

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الحاج لخضر باتنة 1  
كلية علوم المادة  
قسم الفيزياء



رسالة  
مقدمة لنيل  
شهادة الدكتوراه  
مقدمة من طرف:  
قرفة فتيحة  
الموضوع:

تحضير الخزفيات لمختلف التطبيقات: البورسلان و/ أو الخزفيات الحيوية

**Elaboration des céramiques pour différentes  
applications: Porcelaines et/ ou biocéramiques.**

تخصص: علوم المواد - فرع: خزفيات

تاريخ المناقشة: 26 / 02 / 2017.

أمام لجنة المناقشة:

جامعة الحاج لخضر باتنة 1	رئيسا	أستاذ	عيسى بلقاسم بوزيدة
جامعة الإخوة منتوري قسنطينة 1	مقررا	أستاذ	عبد الحميد حرابي
جامعة الحاج لخضر باتنة 1	ممتحنا	أستاذ	الجمعي بلباشة
جامعة الحاج لخضر باتنة 1	ممتحنا	أستاذ	يسين جاب الله
جامعة محمد خيضر بسكرة	ممتحنا	أستاذ	محمد توفيق سلطاني
جامعة جيجل	ممتحنا	أستاذ محاضر أ	فرحات بوزرارة

## الإهداء

" قل إن صلاتي و نسكي و محياي ومماتي لله رب العالمين "

الآية 162 سورة الأنعام

إلى روح أبي الطاهرة أهدي هذا العمل المتواضع و كل عمل جميل و طيب في حياتي. إلى من افتقدت حضنه الدافئ في فرحي و حزني، في ضعفي وقوتي. رحمك الله أبي وأسكنك فسيح جنانه.

إلى أمي ثم أمي ثم أمي، حبي لكي يا أغلى و أعز الناس و رغبتني الكبيرة في الفوز برضاك كان دافعي الكبير للاجتهاد والعمل.

إلى كل معلمي و أساتذتي عبر كل المراحل التعليمية، أنحني أمامكم لأقول لكم جميعا شكرا.

إلى زوجي الغالي، شكرا على تفهمك، تسامحك ...

إلى أجمل و أروع ما منحني الله، نبض قلبي و نور عيني، أبنائي أكرم عبد الباسط و أيوب المعتصم بالله.

إلى إخوتي الغاليين عبد الوهاب و لمين وزوجاتهم حياة و سعيدة. إلى أختي الرائعة نادية و زوجها عبد القادر. ثم إلى الكتاكيث: عبد اللطيف، آية ، شرف الدين، دينا، الحسن، الحسين، أسيل و الكتكوت صالح.

## شكر و عرفان

أتقدم بالشكر الجزيل بكل ما تحمله هذه الكلمة من معاني التقدير والاحترام للأستاذ **عبد الحميد حرابي** - أستاذ بقسم الفيزياء كلية العلوم بجامعة منتوري قسنطينة 1 - على إشرافه على هذا البحث و تتبعه المستمر و نصائحه القيمة لنا في سبيل الوصول إلى أحسن النتائج، عذرا أستاذي فلم أجد في كل القواميس و المعاجم الكلمات التي تعطيك حقا لأنك مدرسة كاملة تعلمنا فيها الأخلاق و التحدي و المثابرة و العلم... الخ.

كما أتقدم بالشكر والتقدير إلى الأستاذ **عيسى بلقاسم بوزيدة** - أستاذ بقسم الفيزياء كلية العلوم بجامعة الحاج لخضر باتنة 1 - على تقبله ترأس لجنة المناقشة.

كما أتقدم بالشكر الجزيل إلى كل من الأساتذة: **فرحات بوزرارة** - أستاذ محاضر بقسم الفيزياء كلية العلوم بجامعة جيجل، الأستاذ **محمد توفيق سلطاني** - أستاذ بقسم الفيزياء كلية العلوم بجامعة محمد خيضر بسكرة - الأستاذة: **الجمعي بلباشة** - أستاذ بقسم الفيزياء كلية العلوم بجامعة باتنة، الأستاذ **يسين جاب الله** - أستاذ بقسم الفيزياء كلية العلوم بجامعة باتنة على موافقتهم المشاركة كأساتذة ممتحنين في لجنة المناقشة.

و أتقدم بالشكر الخاص جدا إلى الصديقات: **حسيبة موالكية**، **فهيمة زنيخري**، **سعاد كسراني**، **سهيلة زواي**، **نادية حملاوي**، **ليلي يحي** و أيضا **نعيمة مشحود** و زوجها **جمال** على مساعدتهم و مساندتهم المطلقة.

كما أتقدم بالشكر الكبير لكل الزملاء و الزميلات بوحدة البحث - فيزياء المواد بجامعة قسنطينة و خاصة **مخبر الخزفيات**.

الفهرس

# الفهرس

مدخل عام ..... 01

## الجزء الأول: الدراسة المرجعية

الفصل الأول: عموميات حول الخزفيات ..... 03

1-1- تعريف الخزفيات: ..... 03

2-1- بنية الخزفيات ..... 03

1-2-1- الروابط الكيميائية في الخزفيات ..... 04

2-2-1- البنية البلورية ..... 05

3-2-1- البنية المجهرية ..... 05

3-1- خصائص الخزفيات ..... 05

1-3-1- الخصائص الحرارية ..... 07

2-3-1- الناقلية الحرارية والكهربائية للخزفيات ..... 07

3-3-1- الخصائص الميكانيكية ..... 07

4-3-1- مقاومة الخزفيات للتآكل ..... 08

4-1- طرق تصنيع الخزفيات ..... 10

1-4-1- تهيئة المسحوق ..... 10

2-4-1- التشكيل ..... 11

3-4-1- التلييد ..... 11

4-4-1- التحسين و الإتقان ..... 11

5-1- دراسة نظرية حول حركية التلييد ..... 11

1-5-1- مفهوم التلييد ..... 14

2-5-1- مراحل التلييد ..... 16

3-5-1- أنواع التلييد ..... 17

4-5-1- تنشيط التلييد ..... 20

الفصل الثاني : المواد الحيوية وتطبيقاتها في طب الأسنان ..... 21

1-II تعريف المواد الحيوية ..... 21

2-II تصنيف المواد الحيوية ..... 22

1-2-II المواد الخاملة حيويًا ..... 22

2-2-II المواد الفعالة حيويًا ..... 23

24	3-2-II المواد الممتصة
25	3-II اختيار المواد الحيوية البديلة
27	4-II تطبيقات المواد الحيوية في طب الأسنان
27	1-4-II تركيب السن الطبيعي
29	2-4-II معالجة الأسنان
31	أ) الحشوات
31	ب) التيجان والجسور
32	ج) زراعة الأسنان
35	3-4-II التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسوب (CAD/CAM)
36	5-II البورسولان وطب الأسنان
36	1-5-II نبذة تاريخية عن البورسولان
37	2-5-II المواد الأولية
39	1-2-5-II الكاولان
42	2-2-5-II الكوارتز
45	3-2-5-II الفيلدسبات
47	3-5-II البورسولان السني
49	4-5-II تلييد البورسولان
49	1-4-5-II تلييد البورسولان العادي
50	2-4-5-II تلييد البورسولان السني

## الجزء الثاني: الدراسة التجريبية

54	الفصل الثالث: الطرق التجريبية والمواد المستعملة
54	1-III دراسة المواد الأولية
54	1-1-III الكاولان
55	2-1-III الكوارتز
55	3-1-III الفيلسبات
58	4-1-III الإضافات (أكسيد البور)
58	2-III الطرق المتبعة في تحضير البورسولان السني
59	3-III الأجهزة المستعملة وتقنيات القياس
61	1-3-III التحليل باستعمال أشعة X
61	2-3-III التحليل باستعمال الأشعة تحت الحمراء IR
62	3-3-III مطيافية Raman
62	4-3-III التحليل الحراري التفاضلي (DSC)

63	III-3-5 المجهـر الالكـتروني الماسـح (MEB) .....
63	III-3-6 الفرن الكهربائي .....
63	III-3-7 جهاز السحق .....
63	III-3-8 الكتلة الحجمية الظاهرية ونسبة الفراغات .....
65	III-3-9 قياس مقاومة الشد .....
66	III-3-10 قياس الصلادة المجهرية .....
67	III-3-11 الاختبار بواسطة المحلول الملحي الفسيولوجي .....

#### 69..... الفصل الرابع: النتائج التجريبية و مناقشتها

69	IV-1-1 تلييد البورسولان السني .....
70	IV-1-1-1 تأثير درجة الحرارة .....
70	أ) الكتلة الحجمية الظاهرية ونسبة الفراغات .....
72	ب) دراسة منحنيات التحليل ( Raman ,FTIR ,DRX ) .....
76	ج) التحليل الحراري التفاضلي (DSC) .....
77	د) البنية المجهرية .....
78	IV-1-2 تأثير إضافة $B_2O_3$ .....
78	أ) دراسة منحنيات تحليل ( FTIR ,DRX ) .....
80	ب) دراسة تغير الكتلة الحجمية .....
83	IV-2-1 دراسة الخصائص الميكانيكية لمركب البورسولان السني .....
83	IV-2-1-1 تأثير درجة الحرارة في الخصائص الميكانيكية للبورسولان السني .....
83	أ) الصلادة المجهرية .....
84	ب) مقاومة الثني .....
87	IV-2-2 تأثير إضافة $B_2O_3$ في الخصائص الميكانيكية للبورسولان السني .....
92	IV-2-3 إشكالية إضافة أكسيد البور بنسب كتلية % 1 إلى عينات البورسولان السني .....
94	IV-3-1 مقاومة التآكل لمركب البورسولان السني المحضر .....

#### 95..... خلاصة عامة

#### 97..... المراجع

مدخل عام



## مدخل عام

مرت الحياة البشرية على وجه الكرة الأرضية بمراحل عديدة و تعاقبت الحضارات المختلفة في تنافس رهيب لتشبع رغبة هذا الكائن الطموح في التميز والسعي إلى الأحسن، و خلال هذه الرحلة الطويلة منذ خلق سيدنا آدم إلى وقتنا هذا كان للإنسان مع الطبيعة قصص مرحلية تنتهي لتحل محلها قصص أخرى تتماشى مع تطوره الفكري و السياسي و الاقتصادي بالإضافة الى معتقداته الدينية. لتبقى قصة الإنسان مع الخزف هي القصة الوحيدة التي ترافقه منذ خلقه إلى يومنا هذا، قال الله تعالى < **هو الذي خلقكم من طين ثم قضى أجلا و أجل مسمى عنده ثم أنتم تمثرون** > الآية 2 من سورة الأنعام، حيث أعاد الإنسان اكتشاف الخزف أكثر من مرة باستخدامه استخدامات متنوعة إلى حد التباين، إذ أن الإنسان القديم ولحقة من الزمن استعمل الطين والصلصال في تشكيل بعض اللوازم المنزلية التي كان يحتاجها خلال حياته اليومية (أواني، أدوات للبناء... الخ)، لكن خلال القرن العشرين و بعد تبين ما للخزفيات من خصائص فيزيائية وكيميائية لا يمكن للمعادن والمواد العضوية أن تمتلكها، عملت مراكز بحث ومخابر مختصة مختلفة و متعددة على توجيه اهتمامها لدراسة الخزفيات بمختلف أنواعها و تطبيقاتها. مختبر الخزفيات بقسنطينة- الجزائر أيضا كانت له بصمة عالمية في هذا المجال، حيث سجل عدة دراسات تمس مختلف التطبيقات للخزفيات من بينها: الخزفيات الحديثة [10-1]، الخزفيات البيئية (تصفية الماء) [25-11] و الخزفيات الحيوية [38-26]. من جهة أخرى تعود أهمية تصنيع الخزفيات إلى توفر المادة الأولية وتعددتها فالمادة الأولية للخزفيات تمثل في معظم الأحيان مكونات القشرة الأرضية السطحية و هي الأقرب بالنسبة للإنسان و الأسهل من ناحية الاستخراج و قد سبق القرآن الكريم بإعجازه إلى الإشارة إليها كميدان للبحث والتأمل لما لها من أهمية إذ قال الله تعالى: < **أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بَيضٌ وَحُمْرٌ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهَا وَغَرَابِيبُ سُودٌ** > وَمِنَ النَّاسِ وَالْدَّوَابِّ وَالنَّاعَمِ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهُ كَذَلِكَ إِنَّمَا يَخْشَى اللَّهَ مِنْ عِبَادِهِ الْعُلَمَاءُ إِنَّ اللَّهَ عَزِيزٌ غَفُورٌ، الآية 27-28 من سورة فاطر.

يعد البورسلان (porcelain) بأنواعه المختلفة من أهم وأكثر الخزفيات تصنيعاً في العالم منذ آلاف السنين و ذلك نتيجة تباين خصائصه و اختلاف مجالات تطبيقه، حيث أن اختلاف نسبة المواد الأولية الداخلة في تصنيع البورسلان (أهمها: الكاولان و الفيلدسبات و الكوارتز) و طبيعتها الكيميائية يعطي تغيراً كبيراً في خصائصه الفيزيائية، الكيميائية والميكانيكية و بالتالي تبايناً كبيراً في مجالات استعماله. فمثلاً البورسلان السني ( dental porcelain) الذي يستعمل كبديل للأسنان المتضررة في طب الأسنان يختلف عن بقية البورسلان من ناحية ارتفاع نسبة الفيلدسبات الداخلة في تركيبه وبالمقابل نسبة ضئيلة من الكاولان تكاد تكون منعدمة عكس بقية البورسلان فإن الكاولان مكون أساسي وغالب في تركيبه. إن الهدف الرئيسي من هذا البحث هو محاولة تحضير البورسلان السني انطلاقاً من مواد أولية محلية ( الكاولان من جبل دباغ ولاية قالمة، الفيلدسبات من عين بربر ضواحي عنابة والكوارتز من بئر العائر بتبسة) بالإضافة إلى دراسة الخصائص الميكانيكية له ومحاولة تحسينها من خلال إضافة أكسيد البور ( $B_2O_3$ ).

على ضوء هذه الأهداف تم تقسيم الرسالة إلى أربعة فصول، حيث خصص الفصل الأول و الثاني للدراسة المرجعية بينما تطرق الفصل الثالث و الرابع إلى الدراسة التجريبية و ذلك كما يلي:

- الفصل الأول: اشتمل على دراسة عامة للخزفيات و على دراسة مفصلة نوعاً ما عن التليد ذلك لما له من تأثير في خصائص العينات المدروسة.
- الفصل الثاني: تناول هذا الفصل دراسة المواد الحيوية و مجالات تطبيقها ثم عرج على دراسة البورسلان السني كنموذج لهذه المواد. في الأخير جاءت دراسة موجزة للمواد الأولية الداخلة في تصنيع البورسلان و البورسلان السني بصفة خاصة.
- الفصل الثالث: تعرضنا في هذا الفصل إلى دراسة المواد الأولية و الطرق التجريبية المتبعة لتحضير مركب البورسلان السني كما تم من خلاله عرض مختلف الطرق التجريبية و الأجهزة المستعملة في هذه الدراسة.
- الفصل الرابع: تم من خلاله عرض مختلف النتائج المحصل عليها و مناقشتها.

الجزء الأول

الدراسة المرجعية

# الفصل الأول: عموميات حول الخزفيات

## عموميات حول الخزفيات

### I-1 تعريف الخزفيات:

إن توغل الخزفيات (Ceramic) في حياة الإنسان وتلبيتها لمختلف احتياجاته مع تطور استخداماتها عبر مختلف حضاراته جعلها تأخذ بعدين مختلفين و تعريفين متباينين يحددان النظرة التقليدية وليدة الحاجة والصدفة والنظرة الحديثة ذات التقنيات الصناعية المدروسة والمتطورة. فمن الناحية التقليدية تعرف الخزفيات على أنها فن صناعة الفخار وتعتمد أساساً على خاصية تحويل الغضار أو الصلصال عند مزجه بكمية من الماء إلى عجينة لدنة سهلة التشكيل، يتم بعد ذلك تسخينها عند درجات حرارة عالية نسبياً لنحصل في النهاية على مادة صلبة وصلدة. بينما من الناحية الحديثة (و حسب الجمعية البريطانية للخزفيات 1979م) فهي مواد صلبة مصنعة غير معدنية وغير عضوية يتم الحصول عليها من المواد الأولية بعد المعالجة الحراري [39].

### I-2 بنية الخزفيات:

إن لبنية المادة بصفة عامة أهمية كبيرة ودور فعال في إعطائها الخواص الفيزيائية و الميكانيكية والضوئية... الخ وبالتالي تحديد قيمتها ومكانتها في حياة الإنسان بعد إعطاء حل دقيق للمترابحة الاقتصادية (تكلفة الاستخراج و التصنيع > الأرباح المحققة بعد استعمالها) فمثلاً يوجد الكربون في الطبيعة على صورة معدن الألماس وهو أصلب المعادن المعروفة كما يوجد على صورة معدن الجرافيت وهو من أقل المعادن صلابة [40،41] بالإضافة إلى خصائص الألماس الضوئية الفريدة مما يجعله الأكثر طلباً وتكلفة من الجرافيت بكثير. تختلف وتتعدد البنيات التي تأخذها المادة الخزفية وذلك لأنها تتكون أساساً من أكثر من ذرة واحدة فهي

تتكون من أشباه المعادن وتركيباتها أو من واحد أو أكثر من العناصر المعدنية [42]، بالإضافة إلى طرق و ظروف تصنيعها أو تشكلها في الطبيعة، فأبسط بنيات المادة الخزفية هي ذات الطور الواحد (و هو طور صلب قد يكون بلوري أو زجاجي)، وأعقدها خزفيات على شكل مركب مكون من تجاور لعدة أطوار شكلت عند درجات الحرارة العالية [39].

### I- 2- 1 الروابط الكيميائية في الخزفيات:

على المستوى الذري، الخزفيات تتميز بروابط قوية و موجهة ذات خاصية أيونية أو تساهمية (تكافئية) أو خليط بين الرابطتين مع تغلب إحدهما، عكس المعادن ذات الروابط الضعيفة و الغير موجهة (إلكترونات غير ممرزة délocalisé) [43]. وهذا ما يؤدي غالبا إلى خمول كيميائي. يوضح الجدول 1-I طاقة الربط لبعض المركبات [44]. تظهر الرابطة الأيونية أكثر في الأكاسيد الخزفية مثل:  $Al_2O_3$ ،  $ZrO_2$ ،  $TiO_2$  ...، حيث تتخلى الكاتيونات المعدنية على الكترولونات لأنيونات الأكسجين مما يؤدي إلى عدم توفر الكترولونات حرة إلا عند درجات حرارة عالية [42]. بينما تطغى الرابطة التكافئية على بقية الخزفيات كالكربيدات و النتريدات و البوريرات و بعض مركبات الكربون وهي روابط أقل قوة من الروابط الأيونية أين تكون الإلكترونات مشتركة بين الذرات [42].

الجدول 1-I طاقة الربط لبعض المركبات [42].

الرابطة	C-Si	Si-Si	Si-O	B-N	C-C
الطاقة (eV)	3.38	2.30	4.60	4.55	3.60

## I-2- 2 البنية البلورية:

تتعلق البنية البلورية للخزفيات مباشرة بطبيعة الروابط البلورية السائدة، فإذا كانت أغلبية الروابط أيونية تأخذ البنية تعبئة متراسة، ذات أكبر كثافة ممكنة، أين يحاط كل أيون بأكبر عدد من الأيونات ذات الشحنة المخالفة له. نلاحظ هذا في مختلف المركبات الأكسجينية، حيث تتكون البنية من تراص لذرات الأكسجين محاطة بمختلف الأيونات المعدنية المتوزعة في مواقع ثمانية الوجوه [42]. أما إذا كانت الروابط التكافئية هي السائدة، فإن ترتيب و توزيع الذرات يكون متعلقا بعدد الروابط الحرة، ويأخذ المركب الخزفي في هذه الحالة بنية مماثلة لبنية الألماس [42].

## I-2- 3 البنية المجهرية:

تتشكل البنية المجهرية للخزفيات من تجمع بلورات صغيرة أو حبيبات ذات أبعاد لا تتعدى عموما  $1\mu\text{m}$  وذات اتجاهات مختلفة، يفصل بين هذه الحبيبات طور بيني يتمثل في الحدود الحبيبية، بالإضافة إلى ذلك تكاد لا تخلو معظم الخزفيات من المسامات الموزعة في كامل حجم المادة. تتعلق خصائص المواد الخزفية بشكل واضح بتوزيع الأطوار (بلوري، زجاجي، فراغات) في حجم المادة الخزفية وشكلها والذي يرتبط بدوره بنوعية ونقاوة المادة الأولية المستخدمة بالإضافة إلى طرق التصنيع [42]، حيث أنه على سبيل المثال يكفي أن يكون هناك % 10 حجما من الفراغات في مادة خزفية غير شفافة لتصبح شفافة [45].

## I-3 خصائص الخزفيات:

إن متانة الرابطة الكيميائية للخزفيات هي التي تمنحها معظم الخصائص التي تميزها عن بقية المواد، لكن يبقى تحديد المجال التطبيقي الأنسب لكل مادة خزفية يعتمد أساسا على العناصر المكونة لها (جدول I-2) بالإضافة إلى التقنن في طرق تصنيعها لتعزيز بعض هذه الخصائص حسب ما تتطلبه الحاجة الصناعية (السعي

إلى زيادة أو إنقاص الفراغات، تصنيع خزفيات أحادية البلورة أو متعددة البلورات، زيادة الطور الزجاجي...).

## الجدول I- 2 تصنيف الخزفيات الرئيسية [46].

الأصناف	نماذج	الإستخدام
التراكوتا	الطين المعالج حراريا	الطوب الطيني، البلاط، الأنابيب
السيراميك التقليدي	البورسلان	الأواني الفخارية، المرافق الصحية، العزل الكهربائي.
الكاشطة	الألمين، الماس	أقراص الكشط، أدوات القطع، مثقاب
الزجاج و السيراميك الحديث	زجاج النوافذ، الخزفيات الزجاجية	حاويات، أقسام شفافة، أطباق مقاومة للصدمات الحرارية
الخزفيات الحرارية	الالومين، السيليس، أكسيد المغنزيوم، الزركون، الجرافيت	قوالب صب المعادن، بطانات الأفران.
الخزفيات التقنية	الكربيدات، أكاسيد الحديد، المعدنية الخزفية (سيرميت)	قوالب، محامل، مكونات المحرك، الإلكترونيات وأجهزة الاستشعار، المصفوفات
الأسمنت	الأسمنت البورتلاندي	الإنشاءات
الخزفيات النووية	أكاسيد وكربيدات اليورانيو و المعادن الإنشطارية	الوقود النووي



من أهم خصائص الخزفيات:

### I- 3-1 الخصائص الحرارية:

إن قوة و استقرار الرابطة الكيميائية للخزفيات تجعلها تقاوم حتى درجات الحرارة العالية والتي تفوق في بعض الأحيان  $2000^{\circ}\text{C}$  و الجدول 3-I يبين درجات حرارة انصهار بعض المواد [48،47].

الجدول 3-I درجة حرارة الانصهار لبعض المواد الخزفية [48].

المركب	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{CaO}-\text{CrO}_3$	$\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$
درجة الانصهار ( $^{\circ}\text{C}$ )	2070	2640	2600	2160	2000

### I- 3-2 الناقلية الحرارية والكهربائية للخزفيات:

بما أن جميع الالكترونات التكافؤية في الخزفيات مقيدة فإن السبيل الوحيد لنقل الحرارة هو اهتزاز الشبكة البلورية [42]. إذن يمكن تصنيف الخزفيات بصفة عامة كنواقل رديئة للحرارة و الكهرباء (عوازل)، الجدول 4-I يبين ثابت العزل الذي تتمتع به بعض المواد الخزفية [49] ومع ذلك تم تحديد خزفيات ذات طبيعة نصف ناقلة و فيرو مغناطيسية و بيرو مغناطيسية و أيضا فائقة الناقلية [42].

### I- 3-3 الخصائص الميكانيكية:

تملك الخزفيات قيمة عالية لمعاملات المرونة نتيجة قوة رابقتها الكيميائية التي لا تسمح بانزلاق المستويات البلورية بالنسبة لبعضها البعض كما في المعادن، لذلك توصف بأنها مواد قصفة (القوة اللازمة لخلق تشوه لدن في العينة أكبر من القوة اللازمة لكسرها) [50،51].

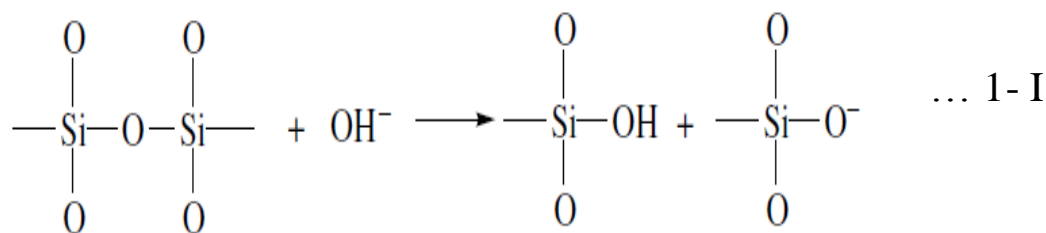
الجدول I-4 ثابت العزل لبعض المواد الخزفية (عند التردد 1 KHz).

المركب	ثابت العزل
NaCl	5.9
Mica	2.5 - 7.3
MgO	9.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.6 - 10.6
ZrO <sub>2</sub>	8.8
المليت	17 - 15
الكورديريت	5.4-4.5
البورسلان	6-0

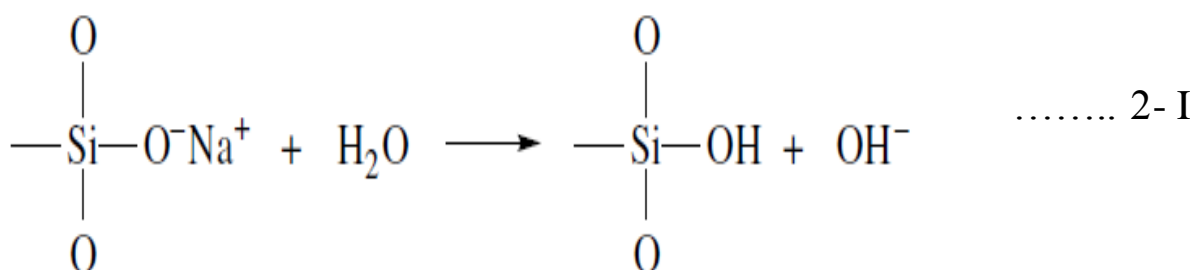
### I-3-4 مقاومة الخزفيات للتآكل الكيميائي:

إن استخدام المواد المصنعة بصفة عامة يقتضي منا أن نولي أهمية كبيرة للآثار البيئية التي تسبب تراجع في الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية لهذه المواد و بالتالي عدم قدرتها على أداء المهمة المرجوة منها بكفاءة، ومن أهم الآليات المسرعة لشيخوخة المواد هي التآكل الكيميائي. إن المواد الخزفية بصفه عامة هي مواد جد مقاومة للتآكل الكيميائي، لكن هناك بعض الاستثناءات و التي من أبرزها [46]:

- تآكل الزجاجيات المعدنية و الذي يكتسي أهمية كبيرة بوجود هيدروكسيد الصوديوم ( $\text{Na}^+ + \text{OH}^-$ ) المتسبب في تحلل الشبكة السيليكية حسب المعادلة التالية:



ويتسبب هذا التحلل الناتج في استمرار تشويه السطح حتى بوجود الماء النقي فقط وذلك بإعادة تبادل شوارد الصوديوم الموجبة بين جزيئات الماء والزجاجيات المعدنية وذلك حسب المعادلة الكيميائية التالية:



■ فئة أخرى من السيراميك عرضة جدا للانحلال وتتمثل في مواد البناء (الاسمنت، الخرسانة، الحجر الجيري والطوب)، حيث تتحلل ببطء بفعل بعض الأيونات ( $\text{HCO}_3^-$ ،  $\text{SO}_3^{2-}$  و  $\text{SO}_4^{2-}$ ) الواردة في بعض مياه الأمطار، هذا التآكل يتسبب في تشكل قشرة متدهورة على سطح المواد (سرطان الحجر). كما يتسبب نوع آخر من تحلل مواد البناء في دمار كامل للمادة و ليس السطح الخارجي لها فقط، حيث ينتج انفجار داخل المادة الخزفية بسبب التحول الفيزيائي تجمد- انصهار للماء المتسلل إلى داخلها عبر شبكات شعرية، و يعتمد ذلك على حجم المسامات الموجودة بالمادة الخزفية.

#### I- 4 طرق تصنيع الخزفيات:

إن درجة الانصهار العالية للخزفيات تجعل التعامل معها بطريقة الصب والتشكيل مثل المعادن و اللدائن أمر مستبعد وغير عملي [47،48]، لذلك كان التعامل مع هذه المادة منذ القديم على شكل مساحيق وذلك بإحمائها عند درجات حرارة مرتفعة مع السعي إلى خفض درجة الحرارة هذه قدر الإمكان و ذلك لربح الطاقة و بالتالي خفض التكلفة و زيادة التسويق و الأرباح، فكلما كان تحضير المسحوق الأولي للمادة الخزفية مدروسا و منجزا بعناية كانت درجة الحرارة المستعملة أقل مايمكن و النتائج أحسن.

و نميز طريقتين لتحضير المسحوق [43]:

◀ **التحضير الرطب:** عن طريق الترسيب (precipitation) انطلاقا من

محلول أو ذوبان الأملاح أو طريقة هلام- محلول رغوي Sol-Gel.

◀ **التحضير الجاف:** التلييد انطلاقا من المواد الأولية الصلبة وتعتبر هذه

الطريقة الأبسط و الأقل تكلفة بالنسبة للطرق الأخرى خاصة بعد تكثيف

الأبحاث فيها لتخطي بعض الصعوبات و أهمها تتطلبها لدرجة حرارة

معالجة عالية، كما أن تطور تقنيات التلييد باستخدام موجات المكرو قد جعل

طريقة التلييد المباشر هي الرائدة في مجال تحضير الخزفيات بصفة عامة

[52]، نبين فيما يلي أهم مراحل تحضير الخزفيات بهذه الطريقة (شكل I-

1):

#### I- 4- 1 تهيئة المسحوق:

تعتبر تهيئة المسحوق من أهم المراحل لتنشيط التلييد، وهذا نظرا لاعتبارها أول

مرحلة تتحدد فيها أبعاد وشكل الحبيبات (حبيبات المسحوق) حيث أن صغر حجم

الحبيبات يخلق مساحات تلامس كبيرة بين الحبيبات مما يؤدي إلى رفع فعالية التلييد

عند ارتفاع درجة الحرارة [42]. إن أكثر تقنيات السحق استعمالا في الصناعة هي

السحق بواسطة الكريات، حيث يتم وضع المادة المراد سحقها داخل علبة ذات شكل أسطواني قابلة للدوران حول محور ثابت أو متحرك مع الاهتزاز، كما يتم تزويدها بكريات من الألومين و الماء المقطر كما هو موضح في الشكل I- 2 وتعرف بعمليات السحق الرطب [42]. و قد درست هذه التقنية بالتفصيل في البحث المقدم من طرف الأستاذ عبد الحميد حرابي و أسماء حرابي [36].

#### I- 4- 2 التشكيل:

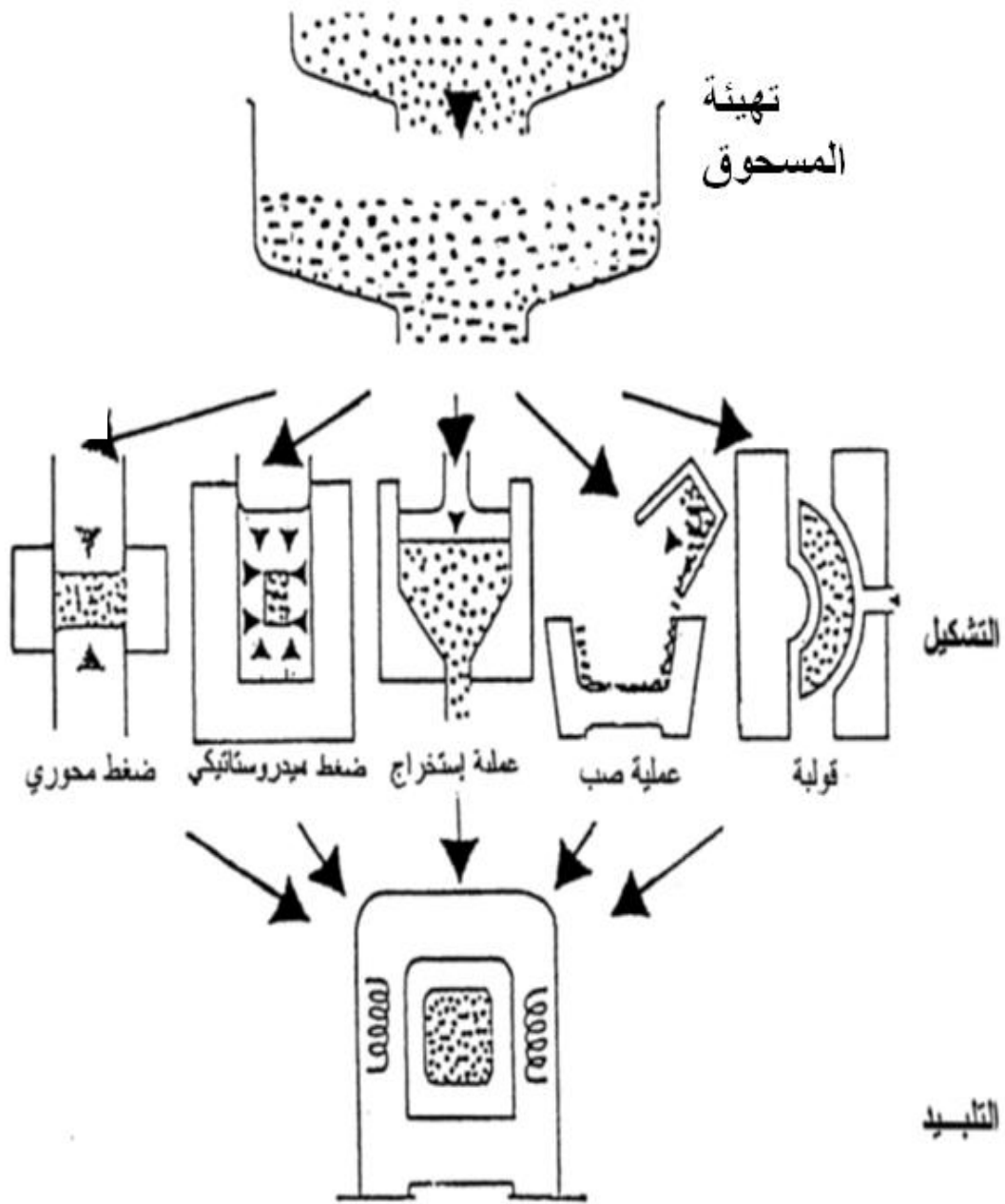
تسمح عملية التشكيل بإعطاء المواد الأولية شكلا معينا يتناسب والهدف منها، ومن بين طرق التشكيل نذكر: تقنية الكبس المحوري، وفيها يتم تشكيل القطعة الخزفية باستخدام آلة كبس، حيث يطبق على المسحوق الموجود داخل قالب خاص ضغطا مناسباً يسمح بتشكيله (الشكل I-3)، ينتج عن الاحتكاكات بين الحبيبات الناتجة عن الضغط المطبق التحام أولي بين الحبيبات حيث نحصل في النهاية على عينة متماسكة بشكل كافٍ مما يسمح لنا بنقلها للفرن [53].

