الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة أبي بكر بلقايد

كلية العلوم الإنسانية والعلوم الاجتماعية

المجلس العلمي للكلية

الرقم: 167/م ع ك ع ا ا/ 2023

التاريخ: 2023/05/21

شهادة المجلس العلمي خاصة بالسند التربوي

إن رئيس المجلس العلمي لكلية العلوم الإنسانية والعلوم الاجتماعية

بناء على محضر المجلس العلمي للكلية بتاريخ: 2023/04/19.

بناء على محضر تعيين خبيرين متخصصين بتاريخ 2023/04/19.

بناء على تقييم الخبرة النهائية للسند التربوي الخاص بالأستاذة: **براهيمي فايزة**، أستاذة محاضرة "أ" تحت عنوان: "صيانة وترميم المواد غير العضوية 1"، موجه لفائدة طلبة السنة أولى ماستر، تخصص: صيانة وترميم.

يشهد بأن السند التربوي المذكور أعلاه قابل للنشر والتوزيع، ويمكن اعتماده من الناحية العلمية.

رئيس المجلس العلمي

رئيس المجلس العلمي للكلية

الأستاذ الدكتور: فقيه العيد

عميد الكلية

عميد كلية العلوم الإنسانية والعلوم الاجتماعية - جامعة تلمسان

أ.د. نصر الدين بن داود

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Université Abou Bekr Belkaid
Tlemcen Algérie
جامعة أبي بكر بلقايد
تلمسان الجزائر

كليـــة العلـــوم الإنســـانية و الاجـــتماعيـــة

قســـم الآثـــار

محاضرات موجهة لطلبة السنة اولى ماستر تخصص صيانة و ترميم

مقياس صيانة و ترميم المواد غير العضوية 1

من اعداد الدكتورة: **براهيمي فـايزة**

السنة الجامعية: 2022-2023

اسم الوحدة: التعليمية الأساسية

اسم المادة: صيانة وترميم المواد غير العضوية 1

الرصيد:05

المعامل:0

أهداف التعليم:

يهدف هذا المقياس إلى اكتساب أساليب صيانة اللّقى والمواد الأثرية غير العضوية في مختلف المراحل التي تمر بها لغرض إبقاءها مدة أطول كموروث ثقافي يخدم مجال التراث في التخزين و العرض للاستفادة منها.

المعارف المسبقة المطلوبة:

خصائص المواد، تأثير العوامل الخارجية على المادة الأثرية

محتوى المادة:

المحور الأول: لمادة الأثرية: حالاتها، أطوارها....

المحور الثاني: أنواع المادة الأثرية (عضوية وغير عضوية)

المواد غير عضوية

- مواد فلزية: حديد، ذهب، نحاس....
- مواد معدنية:(طبيعية، مصنعة)

المحور الثالـــث: مدخل إلى علم الصخور

صيانة وترميم الفسيفساء

صيانة وترميم الفخار

صيانة وترميم الحجارة (الرخام، الحجارة الجيرية.....الخ)

صيانة وترميم المعادن

طريقة التقيـــيم: مراقبة مستمرة، امتحان....إلخ (**يُترك الترجيح للسلطة التقديرية لفريق التكوين**)

المراجـــع:

- احمد إبراهيم عطية، عبد الحميد عبد الكافي: **حماية و صيانة التراث الحضاري**، دار الفجر للنشر والتوزيعالقاهرة،2003.
- أم ،كرونين و س .روبنسون : **أساسيات ترميم الآثار** .ترجمة :عبد الناصر الزهراني، جامعة الملك سعود.الرياض 2006.
- جاكوب جيمس و توماس كيلديف، **تقانة هندسة المواد**، ترجمة نضال شمعون، المنظمة العربية للترجمة، بيروت– لبنان 2011.

فهرس المحتويات

المقـــدمـة..... ص**1**

المحاضرة الأولى: انواع المـواد الاثرية..... ص**2**

1- انواع المـواد الاثريـة

2- تكوين المواد العضوية – بعض العموميات:

2-1- السكـاريد (السكريات المتعددة)Les polysaccharides

2-2البروتينات Les protéines

2-3- الدهون Les lipides

2-4-المعادن الحيوية Les biominéraux

2-5- الماء وحالة الماء Eau et l´état hydrique

المحاضرة الثانية: المـــــواد غير العضويـــــة..... ص**8**

1-المواد المعدنية

2-انواع الموارد المعدنية

3-خصائص الفلزات و اللافلزات و اشباه الفلزات.

المحاضرة الثالثة : انواع الفلـزات ص**14**

1-الفلزات الحديدية

2-فلزات النحاس

3-فلزات القصدير

4-فلزات الرصاص

5-فلزات الفضة

المحاضرة الرابعة: تصنيف المعادن من حيث التركيب الكيميائي..... ص**17**

1- العناصر النقية

2-الاكاسيد

3- كبريتيدات

4- مجموعة الكبريتات

5- مجموعة الهاليدات

6- مجموعة معادن الفوسفات

7- مجموعة معادن الكربونات

المحاضرة الخامسة: السبـــائـك..... ص**23**

1-سبائك الحديد

2-سبائك النحاس

3- سبيكة البيلون

4- سبائك الفضة

5- سبائك الرصاص

المحاضرة السادسة ***خصائص الكيمائية و الفيزيائية للمعادن*** **ص28**

1-الخواص البلورية للمعادن

2- الخصائص الفيزيائية

3- الخصائص الكيميائية

المحاضرة السابعة ***المواد المصنعة و المراحل الكبرى التي تمر بها المواد المعدنية*** **ص35**

1-تاريخ اكتشاف المعادن

2- بداية تعرف الإنسان على المعدن

3 - طرق التصنيع (التعدين)

المحاضرة الثامنة المواد المعدنية المستخدمة في التصنيع و خصائصها **ص44**

1-المواد الأولية:

1-1-الذهب:or

1-2النحاس:Le cuivre

1-3-الفضة:l' argent

1-4القصدير(Sn) L'étain

1-5-الرصاصplomb

1-6- البرونز:bronze

1-7الحديد:fer

المحاضرة التاسعة: ***العوامل المؤثرة على المواد المعدنية*** **ص53**

1-مصادر تلف المقتنيات المعدنية :

2-طرق التصنيع القديمة وعلاقتها بتآكل المعادن:

المحاضرة العاشرة: التأكل وانواعه..... **ص 59**

1-مفهوم التآكل

2- اشكال التآكل

3-تاثير الوسط المحيط على المعادن

المحاضرة الحادية عشر : طرق التحليل المخبري..... **ص 73**

1-طرق التحليل المخبري

2-تقنيات الفحص المخبري

3.الوصف المجهري للمعادن

4-طرق الفيزيائية والكيمياوية لدراسة المعادن والسبائك المعدنية واختبارها

المحاضرة الثانية عشر: شروط التخزين المواد المعدنية..... ص79

1. التخزين المؤقت
2. شروط التخزين النهائي

المحاضرة الثالثة عشر: طرق معالجة المواد المعدنية..... ص 83

1-الطريقة الميكانيكية

2- التنظيف الكميائي طريقة الغمر في كبريتات الصوديوم

3-طريقة التحليل الكهربائي

4- طريقة روزنبرغ

المحاضرة الرابعة عشر: طرق حماية التحف المعدنية من التآكل المانعات..... ص 89

ملحق..... ص94

قـــــــائمة المراجع..... ص98

مقدمـــة:

المعدن من المواد التي لازمت الانسان في مختلف مراحل تاريخه القديم، ويعده العلماء أحد أهم المصادر المهمة في دراسة الحضارات القديمة وذلك لكثرة ما يعثر عليه أثناء الحفائر الاثرية لكونه من بين المواد الأكثر استعمالا منذ اكتشافه في الألف الثالثة قبل الميلاد، ونظرا لوفرته في الطبيعة وخصوصياته الفيز وكيميائية الجيدة و سهولة تصنيعه، فإنه عرفا انتشارا واسعا في شتى المجالات، حيث استعمل في صنع أدوات وآلات الزراعة والصناعة، ونجده في القطع الوظيفية المستعملة في الحياة اليومية وكذا الأسلحة، فضلا عن كونه مادة بناء أساسية، فهو يمثل بذلك إذن منبعا هاما للمعلومات الأثرية وقد يعتبره الكثير من الأثريين دعامة مادية أساسية لمعرفة طبيعة نشاطات الموقع (زراعية، صناعية، حرفية، حربية).

ولقد اظهرت الاعمال الأخيرة أن بالاعتماد على الخام المستخدم ،يمكن تحديد مجموعات من ورش الحديد والصلب ذات التوقيع الكيميائي المتجانس، ومنه تم يمكن رسم خريطة كرونولوجية للمواقع ،ومنه سهولة التعرف على الإمكانيات المتوفرة من مجموعات الانتاج لجيو كيميائي للمواقع التي مارست هذا النوع من الصناعة .

ان الصفات المختلفة للمعادن المتعلقة بخصائصها الفيزيائية تفسر استخدامها الكبير على مر القرون ، فإن عيب العديد منها ينبع من خواصها الكيميائية. في الواقع تميل غالبية الأجسام المعدنية المدفونة ، على مر القرون إلى التآكل و يختلف هدا الاخير باختلاف طبيعة المعدن و السبائك المكونة له ، وعدم استقرار الأجسام المصنوعة من السبائك المختلفة يؤدي حتما إلى فقدانها و تشويها وطمسها للمعلومات الأثرية التي تحملها القطعة ،كما ان فهم ظاهرة التآكل وتلف المادة المعدنية المستخرجة من الحفرية والإشكالية التي تفرضها هذه الأخيرة ، وما تعترضها من اخطار في الجو المحيط الجديد الذي يكون مكان العرض او التخزين و عليه توظف في هذه العملية ، عدة طرق علاجية سواء كانت كيميائية ،و ميكانيكية ، و كهروكيميائية، ومن أجل إبطاء أو حتى إيقاف هذه العملية يمكن وضع بروتوكولين للحفظ :الحفظ الوقائي من خلال التحكم في البيئة وخاصة الرطوبة النسبية / أو الأكسجين ، اما البرتوكول الثاني فهو خاص الصيانة . وعليه من خلال هذا السند سنحاول ابراز الخصائص الفيزيائية والكيميائية و ما طبيعة هذه المادة وما تتعرض له من تلف من خلال المراحل الكبرى التي تمر الى غاية استخراجها وكيفية التعامل معها لحفظها وتامين لها الشروط الضرورية للحفظ وإبقاءها مدة أطول كموروث ثقافي يخدم مجال التراث .

المحاضرة الأولى: انواع المـواد الاثرية

1–انواع المـواد الاثريـة

2–تكوين المواد العضوية – بعض العموميات:

2–1– السكـاريد (السكريات المتعددة)Les polysaccharides

2–2البروتينات Les protéines

2–3– الدهون Les lipides

2–4–المعادن الحيوية Les biominéraux

2–5– الماء وحالة الماء Eau et l´état hydrique

تمهيد:

تمثل المكتشفات الأثرية المعثـور عليها في طبقات الأرض بعد الاستخراج مخلفات أثرية ذات أهمية كبرى باعتبارها لبنة من لبنات المعطيات التي يكتمل بها الواقع التاريخي.

ثمت أثار كثيرة منحدرة من مواد حيوانية ونباتية ومواد غير عضوية ،. وهو ما حتم على الأثري أثناء الحفر بدل ما بوسعه لا نقادها بغرض تفحص المعارف العلمية المنطوية عليها ، ولذلك وجب فهم تركيبتها المجهرية وطريقة تفاعلها مع الوسط المتواجدة فيه.

1- انواع المـواد الاثرية

يمكن **تقسيم المواد الاثرية**. الى اربع مواد رئيسيـة:

- المواد المعدنية (معادن وسبائك) .
- مواد عضوية (مواد من أصل حيواني، نباتي أو اصطناعي).
- مواد معدنية أو غير عضوية (صخور ، زجاج).
- مواد مركبة (تجميع اثنين على الأقل مواد غير قابلة للامتزاج).[1]

2- تكوين المواد العضوية – بعض العموميات:

هي ا لمواد المشتقة من أصل نباتي أو حيواني، تتركب أساسا من الكربون .فالأشكال المتنوعة المدرجة في هذه المجموعة هي :النباتات، الخشب، الورق لكتان، القطن، البذور أو الفواكه ، العظام ، والقرون ، الجلود ، فرو وجلود ، المنسوجات من ألياف حيوانية .

تعد الوحدة الأساسية للكائنات الحية هي الخلية، والتي تتكون أساسًا من غشاء ، والتي يميز هيكل الخلايا النباتية، أن لها جدار سليلوزى، هو المركب العضوي الأكثر شيوعا والبوليمر الحيوي على وجه الأرض، حيث يمثل حوالي 33 %من مجموع المواد النباتية. يمثل محتوى السليلوز من القطن 90 %، أما بالنسبة للخشب 50 % .

أما الخلايا الحيوانية أثناء تطورها، فهي تتخصص وتنظم نفسها لتشكيل هياكل وظيفية ، نميز بما في ذلك النسيج الضام tissu conjonctif التي توفّر الدعامة للأنسجة ،ولأعضاء الجسم المختلفة(الجلد والأربطة والأنسجة الدهنية) والعضلات والأنسجة الداعمة (النسيج الغضروفيTissus cartilagineux .

تتكون المواد العضوية بشكل أساسي من بوليمرات طبيعية (أو بوليمرات حيوية,bio polymères) وجزيئات كبيرة والتي قد تتكون من عدة آلاف من الذرات ، بناءً على الكربون (C) والهيدروجين (H) والأكسجين (O) ، والتي تتضمن عناصر أخرى بما في ذلك النيتروجين (N) والفوسفور (P) والكبريت (S) على وجه الخصوص .هذه

[1]KONAN Koffi Léon, chimie des matériaux inorganiques, , Sciences des Structures de la Matière et de Technologie Université Félix Houphouët-Boigny,p2

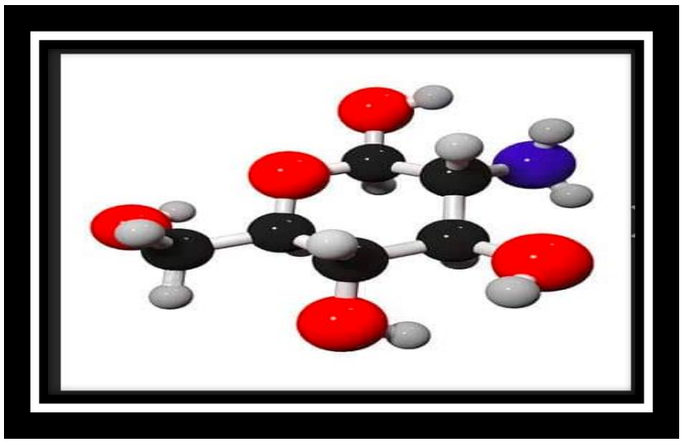
الجزيئات تشكل الجزء الأكبر من المادة الحية وتنتمي إلى إحدى الفئات البيولوجية الأربعة وهي :الكربوهيدرات والدهون والبروتينات والأحماض النووية[2].

بشكل عام ، المواد النباتية تحتوي على عديد السكاريد Polysaccharide (**لسكريات المتعددة**) ،وهي الأكثر شيوعًا من السليلوز (تقريبًا 50٪ من الكتلة الحيوية) ؛اما المنتجات الحيوانية تتكون بشكل أساسي من البروتينات وبوليمرات الأحماض الأمينية والتي تمثل حوالي 50٪ من الوزن الجاف لمعظم الخلايا .اما المواد العضوية الأخرى المرتبطة بالمنتجات النباتية والحيوانية هي الراتنجات والشموع والزيوت والدهون[3].

2-1 السكاريد(السكريات المتعددة)Les polysaccharides

سليلوز هو المكون الهيكلي الرئيسي لجدران السيليلوزية للنباتات (الشكل.رقم1) من خلال بنائه للألياف الأولية (يتكون من اتحاد عدة عشرات من سلاسل السليلوز)، ارتباط الألياف الدقيقة والألياف ، وبالاشتراك مع السكريات الأخرى بما في ذلك الهيميسليلوز ,hémicellulose، يعطي النبات بنية وصلابة.

تحتوي ألياف السليلوز الدقيقة على مناطق بلورية ، حيث يتم توجيه الألياف الأولية بشكل متوازي ويتم تثبيتها معًا بواسطة روابط هيدرولوجية (الشكل1).



الشكل رقم1: الرابطة الجزيئيةpolymère البوليمرات الحيوية

2-2 البروتيناتLes protéines

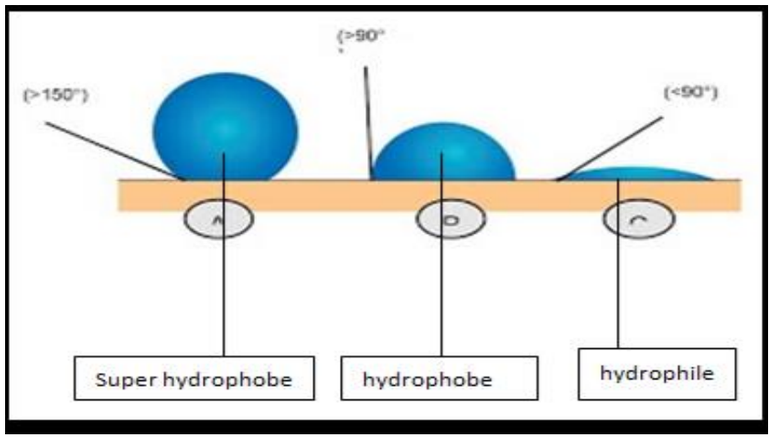
ان الخلية الحيوانية بوصفها اصغر جزيء في تكوين المادة الحية: مثل: الجلود، المنسوجات الصوفية، العظام، المكونة من 60من المئة من البروتين و40من المئة من الدهون المركبة و بذلك فان البروتين المتكون من تلاحم للأحماض الأمنية حيث يدخل 20حمض اميني مختلف في اتحاده مع عشرة 10احماض أمنية في إنتاج ملايين البروتينات المختلفة التركيب و المتفاوتة التعقيد (الشكل رقم 2)في مقابل الدهنيات المتميزة بقطبين احدهما نافر hydrophobeو الأخر محب لها hydrophileالجلود و الشعر و الصوف الحرير والقرون.[4]

---

[2] Martin Bader, Emballage et transport des matériaux organiques en provenance de sites de haute altitude mesures de conditionnement et s´sécurisation des indices archéologique , HEAA Arc,2008,p34

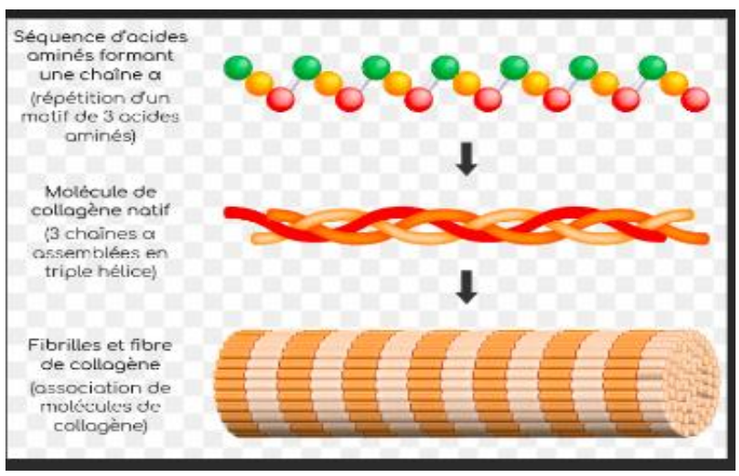
[3] ibid.

[4]Nicole(M),caoline(R), la conservation des sites et mobilier archéologiques principes et méthodes,1988, p70.



الشكل 2: قابلية الامتصاص المواد النافرة للماء و المواد المحبة للماء

كولاجين والكراتين Le collagène et la kératine مثالان على البروتينات الليفية، أما الكولاجين يتكون من الأنسجة الضامة مثل الجلد أو الأربطة، وهي المادة العضوية الرئيسية للعظام، فحين الكراتين الذي يدخل في تركيب الشعر والريش والأظافر والقرون، إنه أصلب من الكولاجين بسبب درجة ارتباطه العالية بثنائي الكبريتيدات الجزيئية بين سلاسل البروتين التي تتكون منها[5](الشكل3).



الشكل 3 : ارتباط جزيئات من الاحماض الامينية (ألياف كولاجين)calogène

2-3- الدهون Les lipides

تشمل الدهون والزيوت ، والشموع ،والمواد النافرة للماء ،فهي مخزنة للطاقة في كل من الخلايا الحيوانية والنباتية، ترتبط في طبقات ، حيث تمثل الزيوت عن ثلاثي الجلسرين، وهي جزيئات تتكون من ثلاثة أحماض دهنية مرتبطة بجزيء الجلسرين، وهو عبارة عن كحول .يتكون الحمض الدهني من سلسلة هيدروكربونية (تتكون عمومًا من 16 إلى 22 ذرة كربون)[6].

[5] Martin Bader, op.cit., p36.

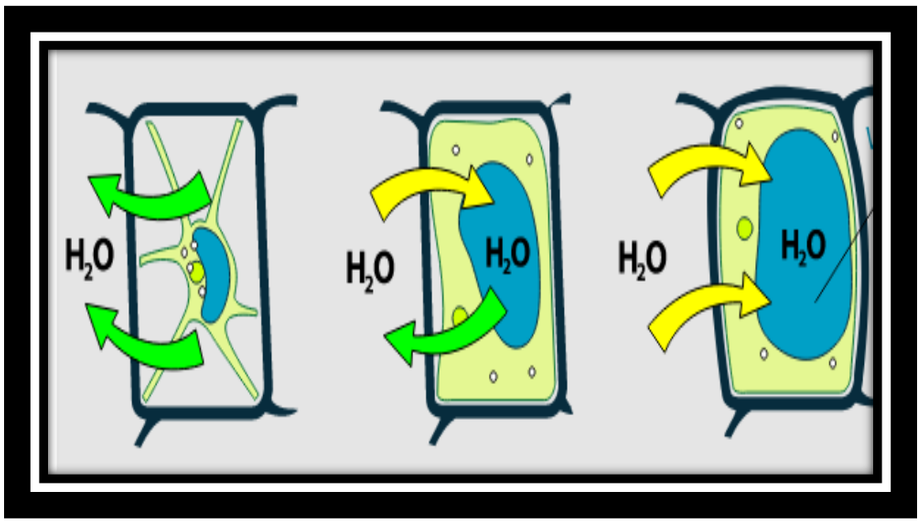
[6]ibid

2-4- المعادن الحيوية Les biominéraux

هي المعادن التي تتواجد عادة بكميات صغيرة ولكنها مهمة وقابلة للقياس في مجالات البيولوجيا، والكيمياء الحيوية،فالمواد العضوية ليست هي الوحيدة التي تم إنشاؤها بواسطة العمليات البيولوجية: بعض المواد غير العضوية مثل هيدروكسيباتيت l'hydroxyapatite (Ca10 (P O4) 6 (OH) 2) المكونة للعظام، والمينا وعاج الأسنان والعاج ، أو حتى قشور البيض والهياكل الخارجية للرخويات، هي جزء لا يتجزأ من المادة البيولوجية، فالعظام:مثلا مادة مركبة حيث تترسب المعادن أثناء النمو داخل وحول شبكة معقدة من ألياف البروتين.

2-5- الماء وحالة الماء Eau et l'état hydrique

تحتوي معظم المواد العضوية على الماء في بنيتها: فهي مواد قابلة لرشح hygroscopique، يتم الاحتفاظ بمحتوى الماء في المادة الحية خلال الضغط الاسموزي للخلاياpression osmotique: عند موت كائن حي تحدث المرحلة الأولى من الجفاف ، وبعدها يختلف المحتوى المائي للمادة استجابةً باختلاف الرطوبة البيئية الموجودة في الغلاف الجوي أو في وسط الدفن .يلعب الماء دورًا أساسيا من حيث الخصائص الميكانيكية والأبعاد للمواد، وهو بداخلها على ثلاثة أشكال أساسية : ماء التركيبةeau de constitution، والذي لا يمكن رؤيته ، و الماء الحر eau libre يمكن ملاحظة جريانه على السطح الخارجي للأثر عند تشبعه بالرطوبة الزائدة ، و الماء الرابط eau liée الذي يضمن تماسك خلايا و أنسجة المادة الحية بعضها الى بعض و الذي بوسعه منح الاثر مرونته الطبيعية وضمان توازن رطوبته الخاصة مع المحيط المتواجدة فيه[7].**الشكل4**.



الشكل 4: حالات المادة باختلاف الوسط البيئي المتواجدة فيه

الخلاصة:

[7] Nicole(M),caroline(R) op.cit,p70

البروتين مثله مثل السكريات النباتية يتضمن الكترونات atome الفحم التي من شانها مساعدة الأثري على توظيف تقنية التاريخ بالفحم المشع 14,لذلك وجب الاحتراز من استخدام أي محلول كيماوي في مجال التطهير الأثر او تعقيمه من شانه إتلاف التركيبة الطبيعية للعدد الذري في خلايا الأثر[8].

[8] Ibid.

المحاضرة الثانية

المـــــواد غير العضويـــــة

1-المواد المعدنية

2-انواع الموارد المعدنية

3-خصائص الفلزات و اللافلزات و اشباه الفلزات.

المواد غير العضوية:

تمـهيد:

هي مواد غير قابلة للاحتراق، أصلها معدني، و لا تحتوي على كربون مثل: المعادن بأنواعها، الفخار، الخزف الحجارة، الرخام، الطينة،.. تعتبر المواد غير العضوية بوجه عام مواد ثابتة لا تحتاج الى حماية كبيرة كالقطع التي من أصل عضوي ، و على اية حال فان كل القطع تقريبا مهما كان اصلها يمكن ان تتأثر بالظروف المناخية غير الملائمة ، وقد تتلف بعض المواد غير العضوية اذ لم يهتم بها بشكل مناسب[9].

توجد بعض المواد التي تحتوي في تركيبها على عنصر الكربون، إلا أنّها تُعتبر غير عضويّة ومنها كلوريد الصوديوم، الماس وثاني أكسيد الكربون.(جدول1).

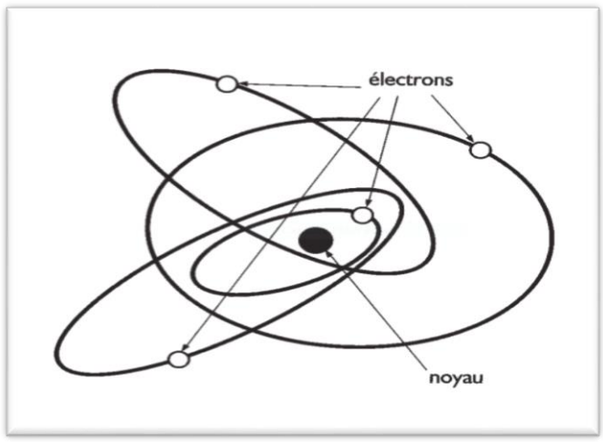
وجه المقارنة	المركبات العضوية	المركبات غير العضوية
التركيب الكيميائى	يشترط أن تحتوى على عنصر الكربون	قد تحتوى على عنصر الكربون بالإضافة لعناصر أخرى
الذوبان	لا تذوب فى الماء غالباً وتذوب فى المذيبات العضوية مثل البنزين	تذوب غالباً فى الماء
درجة الانصهار والغليان	منخفضة	مرتفعة
الاشتعال	تحترق (تشتعل) وينتج H_2O, CO_2	غير قابلة للاشتعال وإذا اشتعل بعضها تنتج غازات أخرى
الروابط فى الجزئ	تساهمية	أيونية و تساهمية
التوصيل الكهربى	مواد غير إلكتروليتية لا توصل التيار الكهربى لعدم قدرتها على التأين	مواد إلكتروليتية توصل التيار الكهربى ويرجع ذلك: لقدرتها على التأين
سرعة التفاعل	بطيئة لإنها تتم بين جزيئات	سريعة لإنها تتم بين أيونات
الرائحة	لها روائح مميزة.	عديمة الرائحة غالباً
البلمرة أو التجمع	تتميز بقدرتها على تكوين بوليمرات	لا تكون بوليمرات غالباً

جدول 1 :يمثل وجه المقارنة بين المواد العضوية و غير العضوية

1-المواد المعدنية:

لقد كلف علماء الكيمياء جهودهم المستمرة لاكتشاف العديد من المواد الكيميائية والعناصر الكيميائية بشكل عام ودورها، وكيف يمكن الاستفادة منها ومن بين تلك العناصر الكيميائية التي توصل علماء الكيمياء إليها هي الفلزات واللافلزات وأشباه الفلزات، كل منهم له تكوين .وتركيب وتفاعل ونتائج تختلف عن الأخر، ولكن جميعهم مشتركين في أنهم يطلق عليهم عناصر كيميائية تتكون من عدد ذري يحتوي، هذا العدد الذري على بروتون وإلكترون ونيترون الشكل5.

9 عبد الحليم نورالدين، "متاحف" ،الاصدار في مصر و الوطن العربي ، دراسة في علوم المتاحف الطبعة الأولى، 2009، ص-ص 154 – 155



الشكل 5: الذرة

يوجد أكثر من 4000 نوع من المعادن في الطبيعة ، لكن أكثرها وفرة هو اثني عشر نوعًا من المعادن.يمكن تصنيف المعادن حسب التركيب الكيميائي، وحسب الفئة القائمة أدناه بالترتيب التقريبي لوفرتها في القشرة الأرضية: مثل الألمنيوم، والبوتاسيوم، والحديد، والكالسيوم، والصوديوم، والمغنيسيوم، [10]تتواجد غالبيتها في حالتها الخام:

الأكسحينoxygène (O) : 46,5 %

السيلسيوم Silicium (Si) : 28 %

الالمنيوم Aluminium (Al) : 8 %

الحديد Fer (Fe) : 5 %

الكالسيومCalcium (Ca) : 3,5 %

الصوديومSodium (Na) : 3

البوتاسيومPotassium (K) : 2,5 %

المغنزيومMagnésium (Mg) : 2 %

و يعتبر الاكسيجين هو اكثر العناصر التسعة انتشارا على الاطلاق ولكن لا يعني ان الاكسيجين حر طليق في القشرة الارضية، ولكن في الواقع مرتبط ارتباطا كيميائيا في الصخور المختلفة ،وكدلك الحالة بالنسبة للعناصر الثمانية الأخرى فهي لا توجد بحالتها العنصرية في هده الصخور و لكنها جميعا توجد متحدة و مرتبطة بطريقة و بأخرى لتكون ما يعرف باسم المركبات الكيميائية[11].

2-انواع الموارد المعدنية

[10] N’golo Togola ,les minéraux et les roches, QUEBEC MINES ,p6

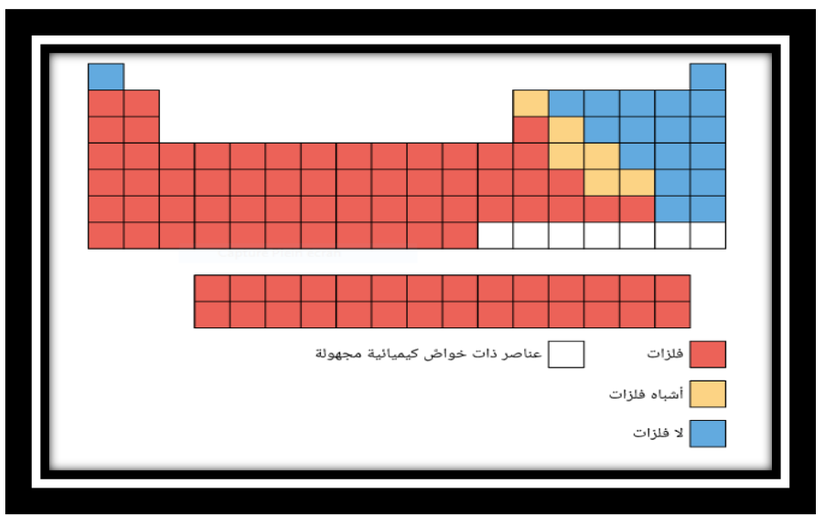
[11]عماد مخمد ابراهيم خليل ، علم المعادن، كلية العلوم ،جامعة الزقايق مصر العربية ،2014، ص5

تم تصنيف عناصر الجدول الدوري البالغ عددها 103 عناصر، قسمت إلى 3 فئات وفقًا لخصائصها لكن معظم العناصر الكيميائية عبارة عن معادن. الفلزات و اللافلزات و اشباه الفلزات.

les métaux المعادن	les métalloïdes اشباه الفلزات	les non-métaux اللافلزية

تضمَّن الجدول الدوري للعناصر العديد من تدرُّجات الخواصِّ، وأحد أكثر هذه التدرُّجات وضوحًا هو الانتقال من الفلزات إلى أشباه الفلزات ثم إلى اللافلزات عندما نتحرَّك من الجانب الأيسر إلى الجانب الأيمن للجدول الدوري. هذه الظاهرة مُدهِشة، ليس فقط لأنها ثابتة في جميع صفوف الجدول الدوري تقريبًا، لكن أيضًا لأنه يُمكن تفسيرها بنظريات بسيطة نسبيًّا تتعلَّق بتبادل إلكترونات التكافؤ وأنماط الترابط بين الجزيئية .قُسِّم الجدول الدوري إلى جزأين منفصلين من الفلزات واللافلزات منذ فترة طويلة نسبيًّا. يُعتبَر جونز جاكوب برزيليوس**Jons Jakob Berzelius** ، الذي يُعَدُّ أحد علماء القرن التاسع عشر، أحد مؤسِّسي علم الكيمياء الحديثة. فقد صنَّف العناصر إلى فلزات ولا فلزات منذ أكثر من مائة عام. واستندت تصنيفاته إلى الخواصِّ الفيزيائية للعناصر[12].

