

## Numérisation et modélisation de la Caune de l'Arago

*La grotte de la Caune de l'Arago, située près du village de Tautavel, dans les Pyrénées-Orientales, fait l'objet, depuis presque cinquante ans, de fouilles systématiques conduites sous la direction de l'archéologue Henry de Lumley. Elle a livré le crâne du plus ancien habitant français connu, l'« Homme de Tautavel », âgé d'environ 600 000 ans. Pour améliorer la compréhension des différentes strates exhumées, et proposer aux scientifiques une visualisation en 3D de la position des artefacts et ossements, l'équipe du Musée de Tautavel a demandé à des étudiants de l'ENSG de procéder à la numérisation de la cave.*

animaux, ont certainement trouvé dans la grotte un endroit idéal pour fondre sur leurs proies pendant qu'elles se désaltèrent en contre-bas.

L'entrée de la grotte était alors plus vaste et plus longue qu'elle ne l'est actuellement ; elle s'est effondrée à une époque assez récente, évaluée entre 35 000 et 12 000 ans : l'entrée actuelle présente en effet un plancher stalagmitique qui ne peut pas se



Le professeur Henry de Lumley présente les fouilles de la Caune de l'Arago.

### Contexte général

La Caune de l'Arago (*Cauna del Aragó*<sup>1</sup> en catalan) désigne une colline située sur la commune de Tautavel (voir Figure 1), à l'extrême nord du département des Pyrénées-Orientales. Cette colline domine d'environ quatre-vingts mètres la vallée de la rivière Verdoube<sup>2</sup>. Les fouilles, entreprises depuis 1964 sous la direction de l'archéologue Henry de Lumley, indiquent que cet endroit est fréquenté depuis la plus haute antiquité.

Au début de l'ère quaternaire (cénozoïque), le niveau de la rivière se situait globalement environ dix mètres plus haut qu'à l'heure actuelle, ce qui signifie que la grotte dominait d'environ soixante-dix mètres le cours d'eau. Elle s'ouvre actuellement vers le Sud, mais, avant l'effondrement de son ancienne entrée, faisait face à l'Est, direction du Soleil levant. L'étude des fossiles a révélé une faune très diverse suivant les époques, qui prouve que la zone regorgeait de gibier ; les hommes, qui chassaient ces

former au voisinage du débouché d'une grotte, mais seulement au bout d'une galerie. À l'heure actuelle, la cave ne mesure plus que trente mètres de long sur dix de large. Le plancher rocheux se trouve enfoui sous environ quinze mètres de sédiments, alors que le plafond de la partie médiane a disparu pendant la dernière

1. Cauna dérive d'une racine pré-celtique *cal-* signifiant *abri* ; on la retrouve également dans *calanque* ou *chalet*. *Ar-ago*, *ar-agon*, dérive également d'un étymon pré-celtique où l'on retrouve le préfixe *ar-* très fréquent en hydronymie (*Aar*, *Ariège*, *Arve*, *Arrondine*, *Hérault*, *Arar* – ancien nom de la Saône...) probablement au sens de « eau courante, rivière », et du suffixe *-aho*, *-ago*, *-agon* (avec chute du *n* final) dont le sens est obscur. Peut-être a-t-on affaire à une formation toponymique signifiant *abri au-dessus de la rivière*, *abri de la haute rivière* ?  
2. *Verdoube* appartient à la même famille que *Verdon*. Certains y voient une évolution du latin *viridem*, vert. On peut aussi avancer une hypothétique composition semi-celtique, *Verdorone* avec *Ver<Uer<U(p)er*, haut, avec amuïssement classique du *p* intervocalique, et *doron*, nom de rivière dans les Alpes, « rivière, torrent », d'origine (pré-)celtique ? Dans ce cas *Verdoube* et *Arago* seraient (peut-être) synonymes.