#### I- 4- 3 التليد:

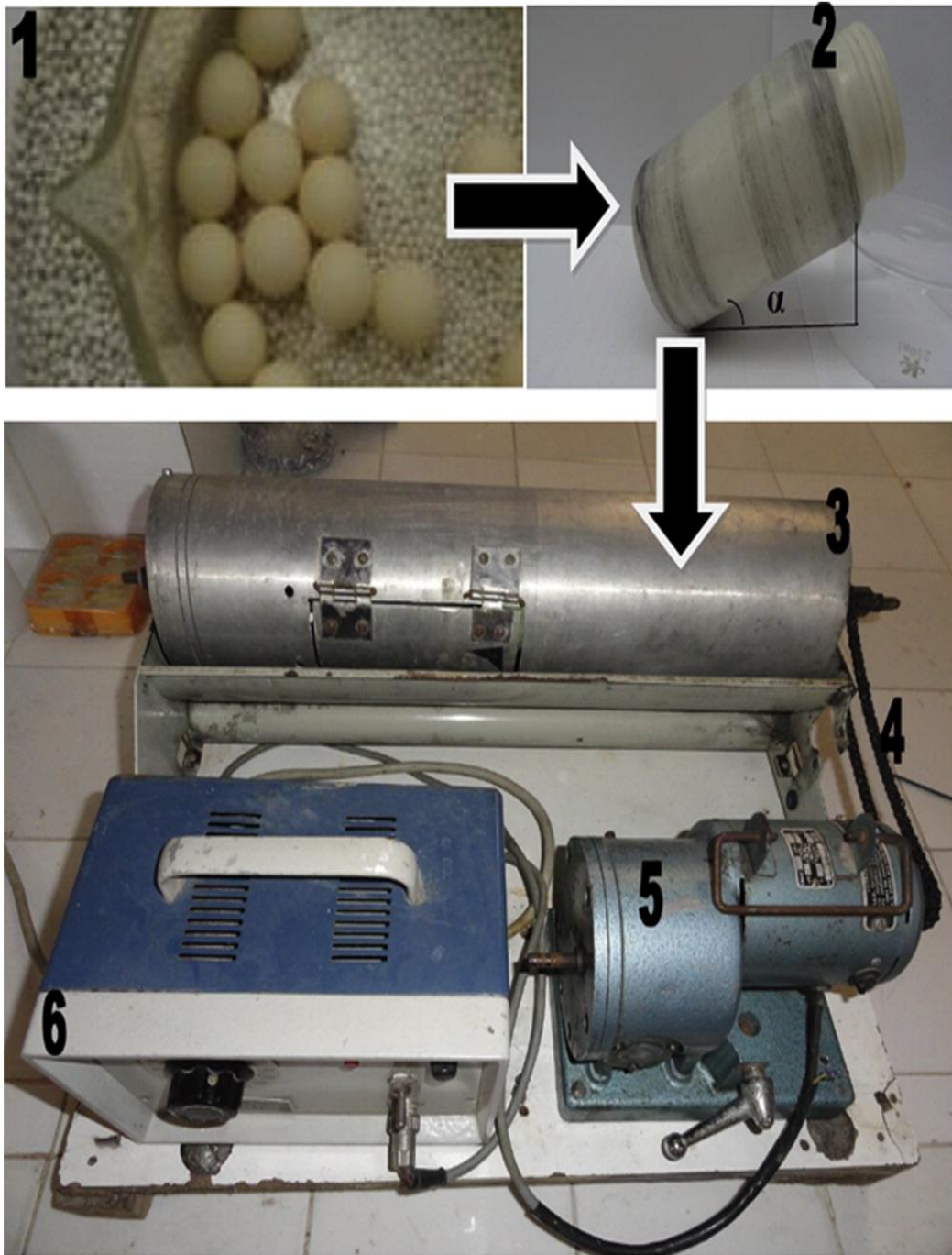
يعتبر التليد أهم مرحلة في صناعة الخزفيات حيث تتحول فيها العينات المشكلة من مسحوق مضغوط غير متماسك إلى مادة صلبة وصلدة.

#### I- 4- 4 التحسين والإتقان:

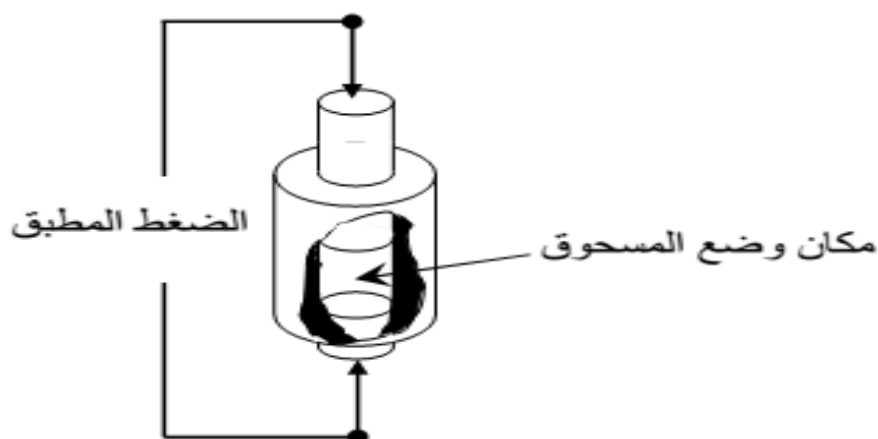
تتم هذه العملية بعد التليد بحيث تتحدد المميزات النهائية للقطعة الخزفية، ويصبح من غير الممكن تغيير شكلها لكن يمكن تحسين سطحها مثلا وهذا باستعمال أدوات مناسبة [42].



الشكل I- 1 يمثل أهم مراحل تحضير قطعة خزفية [54].



الشكل I- 2 تقنية السحق بالكريات (جهاز مصنوع يدويا ومستعمل في مخبر الخزفيات بقسنطينة) [36].



الشكل I- 3 قالب مخبري لصنع الأقراص بواسطة الكبس المحوري [55].

### I- 5 دراسة نظرية حول حركية التلييد:

#### I- 5 - 1 مفهوم التلييد:

إن ظاهرة التلييد هي ظاهرة معقدة يصعب إيجاد تعريف دقيق لها، ولكن يمكن القول بأن التلييد عبارة عن عملية معالجة حرارية تعمل أساساً على إزالة الفراغات بين حبيبات المادة الأولية وتطوير نظام الحبيبات الفردية إلى حالة تكثيف مثالية. تكون هذه العملية مصحوبة بالظواهر التالية [56-57]:

- نقص في الأبعاد الأولية للعينة وزيادة في كتلتها الحجمية.
- نقص الطاقة الإجمالية للمادة.
- زيادة في عدد الروابط بين الحبيبات و شدة التماسك بينها.
- تحسن في الخصائص الميكانيكية والحرارية.
- نقص في الطاقة السطحية الإجمالية للمادة وذلك نتيجة نمو الحبيبات حيث من وجهة النظر الترموديناميكية فإن طاقة السطح  $E$  تكتب على الشكل التالي:



$$E = A_{sv}\gamma_{sv} + A_{ss}\gamma_{ss}$$

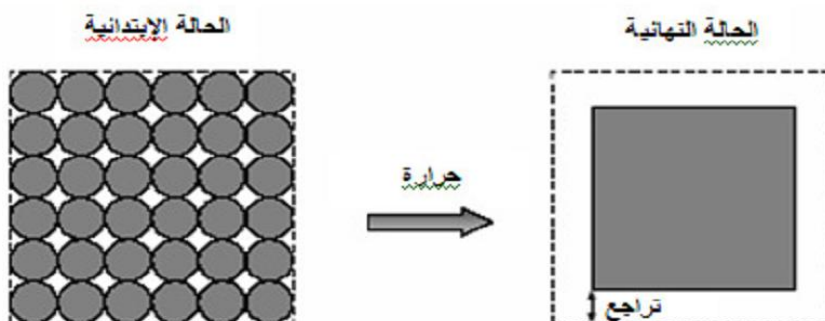
حيث:

$\gamma_{sv}$ : توتر (إجهاد) السطح صلب/غاز.

$\gamma_{ss}$ : توتر السطح صلب/صلب.

و مساحتهما على التوالي:  $A_{sv}$  و  $A_{ss}$ .

نأخذ الحالة البسيطة: نظام مكون من أقراص مرتبة في شبكة مربعة أين التوتر السطحي صلب/صلب أقل من توتر السطح صلب/غاز. في الحالة الابتدائية، مساحات الحدود الحبيبية (صلب/صلب) صغيرة جدا بينما السطوح (صلب/غاز) فهي معتبرة (الشكل-I-4)، تنتقل المادة بفعل الحرارة فيرتفع حجم الحدود الحبيبية صلب/صلب و ينخفض حجم السطوح صلب/غاز، إن النقص في مقدار الطاقة الناتج عن انخفاض السطوح صلب/غاز هو أكبر من الزيادة في مقدار الطاقة صلب/صلب، أي أن طاقة السطح الكلية  $E$  تنخفض. إن الحالة النهائية المستقرة هي الحالة التي تكون فيها طاقة السطوح أصغر ما يمكن (في حجم ثابت) [58،59].



الشكل-I-4 نظام مكون من أقراص مرتبة في شبكة مربعة قبل وبعد التلبيد [60].

## I - 5 - 2 مراحل التلييد:

تمر عملية التلييد بثلاث مراحل أساسية [61، 62]، وذلك اعتماداً على التحولات الهندسية التي تحدث أثناء تطور البنية المجهرية من تجمع حبيبي إلى بنية متعددة البلورات ذات كثافة عالية. ويمكن أن نميز مراحل التلييد بالتحولات التي تطرأ على شكل أو بنية الفراغات (شكل I-5):

### ◀ المرحلة الابتدائية (تشكل العنق):

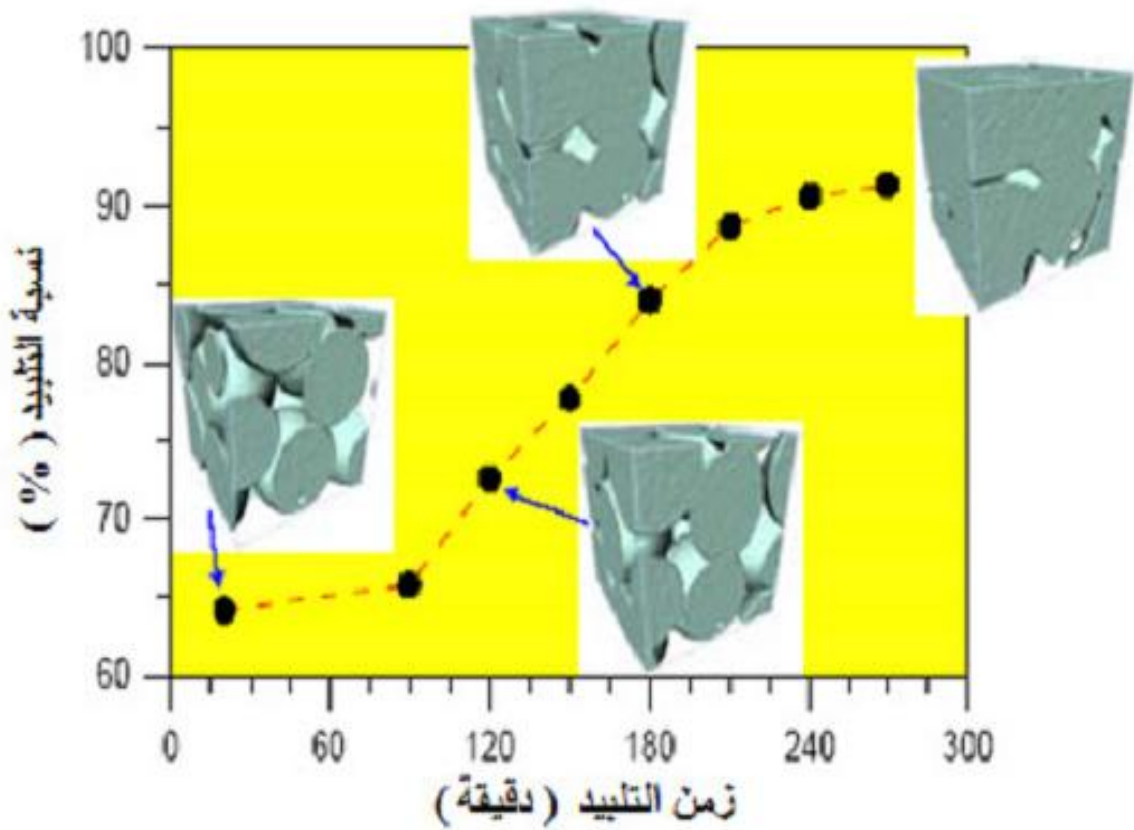
خلال هذه المرحلة يتم التحام جزئي للحبيبات المتلاصقة، حيث يبدأ تشكل الأعناق ونموها، أما الحبيبات غير المتلامسة فتتشكل بينها الحدود الحبيبية، كما أنه خلال هذه المرحلة لا يحدث أي نمو للحبيبات، حيث تنتهي هذه المرحلة عندما تتطاول الأعناق و تنتشر فوق بعضها البعض و هذا يوافق تقريبا يقدر بحوالي 5 % من الحجم الكلي.

### ◀ المرحلة الوسيطة (التكثيف ونمو الحبيبات):

تبدأ الحبيبات خلال هذه المرحلة في النمو و تتميز أيضا بظهور بنية جديدة مكونة من حبيبات و فراغات مفتوحة تميل لأخذ أشكال أسطوانية. إن هذه المرحلة ذات أهمية كبرى في مراقبة تطور البنى الدقيقة للخزفيات، حيث أن أعلى نسبة من التكثيف تكون خلال هذه المرحلة.

### ◀ المرحلة النهائية (تشكل المسامات المغلقة):

تتشكل مسامات مغلقة ذات أشكال كروية تقريبا، حيث أن هذه الفراغات (المسامات) تبقى معزولة داخل الحبيبات وذلك نتيجة للنمو الحبيبي، كما أن التكثيف يتم ببطء، وهنا يمكن القول بأن التلييد قد وصل إلى نهايته



الشكل I-5 مختلف مراحل التلييد [60].

### I-5-3 أنواع التلييد:

يمكن تصنيف عملية التلييد من ناحية تقنية التصنيع إلى قسمين:

◀ **التلييد الطبيعي:** يعتبر التقنية الأكثر استعمالاً، ويتمثل في تسخين عادي للقطع

الخزفية المشكّلة، وتلعب الإضافات فيه دوراً كبيراً في غالب الأحيان حيث

تساعد على تنشيط التلييد والحد من النمو المفرط للحبيبات [42].

◀ **التلييد تحت الضغط:** يتم في هذه التقنية التشكيل و التسخين في آن واحد،

وتعطي هذه الطريقة في بعض الأحيان تلييداً كلياً للقطع الخزفية [42].

أما من الناحية الترموديناميكية فمن الواضح أنه حتى يحدث التكتيف لابد أن يحصل

نقل للمادة، مما يؤدي إلى تقليص الفراغات الداخلية إلى أقصى حد و نميز نوعين

مختلفين من التلييد:

◀ **تلييد الأطوار الصلبة:** حيث تبقى كل مكونات المادة في الحالة الصلبة خلال طول مدة التلييد، وتحدث عملية التكتيف بتغيير شكل الحبيبات حيث تبدأ الحبيبات في التقارب والتلاصق فيما بينها، وذلك أثناء تسخين المادة إلى درجة حرارة معينة و تنتقل المادة بالانتشار الحجمي عبر حدود الحبيبات [63]، يكون هذا التلييد تفاعلي إذا نتج عن عملية التلييد مركب جديد يختلف عن ما كان موجود في الحالة الابتدائية، أما إذا كانت عملية التلييد هي مجرد تكتيف للمادة مع الحفاظ على المركب كما هو في الحالة الابتدائية كان التلييد لا تفاعلي [64].

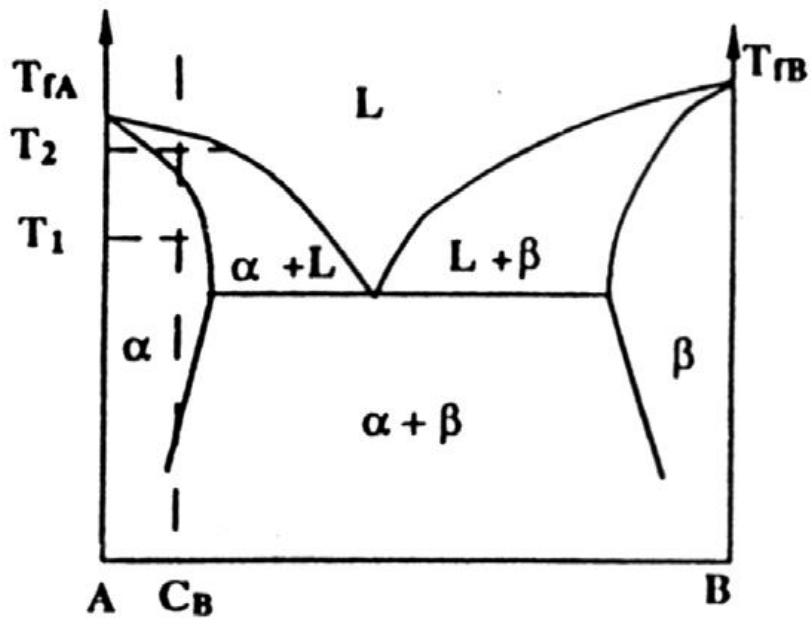
◀ **التلييد بوجود طور سائل:** نتكلم عن التلييد بوجود الطور السائل خلال تكتيف المركب في حالة وصل جزء من المادة إلى درجة حرارة انصهاره. يتعلق تشكل الطور السائل بالميزة الترموديناميكية للنظام، مثلا الشكل I-6 يعطي مخطط الأطوار لخليط من مسحوقين (A, B) متمازجان جزئيا. مخطط الأطوار هذا يعطي إذن نقطة أكتيكية  $(T_E, C_E)$ ، مما يعطي احتمال تواجد الطور السائل مع الطور الصلب عند رفع درجة الحرارة فوق  $T_E$  (مثلا بالنسبة للتركيز  $C_B$  و درجة الحرارة  $T_1$  لا وجود للطور السائل، بينما بالنسبة لنفس التركيز  $C_B$  ودرجة الحرارة  $T_2$  نلاحظ تواجد الطور السائل مع الصلب)، إن وجود الطور السائل يسهل عملية تكتيف المادة، وتعتمد فعالية هذا التكتيف على ما يلي [63،65]:

☀ وجود كمية كافية من الطور السائل .

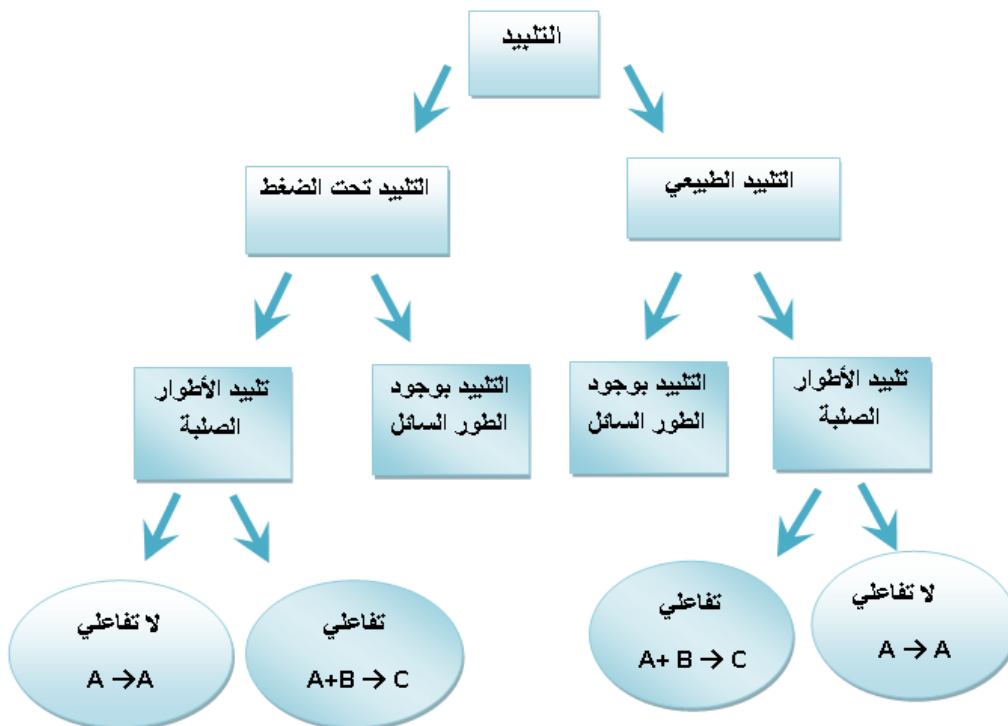
☀ الانتشار الجيد للطور السائل بين الحدود الحبيبية.

☀ انحلالية الطور الصلب في الطور السائل.

الشكل I-7 يبين رسم تخطيطي لأنواع التلييد باختصار.



الشكل I-6 مخطط الأطوار لخليط من مسحوقين (A, B) متمازجان جزئياً [66].



الشكل I-7 مختلف أنواع التلييد [64].

### I- 5- 4 تنشيط التلييد:

نقصد بتنشيط التلييد تسريع و زيادة تكثيف المادة الملبدة، وذلك إما بخفض مدته عند درجة حرارة ثابتة، أو بخفض درجة حرارته نفسها، ويمكن تحقيق ذلك بطرق عديدة من أهمها [67،68]:

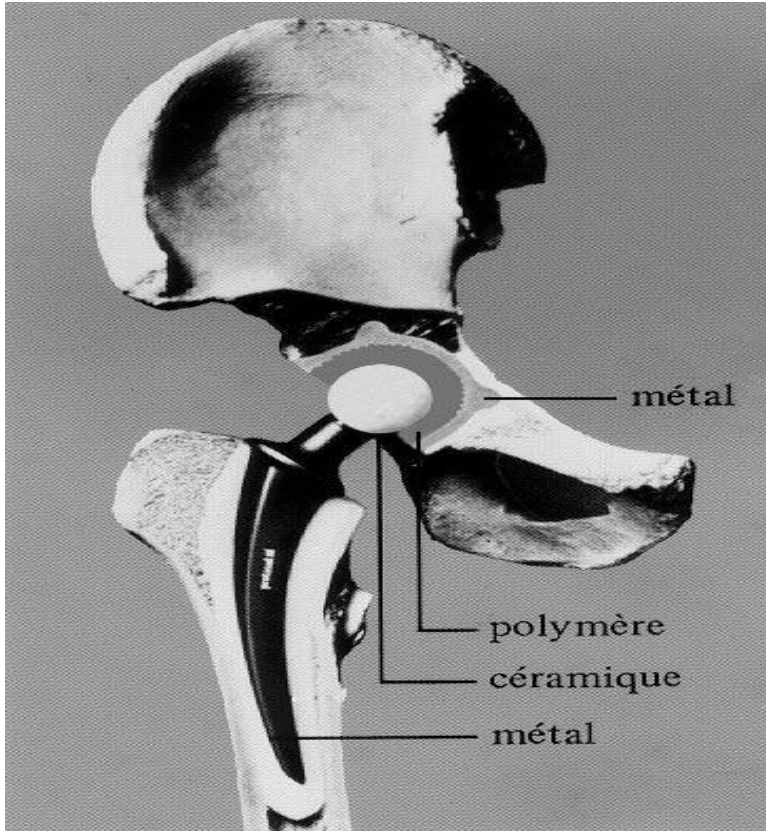
- زيادة مساحة التلامس بين الحبيبات وذلك بواسطة السحق الجيد للمادة وكذا استعمال ضغط كافي مما يسمح بالالتصاق الجيد للعينات.
- استعمال الإضافات وذلك لتشجيع تشكل الطور السائل في درجة حرارة منخفضة لأن وجود هذا الطور يسهل عملية تكثيف المادة.
- زيادة مساحة التلامس بين الحبيبات عن طريق تطبيق ضغط خارجي عند درجات الحرارة المرتفعة.
- استعمال مسحوق ذو توزيع حبيبي متعدد، أين تقوم الحبيبات الصغيرة بملأ الفراغات الموجودة بين الحبيبات الكبيرة والزيادة في مساحة سطوح التلامس.

## الفصل الثاني: المواد الحيوية وتطبيقاتها في طب الأسنان

## المواد الحيوية وتطبيقاتها في طب الأسنان

### II- 1 تعريف المواد الحيوية **Biomaterial**:

يشير المصطلح مادة حيوية إلى المواد المصنعة والتي تستخدم في صناعة الأطراف الصناعية أو الأجهزة الطبية الأخرى من أجل زراعتها في جسم الإنسان والتي سوف تكون في تماس مباشر مع أنسجة الجسم وأعضائه (مثال: أنابيب نقل الدم من القلب إلى الرئتين). لقد تم وضع مفهوم واضح و دقيق للمواد الحيوية في الملتقى العالمي الأوروبي الذي انعقد سنة 1986 م، حيث تم تعريف المواد الحيوية بأنها مواد غير حية، تستعمل لمتطلبات طبية معينة بحيث تتأقلم مع النظام البيولوجي للكائن الحي [51]. هذه المواد إما معدنية أو لدائن كما قد تكون مواد خزفية أو مركبات كربون وتأخذ أشكال مختلفة حسب الوظيفة التي ستؤديها (صلبة، أغشية، ألياف، أو الطلاء) (شكل II- 1).



الشكل II- 1 مثال عن استخدام بعض أنواع المواد البديلة في جسم الإنسان (المفصل الصناعي- استبدال مفصل الورك) [46].

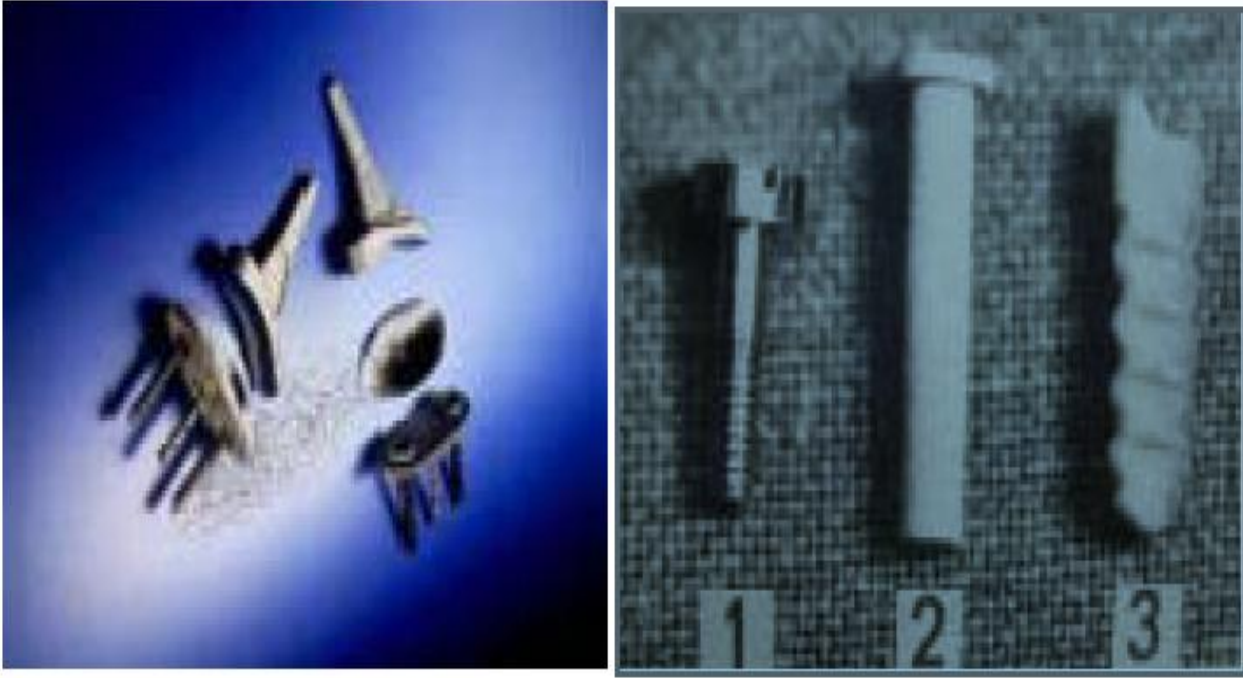


## II- 2 تصنيف المواد الحيوية:

تم تقسيم المواد البديلة إلى ثلاث أصناف مواد خاملة حيويا مواد نشطة حيويا وأخيرا مواد ممتصة وذلك تبعا لآلية قبولها داخل النظام البيولوجي للكائن الحي [69]:

### II- 2- 1 المواد الخاملة حيويا:

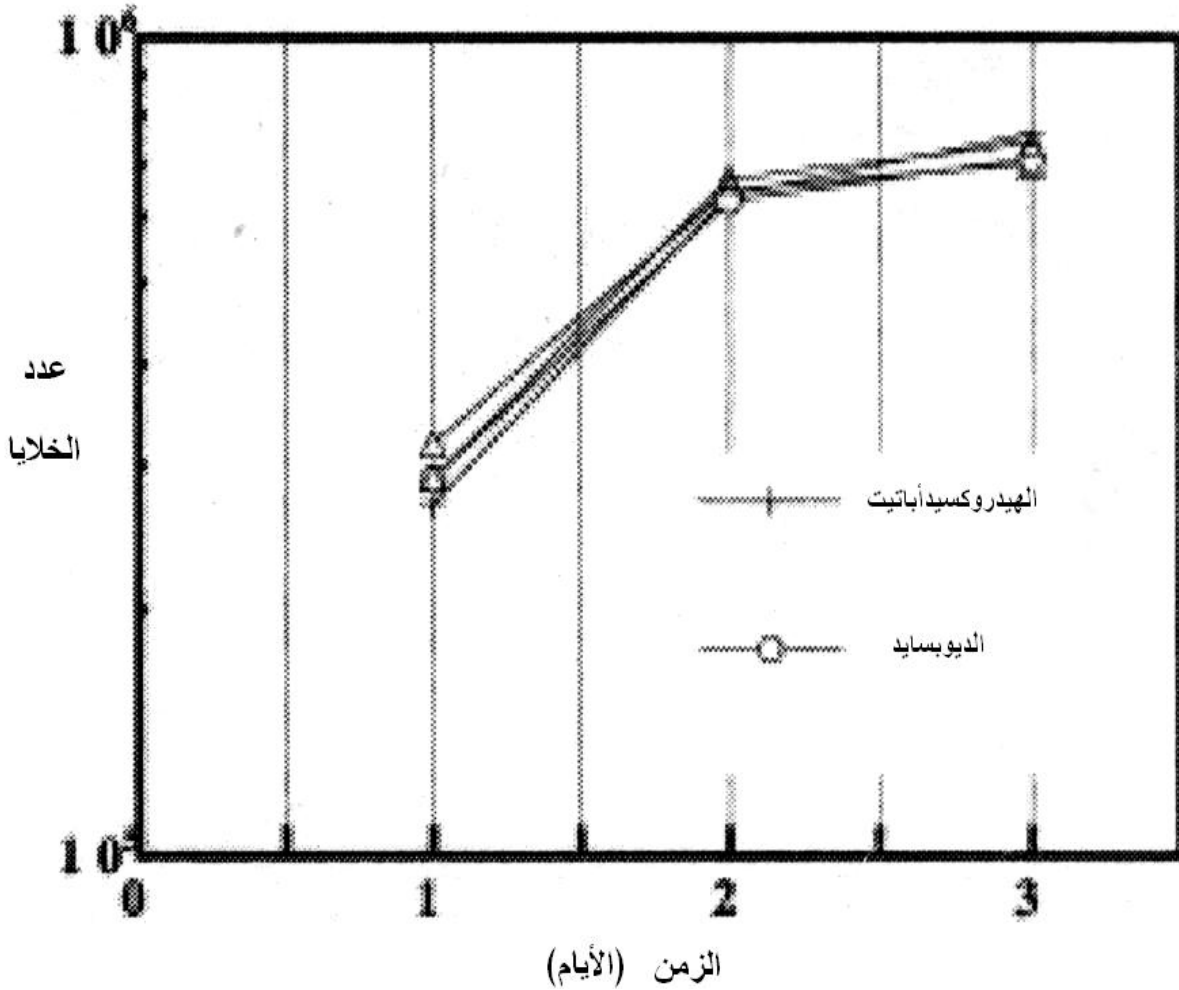
تضم المواد التي تلقى قبولا داخل النظام البيولوجي للكائن الحي لكن لا تتفاعل معه، الأمر الذي يتطلب تثبيتا ميكانيكيا داخل جسم الكائن الحي (شكل II- 2). يعتبر الذهب المثال الكلاسيكي لاستعمال المواد الخاملة حيويا في عمليات زراعة المواد البديلة أما أهم المواد الخزفية الخاملة حيويا هي: الألومينا ( $Al_2O_3$ ) و الزركونيا ( $ZrO_2$ ).



الشكل II- 2 مجموعة من القطع المصنوعة من مواد خزفية خاملة [51].

## II-2-2 المواد الفعالة (النشطة) حيويًا:

تضم المواد التي تلقى قبولا جيدا داخل النظام البيولوجي للكائن الحي وتندمج مع النسيج الحي (شكل II - 3). ومن أهم المواد الخزفية الفعالة حيويًا الهيدروكسيد أباتيت الجد شبيهة بالعظم و ذات الصيغة الكيميائية العامة  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$  [55]، الولسطانيت  $(CaSiO_3)$  و الديكالسوم سيليكات  $(Ca_2SiO_4)$  [70] و الديوبسيد  $(CaMgSi_2O_6)$  [51].

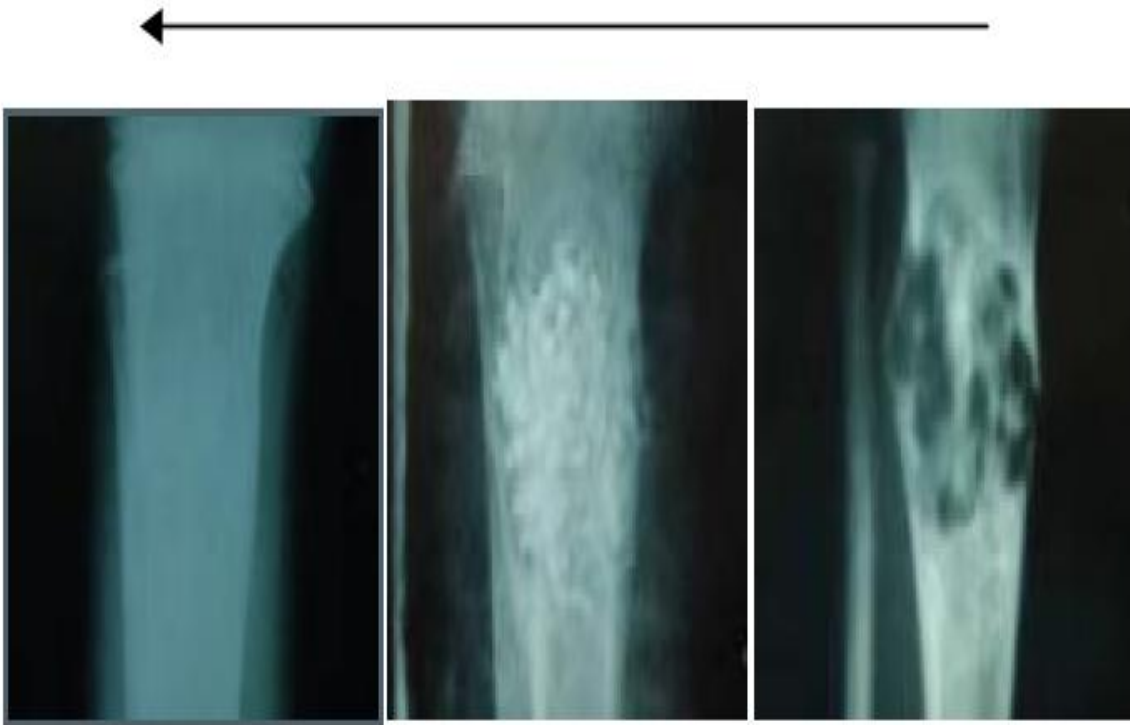


الشكل II - 3 منحنى تزايد خلايا الالتصاق الأولى لكل من الهيدروكسيد أباتيت و الديوبسيد

[71].

## II-2-3 المواد الممتصة

تضم المواد التي تختفي بشكل تدريجي مع الوقت وتستبدل بالنسيج الجديد، أي أن كل هذه المواد تقريبا قابلة للتفسخ داخل النسيج الحي (شكل II-4)، كما أن جسم الإنسان يمكن أن يستوعب منتجات الحل الناتجة عن هذه المواد بسهولة [72]، ومن أهم هذه المواد Calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) و  $\text{CaSO}_4$  وكذلك  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .



الشكل II-4 يمثل الصورة الملتقطة لمادة ممتصة داخل نسيج عظمي حي لفترات زمنية مختلفة [51].