يَستخدِم الشكل الآتي اللونين الأحمر والأزرق لتوضيح كيفية انتقال الجدول الدوري من العناصر الفلزية إلى العناصر اللافلزية. العناصر الفلزية ممثَّلة باللون الأحمر، ويُمكن العثور عليها في الجانب الأيسر من الجدول الدوري. والعناصر اللافلزية ممثَّلة باللون الأزرق، ويُمكن العثور عليها في الجانب الأيمن من الجدول الدوري. وعناصر أشباه الفلزات ممثَّلة باللون الأصفر، ويُمكن العثور عليها فيما بين الجزأين الأيسر والأيمن من الجدول الدوري. أمَّا الخانات البيضاء فتمثِّل عناصر كيميائية ذات خواصَّ كيميائية مجهولة.الجدول2



الجدول رقم2: الجدول الدوري الفلزات و اللافلزات و اشباه الفلزات

[12]B erzelius, Jöns (1779-1848). (n.d.). Wolfram Research. Retrieved July 13, 2015, from http://scienceworld.wolfram.com/biography/Berzelius.html

فالهيدروجين **H** هو العنصر الوحيد الذي لا يتوافق مع المبدأ البسيط والسهل الفهْم المتمثِّل في أن الفلزات تُوجَد في الجانب الأيسر من الجدول الدوري، وأن اللافلزات تُوجَد في الجانب الأيمن. الهيدروجين عنصر غريب إلى حدٍّ ما؛ لأن توزيع إلكترون التكافؤ لديه مثل الفلزات، لكنَّ له خواصَّ كيميائية لا فلزية. وقد أثار هذا بعض المناقشات المثيرة للاهتمام حول موضع الهيدروجين في الجدول الدوري. حيث يرى بعض العلماء أن الهيدروجين ينبغي أن يُوضَع فوق الكربون في الجدول الدوري. ويرى علماء آخَرون أنه ينبغي أن يُوضَع فوق الفلور. يقع الهيدروجين حاليًّا فوق فلزات المجموعة 1 [13].

Minerai de plomb.

خام الرصاص

3-خصائص الفلزات و اللافلزات و اشباه الفلزات.

3-1الفلزات: هي المواد التي تتميّز بموصليتها العالية للكهرباء والحرارة، وليونتها، وقدرتها العالية على عكس الضوء، ، وتشكل الفلزات ما يقارب ثلاثة أرباع العناصر الكيميائية المعروفة، ومعظمها تتواجد بوفرة في القشرة الأرضية مثل الألمنيوم، والبوتاسيوم، والحديد، والكالسيوم، والصوديوم، والمغنيسيوم، وتتواجد غالبية الفلزات في حالتها الخام، إلا أن قلة منها تتواجد حرة في الطبيعة؛ مثل النحاس، والذهب، والفضة؛ لأنها لا تتفاعل بسهولة مع العناصر الأخرى.

الفلز هو معدن أو مجموعة من المعادن يمكن للإنسان أن يستخرج منها مادة مفيدة للصناعة فغالبا ما يتم خلط الخامات مع معادن أخرى فهو مكون من أكسيدoxydes وكربونات .carbonate ،وكبريتات [14] sulfure، و املاح و شوائب ،كما له هيكل ذري عالي الترتيب وخصائص فيزيائية محددة. ومن الفلزات المشهورة الألومنيوم ،النحاس، الذهب، الحديد ،الرصاص، الفضة، التيتانيوم، اليورانيوم، الزنك. .

3-2 اللافلزات les non métaux

تعد اللافلزات من الأساسيات والضروريات لنمو الكائنات الحية والنباتات، كما أن الإنسان لا يستطيع العيش بدونها .تحتوي على ثمانية عناصر تعرف باسم العناصر اليتيمة مثل الأكسجين، الهيدروجين وغيرها .كما تحتوي على غازات تعرف باسم الغازات النبيلة، تتميز اللافلزات بمجموعة من الخصائص، يعتبر درجة غليانها وأيضاً انصهارها منخفضة جداً مع مقارنتها بالفلزات، وغير جيدة التوصيل الحراري والكهربائي، [15]قادرة على جذب الإلكترونيات بفضل احتوائها على طاقة تأين عالية، بريقها المعدني ضعيف جداً، يكاد يكون بريقها المعدني معدوم، غير قابلة للسحب والطرق والثني أو حتى التشكيل، ولكن تتميز بقدرتها على الاتحاد مع عنصر الأكسجين كي تكون أكاسيد حمضية .تختلف حالاتها الموجودة في الطبيعة ما بين غازية وسائل وصلبة، حيث توجد في الحالة الصلبة مثل عنصر الكربون، وتوجد في الحالة السائلة مثل عنصر البروم .كما يوجد بها في الحالة الغازية مثل النيتروجين والأكسجين والهيدروجين .لا تتفاعل اللافلزات مع الأحماض المخففة، لا تمتلك رنين، تشكل رابطة تساهمية لعدم استقرارها

[13] SAMSAR Djamila, Cours de chimie Minérale Université Mustapha Ben Boulaïd Batna-2. Institut d'hygiène et Sécurité Industriel, P13

[14] Nicole(M),caroline(R) op.cit., p60

[15] SAMSAR Djamila ,op.cit. p13

كيميائياً، لأنها تحتاج دائماً إلى ملء جميع مداراتها بالإلكترونات .من أمثلة اللافلزات (الهليوم، الكلور، الاكسجين الهيدروجين الخ.

3-3 اشباه الفلزات Metalloïdes

عرف على أشباه الفلزات أنها مجموعة من المواد الكيميائية التي تمتلك خصائص فلزية وأخرى لا فلزية، أي أنها مواد وسطية لا تحتوي على عنصر محدد يجعلها تنتمي لمجموعة دون الأخرى، بمعنى أنّه لا يُمكن اعتبارها ضمن العناصر المعدنية بالكامل، ولا ضمن العناصر اللافلزية بالكامل، عمومًا تكون شبه موصلة أكثر من كونها عازلة [16]مثل السليكون si و البورون B.

[16] ibid.

المحاضرة الثالثة

انواع الفلــزات

1–الفلزات الحديدية

2–فلزات النحاس

3–فلزات القصدير

4–فلزات الرصاص

5–فلزات الفضة

1-الفلزات الحديدية:

ان اهم الفلزات الحديدية هي :

1-1الاكسيد الحديدي Fe_2O_3 Oxyde Ferrique : و تستخرج هذه الفلزات من الارض على هيئة تراب احمر مائل الاصفرار ، و تحتوي على 60% من الحديد.

1-2فحمات الحديد $FeCO_3$ Carbonate de fer : و تستخرج من الارض على هيئة كتل بلورية بيضاء مصفر، هذا اللون الابيض المصفر موجود في المناجم الرطبة ، و عند استخراجه يتحول الى اللون اللبني بسبب التحول السطحي من كربونات الى اكسيد الحديد [17] .

1-3الحديد الكبريتي $FeSO_4$ Sulfate de fer

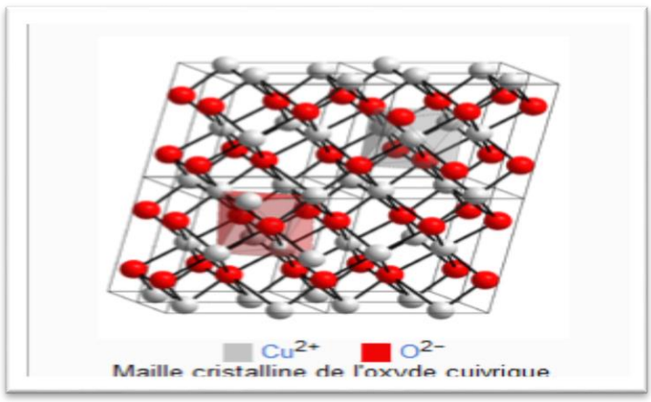
1-4 اكسيد الحديد المغناطيسي(Fe_3O_4) oxyde magnétique و يكون لونها اسود وتحتوي على 70 % من الحديد .[18]

2- فلزات النحاس :

2-**1الفلزات المكبرتة** (Cu_2s) (minerai sulfurés و هو النحاس الكبريتي المعروف بالشلكوزين chalkisine او الشالكوبريت chalcopyrite (CuFeS2،و تحتوي هذه الفلزات على كمية من النحاس تتراوح نسبتها ما بين0.7 الى 2%.[19]

2-2 **الفلزات المؤكسدة** :و تكون على نوعين : الاكسيد النحاسي Cu_2O oxyde cuivreux

و كربونات النحاس$CuCO_3$ carbonate de cuivre (**الشكل رقم6**).



الشكل رقم 6:شبكة بلورية من أكسيد النحاس .

[17] P.-E. DULIEUX, LES MINERAIS DE FER DE LA PROVINCE DE QUÉBEC GISEMENTS ET UTILISATION, université of torino ,1915,p9.

[18] المعدراني رفعت ،"المعادن" ، منشورات المكتبة العصرية للطباعة و النشر،صيدا بيروت ،1956، ص8.

[19] GHOMARI Fouad, SCIENCE DES MATERIAUXDE CONSTRUCTION, université ABOUBEKR BELKAID FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR, DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL ,p5

3–فلزات القصدير :

يستخرج القصدير على هيئة فلزات مركبة مع غيرها من المعادن و الاجسام الغريبة الفلزات المستخرجة فهي:

3–1 الكاسيتريت CassitériteSnO2 و هي ثاني اكسيد القصدير و تستخرج من الارض على هيئة الياف.

3–**2 الساتنيت stannite Cu_2FeSnS_4** و كبريت النحاس و الحديد و القصدير

3–**3 الفرانكيتFrankeite و $Pb_5Sn_3Sb_2S_{14}$** : كبريت الانتيموان و الرصاص ، و الحديد ، والقصدير .

4–فلزات الرصاص:

يستخرج الرصاص من طبقات الارض على هيئة فلزات رصاصية تكون على نوعين الفلزات الرصاصية المكبرتة و الفلزات المؤكسدة [20].

5–فلزات الفضة:

تستخرج الفضة على هيئة فلزات تكون ممزوجة في بعض الأحيان مع معادن اخرى كالرصاص ، و النيكل وأهم الفلزات المستخرجة هي كبريتات الفضةAg_2S وكلوريد الفضة. كما توجد الفضة في خامات الزرنيخ والأنتمون.[21]

[20]رفعت المعدراني، المرجع السابق، ص64

[21] شبكة بحوث وتقارير معدن الفضة *https://arbyy.com*

المحاضرة الرابعة

تصنيف المعادن من حيث التركيب الكيميائي

Classification des minéraux

1- العناصر النقية

2-الاكاسيد

3- كبريتيدات

4- مجموعة الكبريتات

5- مجموعة الهاليدات

6- مجموعة معادن الفوسفات

7- مجموعة معادن الكربونات

تصنيف المعادن من حيث التركيب الكميائي:

تمهـيـد:

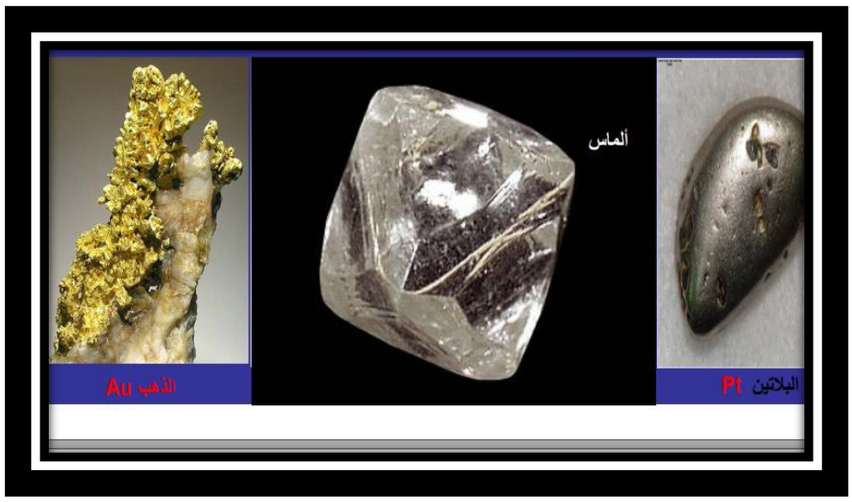
في تصنيف المعادن ، تتميز المواد غير السيليكاتية التي لا تحتوي على السيلكات والتي تعتبر نادرة ، ولكنها مهمة جدًا من الناحية الاقتصادية حيث يتم استخراج معظم المعادن والعناصر الكيميائية من هذه المعادن ، و السيليكات هي الأكثر وفرة وتدخل في تكوين جزء كبير من الصخور المبدأ الأساسي لتصنيف المعادن، وتصنف المعادن الكيميائية الى على اساس الشق الحامضي و على اساس البناء الذري الى تسعة كما يلي :

جدول3: يمثل أنواع المعادن المختلفة

Classe de minerais	Minerais المعادن
Classe des métaux purs المعادن النقية	argent, or, cuivre, platine, الفضة ،الدهب، النحاس ، البلاتين...
Classe des carbonates الكربونات	$CaCO_3$, $MgCO_3$, $CaMg(CO_3)_2$, $PbCO_3$, $ZnCO_3$
Classe des halogénures معادن الهاليد	CaF_2, $NaC\ell$, $KC\ell$, $Na_3A\ell F$
Classe des oxydes فئة الاكاسيد	$A\ell_2O_3.2H_2O$, MgO, Fe_2O_3
Classe des phosphates فئة القوسفات	$Ca_3(PO_4)_2$, $Mg_3(PO_4)_2$
Classe des silicates فئة السيلكات	$Be_3A\ell_2(Si_6O_{18})$, $ZrSiO_4$, $NaA\ell SiO_3$, $3MgO.4SiO_2.H_2O$
Classe des sulfures فئة الكبريتيدات	Ag_2S, CdS, FeS_2, HgS, PbS, ZnS
Classe des sulfates فئة الكبريتات	$BaSO_4$, $CaSO_4$, $PbSO_4$, $SrSO_4$, $MgSO_4.7H_2O$

1-العناصر النقية:Classe des métaux purs

أطلق مفهوم المعادن النقية على المعادن التي تتكون من نوع واحد فقط من العناصر والتي لا تختلط مع المعادن الأخرى ،أي يتحد العنصر مع نفسه وعادةً ما تتصف هذه المعادن بنسبة نقاوة تُعادل 99%، ولعل أشهر الأمثلة على هذه المعادن هي: الذهب(Au) الماس (c) ، البلاتين (Pt)النحاس cu،والألمنيوم .Aℓ و تتميز هذه المعادن بقيمتها الاقتصادية .الصورة1



الصورةرقم1:المعادن النقية

2 -الاكاسيد(O^{2-})classe des oxydes

هناك أكاسيد كثيرة الانتشار في الطبيعة وهي مشكلة من معدن واحد أو عدة معادن ،ومرتبطة بالأكسيجين مثل أكسيد الحديد(الماجنيتيت.)Fe_3O_4 Magnetite) أسود اللون. الصورة 2

معدن لهيماتيت Fe_2O_3 Hematiteاحمر اللون.

معدن الجيوتيت(OH)FeO._Geothite ،وهناك أمثلة أخرى من معادن الأكاسيد[22].

الصورةرقم2: **Magnétite**المانيت

[22] N'golo Togola ,op.cit. p 38

3- كبريتيداتclasse sulfures : في الكبريتيدات ، يتم دمج الكبريت .(S)مع معدن واحد أو أكثر مثل غالينا(PbS)،**سفاليريت(ZnS)**،**بريتpyrite**.[23]**(FeS_2)** الصورة3.

الصورة رقم3: بيريت

4 -مجموعةالكبريتاتClasse sulfates

هي عبارة عن معادن تكونت غالباً فوق سطح الأرض بفعل المحاليل المائية التي تتحد عناصرها مع أيون الكبريتات ومن أهمها معدن الجبس وهو عبارة عن كبريتات كالسيوم مائيةGypsum بينما معدن الانهيدريت Anhydrite (CaSO4)لا يحتوي على ماء ومن أمثلتها أيضاً معدن الباريت.[24]

الصورة رقم4 : الجبس **Gypse**

الصورة رقم5:الباريتين**Barytine**

5- مجموعة الهاليداتClasse des halogénures :

وهي المعادن التي تتحد عناصرها مع عناصر الهالوجين (فلور، كلور، بروم، يود(مثل معدن الهالايت والفلورايت).

[23] CHABOU Moulley Charaf Les minéraux Institut d'Architecture et des Sciences de la Terre Département de Sciences de la Terre MD -Sciences de la Terre et de l'Univers- Licence Géosciences - 1ère année –Module Géologie

[24] عماد مخمد ابراهيم خليل، المرجع السابق ،ص 173 .

الصورة رقم6: ملح الطعام الهاليت(**Halite (sel gemme**

6-مجموعة معادن الفوسفات Classe des phosphates

وهي المعادن التي تتحد عناصرها مع مجموعة الفوسفات، مثل معدن الأباتايت (الصورة7).

الصورة 7: الاباتيت Apatite

7- مجموعة معادن الكربونات Classe des carbonates :

وهي المعادن التي تتحد عناصرها مع مجموعة الكربونات، مثل الكالسايت والدولومايت.(الصورة8).

الصورة8:الكالسيت**Calcite**

8-مجموعة معادن السيليكات Classe des silicates :

وهي المعادن التي تتكون نتيجة اتحاد مجموعة السيليكا مع عنصرأو أكثر.وتعد السيليكات من أكبر مجموعات المعادن، وتنقسم بدورها إلى عدة مجموعات أخرى[25](الصورة رقم9).

الصورة9 :الكوارتز Quartz

[25] CHABOU Moulley Charaf , ,op.cit. p10

المحاضرة الخامسة

السبائك

–سبائك الحديد

–سبائك النحاس

– سبيكة البيلون

– سبائك الفضة

– سبائك الرصاص

تمهيد

السبيكة عبارة عن خليط صلب متجانس يتكون من معدن أو من عدة تركيبات اخرى،قد تكون هذه التركيبات معدنية أو غير معدنية[26]. وهذا من أجل الحصول على صلابة المعدن، وبالتالي زيادة من مقاومته للتآكل مع الحفاظ على مرونته.

تتميز السبيكة المعدنية بتركيبتها الكيميائية، يتم تحديد ذلك من خلال تركيز العناصر المختلفة، و يمكن التعبير عن هذه التركيزات في الكتلة٪ (**m**)أو في**atomic** ٪)٪.[27]

يتم تصنيف السبائك عمومًا إلى فئتين: السبائك الحديدية والسبائك غير الحديدية:

1- سبائك الحديد les Alliage de Fer

يقصد بسبائك الحديد أو السبائك الحديدية بأنها السبائك المكونة من الحديد أساسا وبوجود عناصر أخرى بنسب متفاوتة مثل المنجنيز (Mn) أو الألومنيوم (Al) أو السيليكون(Si) ،أو الكروم (Cr) و التنجستون (W) و المولبدينومM) و الفاناديوم (V) و التيتانيوم (Ti) و غيرها من العناصر الاخرى، تصنع من خلال صهر خليط مكون من خام الحديد و خام الفلز ، مثل سبيكة الحديد و الكروم ، الحديد والفاناديوم ،و غيرها و هي تستعمل لصناعة الفولاذ acier فهي في حدود 1.4%من الكربون من النسبة الوزنية لسيبكة ،كما يمكن اضافة لها سبائك اخرى، كما يصبح هشا ويسمى في تلك الحالة حديد الزهر la fonte بنسبة كربون تقدر بأكثر من 2 %بانخفاض درجة انصهارها[28].

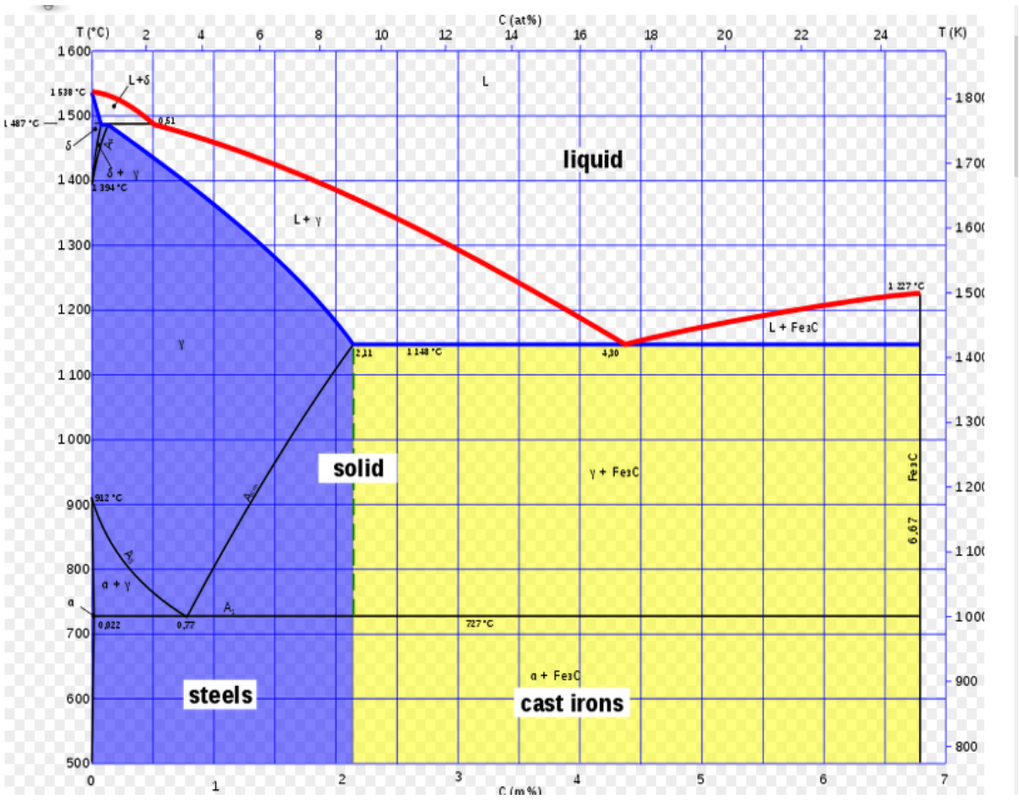
وتكمن درجة الفرق بين الحديد و الفولاذ في درجة الانصهار التي تتراوح مابين1500الى1600درجة مئوية . اما الفولاذ فقد ذوب على درجة 1300-1350 درجة مئوية و هذا الفرق في درجة ذوابان ناشيئ عن وجود كمية الفحم في الفولاذ ،و يمكن القول انه كلما خلا الحديد من الكربون كلما ارتفعت درجة انصهاره، و بالعكس اذا زادت نسبة الكربون في الحديد قلت درجة انصهاره و انخفضت [29] .المخطط1.

[26] https://www.alloprof.qc.ca › eleves › sciences ›. Les métaux et les alliages consulté cette page le 17/09/22.

[27] https://www.alloprof.qc.ca › eleves › sciences › les-métaux. Les métaux et les alliages | Secondaire - Alloprof

[28] علم المواد المعالجات الحرارية لسبائك الصلب الكربوني تحصص ميكانيكا انتاج ،ص99

[29] رفعت معدراني،المرجع السابق، 24



مخطط بياني1: ثنائي بين الحديد والكربون

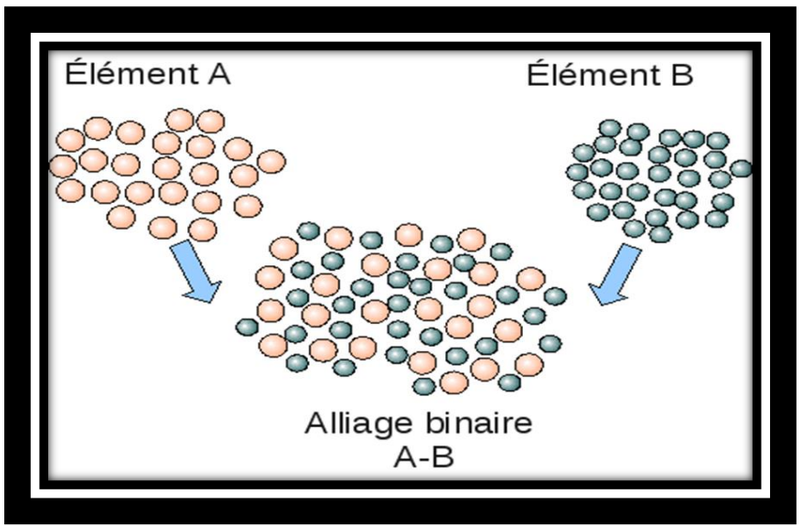
COURS : Technologie Matériels et Composants électriques O.A.J YACOUB

2سبيكة النحاس les alliages de cuivre

سبائك النحاس هي سبائك معدنية تحتوي على عنصر النحاس في تكوينها الأساسي، تتميز بقدرتها الكبيرة على مقاومة التآكل، أكثر أنواع سبائك النحاس شهرةً هي سبيكة البرونز التي تتكون من خلط القصدير مع النحاس، بينما يتم خلط الزنك مع النحاس للحصول على النحاس الأصفر ليطون LAITON .

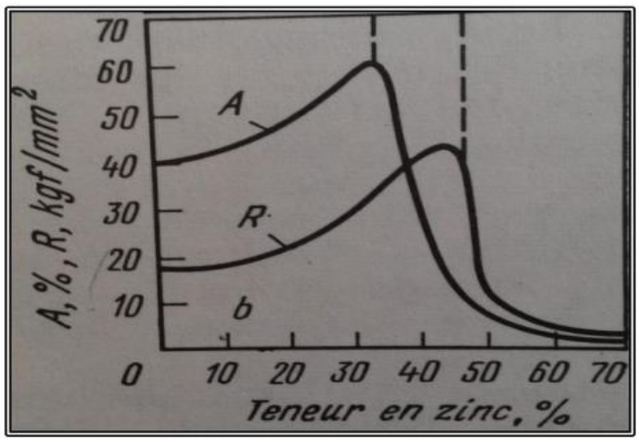
2-1السبائك الثنائية les Alliages Binaires :

عبارة عن خليط قصدي لعنصر النحاس يضاف إليه عنصر ثاني هو القصدير **Sn**) مشكلا برونز(الشكل رقم 7).



الشكل 7: رقم السبيكة الثنائية

او اضافة النحاس الى التوتياء Zn لتحصل على الليطون ،ولا تتأثر الخصائص الميكانيكية لليطون بارتفاع نسبة التوتياء فيه، كما هو الحال بالنسبة للقصدير في البرونز، خاصة إذا كانت نسبة التوتياء أقل من 20%حيث تكون قابلية تشوه المعدن جيدة، مثل ما هو الحال عند النحاس، و كما نلاحظ في الشكل كلما زادت نسبة التوتياء (Zn) في المعدن، كلما ارتفعت مقاومته (،R)و كلما أصبحت خاصية التمدد(A) أعلى، و ينتج عنه قابلية للتشويه أحسن عكس ما يحدث عند ارتفاع نسبة القصدير في البرونز[30].



منحنى 1:تأثير نسبة التوتياء على الخصائص الميكانيكية للنحاس(**I. Lakhtine, 1978**)

2-2-السبائك الثالثية:Ternaire

يتميز هذا النوع من السبائك باحتوائه على ثلاث عناصر معدنية مختلفة تتمثل في البرونز مثال: يضاف إليه عنصر الرصاص،(**Pb Sn Cu**) :أو الليطون بالرصاص(**Pb Zn Cu**) ،كما يمكن العثور على مزيج من نحاس، و قصدير، و توتياء[31](**Sn Cu Zn**): قد شاع استعمال كل هذه السبائك في أوروبا، منذ نهاية الألفية الثالثة إلى بداية الألفية الثانية.)

2-3السبائك الرباعيةQuaternaire :

تتكون من مزيج من اربعة عناصر النحاس، و التوتياء، و القصدير، و كذا الرصاص (**Cu. Zn Sn Pb**) وقد تكون نسبة الرصاص ضئيلة تقدر ب 2 الى 3 **%**[32] الجدول رقم4.

[30]I. Lakhtine ,Métallographie et traitements thermique des métaux ,Moscou Mir ,1978, p399
[31] Michel Pernot , Archéométallurgie de la transformation des alliages à base de cuivre Actes du VIe Congrès international d'Archéologie Médiévale (1-5 Octobre 1996, Dijon - Mont Beuvray - Chenôve - Le Creusot - Montbard) ,pp123-124
[32] Ibid p124

الأقسام الكبرى للسبائك	أنواع السبائك النحاسية		
	برونز	ليطون	سبائك أخرى
السبائك الثنائية	Cu Sn	Cu Zn	-
السبائك الثلاثية	Cu Sn Pb	Cu Zn Pb	Cu Zn Sn
السبائك الرباعية	-	-	Cu Zn Sn Pb

الجدول رقم4: الاقسام الكبرى للسبائك النحاس

4-2 سبيكةالبيلون Billon

عبارة عن سبيكة من النحاس والزنك والفضة تحتوي غالبًا على أقل من 30٪ من الفضة ، ويمكن اكتشافها بسهولة من خلال مظهرها: بيلون الرمادي إذا كان هناك أكثر من 30٪ من الفضة ، والبليون الأحمر إذا كان هناك أقل من 20٪ من الفضة. تم استخدام السبائك في سك العملات ذات القيمة المنخفضة التي لها نفس مسار العملات الفضية الحقيقية ، خاصة في النظام النقدي القديم بشكل أساسي[33] ،تم صنعه من النحاس والزنك والرصاص والقصدير و الفضة.

3 سبائك الفضة:

الفضة من المعادن اللينة التي لا يمكن استخدمها الا بخلطها بمعادن اخرى تكسبها صلابة و تجعلها صالحة لاستخدامها في مختلف الاغراض ، و أهم المعادن التي تختلط مع الفضة هي النحاس ، و النيكل ، و التوتيا ء و الذهب و الكاديوم.

4- سبائك الرصاص:

يختلط الرصاص مع معادن اخرى تكسبه صلابة و اهم المعادن التي تختلط مع الرصاص هي الانتيموان والقصدير و الزرنيخ و النحاس[34].

[33] ChristineMasson ,Les monnaies comment reconnaitre et collectionner les pièces,1977، p6
[34] I. BRONIEWSKI et L. SLIWOWSKI, Sur les alliages p l o m b - a n t i m o i n e, p397

المحاضرة السادسة

خصائص الكيمائية و الفيزيائية للمعادن

1-الخواص البلورية للمعادن

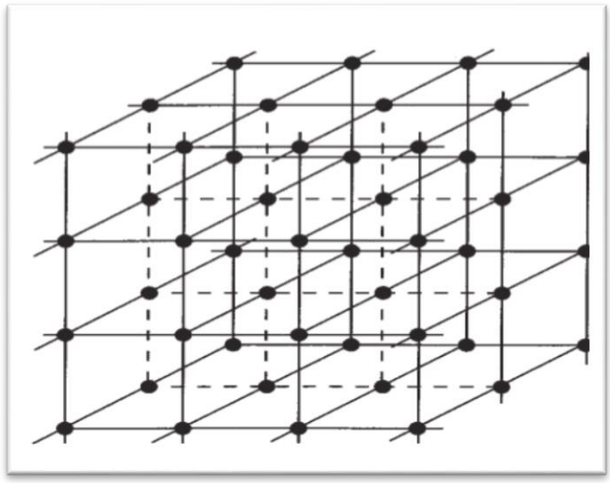
2- الخصائص الفيزيائية

3- الخصائص الكيميائية

1-الخواص البلورية للمعادن

علم البلورات هو ذلك العلم الذي يختص بدراسة البلورات والمواد المتبلورة. والمعروف أن المواد المتبلورة توجد في الطبيعة إما في حالة حبيبات منفرده أو مجموعات. ويمكن تعريف البلورة بأنها عبارة عن جسم صلب متجانس يحده أسطح مستوية تكونت بفعل عوامل طبيعية تحت ظروف مناسبة من الضغط والحرارة، والأسطح المستوية التي تحدد البلورة تعرف باسم أوجه البلورات[35].

