

## Diap 1

Je vous remercie de m'avoir invité à vous présenter les résultats de nos travaux.

Le programme Mont'Prospect est purement méthodologique. Il vise à renouveler les techniques de prospection archéologique en haute montagne.

Ce programme regroupe des chercheurs et des ingénieurs de différents laboratoires d'archéologie, de paléo-environnement, des sciences de la terre, de géophysique, de télédétection et d'informatique. D'abord toulousain, ce programme s'est ouvert en 2023, à des partenaires de Franche-Comté et d'Espagne.

## Diap 2

En premier lieu, il faut savoir que l'archéologie de la haute montagne est relativement récente. C'est Christine Rendu, directrice de recherche au CNRS qui a, il y a presque 30 ans, ouvert ce champ de recherche.

Décider de travailler en haute montagne demande de prendre en compte certaines spécificités,

Dans un premier temps, l'accès aux zones de travail peut nécessiter plusieurs heures de marche d'approche sur des pentes abruptes. Donc, travailler en haute montagne demande d'adapter les outils de relevé pour pouvoir les transporter soit à dos ou d'organiser un muletage, ou enfin d'arriver à financer un hélicoptage.

L'accès aux zones d'étude est également limité dans le temps. En effet, au-delà de 2000 m d'altitude, les pâturages sont enneigés presque 6 mois de l'année, La programmation des opérations est donc contrainte.

De plus, l'accès à ces territoires peut également être limité en raison de différentes mesures de protection. Ainsi, on peut avoir des créneaux de temps restreint par les gestionnaires de ces espaces pour ne pas perturber le bétail, la flore ou la faune. Par exemple, en raison de la présence d'un couple de Gypaète Barbu sur une de nos zones d'étude, nous ne pouvons faire les hélicoptages et faire voler les drones qu'entre la disparition de la neige et début du mois de juin ou à partir du mois de septembre.

## Diap 3

Une autre spécificité de l'archéologie de la haute montagne vient des objets archéologiques eux mêmes.

Contrairement à la plaine, le faible impact anthropique et la forte densité du couvert végétal scelle les vestiges. Ce que voit l'archéologue sont des plans de bâtiments construits en pierre sèches, plus ou moins bien conservés, ainsi que des déformations du sol qui traduisent la présence sous-jacente de murs très arasés.

De plus, la densité du couvert végétal, l'absence de travail de la terre et la quasi-absence des animaux fouisseurs, empêchent la remontée du mobilier archéologique en surface. Ces structures ne sont, sur les seules données de surface, pas datable à priori.

#### **Diap 4**

Mais, tous les vestiges archéologiques ne sont pas visibles en surface par les archéologues.

Les infrastructures, construites en matériaux périssables, échappent à toutes perceptions en surface. Ainsi, faute de détection, la part que représente ce type de construction est actuellement inconnu. Pourtant, nous savons, grâce aux recherches historiques, à l'ethnologie et aux parfois à des témoignages actuels, que ce type de construction a été utilisé et est encore utilisé en montagne.

#### **Diap 5**

Toutes ces particularités font que la phase primaire du travail archéologique, la prospection, est chronophage.

Nous avons estimé qu'un archéologue peut prospecter, à pied, environ 170 hectares par mois. Dans ces 170 hectares sont pris en compte des espaces qui n'ont pas pu faire l'objet d'occupation car les pentes y sont trop raides. C'est le cas ici, pour la partie sommitale du pic du Midi d'Ossau. Il n'en reste pas moins que le travail de prospection est long. Par exemple, toujours autour du Pic du Midi d'Ossau, il nous aura fallu 4 ans, à 1 mois de terrain par ans à deux personnes, pour pouvoir inventorier 272 structures sur les 1300 hectares de la zone d'étude.

#### **Diap 6**

Lorsque l'on est archéologue et que l'on cherche à étudier l'évolution des modes de gestion des estives, des pratiques pastorales et de les comparer aux dynamiques observés sur d'autres montagnes, force est de constater que l'acquisition des données primaires se heurte à deux obstacles méthodologiques majeurs.

Le premier.

