

Année universitaire 2016-2017



L'OS BRÛLÉ DANS LES POTS DE PEINTURE PALÉOLITHIQUE



Présenté par I.VIENOT

Sous la direction de C. BOURDIER, maître de conférences
et de S. COSTAMAGNO, directrice de recherche CNRS

Remerciements

Je tiens à remercier mes deux directrices: *Sandrine Costamagno* et *Camille Bourdier* de m'avoir proposé et confié ce sujet, merci également pour leur patience et leurs précieux conseils qu'elles ont su me fournir tout au long de ce travail.

Merci à *Luc Rabbiolla* pour sa gentillesse et son aide dans la mise en relation avec *Ronan Mainguy*, que je remercie également pour le prêt et l'utilisation de son four à moufle.

Je remercie également ma famille et plus particulièrement *mes parents* qui m'ont toujours soutenu et sans qui je n'aurais pas pu faire ces études qui me tenaient tant à cœur. Je pense également à *ma sœur* dont les encouragements et l'éternel soutien m'ont permis de finir ce travail.

Merci à *Jeanne* de toujours avoir répondu présente malgré les huit cents kilomètres qui nous séparent et merci à *Véro* pour son grand cœur et ses relectures.

Et bien sûr, merci à *Valentin*, qui me pousse toujours à donner le meilleur de moi-même, merci pour ses conseils, son soutien et son amour.

Introduction, problématiques et objectifs

Les os brûlés représentent une part importante des résidus organiques retrouvés en contexte archéologique. Ils peuvent résulter de diverses activités : cuisson de la viande, utilisation de l'os comme combustible, mise au feu par besoin d'hygiène, pratiques funéraires, ou encore cuisson accidentelle (Stiner *et al.*, 1995 ; Costamagno *et al.*, 1999).

La présence d'os brûlés est attestée sur plusieurs sites d'art pariétal comme à Lascaux (Leroi-Gourhan, 1984), Arcy-sur-Cure (Baffier, 1995), Cognac (Lorblanchet, 2010), Roc-aux-Sorciers (Valensi, 2010) et a notamment rendu possible la réalisation de datations radiocarbone permettant ainsi de replacer certaines œuvres dans leur contexte chrono-culturel. Les analyses physico-chimiques ont mis en évidence que la matière osseuse est également présente dans la matière picturale de plusieurs sites ornés, ce qui soulève plusieurs problématiques : la présence d'os brûlé au sein des peintures résulte-t-elle d'un choix intentionnel ? L'os brûlé a-t-il des propriétés colorantes ? Permet-il une bonne adhésion de la peinture ? La matière osseuse est-elle toujours possible à mettre en évidence dans les analyses physico-chimiques ?

De plus, la présence d'os au sein de la composition de certaines peintures paléolithiques soulève plusieurs réflexions de différents ordres : technique et économique en rapport avec l'approvisionnement de la matière picturale, mais également symbolique autour de la relation homme/faune.

Pour considérer ces problématiques, nous nous sommes tournés vers un cas d'étude : le site du Roc-aux-Sorciers.

Le Roc-aux-Sorciers est un vaste abri sous roche situé sur le territoire de la commune d'Angle-sur-l'Anglin (Vienne, France), renfermant d'importants témoignages d'occupations magdaléniennes ainsi qu'un riche décor pariétal où sont associées sculptures, gravures et peintures.

Ce site a livré de nombreux ossements, dont des os brûlés en grande quantité (plus de 15 000 esquilles) dans les couches datés du Magdalénien moyen, et ont été interprétés comme des restes liés certainement à l'utilisation de l'os comme combustible (Valensi, 2010). La présence de ces nombreux restes osseux est également à mettre en relation avec la matière picturale. En effet, de récentes analyses physico-chimiques ont permis d'identifier la présence d'os et d'os brûlés dans plusieurs échantillons de peinture (Auzanne, 2001 ; Touron, 2009).

Pour répondre au mieux à ces problématiques, nous avons adopté une démarche expérimentale s'appuyant sur les analyses physico-chimiques du Roc-aux-Sorciers et sur des expérimentations antérieures en lien avec notre sujet.

Ce mémoire s'articule alors en cinq parties, dans un premier temps nous définirons les notions corrélés à l'étude de peinture pariétale, puis nous présenterons un historique sur l'évolution des analyses physico-chimiques appliquées à la matière picturale. La démarche expérimentale en archéologie, ainsi que les diverses expérimentations réalisées en art et sur les os brûlés, sont abordées dans la deuxième partie.

Ensuite, nous présenterons le cas d'étude ainsi que le matériel utilisé, le protocole expérimental et notre méthode d'analyse. Dans une quatrième partie, nous développerons nos résultats.

La dernière partie sera alors réservée à l'interprétation de nos résultats, ainsi qu'à une discussion où nous traiterons des limites de notre étude et de celles des analyses physico-chimiques, avant de laisser place à la conclusion de ce mémoire.

Sommaire

Introduction, problématiques et objectifs	3
I. Problématiques de l'étude	7
1) Caractéristiques et notion de chaîne opératoire appliquée à la peinture paléolithique ...	7
2) Problématiques des études de la matière picturale en art pariétal	10
2a. Caractérisation des matériaux et des mélanges	10
2b. Matières colorantes dans une démarche palethnologique.....	13
3) La question de la matière osseuse dans les pots de peinture	14
3a. Résidus osseux comme pollution	14
3b. L'os comme pigment	15
3c. L'os comme charge	15
II. L'archéologie expérimentale.....	16
1) La démarche actualiste	16
2) Démarches expérimentales en art pariétal paléolithique.....	17
2a. Expérimentation sur les matières colorantes.....	18
2c. Expérimentation sur les liants	21
2d. Expérimentation sur les moyens d'application.....	22
3) Expérimentation sur les os brûlés.....	25
3a. Expérimentations sur la caractérisation physico-chimique des os brûlés	25
3b. Expérimentation sur le degré de fragmentation des os brûlés	28
III. Corpus et méthode.....	29
1) Roc-aux-Sorciers	29
1a. Le site	29
1b. Le gisement	30
1c. Le dispositif pariétal.....	33
1d. La couleur au Roc-aux-Sorciers.....	35
1e. L'os dans la matière picturale	37
2) Matériel	41
2a. Matière picturale	41
2b. Support.....	42
2c. Outils d'application	42
3) Protocole expérimental.....	43

4) Méthodes d'analyses	48
4a. Comparaison avec la charte Munsell	48
4b. Analyses colorimétriques	49
4c. Analyses physico-chimiques	50
4d. Analyses qualitatives des expériences	51
IV. Résultats	52
1) Ressentis au moment de l'application de la peinture	52
2) Résultats des comparaisons avec la Charte Munsell	54
3) Résultats de l'analyse du pouvoir adhérent	55
4) Comparaison des photos : peintures fraîches/ peintures actuelles	57
Discussion et interprétation	60
1) Limites de l'expérimentation	60
2) Limites analytiques	61
3) Interprétation	62
Conclusion	65
Bibliographie	66
Table des figures	71
Table des tableaux	72
Annexes	73

I. Problématiques de l'étude

1) Caractéristiques et notion de chaîne opératoire appliquée à la peinture paléolithique

Plusieurs techniques ont été utilisées lors des réalisations picturales paléolithiques. Les techniques utilisant de la matière colorante sont le dessin et la peinture. La matière colorante est une substance soluble ayant un pouvoir colorant. Elle peut être minérale ou organique. Les matières colorantes exploitées durant le Paléolithique sont représentées par trois teintes principales : le rouge, le noir et le jaune. Cependant d'autres couleurs sont également utilisées, notamment les oranges, bruns, et violets comme en attestent les parois des grottes ornées d'Altamira et de Lascaux (Cabrera Garrido, 1978 ; Ballet *et al.*, 1979).

La peinture se différencie du dessin par sa composition. En effet, le dessin consiste à utiliser un pigment brut, alors que « on considérera que l'on est en présence de peinture si les artistes ont transformé les matières premières et ont associé les pigments avec d'autres constituants, afin d'améliorer les propriétés de dépôt, voire peut-être de conservation » (Clottes *et al.*, 1990). La peinture est donc au moins constituée de deux éléments : un liant et un pigment. Le liant, appelé aussi agglutinant, est une matière plus ou moins liquide qui apporte homogénéité et fluidité au mélange. Alors que le pigment est utilisé pour son pouvoir colorant, c'est-à-dire sa faculté à communiquer à un mélange sa propre couleur (Salomon, 2009).

Un troisième élément peut intervenir dans la composition de la peinture, il s'agit de la charge qui est un « matériau inerte en ce qui concerne la coloration mais qui modifie sensiblement les propriétés des pigments et améliore la cohésion de la matière, le recouvrement sur le support, la conservation et qui permettait aussi, peut-être d'économiser un pigment jugé précieux » (Menu et Walter, 1996). Elle peut être par exemple constituée d'argile, de granit, de talc, de quartz, de calcite ou d'os broyés. Certaines peintures prélevées au sein d'un même site ou de différents sites archéologiques présentent les mêmes types de composants en terme de pigment, charge et liant, ce qui permet alors de distinguer de réelles recettes de peintures (Clottes *et al.*, 1990). Toutefois ces recettes peuvent se singulariser par la présence d'éléments traces (renseignant sur le lieu d'approvisionnement de la matière

première). Ces éléments traces étant différents suivant chaque peinture, ils caractérisent alors des « pots de peinture » (Clottes *et al.*, 1990).

La peinture se caractérise par sa couleur, son adhérence et sa couvrance. La couleur d'une peinture est l'impression visuelle produite par la lumière qui est renvoyée par les matériaux (Salomon, 2009). Elle est décrite selon trois données : sa teinte (vert, rouge, jaune...), sa clarté (intensité lumineuse allant du noir au blanc) et sa saturation (intensité de la coloration). L'adhérence d'une peinture est sa faculté à tenir sur une paroi et sa couvrance est définie par sa capacité à recouvrir une paroi de façon plus ou moins opaque et homogène. On parle également de propriété de couvrance pour exprimer la qualité d'étalement d'une peinture (Hameau, 2010).

L'ensemble des étapes successives transformant le pigment brut en matière picturale est appelée chaîne opératoire. En effet la chaîne opératoire recouvre « la notion de chemin technique parcouru par un matériau depuis son état de matière première jusqu'à son état de produit fabriqué et fini. Ces chaînes se composent d'un certain nombre d'étapes et font partie d'un ensemble technique utilisé par un groupe humain donné. La manière dont sont articulées entre elles les étapes d'une chaîne et les chaînes constitue les structures techniques » (Cresswell 1983, p. 147).

En art, cette chaîne opératoire débute dès l'approvisionnement en matière et s'étend jusqu'au mode d'application en passant par le mode de préparation (Figure 1). Plusieurs étapes se succèdent pour la préparation d'un pigment afin d'aboutir à un matériau fini et prêt à l'emploi (Chalmin, 2003 ; Dayet, 2012). Dans l'art pariétal paléolithique, plusieurs matériaux ou objets entrant dans la préparation des matières colorantes nous renseignent sur les transformations que ces dernières ont subies : godets, galets aménagés, molettes, palettes, broyeurs, racloirs, amas de poudre colorée attestent de la préparation des pigments par broyage, abrasion, rainurage et raclage (Leroi-Gourhan, 1987 ; Salomon, 2009).

La chauffe de la matière picturale peut-être une étape à inclure à la chaîne opératoire. Mais elle reste hypothétique car la chauffe volontaire de pigment n'a pas été démontrée bien qu'elle fut envisagée (Chalmin, 2003). En effet, une expérience a permis de mettre en évidence qu'une ocre jaune enfouie à 10 cm dans le sol sous un foyer peut devenir rouge), par simple diffusion de la chaleur (Wadley, 2009). De plus, on ne sait pas à exactement à quel

moment de la chaîne opératoire peut se situer cette transformation, même si on peut supposer qu'elle prenne place soit sur bloc entier, soit après sa réduction en poudre (Dayet, 2012).

Différents modes d'applications de la peinture ont été attestés en art pariétal paléolithique : application directe avec les doigts ou toute la main, application à l'aide d'un pinceau, un tampon en fourrure ou végétal ou encore application par la méthode du crachis (Salomon, 2009).

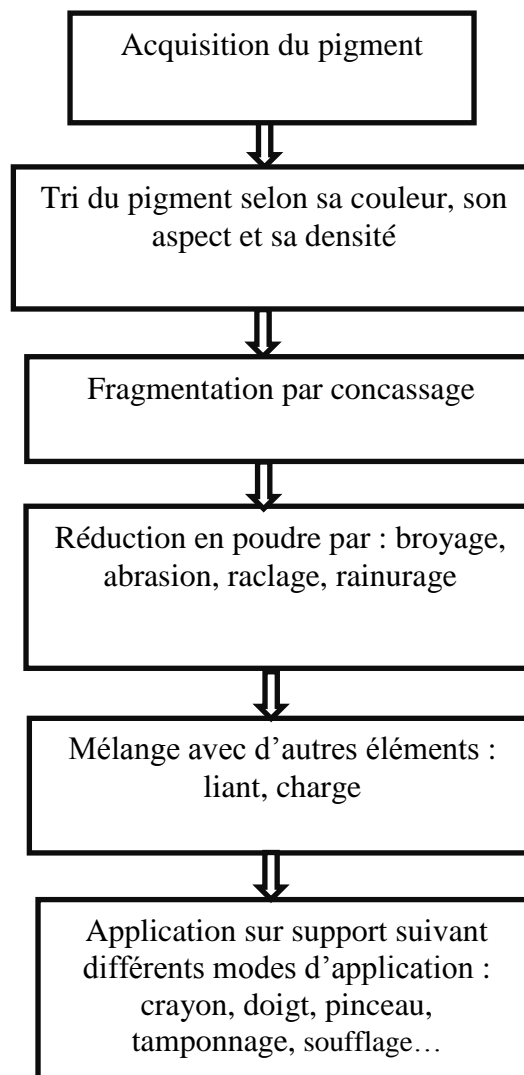


Figure 1: chaîne opératoire de la matière colorante

2) **Problématiques des études de la matière picturale en art pariétal**

2a. Caractérisation des matériaux et des mélanges

Durant les premières découvertes de l'art préhistorique, les matières colorantes ont « souvent été réduites à des pigments ou à des couleurs » (Salomon, 2009). Leur choix a souvent donné lieu à des interprétations symboliques ou en lien avec les pratiques magico-religieuses (Reinach, 1903 ; Clottes *et al.*, 2001).

Cependant, la préoccupation de caractériser la composition et la nature des pigments utilisés naquit dès les premières études. En effet, peu de temps après les découvertes de la Vache et de Font-de-Gaume, des analyses menées par H. Moissan (1902) ont permis d'identifier l'oxyde de fer et l'oxyde de manganèse comme étant la base de la composition des peintures rouges et noires. Des résultats similaires ont été obtenus à Laugerie-Haute (Courty, 1902).

Ces premières études de caractérisation de la matière picturale ont été ensuite délaissées du fait qu'elles nécessitaient le prélèvement d'échantillons trop importants pour l'obtention de résultats fiables. Elles ont laissé place aux études des substances colorantes en contexte d'habitat en lien avec des activités artisanales, comme le travail des peaux ou le travail des matériaux organiques durs (Audouin et Plisson, 1982).

À la fin des années 1970 et au début des années 1980, l'amélioration des techniques permettant l'analyse de micro-échantillons a permis la reprise des recherches sur ces thématiques.

En 1977, une étude physico-chimique des peintures et des blocs découverts en contexte archéologique a été entreprise à Altamira par J. Marti et J.M. Cabrera Garrido. (Cabrera Garrido, 1978). Elle a permis une caractérisation des pigments et a mis en évidence la présence de différentes charges (argile, quartz, micas, carbonates, morceaux d'os, fragments de coquilles...).

Quelques années plus tard, en 1979, C. Couraud et A. Laming-Empaire réalisent une analyse de plusieurs blocs de matière colorante, ainsi que de poudres trouvées lors de précédentes fouilles archéologiques dans la grotte de Lascaux. Ils tentent alors de distinguer des techniques de fabrication et d'application, mais s'interrogent également sur l'origine de ces pigments. Pour cela, les auteurs ont réalisé une carte de répartition des différents gîtes

d'oxyde de fer et de manganèse (pigments les plus présents dans les compositions pariétales) afin d'évaluer la distance que les peintres de Lascaux pouvaient parcourir pour s'approvisionner en matière colorante. D'après cette carte, il apparaît que les principaux gîtes d'approvisionnement se situent pour l'oxyde de fer à environ 20 km de la grotte, et pour le manganèse à environ 40 km (Couraud et Laming-Empaire, 1979).

Conjointement à cette étude, O. Ballet et ses collaborateurs réalisent une étude sur 11 échantillons de poudre colorée et identifie la présence de goethite, d'hématite, ainsi que de romanéchine (oxyde de manganèse contenant du baryum) associés à d'autres minéraux, ajoutés et jouant le rôle de charge (Ballet *et al.*, 1979).

S'ensuit toute une série d'analyses physico-chimiques dans d'autres grottes comme à Cougnac et Marcenac (Lorblanchet *et al.*, 1988), ou La Vache (Buisson, 1989), afin de déterminer les différents pigments et charges présents dans les matières picturales. Ces analyses ont notamment mis en évidence l'utilisation de manganèse associé à du baryum, de charbon de bois, d'hématite associée à du quartz, de la calcite et de la kaolinite dans les grottes ornées quercinoises (Marcenac et Cougnac) ou encore, l'utilisation d'oxyde de fer et de manganèse associés à de la biotite à la grotte de La Vache.

Les analyses physico-chimiques menées dans la grotte de Niaux (Clottes *et al.*, 1990) sur une sélection des motifs noirs et rouges, figurations et signes, disséminés dans l'ensemble de la cavité a amené à la détermination de véritables recettes. En effet, trois familles de charges ont été mises en évidence définissant ainsi trois recettes de préparation de peinture : la recette F ayant pour charge le feldspath potassique, la recette B le feldspath potassique et la biotite, et la recette T le talc. Ces recettes ont été identifiées dans des peintures provenant d'autres grottes ariégeoises comme à Fontanet (recette B) et aux Trois Frères (recette T), ainsi que sur des objets d'art mobilier issus de La Vache (recette B), Enlène (recette F) et le Mas d'Azil (recette F) (Buisson *et al.* 1989). Ces recettes pourraient traduire une évolution chronologique, la recette F correspondant au Magdalénien moyen et la recette B au Magdalénien récent (Buisson *et al.* 1989). La recette T n'ayant pas été utilisée sur des objets d'art mobilier, elle n'a pas pu être rapportée à une période chronologique. Au-delà des trois éléments constituant la peinture pariétale, cette étude a révélé différents éléments à l'état de traces dans chaque échantillon prélevé, permettent à J. Clottes d'introduire la notion de « pot de peinture » (Clottes *et al.*, 1990).

Durant les années 1990, les analyses physico-chimiques en art ont connu un net développement en termes de procédure avec l'introduction de nouvelles techniques non destructives (Tableau 1) comme notamment la micro fluorescence X, la spectrométrie Raman, la diffraction X, la spectrométrie infrarouge (Menu, 2009). Un apport important de ces analyses concerne également les possibilités de datation par radiocarbone de la matière organique, permettant de vérifier les hypothèses émises à partir de l'étude stylistique.

Analyse	Résultat(s) obtenu(s)	Impact
Loupe binoculaire	Observation à faible grossissement et en couleur de l'échantillon	Analyse micro-destructive
Microscope électronique à balayage (MEB)	Etude de la répartition et de la microstructure des matériaux Produit des images en haute résolution de la surface d'un échantillon	Analyse micro-destructive
MEB associé à un détecteur de rayons X (EDS)	Analyse élémentaire, permet de savoir quel type d'atome est présent dans l'échantillon	Analyse micro-destructive
Microscope électronique à transmission (MET)	Observation de la microstructure à une échelle plus petite que le MEB. Fourni la composition élémentaire des éléments et permet la détermination de la structure du minéral	Analyse micro-destructive
Microdiffraction des rayons X (μ -DRX)	Identifier les phases cristallines présentes et identifier la nature des pigments si ceux-ci sont des constituants minéraux	Analyse non destructive
PIXE	fourni la composition chimique et les quantités de chaque composants ainsi que leur proportions et leurs formes d'un échantillon (même les éléments traces)	Analyse non destructive
Fluorescence X	Identifier les éléments majeurs et mineurs et les éléments traces (ne fournit pas de composition minérale exacte)	Analyse non destructive
Microspectrométrie RAMAN	Caractérisation de la composition moléculaire et de la structure externe d'un matériau	Analyse non destructive
Diffraction X (DX)	Informations sur la cristallisation des minéraux et permet d'identifier le minéral en fonction de sa cristallisation	Analyse micro-destructive
Chromatographie en phase gazeuse	Identification des agglutinants organiques	Analyse micro-destructive
L'analyse thermique différentielle (ATD)	Renseigne sur le comportement lors d'un traitement thermique d'un minéral	Analyse micro-destructive
Spectrocolorimétrie	Quantifier les variations de couleur	Analyse non destructive

Tableau 1: récapitulatif des analyses physico-chimiques utilisées en art pariétal

Ces dernières années, des avancées importantes ont été réalisées dans la mise au point de systèmes portatifs. Des analyses réalisées *in situ* utilisent différentes sources de rayonnements non destructifs (rayons X, infrarouges, laser de lumière visible). Grâce à ces systèmes d'analyses, il est désormais possible d'étudier un très grand nombre de peintures et de dessins dans des abris ou des grottes sans les altérer (Beck *et al.*, 2014). Ces analyses ont également l'avantage de pouvoir multiplier les points et les zones d'analyse sans porter atteinte aux œuvres. Cependant, dans certains cas, des prélèvements demeurent encore indispensables lorsque, par exemple, l'accès difficile à une grotte et à ses parois ornées rendent toutes analyses chimiques impossibles à réaliser avec des instruments portables.