نعرف المعدن بأنه كل مادة صلبة متجانسة غير عضوية تكونت بفعل عوامل طبيعية ، ويتميز بأن له بناء ذريا منظما وتركيبا كيميائيا مميزا. يظهر البناء الذري المنظم في هيئة بلورة تحدها أوجه بلورية مرتبة حسب عناصر تماثلية مميزة ، وتميل على بعضها البعض بزوايا ثابتة .(الشكل8)



الشكل 8 :النظام البلوري المكعب البسيط لذرات منظمة

وأن كل معدن يمكن التعرف عليه وتمييزا عن معدن اخر إذا وجد في هيئة بلورة كاملة الأوجه ، أو حتى في وجود بعض الاوجه. ولكن نظرا لأن المعادن توجد في الطبيعة في معظم الحالات في هيئة مجموعات بلورية متجانسة أو غير متجانسة ، وكذلك في هيئة مجموعات معدنية متبلورة ، مثل التوائم ، والبلورات النطاقية ، والمجموعات غير المنتظمة والمجموعات الحبيبية والشجرية والعنقودية .. الخ ، أو تكون بعض المعادن تركيبها الذري غير منتظم تكون غير متبلورة ،مع العلم الذي يدرس البلورة يعرف بعلم البلوراتCrystallographer) .

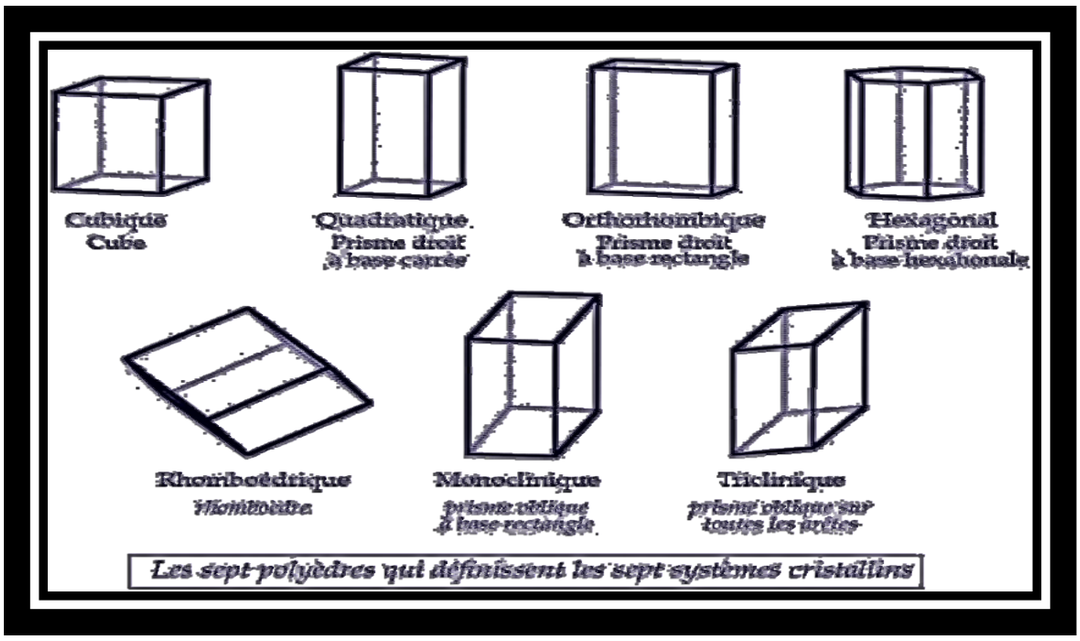
ومن هذا يتضح لنا أن الفرق بين المادة المتبلورة وغير المتبلورة يكون في البناء الداخلي، فاذا كانت الذرات مرتبة في نظام معين فان المادة متبلورة ، أما إذا لم تكون كذلك، أي أن الذرات غير مرتبة ، فالمادة آذن غير متبلورة[36].

وتتخذ البلورات فصيلة على شكل مكعب او ثلاثية ،و رباعية ،و سداسية ، او على شكل معين قائم ، وهي ممثلة في الاشكال التالية: الشكل 9.

---

[35]عماد مخمد ابراهيم خليل ، المرجع السابق، ص9

[36]N'golo Togola, op.cit. p 23



الشكل رقم9 : يمثل مجموعة الاشكال السبعة لنظام البلوري للمعادن

2- الخصائص الفيزيائية:

تختص بالظواهر الناتجة عن القوى الخارجية دون حدوث تغييرات في المادة نفسها ،فاذا طرقت قطعة من حديد فانه يحدث تغيير في شكلها وتبقى المادة نفسها دون تغيير واهم الدلائل التي تحدد الخواص الفيزيائية[37] هي ستة: الانصهارية و الكثافة ، و التمدد ، و الليونة ، والتشكيل و التصفيح و الطرق .

- ✓ **الانصهارية:** قابلية المعادن للانصهار بفعل الحرارة و تحولها من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة وهذا في حالة المعادن الأولى(الذهب و النحاس و الفضة).ففي القديم كان يتخذ من الحطب المورد الأول لصهر المعدن ، وبعدها تم تحسين التقنيات بما في ذلك استخدام الفحم النباتي و رفع درجة الحرارة إلى نسب عالية سمحت بصهر وإذابة معادن أخرى أكثر مقاومة.
- ✓ كما يتميز المعدن بقابليته لتشكيل في القوالب عندما يكون المعدن في الحالة السائلة ويتم تبريده وفي الأخير يأخذ القالب المراد تشكيله.
- ✓ أما الخاصية الثالثة هو قابليته لتصفيح والطرق ، فا لمعادن لا تنكسر عند تعرضها لتشويه خلافا للحجارة ، فهي تحتفظ بالشكل الجديد الذي تكتسبه فالخاصية الطواعية[38] التي تمتاز بها المعادن تسمح بتشكيله ولفه على رقائق و الضغط عليه و الحدادة ،أو بقطعه بأقل سهولة.[39].فالذهب والفضة لهما خاصية أخرى في منتهى القابلية للسحب والطواعية وهما في

[37] الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج،. تقنية مدنية ،خواص و اختبار المواد ، المملكة العربية السعودية ،دت ص11

[38] Khodakov(Y),Epstein(D), Gloriosov(p),chimie minérale, Tome I I .Édition Mir Moscou 1989,P113.

[39] ibid, p113.

حالتهما الطبيعية د ون تسخين، وهذه الخواص تمكن من سحبهما إلى أسلاك دقيقة أو صفائح رقيقة[40].

- ✓ **اللدونة** : هو قدرة المعدن على التشوه البلاستكي * من دون أن ينكسر[41] .
- ✓ كما تتميز المعادن بالكثافة فهي تختلف من معدن إلى أخر ، فهي لا تتمتع بنفس الوزن[42] فالفضة لديها كثافة اقل من الذهب و على سبيل المثال الفضة تمثل الكثافة 10كغ/م^3 في حين الذهب يمثل 19كغ/م^3)[43].
- ✓ الالتحام: وهي الخاصية التي تملكها المعادن والتي تبين مدى قابليتها للالتحام بعضها البعض تحت تأثير درجة الحرارة.

و أخيرا الناقلية الحرارية و الكهربائية وتكون مختلفة بدرجات متفاوتة من معدن إلى أخر بدءا من الفضة ثم النحاس، و الألمنيوم ، ثم باقي المعادن[44].

3-الخصائص الكيميائية:

فالتركيبة الكيميائية للمعادن هي ذات تركيبة بسيطة بالرغم من تنوعها ،فهي مكونة من مجموعة من الذرا ت ، و كل ذرة مكونة من نواة صغيرة ، ومن واحد إلى أكثر من إلكترون تدور حول النواة في جميع أنحاء المدرات بطريقة عشوائية وعلى مسافات محددة دون آن تسبب خللا لميكانيكية الروابط ، فتكون الكترونات المدار الأخير المسماة بالإلكترونات التكافؤ élection d'équivalence هي المسئولة عن الروابط و التفاعلات بين الذرات[45].

ومن بين الخصوصيات الكيميائية للأجسام، خاصية الكهروسلبية، وهي القابلية لأي جسم كيميائي لاجتذاب إلكترونات وفقدانها عند الَتأين، تختلف وتتفاوت هذه الخاصية من جسم لأخر[46]، وهي مرتبة في سلم يسمى بسلم الكهروسلبية.(الجدول رقم02)، مما تتعرض مختلف المعادن لظاهرة الاختزال، و الأكسدة، وهذا حسب طبيعة و تركيبة المعدن القابل للأكسدة، وطبيعة وتركيبة الوسط أو العناصر المركبة للوسط الذي تتواجد فيه[47].

---

[40] هربت ريد ، الفن و الصناعة أسس التصميم الصناعي، ترجمة فتح الباب عبد الحميد و محمد محمود يوسف، عالم الكتب ، القاهرة، 1947 ، ص ص 88-89

*التشوه البلاستيكي هو أن المادة لا تستعيد شكلها الأصلي الذي كانت عليه بحكم انه يحدث قطع في الرابطة بين الحبيبات ، فتغيير خصوصيات البنية البلورية على مستوى نقطة التشويه.للمزيد من التفاصيل ينظر :

Chastel(y),mécanisme physique de la déformation ,matériaux des ingénieur école des mines, paris 2006,p105.

[41] les cahiers de la fonderie, «,Les métaux au fil de l'histoire» C.N.A.S, p 6

[42] Petrov(M),Mikhilev(L),Kou kouchkine(Y) ,chimie minérale, traduit par Elli Bronina, édition mir Moscou 1984, p334.

[43] les cahiers de la fonderie, op.cit., p 6

[44] Khodakov(Y),Epstein (D), Gloriosov(p) ,op.cit., p113

[45] Ibíd., p115.

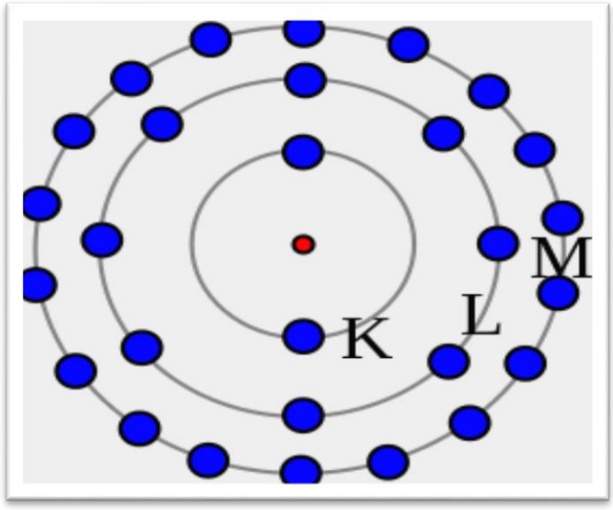
[46] Petrov(M),Mikhilev(L),Kou kouchkine(Y) ,op.cit., p336

[47] Khodakov(Y),Epstein (D), Gloriosov(P), op.cit,115

كما تفتقر المعاد ن في محيطها إلى المستوى الطاقوي من حيث الالكترونات من واحد إلى ثلاثة الكترونات في مدارها الخارجي ، مما يكسبها قابلية فقدانها أثناء التفاعلات الكيميائية لصالح العناصر اللامعدنية (المواد البسيطة)، الماء ، والأحماض، و الأملاح[48] .

هذا المدار بعيد نسبيا عن النواة، ولهذا فإن ارتباط إلكترونات التكافؤ بها يكون ضعيفا، مما يعطي للذرات قابلية للارتباط مع ذرات العناصر غير المعدنية.

يتم تحديد هذه الطبقات بواسطة الأحرف K وL و M وO ،الطبقة K هي الأقرب إلى النواة وتتبعها الطبقات الأخرى، الابتعاد يكون تدريجيا، يمكن أن تحتوي الطبقة K على إلكترونين فقط2 ، يمكن أن تحتوي الطبقة Lعلى 8 الكترون ، الطبقة M على 18 الكترون ، الطبقة N 32، تنقسم الطبقات نفسها إلى طبقات فرعية[49]، في الوسط هي نواة الذرة، مع ملاحظة أن كتلة الذرة تقبع في النواة حيث تضم البروتونات والنيوترونات. (الشكل 10).



الشكل 10: الطبقات الرئيسية التي تكون الذرة

الطبقةL

غلاف فرعي مع 2 إلكترون كحد أقصى.

غلاف فرعي يحتوي على 6 إلكترونات كحد أقصى

الطبقة:M

1غلاف فرعي مع 2 إلكترون كحد أقصى.

1قشرة فرعية مع 6 إلكترونات كحد أقصى.

1غلاف فرعي يحتوي على 10 إلكترونات كحد أقصى

[48] Ibid, p115 .

[49] Guy Murry ,Robert Lévêque , Métallurgie ,DunoD , 3 Edition paris ,p5.

الطبقة:N

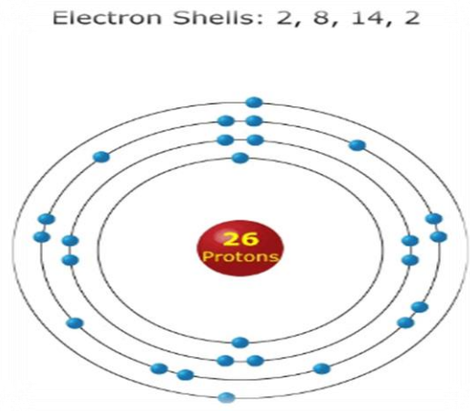
1غلاف فرعي مع 2 إلكترون كحد أقصى.

1غلاف فرعي مع 6 إلكترونات كحد أقصى.

1غلاف فرعي يحتوي على 10 إلكترونات كحد أقصى.

1غلاف فرعي يحتوي على 14 إلكترونًا كحد أقصى.(الجدول رقم5)

الطبقة المليئة بجميع إلكتروناتها مستقرة جدًا ، من ناحية أخرى تميل الطبقة التي يفقد فيها 1 أو عدد من الكتروناتها إلى الملء عجزها عن طريق نقل الإلكترونات المفقودة من ذرة أخرى، و الطبقة الفقيرة في الإلكترونات ، على العكس من ذلك ، تميل إلى إعطاء الإلكترو نأتها إلى ذرة أخرى[50]، فمثلا الحديد يحتوي على الكترونين2 في المدار N و بالتالي ينقصه ينقصه 30 الكترون لتحقيق التشبع pour obtenir la saturation اذن فالحديد يفقد بسهولة إلكترونين من المدار N[51] ،لذلك الميل إلى التأين شحنة موجبة ++كاتيون معدني. (الشكل11).



الشكل 11: شكل توضيحي لتوزيع الإلكترونات في أغلفة ذرة الحديد

[50] Guy Murry ,opcit,p6
[51]Ibid, p 8.

Élément	Numéro atomique	Couches						
		K	L	M	N	O	P	Q
Couche saturée à		2	8	18	32			
H	1	1						
He	2	2						
C	6	2	4					
O	8	2	6					
Al	13	2	8	3				
V	23	2	8	11	2			
Cr	24	2	8	13	1			
Couche saturée à		2	8	18	32			
Mn	25	2	8	13	2			
Fe	26	2	8	14	2			
Co	27	2	8	15	2			
Ni	28	2	8	16	2			
Cu	29	2	8	18	1			
Zn	30	2	8	18	2			
Nb	41	2	8	18	12	1		
Mo	42	2	8	18	13	1		
Ag	47	2	8	18	18	1		
Cd	48	2	8	18	18	2		
Sn	50	2	8	18	18	4		
Pt	78	2	8	18	32	17	1	
Au	79	2	8	18	32	18	1	
Pb	82	2	8	18	32	18	4	
U	92	2	8	18	32	21	9	2

الجدول 4: التوزيع الالكتروني للذرات

المحاضرة السابعة

المواد المصنعة و المراحل الكبرى التي تمر بها المواد المعدنية

1–تاريخ اكتشاف المعادن

2– بداية تعرف الإنسان على المعدن

3 – طرق التصنيع (التعدين)

1–تاريخ اكتشاف المعادن:

تبدأ العصور التاريخية لكل شعب أو أمة بالاهتداء إلى علامات تتوصل بها إلى معرفة الأشياء. لقد طور الإنسان البدائي معيشته التي كرسها للاستطلاع ومتشوقا للاكتشافات، هذه الإرادة القوية تمثلت في اكتشافه للمعدن وتوصله إلى كيفية تحويلها و معالجتها، فأصبحت تمثل المورد الأساسي في تطوير نمط معيشته اقتصاديا و اجتماعيا.

يعود تاريخ استخدام الإنسان البدائي للمعادن إلى عصر يطلق عليه بعصر التعدين paléo métallurgie ، وهي

الفترة التي تمتد بين العصر النيولوتيكي، و فجر التاريخ وعلى حسب الاكتشافات الحديثة فقد تم العثور على أقدم استخدام للمعدن بالعثور على قلادة نحاسية يعود تاريخها إلى حوالي 10.000ق.م بمغارة شانيدار في كردستان ،ولكن على الأرجح أن الذهب هو المعدن الأول الذي استخدمه الإنسان ثم يليه الفضة ،و النحاس نضرا لتواجدهما في حالتهما الطبيعية، أما الحديد و سبائكه ، و البرونز فتاريخ استعمالهما جاء متأخرا.

2– بداية تعرف الإنسان على المعدن:

إن التقديرات التي ذكرناها أنفا تختلف وفقا للمصادر ، فهي تمثل التناقضات المحتملة بين التواريخ والتي لا يمكن اعتبارها مقياسا ثابتا وشاملا في مختلف مناطق العالم وفقا للمرحلة الحضارية لكل منطقة من مناطق أسيا، و أوروبا، و الشرق الأوسط، و إفريقيا[52](الجدول رقم 6).

فقد تطلب استخلاص المعادن وتحضيرها و تصنيفها خبرة طويلة، ويبدو أن الذهب كان أولى المعادن المصنعة لأنه المعدن الوحيد مع النحاس اللذان تواجدا في حالتهما الخام أي الطبيعية.[53]

فقد لفت هذا المعدن انتباه الإنسان خلال أعماله في الأرض نضرا للمعانه و بريقه العاكس للأشعة ولكن ندرته لم تمكنه من لعب دور مهم ،و الأمر نفسه للفضة هذان المعدنان اقتصر استخدمهما في أدوات الزينة و الحلي[54]،إلا أن استخدامه الصناعي غير مستبعد لأنه وجدت بالمقابر ما قبل الفترة البابلية بعض الأدوات كمقص من الذهب[55].

غير أن أكثر المعادن انتشارا و استعمالا هو النحاس نضرا لإمكانية العثور عليه قرب سطح الأرض مختلطا بمواد يمكن صهرها بجهد يسير وتحت درجة حرارة غير عالية ، إضافة إلا انه من غير المستبعد أن يكون القدماء قد اهتدوا إلى استخلاص النحاس في بداية الأمر عن طريق الصدفة، أو بطريقة عفوية. وينسب اكتشاف معدن النحاس إلى عصر البرونز وتدلنا مجموعة من الآثار لبلاد ما بين النهرين ومصر على إ نهم أول من استخدم النحاس في الصناعات اليدوية منذ أوائل الألف السادس 6000ق.م[56]، وفي بلاد فارس و الهند حوالي 3500 وفي الصين.

---

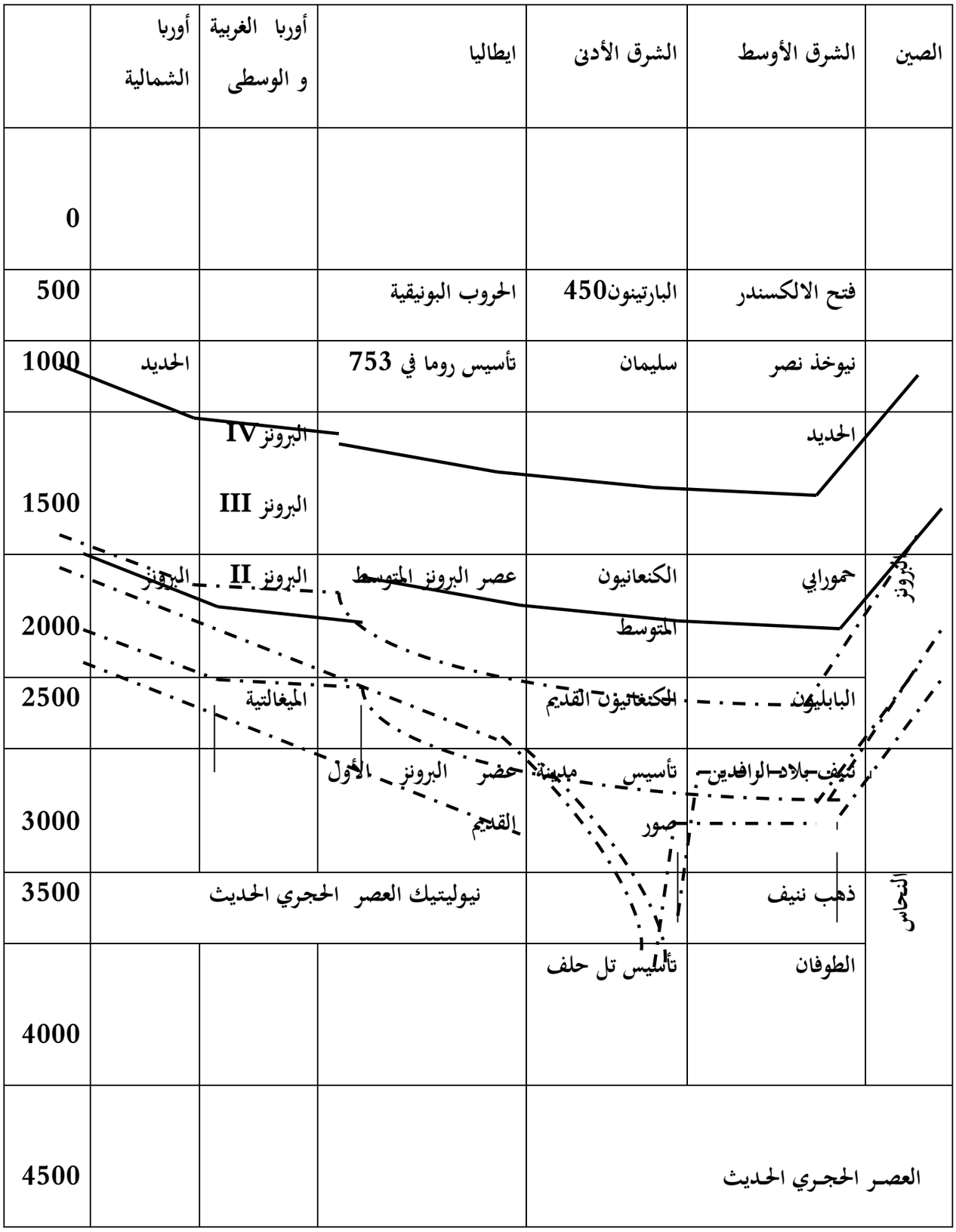
[52] Daniel (D), matériaux analogue archéologique et corrosión ,Andra, Agence nationale pour la gestión des déchets radio actifs, p15.

[1]:حسان حلاق، مقدمة في تاريخ العلوم و التكنولوجيا ،ص79.

[54] Daniel(D), op.cit, p.11

[55] j.A Mauduit mare Nostrum, collection naissance des civilisations ,ed du mont blanc,1966,p.40.

[56]محمد حسين جودي ، فنون و أشغال المعادن ،دار الميسرة للنشر و التوزيع ، الطبعة الأولى ،2007،ص7 .



جدول رقم 6 :يمثل التسلسل الزمني لاستخدام المعادن عبر مختلف حضارات العالم.

واليونان 3000ق.م ، وفي أوروبا الغربية 2500- 2000ق.م[57]، و نظرا لسهولة الحصول على النحاس وتذويبه ،غير انه مشوبا ببعض النقائص التي جعلت استعماله ضعيفا و محصورا فهو سيئ السبك يلحق أضرار بالقوالب المستعملة، و من جهة أخرى هو لين ولا يصلح كثيرا لصناعة العدد،والأدوات ولكن مع اشتراكه في تكوين البرونز أي بإتحاده مع القصدير يكتسب الصلابة وسهولة السبك في الوقت نفسه.(الجدول 6)

[57] Daniel(D), op.cit, p.11

أما الانطلاقة الحقيقية لصناعة البرونز تعود إلى الألفية الثالثة قبل الميلاد، ومن المعقول أن اكتشاف القصدير جاء ليفتح عصرا جديدا في صناعة المعادن ألا هو عصر البرونز، ومن الأجدر أن اكتشاف معدن البرونز كان نتيجة الصدفة نتيجة تواجد العناصر المكونة للنحاس والعناصر المكونة للقصدير قريبة من بعضها البعض، وهذا مما مكن الإنسان من التعرف عليه عن قرب. تواجد هذا المعدن في الحضارة السومارية وإيران وأيضا عند المصريين القدامى، وقد نتج عن الاستعمال الواسع للبرونز تغيير اقتصادي ،و اجتماعي ،على الرغم من كونه اقل صلابة من الصوان، إلا انه أصبح شاسع الاستعمال لكونه معدن نادر وذو منفعة اجتماعية من جهة ولمظهره الذهبي اللامع من جهة أخرى ، هذا اللمعان الذي جعله مثاليا لصناعة الحلي الزينة مثله مثل الذهب الذي يسمح بإبراز السيادة و الثراء لمتلكيه[58].

ثم تلاه فيما بعد اكتشاف الحديد * الذي يعتبر اكبر اكتشاف عرفه الإنسان في مرحلة ما قبل التاريخ شانه شان العصر الحجري ، وعصر البرونز من الناحية التاريخية ،فقد ورد ذكر الحديد في القران الكريم:*"لَقَدْ أَرْسَلْنَا رُسُلَنَا بِالْبَيِّنَاتِ وَأَنزَلْنَا مَعَهُمُ الْكِتَابَ وَالْمِيزَانَ لِيَقُومَ النَّاسُ بِالْقِسْطِ وَأَنزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعُ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللَّهُ مَن يَنصُرُهُ وَرُسُلَهُ بِالْغَيْبِ إِنَّ اللَّهَ قَوِيٌّ عَزِيزٌ"*[59]، فلم تعرفه الشعوب و الحضارات في زمن واحد، فاستعماله جاء في فترات متفاوتة من التاريخ ، فقد كانت المنطقة الشرقية من إفريقيا سباقة في استعماله في حوالي 1000ق.م لكن على الأرجح انه كان معروفا من قبل بحيث لم تكن له أهمية ،فكان بمثابة مادة نجسة و أحيانا مادة ثمينة[60] ،وهذا ربما إن الحديد اعتبر من المعادن الأكثر صلابة وأصعب من حيث التصنيع[61].

و خلال القرن الثالث عشر قبل الميلاد أصبح الحديد المحور الفاعل للتجارة وبدء الإنسان يتمركز في القرى المحصنة، كما عرف تربية البقر و الخنزير وزراعة القمح و الخضر الجافة.

أما تاريخ استعمال المعادن في العصور الوسطى فقد تمكن فيها الإنسان من التعرف على معادن أخرى على شكل معادن غير نقية مثل الزنك و النيكل ، ومثل ذلك على أن الحدادين في القديم لم يتمكنوا من عزل محتوى الزنك عن بقية المعادن الأخرى بصفة نقية ، فقد استخدم على سبيل المثال من حجر التوتياء (calamine) لصناعة النحاس الأصفر (النحاس+الزنك). وبتطور الحياة تمكن الإنسان فيما بعد من اكتشاف 86 فلزا ، سبعة منها فقط استعملت في العصر الوسيط وهي الذهب ،و النحاس، و الفضة ،و الرصاص القصدير، و الحديد و الزئبق[62] هذا الأخير استخدم في التذهيب و الزخرفة والتزين[63].

---

[58] نصر الدين بن طيب، تاريخ الفن من العصر الحجري إلى الفن الغوطي ، منشورات الريشة الحرة،2008 ،ص.44

* يتميز الحديد على غرار البرونز ، بكونه يستخلص من معادن منتشرة بكثرة.

[59] سورة الحديد الآية 25.

[60] Daniel (D), op.cit. ,p18

[61] les cahiers de la fonderie, op. cit,p21.

[62] Daniel(D) ,op.cit., p18

[63] اولكر ارغين صوى، ترجمة الصفصافي احمد القطورى ، تطور فن المعادن الإسلامي منذ البداية حتى نهاية العصر السلجوقي ، المجلس الأعلى للثقافة القاهرة ، ص64 .

وهذا ما يسوقنا إلى القول بأن اكتشاف الإنسان للمعادن كان مرحلة مهمة، و التي يمكن مقارنتها بالأعمدة السبعة التي مهدت لبناء الحضارات .

3 – طرق التصنيع (التعدين):

إن اكتساب تقنية استخراج المعادن بعد الزراعة كان خطوة حضارية كبيرة في فجر التاريخ الإنسانية. فالتوجه التدريجي للإنسان ، وتلك القدرات الابتكارية التي وظفها في حياته ما فتئت تتطور يوما بعد يوم من تشكيله لأدوات حجرية وصوانيه ، مع توصله إلى تقنية معالجة المعادن وتحويلها إلى أدوات و أسلحة مختلفة. فمعالجة المعادن تعد مرحلة بارزة وجادة في تطور الحضارات وهو ما يعرف بعصر التعدين ، ولم يتأتى للإنسان تهيئة المعادن وتحويلها إلا بعد سلسلة من المراحل المتتالية و المحددة حسب المعدن المستخدم ،وعلى هذا المنوال، يمكن تمييز تعدين النحاس ،و البرونز والحديد كل على حدا ، وإذا ما وضعنا جانبا تصنيع المعادن في حالة المادة الخام بالنسبة لذهب، و الفضة والنحاس ،فالتحولات المعدنية الأولى كانت تتم بطرق المعدن وجعله لينا بفعل الحرارة[64]، هذه الطريقة البدائية كانت مستعملة من قبل الهنود الحمر ، فقد كانوا يستغلون النحاس باستخدام التطريق بالحجر حتى يأخذ شكل الأداة، وايضا استعملوا الطريقة نفسها مع خامات الحديد التي كانوا يعثرون عليها . كما استخدمها العراقيون في العهد السوماري وفي العصور التاريخية للاحقة، و عند الفراعنة كاتقنية الطرق على النحاس باردا، هذه التقنية الأولى التي استعملتها الشعوب القديمة لا يمكن اعتبارها مرحلة من مراحل التعدين*[65] ،لان هذه الأخيرة تتطلب استخدام النار وكذا صهر المعدن ،إذن لم يكونوا إلا نحاتي أحجار أسسوا للبوادر الأولى للصناعة المعدنية والتعدين، غير أن هذه التقنية لم تكن كافية لتذويب وصهر الكلي للمعدن وتصفيته من الشوائب ،ولم يتأتى هذا إلا بعد اكتشاف الإنسان للنار التي ساعدته و شكل كبير على رفع درجات الحرارة إلى مستويات عالية[6621] و التوصل في التحكم في العمليات المعقدة التي تتطلبه عملية التعدين ، فابعد انتقال الإنسان من مرحلة الطرق على المعدن باردا إلى مرحلة تحويله إلى سبائك وصفائح لم يتم إلا باختراع الفرن الذي كان المصدر الحراري لتلك التفاعلات الكيمائية ولاستخلاص الفلزات.

---

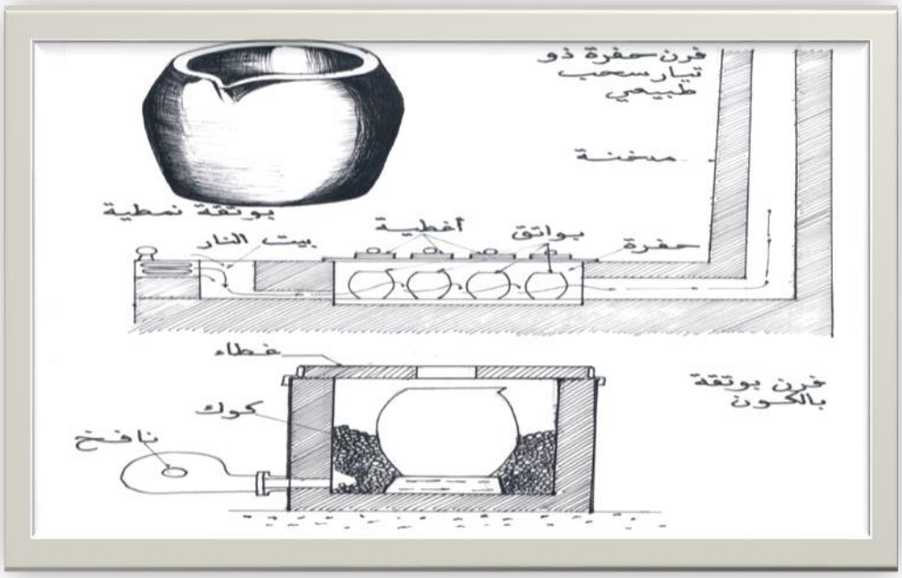
[64] vega (E), « Altération des objets ferreux archéologique du site Glinet », thèse de doctorat, université de technologie de Belfort montheliard, 2004,AnnexesA1/4-A2/4.

