

# MANIPS GRAINS

kit pédagogique

# KIT PÉDAGOGIQUE

## Atelier de manips scientifiques

*Cet atelier scientifique est composé de manips à expérimenter pour mieux comprendre la physique des grains, appliquée aux matières à construire disponible juste sous nos pieds, comme la terre crue.*

Construire avec ce que l'on a sous les pieds ? Une idée alléchante, en ces temps où le transport des matériaux de construction sur de longues distances est montré du doigt. En outre, il suffit souvent de creuser à peine pour extraire du sol la terre à bâtir. Si la terre est un matériau présent sur tous les continents habités et universellement disponible, qui sait pourtant quelle est sa nature ?

Qu'est-ce donc que la terre ? Un mélange chaque fois unique de plusieurs catégories de grains, qui lui confèrent une grande diversité d'aspects, de couleurs, de textures – autant d'atouts pour s'adapter aux multiples techniques de construction. La terre fait donc partie de la grande famille des matériaux granulaires, c'est un mélange de grains infiniment variés : c'est ce qui fait toute sa complexité ! Pour le comprendre, simplifions ce matériau. Voyons, dans un premier temps, ce que nous enseigne le sable sec, autrement dit la physique du tas de sable. Après tout, la terre peut s'assimiler à un sable dont la granulométrie est très étalée.

Ensuite, on remarque qu'en présence d'eau, de nouvelles interactions apparaissent et s'ajoutent aux seules forces de contact et de frottement qui régissent le comportement d'un milieu granulaire sec. Les châteaux de sable tiennent grâce aux forces capillaires entre grains, liés par de petits ponts d'eau dus à la tension superficielle du liquide. Ces forces ne sont pas spécifiques au sable mouillé : elles sont aussi présentes dans la terre et dans le béton où elles jouent un rôle prépondérant.

Ainsi, cette malette pédagogique rassemble cette série d'expériences proposent d'explorer à la fois la physique du tas de sable (grains secs) et celle du château de sable (grains humides).

# Infos pratiques

 **NOM DE L'EXERCICE : ATELIER MANIPS GRAINS**

 **NOMBRE DE PARTICIPANTS : 5 à 15**

 **NIVEAU : TOUT PUBLIC, SCOLAIRE**

 **DURÉE : 1 à 2H**

## Contenu de la mallette

Ces expériences scientifiques et pédagogiques ressemblent des connaissances élémentaires sur la matière en grains. Avec pour objectif de créer des ponts entre la physique de la matière et l'architecture, ces expériences nous apportent un nouveau regard sur ces ressources du sols que sont les terres.

La mallette pédagogique Manips Grains rassemble des expériences scientifiques étonnantes à découvrir à travers un parcours dans lequel les participants sont actifs et en interaction constant avec l'animateur pour comprendre les principaux comportements de cette matière.

Ces ateliers s'adaptent à tous les niveaux de publics et d'enseignement : primaire, secondaire et supérieur.

En plus du matériel, chaque expérience dispose d'une fiche pédagogique explicative décrivant l'objectif et la manière dont chaque manipulation doit être développée.

Un inventaire de tout le matériel dont dispose la mallette pour son bon fonctionnement est également disponible.



Ce logo indique que cette manip a été filmée. Toutes les vidéos sont en accès libre sur les plateformes youtube et viméo d'amàco.

## Les moyens de transport du matériel

Tout le matériel nécessaire pour réaliser les expériences est rangé dans un sac à dos à roulettes de 28L de dimensions 50x25x35 cm et de poids maximum 10 kg, ce qui permet à l'animateur d'avoir facilement accès à toutes sortes de lieux. Ce kit pédagogique existe également dans une version moins compacte disponible sur demande.

## Formation des utilisateurs

L'utilisation de cette valise nécessite une formation d'une journée aux futurs utilisateurs, par groupe de maximum 10 personnes par jour de formation.

## Ateliers complémentaires

Sur demande, d'autres ateliers peuvent être inclus : atelier sensoriel, atelier artistique, atelier de construction, ils font partie d'autres mallettes.