Parallèlement, de nouvelles procédures pour reconnaître les liants ont été mises en place mais demeurent assez compliquées et sont souvent remises en question. En effet, elles nécessitent une analyse par couplage chromatographie gazeuse - spectroscopie de masse qui est très peu répandue car la méthode présente des limites dues aux éventuelles pollutions et nécessite un échantillon important de matière picturale. Cette méthode a cependant été utilisée sur plusieurs sites, notamment dans plusieurs grottes d'Ariège, où des éléments organiques ont été découverts à Fontanet, Enlène et aux Trois-Frères. Dans ces deux derniers cas, ils seraient identiques et d'origine végétale, tandis qu'à Fontanet leur origine serait plutôt animale (Clottes, 1994).

A Tito Bustillo, deux variantes d'agglutinant ont été enregistrées : l'eau et la graisse animale. Mais certains échantillons n'ont pas permis d'identifier le liant. La graisse animale est attestée pour ce site dans trois échantillons de couleur rouge. On retrouve également cet agglutinant pour un échantillon de La Lloseta et un échantillon d'Ekain (Balbin *et al.*, 2009). La présence de liant organique dans la peinture avait déjà été attestée au Texas dans la région de Lower Pecos River puisque c'est ce liant qui avait permis une datation C14 de 3865 ± 100 BP (Russ *et al.*, 1990).

2b. Matières colorantes dans une démarche palethnologique

L'étude physico-chimique de la matière colorante doit cependant être complétée par une démarche plus anthropologique, puisque c'est « en intégrant les matières colorantes dans leur contexte géologique, archéologique, culturel et technique, qu'elles pourront révéler l'histoire technique et culturelle qu'elles ont enregistrée » (Salomon, 2009). C'est dans cette démarche que s'inscrivent les travaux de C. Couraud (1983) sur le recensement et l'étude des matières colorantes provenant de sites sans lien direct avec de l'art pariétal, et plus récemment ceux de H. Salomon (2009) et L. Dayet (2013).

La caractérisation physico-chimique de la matière colorante liée aux aspects de la culture matérielle, aux études géologiques, aux analyses spatiales, complétée par des études ethnologiques et des expérimentations permet de définir les différentes étapes de la chaîne opératoire. Ces étapes sont alors « susceptibles d'éclairer des comportements d'ordre socio - économique et technique » (Dayet, 2013). Ainsi, elles permettent de révéler l'implication technique des populations en ce qui concerne notamment l'accessibilité et

l'approvisionnement en matière colorante, le nombre d'étapes, le temps et le matériel nécessaires lors de la transformation en matière picturale. Ceci permettant à son tour d'évaluer la mobilité des groupes, de déterminer les relations entre matière colorante et diverses activités techniques et artisanales (Salomon, 2009) et de discuter de la « valeur » du matériau (Moncel, 2009).

Par cette approche pluridisciplinaire, H. Salomon par exemple, est parvenu à définir les modalités d'exploitation des matières colorantes des niveaux châtelperroniens de la grotte d'Arcy-sur-Cure, depuis l'acquisition des matières premières jusqu'à leur utilisation (Salomon, 2009).

3) La question de la matière osseuse dans les pots de peinture

Le développement des analyses physico-chimiques a notamment permis de mettre en évidence la présence d'os dans la composition de peintures pariétales paléolithiques. L'utilisation d'un Microscope Electronique à Balayage couplé à un système de rayons X (MEB EDS) permet, en effet, de caractériser la présence d'apatite révélée par la présence de phosphore, de calcium et d'oxygène. La matière osseuse au sein de la peinture a été identifiée sur plusieurs sites : Cougnac, Arcy-sur-Cure, Altamira, Tito Bustillo, Lascaux, Roc-aux-Sorciers... (Tableau à prévoir) Ces résultats ont fait l'objet de diverses interprétations et hypothèses.

3a. Résidus osseux comme pollution

L'hypothèse la plus répandue quant à cette présence de matière osseuse est celle d'impuretés ajoutées à la peinture par le mélange, ou l'application de cette dernière par un outil en os comme le propose I. Auzanne dans son analyse de la matière picturale du Roc-aux-sorciers (Auzanne, 2001).

A Cougnac, la présence d'apatite a également été proposée comme étant « un élément trace du sol géologique utilisé comme approvisionnement du colorant » (Lorblanchet *et al.*, 1990). A Arcy-sur-Cure, le signal d'apatite serait dû à des ossements de vertébrés plus anciens fossilisés dans la roche lors de sa formation (Salomon, 2009).

Une analyse plus récente des peintures de Lascaux a détecté la présence d'apatite dans plusieurs échantillons provenant de la Rotonde des Taureaux et du diverticule axial. Dans ce

cas, il est proposé une contamination de la matière picturale lors de sa préparation par le travail de bois de cervidé (Chadefaux *et al.*, 2008).

3b. L'os comme pigment

Des analyses réalisées à Tito Bustillo (Balbin *et al.*, 2009) ont révélé, pour certains échantillons, la présence de restes de dents dans la peinture, ce qui suggère l'introduction intentionnelle de matière animale au sein du mélange. Sur ce site, d'autres résultats montrent une association de bois brûlés, d'os brûlés, d'oxyde de manganèse et d'argile. L'argile étant utilisée comme charge, il est possible que ce soit le mélange d'os brûlés, de bois brûlé et de manganèse qui donne la couleur noire finale. Il est donc envisageable que l'os brûlé ait été utilisé comme charge, mais également comme pigment. (Balbin *et al.* 2009).

D'autres analyses vont dans ce sens. A Marmalo III, site de peintures rupestres datées entre le milieu du VIème millénaire avant J.-C. et la fin du IIIème millénaire avant J.-C., les analyses physico-chimiques ont montré la présence d'os brûlés au sein de plusieurs échantillons rouges constitués d'hématite (Hernanz *et al.*, 2008). Les analyses géologiques de la région n'indiquant pas la présence de phosphate dans les sols, l'hypothèse d'une pollution due à l'élément du sol géologique est écartée. De plus, des traces visuelles ont montré que la peinture a été appliquée au doigt, ce qui écarte également l'hypothèse d'une pollution anthropique induite par l'utilisation d'un outil en os pour l'application de la peinture sur la paroi. Et l'hématite étant plus dure que l'apatite, l'auteur pense qu'un outil en os utilisé ici pour la préparation de la peinture ne serait pas approprié, il propose donc l'utilisation sur ce site d'une recette constituée d'hématite et d'os brûlés.

3c. L'os comme charge

H. Salomon (2003) a réalisé une série de pots de peinture afin d'observer les différentes propriétés d'oxydes de manganèse naturels et chauffés, ainsi que l'influence de diverses charges en terme de couleur et d'adhérence. Parmi les différentes charges, l'os chauffé a été utilisé. Il s'agissait de métapodes de bœuf chauffés durant 2 heures à 300°C et 350°C, puis broyés. La couleur de ces ossements était alors noire tirant sur le brun. D'après ses résultats, l'os chauffé semblerait avoir un bon pouvoir couvrant quelle que soit sa proportion dans le mélange. Cependant, il présenterait un faible pouvoir adhérent et ne

modifierait pas les propriétés physiques de la couleur. H. Salomon propose donc l'hypothèse que la présence de cette charge dans les préparations picturales dénoterait une volonté d'économie du pigment.

P. Hameau (2005) fournit un autre exemple de l'utilisation de l'os brûlé comme charge dans des peintures préhistoriques pour des périodes plus récentes (Néolithique). Des analyses au microscope électronique à balayage couplé à un système d'analyse X dispersif en énergie ont été réalisées sur 64 figures réparties sur 20 sites, situés au sud de la Durance et du Verdon (Hameau, 2015). Parmi les résultats obtenus, l'os représente 9,3 % des charges utilisées, dont un tiers est de l'os brûlé. L'os brûlé a notamment été mis en évidence dans une recette de couleur noire sur le site de Beaume-Brune, associé à de l'ocre rouge. À la différence des résultats obtenus par H. Salomon, l'os brûlé ne semble pas devoir être seulement considéré comme une charge, mais également comme un pigment ayant un impact sur la couleur finale du mélange.

II. L'archéologie expérimentale

1) La démarche actualiste

L'archéologie expérimentale s'inscrit dans une démarche actualiste. Le concept d'actualisme, développé et défini au XIX^{ème} siècle par le géologue Lyell, est basé sur le principe selon lequel les lois naturelles et leurs conséquences n'ont pas évolué dans le temps. Opposé aux théories catastrophiques qui fondaient alors l'interprétation historique des formations géologiques, l'actualisme fondé sur le principe d'invariance des lois naturelles, permet par analogie, d'expliquer les phénomènes passés par l'étude et les connaissances des phénomènes actuels (Gallay, 1995).

Cette démarche a cependant reçu de nombreuses critiques, notamment celle dénonçant que l'usage exclusif de l'actualisme comme base d'interprétation peut cacher des informations importantes sur le passé. Toutefois, l'actualisme est à la base de la recherche en Préhistoire. En effet, ce concept est largement utilisé et incontesté par exemple en anatomie comparée « a fossil artiodactyl femur is only nameable on the basis of analogy with modern elements it

closely resembles ». (Gifford, 1981). Le désaccord sur la méthode actualiste résulte du niveau d'utilisation dont celle-ci est employée pour étudier le passé.

L'archéologie expérimentale, qui occupe maintenant une place importante dans la compréhension des sociétés et de leurs activités, s'inscrit dans cette démarche actualiste et fait partie d'un processus « hypothético-déductif » (Outram, 2008). Cette méthode d'approche est basée sur la réalisation d'expériences contrôlées reposant sur un protocole expérimental, afin de reproduire des phénomènes passés. L'objectif est de tester des hypothèses pour fournir ou améliorer des analogies et alimenter les interprétations archéologiques (Mathieu, 2002).

Il existe plusieurs niveaux d'expérimentations (Mathieu 2002) :

- « réplique d'objet » : production d'une réplique ayant certaines caractéristiques en communs avec l'objet original.
- « réplique de comportement » : reproduction des comportements et activités passées, y compris les techniques d'utilisation passées.
- « réplique de processus » : reproduction des processus passés, incluant les processus naturels.
- « réplique de système » : implique la réplique de nombreux processus s'inscrivant dans un système de vie. Ce niveau d'expérimentations n'est généralement poursuivi que par une étude ethnologique ou ethnoarchéologique. Plusieurs chercheurs considèrent d'ailleurs les observations ethnographiques comme une forme d'archéologie expérimentale (Coles, 1979).

L'expérimentation en archéologie permet donc d'éliminer des possibilités et est un bon moyen de cerner le champ des possibles (Laroulandie, 2010) mais « never prove anything beyond a shadow of doubt » (Mathieu, 2002).

2) Démarches expérimentales en art pariétal paléolithique

Plusieurs expériences en lien avec des questionnements ayant trait à l'art pariétal ont été réalisées depuis les années 1960. Celles-ci ont porté sur les différents composants de la matière picturale (pigment, liant, charge), ainsi que sur son mode d'application (pinceau de différentes sortes, doigt, pochoir...). Nous les présentons ici suivant les étapes de la chaîne opératoire que nous avons décrite précédemment.

2a. Expérimentation sur les matières colorantes

- Réduction en poudre de matière colorante

Les expérimentations de H. Salomon (2009) ont eu pour but d'identifier les différents procédés de réduction en poudre de matière colorante rouge et noire. Pour cela, elle a utilisé de l'hématite pour le rouge et de la pyrolusite pour le noir. Lors de ses expériences, elle a pratiqué deux procédés différents : le broyage et l'abrasion. Les outils utilisés étaient en granit.

Le broyage de la matière colorante a été réalisé en deux étapes : la première a consisté à fragmenter les blocs par percussion lancée avec un galet de concassage pour obtenir de plus petits nodules d'environ 5 cm. Ensuite, ces nodules ont été concassés avec un pilon broyeur et une meule afin d'obtenir des fragments très petits (durée d'environ 4 minutes pour 500g de produit). La deuxième étape a été réalisée avec une molette et un broyeur en faisant des mouvements semi-circulaires ou en va-et-vient appuyés puis des mouvements circulaires afin de mouler les petits fragments et ainsi obtenir une poudre fine.

La réduction en poudre par abrasion nécessite l'utilisation d'un seul outil. Ici, plusieurs gestuelles ont été expérimentées : frottage longitudinal de la matière colorante contre une meule ; frottage circulaire de la matière colorante contre une meule ; frottage longitudinal d'un fragment de meule contre la matière colorante et enfin raclage par silex. Après tamisage et étude des poudres récoltées, analyse spatiale des ateliers expérimentaux, et analyse des facettes laissées par ces différents procédés, plusieurs constats ont été faits.

Ces deux procédés n'aboutissent pas exactement au même produit fini, en effet, « le broyage, permet de produire des poudres en quantité, mais la régularité dépend du soin apporté à l'opération, bien que les poudres soient en moyenne assez grossières et irrégulières. », « l'abrasion, [...] permet de produire, en moindre quantité, une poudre fine, régulière dont la couleur est franche dans le cas des matières colorantes rouges. »

En termes de perte de matière colorante, l'analyse spatiale a révélé que, lors du broyage, la perte de matière représente environ 30% de la masse initiale alors que, pour l'abrasion, la perte est quasiment nulle.

Le frottement de la matière contre un abrasif est le procédé qui permet le mieux la réalisation d'une poudre homogène rapidement puisque, au bout de 5 minutes de travail, 20g de poudre peuvent être produits.

L'utilisation de l'une ou l'autre de ces techniques est donc issue d'un choix délibéré dans le but « de produire soit d'importantes quantités de poudre grossière, soit de faibles quantités de poudre fine et fortement colorante ». Cette volonté de production de poudre aux caractéristiques différentes peut résulter de l'utilisation auxquelles elles sont associées : traitement des peaux, assainissement du lieu d'habitat, raviver le feu ou l'entretenir, abrasif, pigment (Salomon, 2009).

- Expérimentation autour des oxydes de manganèse

Une expérimentation sur les oxydes de manganèse a été réalisée par E. Chalmin (2009) afin de comprendre les différents effets que peut avoir un traitement thermique sur cette matière colorante. Différents types de manganèse ont été utilisés : bloc de pyrolusite, bloc de romanéchite et poudre de minerai. Ils ont tous été chauffés dans un four à 600° durant 4 heures. Ils ont ensuite été réduits en poudre afin de comparer leur degré de friabilité relativement aux matériaux de même type non chauffés.

Il semble que les propriétés soient les mêmes malgré une modification de la structure du minéral lors de la chauffe. En ce qui concerne les propriétés colorantes : la différence de couleur est très infime et n'est pas distinguable à l'œil nu et la différence de pouvoir colorant est également très faible.

La chauffe de l'oxyde de manganèse n'apportant pas de différence sur le plan technique et sur le rendu visuel, l'hypothèse de sa chauffe délibérée ne peut pas être démontrée.

Au cours de ces expérimentations, E. Chalmin s'est intéressée aux différences entre oxyde de manganèse et charbon de bois afin d'essayer de comprendre si l'utilisation de l'un ou de l'autre peut résulter d'une sélection volontaire basée sur le pouvoir colorant et sur leurs propriétés techniques (recouvrement, adhérence).

La mesure de la couleur du charbon de bois et de l'oxyde de manganèse ne permet pas de différencier les deux éléments (les spectres obtenus par analyse au spectrocromimètre des deux matériaux n'ont qu'une très faible différence de réflectance). Toutefois, le résultat du

calcul du pouvoir colorant est différent : 83% pour le charbon de bois et 93% pour le minéral. Ces deux matériaux ont néanmoins un très bon pouvoir colorant et sont donc assez similaires de ce point de vue-là. Le charbon de bois adhère moins bien à la paroi que l'oxyde de manganèse et l'obtention d'un mélange homogène est plus difficile à réaliser lors d'un mélange charbon/argile que minerais/argile. Leur pouvoir couvrant en revanche est similaire. En ce qui concerne l'utilisation des deux matériaux comme « crayon », le charbon de bois est beaucoup mieux adapté que l'oxyde de manganèse. En effet, ce dernier laisse une incision et une faible trace colorée la paroi.

E. Chalmin en arrive donc à la conclusion que l'utilisation de ces deux matériaux répond à un choix délibéré en fonction du rendu souhaité.

2b. Expérimentations sur les charges

Durant son DEA, H. Salomon (2003) a entrepris une série d'expériences afin d'évaluer les propriétés (adhérence, couleur) des peintures, acquises par l'ajout de charges diverses. Les charges utilisées étaient de la calcite, du gypse, des os chauffés (pendant 2h à 300°) de couleur noire tirant sur le brun, du talc, du quartz, des feldspaths potassiques et de l'argile. L'eau a été choisie comme unique liant. Pour étudier l'influence de la qualité et de la quantité de la charge, des proportions différentes de charge ont été ajoutées au liant : 25%, 50% et 75%. L'influence de la charge n'a été testée qu'avec un seul pigment : l'oxyde de manganèse. Les différents mélanges ont ensuite été appliqués sur des plaques calcaires et suivant trois modes d'application : à l'aide de crayon, au doigt et à l'aide d'un pinceau en bois de bouleau mâchonné.

Les charges présentant les meilleures qualités de recouvrement sont les feldspaths potassiques, l'argile et l'os quelles que soient les proportions. Le quartz et le talc, présentent une bonne qualité de recouvrement lorsque leur quantité ne dépasse pas les 50 % alors que, pour la calcite, le recouvrement est meilleur lorsque sa quantité est supérieure à 25 %. Enfin les applications de peinture composée de granite n'ont pas un fort pouvoir couvrant.

Pour évaluer le pouvoir adhérent, des plaques adhésives en PVC ont été appliquées sur chaque plaque calcaire. Après avoir été décollées du support, des particules ont été enlevées de façon différentielle selon les mélanges et les modes d'application. Quelle que soit la quantité de charge ajoutée au pigment, le quartz, les feldspaths potassiques et le talc n'ont pas

apporté de résultats satisfaisants. L'os, quel que soit sa proportion, a laissé des particules poudreuses sur le film. Pour la calcite, il faut une quantité de 50 % pour obtenir une bonne adhésion tandis que pour le granit, au-delà de 50 % la matière picturale n'est plus adhérente. Ce sont les peintures composées d'argile qui présentent les meilleures qualités adhésives.

En ce qui concerne la clarté des mélanges, les charges telles que l'argile, le quartz, le talc, le gypse et les feldspaths potassiques lorsqu'elles sont présentes en grand quantité (75%) éclaircissent le mélange. Cependant, d'après les études colorimétriques réalisées au spectrocolorimètre, aucune différence spectrale n'est observée entre un pigment brut et un mélange avec une quelconque charge.

H. Salomon propose donc que les charges « neutres », c'est-à-dire n'ayant pas d'influence sur la qualité du mélange ainsi que sur sa couleur tel que le granit, les os chauffés ou les feldspaths potassiques, pourraient dénoter une volonté d'économie du pigment.

2c. Expérimentation sur les liants

En 1961, K. Herberts (1961) a réalisé des expériences sur l'emploi de peintures pâteuses ou liquides, testant ainsi différents liants : sang, miel, graisse, moelle et huile de poisson. Les peintures ont ensuite été appliquées sur pierres calcaires sèches et humides. Pour le sang et le miel, le mélange s'opère très bien et assure une bonne pénétration dans la roche, cependant un changement de couleur au séchage dû au sang est observable (la couleur se noircit). Pour la graisse, l'application sur une paroi humide est impossible puisqu'elle n'adhère pas à la paroi. Elle a donc rapidement été évincée comme potentiel liant. Pour l'auteur, l'eau constitue le meilleur liant pour une bonne adhésion à la paroi et une bonne conservation des œuvres.

En 1963, C. Andrieux (1963) a réalisé cinq séries de peinture en utilisant comme liant du sang, de l'urine, de la moelle de bœuf, de l'eau de la grotte d'Altamira « acidulée et riche en calcium dissous », et enfin de l'eau ordinaire. Ces peintures ont été appliquées sur des plaques de verre en laboratoire. Les peintures ayant pour liant la moelle ne restent liquides que si elles sont maintenues au bain marie ; le sang donne une bonne fluidité à la préparation, mais après quelques heures des moisissures commencent à apparaître ; les peintures à l'urine

et à l'eau ordinaire forment une croûte et s'effritent rapidement. C'est l'eau de la grotte qui semble être le meilleur liant donnant ainsi une bonne adhérence à la peinture sur la plaque de verre. Cependant, ces peintures ayant été appliquées sur des plaques de verre, il est possible qu'elles ne réagissent pas de la même façon si elles avaient été appliquées sur une paroi rocheuse (pour ce qui est de l'effritement notamment).

M. Hours (1966) arrive aux mêmes conclusions quant à la bonne qualité d'adhésions des peintures ayant pour liant une eau saturée en carbonate de calcium d'après ses expériences où la peinture fut appliquée en laboratoire sur roches calcitiques et calcaires.

Les expérimentations menées par C. Couraud (1976) mettent également en évidence que l'eau est un très bon liant pour une peinture durable dans le temps. L'urine aurait également ces mêmes qualités. Les autres liants testés (colle de poisson, gomme arabique, gélatine, blanc d'œuf, et sérum de bœuf) présentent des risques importants de moisissures (même si parfois il ne s'agit que de un ou plusieurs points de moisissure blanche). Certains modifient aussi la couleur des peintures. C'est le cas de la colle de poisson qui les fonce légèrement, du blanc d'œuf qui leur donne un ton plus vif ou de la gélatine qui leur donne un aspect légèrement brillant. Des problèmes liés aux modes d'application sont à noter pour ce liant, qui forme une pellicule et adhère très mal à la paroi.

2d. Expérimentation sur les moyens d'application

Des expériences ont été menées par K. Herberts (1961) et C. Couraud (1976) concernant l'application des colorants sur paroi calcaire. Plusieurs modes d'application ont été testés : crayons, pinceaux, application aux doigts, tampons de fourrure, projections de colorant avec un tube et projections de colorants avec la bouche. Neuf types de pinceaux ont été testés : en brosse de crin, en poils de blaireau, en tige de bambou écrasée, en cheveux, en sorgho, en plume, en fourrure de bison, en lamelle de bambou appointée et fendue.

