GALERIE EURÊKA

Le journal de l'expo…

Grains de bâtisseurs

construire en terre, de la matière à l'architecture

Une exposition co-produite par CRATerre-ENSAG
et les Centres de Culture Scientifique et Technique la Turbine et la Galerie Eurêka

du 15 septembre 2009 au 2 janvier 2010

L'exposition Grains de Bâtisseurs permet, grâce à des démonstrations et à des expériences interactives, de découvrir une matière commune qui nous réserve pourtant bien des surprises : la matière en grains.

Le journal de l'exposition fait donc le point sur cette étonnante matière. Après avoir découvert ses propriétés physiques particulières, nous verrons comment elle a de tous temps été utilisée dans la construction, et quels sont les avantages que nous avons aujourd'hui à la redécouvrir.

UNE MATIÈRE COMMUNE MAIS MYSTÉRIEUSE

Sables, cailloux, fruits, billes, légumes, épices, poudres, fumées… Les grains sont partout dans notre environnement, sous toutes les formes, de toutes les tailles et de toutes les natures. Et pourtant, le comportement de cette matière si commune est resté jusqu'à une époque récente méconnu.

Des grains, des grains, encore des grains…

90% de la surface de la terre est couverte de grains de tailles diverses comme les cailloux, les graviers, les galets ou encore les argiles. Le sable, plus particulièrement, est présent en grandes quantités dans les déserts, les plages et les fonds marins.

Nombre de phénomènes naturels, comme la formation des dunes, le mouvement des icebergs, les nuées ardentes ou encore les avalanches relèvent d'ailleurs de la physique des grains.

Les grains sont également omniprésents dans notre univers quotidien. Dans l'alimentation, ce sont aussi bien les fruits comme les oranges, les noix et les pommes, les céréales comme le riz, le blé et le maïs, ou encore les épices. Dans la construction, ce sont les graviers, le ballast de chemins de fer, le béton, le ciment et les pierres. Ce sont également les poudres pharmaceutiques, les fumées de cheminées ou les lessives en poudres.

La matière en grain est d'ailleurs le deuxième produit traité, utilisé et consommé par l'Homme, juste après l'eau. 70% des objets que nous utilisons sont passés, à un stade ou l'autre, sous forme de poudres ou de grains.

Tant d'énergie pour des grains !

Les grains représentent un enjeu économique et humain essentiel. 10% de l'énergie produite sur la planète est utilisée pour le traitement des grains.

Des secteurs aussi différents que l'agroalimentaire, la pharmaceutique, la cosmétique, l'industrie des matériaux de construction ou bien l'industrie chimique travaillent avec ces matériaux granulaires où la maîtrise de la physique des grains est indispensable.

Un nouveau domaine de recherche

Et pourtant, malgré son omniprésence et son utilisation dans de nombreux secteurs, la matière en grains a longtemps été considérée comme un matériau à faible valeur ajoutée. La physique des grains intéressait peu les industriels et ne reçut ni encouragements, ni appuis.

Quelques précurseurs

La physique des grains a toutefois bénéficié des efforts de précurseurs, tels que I. Roberts, Lord Rayleigh ou H.A. Janssen et bien d'autres encore.

La matière en grain était donc utilisée de manière intuitive, comme dans le ballast des chemins de fer, mais sans que ses caractéristiques particulières et son comportement soient réellement compris ou expliqués.

Cependant, dans les années 1980, les nouvelles technologies high-tech comme les céramiques, la pharmacologie, les polymères ou encore l'exploration spatiale avec la mise au point des carburants des fusées suscitèrent un nouvel engouement et des avancées remarquables dans cette branche de la physique. Après une vingtaine d'années de recherches actives, quelles sont les avancées

effectuées ? Que savons-nous aujourd'hui sur la matière en grain ?

DU GRAIN À LA MATIÈRE

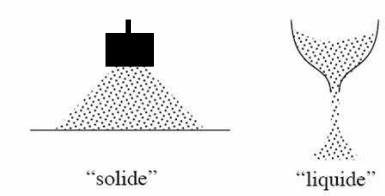
Les milieux granulaires possèdent des propriétés physiques particulières. Avant de rajouter de l'eau dans ces tas de grains, étudions déjà leurs propriétés à sec !

Les secrets des tas de grains

La forme d'équilibre de la matière en grains est le tas. Une forme en apparence simple, mais qui recèle bien des mystères !

