

cité

**sciences
et industrie**

Grotte Chauvet, l'aventure scientifique

15 octobre 2024 – 11 mai 2025
Cycle 3, collège et lycée

Document 1 : l'exposition



Département Éducation et Formation
educ-formation@universcience.fr

2024

SOMMAIRE

En un coup d'œil	3
I Situation et plans	6
II Propos	8
III Objectifs	9
IV Ce qu'est l'exposition... et ce qu'elle n'est pas	9
V Les moments forts de l'exposition	9
VI Glossaire	10
VII Contenu	12
VII.0 Entrée	12
VII.1 La grotte	13
VII.2 Au carrefour des recherches	19
VII.3 Les êtres vivants	26
VII.4 L'art pariétal	33
VII.5 Sortie : parlez-vous « scientifique » ?	38
Informations pratiques	39

Le département Éducation et Formation remercie chaleureusement Sophie Bougé et Myrrha Bouly, chargées de projets muséographiques ainsi que Christelle Guiraud, commissaire d'exposition, pour leur relecture attentive de ce document.

En un coup d'œil

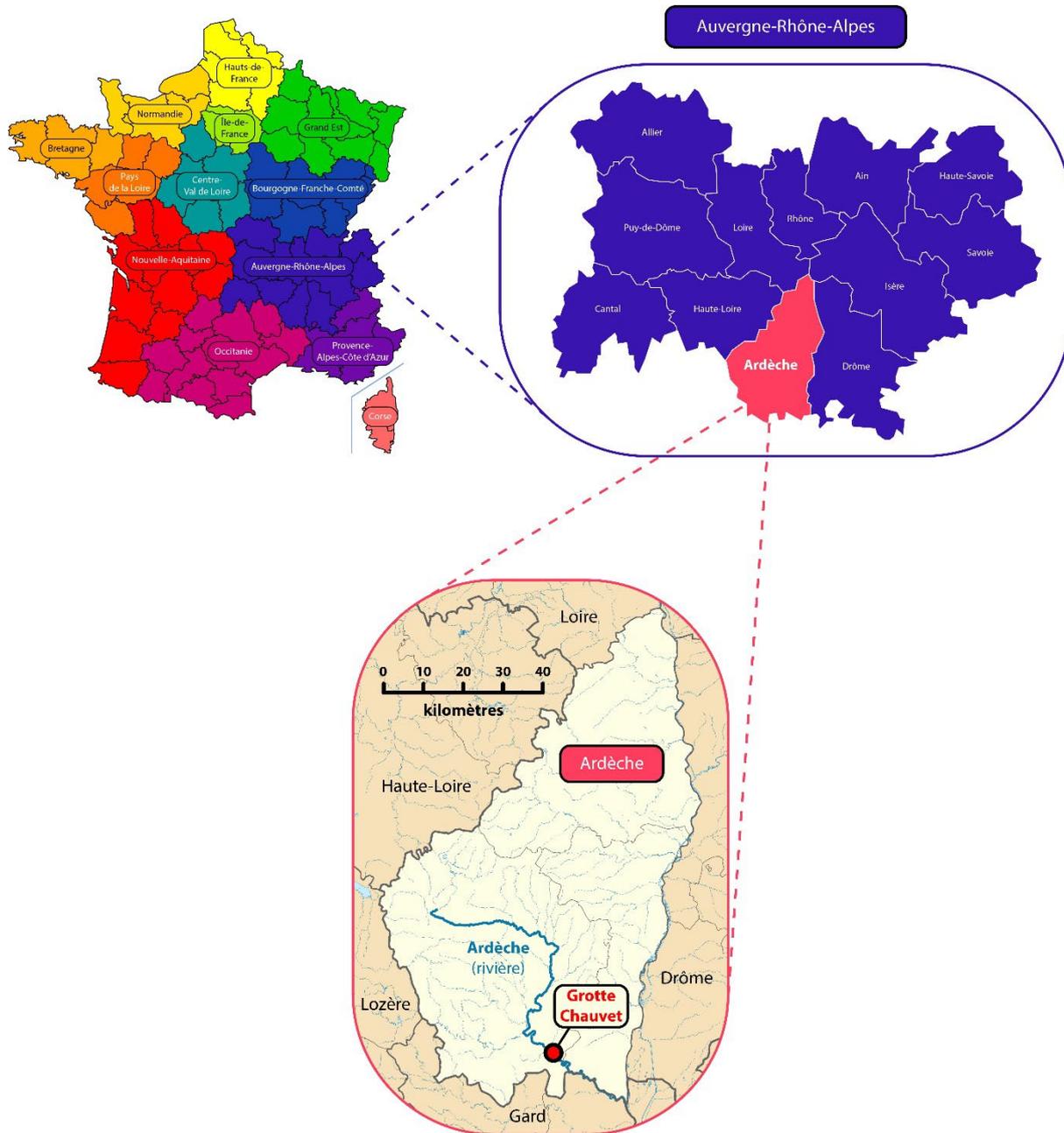
Le 15 octobre 2024, la Cité des sciences et de l'industrie présente *Grotte Chauvet, l'aventure scientifique*, sa nouvelle exposition temporaire consacrée à l'activité de recherche dans la grotte Chauvet.

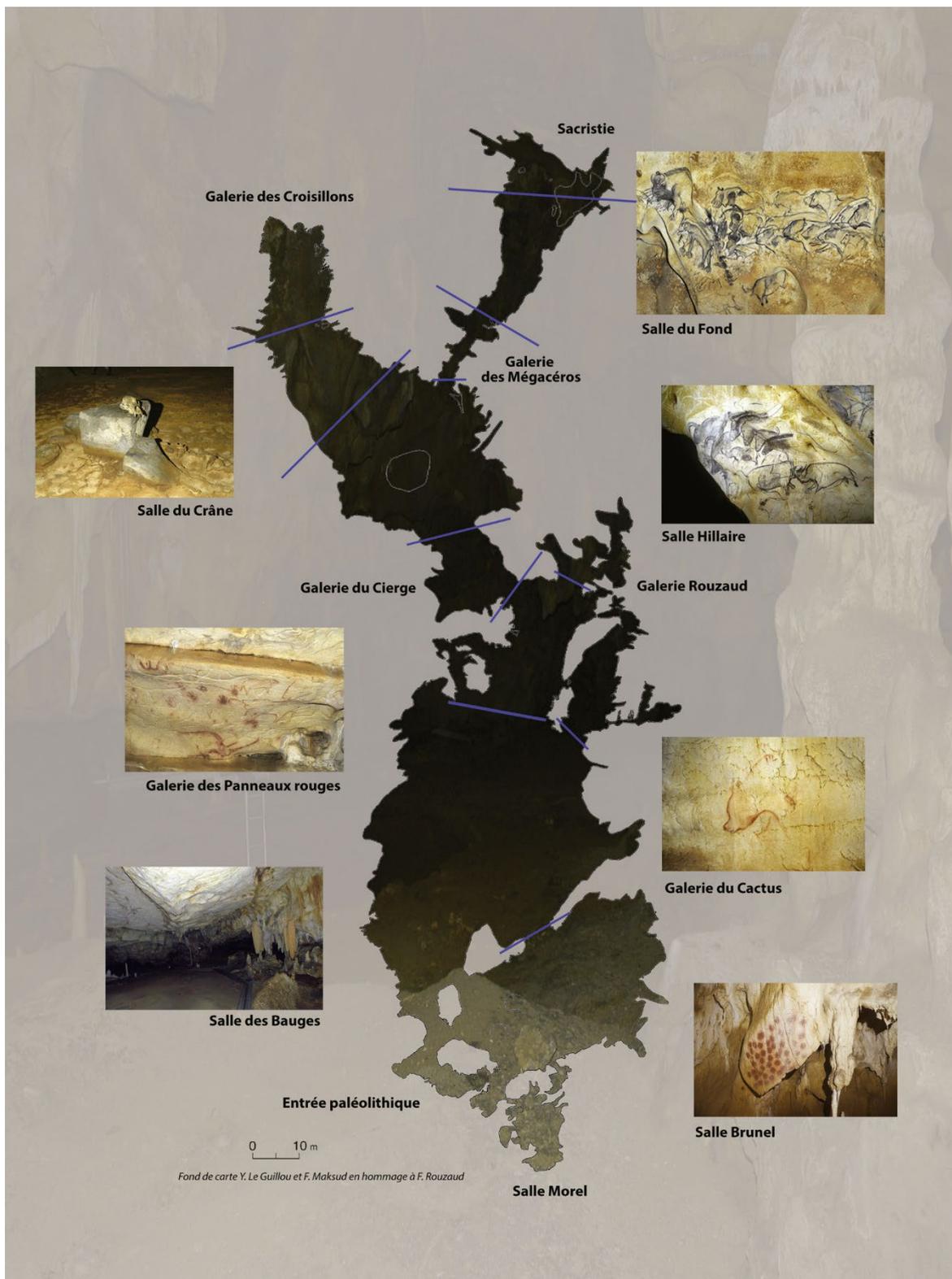
Découverte en 1994, il s'agit d'un site exceptionnel, resté préservé naturellement depuis 21 500 ans. Tout ce qui s'y trouve est intact et date du paléolithique. Lieu unique par la richesse, la qualité et l'ancienneté de ses vestiges archéologiques et notamment de ses œuvres pariétales, la grotte Chauvet n'a jamais été ouverte au public. Des mesures de conservation et de protection ont été mises en place dès sa découverte.

À partir de 1998, les scientifiques étudient le site dans des conditions très particulières : chaque année, 4 semaines d'étude sur le terrain, regroupées en mars, moment de l'année où le taux de CO₂ dans la grotte est le moins élevé. À quelques rares exceptions, les chercheuses et chercheurs n'ont pas le droit de fouiller mais uniquement d'observer et de réaliser des mini-prélèvements pour la datation.

L'exposition *Grotte Chauvet, l'aventure scientifique* propose une immersion dans l'activité de recherche de l'équipe scientifique, en présentant des objets étudiés et des outils employés. Elle invite les élèves à entrer dans la peau des scientifiques et à vivre l'étonnante aventure de ces chercheurs qui décryptent les peintures pariétales ou encore analysent les vestiges d'ours, de loups, les traces de feux ou les empreintes au sol.

Page de l'exposition sur le site internet de la Cité des sciences et de l'industrie
<https://www.cite-sciences.fr/fr/au-programme/expos-temporaires/chauvet>.



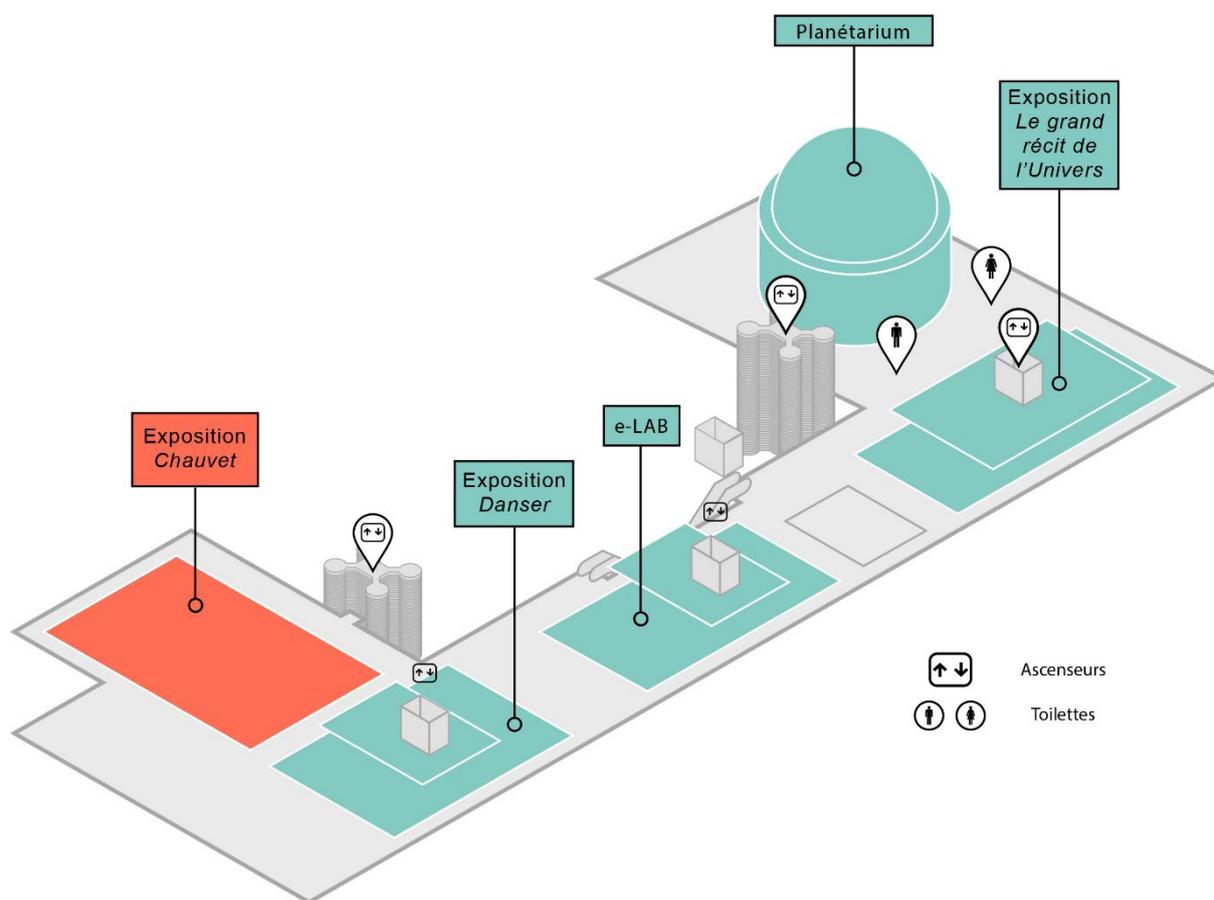


Plan de la grotte Chauvet - Pont d'Arc.