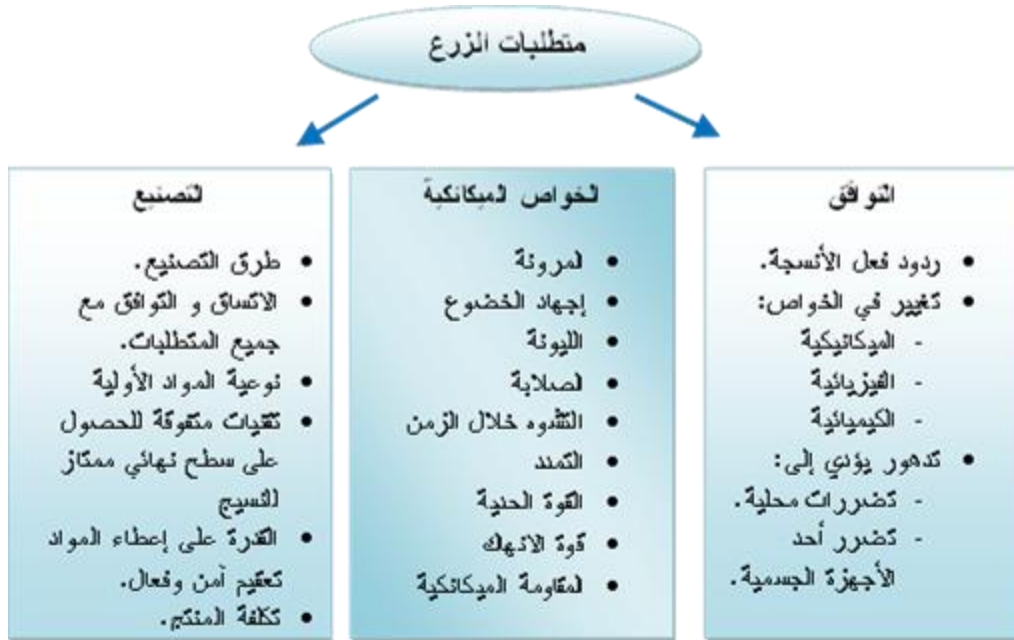
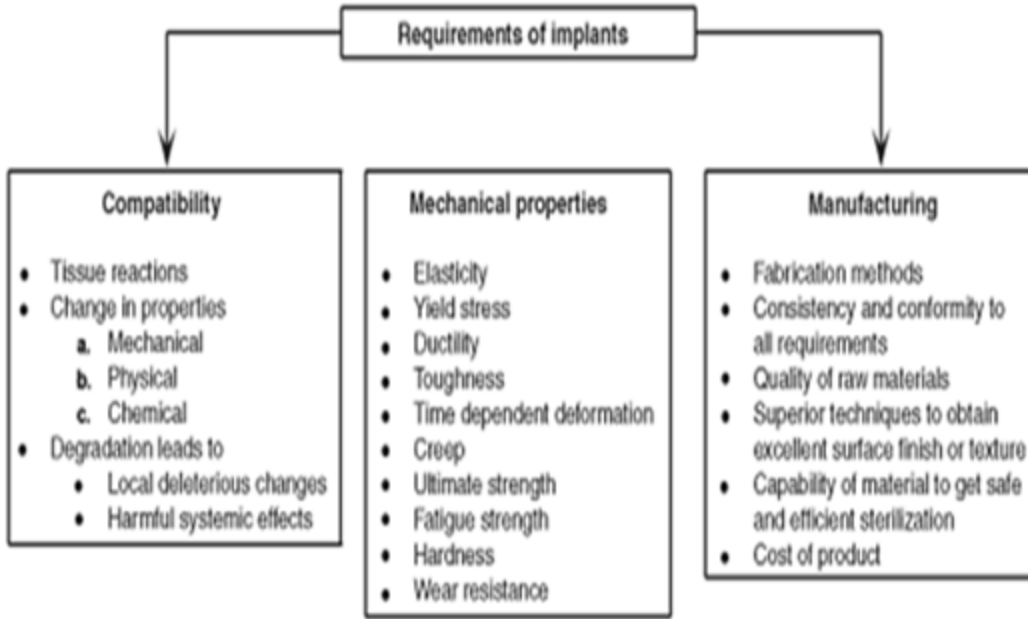
## II- 3 اختيار المواد الحيوية البديلة

تتلخص شروط اختيار المواد البديلة في ثلاث نقاط أساسية (الشكل II- 5):

أ) **التوافقية الحيوية:** هي قدرة المادة على الأداء مع استجابة مناسبة من المضيف في ظروف محددة [69]، فالمواد المتوافقة حيويًا هي مواد لا تضر المريض و يتم اختيارها بحيث تكون غير سامة أو ضارة ولا تسبب الرفض المناعي لدى المريض، نأخذ بعين الاعتبار تأثيرها على أجزاء من الجسم البعيدة عن الاتصال المباشر مع المادة.

ب) **التصنيع:** حيث يراعى في ذلك إمكانية تصنيع المادة وتوفير المواد الأولية والوسائل اللازمة لذلك مع مراعاة تكلفة التصنيع.

ج) **الخواص الميكانيكية:** بعد التأكد من الشرطين السابقين نرجع إلى دراسة الخواص الميكانيكية للمادة المحضرة بحيث تكون خصائص المتانة والتعب متلائمة مع شكل العضو لتلائم الإجهاد المسموح، خصوصاً عند نقاط تركيز الإجهاد. نهتم بالخواص الميكانيكية أكثر في زراعة العظام والأسنان.



الشكل II - 5 متطلبات زراعة المواد البديلة في طب العظام [73].

## II- 4 تطبيقات المواد الحيوية في طب الأسنان

تعتبر متطلبات المواد المصنعة بغرض استعمالها في عمليات زراعة الأسنان معقدة جدا، والأنسجة التي يجب أن تشفى ذات طبيعة مركبة في الغالب لذا من الصعب توقع و بالضبط الخصائص التي نريدها بالمادة المزروعة وكذا استجابتها الحقيقية. فالمادة عموما يجب أن تتوفر على خصائص بارزة بسبب البيئة العدوانية جدا للفم، فعادة تتراوح درجة الحرارة في الفم بين 32 و 37 °C لكن استهلاك المشروبات الباردة و المأكولات الحارة جدا يمكن أن يرفع مدى درجة الحرارة من 0 إلى 70 °C، أيضا درجة الحموضة متغيرة جدا و يمكن أن تتراوح من 2 إلى 11 و أخيرا الإجهاد الميكانيكي العالي وقوة الحمولة (load forces) بسبب المضغ يمكن أن تصل إلى 170 MPa [51].

## II- 4- 1 تركيب السن الطبيعي

يمتلك الإنسان البالغ 32 سنا تبرز كل منها في مرحلة عمرية معينة حيث تظهر أولا الأسنان اللبنية ثم تستبدل بالأسنان الدائمة الشكل II- 6 ويحتوي كل نصف فك على:

• القواطع (incisors) ← 1 ثنية (central)  
← 1 رباعية (lateral)

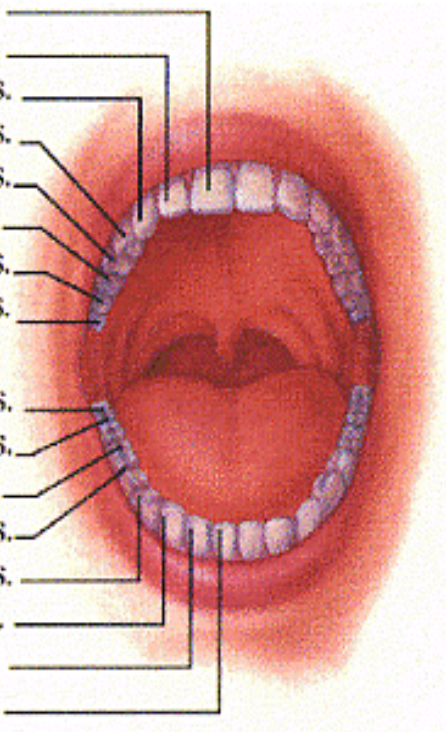
• 1 الأنياب canines

• 2 الضواحك أو النواجذ premolars

• 3 الأضراس أو الأرحاء أو الطواحن molars

## اوقات بزوغ الاسنان

الاسنان العلوية	اللبنية	الدائمة
الثنية	8-12 mos.	7-8 yrs.
الرباعية	9-13 mos.	8-9 yrs.
الناب	16-22 mos.	11-12 yrs.
الضاحك الاول		10-11 yrs.
الضاحك الثاني		10-12 yrs.
الرحى الاولى	13-19 mos.	6-7 yrs.
الرحى الثانية	25-33 mos.	12-13 yrs.
الرحى الثالثة		17-21 yrs.
الاسنان السفلية		
الرحى الثالثة		17-21 yrs.
الرحى الثانية	23-31 mos.	11-13 yrs.
الرحى الاولى	14-18 mos.	6-7 yrs.
الضاحك الثاني		11-12 yrs.
الضاحك الاول		10-12 yrs.
الناب	17-23 mos.	9-10 yrs.
الرباعية	10-16 mos.	7-8 yrs.
الثنية	6-10 mos.	6-7 yrs.



الشكل II- 6 فم إنسان بالغ [74].

يوضح الشكل II- 7 التركيب الداخلي لسن إنسان، حيث يتكون السن من جزء بارز يدعى بالتاج وجزء مغمور داخل عظم الفك يدعى بالجذر، تسمى الطبقة الخارجية لتيجان الأسنان بالمينا و تمثل أقى مادة في جسم الإنسان. تحت المينا يأتي العاج وهو جزء من مكونات السن، وهو اقل قساوة من المينا ولذلك يتقدم نخر الأسنان فيه بسرعة اكبر من المينا (جدول I-II يوضح الاختلاف في الخصائص الفيزيائية والميكانيكية بينهما). علاوة على ذلك المينا لا تعتبر نسيج حي لكن العاج كذلك حيث يحوي القنوات التي تربط بينه وبين عصب السن ضمن اللب مما يجعل هذا الجزء من السن حساس كما أن العاج مغطى بطبقة لاصقة (cementum) تربطه مع غشاء

غلاف السن (peridontal) الذي يسمح بدوره للجذر بأن يربط بعظم الفك كما أنه يحتوي على الألياف المطاطية التي تسمح بالحركة النسبية للسن وتمتص أيضا جزء من الطاقة التي تنشأ عن الحمولة المطبقة أثناء المضغ. أما الجزء المركزي المجوف للسن فهو مملوء بالللب الذي هو عبارة عن نسيج طري مكون من ألياف الكولاجين الموجهة بشكل عشوائي و التي تحوي الأوعية الدموية و الأعصاب وكذا أوعية لمفاوية صغيرة للسماح لخلايا الدم البيضاء بالوصول لهذه المنطقة، كما تتميز قناة الجذر التي تربط بين اللب و النسيج المحيط [51].

الجدول II-1 بعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للسن [75].

النسيج	مينا السن (Enamel)	عاج السن (Dentine)
الكتلة الحجمية (g/cm <sup>3</sup> )	2.2	1.9
معامل المطاطية (GPa)	48	13.8
مقاومة الانضغاط (MPa)	370-75	350-250
مقاومة الشد (MPa)	53-21	10
معامل يونغ (GPa)	131	12
معامل الانكسار (J/m <sup>2</sup> )	200-13	500-200

## II-4-2 معالجة الأسنان

إن معالجة الأسنان تعني إصلاح وترميم الأجزاء المفقودة من السن نتيجة التسوس أو الكسر وحتى استبدال السن المتأذية و هذا بغرض الحفاظ على أو تحسين نوعية حياة مريض الأسنان. شمل البحث على المواد البديلة في طب الأسنان أربع مجموعات رئيسية وهي: المعادن، السيراميك، اللدائن، و المواد المركبة (Composite materials)، حيث تنصب معظم



الدراسات في البحث داخل هذه المجموعات المختلفة عن المادة المثالية و التي تتمتع بالميزات الأربعة التالية:

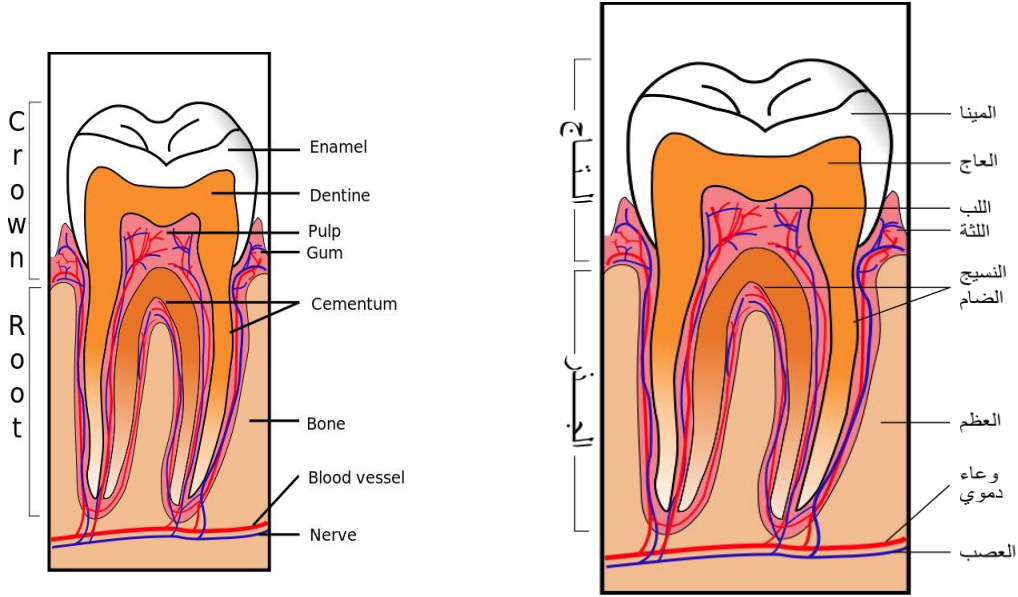
☀ أن تكون ذات توافقية حيوية (Biocompatible materials) .

☀ أن ترتبط بشكل شبه دائم بالأسنان، أو الجزء العظمي المحيط بها.

☀ أن تطابق المظهر الطبيعي للبنية السنية.

☀ أن تتمتع بخواص ميكانيكية تؤهلها لأداء العمل الذي أسند لها.

تبقى طرق المعالجة مرتبطة بحالة سن أو فم المريض بصفة عامة كما قد يتجاوب الطبيب في بعض الحالات مع قناعة المريض، مخاوفه وحالته المادية ونوجز هذه الطرق في النقاط التالية:



الشكل II - 7 مقطع عرضي لسن إنسان [76].

## أ) الحشوات (fillings)

تستخدم حشوات الأسنان بشكل رئيسي لعلاج تسوس الأسنان كما تستخدم أيضا لإصلاح كسور الأسنان و تثبيت الإستعاضات السنية كالجسور و التيجان مثلا، أما الحشوات العصبية فتستخدم لمنع إعادة عدوى لب السن. في حالة وجود تسوس يقوم طبيب

الأسنان بحفر السن لإزالة التسوس، وبعد التعقيم يملأ أو يحشو الفراغ الناتج بأي من المواد التي تدعى "حشوات الأسنان" وأهمها وأكثرها شيوعا منذ أكثر من 150 سنة هي مادة الاملغم (amalgam)، وهي سبيكة مكونة بصورة أساسية من مادتي الفضة والزنبق وتسمى خطأ بحشوة البلاتين. لكن احتواءها على مادة الزنبق جعل استخدامها خاصة بالنسبة للأطفال غير مستحب [77]، مع العلم أن هذا الحشو يستعمل بشكل رئيسي بغرض إعادة السطح الإنطباقي لأسنان المؤخرات. توجد أيضا الحشوة التجميلية أو الحشوة البيضاء، الحشوة الزجاجية، حشوة الذهب... و الجدير بالذكر أن كل نوع من أنواع هذه الحشوات له مكونات خاصة و خصائص مميزة واستخدامات مختلفة.

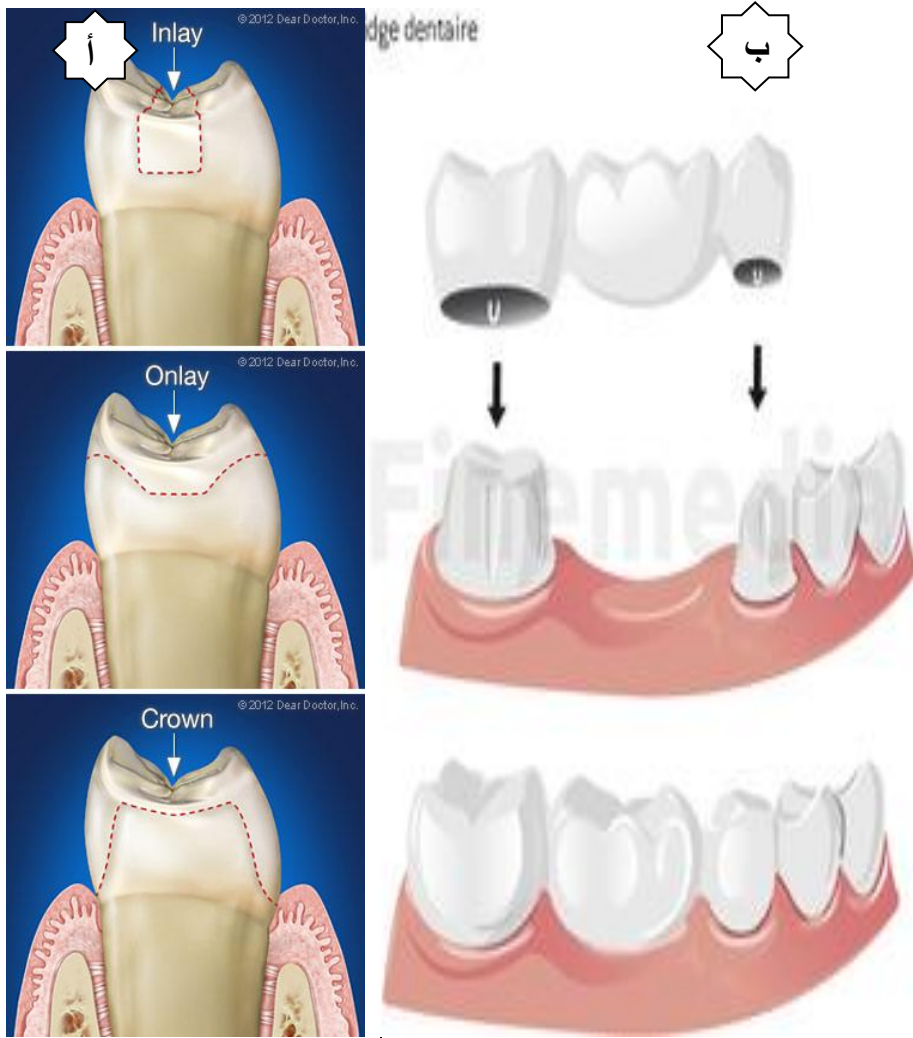
## ب) التيجان و الجسور

- عندما تكون السن مكسورة أو بها حشوة كبيرة وقديمة أو في حالة تلف بالغ نتيجة النخر، قد يقترح طبيب الأسنان تركيب تاج كحل أمثل مقارنة مع الحشوات حيث توفر التيجان المتانة والحماية أكثر لما تبقى من بنية الأسنان. تشمل أنواع التيجان التاج الخزفي تماما، والتاج الخزفي الملتحم بتاج معدني والتاج المعدني بالكامل، قد يكون التاج يكسو كامل سطح السن (crown) كما قد يعوض جزء منه فقط (الترصيع): (Inlay) إذا شمل تجويف داخل الأسنان فقط، (onlay) إذا امتد من تجويف السن إلى حوافه (شكل II - 8 (أ)).

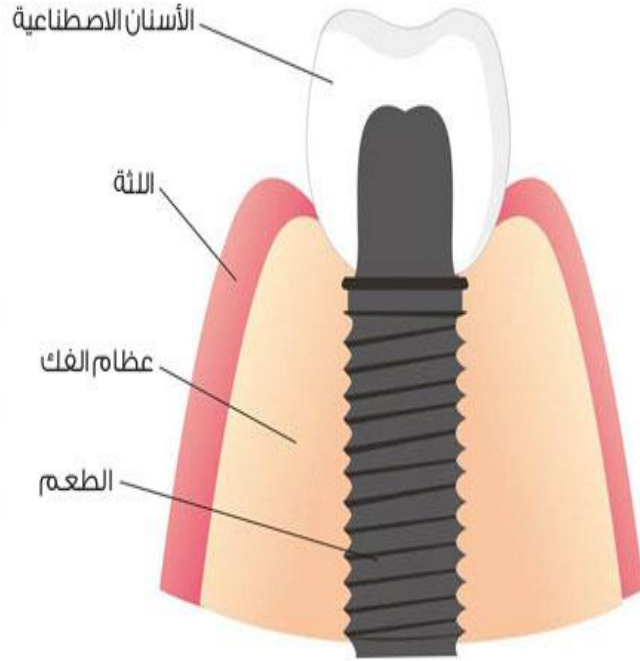
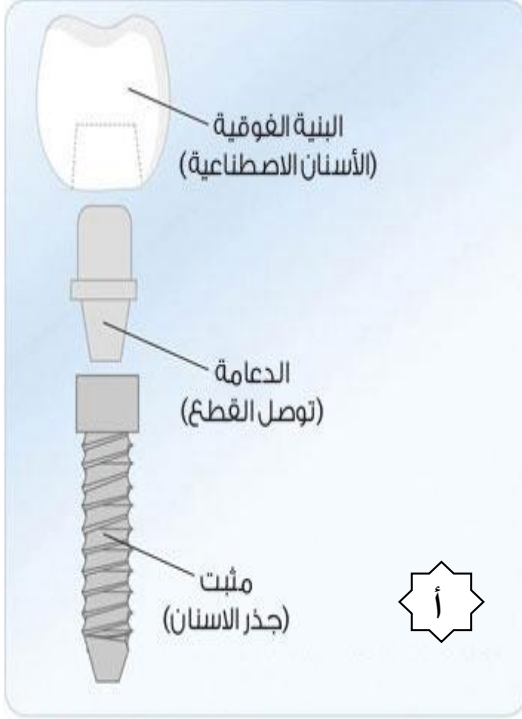
- في حالة فقدان سن أو أكثر قد يؤدي ذلك إلى زحزحة الأسنان المتبقية خارج موضعها الأصلي، مما قد يسفر عن تغير في العض وفقدان أسنان إضافية والإصابة بالخر و أمراض اللثة. لذلك فإن طبيب الأسنان سيقتراح على المريض تركيب جسر (Bridge)، وهو عبارة عن سن بديلة أو أكثر مثبتة بتاج أو أكثر في كل جانب. يقوم طبيب الأسنان مبدئياً بتجهيز الأسنان في كل جانب من جوانب الفراغ استعداداً لتركيب التيجان ثم يقوم بعمل طبعة للمنطقة بأكملها. في زيارة تالية، يقوم الطبيب بتركيب الجسر الثابت وضبطه وتثبيتته في مكانه بمادة لاصقة (شكل II - 8 (ب)).

### ج) زراعة الأسنان (Dental Implants)

لسنوات عديدة كانت الوسائل المتاحة لتعويض النقص الناتج عن خلع الأسنان هي الجسور أو أطقم الأسنان، لكن اليوم هناك وسيلة جديدة و هي زراعة الأسنان و المتمثلة في إيجاد البديل الصناعي لجذور الأسنان. تصنع الزرعة من مادة (التايتانيوم) - Titanium القادرة على التأقلم مع الجسم البشري. تثبت الزرعة في عظم الفك و تترك لفترة ينمو خلالها العظم حول الزرعة. بعدما ينمو العظم حولها تصبح الزرعة أساساً قوياً يمكن تثبيت تاج أو جسر أو طقم أسنان متحرك يعوض المريض عن أسنانه المفقودة (شكل II - 9).



الشكل II - 8 التيجان والجسور: (أ) [78]، (ب) [79].



الصورة الثالثة أخذت يوم وضع السن الخزفي، يظهر وكأنه سن طبيعي



الصورة الثانية بعد 4 أشهر تظهر شفاء اللثة



صورة أخذت في يوم وضع الزراعة لتحل محل الطاحن العلوي الثاني

الشكل II - 9 زراعة الأسنان : (أ) [80]، (ب) [81].

## II-4-3 التصميم و التصنيع بمساعدة الحاسوب (CAD/CAM):

لقد مست التكنولوجيا الحديثة مجال طب الأسنان مثله مثل المجالات العلمية الأخرى، إذ لم يقتصر التقدم العلمي فيه على تطوير طرق الترميم و الزراعة و المواد المستعملة فقط بل ظهرت تكنولوجيا جديدة (CAD/CAM) تعتمد على إدخال تقنية الكمبيوتر في تصميم و تصنيع تعويضات جسور و تيجان الأسنان. يتم في هذه التقنية خراط كتل صلبة من السيراميك أو الراتنج المركب المشابه للون الأساسي للسن المراد ترميمه بالإضافة إلى ذلك يتم خراط السبائك المعدنية أو إنتاجها رقمياً. وذلك بعد أن يقوم طبيب الأسنان بإزالة التسوس والأجزاء المكسورة من السن وإعادة بنائه وتحضيره لاستقبال الترميم، يتم أخذ طبعة للسن المحضر والأسنان المجاورة له بالاعتماد على قياس ثلاثي الأبعاد بالليزر، والتي تسمى بالطبعة الرقمية، وتنقل البيانات إلى الحاسوب. يقوم برنامج متخصص باستبدال الأجزاء المقصودة من الأسنان من خلال تكوين ترميم افتراضية وهذا يعرف بالهندسة العكسية.

يرسل البرنامج هذه المعلومة الافتراضية إلى آلة الخراطة بحيث يتم نحت الجزء المراد تعويضه من كتل السيراميك الصلبة أو الراتنج المركب.

يتم تلوين وصلل الترميم على أسطح تيجان وجسور السيراميك المخروط، بعد ذلك يتم تعديل الترميم في فم المريض وإصاقها في مكانها بشكل نهائي، وتساعد هذه التقنية المريض على ربح الوقت كما تساعد الطبيب على صناعة قطع بديلة أكثر مواءمة و دقة مقارنة بالطرق التقليدية [82، 83].

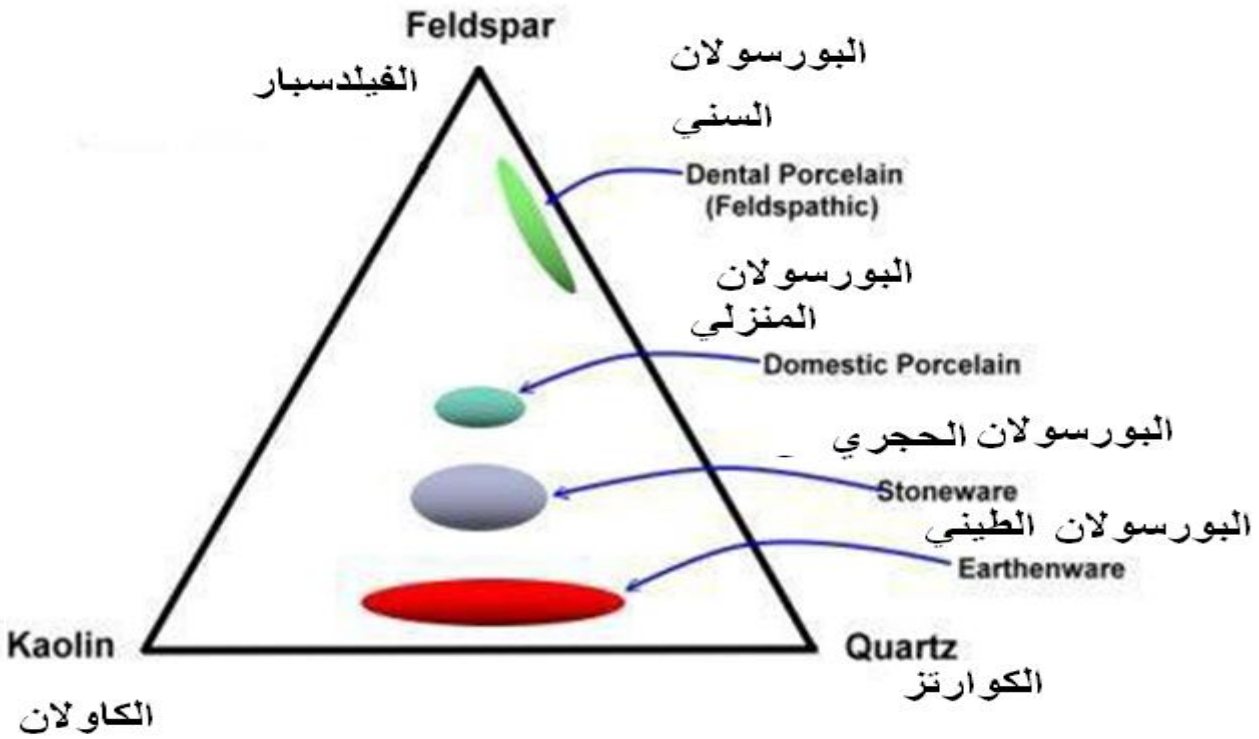
## 5-II البورسولان و طب الأسنان

### 5-II-1 نبذة تاريخية عن البورسولان

بدأ إنتاج البورسولان في شمال الصين خلال القرنين السادس و السابع ميلادي ليصل إلى جنوبها مع حلول القرن العاشر، حيث تعددت الدراسات في مختلف أرجاء الصين مع اختلاف المادة الأولية المتوفرة في كل منطقة ومحاولة تحسين الجودة بتنويع المواد الأولية قدر الإمكان و تغيير نسبها المئوية. مع بداية القرن الخامس عشر و تزامنا مع النهضة الأوروبية دخل الخزف الصيني (البورسولان) إلى أوروبا ليتم بعدها إنتاجه ولأول مرة في إيطاليا سنة 1575م من قبل عائلة Medicis حيث تم تحضيره بمزج 60 % من الكوارتز ، 25 % من الطين الأبيض و 15 % marzacotta (عبارة عن مزيج ملبد من الرمل و القلويات) [84]. أول إنتاج ناجح للخزف الأوروبي رأى النور في سان كلود بالقرب من باريس، في أواخر القرن 17 ميلادي. لم تختلف المواد الأولية الداخلة في تصنيع البورسولان الباريسي عن سابقه الايطالي فقد اعتمد على الكوارتز، الطين و القلويات وفي بعض الحالات على إضافات من الجير الحجري. بعدها بفترة وجيزة ، في 1708م، تم إنتاج البورسولان الألماني في ميسان (Meissen) من قبل فريق بحث تحت إشراف Böttger Johann Friedrich (1682-1719م). أنتج هذا البورسولان عند درجة حرارة في حدود 1400°C و ذلك باستعمال الكاولان و الجبس المكلسن، بعد وفاة الباحث Böttger و مع استمرار الأبحاث عوض الجبس بنسبة صغيرة من الفيلدسبات مما أسفر على تخفيض درجة حرارة التلييد. في انجلترا تكثفت الأبحاث في النصف الأول من القرن الثامن عشر حيث أنتج أول بورسولان قاسي في انجلترا سنة 1768 في بريستول، وذلك بمزج الرمل مع الطين الصيني و الحجاره الصينية التي تحوي كل من الكاولانيت و الفيلدسبات [84].

## II-5- 2 المواد الأولية

إن المواد الأولية المستعملة في تصنيع البورسلان هي مواد متوفرة ومنتشرة في الطبيعة بكثرة، و هذا ما يزيد من أهميته، تتصدر هذه المواد ثلاث فيلزات ( silicates سيليكات) وهي: الكوارتز و الفيلدسبات و الكاولان، حيث يعطي اختلاف النسب المئوية لهذه المواد الأولية اختلاف في الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية والتي تمكننا من تحديد هوية كل بورسلان و تطبيقاته الصناعية {حراري (refractaire)، حيوي (dentaire) ... الخ} (شكل II - 10).

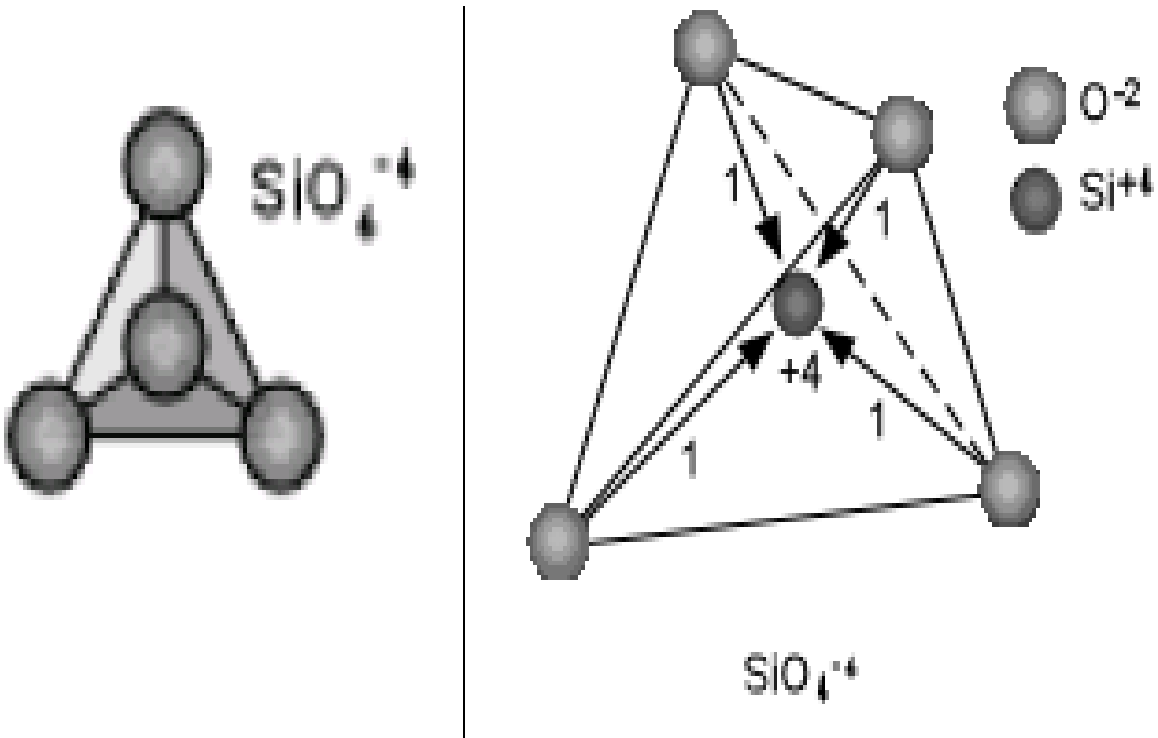


الشكل II - 10 علاقة نسبة المواد الأولية بنوع البورسلان الناتج [85].

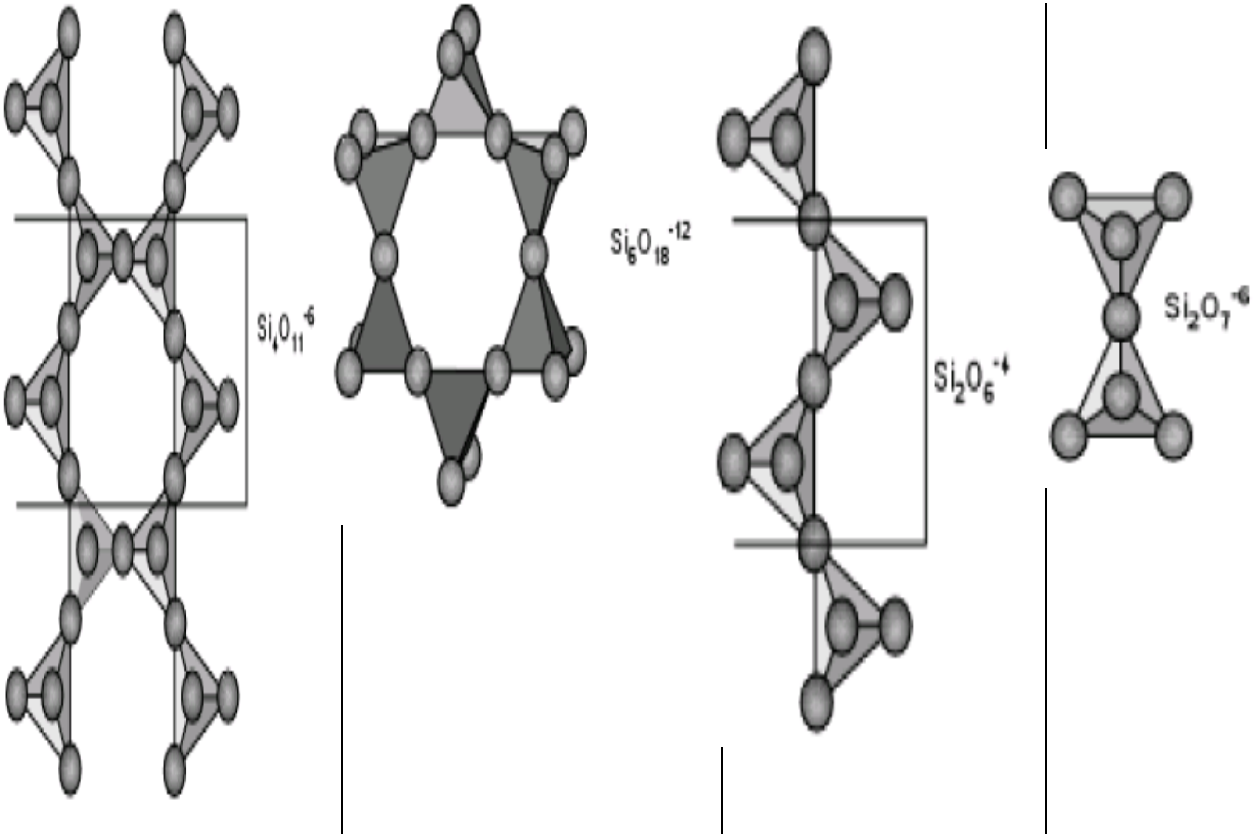


### ◀ تعريف السيليكات (silicates)

السيليكات هي الفيلزات التي تتميز بالرباعي  $(\text{SiO}_4)^{-4}$  و التي تتكون من شاردة  $\text{Si}^{4+}$  في المركز و شوارد الأوكسجين  $\text{O}^{2-}$  في الرؤوس الأربعة (شكل II - 11)، حيث تصبح شحنة الايون الرباعي بعد إتحاد شوارده هي  $4 \cdot (-2) + 4 = -4$  أي أنه غير مستقر و يحتاج إلى تشكيل روابط أخرى مع أيونات أخرى موجبة مثل :  $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{Mg}^{2+}$ ،  $\text{Al}^{3+}$  ... الخ. كما قد تتشارك كل رباعيتين متجاورتين في رأس واحد حيث تتقاسمان شاردة الأوكسجين الموجودة في هذا الرأس (شكل II - 12) [87-86،46].