Très vite les pinceaux en sorgho, en cheveux et en fourrure de bison ont présenté des problèmes techniques (trop rigide comme celui en sorgho, trop souple et fragiles pour ceux en cheveux ou en poils de bison). Ils ont donc été évincés de l'expérimentation. Le pinceau en plume a présenté des problèmes au niveau de la pénétration de la peinture dans la roche du

fait de sa souplesse. Malgré sa bonne efficacité, le pinceau en crin engendre des risques en raison des poils qui peuvent rester collés à la peinture. Enfin, le pinceau en bambou écrasé laisse un tracé régulier et a une bonne résistance. « Nous pensons qu'il est possible d'élargir ces qualités à tous les pinceaux en fibres végétales, écrasées ou mâchonnées. » (Ballet *et al.*, 1979). H. Salomon a d'ailleurs utilisé un pinceau en bois de bouleau mâchonné pour ses expérimentations (Salomon, 2003). (Figure 2)



Figure 2 : Pinceau en bois de bouleau, dont l'extrémité noire a servi à l'application de la peinture (repris de Salomon, 2003).

Les tampons de fourrures n'ont pas donné de résultats très satisfaisants puisque, une fois trempés dans la peinture, ils deviennent rapidement flasques et informes et doivent donc être remplacés rapidement.

Pour la projection de colorant avec un tube, de la peinture liquide et pâteuse, ainsi que des pigments réduits en poudre ont été utilisés. Plusieurs types de tubes ont été employés : en roseaux avec des longueurs et des diamètres différents, en carton et en os long de cerf. Deux techniques ont été utilisées, la première consistant à mettre la peinture dans la bouche puis souffler dans le tube, et la seconde consistant à mettre la peinture dans le tube puis souffler. Quelle que soit la technique utilisée, les résultats sont identiques : la peinture forme des éclaboussures sur le mur sans faire de point, tandis que la projection de poudre forme des points sur la paroi. Les projections de colorant avec la bouche donnent des résultats semblables : la projection de peinture liquide ou pâteuse produit des éclaboussures qui coulent le long de la paroi alors que la poudre forme des points qui semblent se fixer à la paroi sans que le colorant ne tombe sur le sol.

En 1990, M. Lorblanchet a entamé une expérimentation visant à reproduire sur une paroi de grotte en grandeur nature, l'ensemble du panneau des chevaux ponctués de Pech Merle (Lorblanchet 2010). Le but de cette expérimentation était d'apporter une confirmation de la faisabilité des interprétations techniques analysées en amont, et d'essayer de reproduire l'ensemble des peintures par des moyens d'application différents : direct à la main, au pinceau et crachis direct avec la bouche. Pour ce mode d'application, M. Lorblanchet s'est inspiré de

techniques documentées chez certaines populations aborigènes d'Australie. L'expérimentation s'est déroulée en grotte et les pigments utilisés étaient du charbon de bois pour le noir et de l'ocre pour le rouge. Pour la réalisation des peintures, M. Lorblanchet a utilisé les colorants directement dilués dans la salive, ce qui leur a conféré une bonne adhésion à la paroi.

La pulvérisation du colorant par la méthode du crachis a permis de dégager plusieurs informations : une ébauche rapide des formes est nécessaire car l'artiste doit placer son visage à environ 20 centimètres de la paroi, et à cette distance il perd alors la vue d'ensemble du dessin. Plusieurs personnes devaient être présentes lors de la réalisation de cette frise puisque cette méthode d'application nécessite l'utilisation des deux mains de l'artiste qui lui servent alors d'écran pour contrôler les jets de colorant. Une deuxième personne devait donc être présente pour tenir la lampe, indispensable pour suivre le travail effectué. Les contours des animaux ont été facilement obtenus et reproduits à l'identique. Le remplissage des silhouettes a demandé une grande concentration et les points ont été obtenus grâce à l'utilisation d'un « écran » de cuir ou de peau perforé au centre, de trois centimètres d'épaisseur.

L'expérimentation a confirmé que l'ensemble des points a été réalisé postérieurement au dessin des deux chevaux. La réalisation des mains négatives noires n'a pas posé de problème. Cependant, la réalisation des mains repliées rouges a soulevé des questions : le repliement à angle aigu de la dernière phalange du pouce tel que sur la paroi de Pech Merle est difficile. Cela demande une souplesse ligamentaire qui est propre aux femmes et aux enfants.

Les tracés linéaires rouges ont été réalisés avec un pinceau rigide en rameau dont l'extrémité a été mâchonnée.

Cette expérimentation a permis à M. Lorblanchet d'estimer à 32h la durée de réalisation d'une telle frise, sachant que la simple réalisation d'une main négative devait durer 30 minutes en moyenne. Ce fût donc un travail de concentration qui a demandé beaucoup de souffle. Cette expérience a confirmé que toutes les caractéristiques graphiques relevées et analysées à la grotte de Pech Merle (dégradés, tracés linéaires, ponctuations et pochoirs) sont réalisables par la méthode du crachis direct contrôlé.

3) **Expérimentation sur les os brûlés**

De multiples expérimentations ont été menées sur les os brûlés portant sur différentes problématiques : signature physico-chimique (Shipman *et al.*, 1984 ; Nicholson, 1993 ; Lebon, 2010 ; Zazzo, 2010), état de l'os ante-combustion – frais avec de la chair, frais sans chair, sec ou fragmenté - (Gifford-Gonzalez, 1989), propriétés combustibles (Costamagno, 1999 ; Théry-Parisot et Costamagno, 2005) et sur l'impact taphonomiques (Costamagno *et al.*, 2005 ; Gerbe, 2010 ; Morin, 2010).

Nous avons fait le choix ici de ne présenter que les expérimentations sur os brûlés qui nous ont aidés pour notre problématique.

3a. Expérimentations sur la caractérisation physico-chimique des os brûlés

Une étude expérimentale a été entreprise par P. Shipman afin d'enregistrer à différentes températures de chauffe les différences de couleur, de morphologie microscopique, de structure cristalline et de rétrécissement des os brûlés (Shipman *et al.*, 1984). L'objectif était de déterminer si des ossements ont été chauffés sur les sites archéologiques anciens, ainsi que la température maximale à laquelle ceux-ci avaient été exposés, en combinant plusieurs approches et méthodes. Pour cela, deux éléments anatomiques ont été utilisés : mandibule et astragale.

Ces ossements appartenaient à des moutons et des chèvres âgées de deux à six mois. Soixante mandibules et astragales ont été utilisés pour cette expérimentation. Ils ont été chauffés dans un four pendant 4h et à des températures différentes : 185, 285, 360, 440, 525, 645, 675, 745, 800, 870 et 940°C.

Les différences de couleurs ont été analysées avec la Charte Munsell et ont pu ainsi être classées en cinq étapes :

- 20°C < 285°C : couleur neutre blanchâtre ou jaune pâle
- 285°C < 525°C : brun rougeâtre, gris brun, et parfois gris foncé
- 525°C < 645°C : noir
- 645°C < 940°C : blanc prédominant avec quelques tâches de bleu clair et gris clair
- Au-delà de 940°C : blanc

Les modifications morphologiques ont pu être classées en cinq étapes qui ne correspondent pas exactement aux mêmes seuils que ceux définis par les changements de couleur :

- 20°C < 185°C : tissu normal
- 185°C < 285°C : rugosité sur la surface des ossements
- 285°C < 440°C : les ossements deviennent vitreux et lisses
- 440°C < 800°C : ils acquièrent une sorte de mousse
- 800°C < 940°C : aspect mousseux devient une surface lisse

Les modifications des phases cristallines ont été analysées par microscope à balayage suivant différentes orientations et différents grossissements. Une analyse de diffraction des rayons X a également été appliquée.

Le composant minéral de tous les ossements à toutes les températures est l'hydroxyapatite. Des différences dans la taille des cristaux ont été observées : il y a une augmentation graduelle dans la taille des cristaux entre la température ambiante et 525°C, puis une forte augmentation entre 525°C et 645°C. Après 645°C aucun changement n'est noté.

Enfin la mesure du rétrécissement des ossements au cours de la chauffe a été calculée en prenant quatre mesures : trois sur chaque astragale et une sur chaque mandibule avant et après chauffage. Un pourcentage de retrait a ensuite été calculé pour chaque température. Cependant ce pourcentage n'est pas constant à toutes les températures.

M. Lebon a réalisé une expérimentation visant à caractériser les différentes étapes par lesquelles passe la structure cristalline de la phase minérale des ossements durant la chauffe (Lebon *et al.*, 2010). Pour cela, il a créé un référentiel d'ossements modernes à partir d'une diaphyse d'humérus de bœuf chauffée à différentes températures - entre 120° et 190° - et selon différentes durées : 15, 30, 45, 60, 90 et 120 minutes dans un four à moufle (Figure 3).

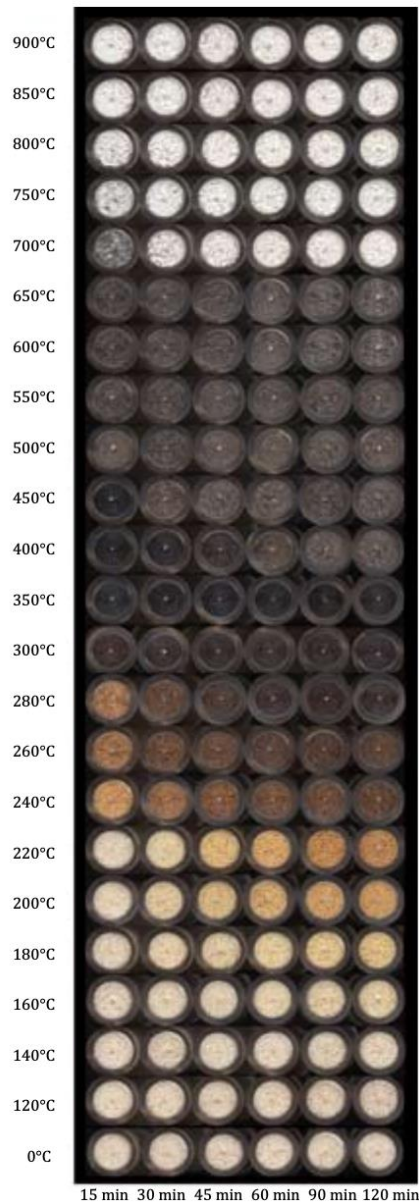


Figure 3 : Référentiel d'ossements modernes chauffés entre 120 et 900°C pendant 15, 30, 45, 60, 90 ou 120 minutes (repris de Lebon, 2010).

Ce référentiel a ensuite été analysé par microscopie infrarouge. M. Lebon s'est intéressé principalement à un domaine du spectre infrarouge : le massif $\nu_1 \nu_3 \text{PO}_4$. Ce massif peut être décomposé en plusieurs composantes permettant de renseigner sur la composition de la phase minérale de l'os.

Par l'étude de ce massif, M. Lebon a pu identifier trois gammes de températures de chauffe : 0-450°C, 500-600°C et des températures supérieures à 600°C. Cette étude a également permis de caractériser des ossements chauffés à basse température (dès 250°C), alors que le calcul

seul de la cristallinité par le calcul du Splitting Factor permet uniquement de mettre en évidence les os chauffés à plus de 500°.

3b. Expérimentation sur le degré de fragmentation des os brûlés

M.-C. Stiner (1995) a mené des expérimentations sur les os brûlés afin d'appréhender l'impact que la chauffe peut avoir sur le degré de fragmentation des ossements. Pour cela, des os frais de chèvre et de vache ont été utilisés et placés directement dans un feu contrôlé. Plusieurs stades de chauffe ont été enregistrés selon la couleur des ossements, notés de 0 à 6 (dont le stade 3 correspond aux os 100% carbonisés). La fragmentation a été observée de deux manières : agitation vigoureuse de fragments triés par catégorie de chauffe dans une boîte pendant 60 secondes et piétinement d'os entiers préalablement mesurés et placés sous terre. Ces expérimentations montrent alors que, plus l'os est chauffé, plus il tend à se fragmenter et se réduire en poudre par agitation : les os brûlés de catégorie 3 produisent 6% de poudre, alors que les catégories supérieures 4, 5 et 6 produisent 10 à 11% de poudre d'os. De même, les ossements brûlés placés sous le foyer et piétinés sont largement plus fragmentés que les os non brûlés dans ces mêmes conditions.

Des expérimentations plus récentes menées par S. Costamagno et I. Théry-Parisot (Costamagno *et al.*, 2005) ont montré que le degré de fragmentation n'était pas seulement dû à l'intensité de chauffe. Ces expérimentations menées en laboratoires ont porté sur l'étude de la fragmentation des ossements selon leur nature histologique, leur niveau d'humidité et leur degré de fracture avant combustion. Plusieurs séries ont été réalisées :

- Humérus complet frais ou sec
- Os spongieux (distal et proximal) frais ou sec
- Os spongieux (distal et proximal) fracturé frais ou sec
- Os compact avec et sans moelle

Après chaque combustion, les os ont été récoltés et triés selon leur taille, le type de tissu et leur intensité de combustion.

L'indice de fragmentation a été calculé en divisant le nombre de restes osseux récupérés après la combustion par le nombre de restes osseux initialement déposés dans le foyer avant la combustion. Cet indice donne une idée du degré de fragmentation des résidus osseux : plus la valeur est élevée, plus les os sont fragmentés.

Lors de ces expériences, l'indice de fragmentation est toujours supérieur à 1, mais varie considérablement selon les procédures de combustion (de 2 et 227). Le degré de combustion n'est donc pas le seul facteur à agir sur la fragmentation des ossements.

La fragmentation avant combustion, joue un rôle important sur la fragmentation postcombustion : les os compacts et les humérus complets présentent des taux de fragmentation très élevés (en moyenne 182 fragments pour un humérus complet). Les os spongieux sont plus fragmentés lorsqu'ils sont entiers que lorsqu'ils sont fragmentés avant combustion (une extrémité proximale entière produit 34 fragments, alors que préalablement fragmentée, elle ne produit que 3 fragments).

L'état frais ou sec influe également fortement sur le degré de fragmentation des ossements. Les os frais, sont plus fragmentés, en raison de l'évaporation de l'eau qu'ils contiennent.

Dans les séries où les éléments ou parties osseuses ont été brûlés entiers, la proportion de fragments de moins de 2 cm est toujours plus élevée et représente en moyenne 55,9% des résidus brûlés.

III. Corpus et méthode

1) Roc-aux-Sorciers

1a. Le site

Le site du Roc-aux-Sorciers est un abri-sous-roche qui se situe dans le département de la Vienne, à 1,5 kilomètres du village d'Angles-sur-l'Anglin. Connu pour ses sculptures pariétales monumentales, ce site s'inscrit dans un groupe culturel comprenant plusieurs sites fréquentés et ornés au Magdalénien moyen, dont des grottes ayant livré des œuvres mobilières et pariétales, comme par exemple celle de La Marche à Lussac-Les-Châteaux ou celle de la Chaire à Calvin à Mouthiers.

Cet abri s'étend sur plus de cinquante mètres le long de l'Anglin, au pied des hautes falaises calcaires jurassiques de Dousse. Actuellement, l'abri est divisé en deux zones distinctes : l'abri Bourdois en aval et la cave Taillebourg en amont (Figure 4). Ces deux ensembles sont séparés par un massif rocheux dû à un effondrement survenu au Magdalénien moyen, il faut donc garder à l'esprit que la cave Taillebourg et l'abri Bourdois forme un ensemble archéologique cohérent.

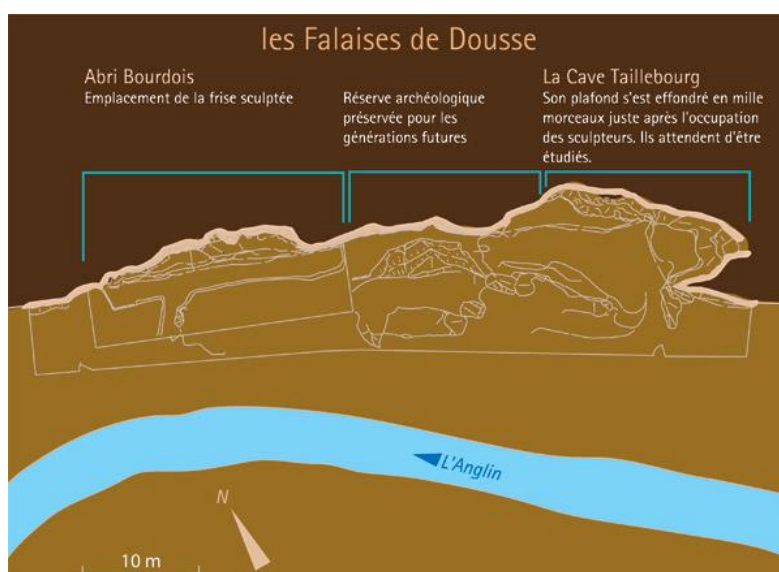


Figure 4 : Plan de l'abri du Roc-aux-Sorciers (repris de Pinçon, 2009).

La cave Taillebourg est une large cavité karstique en pied de falaise. Au Magdalénien moyen, un effondrement de la voûte y a entraîné la destruction d'une grande partie de l'ensemble orné. L'abri Bourdois est un abri sous roche de pied de falaise dont l'avancée de voûte était moins importante.

1b. Le gisement

La découverte de ce site s'est faite en deux temps et en deux zones distinctes. Les premières fouilles entreprises par L. Rousseau (1933), et réalisées de 1927 à 1939, se sont concentrées dans la cave Taillebourg. S. de Saint-Mathurin et D. Garrod reprennent les fouilles en 1947 et mettent au jour plusieurs centaines de blocs ornés, ainsi qu'une sculpture sur paroi. (Saint Mathurin et Garrod, 1984). En 1950, elles ouvrent une seconde zone de fouille où elles dégagent une frise sculptée de 18 mètres de long sur la paroi de l'abri Bourdois.

Dans l'abri Bourdois, le remplissage sédimentaire qui recouvrait l'ensemble de la frise sculptée encore in situ, présente une stratigraphie qui se partage en deux ensembles principaux : le Magdalénien moyen et le Magdalénien supérieur.

Deux couches archéologiques sont attribuées au Magdalénien moyen (couche RSD et RSC) (Figure 5). Leur épaisseur et le riche mobilier qu'elles ont livrés témoignent d'une intense

occupation du site. Le matériel mis au jour dans ces deux couches est typique du Magdalénien moyen régional puisque le mobilier est constitué de lamelles à dos à base tronquée et débitage type « La Marche », de sagaies de Lussac-Angles, de sagaies bipointes, de baguettes demi-rondes et d'incisives de poulain gravées (Dujardin et Pinçon, 2000). Cette attribution chronoculturelle est, de plus, confirmée par des datations radiocarbone : couche RSD :, $14\ 160 \pm 80$ BP32 (GrN 1913) et $14\ 510 \pm 160$ BP33 (GifA 94191)] et couche RSC [$14\ 770 \pm 140$ BP34 (GifA 94190)].

Les productions techniques témoignent d'activités domestiques et cynégétiques. Cependant, la caractérisation des occupations est assez difficile. La couche RSD est également marquée par la présence de grands foyers noirs et correspond à l'occupation principale des Magdaléniens (Pinçon, 2009).

Quatre niveaux archéologiques sont attribués au Magdalénien supérieur. Ces derniers, ayant livré moins de mobilier archéologique que les niveaux du Magdalénien moyen, témoignent d'épisodes d'occupation plus courts (Pinçon, 2009).

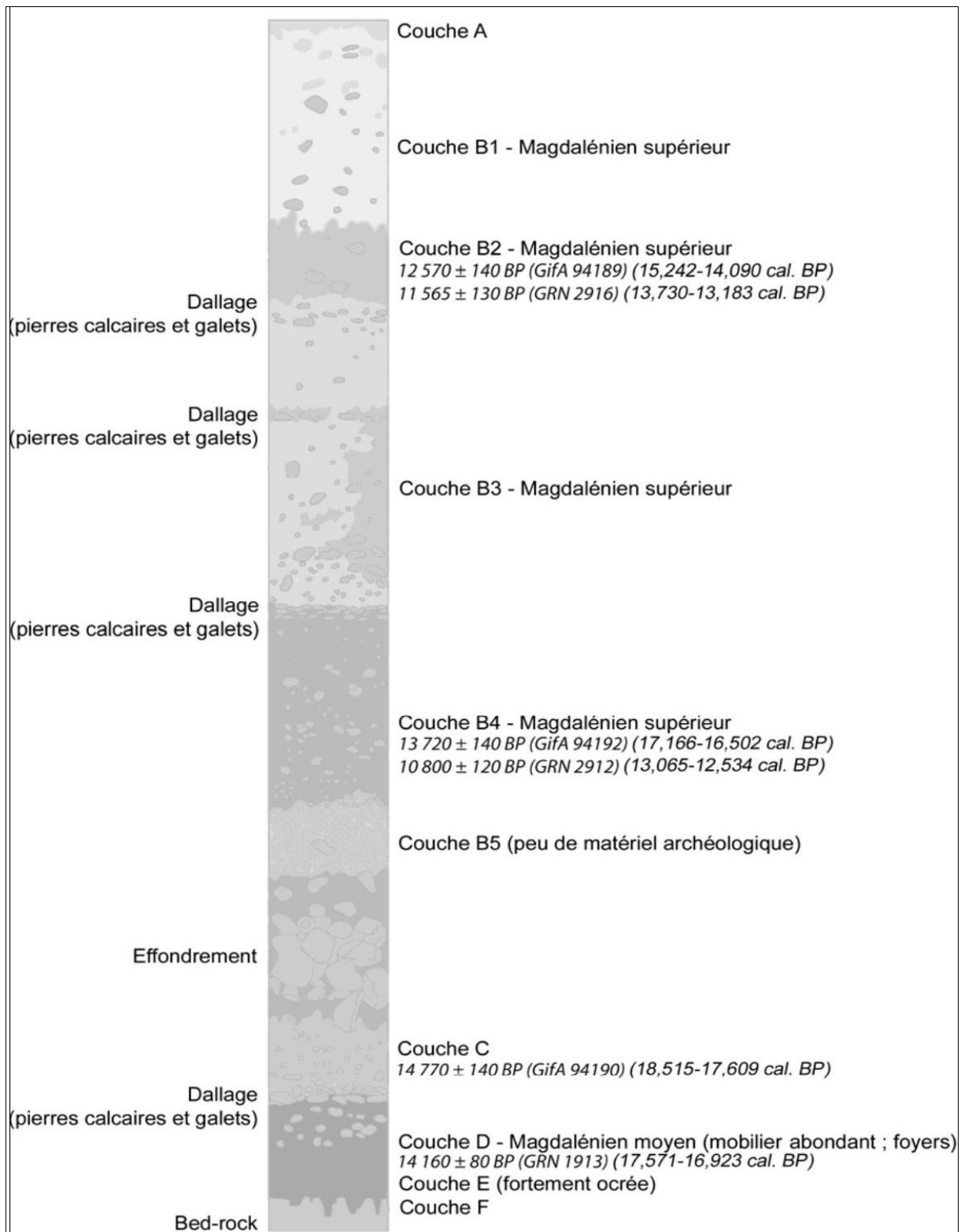


Figure 5 : Coupe frontale de l'abri Bourdois, Roc-aux-Sorciers (repris de Pinçon, 2009).

