,48	2,5	0,64	1,03	0,44	902087,19	630,18	20,66	2,64
<LOD	0,79	93155,77	59,27	1,98	0,52	0,7	0,36	927224,75	399,43	16,31	2,16
<LOD	0,99	93464,91	67,09	1,81	0,59	0,84	0,41	895855,19	653,82	14,96	2,45
<LOD	1,79	94109,02	71,55	1,95	0,74	<LOD	0,99	924633,5	603,83	16,09	3,07
<LOD	1,11	94008,73	73,46	1,62	0,74	<LOD	0,75	925636	599,15	13,37	3,04
<LOD	0,6	92967,13	58,69	2,08	0,51	<LOD	0,51	911463,88	482	17,13	2,12
<LOD	0,82	93889,18	54,24	1,65	0,52	0,69	0,36	911572,94	513,55	13,62	2,16
<LOD	20,63	94963,83	58,87	1,37	0,69	<LOD	0,71	931150,31	564,69	11,33	2,86
<LOD	1,26	95145,73	62,48	1,95	0,8	<LOD	0,74	929507,38	634,23	16,06	3,3
<LOD	1,11	93225,46	72,57	2,56	0,67	0,88	0,45	926514,88	500,2	21,16	2,75
<LOD	1,09	94357,84	65,4	1,5	0,68	<LOD	0,7	940606,13	447,95	12,42	2,8
<LOD	18,63	93726,79	72,46	1,87	0,66	<LOD	0,67	932216,81	485,94	15,45	2,74
<LOD	1,45	94560,97	80,97	1,93	0,93	<LOD	0,93	930877,06	700,59	15,89	3,85
<LOD	0,93	94439,28	65,11	2,09	0,7	0,96	0,49	943738,81	429,27	17,28	2,91
<LOD	1,09	95184,81	58,38	2,2	0,77	1,13	0,53	943927,63	489,35	18,12	3,17
<LOD	2,9	95468,73	82,46	1,81	1,19	<LOD	1,64	891608,94	1492,06	14,9	4,92
<LOD	1,37	93947,7	82,94	1,48	0,82	<LOD	0,71	918523,44	744,3	12,24	3,4
<LOD	1,39	94060,63	58,55	1,62	0,58	<LOD	0,59	934684,25	421,68	13,39	2,38
<LOD	0,92	93862,09	97,04	1,5	0,92	<LOD	0,95	935547,56	668,88	12,39	3,79
<LOD	1,25	95505,6	61,29	<LOD	1,25	<LOD	0,99	941619,5	568,47	9,66	3,44

Bi	Bi Error	Re	Re Error	Ta	Ta Error	Hf	Hf Error	Cr	Cr Error	V	V Error
<LOD	10,51	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	16,52	79	22,86
<LOD	5,75	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	16,49	59,37	20,05
<LOD	6,69	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	54,73	23,84	40,59	13,52
<LOD	11,48	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	16,03	46,61	15,71
<LOD	7,43	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	16,22	69,3	21,38
<LOD	118,39	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	858,69	<LOD	7174,04
<LOD	6,96	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	53,78	25,39	47,61	14,01
<LOD	10,15	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	33,11	9,1	55,22	13,88
<LOD	8,8	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	52,55	24,87	57,66	13,65
<LOD	8,27	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	40,59	7,5	46,24	10,7
<LOD	8,99	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	34,1	5,45	31,75	7,54
<LOD	8,88	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	23,1	5,54	26,76	7,85
<LOD	11,93	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	32,1	4,16	24,07	5,6
<LOD	7,72	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	37,74	5,21	24,87	6,57
<LOD	7,19	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	17,72	4,93	20,62	6,05
<LOD	5,45	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	15,65	57,21	19,9
<LOD	6,72	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	62,18	20,8	32,54	8,23
<LOD	6,9	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	82,44	21,84	46,78	11,05
<LOD	5,82	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	17,94	69,82	18,38
<LOD	7,87	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	77,4	24,3	71,32	18,94
<LOD	6,99	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	102,78	25,45	80,91	20,09
<LOD	7,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	84,65	23,28	52,32	12,21
<LOD	7,46	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	76,91	22,85	45,42	10,01
<LOD	9,43	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	61,01	23,83	64,57	15,92
<LOD	6,6	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	64,5	22,41	53,76	12,36
<LOD	7,67	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	27,87	5,24	25,44	6,67
<LOD	10,96	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	45	4,07	22,56	5,19
<LOD	8,07	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	17,99	5,31	26,21	7,26
<LOD	6,82	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	78,52	24,52	47,25	11,94
<LOD	6,44	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	16,94	83,36	17,88
<LOD	7,81	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	84,8	23,22	77,53	17,37
<LOD	6,08	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	84,3	23,17	85,75	20,2
<LOD	7,99	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	114,13	26,29	64,37	13,52
<LOD	11,25	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	103,68	27,54	83,07	18,29
<LOD	8,65	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	31,32	6,84	43,38	10,52
<LOD	10,14	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	36,63	7,63	62,85	12,1
<LOD	10,04	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	75,73	24,12	84,37	17,99
<LOD	7,71	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	89,24	24,42	48,27	10,59
<LOD	9,42	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	37,4	4,9	25,93	6,62
<LOD	10,14	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	34,83	4,82	25,1	6,58
<LOD	12,13	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	114,58	24,63	80,08	20,46
<LOD	6,79	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	76,52	25,51	56,05	13,77
<LOD	8,6	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	34,72	4,73	26,7	6,26
<LOD	10,43	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	41,19	4,3	24,22	5,38
<LOD	8,47	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	29,38	6,24	48	9,45
<LOD	12,23	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	36,75	4,39	29,49	5,85
<LOD	8,75	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	37,15	5,6	33,79	7,99
<LOD	12,35	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	50,66	4,09	18,7	4,84
<LOD	8,99	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	28,73	4,99	28,66	6,92

<LOD	9,39	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	38,07	4,54	24,75	5,8
<LOD	15,87	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	52,89	3,49	14,98	3,72
<LOD	10,19	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	42,29	4,39	21,34	5,38
<LOD	7,34	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	25,6	6,96	50,61	10,39
<LOD	12,36	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	34,56	6,35	43,44	9,43
<LOD	10,67	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	1,5	45,19	3,96	20,84	4,56

Ti	Ti Error	Sc	Sc Error	Ca	Ca Error	K	K Error	S	S Error
1858,4	55,49	63,11	19,34	10418,04	313,57	6086,59	157,78	1177,08	86,33
1728,97	53,81	75,47	22,74	13151,71	335,53	5151,98	149,61	985,32	78,16
1345,28	45	28,26	13,51	5424,24	101,73	4568,83	128,24	1182,54	89,35
1732,57	53,07	31,42	15,64	6774,72	118,79	6295,48	155,04	1357,37	89,09
1739,83	53,22	37,41	13,97	4942,54	103,46	5785,04	149,68	1149,31	77,4
<LOD	8916,29								
1549,07	47,21	36,57	12,55	4550,09	92,8	5258,23	132,91	1088,37	93,12
1475,92	46,29	<LOD	14,98	2925,52	76,5	5568,05	133,8	1049,73	103,32
1572,08	45,8	15,13	9,74	2837,94	74,23	6148,95	136,6	909,56	92,76
1250,61	35,99	12,81	7,47	1949,08	56,76	4962,63	111,18	1025,59	109,79
716,21	24,57	8,03	5,13	1258,22	38,63	3018,4	74,23	1033,11	145,55
874,36	26,55	9,49	5,42	1313,16	40,87	3408,87	80,88	758,29	128,06
458,9	18,12	<LOD	5,49	713,48	27,71	2071,25	57,19	505,14	108,29
574,51	21,32	<LOD	8,5	1852,34	43,72	2418,12	66,13	813,72	148,01
478,77	19,25	<LOD	7,61	1515,01	38,61	1935,13	58,65	836,92	138,62
1628,61	49,05	37,94	13,46	4756,1	99,22	4849,02	136,23	850,64	78,57
885,66	27,2	17,86	6,73	2128,73	49,74	3157,37	79,56	820,65	106,91
1296,9	37,14	19,06	9,04	3014,43	68,02	4485,67	108,14	667,44	91,77
2296,03	63,01	25,68	14,62	4584,95	110,52	7447,54	181,73	629,62	69,37
2543,94	65,58	<LOD	22,37	5087,83	114,52	8682,59	191,42	<LOD	397,27
2526,83	68,85	24,95	15,63	5067,07	119,37	8836,79	201,17	<LOD	407,41
1407,07	41,15	23,2	10,16	3435,75	76,83	5693,16	126,85	411,11	91,48
1222,67	33,76	15,34	7,92	2697,83	60,2	4629,93	100,88	417,16	105,34
1989,08	54,34	<LOD	19,34	4430,43	99,47	7363,26	164,6	762,35	79,44
1464,53	41,44	<LOD	14,68	3337,57	75,79	5486,22	125,34	610,14	86,92
526,58	21,22	12,21	5,91	1910,71	44,24	2234,85	64,3	734,95	142,27
442,74	16,92	9,12	4,37	1234,88	33,16	2171,49	56,19	2247,78	288,35
751,91	24,2	<LOD	9,14	1984,35	46,92	2895,05	74,12	991,72	133,01
1496,61	40,82	<LOD	15,49	3882,23	79,9	5744,04	126,09	1850,44	112,79
2268,46	60,8	28,82	14,51	4798,26	109,87	7723,8	179,56	1180,59	75,93
2151,39	58,83	26,51	13,36	4269,82	100,67	7207,35	167,81	<LOD	351,59
2511,07	68,7	30,64	15,69	5015,19	118,16	8213,41	194,54	681,12	69,49
1655,38	45,67	<LOD	15,09	3164,6	77,35	6271,37	137,06	567,08	94,53
2576,28	63,49	29,17	14,81	5347,75	113,49	12087,12	291,43	661,22	83,24
1368,78	36,04	21,86	9,18	3582,37	69,73	10748,19	276,87	903,65	126,55
1611,76	41,2	17,93	9,77	3518,75	75,1	11506,4	292,8	678,47	111,98
2387,59	61,58	21,98	13,78	4547,63	105,89	8757,81	185,46	573,04	76,33
1372,84	36,11	12,47	8,05	2582,9	61,97	5277,93	111,26	809,75	106,89
633,76	21,92	12,4	5,46	1614,6	40,89	2687,68	67,86	512,31	122,74
642,77	21,88	8,11	5,11	1427,33	38,78	2545,34	66,19	530,56	123,29
2743,21	70,86	38,65	16,12	5251,27	120,97	9283,92	204,78	837,05	76,23
1612,78	46,51	18,6	10,78	3387,64	82,28	6355,24	143,15	800,24	89,01