الشكل II - 11 أيون السيليكات [86].



الشكل II - 12 بعض أشكال الربط بين أيونات السيليكات [86].

## II-5-2-1 الكاولان

تعتبر الكاولان من أهم المواد المستعملة في صناعة الخزفيات التقليدية والحديثة ، ومن أهم تطبيقاتها: صناعة الخزفيات وصناعة الورق والعوازل والاسمنت... الخ [88].

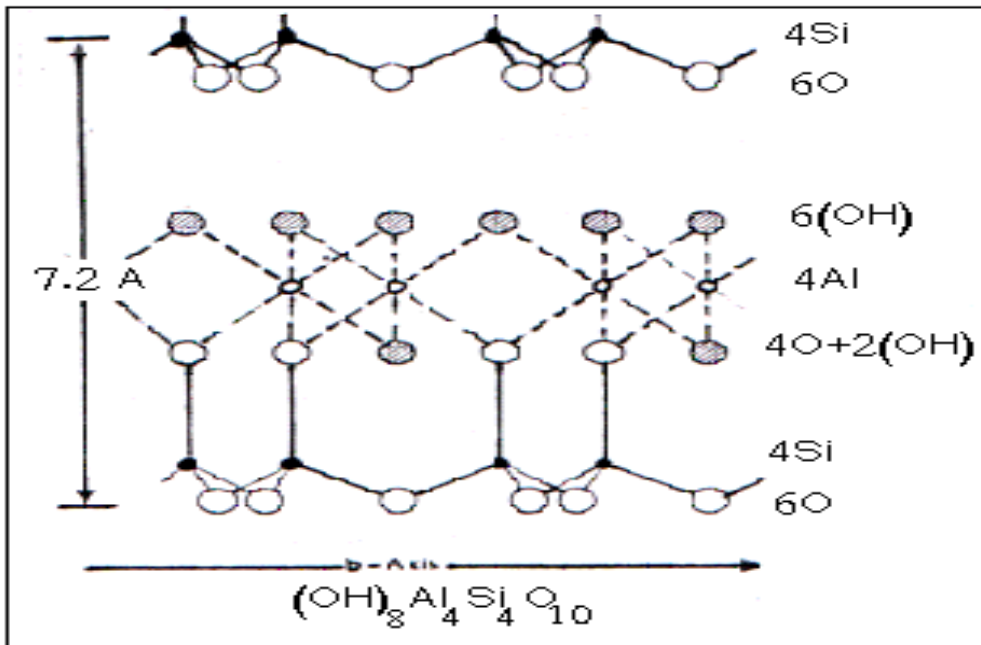
إن أصل كلمة كاولان هو اسم مدينة صينية، أين كان استغلال هذه المادة لأول مرة، وهي أساس الخزف الصيني "البورسولان" [89]. وتعتبر أكثر المواد الأولية انتشارا في العالم، حيث أنها تأخذ اللون الأبيض أو الرمادي وذلك حسب كمية الشوائب أو المواد العضوية الموجودة بها.

الصيغة الكيميائية للكاولان هي كما يلي:  $(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O)$  [81] وهذا بنسب كتلية تقدر بحوالي: % 39.53 من  $Al_2O_3$  و % 46.50 من  $SiO_2$  بالإضافة إلى % 13.95 من  $H_2O$ ، حيث تقدر كتلتها المولية بحوالي 258 g، كما تقدر كتلتها الحجمية النظرية بحوالي  $2.6 \text{ g/Cm}^3$ . تختلف هذه النسب باختلاف درجة نقاوة الكاولان، حيث أن الكاولان الجيدة

تحتوي على نسبة تقدر بحوالي % 45.50 من  $Al_2O_3$  لكنها نادرة الوجود في الطبيعة وذلك لاحتواء الكاولان عادة على شوائب مثل:  $Fe_2O_3$  و  $MgO$  ،  $Na_2O$  ،  $K_2O$  ،  $MnO$  بالإضافة إلى المواد العضوية. ومن أهم العناصر التي تنتمي إلى عائلة الكاولان أو تشابهها هي الديكيت والناكريت و الميتاهالوزايت بالضافة إلى الهالوزايت ذو الصيغة الكيميائية  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$  [91،48].

← بنيتها:

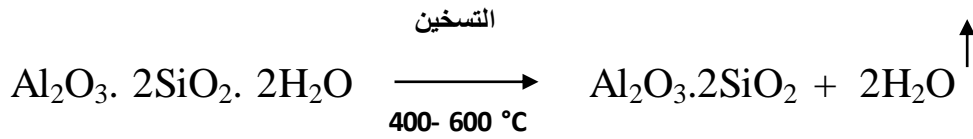
تتكون الكاولان بصفة عامة من صفائح عنصرية للمواد المشكلة لها، حيث تتوضع فوق بعضها البعض، أبعادها تتغير ما بين 0.3 و  $10 \mu m$  بالنسبة للقطر ومن 0.05 إلى  $0.1 \mu m$  بالنسبة للسماك [92]. تتكون الصفائح عن طريق تجمع طبقات ثمانية الوجوه لعنصر Al الواقعة تحت الطبقة السداسية لرباعي السيليكون، حيث تحتل أيونات الهيدروكسيد ( $OH^-$ ) رؤوس الثمانيات الغير مرتبطة برباعي وجوه السيليكون ، كما يمكن أن تتبلور الكاولان بصفة عامة في نظام ثلاثي الميل، الشكل II - 13 يوضح ذلك.



الشكل II - 13 البنية البلورية للكاولينيت [82].

### ← التحولات الحرارية للكاولان

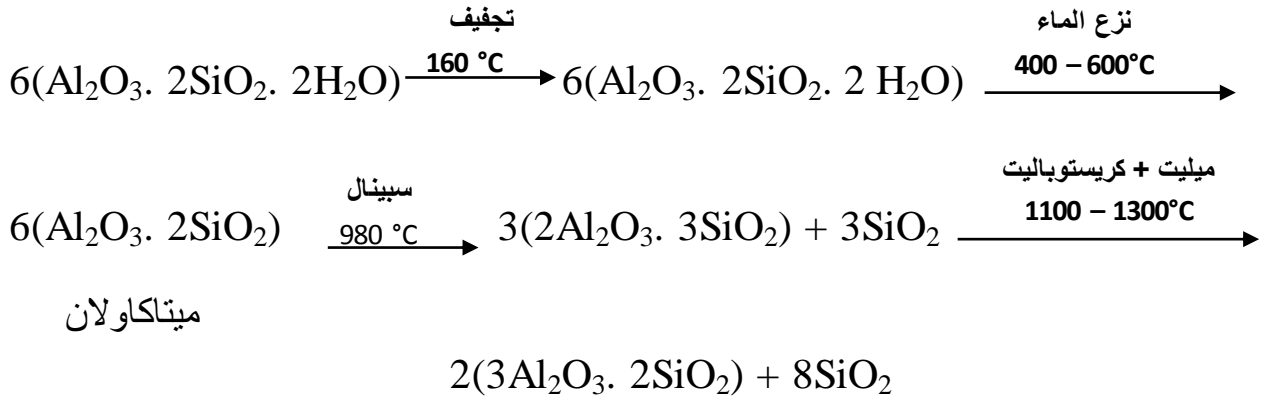
بينت معظم الدراسات التي أجريت على مادة الكاولان أثناء معالجتها حرارياً، سواء كانت هذه الدراسات عن طريق انعراج الأشعة السينية (XRD) [94-93،90] أو عن طريق التحليل الحراري التفاضلي (DTA) [95،90] أن الكاولان تمر بسلسلة من التفاعلات خلال مراحل عملية التسخين، حيث نجد على العموم ثلاث تحولات ناشرة للحرارة تحدث عند حوالي 980°C و 1200 °C و 1300 °C، وتحول ماص للحرارة في المجال المحصور بين 450°C و 600 °C [97،96]. كما أن درجات الحرارة هذه ليست دائماً ثابتة فهي تختلف باختلاف التركيبة الكيميائية للكاولان خاصة نسبة الألومين الموجودة بها [94]. يكون التحول الأول الماص للحرارة نتيجة لفقدان الكاولان للماء وبالتالي تتحول إلى ميتاكاولان  $2SiO_2Al_2O_3$  وهذا حسب التفاعل الكيميائي التالي:



يصحب خروج الماء تقلص مفاجئ وتغير في بنية الكاولان، أما إذا احتوت على مواد عضوية فاحترقها يكون عند حوالي 300 °C [95]. التحول الثاني و الذي يكون ناشر للحرارة عند حوالي 980 °C هو محل اختلاف العديد من الباحثين [97،96،94،93،90]. حيث أن هناك من يرى أنه عند درجة الحرارة هذه يبدأ تشكل الميليت، وهناك من يرجح تشكل طور الألومين من النوع  $\gamma-Al_2O_3$  الذي يساعد بدوره في تكوين الميليت وآخرون يذهبون إلى أن الميليت المتشكل ناتج عن تشكل السبينال  $(Al_2O_3 \cdot 3SiO_2)$ .

يوافق التحول الذي يقع في المجال الحراري من 1200°C إلى 1300°C تشكل الميليت ذو البنية المعينية، حيث يعتبر هذا الأخير الطور الوحيد المستقر وذلك وفق التفاعل التالي:

كما تجدر الإشارة هنا فقط إلى إمكانية تشكل الميليت قبل هذه الدرجة وذلك حسب نسبة الألومين الداخل في تركيب الكاولان وكذا درجة نفاوتها [87]. تتحول بنية الميليت بارتفاع درجة الحرارة من رباعية إلى معينة مستقيمة [98] وتتبلور السيليكات الحرة على شكل كريستوباليت. يمكن تلخيص سلسلة التحولات التي تمر بها الكاولان أثناء المعالجة الحرارية في المخطط التالي:

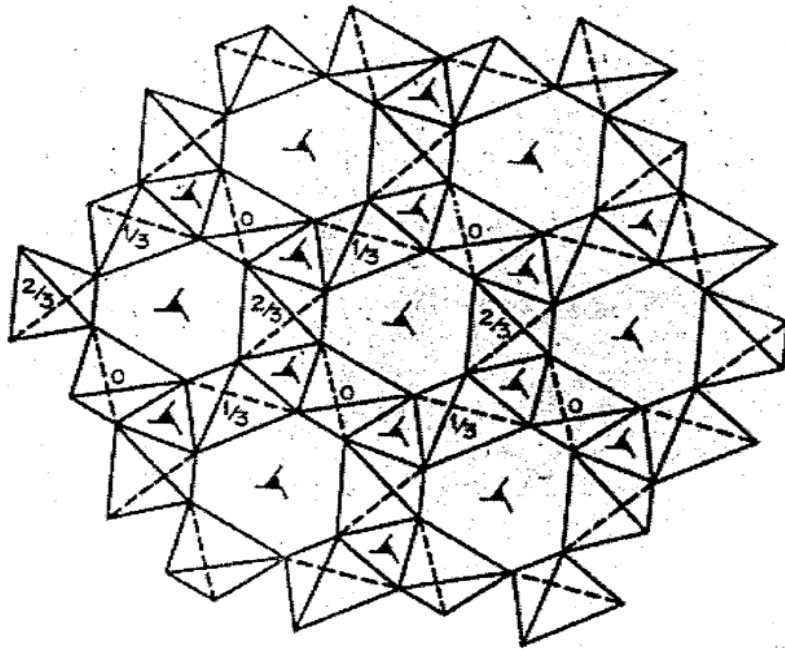


## II-5-2 الكوارتز

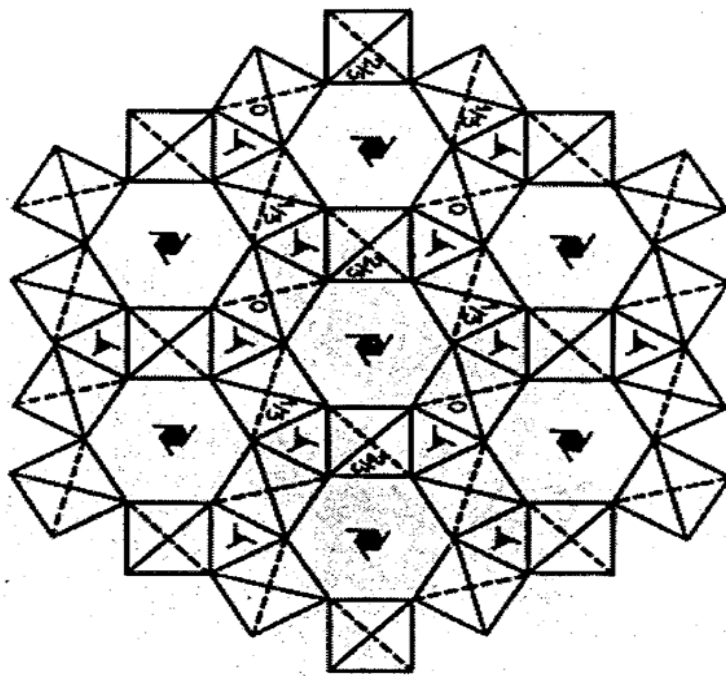
يعد الكوارتز أكثر الخامات تواجدا حيث يشكل % 12 من تركيبة الطبقة السطحية للأرض وهو مكون أساسي في الصخور البركانية و الرسوبية.

← بنيته

يمتلك الكوارتز  $\alpha$  (كوارتز درجة الحرارة المنخفضة) شبكة سداسية ثلاثية التناظر (trigonal trapezoedrique) حيث تعرف الخلية السداسية له بالوسائط:  $a=4.913\text{Å}$  و  $c=5.405\text{Å}$  وتحتوي على ثلاثة جزيئات من  $\text{SiO}_2$  كما في الشكل II-14 [99]. أما الكوارتز  $\beta$  فيمتلك شبكة (trapezoedrique hexagonal) حيث تعرف الخلية السداسية له بـ:  $a=4.996\text{Å}$  و  $c=5.456\text{Å}$  وتحتوي على ثلاثة جزيئات من  $\text{SiO}_2$  كما في الشكل II-15 [99].



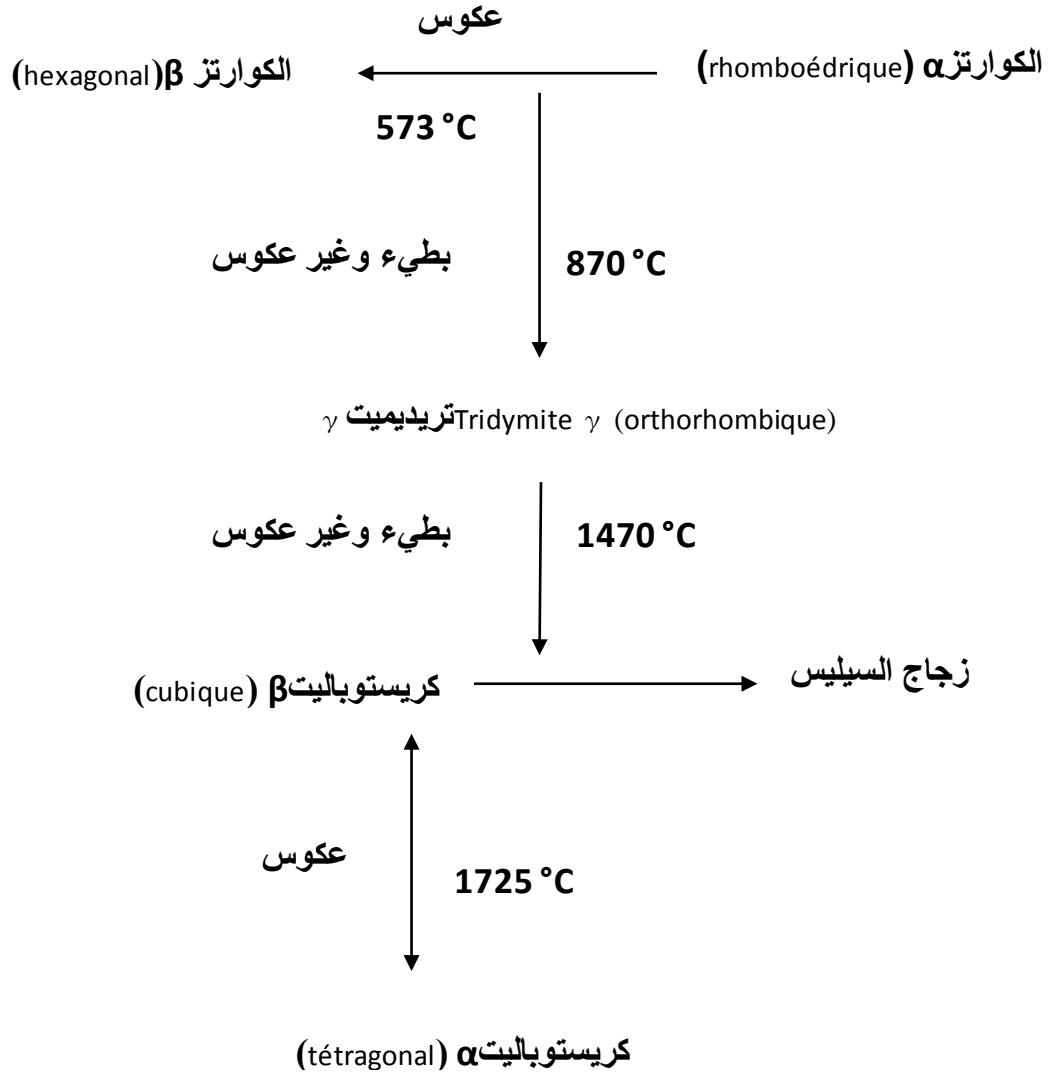
شكل II-14 بنية الكوارتز  $\alpha$  إسقاط على (001) [99].



شكل II-15 بنية الكوارتز  $\beta$  إسقاط على (001) [99].

← التحولات الحرارية للكوارتز

إن المعالجة الحرارية للكوارتز تحدث تغيرا في بنيته البلورية وذلك حسب المخطط (شكل II-16).



الشكل II-16 التحولات الحرارية للكوارتز [100].

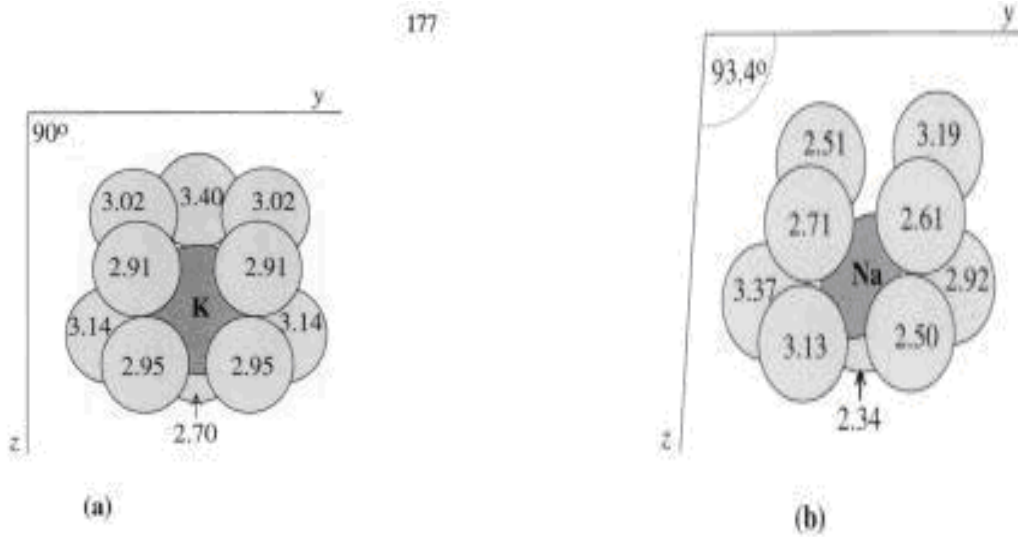
**ملاحظة:** إن التحول كوارتز  $\alpha$  ← تريديميت عند درجة الحرارة 870 °C لا يحدث إلا في شروط خاصة حيث يكون الكوارتز حر وسرعة التسخين بطيئة جدا [100].

## II-5-2-3 الفيلدسبات

الفيلدسبات هو عبارة عن صخور متكونة من مزيج سيليكات الألمنيوم الكلسية والقلوية، وتتراوح نسبة الفيلدسبات في البورسلان العادي ما بين 15% و 25% حيث يعمل على خفض درجة ذوبان الكوارتز، كما تحسن زيادة نسبة الفيلدسبات إلى حد معين المقاومة الكهربائية للبورسلان [42،54].

### ← بنيته

بالرغم من اختلاف بنيتها البلورية " أحادية الميل أو ثلاثية الميل" تتشابه الفيلدسبات في بنيتها البلورية ، طريقة تشكيل الفيلدسبات بالتراص البلوري " تراص بلورات من نوع واحد و باتجاهات مختلفة"، سطوح الانفلاق المائلة الواحد بالنسبة للآخر بزواوية قيسها تقريبا  $90^\circ$  (شكل II-17). وتتميز الفيلدسبات ببريقها الزجاجي واختلاف لونها من الأبيض أو عديم اللون إلى الوردي أو الأصفر كما قد تأخذ اللون الأخضر أو الأحمر [101].



الشكل II-17: بنية الفيلدسبات (a) الفيلدسبات البوتاسي (الأورثوز) الخلية الأولية أحادية الميل حيث تحيط ذرات الأكسجين بذرة البوتاس، (b) الفيلدسبات الصودي (الأليت) الخلية الأولية ثلاثية الميل حيث تحيط ذرات الأكسجين بذرة الصوديوم [102].



## ← أنواع الفيلدسبات

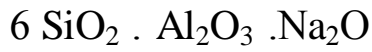
يوجد حوالي عشرون نوعا من الفيلدسبات في الطبيعة تعرف منها تسعة فقط ، وهي عبارة عن صخور متكونة من مزيج سيليكات الألمنيوم الكلسية و القلوية [56،94،103]. أهم أنواع الفيلدسبات هي [103]:

- الفيلدسبات البوتاسي (الأورثوز)

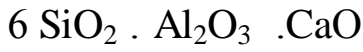
يوجد نوعان : الأورثوكلاز و الميكرولين:



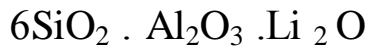
- الفيلدسبات الصودي (الألبيت)



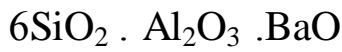
- الفيلدسبات الكلسي (الأنورثيت)



- الفيلدسبات الليثي



- الفيلدسبات البيرتي (السلزيان)



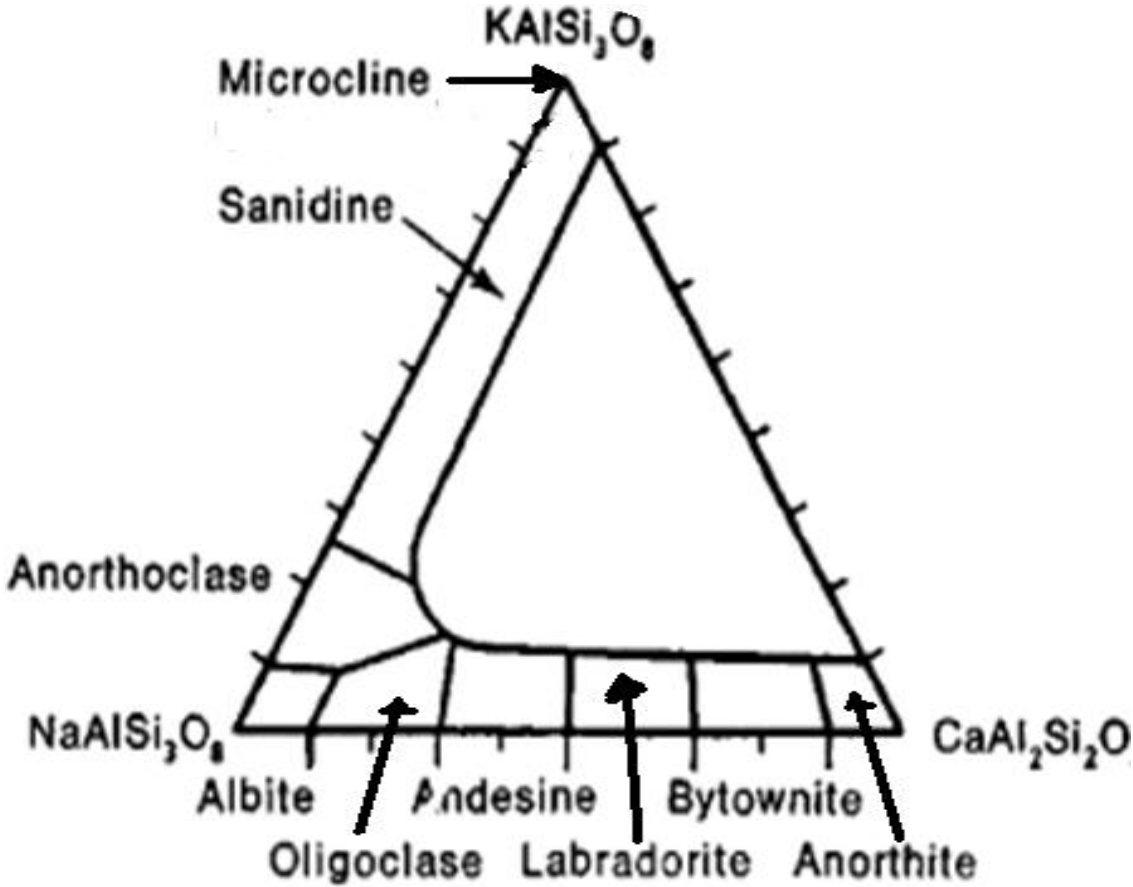
- البلاجيوكلاز: وهو مزيج من الألبيت و الأنورثيت

- البقمايت: هو نوع من الفيلدسبات يحتوي على نسبة عالية يمكن أن تتراوح ما بين

70 إلى % 75 من الكوارتز الحر. الشيء الذي يقلل من قابليتها للإذابة. ومن النادر

أن يتواجد نوع من الفيلدسبات وحده في الطبيعة ولكن تتراكم مع بعضها (الشكل II-

18).



الشكل II- 18 بعض أنواع الفيلدسبات المنتشرة في الطبيعة [102].

### II-5- 3 البورسولان السني (الحيوي)

يلعب البورسولان الطبي (السني) دورا مهما وفعالا في مجال ترميم و زراعة الأسنان. فهو يستعمل كبديل للأسنان عن طريق الزراعة، كما يستعمل لصناعة التيجان والجسور، لوحده أو بلحمه مع المعدن المناسب [104، 85-110]، إن أهميته الكبيرة في زراعة الأسنان تعود إلى تلاؤمه مع مينا الأسنان بالإضافة إلى صلابته و استقراره الكيميائي فهو لا يتلف مع الزمن [107-111]. يحضر البورسولان السني كغيره من البورسولان كخليط من المواد الأولية الثلاثة: الفيلدسبت و الكاولان والكوارتز، إن الفرق بين البورسولان السني وغيره من البورسولان المستعمل في تطبيقات أخرى يكمن في نسبة الكاولان الداخلة في تركيبه ، حيث

تمثل الكاولان المركب الأساسي في صناعة جميع أنواع البورسولان إلا البورسولان السني فإن صناعته تتركز أساسا على الفيلدسبات [106، 85-107، 110-111] (شكل II - 10)، الجدول II - 2 يوضح النسب الكتلية المئوية للمواد الأولية الداخلة في تركيب بعض النماذج من البورسولان السني [112]. في الحقيقة فإن نوعية المواد الأولية ونسبها المئوية الداخلة في تركيب البورسولان السني بالإضافة إلى كونها تميزه عن بقية البورسولان، فهي أيضا تحدد لنا نوعية البورسولان السني الذي نتعامل معه ومجال تطبيقه في طب الأسنان. لتسهيل التقسيم و نظرا للترابط الوثيق بين التركيبية الأصلية و درجة حرارة معالجتها فقد تم تحديد نوعية البورسولان السني تبعا لدرجة حرارة تليده وذلك حسب الجدول II - 3 [107، 113، 114].

الجدول II-2 النسب الكتلية المئوية للمواد الأولية الداخلة في تركيب بعض النماذج من البورسولان السني [112].

التركيبية الأمريكية				التركيبية الألمانية			المكون
12	77	81	85	75	80	73	الفيلدسبار
60	18	15	13	24	20	25	الكوارتز
-	-	4	2	1	-	-	الكاولان
8	-	-	-	-	-	-	الصودا
1	-	-	-	-	-	2	الكالسيت
-	5	-	-	-	-	-	مسحوق العظم (الهيدروكسيد أباتيت)
8	-	-	-	-	-	-	البوتاس
11	-	-	-	-	-	-	البوراكس (B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )

### الجدول II-3 أنواع البورسولان السني [107].

درجة حرارة المعالجة (التلييد)	مجال الاستعمال
1070 °C -870	البورسولان الملتحم بمعدن
1260 °C -1090	صناعة التيجان و الجسور
أكبر من 1290 °C	صناعة الأسنان للزراعة.

### II-5-4 تلييد البورسولان

#### II-5-4-1 تلييد البورسولان العادي

حسب النتائج المتوصل إليها من طرف عدد من الباحثين [38-44] يمكن تلخيص عملية تلييد البورسولان التي تحدث نتيجة تحولات طورية كثيرة في الخطوات الأربعة التالية:

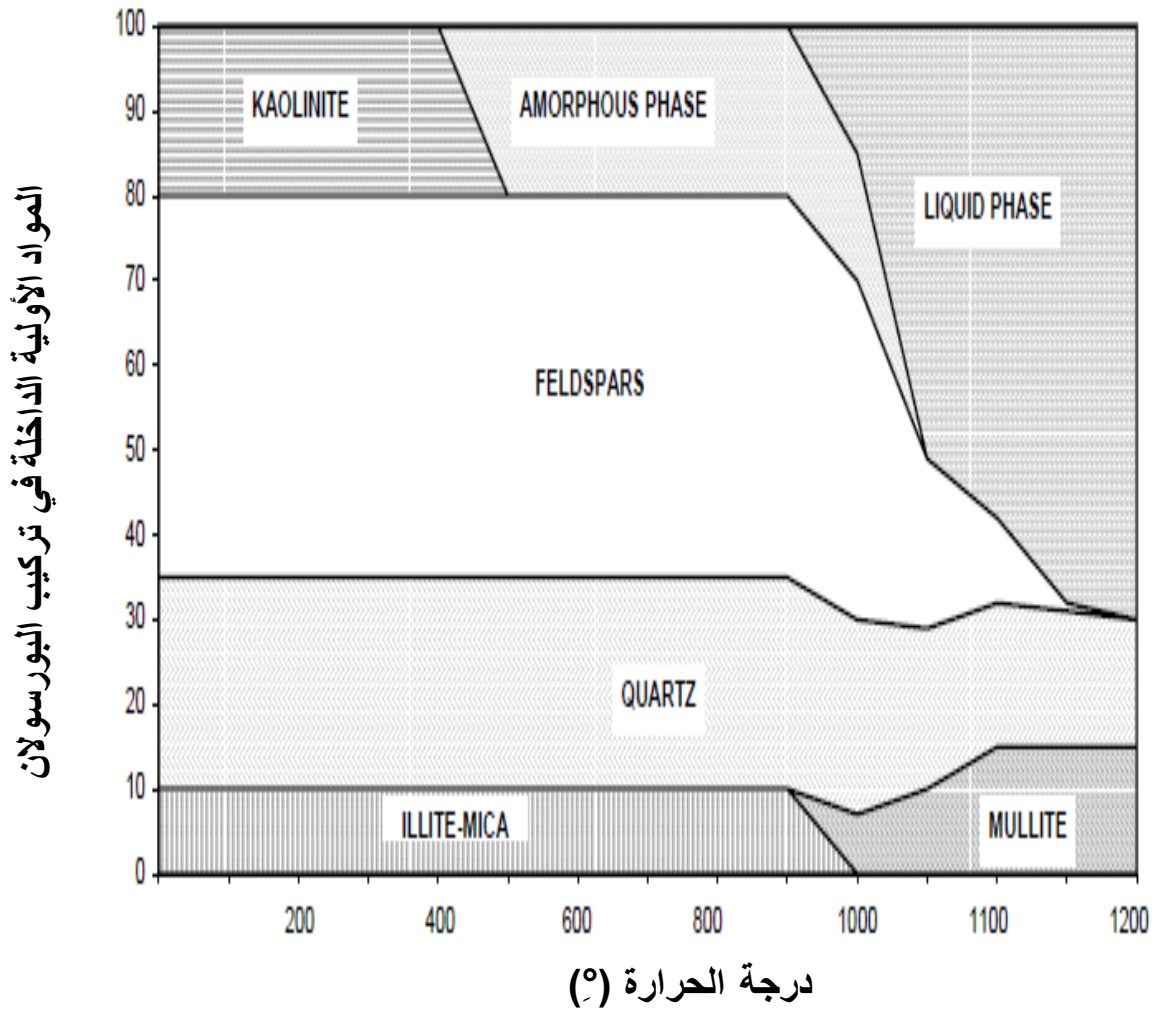
- أ - تحلل الكاولان.
- ب - ذوبان جزئي للفيلدسبات والكوارتز.
- ج - تكون وترسيب الميليت.
- د - تواصل تحلل الكوارتز في الطور السائل في غياب الفيلدسبات.

خلال دراسة لبنية البورسلان أكد Schuller [40] على تواجد نوعين من الميليت: الميليت الأولي و الميليت الناتج عن تبلور الطور الزجاجي، وينتج الميليت الأولي عن تحلل الكاولان وقد أكد أيضا "Schuller" أنه يمكن للميليت الأولي الذوبان في الطور الزجاجي السائل الغني بالكوارتز ليتحول وبصورة تدريجية إلى ميليت ثانوي وفي بعض الحالات يعرقل هذا التحول [40] ليظهر الكوارتز كطور أساسي، الشكل II-19 يمثل مخطط التحولات الطورية الحادثة أثناء تلييد البورسلان.

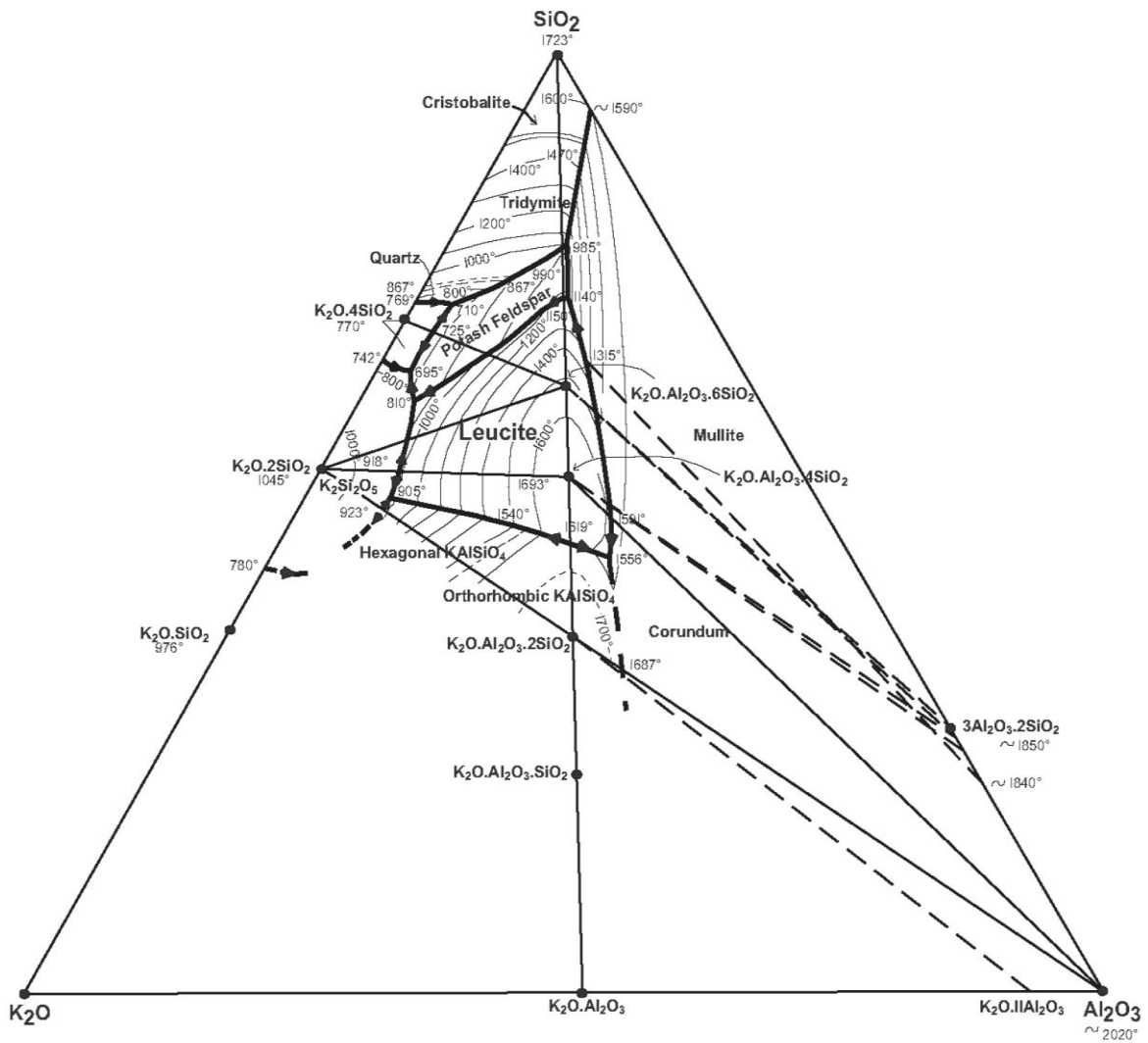
## II-5-4-2 تلييد البورسولان السني

إن النسبة الضئيلة أو المنعدمة للكاولان الداخلة في تركيب البورسولان السني تعيق تشكل طور الميليت الذي يظهر كطور أساسي في بقية البورسولان، ليظهر الطورين المتبقين: الكوارتز الذي يبقى صامدا خلال عملية التلييد و الطور الزجاجي الناتج عن ذوبان الفيلدسبات (شكل II-19)، إذ أن الكوارتز لا يشارك في التفاعل بل تبقى بلوراته متماسكة في مكانها ليتخللها الطور السائل ويربط بينها [45،42].