Malgré les perturbations liées aux nombreux blocs effondrés, la stratigraphie de la cave Taillebourg est composée de deux couches archéologiques attribuées au Magdalénien moyen qui est la seule entité chrono-culturelle identifiée pour cette partie du gisement.

Les restes fauniques provenant des deux localités sont assez bien conservés. Cependant, les ossements sont mieux déterminés pour les couches du Magdalénien supérieur que pour celles du Magdalénien moyen, en raison d'une forte fragmentation des restes fauniques liée à l'utilisation d'os comme combustible : plus de 15 000 esquilles dans la couche RSD de l'abri Bourdois (Figure 6) (Valensi, 2010).

	ABRI BOURDOIS												CAVE TAILLEBOURG			
	Magdalénien supérieur						Magdalénien moyen						Magdalénien moyen			
	B1	B2	B2/B3	B3	B4	B4/B5	B5	C	D	E	F	Indet	C	C/D	D	Indet
Restes déterminés	43	224	37	308	319	53	15	206	679	134	12	34	1758	97	1508	20
Restes non déterminés																
Restes déterminés anatomiquement	3	4	2	5	7	0		9	64	4	0	0	280	4	336	0
Esquilles non brûlées	52	166	79	56	1162	45	7	474	2917	432	20	154	2063	459	2708	0
Esquilles brûlées ou calcinées	1	5	4	3	202	1	3	342	12353	679	30	113	689	138	2174	0
Total des non déterminés	56	175	85	64	1371	46	10	825	15334	1115	50	267	3012	601	5218	0
Total des restes	99	399	122	372	1690	99	25	1031	16013	1249	62	301	4770	698	6726	20
% de détermination	43%	56%	30%	83%	19%	54%	60%	20%	4%	11%	19%		37%	14%	22%	

Figure 6 : Quantification de la faune du Roc-aux-Sorciers (repris de Valensi, 2009).

Au total, 21 espèces de mammifères sont représentées sur le site avec une forte prédominance du cheval et du renne, quels que soient les niveaux d'occupation. Ces deux espèces étaient l'alimentation principale des magdaléniens et de nombreuses traces de boucherie ont été enregistrées sur les ossements.

1c. Le dispositif pariétal

L'abri Bourdois et la cave Taillebourg forment deux ensembles géomorphologiques différents qui n'ont permis la réalisation de décors que sur certaines zones des deux ensembles. Pour la cave Taillebourg, seule la voûte a pu être exploitée alors que dans l'abri Bourdois, ce fut le plafond et la paroi verticale (Pinçon, 2009).

Le dispositif pariétal est donc constitué d'une frise sculptée, localisée sur le fond de l'abri Bourdois, ainsi que de plusieurs centaines de fragments provenant de la voûte de la cave Taillebourg.

Ces œuvres sont attribuées au Magdalénien moyen grâce à plusieurs éléments : du côté de la cave Taillebourg, l'occupation est seulement datée de cette période, et pour l'abri Bourdois, la frise était recouverte par le niveau d'effondrement de la voute. De plus, des fragments de paroi ont été découverts dans les couches du Magdalénien Moyen.

Quatre-vingt-douze unités graphiques ont été enregistrées, dont les deux tiers se situent dans l'abri Bourdois. Cependant, cet inventaire est provisoire puisque l'abri Bourdois n'est pas dégagé dans sa totalité et les blocs ornés de la cave Taillebourg sont en cours d'analyse. Le dispositif pariétal est composé de figurations animales (principalement bison, bouquetin, cheval et, plus rarement, félin, mammouth, renne, ours, canidé, antilope saïga) et humaines, ainsi que de motifs géométriques, simples (bâtonnets et ponctuations) et complexes (quadrangulaires à remplissage interne de lignes). Composées de représentations féminines, de figures asexuées et de têtes humaines isolées, les figurations humaines se caractérisent par leurs formes réalistes, exceptionnelles dans l'art pariétal paléolithique européen (Iakovleva *et al.*, 1993 ; Fuentes *et al.*, 2017). Ce traitement réaliste touche également les formes animales avec un respect des proportions et une profusion de détails anatomiques.

Plusieurs techniques ont été utilisées - gravure, sculpture et peinture - selon plusieurs procédés : gravure fine/large, relief gravé jusqu'au haut-relief. Dans l'abri Bourdois, on dénombre 30 gravures, 33 sculptures et 7 peintures, alors que pour la cave Taillebourg les gravures sont au nombre de 9 et les sculptures au nombre de 22 (Bourdier, 2010).

L'étude de la « stratigraphie » de la paroi ornée a révélé plusieurs dispositifs pariétaux qui se sont succédés au fil de l'occupation magdalénienne. La gravure est la première étape de la réalisation iconographique. On peut la voir aujourd'hui au pied des œuvres sculptées, ainsi que sur de nombreux blocs. Toutefois, les gravures sont souvent mal conservées puisqu'elles ont été détruites lors de la mise en volume et du polissage des sculptures. Il s'agit d'un art discret dont les figures sont partielles et plus réduites que les figures sculptées. Toutefois, leur bestiaire est plus varié (ours, mammouth, antilope saïga, canidés et cervidés, entre autres). La sculpture est la seconde phase de la réalisation iconographique. Il s'agit de sculptures monumentales centrées sur les thèmes du bison, du bouquetin, du cheval, de l'humain et du félin, et organisées suivant la morphologie de la paroi. Plusieurs étapes de réalisation de ces sculptures se sont succédées laissant visibles des traces de retaille. Ces retailles visent à des changements thématiques. En effet, le thème femme/bison est remplacé par la figure du

bouquetin « témoignant d'une recodification symbolique de la frise au cours du Magdalénien moyen » (Pinçon *et al.*, 2013).

Ces deux ensembles sculptés successifs ont toutefois une forte homogénéité dans leurs codes techniques et graphiques (comme l'usage systématique de la géométrisation des détails anatomiques des sujets), ce qui souligne leur « unité chrono-culturelle ». (Bourdier, 2010 ; Pinçon, 2013).

1d. La couleur au Roc-aux-Sorciers

Contrairement à la monumentalité des représentations sculptées, la couleur n'est présente sur les parois qu'à l'état de traces ponctuelles et discrètes. Trois couleurs ont été utilisées pour la réalisation du dispositif pariétal : le noir, le rouge et le jaune.

Une étude de la distribution de ces traces a été réalisée par A. Abgrall (2010). Suite à une prospection de la paroi et des blocs effondrés sous différentes sources lumineuses et différents angles d'incidence, chaque vestige pictural a été enregistré par photographie numérique, puis a donné lieu à un traitement colorimétrique numérique, puis à une restitution graphique (Figure 7).

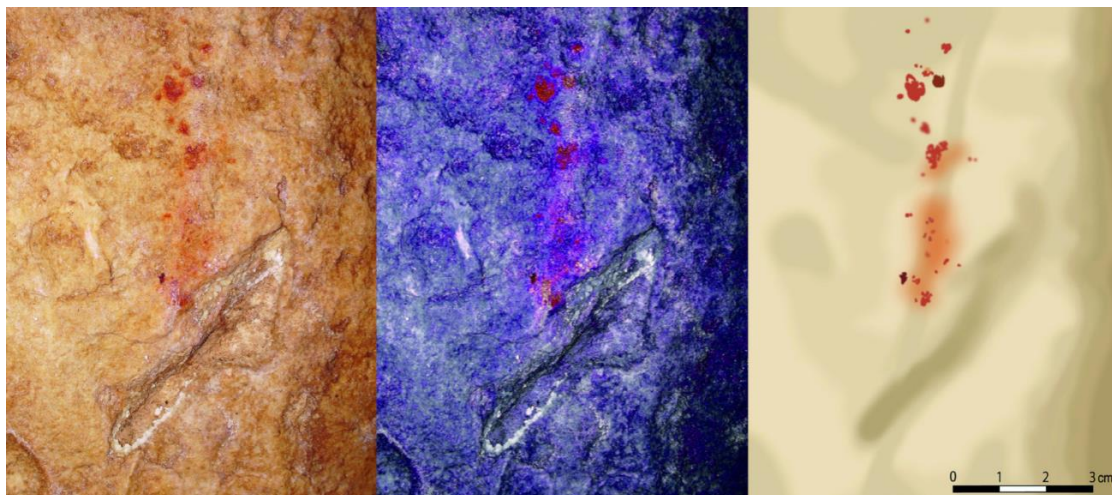


Figure 7 : Exemple de traitement colorimétrique d'un vestige de peinture rouge de l'abri Bourdois (repris de Abgrall, 2017).

La peinture tient un rôle particulier dans le système pariétal, différent de ceux de la sculpture et de la gravure à vocation essentiellement figurative, mais elle n'en demeure pas moins étroitement liée aux sculptures et aux gravures (Abgrall, 2017). Chaque couleur joue un rôle

particulier selon la technique et la thématique à laquelle elle est intégrée. Le noir est toujours lié à la figuration, on le trouve sur le bas des pattes de certains bas-reliefs de bouquetins et bisons mâles, ainsi que sur des figures gravées pour relever et identifier la ligne ventrale des bisons (Figure 8). Le rouge est utilisé différemment et dans différentes teintes, selon qu'il est intégré à la sculpture pariétale animalière ou à la gravure fine animalière. Intégré à la sculpture pariétale animalière, le rouge pâle est appliqué en aplat à la périphérie des bas-reliefs, tandis que le rouge foncé dessine des signes simples (ponctuations et bâtonnets) ou complexes (lignes pointillées parallèles) superposés aux sculptures (Figure 8). Associé à la gravure fine animalière, le rouge clair est également utilisé en aplat postérieurement ou antérieurement à la réalisation des motifs gravés ; en revanche, le rouge foncé a exclusivement servi au dessin de grands signes quadrangulaires composés de lignes pleines et de lignes pointillées (Figure 9).



Figure 8 : Le rôle de la couleur associée à la sculpture pariétale animalière (repris de Abgrall, 2017).

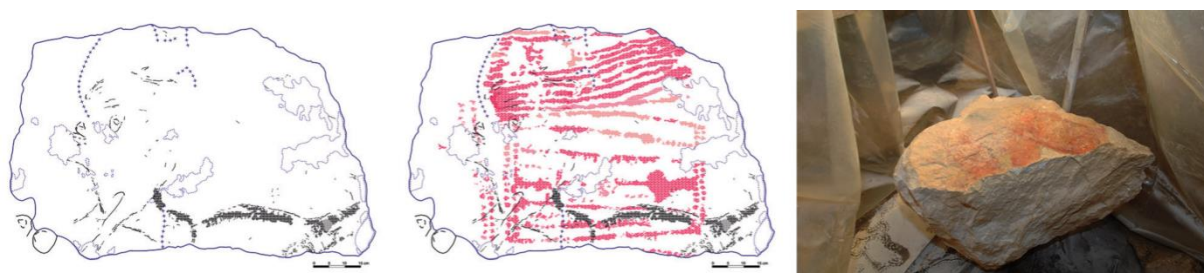


Figure 9 : Le rôle de la couleur associée à la gravure fine animalière (repris de Abgrall, 2017).

L'association de couleur noire et de couleur rouge est uniquement utilisée pour les reliefs anthropomorphes.

La couleur est donc utilisée dans diverses teintes suivant le contexte auquel elle est intégrée, ce qui amène à s'interroger sur la valeur et le sens de la couleur pour les Magdaléniens qui l'ont sollicitée (Pinçon, 2013).

Outres les témoins picturaux actuellement visibles sur la paroi et les blocs effondrés, la couleur est présente en abondance dans les couches archéologiques. On la trouve sous forme de blocs de matière colorante portant des traces d'utilisation (stries de grattage et de raclage, cupules de forage lustrées caractéristiques d'un frottage sur une matière souple) (Abgrall, 2017). Ces matières colorantes issues des couches archéologiques correspondent à celles utilisées comme pigment dans l'art pariétal (Abgrall, 2010). Dans la cave Taillebourg comme dans l'abri Bourdois, des objets liés à l'utilisation et à la préparation de la couleur ont été collectés : des godets et des molettes. Enfin, des outils lithiques et en matière dure animale, ainsi que des objets de parure et d'art mobilier portent également des plages colorées. L'ensemble de ces témoignages montre que la matière colorante a joué un rôle important sur ce site et a pu être utilisée à des fins artistiques (parois ornées, objets mobiliers, parures), mais également domestiques (tannage et conservation des peaux) (Abgrall, 2009).

1e. L'os dans la matière picturale

La nature physico-chimique des pigments a donné lieu à plusieurs analyses (Auzanne, 2001). Trois types de pigments ont été utilisés : des oxydes de manganèse pour les teintes noires, des oxydes de fer pour obtenir les teintes rouges et jaunes, des ocres pour les teintes rouges. Si, pour certains échantillons, le pigment a été utilisé à l'état brut, pour d'autres (neuf échantillons sur quinze), I. Auzanne (2001) a mis en évidence un mélange de pigments et d'argile. Cette association permet donc d'envisager l'existence d'une recette de matière picturale. De plus, les argiles utilisées n'ayant pas toute la même composition et étant associées à différents éléments présents à l'état d'impureté, elles pourraient alors révéler l'existence de plusieurs pots de peinture. Parmi ces éléments-traces ont été trouvés du chlorure de sodium, du soufre, du phosphore et du calcium.

Or, la présence de phosphore et de calcium est révélatrice de l'os. En effet, « l'os est caractérisé au MEB par l'association de P, Ca et C » (Chalmin, 2003).

On retrouve ces éléments aussi bien dans les compositions de couleur noire que rouge, jaune ou ocre rouge-brun. L'os est donc associé sur ce site avec les préparations à base d'oxyde de

manganèse, d'oxyde de fer ou d'ocre rouge. Pour I. Auzanne (2001), cette présence peut être due à une technique de préparation ou d'application de la peinture. L'os étant une matière friable, il est possible que de minuscules esquilles se soient retrouvées dans la peinture suite à un mélange avec un objet en os. La peinture pourrait avoir été appliquée sur la paroi avec « une sorte de pinceau en os » ayant laissé quelques particules dans la peinture.

En 2010, une étude physico-chimique a été entreprise sur plusieurs échantillons de peinture de l'abri Bourdois et de la cave Taillebourg (François *et al.*, 2010). Ces échantillons ont été observés à la loupe binoculaire et par microscopie électronique à balayage (MEB-EDS). Plusieurs échantillons provenant de l'abri Bourdois ont montré la présence de phosphore : 2 échantillons de pigment noir (n°9 et 11) et un échantillon (n°24) de pigment rouge (Figure 10, Figure 11, Figure 12).



Figure 10 : Echantillon 11 : tache noire sur le mur, bison en boule (repris de François *et al.*, 2010).

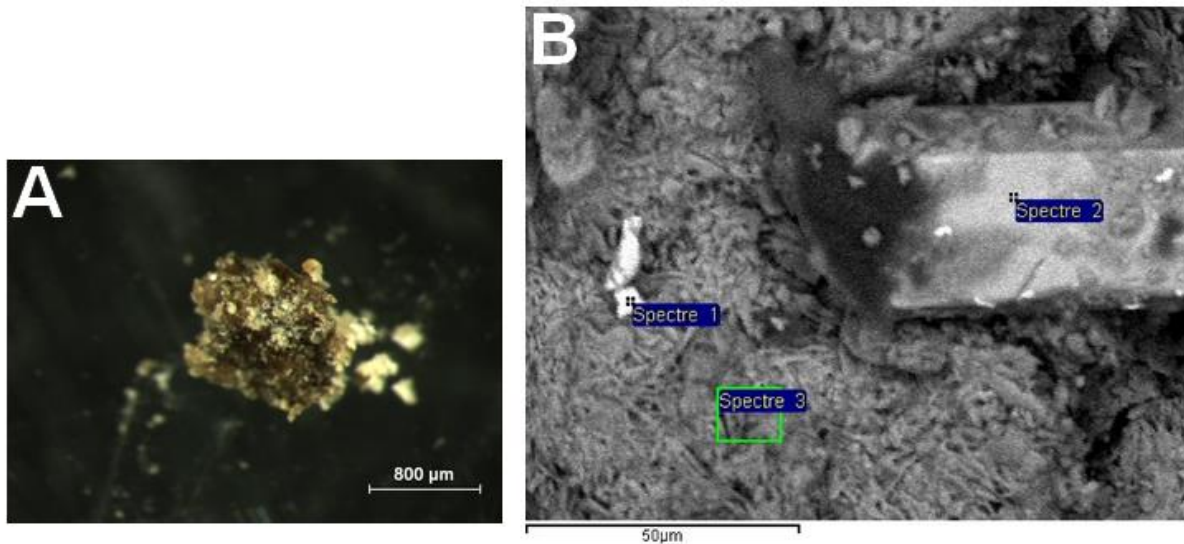


Figure 11 : Analyse échantillon 11. A : photo à la loupe binoculaire; B : image MEB (repris de François *et al.*, 2010).

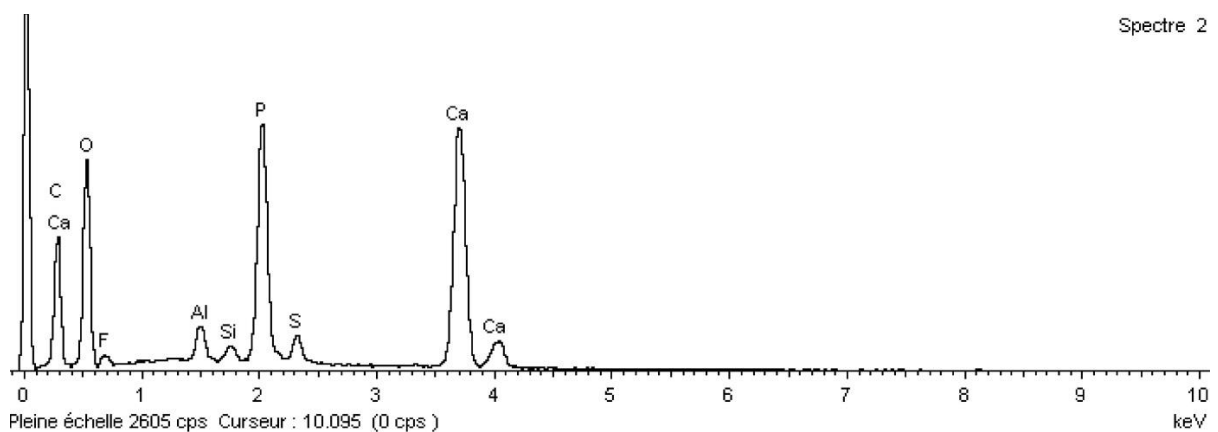


Figure 12 : Analyse spectrale de l'échantillon 11 (repris de François *et al.*, 2010).

En 2011, des prélèvements ont de nouveau montré la présence de matière osseuse dans la composition des peintures (Touron *et al.*, 2011). Notamment dans l'échantillon n°23 prélevé dans l'abri Bourdois associant couleur noire et couleur rouge. Le noir présent dans cet échantillon a révélé des traces de calcium, silicium, phosphore, et aluminium (Figure 13, Figure 14, Figure 15).



Figure 13 : Prélèvement échantillon 23 (bloc R6)
(repris de François *et al.*, 2010).

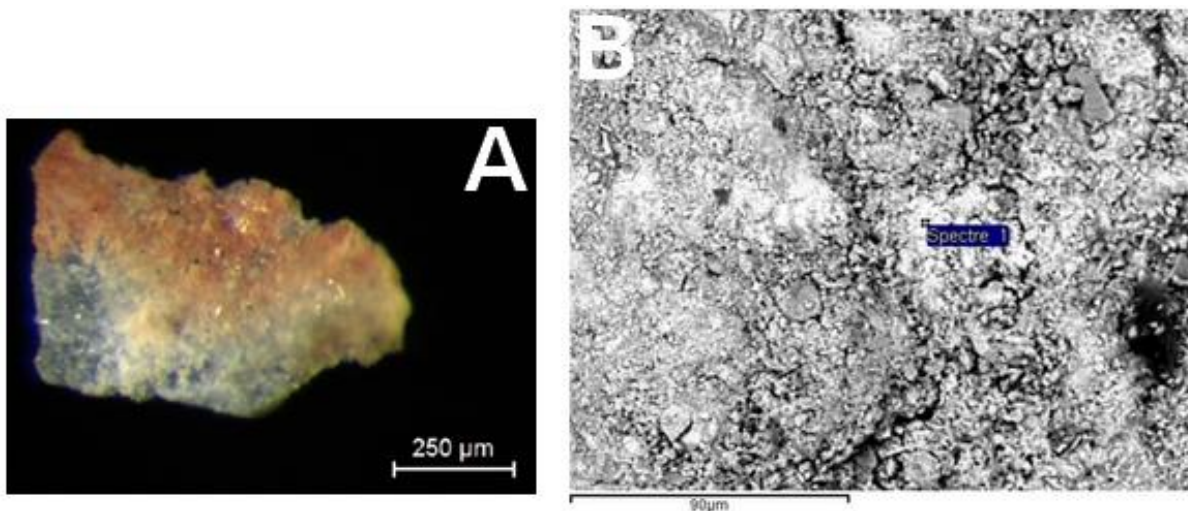


Figure 14 : Analyse échantillon 23. A : observation à la loupe binoculaire; B : Observation au MEB
(Repris de Touron *et al.*, 2011).