569,93	20,37	9,56	4,81	1296,32	36,06	2354,63	62,29	499,66	117,21
401,31	17,06	6,12	3,99	932,21	30,21	1841,22	53,93	510,08	107,5
1112,41	31,72	16,15	7,45	2298,03	56,29	4233,3	96,93	443,21	115,4
455,16	18,54	11,59	4,66	1198,3	34,5	2131,42	58,87	439,27	107,7
853,5	26,64	17,16	6,64	2158,86	49,67	3531,83	81,68	495,11	134,86
304,35	15,31	7,61	3,82	857,58	28,55	1646,93	50,25	639,37	108,25
685,07	22,83	<LOD	7,57	1339,15	38,44	2863,11	70,63	488,54	125,35
452,88	18,54	6,47	4,26	1019,8	32,13	1931,1	56,5	527,78	114,17
1087,75	85,42	<LOD	4,29	564,43	21,66	1080,7	38,21	605,7	92,27
369,76	17,06	6,58	4,17	984,02	31,13	1574,45	51,11	472,96	108,34
1189,53	34,53	15,73	7,99	2516,26	60,2	4172,96	99,86	627,99	108,24
1086,94	31,59	17,09	7,02	2026,39	52,32	3935,76	92,31	603,25	124,33
267,21	13,95	6,04	3,52	777,15	26,42	1436,25	46,05	519,15	98,97

Ba	Ba Error	Cs	Cs Error	Te	Te Error	Al	Al Error	P	P Error
155,76	31,72	<LOD	0,66	<LOD	2,98	895,71	340,59	1860,76	125,49
60,07	28,08	<LOD	0,48	<LOD	1,94	584,43	303,57	1807,45	116,33
98,63	31,43	<LOD	0,53	<LOD	2,1	598,01	331,84	1687,19	124,6
234,01	34,52	<LOD	0,56	<LOD	2,2	631,75	340,05	1950,84	127,46
<LOD	5,89	<LOD	0,49	<LOD	1,96	726,31	291,99	1819,16	112,35
171,36	34,51	<LOD	0,57	<LOD	2,92	682,12	360,19	1868,56	134,09
259,23	41,4	<LOD	0,67	<LOD	3,93	986,39	430,7	2487,84	157
214,39	36,71	<LOD	0,82	<LOD	2,66	775,1	372,18	1930,21	136,71
218,62	44,29	<LOD	1,13	<LOD	2,43	707,04	432,17	2607,71	164,4
226,42	49,59	<LOD	1,17	<LOD	2,76	<LOD	1279,37	2951,25	214,38
196,01	46,52	<LOD	0,98	<LOD	2,64	<LOD	756,23	1706,23	178,8
259,52	64,57	<LOD	1,49	<LOD	5,02	<LOD	1256,77	2437,01	295,33
<LOD	5,91	<LOD	1,2	<LOD	2,66	<LOD	804,57	1971,67	205,98
<LOD	6,44	<LOD	0,77	<LOD	4,09	<LOD	1001,11	2056,62	196,24
<LOD	6,21	<LOD	0,48	<LOD	1,91	696,66	304,73	1656,13	115,94
<LOD	54,23	<LOD	0,89	<LOD	2,43	<LOD	617,4	1712,92	152,27
93,06	37,16	<LOD	0,69	<LOD	2,38	<LOD	756,27	1657,25	134,34
66,4	29,53	<LOD	0,5	<LOD	1,95	1518,71	312,75	1546,26	106,87
<LOD	268,68	<LOD	18,5	<LOD	40,14				
134,07	32,47	<LOD	0,54	<LOD	1,86	1104,39	323,45	1579,51	113,23
81,32	37,89	<LOD	0,81	<LOD	2,78	790,22	384,27	1150,9	131,24
114,21	40,12	<LOD	0,77	<LOD	2,23	921,75	439,35	1286,67	151,8
112,35	32,85	<LOD	0,55	<LOD	1,8	3922,61	423,87	1637,73	125,2
95,09	34,51	<LOD	0,58	<LOD	2,29	577,22	348,34	1283,53	124,93
<LOD	9,78	<LOD	1	<LOD	2,58	2043,47	593,03	2067,56	204,3
<LOD	97,02	<LOD	1,61	<LOD	3,81	9433,64	1344,3	3843,18	410,63
96,15	45,06	<LOD	0,69	<LOD	2,6	3574,7	591,95	1464,47	184,46
117,4	38,75	<LOD	0,65	<LOD	2,19	11445,19	701,43	2673,34	180,24
128,6	32,07	<LOD	0,53	<LOD	1,95	5582,16	424,1	1807,09	118,27
76,05	31,49	<LOD	0,78	<LOD	3,11	867,87	318,12	1533,18	113,19
69,51	29,75	<LOD	0,78	<LOD	1,64	861,41	294,94	1587,98	107,53
111,08	38,73	<LOD	0,65	<LOD	2,19	1976,79	439,23	1723,13	142,41
193,06	37,68	<LOD	0,61	<LOD	2,76	2314,86	415,88	1883,46	132,49
207,3	49,26	<LOD	1,3	<LOD	4,86	3597,81	613,62	2386,92	192,83

204,83	48,66	<LOD	0,81	<LOD	2,7	3417,77	562,83	1991,11	170,74
180,7	35,31	<LOD	0,67	<LOD	2,52	1590,71	354,74	1633,21	119,7
<LOD	64,05	<LOD	0,78	<LOD	3,63	7728,82	623,6	1762,33	166,81
206,74	55,76	<LOD	1,33	<LOD	4,44	3392,44	766,9	2824,08	257,48
285,57	60,86	<LOD	1,32	<LOD	3,36	3312,15	768,4	2569,29	254,42
312,69	34,67	<LOD	0,82	<LOD	2,19	3718,99	414,7	1957,59	123,76
121,59	35,18	<LOD	0,63	<LOD	2,33	4620,47	480,71	2031,22	142,18
129,49	52,72	<LOD	0,89	<LOD	4,17	4091,8	800,87	3655,57	275,24
107,09	61,69	<LOD	1,23	<LOD	3,51	3436,25	918,9	3345,81	310,88
165,05	45,83	<LOD	1,12	<LOD	2,58	1599,74	500,24	1306,4	164,59
149,34	44,25	<LOD	1,13	<LOD	2,43	1491,98	593,23	2618,36	213,7
304,78	50,09	<LOD	0,81	<LOD	2,8	1913,82	588,42	2444,07	203,86
221,23	76,06	<LOD	1,15	<LOD	4,32	3955,46	1181,3	3965,7	402,69
104,49	50,42	<LOD	0,77	<LOD	3,23	1742,15	626,58	1588,66	212,97
121,04	57,77	<LOD	0,89	<LOD	3,43	1665,61	762,05	3810,23	286,69
165,1	93,4	<LOD	1,81	<LOD	5,67	5504,53	2221,1	9735,57	749,49
184,1	65,5	<LOD	1,27	<LOD	4,95	2134,68	988,53	4452,25	348,68
138,09	42,8	<LOD	0,84	<LOD	3,47	817,37	449,55	2243,13	164,16
189,71	45,58	<LOD	1,06	<LOD	4,57	1042,23	515,95	2373,29	188,24
148,17	66,81	<LOD	1	<LOD	3,89	2103,44	1077,94	5208,61	409,95

Si	Si Error	Cl	Cl Error	Mg	Mg Error
9085,71	304,48	56,79	32,09	<LOD	2723,75
7144,55	264,2	74,12	29,53	<LOD	2600,56
6198,55	264	72,64	33,67	<LOD	2863,62
9690,21	309,21	83,99	33,02	5023,3	2303,46
8467,57	268,5	154,07	29,52	<LOD	2528,14
8764,21	310,67	<LOD	53,52	<LOD	3262,58
10966,72	365,54	75,91	40,66	5963,12	2883,88
9412,13	321,02	<LOD	54,46	<LOD	3157,71
9366,15	349,26	97,6	43,91	<LOD	6753,38
10088,82	434,4	133,83	59,39	<LOD	5682,44
7580,17	367,26	<LOD	75,36	6511,89	3455,58
7245,66	523,92	<LOD	129,74	<LOD	6820,67
7777,18	403,91	256,07	62,05	<LOD	6540,85
8496,61	401,69	87,9	56,5	<LOD	6675,68
7942,08	275,16	95,64	30,88	<LOD	2581,17
9480,16	349,63	<LOD	83,68	6541,89	2823,96
9505,24	321,72	59,84	37,26	<LOD	3067,21
10696,6	293,17	72,37	27,96	<LOD	2768,82
11047,56	310,21	74,02	29,74	<LOD	2791,18
9159,07	327,57	<LOD	54,59	<LOD	4090,47
13033,62	408,81	<LOD	63,36	<LOD	3721,09
25522,18	462,91	<LOD	57,62	<LOD	4273,56
9384,28	316,14	<LOD	66,31	4134,33	2336,87
13912,91	488,45	149,49	59,07	7432,98	3742,79
55988,16	1291,84	<LOD	171,32	<LOD	9970,32
21767,36	555,12	<LOD	104,81	<LOD	4319,25