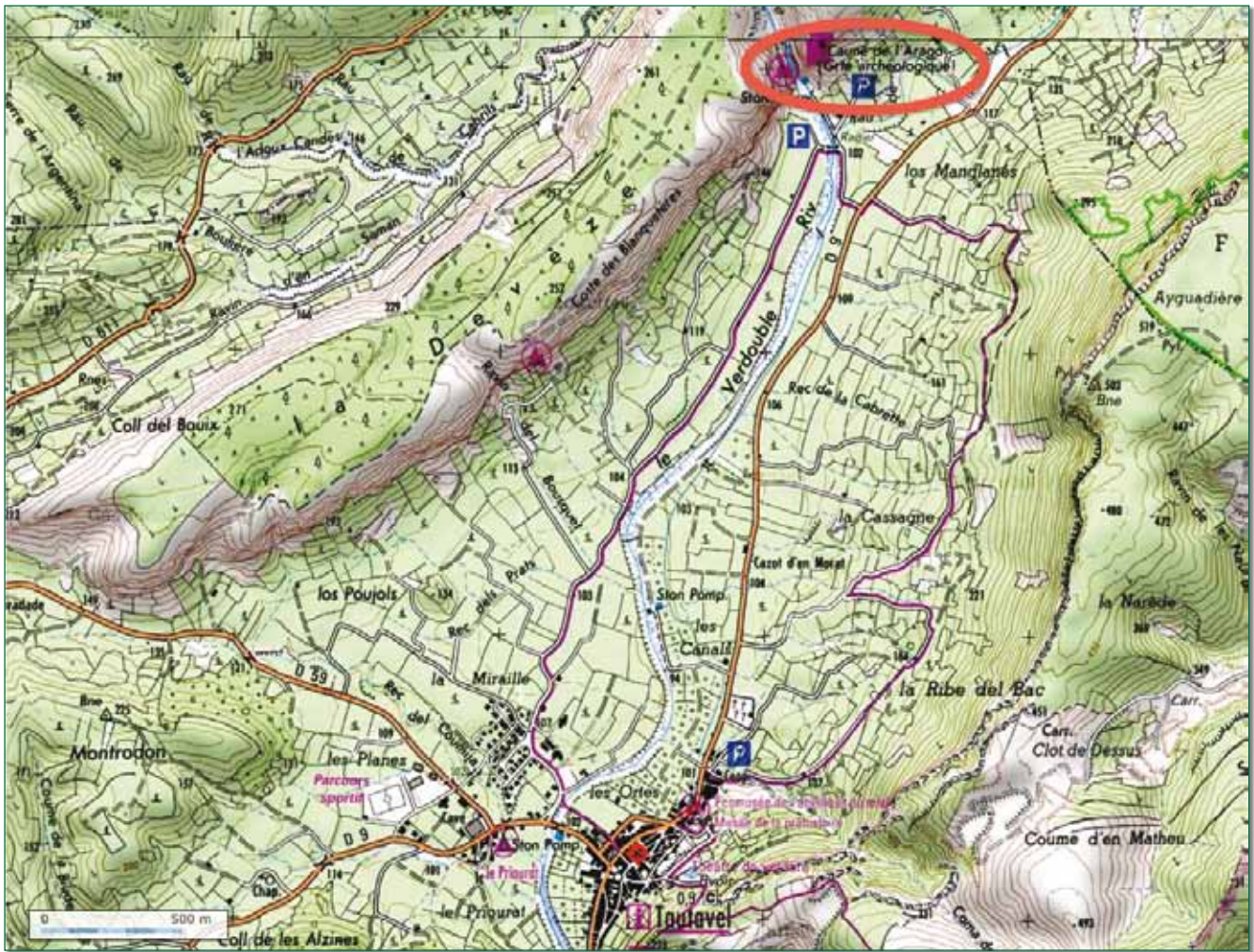


Figure 1 : Situation géographique de la Caune de l'Arago par rapport au village de Tautavel. Source : Géoportail.

glaciation, c'est-à-dire en même temps que l'ancienne entrée. Les datations par la méthode de l'uranium-thorium indiquent une séquence stratigraphique s'étendant d'environ -700 000 à -350 000 ans.

Les examens stratigraphiques et palynologiques ont également fourni de précieuses indications sur les alternances climatiques qui se sont succédées tout au long de cette période. À -700 000 ans, on trouve des signes d'un climat tempéré humide; cinquante mille ans après, le climat est devenu encore plus humide, avec des essences comme le sapin, le bouleau et le hêtre ; de nouveau cinquante mille ans après, les conditions redeviennent plus sèches, on trouve des pollens d'orme, d'aulne, de châtaie mixte. Vers -550 000, le sol devient sableux : ces poussières ont été apportées par des vents soufflant à environ 130 km/h depuis les Corbières proches ; la forêt fait

place à une steppe sub-polaire sèche caractérisée par la présence d'animaux comme le renne, le cheval, le bœuf musqué, le renard polaire ou encore des lemmings. Par la suite, par intervalles de cinquante mille ans, les conditions climatiques alternent entre des périodes sèches et humides : on met donc en évidence des variations cycliques de période d'environ cent mille ans.

