



Bâtir avec des grains

DOCUMENT ENSEIGNANT

La Cité des sciences et de l'industrie présente "Ma terre première, pour construire demain" du 6 octobre 2009 au 22 août 2010. Cette expo-manip permet de redécouvrir les vertus de la terre, matière à la fois traditionnelle et innovante. Les pages de réponses (à partir de la page 10) peuvent être remises aux élèves après la visite. Ce document peut être modifié pour être adapté au niveau des élèves.

Niveaux : Collège et Lycée (5^{ème} à la terminale)

Technologie - Physique - Architecture - Science de la vie et de la Terre

Science et art

Exposition : Ma terre première, pour construire demain

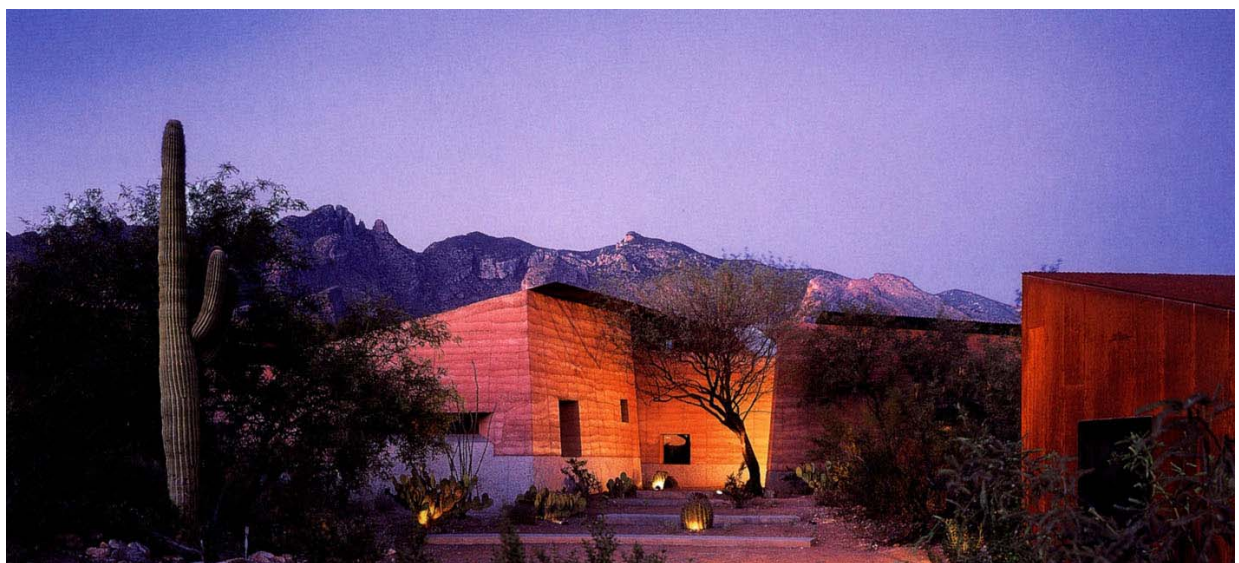
1h00



un lieu **universcience**

Bâtir avec des grains

DOCUMENT ÉLÈVE



Construction en pisé dans le désert de l'Arizona, reconnaissable aux lignes horizontales produites par cette technique de mise en œuvre. *Catalina House*. 1998. Architecture de Rick Joy.   Rick Joy Architects

La terre n'est pas la même dans le monde
Pour construire, l'homme utilise ce qu'il a sous la main
La composition de la terre va déterminer le type de construction
D'où la diversité des techniques et des matériaux



SOMMAIRE

I • Redécouvrir la terre	p 3
II • Expériences avec les grains	p 5
III • Techniques de construction	p 7
IV • Matière à recherche	p 8



Village de Haben, province de Shabwah, Yemen. Village partiellement construit en Terre (Adobe), les maisons blanches sont en ciment (parpaings), juin 2006 © Hatem YATOUJI/CSI



Greniers en terre façonnée en Pays Dogon au Mali.
© CRAterre-ENSAG

- 0 • 1 Le monticule de terre et le mur en pisé à l'entrée de l'exposition contiennent tous deux 1 m^3 de terre. Seule l'organisation des grains change. Combien trouve-t-on de grains dans 1 m^3 de terre ?
-

Les hommes utilisent la terre depuis des millénaires pour construire des maisons, y compris en France. Oubliée au profit du béton vers les années 30-40, elle a de nouveau le vent en poupe. Il est temps de redécouvrir ce que nous avons sous les pieds.