59527,82	789,5	110,66	41,19	<LOD	3985,68
31355,68	473,99	104,12	28,57	<LOD	3401,26
9816,02	295,3	47,32	29,99	<LOD	3002,23
11154,67	300,17	83,84	27,86	<LOD	3041,21
14191,96	390,74	<LOD	71,23	<LOD	3303,55
20111,53	428,49	<LOD	48,31	<LOD	3161,75
24897,89	585,57	<LOD	76,84	<LOD	6167,14
23135,38	529,58	<LOD	99,36	<LOD	4861,47
14724,65	360,11	<LOD	72,24	<LOD	2515,78
42758,25	680,24	<LOD	61,35	<LOD	3925,55
23967,59	685,09	<LOD	105,18	<LOD	6132,94
22408,7	668,9	<LOD	105,52	<LOD	9540,54
21599,48	423,51	71,08	29,95	4177,05	2200,72
27767,29	504,46	104,94	36,02	6322,6	2582,37
24332,7	704,23	125,5	75,2	<LOD	6055,42
20086,42	721,56	<LOD	214,71	9140,52	5626,77
16588,8	463,84	<LOD	69,36	<LOD	4402,1
12772,89	474,07	<LOD	113,07	<LOD	5685,66
14501,68	489,71	<LOD	109,71	<LOD	6203,64
20661,05	866,37	<LOD	172,87	<LOD	16356,13
11550,36	486,56	<LOD	91,94	<LOD	5518,46
15979,37	615,7	183,06	80,17	<LOD	6548,28
30240,91	1437,58	673,58	212,82	30071,11	13812,42
19879,61	757,16	<LOD	145,41	<LOD	9538,46
10441,65	372,52	117,96	45,06	6025,52	3027,04
13258,63	457,75	93,92	51,89	<LOD	4533,14
19325,01	836,38	282,12	115,63	<LOD	13321,3

VIII. Contrat de collaboration recherche avec l'association La Frênette

## CONTRAT DE COLLABORATION DE RECHERCHE

Ref CNRS n° 168523

### ENTRE

#### **LE CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE,**

Etablissement public à caractère scientifique et technologique,

Siège: 3, rue Michel Ange, 75794 PARIS CEDEX 16, FRANCE

N° SIREN : 180 089 013, Code APE : 7219Z

Représenté par son Président, Monsieur Alain FUCHS lequel a délégué sa signature, pour le présent accord, à Monsieur Patrick MOUNAUD, Délégué Régional pour la Circonscription Midi-Pyrénées, 16 avenue Edouard Belin, BP 24367, 31055 Toulouse Cedex 4, FRANCE

Ci-après dénommé "le CNRS",

Le CNRS agissant en son nom propre et au nom et pour le compte du Laboratoire « Travaux et Recherches Archéologiques sur les Cultures, les Espaces et les Sociétés » (TRACES UMR 5608), ci-après « TRACES », dirigé par M. Pierre MORET, et ce conformément au mandat général de représentation consenti par l'UNIVERSITE TOULOUSE 2 – Jean Jaurès, Établissement Public à caractère Scientifique, Culturel et Professionnel, dont le siège est situé 5, allées Antonio Machado, 31058 TOULOUSE cedex 9, n° SIRET 19311383400389, code APE 803Z représenté par son Président, M. Jean-Michel Minovez, aux termes de la convention quinquennale de site signée le 8 juillet 2013

Le CNRS et l'UNIVERSITE TOULOUSE 2 – Jean Jaurès sont ci-après dénommé « les **ETABLISSEMENTS** »

### ET

**LA FRENETTE**, association loi 1901 déclarée, créée le 11 septembre 2008, agissant en son nom propre et pour le compte de la Réserve naturelle régionale d'Aulon,

Création de la réserve le 16 février 2001, Classement en Réserve Naturelle Régionale le 10 février 2011, Région Occitanie - Pyrénées Méditerranée, Département des Hautes-Pyrénées, Commune d'Aulon (65240)

Dont le siège est sis, Maison de la Nature, 65440 Aulon.

N° SIRET : 524 836 285 00014, Code APE : 9499Z

Représenté par Monsieur Maurice du BARRY, son président,

Ci-après dénommé "**La FRENETTE**",

Les **ETABLISSEMENTS** et **LA FRENETTE**, sont ci-après désignés par la ou les "**PARTIE(S)**".

**LA FRENETTE** et **TRACES**, sont ci-après désignés par la ou les "**PARTENAIRE(S)**".

Réf. CNRS n°.....

01/01/2011

**IL EST CONVENU CE QUI SUIT :**

**ARTICLE 1 - OBJET DU CONTRAT**

TRACES, et LA FRENETTE décident d'effectuer en commun une étude, ci-après désignée l'Etude, intitulée :  
« Télédétection archéologique en Haute et Moyenne Montagne - TAHMM »

Un programme détaillé de l'Etude est donné dans l'annexe scientifique et technique jointe.

**ARTICLE 2 - RESPONSABLES SCIENTIFIQUES**

Mme Carine CALASTRENC, ingénieure en archéologie CNRS affectée à TRACES est la responsable scientifique de l'Etude. Son correspondant à LA FRENETTE est M. Maurice du BARRY.

**ARTICLE 3 - REUNIONS**

Des réunions de travail entre les ETABLISSEMENTS et LA FRENETTE ont lieu à intervalles réguliers pour valider les jalons du projet.

**ARTICLE 4 - MODALITES DU FINANCEMENT**

Le présent contrat ne fait pas l'objet de flux financiers entre les PARTIES.

Les PARTENAIRES réaliseront chacun leur part de l'Etude sur leur budget propre.

**ARTICLE 5 - SECRET, PUBLICATIONS**

**5.1. Connaissances non issues de l'Etude**

Chaque Partie s'engage à ne pas publier ni divulguer de quelque façon que ce soit les informations scientifiques, techniques autres que celles issues de l'Etude, et notamment les connaissances antérieures, appartenant à l'autre Partie dont elle pourrait avoir connaissance à l'occasion de l'exécution du présent contrat et ce, tant que ces informations ne seront pas accessibles au public. Cet engagement restera en vigueur pendant 5 ans à compter de la date de signature du présent contrat, nonobstant la résiliation ou l'arrivée à échéance de ce dernier.

**5.2. Connaissances issues de l'Etude**

Toute publication ou communication d'informations, de résultats ou du savoir-faire issus de l'Etude, par l'une ou l'autre des Parties, devra recevoir l'accord écrit de l'autre Partie qui fera connaître sa décision dans un délai maximum de 15 jours à compter de la demande. Passé ce délai et faute de réponse, l'accord sera réputé acquis.

En conséquence, tout projet de publication ou communication sera soumis à l'avis de l'autre Partie sans porter atteinte à la valeur scientifique de la publication.

Ces publications et communications devront mentionner le concours apporté par chacune des parties à la réalisation de l'Etude.

Toutefois, ces stipulations ne pourront faire obstacle :

- Ni à l'obligation qui incombe à chacune des personnes participant à l'Etude de produire un rapport d'activité à l'organisme dont elle relève, dans la mesure où cette communication ne constitue pas une divulgation au sens des lois sur la propriété industrielle ;
- Ni à la soutenance de thèse des chercheurs dont l'activité scientifique est en relation avec l'objet du présent contrat, cette soutenance devant être organisée chaque fois que nécessaire de façon à garantir, tout en respectant la réglementation universitaire en vigueur, la confidentialité de certains résultats des travaux réalisés dans le cadre de l'Etude.

Réf. CNRS n°.....

01/01/2011

## ARTICLE 6 - PROPRIETE DES RESULTATS

On entend par « Résultats issus de l'Etude », toutes les connaissances issues de travaux de la collaboration et susceptibles ou non d'être protégées au titre de la propriété intellectuelle, y compris les bases de données, les logiciels, ainsi que le savoir-faire.

### 6.1 Connaissances non issues de l'Etude

Chacune des Parties conserve la propriété exclusive des résultats des travaux, brevetés ou non, du savoir-faire, des connaissances et des droits de propriété intellectuelle et/ou industrielle lui appartenant, développés ou acquis antérieurement à l'entrée en vigueur de la présente convention ou indépendamment de celle-ci.

Sous réserve des droits des tiers, chacune des Parties dispose d'un droit d'usage non exclusif, non transférable sur les résultats, brevetés ou non, savoir-faire et connaissances visés au précédent nécessaires à l'accomplissement de l'objet de la présente convention.

### 6.2 Résultats issus de l'Etude

Les Résultats issus de l'Etude sont réputés être la copropriété des Parties ayant participé à leur obtention à proportion de leurs moyens intellectuels, financiers et matériels.

TRACES fournira les données brutes de prospection archéologique à LA FRENETTE afin qu'elles soient utilisées par LA FRENETTE dans le seul cadre de l'administration patrimoniale de la Réserve Naturelle d'Aulon.

## ARTICLE 7 - DUREE

Le présent contrat est conclu pour une durée de 12 mois à compter du 01/01/2018.

Il peut être prorogé à la fin de cette période par un avenant qui précise notamment l'objet de cette prolongation ainsi que les modalités de son financement.

Nonobstant l'échéance du contrat ou sa résiliation anticipée dans les cas prévus à l'article "RESILIATION" :

- Les dispositions prévues à l'article "SECRET, PUBLICATIONS" restent en vigueur pour les durées fixées audit article,
- Sauf clause contraire, les dispositions prévues aux articles 5, 6 et 7 restent en vigueur.

## ARTICLE 8 - RESPONSABILITE

8.1 - Les matériels et équipements mis par une partie à la disposition de l'autre ou financés par cette partie dans le cadre d'un accord spécifique, restent la propriété de celle-ci. En conséquence chaque partie supportera la charge des dommages subis dans le cadre de l'exécution de l'Etude par les matériels, installations et outillages dont elle est propriétaire, y compris les matériels confiés à l'autre partie et les matériels en essais, même si l'autre partie est responsable du dommage sauf faute lourde ou intentionnelle de cette dernière.

8.2 - Dans le cadre de l'Etude, des agents de l'une des parties restant payés par leur employeur peuvent être amenés à travailler dans les locaux de l'autre partie. Le personnel se trouve alors placé sous l'autorité et doit se conformer au règlement intérieur de l'établissement dans lequel il travaille. Toutes instructions utiles lui sont données à ce sujet au moment de son affectation.

Chaque Partie continue toutefois d'assumer, à l'égard du personnel qu'elle rémunère, toutes les obligations sociales et fiscales de l'employeur et d'exercer envers lui toutes les prérogatives administratives de gestion (notation, avancement, discipline, etc.). Toutes les indications utiles et notamment les éléments d'appréciation indispensables sont fournis par l'établissement qui utilise effectivement les services du personnel.

Les ETABLISSEMENTS et LA FRENETTE assurent l'un et l'autre la couverture de leurs agents respectifs en matière d'accidents du travail et de maladies professionnelles sans préjudice d'éventuels recours contre les tiers responsables.

En revanche l'organisme d'accueil assume la responsabilité civile concernant les actes des agents de l'autre partie travaillant dans ses laboratoires comme s'il s'agissait de son propre personnel, et ce en vertu du fait que ces personnels sont, comme il est dit plus haut, placés sous l'autorité et soumis au règlement intérieur de l'établissement d'accueil.