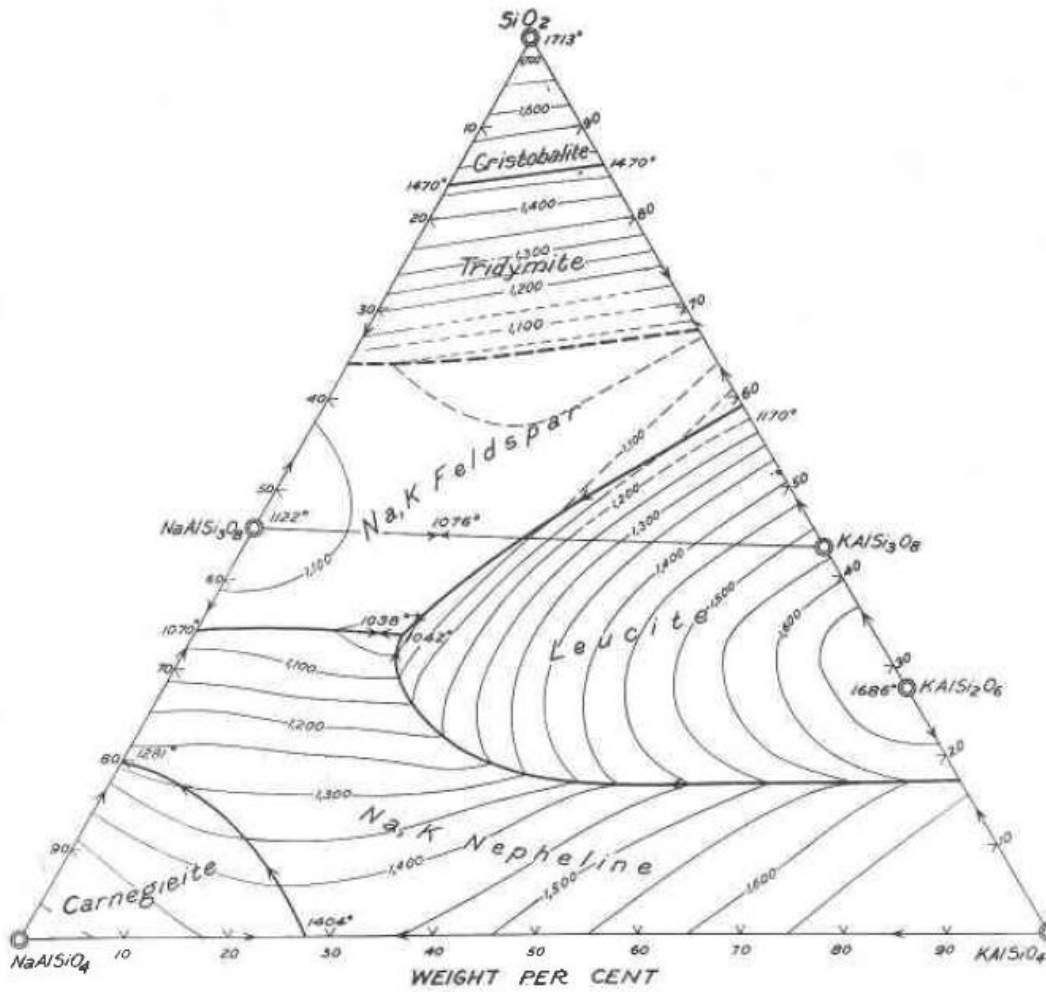
إن استعمال الفيلدسبات البوتاسي و بتوفير الظروف المناسبة من تحضير ومعالجة العينات قد يحفز على ظهور طور ثالث هو اللوسيت الرباعي (tetragonal leucite)  $(K_2O.Al_2O_3.4SiO_2)$  شكل II-20 [115]. يلعب اللوسيت دورا مهما في خفض درجة حرارة تلييد البورسولان السني و تحسين خصائصه الميكانيكية [85،116-121]. لكنه غير مستقر فهو يتشكل عند درجة حرارة منخفضة (800-900 °C) و ينصهر عند درجة حرارة منخفضة أيضا (950 °C أو أقل)، أما اللوسيت ذو البنية المكعبة (cubic leucite) المستقرة فيحتاج إلى درجة حرارة تلييد تفوق 1300°C [115،122]. يبقى البحث متواصل للحصول على مركب البورسولان السني بوجود طور اللوسيت المستقر عند درجات حرارة أقل ما يمكن. إن وجود نسبة قليلة من الفيلدسبات الصودي مع الفيلدسبات البوتاسي لا يعيق تشكل اللوسيت لكن يغير من خصائصه فقط (شكل II-21) [123].



الشكل II- 19 مخطط للتحويلات الطورية الحادثة أثناء تلييد البورسلان [41].



الشكل II - 20 مخطط الأطوار الثلاثي للنظام  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2$  [115].



الشكل II - 21 مخطط الأطوار الثلاثي للنظام  $\text{NaAlSiO}_4$ -  $\text{KAlSiO}_4$ - $\text{SiO}_2$  [123].



الجزء الثاني

# الدراسة التجريبية

## الفصل الثالث: الطرق التجريبية و المواد المستعملة

## الطرق التجريبية والمواد المستعملة

نتطرق في هذا الفصل لدراسة المواد الأولية المستخدمة في تحضير البورسولان السني، كما سنتناول بالدراسة مجموع التحاليل التي تم إجراؤها على العينات و المتمثلة أساسا في: التحليل الكيميائي و التحليل بواسطة الأشعة السينية و الأشعة تحت الحمراء و مطيافية رمان و التحليل الحراري التفاضلي لمعرفة مختلف الظواهر الحادثة والأطوار الناتجة أثناء المعالجة الحرارية، كما سنتطرق إلى مختلف الطرق التجريبية المتبعة في تحضير العينات بنوع من التفصيل، و في الأخير نعرض على بعض الأجهزة المستعملة ومبدأ عملها.

في بحثنا هذا حضر البورسولان السني انطلاقا من مواد أولية(الكاولان، الكوارتز والفيلدسبات) والتي تم التحصل عليها من مناطق مختلفة بالجزائر.

### III- 1- دراسة المواد الأولية:

#### III- 1-1- الكاولان (Kaolin)

تم استعمال نوعا محليا من الكاولان من الصنف (DD1) وتم الحصول عليه من جبل دباغ بقالة. يمتاز DD1 بلونها الأبيض ونقاوته حيث أن نسبة الشوائب من الأكاسيد المعدنية به أقل من 0.5 % و حجم حبيباته أقل من  $2 \mu\text{m}$  [124].

لقد أعطى التحليل الكيميائي للكاولان DD1 بواسطة الفلورة السينية النتائج الموضحة في الجدول III-1. نلاحظ أن نسبة فقدان في الكتلة عند التسخين (الكلسنة) (16 %) وهي نسبة مرتفعة نسبيا، و يرجع ذلك إلى أن DD1 المستخرجة من جبل دباغ هي عبارة عن الهالوزيت (halloysite) من الصنف  $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O})$ ، والتي تتحول إلى كاولنيت (kaolinite) ذات الصيغة الكيميائية  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  بعد أن تفقد كل جزيئة من جزيئاتها جزيئين من الماء عن طريق المعالجة الحرارية (الكلسنة) [48].

### III -1- 2 الكوارتز (quartz)

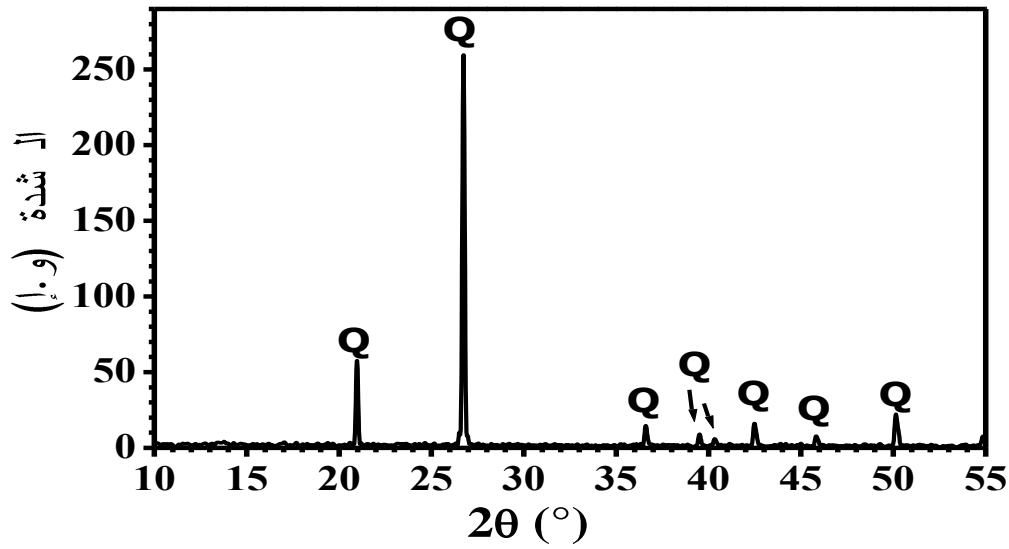
تم استعمال مادة محلية متوفرة متمثلة في الرمل المستخرج من منطقة بئر العاتر بتبسة والتي تتميز بنسبة نقاوة عالية، حيث بينت نتائج حيود الأشعة السينية أنها متكونة أساسا من السيليس بشكل كوارتز (الشكل III-1) (JCPDS file 05-0490) وأعطى التحليل الكيميائي بواسطة الفلورة السينية التركيب المئوي الكلي لمختلف مكونات الرمل (الجدول III-1).

### III -1- 3 الفيلدسبات (feldspar)

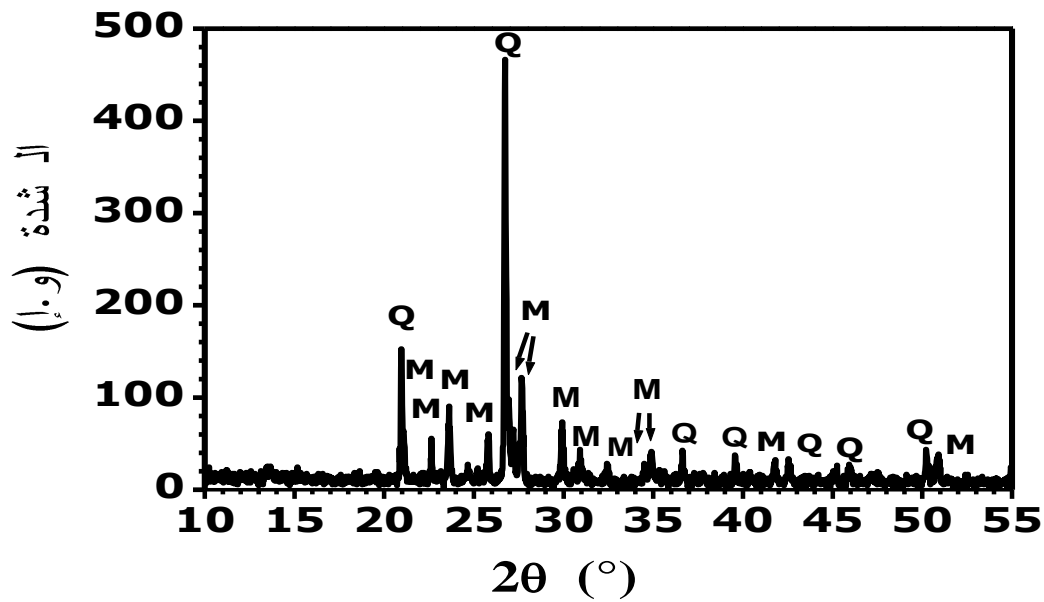
تم استعمال مادة محلية وهي مستخرجة من عين بربر بضواحي مدينة عنابة، حيث يبين منحنى إنعراج الأشعة السينية لفيلدسبات عين بربر احتواءه على طورين فقط هما:  
الكوارتز (JCPDS file 05-0490) و الميكرولين (microcline) ذو الصيغة  $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$  (الشكل III-2) بالإضافة إلى التحليل الكيميائي بواسطة الفلورة السينية (الجدول III-1) التي تبين النسبة الكبيرة لأكسيد البوتاس (12.14 %) مقارنة مع أكسيد الكالسيوم (0.35 %) وأكسيد الصوديوم (0.40 %)، الذي يؤدي إلى تصنيف فيلدسبات عين بربر كفيلدسبات بوتاسي.

الجدول III-1 التركيب الكيميائي للمواد الأولية المستعملة في تصنيع البورسولان السني (نسب كتلية).

المكونات الكيميائية الغالبة	الكاولان	الكوارتز	الفيلدسبات
<b>SiO<sub>2</sub></b>	44.01	96.18	71.79
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	39.13	1.27	13.20
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	-	0.15	1.17
<b>CaO</b>	0.15	1.03	0.35
<b>CaSO<sub>4</sub></b>	-	0.04	0.04
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0.21	0.25	12.1
<b>NaCl</b>	-	0.06	0.09
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0.04	0.30	0.40
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.41	-	-
<b>MgO</b>	0.05	-	-
الفقدان في الكتلة نتيجة التسخين	16.00	0.72	0.82



شكل III-1 طيف إنعراج الأشعة السينية لمسحوق كوارتز بئر العاتر (Q: الكوارتز).



شكل III-2 طيف إنعراج الأشعة السينية لمسحوق فيلدسبات عين بربر (Q: الكوارتز، M: الميكرولاين).

### III- 1-4 الإضافات (أكسيد البور)

مركب أكسيد البور ( $B_2O_3$ ) هو عبارة عن مادة مخبرية عالية النقاوة، نستعمله خلال هذه الدراسة كإضافة بنسب صغيرة تتراوح من 1 إلى 5 % وزنا و ذلك لتنشيط التلييد. درجة حرارة ذوبان أكسيد البور تقدر ب  $577\text{ }^\circ\text{C}$  [70].

### III- 2 الطرق المتبعة في تحضير البورسولان السني

إن الغاية من هذا البحث هي تحضير مركب البورسولان السني انطلاقا من مواد أولية محلية، مع السعي إلى تحسين نسبة تلييد هذا المركب وخصائصه الميكانيكية. بصفة عامة يمثل المخطط (شكل III-3) الطريقة المتبعة في تحضير وتشكيل عينات البورسولان السني والتي نلخصها في الخطوات التالية:

← المعالجة الحرارية لمسحوق الكاولان عند  $580\text{ }^\circ\text{C}$  لمدة 20 دقيقة للحصول على ميتاكااولان تسمى هذه العملية كلسنة والهدف منها التخلص من الماء المشكل للكاولان و احتراق المواد العضوية .

← سحق كل من مادة الكاولان (DD1) المكلسنة و الفيلدسبات والكوارتز سحقا رطبا بوجود كمية من الماء باستعمال جهاز للسحق الرطب لمدة 8 ساعات بالنسبة للكاولان و 16 ساعة بالنسبة لكل من الكوارتز و الفيلدسبات ثم تجفف كل مادة على حدة.

← تحضير مركب البورسولان السني وذلك بمزج الخليط (75% نسبة كتلية من الفيلدسبات مع 20 % كوارتز و 5 % كاولان) جيدا بوجود كمية من الماء باستعمال جهاز للسحق الرطب لمدة 4 ساعات بهدف الحصول على مسحوق متجانس.

← نجفف الخليط عند درجة حرارة  $200^{\circ}\text{C}$  لمدة 2 ساعة، لنحصل على المسحوق الذي نستخدمه لتشكيل العينات. في حالة إضافة أكسيد البور نأخذ هذا المسحوق المحضر ونضيف له نسبة كتلية من أكسيد البور (1، 3، 5 %) ونعيد مزجه من جديد مزجا رطبا لمدة 2 ساعة ثم يجفف بنفس الطريقة.

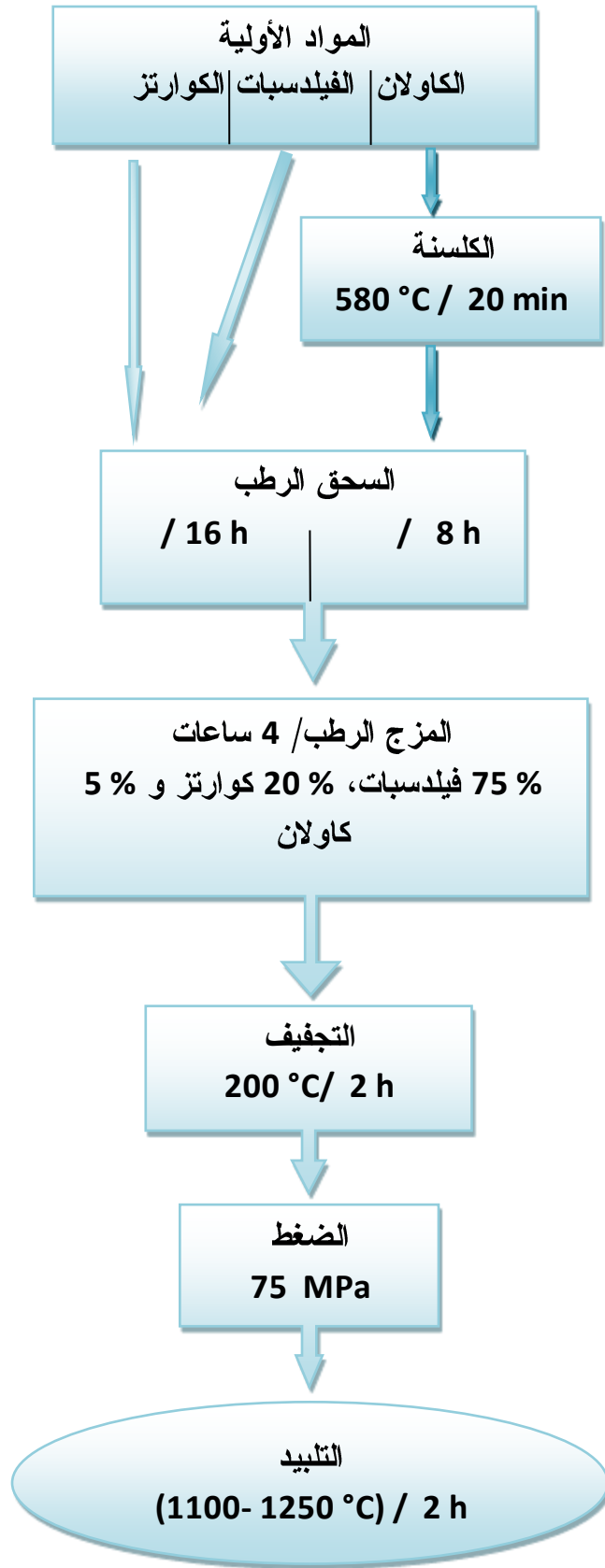
← تشكيل العينات بإضافة قطرتين من الماء لكل 700 mg من المسحوق المحضر ثم كبسها عند ضغط 75 MPa لنحصل على عينات ذات قطر ثابت يقدر ب 13 mm ، حيث استعملنا جهاز كبس محوري تصل قيمة الضغط القصوى فيه إلى حوالي 2000 MPa.

← في الأخير نقوم بتلييد العينات المشكلة عند درجات الحرارة المختارة في المجال 1100- $1250^{\circ}\text{C}$  خلال 2 ساعة.

### III- 3 الأجهزة المستعملة وتقنيات القياس

إن دراسة بنية المواد بصفة عامة تستدعي استعمال طرق التحليل الفيزيائية و تعتبر هذه المرحلة من أهم المراحل التجريبية، حيث تعتمد على دراسة نتائج استجابة المواد و ذلك بعد إثارتها بواسطة منابع محددة. بصفة عامة تكون منابع الإثارة هذه عبارة عن حزم من الجسيمات المشحونة مثل الالكترونات و الأيونات و الأشعة الكهرومغناطيسية و الأشعة تحت الحمراء و أشعة X، تبعا لرد فعل المواد المدروسة نستنتج معلومات هامة و دقيقة حول بنية المادة.





الشكل III-3 مراحل تصنيع البورسولان السني

### III- 1-3 التحليل باستعمال أشعة X

توجد طريقتان أساسيتان، الأولى تعرف بطريقة ديبياي شرر ويتم فيها تسجيل الطيف على فلم حساس، أما الطريقة الثانية فهي دقيقة في معلوماتها ويتم التسجيل فيها بالاستعانة بعداد خاص. حيث يوصل هذا الأخير بجهاز رسم يقوم برسم مخطط الانعراج، تسمح هذه التقنية بتأشير خطوط الانعراج الحادثة من خلال معرفة الفاصلة ( $d_{hkl}$ ) حسب قانون براغ:

$$2d \sin\theta = \lambda$$

و بالمقارنة من بطاقات (A.S.T.M)، يمكن معرفة المركب بالمطابقة مع الخطوط الثلاثة الأكثر شدة لكل طور أو عنصر.

جهاز الأشعة السينية المستخدم من نوع BRUKER, D8 ADVANCE, Karlsruhe, Germany. توضع المادة المراد تحليلها في مركز الانحناء وتعرض لمدة 30 دقيقة لإشعاع وحيد اللون ذي طول موجة ( $\lambda = 0.154 \text{ nm}$ ) ناتج من مهبط النحاس تحت توتر كهربائي 40 KV و شدة تيار 30 mA.

### III- 2-3 التحليل باستعمال الأشعة تحت الحمراء IR

الأشعة تحت الحمراء هي أشعة كهرومغناطيسية ذات طول موجة أكبر من طول الموجة الخاص بالضوء المرئي. إذا خضعت العينة لطيف كهرومغناطيسي يشمل مجال الأشعة تحت الحمراء وكان تردد الحقل الكهرومغناطيسي المحتوى في الطيف يساوي طيف الاهتزاز لجزيئات المادة يحدث امتصاص للطاقة، ما يجعلها تنتقل من مستوى طاقة الاستقرار إلى مستوى طاقي آخر [125]. يسمح تحليل طيف الأشعة النافذة بمعرفة عصابات الامتصاص الحادثة عند أطوال موجة معينة، مما يسمح بتحديد مجموعات الجسيمات المكونة للمادة بالإضافة إلى ترتيب هذه المجموعات على مساحة أكبر وتمييز الأطوار المختلفة لنفس المركب، يتم تحضير المواد المعدة للتحليل على شكل عينات رقيقة تحتوي على خليط من المادة المدروسة و 98% وزنا من مادة KBr الجاف.

تستعمل هذه التقنية للتعرف على الأطوار البلورية و اللابلورية بإعطاء معلومات عن مجموعات الجسيمات الخاصة بمختلف الأطوار الموجودة في المادة المحللة، كما أن المنطقة المحصورة ما بين 715 و  $1500 \text{ cm}^{-1}$  تعرف ب منطقة البصمة والتي تشمل حزمة من أشرطة الامتصاص التي تمثل ماهية المركب.  
لتحليل بنية المساحيق استعملنا جهاز من نوع:  
(Bruker Equinox 55:  $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ ).

### III -3-3 مطيافية Raman:

مبدأ عمل هذه المطيافية هو تركيز حزمة من الضوء أحادي اللون على العينة المراد دراستها حيث يتم تحليل الضوء المنتشر الذي تم جمعه باستخدام عدسة أخرى و من ثم إرساله إلى موحد اللون (monochromateur) لقياس شدته بواسطة الكاشف:

(monocanal type photomulticateur ou CPM, multicanal type CCD))  
الجهاز المستعمل من نوع (BRUKER Raman SENTERRA R200L)(Germany)،  
الشروط التجريبية المستعملة أثناء تحليل العينات هي: طول موجة التحريض هو 532nm،  
مجال المسح أو التحليل من 50 إلى  $2000 \text{ cm}^{-1}$  و الاستطاعة تقدر ب 20 ميلي واط.

### III -3-4 التحليل الحراري التفاضلي (DSC)

يقوم مبدأ التحليل الحراري التفاضلي على الكشف أو قياس كمية الحرارة الممتصة أو المنبعثة من العينة عند حدوث تحولات فيزيائية أو كيميائية أثناء المعالجة الحرارية، حيث أن أي تحول طوري أو عملية تبلور أو تفاعل كيميائي أو خروج للماء أو ثاني أكسيد الكربون أو تغير آخر يحدث في العينة يكون مصدرا لانبعثات أو امتصاص الحرارة، و عندها يتم تسجيل الفرق في درجة الحرارة بين العينة المدروسة و عينة أخرى خاملة تستخدم كشاهد. أستعمل في التحليل الحراري التفاضلي جهاز من نوع :

(Labsys 1600TG-DTA/ DSC, Setaram, France).

كل التحاليل أجريت على مساحيق العينات ذات كتلة 90 mg مع سرعة تسخين 10 °C/min إلى غاية 1200 °C.

### III- 3-5 المجهر الإلكتروني الماسح (MEB)

ترتكز هذه التقنية على مبدأ التفاعل إلكترون- مادة وهي قادرة على إنتاج صور بتحليل عالي لسطح العينة. عند قذف سطح العينة بحزمة الكترونات أولية، ينتج عن ذلك انبعاث العديد من الأشعة التي يتم تحليلها بواسطة كواشف مختلفة، و هذا ما يسمح بتكوين صورة ثلاثية الأبعاد للسطح، بما أن العينات المدروسة عازلة كهربائيا يتم تغطيتها بطبقة رقيقة من الذهب لإكسابها ناقليه تسمح لنا بالحصول على الصور المطلوبة.

أخذت الصور باستعمال جهاز من نوع (JSM-6301 F; HITACHI, Tokyo, Japan) وذلك باستعمال توتر كهربائي 7 Kv.

### III- 3-6 الفرن الكهربائي

استعملنا للتلييد عند درجات الحرارة العالية فرنا NABERTHERM من نوع KANTHALAPM قابلا للبرمجة تصل درجة حرارته القصوى إلى 1400°C.

### III- 3-7 جهاز السحق

استعملنا جهاز السحق باستعمال الكريات ومبدأ عمله يعتمد على التصادم بين كريات الألمين نتيجة الحركة الدورانية للجهاز وذلك بوجود كمية من الماء المقطر و ذلك لتسهيل عملية السحق وهو مصنوع بمخبر الخزفيات و أثبت كفاءته من خلال النتائج التي حققها [36].

### III- 3-8 الكتلة الحجمية الظاهرية و نسبة الفراغات

استعملت طريقة الوزن الهيدروستاتيكي لتعيين الكتلة الحجمية الظاهرية و نسبة الفراغات و ذلك باستعمال التركيب المبين في الشكل III- 4 [68]. خطوات العمل في هذه الطريقة تكون

أولا بقياس كتلة العينة الملبدة و المجففة ( $m_1$ ) ثم توضع العينة في وعاء التجفيف و تتم عملية تفريغ الهواء من الوعاء (فراغ أولي)، بعدها تغمر العينة بالماء لمدة 30 min من أجل ملء الفراغات. تقاس كتلة العينة ( $m_2$ ) وهي مغمورة في الماء وأخيرا تقاس العينة مباشرة بعد إخراجها من الماء مع مسح خفيف لها ( $m_3$ )، تحسب الكتلة الحجمية ونسبة الفراغات وفق العلاقات التالية:

$$\rho = \frac{m_1}{m_3 - m_2} * L \dots\dots\dots (1-III)$$

$$\varepsilon = \frac{m_3 - m_1}{m_3 - m_2} * L \dots\dots\dots (2-III)$$

حيث

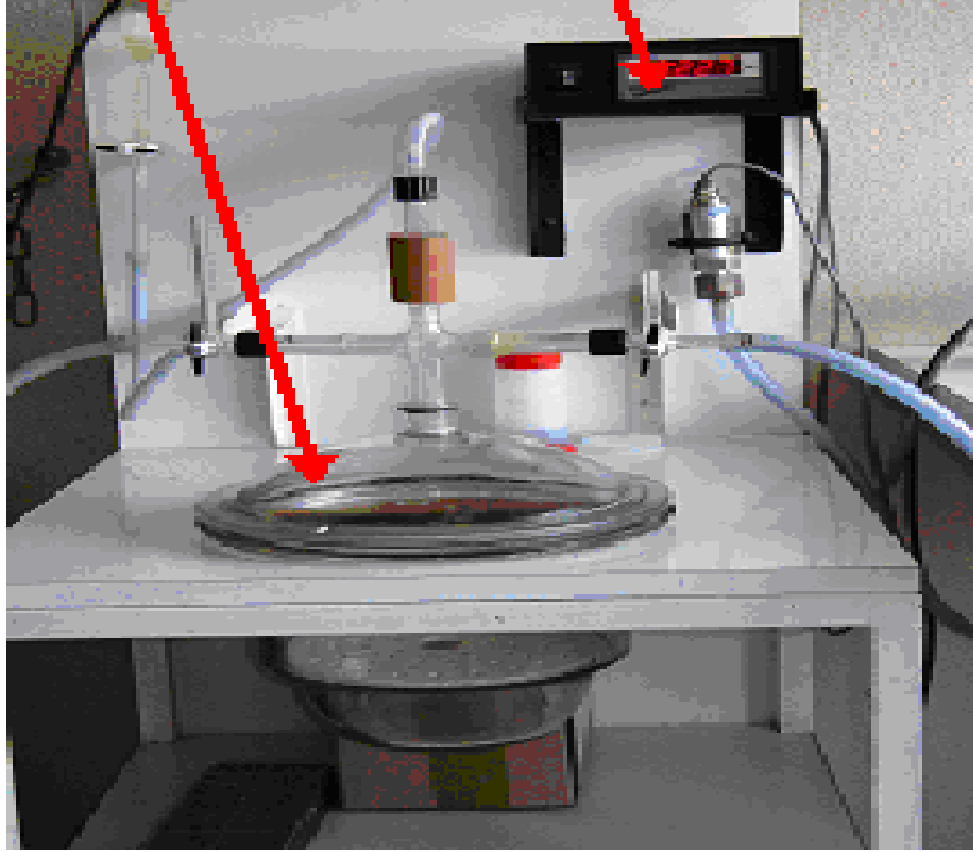
$\rho$ : الكتلة الحجمية الظاهرية

$\varepsilon$ : نسبة الفراغات ( الفراغات المفتوحة)

$L$ : الكتلة الحجمية للماء محددة عند درجة حرارة الغرفة

**cloche sous vide**

**vacuomètre**



الشكل III-4 تركيب خاص بقياس الكتلة الحجمية الظاهرية و نسبة الفراغات.

### III-3-9 قياس مقاومة الشد

تتم عملية قياس المقاومة بتطبيق قوة ضغط خارجية قطريا على المساحة الجانبية للعينة، العينة المدروسة يجب أن تكون خالية من العيوب الداخلية والخارجية المؤثرة في خاصية المقاومة وتعطى عبارة الشد بالعلاقة التالية:

$$\sigma_t \text{ (MPa)} = \frac{2P}{\pi dh} \dots\dots\dots (3\text{-III})$$

حيث

P: قوة التشدخ

d و h: قطر وسمك العينة على التوالي

ويمكن استنتاج مقاومة الثني ( $\sigma_f$ ) من خلال العلاقة التالية:

$$\sigma_f \approx 2.7\sigma_t \quad \dots\dots\dots (4-III)$$

استخدمنا جهاز من نوع (FORM TEST SEIDNER D 79-40, Germany) بدقة قياسه حوالي 0.04 KN .

### III - 3- 10 قياس الصلادة المجهرية

تقاس الصلادة المجهرية لمارتنس (Martens) بواسطة جهاز لقياس الصلادة المجهرية (Leitez Wetzlar 6844 Germany) بدقة قياس  $0.5 \mu m$  وذلك بتطبيق حمولة 10 N على العينة لمدة 10 s (تم اختيار هذه القيم بالتجريب و معاينة العينة من خلال قوة تحملها ومدى استجابتها)، تعطى القيم في ملفات خاصة تستخرج بالاستعانة ببرنامج تشغيل الجهاز من خلال جهاز الكمبيوتر الموصول به، لضمان دقة القياس نعيد العملية عدة مرات لعينات مختلفة ونأخذ القيمة المتوسطة حيث:

• تقاس الأخطاء التجريبية بالعلاقة التالية:

$$\Delta\sigma = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{1}^n (\sigma_0 - \sigma_n)^2} \quad \dots\dots\dots (5-III)$$

حيث

$\sigma_0$  القيمة المتوسطة للقياس و تأخذ بجمع كل القيم وقسمتها على العدد  $n$  ( عدد القياسات )  
 $\sigma_n$  القيمة المقاسة رقم  $n$  (1، 2، 3... الخ) في نفس الشروط وتعطى قيمة القياس ب:

$$\sigma = \sigma_0 \pm \Delta\sigma \dots\dots\dots(6-III)$$

ملاحظة

تستعمل هذه الطريقة في كتابة كل القيم التجريبية المقاسة (الكتلة الحجمية، الفراغات ومقاومة الشد).

### III - 3 - 11 الاختبار بواسطة المحلول الملحي الفسيولوجي

إن اختبار مقاومة المواد الخزفية الحيوية للأحماض و الوسط الحيوي أي اختبار مدى مقاومتها للتآكل و الذوبان مع سائل الجسم يكتسي أهمية كبيرة حيث أنه يمكننا من التعرف على قابلية المادة الحيوية للبقاء مدة حياة أطول داخل جسم الإنسان. نستعمل لأجل هذا الاختبار حمض اللبن ذو درجة حموضة (pH= 4) أو المحلول الملحي الفسيولوجي [51]. نقوم بغمس العينات المحضرة في كميات محددة من المحلول الملحي الفسيولوجي وقد حددناها هنا ب:

$$m_p/m_l = 0.01 \dots\dots\dots(7-III)$$

حيث

$m_p$  : كتلة عينة البورسولان السني المختبرة

$m_l$  : كتلة المحلول الملحي الفسيولوجي المستعمل.



تغمس العينات في المحلول الملحي الفسيولوجي في وسط مزود باهتزاز بسيط و عند درجة حرارة ثابتة  $37^{\circ}\text{C}$  (استعمال حاضنة). يتم تحديد مقاومة العينات للأحماض بواسطة حساب نسبة فقدان في الكتلة خلال غمسها في المحلول الفسيولوجي و ذلك بعد غسلها بالماء المقطر جيدا وتجفيفها ، و هذا وفق العلاقة التالية:

$$W\% = \frac{m_i - m_f}{m_i} 100 \dots \dots \dots (8\text{-III})$$

حيث

$m_i$ : الكتلة الابتدائية لعينة البورسولان السني المختبرة

$m_f$ : الكتلة النهائية لعينة البورسولان السني المختبرة

$W\%$ : نسبة فقدان في الكتلة.

## الفصل الرابع: النتائج التجريبية و مناقشتها

## النتائج التجريبية و مناقشتها

يشتمل هذا الفصل على أهم النتائج التجريبية المحصل عليها ومحاولة مناقشتها بالاستناد إلى الدراسة المرجعية، حيث يهدف هذا البحث إلى تصنيع نوع من أنواع البورسولان السني من مواد أولية متوفرة بكثرة في العالم و الجزائر بصفة خاصة وهي الفيلدسبات والكوارتز و الكاولان . اشتمل الجزء الأول على دراسة شروط تلييد البورسولان السني، وذلك بدراسة تأثير درجة الحرارة و الزمن بالإضافة إلى تأثير إضافة أكسيد البور ( $B_2O_3$ ) على عملية التلييد. أما الجزء الثاني فقد اهتم بدراسة الخصائص الميكانيكية للبورسولان السني المحضر.