La strate datée de -600 000 ans a livré un crâne humain, le plus ancien trouvé en France, attribué à une espèce intermédiaire entre l'*Homo erectus* et l'*Homo neanderthalensis*, baptisé *Homo heidelbergensis*. Au total, ce sont cent vingt-neuf restes humains qui ont été retrouvés dans les différentes couches. Jusqu'à -400 000, les ossements correspondant au gibier sont entaillés par endroits, ce qui atteste d'un dépeçage ; à partir de -400 000, ces os sont régulièrement carbonisés, et l'on retrouve des restes de foyers :

Age radiométrique	Date radiométrique	Stratigraphie				Lithologie	Palynologie	Paléontologie	Climat
		Complex	Stratum	Phase	Niveau				
1000000	1000000	I	1	A	Sables fins et argiles	Pollenes	Hominidés	Tempéré et humide	
900000	900000								
800000	800000								
700000	700000								
600000	600000	II	2	A	Sables fins et argiles	Pollenes	Hominidés	Tempéré et humide	
500000	500000								
400000	400000								
300000	300000								
200000	200000	III	3	A	Sables fins et argiles	Pollenes	Hominidés	Tempéré et humide	
100000	100000								
0	0								
0	0								

Figure 3 : Chronologie des strates de la Caune de l'Arago. Crédit : CERP-T.



Figure 4 : Possible reconstitution de l'occupation de la grotte il y a 600 000 ans. Source : CERP-T.

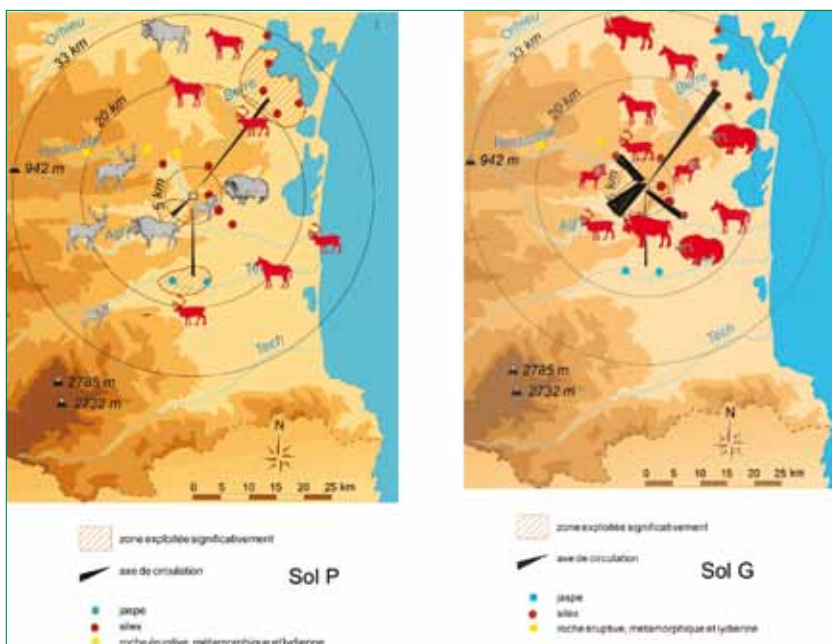


Figure 5 : Cartographie des espèces animales, des gisements lithiques et des axes de circulation déduits de l'étude des sols P (ancien) et G (récent). Source : CERP-T.

on peut donc logiquement faire remonter à cette date la domestication du feu dans la région.

Les vestiges témoignent également de modes d'occupation divers : tantôt on a affaire à de simples campements provisoires ou des bivouacs de quelques jours, tantôt les séjours se prolongent, soit sur un mode saisonnier (deux/trois mois environ), soit permanent : la présence de dents de lait indique clairement l'établissement de familles sur des périodes pluriannuelles. Quand la grotte est abandonnée par les hommes, ce sont des carnivores qui prennent leur place.