# LES FICHES PÉDAGOGIQUES

## 22 expérimentations

- page **QU'EST-CE QUE LA TERRE ?**
- 5 **#1 - DIVERSITÉ DES TERRES**  
Observer la diversité des terres
- 6 **#2 - GRANULOMÉTRIE**  
Observer les différentes tailles de grains qui composent une terre
- 7 **#3 - LE TAS, LIQUIDE OU SOLIDE ? ▶**  
Observer comment tantôt le sable s'écoule comme un liquide ou supporte un poids comme un solide
- 8 **#4 - DES GRAINS ET DE L'AIR ▶**  
Observer comment la présence d'air change le comportement de la poudre
- LA PHYSIQUE DU TAS DE SABLE**
- 9 **#5 -  $1 + 1 = 2$  ? ▶**  
Observer comment les petits grains remplissent les espaces entre les plus gros grains
- 10 **#6 - REMPLIR LES VIDES ▶**  
Observer comment les petits grains remplissent les espaces entre les plus gros grains
- 11 **#7 - EMPILEMENT APOLLONIEN**  
Construire un modèle d'empilement dense de grains
- 12 **#8 - ANGLES DE REPOS ET D'AVALANCHE ▶**  
Observer l'écoulement des grains, l'angle de repose et l'angle d'avalanche
- 13 **#9 - GOUTTELETTES DE POUDRE ▶**  
Observer comment s'écoule une poudre sur un plan incliné
- 14 **#10 - EFFET VOLCAN ▶**  
Observer comment les vibrations peuvent structurer des paysages de sable
- 15 **#11 - LA BÉTONNIÈRE ▶**  
Observer le phénomène de ségrégation des grains suivant leur taille
- 16 **#12 - LE SAPIN DE SABLE ▶**  
Observer le phénomène de ségrégation des grains suivant leur taille
- 17 **#13 - LES ARCS DE BILLES ▶**  
Observer la formation d'arc dans un tas de billes
- 18 **#14 - CHÂÎNES DE FORCE ▶**  
Observer la présence de chaînes de forces dans un milieu granulaire soumis à des forces de compression
- 19 **#15 - LA BALANCE MAGIQUE ▶**  
Observer une conséquence des efforts de poussée latérale dans les milieux granulaires
- 20 **#16 - BÂTON BÉTON ▶**  
Observer et sentir les forces de frottement dues à la formation d'arcs et de voûtes dans un milieu granulaire
- LA PHYSIQUE DU CHATEAU DE SABLE**
- 21 **#17 - DE L'EAU POUR COLLER LES GRAINS ▶**  
Observer comment l'eau peut coller des billes verre
- 22 **#18 - LES PLAQUES DE VERRE ▶**  
Observer l'action des forces capillaires
- 23 **#19 - LA STALAGMITE ▶**  
Observer les effets des phénomènes capillaires dans un tas de sable
- 24 **#20 - LA TOUR DE GOUTTES DE SABLE ▶**  
Observer une manifestation des forces capillaires dans le sable
- 25 **#21 - UN CHÂTEAU ÉTONNANT ▶**  
Découvrir comment les fibres ont le pouvoir de renforcer une structure faite de grains
- 26 **#22 - LA DILATANCE ▶**  
Observer les manifestations du phénomène de dilatance dans le sable mouillé

# #1

## QU'EST-CE QUE LA TERRE ? DIVERSITÉ DES TERRES

**OBJECTIF** Observer la diversité des terres

**DURÉE** 5 min

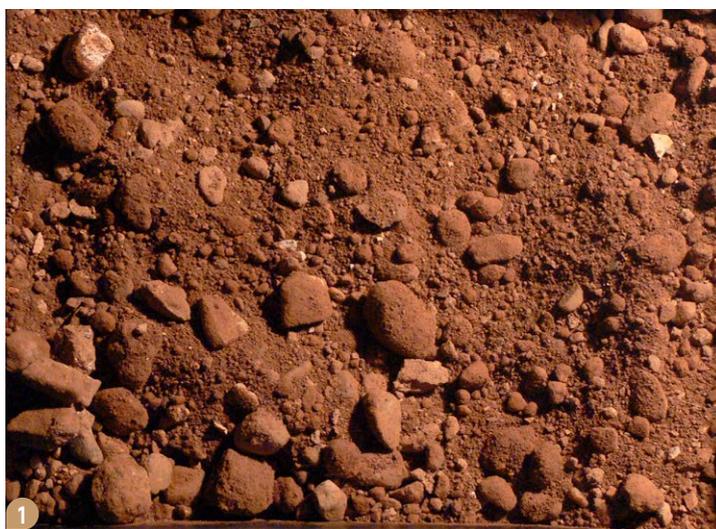
**MATÉRIEL** coupelles de présentation et 4 terres différentes

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** En amont, verser chaque terre dans sa coupelle. Former de jolis tas égaux.

**OBSERVATION** Chaque terre présente une couleur particulière et des tailles de grains très variés. **1 2 3 4**

**EXPLICATION** Derrière l'expression « matériau terre » au singulier, se cache une infinité de matières aux propriétés physico-chimiques variées, qui définissent toute une gamme de matériaux. Les terres présentées ici diffèrent par leurs couleurs mais surtout par leurs proportions de cailloux, graviers, sables, silts et argiles. À chacune correspond une utilisation particulière pour la construction.



## #2

# QU'EST-CE QUE LA TERRE ? GRANULOMÉTRIE

**OBJECTIF** Observer les différentes tailles de grains qui composent une terre

**DURÉE** 5 min

**MATÉRIEL** coupelles de présentation et sachets de terre tamisée suivant différentes mailles

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** En amont, verser chaque portion de terre dans sa coupelle. Former de jolis tas égaux.  
Disposer par ordre décroissant de taille de grains.

**OBSERVATION** Il est possible de séparer les constituants de la terre à l'aide de tamis. La terre est un mélange de grains de différentes tailles. Chaque catégorie de grains porte un nom différent en fonction de leur taille. **1**

**EXPLICATION** On peut alors classer les grains par catégories de taille, dont les cinq principales sont les cailloux, les graviers, les sables, les silts et les argiles.