Un quatrième état de la matière

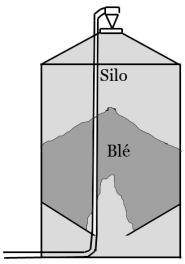
La matière en grains peut avoir le comportement d'un liquide ou d'un solide. En effet, au repos, sous la forme d'un tas, elle peut supporter de fortes charges, comme un solide. Mais si on la perturbe, elle s'écoule comme un liquide… Cela déconcerte tellement les scientifiques qu'aujourd'hui, ils n'hésitent plus à parler d'un quatrième état de la matière !



Chaînes de forces

En regardant de plus près un tas de sable, on s'aperçoit que certains grains se bloquent entre eux et forment de véritables chaînes de forces. Celles-ci prennent la forme d'un réseau d'arches provisoires qui dévie le poids et les autres efforts verticaux sur les côtés. Ces chaînes de forces sont responsables de nombreux phénomènes de blocage.

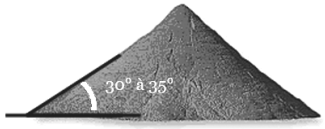
L'exemple du silo



Les grains sont souvent stockés dans des réservoirs, les silos. Lors de la vidange de ce réservoir, il se forme parfois une voûte au niveau de l'orifice, qui bloque totalement l'écoulement.

Angle de repos

Observez un tas de sable. Quelle que soit sa taille, sa pente reste la même. Son angle, appelé angle de repos, est en effet toujours compris entre 30 et 35°, selon les grains utilisés.

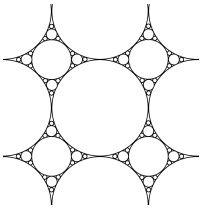


Du tas au paysage…
Volcans, terrains érodés, dunes de sable, de nombreux paysages sur Terre sont structurés par l' angle de repos.

L'angle au-delà duquel la pente du sable devient instable est appelé l'angle d'avalanche. Il est supérieur d'environ 2° à l'angle de repos. Les grains de sables de la surface s'écoulent alors pour ramener le tas de sable à son angle de repos.

Grains et vides

La matière en grains est toujours composée de grains et d'espaces vides. Mais un vide constitue une zone de faiblesse. Ainsi, dans un mur de terre, plus les matériaux sont constitués de grains de tailles variées et sont bien mélangés, moins il y a de vides et plus le matériau est solide.



empilement idéal de la matière en grain

Ce modèle géométrique idéal, appelé « empilement apollonien », permet aujourd'hui de réaliser des bétons aussi résistants que l'acier.

Ségrégation granulaire

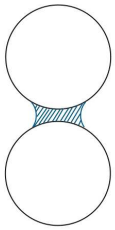
Le problème, c'est que des grains de différentes tailles ou de différentes formes se séparent lorsqu'ils sont mis en mouvement. Ce phénomène est connu sous le nom de ségrégation granulaire.

Cette ségrégation pose de nombreux problèmes aux industriels dont le métier est de mélanger des grains. Par exemple, les bétons constitués de ciment, granulat et adjuvant, pour être performants, doivent avoir été bien préparés, donc bien mélangés. À sec, dans une bétonnière, le sable et la poudre de ciment se séparent. Pour mélanger des grains différents, il est indispensable de les mouiller !

De l'eau pour construire

À sec, les grains prennent la forme d'un tas où ils s'empilent grâce aux forces de contact et de frottement. Avec l'eau, la force capillaire vient s'ajouter aux autres forces et le tas de sable devient château de sable.

En effet, une goutte d'eau entre deux grains de sable forme un pont appelé pont capillaire. Grâce à lui, l'eau colle souplement les grains.



Pont capillaire entre deux grains

Ce pont est lié à la tension superficielle de l'eau.

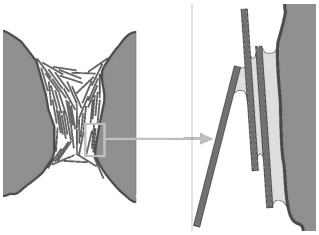
Mais attention ! Quand il y a trop d'eau, ces ponts sont noyés. Quand le sable est trop sec, les ponts ne sont pas assez nombreux pour maintenir une cohésion globale.

La physique du château de sable

Pour construire un bon château de sable, il faut ajouter la bonne quantité d'eau : ni trop, ni pas assez !

Cependant, quand le sable sèche, les ponts disparaissent et la physique du tas reprend ses droits. Donc, pas question d'habiter ces châteaux de sable ! Pourquoi alors les murs en terre ne s'effondrent-ils pas quand ils sèchent ? La terre employée dans les constructions est un mélange de grains qui vont du galet de 10 centimètres à des particules d'argiles de quelques millièmes de millimètres. Pour cela, elle constitue un excellent matériau de construction, un béton naturel et prêt à l'emploi.

Mais contrairement aux idées reçues, un mur en terre n'est pas totalement sec. Il contient toujours de l'eau entre les argiles. Le mur lui doit une grande partie de sa cohésion.