Crédit : Fritz C., Tosello G., 2015 - Du geste au mythe : techniques des artistes sur les parois de la grotte Chauvet-Pont d'Arc, in White R., Bourrillon R. (dir.) avec la collaboration de Bon F., *Aurignacian Genius : art, technologie et société des premiers hommes modernes en Europe*, Actes du symposium international, 8-10 avril 2013, New York University, *P@lethnologie*, 7, 287-321.

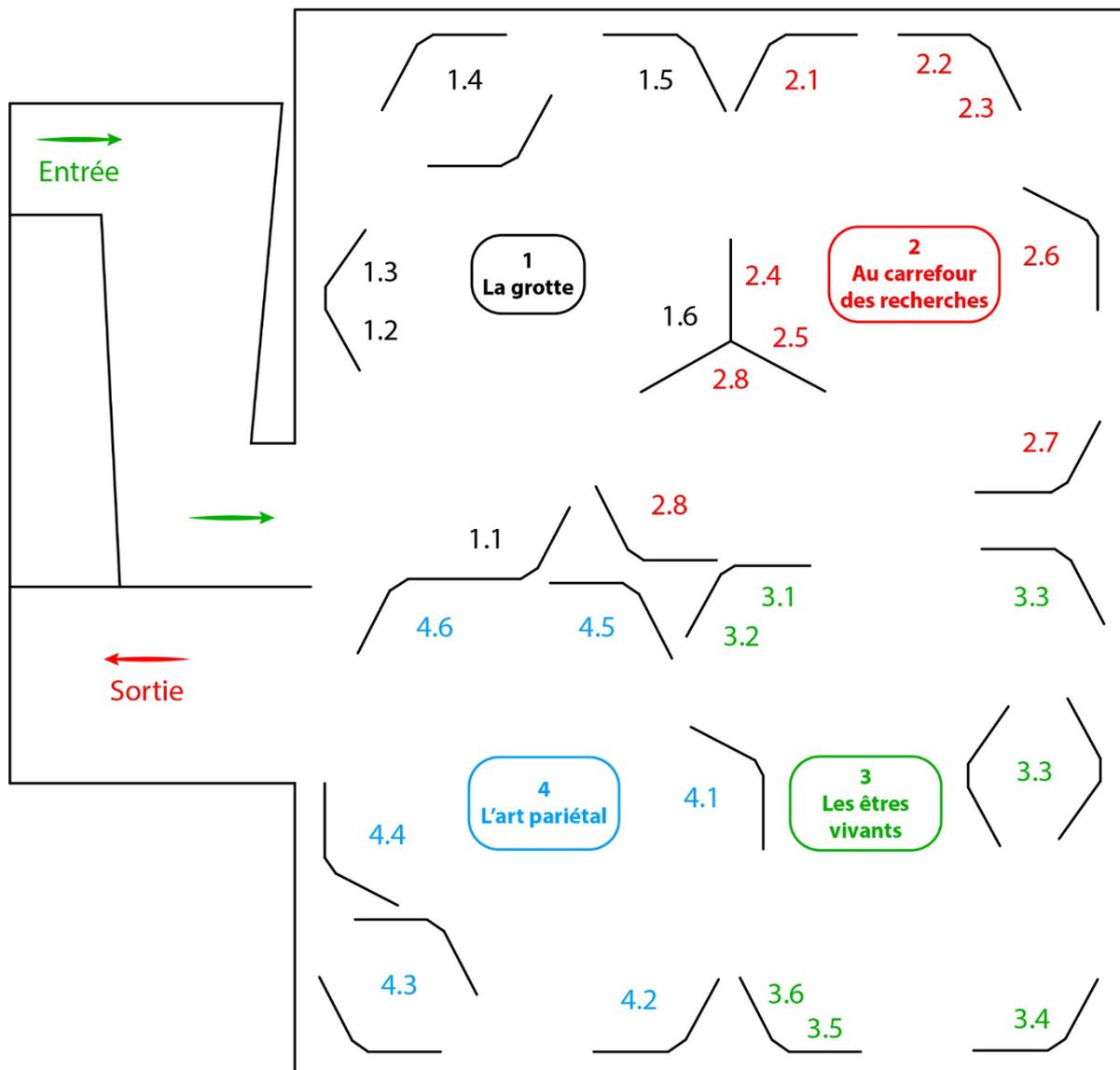
I Situation et plans

Prenant place au niveau 2 de la Cité des sciences et de l'industrie, l'exposition *Grotte Chauvet, l'aventure scientifique* occupe une surface totale de 900 m². Les panneaux sont bilingues français/anglais et le public espagnol dispose d'un livre avec tous les textes en espagnol. En outre, l'exposition est accessible aux publics à besoin spécifiques (PMR, braille et LSF). L'illustration ci-dessous vous donne la situation générale du niveau 2 et la localisation de l'exposition en son sein.



Situation générale de l'exposition au niveau 2 de la Cité des sciences et de l'industrie.

L'exposition *Grotte Chauvet, l'aventure scientifique* s'inscrit dans la ligne éditoriale « Science fraîche », ligne qui regroupe des expositions qui présentent des avancées scientifiques et leurs impacts, qu'elles concernent le monde physique ou le vivant. Elle s'intéresse à tout sujet scientifique pourvu qu'il apporte des connaissances nouvelles.



Plan de l'exposition *Grotte Chauvet, l'aventure scientifique*. La légende est en page suivante.

1 La grotte

- 1.1 : La grotte en trois dimensions
- 1.2 : La grotte dans la vallée de l'Ardèche
- 1.3 : La grotte cartographiée
- 1.4 : Paysages souterrains
- 1.5 : Le secret des stalagmites
- 1.6 : Avant après

2 Au carrefour des recherches

- 2.1 : Datations absolues et chronologie
- 2.2 : Grands instruments, petits échantillons
- 2.3 : Mettre en lumière
- 2.4 : Interdisciplinarité
- 2.5 : Mesurer pour conserver
- 2.6 : Acquérir des images de la grotte
- 2.7 : Image 3D numérique d'un crâne d'ours
- 2.8 : Dans la peau des scientifiques

3 Les êtres vivants

- 3.1 : Archéoacoustique, le son dans la grotte
- 3.2 : Faire parler un excrément
- 3.3 : L'étude des feux dans la galerie des Mégacéros
- 3.4 : La grotte des ours
- 3.5 : Ichnologie : pistes des hommes, pistes des loups
- 3.6 : Ichnologie, identification d'une empreinte

4 L'art pariétal

- 4.1 : Maîtrise et richesse des techniques artistiques
- 4.2 : Étude d'un panneau orné : inventaire et relevé
- 4.3 : Interprétation de l'art pariétal
- 4.4 : Un trait après l'autre
- 4.5 : Zoom sur un panneau gravé
- 4.6 : Traitement DStretch : faire parler les couleurs

II Propos

L'exposition traite des sciences à l'œuvre dans l'étude de la grotte Chauvet - Pont d'Arc, découverte il y a 30 ans (en décembre 1994) dans le sud de l'Ardèche et jamais ouverte au public. Il s'agit de comprendre le travail de l'équipe de recherche et de donner des éléments de réponse aux questions suivantes :

- quels environnements et quelles matières ses membres observent-ils ?
- quelles sont les conditions de ses recherches ?
- quels outils scientifiques et technologies utilisent-ils ?
- quelles hypothèses et connaissances en déduisent-ils ?

La multitude des compétences scientifiques qui contribuent à l'exploration et la compréhension de cette grotte et des êtres vivants qui y sont passés montrent une activité de recherche collaborative. L'exposition s'attache à mettre l'élève dans la peau des chercheurs, au cœur de l'étude scientifique. Elle dévoile les aspects pratiques et contextuels d'une telle recherche, mais aussi les émotions éprouvées au contact de ce patrimoine.

III Objectifs

- ✚ Montrer et expérimenter la recherche en pratique.

Cette recherche se fait dans le contexte très particulier d'une grotte et, dans le cas présent, d'une grotte majeure présentant une matière incroyable : peintures pariétales*, traces d'êtres vivants et cavité géomorphologique riche d'une longue histoire. Ce joyau est étudié avec soin et respect par les scientifiques, conscients de l'unicité et la qualité de ces traces et vestiges. La conservation du site est assurée par le ministère de la Culture.

- ✚ Mettre en avant l'interdisciplinarité du travail en équipe et l'importance des collaborations.

IV Ce qu'est l'exposition... et ce qu'elle n'est pas

L'exposition *Grotte Chauvet, l'aventure scientifique* n'est pas :

- une exposition sur l'art ni sur la Préhistoire ;
- la réplique de la grotte ;
- le décor du laboratoire des chercheurs.

Cette exposition est :

- un instantané sur la recherche en train de se faire aujourd'hui ;
- une occasion pour les élèves d'expérimenter et de ressentir les conditions de la recherche ;
- un état des lieux sur la richesse de la matière à étudier et sur les connaissances acquises.

V Les moments forts de l'exposition

Trois reconstitutions pariétales et quatre reconstitutions en grandeur réelle (éléments 2.6 : acquérir des images de la grotte, 2.8 : dans la peau des scientifiques, 3.3 : étude des feux dans la galerie des Mégacéros et 4.2 : étude d'un panneau orné : inventaire et relevé) constituent les moments forts de l'exposition.

VI Glossaire

Les termes définis dans cette partie ont été ou seront mis en évidence par un astérisque.

Anthracologie : analyse des charbons de bois (issus de foyers domestiques, de fours, de restes d'édifices incendiés, etc.) et détermination des essences d'arbres dont ils proviennent.

Aurignacien : culture caractérisée par ses industries osseuse et lithique. Elle s'étend de 43 000 et 29 000 ans avant nos jours.

Bauge : gîte fangeux du sanglier et, par extension, gîte d'un animal.

Cartographie : représentation de phénomènes observés dans un espace, à l'aide d'un code graphique, afin d'en faciliter l'appréhension et d'en proposer une compréhension.

Concrétion : épaissement par accumulation de matière, souvent en couches successives, autour d'un noyau ou sur une surface rocheuse, à partir d'un point d'écoulement d'eau. Le processus aboutissant aux concrétions, qu'il soit d'origine biochimique ou purement chimique, est le *concrétionnement*.

Ichnologie : du grec *ikhnos*, « trace », l'ichnologie désigne la partie de la paléontologie qui étudie les traces laissées par les animaux fossiles (pistes, coprolithes, débris de repas, etc.)

Karstique (paysage) : paysage où dominant des roches sédimentaires sensibles à la dissolution, comme le calcaire.

Messinien : étage le plus récent de l'époque du Miocène. Il débute il y a 7,246 millions d'années et se termine il y a 5,333 millions d'années.

Orthophotographies : images aériennes ou satellitaires de la surface terrestre dont on a corrigé les déformations dues au relief du terrain, à l'inclinaison de l'axe des prises de vue et à la distorsion de l'objectif. La plateforme *Google Maps* et le logiciel *Google Earth* sont des outils utilisant des orthophotographies.

Paléolithique : première et plus longue période de la Préhistoire, durant laquelle les humains sont tous des chasseurs-cueilleurs. Il débute il y a 3,3 millions d'années en Afrique, avec l'apparition des premiers outils lithiques et s'achève il y a 11 700 ans avec la fin de la dernière glaciation. Caractérisés par des grandes évolutions culturelles et techniques mises en évidence par les fouilles archéologiques, on distingue le Paléolithique inférieur (3,3 millions d'années – 300 000 ans avant nos jours), le Paléolithique moyen (300 000 – 45 000 ans avant nos jours) et le Paléolithique supérieur (45 000 – 11 700 ans avant nos jours).

Pariétal (art) : représentations (peintures, dessins, gravures et sculptures) situées au cœur de grottes ou dans les abris sous roche. Ce terme provient du latin *paries*, « mur, muraille ». Il ne faut pas confondre l'art pariétal avec l'art rupestre (du latin *rupestris*, « paroi de rocher »), où les représentations ont été réalisées en extérieur sur des supports monumentaux (rochers, flancs de montagne) ou à même le sol sur des surfaces dures.

Pariétaliste : chercheur qui étudie les œuvres pariétales.

Photogrammétrie : technique qui consiste à rassembler en une image 3D les informations de forme, dimensions et environnement d'un objet à partir de plusieurs prises de vues sous divers angles de cet objet. Un traitement numérique est appliqué aux différentes images pour effectuer une corrélation entre elles, c'est-à-dire reconnaître les pixels homologues, qui représentent les mêmes points du sujet sur les différentes images.