#3

## QU'EST-CE QUE LA TERRE ? LE TAS, LIQUIDE OU SOLIDE ?



**OBJECTIF** Observer comment tantôt le sable s'écoule comme un liquide ou supporte un poids comme un solide.

**DURÉE** 5 min

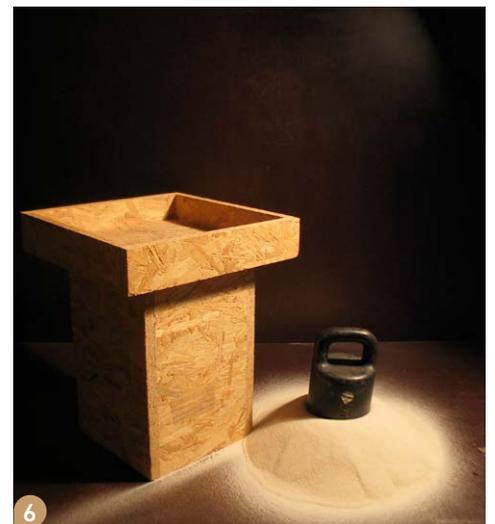
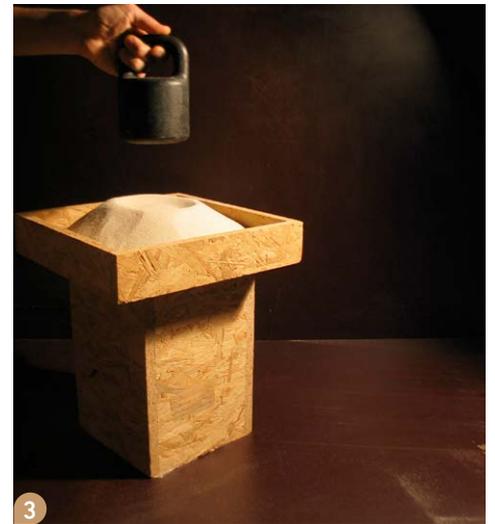
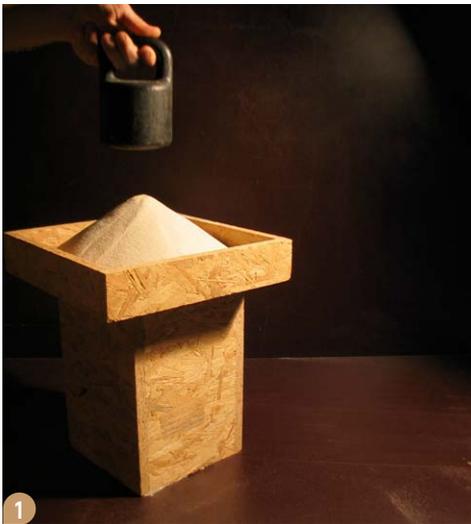
**MATÉRIEL** sable sec, contenants et poids

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** Former un tas de sable sec. **1** Déposer un poids délicatement au sommet du tas. **2** Enlever le poids. **3** Incliner le contenant du tas de manière à ce que le sable s'écoule **4** et forme un autre tas. **5** Déposer à nouveau le poids sur le tas. **6**

**OBSERVATION** Au repos, le sable a généralement l'apparence d'un tas, une configuration qu'un liquide ne saurait adopter. Comme un solide, ce tas de sable peut par ailleurs supporter de fortes charges. Pourtant si l'on incline le support, le sable s'écoule comme un liquide. Et il forme à nouveau un tas capable de supporter un poids.

**EXPLICATION** Lorsque les physiciens se sont intéressés pour la première fois au sable, ils ont été incapables de classer cette matière dans la catégorie solide ou liquide. Un matériau granulaire aussi simple que le sable sec présente lui aussi des comportements liquides et solides : le sable adopte la forme de son contenant, s'écoule comme un liquide mais peut aussi supporter des charges importantes. C'est cette propriété fondamentale de la matière en grains que le bâtisseur exploite pour construire avec la terre et les autres bétons.



# #4

## QU'EST-CE QUE LA TERRE ? DES GRAINS ET DE L'AIR



**OBJECTIF** Observer comment la présence d'air change le comportement de la poudre.

**DURÉE** 5 min

**MATÉRIEL** 2 contenant, 1 psoir et 2 cailloux, des silts

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** Remplir un contenant de poudre et la tasser à l'aide du psoir. **1** Remplir le deuxième contenant avec de la poudre et l'aérer avec une cuillère. **2** Les disposer côte à côte. Lâcher un caillou au-dessus de chacune des poudres.

**OBSERVATION** Le caillou rebondit à la surface de la poudre compactée, elle se comporte comme un solide. Dans la poudre aérée, le caillou coule comme dans un récipient d'eau. **3** La poudre aérée se comporte alors comme un liquide.

**EXPLICATION** La seule différence entre les deux poudres est la proportion d'air entre les grains. En compactant la poudre, on chasse l'air et la poudre devient solide. Ainsi, moins il y a d'air entre les grains, plus la poudre est solide. Inversement, si on verse la poudre dans un récipient, l'air reste emprisonné entre les grains et la poudre se comportera comme un liquide. Donc plus il y a d'air entre les grains, plus la poudre est liquide.



#5

## PHYSIQUE DU TAS DE SABLE

1 + 1 = 2 ?