Réf. CNRS n°.....

01/01/2011

#### ARTICLE 9 – RESILIATION

Le présent contrat peut être résilié de plein droit par l'une des parties en cas d'inexécution par l'autre d'une ou plusieurs des obligations contenues dans ses diverses clauses. Cette résiliation ne devient effective que trois mois après l'envoi par la partie plaignante d'une lettre recommandée avec accusé de réception exposant les motifs de la plainte, à moins que dans ce délai la partie défaillante n'ait satisfait à ses obligations ou n'ait apporté la preuve d'un empêchement consécutif à un cas de force majeure.

L'exercice de cette faculté de résiliation ne dispense pas la partie défaillante de remplir les obligations contractées jusqu'à la date de prise d'effet de la résiliation et ce, sous réserve des dommages éventuellement subis par la partie plaignante du fait de la résiliation anticipée du contrat.

#### ARTICLE 10 – INTEGRALITE ET LIMITE DU CONTRAT

Le présent contrat, assorti de ses annexes, exprime l'intégralité des obligations des Parties. Aucune clause figurant dans des documents envoyés ou remis par les Parties ne pourra s'y intégrer.

#### ARTICLE 11 – INVALIDITE D'UNE CLAUSE

Si une ou plusieurs stipulations du présent contrat étaient tenues pour non valides ou déclarées telles en application d'un traité, d'une loi ou d'un règlement, ou encore à la suite d'une décision définitive d'une juridiction compétente, les autres stipulations garderont toute leur force et leur portée. Les Parties procéderont alors sans délai aux modifications nécessaires en respectant, dans toute la mesure du possible, l'accord de volonté existant au moment de la signature du présent contrat.

#### ARTICLE 12 – DROIT APPLICABLE - LITIGES

Le présent contrat est soumis aux lois et règlements français.

En cas de difficulté sur l'interprétation ou l'exécution du présent contrat, les parties s'efforceront de résoudre leur différend à l'amiable.

En cas de désaccord persistant, l'affaire sera portée devant les Tribunaux compétents.

Fait à Toulouse, en 3 exemplaires originaux,

Pour LA FRENETTE

le jj/mm/aaaa

Le Président.....



Maurice du BARRY

Association la « Frénelle »

65210 Aulon

Pour le CNRS

le 13 OCT. 2017

le Délégué Régional

Pour le Délégué Régional Empêché

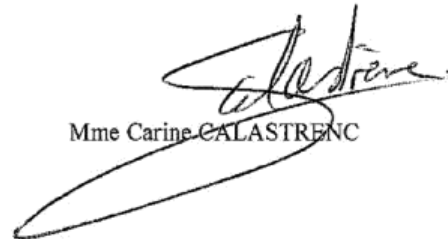
Jean-Paul SWERTS  
Christophe GIRAUD



Visa de la responsable scientifique

le jj/mm/aaaa 09/10/2017

Mme Carine CALASTRENC



Mme Carine CALASTRENC

**VI- Travaux cités**

- Abraham. P. W, Entwistle. J. A, Dodgshon. R. A, 2010, The Ben Lawers Historical Project : Simultaneous Multi-element Analysis of Former Settlement and Arable Soils by X-ray Fluorescence Spectrometry., *Journal of Archaeological Method and Theory*, Vol. 17, Issue 3, pp. 231-248
- Agapiou, A., Hadjimisis, D. G., & Alexakis, D. D. (2012). Evaluation of Broadband and Narrowband Vegetation Indices for the Identification of Archaeological Crop Marks. *Remote Sensing*, 3892-3919. doi:10.3390/rs4123892
- Agapiou, A., Lysandrou, V., Lasaponara, R., Masini, N., & Hadjimitsis, D. G. (2016). Study of the Variations of Archaeological Marks at Neolithic Site of Lucera, Italy Using High-Resolution Multispectral Datasets. *Remote Sens*, 8(9). doi:10.3390/rs8090723
- Albrecht, M. (1867). La photogrammétrie. *Wochenblatt des Architektenvereins zu Berlin*, pp. 471-472.
- Bal, M.-C., Rendu C., Ruas M.-P., Campmajo P. (2010). Paleosol charcoal : Reconstructing vegetation history in relation to agro-pastoral activities since the Neolithic. A case study in the Eastern French Pyrenees. *Journal of Archaeological Science*, 37(2010), p.1785–1797.
- Baret, F., Guyot, G., & Major, D. (1989). TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1989. IGARSS'89. 12th Canadian Symposium on Remote Sensing*, (pp. 1355-1358).
- Bellerby, T., Noel, M., & Branigan, K. (1990, Août). A THERMAL METHOD FOR ARCHAEOLOGICAL PROSPECTION: PRELIMINARY INVESTIGATIONS. *Archaeometry*, 32(2), pp. 191-203.
- Beucher, S. (2014). Segmentation d'image et morphologie mathématique. Cours du Master OIV (Saint Etienne) - Mines ParisTech. Récupéré sur [http://www.cmm.mines-paristech.fr/~beucher/publi/Segmentation\\_MasterOIV\\_2014.pdf](http://www.cmm.mines-paristech.fr/~beucher/publi/Segmentation_MasterOIV_2014.pdf)
- Bloor, Jay-Robert, Morvan, Fleurance, 2012. Déjection des herbivores domestiques au pâturage : caractéristiques et rôle dans le fonctionnement des prairies, *INRA Productions animales*, Vol. 25, Tome 1, pp. 45-56
- Cailloce, L. (2015, 03 03). Les drones, nouveaux outils de la recherche. *Le journal du CNRS* .
- Calastrenc Carine, Le Couédic Mélanie, Barge, Olivier., & Bal, Marie-Claude (2007). Archéologie pastorale en vallée d'Ossau – Atelier 2 du PCR « Dynamiques sociales, spatiales et environnementales dans les Pyrénées centrales – Rapport de sondages archéologiques et prospections – campagne 2007, 216 p.
- Calastrenc Carine, Mélanie Le Couédic, (2006) Archéologie pastorale en vallée d'Ossau – Atelier 2 du PCR « Dynamiques sociales, spatiales et environnementales dans les Pyrénées centrales – Rapport de sondages archéologiques et prospections – campagne 2006, 203 p.

- Calastrenc Carine, Mélanie Le Couédic,(2005) Rapport de prospection-inventaire et de sondages archéologiques – campagne 2005 – Archéologie pastorale en vallée d'Ossau, 2 tomes, 325 p. - 118 p.
- Calastrenc, C., & Lemaitre, V. (2010). Archéologie pastorale en vallée d'Ossau - Rapport d'opération de fouille - Campagne 2010.
- Calastrenc, C., & Rendu, C. (2009). *Archéologie pastorale en vallée d'Ossau - Atelier 2 du PCR "Dynamiques sociales, spatiales et environnementales dans les Pyrénées centrales" Fouilles archéologiques - Campagne 2009.*
- Calastrenc, C., Rivas, F., & Ona Gonzalez, J. (2004). *Inventario de cabañas y otras construcciones historicas en el Pllan del Hospital - Benasque (Huesca)*. Fubdacion Hospital de Benasque. Récupéré sur <http://www.fundacion-hospital-benasque.org/arqueologia/prospecciones-y-catas/plandelhospital>
- Calastrenc, C., Rivas, F., & Ona Gonzalez, J. L. (2005). *Inventario de cabañas y otras construcciones historicas en el entorno del Portillon y el puerto de la Picada - Benasque (Huesca)*. Fundacion Hospital de Benasque.
- Calastrenc, C., Rivas, F., & Ona Gonzalez, J. L. (2006). *Inventario y otras construcciones historicas en el puerto de Gorgutes-la Gl\_re - Benasque (Huesca)*. Fundacion Hospital de Benasque.
- Cannell, R J S, Gustavsen, L, Kristiansen, M, Nau, E. (2018). Delineating an Unmarked Graveyard by High-Resolution GPR and pXRF Prospectio n: The Medieval Church Site of Furulund in Norway. *Journal of Computer Applications in Archaeology*, 1(1), pp. 1–18
- Casana, J. W. (2017). Archaeological Aerial Thermography in Theory and Practice. *Advances in Archaeological Practice* , 5 (4), pp. 310-327.
- Christophe Jean-Damien, La bouse : Historique, importance et écosystème, Thèse de doctorat vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, 2004
- Cool, A. C. (2015). Aerial thermography in archaeological Prospection. Applications and processing. Fayetteville: Thèse - Master of Arts in Anthropology - University of Arkansas.
- Crawford, O.-G.-S., & Keiller, A. (1928). *Wessex from the air*. Oxford University Press.
- De Laet, V., & Lambers, K. (2009). Archaeological prospecting using high-resolution digital satellite imagery : recent advances and future prospects. *Computer applications and quantitative methods in archaeology (CAA)*, (pp. 9-17). Williamsburg (USA).
- DGM, AB, & RM. (sd). CloudCompare - Manuel d'utilisateur de la version 2.4. [www.danielgm.net/cc](http://www.danielgm.net/cc).
- Doneus, M. (2013). Openness as Visualization Technique for Interpretative Mapping of Airborne Lidar Derived Digital Terrain Models. *Remote Sensing*, 5(12), 6427-6442. doi:10.3390/rs5126427
- Ducrot, D. (2005). *Méthodes d'analyse et d'interprétation d'images de télédétection multisources. Extraction de caractéristiques dy paysage (HDR)*. Toulouse: Laboratoire CESBIO.

