

الطين: تاريخه وبعض تطبيقاته (4)

التطبيقات الصناعية للمواد الطينية

محمد خوجة¹، المرحوم غازي عثمانين² وميشال روتيرو³

¹ باحث بالمعهد الجزائري للبترول، سوناطراك (بومرداس) / الأكاديمية الجزائرية للعلوم

والتكنولوجيات

² أستاذ، جامعة محمد بوقرة، بومرداس

³ أستاذ محاضر لدى الجامعات، جامعة أورليون، فرنسا

mohamed.khodja@sonatrach.dz

ملاحظة

يحتوي هذا المقال على ثلاثة أجزاء: تاريخ الطين وخصائصه (نُشر في العدد 9)؛ الطين صحة وغذاء (نُشر على قسمين في العددين 10 و 11)؛ التطبيقات الصناعية للمعادن الطينية.

1. مقدمة

نحن نعرف، على الأقل منذ عشرة آلاف سنة، العديد من الاستخدامات التقليدية للطين. وجميع الحضارات التي استطاعت الوصول إلى الطين واستخدمته تركت آثارًا عميقة. منذ بداية القرن العشرين، بدأنا فقط بشكل أفضل في التعرف على المزيد من خصائص هذه المعادن بالمقاييس المجهرية والعينية، وبالتالي تعلم السيطرة عليها. في الوقت الذي كانت فيه العلوم والتكنولوجيا تنتج مواد رائعة ومفيدة، نجح الطين دائمًا في الأداء العلمي رغم أقدمية استخداماته على جميع المستويات من التطبيقات بدءًا من أشغال الهندسة المدنية إلى تكنولوجيا النانو. في الواقع، عند هذا المستوى يتم تحديد مفتاح معظم التطبيقات الصناعية.

قبالة مهام صناعية متعددة للطين، يبقى السؤال الكبير هو في نوعية وكمية إمدادات المواد الخام. قام الجيولوجيون منذ عهد طويل بوضع فهرس لمواقع حقول الطين، ثم درسوا بالتفصيل ظروف التكوين. المتخصصون في علوم المعادن والبلوريات تعلموا بعد ذلك أكثر فأكثر كيفية تحديد طبيعة المعادن الطينية (الفئة، الأسرة، التشكيل) بدقة ومهارة. في وقت لاحق، استطاع خبراء علوم البلوريات والجيوكيمياء أن يدققوا مواضع الأيونات والبدائل، مما يسمح اليوم، وعلى نحو فعال، بدراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية التي يتوقع المستخدمون استغلالها.

2. استعمالات المواد الطينية

في الحياة اليومية، يكون المستخدم بعيدًا جدًا عن الحصول على المعارف المثالية. يكفي أن يقرأ المواصفات المدونة على حزم الطين المسوّقة لإبراز الحقيقة، وأن العديد من التحسينات ممكنة مع المعارف الحالية. يُمثل الشكل 1 عددًا كبيرًا من التطبيقات للبنتونيت.

رئيسي عند ظواهر الإفساد والتحليل بالماء للصخور السيليكاتية المشكلة في العمق. لذلك، فهي تتوزع مبدئيًا على شكل مشتمت في أحجام صغيرة جدًا من الصخور (انكشاف المعدن على سطح الأرض، تشقق وصدع)، خاضعة للإجهاد الطبيعي وخاصة لعمل الماء (مياه الأمطار أو مياه معدنية). هذه المعادن الطينية بعد تكوينها على حساب الصخور الموجودة سابقًا والمتلفة، تخضع عادة للنقل تحت تأثير جريان المياه التي تسحبها تدريجيًا. ثم تتراكم في نهاية المطاف في الحقول الرسوبية الهامة، والبعيدة عن مواقع التشكيل الصخري بشكل أكثر أو أقل، وفي قاع البحيرات والبحار والمحيطات. طبقات الرواسب غالبًا ما تكون سميكة جدًا. ومع مرور الوقت وزيادة الطمر، تنضغط تحت تأثير وزنها والكتلة المشكلة من المواد التي تغطيها تدريجيًا.