On accède aux coordonnées spatiales (x, y, z) de tous les points du volume photographié sous la forme de nuages de points ou de maillages. On superpose ensuite à cette surface un habillage issu des photographies, appelé texture.

Spectroscopie Raman : méthode d'analyse non invasive (qui ne détruit pas l'échantillon étudié) utilisée pour identifier la structure moléculaire d'un échantillon. Elle tire son nom du physicien indien Chandrashekhara Venkata Râman (1888-1970), prix Nobel de physique 1930 et découvreur de l'effet Raman, un phénomène qui consiste en la diffusion inélastique d'un photon par le milieu qu'il traverse.

Spéléothèmes : dépôts minéraux précipités dans une cavité naturelle souterraine qui peut être une grotte, un gouffre...

Système d'information géographique : système d'information conçu pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter tous les types de données spatiales et géographiques.

Talweg : ligne formée par les points ayant la plus basse altitude, soit dans une vallée, soit dans le lit d'un cours d'eau. On l'oppose à la *ligne de crête* ou à la *ligne de partage des eaux*.

Topographie : représentation planimétrique (ici, le contour de la grotte au niveau du contact de la paroi et du sol) et altimétrique (courbes de niveaux qui expriment les dénivelés du sol) d'un espace.

Vire : Replat étroit le long d'un escarpement montagneux.

VII Contenu

Quatre parties thématiques sont déployées :

- **la grotte**, l'étude de la cavité et de l'environnement ;
- **au carrefour des recherches**, les « fonctions support » au service des études ;
- **les êtres vivants**, l'étude des animaux et des humains qui sont entrés dans la grotte ;
- **l'art pariétal**, l'étude de l'art pariétal.

VII.0 Entrée

La grotte Chauvet est remarquable par de nombreux aspects. Elle a été découverte il y a 30 ans par trois spéléologues professionnels ardéchois, conscients qu'ils entraient dans un endroit particulièrement riche et bien conservé. Une équipe de recherche travaille depuis à l'étude de cet objet incroyable, intact depuis l'époque paléolithique*. L'exposition s'attache à décrire qui sont ces scientifiques, dans quelles conditions ils effectuent cette recherche et quels outils ou méthodes ils utilisent pour étudier cet endroit spécifique et fragile. Une vraie plongée dans la recherche en pratique au sein de cette cavité exceptionnelle !

Les élèves sont accueillis par un panorama graphique des aspects les plus remarquables de la recherche dans la grotte Chauvet, associés à quelques prérequis, comme par exemple, le fait que les *Homo sapiens* de Chauvet sont de la même espèce que nous.



VII.1 La grotte

Le 18 décembre 1994, attirés par un appel d'air dans les escarpements calcaires de l'Ardèche, trois spéléologues, Jean-Marie Chauvet, Éliette Brunel et Christian Hillaire découvrent une très vaste cavité, renfermant des vestiges intacts datant du paléolithique supérieur. Grâce à l'effondrement de la corniche calcaire marquant son entrée, cette grotte est restée cachée pendant plus de 21 500 ans, permettant ainsi son exceptionnelle conservation.

Considérée comme l'un des plus anciens chefs-d'œuvre de l'humanité connu à ce jour, cette cavité recèle aussi de nombreux indices du passé : l'étude des parois, des volumes, la cartographie* des vestiges ou encore l'analyse des atomes au cœur des stalagmites dévoilent des informations sur les paléoclimats, la formation des gorges de l'Ardèche, les animaux et les groupes humains qui vivaient à cette époque.

Dans cette première partie de l'exposition, maquettes, plans et photographies accompagnent l'élève dans sa compréhension de la formation de cette grotte et des transformations qu'elle a connues au cours de la Préhistoire et jusqu'à aujourd'hui.

1.1 – La grotte en trois dimensions

Le but de cet élément est de familiariser les élèves avec le tracé et le volume de la grotte, présentée ici dans toute sa longueur à l'échelle 1/100^e.

La Grotte Chauvet - Pont d'Arc mesure environ 200 m de long dans l'axe nord-sud et ne présente quasiment pas de dénivelé. Sa superficie se monte approximativement à 8 500 m². La hauteur sous plafond varie selon les salles, allant de 17 m de hauteur dans la salle Hillaire, jusqu'à ne pas pouvoir se tenir debout dans la galerie des Croisillons. Le seuil est un passage qui sépare la partie avant de la grotte de la partie la plus profonde. La grotte présente des plafonds creusés par l'eau au cours de sa formation : des pendants rocheux et des creux dessinent des formes complexes. Les nombreuses concrétions* de la grotte offrent le paysage typique observé dans les cavités.

1.2 – La grotte dans la vallée de l'Ardèche

Ici vous est offert une maquette du paysage d'il y a 35 000 ans associée à une coupe transversale montrant les étapes de la formation de la grotte. Une histoire de cinq millions d'années !

La grotte Chauvet - Pont d'Arc est située dans la falaise du cirque d'Estre, ancien lit de la rivière Ardèche, qui a écourté son trajet pour couler directement sous le Pont d'Arc (une immense arche naturelle des gorges de l'Ardèche).

Lorsque les humains du Paléolithique y entrent pour peindre, la grotte est formée et déjà majestueuse. Le porche, largement ouvert, se repère de loin dans le paysage. La végétation est celle d'un climat froid. La vire*, résultat de la désintégration d'une couche marneuse plus fragile en condition de gel/dégel successifs, permet un accès aisé à la cavité, que ce soit par le bas (le cirque) ou par le haut (le plateau). Des fouilles et recherches archéologiques ont montré des habitats de chasseurs-cueilleurs dans la vallée de l'Ardèche. La Grotte Chauvet fait

partie d'un ensemble significatif concernant les humains de l'Aurignacien* et leur art : en effet, pas moins de vingt-cinq grottes ornées sont localisées à proximité !



1. Rivière Ardèche ; 2. Pont d'Arc ; 3. Cirque d'Estre ; 4. Vire : chemin formé naturellement ;
5. Entrée de la grotte ; 6. Végétation de climat froid.

L'histoire de la formation de la grotte est longue de 5 millions d'années. L'originalité du relief karstique* résulte de la propriété qu'a le calcaire d'être dissous par l'eau. Le géomorphologue va donc travailler sur le vide et plus précisément sur la forme résultant du vide que l'eau a créé en passant et en dissolvant le calcaire. Les huit étapes clés qui ont conduit à l'état actuel de la grotte sont les suivantes.

① **12 millions d'années**

Dans la plaine calcaire, la toute jeune rivière Ardèche forme de grands méandres liés à la faible pente topographique.

② **Entre 5,9 et 5,3 millions d'années**

La Méditerranée se vide par suite de la fermeture du détroit de Gibraltar et son niveau moyen baisse de 2000 mètres. Cela a pour conséquence le creusement du lit des fleuves et des rivières.

③ **Entre 5,6 et 5,3 millions d'années**

Les eaux de pluie s'infiltrent dans la roche calcaire *via* les fissures. Elles rejoignent la rivière au point bas, en formant des drains horizontaux remplis d'eau.

④ **5,5 millions d'années**

L'Ardèche s'enfonce peu à peu dans le plateau calcaire. De nouveaux drains se forment, les autres s'assèchent et deviennent des cavités.

⑤ Entre 5,5 et 2,5 millions d'années

Le niveau de la Méditerranée remonte brusquement. La grotte Chauvet se remplit d'eau et de sédiments argileux qui forment une couche imperméable sur les sols et les parois. L'eau dissout alors le calcaire « par le haut ». Les plafonds bosselés apparaissent.

⑥ Après 2,5 millions d'années

Les Alpes se soulèvent et la Méditerranée se déplace vers sa position actuelle. Cela entraîne le creusement très profond des gorges de l'Ardèche et le retrait de l'eau et de l'argile.

⑦ Entre 500 000 et 38 000 ans

La rivière érode la base des gorges, ce qui entraîne l'effondrement des versants au-dessus. La cavité est « rabotée » et un large porche s'ouvre. La grotte Chauvet apparaît dans le paysage.

⑧ Entre 29 000 et 21 500 ans

La falaise s'effondre (en trois fois) et obture le porche d'entrée. La cavité n'est plus accessible aux êtres vivants de grande taille. Son entrée s'efface dans le paysage. La grotte n'existe que par ses relations à l'extérieur. Aujourd'hui encore, ce qu'il se passe dedans est intimement lié à ce qu'il se passe dehors (climat, végétation et pluviométrie).

1.3 – La grotte cartographiée

Les élèves découvrent un ensemble de cartes transparentes en vue projetée de dessus, toutes à la même échelle et explorant divers thèmes. Leur superposition permet de voir apparaître certains liens entre les données.

La grotte Chauvet est célèbre pour ses peintures majeures. Ces ornements volent la vedette à leur support, c'est-à-dire à la grotte elle-même qui, pourtant, fait l'objet de découvertes passionnantes. Les chercheurs étudient, en effet, très précisément cet environnement qui a accueilli et séduit les humains. Ils topographient et cartographient l'espace ainsi que les données qu'ils observent. Cela accroît leur connaissance du site, et permet l'établissement de liens entre le lieu et les activités humaines.

Le dispositif présente une topographie* de la grotte, et plusieurs cartographies*, ciblant chacune une recherche ou un phénomène précis (carte des parois ornées, des passerelles, des spéléothèmes*, des restes osseux, etc.). La topographie et la cartographie, en tant que productions graphiques du savoir et objets de représentation, apportent une vision nouvelle. Elles constituent une image de la grotte différente de celles apportées par une photographie ou une image 3D puisque la carte donne à voir ce qu'un regard ne peut pas embrasser d'un seul tenant, et permet de visualiser la totalité des espaces souterrains considérés. Seule la topographie offre une représentation globale de la grotte.

Elle résulte cependant de la production d'une personne et de compétences-métier précises (géomètre, géographe, spéléologue, artiste). Les cartes, quant à elles, offrent des visions variées, et permettent de focaliser son attention sur des sujets particuliers. L'association de cartes au sujet différent peut faire naître de nouvelles connaissances et des nouveaux questionnements.

1.4 – Paysages souterrains

Une composition de photographies à haute définition permet une immersion dans la galerie du Cierge. Un commentaire sonore de Jean-Jacques Delannoy, membre de l'équipe scientifique de la grotte Chauvet, est diffusé pour guider l'observation et la découverte de cette galerie. Des assises permettent à une dizaine de personnes de regarder.

La galerie du Cierge est une galerie où il n'y a pas d'art pariétal. Pourtant, elle dévoile de nombreuses informations lorsqu'on se met à porter le regard sur les roches, les parois et les sols.

L'art de regarder est crucial dans la recherche à Chauvet. Cela résulte des décisions prises pour conserver ce lieu intact et pour n'interférer en rien dans les traces ou les objets, datant du Paléolithique. Que reste-t-il si l'on ne peut pas toucher, ni marcher sur les sols, ni fouiller ? Il faut s'asseoir et regarder, affûter le regard et déployer les visions, qu'elles soient oculaires ou intellectuelles, apprendre à prendre le temps.

Jean-Jacques Delannoy a développé cette pratique dans sa recherche en géomorphologie. Il s'est efforcé d'inclure ses observations dans l'espace et le temps relatif (cela s'est passé avant, ceci s'est passé après) et d'explorer les liens possibles des humains du passé avec leur environnement. Ceci s'avère efficace car la grotte, ses pierres, ses formes, ses concrétions ont enregistré la mémoire du vivant : ainsi, le géomorphologue va pouvoir déduire de ses observations des gestes et des aménagements humains.

Dans la galerie du Cierge, les humains du Paléolithique ont créé des retenues d'eau en construisant des barrages de pierre et d'argile. Ils ont aussi cassé un plancher stalagmitique, puis déplacé le bloc obtenu pour créer une marche afin de passer plus facilement une zone de grand dénivelé.

C'est alors que le relief souterrain décrit et répertorié par un scientifique expert des reliefs karstiques et des grottes devient un paysage. Il est le résultat de la transformation par l'homme de son environnement et de son interaction avec lui.



1.5 – Le secret des stalagmites

L'objectif de cet élément est de faire découvrir le processus de formation des stalagmites et stalactites, les méthodes de datation et les informations que ces concrétions apportent sur les paléoclimats.

Les élèves observent, sous vitrine, une stalagmite issue de l'éboulis d'entrée de la grotte Chauvet. Ils découvrent en soulevant les volets sur l'iconographie comment l'analyse des quantités d'uranium et de thorium permet une datation très précise de chaque strie de croissance. Ceux qui veulent aller plus loin peuvent consulter le panneau qui explique comment sont étudiés les climats anciens grâce aux dosages des isotopes de l'oxygène.

