A photograph of a karst cave interior, showing a large, irregularly shaped rock formation with a light beige and tan color palette. The rock surface is textured and shows signs of erosion and fracturing. A white text box is overlaid on the left side of the image, containing the title in white, bold, sans-serif capital letters. The background of the slide is a gradient from blue on the left to white on the right.

# LA MODÉLISATION 3D DES MORPHOLOGIES KARSTIQUES, UN OUTIL POUR LA DESCRIPTION DU KARST ET DU MILIEU SOUTERRAIN, SON ÉTUDE ET SA CONSERVATION

*DIDIER CAILHOL*

*TRACES - UNIVERSITÉ TOULOUSE JEAN JAURÈS*

*ASSOCIATION FRANÇAISE DE KARSTOLOGIE*

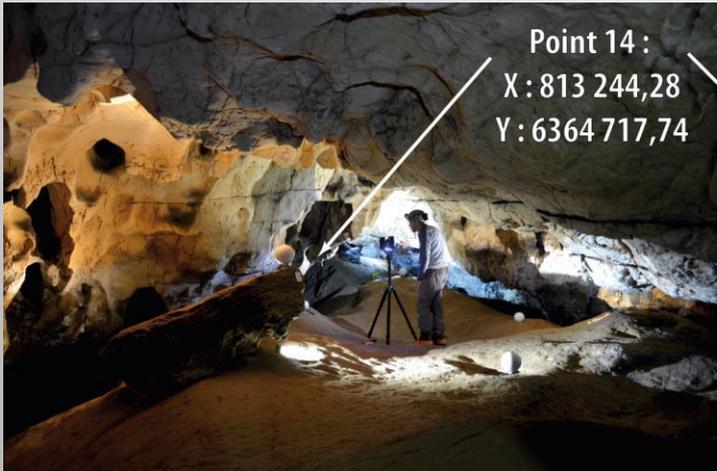
*Rendez-vous du karst de Bourgogne Franche-Comté 12/12/2024*



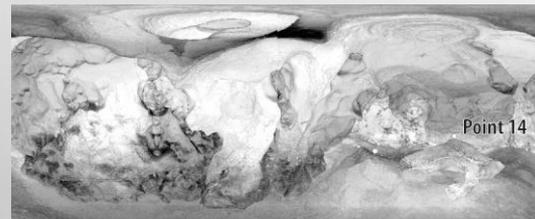
A photograph of a person in a cave, wearing a grey jacket and dark pants, standing next to a camera mounted on a black tripod. The person is positioned in the center of the frame, facing away from the camera. The cave walls are rugged and textured, with some areas illuminated by warm, yellowish light and others by cooler, blueish light. Several white spherical markers are placed on the cave floor and walls. The overall scene is dimly lit, emphasizing the textures of the rock.

# MÉTHODOLOGIE D'ACQUISITION D'UN MODÈLE NUMÉRIQUE

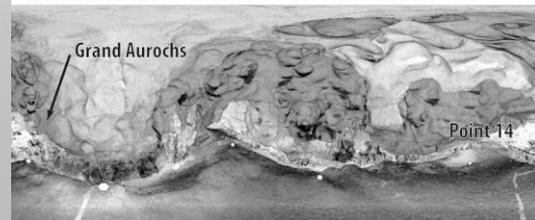
# GÉORÉFÉRENCER ET DIMENSIONNER UN MODÈLE NUMÉRIQUE



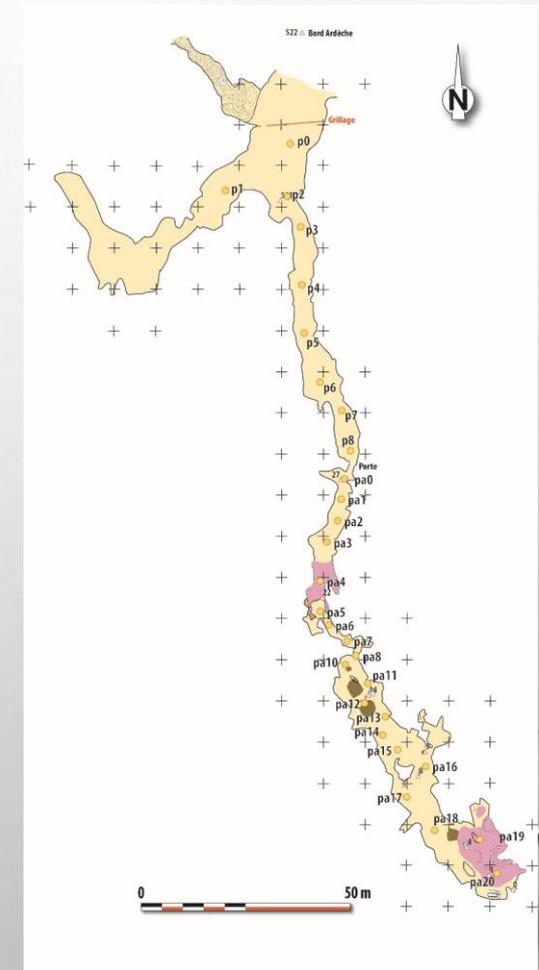
# ACQUISITION LASERSCAN TERRESTRE (TSL)



Point 14



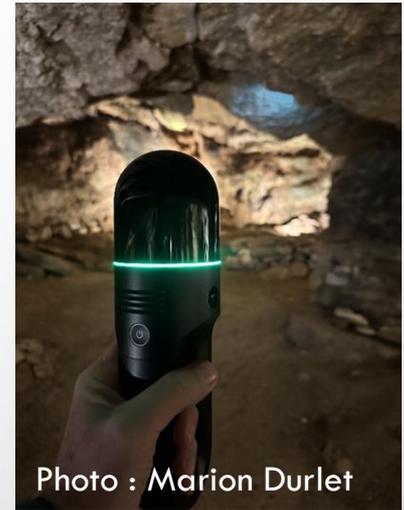
Point 14



# ACQUISITION LASERSCAN MOBILE (MSL)

## BLK 2GO Leica

- Système LiDAR double, à décalage de phase avec un champ de vision de  $360^\circ$  en horizontal et de  $270^\circ$  suivant le plan vertical.
- La portée minimale est de 1 m et la maximale de 25 m.
- Fréquence de points de 420 000 pts/s. Une caméra à haute résolution de 12 Mpixel,  $90^\circ \times 120^\circ$ , à obturateur déroulant.
- Un système de vision panoramique à 3 caméras, 4,8 Mpixel  $300^\circ \times 135^\circ$  à obturateur global.
- Le bruit de portée est de  $\pm 3$  mm et la précision du nuage de points est de  $\pm 10$  mm.



# LA PHOTOGRAMMÉTRIE

## QU'EST -CE QUE LA PHOTOGRAMMÉTRIE ?

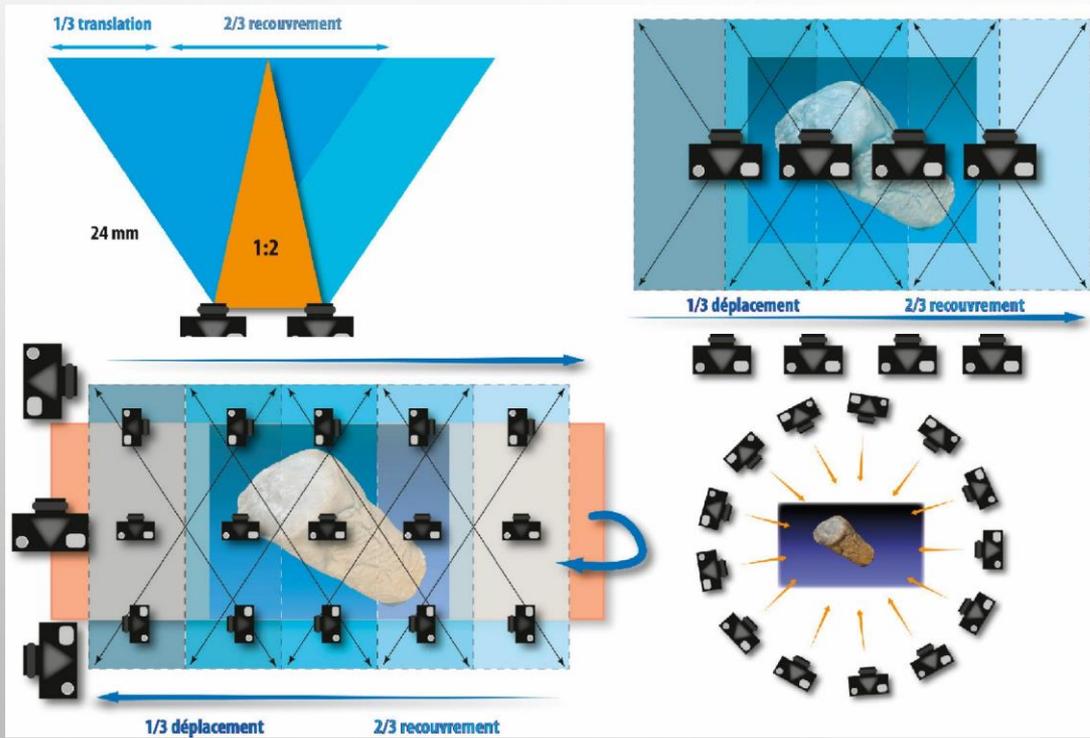
- Avec les capacités de l'informatique, elle exploite les possibilités offertes par les calculs de corrélation entre des images numériques.
- Cette technique consiste en la reconnaissance automatique de pixels homologues sur une surface définie.
- Des algorithmes d'analyse d'images se substituent à la vision humaine en associant à tout point d'une image A, un point homologue dans une image B. Par calcul, l'ordinateur procède à une lecture stéréoscopique de la scène pour déterminer les positions relatives de chaque point.
- La multiplication du processus à un grand nombre de points de vue permet de fiabiliser les calculs de position de chaque pixel en divisant l'erreur tout en augmentant l'étendue de la modélisation 3D (Cassen et al.,2012).