* التعدين: هو مجموعة من الوسائل و العمليات المستخدمة لاستخلاص المعدن من فلزاته بفعل تلك التفاعلات الكيمائية التي تتطلب درجة حرارة عالية تسمح بفضل مختلف العناصر من الشوائب للمزيد من التفاصيل انظر:

Nicole Meyer, caroline relier, conservation site et du mobilier archéologique principe et méthodes, UNESCO et document sur le patrimoine culturel,1987,p 60.

1Vega(E), annexe 2, op.cit.

ففي المراحل الأولى كانت تجرى عملية استخلاص المعادن في أفران بدائية تسمى أفران الحفرة Renardière [67] حيث توضع الأوعية (البوتقة)* في الحفرة ، ويوضع حولها الخشب ،وبدافع تيار من الهواء لإشعال الخشب. (الشكل12).



الشكل رقم12: افران الحفرة عن التهامي جاب الله و آخرون

بواسطة منفاخ أو باستخدام مدخنة ،وقد استخدمت هذه الأفران في أواخر العصور القديمة و العصور الوسطى المبكرة في أوروبا وغرب إفريقيا.

ثم تطورت هذه الأفران إلى ما يسمى بالأفران المنخفضة،وهي أفران على غرار أفران الفخار وهي ذات احتراق داخلي لا يتجاوز ارتفاعها المترين، و هي مصنوعة من اللبن ،و الطين المشوي[68] أو الحجارة (الشكل رقم13).

حيث توضع فيها الفلزات التي تكون عادة على شكل أكسيد مع فحم الخشب المحترق، فدرجة التدفئة سوف تسمح بالقضاء على الأكسجين الموجود في الفلزات ، وبالتالي الحصول على معدن نقي[69] ،هذه الأفران البدائية كان يوظف فيها استعمال الأخشاب والحطب كوقود وتدعم بالنفخ بمنافيخ

** هو وعاء يستعمل في إذابة المعادن وصهرها، ذو شكل نصف بيضوي، كان الصائغ في القديم يصنعه بنفسه من مادة الطين الممزوج بقليل من شعر الماعز، وذلك لقاومة التشقق ولكن سرعان ماكانت تلك البوتقات تنكسر بعد عملية او اثنين من التذويب . ينظر: معرض قصر الثقافة، الحلي الجزائرية، الجزائر، المؤسسة الوطنية للفنون المطبعية 1990، ص 17.

***: ثم استجدت تقنيات أخرى كا فحم الكوك ، و الزيت ، او الغاز كوقود بدل من الحطب. .جميع المواد غير الحديدية يمكن صهرها في أفران الحفرة باستخدام فحم الكوك ، كما يمكن صهر حديد الزهر و الصلب في الحفرة باستخدام الزيت و الغاز و قد استخدمت هذه الطريقة في عمل سيوف دمشق الشهيرة. للمزيد من التفاصيل ينظر: التهامي جاب الله و اخرون ، أساسيات سباكة المعادن.سلسلة الكتاب التقني .منشورات الثانوية الفنية طرابلس 2007 ليبيا.ص 286.

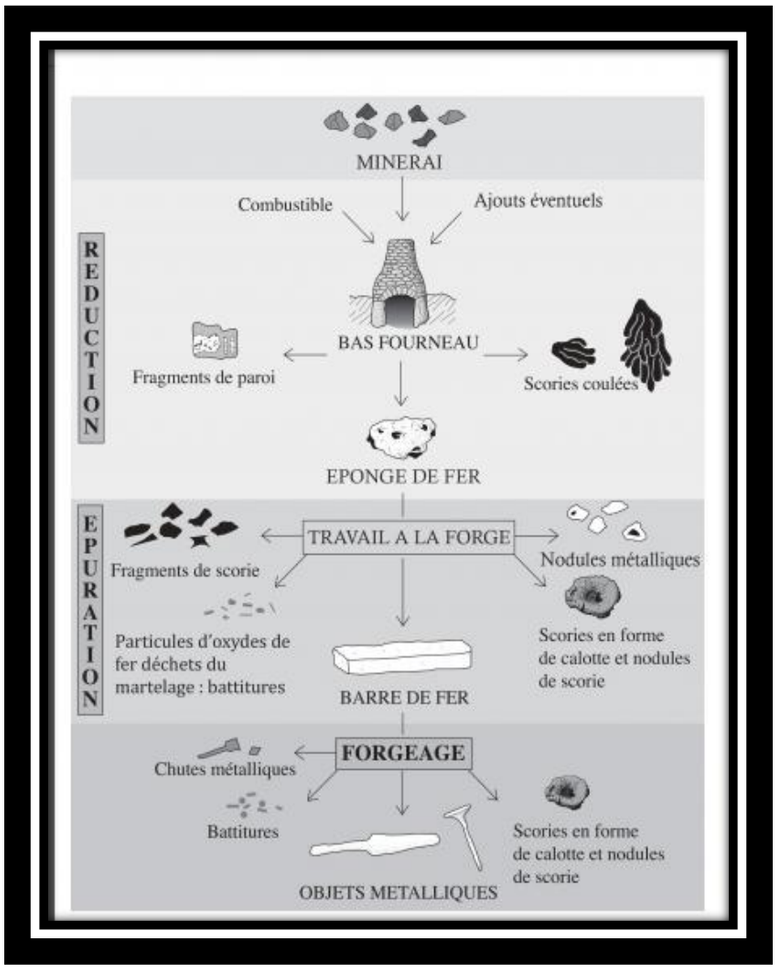
[68] Dossier enseignant, « le fer et l'acier, Voyage en industrie ».cap science 2006 ,p1

[69] cahier de fonderie ,op.cit , pp 32-33

مصنوعة من جلود الحيوانات[70]، إلى غاية انفصال نسبة الشوائب، ولدفع درجة الحرارة للمستوى المطلوب الذي يتطلبه كل معدن[71] ،غير أن بنية هذه الأفران كانت لا تسمح بالصهر الكلي للمعدن منها الحديد الذي كان يتم في الطور الصلب ، ويتطلب درجات عالية تعادل 1535 درجة سينغراد[72] ،وبالتالي لا يمكن الحصول على حديد خالي من الشوائب داخل فرن يستعمل فيه فقط الخشب والحطب كوقود.

كما يمكن تحديد نوعان رئيسيان من السلاسل العمليةchaînes opératoire: الفلزات الحديدية وسلاسل الفلزات غير الحديدية.

في حالة الحديد ، وحتى ظهور أفران الصهر في العصر الحديث ، يتحول الخام إلى معدن حديد بفعل النار في فرن الصهر والذي يعرف بالطريقة المباشرة .méthode directe ، بحيث لا يمر الحديد بالحالة السائلة أثناء عملية التعدين ويكون في حالة عجينةpatte ، يمكن استخدامه "بشكل مباشر" في التشكيل ، على عكس الحديد الزهر ، والذي يجب نزع الكربنة قبل أن يتم تشكيله(.**الشكل رقم 13**).



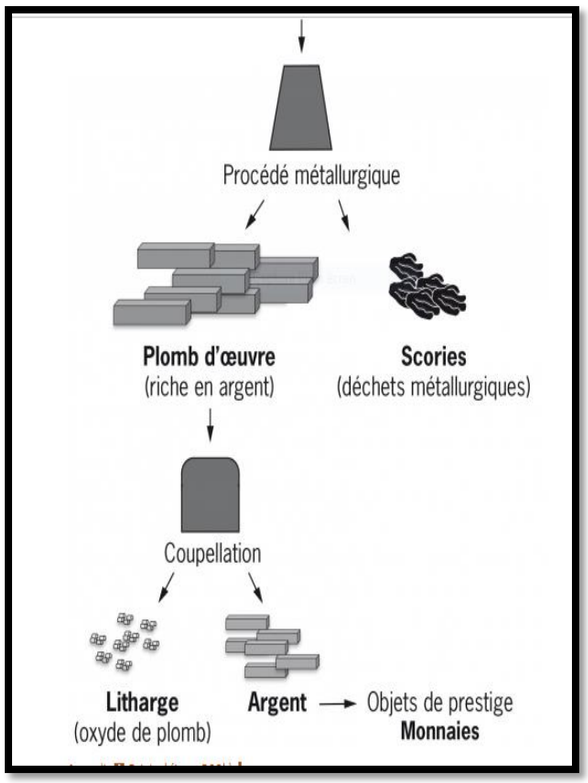
الشكل رقم 13: السلسلة العملية القديمة المبسطة لتشكيل المواد الحديدية

[70] Julie Wood, le livre de la préhistoire l'âge de la pierre polie, Italie 1990,p.65

[71] احمد سقيف الخطيب، و يوسف سليمان خير الله، الموسوعة العلمية الشاملة ،مكتبة لبنان للنشر، ط1،سنة1998،ص.402.

[72] Ledebur (A) , Manuel théorique et pratique de la métallurgie du fer, V. 2, Traduit de l'allemand par Barbary (L) , ed. LPBC, Paris, 1895, p.185.

اما في حالة المعادن غير الحديدية ، توجد العديد من السلاسل العملية chaînes opératoires :اعتمادًا على نوع الفلز، وهي من العمليات الأكثر تعقيدًا وتتضمن كل منها عدة خطوات متتالية قبل الحصول على معدن واحد أو أكثر من نفس الخام (الشكل 14) (يتحول المعدن الى الحالة السائلة مباشرة ، مما يسهل مرور الشوائب إلى الطور المعدني ، على عكس الحديد[73].



الشكل رقم 14: نوع سلسلة العملية المبسطة للمواد غير الحديدية: سلسلة العملية لمحتوى الرصاص والفضة

وبسبب الصعوبات التقنية، طور الصينيون هذه الأفران وهو ما يعرف بالأفران العالية أو أفران الصهر *، الذي يسمح برفع درجات الحرارة إلى مستويات عالية ولحصول على حديد الزهر** سنة 513 ق.م، وظهرت هذه الأفران بالتحديد بالغرب وأصبحت القوة المائية توظف في إدارة حركة المنافيخ مما سمح برفع درجة الحرارة إلى غاية ذوبان الحديد(الشكل03)[74]. فاستخدام الأفران العالية سمح بإنتاج كميات كبيرة من المشغولات التي لا غنى عنها :كالأواني، القدور، الطباعة ، المدافع المراسي (مثبتة الدعامات) واستمرت هذه الأفران إلى بداية أوائل القرن 18م ، فقد تولدت اعتبارات عملية أخرى كبيرة سوف تحد من إنتاج الحديد والحاجة إلى إنتاج حديد الزهر** بكثرة، فكثر الطلب على إنتاج كميات من الفحم مما أدى إلى التهام غابات بأكملها[75]،و إلى جانب خطر إزالة الغابات سوف يتسبب أيضا

---

[73] Baron S. et Coustures M.-P. ، "Apports et limites des méthodes isotopiques pour restituer la circulation des métaux aux périodes anciennes، *Les nouvelles de l'archéologie*, 2015, no 138, pp. 35-39.

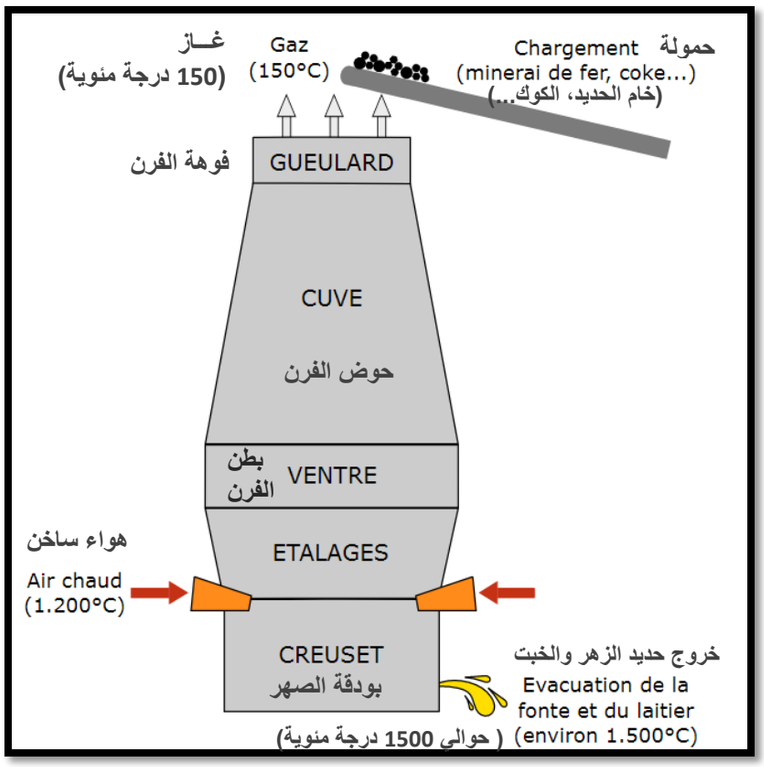
* يصل ارتفاع هذه الأفران إلى حوالي خمسة أمتار،ويكون الحوض فيها بشكل اسطواني وهو مبني من الداخل من الأجر لمقاومة الحرارة ويغطى بدرع مشكل من روافد معدنية ينظر : رفعت معدرابي، منشورات المكتبة العصرية للطباعة و النشر،صيدا بيروت، 1956ص.9

**هو معدن سريع الكسر يذوب في درجة حرارة تتراوح ما بين 1100°-1255° مئوية يحتوي على كمية من الفحم تتراوح نسبتها من 2الى 6 بالمائة.

[74] Dossier enseignant, op.cit., p2.

[75] cahier de la fonderie, op.cit., p 34

بزوال الأنهار المتدفقة التي بفضلها تشغل الطاحونات التي تدار بالقوة المائية، والتي تدعم تزويد الفرن بالأكسجين، وكانت هذه الأفران تشغل سوى لستة أشهر من السنة (من أكتوبر إلى مارس)، وهي فترة فيضان الأنهار، ونتيجة الصعوبات و المشاكل أجبرت صانعي الحديد على البحث عن بديل للفحم النباتي و يتمثل في الفحم الحجري[76]* (فحم الكوك).الشكل 15.



الشكل رقم15: مخطط للفرن العالي

لقد ضلت المعادن بمختلف أنواعها تتمتع بازدهار منقطع النضير بين جميع الشعوب وفي مختلف العصور ، ومع بزوغ النهضة الأوروبية التي جاءت أعقاب الثورة الفرنسية وعليه تطلبت هذه المرحلة كميات كبيرة جدا من المعادن خاصة الحديد ، و الفولاذ مما دفع الكثير من العلماء إلى ابتكار طرق جديدة لإنتاج المعادن وصهرها بكميات كبيرة وبسرعة اكبر، وهكذا أصبح للمعادن علم قائم بذاته.

* فحم الكوك تم استعماله لأول مرة بإنكلترا بدءا من سنة 1709، وقود يستخلص من كربنة أو تقطير الفحم وبعبارة أخر يتحصل عليه من الكربون النقي عن طريق القضاء عن القطران للمزيد من التفاصيل ينظر :

Jerry mark, émission de l'industrie du métal،annexe4, 2006, p 2 .

المحاضرة الثامنة

المواد المعدنية المستخدمة في التصنيع و خصائصها

1-المواد الأولية:

1-1-الذهب:or

1-2النحاس:Le cuivre

1-3-الفضة:l' argent

1-4القصدير(Sn) L'étain

1-5-الرصاصplomb

1-6- البرونز:bronze

1-7الحديد:fer

استعمالات المعادن في التصنيع

1-المواد الأولية:

شكل الإنسان منذ القدم شتى أنواع الصناعات التي استخدمها في حياته اليومية، وهذا بعدما تعرف على المعادن بمختلف أنواعها و التي يمكن حصرها في ما يلي:

1-1-الذهب:or

على الأرجح أن أقدم المعادن استعمالا هو الذهب الذي يعود تاريخ استخدامه إلى 6000ق.م، فبريقه ولمعانه أثار فكر الإنسان لامتلاكه ،كما أن لونه سمح بالتعرف عليه بسهولة سواء في الصخور والحجارة و الحصى وفي الأرض[77] ،و المجاري الجبلية ، أو بين الترسبات على شكل سبائك صغيرة أو على هيئة رماد أو فتات[78].كما اعتبر الذهب من أثمن و أغلى المعادن منذ القدم كونه لا يتغير مهما كانت ظروف حفظه.(**الصورة رقم10**).

فقد ذكر الذهب في مواضيع عدة من القران الكريم قوله تعالى " زُيِّنَ لِلنَّاسِ حُبُّ الشَّهَوَاتِ مِنَ النِّسَاءِ وَالْبَنِينَ وَالْقَنَاطِيرِ الْمُقَنْطَرَةِ مِنَ الذَّهَبِ وَالْفِضَّةِ[79] "

والذهب هو عنصر فلزي لين وطري سهل الطرق والسحب[80]، تعمل منه صفائح رقيقة موصل جيد للحرارة، ونشاطه الكيميائي ضئيل، يتركب المعدن كيميائيا من عنصر الذهب ولو أن غالبا يحتوي على كميات متفاوتة من الفضة قد تصل الى40% ،كذلك يحتوي على الحديد ،و الرصاص ،و البزموت، ويعرف الذهب الذي يحتوي على كميات

عالية من الفضة (من 20إلى 40%باسم الاليكتروم)[81] .ويمكن التطرق إلى خصائصه في فيما يلي:

الرمز الكيمائي	رمزه Auمشتقة من الكلمة اللاتينية aurum تعني اللمعان.
مميزاته	نادر وغالي الثمن، للين ومقاوم للأكسدة.
خصائصه	الذهب ناقل جيد للحرارة ،قادر على نقل تيارات كهربائية ضعيفة مع درجة حرارة تتراوح من 55-200م°
استعماله	تكلفتها عالية وذلك بسبب ندرتها، يحد استخداماتها في الصناعة الفاخرة (مجوهرات تستهلك 75٪ من الإنتاج)، والإلكترونيات المتقدمة.
درجة الانصهار	1064،18م°
سبائكه	لجعله أكثر صلابة يضاف إليه نسب قليلة من الفضة و النحاس. كم حضي الذهب بتقدير كبير في العصور القديمة.[82]

[77] les cahiers de la fonderie, op.cit. p 10

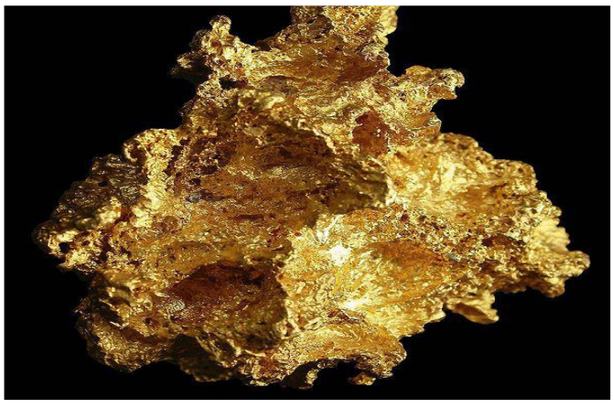
[78]محمد فتحي عوض ، الإنسان و الثروات المعدنية ،عالم المعرفة الكويت ،1990، ص107

[79]الآية 14 سورة أل عمران.

[80]حنان عبد الفتاح مطاوع، الفنون الاسلامية حتى نهاية العصر الفاطمي ، ط1 دار الوفاء للطباعة و النشر القاهرة 2011، ص.185

[81]عماد محمد ابراهيم خليل، المرجع السابق، ص 185

[82] les cahiers de la fonderie, op.cit. p11



الصورة رقم10: المادة الخام لذهب

1-2النحاس:Le cuivre

يعتبر النحاس من أقدم المعادن التي عرفها الإنسان ، فهو لا يوجد كفلز خالص في الطبيعة مثل الذهب ،و لكنه يستخلص غالبا بطرق صناعية من خاماته[83]،كما يعد من المعادن الواسعة الاستخدام في التطبيقات العملية ، ينسب اليه العصر النحاسي chalcolithique التي تعود جذوره إلى الإغريق التي تعني khalkos (النحاس) وlithos(الحجر) ، يتميز النحاس بلون احمر سلموني و هو اللون الطبيعي، و نظرا لمتانته فانه قابل لمختلف عمليات الطرق[84]، و التشكيل والضغط كما يمكن لحامه بسهولة ،تصنع منه أغراض كثيرة كقضبان الأبواب ،الحنفيات والآلات الموسيقية والأواني النحاسية[85]. ومن سبائك النحاس القصدير و الزنك و ألمنيوم و الرصاص السليسيوم .(**الصورة 11**).

الرمز الكميائي	رمزه الكميائي cu مشتق من الكلمة اللاتنية cuprumوهي نفسها مستمد من كلمة (chypre)جزيرة بقبرص تملك مناجم المعادن التي استغلت من قبل الرومان.
مميزاته	النحاس النقي يمتاز بطواعيته، وليونته وبسطحه ذو اللون الوردي السلموني.
خصائصه	معدن قابل للسحب مع ناقلتيه الجيدة للكهرباء ، و الحرارة مما أعطته ميزة خاصة من خلال استخداماته المتنوعة.
.استعماله	يستخدم النحاس في صناعة النقود و الأسلحة و الأنابيب، بالإضافة إلى الأسلاك الكهربائية.
درجة الانصهار	1 084,62 م°.
سبائكه	يدخل في تكوين العديد من السبائك كالبرونز (القصدير و النحاس) و القصدير(النحاس والزنك)[86] .

[83] الفريد لوكاس، المواد و الصناعات في مصر القديمة ،ترجمة زكي اسكندر وزكريا غنيم، القاهرة، 1991،ص .327

[84] les cahiers de la fonderie, op.cit. p 12

[85] البستاني بطرس، محيط المحيط ، مكتبة لبنان ،ساحة رياض الصلح بيروت، 1987،ص. 882

[86] les cahiers de la fonderie, op.cit, p 14

الصورة رقم 11 :المادة الخام لنحاس

1-3-الفضة:l' argent

الفضة مادة فنية من أصل رفيع لا تختلف كثيرا من حيث استخدامها الفني عن النحاس، ولكنها تمتاز ببياضها وسرعة تأكسدها عند تعرضها للهواء[87].فهو معدن تقريبا غير قابل لتلف والصدأ. (الصورة12)

وتوجد الفضة في الطبيعة فلزا خالصا وغير خالص، فالفلز الخالص يوجد بكميات قليلة فقط وتكون الفضة في هذه الحالة نقية تقريبا على شكل بلورات ابرية، أو شبكية ، أو شجرية، وتوجد نادرا على شكل كتل صغيرة، أو صفائح رقيقة، كما توجد أيضا مختلطة بكل أو جل الذهب الموجود بالطبيعة بنسب مختلفة[88] وبالرصاص و النحاس والنيكل.

الرمز الكيميائي	الرمز الكيميائي Agلمشتقة من الكلمة اللاتينيةargentum
مميزاته	تعد الفضة الأكثر قابلية للنشاط الكيميائي ضمن تصنيف المعادن الثمينة ،تصنف في المرتبة الثانية في خاصية اللدونة وقابلية الطواعية والسحب بعد الذهب .كما انها مستقرة عند تعرضها للهواء النقي و الماء ولكن تعتم بطبقة سوداء عند تعرضها للأكسيجين.
خصائصه	هو أفضل موصل للكهرباء ولكن تكلفته العالية لا تسمح باستخدامه دائما .
استعماله	تستخدم في مجالات عدة منها التصوير و صناعة المجوهرات و الالكترونيات ،كما تستخدم في التطبيقات الصناعية و الأشعة السنية و التصوير الطبي.
درجة الانصهار	961,78م°.
سبائكه	يطلق على سبيكة الفضة و الذهب الكتروم électrum. نجده في الطبيعة بنسب متفاوتة .واهم المعادن التي تختلط مع الفضة النحاس و النيكل و التوتياء [89] و الذهب لتكسبها الصلابة و المتانة.

[87] مانويل جوميت مورينو ،الفن الإسلامي في اسبانيا ، ترجمة الدكتور لطفي عبد البديع ، و السيد عبد العزيز سالم، الدار المصرية للتأليف والترجمة ، القاهرة، 1968، ص402.

[88] الفريد لوكاس ، المرجع السابق ، ص 387

[89] les cahiers de la fonderie ,op.cit, p.12

الصورة رقم 12: المادة الخام للفضة

1-4القصدير(Sn) L'étain

يمثل القصدير 3% من القشرة الارضية ،ولا يوجد القصدير في الطبيعة كمعدن نقي، لكن مكتل في الصخور كالحجر القصدير cassitérite ،اكبر خام القصدير هوSnO2 ثاني أكسيد القصدير ، الذي يحتوي على 78% من القصدير ،يوجد على شكل سبائك ذات لون ابيض المائل إلى الرمادي[90] ،لامع كلما فرك ، يعد من سبائك النحاس عند دمجهما يتحصل على البرونز[91]، ويمكن اعتباره من المعادن الثمينة ،لين و صلب مقارنة بالرصاص ولكن أكثر ليونة من الذهب[92] .(الصورة 13).

الرمز الكيميائي	رمزه**Sn** المشتق من الكلمة اللاتنية stannum
مميزاته	معدن رمادي ، فضي.
خصائصه	القصدير معدن لين و قابل لطرق ومقاوم لتأكل ، ولكن يمكن أن يتأثر بالأحماض القوية
استعماله	يستعمل القصدير في تغطية الأواني ، تغطية صفائح الفولاذ بطبقة رقيقة من القصدير التي تستخدم في التعليب. وفي القطع النقدية.
درجة الانصهار	231,928م°.
سبائكه	دمجه مع النحاس يتحصل على البرونز. سبائك الرصاص-القصدير تسمى أحيانا المعدن الأبيض، فهي سبائك شائعة جدا منذ العصور القديمة خاصة على الأواني[93]

[90] Pelkan Wilhelm, les sept métaux, s.d, p27

[91] Québec, « métaux, guide pour la conservation des arts public », centre de conservation 2008, p9.

[92] Pelkan Wilhelm, op.cit,p 28.

[93] Les cahiers de la fonderie, op. Cit, p13.

الصورة رقم 13: المادة الخام للقصدير

1-5-الرصاص plomb :

لا يوجد الرصاص في الطبيعة كمعدن نقي ، بل يتم الحصول عليه عن طريق استخلاصه من فلز الجالن (galène) الذي هو كبريتيد الرصاص .فهو معدن لين و ثقيل وغير ثمين ، ينكسر بسهولة أثناء التصفيح[94]،و وجوده في السبيكة يساهم في تخفيض درجة انصهار النحاس ،كما ينتج عنه سيولة عالية لتشكيل الأدوات بالقولبة . ،لذا لم يستعمل إلا نادرا في العصور القديمة .تلخص استعماله في تلوين الزجاج والفخار، وفي إنتاج مستحضرات التجميل الكحل ووضع الأختام على الزير(الأمفورات)[95]،ناقليته الحرارية سيئة، مقاومته الكيمائية ضعيفة لمختلف عوامل التلف كالأكسجين و حمض الكربونيك ، الرطوبة تتلف سطحه الناعم.(الصورة 14)

الرمز الكيميائي	رمزه الكيميائي pb المشتق من الكلمة اللاتنية plumbum
مميزاته	الرصاص معدن ذو للون رمادي مزرق لين، تبيضه يكون بصفة تدريجية عن طريق الأكسدة.
خصائصه	يمتاز بخاصية اللدونة و الطواعية وقابل لتصفيح و الطرق ، وغير قابل لتأكل ، يذوب في درجة حرارة منخفضة 327م°
استعمالة	خص في الماضي باستخدامه في مد خط الأنابيب .أما اليوم نجده يستخدم في بطاريات السيارات و أيضا في شكل سبائك لدى أطباء الأسنان لعلاج تسوس الأسنان .كماله القدرة على امتصاص الأشعة السينية ،كما يوفر الحماية ضد الإشعاع في الصفائح المعدنية.
درجة الانصهار	327 °
سبائكه	القصدير والانتيمون ،تم استخدام سبائكه في تركيب حروف الطباعة ويطلق عليه الرصاص الطباعي typographique[96]

[94] wilhem Pelkan ,op.cit ,p16
[95] Dossier pédagogique op.cit. , p18
[96] les cahiers de la fonderie, Op.cit,p18

الصورة رقم 14 :القالن الذي يحتوي على الرصاص

1-6- البرونز:bronze

سبيكة مختلفة تتركب كلها أو جلها من النحاس و القصدير وقد تصل نسبة القصدير فيها حتى 20بالمئة[97] ، غير أن بعضها يحوي أيضا و بنسب صغيرة عناصر أخرى مثل الزنك و الفسفور والألومنيوم، يمتاز بصلابته و تماسكه، و سهولة صهره و قابليته للطرق[98] ، وهذا بعدما تعرف الحدادون القدماء على مادة القصدير أولا ثم أضافوه إلى النحاس لإعطائه المتانة و الصلابة[99]،وعرف هذا العصر إلا في المناطق التي تتوفر فيها خامات النحاس و القصدير، و باعتبار بلاد ما بين النهرين(أور وسومر)أولى المدن لاستخدمهم لأولى الأدوات من البرونز المصبوب. كما يتميز البرونز بالليونة والسيولة ، لذا يستعمل بكثرة في تقنية الصب ، إضافة إلى تماسكه عند التجمد[100] ، أما لونه يتراوح بين الأحمر الذهبي، و الأصفر الذهبي ،كم يمتاز بمناعته ضد الصدأ أو التآكل[101].

نشير إلى أن ارتفاع نسبة القصدير في السبيكة، يلعب دورا هاما في التأثير عل الخصائص الميكانيكية للنحاس، فالبرونز الذي يحتوي على أكثر من 4%من القصدير، تكون درجة مقاومته (R) في ارتفاع (كلما زادت مقاومة المعدن زادت صلابته)، خاصة لما تصل نسبة القصدير(Sn) (إلى اكثر من ،10%و بالمقابل تضعف خاصية تمدد (A) السبيكة، مما يتسبب في نقص قابلية تشكيل المعدن،لان السبائك الغنية بالقصدير قد يؤدي إلى كسره[102](.**المنحنى البياني رقم2**)

---

[97] محمد حسين جودي،المرجع السابق، ص18

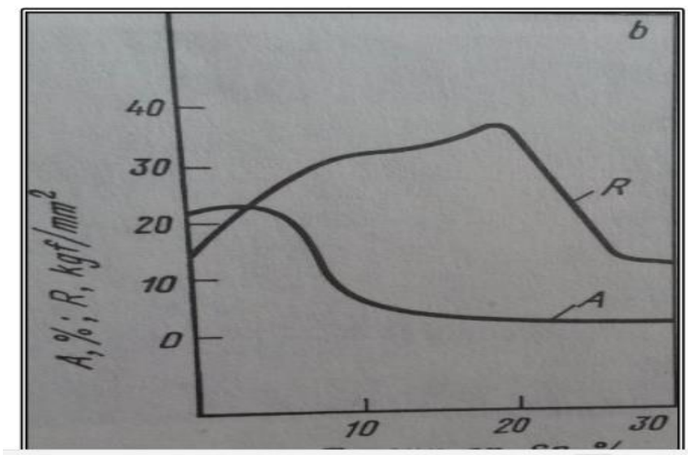
[98] الفريد لوكاس ، المرجع السابق ، ص 352

[99] les cahiers de la fonderie ,op.cit, p19

[100] Thiery(E) , "Argent" ,in g.e,tome3, paris, S.D .p838

[101] الإدارة العامة لتصميم و تطوير المناهج، المرجع السابق ،ص 6.

[102] Bensaada s., METAUX et non ferreux , https://www.univ-biskra.dz › enseignant › bensaada



رسم بياني2: تأثير نسبة القصدير على الخصائص الميكانيكية للنحاس.

(I. Lakhtine, 1978

تنخفض نقطة انصهار البرونز، كلما زادت نسبة القصدير في المعدن فبينما يذوب النحاس في درجة 1083م°، تنخفض هذه الدرجة إلى حوالي 1025م° بوجود 10%من القصدير في المعدن، و بإمكانه أن يذوب في 900°م إذا وصلت نسبه القصدير إلى% 20 ،كما يتميز البرونز بسهولة قولبته كلما زادت نسبة القصدير فيه، على عكس النحاس الذي يعرف بسوء قولبته.

