

La physique des grains

Entretien avec Romain Anger et Lætitia Fontaine

C'est une démarche quasi unique au monde : le laboratoire CRAterre comprend une équipe scientifique qui étudie, en partenariat avec l'Institut national des sciences appliquées (Insa) de Lyon, la physique et la chimie des grains et des argiles pour mieux comprendre, à l'échelle de la construction, les propriétés du matériau terre. Une façon de s'approprier un champ d'études traditionnellement réservé au génie civil et à la mécanique des sols. Rencontre avec Romain Anger et Lætitia Fontaine, deux physiciens qui mènent des actions de vulgarisation auprès des architectes comme du grand public.

EcologiK : Qu'est-ce qui fait tenir un mur en terre ?

Romain Anger et Lætitia Fontaine : La terre est un matériau constitué de grains – les sables, graviers, cailloux, silts – agrégés par de l'argile, son « ciment ». Mais à l'échelle nanoscopique, l'argile est elle-même constituée de plaquettes, invisibles à l'œil nu, reliées entre elles par des ponts liquides. L'eau est donc son véritable liant. C'est un résultat fascinant lorsqu'on sait qu'elle est aussi son ennemi par son pouvoir de la transformer en boue ! La cohésion est plus précisément assurée par la combinaison entre diverses forces, dues à la présence d'eau et d'air.

EK : Quel sont les avantages d'un béton d'argile comparé à un béton de ciment ?

RA et LF : La grande qualité physique de la terre est sa totale recyclabilité. En fin de vie d'un bâtiment, elle peut soit être broyée et mélangée de nouveau à l'eau pour fabriquer un matériau neuf, soit retourner à la terre sans laisser de traces. Une autre de ses qualités réside dans son inertie thermique, qui provient de l'eau piégée entre les argiles. Au fur et à mesure de la journée, les transferts évaporation-condensation correspondent à des échanges de chaleur. La terre suit le même principe que la transpiration, qui nous aide à garder une température constante quand celle de l'extérieur augmente. Les variations sont écrêtées. Ni la brique cuite ni le béton ne possèdent cette qualité. Finalement, la terre constitue un matériau à changement de phase (MCP) naturel ! Pour les MCP industriels, des billes de paraffine sont injectées : lorsque

cette cire fond – entre 23 et 26 °C –, l'échange de chaleur augmente l'inertie thermique globale. Dans le cas de la terre, l'eau naturellement contenue dans la masse s'évapore ou se condense, donc change de phase, en fonction des variations thermiques.

EK : Que se passe-t-il alors quand un mur sèche ?

RA et LF : Il ne sera jamais absolument sec, il restera environ 1 % d'eau, une quantité qui varie à la fois au cours de la journée et de l'année. Il subsiste donc toujours des molécules d'eau autour des plaquettes d'argile, quelles que soient la température et l'hygrométrie du lieu où l'on se trouve. Pour la faire disparaître définitivement, il faudrait chauffer la terre à environ 300 ° Celsius. Quant à l'air, la compression le chasse entièrement du matériau lors de la fabrication du pisé, alors que l'eau remplit toute la porosité. Un test mécanique appliqué à un mur tout juste décoffré donnerait une valeur relativement faible. Toute la solidité et la résistance de l'édifice vont se constituer en séchant, lorsque la majeure partie de l'eau sera évaporée et remplacée par de l'air, faisant apparaître des ponts capillaires qui apportent de nouvelles forces de cohésion.

EK : Comment se prémunir des risques de dégradation ?

RA et LF : La principale menace concerne la sensibilité à l'eau et à l'érosion. La manière la plus évidente de s'en prémunir est de « soigner » l'architecture – des fondations jusqu'aux débords de toitures. La deuxième manière consiste à réaliser des enduits de protection, à la chaux principalement ; la troisième consiste à stabiliser la terre, c'est-à-dire à la transformer en un matériau plus résistant, ne craignant pas l'eau. Le plus souvent – et c'est à éviter autant que possible selon nous – en mélangeant la terre à la chaux ou au ciment, dans des proportions

En ajoutant ne serait-ce que de très faibles quantités de stabilisants naturels, il est possible de décupler la résistance initiale de la terre.