# MÉTHODOLOGIE DE PRISES DE PHOTOS

Configuration de l'appareil photo et des objectifs



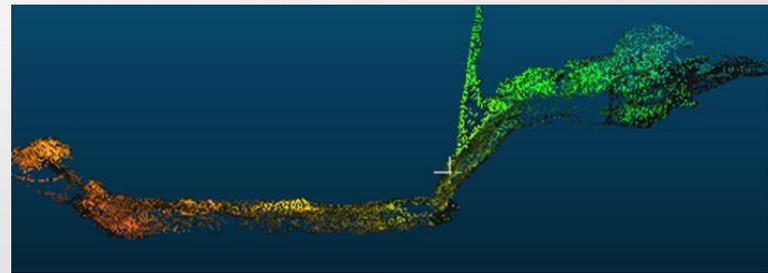
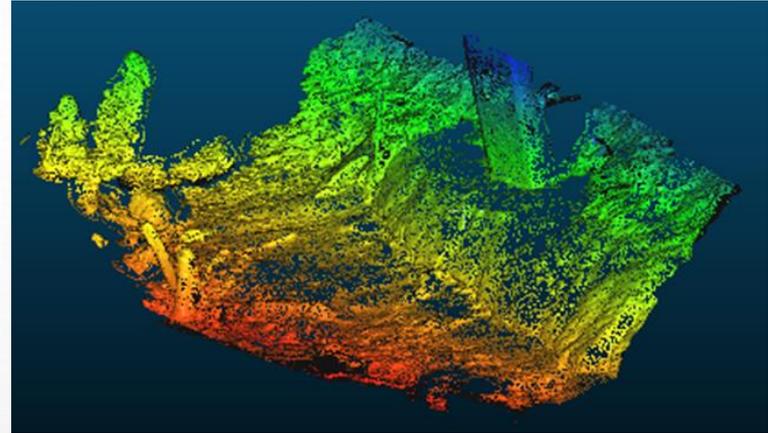
# TECHNIQUES D'ACQUISITION DES IMAGES POUR LA PHOTOGRAMMÉTRIE



# LA MODÉLISATION À PARTIR DE LA PHOTOGRAMMÉTRIE



Modèle triangulé et texturé  
issu du traitement  
photogrammétrique obtenu  
avec les logiciels Photoscan ou  
Meshroom.



Traitement du modèle 3D avec Cloudcompare :

- Assemblage de plusieurs modèles photogrammétriques,
- Génération de champs scalaires pour l'analyse,
- Génération de profils en long et de sections

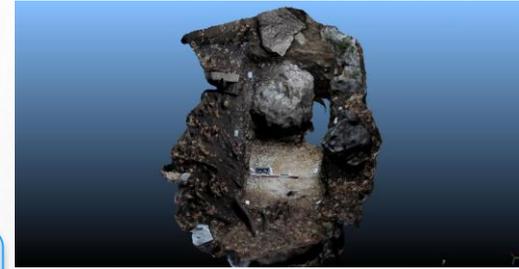
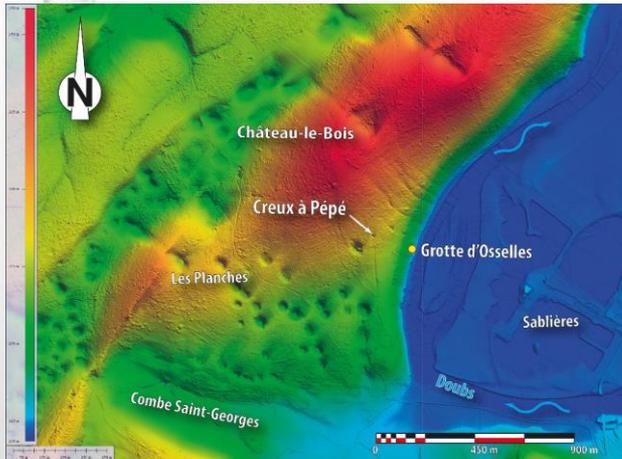
# LES FORMATS ET TRAITEMENTS DES MODÈLES NUMÉRIQUES

- Pour une utilisation en 3D, le modèle est exporté au format Wavefront (\*.obj) qui ne retiendra que le maillage et sa texture. Cette exportation produit 4 fichiers : Bloc.obj (le maillage 3D), Bloc.mtl (les paramètres de texture) et Bloc.jpg (la texture). Pour le traitement géométrique et topographique, on utilisera des format de fichiers .laz ou .e57 .

- Ces types de fichiers sont ouvrables par les logiciels suivants : 3DStudio, Cinema4D, Blender (logiciel libre), CloudCompare et Meshlab (logiciels libres). Les assemblages et les travaux de tritements et d'analyses se font avec CloudCompare ou Meshlab.
- Les logiciels 3DStudio, Cinema4D ou Blender permettent de choisir des points de vue pertinents du maillage tridimensionnel et de produire des vues en projection orthogonale des faces du bloc à l'échelle.

Il est également possible d'exporter que le nuage dense de points au format (\*.PLY). Ce type de fichier peut être ouvert avec CloudCompare, logiciel qui permet l'assemblage de plusieurs modèles pour la description d'une ou plusieurs galeries, de réaliser des sections vectorielles dans le nuage de points.

# CARTOGRAPHIE ET GÉOMATIQUE



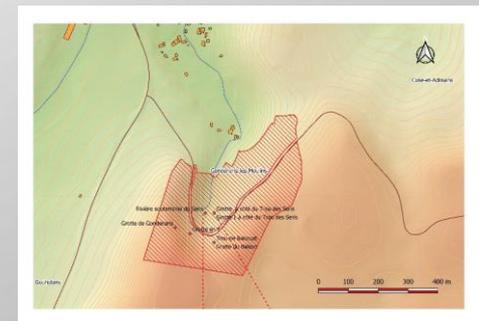
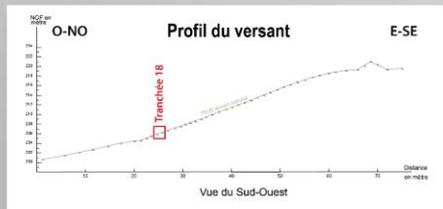
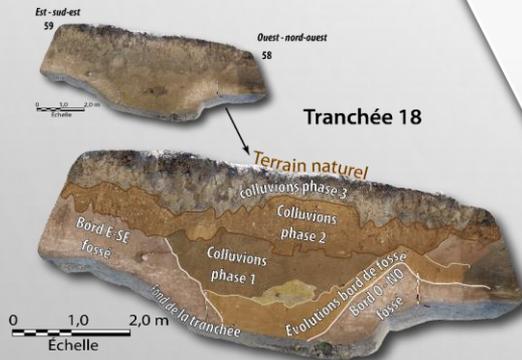
**Modèle tiré de la photogrammétrie**

**DEM et cartographie 2D**

**SIG**

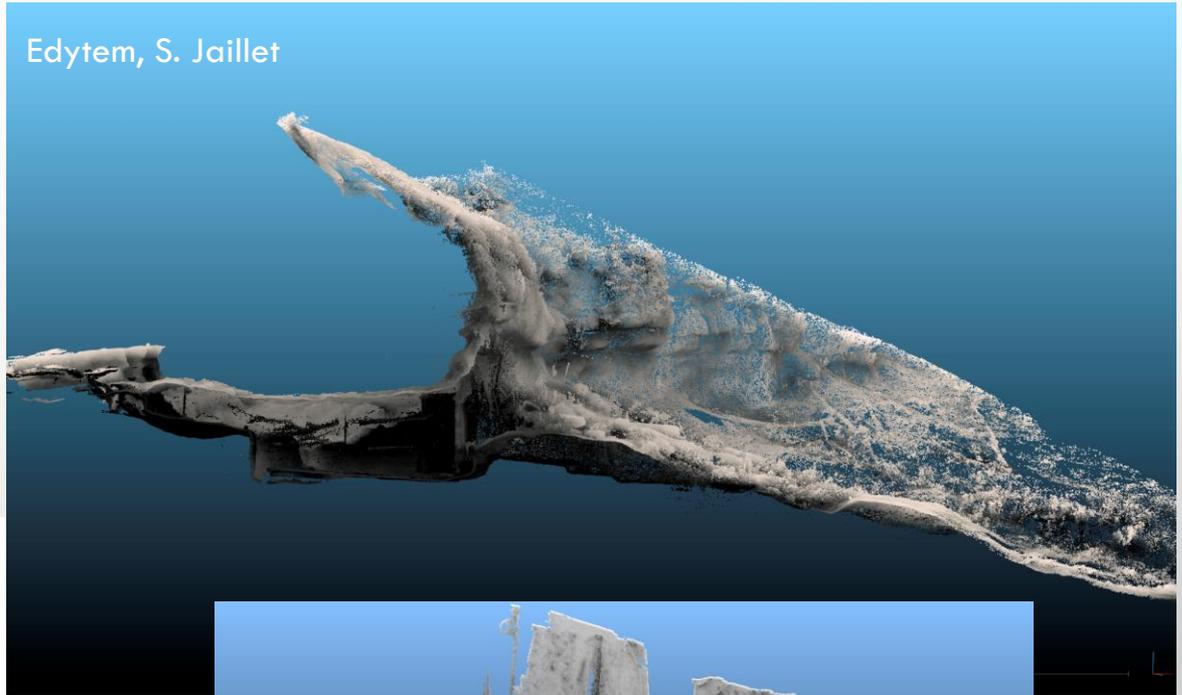
**Analyses spatiales**

**Cartes**



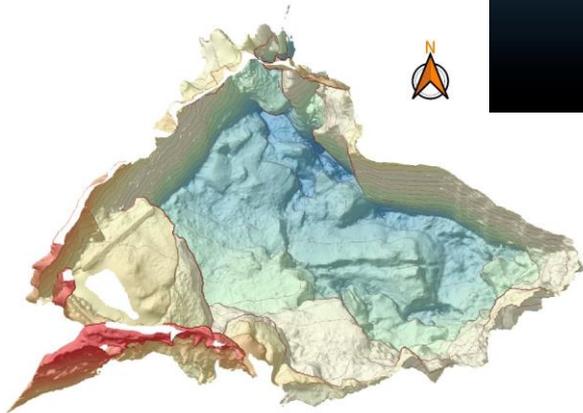
# APPLICATION À L'ARCHÉOLOGIE

Edytem, S. Jaillet

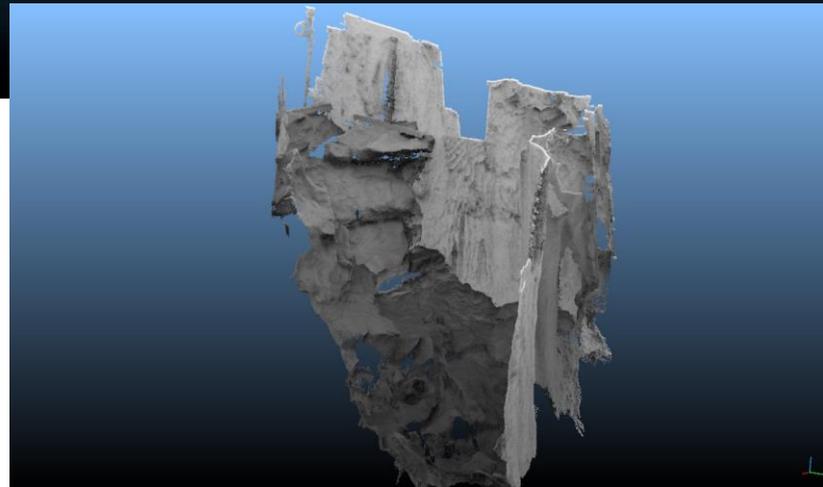


Altitude

-1,62  
-1,49  
-1,37  
-1,24  
-1,12  
-0,99  
-0,87  
-0,74  
-0,62  
-0,49  
-0,37  
-0,24  
-0,12  
0,01  
0,13  
0,26  
0,38  
0,51  
0,63  
0,76