1-7الحديد:fer

يعد الحديد المعدن الأكثر شيوعا و استعمالا مقارنة بالمعادن الأخرى نظرا لصلابته ،ومقاومته لكل الظروف القاسية[103]، فقد كان الاستيلاء على هذه المادة خطوة كبيرة في تاريخ المجتمعات ،لاسيما على التكنولوجيا الزراعية ودورها في تأسيس مراكز القوى لدى الحضارات القديمة .

فالفلزات الحديدية هي المادة الخام التي يستخرج منها الحديد ويكون على شكل اكاسيد بسيطة بمعنى انها تحتوي على الأكسجين و الحديد: ونجدها على ثلاث حالات :

الهيماتتيت L'hématite α–Fe203

الماهميتla magnétite γ – Fe203

المانيتيت) la magnétite Fe304 [104]

فهو معدن صلب مكون من بلورات ، تشكل البنية البلورية للحديد، قابل للتطريق و السحب ،و يصدأ الحديد بسرعة اذا ما تعرض للهواء الرطب المحتوى على بخار الماء ،يتأكسد و يكتسي طبقة رقيقة هي أكسيد الحديد ، تسمى

[103] هربت ريد ، الفن و الصناعة أسس التصميم الصناعي، ترجمة فتح الباب عبد الحميد و محمد محمود يوسف، عالم الكتب ، القاهرة، 1947 ص89.

[104] Reguer (S) , « Phases chlorées sur les objets archéologiques ferreux corrodés dans les sols: caractérisations et mécanismes de formation » , Thèse de Doctorat Université Paris XI Orsay, 2005 p213.

الصدأ، مادة مسامية منفذة للهواء)هذه الخاصية تسبب في أكسدة الحديد بشكل بطيء ،ولكن يكون شاملا على القطعة الحديدية[105]. (الصورة 15)

الرمز الكيميائي	رمزه الكيميائي fe المشتقة ن الكلمة اللاتينية.ferrum
مميزاته	خواص ميكانيكية مميزة، يستعمل في الصناعة بالمقابل الحديد يصدأ بسرعة عند تعرضه للأكسجين مما يتسبب في تلفه كاملا .
خصائصه	موصل و ممغنط.
استعماله	يبدء تاريخ استعمال الحديد بدءا من تاريخ تسميته بعصر الحديد .اكتشافه كان بمثابة نقلة مهمة لصالح الثورة الزراعية و الفنون العسكرية.
درجة الانصهار	1538م°
سبائكه	مع الكربون 2% يتحول الحديد الى الصلب .سبائكه مع الكربون (الصلب و حديد الزهر) سمحت بإنتاج كميات ضخمة لصالح الصناعة[106].

الصورة رقم15 : الهيماتيت الذي يحتوي على الحديد

[105]école nationale des mine<< expo atelier sur les métaux>>, 158fauriel saintetienne,2003, p8

المحاضرة التاسعة

العوامل المؤثرة على المواد المعدنية

1-مصادر تلف المقتنيات المعدنية

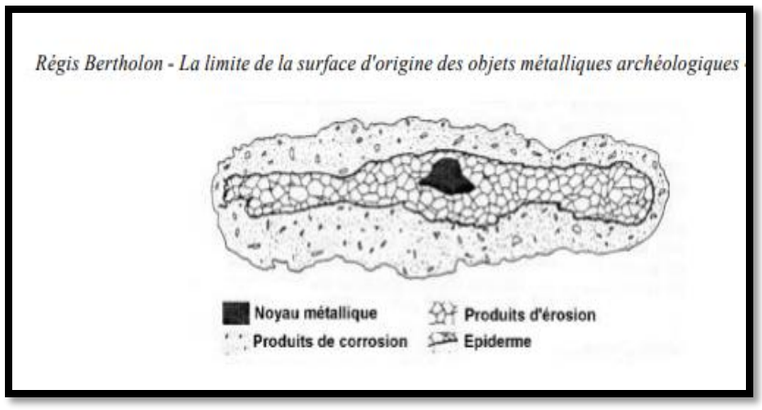
2-طرق التصنيع القديمة وعلاقتها بتآكل المعادن:

1–مصادر تلف المقتنيات المعدنية :

تتعرض اللقى المعدنية عبر مراحلها التاريخية بدءا من مرحلة التصنيع و الاستعمال الى غاية الترك عوامل عديدة، وهذه العوامل المدمرة يمكن أن تكون بشرية أو طبيعية، وكيميائية، أو فيزيائية ومن بين المظاهر الفيزيائية للمناخ هي درجة الحرارة ،و الرطوبة و التلف البيولوجي.

1–1–وسط الدفن:

ان العوامل التي تتحكم في عملية صدأ المعادن المدفونة في التربة، هي درجة حموضة ،أو قاعدية التربة ودرجة مساميتها ودرجة تشبعها بالرطوبة، ووجود أملاح ذائبة في مياهها، آلا ان وجودها في المتاحف تحت تأثير الرطوبة والأكسجين أو غيره مثل غاز ثاني أكسيد الكبريت، وغاز كبريتيد الهيدروجين الموجودة كشوائب غازية في الجو ،يسبب تكون طبقة صدأ سطحية من أكاسيد ،وكبريتات ، و كبريتيدات هذه المعادن ، ومن ناحية أخرى، فإن نواتج الصدأ الكثيفة التي تتكون على سطوح الآثار المعدنية، تخفي في الواقع حقيقة مادة هذه الآثار، وذلك بسبب قابلية المعادن للصدأ حسب موقعها في السلسلة الكهروكيميائية، فمثلا إذا تعرضت سبيكة من النحاس والفضة للصدأ، فإن ما يظهر على سطحها يتألف أساسا من نواتج الصدأ الخاصة بالنحاس، وهذا بطبيعة الحال يخفي حقيقة مادتها، كما أنه في كثير من الحالات تخفي طبقة الصدأ الكثيفة أو السميكة معالم الأثر والحالة التي يوجد عليها[107].(**الشكل16**).



الشكل رقم 16: مقطع عرضي لطبقات التأكل على المعادن

قبل التطرق إلى أبرز خصائص هذا الوسط البيئي الانتقالي بين مناخ الأثر، وعصره ومناخ عصرنا الذي تحتفظ في كنفه وحمايته بأقل الخسائر، هذا الأثر الذي لم يختر لنفسه لا مناخ وسط الدفن الذي ينقبها الأثري بحثا عليه ، والذي لم ينشأ من أجله أصلا ،ولا مناخ الفترة المعاصرة المشبعة بغاز الاكسيجين المساعدة على التغيير المفاجئ ،وما يصحبه من مضاعفات سلبية ساعة ملامسة الأثر المطمور لأول مرة ،كتغيير الألوان وفقدان اللدانة الطبيعية بالجفاف، أو التشقق و التقشر، هذه الخصائص يمكن حصرها فيمايلـــــي:

[107] عائشة حنفي خواص مادة النحاس و طرق علاجها ، مجلة الدراسات الاثرية ، معهد الاثار الجزائر، ص340

1-1-1 الحرارة :

وهو ما يعني قلة درجة الجرارة لوسط الدفن الذي من شانه المحافظة على استقرار درجة الحرارة في مستويات أدنى من مستواها على سطح الأرض و بالتالي ارتفاعها المفاجئ على الأثر يشكل له أتعابا واجهادات كبيرة.

1-1- 2 – نسبة الرطوبة:

النابعة من ثلاثة مصادر أساسية، المياه الجوفية الصاعدة من الأسفل ، ومياه الأمطار و الثلوج المتسربة من الأعلى ، وبرودة المكان بسبب انعدام الاضأة فيه ، حيث كلما كان الأثر في مستوى أعمق من سطح الأرض كلما قلت درجة موضعه في المقابل زيادة نسبة الرطوبة.

1-1- 3- الاحتكاك بين الاثر ووسط دفنه:

تؤدي عملية الاحتكاك المباشر بين الطرفين في هذا المقام إلى حدوث تفاعلات كيمائية بين الطرفين غالبا ما تكون في غير صالح الأثر، كما يمكن لمس ذلك بوضوح في أثار الصدئ التي تكتنف المكتشفات الأثرية المعدنية.

1-1- 4- الاملاح المعدنية و الاحماض الكيميائية :

نتيجة الرطوبة النسبية العالية لوسط الدفن ، تحولت هذه الأخيرة الى ناقل أساسي للأملاح المعدنية الموجودة بتربة ذلك الوسط على الأثر ساعة الاحتكاك المستمر بين الطرفين الذي عادة ما نجدها على سطح الأثر المكتشفة على شكل طبقة رفيعة بيضاء اللون شديدة الالتصاق بالأثر ،أحيانا هذا بالنسبة للأملاح ، أما بخصوص الأحماض الكيمائية التي تفرزها مصانعنا الحديثة التي تشبع بها الجو في يومنا هذا ،و أدت الى ثقب في الأوزون الواقية ،و المساهمة في رفع درجة حرارة الأرض أكثر من المعتاد، فقد انتقلت أضرارها هي الأخرى إلى باطن الأرض عن طريق مياه الأمطار والثلوج التي تشربتها التربة ،و عادة أثاره واضحة على بعض البقايا الأثرية في شكل بقع متميزة اللون على الأثر (أكسيد الكبريت و أكسيد الكربون.)

1-1-5-التأكل البكتيري:

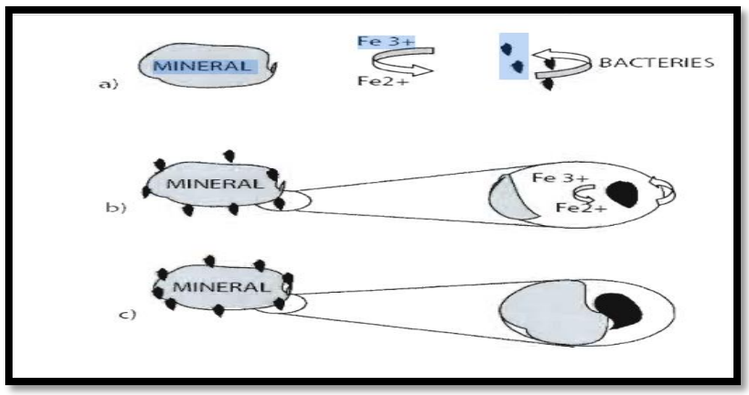
هو هجوم بكتيري لمواد معدنية في وسط الدفن، لان التمثيل الغذائي لبعض البكتيريا ينتج حمض الكبريتيك وبالتالي تشكل وسط كهروليتي مؤكسد للمعدن مما يؤدي إلى تآكل كهروكيمياوي. لذا يمكن إدراج التآكل البكتيري من التآكل الكهروكيمياوي. .[108]

هذا يعني أن البكتيريا يمكن أن تسبب زيادة في مسامية المعدن ، كما، قد تسبب البكتيريا زيادة الأس الهيدروجيني، مما يزيد من الترشيح .لذلك فإن أكسدة الحديد هي عملية معقدًا يبدو أنه يختلف كثيرًا وفقًا للأنواع البكتيرية أو المعدن[109]

---

[108] نعامي كلثوم، دراسة تأثير بعض المستخلصات النباتية على تثبيط تآكل الفولاذ الكربوني في وسط حمضي، مذكرة لنيل شهادة ماستر أكاديمي، قسم الكيمياء كلية الرياضيات وعلوم المادة ،2019، ص7.

[109] NOT Christelle, « Caractérisation de l'oxydation du fer ferreux en présence de deux bactéries ferro-oxydantes neutrophiles, du champhydrothermal de loihi » , hawaï , mémoire présente comme exigence partielle de la maîtrise en biologie, 2006, p9.



الشكل رقم17: الاحتمالات المختلفة لآليات التفاعل بين البكتيريا و المعدن

2-طرق التصنيع القديم وعلاقتها بتآكل المعادن:

يتمثل سير تأكل المعادن في تفاعلت المعدن بينه وبين الوسط الذي يكون فيه ، وبحكم طبيعة و تركيبة المعدن القابل للأكسدة وطبيعة الوسط أو العناصر المركبة للوسط القابلة للاختزال . كل هذه الأسباب لا يمكن أن تكون لوحدها المساهمة في تلف المعدن، بل ربما تكون ناتجة عن اعتبارات أخرى و التي يمكن إدراجها ضمن طرق التصنيع التحفة في حد ذاتها.

فالدراسة التحف المعدنية تستلزم الأخذ بعين الاعتبار الخصوصيات التي اكتسبتها أثناء عملية التصنيع ،والتشكيل ولما تقدمه هذه الأخيرة من معلومات تاريخية مهمة للباحث الأثري عن طرق التصنيع المعتمدة مع إبراز الخصوصيات المميزة ، ولفهم تأثيرها على طبيعة تأكل وتلف القطع الأثرية في الوسط المتحفي .

إن اعتماد طريقة تذويب المعادن قد ارتبطت أساسا بالنار وهذا ما ذكرناه أنفا ، وعلى أن المصدر الحراري أوالأفران القديمة على أن حرارتها محدودة فقد استرسل الإنسان في العصور القديمة في استعمال عملية تذويب المعدن ،فزادت من فعالية عملية الطرق عليه ، هذه الطريقة لم ترقى إلى مستوى تقنيات الصهر الحقيقي ، لان عملها اقتصر على تذويب خامات المعدن الخالص أو الممزوج بالشوائب [110].

فالأفران المنخفضة مثلا لم تتجاوز درجة حرارتها 1400°،وبالتالي فالطاقة الحرارية التي تولدها هذه الأفران لاتصل إلى درجة ذوبان الحديد، التي هي في حدود 1500[111] ،فالطاقة الحرارية لاختزال الفلزات الحديدية تتطلب درجة عالية ، لهذا كانت تستعمل منافيخ يدوية تسمح بتهوية الفرن* إلى غاية انفصال نسبة الشوائب التي تحتويها الفلزات فتتجمع لتشكل خبث الحديد Laitier ،غير أن نسبة كبيرة من الفسفور و المغنيزيوم و السليسيوم لا تختزل وتبقى عالقة في تركيبة المعدن على شكل شوائب تجعله غير متجانس من حيث البنية والتركيبة الكيميائية

[110] Coche Etienne , les bijoux antique, publication universitaire France 1956 ,p 6.

[111] Colliou(C) ,Aranda(R),proposition expérimentations et réflexions autour de la réduction du minerai du fer par procède directe avec une ventilation naturelle. Programmes collectif de recherche, vent et fours en paléo métallurgie du fer du minerai d'objet .rapport final SRA Bretagne 2006 ,p111.

* استغلت الرياح كالتهوية طبيعية في رفع درجة الأفران بد ل من استعمال المنافيخ للمزيد من التفاصيل ينظر:

Garcon (AF) ,Girault (N),op.cit., p71

، فضلا أن الاختزال في الطور الصلب لا يسمح بتوزيع الكربون توزيعا متجانسا و تسمى هذه الطريقة بالطريقة المباشرة Procède directe[112]، على غرار الأفران العالية كانت تحمل الفلزات الحديدية Fe_2O_3 حيث تحقن على مستوى الفوهة و الممزوجة مع أحجار الكلس[113] لتمر فيما بعد بمرحلة الاختزال بين 300- 1000 ° ، فتعمل المضخات الهوائية على احتراق الفحم ليسمح بذوبان الحديد المختزل فينتقل إلى الحالة السائلة التي تسمح بانتشار العناصر كالسليسيوم ، و الفسفور و المغنزيوم انتشارا منتظما نوعا ما بعد التصلب[114]، و بما إن نسبة الكربون ترتفع بارتفاع درجة الحرارة فالحديد يكون مشبع بهذا لعنصر ويعرف هذا بحديد الزهر la fonte و تسمى هذه بالطريقة غير المباشرة procède indirecte، وبعد انصهار الحديد تذوب الحثالات العالقة به و تتحدد مع الأحجار الكلسية لتؤلف خبثا يطفو على سطح الحديد بحكم فرق الكثافة[115] ، وما يلبث يسيل على السطح المائل تاركا الزهر لوحده ، ويدعى الخبث الحاصل بسيلكات الكلس ،و الارمنيوم وعند ما ينفتح الثقب المسدود بالجص يسيل المعدن المنصهر إلى قوالب خاص جعلت في الأرض[116]، و بالنظر لصعوبة تشكيل حديد الزهر على الحالة الصلبة لاحتوائه على نسبة كبيرة من الكربون ، ولتنقية الحديد وتصفيته مما هو عالق به من فحم ،ومواد غريبة ، و لإنقاص نسبة الكربون ، وكذا السلسيوم ، والفسفور، بإعادة أكسدتها عن طريق أكسجين الهواء للحصول على الفولاذ. ورغم عمليات التنقية ، فانه تبقى نسبة من الشوائب عالقة في تركيبة المعدن بنسب متفاوتة ، فتكون القطع الأثرية غير متجانسة من حيث التركيبة الكيميائية و البنية الفيزيائية خاصة تلك المصنعة بالطريقة المباشرة ، ويؤدي بذلك إلى إضعاف المقاومة الميكانيكية للقطع، لهذا السبب فانه عادة ما يؤثر التآكل في الخصوصيات الفيزيائية للحديد[117] .

أما المرحلة الثانية هي مرحلة التشكيل و التي تقدم لنا معلومات مهمة عن تاريخ تصنيع التحفة . فالمعدن المصبوب داخل القوالب قد ينجم عنه أضرار خلال عملية التصلب، و التبريد ،و التي لم تكن كافية للقضاء على المعوقات في التركيب البلوري.

أما الطرق وغيرها من التقنيات الأخرى كالسحب، و التصفيح و التقبيب والتي تستلزم وسائل و أدوات توظف حسب شكل القطعة المراد تشكيلها والتي قد تترك بصمات وتشوهات على المادة المعدنية و بالتالي تنعكس سلبا على المواقع الحساسة فيحدث بها تأكل[118].

وعليه يمكن ادراج عوامل التلف الى اسباب داخلية و خارجية (**جدول رقم7**).

---

[112] Colliou(C), Aranda(R) , Op.cit., p111

[113] المهدراني رفعت ،المرجع السابق ،ص10.

[114] NEFF , Apport des analogues archéologique a l'estimation des vitesse moyennes et a l'étude des mécanismes de corrosion a très longue terme des aciers non alliés dans le sol ,thèse doctorat , université de technologie de Compiègne 10.

[115] Vega, op.cit,annexe A2/4

[116] المهدراني رفعت ، المرجع السابق ،ص.11

[117] NEFF, op.cit, p 10.

[118] Jody Logane , « Identification des métaux dans les objet archéologique » ,notes de I CC4/1, institut canadien,2007, p3

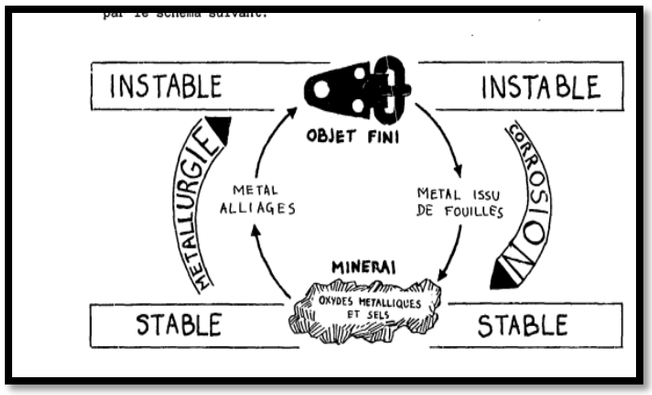
العوامل الداخلية :	العوامل الخارجية:
• **طبيعة المعدن:** المعدن الذي يكون غير متجانس أو يتكون من معدنين مختلفين يكون أكثر عرضة للتآكل. • **المعالجة الحرارية:** تؤدي المعالجات الحرارية الى إحداث تغيرات غير مرغوبة في بنية لمعدن مما يساهم في سرعة تآكله.	• **الأس الهيدروجيني PH:** بزيادة الأس الهيدروجيني في الوسط تزاد تركيز أيونات الهيدروجين وبالتالي تزداد حامضية الوسط وهذا يؤثر على سرعة التآكل. • **درجة الحرارة:** الزيادة في درجة الحرارة بمقدار30C° يسبب الزيادة في سرعة التآكل بأضعاف. • **الأملاح الذائبة:** زيادة الأملاح الذائبة في الوسط تزيد من سرعة إنتقال التيار الكهربائي وبالتالي زيادة سرعة التآكل.

جدول رقم 7: عوامل المؤثــرة على التــآكــل

المصدر: نعامي كلثوم، دراسة تأثير بعض المستخلصات النباتية على تثبيط تآكل الفولاذ الكربوني في وسط حمضي، مذكرة لنيل شهادة ماستر أكاديمي ،قسم الكيمياء كلية الرياضيات وعلوم المادة ،2019ص6.

ومن الأسباب الأخرى التي يمكن إدراجها في تلف المعادن هي عمليات التحويل، بمعنى عملية تحويل المادة المعدنية مرة أخرى recyclage وعادة ما تكون من النحاس و الحديد .

فعملية التحويل الميكانيكي للمرة الثانية تغير من البنية المجهرية وتصبح غير متجانسة ، فتنعكس تلك العوائق سلبا على التركيبة الكيمائية ، وتكون عرضة أيضا لتأكل[119]، ويمكن تلخيص دورة حياة التحفة المعدنية في . الشكل الاتي



الشكل رقم 18: دورة حياة التحفة المعدنية عبر الزمن

[119] Nicole Meyer, caroline relier, op.cit, p.61.

المحاضرة العاشرة

التأكل وانواعه

1–مفهوم التآكـل

2– اشكال التآكـل

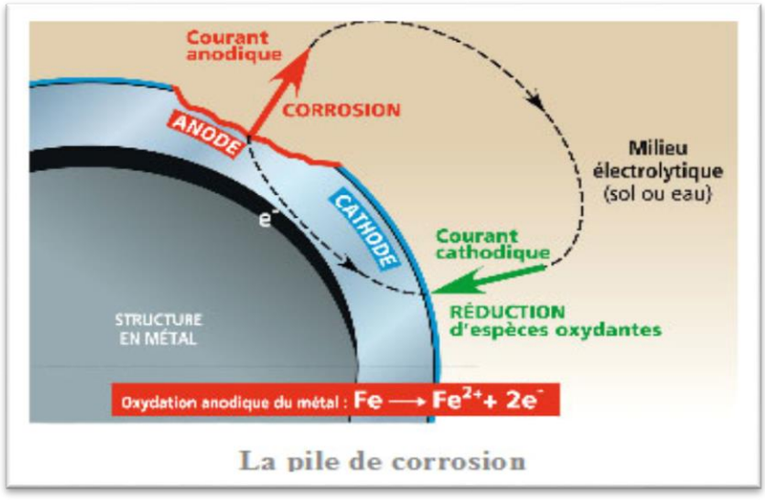
3– مظاهر تلف الآثار البرونزية والنحاسية والحديد:

4– –تأثير الوسط المحيط على المعادن

1-مفهوم التآكـل:

يعرف التآكل على انه تبادل فيزيو كميائي بين المعدن و المحيط الذي يتواجد فيه ، فيؤدي هذا التبادل إلى إحداث تغييرات في خصوصيات المعدن ومن ثمة إلى تلفه ، وتكون هذه التبادلات ذات طابع كهروكميائي[120] و يمكن أن نترجم هذه التغييرات في خصوصيات المعدن بفقدان المادة الأثرية ، فالتآكل ظاهرة تعيد المعدن تدريجيا إلى حالة ايونات معدنية[121]أي الحالة التي كان عليها من فلزات التي صنع منها[122].

فالتآكل ظاهرة تلقائية يحدث بين الفلز مع كل الأجواء المحيطة به من غازات ،أو هو تدهور المعدن في خواصه الطبيعية[123]، و يتمثل سير تأكل المعادن في تفاعلات بينه وبين الوسط الذي يكون فيه ، وبحكم طبيعة تركيبة المعدن القابل للأكسدة ، وطبيعة تركيبة الوسط القابلة للاختزال ،فهذه التفاعلات *ستكون مبدئيا على شكل أكسدة بان تفقد المادة* الكتر ونتها ، و تنتقل الذرة إلى حالة ايون مشحون ايجابيا ويسمى (*cation كتيون*)، واثر تفاعل المعدن وحدوث الأكسدة تسمى أنود (القطب السالب Anode)، أو في حالة اكتساب المادة للإلكترونات تنتقل الذرة إلى حالة ايون مشحون سلبيا ويسمى (انيونAnion) (الشكل رقم 19).



الشكل رقم19 : التفاعلات الانودية و الكاتودية

وتحت تأثير تفاعلات الوسط يحدث الاختزال ويسمى(كاتود القطب الموجب Cathode[124]) ،وباعتبار خاصية الناقلية الكهربائية للمعادن ، فان تفاعلات الأكسدة اختزال ستكون ذات طابع كهروكميائي خاصة في حضور الطور المميه أي حضور ايوناتH_2O على الحالة السائلة ، فالخاصية اجتذاب الماء(امتزاز) على سطح المعدن يحدث تبادلات انودية و كاتودية (H^+ ، OH^-) وملوثات (CO_2 , O_2,) و أ نيونات مركبة(Na^+

---

[120] Luc Robbiola , « L'histoire d'une hache a d'ouille de l'âge de bronze archéologique » , communication présentées par le groupe métal, ICOM france1994 , P30.

[121] Pourbaix (M) ,Leçon en corrosion électrochimiques , ed.cebelcon Bruxelles 1979,p 377.

[122] BERTHOLON (R) et RELIER (C) , Les métaux archéologiques, in La conservation en archéologie, sous la direction de BERDUCCOU (M-C), éd. Masson, Paris, 1990,p171

[123] عبد الجواد الشريف ، قحطان خلف الخزرجيي، "التآكل أسبابه أنواعه طرق الحماية منه" الطبعة الأولى المجلد 1 دار النشرالدجلة2010، ص. 234

[124] expo atelier sur les métaux, op.cit., p 8

، Cl^-)[125] فيأخذ التآكل في معظم حالاته مسارات معقدة ومترابطة فيما بينها تفرضها عوامل و ظروف مختلفة ويمكن إرجاع هذه الظروف إلى تلك التغييرات ، بدءا من تاريخ تصنيعها حتى تصبح مادة قابلة للاستعمال إلى غاية تركها و اكتشافها ، كل هذه المراحل تصادف التحف المعدنية تغييرات ميكانيكية(تعرية، احتكاك...) ، وفيزيوكميائية(تفاعلات أكسدة اختزال oxydoréduction') وهي الأكثر شيوعا، و تكون ظاهرة على سطحها و على تركيبة شكلها[126] ، ويمكن تقسيم التآكل إلى قسمين :

1-1 التآكل الخامدcorrosion inactive:

ويتمثل على سطح المعدن على شكل طبقة من الأكسيد، ويظهر هذا التأثير تدريجي على الألوان، غير أنها توفر بعض الحماية على سطع المعدن ،و غالبا ما تكون هذه الطبقة ممثلة في شكل زنجار، أو غشاء (patine) وهي من المزايا المساهمة في حفظ المعادن عبر الزمن ،ويكون ممثلا على سبائك النحاس على شكل (كربونات، و أكسيد النحاس)[127].فقد كان في كثير من الأحيان يستخدم طبقة من الزنجار الاصطناعي على سطح التحف المعدنية على المنحوتات والأسلحة ، و الميداليات ، وكان الهدف من ورائها حمايتها من مختلف الأخطار.

1-2. التآكل النشط (الفعال و التآكل النشط (السريع) corrosion active:

يمثل هذا لنوع من التفاعل السريع في تلف وخسارة كبيرين على مختلف التحف المعدنية خاصة في شكلها وتركيبتها البنيوية الداخلية ،ويتضح ذلك من خلال مؤشرات الصدأ محدثة تفككات ،و تشوهات تختلف من معدن إلى أخر نظرا لخصوصياته التي قد تساهم في نشاط الأكسدة ، ويتم تحديد تأكل الأجسام المعدنية نتيجة الظروف المحيطة سواء جراء الرطوبة النسبية، و التلوث الذي يسبب ردود جد خطيرة[128]. كما يكون لتأكل الأثر الكبير على القطع المعدنية بوجود المواد غير المعدنية، وأخطارها الأكسجين الذي يتسبب في تحريك فرق التآكل في تغييرات درجة الحموضة$p\,H$[129] ،مما يسمح بتطور العوائق الميكانيكية وتشكل تشققات من خلال طبقات التآكل الداخلية و الخارجية[130].

فارتفاع الرطوبة سوف يؤدي إلى تضاعف معدلات التفاعلات الكيمائية في ضل تلوث الهواء، و خاصة أبخرة الكبريت و حمض الكربونيك، و الأملاح القابلة للذوبان، و الحوامض، مما يؤثر على التحف المعدنية وهذا حسب نوعية المعدن، فالمعادن الثمينة كالذهب والفضة تكون بدرجة اقل ، أما المعادن غير الثمينة فتزيدها يكون تصاعديا وذلك تبعا لقابليتها للتلف (الرصاص، و النحاس، و الحديد)و يبدو تحول المعدن إلى أملاح كغشاء آو تقشر

[125] Bénédicte(M), D'ombre et de lumière ,conservation-restauration de trois silhouettes du cabaret du chat de Montmartre, Mémoire de fin d'étude 2008, p 72
[126] Luc Robbiola,op.cit, p 31
[127] Nicole Meyer, caroline relier,op.cit., p 63
[128] Ibid,p63
[129] Bertholon(R),la limitation de la surface d'origine des objets métalliques archéologiques , caractérisation localisation et approche de mécanismes de conservation, thèse de doctorat université paris I SORBONE ,2000,P 226.
[130] Reguer (S) , op.cit, p209.

وأخيرا في حالته المعدنية الأصلية التي وجد بها في الطبيعة[131]، فيتحول الحديد إلى صدأ كما يتحول النحاس و سبائكه إلى أملاح مركبة كاللون الأخضر(الكربونات، الكلور النحاس ، الكبريتات[132])،كما قد يكشف عن حالات معينة كمرض البرونز الذي ينشط في الرطوبة النسبية العالية ،أما الفضة فتشكل رواسب كبريتدية[133].

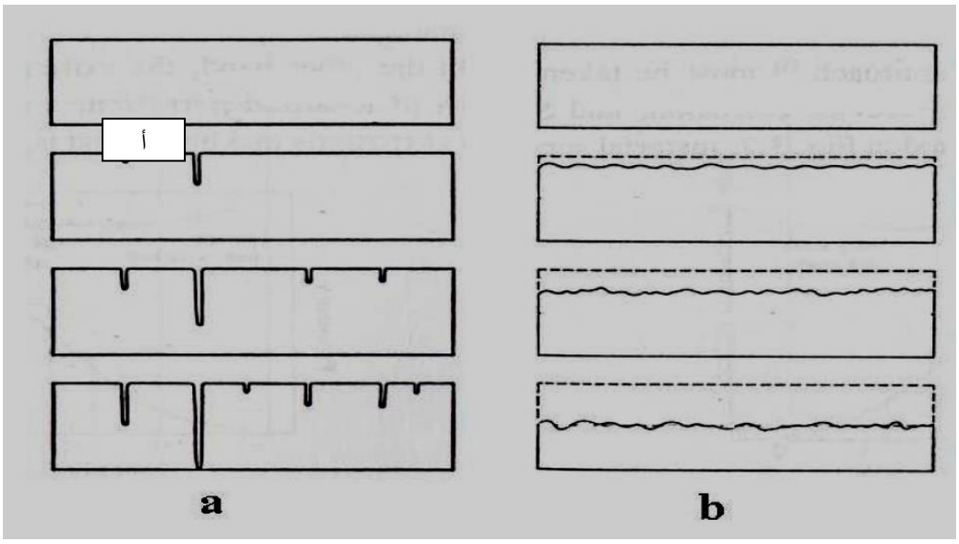
2- اشكال التآكـل:

2-1 التآكل المنتظم العام corrosion uniforme généralisé :

يصيب التآكل المنتظم ، أو العام سطح المعدن بشكل متساو تقريبا في جميع المواقع الانودية والكاتودية ، مما يتسبب في انخفاض في سمكه في كل مناطق المعدن أو ببساطة في اختلاف تركيبتها الكميائية كالبنية و اللون[134] ، ومنه على سبيل المثال الحديد في حالة تواجده في وسط حامضي .

2-2- التآكل الممركز corrosion localisée:

فهي تشمل مظاهر مختلفة من أنواع التآكل و التي يمكن تصنيفها كالاتي(الشكل 20).