وفقًا لنظرية الدورة الجيولوجية العامة الثابتة اليوم والتي وصفت بشكل جيد، البعض من هذه الطبقات سيخضع لتغيرات مختلفة وأحيانًا رفع/إعادة دفن خلال تحركات الصفائح التكتونية. صخور جديدة ستتشكل باستمرار، ولاحقًا ستتغير بدورها نتيجة الفساد من أجل خلق طين جديد. الظروف الطبيعية لدورة التشكيل-النقل-التراكم-الدفن-العودة إلى السطح تفضي إما إلى خليط من المعادن ذات الأصول المختلفة أو إلى حقول نقية جدًا وهي نادرة للغاية. بالرغم من دراستها بالتفصيل من قبل الجيولوجيين، فإن المعادن الطينية ظلت مدة طويلة غير معروفة لدى خبراء علم المعادن وخبراء علم البلوريات. وقد ساهم مخبر المعدن التابع للمتحف الوطني للتاريخ الطبيعي في باريس إلى حد كبير في دراسة هذه العلوم تحت إشراف البروفيسور لacroix). وبالفعل، فإن علم معادن الطين لم يُفهم بصورة مرضية إلا في الثلاثينات من القرن الماضي، وذلك بفضل تطور:

- تحاليل كيميائية وأبحاث حول الروابط الكيميائية (كايير 1933 Caillère، بولينج 1930 Bolingue)؛
- تحاليل حرارية (ماكنزي 1957 McKenzy)؛
- تحاليل عن طريق انعطاف الأشعة السينية خلال الأعوام 1930-1950؛
- تقنيات القياس الطيفي (سبكترومتر) وبشكل خاص تحت الأشعة الحمراء.

يمكن التعرف على أي مادة طينية من خلال بعض اللدونة في حالتها الخام. بعض الطين الطبيعية قد تفي المواد بالموصفات المطلوبة للاستخدامات الصناعية بدون معالجة أو مزج مع المواد الخام الأخرى. قد يكون طين آخر مكونًا بسيطًا أو مزيجًا معقدًا من المواد الخام المختلفة. تتطلب المواد الخام الطينية الأخرى معالجة بسيطة أو معقدة لإزالة الملوثات أو المعادن غير الطينية. كما يتطلب تقييم مورد الطين غير المطور سلسلة من الفحوصات والتقنيات التي يمكن لمستخدمي الطين من خلالها التحرك تدريجيًا نحو تحديد الاستخدامات الأكثر ملاءمة للمادة. المراحل الثلاث المعنية ملخصة أدناه:

- المرحلة الأولى: الفحص، وتتكون من الخطوات التالية:

- الخطوة الأولى: اللون؛
- الخطوة الثانية: تحليل حيود الأشعة السينية؛
- الخطوة الثالثة: التحليل الكيميائي؛
- الخطوة الرابعة: التحليل المعدني؛
- الخطوة الخامسة: توزيع المعادن مع حجم الجسيمات.

- المرحلة الثانية: الاختبار الأولي للخصائص الصناعية:

- الخطوة المهمة فيها هي وضع جدول الخصائص الصناعية.

- المرحلة الثالثة: الاختبار التطبيقي.

الاستنتاجات

تنقسم استخدامات الطين إلى فئتين عريضتين متناقضتين. يُستخدم الطين بسبب خموله واستقراره. مجموعة كبيرة ومتنوعة من الاستخدامات الصناعية ترتبط أيضا بالخصائص الريولوجية الفريدة للطين والمعادن الطينية. يُستخدم الطين بسبب تفاعله ونشاطه المحفز. في القسم التالي، تتم مناقشة عائلات الطين المختلفة من حيث التطبيقات الخاملة أو التفاعلية وخصائصها الريولوجية الفريدة. في كثير من الحالات، يتم تعديل أنواع الطين المختلفة لتلبية المواصفات المطلوبة.