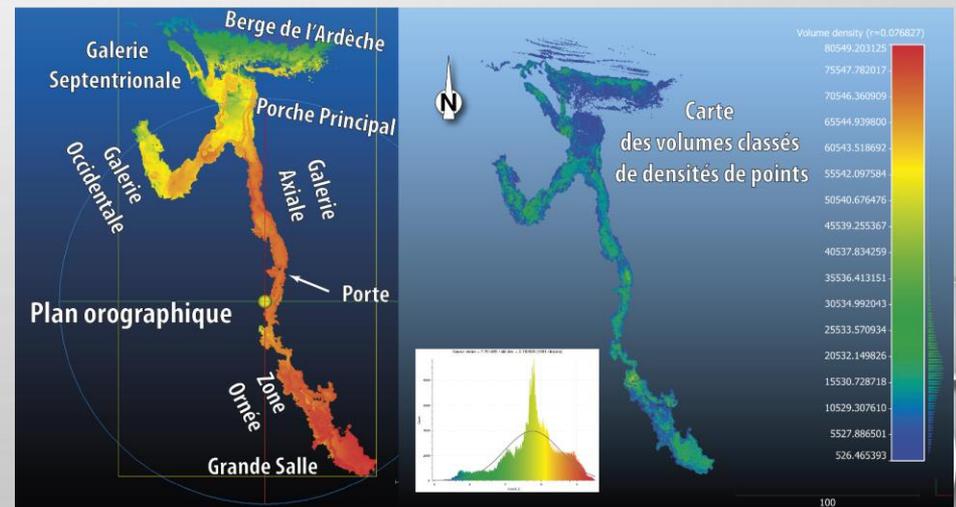
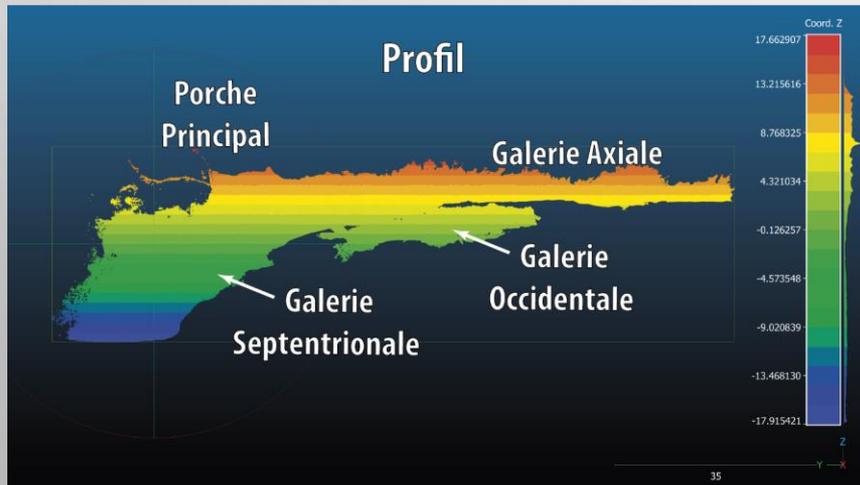
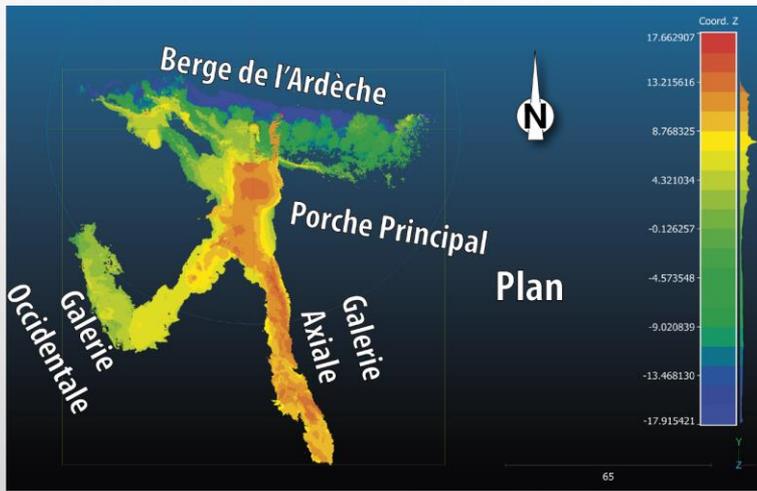


0 0,25 0,5 0,75 1 m

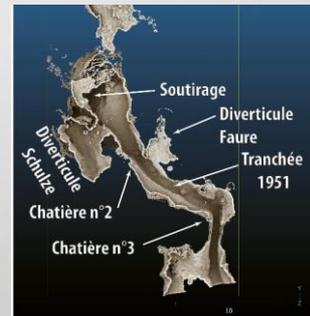
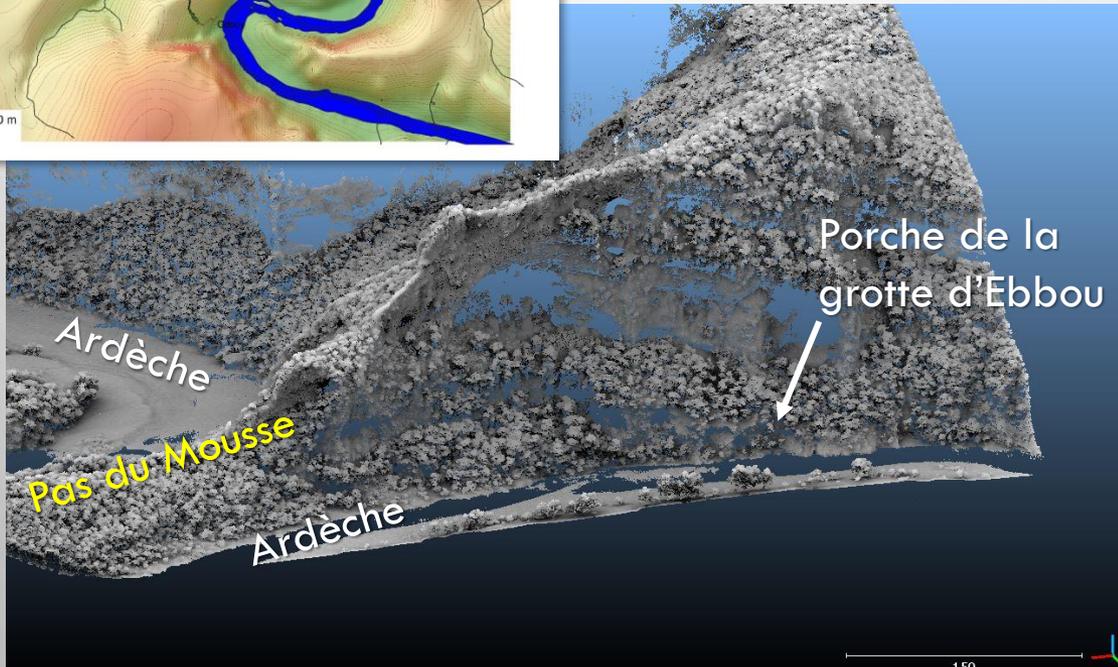
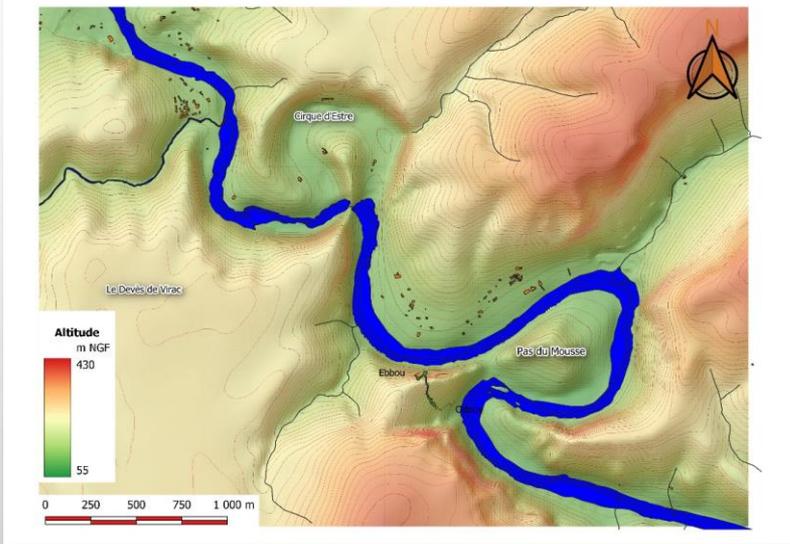