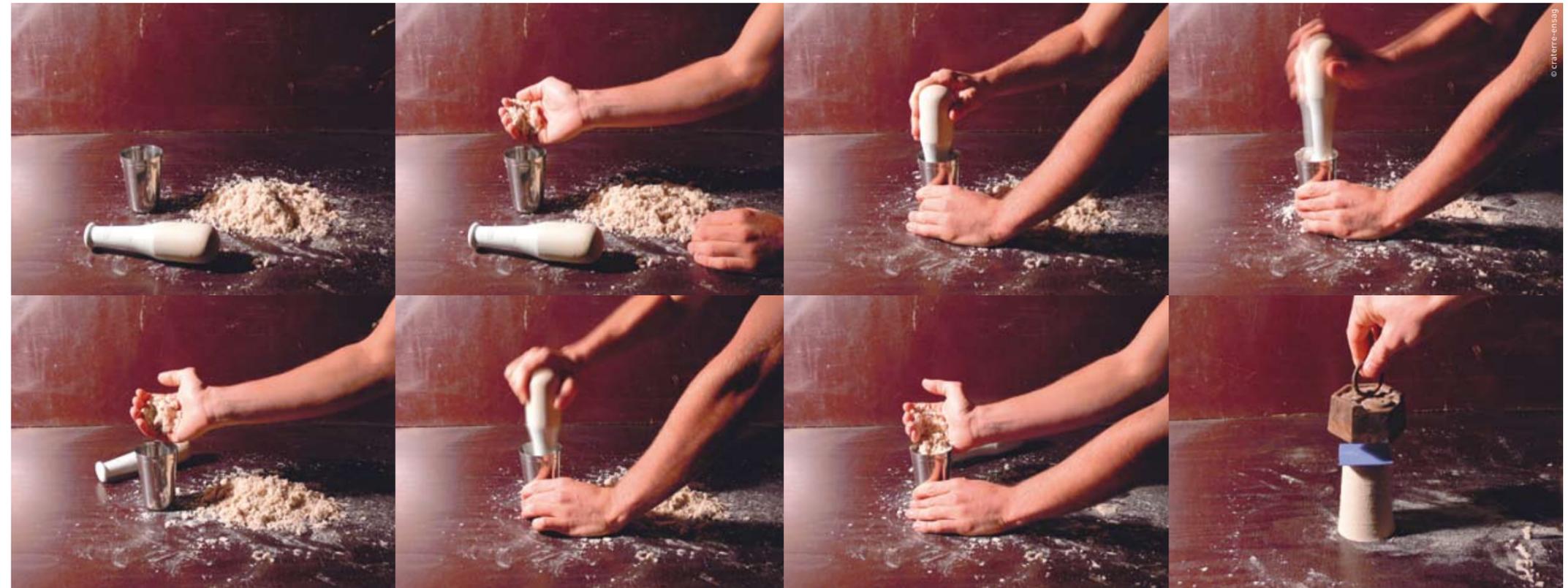
réduites, de l'ordre de 3 à 5 %, ou sinon en utilisant des systèmes de stabilisation naturelle, dans lesquels des produits naturels organiques sont ajoutés. Des recettes existent dans tous les pays. Les plus classiques sont le blanc d'œuf, les décoctions de plantes ou la caséine.

EK : Quelles sont les pistes de recherche ?

RA et LF : Des chercheurs de l'Université de Mopko, en Corée du Sud, obtiennent avec la terre des performances analogues au béton de ciment. Pas au niveau du gain de résistance mais sur des propriétés de texture telles que celles des produits de type béton autonivelant. Les scientifiques ont trouvé des additifs qui facilitent ainsi la mise en œuvre de la terre et offrent un important gain de temps. Les principes physiques en jeu sont identiques à ceux des super-plastifiants (ou réducteurs d'eau, dispersants), mais nous n'avons pas accès aux formulations utilisées par le laboratoire en question.

EK : Le CRATERre travaille-t-il sur ce type d'innovations ?

RA et LF : Nous avançons sur deux axes de recherche : la liquéfaction de la terre sans ajout d'eau et une meilleure compréhension des stabilisants organiques. L'intérêt du premier axe est de pouvoir utiliser des outils de malaxage moins robustes, moins lourds, comme de simples bétonnières, facilitant sa mise en œuvre. Quant aux stabilisants organiques, il s'agit en fait d'un travail portant sur les colles naturelles. Nous substituons à l'eau un autre « agglomérant », constitué de molécules de très grande taille capables de relier plusieurs particules d'argile entre elles, une technique appelée le pontage. Ces « spaghettis » microscopiques se fixent à plusieurs particules à la fois et adhèrent plus fortement. L'École nationale des travaux publics de l'État (ENTPE Lyon) a réalisé des essais spectaculaires en étudiant la caséine mélangée à une terre de la région Rhône-Alpes : en n'ajoutant qu'1 à 2 % de caséine, elle a obtenu une résistance de 10 mégapascals (MP). C'est énorme ! Le résultat se rapproche de celui des bétons, qui se