4. أهم التطبيقات

لقد أظهرت التجربة مدى أهمية أدوار الطين والمعادن الطينية لصحة الإنسان ونوعية الحياة. الطين هو واحد من أقدم المواد الأرضية التي استخدمها البشر لأغراض الشفاء منذ العصور القديمة. واستمرت استخدامات الطين عبر الحضارات الرومانية والبيزنطية والعثمانية حتى عصر النهضة عندما ظهرت النصوص الأولى لما يسمى دستور الأدوية. في القرن الثامن عشر بدأت الثورة الصناعية الأولى في بريطانيا العظمى وبالضبط في 1760، حيث كانت وفرة خامات المعادن (الحديد والقصدير والنحاس)، والفحم، والطين، واحتياطيات المياه عالية الجودة، العوامل الدافعة للتقدم الكبير الذي تم تحقيقه في كل من العلوم والتكنولوجيا، لا سيما في الكيمياء والصيدلة. ثم، أفسحت طرق إنتاج الحرف اليدوية المجال لطرق استخدام الآلات.

استفادت الكيمياء والصيدلة من التطورات الهامة التي تم تحديدها على أنها ثورة الكيمياء الجديدة أو الكيمياء والصيدلة الجديدة أو الثورة الصيدلانية. لم يظهر مفهوم الصحة العامة، والاهتمام بالنظافة العامة والسيطرة الضرورية على التهديدات الصحية الناتجة عن التصنيع السريع والتحضر، إلا في أواخر القرن الثامن عشر والقرن التاسع عشر، وبشكل أساسي في القرن العشرين، حيث تم استخدام مخاليط الطين/المياه المعدنية ذات المحتويات الصلبة المختلفة بغزارة في أوروبا.

في مجال الصحة البشرية (وحتى الحيوانية والنباتية)، يجب أن نتساءل عن التداخل الحاصل بين الطين والكائنات الحية العديدة في كل الأوقات. إن معرفة آليات التداخل بين الكائنات الحية والطين بقيت تجريبية إلى غاية القرن العشرين، لأنه لم تكن هناك دراسة علمية سليمة متوقّرة، ولا حتى ممكنة. الأطباء اكتسبوا تدريجياً، ثم نشروا، علماً معترفاً به، غير أنه لم يتم تجديده لغياب منهجية تحليلية فعّالة. بطريقة تدريجية، مكّنتنا الكيمياء والفيزياء من قياسات كمية، حملت معها الدليل على البنية البلورية المعدنية للطين (تنظيم الذرات في شبكة منتظمة). منذ ذلك، تطوّر الأبحاث أصبح سريعاً جداً، في البداية في الميدان الصناعي، ثم في ميدان التفاعلات في السطح البيولوجي، الأقل سهولة في الدراسة. بالمقابل، هذا التطور العلمي لم يتمكن من الوصول إلى كلّ الأشخاص المعنيين باستعمال الطين. وبالتالي، فالعديد من التداخلات تبقى حتى الآن كلّها تجريبية، لا يمكن برهنتها وفي بعض الأحيان تكون خطيرة.

في المستحضرات الصيدلانية والمنتجات الصحية والعلاج التجميلي، يتم استخدام معادن الطين لأغراض علاجية ولتأثيرها المفيد على صحة الإنسان. في تركيبات المستحضرات الصيدلانية، تستخدم هذه المعادن في (الجهاز الهضمي، مضادات الحموضة المضادة للإسهال، واقيات الأمراض الجلدية، مستحضرات التجميل) والسواغات (قواعد خاملة، أنظمة توصيل، مواد تشحيم، مستحلبات). في المنتجات والجمال، تُستخدم معادن الطين العلاجية في العلاج الجيولوجي، والعلاج بالبيلوثيرابي، والبارامود، لعلاج الأمراض الجلدية، وتخفيف آلام التهابات الروماتيزمية المزمنة، ترطيب البشرة، ومكافحة الحثل الشحمي المضغوط والسيلوليت. ومع ذلك، يمكن أن يكون لمعادن الطين أيضاً تأثير سلبي على صحة الإنسان عندما يتم استنشاقها على مدى فترة طويلة جداً. يمكن أن تسبب معادن الطين أمراضاً في الرئة، مثل السرطان أو التهاب الرئة.