# GROTTE D'EBBOU ARDÈCHE

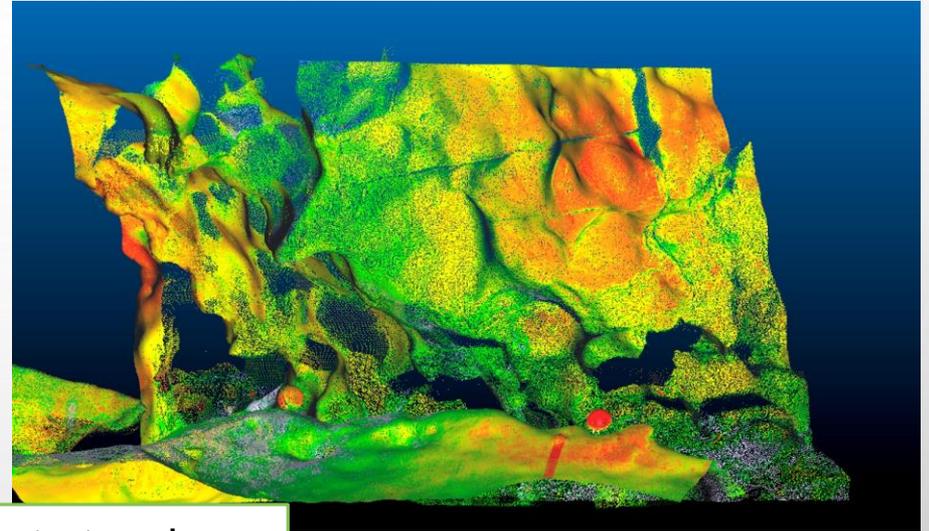
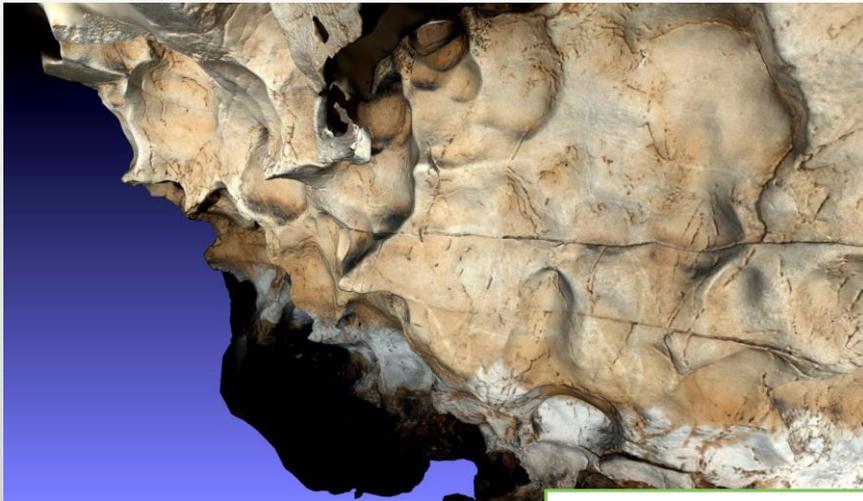
Modèle numérique de la grotte obtenu à partir des nuages de points des levés avec le MLS



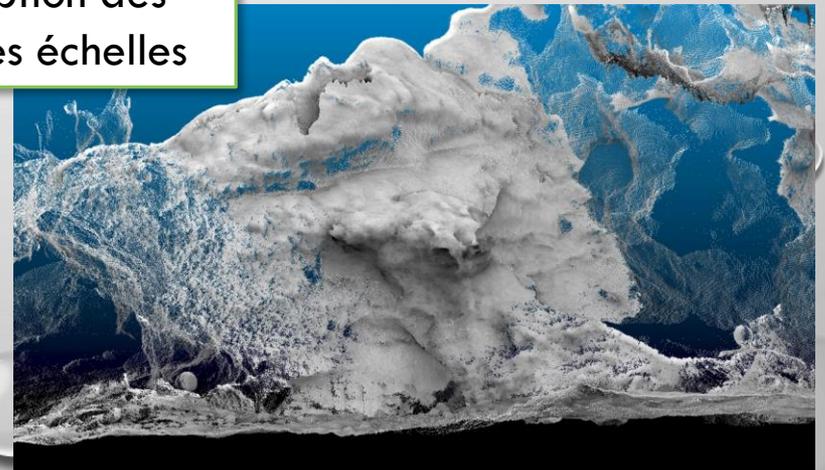
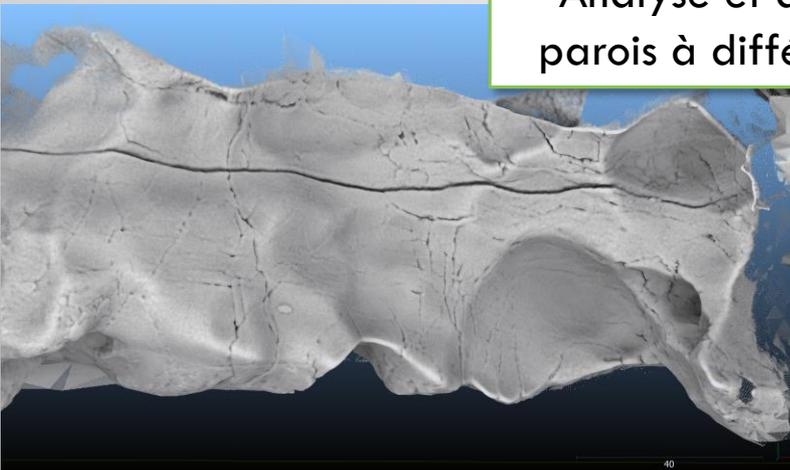
# LA DESCRIPTION DU SITE À PARTIR DES MODÈLES NUMÉRIQUES



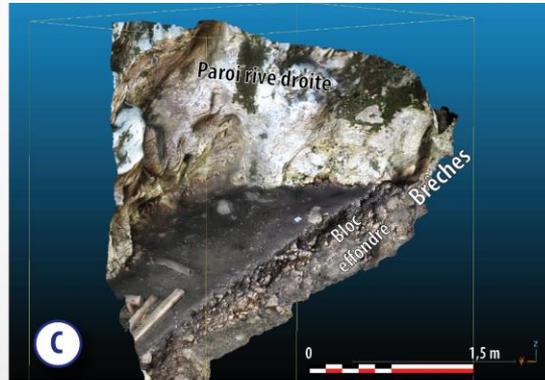
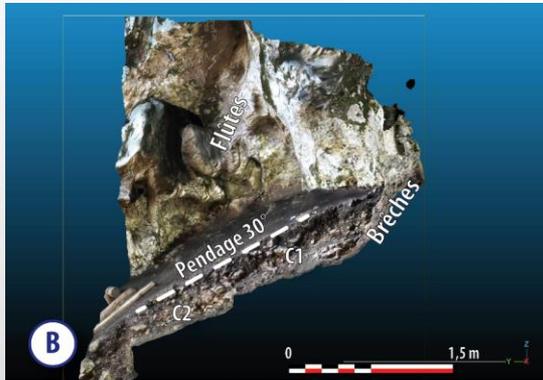
# LA DESCRIPTION DU SITE À PARTIR DES MODÈLES NUMÉRIQUES



Analyse et description des  
parois à différentes échelles



# ARCHÉOLOGIE : TUTE DU PÉLERIN



Description et compréhension des évolutions d'une cavité décapitée et de ses occupations humaines au cours du Paléolithique moyen et supérieur

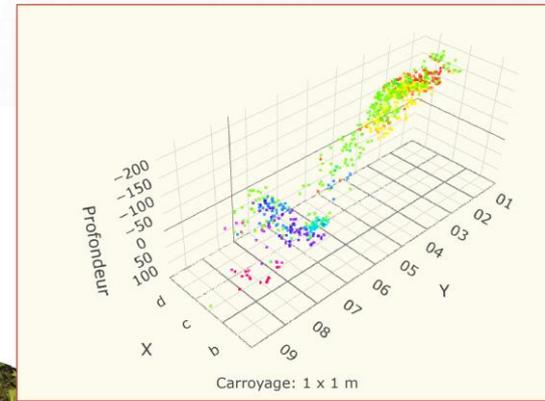


Analyses des morphologies de parois et du contexte des stratigraphies

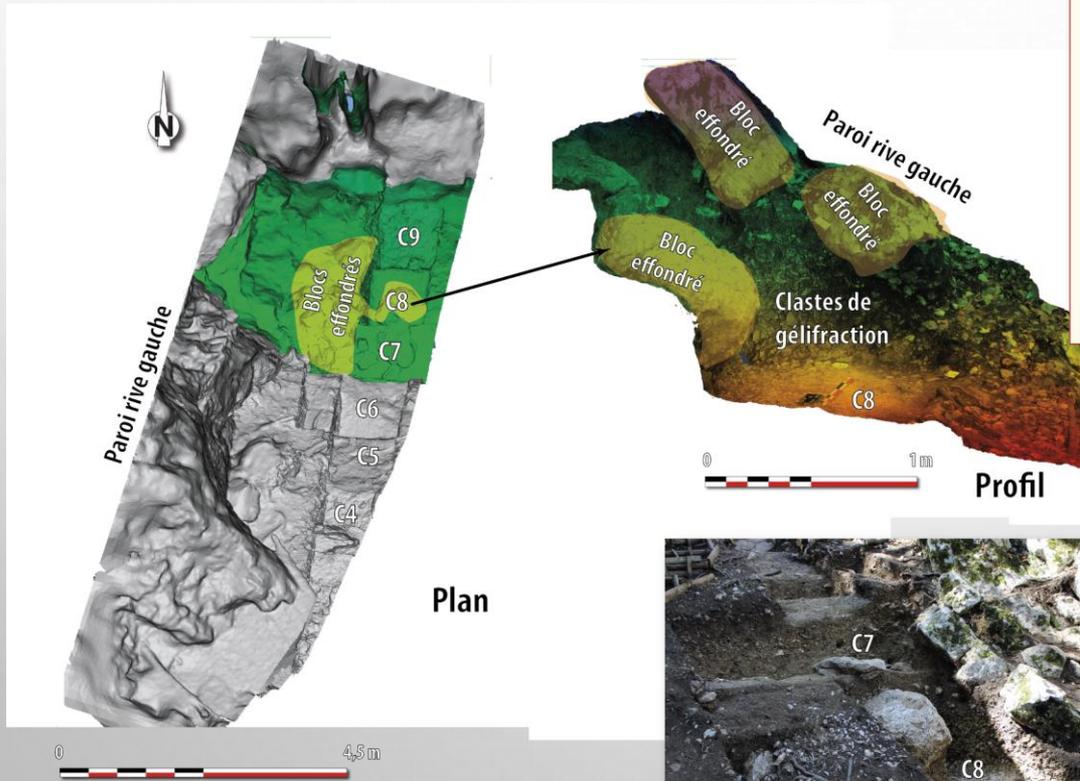


# ARCHÉOLOGIE : TUTE DU PÉLERIN

Dispersion des artefacts archéologiques dans les séquences de sondage



- 1c
- 1b
- 1d
- 1c-2a
- f1
- 1a
- 1c-f1
- sans couche
- 2/2ca
- 2cab
- 2ca
- 2a
- 1-2
- 2/2b
- 2b
- 2c
- 1/2c
- 3
- 3b

