



Les Grands Ateliers

Centre d'excellence pédagogique
sur les sciences de la matière
pour la construction durable

amòco

ATELIER MATIÈRES À CONSTRUIRE



TABLE DES MATIÈRES

- 02 Préface
- 04 **amàco**, un centre de ressources pédagogiques...
...de la matière à l'architecture
- 06 Partenaires
- 08 1. COMPRENDRE LA MATIÈRE
- 10 De la matière au matériau
- 12 Matière en grains
- 16 Expériences contre-intuitives
- 20 Rendre visible l'invisible
- 22 Matière en fibres
- 24 Matière molle
- 26 Matière liante
- 28 Matière eau
- 30 2. DE LA MATIÈRE À L'ARCHITECTURE
- 32 Chantiers pédagogiques
- 36 Transfert de technologies
- 38 Art, matière, structure et paysage
- 48 Construire avec ce que l'on a sous les pieds
- 56 3. CYCLE DE LA CONSTRUCTION
- 58 Cycle de la construction en terre
- 60 Cycle de la construction en pierre
- 62 Cycle de la construction en bois
- 64 Des Grands Ateliers à la Cité de la Construction Durable



ATELIER MATIÈRES À CONSTRUIRE

centre d'excellence pédagogique
sur les sciences de la matière
pour la construction durable

2012 2019

Préface

« *Connaissez-vous, de par le monde, et depuis de longues décennies, un seul laboratoire où quelque savant aurait pour objet – individualisé, direct, concret, défini, expérimenté... – de ses recherches : la matière ?* » écrit Michel Serres dans la postface du bel ouvrage rédigé sous la direction d’Etienne Guyon, *Matière et matériaux. De quoi est fait le monde ?* Réflexion provocante pour le chercheur. Les efforts les plus lourds dans les sciences dites « dures » ne sont-ils pas précisément consacrés à la quête de l’infiniment petit, commun à toutes formes de la matière ? Et de nombreux chimistes ne consacrent-ils pas leurs efforts à la mise au point de matériaux toujours plus extraordinaires ?

Réflexion étonnante aussi pour le citoyen un tant soit peu éduqué aux sciences. Gaz, liquide, solide, les choses ne sont-elles pas claires depuis longtemps (au moins le temps de l’école) ? La science n’en a-t-elle pas fait le tour ? N’est-il pas évident de distinguer ce qui est ténu et ce qui est dense ? Ce qui coule et ce qui ne coule pas ? Ce qui résiste et ce qui ne résiste pas ? Pourquoi faudrait-il persévérer dans cette exploration des comportements ?

Certes, à première vue, le propos de Michel Serres peut paraître provoquant ou étonnant, mais en réalité il a pour but de révéler un divorce : celui qui désormais éloigne le chercheur de l’artisan ou, dit autrement, le monde des concepts du monde des sens. Pourquoi le chimiste parle-t-il de matériaux alors que le styliste parle de matières ? Le premier assimile matière à matière première et considère que cette dernière ne mérite le nom de matériau que lorsqu’elle a prouvé son utilité grâce au génie transformateur

de l’homme, alors que le second sait bien qu’avec un même matériau – un polymère acrylique par exemple, issu de la transformation d’une matière première, le pétrole – il est possible de fabriquer mille et une textures approchant tantôt la soie, tantôt le cachemire, tantôt le mohair.

L’usage du mot « texture », associé à celui de « matière », de préférence à celui de « structure », associé à « matériau », n’est pas anodin. Le cristallographe utilise spontanément le second, reflet de l’ordre atomique. Le mécanicien en utilise souvent une variante, « microstructure », reflet de l’organisation à une échelle supérieure. Mais dans les deux cas, la référence est à un ordre invisible, inaccessible à nous sans les prothèses que sont les microscopes et les diffractomètres. L’artisan, lui, utilisera sans doute « texture » car, bien plus que ces deux alternatives, le mot fait référence à ce que nos sens sont capables de percevoir, face non pas à un concept abstrait, mais face à un objet.

amàco a pour ambition d’approcher et de faire comprendre le comportement des matières à construire avec l’esprit de l’artisan, qui sait bien que la trilogie gaz-liquide-solide n’est le plus souvent qu’une caricature difficile à plaquer sur les matières du quotidien. Terre, béton, ciment, plâtre, bois, verre, papier, faïence, tissus, plastiques, mousses, laines, caoutchouc, peintures, mastics, colles, ... voilà, sous leur appellation familière, les matières que nous côtoyons dans nos habitations, que nous touchons cent fois par jour et que nous retrouvons dans les commerces. Chacune d’elles existe sous des formes variées, sous

lesquelles nous avons parfois peine à identifier un même matériau. Que l’on songe, par exemple, aux multiples formes que peut prendre le bois, ou à l’extrême variété des textiles évoquées plus haut.

Autre caractéristique des matières à construire : le composite ou le mixte y sont la règle plus que l’exception. Beaucoup d’entre eux associent un gaz – de l’air, en l’occurrence – à un solide, ou un solide finement dispersé à un liquide, ou encore deux solides entre eux, et c’est l’association qui permet d’obtenir les propriétés souhaitées. L’air d’une laine de roche est aussi important que sa fibre. Les bétons et la terre ne doivent leur cohésion qu’à l’interaction d’un liant (le ciment ou l’argile) avec les grains plus gros et une peinture ne doit son pouvoir couvrant qu’à la stabilité du mélange de pigments et de solvant.

Même leur comportement est hybride. Le sable coule, mais est-ce pour autant un liquide ? Les mousses dites « solides », comme les panneaux polymères isolants, sont-ils de vrais solides, eux dont l’élasticité est due plus aux bulles emprisonnées qu’au polymère lui-même ? Les peintures, les enduits et les mortiers frais sont-ils de vrais liquides, eux qui coulent facilement sous l’effort du pinceau, du rouleau ou de la spatule mais qui s’arrêtent instantanément de couler, pour notre plus grand bonheur de bricoleurs, dès que l’outil est passé ?

Faire « sentir » de la manière la plus intime ce qu’il y a de paradoxal dans cette matière si familière et apparemment si banale pour pouvoir mieux l’utiliser

est l’objectif que nous nous sommes fixés. A priori, faire pénétrer l’élève ou l’utilisateur dans l’intimité de la matière pourrait se faire à l’aide des diverses méthodes de simulation – méthodes quantiques, Monte Carlo, dynamique moléculaire – désormais routinière. Ces méthodes permettraient sans aucun doute d’expliquer, par exemple, comment sèche une peinture, comment coule un sable ou comment l’humidité se condense dans un mur. Sauf que, à moins d’avoir une culture approfondie en physique, l’appropriation des résultats de ces simulations reste très superficielle. Nous avons plutôt choisi d’utiliser l’expérience, réelle mais aussi simple, qui permette à l’élève de bien cerner tous les ingrédients de ce qu’il voit et de s’approprier le résultat. C’est en quelque sorte le retour à l’enseignement, d’abord expérimental et puis seulement théorique, tel qu’il se pratiquait à la Royal Society à l’époque de Faraday ou encore à la Sorbonne au siècle dernier. Mais au lieu de le réserver à une élite, nous voulons le faire connaître au plus grand nombre. C’est ni plus ni moins d’une transformation de chacun de nous en chercheur-artisan qu’il s’agit. Objectif ambitieux, mais empreint d’une grande humilité devant la matière.

Henri Van Damme

Professeur à l’École supérieure de physique et chimie industrielles, ESPCI-ParisTech

Directeur scientifique de l’Institut français des sciences et technologies des transports, de l’aménagement et des réseaux, IFSTTAR

amòco, un centre de ressources pédagogiques...

04

L'Atelier Matières à Construire, **amòco**, est un centre de ressources pédagogiques qui vise à rendre visible, de manière sensible et poétique, les comportements physico-chimiques des matières naturelles les plus communes, telles que le sable, l'eau, la terre, le bois, la pierre, la paille, etc. Le projet a comme objectif de faire connaître leurs applications dans la construction afin de favoriser l'émergence de pratiques éco-responsables. **amòco** rassemble dans un même lieu des physiciens, des ingénieurs, des artistes et des architectes. Magie, émotion et créativité sont les maîtres mots du projet.

L'Atelier Matières à Construire a pour mission de concevoir des expérimentations, dont certaines contre-intuitives, pour faire connaître et comprendre les caractéristiques physico-chimiques de la matière constitutive des matériaux de construction à partir de 5 familles de matière : matière en grains, matière liante, matière eau, matière molle, matière en fibres. L'atelier fera largement appel aux supports vidéo et artistiques.

amòco est fondé sur la pédagogie de l'atelier et de l'expérimentation. Il s'agit avant tout d'apprendre et de comprendre avec les mains, avec le corps. Le projet fait également appel à l'esthétique et à l'émotion pour aiguïser la curiosité, favoriser l'ouverture d'esprit et le plaisir d'apprendre. Des outils et dispositifs pédagogiques partagés et innovants, fondés sur une nouvelle façon de présenter l'enseignement des sciences et techniques, sont créés et diffusés auprès des enseignants et formateurs. Cette démarche d'apprentissage est pleinement ouverte vers l'évolution des pensées scientifiques et artistiques d'aujourd'hui et fait appel à de multiples intelligences :

- intelligence critique : remise en question de ses acquis et savoirs antérieurs ;
- intelligence abstraite : raisonnement symbolique et utilisation de métaphores ;
- intelligence pratique : art de faire du concret et de réfléchir par l'action ;
- intelligence esthétique : sens du simple et de la justesse de la forme ;
- intelligence kinesthésique : usage habile de son corps et de ses ressentis ;
- intelligence émotionnelle : conscience de soi et de son épanouissement ;
- intelligence sociale : travail de groupe & concertation ;
- intelligence cognitive : sollicitation de connaissances et restitution d'acquis ;
- intelligence holistique : vision globale et intégration du contexte ;
- intelligence exploratrice : intérêt et curiosité.

...de la matière à l'architecture

05



En donnant une vision limpide de ce qu'est la matière et des processus physico-chimiques qui se déroulent en son sein, **amòco** permet aux futurs bâtisseurs d'acquérir une plus grande clarté d'esprit sur l'essence fondamentale des matériaux, de manière à pouvoir les utiliser de façon créative et innovante dans la construction durable.

Au centre du dispositif pédagogique d'**amòco** se trouvent les notions d'expérimentation, de phénoménologie et d'expériences contre-intuitives, auxquelles sont associées des chantiers pédagogiques à l'échelle 1, qui visent à faire le lien entre la matière et l'architecture pour donner du sens à cette activité exploratrice.

Partenaires

06

CONCEPT

Architectes, artistes, physiciens et ingénieurs se rassemblent aux Grands Ateliers autour d’une pédagogie de l’expérimentation innovante, centrée sur la compréhension de la matière, pour penser et construire autrement. Le projet **amàco** vise à repenser l’intégralité du cycle de la construction, en partant du territoire, d’où sont extraites des matières premières, en passant par les matériaux de construction, les éléments, les structures, les édifices, et enfin les agglomérations qui s’insèrent dans ce territoire.



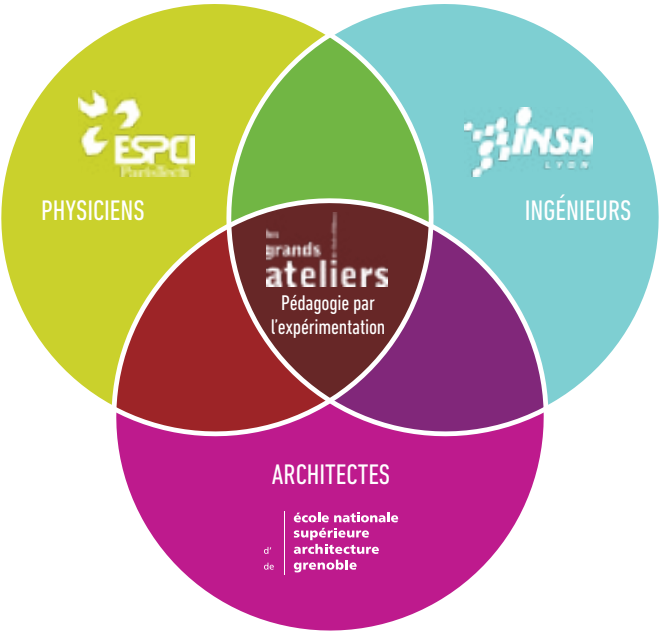
EXPÉRIMENTATIONS

Les Grands Ateliers (GAIA), porteur du projet **amàco**, sont une plateforme d’enseignement, de recherche et d’expérimentation de la construction. Ils permettent de construire des structures et des prototypes d’habitat en grandeur réelle, complétant ainsi les enseignements théoriques ou virtuels développés au sein des écoles d’architecture, d’art et d’ingénieurs. Les Grands Ateliers rassemblent des établissements d’enseignement supérieur et le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) au sein d’un groupement d’intérêt public (GIP).



PHYSICIENS

L’École Supérieure de Physique et Chimie Industrielles de Paris (ESPCI ParisTech) attire depuis plus d’un siècle les plus grands esprits scientifiques novateurs, tels que Pierre et Marie Curie, Paul Langevin, Frédéric Joliot-Curie, Pierre-Gilles de Gennes et Georges Charpak. Transmettre l’émerveillement du savoir, susciter à la fois curiosité et intérêt pour la science et l’expérimentation font partie de ses missions.