I • Redécouvrir la terre

Carotte de terre

- 1 • 1 On ne construit pas avec n'importe quelle terre. Le sol s'organise en différentes couches. Quelle terre le constructeur va-t-il choisir ?
-

- La terre située en surface, dite "végétale"
 - La terre intermédiaire, dite "minérale"
 - La roche mère en décomposition, sous la terre minérale
-

Collection de terres (Table)

- 1 • 2 Cette table parle de la diversité des terres. Comparez leurs couleurs et la taille des grains. Quel lien établissez-vous entre la terre rouge prélevée à Auroville (Inde) et celle de Pont-en-Royans en Isère (France) ?
-
-
-



Pavillon *Etoscha* du Zoo de Bâle en Suisse. Murs en pisé, réalisés par Martin Rauch. Architecture de Peter Steiner © Bruno Klomfar

Classification des grains (Table)

I • 3 Sur la table voisine, retrouvez cinq de ces terres, tamisées. La terre est composée de grains que l'on classe en catégories distinctes en fonction de leurs tailles. Le plus petit constituant est l'argile (diamètre inférieur à 2 microns). Les 4 autres constituants sont des débris de roches de différentes tailles. Quels sont-ils ?

*1000 microns = 1 mm ;
100 microns, c'est le diamètre d'un cheveu ;
10 microns, c'est la taille d'une cellule humaine

- ① _____ ou _____ (2 microns à 60 microns)
- ② _____ (60 microns* à 2 mm)
- ③ _____ (2 mm à 2 cm)
- ④ _____ (2 à 20 cm)

I • 4 Existe-t-il une terre idéale en construction ? Pouvez-vous argumenter votre réponse ?

Oui Non

I • 5 Une terre destinée à la construction doit contenir une quantité suffisante d'argile. Quel est son rôle ?

D'où viennent les grains ? (Film)

Les paysages sont en mouvement. Ce film raconte comment les roches se transforment en grains sous l'action des intempéries, de la végétation... Il relate le voyage de ces grains sur des milliers de kilomètres et leur transformation en roches sédimentaires. Le cycle des grains de la terre est donc sans fin. L'homme participe à ce cycle en construisant des maisons en terre qui redeviendront un jour des grains.



Construire en terre, c'est assembler des grains. Pour construire un mur en terre qui tienne debout, mieux vaut comprendre le comportement de la matière en grains, les propriétés de l'argile et le rôle de l'eau. Une vingtaine d'expériences vous attendent dans cette seconde partie de l'exposition.

II • Expériences avec les grains

Fluide ou solide ?

II • 1 Après avoir réalisé les 3 expériences proposées, vous diriez que la matière en grains se comporte comme...

un solide un liquide un gaz

La peur du vide !

II • 2 En construction, un vide constitue une fragilité. Il faut donc empiler les grains de la manière la plus compacte. La technique dite de l'"empilement espacé" consiste...

- à augmenter la proportion de grains fins
- à utiliser des grains de tailles variées
- à injecter dans les vides de la fumée de silice

Déviations des forces

II • 3 Dans un empilement granulaire, les forces se transmettent de grain en grain. Les lignes de force s'orientent vers...

le centre les côtés

II • 4 Ces chaînes de force sont un atout en architecture. Quelles structures permettent-elles de réaliser ?

II • 5 Selon ce principe, pour éviter l'éclatement des coffrages lors de la construction d'un mur en pisé, il faut superposer de minces couches de terre tassée.

Vrai Faux

Grains, le difficile mélange

II • 6 Pourquoi, au petit déjeuner, lorsque vous êtes le dernier à utiliser le paquet de Corn Flakes, vous n'avez droit qu'aux miettes ?