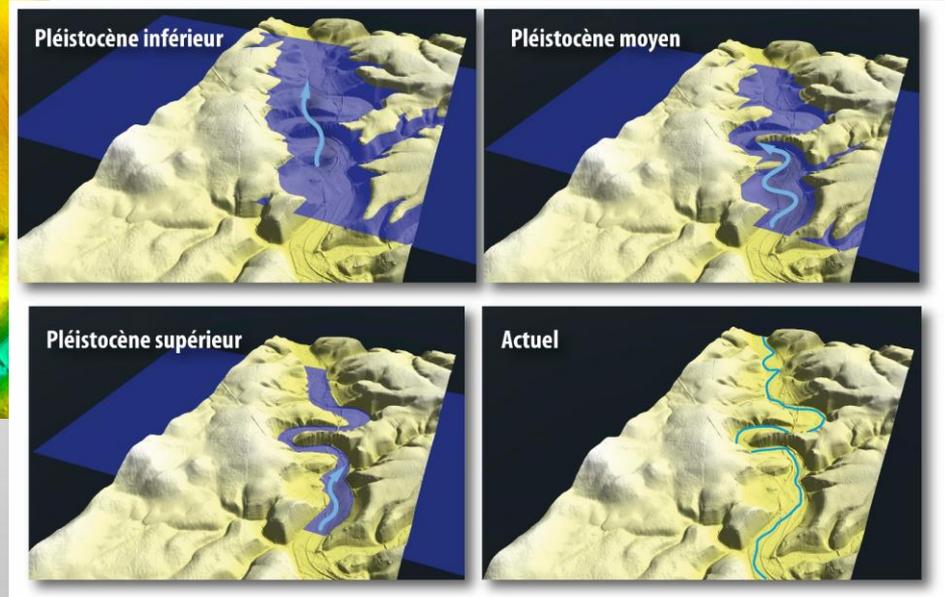
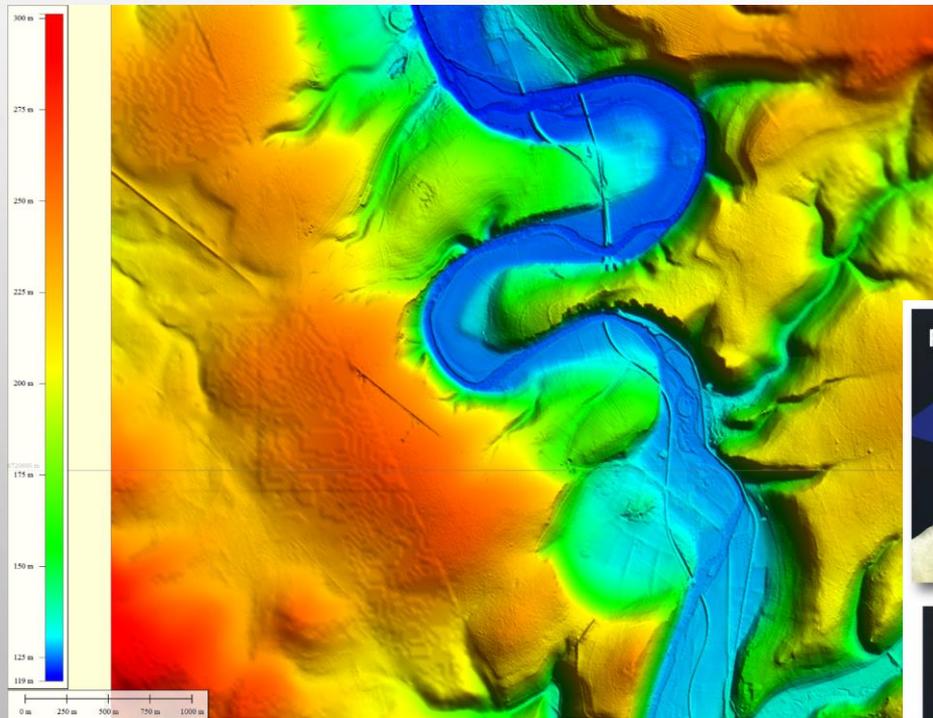


Dynamique d'évolution du recul du porche de la grotte

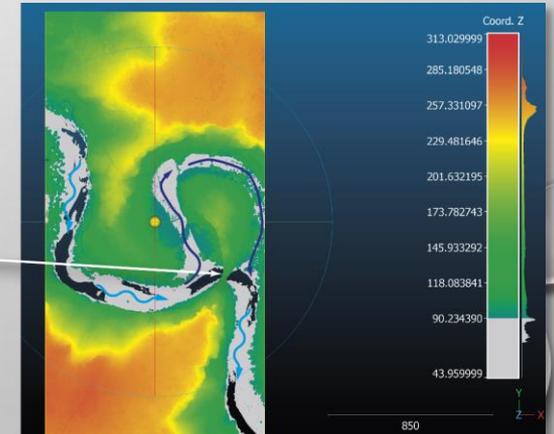
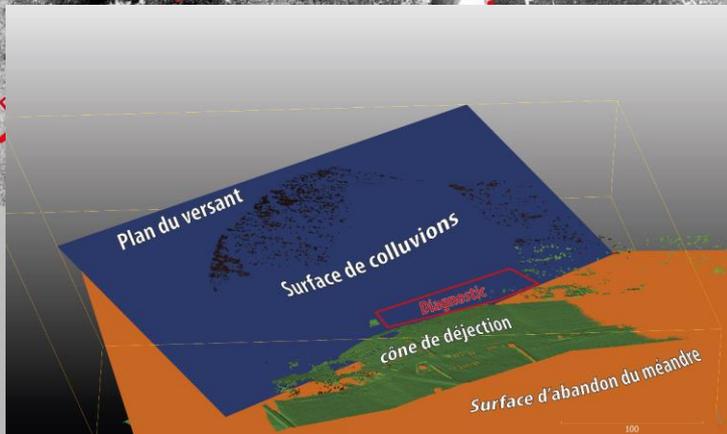
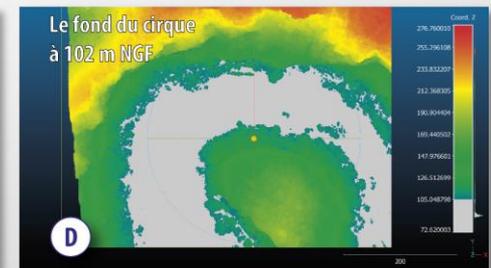
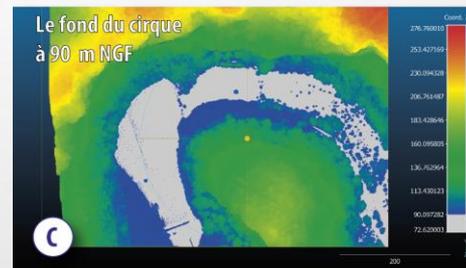
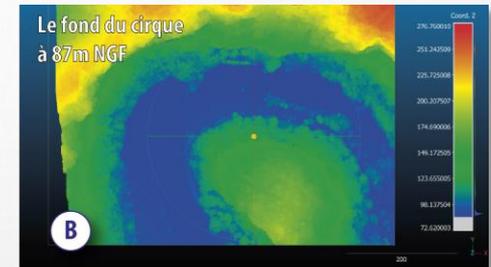
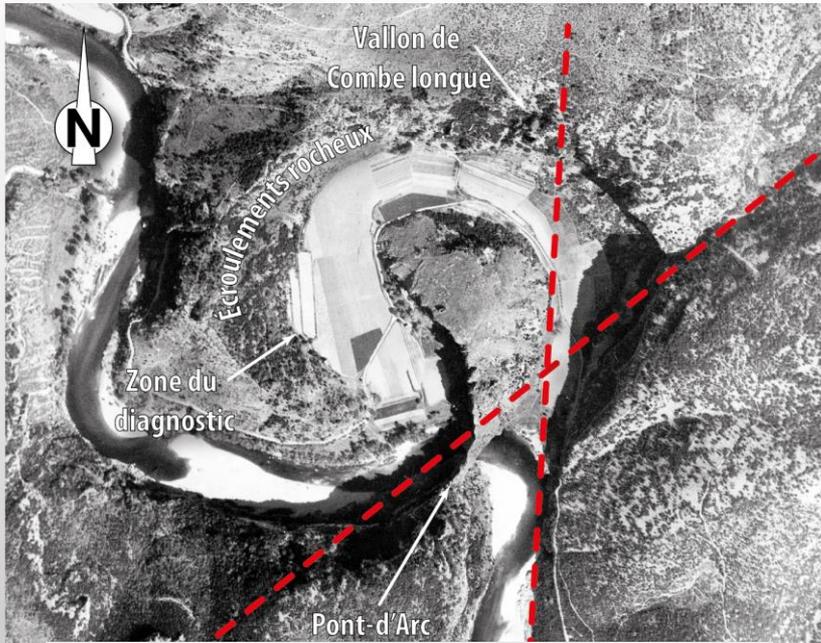