Plusieurs « sols » ont été identifiés, qui correspondent à différents stades de l'évolution humaine : le sol P recèle des bifaces (dont le

plus emblématique a été nommé Durandal), le sol L correspond à des campements de chasseurs de rennes (durée de séjour d'environ quinze jours), le sol G a livré des mandibules. Les industries lithiques (pierres taillées) associées renseignent, à la fois quant au niveau culturel des populations, mais également quant aux déplacements vicinaux : certaines pierres sont, en effet, allogènes ; elles proviennent de gisements situés plus ou moins loin de la Caune. Leur provenance donne une bonne indication de la dimension des territoires de chasse de l'époque.

## Numérisation de la grotte

À l'occasion du prochain cinquantième du début des fouilles systématiques de la Caune (2014), le musée archéologique de Tautavel souhaite pouvoir proposer à ses visiteurs une maquette numérique 3D des lieux, afin qu'ils puissent non seulement suivre une « visite virtuelle » de la grotte, mais qu'ils découvrent également le patrimoine propre à chaque strate. Il faut donc, pour cela, au moins acquérir le profil des parois. Une équipe d'étudiants de l'ENSG, du master PPMD, s'est rendue sur place pour effectuer ce travail de numérisation.

Les fouilles archéologiques modernes prévoient toutes l'installation préalable d'un carroyage métrique qui permet de repérer avec une précision suffisante l'origine des différents ossements et industries lithiques retrouvées. Ce carroyage est matérialisé par des fils tendus horizontalement à la surface ; au fur et à mesure que les couches sont dégagées (donc que le sol s'enfonce), des fils à plomb arrimés à chaque intersection du carroyage réalisent un découpage spatial 3D. Chaque vestige est ainsi affublé d'une



Figure 6 : Dispositif de repérage des artefacts mis en place sur le chantier de fouilles. Un carroyage horizontal, posé avant le démarrage des opérations, permet de repérer les objets en planimétrie ; au fur et à mesure que le sol s'enfonce, à chaque nœud du carroyage on attache un fil à plomb qui permet de reporter la découpe à n'importe quelle profondeur. Image : CERP-T.

coordonnée planimétrique de type « mots croisés » et d'un triplet de coordonnées (x, y, z) repérant l'objet au sein du carré désigné par la coordonnée mots croisés. Ce repérage 3D est indispensable car, au fil du temps, le niveau du sol descend, donc les objets trouvés ne peuvent plus être réinsérés dans leur strate originelle, qui a disparu.

La numérisation de la *Cauna del Aragó* s'est déroulée en six phases. Il a fallu tout d'abord procéder à une reconnaissance de l'intérieur de la grotte (occupée par les différents chantiers de fouille) pour repérer les stations possibles du matériel d'acquisition (tachéomètre, télémètre). Une fois ces stations identifiées, une polygonale a été tirée depuis l'entrée de la