Casa Penalolen. 2004.
 L'architecte Marcelo Cortés au Chili réalise des maisons contemporaines en torchis. La structure en bois est remplacée par une ossature en acier.
 © Marcelo Cortés/SurTierraArquitectura

Eau, ennemie ou amie ?

II • 7

La terre est composée de milliards de milliards de grains qui tiennent ensemble grâce à l'eau. L'eau agit comme une colle. Elle prend la forme d'une caténoïde (aire minimale entre deux cercles) entre deux grains. Comment nomme-t-on les points de colle entre deux grains ?

Argile, ciment de la terre

II • 8

L'argile est le ciment de la terre. Elle enrobe et lie les grains entre eux. Elle est elle-même constituée de microscopiques grains...

- ronds plats
-

Forces électrostatiques

II • 9

Les argiles sont chargées électriquement, ce qui augmente le pouvoir collant des grains et assure en grande partie la cohésion de la terre. Les argiles comme la smectite (très chargées) ont une capacité d'absorption de l'eau plus importante que celles qui sont peu chargées, comme la kaolinite. Pour construire votre maison, quelle argile choisissez-vous et pourquoi ?

- la kaolinite la smectite
-
-
-
-



Dans la troisième partie de l'exposition, quatre modules se suivent pour présenter les techniques de mise en œuvre de la terre les plus répandues dans le monde : le pisé, l'adobe, le torchis et la bauge. Elles sont utilisées traditionnellement en France.

III • Techniques de construction

III • 1 Quelle est la technique de construction la plus rudimentaire, ne nécessitant aucun outil, juste les mains, la terre et l'eau.

le pisé l'adobe le torchis la bauge

III • 2 Les premiers "gratte-ciel" de l'humanité réalisés il y a 500 ans au Yémen (Cf. photo ci-dessous) sont en adobe. Cette technique consiste...

à tasser une terre humide dans un coffrage en bois
 à maçonner des briques de terre crue séchées au soleil

III • 3 Pour quelle raison le torchis s'est-il développé dans des régions comme la Normandie et l'Alsace ?



Shibam au Yémen, ville construite il y a 500 ans, en adobe. Les plus hauts immeubles comptent 8 étages et mesurent près de trente mètres.
@ X/D.R.



La terre est un matériau de construction qui séduit de plus en plus les habitants des pays développés. Ses atouts écologiques et esthétiques attirent les architectes contemporains. Mais le béton, dont la fabrication est énergivore et polluante, reste indispensable aux constructions de grande taille. Comment améliorer les performances de l'un et réduire les inconvénients de l'autre ? Les deux matériaux font aujourd'hui l'objet de recherches abordées dans le quatrième volet de cette exposition.

IV • Matière à recherche

Terre et béton (Film)

IV • 1 Comme la terre, le béton est un mélange de grains avec un liant. Pour la terre, c'est l'argile et pour le béton, le ciment Portland. Pourquoi sa fabrication est-elle polluante ?

IV • 2 Citez 3 bonnes raisons de préférer la terre au béton ?

IV • 3 Quels sont les enjeux des recherches actuelles sur la terre et le béton ?



Arabie Saoudite, province de Najran,
architecture fortifiée en bauge
© CRATerre-ENSAG



Dans l'architecture traditionnelle du désert, les ouvertures sont peu nombreuses et de petite taille. Il en est de même pour cette maison. Couvent Avenue Studio. 1997, construit en pisé à Tucson, Arizona, par Rick Joy. @ Rick Joy Architects

Objets illustrant les objectifs recherchés pour améliorer les matériaux

IV • 4 Cherchez l'intrus parmi ces trois objets associés aux recherches pour améliorer la résistance de la terre. Pourquoi est-il un intrus ?

- Fragment de termitière
- Nacre de Birmanie
- Bétonnière jouet

IV • 5 Pourquoi les chercheurs s'intéressent-ils à l'œuf de la poule ?

Le jardin des œuvres

Terminez votre parcours devant Le jardin des œuvres et admirez les sculptures et les panneaux de Daniel Duchert, qui expérimente les différents états de transformation de la terre (Frontalier). Dans une vitrine, Elisabeth Braure propose une œuvre constituée de terres entre deux verres : Tremblements de terre (Vitrail).