Description et analyses fines des niveaux stratigraphiques

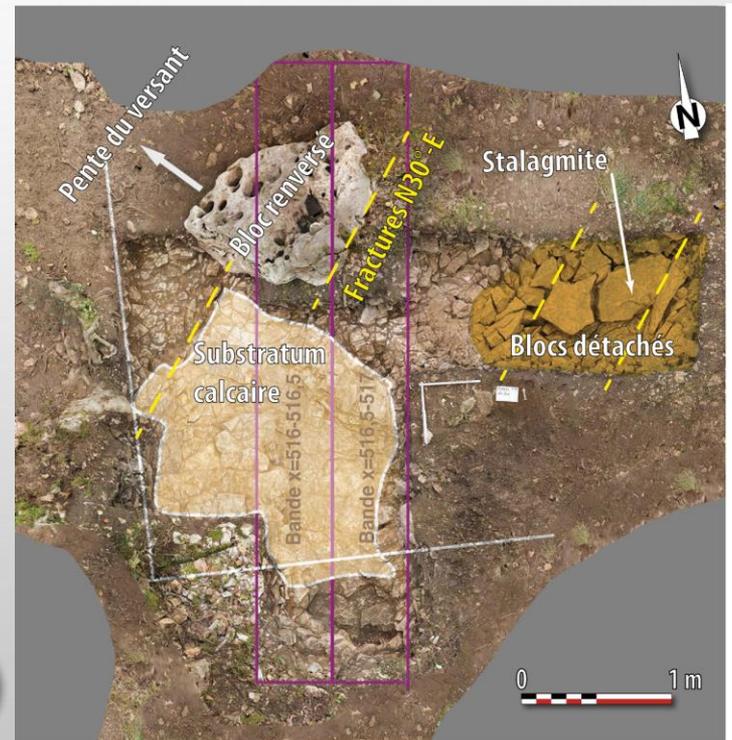
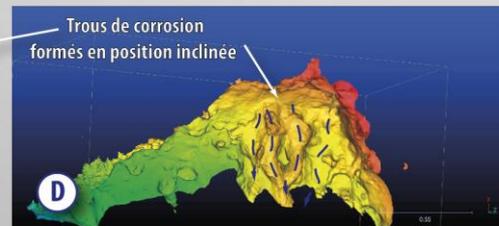
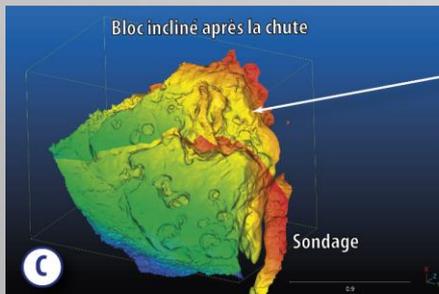
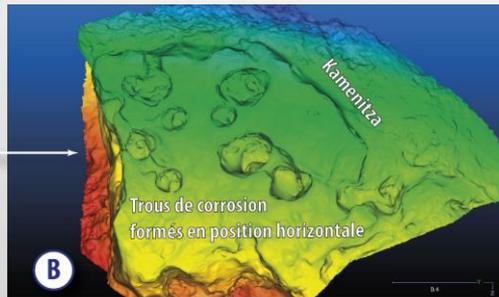
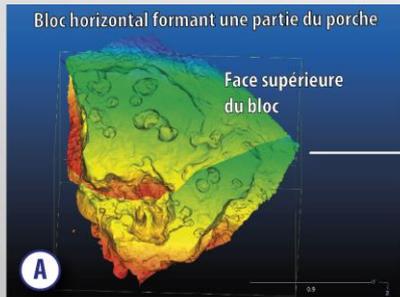
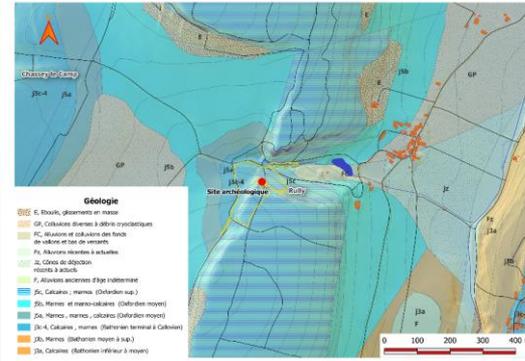
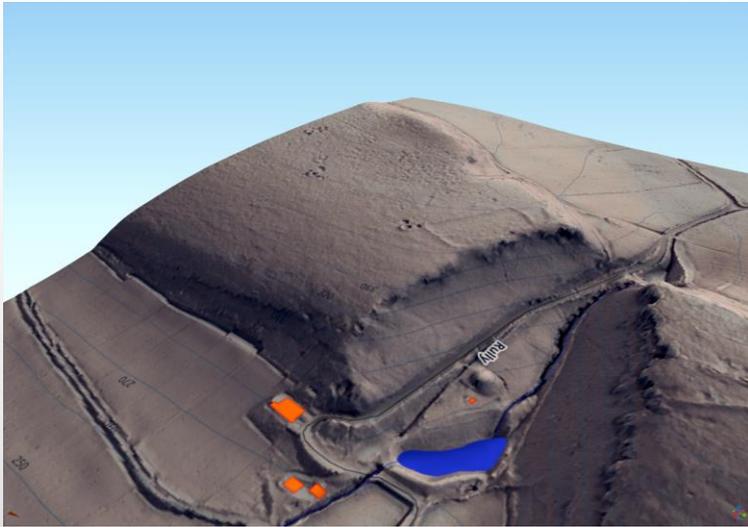
# RECONSTRUCTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE ARCY-SUR-CURE



# DIAGNOSTIC ARCHÉOLOGIQUE : CIRQUE D'ESTRE ARDÈCHE



# ARCHÉOLOGIE RUILLY



# CONSERVATION ET GESTION DES MILIEUX KARSTIQUES

Baume Noire

Pretigrey et Velosille, Haute-Saône

Développement : 262m

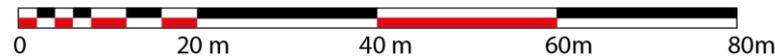
Dénivellation : 32 m

Coordonnées UTM :  
31T 0721 723 m  
5260 559 m  
Z: 350 m

Coupe développée

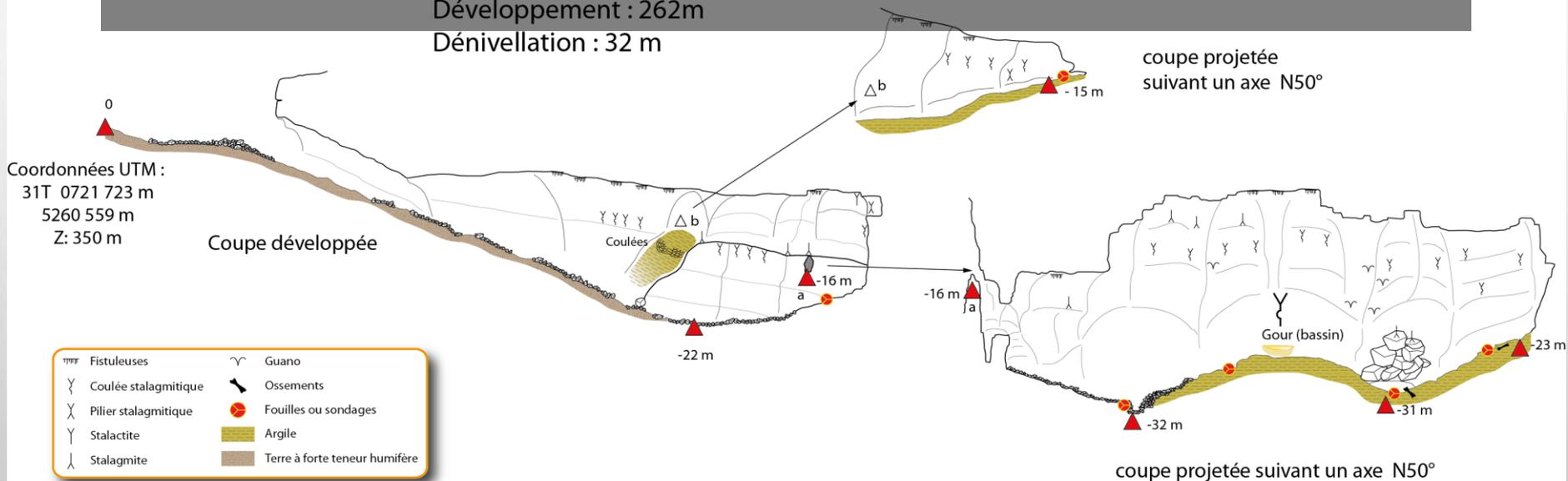
coupe projetée  
suivant un axe N50°

	Fistuleuses		Guano
	Coulée stalagmitique		Ossements
	Pilier stalagmitique		Fouilles ou sondages
	Stalactite		Argile
	Stalagmite		Terre à forte teneur humifère

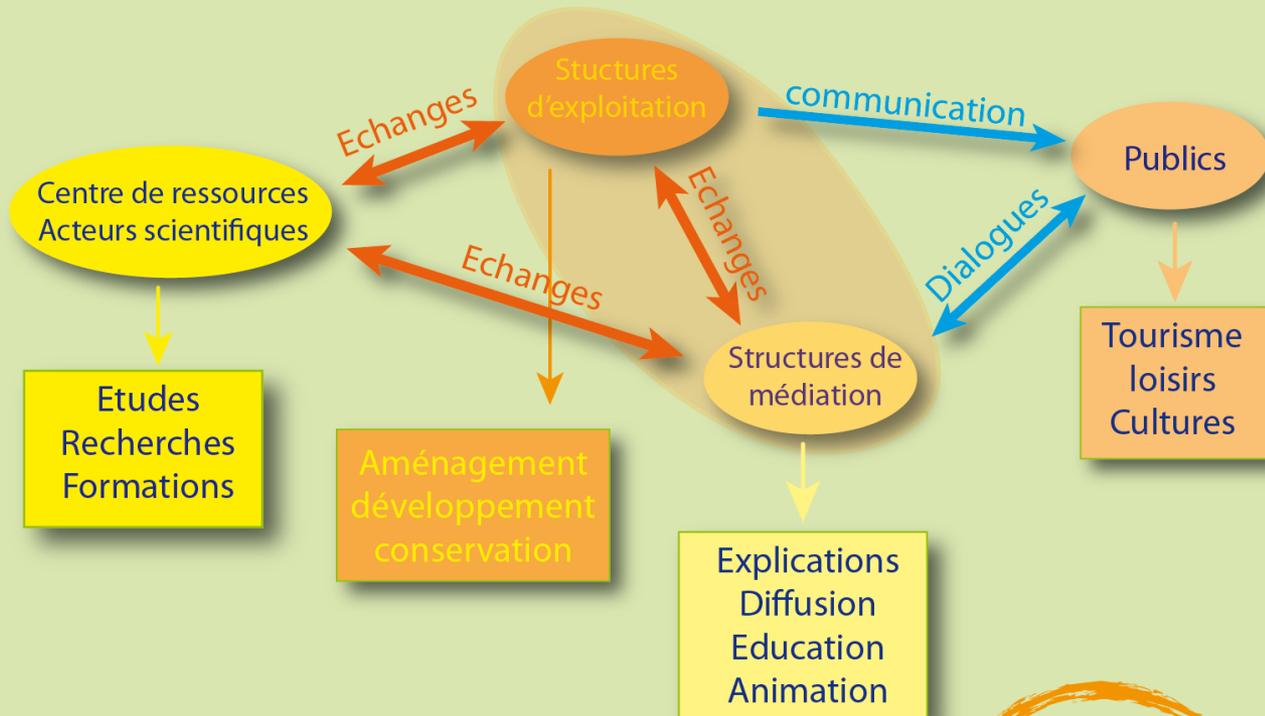


Topographie : Didier Cailhol, Nicolas Carquigny  
Synthèse et dessin : Didier Cailhol