L'argile, le liant de la terre

L'argile enrobe et lie les autres grains de la terre. Mais elle est elle-même constituée de microscopiques grains plats collés les uns aux autres grâce à l'eau.

Ainsi, bâtir en grain revient finalement à lier durablement des particules de toutes tailles entre elles. Si les techniques récentes et en particulier les ciments modernes permettent des prouesses techniques et architecturales remarquables, leurs mises en œuvre et leur coût économique et environnemental sont à regarder de plus près. La terre, bien mélangée et mise en œuvre, peut, elle, répondre aux défis environnementaux de demain.

GRAINS ET BATISSEURS

La terre est le matériau de construction le plus ancien et le plus universel. Elle a pourtant presque entièrement disparu de la conscience du monde occidental. Il est donc intéressant de la redécouvrir.

Habiter en terre

Présente sur tous les continents, la terre a été utilisée dans la construction depuis la Préhistoire. Bien qu'elle se dégrade plus rapidement que la pierre, de nombreux vestiges ont été retrouvés, pour toutes les époques et de partout dans le monde. 17 % des constructions inscrites sur la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO sont d'ailleurs des oeuvres architecturales en terre.

Mais à l'ère moderne, les architectures de terre ont connu des sorts bien différents selon l'évolution économique et démographique des régions. Plus ou moins abandonné dans les pays développés après la Seconde Guerre Mondiale, ce matériau est encore très utilisé dans les pays en voie de développement. Environ 30 % de la population mondiale vit dans des constructions en terre. Seul le bois la concurrence dans les pays où il est abondant, au niveau de la ceinture équatoriale ou en Amérique du Nord.

En France aussi !
Les architectures de terre françaises sont d'une grande qualité.
Le Dauphiné et l'Avant-Pays savoyard, notamment, possèdent un patrimoine en terre exceptionnel.

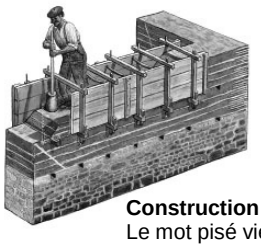
Quelques techniques

Il existe une infinité de techniques de construction en terre, chacune traduisant l'identité d'un lieu et d'une culture. En voici quelques-unes.

Le pisé

La terre utilisée est déversée dans des coffrages, les banches. Elle est très fortement compactée par fines couches à l'aide d'un pilon. Elle devient ainsi plus résistante et plus stable. Le mur est érigé progressivement par superposition de nombreuses couches de terre.

Cette technique très ancienne est attestée dès l'Antiquité chez les Phéniciens, les Carthaginois ou encore les Romains. En Occident, elle disparaît au Moyen-Âge avant de renaître au XVIIIe s., grâce aux travaux de l'architecte et entrepreneur lyonnais François Cointeraux. Elle est toujours très utilisée dans les pays en voie de développement.



Construction d'un mur en pisé
Le mot pisé vient du latin *pinsere*, qui veut dire tasser.

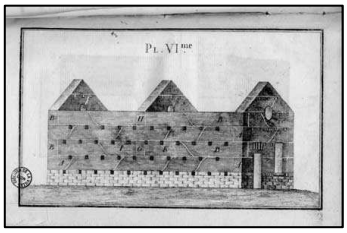


Planche de François Cointeraux (1740 - 1830)
Cet homme est le 1er théoricien de l'architecture moderne en terre. Ses 50 ouvrages sur la construction en pisé ont été traduits et diffusés dans le monde entier,

L'adobe

La terre est mélangée à de la paille, puis elle est mise à sécher au soleil dans des cadres parallélépipèdes. Assemblées avec un mortier de terre, les briques obtenues sont utilisées pour ériger les murs.

Ce procédé est également très ancien, à la base même de l'architecture mésopotamienne et égyptienne. Le terme adobe vient d'ailleurs de l'égyptien « thobe » qui signifiait « brique ». C'est aujourd'hui l'une des techniques les plus utilisées au monde, notamment en Amérique du Sud et en Afrique.

La bauge

La construction en bauge est une technique très simple. À l'aide d'une fourche, l'ouvrier dépose des boules de terre humide qui se collent entre elles. Un temps de séchage d'une à deux semaines est nécessaire pour pouvoir poser la couche suivante. Selon l'importance des bâtiments, la construction peut donc prendre de dix mois à deux ans, la terre n'étant jamais travaillée en hiver. Une fois le mur achevé, l'ouvrier en rectifie la surface en l'égalisant avec une bêche.

Cette technique de construction ancienne est répandue dans toute l'Europe, ainsi qu'en Afrique, en Asie et en Amérique.