الاستخدام الداخلي

وفقًا لإحدى النظريات، "في المعدة، تجذب الشحنات الكهربائية السالبة لجزيئات الطين الصغيرة السموم المشحونة إيجابيًا من سوائل المعدة. يمنع هذا التكتل الجسيمات الصغيرة جدًا، مثل الجزيئات السامة، من المرور عبر جدران الأمعاء ودخول مجرى الدم". تستخدم العديد من الأدوية أيضًا طين الكاولينيت، الذي كان منذ فترة طويلة علاجًا تقليديًا لتهديئة اضطراب المعدة. أيضًا، تم استخدام الكاولين كمادة فعالة في الأدوية السائلة المضادة للإسهال.

استخدام من قبل برنامج الفضاء ناسا

تمت دراسة آثار انعدام الوزن على جسم الإنسان من قبل وكالة ناسا مرة أخرى في ستينيات القرن العشرين. أظهرت التجارب أن انعدام الوزن يؤدي إلى استنزاف سريع للعظام، لذلك تم البحث عن علاجات مختلفة لمواجهة ذلك. طلب من عدد من شركات الأدوية تطوير مكملات الكالسيوم، ولكن يبدو أن أيًا منها لم يكن فعالًا مثل الطين. أظهرت عدة دراسات أن استهلاك الطين يقاوم آثار انعدام الوزن. وذكرت أن "الكالسيوم في الطين ... يتم امتصاصه بشكل أكثر كفاءة ... يحتوي الطين على بعض العوامل أو العوامل الأخرى غير الكالسيوم التي تعزز تحسين استخدام الكالسيوم و/أو تكوين العظام".

أفضل نوع من الطين لاستخلاص السموم غير المرغوب فيها وتحقيق أكبر فائدة صحية هو طين الكالسيوم والبنونيت. يحتوي على درجة حموضة تبلغ حوالي 9.5 (قلوي جدًا)، وقد ثبت مرارًا وتكرارًا أن له أفضل الخصائص الامتصاصية.

يجب من الآن شرح بقوة حقيقة أنه بالنسبة للكائنات الحية، ليست جميع أنواع الطين صالحة "للعلاج" ولا تمنح كلها إلا المحاسن، حتى وإن كان لبعضها خصائص مفيدة في بعض المواضع المحددة. يمكن أن يكون بعضها ضارًا أو مؤذيًا، بل إن البعض منها عظيم الخطورة: هذا هو حال الكريزوتيل، الفيلوسيليكات الداخلة في تركيبة الأميونت، وهو عبارة عن مادة صناعية مفيدة جدًا من الناحية التقنية، لكنها مسببة لسرطان على الغشاء الرئوي نظرًا للتركيبية الليفية للجزيئات.

5. خبايا وميكانيزمات تطبيقات المعادن الطينية

هناك عدة طرق لتقديم خصائص الطين، سوف نستعمل طريقتين مختلفتين أساسيًا. إتهما تركزان على مصطلحي النظام وعدم النظام، اللذين يعتبران حالتين كبيرتين مستقرتين أساسيتين بالنسبة للمادة. إن لجزيئات الطين خاصية ميكروبلورية، وجه الباحثون تفكيرهم بسرعة، إلى البدء باستغلال الحالة البلورية التي هي مبنية على النظام. في مرحلة ثانية، منحوا دورًا أكبر أهمية للميكرو جزئية نفسها، لهذا بدأوا بفهم خصائص بعض المجموعات التي تجمع عددًا كبيرًا من جزيئات الطين: وبالتالي فإن خاصية فقدان النظام هي التي تم أخذها بعين الاعتبار. الطين المكوّن من بلورات ميكروسكوبية يقبل بالدخول في وسائل النمذجة في مجال الرياضيات المستعملة في الحالتين الفيزيائيتين: النظام وعدم النظام، الذي لا يعني بأنه يتعلق بمهمة سهلة ولا بأنّ النتائج يمكن تحويلها بسهولة من السلم الميكروسكوبي إلى السلم الماكروسكوبي.