Topographie levée le 06/05/2014

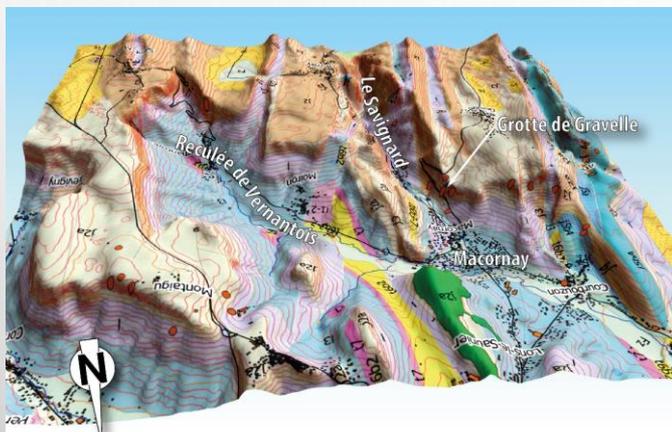


# Territoires, sites et patrimoines

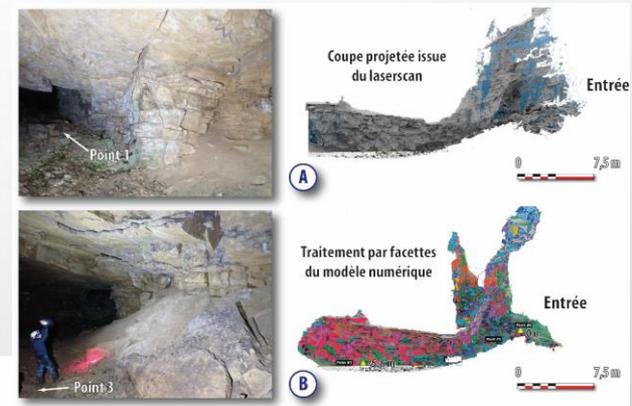


# RÉSERVE NATURELLE NATIONALE GROTTE DE GRAVELLE

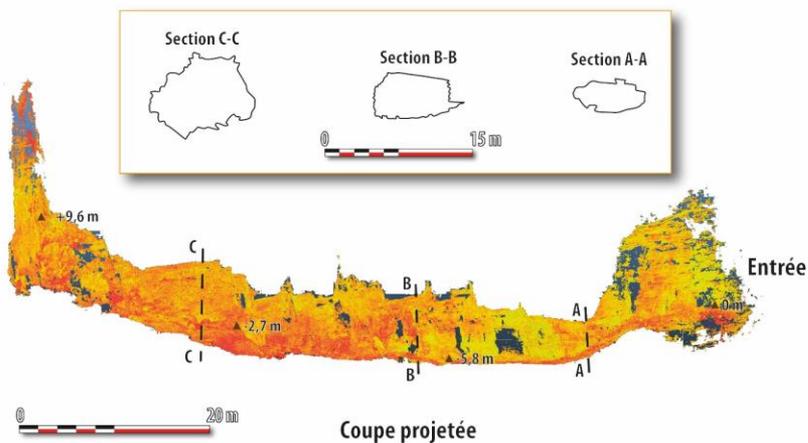
Gestion CPEPESC



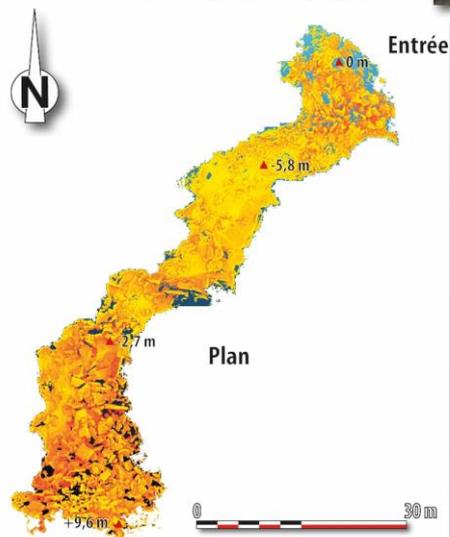
Grotte de Gravelle



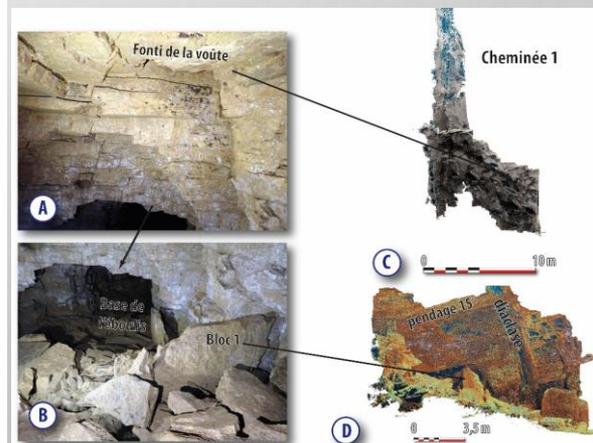
Grotte de Gravelle



Coupe projetée

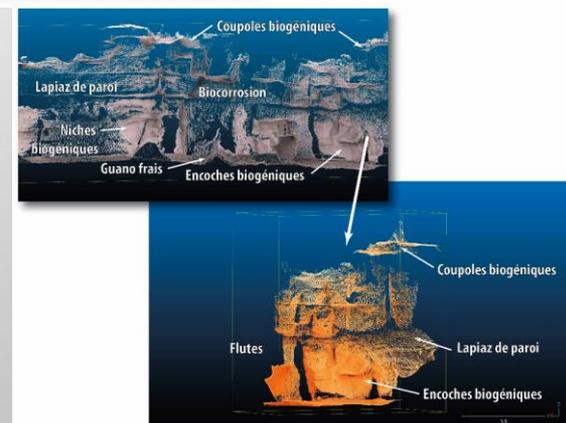
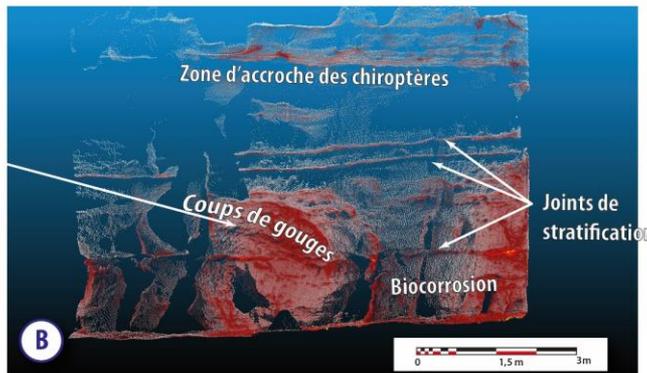
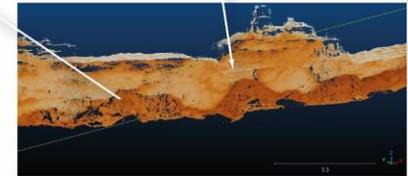
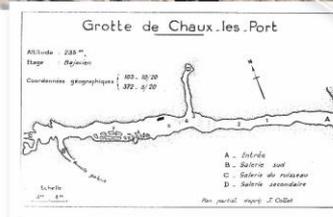
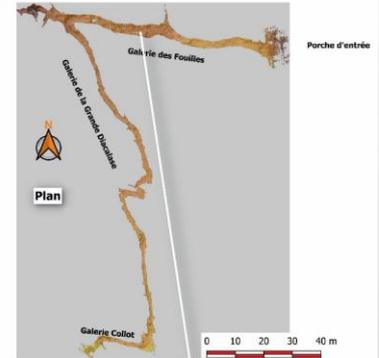