- 
- Elliott, S., Bendrey, R., Whitlam, J., Rauf Aziz, K., & Evans, J. (2014). Preliminary ethnoarchaeological research on modern animal husbandry in Bestansur, Iraqi Kurdistan : integrating animal, plant and environmental data. *Environmental archaeology*, 283-303.
  - Eppelbaum, L. (2009, Décembre). Near-surface temperature survey : An independant tool for delineation of buried archaeological targets. *Journal of Cultural Heritage*, 10(Supplément 1), 93-103.
  - Evans, R., & Jones, R.-J.-A. (1977, 03 01). Crop marks and soils at two archaeological sites in Britain. *Journal of archaeological Science* , 4 (1), pp. 63-76.
  - Fernández Lozano, J., & Gutiérrez Alonso, G. (2016). Improving archaeological prospection using localized UAVs assisted photogrammetry: An example from the Roman Gold District of the Eria River Valley (NW Spain). *Journal of archaeological science : Reports*, 509-520.
  - Florez, M., Dousteysier, B., Vautier, F., Roussel, E., Toumazet, J.-P., Faure, M., et al. (2014). Archaeomorphological approaches and LIDAR data analysis to study a hidden mid-mountain cultural Landscape. The study case of Puy de Dôme (France). 3rd International landscape archaeology conference. Rome (Italie).
  - Florez, M., Toumazet, J.-P., Roussel, E., Vautier, F., Dousteysier, B., Mohamed, A., & Rieutort, L. (2013). Restitution d'un paysage culturel de moyenne montagne dans la chaîne des Puys (Auvergne, France) : le projet LIDARCHEO. XIXe Colloque d'Archéométrie du Groupe des Méthodes Pluridisciplinaires Contribuant à l'Archéologie. Caen.
  - Galop, D., (1998). LA FORÊT L'HOMME ET LE TROUPEAU DANS LES PYRÉNÉES. 6000 ANS D'HISTOIRE DE L'ENVIRONNEMENT ENTRE GARONNE ET MÉDITERRANÉE. GEODE, Laboratoire d'Ecologie Terrestre et FRAMESPA, Toulouse : 303
  - Gassia Casas, D. (2018). Arqueologia d'un territori d'alta montanya del Pirineu central. Persones, ramats i prats al llarg de la historia al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (Mémoire de thèse). Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
  - Gassiot Ballbè, E. (2016). *Arqueologia del pastoralisme en el Parque Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici Montanas humanizadas*. Ministerio de agricultura y pesca, alimentacion y medio ambiente.
  - Gassiot, E. ; Pélachs, A.; Bal, M. C, García, V.; Julià, R.; Pérez, R.; Rodríguez, D.; Astrou, A. Ch. (2010). Dynamiques des activités anthropiques sur un milieu montagnard dans les Pyrénées occidentales catalanes durant la Préhistoire: une approche multidisciplinaire. A: Tzortzis, S.; Delestre, X. (coord). *Archéologie de la montagne européenne* . Bibliothèque d'archéologie méditerranéenne et africaine, 4, pp. 33-43.



- Gassiot, E., Rodriguez, D., Obea, L., Mazzucco, N., Clemente, I., Quesada, M., et al. (2016). Montañas humanizadas. Arqueología del pastoralismo en el Parque Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Red de Parques Nacionales.
- Gassiot, E., Rodríguez-Antón, D., Burjachs, F., Antolín, F., & Ballesteros, A. (2012). Poblamiento explotación y entorno natural de los estados alpinos y subalpinos del Pirineo central durante la primera mitad del Holoceno. *Revisata Cuaternario y Geomorfología*, 26(3-4), 29-45.
- Gassiot, E., Rodríguez-Antón, D., Pèlachs, A., Pérez Obiol, R., Julià, R., Bal, M. C., et al. (2013). La alta montaña durante la Prehistoria : 10 años de investigación en el Pirineo catalan occidental. *Revista Prehistoria Alpina* .
- Gassiot, Ermengol (dir.) et al. (2016) Arqueología del pastoralismo en el Parque Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Montañas humanizadas, Organismo Autónomo Parques Nacionales, ISBN: 978-2-9523824-5-8
- Gassiot, Ermengol, Ignacio Clemente-Conte, Niccolò Mazzucco, David Garcia Casas, Laura Obea Gómez, et David Antón. (2016) Surface Surveying in High Mountain Areas, Is It Possible? Some Methodological Considerations. *Quaternary International*, Elsevier, vol. 402, pp.35-45. <https://doi.org/10.1016/j.j.2015.09.103>.
- Gavazzi, B., & Calou, P. (2016). Le géomagnétisme à la recherche des vestiges. Réseau documentaire Nordoc'Archéo.
- Georges-Leroy, M., Bock, J., Dambrine, E., & Dupouey, J.-L. (2011). Apport du lidar à la connaissance de l'histoire de l'occupation du sol en forêt de Haye. *Revue d'archéométrie* , 117-129.
- GIRARD, M.-C., & GIRARD, C. (s.d.). Cours introductif à la télédétection. Récupéré sur [https://tice.agroparistech.fr/coursenligne/main/document/showinframes.php?cidReq=TELEDETECTIO N&&curdirpath=/cours\\_teledetection&file=/cours\\_teledetection/index.htm](https://tice.agroparistech.fr/coursenligne/main/document/showinframes.php?cidReq=TELEDETECTIO N&&curdirpath=/cours_teledetection&file=/cours_teledetection/index.htm)
- González Álvarez, D., & Rodríguez Hernández, J. (2011). Arqueología en áreas de montaña. Ganadería, movimientos pastoriles y cultura material. Actas de las II Jornadas de Jóvenes en Investigación Arqueológica (JIA 2009), tomo I, Publisher: Libros Pórtico, Editors: OrJIA, pp.121-122
- González Álvarez, D., Fernández Mier, M., & López Gómez, P. (2016). An Archaeological Approach to the Brañas: Summer farms in the pastures of the Cantabrian Mountains (northern Spain). in *Summer Farms Seasonal exploitation of the uplands from prehistory to the present*, Edition: 2016, éditeurs John Collis, Mark Pearce and Franco Nicolis, pp.203-219
- Guédon, F. (2013). Prospection archéologique de deux sites de hauteur du luchonnais. *Revue de Comminges et des Pyrénées centrales*, 143-166.
- Guédon, F., (2006), Occupation du sol et peuplement en montagne des origines aux temps modernes : le Haut Lavedan, Université de Toulouse, Thèse de 3ème cycle

- 
- Guillot, F. (2017). Rapport de sondages archéologiques (Soulcem - Auzat (09)) 2017. Pour une archéologie de la montagne.
  - Harrault, L., Aronsson, K., Domene Lopez, G., Milek, K., & Anderson, D. (2017). Geoarchaeological tools to contextualise ancient pastoral sites in Suollagavalda, northern Sweden. *Humanor project meeting*. University of Aberdeen (UK).
  - Harris, C., & Stephens, M. (1988). A Combined Corner and Edge Detector. *Alvey Vision Conference*, (pp. 147-152). Manchester.
  - Hennequi Marie. Spatialisation des données de modélisation par Krigeage. *Méthodologie [stat.ME]*. 2010
  - Hesse, R. (2010). LiDAR-derived Local Relief Models – a new tool for archaeological prospection. *Archaeological prospection*, 67-72.
  - Hesse. (s.d.).
  - Holliday, V., & Gartner, W. (2006). Methods of soil P analysis in archaeology. *Journal of archaeological Science*, 301-333.
  - Jones, M.-U., Evison, V.-I., & Myres, J.-N.-L. (1968, 09). Crops-marks sites at mucking, Essex. *The antiquaries Journal*, pp. 210-230.
  - Jonhsom, J., & Brian, H. (2006). A cost-benefit analysis of remote sensing application in cultural resource mangement archaeology. In J. Jonhsom, *Remote sensing in archaeology. An explicitly north american perspective* (pp. 33-77). University of Alabama press.
  - Kokalj, Z., Zaksek, K., & Ostir, K. (2011). Application of sky-view factor for thevisualisation of historic landscapefeatures in lidar-derived relief models. *Antiquity*, 263-273.
  - Lambers, K., & Zingman, I. (2012). Towards detection of archaeological objects in high-resolution remotely sensed images: the Silvretta case study. *40th Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Southampton, 26-30 March 2012, At Southampton*. Saouthampton: Graeme et al edition.
  - Lambers, K., & Zingman, I. (2012a). Am Boden, aus der Luft, aus dem All: Prospektion archäologischer Fundstellen in der Silvretta. Letzte Jäger, erste Hirten. *Hochalpine Archäologie in der Silvretta*, Edition: Archäologie in Graubünden – Sonderheft 1, Publisher: Südostschweiz Buchverlag, Editors: Thomas Reitmaier, pp.71-85
  - Lambers, K., & Zingman, I. (2012b). Towards detection of archaeological objects in high-resolution remotely sensed images: the Silvretta case study. *40th Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Southampton, 26-30 March 2012, At Southampton*, Volume: Earl, Graeme et al. eds. 2013. *Archaeology in the digital era, volume II - e-papers* <https://doi.org/10.13140/2.1.4614.9120>

- 
- Lambers, K., & Zingman, I. (2013). Texture segmentation as a first step towards archaeological object detection in high-resolution satellite images of the Silvretta Alps. 40th Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Southampton - 26-30 Mars 2012. II, pp. 327-329. Vienne: Wolfgang et al edition.
  - Lancelotti Carla, Madella Marco, The « invisible » product : developing markers for identifying dung in archaeological contexts, 2012, Journal of archaeological Science, vol 39, tome 4, pp. 953-963
  - Lasaponara, R., & Masini, N. (2006). Identification of Archaeological Buried Remains. *IEE Geoscience and Remote Sensing*, 3(3), 325-328.
  - Le Couédic M, R. C. (2016). Le Couédic M, Rendu C, Garcia Casas D, Gassiot Ballbè E, Calastrenc C, et al., (2016), Comparer et modéliser les sites, les territoires et les systèmes pastoraux pyrénéens dans la diachronie: présentation et premiers résultats du projet collaboratif DEPAR. In Pays Pyrénéens et environnement (pp. 321-338). Bagnères-de-Bigorre.
  - Le Couédic, M., Champagne, A., Contamine, T., Coughlan, M., Gragson, T., & Haley, B. S. (2014). Rapport de prospection et sondages, Larrau, Pyrénées-Atlantiques. Campagne 2014 (Research Report) (p. 129). ITEM, EA 3002, Université de Pau et des Pays de l'Adour. Consulté à l'adresse <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01317581>
  - Le Couédic, Mélanie. (2004). La montagne d'Enveitg (66) : mise en œuvre des données archéologiques, environnementales et planimétriques à l'aide d'un Système d'Information géographique, université François-Rabelais de Tours, 2 vol.
  - Le Couédic, Mélanie. (2010). Les pratiques pastorales d'altitude dans une perspective ethnoarchéologique. Cabanes, troupeaux et territoires pastoraux pyrénéens dans la longue durée. Phdthesis, Université François Rabelais - Tours.
  - Leanardi, G., Miglavassa, M., & Nardi, S. (1999). Soil phosphorus analysis as an integrative tool for recognizing buried ancient ploughsoil. *Journal of archaeological science*, 343-352.
  - Lowe, D. (1999). Object Recognition from Local Scale-Invariant Features. *Proceeding*, 2, p. 1150.
  - Lunden, B. (1985). Aerial Thermography—A Remote Sensing Technique Applied to Detection of Buried Archaeological Remains at a Site in Dalecarlia, Sweden. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 67 (1-2), pp. 161-166.
  - Manzanera, A. (2005). Cours de morphologie mathématique (ENSTA-LEI ParisTech). Retrieved from [http://perso.ensta-paristech.fr/~manzaner/Cours/IAD/TERI\\_MorphoMath.pdf](http://perso.ensta-paristech.fr/~manzaner/Cours/IAD/TERI_MorphoMath.pdf)
  - Matloka, A., Karliński-Kociuba, J., Pilaczyński, L., Fejfer, M., Nowaczyk, S., & Sienkiewicz, J. (2015). An examination of the level of phosphorus in the soil as an indicator of human activity in prehistory at archaeological site no. 15a in Biskupin. *Ekologia i Technika*, 71-79.