من الواضح أنّ الطين يستجيب في آن واحد إلى خاصيتين مختلفتين لهما علاقة بمجال الأبعاد. النظام يتواجد في السلم الميكروسكوبي، وانعدام النظام يظهر في السلم الماكروسكوبي. إنّ التعريف بسلم التفصيل أسامي بسبب تواجد منطقة حدودية بين السلمين، ممّا يجعل من كلا الجانبين تظهر خصائص مختلفة، التي من الصعب أن نجد لها رابطًا لفهمها. يجب دائمًا تقديم تطبيقات يمكنها التعبير وشرح أيّ من هذه المجالات، وفي بعض الأحيان بمساعدة الخصائص الخاصة بهذين المجالين. هذا الثنائي النظام/عدم النظام يقودنا إلى التمييز بين نوعين كبيرين من الميكانيزمات التي تقودنا إلى تطبيقات علاجية للطين.

إنّ حالي النظام وعدم النظام تمثّلان حقيقة الطبيعة: بين الاثنين، تكيف المادة يسمح بمواجهة وضعيات متطورة وسطية، في معظم الأحيان عكوسة وغير مستقرة. إنّ المواد الطبيعية بحاجة إلى عناصر تحافظ على توازنها حتى تبقى ديناميكية مع مرور الوقت، ولكن وحتى يتمّ تجديدها، يجب أن يكون لديها نظام مرّن كفاية ومتكيف. إنّ العناصر الطينية تظهر هاتين الميزتين. فهي منتظمة بشكل جيّد في هيكل ذري، ممّا يمكّنها من مقاومة هجمات الزمن، في بعض الأحيان لملايين السنين، وحتىّ للميارات السنين. على الرغم من هذا، فإنّ جاذبيتها الكبيرة للماء، ووجود بعض الخلل الموروث من نشأتها، يسمح لها بالتكيف بشكل سري، وبدون تأثير على مركبات أخرى. لهذا، فمعظم خصائص الطين الفيزيائية والكيميائية تحقّق تفاعلات التجمع، بالامتصاص أو الامتزاز، والتبديل. إنّ قدرتها الكبيرة على الامتصاص تسمح لها بإصاق العديد من المركبات (الكاتيونات أو الجزيئات)، التي يعتبر البعض منها سامًا، ممّا يسمح باستعمالها في الميدان العلاجي، وخصوصًا في مجال الجهاز الهضمي.

نقطة أساسية لفهم ميكانيزمات عمل العناصر الطينية وتركيبها الأيونية وارتباطها مع أيونات تعويضية تبديلية أو جزيئات حركية، في معظم الأحيان تدخل في أهم عمليات التبادل اللآزمة والمستعملة في العلاج. عندما يكون الطين على اتصال بمادة بيولوجية (من المحتمل أن تكون حية) يحدث لقاء لعالمين وطريقتين للوجود مختلفتين تمامًا، مما ينتج عنه ميلاد خصائص وتطبيقات جدّ غنية. لفهم طريقة عمل الطين، يجب الأخذ بعين الاعتبار قابلية الدائمة للتغيير، التطوّر، التكيف وإيجاد توازن أفضل.