Plan



# RÉSERVE NATURELLE NATIONALE GROTTE DU CAROUSSEL

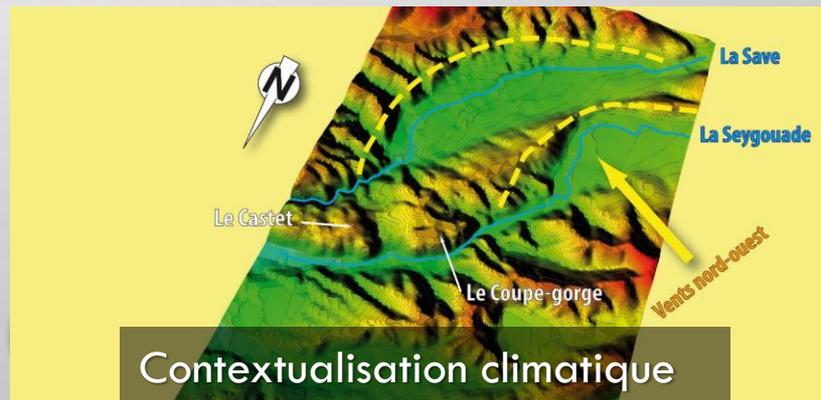
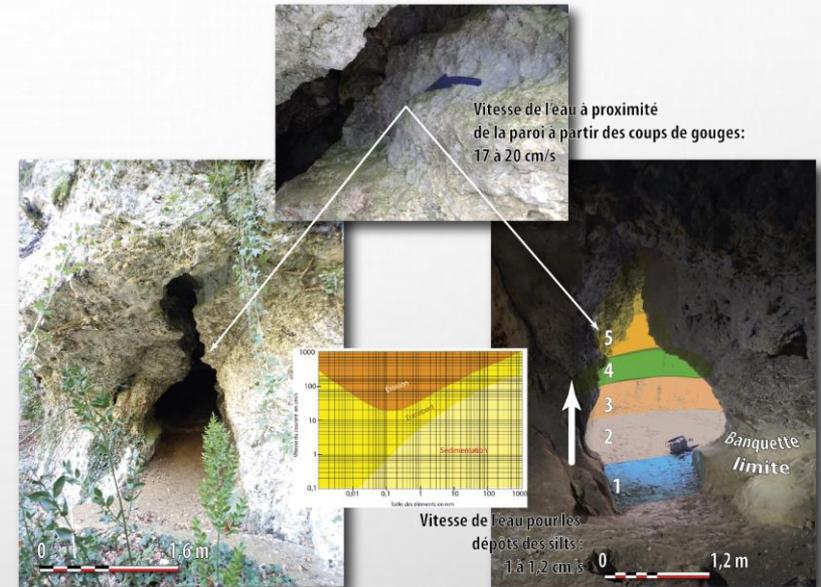
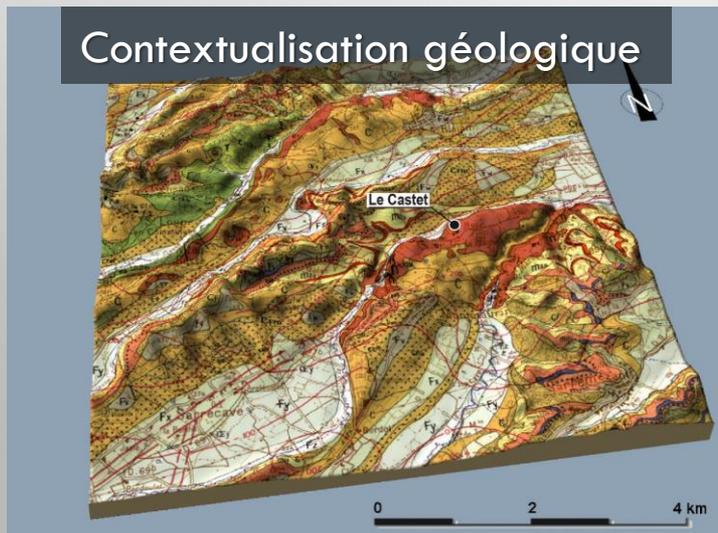
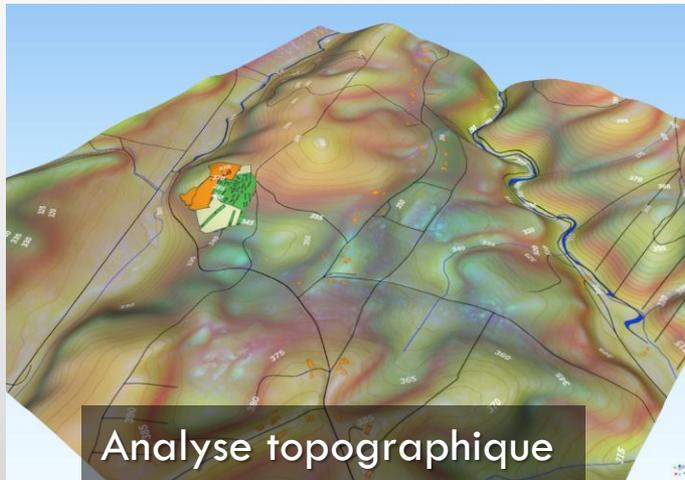
Gestion CPEPESC



A 3D topographic map of a karst landscape, showing a complex network of blue rivers and streams flowing through a yellowish-brown terrain. The map is overlaid with a semi-transparent orange rectangular box containing the text "LES ÉVOLUTIONS DU KARST". The background is black, and the map is framed by a blue border. The overall image has a decorative border of white and grey circles at the top and bottom.

# LES ÉVOLUTIONS DU KARST

# LES ÉVOLUTIONS GÉOMORPHOLOGIQUES



# Variations des conditions hydrogéologiques



Débit : **45 m<sup>3</sup>/s**  
2016/02/16



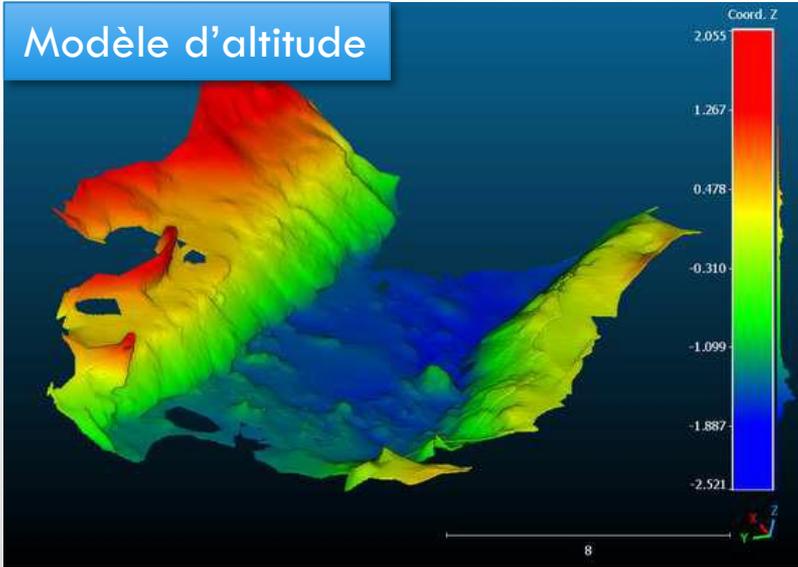
Hauteur : 8.65 m / Débit : **2348 m<sup>3</sup>/s** -  
2016/11/22 21 h 30 (Vallon Pont d'Arc)

source : [www.vigicrues.gouv.fr](http://www.vigicrues.gouv.fr)

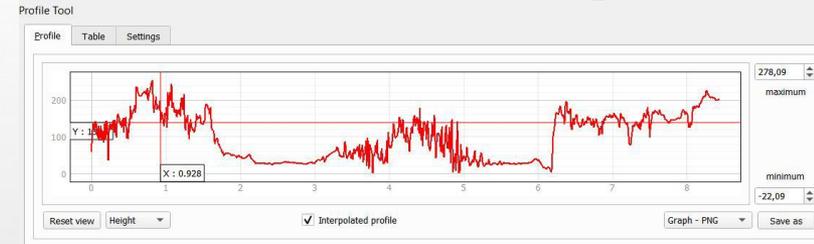


# ANALYSES DU MODÈLE HYDROLOGIQUE

## Modèle d'altitude

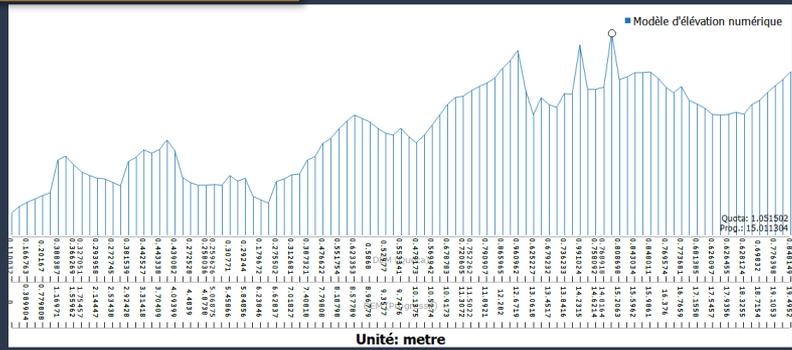


## Indice de rugosité du profil en travers du lit

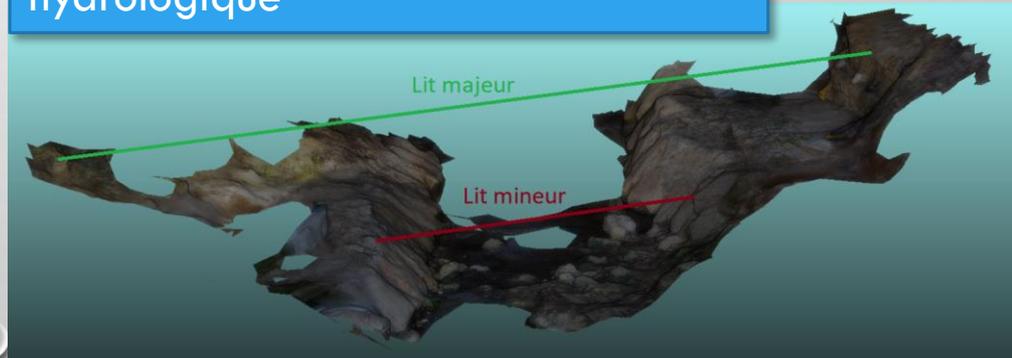


## Profil en long

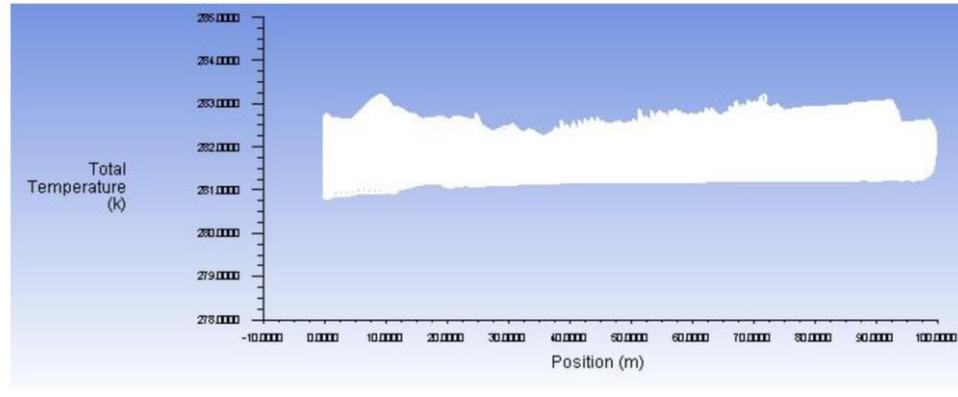
Aperçu  
Inspect the profiles and export.



## Caractérisation du fonctionnement hydrologique

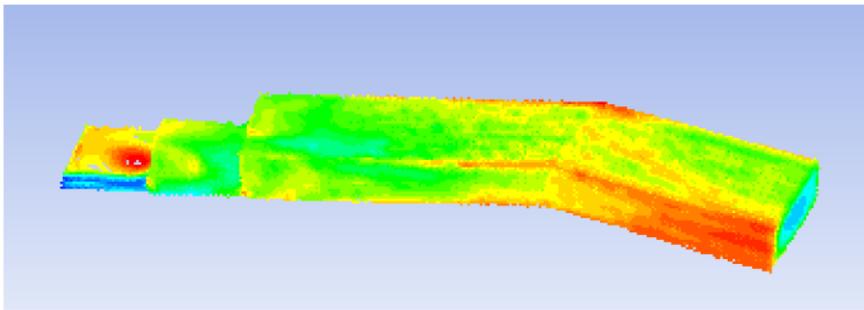


# Analyse de l'aérogologie d'un système spéléologique



Propagation et vitesses des champs de température

École des mines d'Alès, CDS Ardèche



Entrée naturelle de la grotte de Saint-Marcel (07)