INGÉNIEURS

L’Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (INSA de Lyon) est l’une des plus grandes écoles d’ingénieurs françaises. Il est représenté par 23 laboratoires de recherche, 500 enseignants-chercheurs et chercheurs, 700 doctorants et 5000 étudiants. L’INSA de Lyon possède 12 filières de formation, la filière Science et Génie des Matériaux et la filière Génie Civil et Urbanisme sont particulièrement impliquées dans le projet. Le laboratoire MATEIS (Matériaux : Ingénierie et Science) met à disposition ses équipes de recherche pour le projet **amàco**.



ARCHITECTES

L’École Nationale Supérieure d’Architecture de Grenoble (ENSAG), à travers son laboratoire CRATERRE et son labex Architecture Environnement et Cultures Constructives (AE&CC), est une référence mondiale dans l’utilisation des ressources physiques et humaines locales pour la construction durable.

07

1

COMPRENDRE LA MATIÈRE



De la matière au matériau

MATIÈRE

L'Atelier Matières à Construire s'organise autour de cinq thèmes : matière en grains, matière liante, matière eau, matière molle, matière en fibres.

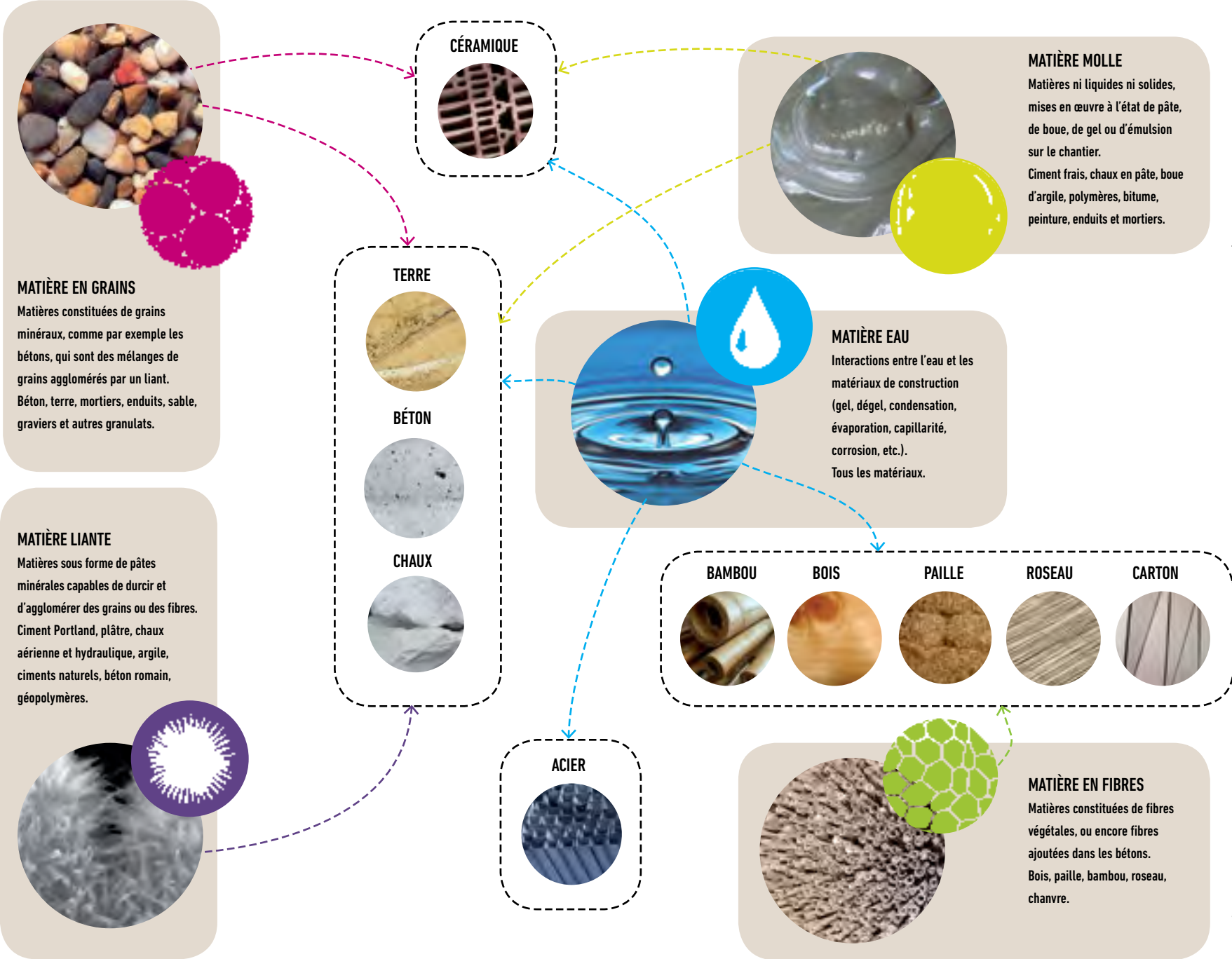
Les phénomènes physico-chimiques qui gouvernent les propriétés de ces 5 familles de matières sont mis en évidence à l'aide d'expériences simples, visuelles et sensorielles.

MATÉRIAU

Chacun des cinq thèmes renvoie à différents matériaux de construction, habituellement cloisonnés par filières de production dans l'enseignement et dans l'industrie. Il ne s'agit pas d'enseigner séparément la construction en bois, en béton, en terre, en paille, etc. mais au contraire de montrer les analogies et les différences entre ces matériaux et de favoriser le transfert de techniques innovantes entre filières.

ARCHITECTURE

amàco vise la découverte des propriétés physiques de la matière et la compréhension de leurs applications dans la construction. Des exercices pratiques, sous forme de « chantiers pédagogiques », permettent de tisser les liens entre la micro-structure de la matière et les problématiques structurelles à l'échelle du bâtiment.





Matière en grains

12

La physique de la matière en grains fait référence à des matériaux tels que le sable, le gravier et autres granulats. Par extension, elle permet de mieux comprendre les matériaux de construction faits de grains agglomérés par un liant, tels que le béton, la terre, les céramiques, les mortiers, les enduits, etc. Une centaine d'expériences pédagogiques, rassemblées dans un atelier intitulé « Grains de Bâtisseurs », illustrent la physique des grains secs et la physique des grains humides. Toutes ces expériences sont classées par thèmes, qui renvoient à des phénomènes physiques particuliers, en lien avec des pratiques de production et/ou de mise en œuvre.

Thème 1 : la terre est faite de grains



Thème 2 : une matière fluide et solide à la fois.



Thème 5 : la ségrégation granulaire.



Thème 3 : les empilements de grains.



Thème 4 : la pente du tas de sable.

L'atelier pédagogique « Grains de Bâtisseurs » est constitué d'une centaine d'expériences phénoménologiques pour comprendre les matériaux de construction faits de grains, comme le sable, la terre ou le béton. Les expériences sont classées par thèmes qui renvoient à des phénomènes physiques qui gouvernent la matière.

13





14

CHAÎNES DE FORCES

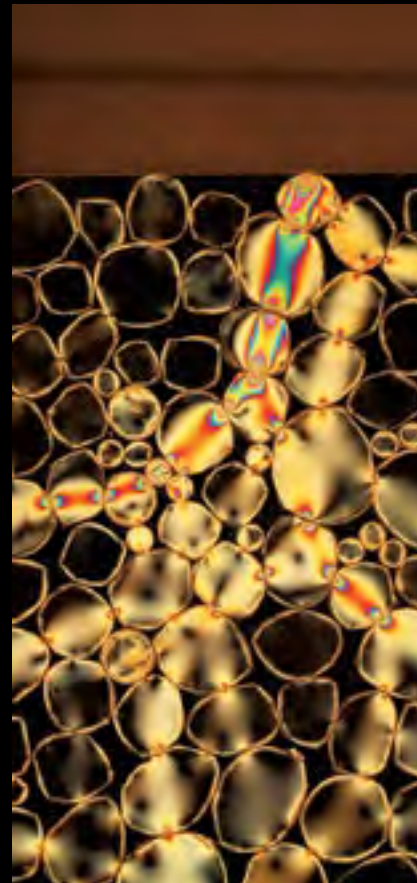
Dans un ensemble de grains, les efforts se distribuent d'une manière bien particulière : par contact et frottement, les contraintes sont transmises grâce à un réseau de chaînes de forces. Dans certains cas, plusieurs grains en contact forment une voûte et abritent de petits espaces vides au sein de la matière. Ils empêchent alors les empilements de se placer dans une configuration plus compacte, et de se comprimer. Ces chaînes de forces redirigent les forces verticales sur les côtés et sont à l'origine d'importantes poussées horizontales



Un cadre, muni d'une trappe à la base, est rempli de poudre rouge. Lorsque la trappe est ouverte, il se forme des arcs au-dessus de l'ouverture. Comme dans une cathédrale, ces arcs s'appuient sur de petits piliers (en jaune) en bois placés à l'intérieur du cadre. Le poids des grains situés au-dessus des arcs est dirigé sur les côtés, de grains en grains, jusqu'aux piliers.



Un tube est placé juste au-dessus du plateau d'une balance afin de ne pas le toucher. Il est progressivement rempli de grains et l'évolution du poids est notée au fur et à mesure. Très vite, l'aiguille de la balance se bloque, et le poids indiqué ne varie plus alors que la quantité de grains dans le tube augmente considérablement : les grains forment des voûtes qui prennent appui sur les parois du tube. Le poids est alors dévié sur les côtés au lieu de se diriger vers le bas, sur le plateau de la balance.



Un ensemble de grains plats découpés dans un matériau photoélastique est placé entre deux films polarisés. En exerçant une pression verticale sur les grains, les chaînes de forces se matérialisent sous la forme de lignes lumineuses et colorées.



15

LIEN AVEC LA CONSTRUCTION : PISÉ ET CHAÎNES DE FORCES

Lors de la compaction du pisé, les poussées horizontales sont très importantes, de sorte que les coffrages doivent être conçus pour résister à cette pression. Du fait de l'établissement de chaînes de forces, l'effort vertical de compaction est dévié sur les côtés. Ainsi, une partie des efforts de tassement disparaît dans les coffrages : le bas de la couche de terre damée est toujours moins bien tassé que le haut. Il est même impossible de compacter la couche si celle-ci est trop épaisse. Le pisé se met donc en œuvre en compactant de fines

couches de terre, qui apparaissent au décoffrage sous forme de lignes horizontales. Sur l'image ci-dessus, le haut des couches, très compact et saturé d'eau, est plus foncé que le bas, légèrement moins dense et qui contient encore de l'air.

Le mur en pisé est construit par empilement de fines couches de terre compactées. Si l'épaisseur des couches est trop importante, le bas de la couche est mal compacté.

Lors de la mise en œuvre du pisé, les coffrages doivent être suffisamment résistants pour vaincre la poussée horizontale des grains.

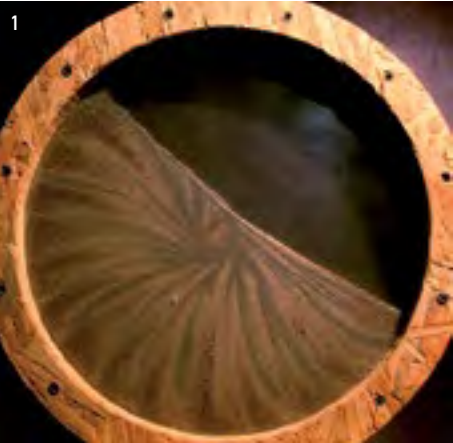


Expériences contre-intuitives

16

La matière en grains est extrêmement commune et pourtant elle recèle de nombreux phénomènes inconnus : elle est « contre-intuitive » par excellence. La surprise et l'étonnement jalonnent l'itinéraire de découverte proposé et motivent à en savoir davantage. Une « expérience contre-intuitive » est une expérience qui produit un résultat inverse ou très différent de celui auquel on s'attend intuitivement ou dont l'interprétation va à l'encontre de l'évidence ou du sens commun. Les manipulations de « Grains de Bâtisseurs » sont toutes contre-intuitives. Mélanges des sables différents, ils se séparent. Vibrons du sable, il se structure en de magnifiques paysages miniatures. Faisons couler du sable dans l'eau, au lieu de se déliter, il forme une colonne. En termes pédagogiques, les deux objectifs principaux sont de perturber les conceptions et d'aiguiser le désir d'apprendre. Les expériences contre-intuitives sont particulièrement efficaces pour atteindre ces deux objectifs simultanément. Elles permettent à la fois d'émerveiller, de perturber les conceptions du visiteur et de le motiver à en savoir davantage.

- 1 Un mélange constitué de grains de 3 tailles différentes est placé dans un disque que l'on peut faire tourner sur son axe comme une roue de vélo : il se sépare par catégorie de taille. Les plus fins restent au centre et dessinent une figure en forme d'étoile à branches multiples, alors qu'on s'attend à ce que la mise en mouvement du mélange augmente le désordre du système.
- 2 Du sable sec s'écoulant dans une nappe d'eau forme une petite colonne semblable à une stalagmite, au lieu de se disperser.



Du sable fin étalé sur une plaque vibrante se réorganise de manière spectaculaire pour dessiner des reliefs semblables à des paysages. Les vibrations, au lieu d'augmenter le désordre du système, réorganisent et structurent les grains selon leur angle de repos.