Les spéléothèmes (stalagmites et stalactites) sont faites de calcite, de formule chimique CaCO_3 . Leur formation est en lien avec l'eau de pluie qui s'infiltré dans la roche calcaire depuis l'extérieur (le plateau au-dessus de la falaise) vers l'intérieur de la grotte. Cette eau circule dans les fissures de la roche et finit par arriver dans la cavité. Elle goutte depuis le plafond et tombe de façon répétée, toujours depuis le même endroit et vers le même point situé à l'aplomb. Elle contient de nombreux éléments minéraux provenant de l'extérieur mais aussi du calcaire qu'elle a dissous sur son passage. Ces éléments (ions calcium Ca^{2+} et hydrogénocarbonate HCO_3^-) se déposent en petite quantité à chaque écoulement et précipitent sous forme de calcite. C'est la formation de cette calcite qui « fabrique » les spéléothèmes. Les stalactites croissent depuis le plafond vers le bas et les stalagmites grandissent depuis le sol vers le haut. Il s'agit d'un processus très lent. Lorsque les conditions sont réunies, la stalagmite et la stalactite se rejoignent et forment alors un pilier stalagmitique, appelé aussi colonne.

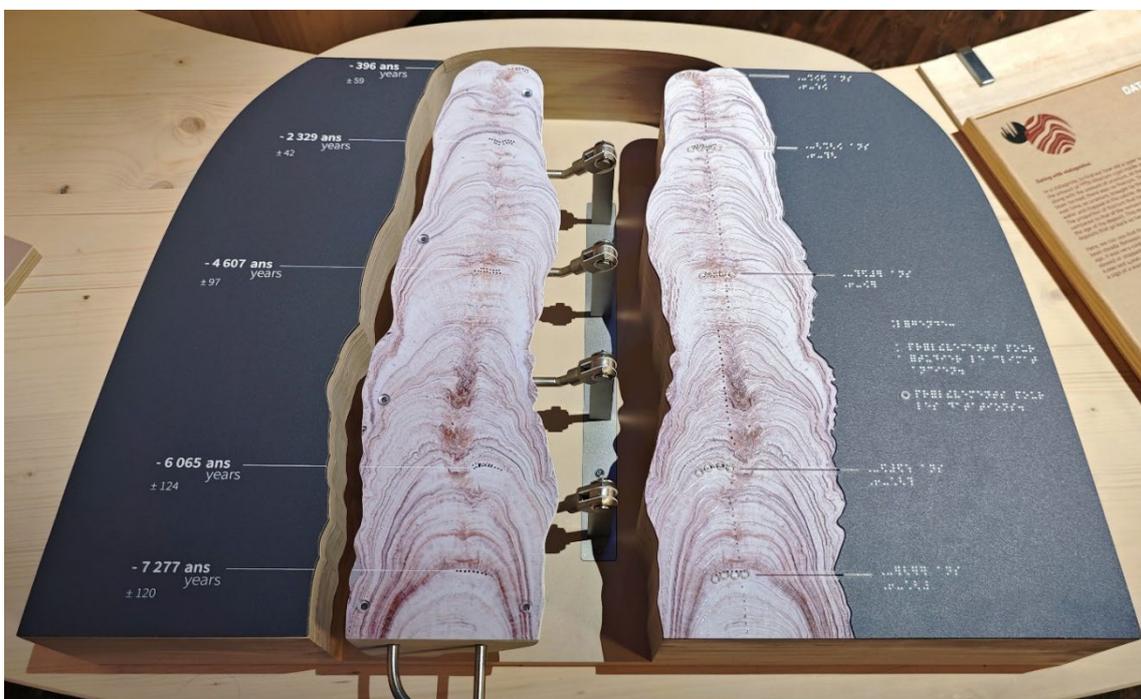
En moyenne, dans la grotte de Chauvet, une stalagmite pousse entre 0,1 et 2 mm par an. Jusqu'à une tonne d'eau peut s'écouler d'une stalactite en une année. En observant une stalagmite coupée en deux dans le sens longitudinal, on observe des stries de croissance. Ces couches de croissance, comme les cernes des arbres, marquent le passage du temps et sont les témoins d'époques très anciennes. Certaines stries arborent des couleurs noires : elles renferment des charbons de bois, qui peuvent être des résidus d'éruption volcanique ou de foyers. En étudiant les isotopes des atomes enfermés dans la calcite des spéléothèmes, il est possible d'obtenir des informations relatives ① à des datations et ② au paléoclimat de la région où elles ont poussé.

① Datations

La technique de datation sur les stalagmites permet de remonter jusqu'à 500 000 ans ! Elle repose principalement sur le dosage des isotopes de l'uranium et du thorium. L'uranium-238 (^{238}U) se désintègre en uranium-234 (^{234}U) puis en thorium-230 (^{230}Th) selon des périodes bien déterminées. La quantité de ^{230}Th , isotope quasiment absent au moment de la formation de chaque couche de calcite, va croître au cours du temps, à mesure que la quantité de ^{238}U diminue. En mesurant les quantités de l'un et de l'autre dans un échantillon, on peut déduire la date de formation de cette calcite.

Cette technique peut être appliquée à une stalagmite cassée. Ce fait est forcément le résultat d'un événement qui peut être daté : elle a pu être utilisée comme outil ou seulement déplacée par un être vivant (homme, ours ou loup). Elle a également pu se casser au cours d'un

phénomène géologique, par exemple, l'effondrement de l'entrée de la grotte. En datant la couche (la strie) qui correspond à la zone de la cassure, on est capable d'obtenir une date pour cet événement. De même, lorsque la stalagmite repose sur un support, on peut estimer qu'il est au moins aussi vieux que la première couche de croissance déposée sur la stalagmite.



② Paléoclimat

Les couches de croissance que l'on peut distinguer sur certaines stalagmites nous communiquent aussi des informations sur les cycles climatiques au moment de la formation de la stalagmite. Par exemple, un arrêt de croissance d'une stalagmite est un indicateur d'un climat très froid et sec (l'eau ne traverse plus le sol et le couvert végétal au-dessus de la grotte). Les isotopes de l'oxygène, présents dans les dépôts de calcite CaCO_3 , vont être de précieux indicateurs.

$\delta^{18}\text{O}$ correspond au rapport entre la quantité d'oxygène-18 (^{18}O) et d'oxygène-16 (^{16}O). Plus précisément, $\delta^{18}\text{O} = 1000 \left[\frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{échantillon}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{référence}}} - 1 \right]$. Il est fonction du climat : globalement, $\delta^{18}\text{O}$

diminue quand la température augmente. Cette tendance globale intègre les fractionnements isotopiques qui ont lieu quand l'eau s'évapore depuis l'océan, quand elle est transportée, quand elle condense sous forme de pluie et quand elle cristallise sous forme de calcite CaCO_3 . Il arrive très exceptionnellement que de l'eau soit piégée dans des stalagmites. On peut alors effectuer, sur cette eau « fossile », les mêmes mesures que sur les carottes de glace prélevées au Groenland. Tous ces résultats donnent des indices sur les variations climatiques qui sont cohérents avec ce qui est connu au Groenland, mais qui montrent aussi des variations continentales locales. Ces enregistrements climatiques régionaux sont extrêmement précieux.

1.6 – Avant après

Les élèves découvrent ici les transformations et l'évolution temporelles de la grotte, au cours d'événement lents ou rapides. Ils sont invités à comparer des paires d'images, à repérer ce qui les différencie et à s'interroger sur la durée du processus. Dans un second temps, ils dévoilent le texte associé à chaque paire d'images qui explique la raison du changement et sa temporalité : le concrétionnement, la chute d'un plafond, l'apparition d'une peinture, etc.

Les environnements souterrains ne sont pas figés. Leur aspect est directement lié aux événements et aux conditions extérieures, que ce soit au cours de leur formation, puis dans ce qu'ils deviennent. La grotte Chauvet que nous observons aujourd'hui n'est, bien sûr, pas tout à fait la même que celle que fréquentaient les humains au Paléolithique. D'autres transformations ont eu lieu après le passage des humains préhistoriques, au cours des 21 500 ans qui nous séparent de la fermeture de la cavité.

VII.2 Au carrefour des recherches

Joyau de l'art pariétal, la grotte Chauvet est également un immense paysage complexe sculpté par l'eau dans la roche calcaire. C'est aussi une archive de l'histoire de la cavité et du passage des êtres vivants. Elle conserve leurs ossements, leurs traces de pas, de griffes, d'hivernation, les restes de feux... Pour mieux appréhender ce trésor de l'humanité, de nombreuses disciplines scientifiques sont à l'œuvre dans son étude.

Cette partie de l'exposition s'intéresse aux aspects interdisciplinaires de la recherche dans la grotte Chauvet. Elle propose aux élèves de vivre l'expérience de ces scientifiques qui, une fois par an, peuvent accéder à l'intérieur de la grotte. Les élèves découvrent le matériel et les techniques nécessaires pour travailler dans cet espace souterrain et clos : porter un casque, tester avec une perche l'acquisition d'images d'un crâne d'ours des cavernes ou encore utiliser les logiciels permettant de générer des modèles 3D des vestiges présents dans la grotte, expérimenter les éclairages et leur orientation afin de révéler les dessins, invisibles à l'œil nu, gravés dans les parois.

L'exploration de la grotte aujourd'hui

Une fois par an, en mars, les chercheurs ont accès à la grotte pendant environ trois à quatre semaines. Lors de cette courte période, ils amassent des données. C'est le temps de l'observation, du repérage, des prélèvements, de la prise des photos, des relevés et de la collecte. Ce temps court d'accès au sujet d'étude permet son excellente conservation.

La conservation est aussi assurée par l'interdiction de fouiller (et donc de creuser car cette action implique une destruction). L'activité de l'archéologue est donc conditionnée et les chercheurs se voient obligés de créer de nouveaux outils d'étude.

Après les campagnes de recherche, c'est le moment du répertoriage, de la constitution des statistiques, de l'analyse des données, de l'archéologie expérimentale, de l'interprétation et de la confrontation des hypothèses. Un rapport de recherche est rédigé à la suite de chaque campagne. Vient ensuite le temps de l'organisation de la prochaine campagne de recherche dans la grotte : choix et planifications des activités, préparation des outils...

2.1 – Datations absolues et chronologie

Les élèves sont mis en présence d'une composition graphique à base de photographies des équipements géants qui permettent de dater précisément des échantillons tout petits. Ils sont également informés des différentes techniques de datation, de leurs limites et se voient proposer un jeu aimanté sur les période d'occupation de la grotte par l'Ours et par l'Homme.

Il n'y a pas une mais des méthodes de datation. La technique qui fait appel au carbone-14 (^{14}C) est aujourd'hui bien connue, les autres un peu moins. Une méthode donnée s'applique à certaines matières seulement, pour des intervalles de temps précis et avec une incertitude temporelle qui lui est propre. Les résultats sont à recouper avec des références, des courbes d'étalonnage et d'autres datations. C'est donc toujours dans le dialogue :

- que se décide la technique à mettre en œuvre pour dater un échantillon ;
- que les résultats sont analysés et interprétés.

Les différentes méthodes valables pour la période d'activité de la grotte Chauvet et les matières qu'on y trouve sont les suivantes.

- La datation au carbone-14 des matières organiques : elle permet d'approcher la date à laquelle cette matière a été le siège du dernier processus de vie (respiration, alimentation, etc.). Attention ! La décroissance du taux de ^{14}C après la mort doit être corrigée de divers phénomènes (changement dans le magnétisme terrestre, modification de la concentration de ^{14}C par suite des essais nucléaires terrestres...)
- La datation au thorium : L'uranium-238 présent dans l'eau se désintègre en uranium-234 qui, lui-même, se désintègre en thorium-230. Ce dernier est insoluble dans l'eau, il n'est donc jamais présent en milieu dissous mais apparaît progressivement dans les dépôts sédimentaires notamment de calcite. Sa concentration augmente au cours du temps dans les dépôts.
- Datation par thermoluminescence : au cours du temps, l'énergie issue de la radioactivité naturelle va piéger des électrons de certains minéraux dans des niveaux d'énergie élevés. Leur désexcitation n'est possible que s'ils sont soumis à une quantité de lumière ou de chaleur suffisantes. Ils libèrent alors leur surplus d'énergie sous forme lumineuse. En mesurant cette thermoluminescence, on peut estimer la quantité d'électrons piégés et donc le temps écoulé depuis la dernière exposition à la lumière ou à la chaleur.

- Datation au chlore-36 (^{36}Cl) : le chlore-36 arrive en permanence à la surface de la Terre sous l'effet du rayonnement cosmique. En estimant la quantité de chlore-36 dans une eau piégée ou dans une roche, on peut en déduire la durée d'exposition au rayonnement cosmique par rapport à des échantillons de référence.

2.2 – Grands instruments, petits échantillons

Les datations sur isotopes sont réalisées au moyen de spectromètre de masse. Les masses d'échantillons nécessaires sont devenues toutes petites grâce aux améliorations de performance des appareils de purification et de mesure. En particulier sur les stalagmites, cela permet d'effectuer la datation de toutes petites zones correspondant à un temps très resserré de dépôt. Dans les années 1970, on avait besoin d'échantillons dont les masses étaient comprises entre 1 et 10 g, la mesure était beaucoup moins fine. Aujourd'hui, un centième de gramme est souvent suffisant et cette finesse de résolution est rendue possible par la taille des appareils de mesure.



Grands instruments, petits échantillons
Large instruments; small samples

Les datations s'effectuent aujourd'hui en utilisant de très petits échantillons de matière.
Par exemple 0,002 g (soit 2 mg) de carbone peuvent suffire pour estimer l'âge d'un morceau de matière organique à l'aide du ^{14}C carbone-14 qui y trouve.