Le torchis

Le torchis est une technique composite utilisant à la fois le bois et la terre. Les murs sont en effet constitués de poutre et de petits morceaux de bois, joncs, roseaux, bambous… et le tout est recouvert

de terre mélangée à des fibres animales ou végétales.

Déjà utilisé par les Celtes, le torchis a connu son apogée au Moyen Âge et est resté, dans les pays de langue germanique, un mode de construction très important jusqu'au XVIIIe siècle. Il reste aujourd'hui fort répandu dans les pays en voie de développement.

Le retour à la terre

Oubliée dans le monde occidental, plus ou moins délaissée dans les pays en voie de développement, la terre fait depuis quelques années un retour sur le devant de la scène architecturale, car elle présente de nombreux avantages.

Un moindre coût
La terre est un matériau naturel disponible en abondance dans de multiples régions du monde. Elle se situe donc très souvent à proximité directe du chantier, et peut même être obtenue pendant la construction, lors des travaux d'excavation et de fondation. De ce fait, elle n'implique ni achat, ni transport.

Pour les pays en voie de développement, c'est un avantage financier inestimable, surtout quand les chantiers de constructions sont éloignés et difficiles d'accès. De plus, en utilisant une ressource locale, ces pays réduisent leurs importations et donc leur dépendance économique et industrielle face aux multinationales.

Un confort thermique
Bien utilisée, la terre crue offre un confort thermique très apprécié en assurant une régulation naturelle entre les températures intérieures et extérieures.

En effet, dans les milieux soumis à de très fortes variations climatiques, elle freine la pénétration de la chaleur pendant la journée et la restitue utilement la nuit.
C'est également valable pour l'humidité, que la terre peut absorber et restituer en grande quantité, en maintenant un taux constant à l'intérieur de l'habitacle. Aucun autre matériau de construction ne possède ces avantages.

Un matériau écologique
Enfin, les constructions en terre sont écologiquement remarquables. En plus des économies d'énergie lors de la production (aucune transformation industrielle, aucun transport énergivore), la terre crue en permet d'autres, à l'usage, pour le chauffage et la climatisation. Rappelons enfin qu'elle ne produit aucun déchet et qu'elle peut être recyclée indéfiniment !

Elle apparaît donc comme une solution pour abriter une humanité enfin soucieuse de préserver son avenir lointain.

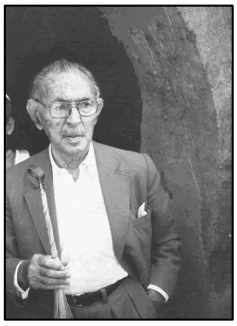
Résidence Salvatierra, Rennes

Achevée en 2001, cette résidence est classée HQE, à « haute qualité environnementale ».

Sa façade sud a été réalisée en bauge, selon le savoir-faire traditionnel du pays.

Aujourd'hui, la prise de conscience des potentialités de l'architecture en terre a commencé à se cristalliser. Les techniques traditionnelles sont étudiées et améliorées et de nouveaux procédés voient le jour, comme la « terre coulée », version moderne du pisé, ou encore les « blocs de terre comprimés », évolution de l'adobe.

Ainsi, beaucoup des projets architecturaux réalisés en terre au cours de ces dernières décennies, dans les pays industrialisés comme dans les régions en développement, donnent la preuve que l'architecture de terre répond pleinement aux attentes des populations, que ce soit en termes de solidité, de confort et de réduction de coût.



Le maître de la terre
Architecte égyptien, Hassan Fathy (1900 - 1989) a été l'un des premiers à défendre les qualités économiques et thermiques de la terre.

Contre-intuitive par excellence, la matière en grains nous surprend toujours et est encore loin d'avoir révélé tous ses secrets. Ce que l'on découvre aujourd'hui ouvre de nouvelles perspectives dans bien des domaines, et notamment en architecture où la terre offre des possibilités et des solutions étonnantes.

Peu onéreuse, abondante et souvent disponible sur place, la terre est en effet un matériau qui a toujours été utilisé par des peuples du monde entier. Mais aujourd'hui, à l'heure du développement durable, elle apparaît surtout comme une solution écologiquement remarquable.

Il était donc temps de la redécouvrir et de vous proposer, à travers Grains de bâtisseurs, un voyage au cœur de la matière en grains.

Document réalisé par l'équipe médiation de la Galerie Eurêka

Galerie Eurêka - C.C.S.T.I. de la Ville de Chambéry
Hôtel de Ville BP 1105
73 011 CHAMBERY cedex

tel : 04-79-60-04-25
e-mail : galerie.eureka@ccsti-chambery.org

Site Internet **: www.ccsti-chambery.org**