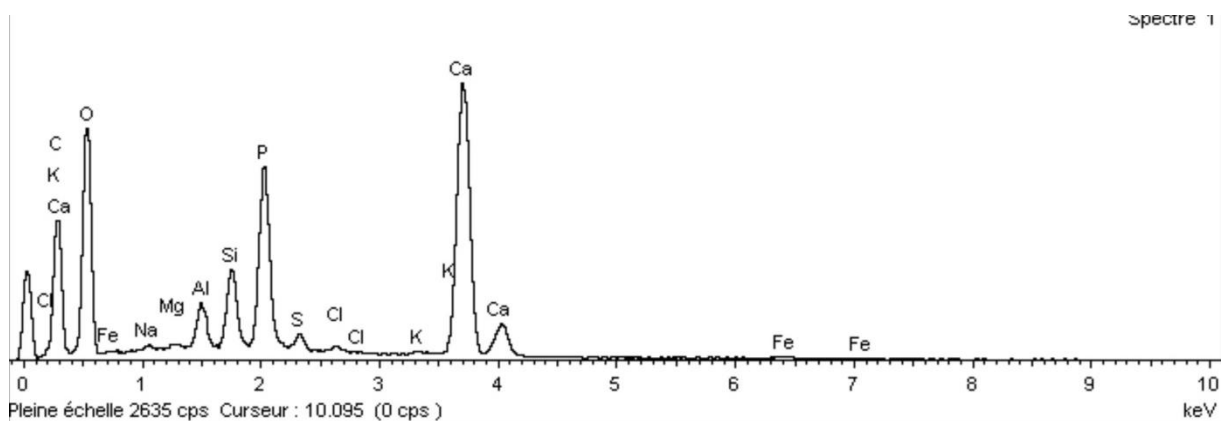


Figure 15 : Spectre EDS des ponctuations noires de l'échantillon 23
(Repris de Touron *et al.*, 2011).

Cette composition chimique est caractéristique de la composition des os brûlés. Les auteurs proposent, soit une utilisation de charbons d'os comme pigment, soit l'emploi d'os pour le broyage des pigments rouges. Cependant, le rouge associé à cet échantillon est composé de calcium, silicium, aluminium, fer et titane. Le phosphore n'étant présent qu'en très faible quantité, l'hypothèse de son utilisation comme élément de broyage est peu plausible dans ce cas présent. De plus, pour la couleur noire de cet échantillon, nous n'avons pas la présence d'oxyde de manganèse ou de charbon de bois, pigments habituellement utilisés pour donner une teinte noire, il semblerait alors que ce soit uniquement l'os qui donne cette teinte à l'échantillon. Cette étude soulève ainsi l'hypothèse de l'utilisation de l'os brûlé comme pigment.

2) Matériel

Pour répondre au mieux à nos problématiques, nous avons fait le choix d'utiliser la démarche expérimentale. La réalisation de différents pots de peintures, suivant plusieurs modalités, nous a permis de tester le pouvoir colorant de l'os brûlé, seul et mélangé avec d'autres pigments (ocre, charbon de bois), ainsi que son pouvoir adhérent.

La réalisation d'analyses physico-chimiques (MEB-EDS et MET-EDS) nous permettra ensuite de créer un référentiel.

Pour cette démarche expérimentale, nous avons eu besoin de pigments, de charge et de liant.

2a. Matière picturale

- Les pigments

Trois types de pigments ont été utilisés : os brûlé, charbon de bois et ocre rouge.

Notre démarche s'appuyant sur les résultats des analyses physico-chimiques du Roc-aux-Sorciers, il aurait été préférable d'utiliser des ossements de rennes (espèce la plus représentée), cependant la difficulté à s'en procurer a orienté notre choix vers des os de bœufs. Nous avons utilisé la partie compacte de fémurs de bœufs frais, que nous avons fait brûler dans un four à moufle afin de contrôler la température et le temps de chauffe. En se basant sur les expérimentations de M. Lebon (2010) en ce qui concerne la coloration des

ossements, nous avons placé nos os dans le four à moufle préchauffé à 400° durant 35 minutes, après avoir retiré la moelle osseuse, ainsi que les quelques résidus de chair et de graisse encore présents.

Ils ont ensuite été réduits en poudre à l'aide d'un pilon en galet de quartz de forme ovale (de 450g) et d'un mortier en bois, puis tamisés dans un tamis de maille 500 microns afin d'obtenir une poudre très fine. En effet, lors de tests en amont de l'expérimentation, nous avons constaté que plus la poudre d'os est fine, plus elle adhère au support.

- *La charge*

La charge utilisée est l'argile, pour sa texture grasse et malléable (Balbin et Behrmann, 2009), mais également pour reproduire une des recettes mises en évidence dans les analyses du Roc-aux-Sorciers, où des ponctuations noires sont composées de carbonate, d'argile et d'os.

- *Le liant*

Comme nous l'avons vu, lors de précédentes expérimentations en art pariétal, l'eau a été reconnue comme étant le meilleur liant, car la peinture n'est pas détériorée par des moisissures après application sur la roche, et permet une bonne adhésion à la paroi (Couraud, 1988). Nous avons donc fait le choix d'utiliser l'eau comme unique liant pour toutes nos préparations.

2b. Support

Pour le support, il s'agit de blocs de calcaires coniaciens du Sarladais.

2c. Outils d'application

Les différents éléments ont été mélangés avec un petit bâtonnet en bois. Pour l'application, nous avons choisi trois modalités différentes. La première consiste en une application directe au doigt. La seconde méthode est d'appliquer la peinture à l'aide d'un tampon en peau. Et enfin la troisième méthode est réalisée au pinceau. Ce pinceau est fait en bois de noisetier récolté lorsque le bois était encore vert, et, après l'avoir dénudé sur une extrémité, nous l'avons mâchonné afin d'obtenir une « brosse ».

3) Protocole expérimental

Des tests préliminaires ont été réalisés afin de connaître les volumes de chaque élément nécessaires à la réalisation des pots de peinture. Tous les éléments ont été définis en termes de volume (ml) et non en poids : n'ayant pas tous la même densité, nos proportions auraient été faussées. Pour ce faire, nous avons utilisé une éprouvette graduée.

Après plusieurs essais, le mélange liant + pigment (que ce soit l'ocre ou l'os carbonisé) a une consistance permettant une application au doigt (ni trop liquide, ni trop pâteuse) lorsqu'il se compose de 17 ml d'eau + 25 ml de matière colorante.

Afin de ne faire varier qu'un paramètre à la fois, le volume d'eau a été constant pour toutes les préparations. Les proportions eau - matière colorante ont été également respectées. Ce n'est qu'au sein du volume de matière colorante que nous avons fait varier de façon proportionnelle la quantité d'un type de pigment par rapport à un autre ou d'un type de pigment par rapport à la charge.

Cinq protocoles expérimentaux ont été réalisés répondant à nos différents questionnements (Tableau 2). Pour chacune de ces modalités, nous les avons appliquées sur la roche selon trois techniques : au doigt noté A, au pinceau noté B, et au tampon noté C.

Pour les modalités associant plusieurs pigments, ou une charge et un pigment, nous avons réalisé 3 pots de peinture (Tableau 4, Figure 17; Tableau 7, Figure 20) ou 4 pots de peinture (Tableau 6, Figure 19), en faisant varier les proportions (pigment-pigment et pigment-charge) selon 3 ou 4 proportions : 25%, 50%, 75%, et 90%

	Pigment			Charge	Liant
	Os carbonisé	Charbon végétal	Ocre rouge	Argile	Eau
Modalité 1	X				X
Modalité 2	X	X			X
Modalité 3		X			X
Modalité 4	X		X		X
Modalité 5	X			X	X

Tableau 2 : Modalités d'expérimentation.

La modalité 1 (Tableau 3, Figure 16) a été réalisée afin de voir si l'os carbonisé uniquement mélangé à de l'eau peut devenir une peinture et s'il a un pouvoir colorant et permet une bonne adhésion à la roche et donc si il peut jouer à la fois le rôle de charge et de pigment.

Modalité 1	Pigment			Charge	Liant
	Os carbonisé	Charbon végétal	Ocre rouge	Argile	Eau
	25 mL (100%)	-	-	-	17 mL

Tableau 3 : Description de la modalité 1.



Figure 16 : Photo de la modalité 1 prise pendant l'expérimentation.

L'association d'os carbonisés et de charbon de bois (Tableau 4, Figure 17) dans des proportions variées permet de voir si l'os brûlé améliore ou non les propriétés du charbon de bois en termes de pouvoir colorant et de capacité adhésive.

Modalité 2	Pigment			Charge	Liant
	Os carbonisé	Charbon végétal	Ocre rouge	Argile	Eau
2.1	6,25 mL (25%)	18,75 mL (75%)	-	-	17 mL
2.2	12,5 mL (50%)	12,5 mL (50%)	-	-	17 mL
2.3	18,75 mL (75%)	6,25 mL (25%)	-	-	17 mL

Tableau 4 : Description de la modalité 2.



Figure 17 : Photo de la modalité 2 prise pendant l'expérimentation.

La troisième expérimentation (Tableau 5, Figure 18) a servi d'élément de comparaison pour les modalités 1 et 2. La couleur et le pouvoir adhérent de ces différentes modalités ont été comparés afin de voir leurs différences de teinte et pouvoir adhérent.

Modalité 3	Pigment			Charge	Liant
	Os carbonisé	Charbon végétal	Ocre rouge	Argile	Eau
	-	25 mL (100%)	-	-	17 mL

Tableau 5 : Description de la modalité 3.



Figure 18 : Photo de la modalité 3 prise pendant l'expérimentation.

La quatrième modalité associant ocre rouge et os carbonisés (Tableau 6, Figure 19) a été réalisée afin d'évaluer l'impact de l'utilisation de l'os brûlé sur la couleur rouge. Dans des peintures néolithiques du sud-est de la France, des « figures de couleur sombre, presque noires, de plusieurs abris vauclusiens ont été faites avec un mélange d'ocre rouge et d'os brûlé » (Hameau, 2005). Pour cette modalité, nous avons choisi de faire varier les volumes de pigments dans des proportions plus significatives (4.4 Tableau 6) au cours de l'expérimentation voyant que les peintures obtenues étaient encore trop claires.

Modalité 4	Pigment			Charge	Liant
	Os carbonisé	Charbon végétal	Ocre rouge	Argile	Eau
4.1	6,25 mL (25%)	-	18,75 mL (75%)	-	17 mL
4.2	12,5 mL (50%)	-	12,5 mL (50%)	-	17 mL
4.3	18,75 mL (75%)	-	6,25 mL (25%)	-	17 mL
4.4	22,5 mL (90%)	-	2,5 mL (10%)	-	17 mL

Tableau 6 : Description modalité 4.



Figure 19 : Photo de la modalité 4 prise pendant l'expérimentation.

La modalité 5 (Tableau 7, Figure 20) reproduit une recette mise en évidence au Roc-aux-Sorciers. Les analyses au MEB EDS ont révélé l'association de carbonate, d'argile et d'os pour les taches noires des échantillons 10 et 11 prélevés dans l'abri Bourdois (Touron, 2011). Les analyses physico-chimiques de nos expérimentations nous serviront de comparaison avec celles du Roc-aux-Sorciers.

Modalité 5	Pigment			Charge	Liant
	Os carbonisé	Charbon végétal	Ocre rouge	Argile	Eau
5.1	6,25 mL (25%)	-	-	18,75 mL (75%)	17 mL
5.2	12,5 mL (50%)	-	-	12,5 mL (50%)	17 mL
5.3	18,75 mL (75%)	-	-	6,25 mL (25%)	17 mL

Tableau 7 : Description modalité 5.



Figure 20 : Photo de la modalité 5 prise pendant l'expérimentation.

4) Méthodes d'analyses

Plusieurs analyses n'ont pas pu être réalisées au cours de ce travail. Il s'agit de la spectrocromimétrie et des analyses physico-chimiques. Toutefois, nous avons choisi de les présenter dans ce chapitre car ce sont des analyses que nous souhaiterions réaliser dans le futur.

4a. Comparaison avec la charte Munsell

La charte Munsell est un référentiel international de couleurs. Elle correspond à un cercle chromatique qui prend en compte différents éléments de classification : la teinte, la luminosité (valeur) et la chroma qui sont alors représentées en trois dimensions sous forme de cylindre (Figure 21).

L'axe vertical correspond à la luminosité s'échelonnant alors du noir (0) au blanc (10). Les teintes sont réparties en cercle autour de cet axe de luminosité et sont au nombre de 10 : cinq teintes de base : rouge, jaune, vert, bleu et pourpre et 5 teintes intermédiaires à celles-ci. La chroma des couleurs est déclinée en 10 nuances correspondant à l'axe horizontal du cylindre. Chaque teinte ayant sa propre valeur maximale, c'est ce qui donne au cylindre des contours irréguliers.

Toutes les couleurs sont alors numérotées ainsi : teinte luminosité/ chroma (ex : VB 10/9 correspond à un vert bleu de luminosité 10 et de chroma 9).

Ce nuancier permet également de qualifier le pouvoir colorant des pigments par critères comparatifs. En effet, deux peintures qui semblent de même couleur, n'auront pas nécessairement les mêmes valeurs de teinte, luminosité et chroma. Celle ayant les plus fortes valeurs aura alors un plus fort pouvoir colorant.

En comparant nos peintures, nous pourrions déterminer si l'os brûlé modifie la couleur d'un mélange lorsqu'il est associé à un autre pigment.

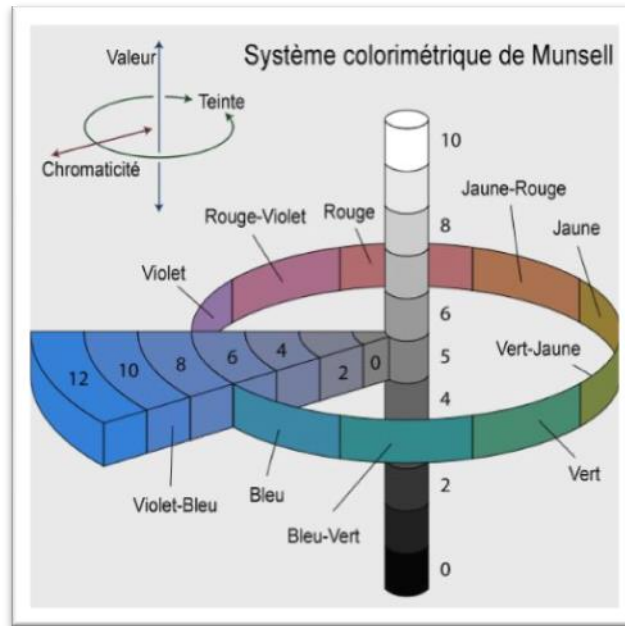


Figure 21 : représentation du système de classification des couleurs dans la Charte Munsell.

4b. Analyses colorimétriques

L'analyse colorimétrique par l'utilisation d'un spectrocolorimètre permet de mesurer la couleur et d'obtenir des spectres de réflectance pour chaque peinture analysée.

En effet, le spectrocolorimètre envoie une lumière sur un échantillon et la réflexion de cette lumière par l'échantillon est alors mesurée et est donnée par l'appareil sous forme de spectre, appelé spectre de réflexion. Chaque échantillon peut être ensuite caractérisé par ses trois coordonnées définissant un espace de couleur appelé l'espace CIEL*a*b*. L'axe L* correspond à la clarté, il est compris entre 0 (blanc) et 100 (noir). L'axe a* correspond au degré de couleur rouge-vert et l'axe b* correspond au degré de couleur jaune-bleu (Figure 22).

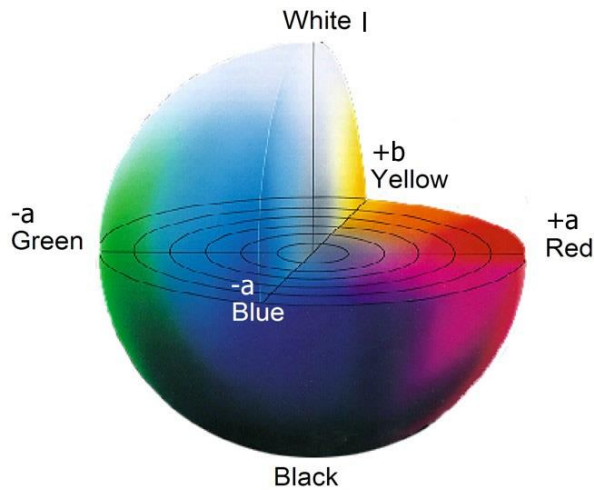


Figure 22 : Représentation de l'espace CIE L*a*b*.

Une fois les coordonnées CIE L*a*b* définies, elles permettent de quantifier le pouvoir colorant. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, le pouvoir colorant est la faculté d'un pigment à communiquer sa teinte au sein d'un mélange. Une formule mathématique utilisée lors de la thèse d'E. Chalmin (2003) permet de quantifier ce pouvoir colorant. Pour cela le pigment doit être mélangé à un autre élément dans des proportions différentes (0%, 25%, 75% et 100%). Les mesures L*a*b* doivent être réalisées sur chacun des mélanges afin de pouvoir appliquer la formule suivante :

$$C = 100 \times \left(1 - \frac{(d_{25\%} + d_{75\%}) / 2}{d_{0\%}} \right)$$

avec $dx\% = \sqrt{(L_{100\%} - L_{x\%})^2 + (a_{100\%} - a_{x\%})^2 + (b_{100\%} - b_{x\%})^2}$

Où dx% représente la distance de la couleur du mélange contenant x % de pigment à celle du pigment pur et d0% la distance de la couleur du pigment pur à celle du deuxième élément du mélange.

4c. Analyses physico-chimiques

Les analyses au Microscope Electronique à Balayage (MEB) couplé à un système d'analyse X dispersif en énergie (EDS) nécessitent le prélèvement d'un micro échantillon de peinture mais ne le détruit pas au cours de l'analyse. Une fois prélevé sur la paroi, il est placé dans une coupelle en nickel (métal dont la réponse ne perturbe pas l'analyse), puis analysé au MEB-EDS qui donne alors une analyse complémentaire des éléments constituant l'échantillon sous forme d'image à fort grossissement et de spectre.

Ce type d'analyse nous permettra de voir le signal émis par l'apatite dans les différentes proportions que nous avons testées. En effet, souvent décrit comme « un élément trace », le spectre obtenu sera comparé aux spectres de contexte archéologique, et nous permettra peut-être de nous donner une idée de la proportion que peut avoir cet élément trace au sein des peintures paléolithiques.

4d. Analyses qualitatives des expériences

- Analyse de pouvoir adhérent

Lors de son mémoire de DEA, H. Salomon (2003) a mis en place un protocole d'analyse lui permettant de comparer et de qualifier le pouvoir adhérent de ses différentes préparations. A l'aide d'un film adhésif, elle a analysé la quantité de particules arrachées, puis a référencé ses données sous forme de tableau (Tableau 8).

Le code d'appréciation de ce tableau est le suivant :

++++ : Quelques rares traces de peinture

+++ : Contour nettement délimité

++ : Particules poudreuses

+ : Toute la surface picturale se retrouve sur le film

Nous utiliserons la même méthode pour qualifier le pouvoir adhérent de nos différentes peintures. Cette analyse sera réalisée un an après nos expérimentations avec le même type de film adhésif et transparent utilisé par H.Salomon.

Charges %	Calcite	Gypse	Os	Granite	Quartz	Talc	Feldspaths K	Argile 1	Argile 2
25	+	++	++	+++	+	+	+	++++	++++
50	+++	+++	++	+++	+	+	+	++++	++++
75	+	+++	++	+	+	+	+	+++	+++

Tableau 8 : Analyse du pouvoir adhérent (repris de Salomon, 2003).

- Analyse sensorielle

Nous présenterons les sensations ressenties lors de l'expérimentation en ce qui concerne les qualités d'application suivant les trois techniques (doigt, pinceau, tampon) pour les différentes modalités. Nous verrons si les différentes modalités ont des textures différentes, si certains mélanges ont posé des difficultés d'application, et si certaines peintures sont plus propices à l'application par une des techniques utilisées.

- Analyse visuelle

En comparant les photos prises lors de l'expérimentation et celles réalisées un an plus tard, nous montrerons si des modifications en terme d'apparence (modification de la couleur et de la forme de nos peintures) sont intervenues en l'espace d'une année (sachant quelles ont été entreposées dans une pièce à température ambiante).

IV. Résultats

1) Ressentis au moment de l'application de la peinture

Pour chaque modalité, deux couches de peinture ont été appliquées successivement. Pour la modalité 1, bien que l'os ait été finement broyé, puis tamisé et que le mélange était fluide, la peinture avait une texture très granuleuse, ce qui a rendu difficile l'application au tampon. En effet, la peinture s'étalait difficilement et formait des amas granuleux (Figure 23). Ce problème n'a cependant pas été remarqué lors de l'application au pinceau et au doigt.



Figure 23 : Modalité 1 application C. Amas granuleux.

Concernant la modalité 2 -que ce soit pour les mélanges de 2.1, 2.2 et 2.3-, la peinture était moins granuleuse et plus facile à appliquer, sauf lors de l'application au tampon qui a demandé à plusieurs reprises de reprendre de la matière dans le pot de peinture.

Le mélange charbon de bois et eau (modalité 3) a permis l'obtention d'une peinture plus homogène que pour les modalités précédentes, ce qui a rendu l'application au tampon plus facile.

Pour les modalités 4.1, 4.2 ,4.3, les trois méthodes d'application n'ont posé aucun problème : les deux couches de peintures ont suffi même pour les applications au tampon. La peinture était bien homogène et souple. Cependant, la présence d'os brûlé en plus grande quantité (75% et 90%) a donné à la peinture une texture plus granuleuse et a rendu son application au tampon plus difficile (comme pour les modalités 1 et 2).