Currently dating is carried out on tiny samples of material.
For example, 0.002 g (i.e. 2 mg) of carbon from a piece of organic matter may be enough to provide an estimate of its age from the ^{14}C (Carbon 14) it contains.



De façon générale, on peut estimer l'âge en mesurant certains atomes radioactifs naturellement présents à l'intérieur: ^{14}C (Carbone 14), ^{238}U (Uranium 238), ^{235}U (Uranium 235).

In general the age of a sample can be estimated by measuring certain radioactive atoms naturally present within it: ^{14}C (Carbon 14), ^{238}U (Uranium 238), and ^{235}U (Uranium 235).



Comment ça marche ?
L'échantillon est introduit dans un spectromètre de masse couplé à un accélérateur.

How does it work?
The sample is introduced into a mass spectrometer coupled to an accelerator.



En gros, il s'agit d'un long tube avec d'une part des parties linéaires qui servent à donner de la vitesse aux électrons et d'autre part des parties courbées qui servent à séparer les atomes de masses différentes... jusqu'à distinguer, par exemple, le ^{12}C et le ^{13}C qui sont ainsi comptés séparément.

Basically this is a long tube with linear sections to speed up the atoms and angled sections that separate atoms of different masses - in order to distinguish, for example the ^{12}C from the ^{13}C and the ^{14}C which are then counted separately.



Cette précision nécessite des équipements sophistiqués, parfois de très grande taille!

Such precision requires sophisticated and sometimes enormous equipment!

2.3 – Mettre en lumière

À l'aide d'une lampe-torche, les élèves vérifient l'importance fondamentale des éclairages et de leur orientation en expérimentant leur influence sur une reconstitution de la tête de cheval gravée dans la salle de la Sacristie. En orientant la lumière sur une paroi fac-similé, ils peuvent la découvrir alors qu'elle est peu visible en lumière ambiante.

Sur un relief, l'ombre portée peut tantôt révéler une gravure ou une proéminence invisible en pleine lumière, tantôt masquer une zone qui se trouve dans l'ombre. Avec une incidence rasante, on peut révéler une gravure peu prononcée. En changeant la température de couleur d'une lampe, on peut observer de nouvelles nuances.

La lumière et l'analyse des ombres projetées constitue un moyen pour reconstituer un volume. Cet aspect-là est un des champs de recherche en cours dans la grotte Chauvet. L'éclairage, son orientation, son intensité mais aussi sa courbe spectrale jouent un rôle majeur dans la lisibilité des ornements et des vestiges. L'éclairage, ajustable grâce à de nombreux paramètres, est capital pour obtenir des images lisibles et révélatrices. C'est également un paramètre clé pour garantir des images 3D de qualité.

Dans la grotte Chauvet, des recherches viennent de débiter avec des éclairages ultraviolets. On distingue alors bien plus aisément et nettement les voiles de calcite sur la paroi et les excréments déposés par les chauves-souris.

2.4 – Interdisciplinarité

À travers une composition graphique et une interview, on montre concrètement comment les disciplines de recherche collaborent et suscitent l'intérêt pour les matières scientifiques dont elles sont issues.

Dans la grotte Chauvet, les études de chaque discipline ne se font pas côte à côte avec des zones d'investigation distinctes. Dès l'établissement de la première équipe de recherche en 1998, Jean Clottes, alors directeur scientifique, réunit une équipe multidisciplinaire allant bien au-delà des chercheurs et chercheuses « pariétalistes* ». Cette approche était innovante et c'est la première fois dans le domaine de la préhistoire (science jeune, née au début du XX^e siècle) que l'on voyait des chercheurs d'univers variés former l'équipe de recherche d'un site préhistorique.

Aujourd'hui, cela est toujours vrai. Carole Fritz, actuelle directrice (qui faisait partie de l'équipe de Jean Clottes), cultive cette interdisciplinarité et en connaît la valeur. Les recherches s'effectuent conjointement, elles s'enrichissent les unes les autres, les informations sont partagées, corroborées, et articulées. Les supports de recherche produits sont alors totalement pluridisciplinaires et sont examinés ensemble par les scientifiques des différentes disciplines.

C'est en particulier le cas des images 3D et l'un des objectifs du Système d'information géographique*. Ces disciplines scientifiques font également appel à des techniques et des compétences issues de matières étudiées au collège, au lycée et à l'université comme la chimie, la physique, la biologie, l'informatique, les mathématiques, l'histoire, la géographie et les sciences numériques.

2.5 – Mesurer pour conserver

L'objectif de cet élément est de montrer les dispositifs techniques et scientifiques requis par la conservation de la grotte : capteur de CO₂, thermomètre, compteur de gouttes, lampe ballon, perche télescopique...

La grotte est un site exceptionnel par sa conservation. Il s'agit d'un ensemble clos depuis l'effondrement du porche il y a 21 500 ans. Personne n'y est entré jusqu'en 1994, au moment de sa découverte. Le sol y est intact, ou quasiment. Les concrétions, les ossements, les vestiges n'ont pas été au contact d'événements autres que naturels. Toutes les traces d'activité sont

donc préhistoriques ! Leur conservation est capitale : il s'agit de protéger un patrimoine exceptionnel.

Dès la découverte de la grotte et son expertise par le préhistorien Jean Clottes, spécialiste du Paléolithique supérieur et de l'art pariétal, des mesures de conservation sans précédent ont été prises pour en respecter l'intégrité et laisser intactes des traces datées de 36 000 ans. Aucune fouille d'ampleur n'est menée et seuls quelques petits sondages judicieusement choisis ont été effectués, notamment liés à l'installations des aménagements permettant aux chercheurs d'y travailler. Le principe adopté a été de suivre le cheminement des découvreurs de façon à ne pas fouler le sol à d'autres endroits. C'est ainsi que les positions des passerelles ont été décidées ! Le prélèvement d'objets et d'échantillons est lui aussi très contrôlé et limité. Les scientifiques ne peuvent pas toucher les vestiges, ils ne peuvent pas les soulever pour voir ce qu'il y a en dessous. Ils sont également contraints de rester à distance des parois et du sol qu'ils étudient. La conservation s'articule autour de deux préoccupations :

- surveiller l'évolution climatique, biologique et géomorphologique de la cavité pour pouvoir réagir si quelque chose d'anormal survenait. La grotte est constamment surveillée et auscultée. On y détecte les répercussions du changement climatique mondial, on mesure les taux de CO₂, on y traque la présence d'espèces biologiques.
- construire les infrastructures (mise en place de la passerelle de circulation dans la grotte) et établir les règles pour la protéger : ne pas sortir de la passerelle, ne pas toucher, abimer, détériorer la grotte, que ce soit par des visites trop nombreuses ou par une recherche invasive.

2.6 – Acquérir des images de la grotte

En conditions réalistes, avec une perche télescopique, les élèves expérimentent l'acquisition des images sur l'objet « crâne sur son bloc » avec mise à distance sur des « pas japonais ».

Les chercheurs ne peuvent pas cheminer où ils veulent. Ils sont contraints de le faire sur les passerelles. Cela empêche de voir et d'observer de près un grand nombre de vestiges ou de lieux. L'acquisition numérique est donc d'un grand secours pour accéder aux détails invisibles à distance. Elle consiste à effectuer des prises de vues multiples de la grotte afin de pouvoir reconstituer des images en trois dimensions.

Depuis 2018, une numérisation 3D de haute définition est en cours en vue de créer un modèle général géoréférencé. Chaque campagne de recherche en mars permet de compléter ces acquisitions. Les zones à traiter en priorité sont définies par les scientifiques de l'équipe de recherche. Leur choix dépend des sujets d'intérêt ou bien des conditions dans les salles (notamment la salle du Fond dont le taux de CO₂ compromet l'accès dans un futur proche). Au cours de la campagne de mars 2022, 27 487 images ont ainsi été réalisées.

Pour numériser un volume en 3D, il faut réaliser des prises de vue nombreuses suivant différentes orientations. Quand la distance à la passerelle est grande, cela exige d'avoir recours à des perches. L'activité devient alors très physique puisqu'il faut réaliser ces prises de vue en bougeant le moins possible au moment de l'acquisition. Les perches peuvent atteindre jusqu'à 9 mètres. La portée et le poids sont alors considérables avec un tel bras de levier.

L'acquisition des images se fait « en continu » : les prises de vue se déclenchent automatiquement toutes les cinq secondes : ainsi, le scientifique doit décaler légèrement l'appareil pour la prise de vue suivante. Avec l'habitude, Thomas Sagory et Antoine Laurent peuvent faire des acquisitions continues de 15 minutes. Ils « balayent » toute une zone du plus loin au plus proche, en diminuant peu à peu la longueur de la perche télescopique, dans l'intervalle de temps (5 s) entre deux prises de vues. Pour garantir la netteté des images, ils coupent leur respiration au moment de la prise de vue. Afin de calibrer échelles et dimensions, une mire est placée dans le champ couvert par les photographies d'une zone. De plus, pour l'étalonnage des couleurs, les chercheurs utilisent une charte colorée : la première photo est celle de cette charte, dans les conditions de la prise de vue.



2.7 – Image 3D numérique d'un crâne d'ours

Dans cette activité multimédia sur écran tactile, on cherche à comprendre comment les scientifiques génèrent les images 3D numériques à partir des photos réalisées dans la grotte, grâce à la technique de photogrammétrie*. Les élèves sont invités à faire varier des paramètres comme le nombre de photos, leur alignement, la colorimétrie, etc.

Les scientifiques effectuent un grand nombre de photographies des sols, des parois et des objets (ossements, pierres, blocs, stalagmites, etc.) afin de générer des vues 3D numériques de la grotte par photogrammétrie.

Les informations en trois dimensions sont indispensables pour reconstituer les faits qui se sont déroulés dans la grotte, qu'ils soient de nature anthropique, animale ou géologique. Les modèles 3D permettent de restituer les évolutions dues aux phénomènes naturels comme la sédimentation et les effondrements ou de simuler des flux, par exemple les feux réalisés par les humains de l'Aurignacien. Ils sont également utiles pour la conservation et la gestion des sites archéologiques à protéger car ils aident à suivre les altérations et localisent précisément les infrastructures mises en place (passerelles, escaliers). Enfin, ils servent à réaliser des fac-similés et donnent ainsi accès à un patrimoine exceptionnel sans mettre en péril le site.

2.8 – Dans la peau des scientifiques

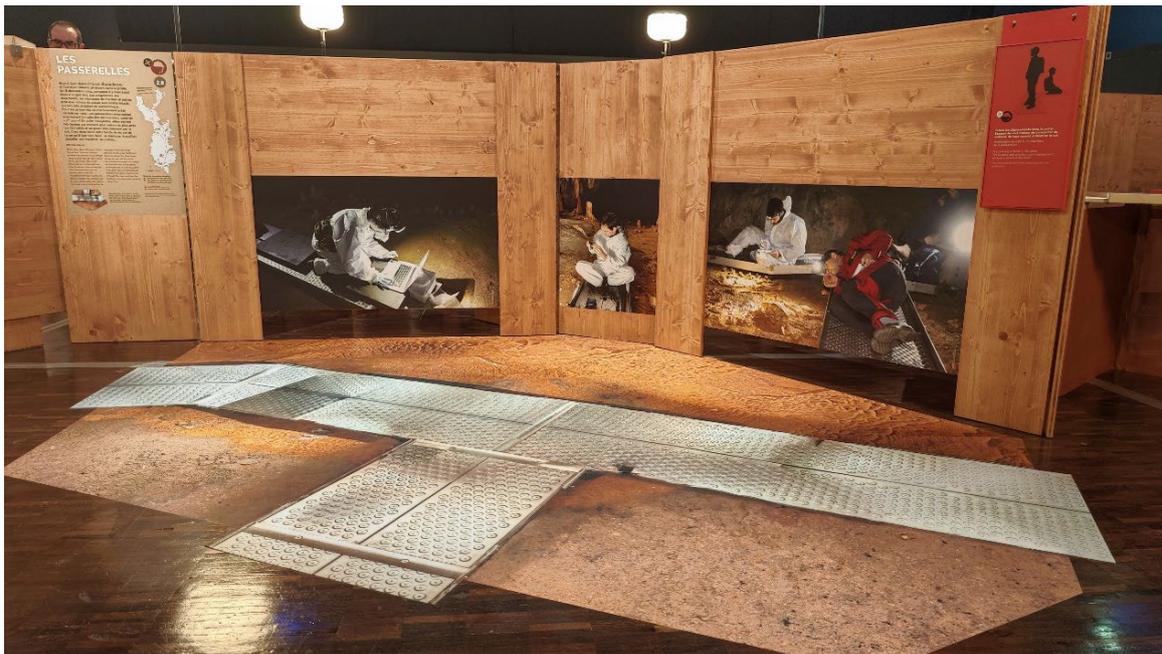
Les élèves sont invités à s'engager physiquement, à entrer dans la peau d'une personne de l'équipe. Ils expérimentent l'espace de la passerelle, découvrent et éprouvent le matériel que les scientifiques apportent dans la grotte.