الشكل رقم 20: مظاهر التآكل(أ) يمثل التآكل الممركز ، (ب) يمثل التآكل المنتظم

2-2-1التآكل النقري corrosion par piqure :

تحت ظروف بيئية معينة، جل المعادن و السبائك تكون محمية طبيعيا بطبقة تسمى "الطبقة الواقية" la couche protectrice تقدر بحجم النانومتر، فهي تمثل الجدار أو الحاجز المنيع بين المادة و الوسط ،غير أنها تمثل طبقة غير مستقرة في وجود تركيزات عالية كالكلور ، فيحدث التآكل في مواقع مشكلة بطارية التآكل على

---

[131] ادامزفليب و آخرون ، دليل تنظيم المتاحف، ترجمة محمد حسن عبد الرحمن الهيئة المصرية العامة للكتاب ،1993،ص169

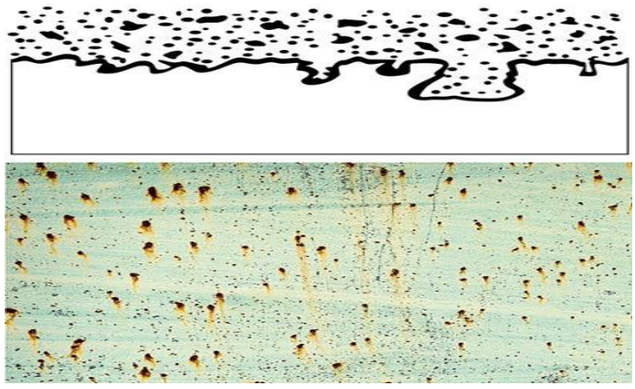
[132] Catalogue,<<L'usure du temps la restauration des objets du patrimoine>>, musées et sites archéologiques de sait-romains –en gal vienne 1998 ,p73.

[133] E.Verner(J),JoanneC(H),op.cit, «La mise en reserve des collection de muse e» Unesco p30.

[134] Grosgogeat(B), COLON(P), l a corrosion, Université Médicale Virtuelle Francophone Société Francophone de Biomatériaux Dentaires,2009,p5

شكل ثقوب و فوهات ، هذا عندما يحدث اختلال في مواقع الطبقة بين السطح الخارجي للمعدن للمواقع الكاتودية وبين المناطق الداخلية لتأكل النشط للمواقع الانودية .[135]

هذه الثقوب تظهر في عدة مواقع من سطح المعدن ،فيتقدم في التطور و يؤدي إلى تكوين تجاويف عميقة غير متساوية من خلال انحلال ايونات المعدن الذائبة ،مما يتسبب في زيادة درجة الحموضة فتحدث ظاهرة التآكل (الشكل رقم21).



الشكل رقم 21: التآكل النقري

3-2-2 التآكل الشق :Corrosion par crevasse

يسمى هذا النوع من التآكل بالتآكل المغطى وهو تأكل موضعي يحصل في المناطق الضيقة من سطح المعدن فيصب الأجزاء المعدنية في مناطق الشقوق ، و استمرار التآكل يؤدي إلى نفاذ الأكسيجين في المناطق المحصورة بين سطحي المعدن و الشقوق كما في(الشكل رقم22) .[136]

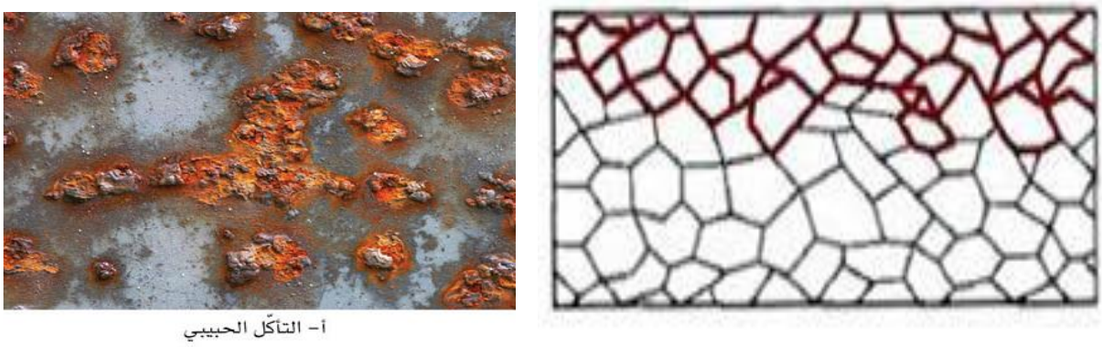
الشكل رقم 22: التآكل الشق

[135] Jarrah Adil, « Développement de méthodes statistiques et probabilistes en corrosion par piqures pour l'estimation de la profondeur maximale » , application a l'aluminium A5 , thèse de doctorat, Sciences des Métiers de l'Ingénieur paris 2009.p19.

[136] Ibid, p6

2-2-4 التآكل بين الحبيباتCorrosion inter granulaire:

وهو نوع من التآكل الانتقائي يحدث على مستوى وصلة الحبيبات ،هذا النوع من التآكل يصيب معظم السبائك و يرجع إلى عدم تجانس المواقع ، أو إلى المعالجة الحرارية مثلا ، فيفضي إلى تكوين بطارية التآكل في هذه المواقع ، و تفكيك المواقع الأنودية ،[137]وتكون موقعا مفضلا لتأكل (شكل رقم23).



أ- التآكّل الحبيبي

الشكل رقم23: التآكل بين الحبيبات

2-2-5- التآكل الكلفاني أو ثنائي المعدن Corrosion galvanique:

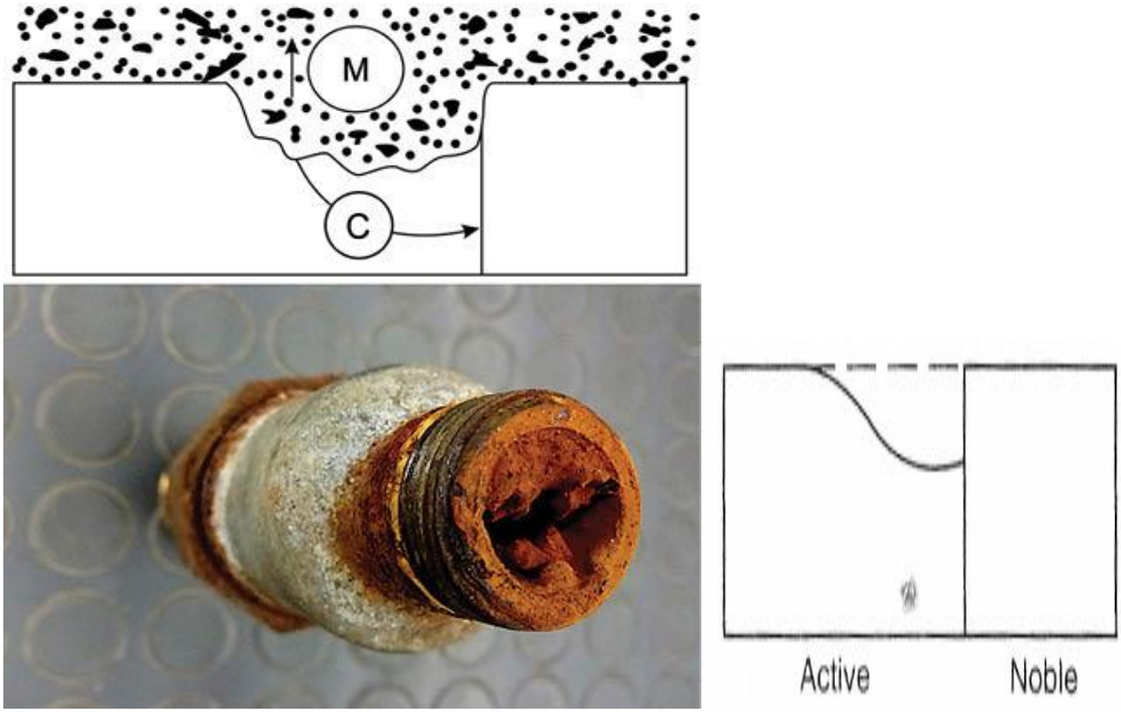
وهو نوع من التآكل التفضيلي الذي يصيب المعادن غير الثمينة في السبيكة الواحدة التي يحوي معدنين مختلفين، أو ينتج عن التماس معدنان مختلفين من حيث النشاط الكيميائي وضعت في نفس البيئة.

في هذه الحالة يزداد معدل تأكل احد المعدنين و يقل معدل تأكل الأخر، وذلك نسبة إلى معدل تأكل كل منهما في الوسط البيئية من خلال مرور تيارات كهربائية بينهما في حضور المنحل بالكهرباء ، فيزداد معدل تأكل المعدن غير ثمين Moin noble بعد الالتماس مصعدا (انود) و المعدن الثمين Noble الذي قل معدل تأكله بعد الالتماس مهبطا(كاتود).كما تجدر الإشارة انه كلما كان انود ذو حجم صغير كلما ارتفعت سرعة انحلاله. (الشكل رقم24) [138] .

---

[137] Grosgogeat(B), Colon(P), op.cit, p6

[138] Sofiene Amira et autres , Guide des solutions pratiques permettant de rencontrer la corrosion galvanique entre l'aluminium et l'acier dans le domaine du transport terrestre. canada ,2010, pp10-11

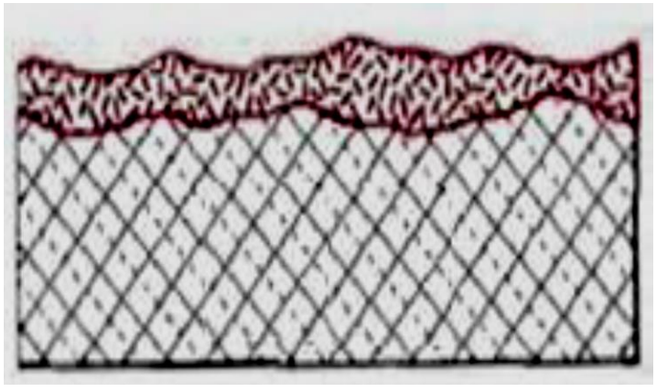


الشكل رقم24 :التآكل الكلفاني

6-2-2 النزع الاختياري corrosion sélective:

وهي أكسدة إحدى عناصر السبيكة في ظروف بيئية معينة مما يساهم في تشكيل بنية يسهل اختراقها (مسامية)، ويسمى بالنزع الاختياري لان التآكل يعمل على زوال احد عناصر السبيكة الأكثر نشاطا وبقاء بقية السبائك دون حدوث تأكل، أو قد يشمل كل أجزاء سطح السبيكة مما يودي إلى فقدان المقاومة الميكانيكية، وأكثر أنواع السبائك عرضة لهذه الظاهرة النحاس الأصفر[139] laiton في حضور الماء ويتجلى في ظهور مخلفات مسامية في أجزاء المعدن والتي يتم فيها زوال السطح وبقاء النحاس الأحمر المميز عن اللون الأصفر المعروف في سبيكة النحاس الأصفر، و تدعى هذه الظاهرة بإزالة النحاس Dezincification (تأكل الزنك).

(الشكل رقم 25)

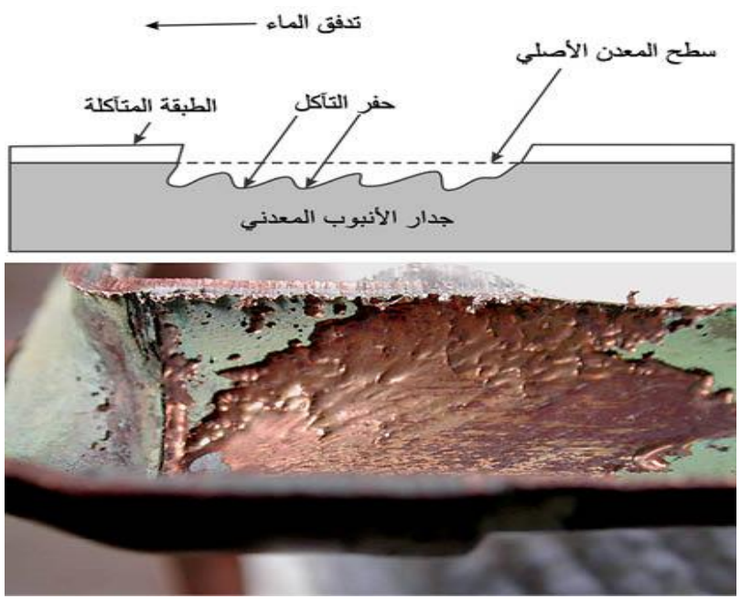


الشكل رقم25 : التآكل من النزع الاختياري

2-2-7-تأكّل التعرية (الحتّ) Corrosion par érosion:

هو نوع من أنوع التآكل، هو حالة تدهور سطح المادة بسبب العمل الميكانيكي ، غالبًا عن طريق اصطدام السائل ، أو الجسيمات المعلقة في سائل أو غاز سريع التدفق ، أو فقاعات أو قطرات ، أو تجويف ، إلخ.

عندما تشكل منتجات التآكل رواسبًا ملتصقة ومستمرة على سطح المعدن ، تتسارع في التآكل وتظهر على شكل نخر وتجاويف[140](.الشكل 26)



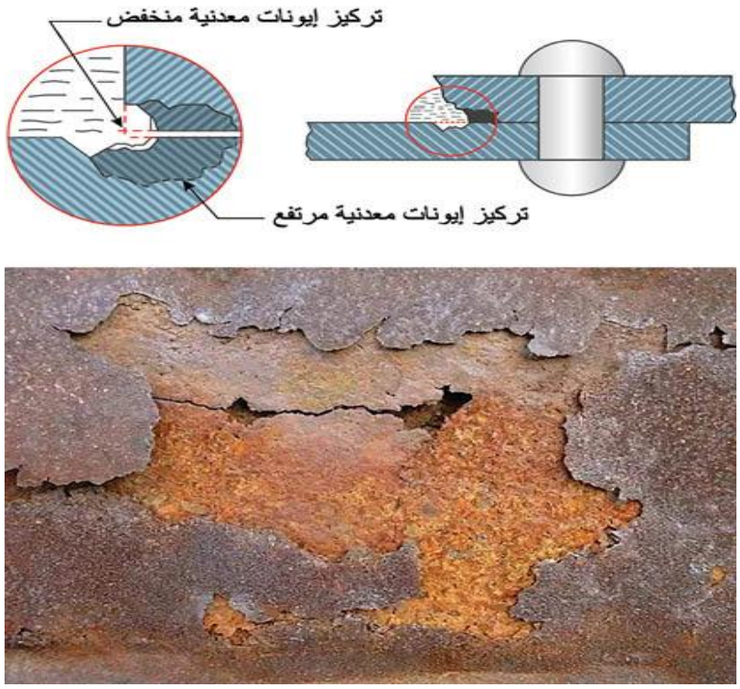
الشكل 26: تأكّل لتعرية(الحتّ.)

2-2-8تأكّل الخلية المركزة Cellule de concentration

إذا لم يُسمح للأكسجين الموجود في الهواء بالانتشار بشكل موحد في محلول (على سبيل المثال ، محلول مائي ملامس للسطح المعدني الذي يحتوي على أكسجين مذاب فيه) ، فإنه يخلق فرقًا في تركيز الأكسجين بين نقطتين. يمكن إنشاء مناطق حتى في معدن متجانس ونقي تمامًا بسبب وصول كميات مختلفة من الأكسجين إلى أجزاء مختلفة من المعدن والتي تشكل خلايا تركيز الأكسجين .في مثل هذه الظروف ، تصبح تلك المناطق التي تتعرض لكمية أكبر

[140] S.BENSAADA , COURS DE CORROSION,p43

من الهواء كاثودية بينما تصبح المناطق التي تتعرض قليلًا للهواء أو التي لا تتعرض للهواء أنوديك وتعاني من التآكل . وبالتالي ، فإن المنطقة المغطاة بالملوثات تصبح أنودية وتعاني من التآكل [141]. (**الشكل 27**)



الشكل 27:تأكّل الخلية المركزة

3-مظاهر تلف الآثار البرونزية والنحاسية والحديد:

تؤدي عملية الصدأ في مراحلها الأولى إلى تكوين طبقة بالغة الدقة من نواتج الصدأ على سطح الأثر، تزداد سمكا وتنوعا باستمرار عملية الصدأ إلى أن تتحول المعادن تماما إلى نواتج الصدأ إذا ما توفرت الظروف المساعدة على ذلك وتسمي الطبقة التي تكونت على سطح المعدن بسبب التفاعلات بين المعدن والوسط المحيط باسم الباتينا . وتختلف هذه الطبقة في تركيبها الكيميائي وخواصها الكيميائية والفيزيائية عن المعدن أو المعادن المكونة لسبيكة الأثر .

والواقع أن التعريف الأصلي والمحدد للباتينا ينحصر في الطبقة السطحية المتكونة على معدن النحاس وسبائكه وتأخذ العديد من الألوان والمظهر والتركيب الكيميائي طبقا للعديد من العوامل الداخلية والخارجية المحيطة بالأثر .

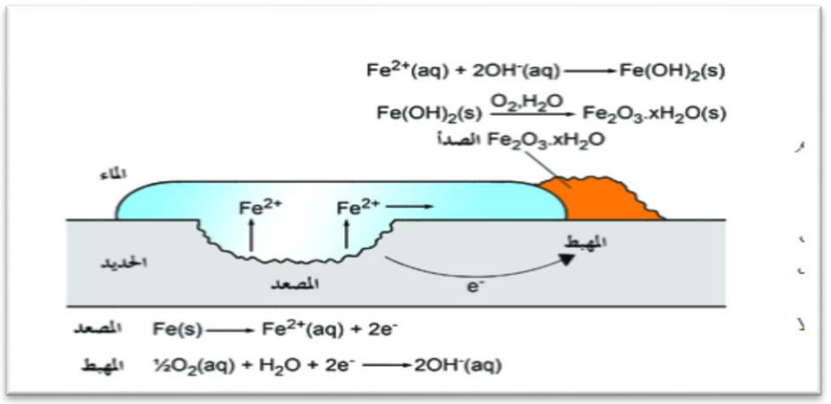
وتسمي مركبات صدأ الحديد **la rouille** .

تعرف عملية التآكل في حالة الحديد باسم الصدأ ، و التآكل هو مفهوم عام يطلق على العملية التي تتحول فيها الفلزات الحرة إلى مركبات بسبب تعرضها للعوامل الجوية مما يؤدي إلى فقدان الفلز للمعانه و بريقه . و يشكل صدأ الحديد. و الحديد لا يصدأ في الهواء الجاف أو في الماء الخال من الاكسجين ،و لكن إذا توفر الماء و الأكسجين تحدث عملية الصدأ للحديد . و ميكانيكية تفاعل الصدأ ليست مفهومة بالكامل و لكن يعتقد أن الخطوات الرئيسية هي كما يلي :

[141] http://www.lerncoach.li ›2014 Cellule de concentration

تعمل منطقة من سطح الفلز كالمصعد حيث يتأكسد الحديد إلى Fe^{2+} حسب التفاعل التالي[142] :

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$$



الشكل رقم28: خلية كهروكيميائية تساعد على استمرار عملية التأكل

وبالنسبة للمعادن الأخرى فإن هذه الطبقة تسمي بنواتج الصدأ للمعدن ،وأن كان من باب التساهل والتيسير بالنسبة لكل العاملين في حقل الآثار من مرممين وأثريين فإنه قد يسمح باستخدام لفظ البـاتينا لتعبر عن القشرة السطحية التي تكونت بالقدم علي سطح الأثر وأن كان لابد للمرمم أن يكون ملما بالمجال الأصلي لاستخدام مصطلح الباتينا .

والباتينا تنقسم إلي نوعين :

3-1- الباتينا النبيلة la patine noble ou passive :

وهذا النوع من الباتينا المتكونة على الآثار البرونزية أو النحاسية بمعدل بطئ جداً في شكل طبقة رقيقة مستوية ناعمة مغطية تماما لسطح الأثر مع إظهار كامل التفاصيل الدقيقة والأصلية لهذه الأسطح، وطبقاً لهذه الشروط فإن تكوينها يكون غالبا في الأجواء الجافة الخالية من الملوثات الجوية . وفي حالة توفر نسبة ضئيلة من بخار الماء تأخذ شكل طبقة المينا وبألوان جميلة وقد نميز بين نوعين من الباتين منها الطبيعي و الاصطناعي، اما الطبيعي ناتج من تأثير الطقس والهواء والتربة لفترة طويلة ،اما الاصطناعي التي تم الحصول عليها بسرعة عن طريق وضع مواد اصطناعية مناسبة، أما اذا أخذنا وجهة النظر الكيمياء في تكوين الباتينا سوف نميز بين الباتينات المؤكسدة والكربونية والكبريتية les patines oxydées, carbonatées, sulfate .

ولدراسة تأثير مركبات السبيكة وعلى تكوين الزنجار يقودنا بشكل طبيعي إلى فحص طبيعة مكونات هذا الزنجار. مثلا سنجد في باتيـــنا النحاس وسبائكه :

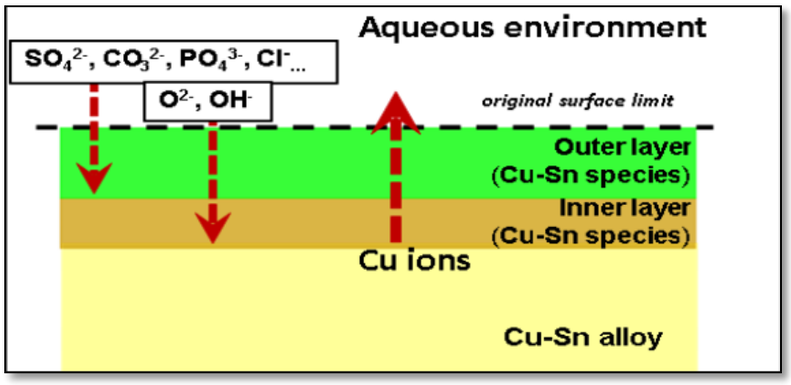
- الأكاسيد (الباتين التي تتشكل عند التدفئة ، الباتين الطبيعي).
- الكربونات (الباتين الناتجة عن المناخ ، الباتين الاصطناعي) .

[142] الموسوعة الكيمائية مصادر الكمياء https chemistrysources.com ا//:ء

- الكبريتيدات (الزنجار الأسود الناتج عن المياه التي تحوي على كبريتيات) [143]؛
- الكبريتات (تشكلت بشكل طبيعي في الهواء).
- الكلوريد آت (الباتين المتكونة تحت عمل مياه البحر)

اما الباتينا الواقية للبرونز قد تشكلت في بيئات متجانسة اي انخفاض معدل عوامل التركيب الكيميائي ، أي وسط تآكل منخفض من تواجد كلوريد ،ونترات وكبريتات ،والأنيونات، ، بما في ذلك الأس الهيدروجيني الذي يكون في حدود 3.5 و9.5[144]،وهوما يعكس حالة ثابتة اكتسبتها السبيكة في بيئة أكالة بشكل طبيعي، هذه الحالة عامة تم الحصول عليها فقط بعد عقود قليلة من مستويات تعرض السبيكة للبيئة الطبيعية المسببة للتآكل[145].

الهيكل النموذجي المقابل لهذه الحالة(الصورة 16) يتم فيه عرض التغيير في شكل المعدن. وتوضع طبقة خارجية من الأنيونات على سطح المعدن المدفون في التربة (للون الأخضر والأزرق والرمادي والبني) ، أما الطبقة الداخلية تكون أحيانًا مجزأة في السبيكة من ظهور اللون الأصفر البني ،و البني)، غالبًا ما تكون هذه الطبقات بترتيب بضع عشرات من ميكرومترum.(الصورة17)

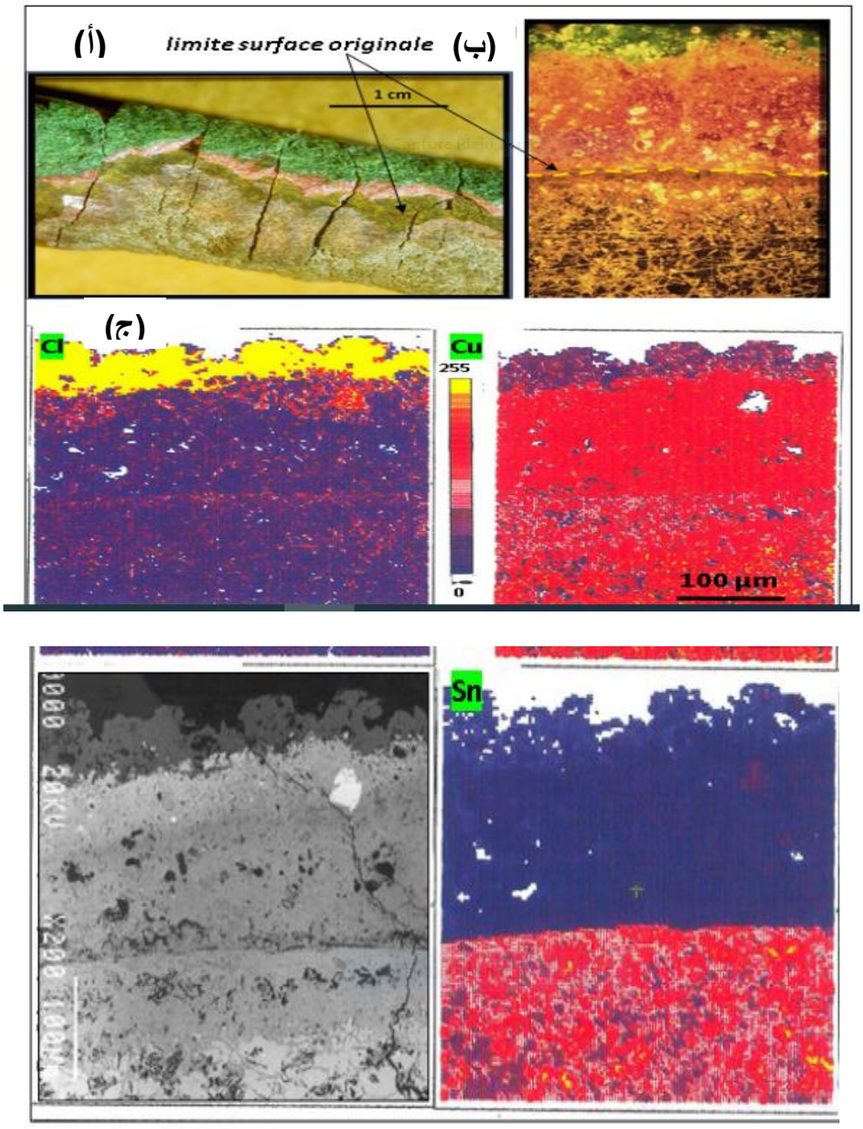


الصورة 16:البرونز–البنية نموذجية للباتينا"النبيلة" أو "الواقية"

[143] A. CHAPLET Les Patines Du Cuivre et de ses Alliages ،Cuivre et Laiton n°182, du 15 septembre 1936,p3

[144] Luc Robbiola ; Les patines naturelles des bronzes – quelques développements majeurs Les dossiers de l'Institut du Patrimoine Wallon IPW n° 15,2015p3

[145] ibid



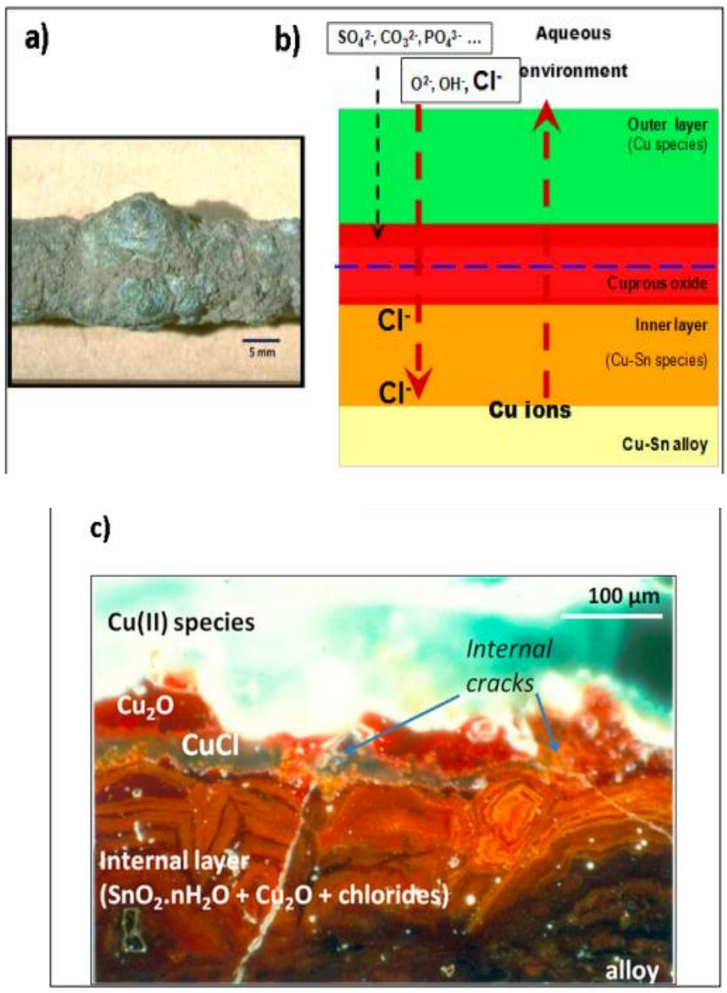
الصورة رقم 17:الزنجار "الواقي" لدبوس مع ترسبات منتجات نحاسية على السطح ،من الأعلى السطح الأصلي.

ملاحظة : (أ) المعاينة البصرية ، (ب) المقطع العرضي للزنجار – الملاحظة تحت الفحص المجهري البصري بالتكبير– أخضر: هيدروكسي كلوريد النحاسي ؛ أحمر: أكسيد نحاسي ؛ أصفر–بني: زنجار خامد ؛ أسود: سبيكةCu–Sn ٪ (m.) الملاحظة بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح ورسم خرائط بالأشعة السينية للعناصر الكيميائية الكلور (Cl) والنحاس والقصدير (Sn):يمثل حدود السطح الأصلي (الزنجار الواقي).

3–2– الباتينا الغير نبيلة (المريضة) patine vile ou destructive:

وهذا النوع من الباتينا يظهر غالبا علي الآثار البرونزية في شكل بقع خضراء فاتحة اللون، هذا النوع من الباتينا يعرف بمرض البرونز . هذه الحالة من الزنجار ناتجة عن سرعة تآكل السبيكة بشكل كبير، هذا النوع من التغيير له أسباب مختلفة ولكن ينتج بشكل عام في وجود تغيرات ملحوظة في نظام السبيكة / الزنجار / البيئة ، أو الملوثات الجوية بشكل خاص[146].**(الصورة رقم18)**

[146] Robbiola Luc, opcit,p7



الصورة رقم 18: ملاحظة لحالة نموذجية من الباتينا أدت إلى تدمير السطح الأصلي

(.أ) مثال نموذجي للتشكل (هنا تآكل موضعي انتفاخ، (ب) رسم تخطيطي نموذجي و (ج): الملاحظة في الفحص المجهري البصري للقسم عرضي – تآكل معمم مع تكوين كلوريد النحاس.

4–تاثير الوسط المحيط على المعادن

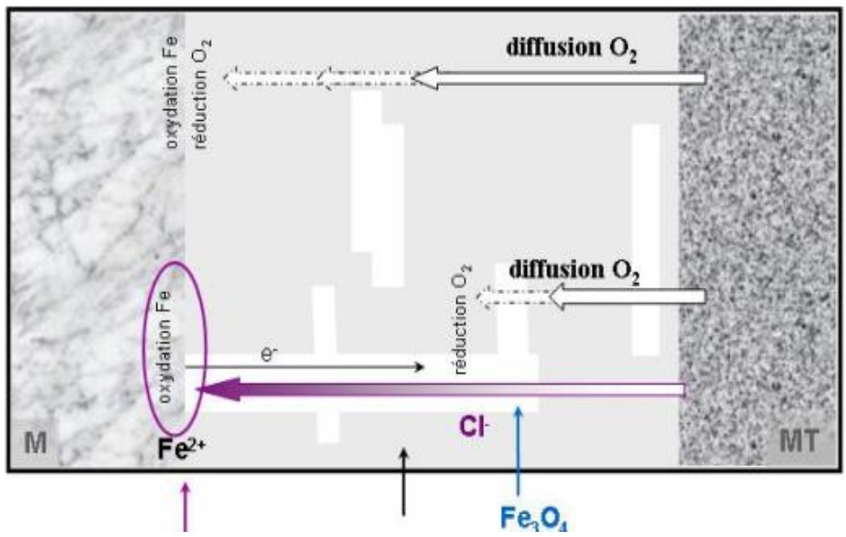
إن طبيعة المعادن تجعلها معرضة باستمرار لتأكل وهو السبب العام في تغيير و تدمير معظم المواد الطبيعية و المصنعة ، فهذه القوة التدميرية كانت دائما موجودة وتشكل خطرا كبيرا على جل التحف المعدنية وهذا ما دفع المختصين إلى الاهتمام بها نتيجة التطور و الوسائل التقنية والحديثة التي سخرت لهذا النوع من التأثير نتيجة التبادلات و الوسط الذي تتواجد فيه التحفة . فالمعادن تتعرض وبشكل مستمر وسريع و يكون هذا لتأثير إما ناشطا أو سريعا و إما بطيئا وبصفة تدريجية ، وتظهر علامات التآكل في تلف البنية الداخلية للمعادن ماعدا الذهب و البلاتين اللذان يبقيان محافظان على لمعان سطحهما برغم من مرور الزمن عليهما .