Bâtir avec des grains

DOCUMENT ENSEIGNANT

RÉPONSES AU QUESTIONNAIRE DES ÉLÈVES

Niveaux : Collège et lycée (5^{ème} à la terminale)

Technologie - Physique - Architecture - Science de la vie et de la Terre

Science et art



un lieu **universcience**

RÉPONSES

1 m³ de terre

- 0 • 1 Le monticule de terre et le mur en pisé à l'entrée de l'exposition contiennent tous deux 1 m³ de terre. Seule l'organisation des grains change. Combien trouve-t-on de grains dans 1m³ de terre ?

600 millions de milliards de grains (6 x 10¹⁷)

I • Redécouvrir la terre

Carotte de terre

- I • 1 On ne construit pas avec n'importe quelle terre. Le sol s'organise en différentes couches. Quelle terre le constructeur va-t-il choisir ?

- La terre située en surface, dite "végétale"
 La terre intermédiaire, dite "minérale"
 La roche mère en décomposition, sous la terre minérale

Collection de terres (Table)

- I • 2 Cette table parle de la diversité des terres. Comparez leurs couleurs et la taille des grains. Quel lien établissez-vous entre la terre rouge prélevée à Auroville (Inde) et celle de Pont-en-Royans en Isère (France) ?

Les terres rouges sont fréquentes dans les zones chaudes et humides. L'Isère a donc connu les conditions atmosphériques des zones tropicales à une époque reculée.

Classification des grains (Table)

- I • 3 Sur la table voisine, retrouvez cinq de ces terres, tamisées. La terre est composée de grains que l'on classe en catégories distinctes en fonction de leurs tailles. Le plus petit constituant est l'argile (diamètre inférieur à 2 microns). Les 4 autres constituants sont des débris de roches de différentes tailles. Quels sont-ils ?

- ① Silts ou limons (2 microns à 60 microns)
 ② Sables (60 microns* à 2 mm)
 ③ Graviers (2 mm à 2 cm)
 ④ Cailloux (2 à 20 cm)

- I • 4 Existe-t-il une terre idéale en construction ? Pouvez-vous argumenter votre réponse ?

Oui Non

Chaque terre est adaptée à une ou plusieurs techniques et chaque technique s'accommode mieux de certaines terres. La résistance dépend autant du matériau que de sa mise en œuvre.

- I • 5 Une terre destinée à la construction doit contenir une quantité suffisante d'argile. Quel est son rôle ?

L'argile est un liant, une colle. Elle relie les grains entre eux.

II • Expériences avec les grains

Fluide ou solide ?

- II • 1 Après avoir réalisé les 3 expériences proposées, vous diriez que la matière en grains se comporte comme...

un solide quand les grains sont très proches
 un liquide quand les grains sont plus espacés
 un gaz quand les grains sont encore plus espacés

La peur du vide !

- II • 2 En construction, un vide constitue une fragilité. Il faut donc empiler les grains de la manière la plus compacte. La technique dite de l' "empilement espacé" consiste...

à augmenter la proportion de grains fins
 à utiliser des grains de tailles variées
 à injecter dans les vides de la fumée de silice

Il faut utiliser des grains de tailles variées mais surtout augmenter la proportion de grains fins par rapport à l'empilement apollonien. L'empilement apollonien avait été modélisé 3 siècles avant JC par le mathématicien grec Apollonius de Perga. La fumée de silice est utilisée pour combler les vides les plus petits lors de la réalisation des bétons ultra compacts.

Déviations des forces

- II • 3 Dans un empilement granulaire, les forces se transmettent de grain en grain. Les lignes de force s'orientent vers...

le centre les côtés

- II • 4 Ces chaînes de force sont un atout en architecture. Quelles structures permettent-elles de réaliser ?

Des voutes, des arches et des coupoles très solides pour maintenir par exemple les toits des églises et des cathédrales.

- II • 5 Selon ce principe, pour éviter l'éclatement des coffrages lors de la construction d'un mur en pisé, il faut superposer de minces couches de terre tassée.

Vrai Faux

Lorsque la couche de terre est trop épaisse, la pression du pisoir n'atteint pas les grains situés au fond de la couche. Résultat : elle n'est pas bien tassée.