L'association d'argile à l'os brûlé (modalité 5) a permis l'obtention d'une peinture homogène et même grasse qui a facilité l'application par les trois techniques (Figure 24), même lorsque l'os représentait 75% du mélange (modalité 5.3).



Figure 24 : Application au tampon de la modalité 5.3.

2) Résultats des comparaisons avec la Charte Munsell

Toutes nos peintures ont été comparées, sous lumière blanche, aux teintes signalées dans la Charte Munsell (Tableau 9, Figure 25).

	Doigt (A)	Pinceau (B)	Tampon (C)
Modalité 1	2,5Y 2,5/1	2,5Y 2,5/1	2,5Y 2/1
Modalité 2.1	2,5 N	2,5 N	2,5N
Modalité 2.2	2,5 N	2,5 N	2,5N
Modalité 2.3	3N	3N	3N
Modalité 3	2,5N	2,5N	2,5N
Modalité 4.1	2,5YR 5/6	2,5YR 5/6	2,5YR 5/6
Modalité 4.2	2,5YR 4/6	2,5YR 4/6	2,5YR 4/6
Modalité 4.3	2,5YR 4/4	2,5YR 4/4	2,5YR 4/4
Modalité 4.4	5YR 3/2	5YR 3/2	5YR 3/2
Modalité 5.1	8N	8N	8N
Modalité 5.2	7/5PB	7/5PB	7/5PB
Modalité 5.3	5N	5N	5N

Tableau 9 : Comparaison des différentes modalités avec la Charte Munsell.

Le mode d'application n'a pas modifié la teinte des peintures quelle que soit la modalité.

La modalité 1 permet de constater que l'os brûlé uniquement mélangé à un liant permet l'obtention d'une peinture de couleur brun-noire (code Munsell : 2,5Y 2,5/1). Malgré la couleur noire obtenue lors de la création de ce pot de peinture, semblable à la couleur du pot de peinture de la modalité 3, la teinte de ces deux modalités est différente.

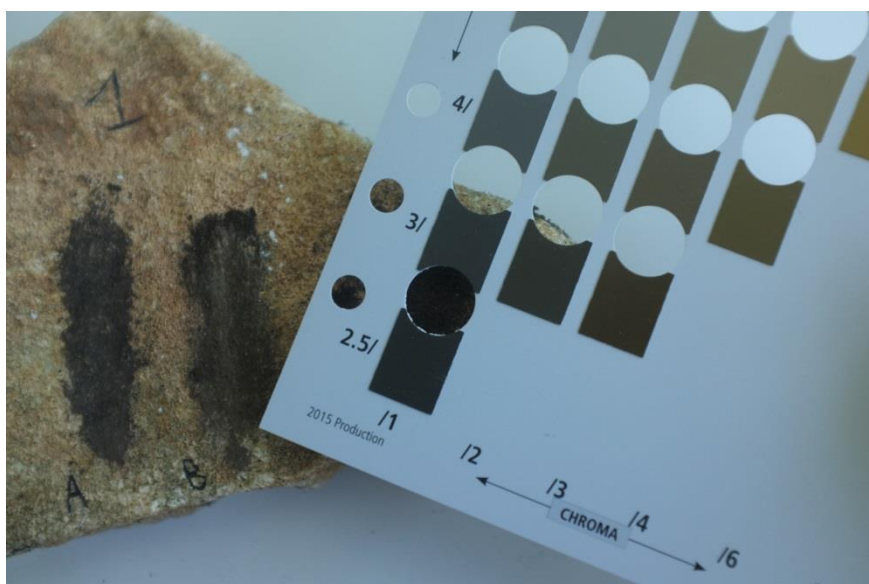


Figure 25 : Comparaison modalité 1 application C avec la Charte Munsell.

Les teintes des modalités 2.1 et 2.3 sont similaires (code Munsell : 2,5 N). Elles correspondent également à la teinte obtenue pour la modalité 3. L'ajout d'os brûlé à du charbon de bois dans des proportions de 25% et 50% ne modifie pas la teinte du mélange. Cependant, la modalité 2.3 confirme le pouvoir colorant de l'os brûlé puisque, mélangé dans une quantité importante (75%), il modifie la couleur du mélange. A l'œil nu, il n'est pas possible de voir une différence entre la modalité 2.1 et la modalité 2.2, mais une analyse spectrocolorimétrique pourrait révéler une légère modification de couleur.

L'ensemble de la modalité 4 montre également que l'ajout d'os brûlé, cette fois ci-même dans de plus petites proportions, modifie la couleur du mélange. Plus la proportion d'os brûlé est importante, plus la teinte s'assombrit. Cependant, même avec un mélange associant 90% d'os brûlé et 10% d'ocre rouge, le mélange reste de couleur marron et non noire (Figure 26) comme l'avait envisagé P. Hameau (2010).



Figure 26 : Photo modalité 4.4 prise lors de l'expérimentation.

3) Résultats de l'analyse du pouvoir adhérent

Les résultats des tests d'adhérence sont présentés dans le tableau ci-dessous (Tableau 10) et les films adhésifs présentant les particules différenciellement arrachées de nos peintures sont présentés en annexe.

	Doigt (A)	Pinceau (B)	Tampon (C)
Modalité 1	++++	++++	+++
Modalité 2.1	++	+++	++
Modalité 2.2	++	+++	++
Modalité 2.3	+++	+++	++
Modalité 3	++++	++++	++++
Modalité 4.1	+++	+++	+++
Modalité 4.2	+++	+++	++
Modalité 4.3	+++	+++	++
Modalité 4.4	++	+++	++
Modalité 5.1	++++	++++	++++
Modalité 5.2	++++	++++	++++
Modalité 5.3	++	++	++

Tableau 10 : Propriété d'adhésion des différentes modalités.

	++++	+++	++	+
Doigt	4	4	4	0
Pinceau	4	7	1	0
Tampon	3	2	7	0

Tableau 11 : Quantification du nombre de peinture suivant le mode d'application et la qualité d'adhésion.

Le nombre de peintures ayant un très bon pouvoir adhérent (++++) est de 11. Celles-ci sont partagées de façon presque égale entre les trois modes d'applications (Tableau 11). Une grande différence est remarquée en ce qui concerne les peintures ayant un bon pouvoir adhérent (+++). On en compte 13, et on remarque que plus de la moitié d'entre elles (7) sont obtenues grâce à une application au pinceau, tandis que seulement 2 ont été réalisées au tampon.

A l'inverse, 7 peintures sur 12 ayant un pouvoir adhérent moyen (++) ont été appliquées au tampon, alors qu'une seule d'entre elles fut appliquée au pinceau. Les 12 peintures appliquées directement au doigt, sont réparties proportionnellement dans les classes de pouvoir adhérent très bon, bon et moyen.

De façon générale, ce sont donc les peintures appliquée au pinceau qui permettent une meilleure adhésion à la roche, contrairement à l'application au tampon.

Le mode d'application n'est pas seul facteur ayant un rôle sur le pouvoir adhérent. On remarque que le charbon de bois mélangé à l'eau (modalité 3) a un très bon pouvoir adhérent quel que soit le type d'application utilisé. Les modalités 5.1 et 5.2 présentent le même pouvoir d'adhérence, cependant, lorsque la proportion d'os augmente, le pouvoir adhérent diminue comme le montre la modalité 5.3, ainsi que la modalité 4.4.

Contrairement à ce résultat, la modalité 2.3 appliquée au pinceau montre qu'un pourcentage plus important d'os brûlé (75%) améliore la qualité d'adhésion. Cette discordance peut être due à la roche sur laquelle ces différentes peintures furent appliquées. Les roches sur lesquelles ont été appliquées les modalités 2 et 4 ont un aspect plus lisse que les roches utilisées pour les autres modalités, ce qui a pu permettre au film adhésif de mieux s'appliquer sur la paroi et ainsi enlever plus de particules de matière colorante. De plus, la roche de la modalité 2 présente une irrégularité au niveau du tracé de la modalité 2.3, ce qui est certainement la cause de ce résultat.

Cependant, le mélange d'os brûlé et de liant (modalité 1) a un très bon pouvoir adhérent lors d'une application au doigt et au pinceau.

4) Comparaison des photos : peintures fraîches/ peintures actuelles

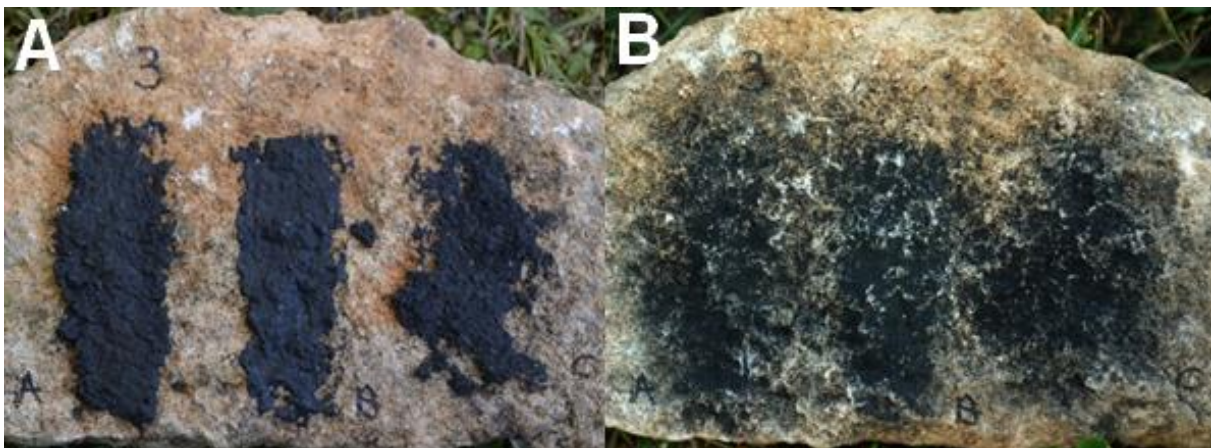


Figure 27 : Modalité 3. A : peinture fraîche; B : peinture actuelle.

La troisième modalité n'a pas subi de changement de couleur au cours de cette année, mais la peinture s'est dispersée sur la roche en périphérie du tracé initial (Figure 27).

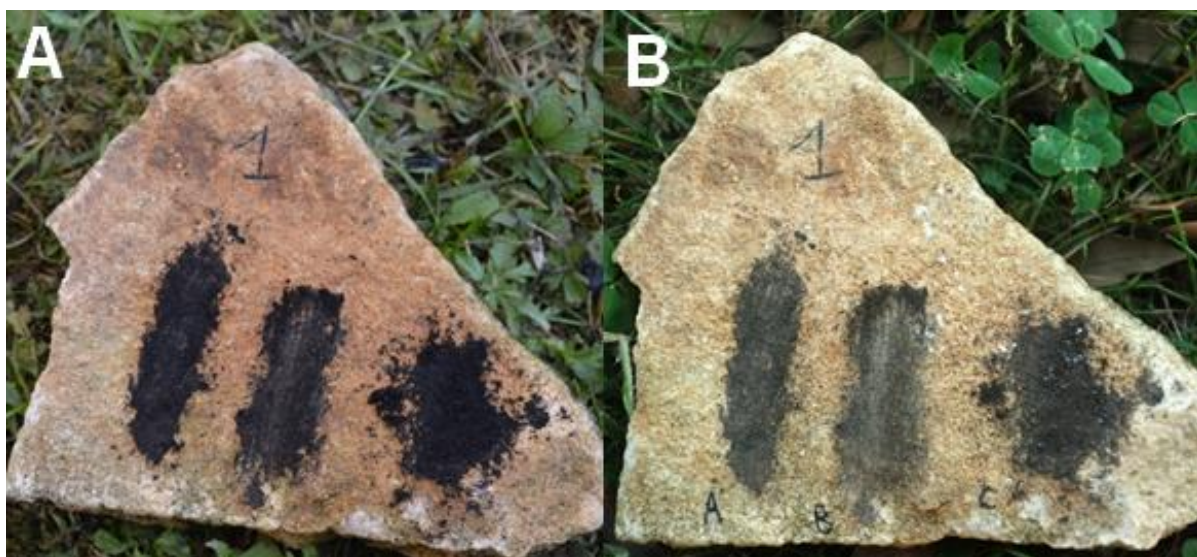


Figure 28 : Modalité 1. A : peinture fraîche; B : peinture actuelle.

Peu de temps après l'application du mélange sur la roche, la peinture avait une couleur noire foncée, mais après 1 an passé dans une pièce tempérée, la peinture s'est éclaircie et a pris une teinte brune (code Munsell : 2,5Y 2,5/1) (Figure 28).

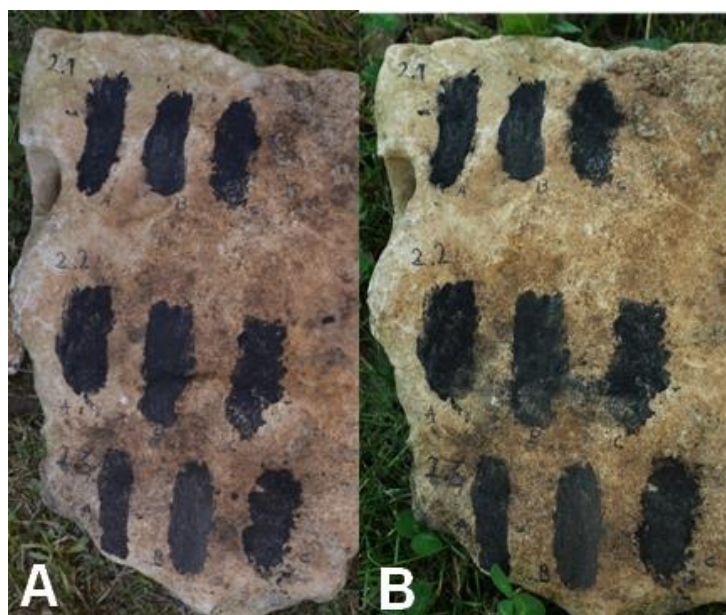


Figure 29 : Modalité 2. A : peinture fraîche; B : peinture actuelle.

Pour la modalité 2, quelle que soit les proportions de pigments (os brûlés-charbon de bois), la couleur des peintures reste inchangée entre aujourd'hui et il y a un an (Figure 29).

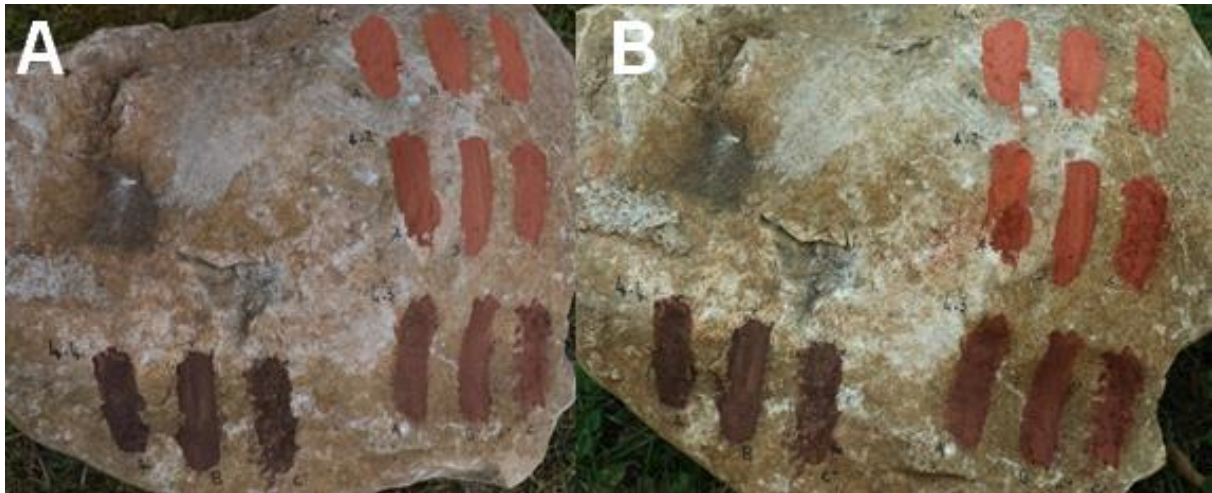


Figure 30 : Modalité 4. A : peinture fraîche; B : peinture actuelle.

Aucune modification en termes de couleur ou d'étalement de la peinture n'est perceptible pour la modalité 4 (Figure 27).

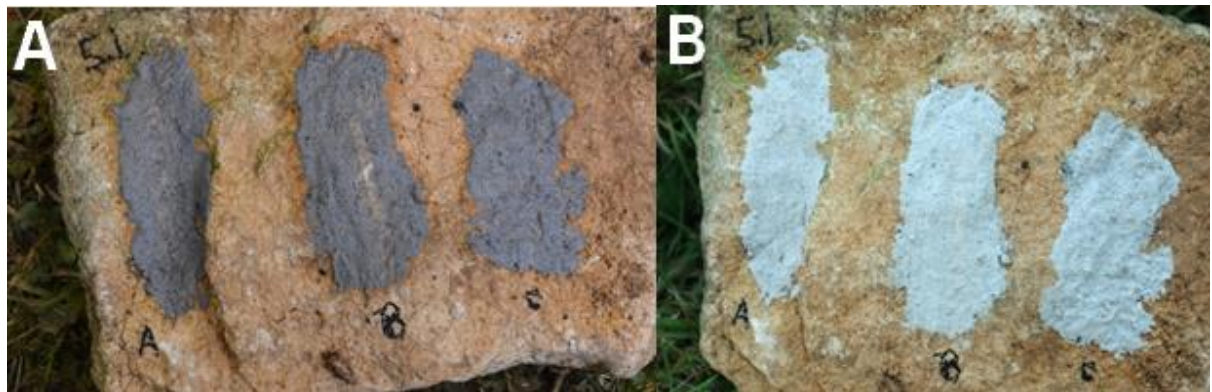


Figure 31 : Modalité 5.1. A : peinture fraîche; B : peinture actuelle.

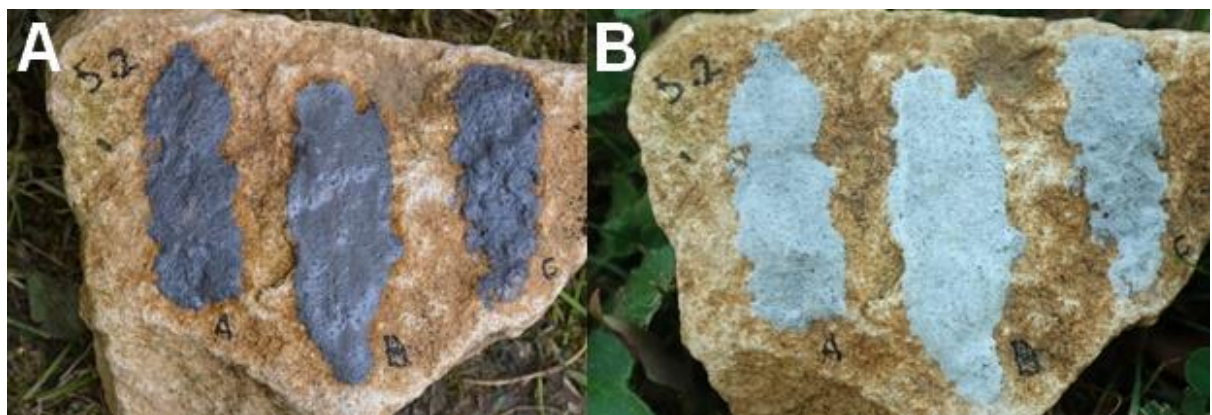


Figure 32 : Modalité 5.2. A : peinture fraîche; B : peinture actuelle.

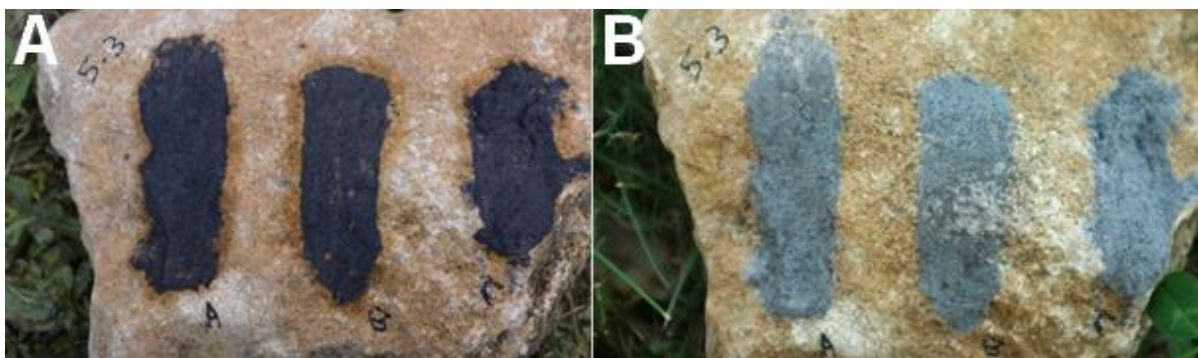


Figure 33 : Modalité 5.3. A : peinture fraîche; B : peinture actuelle.

Pour la modalité 5, quelle que soit la quantité d'os brûlé et d'argile, la peinture a tendance à prendre une teinte plus blanche lors du séchage (Figure 31, Figure 32 et Figure 33). Pour la modalité 5.3 par exemple, au moment de l'application, la peinture était grise très foncée alors qu'une fois sèche, elle a pris une teinte grise claire (code Munsell : 5N) (Figure 33).

Discussion et interprétation

Avant de faire le point sur les résultats obtenus et d'en donner des interprétations possibles, il convient toutefois de parler des limites de notre étude, ainsi que celles des analyses physicochimiques, bien qu'elles n'aient pas été réalisées dans le cadre de ce mémoire.