17



ATELIERS, CONFÉRENCES, LIVRES, VIDÉOS ET EXPOSITIONS

Les ateliers pédagogiques créés se présentent sous différentes formes afin de favoriser leurs diffusions. Le contenu de Grains de Bâtisseurs est ainsi disponible sous forme d'atelier, où les expériences sont disposées sur une série de tables, de conférence expérimentale, où les expériences sont filmées et projetées en direct sur grand écran, de vidéos téléchargeables sur internet (<http://www.youtube.com/user/grainsdebatisseurs>), de livret de présentation, etc.



Dans la version atelier, les expériences sont disposées sur des tables autour desquelles les groupes peuvent circuler pour manipuler les expériences.

Affiche de l'exposition « Ma terre première »



Couverture de l'ouvrage «Bâtir en terre».

Dans la version conférence expérimentale, les expériences sont filmées et projetées en direct sur grand écran, afin de toucher en une seule fois plusieurs centaines de personnes.





Rendre visible l'invisible

20

Des techniques d'imagerie seront utilisées afin de rendre visible les phénomènes invisibles aux échelles de temps et d'espace humains.



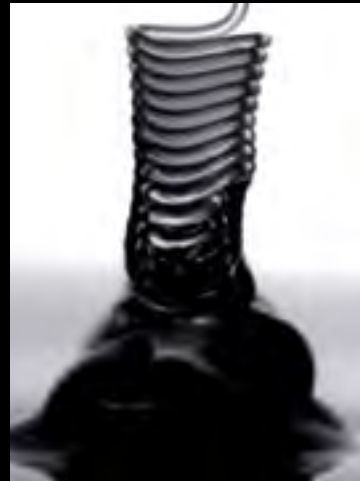
VOIR EN ACCÉLÉRÉ

L'accélééré permet par exemple de visualiser des phénomènes trop lents pour être perçus. Les captures d'image ci-contre à gauche montrent une vidéo en accéléré de croissance de cristaux de glace par condensation de vapeur d'eau à 0°C.

Cette technique sera appliquée aux matériaux de construction pour observer des phénomènes tels que la fissuration des enduits ou la déformation du bois vert au séchage, l'érosion, le vieillissement et la corrosion des matériaux, etc.

A gauche : croissance de cristaux de glace en accéléré.

En bas : fissuration de l'argile.

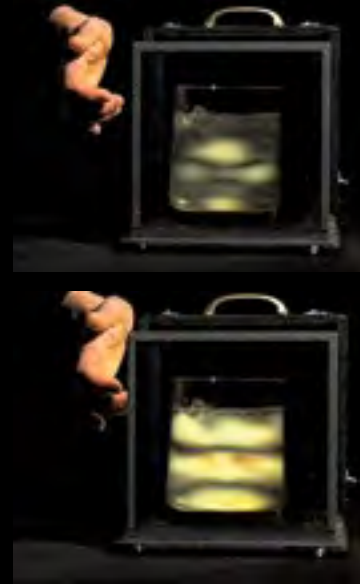


Écoulement d'un filet de shampoing filmé à l'aide d'une caméra ultrarapide (1000 images par secondes) – Michel Versluis – 2006 Revue Nature.

VOIR AU RALENTI

Des caméras ultra rapides seront utilisées pour rendre visibles les phénomènes trop rapides pour être perçus par l'œil humain. L'image ci-dessus montre par exemple l'écoulement d'un filet de shampoing observé à 1000 images/seconde, qui s'enroule comme une corde d'escalade faisant penser que le liquide est devenu « solide ».

21



Gel d'argile transparent observé en lumière polarisée, mettant en évidence son élasticité.

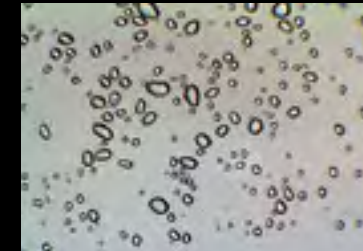
VOIR EN LUMIÈRE POLARISÉE

Certains phénomènes pourront être rendus visibles grâce à la lumière polarisée. L'expérience ci-dessus montre un gel d'argile de synthèse transparent, constitué de 98% d'eau et 2% d'argile, en lumière polarisée. Lorsque l'on tape sur le bocal, une onde de choc lumineuse se propage dans le gel, mettant en évidence l'élasticité de ce matériau, à mi-chemin entre l'état liquide et l'état solide.

VOIR AU MICROSCOPE

La vidéo couplée à la microscopie permettra de filmer des phénomènes trop petits pour être observés à l'œil nu. Dans l'expérience ci-dessous, des grains d'amidon (féculé de pomme de terre) sont disposés dans une goutte d'eau sur une lame de verre. En temps réel, les grains gonflent et éclatent avec la chaleur : le mélange d'eau et d'amidon se transforme en gel.

Gélification de l'amidon avec la chaleur observée à l'aide d'un microscope optique. Les grains gonflent et explosent, libérant des polymères dans l'eau. Le gel obtenu est utilisé comme colle naturelle pour les peintures et les enduits.



Les caméras infrarouges permettent de visualiser les pertes de chaleur d'un bâtiment.

VOIR EN INFRAROUGE

Les caméras infrarouges sont de plus en plus utilisées pour déceler les pertes de chaleur des bâtiments. Cette technique sera utilisée à l'échelle du matériau pour visualiser les propriétés thermiques des matériaux de construction, et la manière dont ces propriétés changent de manière dynamique avec les conditions ambiantes (teneur en eau, température, interfaces entre matériaux poreux et étanches, etc.)

NOUVEAUX THÈMES

Matière en fibres



La fibre de chanvre et la chènevotte sont obtenues par transformation de la tige de chanvre. La fibre est extraite de la partie extérieure. Cette fibre longue et très résistante produit la corde de chanvre. Elle est également cardée, c'est-à-dire démêlée et aérée, pour obtenir la laine de chanvre, utilisée comme isolant dans le bâtiment. La partie centrale de la tige, la mœlle, est broyée pour former des agrégats légers, appelés chènevotte, liés entre eux avec de la chaux pour produire du béton de chanvre.



Le thème de la matière en fibres renvoie à tous les matériaux naturels ou transformés faits de fibres, tels que le bois, la paille, le bambou, le roseau, le carton, etc. Il concerne aussi les matériaux renforcés mécaniquement par des fibres, comme les bétons fibrés par exemple. La diversité des microstructures des fibres permet de mieux comprendre leurs différentes propriétés à notre échelle. Comme tous les matériaux vivants, les fibres d'origine animale ou végétale présentent une organisation complexe et multi-échelles. En partant de l'étude de l'architecture intérieure de ces fibres, il s'agit de montrer comment elles peuvent être transformées ou assemblées pour élaborer de nouveaux matériaux ou des systèmes constructifs innovants.

Ces fibres présentent différentes formes et aspects de surface, ce qui leur donnent différentes propriétés à notre échelle. La laine gratte car sa fibre est couverte d'écailles. Cette texture facilite l'enchevêtrement des fibres, pour former du fil ou du feutre. Le cachemire possède une fibre plus fine aux écailles plus petites, raison pour laquelle cette laine est particulièrement douce et soyeuse. Les fibres d'origine végétale, comme le coton, ne sont pas aussi texturées. Les vrilles de la fibre de coton favorisent toutefois leur enchevêtrement lors de la filature. Les fibres synthétiques, trop lisses, peuvent être frisées pour faciliter leur assemblage.



NOUVEAUX THÈMES

Matière molle

24

Surnommé « le Newton de notre temps », Pierre-Gilles De Gennes popularise dans le monde entier les travaux sur la matière molle, en prononçant un discours intitulé « Soft matter » lorsqu'il reçoit le prix Nobel de physique en 1991. L'expression aurait été inventée par Madeleine Veyssié dans les années 70 «...pour désigner tout ce qui va des matières plastiques aux bulles de savon, en passant par les gels, les élastomères,

les cristaux liquides, les crèmes cosmétiques, les boues, les pâtes céramiques, etc. ». Cette collection de substances hétéroclites, parfois dénommées fluides complexes, rassemble des matières de notre environnement quotidien qui n'ont ni le comportement de liquides, tel que l'eau, ni celui de solides, tels que le verre ou l'acier. Un simple mélange d'argile et d'eau, malléable comme de la pâte à modeler, est l'archétype de cette grande famille de matériaux « mous ». Sur le chantier, le maçon manipule couramment des matières molles : pose d'un enduit de plâtre, coulage d'un mur en

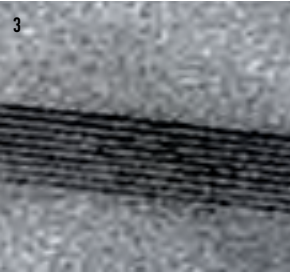
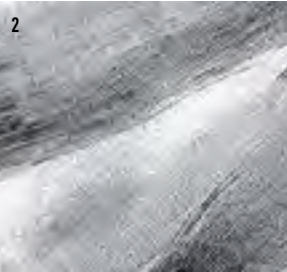
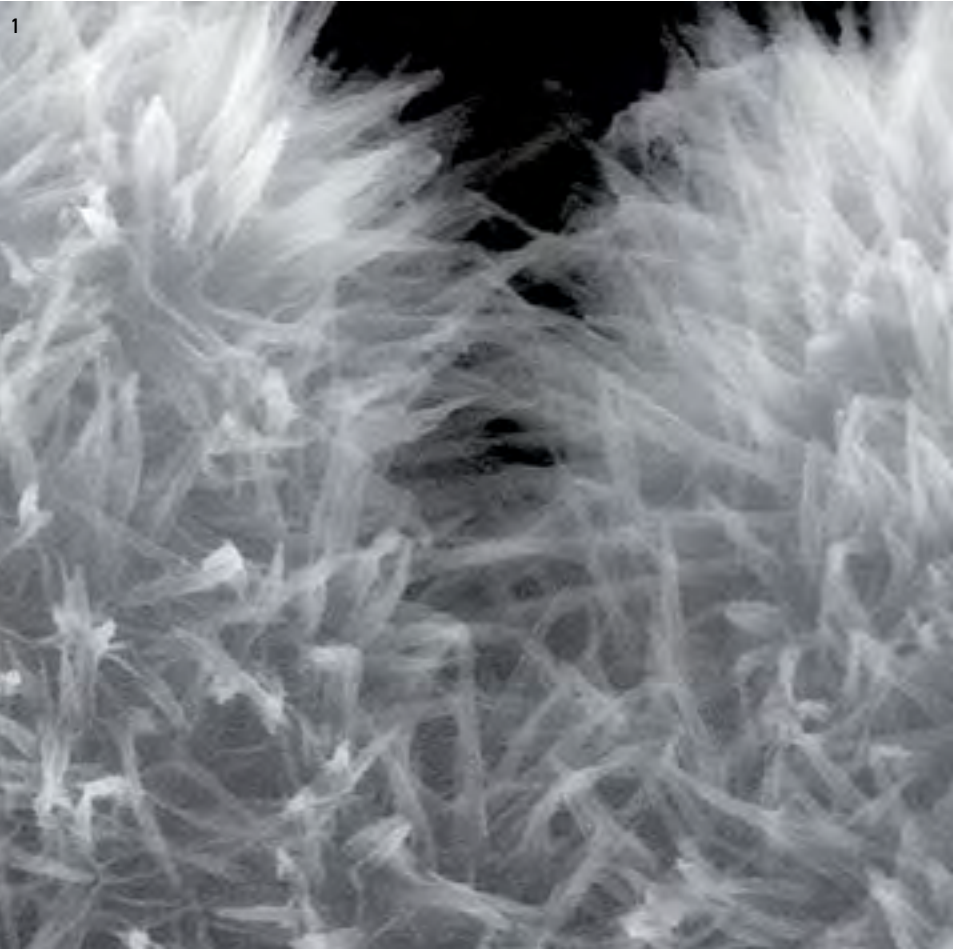
Une boue d'argile est l'archétype de la matière molle. Ce mélange concentré d'argile et d'eau est constitué de particules solides dispersées dans l'eau. Les propriétés d'écoulement de cette boue sont gouvernées par les interactions de surface entre particules solides.

Les pâtes manipulées par le maçon sont des mélanges d'eau et de minuscules particules solides, impossibles à distinguer à l'œil nu, à l'image de ces plaquettes d'argile de 1 micron de largeur, observées à l'aide d'un microscope électronique à balayage.



béton, façonnage d'une brique de terre crue, malaxage d'un mortier de chaux, réalisation d'une peinture ou d'un badigeon, mise en place d'une émulsion de bitume, etc. La physique de la matière molle renseigne l'instant précis où ces matières sont mélangées à l'eau et mises en forme. La qualité des matériaux finis est le reflet de leur mise en œuvre : c'est là que tout se joue. Il est donc essentiel de réapprendre ce qu'est une boue, une pâte, un gel, une mousse ou une émulsion. Le point commun de toutes ces matières est d'être « sensibles ». Une infime variation de température, de salinité ou d'acidité de l'eau de gâchage peut faire basculer une boue liquide et fluide en pâte « dure » et vice-versa. Cette sensibilité est liée aux interactions de surface entre particules à l'échelle moléculaire.





1 Au contact de l'eau, le grain de ciment est attaqué chimiquement et de nouvelles particules cristallisent à sa surface : les hydrates de ciment. Le volume du grain initial double. Lorsque plusieurs grains de ciment sont plongés dans l'eau, les cristaux finissent par s'interpénétrer : le ciment fait prise.