Comment travailler sur des territoires plus vastes et plus rapidement qu'actuellement, c'est à dire à pied ?

Et le second.

Comment réaliser un inventaire archéologique, fiable, qui puisse inclure les infrastructures bâtit en pierre sèche, les constructions réalisées en matériaux périssables et celles totalement recouvertes par la végétation ou les colluvions ?

Le programme Mont'Prospect cherche à trouver des procédures d'acquisition, de traitement et d'analyse de données qui permettent de résoudre ces deux problèmes méthodologiques en s'appuyant sur une approche multi-source, sur des outils essentiellement non-invasifs et sur l'utilisation de l'intelligence artificielle.

### Diap 7

Ce programme bénéficie de l'équipement scientifique et technique de la plateforme Archéoscience des laboratoires TRACES et GEODE.

Nous utilisons des technologies très différentes... de l'imagerie satellitaire, des acquisitions lidar par avion, des drones équipés de différents capteurs (lidar, photogrammétrie, imagerie multispectrale et thermographie), des équipements géophysiques et nous faisons des analyses chimiques des sols.

Chacune de ces technologies est utilisée à différentes échelles d'analyse, de l'approche d'un massif montagneux à la macro-molécule.

### Diap 8

2023 marque une date importante pour Mont'Prospect par son passage en phase opérationnelle pour les acquisitions drones (Lidar, photogrammétrie, thermographie et multispectral) et géophysique (géoradar et magnétomètre). Ce changement d'échelle, a permis d'ouvrir ce projet à quatre programmes scientifiques partenaires :

- Le programme « Paacte » (dirigé par M.-C. Bal -Geode-UMR 6203) qui étudie les formes de résiliences de la filière pastorale d'Occitanie en réponse au dérèglement climatique.,
- Le programme « Gravure rupestre » dirigé par P. Foucher (Conservateur -Service Régional de l'Archéologie d'Occitanie) qui étudie des gravures rupestres de l'âge du Bronze et cherche à les relier aux activités humaines dont l'activité pastorale,
- le Programme Collectif de Recherche (PCR) « Habiter la montagne » dirigé par C. Rendu (Framespa-UMR 5136) qui regroupe des chercheurs travaillant sur le pastoralisme pyrénéen.
- De plus, les méthodes développées dans Mont'Prospect sont enseignées notamment via le co-encadrement d'un Master 2 recherche sur l'approche ethnoarchéologique des pratiques pastorales porcines, en Cize et en Soule dans le Pays basque. Ce Master est réalisé par Malialen Gauthier à l'Université de Toulouse Jean Jaurès sous la direction de Christine Rendu et de Florent Hautefeuille.

### Diap 9

En 2023, 5 terrains répartis sur l'ensemble de la chaîne pyrénéenne ont été inspectés et archéologiquement évalués.

Cela a nécessité

11 jours de travail effectif

1813 km de camion

3 héliportages pour le transport de 150 kg de matériel scientifique

L'organisation d'un campement en auto-suffisance à 2000 m d'altitude.

Ce travail a permis de documenter

101 hectares en couvertures drones équipés de différents capteurs

3600 m<sup>2</sup> ont été inspectés au magnétomètre et 900 m<sup>2</sup> au géoradar

Et nous avons effectués 8 carottages sédimentaires

Actuellement, la base de données spatialisées qui reprend toutes les données issues des 8 terrains d'étude du programme Mont'Prospect regroupe 683 structures.

### **Diap 10**

En 2023, via le programme ISI du CNES, Mont'Prospect a pu bénéficier d'une programmation d'acquisition d'images Pléiade sur 1241 km<sup>2</sup> de la vallée d'Aure (Hautes-Pyrénées) située au centre des Pyrénées à la vallée d'Aspe dans les Pyrénées-Atlantiques. Ces images sont en cours d'exploitation par Luc Lapierre de la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection.