4–1التآكل الكيمائي :

يحدث في ضل غياب المنحل بالكهرباء وغالبا ما يكون بفعل الحرارة و الانتقال المباشر للإلكترونات المعدن للأجسام الأخرى في البيئة المحيطة .فقد يتسبب بخار الماءودرجة الحرارة المرتفعة إلى تفاعلات وعلى سبيل الذكر الحديد . حيث يمكن تمييز نوعين من التآكل الكيمائي :

4-1-1التآكل الناجم من الجو: وهو ناجم عن تأثير الغازات الموجودة في الجو منها على سبيل المثال: أكسيد الكربون (co2)،الاكسيجن (o2)،وأكسيد الازوت(N 2) و الشوائب العرضية الموجودة في الهواء(كالغبار ، وقطرات الماء والفقاعات التي تختلف أحجامها وكثافتها) .

فبخار الماء (الموجود في الهواء) يشكل على سطح المعدن طبقة رقيقة من الرطوبة الذي يساهم في تأكل المعدن فالمعادلات التالية توضح تفاعلا ت التي يسببها التآكل الجوي لكل من الحديد و الزنك [147].



الشكل رقم 30:عمليات تراكم الكلور على السطح

4-1-2التآكل الناجم من الغازات: والتي مصدرها الاتصال بالغازات الأكالة انهيديرا لكبريتور(so2) ملح (cl ، واكسيد الازوت. وبالتالي تواجد ا لمصانع و مستودع لتخزين المحروقات مع الرطوبة سيؤدي إلى تكون حامض الكبريتيك الذي يتسبب في تلف المعدن .

4-2-التآكل الكهروكيمياوي:

هذا النوع من التآكل هو العامل المدمر لمعظم المقتنيات المعدنية والتي تنتقل فيها الى الحالة المنحلة *électrolyte* بفعل انتقال الالكترونات بين مختلف حجم المعدن، فالمعادن و السبائك ليست في جميع الأحوال متجانسة عندما تدخل في تفاعلات مع العناصر(الأملاح و الأحماض) .[148]

إذن فالتآكل الكهروكيمياوي هو ظاهرة أكسدة -اختزال و الذي ينتج أيضا بفعل احتكاك معدنين أو تلك الشوائب التي تتركب على سطح المعدن.

[147] Petrov(M),Mikhilev(L),Kou kouchkine(Y) ,op.cit,343.

[148]Ibid,p343

المحاضرة الحادية عشر

طرق التحليل المخبري

1–طرق التحليل المخبري

2–تقنيات الفحص المخبري

3.الوصف المجهري للمعادن

4–طرق الفيزيائية والكيمياوية لدراسة المعادن والسبائك المعدنية واختبارها

1-طرق التحليل المخبري

إن طرق ومواد علاج وصيانة المعادن، تتم بناء على أسس علمية دقيقة ترتبط بإجراء الفحوص والتحاليل العلمية المبدئية اللازمة للتعرف على التركيب الكيميائي والمعدني لكل من معادن السبيكة ،ودراسة مدى تداخل وامتداد وعمق طبقات الصدأ المختلفة وسمكها ومدى تجانسها وكثافتها، إضافة إلى ألوان الباتينا الأساسية والأسباب التي أدت إليها، كان لابد من التعرف على طبيعة عمليات التشكيل والمعالجات الحرارية القديمة من خلال الفحص الميتالوجرافية وكذلك الشروخ الدقيقة وعلامات التشكيل السطحية وأماكن للحام والزخارف الموجودة على القطع ،ويتم ذلك باستخدام الميكروسكوبات المختلفة والفحص العيني.

2-تقنيات الفحص المخبري :

يمكن تصنيف وسائل التحليل من خلال عمليتين أساسيتين هما :

- **بأخذ عينة من القطعة:** وهي طريقة من التحليل تعتمد بنزع جزء من العيينات ويستعان به للكشف عن طبقات التآكل.

- **أو بدون اخذ عينة** : هذه الطريقة تعتمد على التحليل المباشر على العينات ،فهي طريقة جيدة في دراسة مجمل القطع الأثرية دون التأثير على خصوصيتها.

✓ أو يكون حسب نوع التحليل ويكون إما :

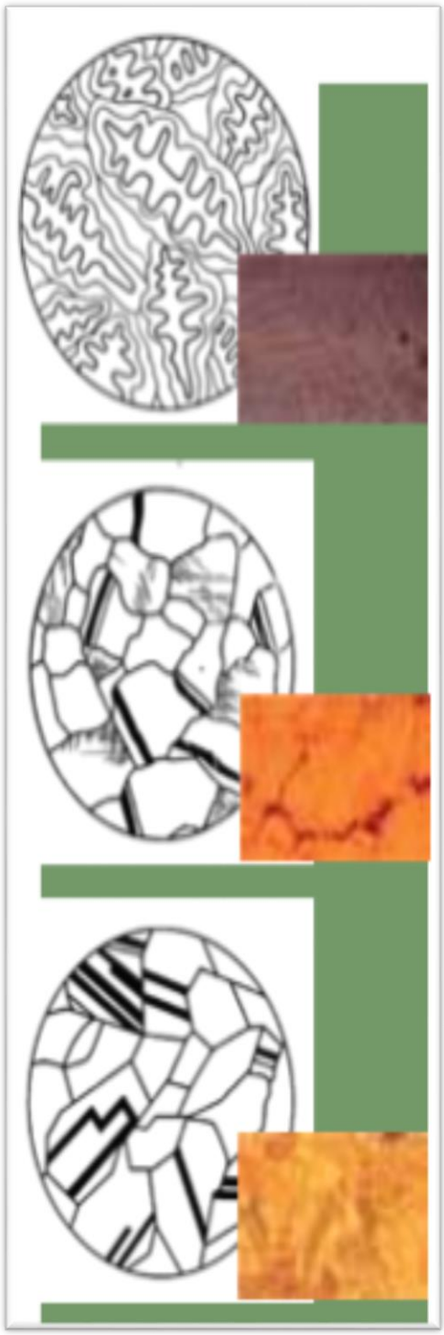
– إما نوعي: الكشف عن نوع العناصر أو المركبات التي تحتويها العينة .

– أو كمي: وهو يكشف عن كمية العناصر و الأصناف الكيمائية التي تحتويها العيينة ،وتعرف بالنسبة المئوية % أو جزء من المليون[149].

3-الوصف المجهري للمعادن

مجرد أن تصبح العينة جاهزة ، فإن المجهر البصري يجعل من الممكن ملاحظة اختلاف طرق التعدين métallurgie والعلاجات المختلفة التي يخضع لها المعدن أثناء تصنيعه أو استخدامه و يمكن تمييز ثلاثة حالات :

[149] WHIFFEN(D-H). *La spectroscopie, .* paris: ed. Flammarion Science1971 p11



حالة المعدن المصبوب في القالب L'état brut de coulée

في حالة التبريد تبدأ السبائك بتصلب حينها يصبح المعدن يشبه الشجرةArborescente كما هو موضح في الشكل ويتم تحديد هذه الحالة تحت المجهر بتشكل بلورات شجرة الصنوبر وتسمى باالتغصناتdendritiques ».

الحالة المشوهةL'état déformé

عندما يخضع الجسم المعدني للمعالجة الميكانيكية ، على سبيل المثال المطرقة ، تختلف البنية المجهرية للمعدن عن الخام المصبوب و يتم تحديد هذه الحالة لتشوه تحت المجهر فهي تمثل "التشوهات في ترتيب طبقات الذرة les macles mécaniquesوهي بلورات ذات اتجاهات مختلفة ذات خطوط دقيقة.[150]".

• **الحالة الصلبةL'état recuit** عندما يخضع الجسم المعدني للمعالجة الحرارية ، عند ملامسته لمصدر حراري ، يعاد بلورة المعدن فتتكون مجموعة من الحبيبات يفصل بينها ما يسمى " بوصلة الحبيبات[151].

الشكل 31: التحليل المجهري للحالات الثلاثة للمعدن عند التشكيل

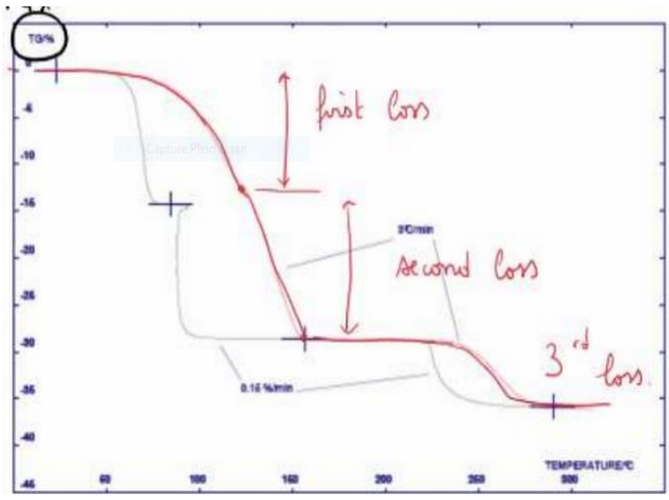
[150] https://www.researchgate.net. (2012, octobret 16). Consulté le janvier 17, 2021, sur de la fouille au laboratoire l'archéologie une science a la rencontre du passé

[151] VEGA(E).) Altération des objets ferreux archéologiques du site de Glinet. , Thèse de doctorat Université de Technologie, Belfort-Montbéliard2004

4-طرق الفيزيائية والكيمياوية لدراسة المعادن والسبائك المعدنية واختبارها

4-1-لتحليل الحراريAnalyse thermal

يتضمن التحليل الحراري تعيين درجة الحرارة التي يحدث عندها التحول الطوري بتعيين درجات الحرارة التي توافق الانكسارات أو العتبات التي تبديها منحنيات التبريد السبيكة ،ويجرى التحليل الحراري التفاضلي بتعيين الفرق في درجة الحرارة بين العينة المدروسة ومادة أخرى قياسية لا تعاني تحولاً طورياً عند تبريدهما سوياً في شروط متماثلة. وتمثّل نتائج هذا التحليل على شكل منحنيات تبّين تغير فرق درجة الحرارة بدلالة الزمن. وتبدي هذا المنحنيات تزيداً حاداً للفرق في درجة الحرارة لحظة حدوث التحول الطوري.[152] (منحنى بياني3.)



المنحنى البياني 3: تغيير فرق درجة الحرارة**Thermal Analysis**

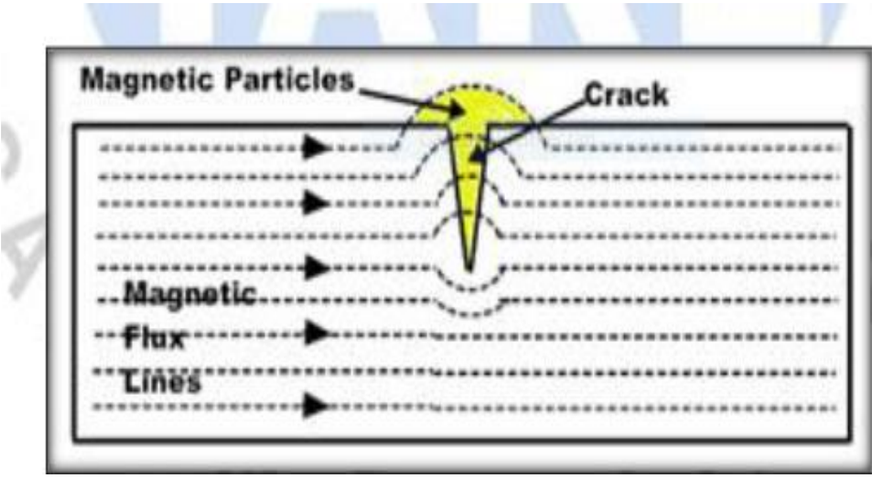
Guide de l'analyse thermique – Mettler Toledo

4-2-الطرائق المغنطيسية: Essais de particules magnétiques (MT)

يمكن من خلال دراسة التغيرات في الصفات المغنطيسية التي تحدث عند تغير التكوين أو نمط المعالجة فهم التحولات الطورية التي تطرأ على المعادن ذات المغنطيسية الحديديةFe وCo وNi وسبائكها.) وتستخدم هذا الطريقة أيضاً كاختبار ارً غير إتلافيnon destructive Test

لتحديد العيوب السطحية في أجزاء المعدادن (التصدعات الشعرية،) ،يتم ذلك بتغطيسها في حمام زيتي يحوي معَّلقاً لدقائق من مادة مغنطيسية فتنجذب هذا الدقائق متجمعة على حواف الصدع الموجود في سطح المعدن (**الشكل32**).

[152]عماد محمد ابراهيم خليل، المرجع السابق ص101



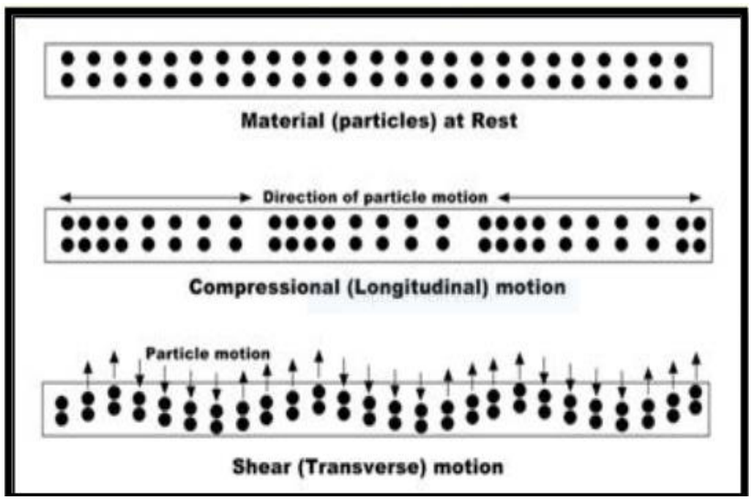
الشكل رقم 32:اختبار الجسيمات المغناطيسية

4-3- اختبار المعادن والسبائك باستخدام الأمواج فوق الصوتية inspection ultrasonique

ستخدم اختبار ultrasonique نفس المبدأ المستخدم في البحرية واكتشافات الأسماك، فهو تردد فوق العالي يتم إدخال الصوت في الجزء الذي يتم فحصه وإذا اصطدم الصوت بمادة ذات مقاومة صوتية مختلفة)الكثافة والسرعة الصوتية) [153].

يستخدم اختبار الموجات فوق الصوتية (UT) لتقييم الكشف عن العيوب (التصدعات، الفجوات الغازية وغيرها)، يتكون النظام من عدة وحدات وظيفية ، مثل النابض ، المستقبل ، ومحول الطاقة ، و الأجهزة .النابض جهاز الاستقبال هو جهاز إلكتروني يمكنه إنتاج كهرباء عالية الجهد نبض ، اما محول الطاقة من مختلف الأنواع والأشكال يولد تردد طاقة الموجات فوق الصوتية العاملة على أساس تكنولوجيا الكهرباء الانضغاطية باستخدام الكوارتز أو كبريتات الليثيوم أو السيراميك [154]سينعكس بعض الصوت مرة أخرى إلى وحدة الإرسال ويمكن تقديمه على شاشة مرئية، بمعرفة سرعة الصوت خلال الجزء (السرعة الصوتية) إلى وحدة إرسال ،يمكن تحديد ترددات الصوت الأكثر شيوعًا المستخدمة في UT هي بين 1.0 و 10.0 ميجاهرتز . [155]، في الشكل33) أسفلاه تتسبب موجات الانضغاط في جعل الذرات في جزء منها يهتز ذهابًا وإيابًا بالتوازي مع اتجاه الصوت وتتسبب موجات القص في اهتزاز الذرات بشكل عمودي. يمكن للمشغل تحديد نوع الانقطاع (مثل الخبث أو المسامية أو الشقوق في اللحام) التي تسبب التأكل.

[153] A. Venu prasad, R. A anudeep kumar, "non-destructive testing course code ame526 " ; mechanical engineering p9.
[154] https://web.itu.edu.tr › arana › ndt NDT non destructive testing
[155] A. Venu Prasad, r. A Anudeep Kumar , op.cit. . p9



الشكل رقم 33:اختبار المعادن والسبائك باستخدام الأمواج فوق الصوتية

المحاضرة الثانية عشر

شروط التخزين المواد المعدنية

3. **التخزين المؤقت**
4. **شروط التخزين النهائي**

تمهيد

في إطار الصيانة الوقائية للقطع الأثرية المكتشفة يجب حمايتها ضد كل اشكال التلف والتآكل الذي قد تتعرض له اللقى بعد الحفر الأثري في أغلب الحالات ،و غالبًا ما تكون المعادن ثقيلة ،وأحيانًا هشة .لذلك يجب حمايتها من الصدمات، مع اقتراح بعض الوسائل والمواد التي يتطلبها هذا المنهج.

1-التخزين المؤقت

حماية القطع المعدنية المكتشفة في وسط جاف او رطب يجب توفير جو جاف مع ترك القطع تجف ببطيء في درجة حرارة معتدلة عند استخراجها ،هناك ثلاث نقاط رئيسية يجب مراعاتها عندما يتعلق الأمر بتعبئة ونقل اللقى المعدنية.:

-تخزين كل قطعة في كيس السيلوفان المنفردة بكل قطعة تحمل رقم الجردمثل les sachets Minigrip® مقاس100 x 125 mm[156].(الصورة 19)

-تجنب الاكياس من البلاستيك التي يمكن ان تسبب التكاثف بالإضافة الى القطن.

-حفظ في علب محكمة تحوي جل السليكا[157].

الصورة رقم 19: تغليف المقترح لتغليف اللقى الصغيرة

2- شروط التخزين النهائي:

يستند المنهج الصحيح والفعال في تحسين شروط التخزين على مجموعة من المعايير التي تحددها مبادئي الحفظ، هذه المعايير تصب في اتجاه واحد تكمن في توفير جميع المتطلبات اللازمة للبناء الجاد لمخطط التنظيم داخل المخازن من أجل وضع تصميم فعال لأنظمة التخزين ويمكن تحديد هذه الشروط في النقاط التالية:

- لتجنب مشاكل التغييرات المناخية الموجودة في المخازن يوجد هناك العديد من الوظائف التي يمكن اعتمادها كالنظام الاتوماتيكي المركزي(centrale de régulation) لضبط درجة الحرارة و الرطوبة كما هو معمول

[156] Kramer Miriam, Le conditionnement d'objets en métal Propositions pour le service archéologique du canton Bachelor of Arts HES-SO en Conservation de Berne,2009 p29
[157] Nicole(M),caoline(R), opcit.p66

به في قاعات العرض، ويجب الأخذ بعين الاعتبار نسبة ضغط البخار ونوعية البخار في المخزن، ومن ثم إبرام عقد صيانة مع إحدى الشركات المتخصصة التي تضمن التدخل عند الضرورة في حالة تعطل الجهاز المنظم للرطوبة [158] فتكييف المساحات له أهمية في تغيير الهواء وكذا ترشيحه وان لم يستطع المتحف اقتناء هذا النوع من الأجهزة نضرا لتكلفتها العالية و الإمكانيات المحدودة يمكن استعمال وسائل أخرى سهلة وبسيطة وفي مقدور أي متحف اقتنائها كالمواد الماصة مثل السيلكا (gel de silice)بالنسبة للقطع المخزنة .

- تقسيم المجموعات المتحفية الموجودة أو المتوقع دخولها إلى المتحف من أثاث ومعادن وغيرها ،بالمقابل كل قطعة تقتنى أو تدخل إلى المخزن يجيب تنظيفها أولا ثم تصويرها وجردها وأخيرا تعبأ في أكياس.

- يجب أن ترفق كل تحفة ببطاقة وصفية بكل المعلومات الكاملة والدقيقة منها (المكان الرواق، رقم الخزانة و والدرج) لإمكانية الوصول إلى التحف و طريقة البحث عنها بسهولة[159].

كما يمكن ترتيب التحف في علب حفظ مقاومة مسدودة بإحكام وان تعذر الأمر يتم تصفيفها في أكياس ووضعها على رفوف صلبة حتى لا تتأثر بالهزات الأرضية الخفيفة أو حركة الطرقات، ويجب تجنب اكتظاظها لأجل الوصول إليها بسهولة [160]، ومن أهم الطرق المعتمدة في ترتيب التحف دخل أدراج التخزين يتم بحشو او تبطين (Matelassure de tiroir) بورق مقوى خالي من المواد الحمضية، ثم تضاف لها رغوي بطريقة جانبية، وأخيرا ترفق كل حجرة أو زاوية من الدرج ببطاقة من الورق الخالي من الأحماض تحمل رقم تسجيل كل قطعة على حدا (الصورة،20،21).

الصورة رقم 20: طريقة ترتيب المعادن داخل صناديق

الصورة رقم21 :كيفية حفظ القطع المعدنية على الرغوي mousse

[158] Rémy, L.). , l*es réserves stockage passif ou pole de valorisation du patrimoine*.1999 .la lettre de L'OCIM n°65p3.
[159] Ibid.,p32
[160] Bordass, B. ,m*uséum collection in industriel buildings A sélection and adaptation*>>. guide muséum gallérie commission the conservation uni1999,p, 8

يجب تكييف رطوبة وحرارة تتناسب مع البرمجة التي تحدد حفظ المعادن وهي اقل من 40% ، غير أن الأمور تنعكس في حالة التحفة المعدنية المتعددة العناصر فان كان الجلد أو الخشب يتطلبان رطوبة 60% وهي النسبة التي تتوافق ومجال حفظهما ولا تتوافق ومجال حفظ المعدن، ففي هذه الحالة يجب ضبط معدل رطوبة متوسطة تقدر ب50% لكلا المادتين. [161]

[161] Volfovsky Claude ,op.cit, p67

المحاضرة الثالثة عشر

طرق معالجة المواد المعدنية

1-الطريقة الميكانيكية

2- التنظيف الكميائي طريقة الغمر في كبريتات الصوديوم

3-طريقة التحليل الكهربائي

4- طريقة روزنبرغ

طــرق معـالجة المواد المعدنية:

تمهيد

توصف في معالجة التحف المعدنية عدة طرق علاجية منها الكيمائية من أحماض وقلويات ونحوها ، ثانيا استخدام طرق الاختزال أي الطريقة الكهروكميائية و أخيرا استخدام الطرق الميكانيكية اليدوية وهي الأفضل و الأكثر استعمالا وتخلو من أي خطر في مجال الصيانة. وتختلف الطرق المتبعة في ذلك باختلاف درجة التلف، وأنواع المواد العالقة بها وهذا يترك تقديره لمختص في الكيمياء.

1-الطريقة الميكانيكية:

يتطلب التنظيف حكما دقيقا وخبرة لتقرير الشكل النهائي الذي يجب أن تكون عليها التحفة فهي إزالة المواد الموجودة على سطح التحف كأثر التآكل و الصدأ اعتمادا على طبيعة المادة تختلف عملة التنظيف بالنسبة لتحف باختلاف المادة فهناك العديد من التقنيات والوسائل المستعملة لكسر الرابطة بين الأوساخ و السطح : فعملية إزالة الصدأ على المعادن الحديدية تتم باستخدام آلة الشحذ الكهربائية ،. أما المعادن غير الحديدية (البرونز والفضة والقصدير النحاس...) تستخدم المشارط أو فرشاة من الألياف الزجاجية ،فتكشط الحافة لطبقة المراد إزالتها بكسر قطع صغيرة في كل مرة لان كسر قطعة كبيرة قد يؤدي إلى المساس بالسطح وتجرى هذه العمليات باستعمال المجهر ذو ثنائية العدسة[162] Microscope binoculaire .

حيث تستخدم هذه الأدوات في كشط الطبقات السميكة من مركبات الصدأ مع المحافظة على طبقة الباتينا بحيث تستخدم هذه الأدوات غي اتجاه موازي لسطح الأثر وليست عمودية عليه، كما يجب تجنب استخدام هذه الأدوات مع الآثار الدقيقة حتى لا تتسبب في إتلافها. كما لابد وأن يستخدم هذه الأدوات بمنتهى الحذر حيث أن التنظيف بالنقر مثلاً يعمل على تولد ضغط شديد على الجسم مما يعرضه للتشقق خاصة في المناطق الضعيفة أو التي بها شروخ، كما أنه في حالة ما إذا كانت نواتج الصدأ الحاملة للسطح ضعيفة الالتصاق فإن القوى المؤثرة يمكن أن تؤدي إلى تطاير الشظايا الذي قد يؤدي بدوره إلى فقد موضعي للسطح يصعب تعويضه ، كما يجب استخدام عدسة مكبرة عندا لتنظيف الميكانيكي. لتحديد الأجزاء التي تتطلب التنظيف ولإمكانية الحرص في استخدام الأدوات

دون خدش السطح الأصلي ،ويلي التنظيف الميكانيكي استخدام الفرشاة او مشارط من الياف الزجاج لإزالة المواد الغريبة من على سطح الأثر خلال خطوات التنظيف [163] (**الصورة رقم 22**).

---

[162] le courrier archéologique, "composition conservation restauration des objet métalliques", le du Languedoc Roussillon n°29 ,1987, p6.

[163] عائشة حنفي المرجع السابق ص عائشة حنفي المرجع السابق ص349

الصورة رقم22: التنظيف الميكانيكي

2- التنظيف الكيميائي طريقة الغمر في كبريتات الصوديوم :

تعد طريقة العلاج بكبريتيد الصوديوم القلوي من الطرق الأكثر استعمالا في معالجة الحديد الأثري خاصة في نزع الكلوريرات ، فهي تعتمد في وضعها في حمام محلول كبريتيد الصوديوم القلوي 3الساخن ويتم تحريكه من فترة إلى أخرى. هذه الطريقة تسمح بنفوذ المحلول إلى كل المواقع التي تحتوي على الكلوريرات[164]

كما يمكن لهذه الطريقة أن تكون غير كافية في إذابة كل الكلوريرات في المحلول ، بفعل التكييف السيئ لمدة العلاج ،فدرجة الحموضة العالية تزيد من ظهور التآكل من جديد ،و لتغطية هذه النقائص يجب أن يستمر العلاج بتجديد المحلول دوريا من 3الى 8 أشهر ثم يتبع بالشفط والتجفيف.

أما بعد المعالجة يجب التأكد من حالة القطع الحديدية بخلوها من الكلوريرات وعلى أنها مستقرة أما ان ثبت العكس يستوجب معاودة العلاج أو اللجوء إلى وسائل أخرى من بينها التحليل الكهربائي الصورة رقم [165].

ويجب بعد كل معالجة كيميائية اضافة الرتنجات الاكريليك الباروليد72 paraloid (محلول5% في الاسيتون) للحصول على حفظ على المدى الطويل [166] (الصورة23).

[164] le courrier archéologique, « composition conservation restauration des objet métalliques », le du Languedoc Roussillon n°29 ,1987, p6
[165] Catalogue , « l'usure du temps… » op.cit, p115
[166] Renaud(B) Nadine(D) et d'autre ,La nettoyage pour étude du mobilier Métallique Zeugma : un compromis a la restauration2013 , p 35.

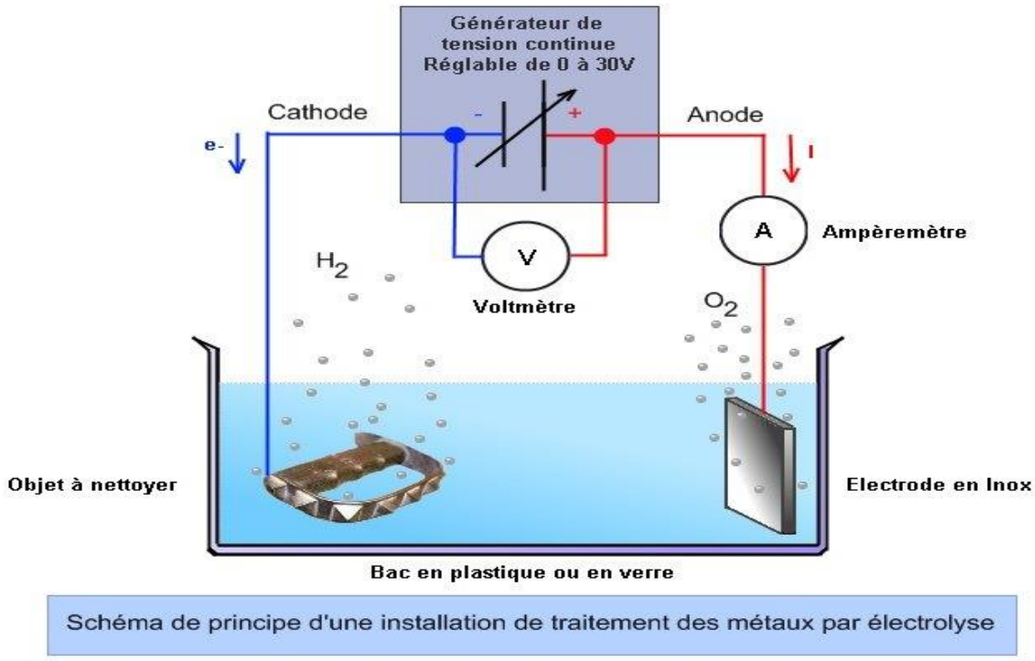
الصورة رقم 23: التنظيف الكيميائي لنقود قبل و بعد التنظيف ،بدل من استعمال التنظيف الميكانيكي الذي يتطلب تدخل طويل

3- طريقة التحليل الكهربائي:

ذكرنا على أن المعادن في شكلها عبارة عن روابط أساسية تتشارك مع جميع لذرات ببعض الالكترونات ولديها حرية الحركة داخل المعدن مما يفسر قابليتها الجيدة للكهرباء فالتفاعلات التي تحدث للمعادن سواء بكتسبها للإلكترونات لذراتها أو ايوناتها،[167] أو أكسدتها لفقدانها للإلكترونات من ذراتها أو أيوناتها ، كما يمكن لذرات المعادن التي فقدت الكتروناتها أن تكتسبها مرة أخرى باللجوء إلى طريقة الاختزال بالتحليل الكهربائي اثر استعمال تيار كهربائي مفتعل.

يتم التزود بالكهرباء عن طريق استعمال مولد كهربائي يصدر تيارات مستمرة وثابتة، بحيث يوصل المعدن بالالكترود السالب الذي يسمى المهبط) cathode (لاكتساب الالكترونات ،ويوصل طرفه الموجب بمعدن مقاوم الأكسدة كالفولاذ و الألمنيوم الذي يمثل المصعد) (anodeكما يجب ضمان الاتصال الجيد بين المعدن و الطبقة الموصلة (بواسطة قضيب) بوصول التيار عن طريق جهاز قياس المقاومة ohmmètre ،.ويتم غمر كلتا الطرفين في محلول الكتروليتي (الشكل رقم24).

[167] Khodakov(Y),Epstein (D), Gloriosov(p), op.cit ,pp120-121



الشكل رقم 34 طريقة المعالجة بالتحليل الكهربائي

– تفاعلات التحليل الكهربائي:

يتم قياس الجهد الكاتودي للمعدن بواسطة جهاز الفولتر voltmètre يتم توصيله من جهة بالمعدن ومن جهة أخرى بالقطب القياسي électrode de référence كما يوضحه الشكل يوجد العديد من أنواع القطب القياسي الكترود، من بين الأكثر استعمالا كبريتات الزئبق في كبريتات البوتاسيوم المشبعة (ESS) أو الكترود الكالومال calomelفي كلوريرات البوتاسيوم (ECS) المشبعة ويسمى الفرق بين الجهد الكاتودي و الانودي بتوتر الخلية.tension de cellule.

ينتقل التيار عبر المحلول في اتجاه التيار الحامل للالكترونات السالبة(الشوارد السالبة) إلى أن تصل إلى ناحية المصعد (أنود)فتلتف حوله لتطرح الكتروناتها الإضافية،اما الايونات الموجبة تهاجر ناحية المهبط فتلتف حوله لتأخذ الالكترونات ،و يسمى هذا الانتقال بالكهروفوريز électrophorèse فهي تسمح بهجرة الايونات مثل Cl- SO4من الكاتود القطب السالب إلى الانود القطب الموجب[168]

إضافة إلى هجرة الايونات فان التحليل الكهربائي يحدث اختزال الماء الذي ينتج مركب ثاني الهيدروجين H2الغازي على شكل فقاعات على مستوى السطح فيعمل إحداث ضغط يسمح بتفكيك نواتج التآكل[169].