**OBJECTIF** Observer comment les petits grains remplissent les espaces entre les plus gros grains

**DURÉE** 5 min

**MATÉRIEL** Un contenant rempli de sable fin, un autre de gravier, une passoire et un bol pour les séparer

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** Remplir les deux récipient de même volume avec du sable pour l'un et du gravier pour l'autre. **1** Les verser ensuite dans une gamate, **2** mélanger à la main. **3** Remplir un récipient, plus le deuxième avec ce mélange.

**OBSERVATION** Le mélange remplit un récipient et demi : **4** on obtient un ensemble plus compact, de volume total inférieur à celui des grains pris séparément. Dans la matière en grains, 1 + 1 n'est pas égal à 2!

**EXPLICATION** Le mélange obtenu occupe en effet moins de place que les deux volumes de grains pris séparément. L'explication est simple : les grains de sable remplissent les vides entre les graviers. Il existe en fait une proportion unique de petits et de gros grains correspondant à une compacité maximale. Avec ce sable et ce gravier, cette proportion optimale a été trouvée par simple pesée de différents mélanges : la compacité la plus grande est atteinte pour environ 30 % de sable et 70 % de gravier



#6

## PHYSIQUE DU TAS DE SABLE REEMPLIR LES VIDES



**OBJECTIF** Observer comment les petits grains remplissent les espaces entre les plus gros grains

**DURÉE** 5 min

**MATÉRIEL** cadre avec sable et gravier

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** Sortir le cadre de sa pochette, et l'incliner de manière à ce que les graviers soient en haut, séparé du sable qui a entièrement coulé en bas. Une fois les deux matières séparées, retourner le cadre, le sable en haut pour qu'il s'écoule entre les graviers. **1**

**OBSERVATION** Le sable remplit peu à peu les trous entre les graviers. **2**

**EXPLICATION** Cette expérience montre pourquoi un mélange de grains est plus compact que les mêmes grains pris séparément.



## #7

# PHYSIQUE DU TAS DE SABLE

## EMPILEMENT APOLLONIEN

**OBJECTIF** Construire un modèle d'empilement dense de grains

**DURÉE** 5 min

**MATÉRIEL** disques de différentes tailles

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** Disposer à plat les disques sur la table. Placer les trois plus grands, le plus près possible **1** (ils se touchent deux à deux). Placer ensuite, parmi les disques restants, les plus grands dans les espaces laissés libres. **2** Répéter l'opération en prenant toujours les plus grands disques restants, **3** jusqu'aux plus petits. **4**

**OBSERVATION** Pour être le plus compact possible, un espace est toujours rempli par le plus grand disque possible.

**EXPLICATION** L'empilement apollonien est une figure mathématique optimale qui permet de remplir au maximum un espace uniquement avec des boules (ici vu en 2D avec des disques). Pour cela chaque interstice entre quatre sphères (trois disques en 2D) est rempli par une boule tangente à ces surfaces, et où ce principe est reproduit à l'infini dans le but d'atteindre la compacité ultime.



1



2



3



4

#8

## PHYSIQUE DU TAS DE SABLE

### ANGLES DE REPOS ET D'AVALANCHE



**OBJECTIF** Observer l'écoulement des grains, l'angle de repos et l'angle d'avalanche

**DURÉE** 5 min

**MATÉRIEL** coupelles de présentation et 4 terres différentes

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** Verser doucement et en un point fixe du sable sec contre la plaque de plexiglas ou sur une table pour former un tas. **1** S'arrêter **2** et recommencer.

**OBSERVATION** Une pente constante se forme : dès que la pente devient trop forte, une avalanche **3** réorganise les grains selon un angle étonnamment constant, de sorte que le tas de sable est un cône de révolution presque parfait. Il se forme par avalanches successives. Au fur et à mesure que le tas grossit, la pente ne varie pas. **4**

**EXPLICATION** Cet angle entre la surface du tas et l'horizontale est appelé « angle de repos ». Il est caractéristique des grains utilisés : si l'on recrée le tas, il adoptera toujours le même angle de repos. L'angle au-delà duquel la pente de sable devient instable est appelé « angle d'avalanche » : il est plus grand que l'angle de repos d'environ 2 degrés.



#9

## PHYSIQUE DU TAS DE SABLE GOUTTELETTES DE POUDRE



**OBJECTIF** Observer comment s'écoule une poudre sur un plan incliné

**DURÉE** 5 min

**MATÉRIEL** coupelles de présentation et 4 terres différentes

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** Déposer sur un plan horizontal, de la poudre composée de sable très fin - du silt. Basculer doucement le plan.

**OBSERVATION** La poudre s'écoule en formant des gouttes. **1**

**EXPLICATION** Par frottement différentiel, une poudre sur un support incliné forme des vaguelettes dont la forme rappelle l'écoulement de l'eau sur une vitre.

Les poudres fines présentent des analogies troublantes avec les liquides. Toute matière constituée de grains peut se présenter à la fois sous forme liquide ou solide. Il est donc difficile de la classer dans les catégories traditionnelles solide-liquide-gaz puisqu'elle adopte alternativement le comportement de l'un ou de l'autre.