2 & 3 Ces deux images prises au microscope électronique à transmission témoignent de la grande ressemblance entre les smectites (à gauche), argiles gonflantes, et les CSH (à droite), principaux hydrates du ciment : tous deux présentent une structure en feuillet.

4 Les diatomées sont des organismes marins unicellulaires. Elles confectionnent de minuscules coques de verre à partir de la silice dissoute dans l'océan. Ces pierres reconstituées sont produites à température ambiante à l'aide d'un minimum d'énergie.

Comment fait la poule pour fabriquer à température ambiante le ciment calcaire dont est constituée la coquille de l'œuf, alors que les bâtisseurs, pour parvenir au même résultat, chauffent une roche calcaire à plus de 800 °C ?



Le plâtre, l'argile, le ciment et la chaux ont en commun, lorsqu'ils sont mélangés à l'eau, de former des pâtes molles capables de se solidifier en un laps de temps pouvant varier de quelques minutes à quelques jours. Les mécanismes de durcissement de ces liants minéraux sont cependant très différents. Si l'on place un mélange de ces quatre matériaux et d'eau dans quatre bocaux étanches, pour les empêcher de sécher, le ciment et le plâtre durcissent, tandis que l'argile et la chaux (si elle est pure ou « aérienne ») peuvent rester indéfiniment en pâte. Les deux premiers, qui durcissent par « hydratation » au contact de l'eau, sont des liants « hydrauliques ». Si l'on prolonge l'expérience et que l'on laisse sécher à l'air libre l'argile et la chaux, puis que l'on replonge les blocs solidifiés dans l'eau, on constate que le durcissement de la chaux est irréversible, tandis que l'argile se retransforme en boue lorsqu'elle est à nouveau immergée dans l'eau. L'argile durcit par simple séchage, grâce à la pénétration d'air dans la porosité et la formation de ponts capillaires entre les particules : dès lors que l'eau remplace à nouveau l'air dans la porosité, la tension superficielle disparaît et le matériau perd sa

NOUVEAUX THÈMES

Matière liante



cohésion. La chaux, quand à elle, fait prise par carbonatation au contact de l'air, raison pour laquelle on parle de chaux aérienne. En première approche, le ciment, le plâtre et la chaux, dont le durcissement implique une transformation chimique, semblent très différents de l'argile, dont le durcissement implique de simples mécanismes physiques de séchage. Pourtant, si l'on s'intéresse à la cohésion de ces matériaux à l'échelle moléculaire, la question est plus complexe, et les frontières entre matériaux deviennent plus floues. Ainsi, en 1998, Paul Acker, directeur scientifique de Lafarge, à propos des hydrates de ciment, pose la question dans une publication scientifique : « Can water be the glue ? ». L'analogie avec les argiles, dont l'eau est le véritable liant à l'état « sec », est troublante. D'ailleurs, les smectites, argiles gonflantes, ressemblent beaucoup aux CSH (Calcium Silicate Hydrate), principaux hydrates de ciment, responsables de la cohésion du ciment durci. Pourquoi le mélange d'une poudre de ciment et d'eau conduit-il à une masse cohésive, même sous l'eau, alors que le mélange d'eau et d'argile ne forme qu'une boue ? C'est probablement dans la compréhension de ce phénomène que réside le gisement le plus important de progrès dans les propriétés mécaniques des bétons.

NOUVEAUX THÈMES

Matière eau

L'eau, pourtant si répandue à la surface de la Terre, reste une énigme. La compréhension de la structure de l'eau reste méconnue en physico-chimie. L'eau est un liquide ordinaire aux propriétés extraordinaires. Par exemple, sa forme solide – la glace – est « moins dense » que sa forme liquide. Les propriétés uniques de l'eau proviennent de sa structure, et en particulier de ce qu'on appelle la liaison hydrogène qui s'établit entre les molécules et assure la cohésion, anormalement élevée, de l'eau. Dans les matériaux de construction, l'eau est présente à toutes les étapes du cycle de vie du bâtiment : au sein des matières premières, lors de la transformation en matériaux de construction, pendant la mise en œuvre des matériaux sur le chantier, tout au long de la vie du bâtiment (interfaces entre les matériaux et performances hygrothermiques) et en fin de cycle (vieillessement, érosion et corrosion des matériaux), etc. Le thème de l'eau renvoie aux quatre autres thématiques de l'atelier matières à construire : la matière en grains, la matière molle, les liants minéraux et les fibres végétales. Différentes notions physico-chimiques sont présentées. En voici quelques exemples.

- 1 Pont capillaire entre deux lames de verre.
- 2 Un flocon de neige est le reflet de la géométrie et de l'organisation spatiale des molécules d'eau à l'échelle atomique.
- 3 Cette mousse est constituée de films d'eau et d'air, des molécules amphiphiles stabilisant l'interface eau-air.
- 4 Les sels et les substances solubles peuvent migrer à travers les matériaux poreux et précipiter au contact de l'air, comme lors de la formation des stalactites.
- 5 Des gouttes d'huile dans l'eau forment des sphères parfaites.

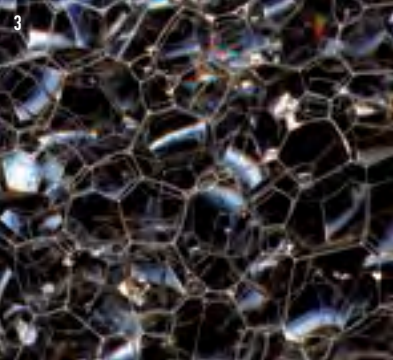


LA CAPILLARITÉ

La tension superficielle de l'eau induit les phénomènes de remontée capillaire ou de cohésion capillaire, qui sont très importants dans les matériaux granulaires humides, mais concernent par extension l'ensemble des matériaux poreux. Au séchage, la fissuration de la terre, du bois ou du ciment apparaît lorsque l'eau est progressivement remplacée par de l'air dans la porosité, l'apparition d'une interface eau-air provoquant une pression attractive entre les particules solides mouillées. La suppression de cette interface liquide-gaz lors du séchage « supercritique » permet par exemple de transformer un « hydrogel », c'est-à-dire tout mélange de particules solides dans l'eau, en « aérogel » aux propriétés extraordinaires.

LES CHANGEMENTS DE PHASE

Dans les pores des matériaux, l'eau se présente sous la forme solide, liquide ou gazeuse, et passe d'un état à l'autre. Ainsi, les phénomènes de gel-dégel, capables de faire éclater la roche par expansion du volume de l'eau lors de sa cristallisation, sont à l'origine de nombreuses pathologies. Il en est de même pour la condensation de



la vapeur d'eau transitant dans un mur, phénomène qui se produit à l'interface entre un matériau poreux et un matériau étanche, et qui peut provoquer le décollement d'un enduit en ciment sur un mur en terre. Ces mêmes phénomènes de condensation et d'évaporation peuvent aussi se révéler bénéfiques pour le confort hygrothermique de l'habitat. Évaporation de l'eau capillaire ou, au contraire, condensation de la vapeur d'eau permettent, par exemple, aux bétons de chanvre de réguler très efficacement les écarts de température entre le jour et la nuit : ce sont des matériaux naturels à changement de phase.

LA PHYSICO-CHIMIE DES INTERFACES

La composition chimique de l'eau (pH et force ionique notamment) gouvernent la stabilité des dispersions, des mousses et des émulsions. La structure de l'eau au voisinage des interfaces et les réactions chimiques de surface contrôlent les propriétés rhéologiques de ces matières molles sur le chantier.

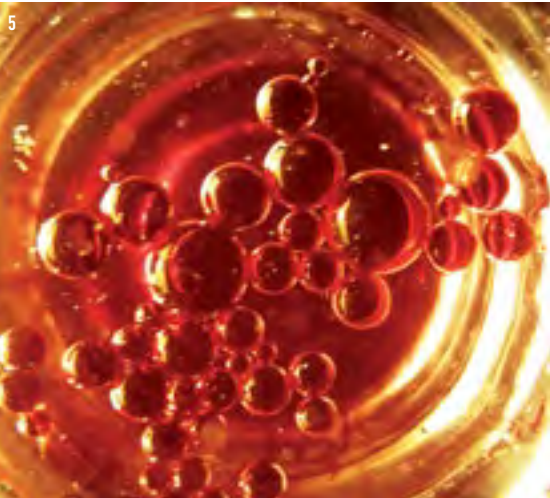
LA SOLVATATION

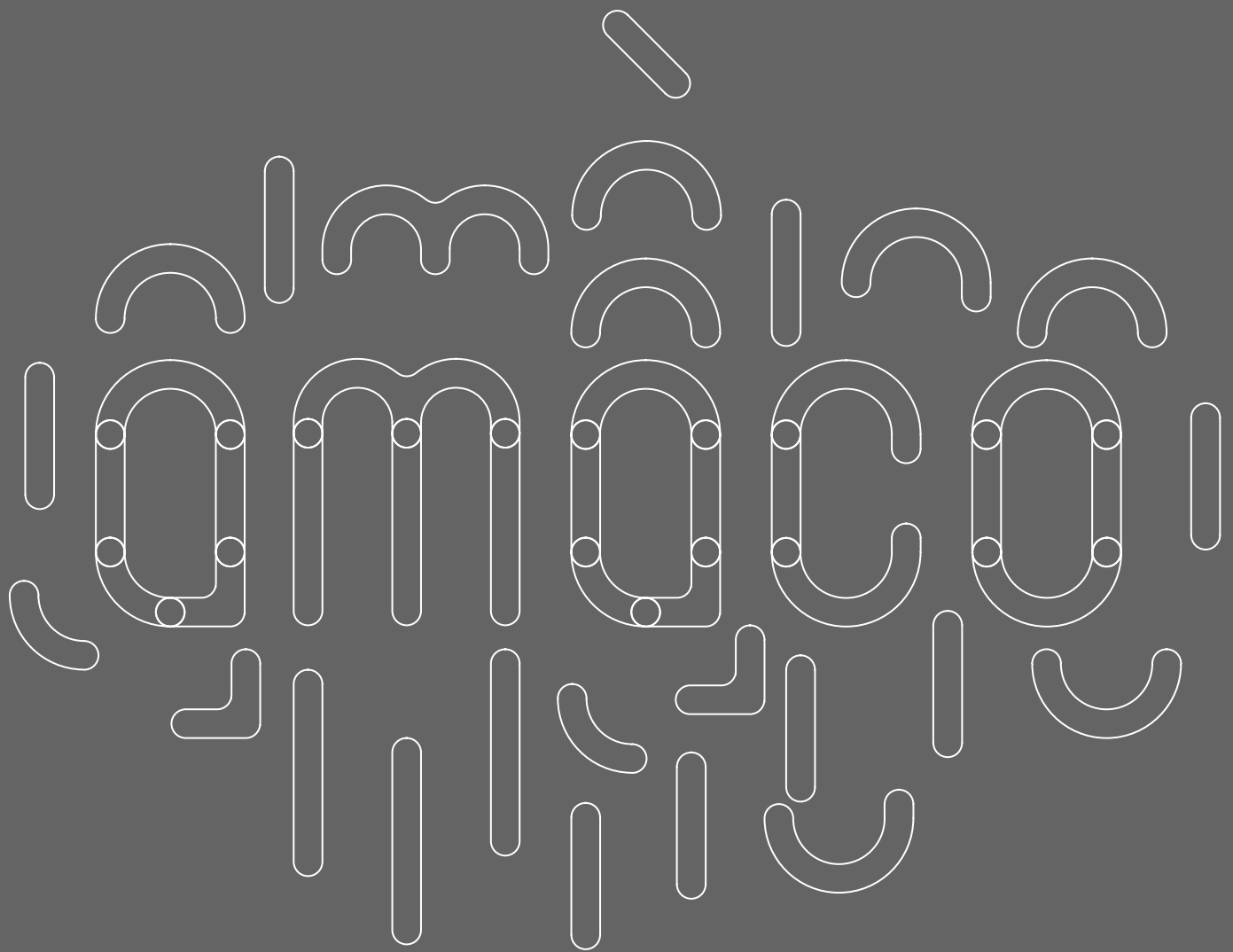
Grâce à la polarité de sa molécule, l'eau est capable de dissoudre un grand nombre de substances, qui peuvent éventuellement migrer et précipiter dans les pores des matériaux, créant des phénomènes de cimentation, d'efflorescence ou différentes pathologies.

L'HYDRATATION ET LA DÉSHYDRATATION DES MINÉRAUX

L'eau joue un rôle essentiel lors du durcissement des liants dits « hydrauliques », tels que le ciment ou le plâtre, dont la prise est liée à une réaction d'« hydratation » : le génie de ces liants est de transformer l'eau en roche.

La compréhension de l'eau offre ainsi un regard transversal sur les mécanismes physico-chimiques à l'œuvre dans les matériaux de construction.





DE LA MATIÈRE À
L'ARCHITECTURE —



Chantiers pédagogiques

Des exercices pratiques à l'échelle 1, sous forme de « chantiers pédagogiques », sont proposés pour mettre en pratique les principes physiques découverts avec les expériences contre-intuitives.

TOUR DE SABLE

L'exercice de la tour de sable est un exemple de mise en pratique de la notion de chaînes de forces, dont le concept central est que les grains exercent une importante poussée latérale. Comment construire une structure en sable de grande hauteur en exploitant ce principe ? L'astuce consiste à placer des armatures horizontales à intervalle régulier entre les couches de sable compactées : les armatures reprennent en traction la poussée horizontale des grains. 60 personnes sont mobilisées pour réaliser en quelques heures la tour de sable ci-contre, de 3 mètres de haut avec des murs de sable de seulement 4 cm d'épaisseur. De nombreux chantiers pédagogiques de ce type sont proposés au public pour mettre en pratique les principes physiques découverts avec les expériences contre-intuitives.