1) Limites de l'expérimentation

La première limite de ce travail est la restriction des modalités expérimentales. Il a fallu faire des choix lors de la réalisation du protocole afin de limiter le nombre de modalités à tester. L'utilisation d'un liant autre que l'eau de type gras, comme il a pu être mis en évidence dans l'art paléolithique (Clottes, 1994 ; Balbin *et al.*, 2009), aurait été intéressante. En effet, un liant gras aurait pu avoir une incidence sur la couleur des différents mélanges : on peut imaginer que la peinture ne sèche pas de la même façon suivant l'utilisation d'eau ou de graisse. Il est possible, par exemple pour la modalité 1 (associant uniquement de l'os brûlé et

de l'eau), que le mélange ait gardé sa couleur noire même après séchage si le liant avait été de la graisse.

Des différences auraient également pu être observées au niveau de la qualité d'application des peintures suivant les trois modes, ainsi que sur leurs propriétés adhésives.

Nous avons fait le choix d'utiliser uniquement des os que nous avons fait brûler dans un four à moufle, suivant une température et une durée contrôlées afin de ne faire varier qu'un seul paramètre à la fois. Il serait intéressant de réaliser de nouvelles expérimentations en utilisant des os brûlés dans un feu naturel et de couleur noire à blanche, afin d'évaluer l'incidence sur la couleur des mélanges.

Une modalité n'utilisant pas de matière osseuse au sein de sa composition mais préparée et/ou appliquée par un objet en os, puis analysée au MEB EDS, aurait permis de vérifier l'hypothèse de I. Auzanne selon laquelle la présence d'os résulterait d'une pollution due à l'utilisation d'un outil en os (Auzanne, 2001).

La seconde limite est le lieu de conservation de nos peintures expérimentales. Nous les avons entreposées dans une pièce à température ambiante qui est donc un environnement bien différent de celui du Roc-aux-Sorciers. Face aux variations de température et d'humidité présentes dans cet abri sous roche, il est probable que nos peintures ne se soient pas conservées de la même façon. Si des dégradations avaient été observées après seulement un an, dans un environnement similaire à celui du Roc-aux-Sorciers, cela nous aurait permis d'appréhender la vitesse à laquelle ont pu se dégrader les peintures magdaléniennes sur ce site.

2) Limites analytiques

Des analyses spectrophotométriques et physicochimiques nous auraient permis de compléter nos résultats et interprétations en ce qui concerne, par exemple, la qualification du pouvoir colorant de nos peintures, ainsi que la quantité d'os brûlés présents dans certains échantillons du Roc-aux-Sorciers à l'état de trace. Toutefois ces analyses ont certaines limites pour notre étude et notamment en ce qui concerne la détermination d'une présence d'os brûlés au sein de matière picturale.

Lors d'une analyse au spectrophotomètre, la couleur noire a l'inconvénient d'absorber une grande partie de la lumière ce qui réduit considérablement la réponse au niveau du spectre, et donc, la précision (Salomon, 2003). Pour nos modalités de couleur noire, c'est donc la

différence de clarté (dont la valeur est donnée par l'axe L* de l'espace CIEL*a*b*) qui aurait été comparée plutôt que la différence de teinte.

L'analyse d'échantillons de matière picturale par microanalyse par rayonnement X associée au microscope électronique à balayage pose parfois certains problèmes pour la caractérisation des pigments. Prenons l'exemple de l'échantillon noir du mégacéros mâle de Cougnac (Lorblanchet, 2010) : en 1988 le spectre obtenu par microanalyse X montre la présence de calcium et de phosphore. Le calcium et le phosphore étant contenus dans les cendres de charbon de bois (Adene, 2005) et dans le charbon d'os, les résultats obtenus n'ont pas permis de déterminer si cet échantillon avait été réalisé avec du charbon végétal ou animal (Lorblanchet, 2010).

La présence d'apatite, phosphate de calcium hydraté, révélée par une analyse au MEB EDS pose également des questionnements quant à son origine puisque c'est un « minéral qui se rencontre naturellement dans les sédiments mais qui peut être aussi imputable à la présence d'os » (Garate *et al.*, 2004). Cependant, les analyses de photos émises par le MEB sont parfois en mesure de déterminer l'origine de cette apatite, en fonction de la morphologie de l'élément observé, comme c'est le cas pour la grotte d'Arenaza, où le minéral détecté s'est avéré être d'origine animale (Garate *et al.*, 2004).

Les analyses physico-chimiques faites au Roc-aux-Sorciers en 2001 (Auzanne, 2001), ainsi que les plus récentes de 2010 et 2011 (Touron *et al.*, 2011), ont toutes été réalisées au MEB-EDS. Ce type d'analyse n'étant pas toujours adapté pour mettre en évidence la présence d'os brûlé et nécessitant le prélèvement de microéchantillons, il serait intéressant de réaliser de nouvelles analyses non destructives (permettant ainsi d'analyser plus de peintures). Notamment la micro-spectrométrie Raman qui serait la plus adaptée à nos problématiques puisqu'elle permet l'identification d'os brûlé signalé alors par les pics spécifiques aux groupements (PO₄) (~961, 1046, 1071 cm⁻¹) (Bouchard, 2001).

L'analyse d'autres peintures du Roc-aux-Sorciers pourrait révéler pour plusieurs échantillons une utilisation d'os brûlés au sein de la matière picturale. Si cet os brûlé est présent en assez grande quantité, il pourrait alors permettre la réalisation de datations radiocarbone et ainsi fournir une datation absolue des peintures de la frise monumentale du Roc-aux-Sorciers.

3) Interprétation

Suite aux résultats obtenus par nos expérimentations, il est possible de proposer certaines hypothèses quant à la présence d'os brûlés au sein de certains pots de peinture.

Tout d'abord l'os brûlé a un pouvoir colorant. Seul, mélangé à une charge ou à un autre pigment, il communique au mélange sa couleur. En effet, dans certaines proportions (par exemple 50% pour un mélange os brûlés – ocre rouge), il modifie la couleur du mélange.

Souvent défini comme une charge lorsque sa présence est détectée au sein de peintures préhistoriques pour ses qualités adhésives (Salomon, 2003), l'os brûlé peut également être envisagé comme un pigment, choisi alors pour son pouvoir colorant.

En effet, nos expérimentation ont montré que des os chauffés à 400°, réduits en fine poudre puis mélangés à de l'eau permettent l'obtention d'une peinture de couleur brune-noire (code Munsell : 2,5Y 2,5/1). Même si lors de l'application les peintures, associant os brûlé et eau et celles associant charbon de bois et eau, semblaient avoir la même couleur, après séchage, elles prennent une teinte légèrement différente. Cette différence a pu être, entre autres, à l'origine du choix de l'utilisation de l'un ou l'autre pigment par les artistes préhistoriques. Les bonnes qualités adhésives mises en évidence par nos expérimentations peuvent également avoir motivé leurs choix.

L'utilisation intentionnelle d'os brûlés au sein d'un mélange pictural soulève des questions en termes d'acquisition des matières (en vue de la préparation de matière picturale), mais également en ce qui concerne la relation homme/animal.

La grande quantité d'esquilles d'os brûlés présente dans les couches d'occupations magdaléniennes du Roc-aux-Sorciers, témoigne à la fois de restes de chasse et d'utilisation de cette matière comme combustible. Son utilisation en tant que pigment demande donc peu d'investissement en termes d'acquisition puisqu'il est déjà présent sur le site d'habitat.

L'oxyde de manganèse largement utilisé pour la réalisation des peintures de couleur noire au Roc-aux-Sorciers est de nature diversifié et d'origine différente (Auzanne 2001). Il est donc difficile de connaître l'investissement fourni par les hommes préhistoriques pour l'approvisionnement en cette matière.

Le choix dans l'utilisation d'oxyde de manganèse ou d'os brûlés pour obtenir des peintures de couleurs noires -en plus d'être motivé par leurs propriétés colorantes, couvrantes et adhérentes- peut révéler une succession de plusieurs phases de réalisations ou encore des traditions culturelles liées à un ou plusieurs groupes.

L'utilisation intentionnelle d'os brûlé comme charge ou comme pigment peut également être interprétée comme une volonté d'ordre symbolique. La réalisation de peintures composées de matière animale pour la représentation de figures animales peut, en effet, dénoter une volonté particulière. Au Roc-aux-Sorciers, sur les trois échantillons analysés en 2010 et 2011

contenant de l'os, seul l'échantillon 11 de couleur noire a été prélevé sur une figuration animale : « le bison en boule » (François, 2010).

Pour d'autres sites Paléolithiques, la correspondance entre figuration animale et os brûlé dans la matière picturale est également à noter. Notamment à Ekain (Chalmin, 2002) où de l'apatite a été détectée dans deux échantillons prélevés sur un cheval et sur un bison, à Cougnac (Lorblanchet, 2010) l'échantillon potentiellement composé d'os brûlé a été prélevé sur un mégacéros, ou encore à Arenaza (Garate, 2004) où deux échantillons composés d'apatite ont été prélevés sur l'échine de biches.

Conclusion

Notre étude avait pour objectif principal de tester les qualités de l'os brûlé au sein d'un mélange pictural, en termes de coloration, de couvrance, d'adhérence, interrogeant ainsi les raisons de sa présence attestée au sein de certaines recettes de peinture paléolithique, en particulier au Roc-aux-Sorciers. Si cette présence devait être intentionnelle, quel serait le rôle joué par l'os brûlé ? Au-delà, quelle aurait donc pu être l'intentionnalité des peintres dans la sélection et l'utilisation de ce matériau ? Même si les analyses physico-chimiques et colorimétriques complémentaires à notre expérimentation n'ont pas pu être réalisées, et que nos expérimentations ne nous permettent pas de conclure sur le rôle que devait jouer l'os brûlé au sein de la matière picturale, cette étude permet toutefois de tirer quelques conclusions intéressantes.

L'os brûlé transmet à un mélange sa propre couleur et entre donc dans la catégorie des pigments. Toutefois, mélangé à un pigment d'une autre teinte, il doit être présent dans la préparation à hauteur de 50% minimum pour que son pouvoir colorant change la couleur du mélange. Il possède également de bonnes qualités adhésives mais son application au tampon n'est pas adaptée en raison de sa texture granuleuse.

L'utilisation intentionnelle ou accidentelle d'os brûlé dans la matière picturale est difficile à mettre en évidence. Cependant, si des analyses physico-chimiques (telles que nous l'avons proposé précédemment) nous permettent de connaître la proportion d'os brûlé au sein d'échantillons de peintures, il serait alors envisageable de définir cette présence comme un ajout intentionnel ou accidentel.

Les résultats que nous avons obtenus seront à approfondir avec l'élaboration de nouvelles expérimentations, ainsi que la réalisation d'analyses physico-chimiques comme nous l'avons présenté dans la partie discutant des limites de notre étude. Ce mémoire pourra également être complété par une synthèse bibliographique d'études ethnographiques en lien avec notre sujet.

Bibliographie

ABGRALL A. (2009) – Les matières colorantes. *In* : G. PINÇON (dir.), *Le Roc-aux-Sorciers : art et parure du Magdalénien*, Paris, Réunion des musées nationaux (Catalogues des collections). En ligne : <http://www.catalogue-roc-aux-sorciers.fr>.

ABGRALL A. (2010) – L'utilisation de la couleur dans l'art pariétal du Roc-aux-Sorciers (Angles-sur-l'Anglin, Vienne), *In* : BUISSON-CATIL J. et PRIMAULT J. (dir.), *Préhistoire entre Vienne et Charente : hommes et sociétés du Paléolithique*, Chauvigny, Association des publications chauvinoises (Mémoire 38), p. 441-452.

ABGRALL A., (2017) – La couleur dans l'art pariétal magdalénien du Roc-aux-Sorciers (Angles-sur-l'Anglin, Vienne) et de la grotte Blanchard (Saint-Marcel, Indre). Actes de la séance de la Société Préhistorique Française de Besançon, 17-19 octobre 2013.

ANDRIEUX C. (1963) – Climatologie souterraine de la grotte de Lascaux. Expériences réalisées sur les colorants minéraux avec des liants organiques et aqueux. Etude sommaire des parois des voûtes et du sol de Lascaux. Etude pétrographique sommaire de la roche et de la grotte de Lascaux. Rapport de la commission d'étude scientifique pour la sauvegarde de la grotte de Lascaux, Les Eyzies.

AUZANNE I. (2001) – La couleur sur le site du Roc-aux-Sorciers (Angles-sur-l'Anglin, Vienne) : caractérisation des matières picturales utilisées par les artistes magdaléniens dans la cave Taillebourg. Mémoire de DEA, spécialité Préhistoire, Université Paris I Panthéon-Sorbonne.

BAFFIER D., GIRARD M. (1995) – La Grande Grotte d'Arcy-sur-Cure (Yonne). Second sanctuaire paléolithique bourguignon. *In* : *l'Anthropologie* tome 99, n° 2-3. p. 212-220.

BAFFIER D., GIRARD M., MENU M., VIGNAUD C. (1999) – La couleur à la grande grotte d'Arcy-sur-Cure (Yonne). *In* : *l'Anthropologie*, tome 103, n°1, p. 1-21.

BALBIN BEHRMANN R., ALCOLEA GONZALEZ J.-J. (2009) – Les colorants de l'art paléolithique dans les grottes et en plein air, *In* : ScienceDirect, *L'anthropologie* tome 113, p. 559–601.

BALLET O., BOCQUET A., BOUCHEZ R., COEY J. M. D., CORNU, A. (1979) – Étude technique des poudres colorées de Lascaux. *In* : LEROI-GOURHAN AR., & ALLAIN J. (dir.), *Lascaux Inconnu*, XIIème Supplément à Gallia Préhistoire. Paris : Éditions du CNRS.

BECK L., LEBON M, LAHLIL S., GRÉGOIRE S., ODIN G., ROUSSELIÈRE H., CASTAING J., DURAN A., VIGNAUD C., REICHE I., LAMBERT E., SALOMON H., GENTY D., CHIOTTI L., NESPOULET R., PLASSARD F., MENU M. (2014) – Analyse non destructive des pigments préhistoriques : de la grotte au laboratoire. *In* : PALEO, numéro spécial, p. 63 – 74.

BOURDIER C. (2010) – Paléogéographie symbolique au Magdalénien moyen. Apport de l'étude des productions graphiques pariétales des abris-sous-roche occupés et sculptés de l'Ouest français (Roc-aux-Sorciers, Chaire-à-Calvin, Reverdit, Cap-Blanc). Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1.

- BUISSON D., MENU M., PINÇON G., Walter P. (1989) – Les objets colorés du Paléolithique supérieur : cas de la grotte de La Vache (Ariège). *In*: Bulletin de la Société Préhistorique Française, tome 86, n°6.
- CABRERA-GARRIDO, J. M. (1978) – Les matériaux des peintures de la grotte d'Altamira. *In*: Actes de la 5^{ème} réunion internationale de l'ICOM. p. 1-9.
- CHADEFAUX C., VIGNAUD C., MENU M., REICHE I. (2008) – Multianalytical study of Paleolithic reindeer antler discovery of antler traces in Lascaux pigments by tem. *In*: Archaeometry, vol.50 (3) p. 516 - 534.
- CLOTTE J., MENU M., WALTER P. (1990) – La préparation des peintures magdaléniennes des cavernes ariégeoises. *In*: Bulletin de la Société Préhistorique Française, tome 87, n°6.
- CLOTTE J. (1994) – L'Art pariétal en France : dernières découvertes. *In* : Complutum 5, p.221–234.
- CLOTTE J., LEWIS WILLIAMS D. (2001) – Les Chamanes de la Préhistoire, éditions du Seuil, Paris.
- CHALMIN E. (2003) – Caractérisation des oxydes de manganèse et usage des pigments noirs au Paléolithique supérieur. Thèse de doctorat, Université de Marne la Vallée.
- COSTAMAGNO S., GRIGGO C., MOURRE V. (1999) – Approche expérimentale d'un problème taphonomique : utilisation de combustible osseux au Paléolithique. *In* : Préhistoire Européenne, volume 13, p. 167-194.
- COSTAMAGNO S. (1999) – Stratégies de chasse et fonction des sites au Magdalénien dans le sud de la France, Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux I.
- COSTAMAGNO S., THÉRY-PARISOT I., BRUGAL JP., GUIBERT R. (2002) – Taphonomic consequences of the use of bones as fuel. Experimental data and archaeological applications. *In*: Biosphère to Lithosphère, p. 51-62.. Ed: Terry O'Connor.
- COLES J. (1979) – Experimental Archaeology. London: Academic Press.
- COURAUD C. (1983) – Pour une étude méthodologique des colorants préhistoriques. *In* : Bulletin de la Société Préhistorique Française, tome 80 n°4, p.104-109.
- COURAUD C. (1988) – Pigments utilisés en Préhistoire, provenance, préparation, mode d'utilisation. *In* : L'Anthropologie, tome 92, n°1, p. 17-28.
- COURAUD C. (1976) – Etude des techniques de peintures et gravures préhistoriques. Mémoire de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris.
- COURAUD C., LAMING-EMPAIRE A. (1979) – Les colorants. *In* : LEROI-GOURHAN A., ALLAIN J. (dir.), Lascaux inconnu. Edition CNRS, Paris.
- COURTY G. (1902) – Examen chimique de deux matières colorantes trouvées dans les stations préhistoriques du Périgord. *In* : Bulletin de la Société Préhistorique Française, vol.3, p.840.
- COUTURIER C. et BRASSET T. (2005) – Gestion et valorisation des cendres de chaufferies bois – réglementation.
- CRESSWELL, R. (1983) – Transferts de techniques et chaînes opératoires. *In* : Techniques et culture, vol 2, p. 143–163.

DAYET L. (2012) – Matériaux, transformations et fonctions de l'ocre au Middle Stone Age. Thèse de doctorat, Université Michel de Montaigne Bordeaux 3.

DUJARDIN V. et PINÇON G. (2000) – Le Magdalénien dans la Vienne et la Charente. In PION G. (dir.), Le Paléolithique supérieur récent : nouvelles données sur le peuplement et l'environnement, actes de la Table Ronde de Chambéry, 12-13 mars 1999. Paris : Mémoire de la Société Préhistorique Française, p. 213-222.

FUENTES O., LENOIR M., MARTINEZ M., WELTE A.C. (2017) – Les représentations humaines et leurs enjeux, regards croisés entre le Roc-aux-Sorciers (Angles-sur-l'Anglin, Vienne) et le Roc-de-Marcamps (Prignac-de-Marcamps, Gironde). Actes de la séance de la Société Préhistorique Française de Besançon, 17-19 octobre 2013.

FRANCOIS A., TOURON S. (2010) – Angles-sur-l'Anglin – 86, Vienne (Poitou-Charentes). Le Roc-aux-Sorciers : abri Bourdois et cave Taillebourg : bilan sanitaire et analyses de pigments. Rapport n° 995B.

GARATE D., LAVAL E., MENU M. (2004) – Étude de la matière colorante de la grotte d'Arenaza (Galdames, Pays Basque, Espagne) In : l'Anthropologie, tome 108 p.251-289.

GERBE M. (2010) – Os brûlés, météorisation et expérimentation: quels résultats? In : Taphonomie des résidus organiques brûlés et des structures de combustion en milieu archéologique, THERY-PARISOT I., CHABAL L., COSTAMAGNO S., Actes de la table ronde, p. 189-201. Valbonne, 27-29 mai 2008.

GIFFORD D. (1981) – Taphonomy and paleoecology : a critical review of archaeology's sister disciplines. US : Advances in Archaeological Method and Theory, 4. New York, p. 365-438.

GIFFORD-GONZALEZ D. (1989) – Ethnographic analogues for interpreting modified bones: some cases from East Africa. In: BONNICHSEN R. et SORG M., Bone modification, p.179-246.

HAMEAU P. (2005) – Des goûts et des couleurs. Chronologie relative et identité culturelle à travers l'analyse des peintures schématiques du Néolithique dans le sud de la France. In: Zephyrus 58, p. 195-211.

HAMEAU P. (2010) – Les Peintures du Néolithique dans le Var. In : Bulletin de l'Académie du Var, nouvelle série, tome XI, p.64-76.

HERBERTZ K. (1961) – Les instruments de la création (outils et techniques des maîtres). Edition Hachette, Paris.

HERNANZ A., GAVIRA-VALLEJO J.M., RUIZ-LOPEZ J.F., EDWARDS H. (2008) – A comprehensive micro-Raman spectroscopic study of prehistoric rock paintings from the Sierra de las Cuerdas, Cuenca, Spain. In: Journal of Raman Spectroscopy, vol 39, p. 972-984.

HOURS M. (1966) – Compte rendu sommaire des travaux des travaux et observations du sous-groupe des peintres. Rapport de la commission d'études scientifiques pour la sauvegarde de la grotte préhistorique de Lascaux.

IAKOVLEVA L., PINÇON G. (1997) – Angles-sur-l'Anglin (Vienne). La Frise sculptée du Roc-aux-Sorciers. Paris, Comité des travaux historiques et scientifiques, Réunion des musées nationaux.