#10

## PHYSIQUE DU TAS DE SABLE EFFET VOLCAN



**OBJECTIF** Observer comment les vibrations peuvent structurer des paysages de sable

**DURÉE** 5 min

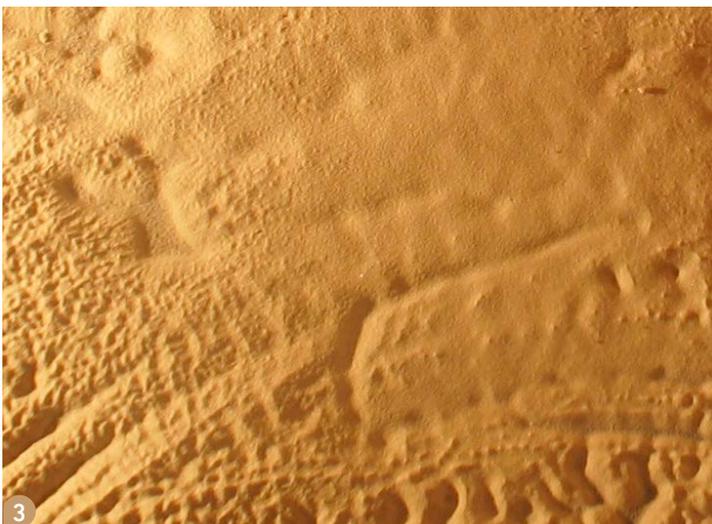
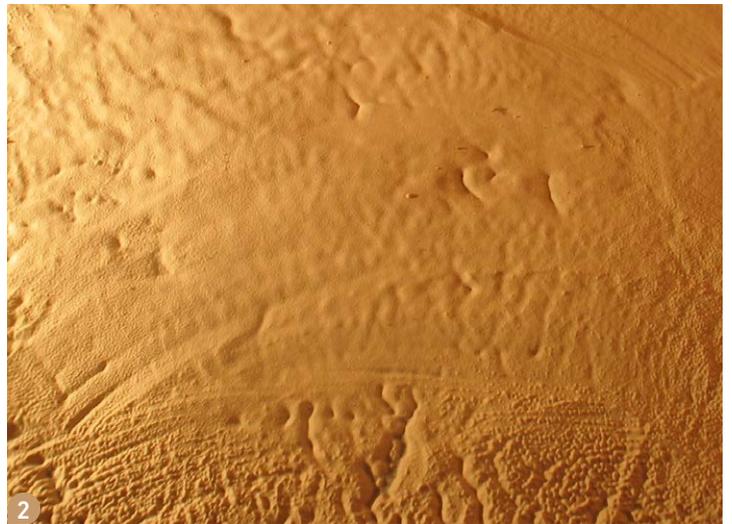
**MATÉRIEL** coupelles de présentation et 4 terres différentes

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** Verser du sable sec sur un support plan. Faire vibrer le support en tapotant à l'aide d'un maillet.

**OBSERVATION** Le sable fin étalé sur une plaque horizontale vibrante se réorganise de manière spectaculaire et adopte un relief qui ressemble à s'y méprendre à un paysage. Le sable se structure spontanément selon son angle de repos. **1 2 3 4**

**EXPLICATION** Pour comprendre ce qu'il se passe, il suffit de considérer le cas d'un petit monticule de sable. Au moment du choc, ce tas de sable « décolle » de la plaque, ménageant une lame d'air entre les deux. Lorsque le tas retombe, il comprime la lame, contraignant l'air à passer à travers le tas, entre les grains. C'est en sortant que l'air expulse des grains, qui retombent sur les flancs du monticule. Ce dernier va peu à peu s'élever jusqu'à atteindre son angle de repos.