Pour traduire de façon réaliste le travail de recherche et le rendre accessible au public, l'exposition choisit d'en montrer une facette habituellement occultée : la dimension physique. Quelles sont les postures nécessaires au travail et aux relevés dans la grotte ? Comment sont habillés les membres de l'équipe, quels sont leurs accessoires ?

Les élèves sont donc invités à adopter les postures des membres de l'équipe. Une façon concrète de comprendre que la rigueur des travaux scientifiques, la méticulosité, la patience dont il faut faire preuve ainsi que les précautions de conservation tiennent une grande place dans la recherche de terrain. Ce dispositif a également l'avantage de leur proposer de jouer un rôle, activité très appréciée dans les musées.

Portrait de douze scientifiques

Les élèves vont rencontrer, au fil de leur progression dans l'exposition, les portraits de douze membres de l'équipe scientifique, qui permettent de brosser la diversité des disciplines auxquelles ils appartiennent, les étapes de leur parcours scolaire, leurs préférences quant aux matières étudiées durant leur cursus.



VII.3 Les êtres vivants

Au paléolithique supérieur, la grotte Chauvet était fréquentée par de nombreux animaux et l'ours des cavernes en était le principal occupant. Pesant près de 400 kg, il était beaucoup plus gros que l'ours brun d'aujourd'hui. Mais il n'était pas le seul. Les chauves-souris y sont passées bien avant les ours. Des loups s'y sont aventurés et sont allés étonnamment loin dans la grotte. Pourquoi ? Étaient-ils seuls ? En meute ? Quant aux humains, ils venaient y dessiner et, peut-être, y accomplir des rituels. Ont-ils fréquenté la grotte en même temps que les ours ? Pour répondre à ces questions, les scientifiques étudient ces traces d'activités afin de mieux comprendre le comportement d'espèces disparues.

Dans cette troisième partie, l'élève est donc amené à découvrir l'analyse d'excréments, l'identification d'empreinte, l'observation de restes de feux ou encore l'acoustique de la grotte.

3.1 – Archéoacoustique, le son dans la grotte

À l'aide d'un multimédia sur l'acoustique virtuelle de la grotte d'aujourd'hui, les élèves peuvent émettre des sons et les entendre comme s'ils étaient dans la grotte.

Pénétrer dans les espaces sombres de la grotte, c'est accepter de perdre un certain nombre de repères visuels et porter sans doute une attention plus grande à l'environnement sonore. Qui donc pourrait surgir depuis ses profondeurs ? Un Ours des Cavernes ?

Les ornements de la grotte sont liés à l'expression des mythes que les humains de l'Aurignacien cultivaient et se transmettaient. Les feux intenses qui étaient organisés devaient également y participer.

Qu'en est-il de la dimension acoustique ? Les humains qui ont peint ont-ils éventuellement exploité une acoustique unique lors de rituels liés à l'expression de leur mythe ? Comment entendait-on un son provenant d'une salle lointaine ? Les hommes exploitaient-ils des effets sonores à certains emplacements particuliers ? Quelle impression pouvait procurer le grognement d'un loup ou d'un ours ? L'équipe scientifique a voulu intégrer des chercheurs acousticiens pour explorer cet aspect de la grotte. Pour prendre la mesure de ce qui se jouait, il faut en reconstituer l'acoustique. Des travaux sont entrepris pour reconstituer l'environnement sonore de la grotte et en soustraire les éléments récents comme les passerelles et la calcite qui n'étaient pas présents du temps des hommes de l'Aurignacien. Attention, le dispositif présente une modélisation sonore de la grotte actuelle (contenant des passerelles, des concrétions et de la calcite de notre époque). En effet, des études sont en cours pour obtenir un modèle sonore dont ces éléments contemporains seront soustraits : ce sera alors le modèle virtuel sonore de la grotte telle que les Hommes de l'Aurignacien la connaissaient.



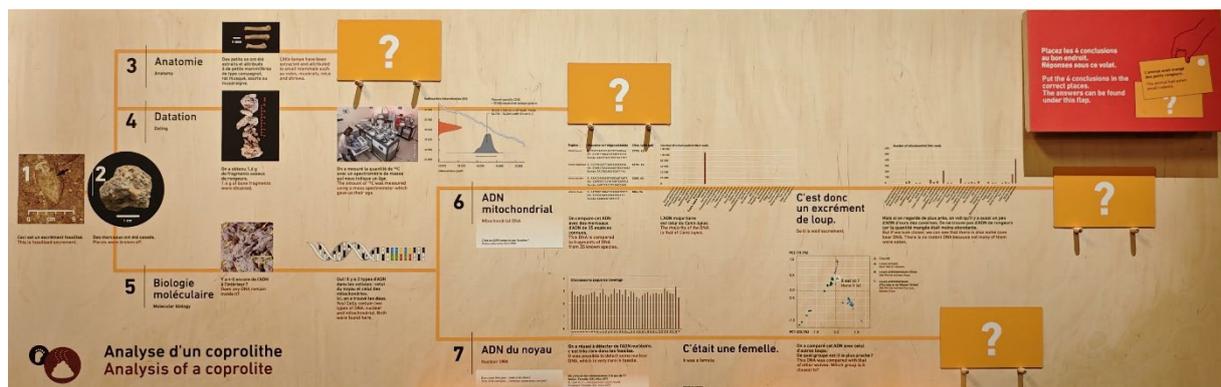
3.2 – Faire parler un excrément

On dévoile ici la richesse et les limites des méthodes d'investigation génétiques, à travers l'étude d'un coprolithe de loup.

Dans la grotte Chauvet, les restes organiques que l'on peut étudier n'appartiennent pas à des humains mais à des ours, des bouquetins, des loups, des chauves-souris et des rongeurs. On trouve principalement des os et des coprolithes (excréments fossilisés).

L'échantillon appelé CCH3, issu d'un coprolithe trouvé dans la salle Hillaire s'est révélé très riche en information. Il montre la multiplicité des données qu'il est possible d'extraire mais également les précautions et les vérifications qu'il faut entreprendre. Les analyses génétiques sont largement popularisées, notamment celles qui concernent les enquêtes policières ou les recherches de parenté. Il s'agit ici de préciser, nuancer et donner une vision juste et concrète de la façon dont on procède dans le cadre de la paléontologie.

Les travaux se heurtent en effet à de nombreuses difficultés. Les échantillons dont on dispose sont très anciens, l'ADN y est dégradé et en toute petite quantité. Ici, le coprolithe a été daté au carbone-14 grâce aux os des rongeurs qui se trouvaient dedans. Il remonterait à 35 000 ans ! Autre difficulté, il faut faire des suppositions sur les espèces dont émane l'échantillon car les fragments sont souvent de taille insuffisante pour que leur morphologie indique clairement qui en était propriétaire. Enfin, il s'agit d'espèces anciennes, parfois éteintes pour lesquelles les informations peuvent être lacunaires. Malgré tout cela, le coprolithe a livré des informations précises. L'ADN mitochondrial majoritaire appartenait à une espèce de canidé aujourd'hui éteinte et apparentée à des loups contemporains dont les restes ont été découverts en Belgique. De l'ADN mitochondrial d'ours des cavernes a également été trouvé dans le coprolithe. Manifestement, ce canidé, un loup, avait consommé de l'ours des cavernes ! Et ces restes d'ours provenaient bien du bol alimentaire du loup, car l'ADN n'était présent que dans le coprolithe et pas dans les débris à proximité ! Enfin, l'ADN nucléaire du coprolithe a également été étudié et a montré que le loup était une femelle.



3.3 – L'étude des feux dans la galerie des Mégacéros

Dans une installation à l'échelle 1 qui reproduit la superficie et la volumétrie d'une partie de la galerie des Mégacéros contenant la zone de feu n°1, les traces de suie, les charbons au sol, les thermo-altérations et les changements de couleurs dus au feu sont positionnés à leur emplacement exact. Un multimédia présente des expériences d'archéologie expérimentale en rapport avec le feu et les fumées.

L'étude des feux dans la galerie des Mégacéros est un superbe exemple d'enquête scientifique qui mêle étude de terrain, analyse au laboratoire, archéologie expérimentale et simulation numérique. La question de départ est de comprendre la fonction des feux qui ont manifestement été allumés par les Aurignaciens dans la grotte et en particulier dans une partie profonde appelée la galerie des Mégacéros. Dans cette galerie, la surface des altérations dues à des feux (thermo-altérations) est particulièrement importante : environ 23 m² réparties en sept zones de feu. Les traces apparentes de ces feux sont multiples.

- On trouve des suies sur les parois, identifiées par spectroscopie Raman* au laboratoire. Toutefois, ces suies sont plutôt les témoins de zones où les feux sont restés modérés et pour lesquels la température de la paroi n'a pas dépassé les 400 °C.
- On trouve des charbons de bois au sol qui ont souvent été déplacés par rapport à l'endroit où ils ont été produits. Ils n'indiquent donc pas nécessairement la présence d'un foyer et leur absence ne signifie pas qu'il n'y en a pas eu de feu à cet endroit. L'eau de ruissellement ou les passages des ours ou des humains peuvent avoir effacé ces traces.
- On constate des altérations mécaniques : des fissurations, des éclatements de la roche et des écaillages de la paroi (appelés *thermoclastes*). Les thermoclastes se détachent parfois de la paroi. Ces écaillages, qui se produisent quand la roche est portée à plus de 300 °C, ont même endommagé des dessins préexistants comme l'arrière-train de l'ours central du Diverticule des Ours. Sur certaines parois, on trouve plusieurs couches d'écaillages successifs qui témoignent d'une succession de phases de combustion.
- On observe des changements de couleur de la roche qui prend des teintes roses ou grises. On parle de rubéfaction, car l'oxyde de fer contenu dans le calcaire de la grotte Chauvet (tous les calcaires n'en contiennent pas) s'oxyde à la chaleur et donne une couleur rouge à la roche chauffée. Ces teintes sont un indice précieux de la température atteinte par les parois. Des expériences de combustions réalisées au laboratoire ont permis de construire un référentiel de couleur. Il est ainsi possible de savoir jusqu'à quelle température les parois rubéfiées ont été portées lors des feux. Des expériences de thermoluminescence effectuées sur des morceaux de calcaire rubéfiés, prélevés dans la grotte, ont confirmé qu'ils avaient subi une chauffe ancienne et intense.

Forts de ces indices précis, peut-on imaginer quelle était l'intensité des feux réalisés et la quantité de bois que les humains avaient dû apporter pour cela ? Oui, mais comme on ne dispose pas d'une salle de géométrie identique à la grotte pour reproduire les feux, il a fallu construire un modèle numérique et faire appel à la physique des fluides. Et pour valider ce modèle, des feux expérimentaux ont été réalisés dans une carrière de volume comparable à

celui de la galerie des Mégacéros. Ces feux expérimentaux ont été produits avec du pin sylvestre, essence utilisée dans la grotte Chauvet, comme le confirme l'étude des charbons de bois et les analyses anthracologiques*. Le modèle numérique a permis d'estimer la quantité de bois nécessaire pour chacun des sept ou huit feux de la galerie des Mégacéros qui ont également pu être précisément localisés.

Certains de ces feux étaient gigantesques. Il est donc peu probable qu'ils aient servi d'éclairage, de chauffage ou de balisage. Ils ont pu aider à préparer la paroi à recevoir des ornements, soit parce qu'une coloration rose était souhaitée, soit parce que le chauffage provoquait un ramollissement de la paroi propice aux gravures. Ces feux permettaient également sans doute de produire du charbon de bois utilisé ensuite pour dessiner. Mais l'explication est peut-être insuffisante. La taille des feux inspire l'idée du spectaculaire et l'une des pistes est d'imaginer que le feu faisait partie du rituel, qu'il éclairait les ornements et produisait une ambiance sonore, un « son et lumière », en quelque sorte. D'autres études et simulations seront nécessaires pour vérifier cette nouvelle hypothèse.



3.4 – La grotte des ours

L'Ours des cavernes a occupé toute la grotte et y a laissé de nombreux vestiges montrés sous forme de fac-similé.

Des fac-similés à toucher avec un cartel explicatif permettent aux élèves de situer l'emplacement des bauges*, des ossements, des empreintes et des griffades.

La grotte Chauvet contient plus de 4 500 os d'animaux. Les traces et objets issus des animaux sont variés et nombreuses : des ossements, des empreintes, des bauges, des griffades, des poliss de paroi et des projections argileuses.

Il y a près de 2 000 ossements d'ours qui appartenaient probablement au moins à 140 individus (estimation obtenue en dénombrant les crânes mais ce nombre est sous-estimé car le sol regorge probablement d'ossements enfouis que l'on s'interdit de fouiller). Les datations effectuées sur 42 restes osseux répartis dans la grotte et comparés avec les datations de 121 charbons de bois issus d'activités anthropiques montrent que les ours étaient présents bien avant les humains – ce fait est également attesté par la présence de griffades sur lesquelles viennent se superposer les dessins – et qu'ils ont fréquenté ensuite la grotte de façon intense notamment aux alentours de 34 000 ans avant nos jours. Les bauges, creusées par les ours pour hiberner, témoignent d'un peuplement nombreux. On constate aussi des empreintes d'ourson, montrant que la grotte (ou certaines zones) était une réelle pouponnière et que les ourses utilisaient cette cavité pour mettre bas. Les griffades sur les parois étaient probablement un moyen de déposer une odeur pour faciliter les déplacements dans un espace obscur. L'éthologie (comportement des ours actuels) apporte des éléments de comparaison afin d'étayer ces hypothèses.