- LAROULANDIE V. (2000) – Taphonomie et Archéozoologie des Oiseaux en Grotte : applications aux sites paléolithiques du Bois-Ragot (Vienne), de Combe Saunière (Dordogne) et de La Vache (Ariège). Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1.
- LEBON M. (2010) – Caractérisation des ossements chauffés en contexte archéologique – Etude comparative de matériel moderne et fossile par spectroscopie infrarouge. *In* : Taphonomie des résidus organiques brûlés et des structures de combustion en milieu archéologique, THERY-PARISOT I., CHABAL L., COSTAMAGNO S. (eds.) Actes de la table ronde, p. 149-162. Valbonne, 27-29 mai 2008.
- LEE LYMAN R. (1994) – Vertebrate Taphonomy, Cambridge University Press.
- LEROI-GOURHAN A. (1984) – Atlas des grottes ornées.
- LORBLANCHET M., LABEAU M., VERNET J.L. (1988) – Première étude des pigments des grottes ornées quercinoises. *In* : Préhistoire quercinoise, vol 3, p. 79-94.
- LORBLANCHET M. (2010) – L'art pariétal : grottes ornées du Quercy. Edition du Rouergue.
- MATHIEU J. R. (2002) – Experimental Archaeology: Replicating past objects, behaviors, and processes. BAR International Series 1035.
- MENU M. (2009) – L'analyse de l'art préhistorique. *In* : ScienceDirect, l'Anthropologie 113, p 547-558.
- MENU M., WALTER P. (1996) – Matières picturales et techniques de peinture. *In* : BRUNET J. et VOUBE J. (dir.), La conservation des grottes ornées, Paris, CNRS.
- MOISSAN H. (1902) – Chimie analytique - Sur les matières colorantes des figures de la grotte de Font-de-Gaume. Compte-rendu de l'Académie des Sciences, vol.134, p.1536.
- MONCEL M.H., CHIOTTI L., GAILLARD C., ONORATINI, G., PLEURDEAU, D. (2009) – Émergence de la notion de précieux : objets insolites et extraordinaires au Paléolithique, *In* : MONCEL M.H., FRÖHLICH F. (Eds.), L'Homme et le précieux, matières minérales précieuses, British Archaeological Reports, Oxford.
- MORIN E. (2010) – Structures de combustion, os brûlés et profils squelettiques au cours de la transition Paléolithique moyen/supérieur. *In* : Taphonomie des résidus organiques brûlés et des structures de combustion en milieu archéologique, THERY-PARISOT I., CHABAL L., COSTAMAGNO S. (eds.), Actes de la table ronde, p. 215-223. Valbonne, 27-29 mai 2008.
- NICHOLSON R. A. (1993) – A morphological investigation of burnt animal bone and an evaluation of its utility in archaeology. *In*: Journal of Archaeological Science 20, page 411-428.
- OUTRAM A. K. (2008) – Introduction to experimental archaeology. *In*: World Archaeology, vol. 40.
- PINÇON G. (2009) – Le contexte archéologique des œuvres. *In* : PINÇON G. (dir.) – Angles-sur-l'Anglin, le Roc-aux-Sorciers: art et parure du Magdalénien, Catalogue numérique des collections. En ligne : http://www.catalogue-roc-aux-sorciers.fr/html/12/collection/2_2.html.
- PINCON G., FUENTES O., ABGRALL A., BOURDIER C. (2013) – Expressions esthétiques et comportements techniques au Paléolithique. BAR International Series 2496.
- REINACH S. (1903) – L'art et la magie à propos des peintures et des gravures de l'âge du renne, *In* : L'Anthropologie, vol 14, p. 257-266.

- ROUSSEAU L. (1933) – Le Magdalénien dans la Vienne. Découverte et fouille d'un gisement du Magdalénien à Angles-sur l'Anglin (Vienne). *In* : Bulletin de la Société Préhistorique Française, 30, p. 239-256.
- RUSS J., HYMAN M., SHAFER H.J., ROWE M. (1990) – Radiocarbon dating of prehistoric rock painting by selective oxidation of organic carbon. *In*: Nature, Vol.348, p.710-711.
- SAINT-MATHURIN S. de (1984) – L'abri du Roc-aux-Sorciers. *In* : L'art des cavernes. Atlas des grottes ornées paléolithiques françaises. Paris, Imprimerie nationale (Atlas archéologiques de la France), p. 583-587.
- SALOMON H. (2003) – Gestion des matières colorantes durant le Paléolithiques : expérimentation et étude des oxydes de manganèse de Combe Saunière (Dordogne). Mémoire de maîtrise, Université Paris I.
- SALOMON H. (2009) – Les matières colorantes au début du Paléolithique supérieur sources : transformations et fonctions. Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1.
- SHIPMAN P., FOSTER G., SCHOENINGER M. (1984) – Burnt bones and teeth: an experimental study of color, morphology, crystal structure and shrinkage. *In*: Journal of Archaeological Science, vol. 11, p. 307-325.
- STINER M., KUHN S., WEINER S., BAR-YOSEF O. (1995) – Differential burning recrystallization and fragmentation of archaeological bone. *In*: Journal of Archaeological Science, vol.22, p. 223-237.
- THERY-PARISOT I., COSTAMAGNO S. (2005) – Propriétés combustibles des ossements : données expérimentales et réflexions archéologiques sur leur emploi dans les sites paléolithiques *In* : Gallia préhistoire, tome 47, p. 235-254.
- TOURON S. (2011) – Angles-sur-l'Anglin – 86, Vienne (Poitou-Charentes). Le Roc-aux-Sorciers : abri Bourdois et cave Taillebourg : bilan sanitaire et analyses de pigments. Rapport n° 995C.
- VALENSI P. (2009) – La faune à travers la collection Saint-Mathurin, Le Roc-aux-Sorciers : art et parure du Magdalénien, Paris, RMN. En ligne : http://www.catalogue-roc-auxsorciers.fr/html/12/collection/add_7.html.
- Zazzo A. (2010) – Intérêt des os brûlés pour les datations 14C. *In* : Taphonomie des résidus organiques brûlés et des structures de combustion en milieu archéologique, THERY-PARISOT I., CHABAL L., COSTAMAGNO S. (eds.) Actes de la table ronde, p. 163-172. Valbonne, 27-29 mai 2008.

Table des figures

Figure 1 : Chaîne opératoire de la matière colorante.....	9
Figure 2 : Pinceau en bois de bouleau, dont l'extrémité noire a servi	23
Figure 3 : Référentiel d'ossements modernes chauffés entre 120 et 900°C pendant 15, 30, 45, 60, 90 ou 120 minutes (repris de Lebon, 2010).....	27
Figure 4 : Plan de l'abri du Roc-aux-Sorciers (repris de Pinçon, 2009).	30
Figure 5 : Coupe frontale de l'abri Bourdois, Roc-aux-Sorciers (repris de Pinçon, 2009).....	32
Figure 6 : Quantification de la faune du Roc-aux-Sorciers (repris de Valensi, 2009).	33
Figure 7 : Exemple de traitement colorimétrique d'un vestige de peinture rouge	35
Figure 8 : Le rôle de la couleur associée à la sculpture pariétale animalière (repris de Abgrall, 2017).36	
Figure 9 : Le rôle de la couleur associée à la gravure fine animalière (repris de Abgrall, 2017).....	36
Figure 10 : Echantillon 11 : tache noire sur le mur, bison en boule.....	38
Figure 11 : Analyse échantillon 11. A : photo à la loupe binoculaire; B : image MEB	39
Figure 12 : Analyse spectrale de l'échantillon 11	39
Figure 13 : Prélèvement échantillon 23 (bloc R6).....	40
Figure 14 : Analyse échantillon 23. A : observation à la loupe binoculaire; B : Observation au MEB	40
Figure 15 : Spectre EDS des ponctuations noires de l'échantillon 23	40
Figure 16 : Photo de la modalité 1 prise pendant l'expérimentation.	44
Figure 17 : Photo de la modalité 2 prise pendant l'expérimentation.	45
Figure 18 : Photo de la modalité 3 prise pendant l'expérimentation.	46
Figure 19 : Photo de la modalité 4 prise pendant l'expérimentation.	47
Figure 20 : Photo de la modalité 5 prise pendant l'expérimentation.	48
Figure 21 : représentation du système de classification	49
Figure 22 : Représentation de l'espace CIEL*a*b*.....	50
Figure 23 : Modalité 1 application C. Amas granuleux.	52
Figure 24 : Application au tampon de la modalité 5.3.	53
Figure 25 : Comparaison modalité 1 application C avec la Charte Munsell.	54
Figure 26 : Photo modalité 4.4 prise lors de l'expérimentation.	55
Figure 27 : Modalité 3. A : peinture fraîche; B : peinture actuelle.....	57
Figure 28 : Modalité 1. A : peinture fraîche; B : peinture actuelle.....	58
Figure 29 : Modalité 2. A : peinture fraîche; B : peinture actuelle.....	58
Figure 30 : Modalité 4. A : peinture fraîche; B : peinture actuelle.....	59
Figure 31 : Modalité 5.1. A : peinture fraîche; B : peinture actuelle.....	59
Figure 32 : Modalité 5.2. A : peinture fraîche; B : peinture actuelle.....	59
Figure 33 : Modalité 5.3. A : peinture fraîche; B : peinture actuelle.....	60

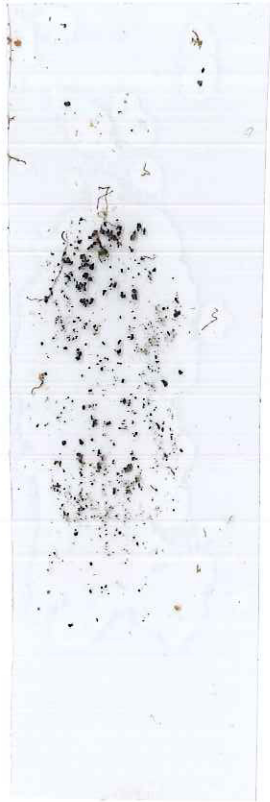
Table des tableaux

Tableau 1: récapitulatif des analyses physico-chimiques utilisées en art pariétal	12
Tableau 2 : Modalités d'expérimentation.	43
Tableau 3 : Description de la modalité 1.....	44
Tableau 4 : Description de la modalité 2.....	44
Tableau 5 : Description de la modalité 3.....	45
Tableau 6 : Description modalité 4.	46
Tableau 7 : Description modalité 5.	47
Tableau 8 : Analyse du pouvoir adhérent (repris de Salomon, 2003).....	51
Tableau 9 : Comparaison des différentes modalités avec la Charte Munsell.....	54
Tableau 10 : Propriété d'adhésion des différentes modalités.	56
Tableau 11 : Quantification du nombre de peinture.....	56

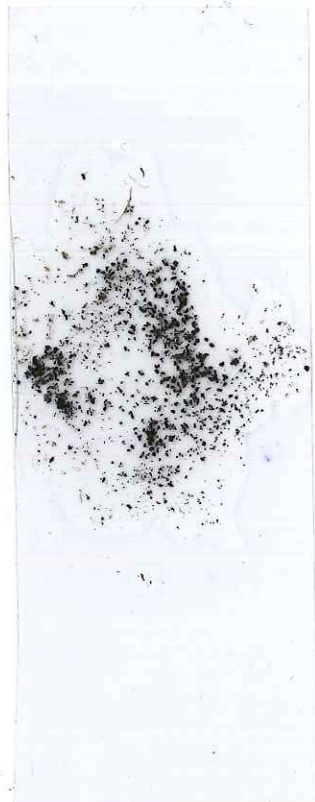
1.



A

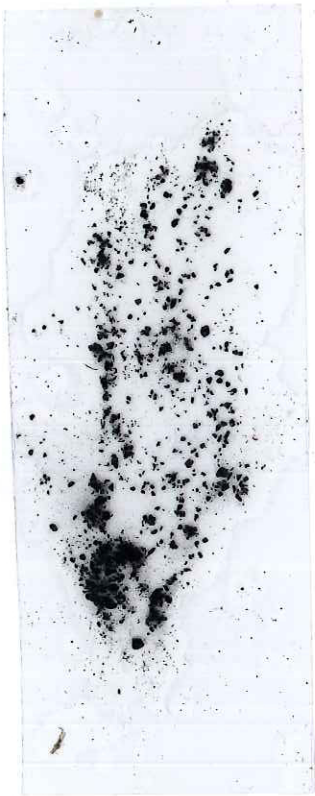


B

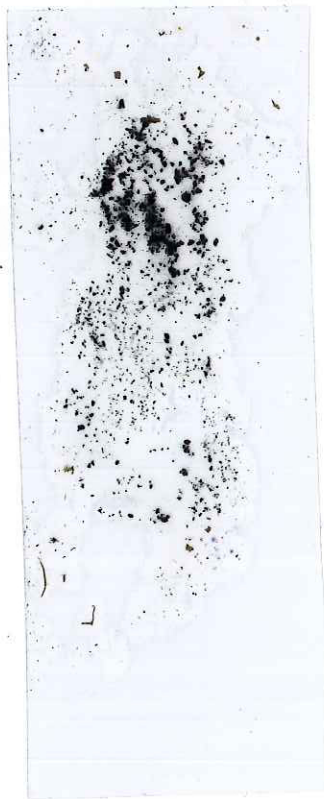


C

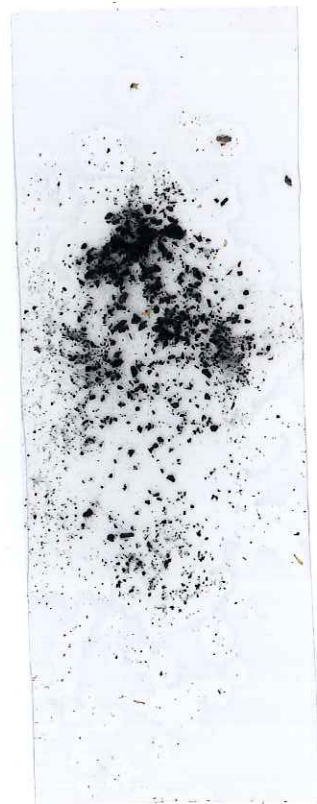
2.1



A

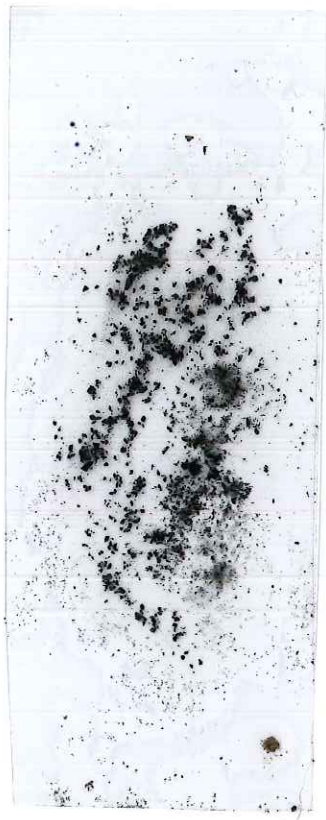


B



C

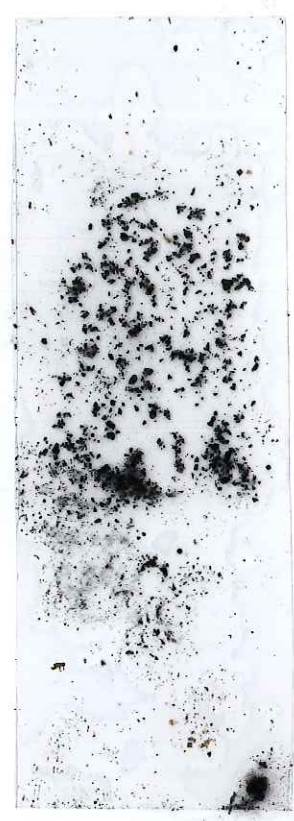
2.2



A



B



C

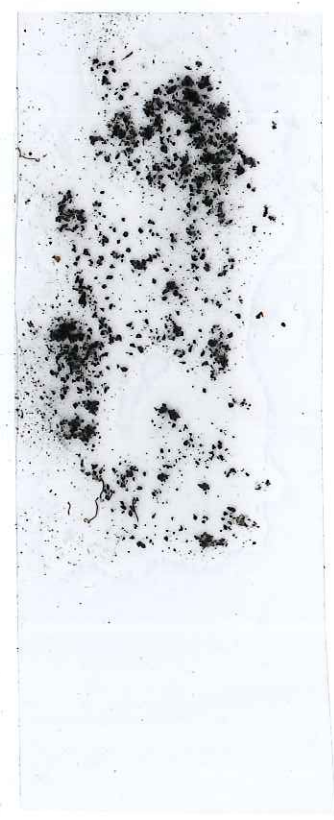
2.3



A



B

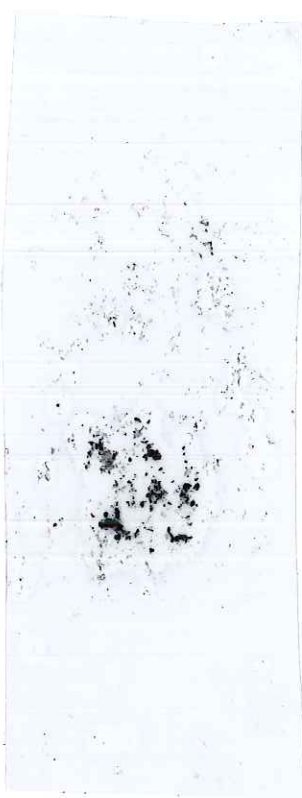


C

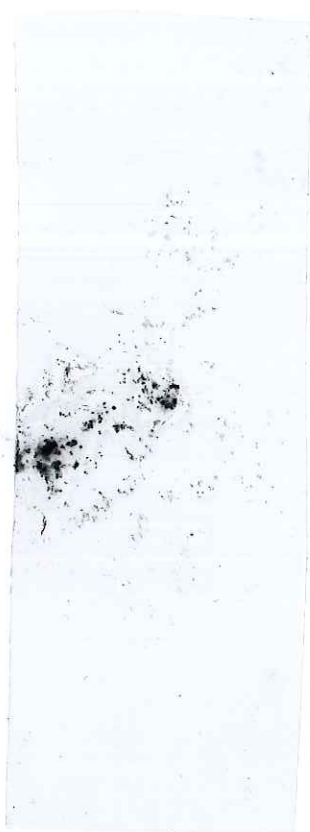
3 -



A.

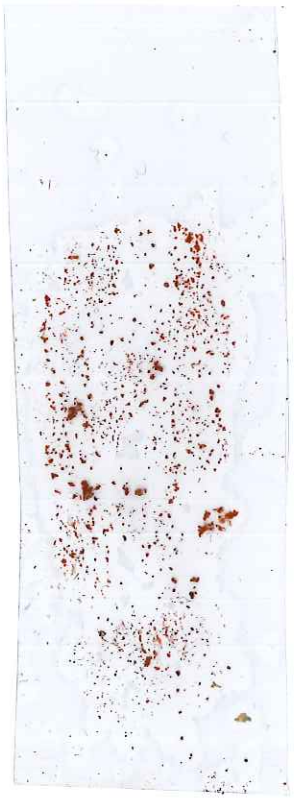


B.



C.

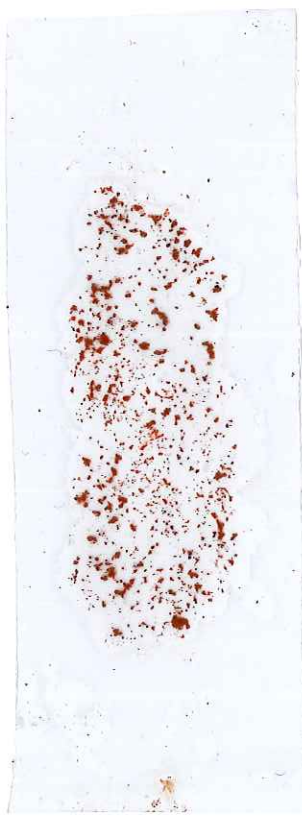
4.1.



A.



B.



C.

A.

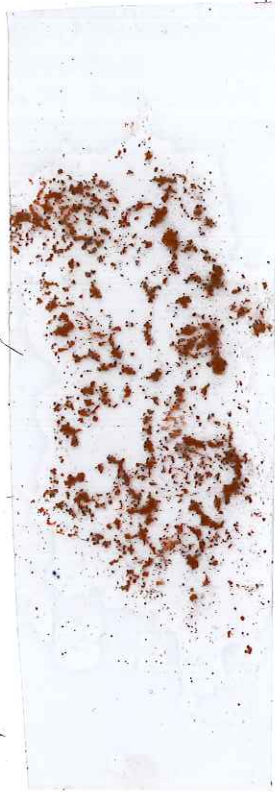
4.2



A.

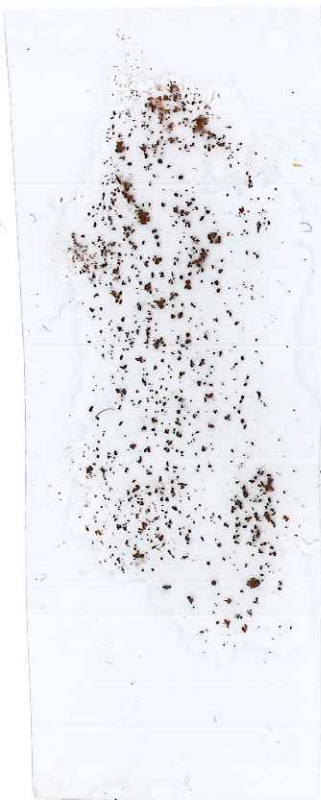


B.



C.

4.3



A.



B.



C.

4.4

A.



B.



C.

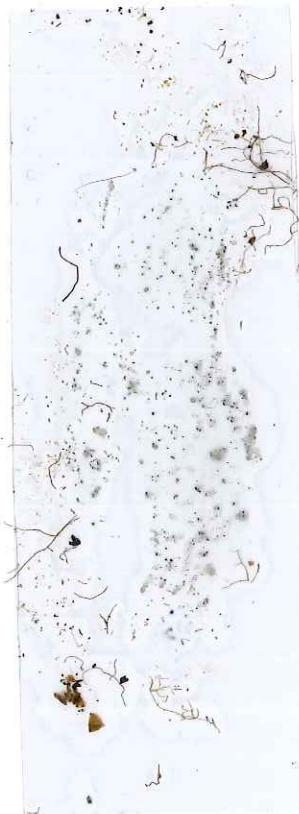


5.1

A.



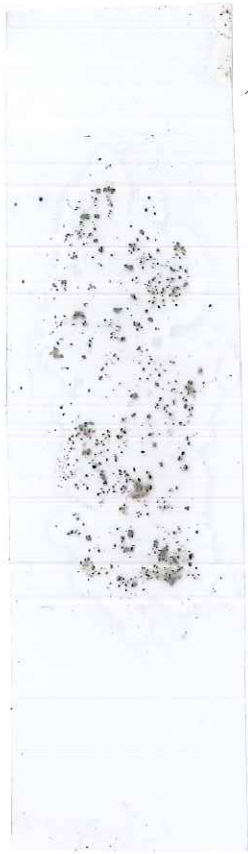
B.



C.



5.2



A.



B.



C.

5.3



A.



B.



C.