- 
- Mattingly, G., & Williams, R. (1962). A note on the chemical analysis of a buried since roman times. *European Journal of Soil Science*, 254-258.
  - Météosat seconde génération, U. P. (s.d.). Météosat Seconde Génération. (U. P. 1, Éd.) Paris. Récupéré sur <https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/envcal/html/vegetation/index.html>
  - Moyes, H., & Montgomery, S. (2016). Mapping ritual landscapes using Lidar. Cave detection through Local Relief Modelling. *Advances in Archaeological Practice*, 249-267.
  - Novak, D. (2014). *Local Relief Model (LRM) Toolbox for ArcGis*. Prague: Insitute of Archaeology Czech Academy of Science.
  - Opitz, R. (2016). Airborne Laserscanning in Archaeology: Maturing. Dans M. Forte, & S. Campana, *Digital Methods and Remote Sensing in Archaeology. Archaeology in the Age of Sensing*. Springer.
  - Opiz, R. S., & Cowley, D. C. (2013). *Interpreting archaeological topography*. Oxbow Books.
  - Pierrot-Deseilligny, M., & Clery, I. (2011). Evolution récentes en photogrammétrie et modélisation 3D par photo des milieux naturels. Collection EDYTEM , 12, pp. 51-64.
  - Poidebard, A. (1934). La trace de Rome dans le désert de Syrie. Le limes de Trajan à la conquête arabe. *Recherches aériennes (1925-1932) (Vol. XVIII)*. Bibliothèque arch, et hist, du Service des Antiquités de Syrie.
  - Poirier N, Hautefeuille F, Calastrenc. C, (2013), Low Altitude Thermal Survey by Means of an Automated Unmanned Aerial Vehicle for the Detection of Archaeological Buried Structures. *Archaeological Prospection*, Wiley, 20 (4), pp.303-307
  - Poirier N, Hautefeuille F, Calastrenc. C, (2017), L'utilisation des microdrone pour la prospection archéologique à basse altitude, *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, Vol. 2013, p. 81-94
  - Poirier, N. (2010). Un espace rural à la loupe : paysage, peuplement et territoires en Berry de la Préhistoire à nos jours : Perspectives historiques. Tour: Presses Universitaires François-Rabelais.
  - Poirier, N. (2012). Thermographie aéroportée. Récupéré sur Archéodrone: <https://blogs.univ-tlse2.fr/archeodrone/thermographie-aeroportee/>
  - Poirier, N. (2016). Géophysique. Retrieved 09 19, 2018, from Reperage: <https://sites.google.com/view/reperage/g%C3%A9ophysique?authuser=0>
  - Poirier, N. (2016). Prospection aérothermique. Retrieved 09 19, 2012, from Repérage - Recherches sur les Espaces, le PEuplement et les Réseaux Anciens de la GaronnE: <https://sites.google.com/view/reperage/prospection-a%C3%A9rothermique?authuser=0>
  - Poirier, N. (2018). Les défis d'une approche multisource des dynamiques d'occupation du sol : l'exemple de la vallée de la Garonne. *Archéologie, Histoire et Analyse spatiale. Dialogue interdisciplinaire sur la question des SIG archéologiques et historiques*, (p. s/n). Lille.

- 
- Poirier, N., & Hautefeuille, F. (2017). REPERAGE - Recherches sur le Peuplement, les Espaces et les Réseaux Anciens de la Garonne. Toulouse.
  - Poirier, N., Calastrenc, C., & Hautefeuille, F. (2016, Octobre 01). Archeodrone. Drones for archaeological survey. Toulouse, France.
  - Poirier, N., Hautefeuille, F., & Calastrenc, C. (2013). Low Altitude Thermal Survey by Means of an Automated Unmanned Aerial Vehicle for the Detection of Archaeological Buried Structures. *Archaeological Prospection*, 20 (4), pp. 303-307.
  - Poirier, Nicolas, et Florent Hautefeuille. (2014) REPERAGE - Recherches sur le Peuplement, les Espaces et les Réseaux Anciens de la Garonne. Research Report. UMR 5608 TRACES ; DRAC Midi-Pyrénées, décembre 2014. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01420799>.
  - Poirier, Nicolas, et Florent Hautefeuille. (2015) REPERAGE - Recherches sur le Peuplement, les Espaces et les Réseaux Anciens de la Garonne. Research Report. UMR 5608 TRACES ; DRAC Midi-Pyrénées, décembre 2015. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01420788>.
  - Poirier, Nicolas, et Florent Hautefeuille. (2016) REPERAGE - Recherches sur le Peuplement, les Espaces et les Réseaux Anciens de la Garonne. Research Report. UMR 5608 TRACES ; DRAC Midi-Pyrénées, décembre 2016. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01420797>.
  - R.-P., P. (1937). La trace de Rome dans le désert de Syrie. *Organisation du limes* [. Mélanges de l'école française de Rome], 5-24.
  - Reitmaier, T. &.-N. (2013). Alpine Archäologie in der Silvretta. *Archäologie Schweiz*, 36, pp. 4-15.
  - Reitmaier, T. (2010). Auf der Hut — Methodische Überlegungen zur prähistorischen Alpwirtschaft in der Schweiz. *ANISA. Verein für alpine Forschung*, pp. 219-239.
  - Reitmaier, T. L. (2013). Silvretyta Historica : Satellite-assisted Archaeological Survey in an Alpine Environment. 38th Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Granada, Spain, April 2010, (pp. 543-546). Granada (Espagne).
  - Reitmaier, T., Lambers, K., Walser, C., Zingman, I., Haas, J., Dietre, B., ... Kalsler, T. (2013). *Alpine archeology in the Silvretta (Vol. 36)*.
  - Rendu C, Calastrenc C, Le Couédic M, Galop D, Rius D, et al., (2013), Montagnes et campagnes d'Oloron dans la longue durée. Premiers résultats d'un programme interdisciplinaire. *Aquitania*, Pessac : Fédération Aquitania
  - Rendu C. (coord.), Bal, M.-C., Bille E, Calastrenc C, Campmajo P, Crabol D, Harfouche R, Le Couédic M, Parent G, Poupet, Ruas M-P (2005) Rapport de PCR, PCR Cerdagne. Estivage et structuration sociale d'un espace montagnard, rapport 2005, SRA Languedoc-Roussillon, 129 p.
  - Rendu C., Passarius S O., Calastrenc C., Julia R., Llubes M., Illes P., Campmajo P., Jordy C., Crabol D., Bille E., Conesa M., Bbousquet D., Lallemand V. (2015). Reconstructing past terrace fields in the Pyrenees

insights into land management and settlement from the Bronze Age to the Early Modern era at Vilalta (1650 masl, Cerdagne, France), *JOURNAL OF FIELD ARCHAEOLOGY*, p. 1-20

- Rendu Ch., Campmajo P., Crabol D. (2012), Etagement, saisonnalité et exploitation des ressources agro-pastorales en montagne à l'âge du bronze. Une possible « ferme d'altitude » à Enveig (Pyrénées-Orientales), *Bulletin de l'Association pour la Recherche sur l'Âge du Bronze*, p.58-61
- Rendu, C. (2000). Fouiller des cabanes de berger pourquoi faire ? *Etudes rurales* , 151-176.
- Rendu, C. (2002). Pistes et propositions pour une archéologie de l'estivage à partir d'une expérience dans les Pyrénées de l'Est : Dossier spécial sur Les Habitats et systèmes pastoraux d'altitude (Pyrénées, Alpes, Massif Central). L'occupation de la haute montagne, premie. Table ronde de Lattes (pp. 147-157). Lattes: Archéologie du Midi Médiéval.
- Rendu, C. (2003). La montagne d'Enveitg. Une estive pyrénéenne dans la longue durée. Perpignan: Trabucaire.
- Rendu, C. (2003). Pour faire le portait d'une montagne. Ombres et lumières autour d'Enveitg (Cerdagne, Pyrénées-Orientales). *Etudes rurales* , 11-30.
- Rendu, C., Bille, E., Conesa, M., Campmajo, P., & Crabol, D. (2009). Margins and centers in the shaping of the Pyrenean slopes. Medieval dynamics within the long-term perspective. In J. Klapste, & P. Sommer, *Medieval rural settlement in marginal landscape. Ruralia VII* (pp. 235-251). Cardiff: Brepols.
- Rendu, C., Calastrenc, C., & Le Couédic, M. (2006). *Archéologie pastorale en vallée d'Ossau, rapport final d'opération, campagne 2006, sondages et prospections.*
- Rendu, C., Calastrenc, C., Le Couédic, M., & Berdoy, A. (2016). Estives d'Ossau. 7000 ans de pastoralisme dans les Pyrénées. Toulouse: Pas d'Oiseau.
- Rendu, C., Campmajo, P., & Crabol, D. (2012). Etagement, saisonnalité et exploitation des ressources agro-pastorales en montagne à l'âge du bronze. Une possible " ferme d'altitude " à Enveig (Pyrénées-Orientales). *Bulletin de l'Association pour la promotion des recherches sur l'âge du Bronze* , 58-61.
- Rendu, C., Campmajo, P., Davasse, B., & Galop, D. (1995). Habitat, environnement et systèmes pastoraux en montagne : acquis et perspectives de recherches à partir de l'étude du territoire d'Enveig. *X Colloqui internacional d'arqueologia de Puigcerda*, (pp. 661-675). Puigcerda et Osseja.
- Roman, A., Ursu, T.-M., Lăzărescu, V.-A., Opreanu, C. H., & Fărcaș, S. (2017). Visualization techniques for an airborne laser scanning-derived digital terrain model in forested steep terrain: Detecting archaeological remains in the subsurface. *Geoarchaeology*, 549-562.
- Saint Joseph, K. (1966). *The uses of air photography*. Londres: John Baker.
- Saint-Sever, G., Remicourt, M., & Soula, F. (2016). Fouille Archéologique de la Haille de Pout, Cirque de Troumouse, Gèdre (Hautes-Pyrénées), Rapport de fouille programmée.