### IV- 1 تلييد البورسولان السني:

تعتبر المعالجة الحرارية للعينات الخزفية عن طريق التلييد أهم مرحلة لتحضير القطعة الخزفية حيث يتناسب تأثير هذه العملية مع درجة الحرارة ، أدرجنا في هذه الدراسة أيضا النتائج المحصل عليها من إضافة نسبة ضئيلة من أكسيد البور ( $B_2O_3$ ) بنسبة كتلية من 1 إلى 5% و التي نعتقد أنها تنشط عملية التلييد، وذلك بهدف تحقيق المتطلبات التطبيقية المرجوة من المواد الخزفية المحضرة وكذلك تحسين الفوائد الاقتصادية عن طريق تخفيض درجة حرارة التلييد.

تعتمد دراستنا لتأثير درجة الحرارة و الإضافات في تلييد عينات البورسولان السني على جانبيين أساسيين، أولا دراسة تغير كثافة التلييد والمسامية بدلالة تغير درجة حرارة التلييد ثم من جانب آخر دراسة منحنيات التحليل باستعمال أشعة X (DRX) و الأشعة تحت الحمراء (FIIR) و مطيافية Raman لمختلف العينات.

#### IV-1-1 تأثير درجة الحرارة

##### أ) الكتلة الحجمية الظاهرية ونسبة الفراغات المفتوحة

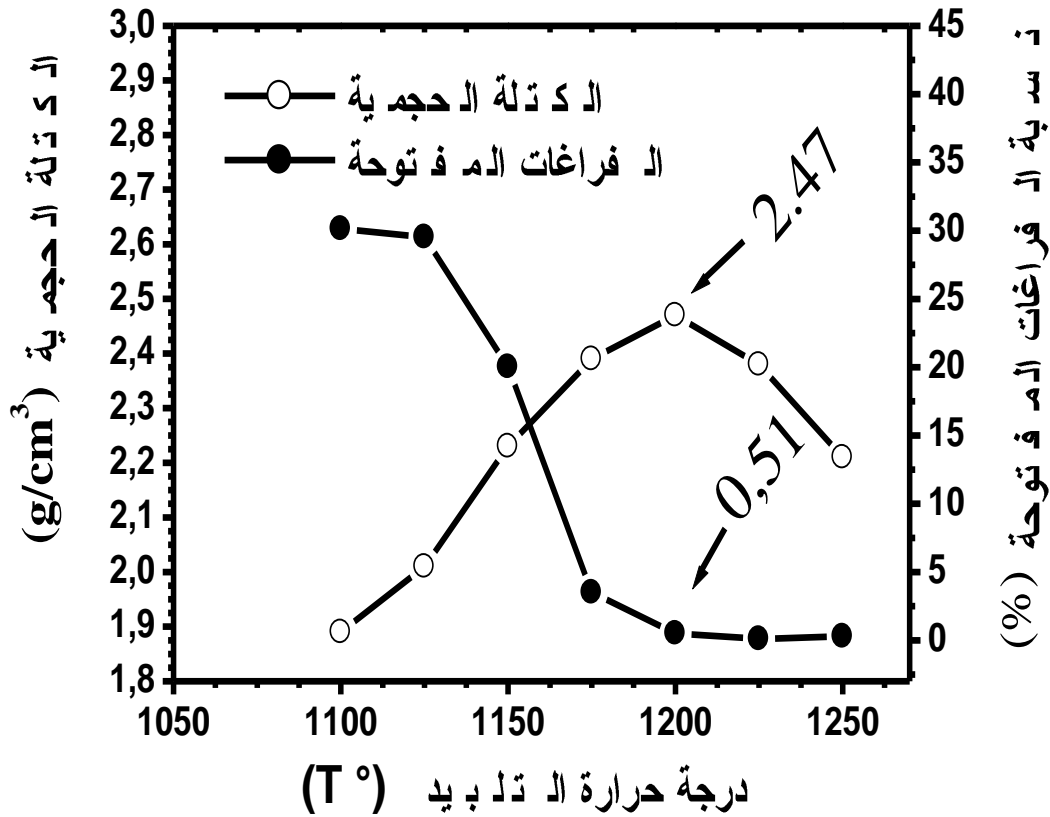
إن تأثير درجة الحرارة في تلييد مركب البورسولان السني تبدو جلية عند دراسة تغير الكتلة الحجمية الظاهرية لعينات البورسولان السني المحضرة بدلالة درجة حرارة تلييدها. استعملت طريقة الوزن الهيدروستاتيكي أو ما يعرف بطريقة دافعة أرخميدس لدراسة هذه الخاصية. إن النتائج المحصل عليها انطلاقاً من تأثير درجة الحرارة في تلييد مركب البورسولان السني مدونة في الجدول IV-1-1 و ممثلة في الشكل IV-1 حيث نلاحظ انه يمكن تقسيم منحنى تغير الكتلة الحجمية و الفراغات المفتوحة بدلالة درجة الحرارة إلى مجالين أساسيين :

##### ← المجال الأول (1100-1200 °C)

نلاحظ في هذا المجال زيادة معتبرة و سريعة في الكتلة الحجمية وذلك بزيادة درجة حرارة التلييد ، من حوالي  $1.89 \text{ g.cm}^{-1}$  بالنسبة لدرجة الحرارة  $1100 \text{ °C}$  إلى  $2.47 \text{ g.cm}^{-1}$  بالنسبة لدرجة الحرارة  $1200 \text{ °C}$ ، وذلك يرافق انخفاض كبير في نسبة الفراغات المفتوحة، من % 30.13 عند درجة الحرارة  $1100 \text{ °C}$  إلى غاية % 0.51 عند  $1200 \text{ °C}$ . وهذا أمر طبيعي إذ أن العينات في الحالة الابتدائية تحوي فراغات مفتوحة كثيرة و كبيرة نسبياً، ووفق ما تقدم شرحه في الدراسة النظرية لمراحل التلييد يتسبب رفع درجة حرارة التلييد في إكساب الحبيبات طاقة زائدة تجعلها تبحث عن حالة الاستقرار، الأمر الذي يؤدي إلى إعادة الانتشار و التوزيع و بالتالي ملاً الفراغات و إعادة ترتيبها و تكثيف المادة. بالإضافة إلى ذلك فان وجود الفيلدسبات كمكون أساسي و غالب في مركب البورسولان السني يؤدي عند رفع درجة حرارة التلييد إلى تكون الطور الزجاجي [85،106]. إن زيادة درجة حرارة التلييد تزيد من تشكل الطور السائل الذي يلعب دوراً في تقريب الجزيئات من بعضها (كما يجرف الماء المواد الصلبة عند سيلانه)، و ملاً الفراغات المفتوحة قدر الإمكان و بالتالي تناقصها (التلييد بوجود طور سائل).

← المجال الثاني (1200-1250 °C)

نلاحظ من المنحنى انه رغم ثبات نسبة الفراغات الخارجية إلا أن الكتلة الحجمية تتناقص مع زيادة درجة حرارة التلييد حيث تصل إلى  $2.21 \text{ g.cm}^{-1}$  تقريبا عند درجة الحرارة  $1250 \text{ °C}$  وهذا نتيجة زيادة عدد و/ أو حجم الفراغات المغلقة في البورسولان السني بعد خروج بعض الغازات الداخلة في التركيب الكيميائي للمواد الأولية المستخدمة ، إذ يصعب ملأ هذه الفراغات من جديد في هذه المرحلة المتقدمة من التلييد.  
أي أن الشروط المثلى لتلييد البورسولان السني و التي توافق أعلى قيمة للكتلة الحجمية هي: درجة الحرارة  $1200 \text{ °C}$  و الزمن 2 ساعة.



الشكل IV-6 تغير الكتلة الحجمية الظاهرية ونسبة الفراغات المفتوحة بدلالة درجة حرارة التلييد لعينات البورسولان بدون اضافة.

الجدول IV-1 تغير الكتلة الحجمية الظاهرية ونسبة الفراغات المفتوحة بالنسبة لعينات البورسولان السني بمختلف الإضافات بدلالة درجة حرارة التلييد.

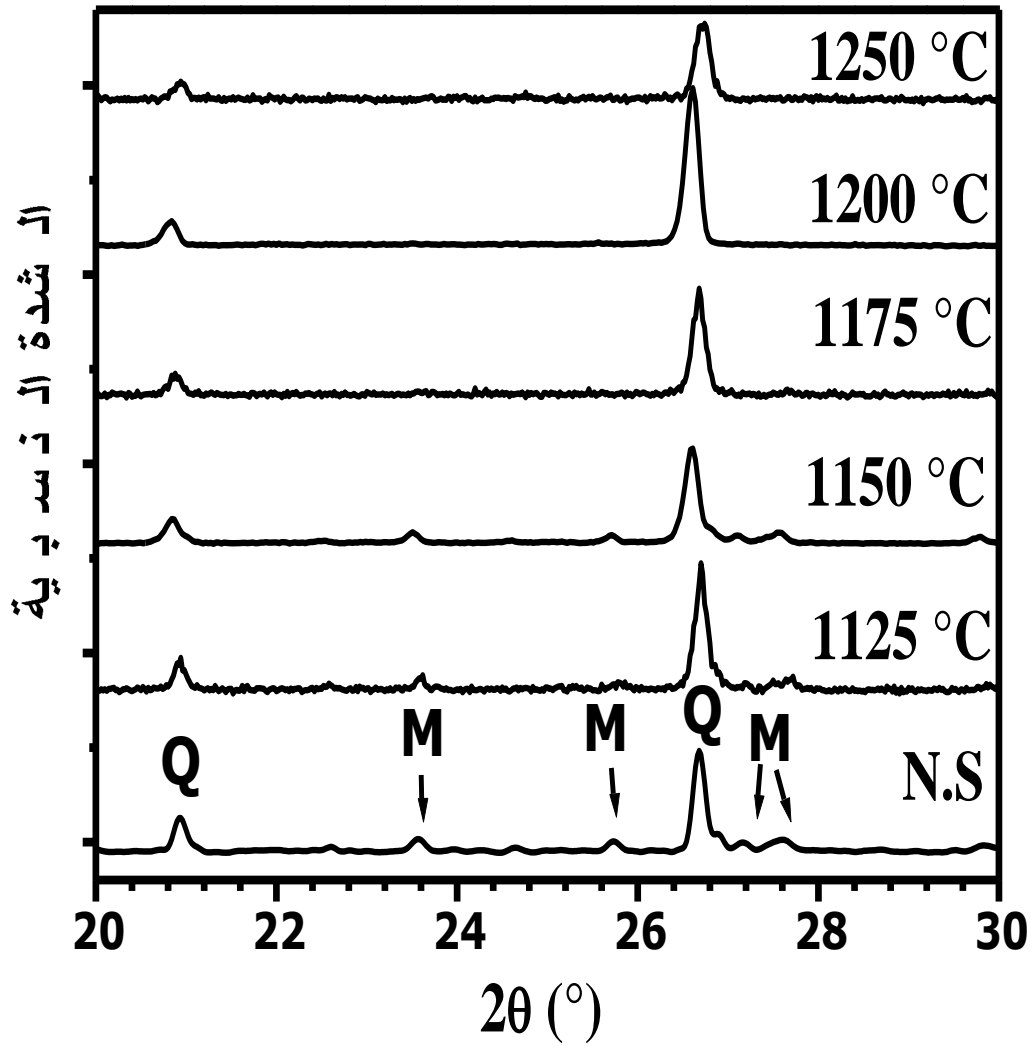
درجة الحرارة (°C) العينة		1100	1125	1150	1175	1200	1225	1250
البورسولان السني (DP)	الكتلة الحجمية (g. cm <sup>-3</sup> )	± 1,89 0,04	± 2,01 0,02	± 2,23 0,02	± 2,39 0,01	± 2,47 0,01	± 2,38 0,01	± 2,21 0,02
	نسبة الفراغات (%)	± 30,13 1,7	± 29,53 0,9	± 20,01 1,2	± 3,5 0,09	± 0,51 0,07	± 0,11 0,05	± 0,28 0,09
1 %B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + DP	الكتلة الحجمية (g. cm <sup>-3</sup> )	± 1,8 0,05	± 1,92 0,02	± 2,07 0,02	± 2,40 0,04	± 2,28 0,02±	-	-
3 %B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + DP	الكتلة الحجمية (g. cm <sup>-3</sup> )	± 1,94 0,02	± 2,13 0,04	± 2,38 0,02	± 2,49 0,02	± 2,22 0,05	-	-
5 %B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + DP	الكتلة الحجمية (g. cm <sup>-3</sup> )	± 2,07 0,02	± 2,27 0,05	± 2,43 0,02	± 2,21 0,02	± 1,89 0,02	-	-

### ب) دراسة منحنيات التحليل (Raman, FIIR, DRX)

بغية التأكد من تأثير درجة الحرارة في تلييد مركب البورسولان السني، قمنا بتحليل نتائج DRX (شكل IV-2)، لعينات ملبدة عند درجات حرارة مختلفة تتراوح ما بين 1125 و 1250 °C لمدة ساعتين ، وقد تم اختيار الدرجة 1125 °C كبداية لمجال دراسة التلييد لكون التلييد يبدأ في الاتضاح ابتداء من هذه الدرجة، وذلك عند معاينة العينات المتحصل عليها بالعين المجردة حيث يبدأ لونها في التغير و عند محاولة تفتيتها باليد تبدي تماسكا ابتداء من درجة الحرارة هذه. عند مقارنة أطياف الانعراج المسجلة عند درجات الحرارة المختلفة (شكل IV-2)، نلاحظ تدرج في تناقص خطوط الانعراج الخاصة بطور الميكرولاين (microline) بزيادة درجة الحرارة، يرجع هذا الأمر الى مواصلة تشكل

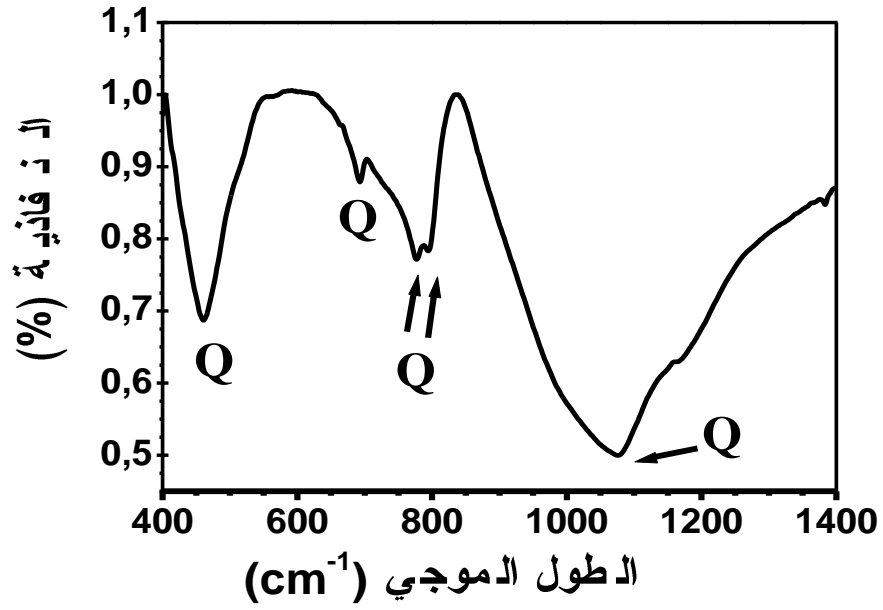
الطور السائل نتيجة انصهار الفيلدسبات. عند درجة حرارة  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  يكون الفيلدسبات قد انصهر كليا ويظهر مخطط انعراج الأشعة السينية شريط واسع خالي من خطوط الانعراج ويرجع ذلك إلى الطور اللابلوري (الزجاجي). في نفس الوقت تبقى شدة خطوط الانعراج لطور الكوارتز (quartz) ثابتة لا تتغير مع تغير درجة الحرارة، إذ أن الكوارتز لا يشارك في التفاعل بل تبقى بلوراته متماسكة في مكانها ليتخللها الطور السائل ويربط بينها [45،42]. يؤكد تحليل العينات الملبدة عند  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  لمدة ساعتين بواسطة الأشعة تحت الحمراء (FTIR) (شكل IV-3) و مطيافية Raman (شكل IV-4) نتائج DRX. بالنسبة للتحليل بالأشعة تحت الحمراء (شكل IV-3) وخلال شريط الامتصاص الممتد من  $400$  إلى  $1400\text{ cm}^{-1}$  فان كل أنماط الاهتزاز المسجلة ( $1083$  و  $800$  و  $780$  و  $695$  و  $462\text{ cm}^{-1}$ ) تابعة لطور الكوارتز [126-128].

تؤكد مطيافية رمان (Raman) (شكل IV-4) واعتمادا على نتائج الأبحاث [129-131]، أن خطوط الطيف الأربعة التي تظهر في المنحنى ( $465$  و  $355$  و  $265$  و  $206\text{ cm}^{-1}$ ) خلال الشريط الموجي الممتد من  $100$  إلى  $600\text{ cm}^{-1}$  هي تابعة لطور الكوارتز.

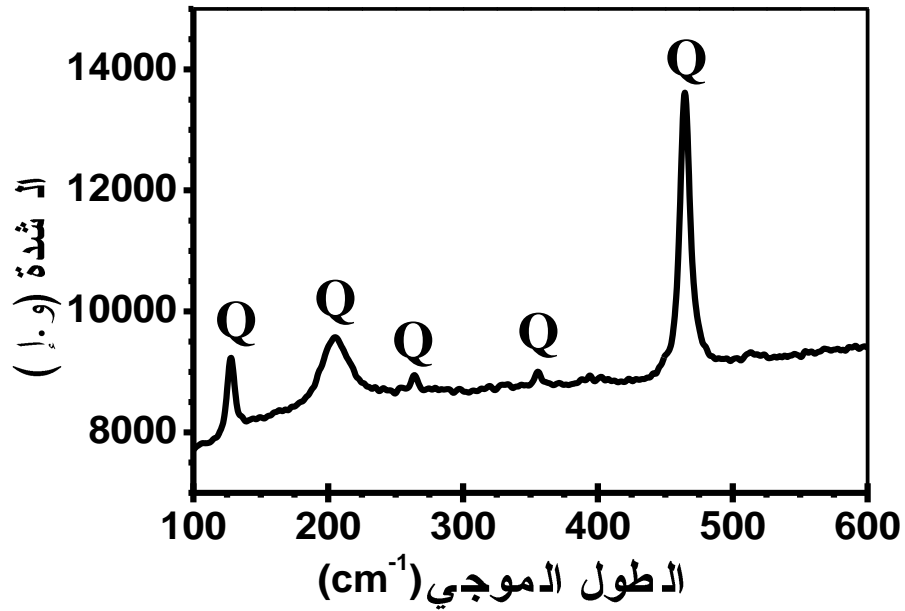


الشكل IV-2 أطياف انعراج الأشعة السينية لعينات البورسولان السني الملبدة عند مختلف درجات الحرارة لمدة 2 h (Q: كوارتز، M: ميكرولاين، NS: العينات الغير ملبدة).





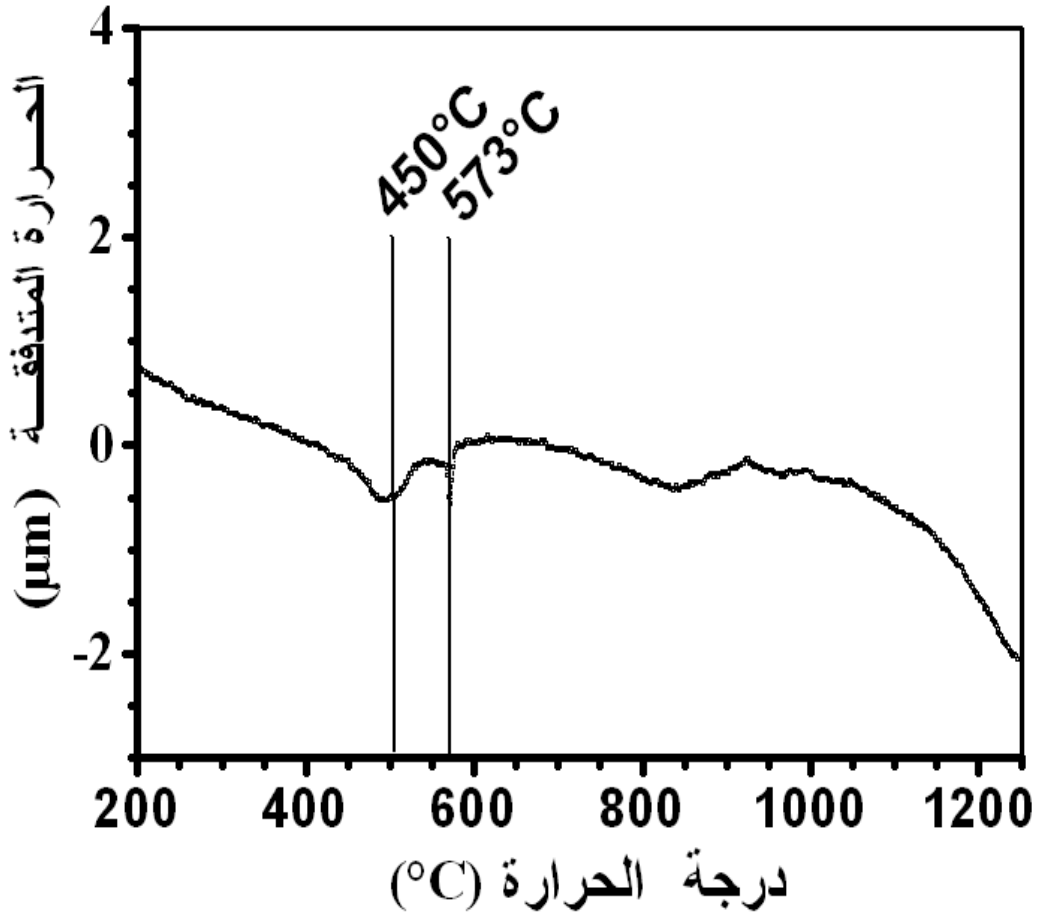
الشكل IV-3 - منحنى التحليل بواسطة الأشعة تحت الحمراء لعينات البورسولان السني الملبدة عند  $1200^{\circ}\text{C}$  لمدة 2 h (Q: كوارتز).



الشكل IV-4 - طيف أشعة رامان لعينات البورسولان السني الملبدة عند  $1200^{\circ}\text{C}$  لمدة 2 h (Q: كوارتز).

### ج) التحليل الحراري التفاضلي (DSC)

في الحقيقة يحدث تغير طوري للكوارتز من الشكل  $\alpha$  إلى الشكل  $\beta$  عند درجة الحرارة  $573^\circ\text{C}$  ، والذي يبدو جليا من منحنى التحليل الحراري التفاضلي (DSC) (شكل IV-5) لعينة البورسولان السني بدون إضافة. لكن هذا التحول عكوس إذ أن الكوارتز غير مستقر ويعود مباشرة إلى حالته الأصلية (كوارتز  $\alpha$ ) خلال عملية التبريد [68،57،49]. يظهر منحنى DSC بالإضافة إلى التحول كوارتز  $\alpha \leftarrow \beta$  كوارتز  $\beta$  خط أولي عند  $450^\circ\text{C}$ ، والذي يوافق نقصان في الكتلة و هو ناتج عن تحرر الماء و المواد العضوية الموجودة بالمادة الأولية [134-132].



الشكل IV-5 التحليل الحراري (DSC) لمسحوق البورسولان السني بدون إضافة..

(د) البنية المجهرية :

الشكل IV-6 يعطي إثباتا حتميا لجودة العينات الملبدة عند  $1200^{\circ}\text{C}$ ، و بالتالي نجاح عملية التلييد. حيث يظهر الشكل صورة لبنية عينة من البورسولان السني الملبدة عند  $1200^{\circ}\text{C}$ ، و ذلك بمختلف المقاييس. تبين الصورة بشكل جيد توزيع بليرات الكوارتز التي تظهر بلون داكن داخل الطور الزجاجي الذي يتخللها ويظهر في الصورة بلون فاتح ، أما الفراغات فهي مغلقة ذات شكل كروي و معزولة عن بعضها البعض وهو الأمر الذي يدل على حدوث نوع من الاستقرار للمادة المحضرة.



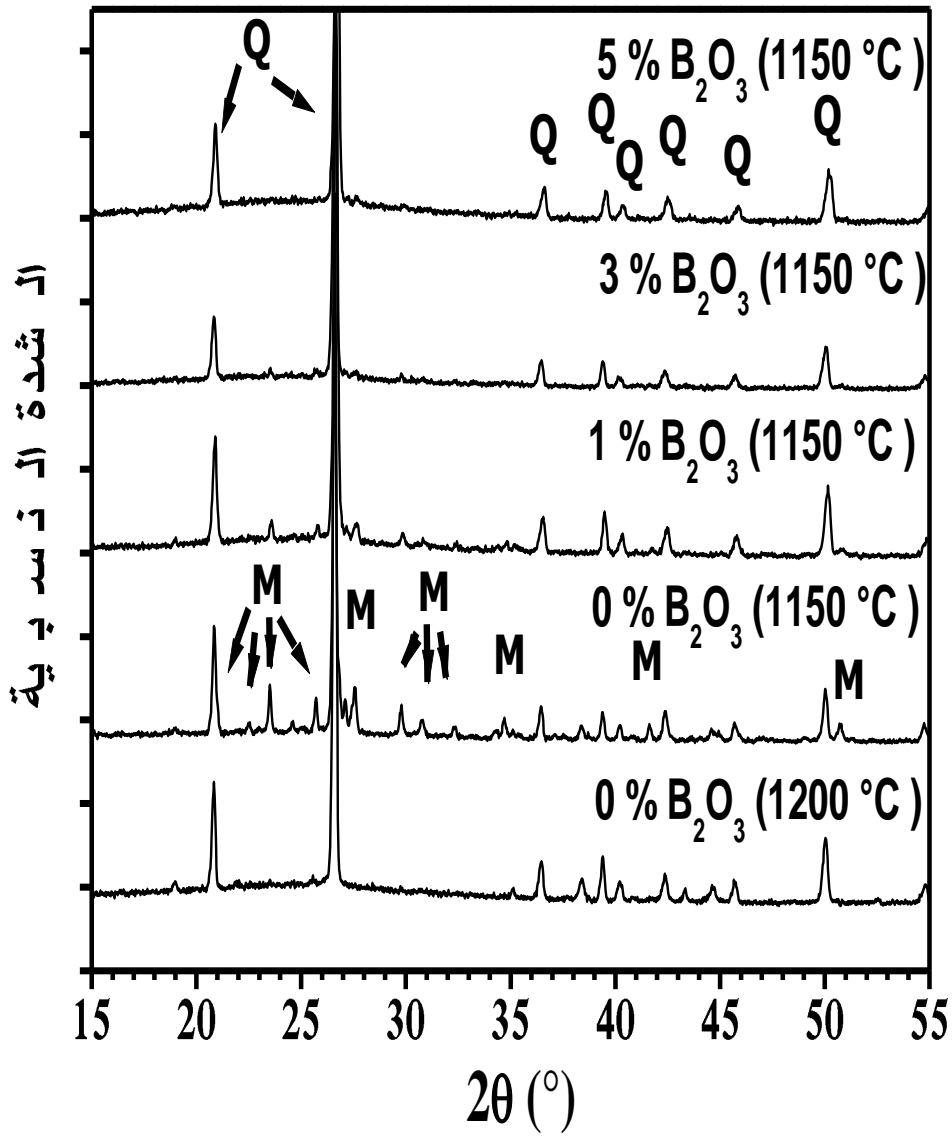
الشكل IV-6 صور بالمجهر الالكتروني الماسح لسطح عينة بورسولان سني بدون اضافة ملبدة عند  $1200^{\circ}\text{C}$  (Q: كوارتز، G: الطور الزجاجي، P: الفراغات).

نخلص في الأخير إلى أن كل النتائج المعروضة متوافقة و متطابقة في تحديد الشروط المثلى لتلييد مركب البورسولان السني ب: درجة الحرارة  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  و الزمن 2 سا.

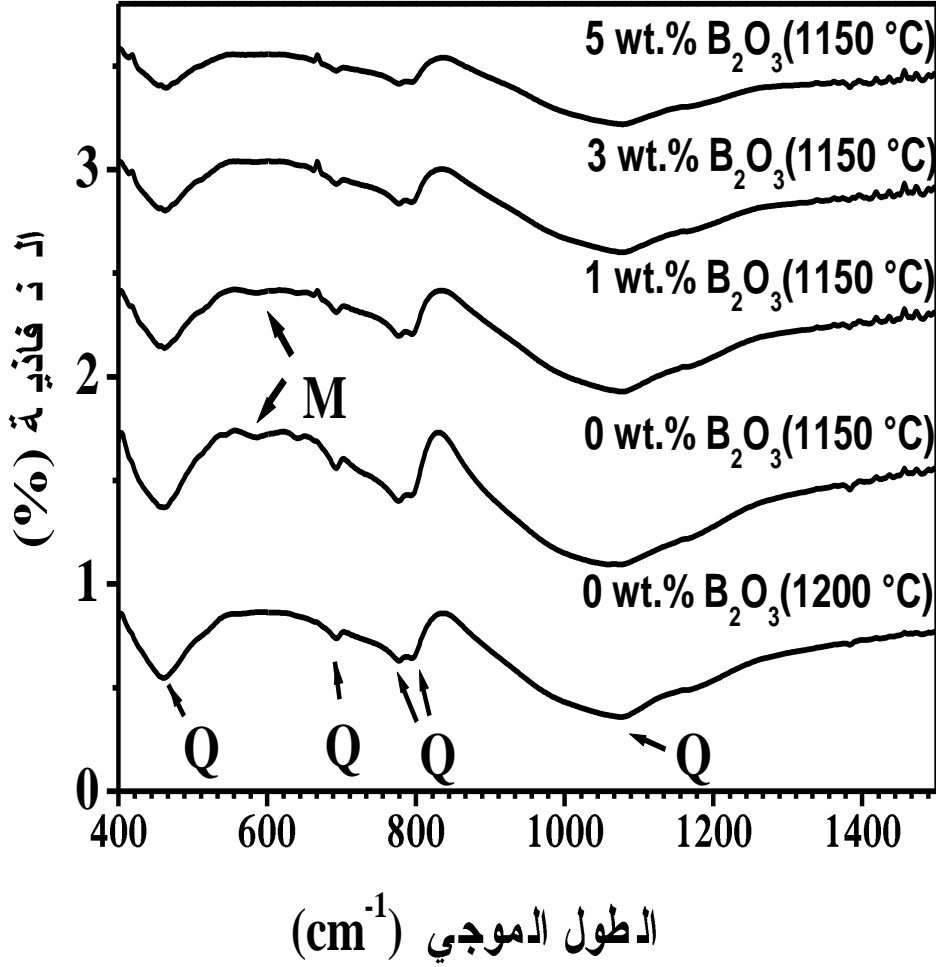
#### IV-1-2 تأثير إضافة $\text{B}_2\text{O}_3$ على تلييد مركب البورسولان

##### (أ) دراسة منحنيات التحليل (DRX, FIIR)

من خلال دراسة منحنيات DRX (شكل IV-7) لعينات البورسولان السني بدون إضافة الملبدة عند درجة حرارة  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  خلال 2 h و العينات ذات نسب مختلفة من إضافة أكسيد البور ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) بنسب كتلية (0، 1، 3 و 5 %) الملبدة عند درجة حرارة  $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$  وخلال نفس المدة الزمنية، نلاحظ أن تلييد البورسولان السني بالنسبة للعينات التي تحوي نسب كتلية 3 و 5 %  $\text{B}_2\text{O}_3$  يبدأ عند درجة حرارة  $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$  و ذلك نتيجة اختفاء خطوط الانعراج التابعة للميكرولاين (microline)، مما يعطي تطابق لهذه المنحنيات مع منحنى انعراج الأشعة السينية لعينات البورسولان السني بدون إضافة الملبدة عند  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . عدم اكتمال عملية التلييد بالنسبة لعينات البورسولان السني ذات نسبة إضافة كتلية 0 و 1 %  $\text{B}_2\text{O}_3$  الملبدة عند  $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، تتجلى بوضوح عند معاينة المنحنيين الخاصين بهاتين العينتين، وذلك نتيجة ظهور خطوط الانعراج الخاصة بطور الميكرولاين. يؤيد تحليل العينات السابقة بواسطة الأشعة تحت الحمراء (FIIR) هذه النتائج، و يبرهن على مدى تأثير إضافة أكسيد البور في خفض درجة حرارة تلييد البورسولان السني (شكل IV-8)، فبمعاينة هذه المنحنيات خلال الشريط الموجي المحصور بين 400 و  $1400\text{ cm}^{-1}$ ، نلاحظ ظهور أنماط الاهتزاز الموافقة للكوارتز ( $1083$ ،  $800$ ،  $780$ ،  $695$  و  $492\text{ cm}^{-1}$ ) [128-126] بالنسبة لكل العينات، بينما نمط الاهتزاز  $583\text{ cm}^{-1}$  الموافق لطور الميكرولاين [135، 128]، يظهر فقط في المنحنيات الخاصة بالعينات ذات نسبة إضافة كتلية 0 و 1 %  $\text{B}_2\text{O}_3$  الملبدة عند  $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، مما يدل على عدم اكتمال عملية التلييد بالنسبة لهاته العينات.



الشكل IV-7 أطياف انعراج الأشعة السينية لعينات البورسولان السني ذات نسب كتلية مختلف من إضافة  $B_2O_3$ ، الملبدة عند درجة الحرارة  $1150\text{ }^\circ\text{C}$  (بالإضافة إلى  $1200\text{ }^\circ\text{C}$  بالنسبة للعينات بدون إضافة) لمدة 2 h (Q: الكوارتز، M: الميكرولاين).



الشكل 8-IV – 8 منحنيات التحليل بواسطة الأشعة تحت الحمراء لعينات البورسولان السني ذات نسب كتلية مختلف من إضافة  $B_2O_3$ ، الملبدة عند درجة الحرارة  $1150\text{ }^\circ\text{C}$  (بالإضافة إلى  $1200\text{ }^\circ\text{C}$  بالنسبة للعينات بدون إضافة) لمدة 2 h (Q: الكوارتز، M: الميكرولاين).

#### ب) دراسة تغير الكتلة الحجمية

من أجل إثبات تأثير نسبة إضافة أكسيد البور ( $B_2O_3$ ) في تلييد عينات البورسولان السني المحضر، قمنا برسم منحنيات تغير الكتلة الحجمية للعينات الملبدة بدلالة درجة حرارة التلييد ونسبة إضافة  $B_2O_3$  (الشكل 9-IV) والتي هي ترجمة للنتائج الموضحة في الجدول 1-IV، حيث يمثل كل منحنى تغير الكتلة الحجمية لعينات البورسولان السني بإضافة نسبة كتلية محددة

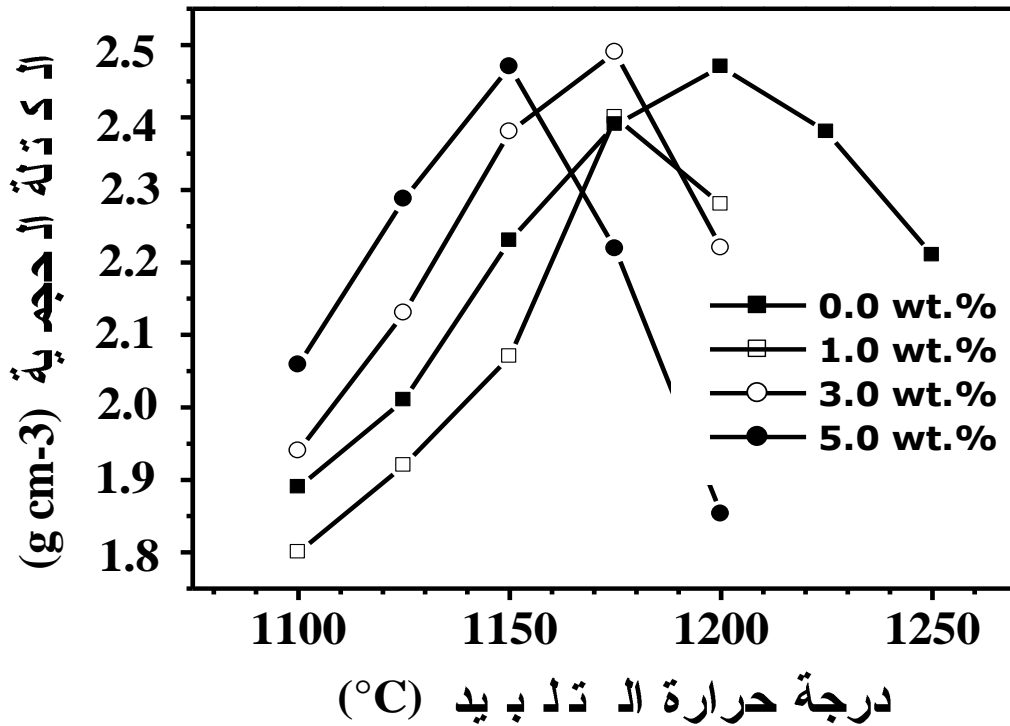
من أكسيد البور (0 و 1 و 3 و 5 %) ونميز مرور كل منحى بمرحلتين أساسيتين. تتميز المرحلة الأولى بتزايد ملحوظ في قيمة الكتلة الحجمية، بداية من قيمة دنيا توافق درجة حرارة التلييد  $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$  إلى القيمة العظمى الموافقة ل  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  بالنسبة للعينات بدون إضافة، و  $1175\text{ }^{\circ}\text{C}$  للعينات بنسبة إضافة كتلية % 3  $\text{B}_2\text{O}_3$  و  $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$  للبورسولان السني بنسبة إضافة كتلية % 5  $\text{B}_2\text{O}_3$ . خلال المرحلة الأولى تصل الكتلة الحجمية الأعظمية إلى حوالي  $2.47\text{ g.cm}^{-3}$ ، بعدها تبدأ الكتلة الحجمية في التناقص مع تزايد درجة حرارة التلييد خلال المرحلة الثانية بالنسبة لكل العينات، ماعدا العينات ذات نسبة إضافة كتلية % 1  $\text{B}_2\text{O}_3$ ، التي تتناقص كتلتها الحجمية قبل أن تصل إلى القيمة العظمى ( $2.47\text{ g.cm}^{-3}$ ) و يمكن إرجاع ذلك إلى عدم وصول هذه العينات إلى درجة حرارة تلييدها الحقيقية.