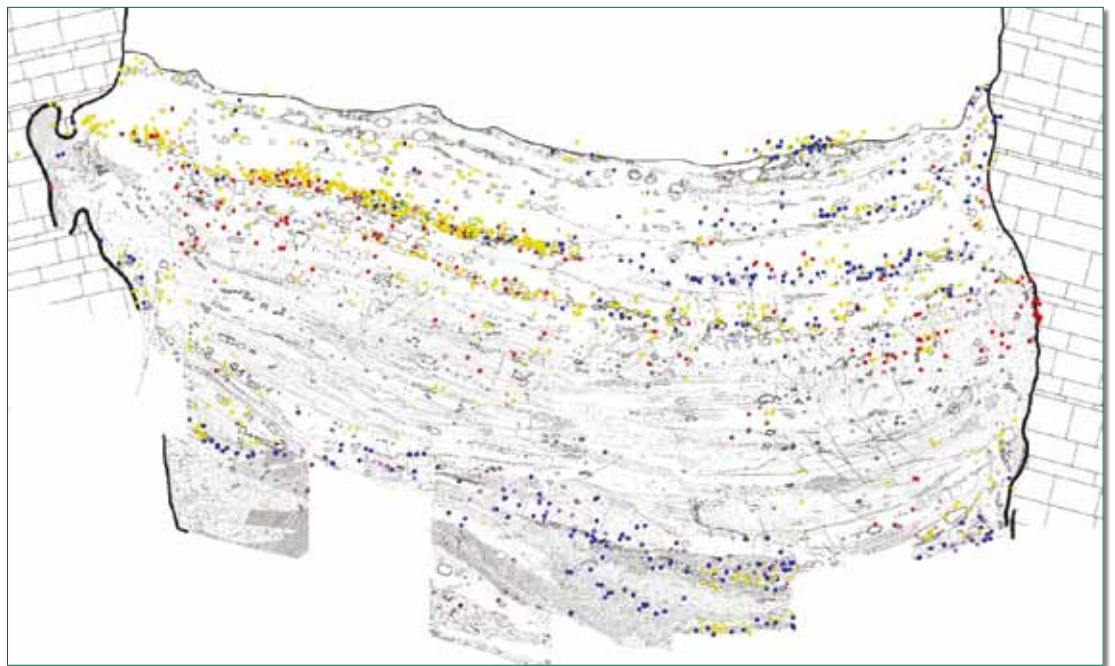


Figure 7 : Exemple de coupe réalisée avant l'arrivée de QGis. Document CERP-T.

grotte pour pouvoir rattacher les mesures intérieures à des stationnements GPS effectués à l'air libre. Deux stations ont été effectuées pour déterminer les coordonnées de l'entrée dans le

système RGF93, en s'appuyant sur les trois stations permanentes les plus proches. La précision atteint un centimètre en planimétrie, et environ deux centimètres en altimétrie.

Dans la cave, l'équipe a commencé par placer des points d'amer sur les parois (disques) afin de pouvoir procéder au récolement/rattachement des (futurs) nuages de points, avec la contrainte de localiser au moins quatre repères par nuage de points. Ces repères ont été rattachés à l'aide de la polygonale calée sur les mesures extérieures, si bien que leur position est connue avec la même précision que les points déterminés au GPS.

Les conditions de travail se sont révélées particulièrement difficiles : outre les problèmes d'accessibilité, le transport du matériel a dû se faire pieds nus pour éviter d'abîmer le sol ; l'intérieur est truffé de zones de fouilles entre lesquelles le cheminement est complexe, si bien que la solution la plus simple pour le déplacement des appareils a consisté à réaliser une chaîne humaine d'un point à un autre.

Ce gruyère gêne également les stationnements, qui ne peuvent pas être effectués n'importe où ; malgré les dimensions, somme toute réduites, de la grotte, il aura fallu pas moins de quatorze acquisitions pour couvrir l'ensemble