- 
- Saligny, L. (2003). *Ecole thématique. Système d'information à référence spatiale et archéologie - Tours - 8-13 septembre 2003*. Tours.
  - Sappington, J., & Thompson, D. (2007). Quantification de la robustesse du paysage pour l'analyse de l'habitat animal: une étude de cas utilisant le mouflon d'Amérique dans le désert de Mojave. *Journal of Wildlife Management* , 1419-1426.
  - Selskienė, A., Simniškytė-Strimaitienė, A., Vaičiūnienė, J., Pakštas, V., Karpavičienė, V., & Giraitis, R. (2017). Phosphorus in archaeological soil: comparison of. *chemija*, 28(3), 160-171. Récupéré sur [https://www.researchgate.net/profile/Andra\\_Simniskyte/publication/320330605\\_Phosphorus\\_in\\_archaeological\\_soil\\_Comparison\\_of\\_different\\_extraction\\_methods/links/59de1e330f7e9bec3bae15a4/Phosphorus-in-archaeological-soil-Comparison-of-different-extraction-me](https://www.researchgate.net/profile/Andra_Simniskyte/publication/320330605_Phosphorus_in_archaeological_soil_Comparison_of_different_extraction_methods/links/59de1e330f7e9bec3bae15a4/Phosphorus-in-archaeological-soil-Comparison-of-different-extraction-me)
  - SEOS Project, T. e. (s/d). SEOS Project Télédétection et SIG en agriculture. Récupéré sur <http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c01-s02.fr.html>
  - Sparfel, L., Gourmelon, F., & Le Berre, I. (2008). Approche orientée-objet de l'occupation des sols en zone côtière. *Revue de télédétection*, 237-356.
  - Stular, B., Kokalj, Z., Ostir, K., & Nuninger, L. (2012). Visualization of lidar-derived relief models for detection of archaeological features. *Journal of Archaeological Science*, 3354-3360.
  - Tabbagh, A. (1977). II-Prospections thermiques et électriques - Habitat néolithique de fond de vallée alluviale à Noyen-sur-Seine (Seine-et-Marne). *Gallia Préhistoire* , 271-280.
  - Tarini, M., Cignoni, P., & Scopigno, R. (2003). Visibility based methods and assessment for detail-recovery. IEEE Computer Society - VIS '03 Proceedings of the 14th IEEE Visualization 2003, (p. 60). Washington DC.
  - Terry, R., Nelson, S., Carr, J., Parnell, J., Hardin, P., Jackson, M., S. (2000). Quantitative phosphorus measurement: A field test procedure for archaeological site analysis at Piedras Negras, Guatemala. *Geoarchaeology*.
  - Thirion-Merle, V. (2014). Spectrométrie de fluorescence X. In *Circulation et provenance des matériaux dans les sociétés anciennes*. Collection Sciences Archéologiques. Editions des archives contemporaines. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01393984>.
  - Tisseyre, B. (2014). *La télédétection appliquée à la viticulture. Principe et état de lieux*. Récupéré sur [https://www.agrotic.org/blog/wp-content/uploads/2014/06/3\\_t%C3%A9l%C3%A9d%C3%A9tection\\_appliqu%C3%A9e\\_viticulture.pdf](https://www.agrotic.org/blog/wp-content/uploads/2014/06/3_t%C3%A9l%C3%A9d%C3%A9tection_appliqu%C3%A9e_viticulture.pdf)
  - Toumazet, J.-P., Vautier, F., Roussel, E., Rassat, G., & Doustreysier, B. (2016). Automatic detection of archaeological structures in LiDAR data : a first approach. Training and research on the archaeological interpretation of LiDAR 2016.

- Trachet, J., Poulain, M., Delefortie, S., Van Meirvenne, M., & De Clercq, W. (2017). Making a Mountain Out of a Molehill? A Low-Cost and Time-Efficient Molehill Survey of the Lost Medieval Harbor Site of Monnikerede, Belgium. *Journal of Field Archaeology*, 42(6)
- Trotter, Nicol, Ridgway, 2006. Sheep and deer grazing of pasture close to cattle dung pats, In Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production. Vol. 66, Napier, pp. 59-63
- Wells, J. (2011). Kite aerial thermography. *Soc. Archaeol. Prospect. News* , 29, pp. 9-10.
- Wilson, A., Davidson, D., & Cresser, M. (2008). Multi-element soil analysis: an assessment of its potential as an aid to archaeological interpretation. *Journal of archaeological Science*, 412-424.
- Wooster, M., Roberts, G., Smith, A., Johnston, J., Freeborn, P., Amici, S., & Hudak, A. (2013). Thermal Remote Sensing of Active Vegetation Fires and Biomass Burning Events. Dans C. Kuenzer, S. Dech, & Springer (Éd.), *Thermal Infrared Remote Sensing* (Vol. 17, pp. 347-3900).
- Zaksek, K., Ostir, K., & Kokalj, Z. (2011). Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique . *Remote Sensing*, 389-415.
- Zanin Christine. Discrétisation. 2006, 4 p. halshs-00175702
- Zingman, I., Saupe, D., & Lambers, K. (2012). Morphological operators for segmentation of high contrast textured regions in remotely sensed imagery. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Munich, Germany, 22-27 July 2012, Volume: 2012, pp. 3451-3454 <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6350678>
- Zingman, I., Saupe, D., & Lambers, K. (2013a). Automated search for livestock enclosures of rectangular shape in remotely sensed imagery (Vol. 8892). *Image and Signal Processing for Remote Sensing XIX*, Dresden, Germany <https://doi.org/10.1117/12.2027704>
- Zingman, I., Saupe, D., & Lambers, K. (2013b). Detection of Texture and Isolated Features Using Alternating Morphological Filters. 11th International Symposium, ISMM 2013, Uppsala, Sweden, May 27-29, 2013, pp. 440-451, Volume: *Mathematical Morphology and Its Applications to Signal and Image Processing*, [https://doi.org/10.1007/978-3-642-38294-9\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-642-38294-9_37)
- Zingman, I., Saupe, D., & Lambers, K. (2014). A morphological approach for distinguishing texture and individual features in image. *Pattern Recognition Letters* vol. 47. pp. 129-138 <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2014.03.019>
- Zingman, I., Saupe, D., & Lambers, K. (2015). Detection of incomplete enclosures of rectangular shape in remotely sensed images. *EARTHVISION 2015 IEEE/ISPRS Workshop "Looking from above: When Earth observation meets vision"*, Boston, pp. 86-96 <https://doi.org/10.1109/CVPRW.2015.7301387>
- Zingman, I., Saupe, D., A. B. Penatti, O., & Lambers, K. (2016). Detection of Fragmented Rectangular Enclosures in Very High Resolution Remote Sensing Images (Vol. 54). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 54(8):pp. 4580-4593 <https://doi.org/10.1109/TGRS.2016.2545919>



**VII- Liste des figures et tableaux**

Figure 1 - Localisation des différents programmes de recherche en archéologie pastorale dans les Pyrénées ....	9
Figure 2 - Localisation des programmes de recherche en archéologie pastorale dans les montagnes du sud de l'Europe .....	10
Figure 3 - Estive d'Anéou (Photo C. Calastrenc) .....	11
Figure 4 - Structure 11 - Prospection d'Anéou - 2004 .....	12
Figure 5 - Structure 14 - Prospection d'Anéou - 2004 .....	13
Figure 6 - Enclos 179 - Prospection archéologique d'Anéou - 2005.....	13
Figure 7 - Cabane 116 - Prospection d'Anéou - 2004.....	14
Figure 8 - Enregistrement des données dans les fiches descriptive - Estive d'Anéou - 2005.....	16
Figure 9 - Relevé aux pierres à pierres des structures n° 86 et 87 - Estive d'Anéou – 2004 .....	16
Figure 10 - Relevé à la boussole (Estive d'Anéou - Photo C. Calastrenc) .....	17
Figure 11 - Relevé à la boussole des structures n° 347 à 352 - Estive d'Anéou - 2005 .....	17
Figure 12 - La DGPS en pratique.....	18
Figure 13 - Prospection pédestre à l'aide d'un DGPS - Estive d'Anéou - 2006.....	19
Figure 14 - Relevé au DGPS des structures 411 à 481 - Estive d'Anéou - 2006.....	21
Figure 15 - Localisation des zones d'étude .....	22
Figure 16 - Estive d'Enveitg - 26 septembre (Photo. Nicolas Poirier).....	22
Figure 17 - Tableau des dates 14C réalisés dans le cadre des sondages et des fouilles ext"ensives réalisés sur la montagne d'Enveitg (Données transmises par Ch. Rendu).....	23
Figure 18 - Graphique des dates obtenues dans les structures fouillées d'Enveitg (calibration effectuée avec le logiciel Oxcal, courbe IntCal 13).....	24
Figure 19 - Estive d'Anéou - 2007 (Photo. C. Calastrenc).....	25
Figure 20 - Tableau des datations 14 obtenues dans le cadre des sondages sur l'estive d'Anéou .....	26
Figure 21 - Graphique des dates obtenues dans les structures sondées d'Anéou (calibration effectuée avec le logiciel Oxcal, courbe IntCal 13).....	26
Figure 22-Nombre de date 14C qui documente les différentes périodes.....	27
Figure 23 - A droite, fouille de la structure 88 d'Enveitg (Age du Bronze) ; A gauche, fouille du site 32 d'Anéou (Antiquité tardive/Haut Moyen âge) (Photo. Pierre Campmajo).....	27