3.5 – ichtnologie : pistes des homme, pistes des loups

Ici, on comprend comment les scientifiques reconstituent une piste à partir de l'analyse d'empreintes.

Dans la galerie des Croisillons, tout au fond de la grotte, l'argile au sol a conservé intactes de nombreuses traces de pas et, en particulier, les seules empreintes de pas humains de toute la grotte Chauvet. On y trouve également de nombreuses empreintes de loup. Ce secteur est donc un lieu très propice à l'étude de l'interaction humain/animal. Imprimées dans l'argile, ces empreintes dévoilent les cheminements de ces êtres, passés par là il y a plus de 30 000 ans. Comment reconstituer ces cheminements ? Ce travail commence avec l'acquisition d'images photogrammétriques du sol et avec la reconstitution 3D du secteur. Sur cette image, chaque empreinte fait l'objet d'une identification individuelle. Peut-on l'attribuer à un être humain ? à un loup ? est-elle ambiguë ? complète ou parcellaire ? quelle est son orientation ? Peut-on déterminer de quelle patte il s'agit (patte avant, arrière, droite ou gauche) ? Ces études aident à caractériser l'allure (marche, trot ou galop) et à reconstituer un cheminement probable. Quatre cheminements humains et deux de loups ont pu être isolés. Ces pistes semblent être celles d'individus qui marchent côte à côte. Le loup et l'homme sont-ils venus séparément ou ensemble ? Un loup a-t-il marché à côté d'un humain ? Ces empreintes de loup dans une partie reculée de la grotte sont étonnantes, car les connaissances sur le comportement des loups indiquent que cet animal n'a pas tendance à s'aventurer spontanément aussi loin dans un lieu

comportant autant de trace de son antagoniste : l'Ours des cavernes. Des questions se posent alors : est-ce que ce loup accompagnait les humains ? Est-ce qu'ils se faisait accompagner d'un loup pour s'assurer de détecter la présence éventuelle d'un ours ? Elles sont les prémisses d'une recherche qui débute. Rien aujourd'hui ne permet de donner des réponses positives ou négatives à ces questions...

3.6 – Ichnologie, identification d'une empreinte

Un dispositif multimédia tactile permet de découvrir l'ichnologie* et la méthodologie d'identification des empreintes, par étapes. Il démontre aussi l'utilité des méthodes statistiques en mathématiques pour identifier l'espèce à laquelle appartient une empreinte de pas.

La grotte Chauvet est l'une des rares cavités d'Europe à abriter de nombreuses empreintes de mammifères non humains. Toutefois, rien ne ressemble plus à une empreinte de mammifère que celle d'un autre mammifère ! Chaque patte de félin, hyénidé et canidé possède effectivement une pelote palmaire et quatre pelotes digitales. La taille dépend évidemment de l'espèce mais également de l'âge de l'individu et de sa stature (il existe une variabilité de taille au sein d'une même espèce). Globalement, les félinés ont des traces plus rondes. Les hyénidés ont des pelotes digitales allongées avec des griffes marquées et les empreintes de canidés sont étirées en longueur avec des griffes très visibles sur les deux doigts du milieu. Attribuer une empreinte paraît simple... mais c'est sans compter sur le manque de lisibilité des empreintes, l'aspect lacunaire des données sur les traces des espèces anciennes et enfin sur la ressemblance entre les traces d'espèces proches.

C'est sur les images obtenues par photogrammétrie qu'on pourra le plus exactement relever le contour des empreintes et effectuer les mesures des pelotes. Sans corpus de référence ancien, ce sont les traces des espèces contemporaines qui aident fournir les références à comparer avec les traces fossiles.

On relève, dans les espaces naturels lorsque c'est possible ou dans les parcs zoologiques, plusieurs empreintes appartenant à des hyènes, des félins, des cuons (*Cuon alpinus*, « Chien sauvage d'Asie ») et loups d'aujourd'hui. De la même façon, les mesures caractéristiques sont extraites. Chaque empreinte donne lieu à 14 mesures comprenant l'écartement des griffes, les longueurs et largeurs des 5 pelotes, ainsi que leur espacement les unes par rapport aux autres. Malheureusement, aucune mesure unique ni même aucun couple de mesures ne permet de distinguer les canidés des autres groupes (hyénidés, félinés). On ne pourra alors que discerner les grands individus des petits !

C'est là que l'analyse en composantes principales est déterminante. Il s'agit d'un traitement mathématique qui trouve quelles sont les combinaisons de mesures les plus aptes à discriminer les espèces : la formule mathématique qui associe certaines mesures et dont le résultat montre des divergences accrues en fonction des espèces. Cette méthode statistique permet de trouver la combinaison des mesures la plus efficace pour distinguer les empreintes. Si on génère deux combinaisons différentes, on peut répertorier les résultats sur un graphique à deux axes dans lequel les empreintes d'hyènes, félins et canidés formeront des groupes très distincts. Ainsi, chaque nouvelle empreinte de la grotte pourra figurer comme un point bien distinct dans ce graphique et sera attribué à l'une des trois espèces... sans ambiguïté !

La grotte Chauvet semble avoir été fréquentée par deux espèces de canidés : les cuons, qui sont restés proches de l'entrée, et les loups (*Canis lupus*) qui ont pénétré jusqu'à la galerie des Croisillons. Comment en faire la preuve ? Les restes osseux semblent aller dans le sens de cette hypothèse. Mais comment faire la distinction, par exemple, dans la salle du Cierge entre des empreintes qui auraient appartenu à un cuon ou à un loup ? La méthode statistique permet d'y voir plus clair et d'avoir des données sur la répartition des espèces dans la grotte.

VII.4 L'art pariétal

Les dessins de la grotte Chauvet datent d'il y a environ 36 000 ans : c'est le plus ancien art pariétal connu en Europe, plus ancien encore que les parois ornées de la grotte de Lascaux qui datent d'il y a environ 20 000 ans. Parfaitement conservés, ces dessins témoignent d'une vision du monde et de croyances très différentes de celles de nos sociétés actuelles.

Dans cette quatrième et dernière partie de l'exposition, les élèves expérimentent l'étude des dessins pariétaux par leur relevé sur des supports infographiques, découvrent la richesse et la maîtrise des techniques artistiques ou encore manipulent des calques pour comprendre l'ordre dans lequel les traits ont été dessinés sur les panneaux ornés. L'interprétation de l'art pariétal par les archéologues permet de mieux appréhender ces sociétés humaines très anciennes.

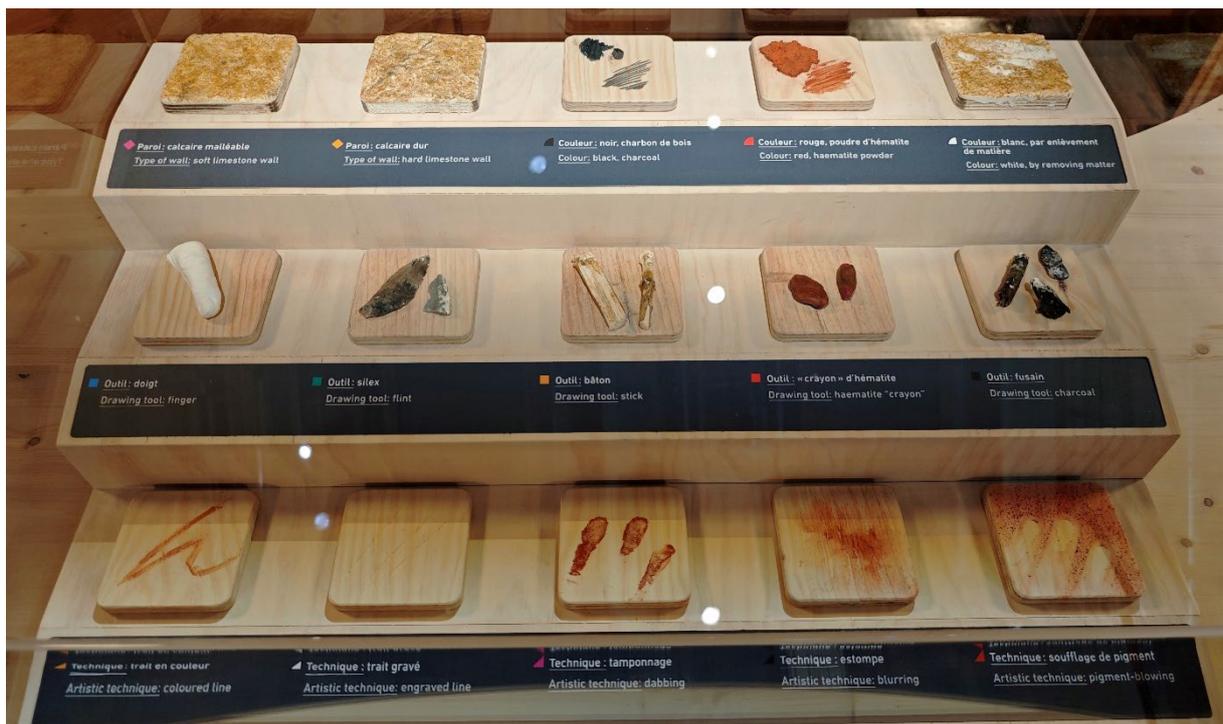
4.1 – Maîtrise et richesse des techniques artistiques

Où l'on découvre enfin la diversité des techniques et la maîtrise de l'art du dessin par les hommes préhistoriques...

Les femmes et hommes qui ont réalisé les peintures et gravures dans la grotte Chauvet ont fait preuve d'une grande maîtrise de plusieurs techniques de dessins. Ils ont exploré divers supports, divers pigments, diverses façons de créer le trait. Ils ont su créer des contrastes et jouer avec la superposition des dessins. Ils ont utilisé les outils adaptés à des supports et des pigments variés pour créer une variété étonnante de traitement artistique. Cela montre une véritable maîtrise. Le travail ornemental dans la Grotte n'était donc pas le fait d'une expression improvisée par le tout-venant mais bien le résultat d'un savoir-faire, peut-être réservé à une partie seulement des individus que l'on peut qualifier d'artistes.

On observe une diversité :

- d'outils pour dessiner : le doigt, un silex, un pinceau, un crayon d'hématite, du fusain (charbon de bois), la main/la paume ;
- de supports sur lesquels sont fait les dessins : argile molle, calcaire dur (calcite) ;
- de couleurs (divers pigments) : noir/charbon de bois, rouge/hématite, orange/ocre, blanc / gravure et grattage des parois argileuses ;
- de techniques : estompe, soufflage de pigment, dessin au traits (gravure, enlèvement de matière et peinture/ajout de matière), tampon.



4.2 – Étude d'un panneau orné : inventaire et relevé

Une reconstitution du panneau des Chevaux à l'échelle 1 et l'utilisation d'une tablette graphique permettent de comprendre et d'expérimenter la méthode d'étude des dessins. Plusieurs inventaires de panneaux sont consultables.

L'étude des ornements de la grotte comprend toute une chaîne d'étapes nécessaires pour une exploitation à différentes échelles et par l'ensemble des disciplines. Elle suppose un travail méticuleux, un inventaire de chaque détail et une codification systématique. Ce travail scrupuleux, parfois fastidieux, doit être effectué en obéissant aux règles de conservation de la grotte et en particulier en restant à distance des parois.

Dans la grotte Chauvet, on dénombre un millier de dessins. 147 entités graphiques ont été analysées lors de la campagne de recherche 2022.

Les ensembles graphiques sont repérés dans l'espace de la grotte et un numéro leur est attribué. Par exemple, l'entité graphique portant l'identifiant 07.G.01.10 est située dans la salle Hillaire (qui correspond au secteur 07), sur la paroi située à gauche (G). Il s'agit du premier panneau de ce secteur (01) et du 10^e dessin (10). Chaque entité graphique est identifiée, mammouth, cheval, animal indéterminé, ligne, point, vulve, etc., puis décrite précisément. L'étude du dessin, face au panneau, *in situ* dans la grotte est capital. Les scientifiques s'assoient face au panneau et passent de longues heures à observer et à reproduire les traits afin de les identifier et les classer. Ils font cela directement sur leur tablette numérique, en dessinant sur l'image en trois dimensions ou sur l'orthophotographie*.

4.3 – Interprétation de l’art pariétal

Ici, on a reconstitué le panneau des Lions de la salle du Fond, associé à un commentaire sonore et à un éclairage dynamique. L’interprétation du panneau est proposée, puis élargie à l’interprétation de l’art pariétal en général et à une réfutation d’une « enfance de l’art ».

L’interprétation de l’art pariétal peut se faire à deux niveaux :

- le premier concerne les fonctions de cet art dans les sociétés des humains préhistoriques. Les scientifiques se demandent pourquoi ces humains peignaient et ornaient les grottes. Est-ce que cela avait une fonction dans leur société ? Qui étaient les artistes ?
- les pariétalistes se concentrent aussi sur chaque panneau, pour tenter d’en comprendre le sens. Ils font appel à des théories ou connaissances de champs divers pour construire des interprétations qui leur semblent cohérentes.