Grains, le difficile mélange

- II • 6 Pourquoi, au petit déjeuner, lorsque vous êtes le dernier à utiliser le paquet de Corn Flakes, vous n'avez droit qu'aux miettes ?

Parce que dans un paquet qui a souvent été secoué, les petits morceaux passent entre les gros grains et se retrouvent au fond du paquet.

Les grains de la terre se trient de la même manière lorsqu'ils sont mis en mouvement. Ce phénomène s'appelle la ségrégation granulaire. Pour y remédier, l'une des solutions consiste à mouiller la terre avant sa mise en œuvre.

Eau, ennemie ou amie ?

- II • 7 La terre est composée de milliards de milliards de grains qui tiennent ensemble grâce à l'eau. L'eau agit comme une colle. Elle prend la forme d'une caténoïde (aire minimale entre deux cercles) entre deux grains. Comment nomme-t-on les points de colle entre deux grains ?

Des ponts capillaires. Ces ponts tendent à créer une adhésion entre les grains. La résultante de ces forces d'attraction est appelée cohésion capillaire.

Argile, ciment de la terre

- II • 8 L'argile est le ciment de la terre. Elle enrobe et lie les grains entre eux. Elle est elle-même constituée de microscopiques grains...

ronds plats

Les forces capillaires sont beaucoup plus importantes entre deux grains plats qu'entre deux grains sphériques.

Forces électrostatiques

- II • 9 Les argiles sont chargées électriquement, ce qui augmente le pouvoir collant des grains et assure en grande partie la cohésion de la terre. Les argiles comme la smectite (très chargées) ont une capacité d'absorption de l'eau plus importante que celles qui sont peu chargées, comme la kaolinite. Pour construire votre maison, quelle argile choisissez-vous et pourquoi ?

la kaolinite la smectite

Certes, la kaolinite gonfle moins que la smectite qui se comporte comme une éponge et laisse des vides en séchant. La kaolinite est donc plus stable que la smectite. Mais elle a aussi moins de cohésion. Le matériau obtenu en séchant est plus résistant à l'eau mais moins résistant mécaniquement. La smectite est sensible à l'eau (gonflement), mais si elle en contient une quantité raisonnable et si la terre est bien protégée de la pluie et des remontées capillaires, le mur, une fois sec, est plus solide qu'un mur en kaolinite.

D'autre part, on ne "choisit" pas une argile pour construire sa maison. On adapte la terre (et donc l'argile) disponible à la technique et à l'architecture (protection contre l'eau et résistance mécanique).

III • Techniques de construction

- III • 1 Quelle est la technique de construction la plus rudimentaire, ne nécessitant aucun outil, juste les mains, la terre et l'eau.

le pisé l'adobe le torchis la bauge

- III • 2 Les premiers "gratte-ciel" de l'humanité réalisés il y a 500 ans au Yémen sont en adobe. Cette technique consiste...

à tasser une terre humide dans un coffrage en bois
 à maçonner des briques de terre crue séchées au soleil

- III • 3 Pour quelle raison le torchis s'est-il développé dans des régions comme la Normandie et l'Alsace ?

Parce que ce sont des régions où l'on trouve du bois et que dans une construction traditionnelle en torchis, la terre comble les interstices d'une ossature en bois. Certains architectes contemporains réalisent des constructions en torchis sur ossatures métalliques (Cf. photo page 6).

IV • Matière à recherche

Terre et béton (Film)

- IV • 1 Comme la terre, le béton est un mélange de grains avec un liant. Pour la terre, c'est l'argile et pour le béton, le ciment Portland. Pourquoi sa fabrication est-elle polluante ?

La fabrication du ciment est responsable de 6% des émissions mondiales de CO₂. Produire une tonne de ciment libère une tonne de CO₂ dans l'atmosphère.

- IV • 2 Citez 3 bonnes raisons de préférer la terre au béton ?