Figure 24 - Graphique des dates obtenues dans les structures sondées et fouilles d'Enveitg (En gris) et d'Anéou (en vert) (calibration effectuée avec le logiciel Oxcal, courbe IntCal 13).....	28
Figure 25 - Secteur d'Avays dans la Réserve Naturelle d'Aulon - 21 septembre 2018 .....	29
Figure 26 - Structuration de la plateforme ArchéoScience .....	34
Figure 27 - Base DGPS (Trimble GeoXH3000 Série) – (Photo. C. Calastrenc).....	35
Figure 28 - Drone octorotor équipé d'un appareil photographique numérique Canon G1X – (Photo. C. Calastrenc) .....	36
Figure 29 - Drone octorotor équipé d'un capteur Lidar (Yellowscan) – (Photo. V. Py) .....	36
Figure 30 - Drone octorotor équipé d'une caméra thermique Flir T620 – (Photo. C. Calastrenc) .....	37
Figure 31 - GPR SRI 4000 (GNSSI) – (Photo. N. Poirier) .....	37
Figure 32 - Drone quadrirotor DJI Mavic.....	37
Figure 33 - XRF Nitron XL3t-980 du plateau P2P du laboratoire GEODE (UMR 5602) .....	38
Figure 34 - Structuration de la base de données .....	39
Figure 35 - IR réalisée en 2018 avec la caméra Flir T620 implémenter sur un drone octorotor. Taille de l'IR = 561 x 421 px. Poids de l'IR = 691.94 Ko.....	43
Figure 36 - IR fusionné (IR + RVB) réalisée en 2019 avec le drone Anafi Thermal. Taille de l'IR fusionnée = 3264 x 2448 px. Poids de l'IR fusionnée = 22,9 Go .....	43
Figure 37 - Localisation des zones d'étude et des aires d'acquisition thermographique par drone. a. En haut à gauche, le secteur d'Avays de la Réserve Naturelle d'Aulon (Hautes-Pyrénées). b. En bas à gauche, zoom sur le secteur d'Avays avec la localisation des structures situées aux environs de la construction AU_015_001 c. En haut à droite, le secteur de Pla de l'Orri sur la commune d'Enveitg (Pyrénées-Orientales) d. En bas à droite, partie du Pla de l'Orri testé thermiquement. ....	46
Figure 38 - Prise de vue thermographique avec la caméra Flir T 620. 39.1- Image RVB faite au nord de la structure ENV_003_122 sur l'estive d'Enveitg. 39.2- Image thermographique correspondante. 39.3- Image RVB prise par drone de la structure Au_015_001 du secteur d'Avays de la Réserve Naturelle d'Aulon. 39.4- Image thermographique correspondante. ....	47
Figure 39 - Traitement des images thermiques dans le logiciel FlirTools. 40.1. Image thermique prise au nord de la structure ENV_003_122 Enveitg et traitée dans FlirTools. 40.2. Image thermique prise au-dessus de la structure AU_015_001 à Aulon et traitée dans FlirTools. 40.3. Zoom sur le traitement de l'anomalie thermique située au nord de la structure de la structure ENV_003_122 (en rouge, tracé du contour de l'anomalie thermique). 40.4. Analyse de l'image thermique prise au-dessus de la structure AU_015_001 (en jaune, l'identification des indices archéologiques).....	48
Figure 40 -Histogramme et boxplot de l'image de l'anomalie située à 10 m au nord de la structure ENV_003_122 et à 5 m à l'ouest de la structure ENV_101_101 .....	51
Figure 41 - MNTS classifié suivant la méthode des quantiles en 16 classes - Anomalie située au nord de la structure ENV_003_122 au Pla de l'Orri. ....	52

Figure 42 - A gauche, une photographie aérienne prise par drone en octobre 2019 de la zone située à 5 m à l'ouest de la structure ENV_101_101 et à 10 au nord de la structure ENV_003_122 ; A droite, juxtaposition de la photographie aérienne prise par drone en octobre 2019 de la zone située à 5 m à l'ouest de la structure ENV_101_101 et à 10 au nord de la structure ENV_003_122 et le MNTS reclassifié fait à partir d'une image thermique prise par drone en 2018 .....	53
Figure 43 -Histogramme et boxplot de l'image thermique prise au-zénith de la structure AU_015_001.....	54
Figure 44 - Tests de discrétisation (réalisés avec l'application Magrit du CNRS) .....	55
Figure 45 - MNTS classifié suivant la méthode de progression géométrique de la structure AU_015_001.....	56
Figure 46 - Profils des températures sur l'image thermique – zone Nord - Enveitg. Localisation des profils et représentation des profils thermiques brutes et lissées avec les méthodes des moyennes mobiles avec une période de 2. ....	58
Figure 47 - Profils thermiques bruts et lissés (méthodes moyennes mobiles avec un ordre de 30) réalisés au niveau de la structure AU_015_001 – Secteur d'Avays (Réserve Naturelle d'Aulon).....	59
Figure 48 - Localisation des points de mesure XRF réalisés en 2019 au Pla de l'Orri (Enveitg - 66) .....	61
Figure 49 - Localisation des points de mesure XRF réalisés en 2019 au secteur de l'Auloueilh de la Réserve Naturelle d'Aulon (65).....	62
Figure 50 - A gauche réalisation d'un point de mesure avec une tarière manuelle de 20 cm de diamètre ; à droite, mesure avec l'XRF.....	64
Figure 51 - Tableau périodique des éléments (en vert, les éléments mesurés par l'XRF du laboratoire GEODE). 65	
Figure 52 –Tableau présentant les statistiques descriptives des mesures XRF du P, Mg, Mn, Zn et Cu.....	69
Figure 53 - Tableaux de répartition des effectifs de P, Mg, Mn, Zn et Cu en fonction de la profondeur (Boxplot et histogramme).....	70
Figure 54 – Histogramme des valeurs de la série statistique de P, Mn, Mg, Zn et Cu un cumulés pour la totalité des points de mesure en fonction de la profondeur .....	72
Figure 55 - Carte de densité de P par calcul de densité par noyau et par krigeage.....	74
Figure 56 - Résultat du krigeage de la valeur P en altimétrie .....	76
Figure 57 - Localisation des transect XRF dans le secteur de l'Auloueilh de la Réserve Naturelle d'Aulon .....	77
Figure 58 - Histogramme groupé des mesures de P .....	79
Figure 59 - Histogramme des valeurs de P classé par profondeur de mesure.....	80
Figure 60 - Dosage P, K et Ca - Site 2a.....	81
Figure 61 - Somme pondérée P, K et Ca - Site 2a.....	83
Figure 62 - Histogramme groupé des valeurs de P classées par profondeur des transects 2a et 2b .....	84
Figure 63 - Histogramme groupé des valeurs K et Ca classées par profondeur.....	84

Figure 64 - Dosage P, K et Ca du site 2b .....	86
Figure 65 - Somme pondérée de P + K + Ca du site 2b .....	87
Figure 66 - Site 1a : A gauche, boxplot (boîte à moustache) - Au centre, les statistiques descriptives - A droite, l'histogramme groupé (en abscisse les valeur en ppm ; en ordonnée la profondeur) .....	88
Figure 67 - Site 1a : Histogramme des mesures de P classées par profondeur (en abscisse les valeur en ppm ; en ordonnée la profondeur) .....	89
Figure 68 - Densité de P - Site 1a .....	90
Figure 69 - Site 1b : A gauche, boxplot (boîte à moustache) - Au centre, les statistiques descriptives - A droite, l'histogramme groupé (en abscisse les valeurs en ppm ; en ordonnée la profondeur).....	91
Figure 70 - Site 1b : Histogramme des mesures de P classées par profondeur (en abscisse les valeurs en ppm ; en ordonnée la profondeur) .....	91
Figure 71 - Densité de P - Site 1b .....	92
Figure 72 - Exemple de cible codée Photoscan.....	94
Figure 73 - Calcul d'ombrage.....	98
Figure 74 – Structures archéologiques visibles sur l'orthophotographie .....	99
Figure 75 - Ensembles pastoraux en bon état de conservation situés sur des zones herbeuses (à Gauche, Secteur d'Aulon - Station de ski de Saint-Lary-Soulan ; à droite, secteur d'Avays, Réserve naturelle d'Aulon) .	106
Figure 76 - Ensemble pastoral installé dans un chaos rocheux (Estive d'Anéou - 64) .....	107
Figure 77 - Structures arasées - Murs visibles par un alignement de pierre et un microrelief (Estive d'Anéou - 64) .....	107
Figure 78 - Crop marks .....	109
Figure 79 - Comparaison des structures vues par photo-interprétation (en orange) à partir des orthophotographies de l'IGN produites en 2016 (pixel = 27 cm) et en prospection (en bleu) .....	110
Figure 80 - Comparaison des structures vues par photo-interprétation (en rouge) à partir d'une acquisition par drone à 100 m d'altitude faites par Olivier Barge du laboratoire Archéorient (UMR 5133) (pixel 8 cm) et en prospection (en bleu).....	111
Figure 81 - Réflectance des bandes spectrales sur les végétaux .....	114
Figure 82 - Signature spectrale des végétaux .....	115
Figure 83 - Principe du stress hydrique des plantes.....	116
Figure 84 - Principe de la classification non supervisée .....	117
Figure 85 - Principe de le classification supervisée .....	118
Figure 86 - DT18 (Photo. Nicolas Poirier) .....	119

---

Figure 87 - Principe de la thermographie en archéologie .....	120
Figure 88 - Principe de l'acquisition par lasergrammétrie aéroportée par avion .....	121
Figure 89 - Principe acquisition lasergrammétrie par drone .....	122
Figure 90 - Photogrammétrie par drone .....	123
Figure 91 - Principe de fonctionnement du géoradar .....	124
Figure 92 - Relevé au géoradar (Photo Poirier. Nicolas) .....	125
Figure 93 - Principe de fonctionnement du magnétomètre .....	126
Figure 94 - Magnétomètre GSM-19 .....	126
Figure 95 - Tableau périodique des éléments .....	128
Figure 96 - Principe de l'altitude .....	129
Figure 97-Principe de l'azimut.....	129
Figure 98 - Principe du Skyview Factor .....	130
Figure 99-PCV (Position du Ciel Visible) .....	134

# T.A.H.M.M

2019