المخلوقات والكائنات الحية مدركة حسيًا وحساسة، وبعضها واعٍ. دراستنا لا يمكنها أن تغضّ النظر عن هذا المجال الحسي والبسيكوحسي، الجدّ خاص، للاتصال ما بين كائن حي واعٍ والطين. إن الكائنات الحية العليا، لديها بالإضافة إلى هذا إمكانية ضبط إجابتها لفهم معين. إنّ عبارة "الطين اللين" تأخذ هنا بعدًا حقيقيًا جدّا: إنّنا نردّ بطريقة جيّدة عندما نكون بحالة جيّدة. هو نوعٌ من التكافل في علم الأحياء ما بين الطين والجسم تم تحقيقه. باشتراكه مع الماء، وعند درجة حرارة ملائمة، يكتسب الطين هذه الخاصية الإضافية بالتأثير أيضًا على الإدراك الحسي على التواجد.

بطبيعة الحال، غياب المعارف العلمية يجعل بعض الكتاب يضعون أسبابًا لبعض الأفعال من دون أي شرح محكم. غير أنّ هذا لا يعني منذ البداية بأنّ ملاحظاتهم غير مبنية على أسس صحيحة: إنّ الميزات المعمول بها هي التي يجب أن تكون أكثر دقة. إنّنا اخترنا أربعة أمثلة من الكتب العلمية، ولكن هناك العديد من الأمثلة الأخرى:

أ. الخصائص المشعّة للطين: الفيلوسيليكات بطبيعتها ليست لديها هذه الخصائص. غير أنّ الطين، ولكونه ينشأ خصوصًا من تحلل لصخور السيليكات، فإنه خاضع لقوانين تحلل الصخور، وبالتالي يمكنه في بعض الأحيان أن يختلط بمركبات تحتوي على اليورانيوم متواجدة بنفس الصخور، والتي تمتلك الخاصية المشعّة. لأنّ هذه المركبات تكون منقسمة إلى أجزاء جدّ صغيرة، يمكن بصعوبة تفريقها عن الطين، في كلّ الأحوال ليس بطريقة طبيعية. في هذا الاتجاه، فإنّ المنتجات التجارية يمكن أن تكون حاملة لقدر جدّ ضعيف من الإشعاع (يجب ملاحظة بأنّ مستوى الإشعاع نادرًا ما يتمّ قياسه ووضعه على الأغلفة).

ب. الخصائص المغناطيسية التي يتمّ الحديث عنها كثيرًا، في معظم الأحيان ليست تلك الخاصّة بالطين، إنها تنتج في الواقع من تواجد جزيئات لمركبات معدنية مغناطيسية مختلطة بها.

ج. في معظم الأحيان، يدرج الطين على كونه "يحوي خصائص" مضادة حيوية أو معقمة. لا يملك الطين هذه الخصائص، لكن نظرًا لطبيعته المتكوّنة من صفحات ورقية، فإنّه يمكن أن يشكّل حاجزًا منيعًا خصوصًا للماء والهواء. من الظاهر بأنّه يمكنه حماية الجسم من الاتصال بوسط ملوث ويمنع الأوكسجين من الوصول إلى سطح منطقة عفنة مانعًا تطور بعض الكائنات الحية الدقيقة. إنّ خاصية أخرى تسمح له عن طريق الامتزاز، من تثبيت

جزيئات هي حقاً "مضادة حيوية" ولكنها ليست سوى شريكة للطين. إن الاختلاط في هذه الحالات ناتج دائماً من جهل لميكانيزمات معقدة، التي من الواجب تحليلها حالة بحالة، دون تعميمها.

د. إن ألوان الطين تعتبر في معظم الأحيان دليلاً تجارياً جدهام، إنها ليست متعلقة بخصائص الاستعمال وهي ليست أبداً سبباً للمنع.

النية ليست محاربة هذه الأشكال الغامضة، ولكن المشاركة في فهم أحسن للواقع حتى نتمكن من استعمال جيد للطين بفضل فهم ميكانيزمات تشكيله وبالتالي مفعوله. إن المشاكل تأتي من الخصائص الميكروسكوبية لمختلف المعادن الموجودة علماً بأن الأبحاث العلمية تمكّنتنا بشكل تدريجي من شرح أكثر صحة لخصائصه. بفضل النتائج التي أظهرها على الأحياء، فإنه سمح بتوجيه البحث التحليلي وفتح آفاق جديدة علمية. ملخص القول، دراستنا، ليست موجهة نحو مجادلة مستهدفة للأمور غير المثبتة، ولكنها جاءت لتجعل لها مكاناً في مجال المعارف العلمية المعترف بصحتها. بطبيعة الحال، بإمكانها التطور، موجهة بعزم نحو استعمال موسّع لهذه المعادن الجدد خاصة.