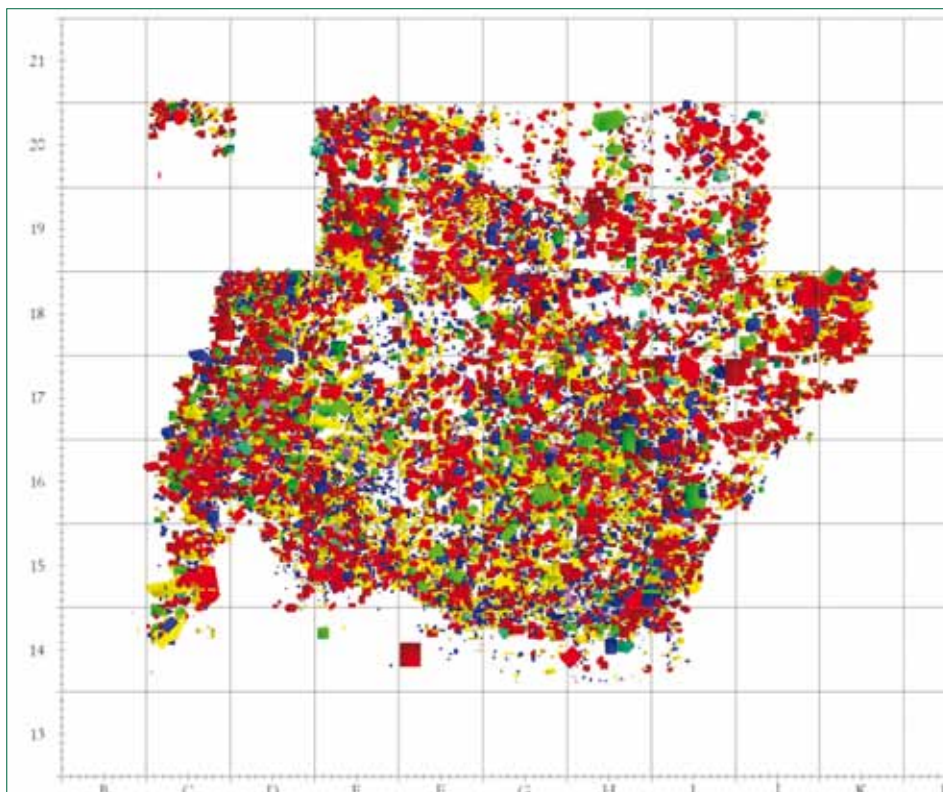


Figure 8 : Représentation sous QGis du carroyage et de la densité planimétrique d'artefacts. Document CERP-T.

du volume intérieur, à cause des nombreuses parties cachées et de la forme irrégulière des parois. Une fois mémorisés et sauvegardés, l'ensemble des nuages de points a été recalé dans un repère unique, qui n'a pas été rattaché au système Lambert 93 – ce qui n'aurait présenté qu'un intérêt anecdotique pour des chercheurs – mais au carroyage utilisé pour la fouille. Le produit livré au musée consiste en ce nuage de points global, plus diverses coupes et un modèle 3D réalisé en triangulant le nuage (TIN).

## Exploitation dans un SIG

Disposer du relevé topographique de la grotte n'a que peu d'utilité si on ne peut s'en servir pour y localiser les différents objets collectés. Or, la position de ces derniers est enregistrée sous forme de données alphanumériques dans un fichier *Excel* ; celui-ci sert notamment à créer des coupes sans figuration du tracé des parois. La fusion des deux informations (parois, objets) soulève des difficultés.

Premièrement, le carroyage archéologique, même réalisé avec soin, n'est pas strictement régulier : l'espacement entre lignes varie aléatoirement entre 95 et 105 cm ; cette précision décimétrique est jugée suffisante par les archéologues, mais ne peut convenir à un rattachement avec un nuage de points de précision au pire centimétrique. Il a donc fallu choisir deux lignes de référence, une longitudinale et une transversale, puis calculer de nouvelles coordonnées dans ce repère.

Une autre difficulté vient de l'exploitation des coordonnées enregistrées dans le fichier *Excel* : celles-ci ne sont pas absolues, mais relatives au carré englobant ; ainsi (10, 45, 34) E2 signifie, dans le

carré E2, la position (10, 45, 34) ; l'équipe a transformé toutes ces coordonnées pour constituer un système de repérage global.

Toutes ces manipulations lourdes impliquaient d'utiliser un outil de gestion de base de données plus puissant qu'un simple tableau *Excel*. Le CERP-T a choisi d'utiliser *PostgreSQL/PostGIS* pour stocker les linéaires et les ponctuels. Malheureusement, le code

fichier *Excel*, qui constitue le point d'entrée pour les archéologues (ces derniers n'ont pas changé leurs méthodes de travail). Les informations sont extraites de ce fichier, puis dupliquées dans la base *PostGIS* qui sert d'entrepôt pour les différentes couches exploitées sous *QGis*.

À l'avenir, l'équipe souhaiterait pouvoir modifier le logiciel métier sous *Python* afin qu'il puisse égale-



Figure 9 : Vue en 3D, avec surimpression de la position des différents vestiges. Image CERP-T

source du logiciel utilisé pour gérer les coupes (affichage et impression), écrit en *Python*, n'était plus disponible, et le développeur avait disparu : impossible de modifier l'application pour utiliser *PostGIS*.

Il a donc fallu l'abandonner au profit d'un SIG capable de lire les informations géographiques stockées dans *PostGIS* : le CERP-T, pour poursuivre dans le logiciel libre, a choisi *QGis*. Le système actuel repose donc toujours sur le

ment lire dans la base de données géographique, et ainsi éliminer la redondance entre les deux sources d'information.

Enfin, le Centre dispose maintenant d'un informaticien à plein temps qui a exploité le TIN 3D, les images photographiques des parois et les données de localisation des artefacts pour recréer une visualisation tridimensionnelle, prélude à la maquette virtuelle qui devrait être inaugurée à l'occasion du jubilé de la Caune. ■