### **Diap 11**

Comme je vous l'ai indiqué, en 2023, nous avons intégré dans le processus de recherche les données Lidar HD de l'IGN. Nous avons actuellement traité 4308 hectares. Pour 2 terrains nous avons pu comparer les résultats de l'analyse des données lidar de l'IGN et des données de prospection pédestre. Bien que la détection ne soit pas parfaite et dépende notamment de l'environnement, en montagne, l'exploitation du Lidar HD de l'IGN, permet d'avoir une image globale de la répartition spatiale des vestiges archéologiques et d'affiner la stratégie d'approche. Analyser ces données avant toute première intervention sur le terrain est une étape à notre avis indispensable.

### **Diap 12**

Les procédures drones et géophysiques sont aujourd'hui totalement passées en routine.

Ainsi, nous faisons des acquisitions drone pour de la photogrammétrie. Ce qui permet de disposer d'orthophotographie et de modèles numériques fins de faire des relevés pierres à pierres, de prendre des mesures, et de faire des profils.

### **Diap 13**

Nous réalisons également des acquisitions drone multispectrales et thermiques sur des dizaines d'hectares.

En fait, le grand intérêt des drones est de pouvoir documenter un espace continu.

La télédétection, le Lidar HD de l'IGN et les drones font partie de la première cohorte d'appareillage mis en place. Ils permettent d'établir un inventaire de ce qui est visibles en surface et d'avoir quelques indications sur la présence d'infrastructure sous-jacentes.

### **Diap 14**

Sont ensuite déployés les appareillages de géophysiques.

Ils concernent des espaces beaucoup plus restreints, à l'échelle de la structure, du regroupement de structure ou des espaces perçus comme « vides » entre les structures.

### **Diap 15**

Depuis 2018, nous cherchons à localiser les aires de stabulation non-encloses avec des murs en pierres sèches. Pour ce faire, nous utilisons un Spectromètre à Rayon X pour mesurer les éléments chimiques. Nous traçons les éléments indicateurs des fumures comme le Phosphore dont vous avez ici en bas un exemple sur un couloir de traite. Dans cet exemple, il est possible de voir que la concentration des Phosphates varie en altitude et retracent les zones ayant été occupées par du bétail.

En 2023, nous avons élargi les méthodes. Nous avons mis en place une collaboration avec Matthieu Le Bailly du laboratoire Chrono-environnement et Josu Nabarte Hernandez de l'Université du Pays Basque pour l'établissement d'un protocole expérimental qui intègre la paléo-parasitologie et l'ADN sédimentaire. Le but est de pouvoir mesurer finement les variations de pression pastorales et de l'occupation sans moyenniser les données, c'est-à-dire en conservant l'information stratifiées et donc l'altitude.

## Diap 16

Afin, en 2023, nous avons fait une proposition de stage de Master au laboratoire IRIT pour le traitement des données non-structurées (nuage de points lidar par avion, par drone et photogrammétrie) pour identifier et localiser des vestiges archéologiques masqués par une végétation arborée mais surtout par la végétation basse et ligneuse de type rhododendron, genêt, genévrier ou myrtille. Ce stage est financé par le laboratoire IRIT. Il sera encadré par [Nicolas Mellado](#), Chargé de Recherche au CNRS, [Nicolas Dobigeon](#), Professeur des Universités à l'institut National Polytechnique, tous deux du laboratoire IRIT, par [Claire Marais-Sicre](#) Ingénieure au laboratoire CESBIO et par moi-même. Il se déroulera de mars à juillet 2024.

Il s'agira là de la première étape pour l'insertion de l'Intelligence Artificielle dans les procédures de traitement et d'analyse des données.

La seconde étape sera de mettre en place des chaînes de traitement qui permettent de « fusionner » toutes les informations acquises pour affiner la détection et dépasser ce que nous faisons actuellement, c'est-à-dire observer un à un les résultats de chaque acquisition, de chaque appareillages mis en œuvre. Sur ce point préciser Jordi Inglada du CNES viendra renforcer l'équipe former par Nicolas Mellado et Nicolas Dobigeon.

Toutefois, l'implication de l'Intelligence Artificielle ne pourra prendre de réelle l'ampleur que par le financement de Contrat à Durée Déterminée, de Doctorat ou de Post-doctorat.

Je vous remercie