بمقارنة هذه النتائج و مقاربتها مع نتائج DRX و FTIR، نستنتج أن إضافة أكسيد البور إلى عينات البورسولان السني يسمح بخفض نسبي في درجة حرارة التلييد، حيث بدل  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  للعينات النقية كانت درجة حرارة تلييد العينات ذات نسبة إضافة كتلية % 5  $\text{B}_2\text{O}_3$  في حدود  $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، و العينات ذات نسبة إضافة كتلية % 3  $\text{B}_2\text{O}_3$  عند  $1175\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

يبقى السؤال مطروح بالنسبة للعينات ذات نسبة إضافة كتلية % 1  $\text{B}_2\text{O}_3$ ، حيث نضع فرضيتين للإجابة عليه. الأولى تذهب إلى احتمال أن درجة حرارة تلييد هذه العينات محصورة بين  $1175\text{ }^{\circ}\text{C}$  و  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، وهي درجة الحرارة التي من المفروض أن تأخذ عندها هذه العينات أقصى قيمة للكتلة الحجمية (حوالي  $2.47\text{ g.cm}^{-3}$ ) وذلك مقارنة بالعينات ذات نسبة إضافة كتلية (0 و 3 و 5)  $\text{B}_2\text{O}_3$ . أما الفرضية الثانية فهي ترجح وجود لغز في إضافة  $\text{B}_2\text{O}_3$  إلى البورسولان السني يستدعي البحث أكثر، خاصة عند دراسة المرحلة الأولى بالنسبة للمنحنيات الخاصة بتغير الكتلة الحجمية بدلالة درجة حرارة التلييد (شكل IV-9)، حيث نلاحظ أن زيادة نسبة الإضافة الكتلية  $\text{B}_2\text{O}_3$  (من 0 إلى 3 ثم 5 %) تعطي زيادة في قيمة الكتلة الحجمية للعينات الملبدة، لكن الأمر مختلف بالنسبة للعينات ذات نسبة إضافة % 1  $\text{B}_2\text{O}_3$ ، فكتلتها الحجمية تكون أقل من الكتلة الحجمية لعينات البورسولان السني بدون إضافة، و ذلك

عند كل درجة حرارة معطاة في المرحلة الأولى. نحاول الإجابة عن هذا السؤال بعد استكمال دراسة الخصائص الميكانيكية لعينات البورسولان السني المدروسة بمختلف النسب الكتلية لإضافة  $B_2O_3$ .

أهم ما نخلص إليه في هذا الجزء هو أن إضافة  $B_2O_3$  بنسبة كتلية 5 % تسمح بخفض درجة حرارة التلييد من  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  إلى  $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، لكن نلاحظ استقرار في قيمة الكتلة الحجمية، وهذا يرجع إلى أن أهمية الدور الذي يلعبه الفيلدسبات في تلييد العينات النقية تفوق أهمية أي عامل مساعد على التلييد، مثل إضافة  $B_2O_3$ . فوجود الفيلدسبات يسمح بتشكيل الطور السائل و الذي يساهم في تقليص عدد و/ أو حجم الفراغات إلى أقصى حد ممكن، و ذلك من خلال جرف بليرات الكوارتز و تقريبها من بعضها البعض قدر الإمكان بالإضافة إلى ملأ معظم الفراغات.



الشكل IV- 9 تغير الكتلة الحجمية الظاهرية بدلالة درجة حرارة التلييد لعينات البورسولان السني بمختلف النسب الكتلية للإضافة  $B_2O_3$ .



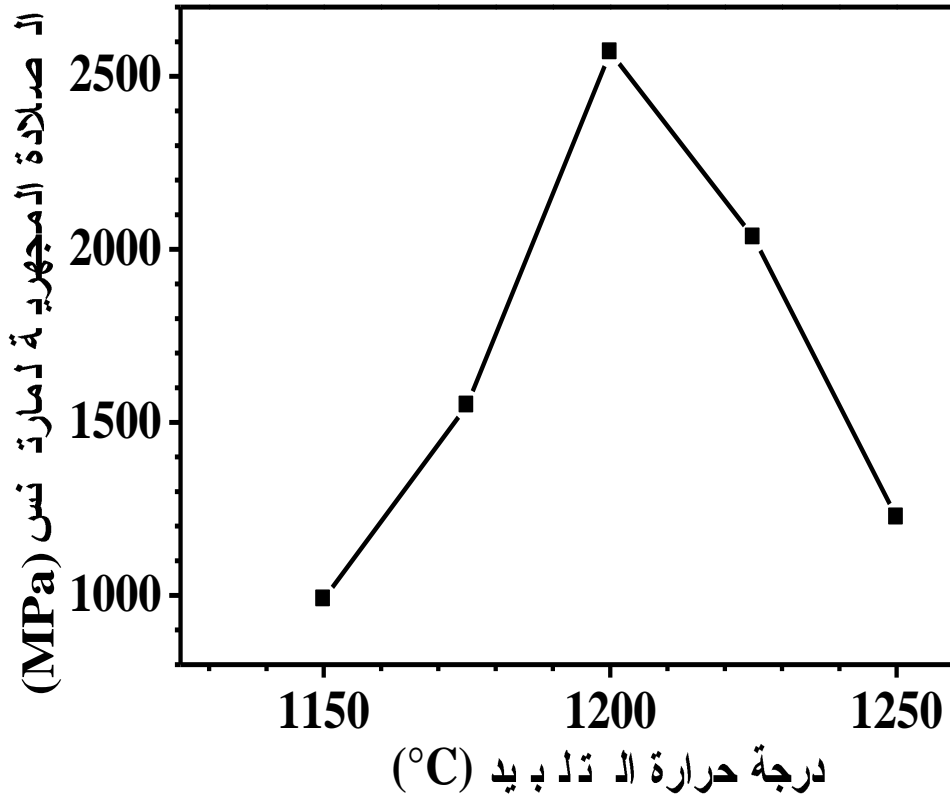
#### IV-2 دراسة الخصائص الميكانيكية لمركب البورسولان السني

في الحقيقة يجب على البدائل السنية أن تكون صلبة بما يكفي بالإضافة إلى قدرتها على تحمل ضغط كبير وذلك بغية قيامها بالوظيفة المرجوة منها على أحسن وجه، لذلك فقد ركزنا في دراسة الخواص الميكانيكية للبورسولان السني على جانبيين أساسيين هما الصلادة المجهرية و مقاومة الثني لعينات البورسولان السني، قمنا باختيار كتلة مناسبة للعينات مع تثبيتها في جميع القياسات (0.7 g) وذلك لضمان دقة القياسات بحيث تكون العينة لديها حجم وسمك معقولين، لتفادي الأخطاء التجريبية أكثر استعملنا لكل قياس من 3 إلى 5 عينات محضرة في نفس الشروط و أخذنا القيمة المتوسطة للقياسات مع احتساب الخطأ. لقياس الصلادة المجهرية استعملنا اختبار مارتنس، كما قمنا بغرض قياس مقاومة الثني بتعريض العينة قطريا إلى الضغط و ذلك بواسطة ضاغطة هيدروستاتيكية حيث يتم التشدخ في العينة ومن خلال العلاقة المذكورة في الفصل السابق (الفصل الثالث) يتم حساب مقاومة الشد و استنتاج مقاومة الثني.

#### IV-2-1 تأثير درجة الحرارة في الخصائص الميكانيكية للبورسولان السني

##### (أ) الصلادة المجهرية

نلاحظ من خلال تغير الصلادة المجهرية للعينات من دون إضافة بدلالة درجة الحرارة الموضحة في الجدول IV-2 و الشكل IV-10 وجود مجالين متمايزين لتغير الصلادة المجهرية لمارتنس يشبه إلى حد كبير مجالي تغير الكتلة الحجمية لنفس العينات. تقارب قيمة صلادة مارتنس لعينات البورسولان السني الملبدة عند درجة حرارة  $1200^{\circ}\text{C}$  لمدة 2 h القيمة 2600 MPa (شكل IV-10)، و هي أقل بقليل من تلك المسجلة من طرف الباحث شهاد (Shahdad) وزملائه [136] والتي تبلغ 2926 MPa لعينات من البورسولان السني الملبدة عند  $1290^{\circ}\text{C}$ . أما مركب اللوسيت الزجاجي (leucite glass ceramics) فصلادة مارتنس الخاصة به في حدود 2739 MPa، في حين تبقى صلادة مارتنس الخاصة بضرس الإنسان أقل من ذلك فهي في حدود 2128 MPa [137].

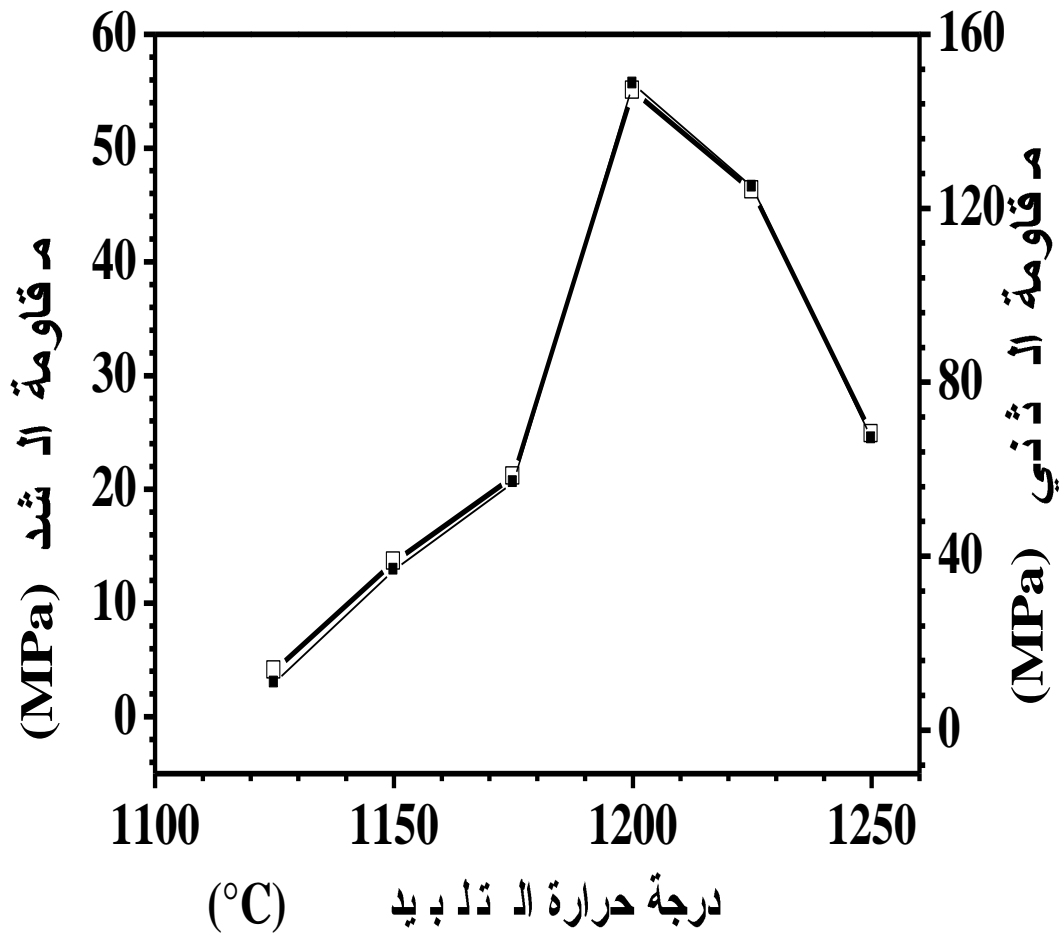


الشكل IV-10 تغير الصلادة المجهريّة لمارتنس بدلالة درجة حرارة التلبد لعينات البورسولان بدون اضافة.

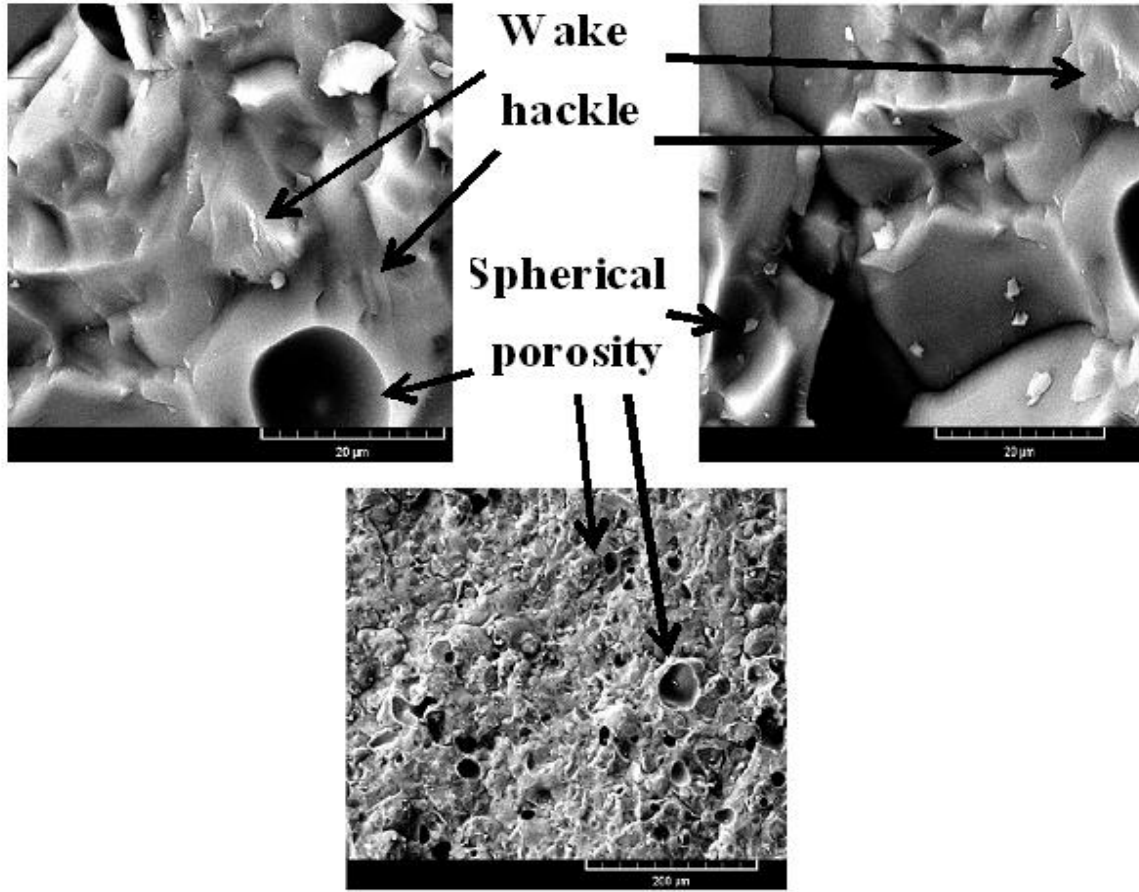
#### ب) مقاومة التني

نلاحظ تزايد سريع في قيمة مقاومة التني، من 11 MPa للعينات الملبدة عند درجة حرارة 1125 °C إلى حوالي 149 MPa بالنسبة للعينات الملبدة عند درجة الحرارة 1200 °C شكل IV-11، بعدها وخلال المرحلة الثانية تعرف هذه القيمة تناقص ملحوظ لتقارب القيمة 67 MPa بالنسبة للعينات الملبدة عند 1250 °C. وتعتبر هذه النتيجة (149± 5 MPa) نتيجة جيدة بالنسبة لمركب البورسولان السني المحضر بتقنية التلبد التقليدية و ذلك بمقارنتها مع النتائج المتحصل عليها في أبحاث أخرى مماثلة. فقد وجد الباحث أوبريان (O'Brien) و زملائه [138] القيمتين 99± 7 MPa و 101± 8 MPa بالنسبة لنوعين مختلفين من

البورسولان السني، و ذلك خلال بحثهم لصناعة أنواع جديدة من البورسولان السني و دراسة خصائصهما الميكانيكية و قابليتها لتشكيل رابطة مع المعادن المراد زراعتها معها، بينما لم تتجاوز القيمة المعطاة من طرف الباحث موففا (Moffa) 55 MPa [139]، وبإضافة نسبة من اللوسيت (leucite) لعينات البورسولان السني استطاع الباحث زنق (Zhang) وزملائه [116] رفع قيمة مقاومة الثني من 76 إلى 109 MPa، كما سجل الباحث تومبسون (Thompson) وزملائه قيمة في حدود 130 MPa [140]، أما الباحث كوين (Quinn) و زملاؤه [141] فقد توصلوا إلى قيمة تتراوح ما بين 115 و 119 MPa. تبقى هذه النتائج متعلقة بنوعية المواد الأولية المستعملة و طريقة تحضير العينات، المهم أن قيمة مقاومة الثني للبورسولان السني المحضر في بحثنا هذا ( $149 \pm 7$  MPa) أكبر من مقاومة الثني التي يبديها ضرس إنسان بالغ، و التي تعطى في حدود 139 MPa [142]. إن ارتفاع مقاومة الشد لعينات البورسولان السني الملبدة عند درجة حرارة  $1200^\circ\text{C}$  خلال 2h تتوافق توافقا كبيرا مع صور البنية المجهرية للأجزاء الناتجة عن تشدخ هذه العينات (شكل IV-12)، و ذلك استنادا الى النتائج المبرهنة من طرف الباحثين حرابي و دافيس (Harabi and Davies) [6]. فالإنكسار يتخلل الحبيبات (transgranular) تاركا أثر شعيري خفيف (weak hakle marks) يعطي جهة إنتشار الشق، مما يدل على متانة العينة. نلاحظ أيضا من خلال الشكل IV-12 المظهر الكروي المغلق و المعزول للفراغات داخل العينات الملبدة، و الذي يدل على نجاح عملية التليد، حيث سبق و أشرنا إلى هذا في دراسة البنية المجهرية للمادة (شكل IV-5).



الشكل IV- 11 تغير إجهاد انحناء مع تغير درجة الحرارة لعينات البوروسولان السني بدون إضافة

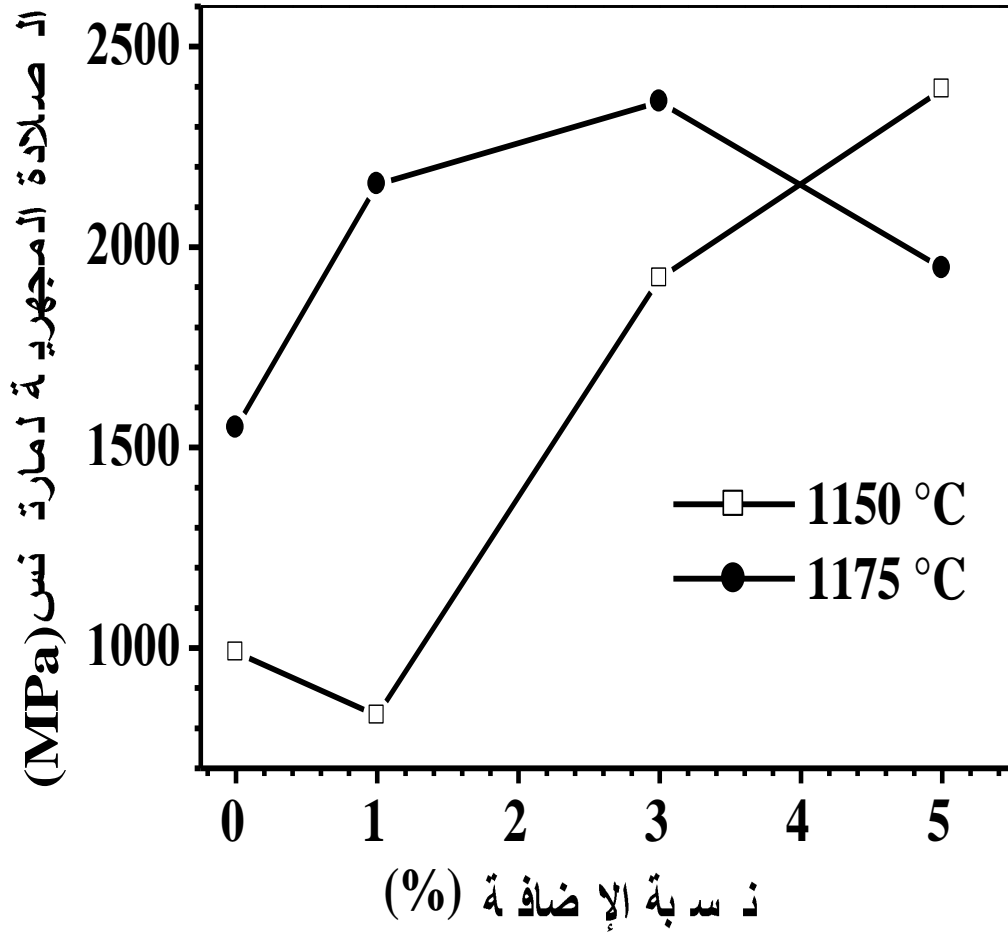


الشكل IV-12 صور بالمجهر الالكتروني الماسح يوضح سطوح التشدخ لعينات البورسولان السني بدون إضافة والملبدة عند  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  لمدة ساعتين.

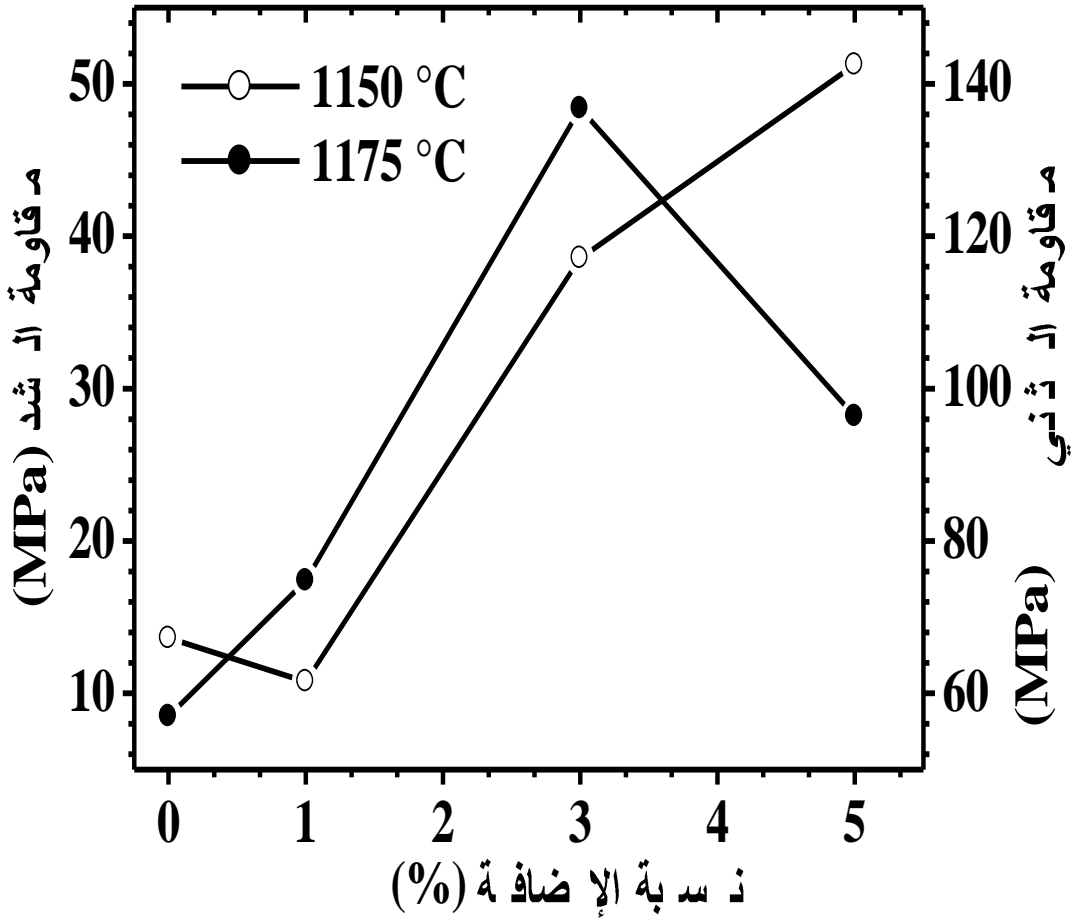
#### IV-2-2 تأثير إضافة $\text{B}_2\text{O}_3$ في الخصائص الميكانيكية للبورسولان السني

ارتأينا في هذا الجزء من البحث دمج دراسة نتائج الصلادة المجهرية و نتائج مقاومة الشد، و ذلك لتوضيح التطابق و التماثل الكامل بينهما. بعد دراسة تأثير إضافة  $\text{B}_2\text{O}_3$  في تليبد البورسولان السني، حيث لاحظنا أنها ساعدت على خفض درجة حرارة التليبد إلى  $1175\text{ }^{\circ}\text{C}$  و  $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$  بالنسبة للعينات ذات نسبة إضافة كتلية 3 و 5 % على الترتيب، قمنا باختيار درجتي الحرارة  $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$  و  $1175\text{ }^{\circ}\text{C}$  لدراسة تغير الخصائص الميكانيكية عندها و ذلك بدلالة نسب إضافة  $\text{B}_2\text{O}_3$  (0 و 1 و 3 و 5 %) للعينات ثم محاولة مقارنة هذه النتائج. يمثل

الشكلين IV-13 و IV-14 على الترتيب منحنيات تغير قيم الصلادة المجهرية لمارتنس و قيم مقاومة الثني عند درجتي الحرارة  $1150^{\circ}\text{C}$  و  $1175^{\circ}\text{C}$  بدلالة تغير تركيز الإضافة  $\text{B}_2\text{O}_3$  في العينات و ذلك من خلال النتائج المدونة في الجدول IV-2، حيث تثبت هذه المنحنيات الارتباط الوثيق بين النتائج المسجلة في قيم صلادة مارتنس و قيم مقاومة الثني لعينات البورسولان السني مع النتائج المتحصل عليها بالنسبة لتغير الكتلة الحجمية عند درجة حرارة  $1150^{\circ}\text{C}$ . نلاحظ أن قيم كل من الصلادة المجهرية لمارتنس و مقاومة الثني تتناقص بالنسبة للعينات ذات نسبة إضافة كتلية % 1، ثم تعود للتزايد من جديد لتأخذ قيمتها العظمى بالنسبة للعينات ذات نسبة إضافة % 5 في حدود ( $2393 \pm 114$ ،  $138 \pm 13$ ). بالمقابل عند درجة حرارة  $1175^{\circ}\text{C}$  نلاحظ أن قيم الصلادة المجهرية لمارتنس و قيم مقاومة الثني تتزايد بتزايد نسبة إضافة  $\text{B}_2\text{O}_3$ ، لتبلغ قيمها العظمى عند نسبة إضافة كتلية % 3 ( $232 \pm 158$  MPa،  $137 \pm 15$  MPa)، ثم ترجع للتناقص من جديد لتصل إلى حوالي ( $1947 \pm 109$  MPa،  $96 \pm 13$  MPa) من أجل نسبة إضافة كتلية % 5  $\text{B}_2\text{O}_3$ . إن قيم الصلادة المجهرية لمارتنس و مقاومة الثني لعينات البورسولان السني بإضافة % 5  $\text{B}_2\text{O}_3$  و الملبدة عند  $1150^{\circ}\text{C}$  ( $2393 \pm 114$  MPa،  $138 \pm 13$  MPa) و عينات البورسولان السني بدون إضافة الملبدة عند  $1200^{\circ}\text{C}$  ( $2570 \pm 288$  MPa،  $149 \pm$  MPa) (5) تقريبا نفسها، إذا أخذنا بعين الاعتبار الخطأ في القياس. إذن يمكن أن نخلص إلى أن إضافة أكسيد البور  $\text{B}_2\text{O}_3$  للبورسولان السني بنسبة وزنية % 5، تسمح بخفض درجة حرارة تليده من  $1200^{\circ}\text{C}$  إلى  $1150^{\circ}\text{C}$ ، أي ب  $50^{\circ}\text{C}$  مع الحفاظ على خصائصه الميكانيكية.



الشكل IV-13 تغير الصلادة المجهرية لمارتنس مع تغير نسبة الإضافة عند درجتي الحرارة 1150 °C و 1175 °C لعينات البورسولان السني.



الشكل IV - 14 تغير مقاومة الشد مع تغير نسبة الإضافة عند درجتي الحرارة 1150 °C و 1175 °C لعينات البورسولان السني.

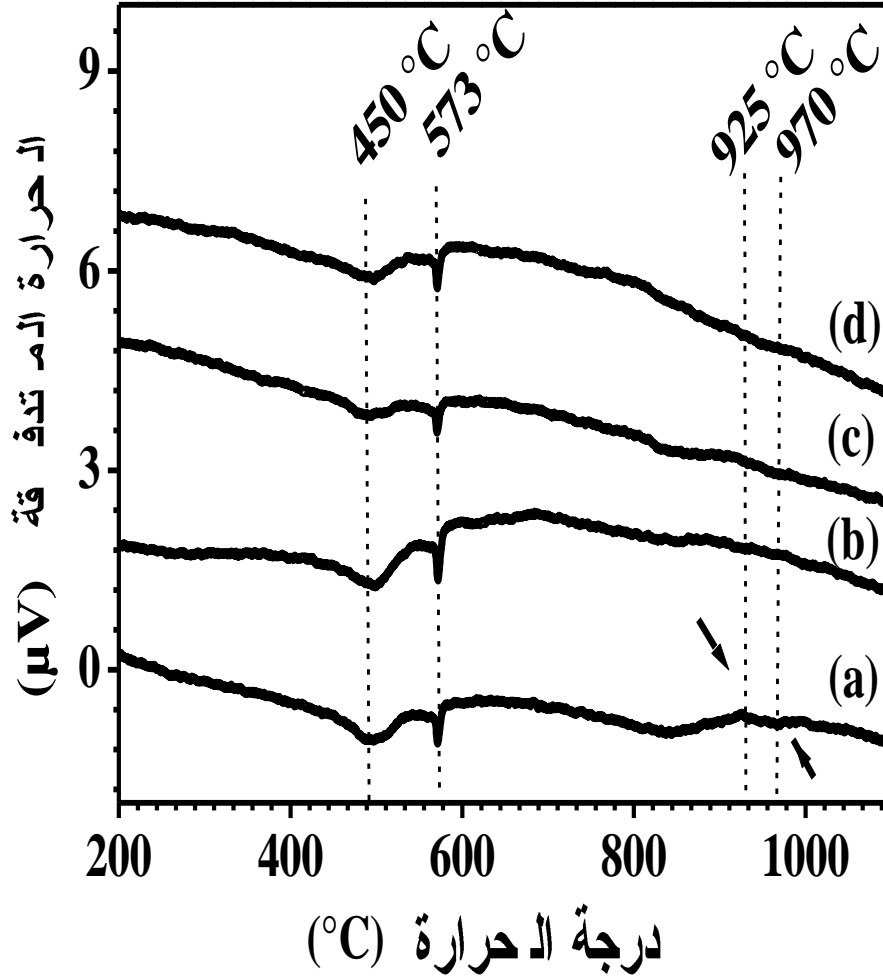


الجدول IV-2 تغير الخصائص الميكانيكية (الصلادة المجهرية لمارتنس، مقاومة الثني) بالنسبة لعينات البورسولان السني بمختلف الإضافات بدلالة درجة حرارة التلييد.

1250	1225	1200	1175	1150	1125	1100	درجة الحرارة (°C) العينة	
							البورسولان السني (DP)	الصلادة المجهرية لمارتنس (MPa)
± 1226 307	± 2035 243	± 2570 288	± 1549 232	± 989 300	-	-	الصلادة المجهرية لمارتنس (MPa)	البورسولان السني (DP)
10 ± 67	6 ± 125	5 ± 149	10 ± 57	8 ± 37	3 ± 11	-	مقاومة الثني (MPa)	
-	-	-	± 2156 226	± 832 129	-	-	الصلادة المجهرية لمارتنس (MPa)	1 + DP %B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
-	-	-	13 ± 75	9 ± 29	-	-	مقاومة الثني (MPa)	
-	-	-	± 2362 158	± 1922 176	-	-	الصلادة المجهرية لمارتنس (MPa)	3 + DP %B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
-	-	-	± 137 15	8 ± 104	-	-	مقاومة الثني (MPa)	
-	-	-	± 1947 109	± 2393 114	-	-	الصلادة المجهرية لمارتنس (MPa)	5 + DP %B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
-	-	-	13 ± 96	± 138 13	-	-	مقاومة الثني (MPa)	

#### IV-2-3 إشكالية إضافة أكسيد البور بنسب كتلية % 1 إلى عينات البورسولان السني

إن تراجع نسبة التلييد بالنسبة للعينات ذات نسبة إضافة كتلية  $B_2O_3$  % 1 خلال المرحلة الأولى، يرجع إلى أن هذه الإضافة أحدثت تغييراً في تركيب الطور الزجاجي للبورسولان السني [143]. يوضح الشكل IV-15 أن منحني DSC الخاص بعينات البورسولان السني بدون إضافة  $B_2O_3$  يتمتع بخطين إضافيين، على عكس بقية المنحنيات الخاصة بعينات البورسولان السني ذات نسب إضافة كتلية (1 و 3 و 5)  $B_2O_3$ . أحد هاذين الخطين ماص للحرارة (endothermic) عند درجة حرارة  $925^\circ C$ ، و الآخر ناشر للحرارة (exothermic) عند درجة حرارة  $970^\circ C$ ، و يوافق هاذين الخطين على الترتيب درجتي حرارة تشكل و انصهار الطور البلوري للوسيت الرباعي (tetragonal leucite) [144]. في الحقيقة إضافة  $B_2O_3$  في مركب البورسولان السني تساعد على خفض درجة حرارة التلييد [113،115]، إلا أنها تشل تبلور طور اللوسيت [115]. حيث تتوحد نتائج أبحاث كثيرة من أجل إبراز الدور الكبير الذي يلعبه طور اللوسيت البلوري في تحسين الخصائص الميكانيكية للبورسولان السني [85،114-120]، لينفرد بحثنا هذا في تأكيد و برهنة تأثير المحلول الصلب الغني بمصهور اللوسيت في تحسين الخصائص الميكانيكية للبورسولان السني. إن إضافة  $B_2O_3$  عرقلت تشكل طور اللوسيت و الذي يعتبر أهم طور في البورسولان السني من ناحية تحسين الخصائص الميكانيكية، كما أن وجود عامل انصهار آخر (المتمثل في K-feldspar) ضمن المواد الأولية المختارة لتصنيع البورسولان السني أفقد إضافة أكسيد البور  $B_2O_3$  أهميتها في خفض درجة حرارة التلييد و تحسين الخصائص الميكانيكية للبورسولان السني، وذلك مقارنة مع النتائج التي حققتها هذه الإضافة مع مركب الولستنايت (Wollastonite) [31] و الهيدروكسيدأباتيت (HA) [26،144].



الشكل IV-15 التحليل الحراري (DSC) لمسحوق البورسولان السني بمختلف النسب الكتلية من إضافة  $\text{B}_2\text{O}_3$  [ (a) 0 % و (b) 1 % و (c) 3 % و (d) 5 % ].

#### IV- 3 مقاومة التآكل الكيميائي لمركب البورسولان السنّي المحضّر (تأثير السائل الملحي

##### الفيسيولوجي)

كما سبق وأشرنا في الفصل السابق، لدراسة تأثير السائل الفيسيولوجي في كتلة العينات من دون إضافة و الملبدة عند  $1200^{\circ}\text{C}$ ، قمنا بغمس مجموعة من هذه العينات في كميات محددة من السائل الفيسيولوجي عند درجة حرارة ثابتة في وسط مزود باهتزاز بسيط، ثم قمنا بحساب نسبة الفقدان في الكتلة لكل مدة زمنية محددة (جدول IV-3).