L'expérience de ce château de sable permet de comprendre l'intérêt du compactage progressif du pisé. Le contenu d'un gobelet tassé en une fois à la main ne résiste pas, une fois démonté, à un poids de de 500 g. Mais s'il est rempli petit à petit en compactant de fines couches de sable, les unes après les autres, à l'aide d'un pilon, il supportera un poids de 3 kg !

situe entre 20 et 40 MP. En ajoutant ne serait-ce que de très faibles quantités de stabilisants naturels, nous parvenons à décupler la résistance initiale de la terre.

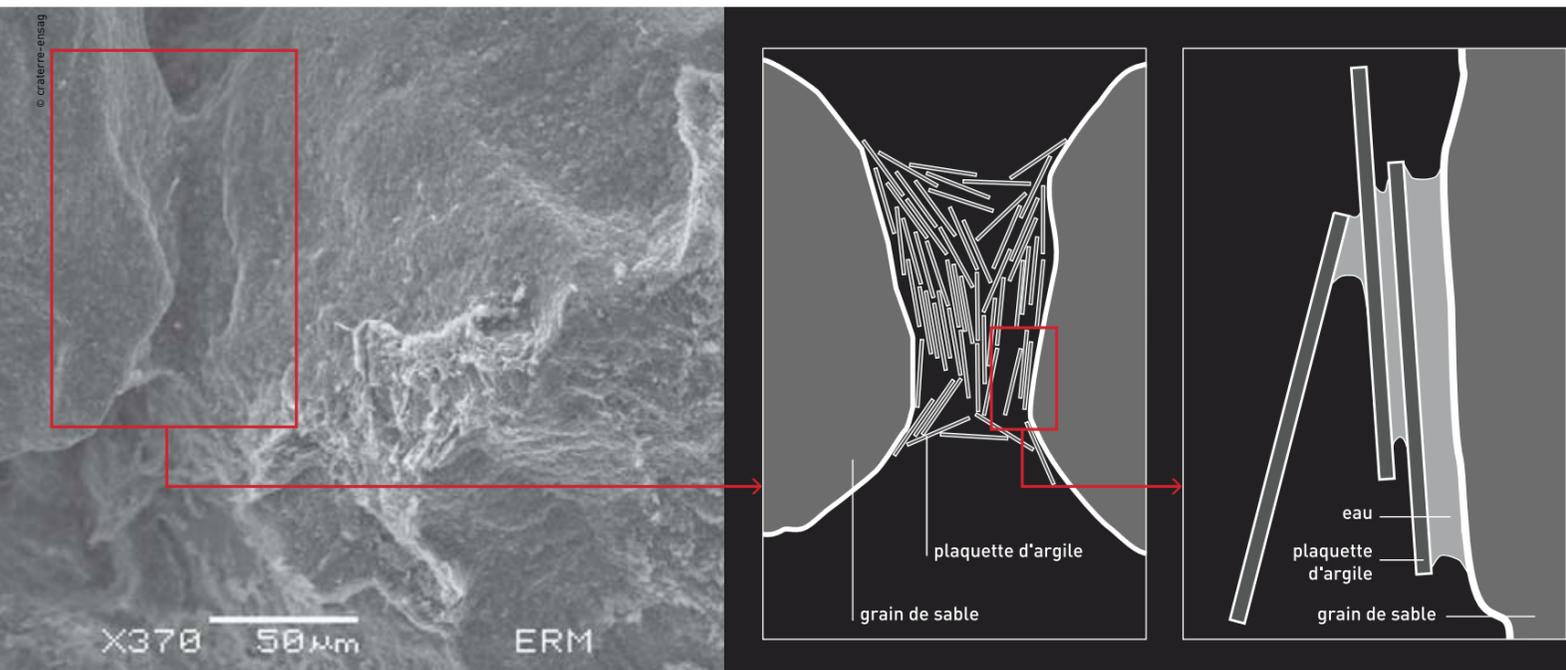
EK : Dans le livre *Bâtir en terre*, vous mettez en avant l'échelle nanométrique des argiles pour la comparer à d'autres matériaux ultra-résistants. Pourquoi ?