#11

# PHYSIQUE DU TAS DE SABLE

## LA BÉTONNIÈRE



**OBJECTIF** Observer le phénomène de ségrégation des grains suivant leur taille

**DURÉE** 5 min

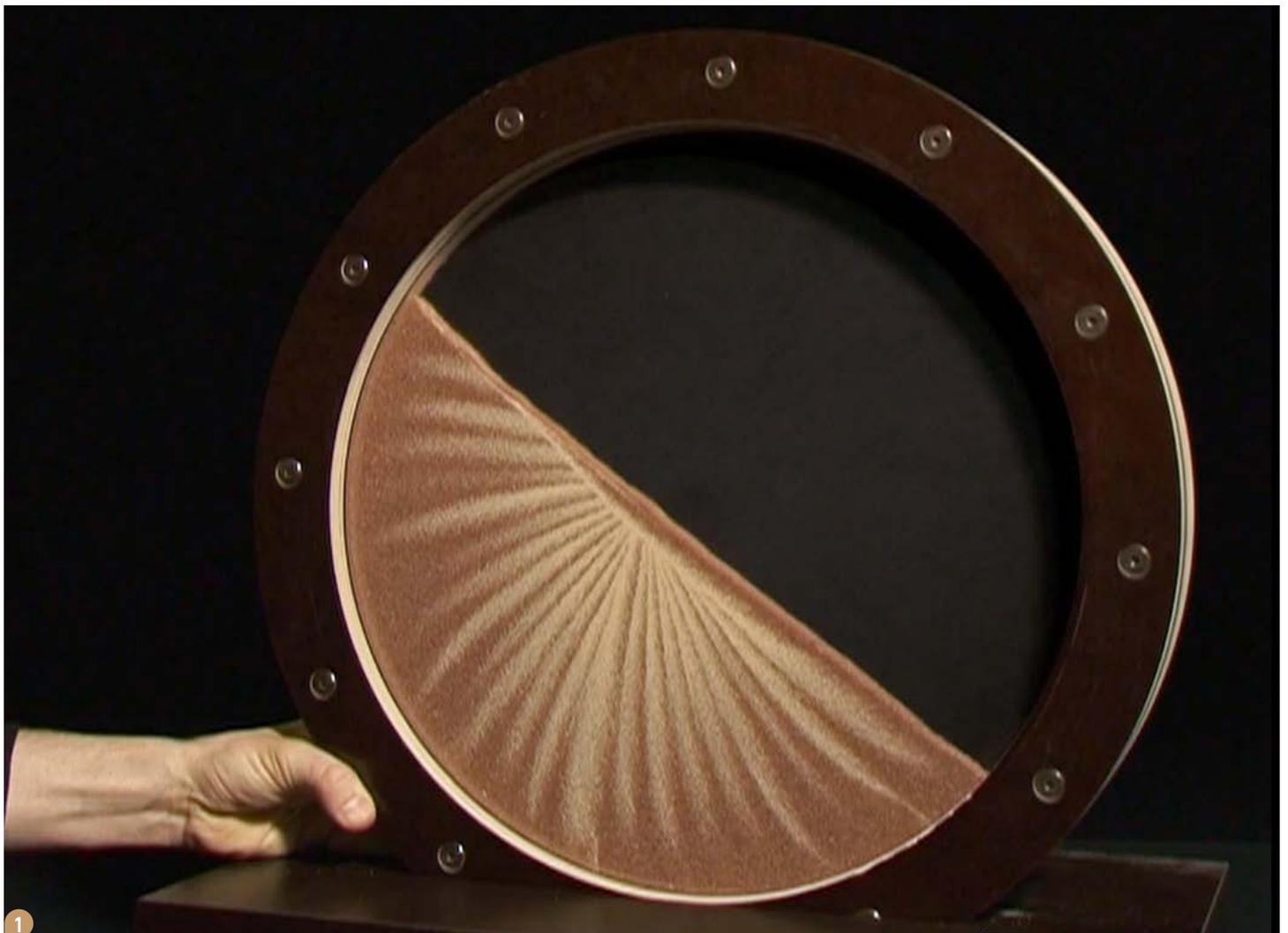
**MATÉRIEL** cadre rond avec des sables de couleurs différentes

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** Tenir verticalement le cadre rond. Le faire tourner de quelques degrés et l'immobiliser. Recommencer cette opération autant de fois que nécessaire.

**OBSERVATION** A chaque mouvement du cadre, les grains se trient : les gros grains s'écoulent en premier, suivis des plus petits. Les grains se trient par taille à chaque mouvement de rotation du cadre et forment des rayons aux couleurs alternées. **1**

**EXPLICATION** Des grains de différentes tailles présentent des angles d'avalanche distincts : plus les grains sont fins et plus cet angle est important. Pour des grains extrêmement petits, la moindre rugosité constitue un obstacle quasiment infranchissable et le support doit être fortement incliné pour qu'ils se mettent en mouvement : c'est pourquoi leur angle d'avalanche est plus grand que celui de gros grains. Ainsi, lorsqu'ils sont versés sur un plan incliné, les cailloux et les graviers roulent beaucoup plus facilement vers le bas que les poudres fines de silt ou d'argile. Lorsque tourne la bétonnière, les gros grains s'écoulent donc plus tôt que les petits.