الجدول IV-3 نتائج تغير نسبة الفقدان في الكتلة بدلالة تغير زمن الغمس في السائل الملحي الفيسيولوجي للعينات الملبدة عند  $1200^{\circ}\text{C}$ .

الزمن ( الشهر )	1/4	1/2	3/4	1	6
نسبة الفقدان في الكتلة	0.01±	0.17±	0.0±	0.05±	0.01±
(%)	0.02	0.2	0.01	0.02	0.04

نلاحظ من خلال نتائج الجدول IV-3 أن نسبة الفقدان في الكتلة للعينات المغموسة تبقى معدومة في حدود أخطاء القياس و ذلك حتى زمن الغمس 6 أشهر. ما يؤهل البورسولان السنّي للتعایش مع جسم الإنسان لأطول مدة ممكنة، عكس الديوبسايد مثلا الذي سجل نسبة فقدان في الكتلة قدرها % 1.35 خلال الزمن 7 أيام فقط [51]، وهذا موافق لما ورد في أبحاث مماثلة تؤكد الاستقرار الكيميائي للبورسولان السنّي و عدم تلفه مع الزمن [107-111]، ما يزيد من أهمية تصنيعه و توسيع الأبحاث من أجل تحسين بقية خصائصه و بالتالي توسيع تطبيقاته الطبية.

# الخلاصة العامة

## الخلاصة العامة

إن أهم ما يمكن أن نخلص إليه من خلال هذا البحث هو تمكننا من تحضير مركب البورسولان السني انطلاقاً من مواد أولية محلية (كاولان جبل دباغ بقالمة و فيلدسبات عين بربر بضواحي عنابة و كوارتز بئر العائر بتبسة)، بنسب مئوية كتلية دقيقة (75 % فيلدسبات و 20 % كوارتز و 5 % كاولان  $DD_1$ ). أين سجلنا الشروط المثلى لتلييد هذا المركب (درجة الحرارة  $1200\text{ }^\circ\text{C}$  خلال الزمن 2h) و ذلك من خلال تحليل نتائج جهاز المسح الإلكتروني (MEB) و مطيافية الأشعة تحت الحمراء (IR) بالإضافة إلى مطيافية Raman و انعراج الأشعة السينية (DRX) و التحليل الحراري التفاضلي (DSC) وكذلك حساب الكتلة الحجمية الذي أعطى القيمة  $2.47\text{ g.cm}^{-3}$  و هي نتيجة جيدة مقارنة مع الكتلة الحجمية المعتادة للبورسولان والمقدرة بـ  $2.45\text{ g.cm}^{-3}$ . أبدت النتائج المسجلة في حساب الخصائص الميكانيكية للبورسولان السني (مقاومة الثني 149 MPa و الصلادة المجهرية لمارتنس 2600 MPa) ملائمة شروط التلييد السابقة جداً للحصول على مركب بورسولان سني مقبول من الناحية العملية و ذلك مقارنة مع أبحاث مماثلة. بغية تحسين الخصائص الميكانيكية للبورسولان السني و خفض درجة حرارة تلييده قمنا بإضافة أكسيد البور ( $B_2O_3$ ) إلى خليط البورسولان السني قبل التلييد وذلك بنسب كتلية مئوية (1 % و 3 % و 5 %)، لكن عكس ما كان متوقع فعلى الرغم من أن نسبة أكسيد البور المضافة ساعدت على خفض درجة حرارة التلييد إلى غاية  $50\text{ }^\circ\text{C}$  بالنسبة للعينات ذات نسب إضافة كتلية 5 % أي من  $1200\text{ }^\circ\text{C}$  إلى حوالي  $1150\text{ }^\circ\text{C}$ ، إلا أن الخصائص الميكانيكية المسجلة بالنسبة للعينات بدون إضافة كانت هي القيم العظمى و الحدية. بعد البحث و كنتيجة أخرى لهذا البحث أرجعنا إشكالية عدم تحسن الخصائص الميكانيكية و الكتلة الحجمية للبورسولان السني مع زيادة إضافة أكسيد البور إلى وجود عامل انصهار آخر (التمثل في K-feldspar) ضمن المواد الأولية المختارة لتصنيع البورسولان السني والذي أفقد إضافة أكسيد البور أهميتها في خفض درجة حرارة التلييد و

تحسين الخصائص الميكانيكية للبورسولان السني وذلك مقارنة مع النتائج التي حققتها هذه الإضافة مع مركب الولسطنيت (Wollastonite) و الهيدروكسيدأباتيت (HA). في الأخير درسنا نسبة فقدان في الكتلة لهذا المركب في محلول ملحي لنيين مدى صموده داخل فم الإنسان حيث كانت النتيجة المقدرة ب % 0 من كتلته، وذلك إلى غاية 6 أشهر من الزمن في صالحه. يبقى البحث مفتوح في إطار تغيير الإضافات من أجل تحسين الخصائص الميكانيكية لهذا المركب و إدراجه فعليا في طب الأسنان.

المراجع



## المراجع

- [1] A. Harabi, S. Achour, A process for sintering of MgO and CaO based ceramics, *J. Mater. Sci. Lett.* 18 (1999) 955-957.
- [2] M.R. Boudchicha, S. Achour, A. Harabi, Crystallization and sintering of cordierite and anorthite based binary ceramics, *J. Mater. Sci. Lett.* 20 (2001) 215-217.
- [3] A. Mecif, J. Soro, J.P. Bonnet, A. Harabi, Preparation of mullite and zircon based ceramics using kaolinite and zirconium oxide: a sintering study, *J. Am. Ceram. Soc.* 93 (2010) 1306–1312.
- [4] A. Harabi, N. Karboua, S. Achour, Effect of thickness and orientation of alumina fibrous thermal insulation on microwave heating in a modified domestic 2.45 GHz multi-mode cavity, *Int. J. Appl. Ceram. Technol.* 9(1) (2012) 124-132.
- [5] A. Harabi, T.J. Davies, Densification and grain growth in sintered alumina-chromia powder mixtures, *Br. Ceram. Trans. J.* 94 (2) (1995) 79-84.
- [6] A. Harabi, T.J. Davies, Mechanical properties of sintered alumina - chromia refractories, *Br. Ceram. Trans. J.* 94 (3) (1995)97-102.
- [7] S. Kitouni, A. Harabi, Sintering and mechanical properties of porcelains prepared from Algerian raw materials, *Cerâmica* 57 (2011) 453-460.
- [8] O. Toumiat, S. Achour, A. Harabi, N. Tabet, M. Boumaour, M. Maallemi, Effect of nitrogen reactive gas on ZnO nanostructure development prepared thermal oxidation of sputtered metallic zinc, *Nanotechnology* 17 (2006) 658-663.
- [9] O. Bourbia, S. Achour, N. Tabet, M. Parlinska, A. Harabi, Effect of tantalum addition on microstructure and optical properties of TiN thin films, *Thin Solid Films* 515 (2007) 6758-6764.
- [10] F. Bouzerara, A. Harabi, S. Achour, A. Labrot, Porous ceramic supports for membranes prepared from kaolin and dolomite mixtures, *J. Eur. Ceram. Soc.* 26 (2006) 1663-1671.
- [11] A. Harabi, F. Bouzerara, S. Condom, Preparation and characterization of tubular membrane supports using centrifugal casting, *Des. Wat. Treat.* 6 (2009) 222-226.
- [12] B. Boudaira, A. Harabi, F. Bouzerara, S. Condom, Preparation and characterization of microfiltration membranes and their supports using kaolin (DD2) and CaCO<sub>3</sub>, *Des. Wat. Treat.* 9 (2009) 142-148.
- [13] F. Bouzerara, A. Harabi, S. Condom, Porous ceramic membranes prepared from kaolin, *Des. Wat. Treat.* 12 (2009) 415-419.
- [14] A. Harabi, A. Guechi, S. Condom, Production of supports and membranes filtration from kaolin and limestone, *Procedia Engineering* 33 (2012) 220-224.
- [15] F. Bouzerara, A. Harabi, B. Ghouil, N. Medjemem, B. Boudaira, S. Condom, Elaboration and Properties of Zirconia Microfiltration Membranes, *Procedia Engineering* 33 (2012) 78-84.

- [16] A. Harabi, F. Zenikheri, B. Boudaira, F. Bouzerara, A. Guechi, L. Foughali, A new and economic approach to fabricate resistant porous membrane supports using kaolin and  $\text{CaCO}_3$ , *J. Eur. Ceram. Soc.* 34 (2014) 1329-1340.
- [17] L. Foughali, A. Harabi, S.E. Barama, F. Bouzerara, A. Guechi, B. Boudaira, Effect of sodium phosphate additions on mechanical properties of porous Sigue quartz sand, *Des. Wat. Treat.* (2015) in Press.  
DOI:10.1080/19443994.2015.1021100.
- [18] F. Bouzerara, S. Boulanacer, A. Harabi, Shaping of microfiltration (MF)  $\text{ZrO}_2$  membranes using a centrifugal casting method, *Ceram. Inter.* 41 (2015) 5159-5163.
- [19] A. Harabi, B. Boudaira, F. Bouzerara, L. Foughali, F. Zenikheri, A. Guechi, B. Ghouil, S. Condom, Porous ceramic supports for membranes prepared from kaolin (DD3) and calcite mixtures, *Acta. Phys. Pol. A* 127 (2015) 1164-1166.
- [20] B. Boudaira, A. Harabi, F. Bouzerara, F. Zenikheri, A. Guechi, Preparation and characterization of membrane supports for microfiltration and ultra filtration using kaolin (DD2) and  $\text{CaCO}_3$ , *Des. Wat. Treat.* (2015) in Press.  
DOI:10.1080/19443994.2015.1021998.
- [21] A. Guechi, A. Harabi, S. Condom, F. Zenikheri, B. Boudaira, F. Bouzerara, L. Foughali, Elaboration and characterization of tubular supports for membranes filtration, *Des. Wat. Treat.* (2015) in Press. DOI:10.1080/19443994.2015.1021096.
- [22] B. Ghouil, A. Harabi, F. Bouzerara, Elaboration and characterization of ceramic membrane supports from raw materials used in microfiltration, *Des. Wat. Treat.* (2015) in Press. DOI:10.1080/19443994.2015.1021098.
- [23] B. Ghouil, A. Harabi, F. Bouzerara, B. Boudaira, A. Guechi, M.M .Demir, A. Figoli, Development and characterization of tubular composite ceramic membranes using natural alumino-silicates for microfiltration applications, *Materials Characterization* 103 (2015) 18-27.
- [24] N. Mdjemem, A. Harabi, F. Bouzerara, L. Foughali, B. Boudaira, A. Guechi, N. Brihi, Elaboration and characterization of low cost ceramics microfiltration membranes applied to the sterilization of plant tissue culture media, *J. Taiwan. Inst. Chem. Eng.* (2015) in Press. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtice.2015.07.032>.
- [25] A. Harabi, E. Harabi, S. Chehalatt, S. Zouai, N. Karboua and L. Foughali, Effect of  $\text{B}_2\text{O}_3$  on mechanical properties of porous natural hydroxyapatite derived from cortical bovine bones sintered at  $1050^\circ\text{C}$ , *Des. Wat. Treat.* (2015) in Press.  
DOI:10.1080/19443994.2015.1021997.
- [26] E. Harabi, A. Harabi, F.Z. Mezahi, S. Zouai, N. Karboua, S. Chehalatt, Effect of  $\text{P}_2\text{O}_5$  on mechanical properties of porous natural hydroxyapatite derived from cortical bovine bones sintered at  $1050^\circ\text{C}$ , *Des. Wat. Treat.* (2015) in Press.  
DOI:10.1080/19443994.2015.1022000.
- [27] E. Harabi, A. Harabi, L. Foughali, S. Chehlatt, S. Zouai, F.Z. Mezahi, Grain growth in sintered natural hydroxyapatite, *Acta Phys. Pol. A* 127 (2015) 1161-1163.

- [28] L. Foughali, A. Harabi, J.P. Bonnet, D. Smith, B. Boudaira, Effect of calcium phosphate addition on sintering of El-Oued quartz sand raw materials, *Cerâmica* 60 (2014) 546-551.
- [29] F.Z. Mezahi, H. Oudadesse, A. Harabi, A. Lucas-Girot, Y. Le Gal, H. Chair, G. Cathelineau, Dissolution kinetic and structural behaviour of natural hydroxyapatite vs. thermal treatment, *J. Therm. Anal. Calorim.* 95 (2009) 21-29.
- [30] F.Z. Mezahi, H. Oudadesse, A. Harabi, A. Lucas-Girot, Effect of  $ZrO_2$ ,  $TiO_2$  and  $Al_2O_3$  additions on process and Kinetics of bonelike apatite formation on sintered natural hydroxyapatite surfaces, *Int. J. Appl. Ceram. Technol.* 9 (2012) 529-540.
- [31] A. Harabi, S. Chehlatt, Preparation process of a highly resistant wollastonite bioceramics using local raw materials. Effect of  $B_2O_3$  additions on sintering and mechanical properties, *J. Therm. Anal. Calorim.* 111 (2013) 203-211.
- [32] A. Harabi, D. Belamri, N. Karboua, F.Z. Mezahi, Sintering of bioceramics using a modified domestic microwave oven: Natural hydroxyapatite sintering, *J. Therm. Anal. Calorim.* 104 (2011) 383-388.
- [33] A. Harabi, S. Zouai, A new and economic approach to synthesize and fabricate bioactive diopside ceramics using a modified domestic microwave oven. Part 1: Study of sintering and bioactivity, *Int. J. Appl. Ceram. Technol.* 11 (2014) 31-46.
- [34] S. Chehlatt, A. Harabi, E. Harabi, S. Zouai, H. Oudadesse, S.E. Barama, Biological properties study of bioactive wollastonite containing 5 wt.%  $B_2O_3$  prepared from local raw materials, *Des. Wat. Treat.* (2015) in Press. DOI:10.1080/19443994.2015.1021105.
- [35] S. Chehlatt, A. Harabi, H. Oudadesse, E. Harabi, In vitro bioactivity study of pure wollastonite prepared from local raw materials, *Acta Phys. Pol. A* 127 (2015) 925-927.
- [36] A. Harabi, E. Harabi, A modified milling system, using a bimodal distribution of highly resistant ceramics. Part 1. A natural hydroxyapatite study, *Mater. Sci. Eng. C* 51 (2015) 206-215.
- [37] S. Zouai, A. Harabi, N. Karboua, E. Harabi, S. Chehlatt, S.E. Barama, S. Zaiou, F. Bouzerara, F. Guerfa, A new and economic approach to synthesize and fabricate bioactive diopside ceramics using a modified domestic microwave oven. Part 2: Effect of  $P_2O_5$  additions on diopside bioactivity and mechanical properties, *Mater. Sci. Eng. C* 61 (2016) 553-63.
- [38] A. Harabi, F. Guerfa, E. Harabi, M.T. Benhassine, L. Foughali, S. Zaiou, Preparation and characterization of new dental porcelains, using K-feldspar and quartz rawmaterials. Effect of  $B_2O_3$  additions on sintering and mechanical properties, *Mat. Sci. Eng. C* 65 (2016) 33-42.
- [39] L. Lécraivain, *Technique de l'Ingénieur*, 7290 A )1987) 1-23.
- [40] C. McQuarrie, D. McQuarrie, P. Rock, *Chimie générale*, De Boeck(2000) 505.

- [41] P. W. Atkins, L. Jones, Chimie générale: molécules matière metamorphoses, De Boeck(1998) 371-372.
- [42] M. Chaupai, Technique de l'ingénieur, 1996 A )2010) 10-17.
- [43] C. Janot, Il. Bernhard, Matériaux émergents, Amazon FranceTM 19 (2001) 7-29 ,315.
- [44] J. Philibert, Recueil de Communication,Deuxième Séminaire des Sciences des Matériaux, Université de Constantine (1985) 2-16.
- [45] G. Cizeron, Le Frittage, Institut de Céramique, France (1968) 1-7.
- [46]J. P. Marcier, G. Zambelli, W.Kurz, Introduction à la science des matériaux, presses polytechniques (1999) 16, 452,483- 484.
- [47]M. Barsoum, M.W Barsoum, Fundamentals of Ceramics, CRC Press. Amazon France (2002) 88- 93.
- [48] F. Bouzerara, Thèse doctorat en sciences, Université de Constantine, Algérie (2005)
- [49] D.W.Richerson, Modern Ceramic Engineering, Ed by Marce Dekker, Inc. New York, (1992).
- [50] A. Vatain, « Manuele et sédimentologie », Edition: Thecnip (1967).
- [51] S. Zouai, Thèse doctorat en science, Université de Constantine, Algérie, (2013).
- [52] A. Harabi, N. Kerboua, S. Achour, « Elément chauffant à micro-onde (2.45 GHz) à haute température (~1550°C) », Patent, 6 pages, INAPI, N° 110223, ALGERIA, 20 Mars 2011.
- [53] A. Guechi, Thèse doctorat en science, Université de Constantine, Algérie (2012).
- [54] J. L. Chermant, Les Céramiques Thermomécaniques », Presse du CNRS (1989) 20.
- [55] E. Harabi, Thèse Magister, Université de Constantine, Algérie , (2009).
- [56] Sous la direction de Paul Pascal, Nouveau traité de chimie minéral, 27 (1966).
- [57] A. Paul,A. Youssefi, Alkaline durability of some silicate glasses containing CaO, FeO and MnO, J .mater. Sci, 13 (1978) 97.
- [58] R. M. German, Sintering Theory and practice, Wiley-interscience publication, ed. John Wiley and Sons, Newyork (1996).
- [59] D. Bernache-Assollant, Les mécanismes de densification en phase Solide, in chimie physique du frittage, Hermès- Paris (1993) 165-222.
- [60] D.Gendron, Thèse doctorat Université de Bordeaux I,(2001).
- [61] J. Frenkel, Viscous flow of Crystalline bodiesUnder the action of Surface Tension J. Appl. Phys., 9(5) (1945) 385-391.
- [62] R. L. Coble, Sintering Crystalline Solids. II. Experimental test of Diffusion models in powder compacts, J. Appl. Phys, 32(5) (1961) 793-799.
- [63] L. Gion, Aspect Théorique et Pratique du Frittage des Oxydes Purs, Extrait de L'industrie céramique, France, (1969) 159-163.
- [64] C. Khadraoui, Thèse Magister, Université de Tizi ouzou, Algérie , (2016).

- [65] M. Yves, L. Etort, Etat actuel des connaissances sur les silicates d'aluminium, Conférence internationale sur les réfractaires, XIX colloque, Paris (1976) 39-47.
- [66] D. Bernache-Assolant. "Le frittage des céramique et des métaux : Deuxième partie, Le frittage en phase liquide." L'industrie céramique et verrière, 932 (décembre 1997) 871-874
- [67] D. B. Assolant, Chimie-Physique du Frittage, Hermès- Paris (1993).
- [68] L. Foughali, Thèse doctorat en science, Université de Constantine, Algérie (2015).
- [69] Department of Metals and Materials Engineering, « Ceramics for Non-Ceramists: Body of Basic Knowledge for Materials Engineering Courses », The University of British Columbia, Vancouver (1998), [www.mmat.ubc.ca/other/courses/mmat382](http://www.mmat.ubc.ca/other/courses/mmat382).
- [70] S. Chehlatt, Thèse doctorat en science, Université de Constantine, Algérie , (2013).
- [71] T. Nonami, S. Tsutsumani, Study of diopside ceramics for biomaterials, J. Mater. Sci. Mater. Med., 10(8) (1999), pp.475-479.
- [72] B. H. Robert, Engineering Mineralogy of Ceramic Materials, proceeding of the international school earth and planetary sciences Siena (2001).
- [73] J. R. Davis , Handbook of materials for medical devices, the materials information society (2003) 3.
- [74] [http://www.sehha.com/safi/parts\\_of\\_tooth.htm](http://www.sehha.com/safi/parts_of_tooth.htm)
- [75] A. U. JIN YAP, Engineering materials for biomedical applications, Edition: N.J.Hackensack (World Scientific), Singapore (2004), chap.5.
- [76] [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Tooth\\_Section.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Tooth_Section.svg)
- [77] T. J. BERRT, J. W. OSBORNE, Effect of zinc in two gamma-2 dental amalgam systems, Dental Materials 1(3) (1985) 98-100.
- [78] <http://www.drcurtiskaiser.com/treatment/inlays-and-onlays>
- [79] <https://implant-prothese-dentaire.ooreka.fr/comprendre/bridge-dentaire>.
- [80] [زراعة الأسنان](https://www.webteb.com/dental-health/treatment) <https://www.webteb.com/dental-health/treatment>
- [81] [www.implants-dents.com](http://www.implants-dents.com).
- [82] I. Denry , J. A. Holloway, Ceramics for Dental Applications: A Review, Materials 3 (2010) 351-68; doi:10.3390/ma3010351.
- [83] S. S. Mantri, A. S. Bhasin, CAD/CAM in Dental Restorations: An Overview, (2010) 123-128. DOI: 10.5368/aedj.
- [84] M.S.Tite, Ceramic production, provenance and use - A review, Archaeometry, (2008) p.216–231
- [85] R. Van Noort, Dental ceramics, Introduction to Dental Materials, Edition 2, Mosby, UK (2002) 231-242.

- [86] S. A. Nelson, Silicate Structures, Structural Formula, Neso-, Cyclo and Soro-Silicates, EENS 2110 Mineralogy, Tulane University (2012) 1-13.
- [87] J. PINKAS, chemistry of silicates and aluminosilicates, Ceramics Silikáty 49 (4) (2005) 287-298.
- [88] A. I. Jounne, Frittage d'un ensemble Phase Solide plus Phase Vitreuse cas des Faïence, des Grés et des porcelaines, L'école Nsup. De Ceram. Industrielle (1991) 57-79.
- [89] S. Soumiya, y. Hirata, Am. Ceram. Soc. Bull, 70(10) (1991).
- [90] G. Baudet - M. Morio, Méthodes de valorisation des kaolins, (1974).
- [91] G. Bernache, M. Soustelle, C. Monty, H. Pastor, J. M. Chaix, Chimie physique. du frittage, Ed. Hermès Paris (1993) 167-169.
- [92] N. J. Show, R. J. Brook, Structure of grain Coarsening during the sintering of alumina, J. Am. Ceram. Soc. 69 (2) (1986) 107-110.
- [93] A. Jourdain, et F. Benot-Cation, La Technologie des Produits Céramiques Réfractaires, Paris (1993) 20-40.
- [94] J. Peyssou, Le Frittage, Institut de Céramique Française, France, (1968) 42.
- [95] H. H Murray, Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview, Applied clay science, 17(2000) 207-221.
- [96] R. Arthar et V. Hippel, " Les Diélectriques et Leurs Applications", Ed. Dunot, Paris (1961) 232-234.
- [97] I. Seraj, Thèse de Magister, Université de Constantine, Algérie, (2013).
- [98] J. A. Pask and A. P. Tomosia, Formation of Mullite from Sol-Gel Mixtures and Kaolinite, J. AM. Ceram. SOC. 74(10) (1991) 2367-2373.
- [99] J. Wyaret, Le silicium dans la nature, chimie minérale tome 2, Masson-France (1968) 18-70.
- [100] A. Bouyoucef, Thèse Doctorat d'Etat, Constantine Algérie, (2003).
- [101] A. Engle, The Egyptian Interlude, Reading in glass history, Phoenix publication, Jerusalem (1974).
- [102] A. Putnis, An Introduction to Mineral Sciences, Cambridge University Press (22 octobre 1992) 175-178.
- [103] R. W. Cann, P. Haasen, E. J. Kramer, Structure and Properties of Ceramics, Materiel Science and Technology, VCH .Verlagsgeslls chaft 11) 1993(.
- [104] K.F. Leinfelder, Porcelain esthetics for the 21<sup>st</sup> century, J. Am. Dent. Assoc. 131 (1)(2000) 47-51.
- [105] R. Rushforth, Palladium in restorative dentistry, Platin. Met. Rev. 48 (1) (2004) 30-31.
- [106] Jr. A De Noni, D. Hotza, V.C Soler, E.S. Vilches, Influence of composition on mechanical behavior of porcelain tile. Part I: Microstructural characterization and developed phases after firing, Mater. Sci. Eng. A 527 (2010) 1730–1735.
- [107] R.F. Al-Ajlouni, A. Alwahadni, S. Khasawneh, Dental porcelain: composition, types, glazing and clinical applications, Dental news (3) 6 (1999) 33-37.

- [108] I. Denry, J.A. Holloway, *Ceramics for Dental Applications*, Mater. 3 (2010) 351-368.
- [109] J.M. Van der Zel, S. Vlaar, W.J. De Ruiter, C. Davidson, The CICERO system for CAD/CAM fabrication of full-ceramic crowns, *J. Prosthet. Dent.* 85 (2001) 261-267.
- [110] S. Chu, I. Ahmad, A historical perspective of synthetic ceramic and traditional feldspathic porcelain, *Pract. Proced. Aesthet. Dent.* 17 (9) (2005) 593-598.
- [111] J.C.M. Castilho, W.M. Takeshita, L.R.A. Santos, L.C. Moraes, E. Medici-filho, M.E.L. Moraes, Digital radiographic evaluation of optical density of porcelains used for fabrication of inlay/onlay prosthesis, *J. Appl. Oral. Sc.* 14 (1) (2006) 16-20.
- المراجع  
103
- [112] R. Barbucci, *Integrated Biomaterials Science*, Kluwer Academic Publishers (juin 2002) 213-216.
- [113] A. Krajewski, A. Ravaglioli, *Bioceramics and Biological Glasses*, in: R. Barbucci (Eds.), *Integrated Biomaterials Science*, Kluwer Academic (2002) 189-254. [http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F0-306-47583-9\\_5](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F0-306-47583-9_5)
- [114] V.G. Sukumaran, N. Bharadwa, *Ceramics in dental applications, trends. Biomater. Artif. Organs.* 20 (1) (2006) 7-11.
- [115] M. Mrázová, A. Kloužková, Leucite porcelain fused to metals for dental restoration, *J. Ceramics – Silikáty* 53 (3) (2009) 225-230.
- [116] Y. Zhang, P. Rao, M. Lü, J. Wu, Mechanical properties of dental porcelain with different leucite particle sizes, *J. Am. Ceram. Soc.* 91 (2008) 527–534.
- [117] B. Zhang, F. Qian, X. Duan, B. Wu, Relationship between leucite content and compressive strength of  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2$  system dental glass ceramics, *J. Wuhan. Univ. Technol.* 24 (1) (2009) 72-74.
- [118] X. Chen, T.C. Chadwick, R.M. Wilson, R.G. Hill, M.J. Cattell, Crystallization and flexural strength optimization of fine-grained leucite glass-ceramics for dentistry, *J. Dent. Mater.* 27(11) (2011) 1153–1161.
- [119] A. Theocharopoulos, X. Chen, R. Wilson, R. Hill, M.J. Cattell, Crystallization of high-strength nano-scale leucite glass-ceramics, *J. Dent. Mater.* 29(11) (2013) 1149–1157.
- [120] M.J. Cattell, T.C. Chadwick, J.C. Knowles, R.L. Clarke, E. Lynch, Flexural strength optimisation of a leucite reinforced glass ceramic, *J. Dent. Mater.* 17 (2001) 21-33.
- [121] P. He, D. Jia, S. Wang, Microstructure and integrity of leucite ceramic derived from potassium-based geopolymer precursor, *J. Eur. Ceram. Soc.* 33 (2013) 689–698.
- [122] X. Li, L.L. Shaw, Formation of leucite-free zone in laser densified dental porcelains, *Materials Letters* 61 (2007) 3946–3950.

- [123] N. L. Bown , R. B. Ellestad, Leucite and Pseudoleucite, Geophysical, Laboratory, Washington and University of Minnesota, Journal Mineralogical Society of America. [www.minsocam.org/ammin/AM22/AM22\\_409.pdf](http://www.minsocam.org/ammin/AM22/AM22_409.pdf).
- [124] A. Mecif, Thèse Doctorat d'Etat, Constantine Algérie, (2010).
- [125] B. Stuart, Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications, Wiley (2004) 2-13.
- [126] S. Yobanny, R. López, J.S. Rodríguez, Microstructural characterization of sanitary ware by infrared and Raman spectroscopy, the role of vitreous matrix on properties, J. Ceram. Process. Res. 16 (1) (2015) 162–168.
- [127] P. Makreski, G. Jovanovski, T. Stafilov, B. Boev, Minerals from Macedonia. XII. The dependence of quartz and opal color on trace element composition - AAS, FTIR and Micro-Raman spectroscopy study, Bull. Chem. Techno. Macedonia. 23 (2) (2004) 171–184.
- [128] S.W. Kieffer, Thermodynamics and lattice vibrations of minerals: 2 vibrational characteristics of silicates, Rev. Geophys. Space Phys. 17 (1) (1979) 20-34.
- [129] K.J. Kingma, R.J. Hemley, Raman spectroscopic study of microcrystalline silica, American Mineralogist. 79 (1994) 269-273.
- [130] A. Skulteti, T.M. Toth, K. Fintor, F. Schubert, Deformation history reconstruction using single quartz grain Raman microspectroscopy data J. Raman Spectrosc., 45 (2014) 314–321.
- [131] M. M. Islam, F. Datchi, Polarized raman spectra of  $\alpha$  quartz, International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy 56 (2015) 115-122.
- [132] L. Carbajal, F. Rubio-Marcos, M.A. Bengochea, J.F. Fernandez, Properties related phase evolution in porcelain ceramics, J. Eur. Ceram. Soc. 27 (2007) 4065–4069.
- [133] P.F. Cesar, F.N. Soki, H.N. Yoshimura, C.C. Gonzaga, V. Styopkin, Influence of leucite content on slow crack growth of dental porcelains, J. Dent. Mater. 24 (2008) 1114–1122.
- [134] C. Fredericci, H.N. Yoshimura, A.L. Molisani, M.M. Pinto, P.F Cesar, Effect of temperature and heating rate on the sintering of leucite-based dental porcelains, Ceram. Int. 37 (2011) 1073–1078.
- [135] L. Zhou, J. Guo, N. Yang, L. Li, Solid-state nuclear magnetic resonance and infrared spectroscopy of alkali feldspars, Science in china (Series D) 40 (2) (1997) 159-165.
- [136] S.A. Shahdad, J.F. McCabe, S. Bull, S. Rusby, R.W. Wassell, Hardness measured with traditional Vickers and Martens methods, J. Dent. Mater. 23(9) (2007) 1079–1085.
- [137] W.H. Mormann, B. Stawarczyk, A. Ender, B. Sener, T. Attin, A. Mehl, Wear characteristics of current aesthetic dental restorative CAD/CAM materials: Two-body wear, gloss retention, roughness and Martens hardness, J. Mech. Behav. Biomed. 20 (2013) 113-125.



- 
- [138] W.J. O'Brien, K.M Boenke, C.L. Groh, Evaluation of some properties of an opaque porcelain fired simultaneously with the body porcelain, *J. Prosthet. Dent.* 72 (4) (1994) 414-419.
- [139] J.P. Moffa, Porcelain materials, *Adv. Dent. Res.* 2 (1) (1988) 3-6.
- [140] V.P. Thompson, E.D. Rekow, Dental ceramics and the molar crown testing ground, *J. Appl. Oral. Sci.* 12 (2004) 26-36.
- [141] G.D. Quinn, K. Hoffman, J.B. Quinn, Strength and fracture origins of a feldspathic porcelain, *J. Dent. Mater.* 28 (2012) 502–511.
- [142] R.E. Smallman, R.J. Bishop, *Modern physical metallurgy and materials engineering*, Sixth ed., Butterworth- Heinemann (1999) 396.
- [143] J.B. Quinn, G.D. Quinn, A practical and systematic review of Weibull statistics for reporting strengths of dental materials, *J. Dent. Mater.* 26 (2) (2010) 135–147.
- [144] C. Yang, Y. Guo, M. Zhang, Thermal decomposition and mechanical properties of hydroxyapatite ceramic, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 20 (2010) 254–258.

مأخذ

# Preparation of ceramics for different applications: Porcelains and/ or biomaterials.

## Abstract

The aim of this work was to determine the effect of temperature and boric oxide ( $B_2O_3$ ) addition on sintering and properties of a newly developed dental porcelain prepared from local Algerian raw materials. Based on a preliminary work, the new selected composition was 75 wt.% feldspar, 20 wt.% quartz and 5 wt.% kaolin. It was prepared by sintering the mixture at different temperatures (1100–1250 °C). The optimum sintering conditions gave a relatively higher density (2.47 g/cm<sup>3</sup>) and excellent mechanical properties. The three point flexural strength and Martens micro-hardness of dental porcelains were 149MPa and 2600 MPa, respectively.

The sintering temperature was lowered by about 25 and 50 °C for 3 and 5 wt.%  $B_2O_3$  additions, respectively. But, it did not improve furthermore the samples density and their mechanical properties. It has also been found that  $B_2O_3$  additions provoke a glass matrix composition variation which delays the leucite formation during sintering.

Finally, any weight loss was recorded by the immersion of dental porcelain in the physiological solution for six months.

---

**Keywords:** dental porcelain;  $B_2O_3$ ; leucite ; sintering; flexural strength ;Martens micro-hardness.

# Elaboration des Céramiques pour différentes applications : Porcelaines et/ ou Biocéramiques.

## Résumé

L'objectif de ce travail, est l'étude de l'effet de la température et l'Oxyde de Bore ( $B_2O_3$ ) additionné sur le frittage d'une nouvelle porcelaine dentaire (élaborée à partir des matières premières locales Algériennes) et ses propriétés mécaniques. La nouvelle composition choisie, fait appel à un apport pondéral présenté par : [75% Feldspath, 20% Quartz et 5% Kaolin], qui a été préparé par frittage sous différents degrés de températures allant de 1100°C jusqu'à 1250 °C. Les conditions optimales pour un bon frittage de ce mélange, ont enregistrées sous la température 1200 °C et pendant 2heures, en arrivant ainsi à une masse volumique relativement plus élevée (2,47 g/cm<sup>3</sup>) et à des excellentes propriétés mécaniques qui reflètent des valeurs moyennes de la contrainte de flexion et de la micro-dureté de Martens respectivement de l'ordre de 149 MPa et 2600 MPa chacune.

L'addition du ( $B_2O_3$ ), conduit à un décalage de la température de frittage par environ 25°C à 50 °C pour des échantillons avec un poids en ( $B_2O_3$ ) allant respectivement de 3% à 5 %, malheureusement elle n'a pas pu améliorer la masse volumique des échantillons et leurs propriétés mécaniques. Egalement on a constaté que l'addition du ( $B_2O_3$ ), entraîne une variation sur la composition de la matrice de verre, car elle retarde la formation de leucite pendant le frittage.

Finalement, aucune perte de poids n'a été enregistrée lors de l'immersion de la porcelaine dentaire dans la solution physiologique et ceci pendant six mois.

---

**Mots clés** : Porcelaine dentaire ;  $B_2O_3$  ; leucite; frittage ; contrainte de flexion ; micro-dureté de Martens.

# تحضير الخزفيات لمختلف التطبيقات: البورسولان و/ أو الخزفيات الحيوية

## ملخص

إن الهدف الأساسي من هذا البحث هو دراسة تأثير درجة الحرارة و إضافة أكسيد البور ( $B_2O_3$ ) على تلييد بورسولان سني جديد (محضر انطلاقاً من مواد أولية محلية) و خصائصه الميكانيكية. لأجل تحضير هذا المركب قمنا بمزج 75 % فيلدسبات، 20 % وزنا % كوارتزو 5 % وزنا % كولان  $DD_1$  ، حيث تمت المعالجة الحرارية لهذا المركب عند درجات الحرارة 1100 -  $1250^\circ C$ . أين سجلنا الشروط المثلى لتلييد هذا المركب (درجة الحرارة  $1200^\circ C$  خلال الزمن 2h) لتصل الكتلة الحجمية إلى 2.47  $g.cm^{-3}$  أما الخصائص الميكانيكية فقد أعطت النتائج 2600 MPa و 149 MPa لكل من الصلادة المجهرية لمارتنس و مقاومة الثني على الترتيب.

ساهمت إضافة  $B_2O_3$  في خفض درجة حرارة التلييد لمركب البورسولان السني ب 25 و  $50^\circ C$  وذلك بإضافة نسبة 3 و 5 % وزنا على الترتيب، لكن هذه الإضافة لم تعطي أي تحسن في قيم الكتلة الحجمية أو الخصائص الميكانيكية. إذ أن إضافة أكسيد البور تغيير من تركيب الطور الزجاجي للبورسولان السني وذلك لأنها تعرقل تشكل اللوسيت خلال عملية التلييد.

في الأخير أثبت مركب البورسولان السني صموده في محلول ملحي فسيولوجي إذ لم يعطي أي فقدان في الكتلة و لمدة وصلت إلى 6 أشهر.

---

الكلمات المفتاحية: البورسولان السني،  $B_2O_3$ ، اللوسيت، التلييد، مقاومة الثني، الصلادة المجهرية لمارتنس.