MAISON PAPILLON



Le croisement de l'approche phénoménologique de Grains de Bâtisseurs, mettant en évidence le comportement physico-chimique du matériau terre à l'aide d'expériences contre-intuitives, et de la démarche expérimentale des Grands Ateliers, testant des prototypes à l'échelle 1 en conditions de chantier, a conduit à la réalisation de plusieurs systèmes constructifs originaux conçus par des étudiants architectes de l'ENSAG.

Le premier d'entre eux a été surnommé « pisé coulé ». Il est basé sur la mise au point d'un matériau terre dont la granulométrie modifiée et la teneur en eau maîtrisée lui confèrent les propriétés d'un béton d'argile à affaissement nul : ce matériau granulaire colle autant qu'un mortier visqueux mais ne s'affaisse pas lorsqu'il est coulé.

Dans un premier temps, ce matériau a été mis au point par Jean-Marie Le Tiec dans le cadre de la réalisation du prototype « maison papillon » à ossature bois. En tant que matériau de remplissage, il a l'avantage de n'opérer aucune poussée horizontale sur les coffrages, qui peuvent être légers et rapides à poser, à l'instar de simples canisses de roseaux déroulées et agrafées de part et d'autre de l'ossature légère en bois.

Dans un deuxième temps, ce même matériau a été utilisé pour la restauration du bâti ancien en pisé de la région. Il permet de boucher des trous et fissures de plus de 15 cm d'épaisseur sans s'affaisser, alors qu'un mortier en terre classique s'affaisse au-delà de 3 cm d'épaisseur.



ARCHITECTURE DU LIEN

Le travail engagé par Jean-Marie Le Tiec autour du prototype «maison papillon» a été prolongé par plusieurs étudiants architectes qui ont, dans la même logique, réalisé des prototypes associant de la terre à pisé et des tasseaux de bois de faibles sections. Xavier Porte a notamment inventé un système constructif de tasseaux de bois empilés, non fixés, remplis de terre. Ce système a été amélioré lors d'expérimentations aux Grands Ateliers et à l'ENSAG avant de devenir une solution d'accueil pour des personnes en difficultés sociales. Le système constructif est simple à mettre en œuvre : c'est un assemblage de chevrons empilés sans liant, colle ou autre assemblage usiné qui sont ensuite sanglés puis

remplis avec de la terre coulée. La rigidité des murs est assurée par les portiques qui supportent la toiture. Le projet obtenu est rapide à monter, économique et entièrement démontable. La mise en œuvre ne nécessite aucun savoir-faire sophistiqué et peut être réalisée en partie par une main d'œuvre non qualifiée. L'intelligence du système réside essentiellement dans la structure bois, parfaitement adaptée pour résister à la poussée horizontale de granulats servant de matériau de remplissage. La combinaison de ces deux matériaux de « mauvaise qualité », qui ne présentent l'un sans l'autre aucune résistance mécanique acceptable, conduit à un modèle d'habitat esthétique dont le coût est considérablement réduit.



1 Prototype bois sanglé réalisé en 2006 aux Grands Ateliers.
2 & 3 Prototype en bois sanglé réalisé avec les étudiants du DSA-Terre en 2007.



CUISINE D'ÉTÉ

Le projet de cuisine d'été est un projet d'extension de la cafétéria des Grands Ateliers pour l'usage des étudiants. Il a été conçu et réalisé par des étudiants de master 1 de l'ENSA de Grenoble pendant le festival Grains d'Isère. C'est un projet à l'architecture contemporaine qui met en œuvre la terre à bâtir de l'Isère au travers de la technique ancestrale du pisé et de la technique innovante de la terre coulée. L'espace créé joue avec le concept du dedans qui devient paysage. Un espace à la fois protégé et ouvert. La couverture légère en polycarbonate transparent posée sur une charpente réalisée en tasseaux de bois souligne délicatement la masse des murs créant une enceinte protectrice.

Transfert de technologies

Le découpage du contenu pédagogique en 5 matières permet de montrer les analogies entre matériaux de construction habituellement séparés dans l'industrie et dans l'enseignement, afin de favoriser le transfert de technologies entre filières.

DU BÉTON DE CIMENT AU BÉTON D'ARGILE

Le béton, dans lequel les graviers et les sables sont agglomérés par le ciment, présente des analogies essentielles avec la terre, dans laquelle les cailloux, graviers, sables et silts sont agglomérés par les argiles. La terre est un béton d'argile. De cette prise de conscience découle la leçon suivante : la plupart des innovations majeures qui, au cours des trente dernières années, ont mené à la mise au point des spectaculaires bétons UHP (ultra haute performance) sont directement transférables au matériau terre.



1 Un béton aussi résistant que l'acier. La passerelle de la paix à Séoul est un ouvrage en béton fibré UHP (ultra haute performance), conçu par l'architecte Rudy Ricciotti. D'une grande finesse, elle mesure 120 mètres de long, alors que son tablier en béton est de seulement 3 cm d'épaisseur.
2 Des bétons fluides comme de l'eau. Les bétons autonivelants ou autocompactants nécessitent très peu d'eau pour être liquides. Ils adoptent spontanément une surface horizontale lorsqu'ils sont coulés.



3 Couler un mur en terre comme un béton est désormais possible. L'astuce consiste à modifier la granulométrie de la terre naturelle pour s'approcher des modèles d'empilement utilisés pour réaliser des bétons à ultra hautes performances ou autoplaçants.
4 Les chercheurs de l'université de Mokpo, en Corée du Sud, réalisent de spectaculaires démonstrations de mise en œuvre de nouveaux bétons d'argile autonivelants. La terre est si fluide qu'elle passe dans un tuyau et qu'elle s'étale comme un liquide.



PETER ZUMTHOR

DU PISÉ DE TERRE AU PISÉ DE BÉTON

Contacté par un riche fermier qui souhaitait bâtir une chapelle dédiée à Nicolas de Flüe, saint patron de la Suisse, Peter Zumthor a conçu, à partir des matériaux du lieu, un projet qui joue du contraste entre un volume extérieur rigide et coloré et un intérieur courbe et sombre, éclairé par une faible lumière zénithale.
112 troncs de pins de 12 m de hauteur ont été rassemblés en un tipi géant dont le sommet laisse passer la lumière et la pluie. Avec le gravier, le sable et le ciment local, le fermier et son équipe ont réalisé un béton pisé en 24 couches de 50 cm de hauteur autour du tipi. Les troncs ont été incendiés pour créer une cavité. Ils ont laissé leur marque noircie qui draine la lumière.

De la même manière qu'il est possible de couler la terre comme un béton, il est également possible de compacter le béton comme un pisé. L'architecte Peter Zumthor a ainsi fait le choix de réaliser cette chapelle en pisé de béton.

Art, matière, structure et paysage

La finalité du projet **amàco** est de former des professionnels capables de construire avec ce qu'ils ont sous les pieds. Les travaux de certains artistes, présentés dans les pages qui suivent, illustrent cette philosophie qui consiste à créer avec les matériaux du site.

VOIR UN MONDE DANS UN GRAIN DE SABLE

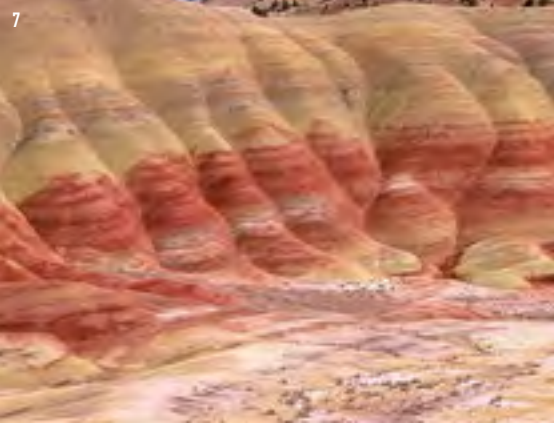
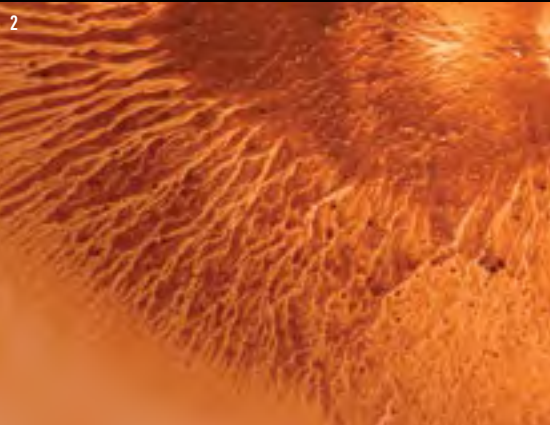
Sur un chantier, au moment de nettoyer un seau, de mélanger une poudre et de l'eau pour réaliser un enduit, de tamiser de la terre, la matière réserve parfois des effets inattendus et surprenants. Des formes diverses apparaissent et font penser à l'échelle du paysage. Cet émerveillement face au comportement de la matière dans ce qu'elle a de plus simple et de plus commun est le point de départ de la pédagogie d'**amàco**.

5 Mongolie. Photo David Gray/Reuters.

6 Fleuve Betsiboka, Madagascar ©NASA.

7 Painted desert, Arizona. Source : www.arizona-dream.com.

8 Plage dans Aigues-Mortes. Source : Colectivo Terrón.



1 EFFET VOLCAN

Si on étale du sable fin sur une plaque vibrante, celui-ci se réorganise de manière spectaculaire et adopte un relief qui ressemble à s'y méprendre à un paysage. Ces reliefs complexes obtenus sont ainsi structurés par l'angle de repos.

2 MARQUES DE RUISSELLEMENT

L'eau en s'évacuant emporte avec elle les grains plus petits ; l'inclinaison étant faible, de petits sillons se forment et partent légèrement en biais. Lorsqu'ils se rencontrent, le sillon s'élargit, jusqu'à ce que celui-ci rencontre un autre sillon et qu'un nouveau sillon encore plus large soit formé. Les marques de ruissellement sont des figures d'érosion dendritiques millimétriques à centimétriques formées par un système de « micro-rivières » lors du retrait des eaux sur les plages ou lors du nettoyage d'une gamatte.

3 RELIEF D'ÉROSION

Si l'eau coule sur un plan avec une inclinaison plus forte, il se dessine peu à peu un relief d'érosion. Les torrents, les rivières et les fleuves, spécialement en période de crues, déploient une grande énergie qui peut arracher de leur substrat d'importantes quantités de particules minérales.

4 RIDES DE SABLE

En remuant un seau d'eau, on simule le mouvement des vagues. Peu à peu le relief du sable s'organise en petites dunes plus ou moins parallèles aux allers retours de l'eau. Les figures qui se forment sont similaires à celles que l'on peut observer au fond de l'eau à l'endroit où les vagues viennent s'échouer sur la plage. Le flux et le reflux de l'eau soulèvent le sable qui se dépose selon un certain angle.

ART ET MATIÈRE

ULRIKE ARNOLD

Ulrike Arnold, peintre allemande, a voyagé à travers le monde et a travaillé dans des endroits retirés souvent associés à des rituels ou des propriétés magiques. Sa visite des carrières d'ocres du Rous-sillon (Provence, France) en 1980 a été un fait déterminant dans sa carrière artistique. Actuellement, son travail est fait entièrement à l'extérieur avec des pigments minéraux qu'elle trouve sur place : pierres et terres. Avec ces maté-riaux, elle crée soit des peintures sur la roche in situ, « rock pain-tings », soit des peintures sur toiles en les mélangeant à une colle transparente. Son œuvre ne peut pas être comprise sans cette notion de retour à la nature. Les œuvres d'Ulrike Arnold ne sont jamais plates, il y a toujours de l'épaisseur et des espaces qui se créent. Comme le paysage, ses mémoires artistiques, comme elle-même les décrit, sont sans



1 Luna Mesa, Utah.
©Ulrike Arnold
2 Colorado Plateau, Utah.
©Ulrike Arnold

titres et n'ont pas de cadres ; elles sont définies seulement par le lieu géographique où elles ont été créées et par la provenance des pigments des terres utilisées. Ses tableaux sont sa réponse aux différents endroits à travers le monde où le paysage est telle-ment remarquable, qu'il n'y a pas de mots pour le décrire.



ART ET MATIÈRE

MIQUEL BARCELÓ ET JOSEF NADJ

« Paso Doble », présenté en avant-première pendant le festival d'Avignon 2006, est l'œuvre com-mune de deux créateurs d'images parmi les plus inventifs, chacun dans leur discipline : le peintre et sculpteur catalan Miquel Barceló et Josef Nadj, danseur et homme de théâtre. Habillés en costume noir, les deux créateurs rentrent dans un mur d'argile, s'enfoncent, déchirant des morceaux, escaladent, désintègrent des objets de boue... C'est une action sauvage, l'art comme épuisement. Il s'agit d'une construction à partir de la désinté-gration, où l'œuvre est un proces-sus. Le but n'est pas de fabriquer, l'important, c'est ce qui se passe dans ce temps-là : la performance durant une heure.