#12

## PHYSIQUE DU TAS DE SABLE LE SAPIN DE SABLE



**OBJECTIF** Observer le phénomène de ségrégation des grains suivant leur taille

**DURÉE** 5 min

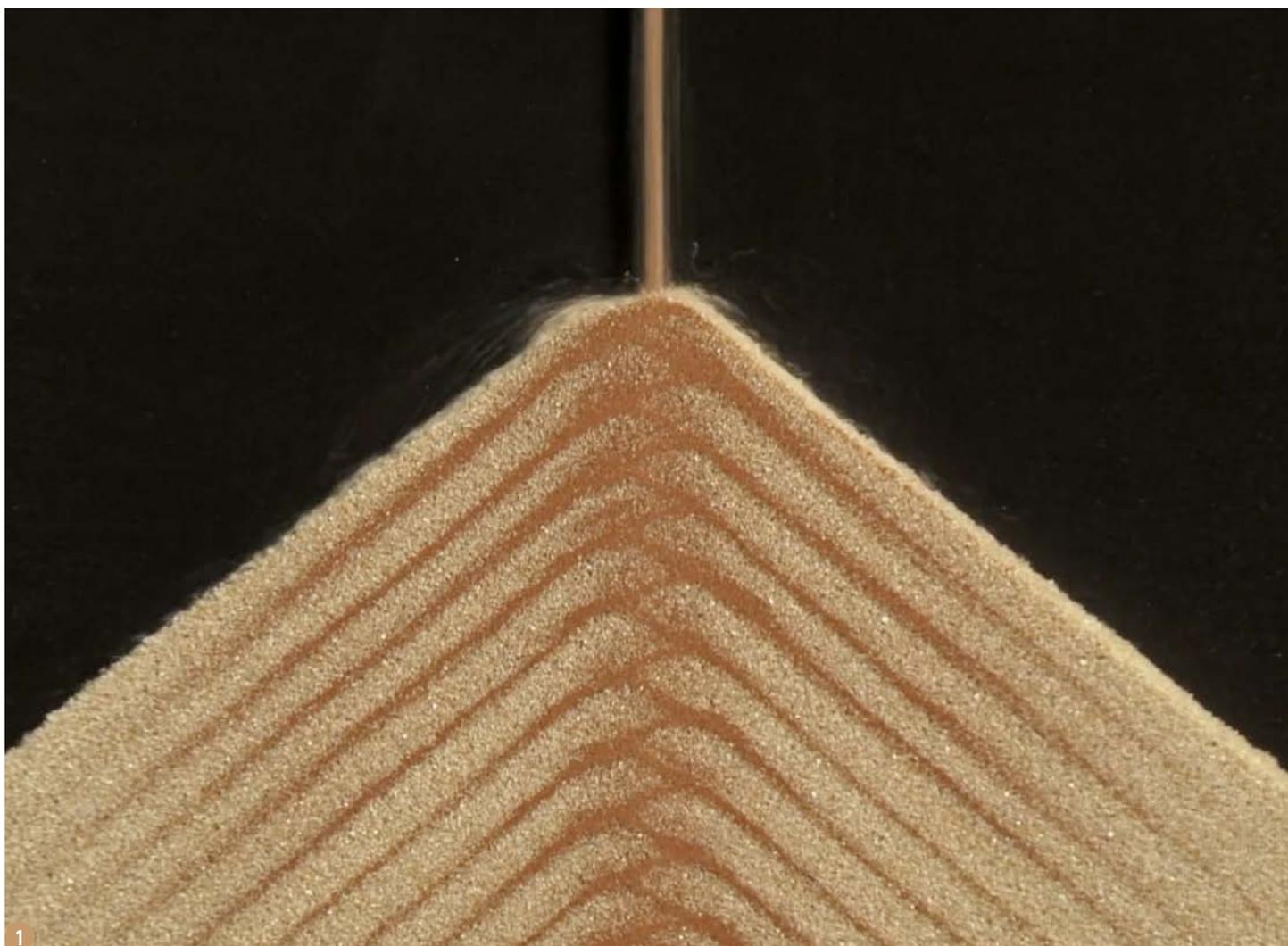
**MATÉRIEL** plaque de plexiglas, mélange de sables, récipient

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** Verser un peu de mélange de sable contre la plaque de plexiglas. Attendre la fin de l'avalanche et verser à nouveau une petite quantité régulière du mélange de sable. Recommencer l'opération un dizaine de fois.

**OBSERVATION** Il se forme un tas, vu en coupe contre la plaque, dans lequel la fine poudre rouge reste au centre tandis que les plus gros grains blancs roulent sur les côtés, dessinant un sapin de Noël. **1**

**EXPLICATION** Au fur et à mesure que le monticule s'élève, à chaque fois qu'une avalanche se produit, le mélange de grains blancs et rouges s'écoule sur la pente du tas qui, comme un plan rugueux, est faite de creux et de bosses. Relativement à leur taille, ces obstacles sont beaucoup plus importants pour les particules de poudre rouge que pour les grains de sable blanc. Ainsi, le cycle régulier des avalanches dessine une série de traînées de poudre noire, qui reste bloquée au sommet de la pente sans jamais rouler jusqu'en bas.



#13

## PHYSIQUE DU TAS DE SABLE LES ARCS DE BILLES



**OBJECTIF** Observer la formation d'arc dans un tas de billes

**DURÉE** 5 min

**MATÉRIEL** cadre avec des billes

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** En amont, renverser le cadre pour faire passer toutes les billes du même côté. Retourner le cadre, laisser s'écouler les billes. Lorsqu'elles se bloquent tapoter légèrement pour qu'elles s'écoulent à nouveau.

**OBSERVATION** Les billes de verre se bloquent en formant un arc au-dessus de l'orifice cinq fois plus large que les billes elles-mêmes.