Bien évidemment, ces deux niveaux s’alimentent l’un l’autre. La connaissance de plusieurs sites archéologiques ornés, dans diverses zones géographiques et à diverses époques, permet de confirmer et d’infirmier des hypothèses sur ce qui se passait à Chauvet.

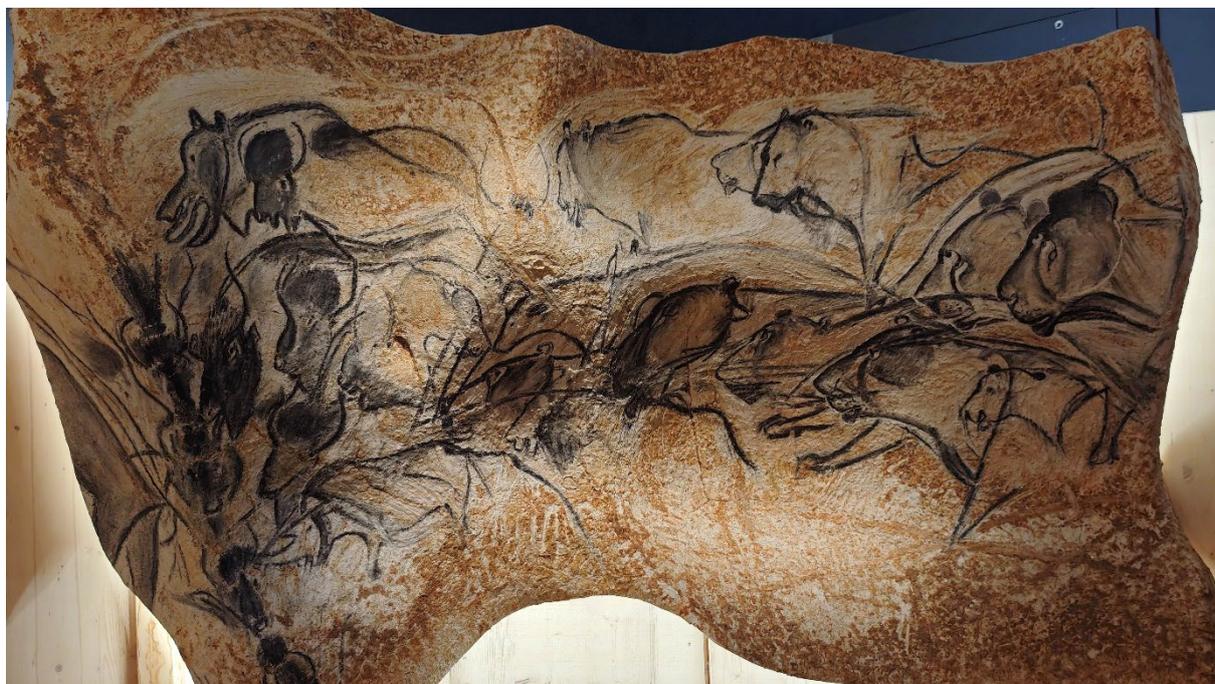
Les scientifiques, archéologues spécialistes de l’art pariétal et de la préhistoire, s’accordent aujourd’hui sur l’idée que l’art serait lié à l’expression d’une culture et de croyances communes, qui structuraient probablement, de façon importante, les sociétés. Les humains, par cet art, exprimaient leur rapport au monde et à leur environnement ; ils se transmettaient des savoirs et des histoires. Ils célébraient, via des rituels, les moments forts de cette structuration. De plus, au vu de l’homogénéité des dessins en Europe et de l’homogénéité au sein d’une même cavité, il est fort probable que seuls certains individus étaient autorisés à dessiner et que ces dessins obéissaient à des codes. Si, au contraire, n’importe qui avait pu dessiner ce qu’il souhaitait, nous aurions une variété de sujets plus prégnante, de même que de nombreuses « pattes » d’artistes et des styles plus divers.

Concernant l’interprétation plus spécifique de chaque panneau, l’équipe de recherche de la grotte Chauvet a choisi d’utiliser, entre autres, l’outil de la psychologie de la forme. La psychologie de la forme, issue de la « Gestalt » théorie allemande, analyse en même temps les formes du dessin et son support. Cette théorie part du principe que fond et forme sont indissociables car ils sont perçus ensemble (la perception globale – le général – précède la perception des détails). De plus, la Gestalt théorie cherche à comprendre la façon dont nous percevons les stimuli visuels, indépendamment de notre âge ou de notre culture. C’est extrêmement utile quand on cherche à analyser l’art préhistorique, dont nous ignorons presque totalement le contexte culturel, faute de texte.

Dans la grotte, la lumière était faible. La vision de l’espace était donc morcelée et différente de ce que l’on voit aujourd’hui avec un éclairage puissant. De plus, l’espace n’est pas plan, la paroi devient alors un support pouvant structurer le dessin. Ainsi, dans le panneau des Lions dans la salle du Fond, on peut remarquer un cadrage horizontal et vertical qui sont donnés par le volume irrégulier et non plan de la paroi. La mise en scène des félins est très dynamique. Ils sont en position horizontale, opposés aux bisons, qui eux sont représentés dans la verticalité. Il y a une nette opposition visuelle entre ces deux groupes d’animaux.

Les félins se jettent sur les bisons. Les têtes de bisons sont dessinées sur l'arête de la paroi, dans un plan différent. De plus, ceci correspond à un comportement éthologique connus des bisons : le troupeau entier change brusquement de direction pour échapper à ses prédateurs. Le changement de plan pour représenter les bisons est une façon de dynamiser la fresque. On perçoit, en tant que spectateur, que les bisons tournent ! C'est comme si les bisons se dirigeaient subitement vers nous. Le panneau dessiné crée une relation avec les spectateurs, qui se trouve inclus dans l'histoire.

L'étude de l'ordre des traces montre que ce panneau a été dessiné de gauche à droite : d'abord les bisons puis les lionnes. Mais, à l'inverse, le regard va clairement de droite à gauche : on voit les lionnes en position d'attaque, puis les bisons qui fuient. Cela signifie que lors de la constitution du dessin, l'artiste avait la totalité du projet en tête, et que sa composition était pensée avant de démarrer les traces. Les recherches en psychologie de la forme, associées à celles sur l'ordre des gestes, permettent d'enrichir l'interprétation des panneaux ornés et d'en percevoir la grande sophistication.



La grotte Chauvet, une découverte bouleversante concernant l'origine de l'art dans les sociétés humaines.

La découverte de la grotte Chauvet a bouleversé la vision que l'on avait de l'art préhistorique. En décembre 1994, quand Jean Clottes est appelé pour authentifier la grotte, il pense que les dessins sont récents et effectués entre 20 000 et 15 000 ans avant notre ère.

À cette époque, les chercheurs, dont Jean Clottes, utilisent le modèle du grand préhistorien André Leroi-Gourhan (1911-1986) qui décompose l'évolution de l'art pariétal de façon linéaire, depuis un art ancien archaïque vers un art plus évolué et plus récent. Malgré des incohérences, c'était le modèle de référence.

La grotte Chauvet est un témoignage des racines de la pensée symbolique, par son ancienneté et la profusion des œuvres. L'étude de la préhistoire, science récente du début du XX^e siècle, puise sa méthodologie dans celle des géologues, avec une vision stratigraphique. Les préhistoriens ont alors naturellement pensé une « stratigraphie de l'art ». Ils ont imaginé que la maîtrise des techniques artistiques suit de près les évolutions des autres techniques comme l'obtention des pierres taillées ou polies ou la maîtrise du feu. Mais aujourd'hui, cette façon de voir est remise en question. En effet, nous n'imaginerions pas aujourd'hui juger l'évolution de l'art du XX^e siècle en étroite relation avec l'évolution de la technique automobile et du moteur thermique. Les peintures pariétales de la grotte Chauvet montrent qu'il faut découpler l'art du Paléolithique de la stratigraphie culturelle et le dissocier des cultures lithiques associées à l'étude des restes et outils en pierre. Cette pensée « nouvelle » remplace peu à peu la pensée linéaire de Leroi-Gourhan.

4.4 – Un trait après l'autre

Il s'agit de remettre dans l'ordre les différentes étapes ayant mené à la création d'un panneau orné, à l'aide de calques à superposer.

Pour comprendre comment ont été effectués les dessins par les humains du Paléolithique, qu'ils soient dessinés avec un pigment ou gravés dans la paroi, il faut étudier l'ordre des traits et des traces comme les polis ou les griffades qui s'y sont intercalés. Très simplement, les chercheurs observent attentivement les traits aux endroits où ils se superposent afin de savoir ceux qui sont en dessous et ceux qui sont au-dessus. Ensuite, de proche en proche, on peut reconstituer quasiment toute l'histoire du tracé. Reconstituer la chronologie du tracé permet de comprendre comment l'artiste s'y est pris pour réaliser le dessin, comment il a construit sa composition, à quel point son œuvre est préparée. Cela permet d'émettre des hypothèses sur son intention.



4.5 – Zoom sur un panneau gravé

L'examen microscopique des détails des dessins pariétaux grâce à la microphotogrammétrie apporte des indications sur les outils utilisés et les gestes appliqués pour les réaliser.

Pour obtenir des indications sur les dessins, les scientifiques réalisent des photogrammétries qui permettent une analyse fiable et mesurable des objets observés en trois dimensions. Avec la microphotogrammétrie, ils s'intéressent à des micro-détails comme la largeur d'un trait, la profondeur d'une entaille dans la paroi, ou encore l'empreinte (en coupe transversale) qu'a laissé l'outil utilisé sur la paroi. Étudier le profil des empreintes permet d'avoir des indications précises sur les tracés. De ces informations factuelles, on obtient des précisions sur l'outil et comment il a été utilisé. Par exemple, on peut connaître la largeur du doigt qui a dessiné dans l'argile, mais on parvient également à estimer la nature du geste comme son orientation, ou la force avec laquelle il a été appliqué sur la paroi.

4.6 – Traitement DStretch : faire parler les couleurs

Dans cet élément, on explique une technique de traitement numérique des images des parois pariétales, pour en améliorer leur lisibilité et donc leur étude.

Plusieurs paires d'images sont présentées pour montrer la différence de lisibilité entre une image brute d'une paroi pariétale et la même image traitée par DStretch, un outil de traitement pour l'amélioration des images d'art rupestre et pariétal.

DStretch peut rendre visibles des pictogrammes presque imperceptibles à l'œil nu. Il détecte des différences de teinte et les met en évidence, son domaine préféré d'application est les pictogrammes, particulièrement les rouges et les jaunes pâles.

Tous les pixels de l'image sont placés dans un espace colorimétrique à trois dimensions. Les tonalités colorimétriques étant très proches (le beige de la paroi, les divers gris, le noir, le rouge, l'ocre, le marron et ses variations), l'espace occupé par ces pixels dans la matrice est très étroit. DStretch modifie chaque pixel de couleur de sorte à « étirer » l'ensemble des points dans tout l'espace colorimétrique du diagramme. Lorsqu'on applique cet « étirement » à l'image d'origine, on obtient des couleurs beaucoup plus diverses et irréalistes, mais qui révèlent un fort contraste, utile pour voir des traits ou des dessins qui, jusque-là, étaient très ténus.

VII.5 Sortie : parlez-vous « scientifique » ?

Cet espace, qui constitue la sortie de l'exposition, est l'occasion d'entrer dans l'univers de l'écrit des chercheurs, par l'intermédiaire d'un coin lecture où figurent des livres grand public mais aussi des articles scientifiques et des rapports de recherche. Les élèves sont amenés à jouer avec des bouts de phrases extraites de thèses, à se confronter à des mots savants et concevoir des phrases absurdes... un peu à la manière des participants au jeu du « cadavre exquis ».

Informations pratiques

Adresse

Cité des sciences et de l'industrie
30 avenue Corentin-Cariou
75019 Paris
www.cite-sciences.fr

Accès

Métro : Porte de la Villette (Ligne 7)
Bus : 71, 139, 150, 152, 249
Tramway : Porte de la Villette (Ligne 3b)

Horaires d'ouverture

Du mardi au samedi de 10 h à 18 h, le dimanche de 10 h à 19 h.
Fermeture le lundi ainsi que les jours fériés suivants : 1^{er} janvier, 1^{er} mai et 25 décembre.

Élémentaire : 1 gratuité pour 12 entrées payantes

Secondaire : 1 gratuité pour 12 entrées payantes

Tarifs groupe, prix par participant (en vigueur au 1^{er} septembre 2024)
5,50 € (3,50 € pour les établissements en réseau d'éducation prioritaire)

Tout billet acheté donne droit à une entrée au sous-marin *Argonaute* (dans la limite des places disponibles) + un accès aux ateliers et au Planétarium sur réservation.

Réservation groupes

<https://www.cite-sciences.fr/fr/vous-etes/enseignants/votre-sortie-scolaire/infos-pratiques-et-reservation>



resagroupescite@universcience.fr



01 40 05 12 12