خلاصة

إننا نعلم منذ حوالي عشرة آلاف سنة، العديد من الاستعمالات التقليدية للطين. يستخدم الطين والمعادن الطينية على نطاق واسع في مجموعة واسعة من التطبيقات الصناعية. توضح هذه المراجعة للتطبيقات التقليدية لمعادن الطين مدى التنوع العظيم في تركيبات وخصائص معادن الطين والنطاقات الأوسع من العمليات والمنتجات التي يمكن استخدامها فيها. يمكن استخدام معادن الطين في حالتها الطبيعية (الخام)، كمواد غير نقية منخفضة التكلفة بسبب خصائصها الهندسية والفيزيائية و/أو الكيميائية.

ينعكس تنوع معادن الطين أيضاً من خلال استخدامها في تكوين وإعداد مركبات الطين والبوليمر غير العضوية. المواد الهجينة العضوية هي موضوع بحث مكثف بسبب إمكاناتها الهائلة للتطبيقات الجديدة. في الوقت الذي ينتج فيه العلم والتكنولوجيا مواد رائعة ومفيدة، فإنّ الطين ينجح دائماً في التواجد بطريقة لافته للأنظار بالرغم من قدم استعمالاته. كلّ مجالات الاستعمال معنية بهذا من أعمال الهندسة المدنية وصولاً إلى التكنولوجيا النانوية. في الطرف الآخر من الطيف. تلعب معادن الطين المكررة عالية النقاء دوراً متكاملاً في أعلى الإنجازات التكنولوجية للإنسان بما في ذلك كبسولات الفضاء، والمواد الذكية والمستحضرات الصيدلانية.

تنويه: نُشر الجزء 1 من المقال في مجلة بشار العلوم، العدد 9، جانفي 2024.

<https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n9/article9-13.pdf>

نُشر الجزء 2 من المقال في مجلة بشار العلوم، العدد 10، أفريل 2024.

<https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n10/article10-2.pdf>

نُشر الجزء 3 من المقال في مجلة بشار العلوم، العدد 11، جويلية 2024.

<https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n11/article11-7.pdf>

المراجع

[1] عثمانين غازي، محمد خوجة، الطين والصحة خصائص وعلاجات. ترجمة الكتاب من الفرنسية إلى العربية. ميشال روتيرو، نيكول ليفينج، سالسو جومس ومحانااز كاتوزبان صفادي، دار الخلدونية، الجزائر، 2023.

- [2] Bergaya, F., Lagaly, G., General Introduction: Clays, Clay Minerals, and Clay Science. In Developments in Clay Science, Elsevier, Oxford, Chapter 1, 2006, pp. 1–18.
- [3] Bernal, J.D., The physical basis of life. Proceedings of the Physical Society Section A 62, 1949, 537–558.
- [4] Caillère, S., Contribution à l'étude des minéraux des serpentines, Thèse de doctorat d'Etat es sciences, Muséum National, Paris, 1933.
- [5] Ferris, J. P., Montmorillonite catalysis of 30-50 mer oligonucleotides: Laboratory demonstration of potential steps in the origin of the RNA world. Origins of Life and Evolution of the Biosphere, 32, 2002, 311-332.
- [6] Grim, R., Applied Clay Mineralogy. McGraw-Hill, New York, 1962.
- [7] Rautureau, M., Gomes, C.S.F., Liewig, N., Katouzian-Safadi, M., Clays and Health: Properties and Therapeutic Uses. Springer International Publishing AG, Switzerland, 2007.