« Je crois que nous avons su trouver pour cette occasion un langage commun par l'intermé-diaire de cette matière, l'argile. J'ai demandé à Josef de ne pas « figurer », de ne pas faire de gestes trop physiques pour ne pas dessiner, parce que je veux que cela surgisse à la fin comme une apparition et non par la volonté.» Entretien avec Miquel Barceló et Josef Nadj d'Irène Filiberti.

3 Paso doble au festival d' Avignon.
©Agustí Torres.

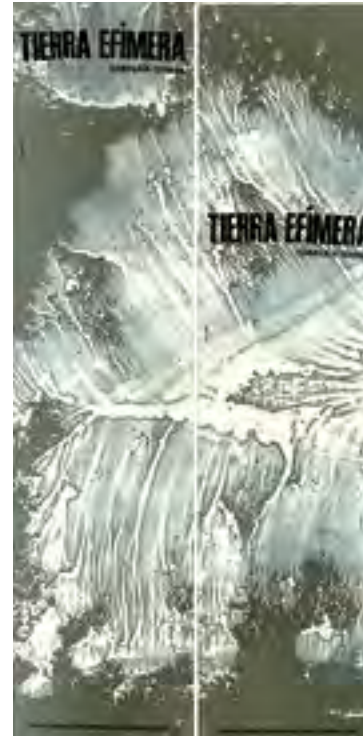


Quand le spectacle se termine, le public se précipite pour découvrir ce qu'il y a derrière l'écran, les gestes et les outils qui participent à la performance.

ART ET MATIÈRE COLECTIVO TERRÓN

43

Tierra Efímera joue de la fusion entre peinture et cinéma, dessin animé et chorégraphie, théâtre d'ombres et création graphique.



Tierra Efímera est un spectacle où le principal protagoniste est la matière terre. Des images passagères se composent et se décomposent en créant une chorégraphie picturale éphémère sur un écran. Il n'y a pas de parole, seulement des images et des gestes, des textures et des couleurs, le tout accompagné de sons et de musique. Le fait de ne pas être un spectacle narratif, implique forcément que chacun fabrique sa propre histoire.

« Cette mise en scène de la terre nous propose une valorisation scénographique d'un matériau porteur d'histoire, de modernité et d'avenir, d'un matériau d'une surprenante malléabilité et de séduisantes potentialités. Derrière un vaste écran translucide, éclairé par l'arrière en lumière rasante, se déploie durant 40 minutes l'activité intense de trois acteurs. Ils manipulent avec

une fulgurante dextérité un seul et même matériau dans divers états de liquidité : projeté, étalé, caressé, effacé, tracé ou déployé sur l'arrière de l'écran qui est ainsi transformé en écritoire géant d'un nouveau lyrisme créatif et de suggestifs fantasmés colorés.

Alors que leurs œuvres sont, dans nos musées, figées dans une éternelle immobilité, leurs traces revisitées prennent soudain ici une miraculeuse vivacité portée par l'élan d'une dynamique gestuelle qui les élève au niveau d'une réelle innovation scénique : une chorégraphie picturale. C'est un poème de la terre que le collectif Terrón déploie dans l'espace scénique. »

Propos de Jean Dethier, architecte, Juin 2011.



ART ET MATIÈRE

JIM DENEVAN

Jim Denevan est avant tout un passionné de surf. C'est cette passion qui, un jour, l'a conduit à dessiner sur les plages comme si elles étaient des immenses toiles, effacées à chaque nouvelle marée. Armé d'un bâton et d'un râteau, il crée sur le sable de monumentales formes géométriques – croix, cercles, spirales – à régularité parfaite. Ses réalisations, visibles dans leur intégralité depuis les falaises qui dominent la mer, n'existent que pour quelques heures. La photographie est le seul moyen de raconter l'histoire de la création, de l'existence et de la destruction de ces œuvres éphémères.



Tracés géométriques dessinés sur le sable, avec un bâton et un râteau, avant que la marée ne les emporte.



MATIÈRE, STRUCTURE ET ÉQUILIBRE

ANDY GOLDSWORTHY



Une grande partie de l'activité artistique d'Andy Goldsworthy se déroule en plein air, utilisant des matériaux trouvés sur place. Son travail est connu comme « Land art ».

Chacune de ses œuvres se concentre sur un aspect particulier du matériau et du lieu. Par exemple, certaines tiges d'herbe sont dures, cassantes, creuses et forment un angle en se fracturant ; par contre, la partie qui porte les graines est souple, fine résistante comme un fouet. Il faut de nombreuses créations avant d'arriver à comprendre les multiples qualités des matériaux. En les explorant, Andy Goldsworthy essaye de comprendre l'ensemble ; non pas en spectateur, mais en participant actif. Il puise dans l'énergie de la nature de façon à donner de l'énergie à son œuvre.

« La vue, le touché, la matière, le lieu, la forme et l'œuvre qui en résulte constituent un ensemble intégral - difficile de dire où commence et où finit quoi. Le lieu est découvert en marchant, l'orientation est déterminée par le temps et la saison. Je saisis les occasions que m'offre chaque jour : s'il neige, je travaille avec de la neige, à l'automne, avec des feuilles mortes ; un arbre renversé devient une réserve de branches, des plus petites aux plus grosses. »

Ses œuvres se développent en utilisant les ressources locales, les matériaux qu'il a « sous les pieds ».



Construire avec ce que l'on a sous les pieds

48

Le trait d'union entre la géologie d'un lieu et son architecture est universel. Partout sur la planète, les hommes et les femmes construisent avec les matériaux qu'ils ont sous les pieds. L'architecture vernaculaire est le reflet de cette intelligence. Aujourd'hui des architectes talentueux, tels que Wang Shu, Rick Joy ou l'agence Wingårdhs, renouent avec une caractéristique essentielle de cette tradition : l'intégration au paysage. L'architecte doit réapprendre à construire avec ce qu'il a sous les pieds ou à portée de main. Il doit réapprendre à transformer des matériaux du site en architecture de qualité.

Ce mausolée de pierre, en Arabie Saoudite, s'intègre parfaitement dans ce paysage de falaises rocheuses. La couleur noire des pierres de schiste contraste avec les décorations de quartz blanc.
© Thierry Mauger



WANG SHU

49

Wang Shu, qui a reçu le prix Pritzker en 2012, le « Nobel » d'architecture, est l'architecte chinois le plus connu à l'heure actuelle. Il accorde une grande importance à l'atelier et à l'expérimentation, considérant que l'architecte doit être à la fois artisan et philosophe. Il veut éviter le divorce entre l'enseignement de la conception architecturale et la connaissance de la tradition chinoise, dans laquelle les matériaux occupent une place majeure, divorce qui conduit à imiter aveuglément les formes occidentales en négligeant le contexte social et culturel. Wang Shu transfère de façon poétique l'usage de matériaux premiers ou récupérés et de techniques de construction traditionnelles dans un langage architectural contemporain.

Le musée d'histoire de Ningbo, réalisé en 2008 par l'architecte Wang Shu, est construit avec les matériaux du site selon la technique traditionnelle de la pierre sèche, avec un langage architectural résolument contemporain.



RICK JOY

Dans les régions désertiques, la terre est parfois le seul matériau disponible à des centaines de kilomètres à la ronde. Ainsi dans le désert de Gobi, la grande muraille de Chine est construite en terre sur des milliers de kilomètres. Aujourd’hui l’architecte américain Rick Joy renoue avec cette tradition du pisé et développe une architecture de terre contemporaine. Son travail est fondé sur la sensibilité aux paysages et à l’environnement désertique. Son agence d’architecture se situe à Tucson, dans le désert de l’Arizona. Le bâtiment, aux allures de forteresse, est tourné sur lui-même. L’entrée se fait par un portail imposant qui pivote dans le mur d’enceinte et dévoile une petite cour, étroite qui possède un arbre en son milieu et un petit bassin dans le fond de la parcelle. Le mur d’enceinte de 1,2 m d’épaisseur et de 4 m de haut est en pisé stabilisé à 3%. L’épaisseur du mur en pisé est une nécessité structurelle pour l’accroche d’un mur de verre et pour le confort thermique grâce à l’inertie qu’elle procure. Le mur de verre se présente depuis la cour comme un immense miroir qui donne de l’espace à cet extérieur étroit. Il procure également une sensation de légèreté, car il ne possède aucune ossature pour le soutenir. A l’intérieur, une seule pièce s’étend entre le mur pisé et le mur de verre. Le plafond en acier poli procure une sensation de fraîcheur agréable sous ce climat, mais est surtout présent dans un but technique : il contient tous les réseaux électriques et les luminaires.

La façade vitrée apporte la lumière tout en restant un maximum à l’ombre du soleil. Les vitrages, grâce à leurs reflets, permettent d’agrandir visuellement la cour de l’agence. Afin d’apporter une meilleure sensation de confort, le faux plafond de l’agence a été réalisé en acier inoxydable.

Dans les régions désertiques de la province du Gansu, la Grande Muraille de Chine est construite en terre crue, seul matériau disponible localement.



En optant pour un vitrage zénithal, les architectes ont supprimé la faiblesse principale des toits en chaume : l'étanchéité en partie haute.



L'utilisation de techniques de construction traditionnelles n'enlève rien à l'aspect très contemporain de cette réalisation. Les vues sur l'extérieur et la volumétrie intérieure ont été privilégiées.



AGENCE WINGÅRDHS

En Suède, Le centre de visite et d'interprétation du lac Tåkern a été construit en utilisant les techniques de construction traditionnelles de la région. Cet endroit est réputé comme endroit de nidification de plus d'une centaine d'espèces d'oiseaux. Les constructions en chaume sont typiques des cachettes construites par les amateurs. Le bâtiment possède une structure intérieure en bois. Le bardage est réalisé en chaume. Le faîtage, qui est généralement particulièrement vulnérable dans les toits de chaume, est réalisé en verre, laissant ainsi pénétrer la lumière.

Les moudhifs, architecture vernaculaire de la région des marais du Sud de l'Irak, sont un autre exemple de bâtiments entièrement construits en roseau, dans une zone où il est le seul matériau disponible.





54

Une stavkirke, église médiévale en bois, typique des constructions traditionnelles norvégiennes.



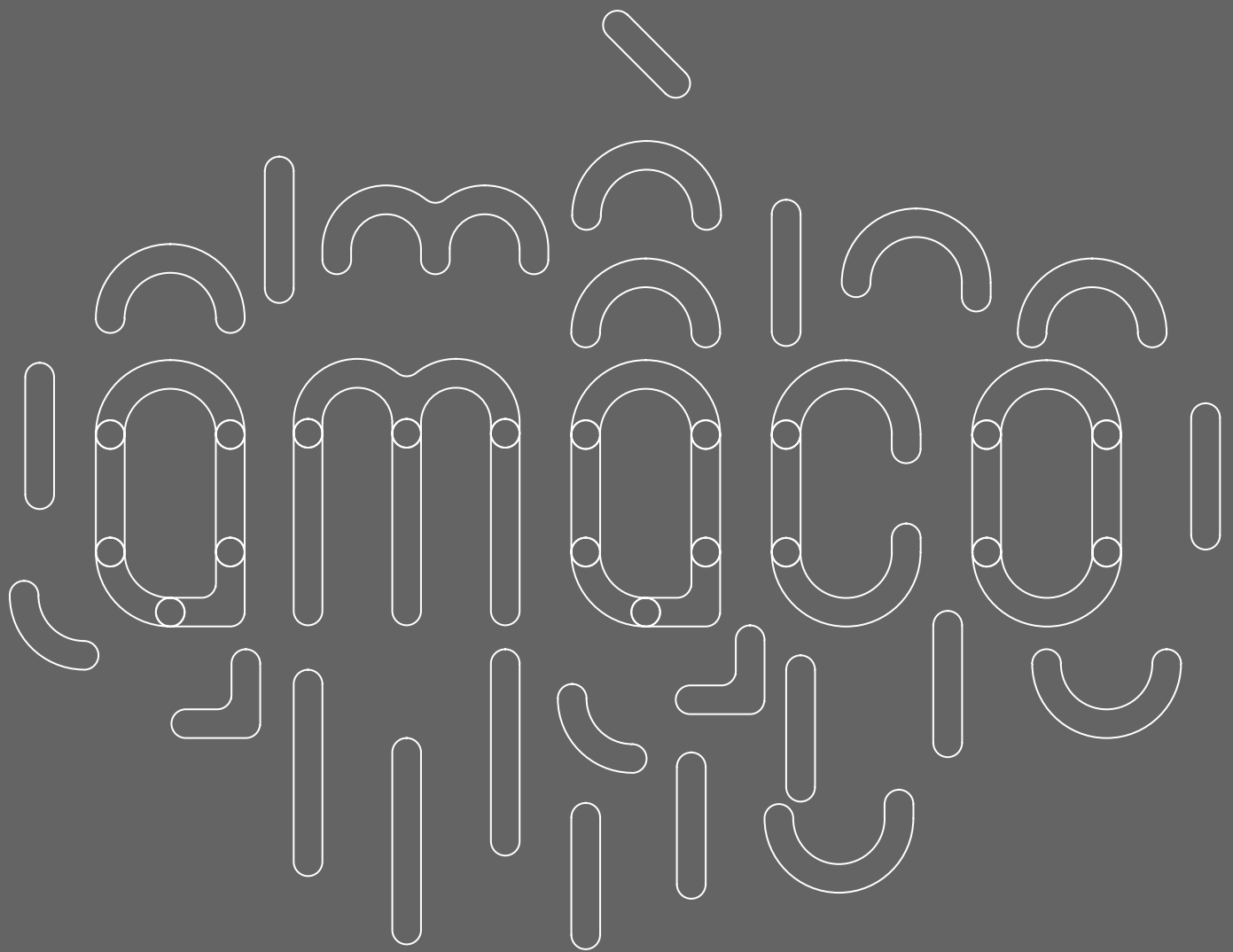
TYIN TEGNESTUE

Les constructions traditionnelles norvégiennes des bords de lac sont habituellement utilisées pour stocker des bateaux et les produits de la pêche, mais, de plus en plus, nombre d'entre elles sont réaménagées pour être utilisées en maison d'été. L'habitation existante était en très mauvais état. Le projet a été pensé en accord avec le site : la typologie simple du bâtiment, l'utilisation intelligente et la récupération de matériaux disponibles à proximité (les fenêtres proviennent de l'habitation principale du client). Le bardage bois est en pin badi-geonné avec un produit issu de l'industrie de la canne à sucre (mélasse), ce qui lui donne cet aspect gris patiné. L'ensemble des panneaux latéraux peut s'ouvrir, grâce à un système simple de câbles aciers.