RA et LF : La science s'est très peu intéressée à la terre en tant que matériau de construction alors que tous ses composants – grains, argiles et eau – font partie des champs de recherche les plus en vogue. Avec les argiles, les industriels et les chercheurs aboutissent à des résultats extraordinaires comme la création de cristaux liquides, de nanocomposites argiles polymères, des matériaux hyper-résistants, très sophistiqués et dont la physique-chimie est désormais

La France prête à une normalisation de la construction en terre crue ?

Aujourd'hui, aucune règle professionnelle d'exécution n'est rédigée pour la construction en terre crue. Cette situation limite considérablement les projets des architectes et des entrepreneurs faute de pouvoir garantir la qualité des réalisations. Pour notre mission à Mayotte (voir p. 68), nous avons élaboré une norme pour les BTC en partenariat avec le CSTB et les acteurs locaux, mais ni le pisé, ni la bauge, le torchis, l'adobe ou les enduits n'ont bénéficié du même travail. L'Association nationale des professionnels de la terre crue (AsTerre) s'est donc manifestée et vient d'obtenir l'accord du ministère de l'Écologie pour formaliser les savoir-faire professionnels capitalisés depuis trente ans. C'est un grand pas en avant ! Un comité de pilotage comprenant plusieurs experts est déjà constitué et une version définitive définissant les bonnes pratiques est attendue pour 2010 ou 2011. Après le chanvre, la terre crue et la paille vont enfin bénéficier de règles professionnelles qui pourraient servir de base à l'élaboration d'un futur DTU.

Patrice Doat, architecte, co-fondateur du laboratoire CRATERre, professeur à l'ENSAG.



L'analyse de ce pont argileux reliant deux grains de sable, observé au microscope électronique, montre qu'il est constitué de particules solides liées entre elles par des ponts capillaires. Le véritable liant de la terre est donc l'eau.

connue. Malgré des milliers d'applications industrielles, ces connaissances ne sont pas du tout exploitées pour défendre les intérêts de la construction en terre et, par exemple, souligner sa résistance. Considérons la nacre : au microscope, sa structure est presque identique à celle des argiles. Seule la façon dont leurs plaquettes sont organisées les différencie. Dans ce matériau très résistant, toutes les matières sont alignées face contre face avec un mortier de molécules organiques naturelles qui lie l'ensemble. Depuis longtemps, les scientifiques rêvaient de la synthétiser. Pour cela, ils ont utilisé de l'argile et des molécules naturelles ! Autre exemple, l'hydrate de ciment, colle principale du ciment. Ces silicates de calcium hydratés (CSH) représentent des particules dont la structure atomique ressemble étonnamment à celle des argiles : des feuillets d'épaisseur nanométrique, séparés par un milieu dans lequel il y a de l'eau. Ces feuillets sont chargés négativement, des ions positifs se glissent entre eux et créent des interactions électrostatiques. Mais si elles sont défavorables dans le cas des argiles, elles créent des forces de cohésion énormes chez les CHS. Cette seconde comparaison sert à comprendre la nature fondamentale des matériaux, leurs différences infimes et leurs propriétés à l'échelle humaine : comment deux matériaux qui se ressemblent autant à l'échelle microscopique permettent, dans un cas, de faire des matériaux résistants comme l'acier, et dans l'autre, un matériau qui peut se transformer en boue dès qu'il est plongé dans l'eau ? Quand

on introduit du ciment ou de la chaux dans la terre, les argiles sont chimiquement attaquées, transformées, en ces fameux CSH. C'est une transformation lourde, énergivore et souvent absurde de la matière. Les nanosciences profitent de cette similitude pour transformer la matière de manière infime, avec beaucoup moins d'énergie et beaucoup plus de précision. Il s'agit d'une piste essentielle pour une utilisation intelligente du matériau terre. ☒

Propos recueillis par Clémence Mathieu

Romain Anger et Lætitia Fontaine sont ingénieurs-chercheurs au laboratoire CRAterre. Ils s'intéressent aux relations entre la microstructure et les propriétés macroscopiques du matériau terre. Ce sont les auteurs du programme « Grains de bâtisseurs », de l'exposition « Ma terre première, pour construire demain » à la Cité des sciences et de l'industrie et du livre *Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture* aux éditions Belin. Lætitia Fontaine est lauréate 2008 du prix « Pour les femmes et la science » L'Oréal-Unesco-Académie des sciences.