[168] Volfovsky claude, op.cit. , p91
[169] Meyer-Roudet(H), a la recherche d'un métal perdu les nouvelles technologies dans la restauration France, paris1999, p102.

المميزات	العيوب
1- تعتبر هذه الطريقة أكبر تحكماً ومن السهل متابعة الأثر عن طريق المشاهدة وبالتالي إيقاف هذه العملية عند الضروري 2- تفضل هذه الطريقة وذلك لاستخدام التيار الكهربي وعدم استخدام أي مواد كيميائية . 3- غاز الهيدروجين الناتج والنشط حول المهبط نختزل طبقة الصدأ تدريجا	1- لابد أن يكون الأثر المعدني محتفظا بقوته وصلابته . 2- لابد من التحكم في ظروف العلاج من شدة التيار ونوعى وتركيز الالكتروليت المستخدم وحجم القطب المعدني والمقاومة المستخدمة وجميعها تؤثر في استمرارية العلاج .[170]

جدول رقم7: مميزات وعيوب الاختزال الكهربائي

4- طريقة روزنبرغ : Méthode de ROSENBERG

وهي طريقة تخض معالجة سبائك النحاس توضع على الثقوب les poches المتآكلة مادة الالمنيوم ومادة وسطية من الغليسيرين أو اغرة*agar –agar لجعل الاتصال بينهما ، وبعدها توضع في غرفة رطبة فيتم تثبيت بطارية، و تبدأ كلوريرات النحاس تتقلص ويجدد العلاج طالما أوراق الألمنيوم تتفاعل[171].

[170]زكريا نصر احمد ابراهيم، علاج وصيانة الاثار البرونزية في العصر البطلمي تطبيقا علي نماذج من ادوات القتال (سيف بطلمي) جامعة القاهرة فرع الفيوم كلية الاثار قسم الاثار ، ص30 .

* ماده هلامية تستخلص من الطحالب البحرية ينظر : سهيل ادريس ، المرجع السابق ،ص 46

[171] catalogue," l'usure du temps…" , op.cit., p115.

المحاضرة الرابعة عشر

طرق حماية التحف المعدنية من التآكل

(المانعات)

-المواد النشطةles produits actifs: :

-المواد الغير نشطة: les produit non actifs:

طرق حماية التحف المعدنية من التآكل

تمهيـــــد

يوجد عدد كبير من المانعات التي يمكن استعمالها لحماية المعادن من التلف وهي مواد تساعد على إعاقة التفاعل الانودي ،أو الكاتودي آو كليهما ،و تكون النتيجة تعطيل عملية التآكل، وعلى كثرتها فهي تختلف من تركيبة إلى أخرى. ولحماية التحف من الأكسدة تستعمل طرق بسيطة وهي تغطية سطحها بطلاء واقي ومقاوم يمنع الايونات النشطة للوسط الأكال ، والطلاء نوعان النشيطة و الغير نشيطة.

1- لمواد النشطةles produits actifs: :

مصدرها مواد كمياسة على شكل اكاسيد أو الرتنجات التي تحتوي على مساحيق معدنية. في معظم الأحيان حاول خبراء المعادن حماية المعدن من تأثير البيئة بوقايتها وتغطيتها بطبقة من معدن أخر مقاوم للأكسدة مثل الذهب الذي كانت تتطلى به المعادن بطبقة رقيقة من هده المادة ويبقى الذهب كعازل جيد ضد المتغيرات البيئية وهذا في حالة ما بقي سطح المعدن منتظم . ومتجانس ، وفور حدوث عدم استقرار المعدن وظهور بطارية التآكل الكامنة تحت الصفيحة الواقية بظهور تأكل على شكل ثقوب[172]

نفس الظاهرة تتكرر عندما يتم تغطية المعدن بمعدن لديه قابلية اقل لتأكل(وبالتالي جهد القياسي أعلي) مثل ما هو عليه في حالة طلاء الحديد. والعكس إذا ماطلي التحفة المعدنية بطبقة من معدن أخر لديه قابلية أسرع لتأكل (الجهد القياسي منخفض) ففي هذه الحالة يصبح المعدن الواقي جهد انودي قابل للذوبان ويتآكل قبل التحفة.

في الحقيقة تستعمل طبقة المانعات إلى تشكيل طبقة مهمدة* من تأثيرا لهواء على السطح البيني للمعدن من التآكل، وهو ما يستعمل دائما في تزنيك او تغطية قطعة حديدية بطبقة حامية من الزنك Zingage أو الألمنيوم [173]

2- المواد الغير نشطة: les produit non actifs:

وهي مواد متمثلة في مواد الشمع و الأفلام مكونة من البوليمرات العضوية، فهي تشكل طبقة مانعة ومقاومة لمنع تسرب الماء السائل يفضل اللجوء إلى هذه الطريقة في حالة المشاكل الصعبة التي تعترض المحافظين أثناء التدخل الوقائي على المقتنيات المتعددة العناصرles objet composites كما هو الحال بالنسبة لمتحف وهران الذي يحتوي على أصناف مختلفة من المقتنيات التي تتركب من مادتان مختلفتان من نفس القطعة كالسكاكين ذات المقابض الخشبية والجلود الحاملة للسيوف ، وبالنظر إلى هذه الإشكالية فانه يقترح فصل سطح المعدن و الخشب المعدن و الجلد بواسطة مانعات عضوية كالشمع أو أفلام البلاستيك.

[172] Volfovsky claude ,op.cit., p58
[173] Ibid,p58

يوجد العديد من أنواع الشمع المخصصة لمنع التآكل ،فكل واحدة تختلف عن الأخرى من حيث جودتها وعيوبها : غالبا هي ذات تركيب حامضي ، لها خاصية جذب الغبار بسبب خاصيتها الكهروستاتية، حساسيتها لهجوم الحشرات الكائنات الدقيقة باعتبار هذه الكائنات تتغذى بالمادة العضوية المركبة للمانعات . زيادة على هذا من الصعب إزالة الشمع كليا من على سطح المعدن حتى باستعمال رباعي الكلوريد الكربون tétrachlorure de carbone. ومنه نستطيع التمييز بين مجموعة مختلفة من المانعات[174] .

* **شمع النحل لطبيعي La cire naturelle d'abeille** : استخدمت بكثرة في طلاء التماثيل ومقتنيات المتحف ولكن من عيوبه قابليته للانصهار في درجة حرارة منخفضة. هذه السلبيات تم تصحيحها بإضافة مواد كاراتنج دمار *dammarالذي يزيد من مقاومته وعدم قابلتيه للانصهار في درجات مرتفعة من الحرارة.

* **الشمع البلوري La cire microcristalline** : و منتج ناتج من تكرير البترول يمتاز بمرونته الجيدة .

* **لشمع المعدل La cire modifiées** : مصدرها البوليمرات الايتيلين، واسيتات االفنيل ،و الرتنجات الملدنة بالحرارة[175].

***شمع البولي ايتيلين قليقول** Cire poly éthylène –glycol: ومن سلبياته انه ذو تأثير حامضي[176].

***البروليد Polaroïd B72**: هو عبارة عن راتينج أكريليكي يستخدم أيضًا كغراء.

عبارة عن خرزات شفافة تتميز بأنها قابلة للذوبان في مجموعة واسعة من المذيبات قطبي وغير قطبي (كحول ، أسيتون ، أسيتات إيثيل ، تولوين ، إلخ). تختلف اللزوجة وفقًا لتركيز المذيب المستخدم خاصة على القطع النحاسية[177] .

وبالرغم من هذا كله ورغم تعدد مانعات الحماية ضد أشكال التآكل لا تكون بنفس الدرجة والأهمية لطبقة الواقية التي تكتسبها التحفة عبر الزمن.

فالغشاء الأسود la patine الذي يكتسي التحفة المعدنية يكون طبيعيا وله دور مهم في الحماية من عوامل التلوث لذا ينصح بعدم إزالته من على سطح التحف.

وبشكل عام فليس الغشاء الأسود الذي يغطي سطح المعدن هو الذي يؤدي حتما إلى تشويهها و إنما التآكل الناجم عن الصقل و التلميع لإزالة الغشاء الأسود من على سطح[178].

---

[174] Basinov (V) , Lutte contre la corrosion par l'utilisation d'inhibiteurs, Traduit du russe par Ravensky (K), ed. Mir Moscou, 1989, p 22.

*راتنج دمار هو من الرتنجات الطبيعية التي تستخدم في صناعة الورنيش وهو يفرز من أنواع من الأشجار المتواجدة في الجزر الاندونيسية.فهي مادة غير قابلة لذوبان في الماء ولكن يمكن ايذابتها في المذيبات العضوية كا لكحول و الاستير و، الهيدروكربونات و الأسيتون .للمزيد من التفاصيل ينظر: Encyclopédie Wikipédia ; In http://www.wikipedia.com

[175] Volfovsky Claude, op.cit, p59

[176] Tetreault (J) , « . « matériaux de construction ,matériaux de destruction »,.colloque conservation et restauration des bien culturel A.R.A.A.F.U paris 1992., p173.

[177] Kramer Miriam, op.cit., pp. 20-21.

[178] Judy Logan," comment connaitre la corrosion… ".op.cit.

إذن فالمانعات العضوية بدورها تتطلب ظروفا جوية محددة لثباتها، فهي أيضا تتأثر بالرطوبة في حالة ظاهرة التكثف انطلاقا من 70% في حين أنها شديدة التأثر بارتفاع درجة الحرارة انطلاقا من 40م° حيث تبدأ أحادية الجزيء في التمدد الذي يعد انقطاعا في السلسة البلمرية chaine monomère ويترك فراغات تنساب من خلاله الأجسام المركبة للجو[179] ناهيك عن تأثير الأشعة مافوق البنفسجية UV في تلف المواد العازلة التي تساهم في التقليص من خاصيتها لطردها للماء وتكون ناقليتها سهلة في تسرب الماء إليها ،كما أثبتت دراسات على أن ارتفاع مستوى الناقلية أيضا يساهم في تغيير لون هذه المواد[180] .

ولتجاوز هذه العيوب بالنظر لإمكانية تجديد المانعات العضوية دوريا ، اما المدة الزمنية للتجديد فهي مرتبطة بمدة حياة المانع التي تحدد مسبقا

ومع ذلك كل الاحتياطات التي ذكرنها قد لا تكون كافية لمنع التآكل من ظهوره مجددا أما الأعراض الأكثر وضوحا على المعادن هي البقع الخضراء التي تمس النحاس و سبائكه ، أو على شكل علامات من الصدأ gouttelette أو شقوق تظهر على الحديد ، وان تبينت هذه التشوهات ينبغي معاودة العلاج في اقرب وقت ممكن كما يجب أن لا نتردد في أن تعهد إلى المرمم للعلاج.

ومن المشاكل التي تعترض العاملين في المتاحف هو ظهور أعراض من شتى أنواع التآكل ولكي نتفادى هذه المشاكل نتقيد ببعض النصائح التي يجب آخذها بعين الاعتبار لتقليل من الأضرار(الجدول رقم 8).

[179]معمر بساطة مروان ، الصيانة الوقائية للقى الحديدية الاثرية المستخرجة من الحفرية الارضية ،رسالة ماجستير في علم الاثار ،جامعة الجزائر،2007 المرجع السابق، ص82.

[180] Mboungou(E) ,étude des phénomènes lies a la dégradation des matériaux polymères sous champ électrique en présence de l'humidité. Thèse de doctorat en chimie –physique 2000, p40.

جدول رقم 8: المشاكل و الحلول لتدخل الوقائي على المعادن ، أما في حالة الشك استشارة المرمم.

المشاكل التي نقف عندها في الوسط المتحفي	الحلول
الأضرار الناجمة عن التعامل	في حالة التعامل لأجل ا لتنظيف أو المعالجة يجب ارتداءقفازات قطنية
الأضرار الناجمة عن الحك و الكشط	التنظيف عند الضرورة باستخدام مزيلات معتدلة مثل عجينة مركبة من كربونات الكالسيوم المرسب carbonate de calcium précipite *و الماء
تأكل من نوع جديد الذي يكون تحت الطلاء	عزل المعدن في بيئة جافة .
فقدان طبقة الطلاء التي تغطي سطح المعدن	ترك المعدن على هذا النحو للحفاظ على أثار استخدامه
في حالة حدوث ظاهرة التكاثف (قطرات الماء) داخل اكياس البلاستيك المغلقة	1-في هذه الحالة يتم وضع ثقب صغير في الكيس البلاستيكي لتهوية. 2- إضافة مواد ماصة كجل سيلكا ومعاودة إغلاق الكيس من جديد .
تأكل المعدن بظهور مسحوق اخضر و رمادي لسبائك النحاس الموضوعة في صناديق خشبية	تهوية الصندوق .
الغشاء الأسود الذي يغطي الفضة	من الأحسن حفظ الفضة في كيس بلاستيكي مغلق ، ومن الأفضل أيضا حفظه في كيس أخر مغلق بإضافة جل السليكا و الكربون النشط.
تأكل المعدن الرصاص بظهور مسحوق ابيض	توفير أفضل تهوية للحد من مشكلة (الأحماض الطيارة) و استشارة المرمم عن طرق الحماية لإزالة التآكل و التخلص منه.

نقلا عن المعهد الكندي.

* يتم الحصول على راسب كربونات الكالسيوم من تكليس الحجر الجيري في درجة حرارة 900°.يتم حرق الحجر االجيري للحصول على راسب كربونات الكالسيوم) من خلا ل التفاعلات الكيمائية المتتالية.

ملحق

اصل المعادن

يمكن العثور على المعادن إما في حالتها الأصلية أو في شكل خامات.

- **الحالة الأصلية** état natif : حالة أجسام بسيطة غير مقترنة بعناصر أخرى .

– الخامات minerai:الصخور التي يجب استخلاص المعادن منها .

- يوجد الذهب فقط في حالته الأصلية.

- الحديد في حالته الأصلية هو الحديد النيزكيmétéoritique .

Métal	Etat natif	Minerais
المعدن	**الحالة الأصلية**	**الخام**
الذهب	**نعم**	**لا**
الفضة	**نعم**	**نعم**
النحاس	**نعم**	**نعم**
الحديد	**نعم**	**نعم**

Metal المعدن	Minerais الخام	Teneur المحتوى
Mercure الزئبق	**Cinabre** **كبريت الزئبق**	**96 %**
Fer الحديد	**Magnetite** **المانيتيت**	**74 %**
Cuivre النحاس	**Cuprite** **الكوبريت**	**1,5 %**

السبائك

Alliage السبائك	Métal de base المعادن الاساسية	Élément d'addition العناصر المضافة
Bronze البرونز	**Cuivre** **النحاس**	**Etain** (3 à 20%) **القصدير**
Laiton التوتياء	**Cuivre** **النحاس**	**Zinc** (5 à 50% **الزنك**
Acier الفولاذ	**Fer** **الحديد**	**Carbone** (Moins de 2%) **اقل من 2%الكربون**
Fonte حديد الزهر	**Fer** **الحديد**	**Carbone** (2 à 6%) **الكربون**
Inox (acier inoxydable) الفولاذ المقاوم لصدئ	**Fer** **الحديد**	**Carbone et chrome** **الكربون والكروم(12%)**

La corrosion de quelque métaux تاكل بعض المعادن

*الحديد **fer**

*صدء(**rouille**) **fer+O_2+eau : Oxyde de fer**

*الألومنيوم**Aluminium**

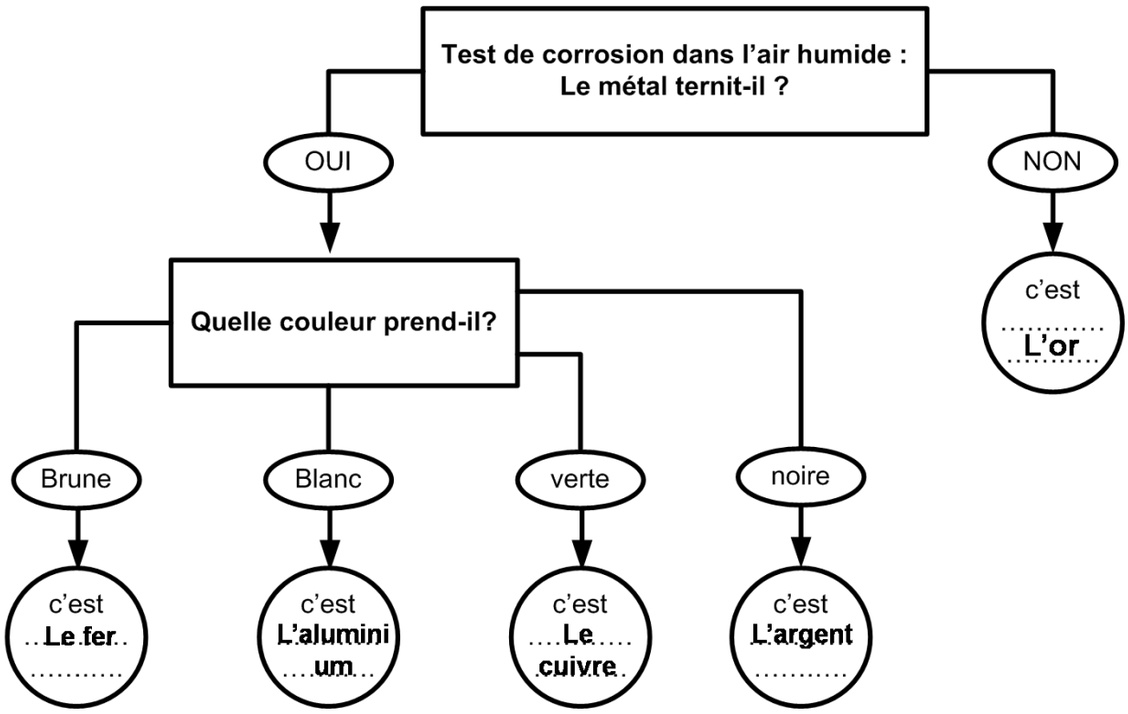
*باهت(**terne, sans éclat**) **Aluminium+O_2 : Oxyde d'aluminium**

*النحاس **Cuivre**

*اكسيد النحاس اسود(**noir**) **Cuivre + O_2 + H_2O : Oxyde de cuivre**

*الزنك**Zinc**

*ضارب إلى البياض(**blanchâtre**) **Zinc + O_2 : Oxyde de Zinc**



قـــــــائمة المراجع

المراجع بالعربية

- الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج ،تقنية مدنية ،خواص و اختبار المواد ، المملكة العربية السعودية ،دت.
- ادامزفليب و آخرون ،« دليل تنظيم المتاحف » ، ترجمة محمد حسن عبد الرحمن الهيئة المصرية العامة للكتاب ، 1999 .
- اولكر ارغين صوى، ترجمة الصفصافي احمد القطورى ،" تطور فن المعادن الإسلامي منذ البداية حتى نهاية العصر السلجوقي" ، المجلس الأعلى للثقافة القاهرة .
- البستاني بطرس، "محيط المحيط" ، مكتبة لبنان ،ساحة رياض الصلح بيروت، 1987.
- بن طيب نصر الدين ،" تاريخ الفن من العصر الحجري إلى الفن الغوطي" ، منشورات الريشة الحرة،2008 .
- التهامي جاب الله و اخرون، " أساسيات سباكة المعادن"، سلسلة الكتاب التقني ، منشورات الثانوية الفنية طرابلس ليبيا، 2007.
- جودي محمد حسين ، "فنون و أشغال المعادن" ، دار الميسرة للنشر و التوزيع ، الطبعة الأولى ،2007.
- حلاق حسان ، "مقدمة في تاريخ العلوم و التكنولوجيا ".
- حنفي عائشة، "خواص مادة النحاس و طرق علاجها" ، مجلة الدراسات الاثرية ، معهد الاثار الجزائر.
- الخطيب احمد سقيف، و خير الله يوسف سليمان، " الموسوعة العلمية الشاملة " ،مكتبة لبنان للنشر، ط1، سنة1998.
- شبكة بحوث وتقارير معدن الفضة *https://arbyy.com*
- الشريف عبد الجواد ، قحطان خلف الخزرجيي، "التآكل أسبابه أنواعه طرق الحماية منه" الطبعة الأولى المجلد 1 دار النشر الدجلة، 2010.
- علم المواد المعالجات الحرارية لسبائك الصلب الكربوني"، تخصص ميكانيكا انتاج.
- عماد محمد ابراهيم خليل ، علم المعادن، كلية العلوم ،جامعة الزقازيق مصر العربية ،2014.
- عوض محمد فتحي ، " الإنسان و الثروات المعدنية" ،عالم المعرفة الكويت ،1990.
- الفريد لوكاس، "المواد و الصناعات في مصر القديمة "،ترجمة زكي اسكندر وزكريا غنيم، القاهرة، 1991.
- مانويل جوميت مورينو ، "الفن الإسلامي في اسبانيا" ، ترجمة الدكتور لطفي عبد البديع و السيد عبد العزيز سالم، الدار المصرية للتأليف و الترجمة ، القاهرة، 1968.
- مطاوع حنان عبد الفتاح ، " الفنون الاسلامية حتى نهاية العصر الفاطمي" ، ط1 دار الوفاء للطباعة و النشر القاهرة 2011.
- المعدراني رفعت ،المعادن ، منشورات المكتبة العصرية للطباعة و النشر،صيدا بيروت ،1956.
- معرض قصر الثقافة، الحلي الجزائرية، الجزائر، المؤسسة الوطنية للفنون المطبعية 1990.

- معمر بساطة مروان ، الصيانة الوقائية للقى الحديدية الاثرية المستخرجة من الحفرية الارضية ،رسالة ماجستير في علم الاثار ،جامعة الجزائر،2007.
- الموسوعة الكيمائية مصادر الكيمياء https chemistrysources.com
- نصر زكريا احمد ابراهيم ، " علاج وصيانة الاثار البرونزية في العصر البطلمي تطبيقا علي نماذج من ادوات القتال (سيف بطلمي)" ، جامعة القاهرة فرع الفيوم كلية الاثار، قسم الاثار.
- نعامي كلثوم، دراسة تأثير بعض المستخلصات النباتية على تثبيط تآكل الفولاذ الكربوني في وسط حمضي، مذكرة لنيل شهادة ماستر أكاديمي ، قسم الكيمياء كلية الرياضيات وعلوم المادة ،2019.
- نور الدين عبد الحليم ، "متاحف"، الاصدار في مصر و الوطن العربي، دراسة في علوم المتاحف الطبعة الأولى، 2009 .
- هربت ريد ، الفن و الصناعة أسس التصميم الصناعي، ترجمة فتح الباب عبد الحميد و محمد محمود يوسف، عالم الكتب ، القاهرة، 1947 .

المعاجم

- سهيل ادريس،المنهل قاموس فرنسي _عربي ،دار الادب ،بيروت ، 2004.

المراجع بالفرنسية

-de la fouille au laboratoire l'archéologie une science a la rencontre du passé. Consulté le17 janvier, 2021 Université de Lille*https://sciencesinfusent.univ-lille.fr › detail-actualite*

- BADER Martin, « Emballage et transport des matériaux organiques en provenance de sites de haute altitude mesures de conditionnement et sécurisation des indices archéologique , HEAA Arc,2008.
- Baron S. et Coustures M.-P. " ،Apports et limites des méthodes isotopiques pour restituer la circulation des métaux aux périodes anciennes ،*Les nouvelles de l'archéologie*, 2015, no 138.
- Basinov (V) , Lutte contre la corrosion par l'utilisation d'inhibiteurs, Traduit du russe par Ravensky (K), ed. Mir Moscou, 1989 Encyclopédie Wikipédia http://www.wikipedia.com
- Bénédicte(M), D'ombre et de lumière ,conservation-restauration de trois silhouettes du cabaret du chat de Montmartre, Mémoire de fin d'étude 2008.
- Bensaada s., « Metaux et non ferreux « , https://www.univ-biskra.dz › enseignant › bensaada .

-BERTHOLON (R) et RELIER (C) , « Les métaux archéologiques, in La conservation en archéologie », sous la direction de BERDUCCOU (M-C), éd. Masson, Paris, 1990.

- Bertholon(R), « la limitation de la surface d'origine des objets métalliques archéologiques , caractérisation localisation et approche de mécanismes de conservation » , thèse de doctorat université paris I Sorbone ,2000.

- Berzelius, Jöns (1779-1848). (n.d.). Wolfram Research. Retrieved July 13, 2015 from http://scienceworld.wolfram.com/biography/Berzelius.html
- Bordass B. , "m*uséum collection in industriel buildings A selection and adaptation".* guide museum gallérie commission the conservation uni1999.
- BRONIEWSKI I. et SLIWOWSKI L., Sur les alliages plomb - anti Moines.
- Catalogue, " L'usure du temps la restauration des objets du patrimoine", musées et sites archéologiques de sait-romains –en gal vienne 1998 .
- CHABOU Moulley Charaf, « Les minéraux Institut d'Architecture et des Sciences de la Terre Département de Sciences de la Terre », MD -Sciences de la Terre et de l'Univers- Licence Géosciences, 1ère année –Module Géologie.
- CHAPLET A., « Les Patines Du Cuivre et de ses Alliages ‹Cuivre et Laiton», n°182 du 15 septembre 1936.
- Chastel(y), « mécanisme physique de la déformation ,matériaux des ingénieur école des mines », paris, 2006.
- Coche Etienne , « Les bijoux antique », publication universitaire France 1956 .
- Colliou(C) ,Aranda(R),proposition expérimentations et réflexions autour de la réduction du minerai du fer par procède directe avec une ventilation naturelle. Programmes collectif de recherche, vent et fours en paléo métallurgie du fer du minerai d'objet .rapport final SRA Bretagne 2006.
- Daniel (D), matériaux analogue archéologique et corrosión ,Andra, Agence nationale pour la gestión des déchets radio actifs".
- Dossier enseignant, « le fer et l'acier, Voyage en industrie »,cap science 2006 .
- DULIEUX P.-E., « Les minerais de fer de la province de Québec gisements et utilisation », université of torino,1915.
- E.Verner(J),JoanneC(H), «La mise en reserve des collection de muse e» Unesco
- Ecole nationale des mine, « expo atelier sur les métaux », 158 fauriel saintetienne,2003.
- GHOMARI Fouad, « Science des matériaux de construction », université Aboubekr Belkaid, Faculté des sciences de l'ingénieur, département de génie civil .
- Grosgogeat(B ,COLON(P),Lacorrosion,Universit médical Virtuelle Francophone Société Francophone de Biomatériaux Dentaires, 2009.
- http://www.lerncoach.li ›2014 Cellule de concentration
- Jarrah Adil, « Développement de méthodes statistiques et probabilistes en corrosion par piqures pour l'estimation de la profondeur maximale » , application a l'aluminium A5 , thèse de doctorat, Sciences des Métiers de l'Ingénieur paris 2009.
- Jody Logane , « Identification des métaux dans les objet archéologique » ,notes de I CC4/1, institut canadien,2007.
- Khodakov(Y),Epstein(D), Gloriosov(p), « chimie minérale »,Tome II, Édition Mir, Moscou, 1989.
- KONAN Koffi Léon, « chimie des matériaux inorganiques» Sciences des Structures de la Matière et de Technologie Université Félix Houphouët-Boigny.

- Kramer Miriam, « Le conditionnement d'objets en métal Propositions pour le service archéologique du canton », Bachelor of Arts HES-SO en Conservation de Berne,2009 .
- Lakhtine I., « Métallographie et traitements thermique des métaux » , Moscou Mir ,1978, p399.
- le courrier archéologique, « composition conservation restauration des objet métalliques », le du Languedoc Roussillon n°29 ,1987.
- Ledebur (A) , « Manuel théorique et pratique de la métallurgie du fer », V. 2, Traduit de l'allemand par Barbary (L) , ed. LPBC, Paris, 1895.
- Les cahiers de la fonderie «,Les métaux au fil de l'histoire» C.N.A.S
- Les métaux et les alliages, Secondaire - Alloprof , élevés › sciences, page consulté le 17/09/22 https://www.alloprof.qc.ca ›
- Mark Jerry, émission de l'industrie du métal, annexe4, 2006.
- Masson Christine, « Les monnaies comment reconnaitre et collectionner les pièces », 1977.
- Mauduit j.A, Nostrum mare, « collection naissance des civilisations » ,ed. du mont blanc,1966.
- Mboungou (E) ,étude des phénomènes lies a la dégradation des matériaux polymères sous champ électrique en présence de l'humidite, these de doctorat en chimie –physique, 2000 .
- Meyer Nicole, RELIER Caroline, conservation site et du mobilier archéologique principe et méthodes, UNESCO et document sur le patrimoine culturel,1987 .
- Meyer-Roudet(H), a la recherche d'un métal perdu les nouvelles technologies dans la restauration France, paris1999 .
- Murry Guy, Lévêque Robert, "Metallurgie" ,Dunod , 3e Edition paris .
- NEFF ,Apport des analogues archéologique a l'estimation des vitesse moyennes et a l'étude des mécanismes de corrosion a tre longue terme des aciers non alliés dans le sol ,these dedoctorat , université de technologie de Compiègne ,2003
- Nicole(M),caoline(R), la conservation des sites et mobilier archéologiques principes et méthodes,1988.
- Non destructive testing, https://web.itu.edu.tr › arana › ndt NDT - NON-DESTRUCTIVE TESTING
- NOT Christelle, « Caractérisation de l'oxydation du fer ferreux en présence de deux bactéries ferro-oxydantes neutrophiles, du champhydrothermal de loihi » , hawaï , mémoire présente comme exigence partielle de la maîtrise en biologie, 2006
- Pelkan Wilhelm, les sept métaux, s.d.
- Pernot Michel , « Archéométallurgie de la transformation des alliages à base de cuivre », Actes du VIe Congrès international d'Archéologie Médiévale, 1-5 Octobre 1996, Dijon - Mont Beuvray - Chenôve - Le Creusot - Montbard) .
- Petrov(M),Mikhilev(L),Kou kouchkine(Y) ,chimie minérale, traduit par Elli Bronina, édition mir Moscou 1984
- Pourbaix (M) , « Leçon en corrosion électrochimiques » , Ed.cebelcon Bruxelles 1979.

- Québec, « métaux, guide pour la conservation des arts public », centre de conservation 2008.
- Reguer (S) , « Phases chlorées sur les objets archéologiques ferreux corrodés dans les sols: caractérisations et mécanismes de formation » , Thèse de Doctorat Université Paris XI Orsay, 2005 .
- Rémy L., « l*es réserves stockage passif ou pole de valorisation du patrimoine* »,1999 , la lettre de L'OCIM n°65.
- Renaud(B) Nadine(D) et autres , « La nettoyage pour étude du mobilier Métallique Zeugma : un compromis a la restauration », 2013.
- Robbiola Luc, « L'histoire d'une hache a d'ouille de l'âge de bronze archéologique » , communication présentées par le groupe métal, ICOM france1994 ..
- Robbiola Luc, Les patines naturelles des bronzes – quelques développements majeurs Les dossiers de l'Institut du Patrimoine Wallon IPW n° 15,2015.
- S.BENSAADA , « Cours de corrosion »,
- SAMSAR Djamila, « Cours de chimie Minérale », Université Mustapha Ben Boulaïd Batna-2, Institut d'hygiène et Sécurité Industriel.
- Sofiene Amira et autres, « Guide des solutions pratiques permettant de rencontrer la corrosion galvanique entre l'aluminium et l'acier dans le domaine du transport terrestre », canada ,2010.
- Tetreault (J) , « matériaux de construction ,matériaux de destruction »,.colloque conservation et restauration des bien culturel A.R.A.A.F.U paris 1992.
- Thiery(E) , "Argent" ,in g.e,tome3, Paris, S.D .
- Togola N'golo,les minéraux et les roches, QUEBEC MINES .
- VEGA(E).), « Altération des objets ferreux archéologiques du site de Glinet » , Thèse de doctorat Université de Technologie, Belfort-Montbéliard, 2004.
- Venu prasad A‹ Anudeep kumar R. A‹«, non-destructive testing course code ame526 », mechanical engineering institute of Aeronautical engineering 2000.
- Volfovsky Claude ,La conservation des métaux ,CNR Edition paris 2001.
- WHIFFEN(D-H), *La spectroscopie »,* paris, Ed. Flammarion Science, 1971.

_Wood Julie, « le livre de la préhistoire l'âge de la Pierre polie », Italie 1990.