La terre est un matériau 100% écologique qui ne se fabrique pas. Elle est disponible, sous nos pieds. Elle ne se transporte pas. Sa mise en œuvre est simple : on la met dans un coffrage ou on en fait des briques, par exemple. Côté confort, les maisons collectives ou individuelles en terre sont "respirantes", saines, dotées d'une climatisation naturelle grâce à la transformation de l'eau présente dans la terre qui amortit les variations de température que le soleil ou le climat impose au cours de la journée et la nuit (évaporation/condensation).

- IV • 3 Quels sont les enjeux des recherches actuelles sur la terre et le béton ?

Pour la terre, il s'agit d'augmenter sa résistance (pour certaines applications, par exemple les constructions de grande taille) et la rapidité de mise en œuvre, pour en faire un matériau moderne, compétitif et industrialisable. Construire en terre est aujourd'hui un luxe dans les pays développés.

Pour le béton, l'enjeu est de produire des liants plus "verts", qui dégageraient moins de CO₂ que la fabrication du ciment Portland. L'autre voie de recherche consiste à piéger ce CO₂.

Objets illustrant les objectifs recherchés pour améliorer les matériaux

IV • 4 Cherchez l'intrus parmi ces trois objets associés aux recherches pour améliorer la résistance de la terre. Pourquoi est-il un intrus ?

- Fragment de termitière
 - Nacre de Birmanie
 - Bétonnière jouet
-

La "bétonnière jouet" est associée aux recherches effectuées dans le but de rendre la terre plus fluide, alors que les termitières et la nacre intéressent les chercheurs pour augmenter la résistance de la terre.

Bétonnière jouet : si la terre pouvait être fluide et couler comme du béton, elle serait plus facile à travailler, moins chère et donc plus largement utilisée.

Nacre de Birmanie : la nature est une source d'inspiration. La nacre est une matière très difficile à casser, grâce à ses microscopiques plaquettes minérales parfaitement ordonnées. Les scientifiques aimeraient pouvoir disperser les microscopiques plaquettes d'argile de la terre, empilées en "châteaux de cartes", afin qu'elles s'organisent de façon plus ordonnée.

Fragment de termitière : les chercheurs étudient également les habitats géants et ultra-solides confectionnés par les termites, mélange de terre, de salive et de matière fécale.

IV • 5 Pourquoi les chercheurs s'intéressent-ils à l'œuf de la poule ?

Pour tenter de produire un ciment qui ne dégagerait pas de CO₂, à l'image de la poule qui produit chaque jour, sans le chauffer, un œuf dont la coquille est un ciment calcaire. Il devrait être possible de fabriquer, à température ambiante, des poudres durcissantes. Dans le même but, les chercheurs étudient certaines algues microscopiques qui synthétisent à froid un squelette de verre protecteur.



“Bâtir en terre” est le titre d’un ouvrage très documenté et superbement illustré de Laetitia Fontaine et Romain Anger (auteurs scientifiques de l’exposition “Ma terre première, pour construire demain”), aux Editions Belin, que vous pouvez vous procurer à la librairie de la Cité des sciences et de l’industrie.

En savoir plus

Voici le lien permettant d’accéder au site de l’exposition “Ma terre première, pour construire demain” : http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/expositions/ma-terre-premiere/index.php

Cette exposition a été réalisée en partenariat avec le laboratoire CRAterre de l’Ecole nationale supérieure d’architecture de Grenoble, spécialisé dans la recherche sur la terre crue.

CRAterre déploie ses activités dans les domaines

- de la conservation et la gestion des patrimoines architecturaux en terre, en s’attachant à valoriser la diversité culturelle
- de l’environnement, en visant une meilleure utilisation des ressources matérielles et humaines
- de l’habitat, en facilitant l’accès au logement des populations à faibles revenus.

Le laboratoire CRAterre-ENSAG organise tous les ans le Festival des architectures de terre “Grains d’Isère”, aux Grands Ateliers à Villefontaine en Isère. “Grains d’Isère 2010” préfigurera le projet de la future Cité de la Construction Durable, projet unique et innovant, mitoyen et complémentaire des Grands Ateliers. Son ouverture est prévue à l’horizon 2012.

Lien vers le site de CRAterre : <http://terre.grenoble.archi.fr>

Lien vers les Grands Ateliers à Villefontaine en Isère : www.lesgrandsateliers.fr