55





CYCLE DE LA
CONSTRUCTION



Cycle de la construction en terre

58

POINT DE DÉPART : LE SOL

La matière première est prélevée en profondeur dans le sol, sous la couche de terre végétale.



À partir de la terre, matière si commune, les bâtisseurs du monde entier produisent une grande diversité de matériaux de construction, comme des briques de terre séchées au soleil. Ces matériaux sont alors assemblés pour bâtir différents éléments, tels que des murs, des arcs, des voûtes ou des coupoles. Une fois associés, ces derniers constituent une véritable structure en terre, elle-même intégrée au sein d'un édifice conçu pour la protéger des eaux de pluie. Les villes en terre, dont certaines hébergent plusieurs milliers d'habitants, sont ainsi parfaitement adaptées à leur environnement physique et culturel.

MATIÈRE



Après extraction, la terre est souvent utilisée sans transformation. Parfois, des opérations préalables de tamisage, de broyage ou de malaxage sont nécessaires.

MATÉRIAU



En moulant ces briques de terre, ce maçon transforme la matière en matériau de construction.

ÉLÉMENT



Les briques sont maçonnées pour former une voûte.

STRUCTURE



Ces piliers, ces arcs et ces voûtes s'agencent en une structure entièrement bâtie en terre crue.

ÉDIFICE



La structure en terre s'intègre dans un édifice conçu pour la protéger de la pluie.

AGGLOMÉRATION

Plusieurs édifices s'assemblent pour former une agglomération, comme comme ici à Shibam au Yémen, où l'architecture de terre s'intègre parfaitement au paysage et semble prolonger l'œuvre de la nature.



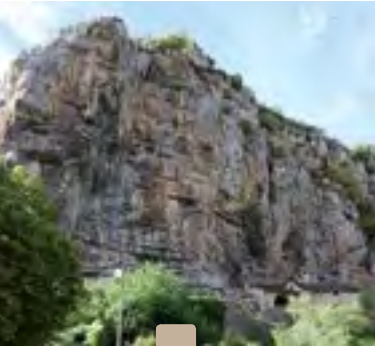
59

Cycle de la construction en pierre

60

POINT DE DÉPART : LA ROCHE

La roche est une ressource naturelle fréquemment utilisée dans la construction.



La pierre est une matière naturelle issue des formations géologiques. La grande diversité de ces dernières se traduit naturellement par une grande variété de pierres de mise en œuvre. Si, dans l'antiquité, les difficultés d'extraction en faisaient un matériau réservé aux architectures prestigieuses, les techniques actuelles d'extraction et de taille permettent l'utilisation de la pierre dans tous types de constructions. Cette matière, transformée en blocs, fait appel à des savoir-faire et des techniques de maçonnerie qui consistent à mettre en œuvre des éléments modulaires par empilements successifs et de façon appareillée. Les architectures en pierre jouent avec des éléments structurels de murs, de piliers, d'arcs, de voûtes et de coupoles, en éléments porteurs, en remplissage ou en habillage de façade.

MATIÈRE



Carrière
La matière est extraite des carrières à l'aide de machines de découpes ou d'explosifs. Il est souvent nécessaire de faire le tri en fonction des usages.

MATÉRIAU



La pierre et sa découpe
La pierre obtenue peut être travaillée de façon à obtenir un matériau facilement utilisable en construction.

ÉLÉMENT



Le bloc taillé, la brique
La pierre est découpée pour former le module de base de toute maçonnerie : le bloc taillé, la brique.

STRUCTURE



Un arc
En assemblant les éléments, le maçon, le tailleur de pierres construisent des structures : murs, linteaux, arcs, voûtes, coupoles...

ÉDIFICE



Une architecture
Les structures, liées entre elles forment l'édifice : une architecture pour se protéger et s'abriter.

AGGLOMÉRATION

Plusieurs édifices s'assemblent pour former une agglomération, ici le village de Gordes dans le Lubéron (France).



61

Cycle de la construction en bois

62

POINT DE DÉPART : LA FORÊT

Point de départ : La forêt
La forêt est une ressource naturelle renouvelable.



L'exploitation de la forêt, la sylviculture, permet, entre autres, de produire du bois d'œuvre destiné au sciage et au tranchage. Les déchets issus de la récolte de ce bois sont notamment utilisés pour le bois d'industrie (création de panneaux, de pâte à papier, d'isolants, etc.). La première étape de transformation consiste à couper le bois dans des scieries afin de transformer les troncs en plots (troncs tranchés et empilés) ou en poutres de sections variables. La deuxième étape de transformation se déroule dans les usines et les ateliers. Le bois séché y est transformé en éléments de construction (poutres lamellé-collé, menuiseries, charpentes, panneaux d'ossature bois, etc.) qui sont ensuite assemblés pour former des bâtiments à l'architecture légère. En effet, le bois est très apprécié pour ses caractéristiques structurales et esthétiques, sa légèreté, ainsi que la possibilité de préfabriquer et de contrôler la mise en œuvre.

MATIÈRE



L'arbre, le bois
L'équilibre forestier passe aujourd'hui par une gestion raisonnée des coupes et des reboisements.

MATÉRIAU



Le bois et sa découpe
Les arbres abattus (les grumes) sont transportés dans les scieries pour être coupés.

ÉLÉMENT



Planches
Le bois peut être débité en planches, tasseaux, poutres,... éléments de base de la construction en ossature.

STRUCTURE



Une ferme
L'assemblage d'éléments simples permet de réaliser des structures complexes, telles que les fermes, les ossatures, les portiques...

ÉDIFICE



Une architecture
En utilisant plusieurs structures, on obtient une architecture permettant de s'abriter et de se protéger.

AGGLOMÉRATION

Plusieurs bâtiments s'assemblent pour former une agglomération.



63



Des Grands Ateliers à la Cité de la Construction Durable

L'Atelier Matières à Construire s'intègre dans un grand projet d'extension des Grands Ateliers intitulé la Cité de la Construction Durable, dont la mission est de produire et diffuser à grande échelle une culture scientifique et technique de la construction durable.

LES GRANDS ATELIERS

Les Grands Ateliers sont une « ruche » pédagogique, où les enseignants, chercheurs et étudiants s'activent, rassemblent des matériaux et construisent des structures innovantes à l'échelle réelle. Dans ce bâtiment outil, l'apprentissage sollicite tous les sens et permet l'intégration corporelle de connaissances qui ne peuvent pas s'acquérir seulement par l'ouïe et la vue. Les activités pédagogiques font appel à l'expérience physique, à ce que l'on apprend par le corps et les sens, et non pas seulement par l'esprit. Elles ont un format temporel bien particulier : le workshop intensif. Dans un premier temps, elles visent à comprendre les matériaux par leurs transformations, puis, dans un deuxième, à comprendre les logiques constructives qui en découlent. Les Grands Ateliers développent de nombreuses activités pédagogiques et de recherches avec des écoles et universités étrangères.

- | | |
|--|--|
| 1 Coupole sphérique en carton , R. March (ENSAPVS) | des ambiances, P. Liveneau (ENSAG) & C. Régnault (ENSAL) |
| 2 Morphologie structurale, structures funiculaires , J.-M. Delarue (ENSAPM) | 5 Installation artistique « Corps à l'œuvre » , Alain Fraggi |
| 3 Structure bois à double-courbure , Ecole polytechnique de Turin | 7 Atelier pierres massives – E. Polzella, J.-P. Foucher, G. Perraudin (ENSAG) |
| 4 Structures gonflables , H.-W. Müller (ENSAPM) | 8 Nature et artifice , F. Rambert (ENSAM) |
| 5 & 6 Sixième sens , Conception architecturale et perception | 9 Franchissements , R. Mouterde (ENSAL – ENTPE) |
| | 10 La Cathédrale en chantier , Patrice-Doat (ENSAG) |



SOLAR DECATHLON

Le Solar Decathlon est une compétition universitaire internationale et biennale qui regroupe des équipes étudiantes encadrées par des enseignants et professionnels de l'énergie solaire et du bâtiment, organisée depuis 2002 par le Département de l'Énergie du gouvernement des États-Unis. Sur plusieurs centaines d'universités, seulement vingt équipes sont sélectionnées pour concevoir et construire une maison de 70 m² n'utilisant que le soleil comme source d'énergie. Elle accueille plus de 300 000 visiteurs en dix jours et permet ainsi de sensibiliser les futurs maîtres d'œuvre, maîtres d'ouvrage et le grand public.

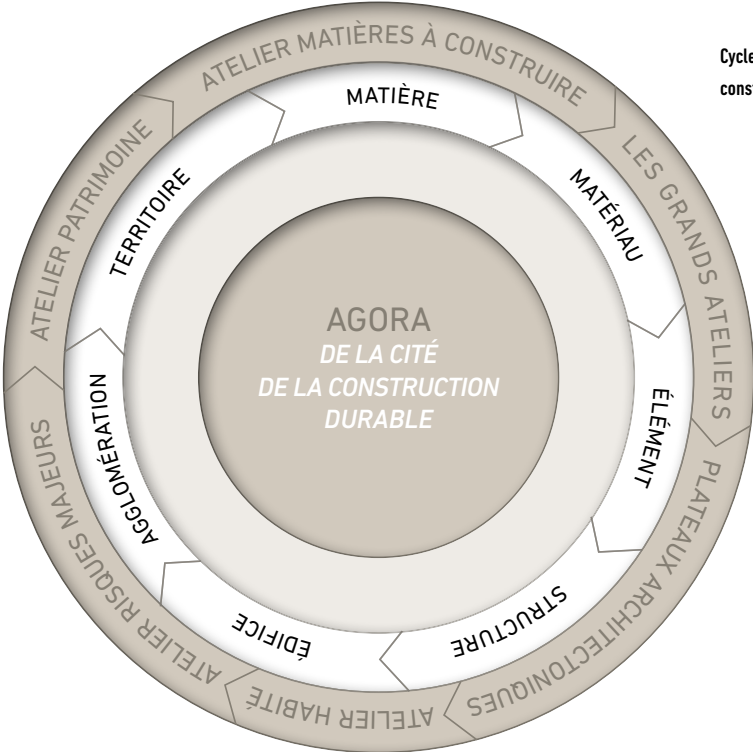
En partenariat avec des établissements d'enseignement supérieur et avec plus d'une soixantaine d'entreprises, la Team Rhône Alpes a participé à la compétition en 2010 et 2012. Lors du Solar Decathlon Europe 2010, la Team Rhône-Alpes avait obtenu la 4^e place du classement général avec son prototype de maison



Solar Decathlon 2012, le prototype Canopea de la Team Rhône-Alpes remporte la compétition.

solaire Armadillo Box, avec un 2^e prix en architecture, un 3^e prix en ingénierie, un 3^e prix en innovation et un 3^e prix en balance énergétique. En 2012, la Team Rhône-Alpes s'est classée première au classement général après avoir remporté le 1^{er} prix d'architecture, le 1^{er} prix de maintien des conditions de confort, le 1^{er} prix de fonctionnement des équipements de la maison, le 1^{er} prix d'innovation, le 2^e prix de communication et d'éveil des consciences sociales et le 2^e prix d'industrialisation et de faisabilité économique. L'équipe s'est également vue décerner, hors compétition, le prix de l'habitat social et le prix de l'accessibilité.





Cycle de la cité de la construction durable.

CITÉ DE LA CONSTRUCTION DURABLE

amàco et le Solar Decathlon préfigurent la Cité de la Construction Durable, grand projet d'extension des Grands Ateliers, pour permettre de développer des questionnements et problématiques complémentaires à ceux déjà pratiqués. Cette cité permet de comprendre les différentes échelles de la construction, de la molécule à l'échelle urbaine et du paysage, en passant par l'échelle du bâtiment. Elle permet de mieux comprendre comment les êtres humains utilisent les ressources de leurs territoires, façonnent des matériaux, assemblent des structures, construisent des édifices, agencent des agglomérations et aménagent des territoires. La Cité de la Construction Durable forme un écosystème constitué de six entités qui, réunies, permettent d'appréhender l'intégralité de ce cycle de la construction.

ENTITÉ 1 – GRANDS ATELIERS
(matériau, élément et structure)
Les Grands Ateliers sont une plateforme de recherche et d'expérimentation de la construction. Ils permettent notamment de réaliser des structures à l'échelle 1 à partir de différents matériaux : bois, acier, pierre, béton, terre, paille, etc.

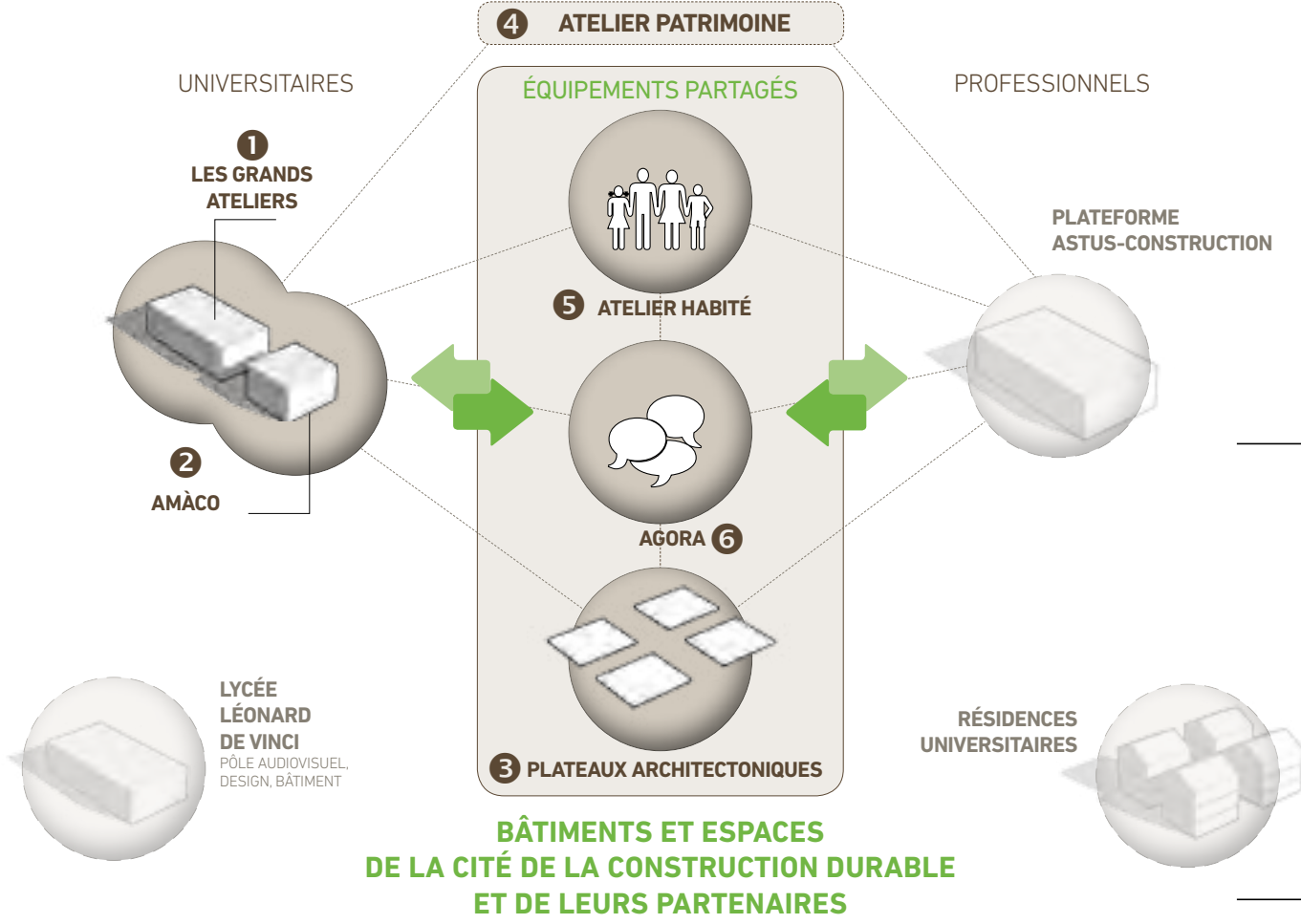
ENTITÉ 2 – ATELIER MATIÈRES À CONSTRUIRE
(matière et matériau)
L'Atelier Matières à Construire est un centre d'excellence pédagogique sur les sciences de la matière pour la construction durable. Il vise notamment à comprendre les matières premières dont sont faits les matériaux de construction.

ENTITÉ 3 – PLATEAUX ARCHITECTONIQUES
(structure et édifice)
Les plateaux architectoniques permettent de construire des prototypes à l'échelle 1, en grandeur réelle, construits par les universitaires et les entreprises partenaires des Grands Ateliers.

ENTITÉ 4 – ATELIER PATRIMOINE
(territoire Nord-Isère)
Le projet de la Cité de la Construction Durable à travers l'atelier patrimoine rayonne sur le territoire du Nord-Isère. Ses paysages et formations géologiques, son patrimoine bâti, ses opérations exemplaires d'écoconstruction, etc. font l'objet d'actions de diffusion de la culture scientifique et technique sur le thème de la construction durable.

ENTITÉ 5 – ATELIER HABITÉ
(édifice et agglomération)
Les prototypes terminés sont exposés aussi bien sur le site de la Cité de la Construction Durable, que dispersés sur le territoire, et deviennent des bâtiments démons-trateurs habités dans le cadre d'opérations de tourisme éducatif.

ENTITÉ 6 – AGORA DE LA CITÉ DE LA CONSTRUCTION DURABLE (lieu de rencontres)
L'agora de la Cité de la Construction Durable est un espace festif et d'animations où l'ensemble des acteurs de la construction (universitaires, entreprises, membres des collectivités territoriales, scolaires, grand public et habitants), qui agissent à différents niveaux du cycle de la construction, se rencontrent et échangent.

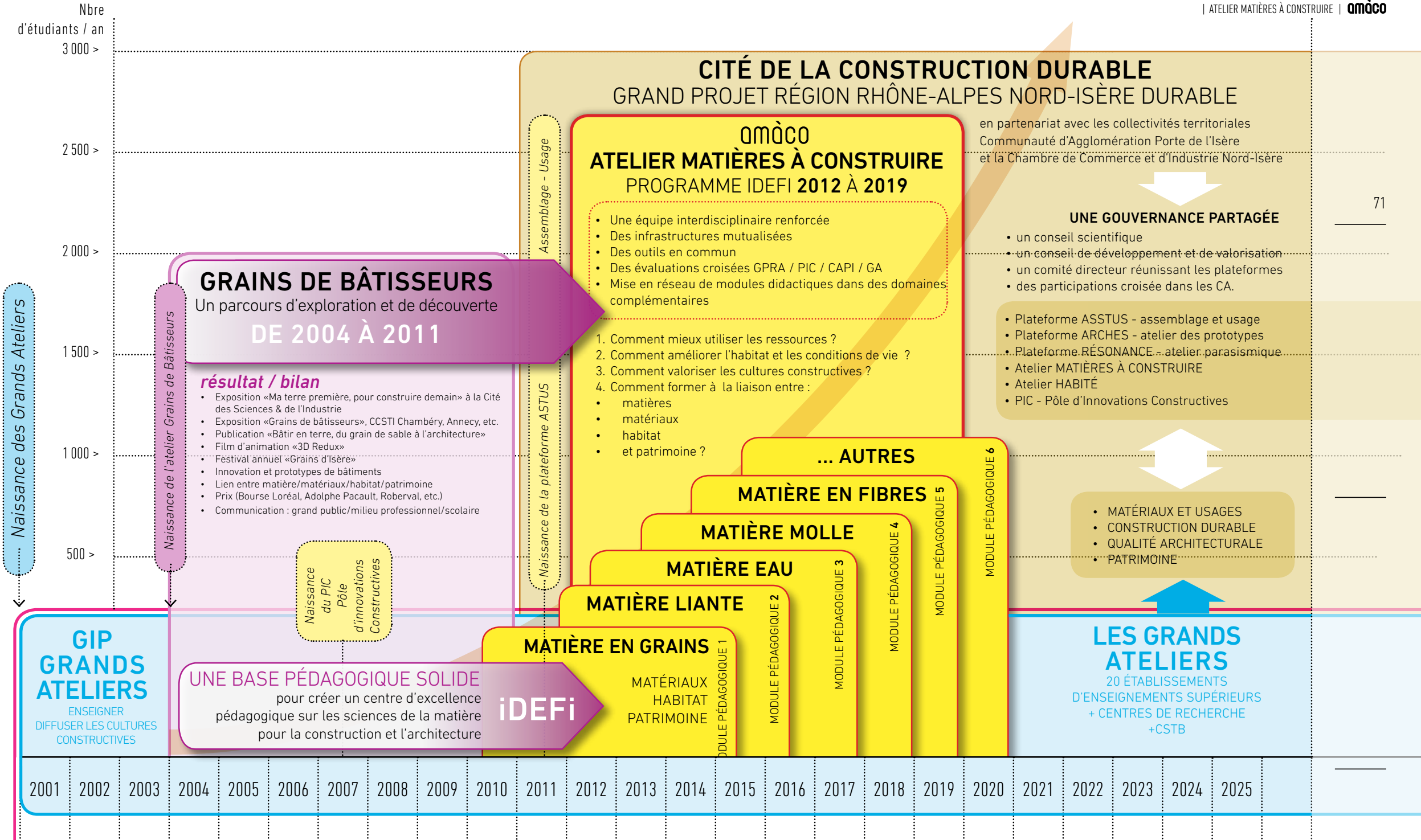


70

SCHÉMA DYNAMIQUE
DES CHANGEMENTS
APPORTÉS PAR LA
PROGRAMMATION
ET LA DIFFUSION
DE MODULES
PÉDAGOGIQUES SUR
LA SCIENCE DE LA
MATIÈRE AU SERVICE
D'UNE ARCHITECTURE
DURABLE

Mise en place de ces
enseignements dans le
cadre d'un partenariat
scientifique entre
physiciens, ingénieurs et
architectes

- Enseignants des écoles d'architecture et d'ingénieurs
- Étudiants architectes, ingénieurs, techniciens, etc.
- Professionnels du bâtiment (CAPEB, FFB...)
- Formateurs des CFA, AFPA, GRETA



71

Crédits

72 Une publication **amàco**,
atelier matières à construire
Les Grands Ateliers

- AUTEURS**
Nuria ALVAREZ COLL
Romain ANGER
Jeremie BASSET
Basile CLOQUET
Patrice DOAT
Michel-André DURAND
Laetitia FONTAINE
Hugo GASNIER
Hugo HOUBEN
Yves JORAND
Amélie LE PAIH
Jean-Marie LE TIEC
Sandrine MAXIMILIEN
Anne-Marie MEUNIER
Arnaud MISSE
Christian OLAGNON
Martin POINTET
Henri VAN DAMME
Christophe WILKE

DESIGN GRAPHIQUE
LT+M

CRÉDITS
Photos tous droits réservés

© 2013 amàco, les grands ateliers



La région Rhône-Alpes soutient le projet Grains de Bâtisseurs depuis 2004



Universcience soutient le projet de l'Atelier
Matières à Construire et participe au financement
de cette publication



ANR -11 - IDEFI - 0008
Les Investissements d'Avenir, à travers le pro-
gramme IDEFI, soutiennent le projet amàco, atelier
matières à construire.



L'équipe **amàco** invite tous
les enseignants, chercheurs,
professionnels, représentants
d'établissements d'enseignement
supérieur et de recherche ou
d'organismes de formations
professionnelles, de collectivités
territoriales, etc. intéressés par
l'Atelier Matières à Construire à
prendre contact avec elle.



LES GRANDS ATELIERS
BP 43
38092 VILLEFONTAINE CEDEX
TEL : +33 (0)4 74 96 89 06
amaco@lesgrandsateliers.fr



L'ATELIER MATIÈRES À CONSTRUIRE est un centre de ressources pédagogiques qui vise à rendre visible, de manière sensible et poétique, les comportements physico-chimiques des matières naturelles les plus communes, telles que le sable, l'eau, la terre, le bois, la paille, etc.

Le projet a comme objectif de faire connaître leurs applications dans la construction afin de favoriser l'émergence de pratiques éco-responsables. **amàco** rassemble dans un même lieu des physiciens, des ingénieurs, des artistes et des architectes. Magie, émotion et créativité sont les maîtres mots du projet.

Un tel projet porte en lui une nouvelle conception de l'idée de progrès et de ce qui est «à la pointe» et amène à repenser l'idée d'innovation dans un cadre où celle-ci ne repose pas forcément sur la découverte d'un matériau de synthèse aux caractéristiques exceptionnelles, mais plutôt sur une redécouverte du fonctionnement et du génie du naturel. Cet enseignement

innovant quant à sa nature donne la possibilité à son public (professionnels, chercheurs, enseignants, étudiants, scolaires, grand public, etc.) de mettre en réseau des connaissances axées sur le génie de la simplicité.

amàco reçoit le soutien des Investissements d'Avenir à travers les Initiatives d'Excellence en Formations Innovantes (IDFI) pour une durée de 8 ans, jusqu'en décembre 2019.

Les Grands Ateliers, porteur du projet, sont associés à l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon et l'École Supérieure de Physique et Chimie Industrielles de Paris.

Le projet s'inscrit dans la Cité de la Construction Durable, un concept cadre englobant la totalité de la chaîne de pensée depuis la matière jusqu'à l'usage des espaces bâtis et dont la réalisation fédère l'université, l'industrie et les collectivités territoriales.



ANR-11-IDFI-0008