1

**EXPLICATION** 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 donc de se comprimer.



1

#14

# PHYSIQUE DU TAS DE SABLE

## CHAÎNES DE FORCE



**OBJECTIF** Observer la présence de chaînes de forces dans un milieu granulaire soumis à des forces de compression

**DURÉE** 5 min

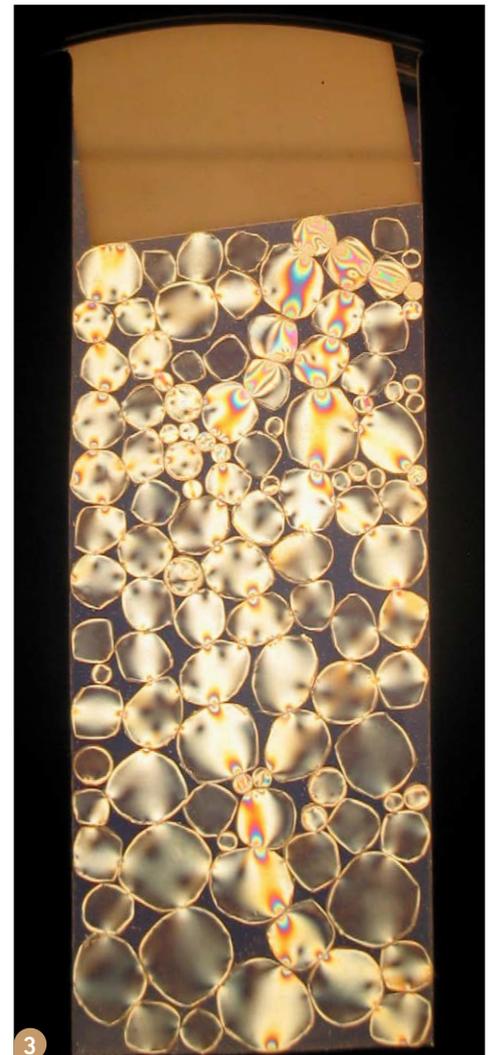
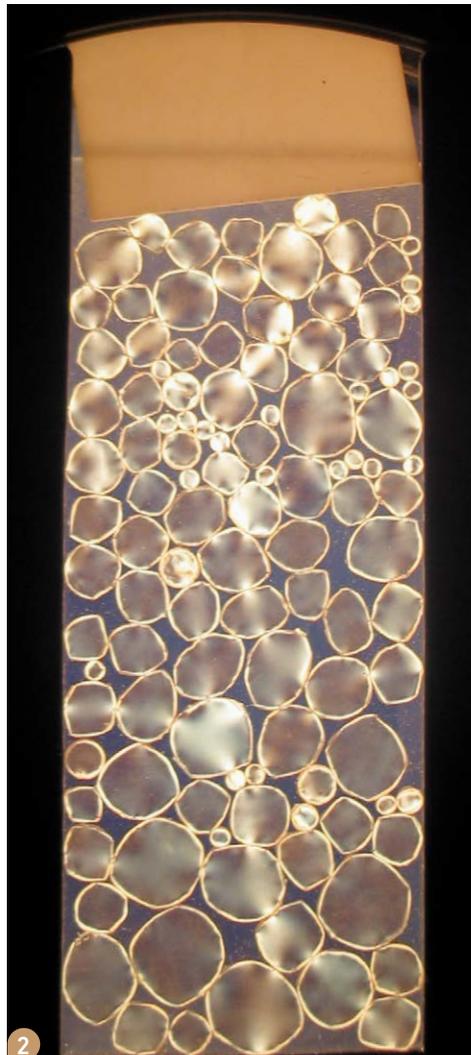
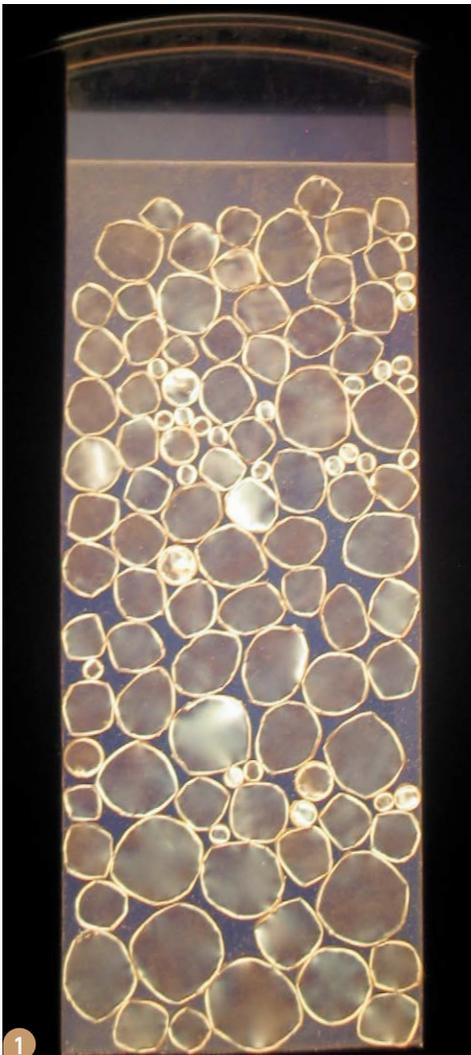
**MATÉRIEL** cadres avec grains photoélastiques et barre

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** En amont, aérer les grains. Poser le cadre devant une source lumineuse. Appuyer progressivement avec la barre sur les haut des grains.

**OBSERVATION** En exerçant une pression verticale sur les grains, les chaînes de forces se matérialisent sous la forme de lignes lumineuses et colorées. Ces lignes colorées sont rendues visibles par la source de lumière qui traverse les grains photoélastiques placés entre deux films polarisés. **1 2 3**

**EXPLICATION** La «photoélasticimétrie» montre que les chaînes de forces dirigent en partie l'effort vertical en direction des parois. Une fraction du poids des grains est déviée à l'horizontale dans les parois. Autrement dit, ça pousse! Lors de la mise en œuvre du pisé, de la même façon, les coups verticaux du pisoir qui compactent la terre sont partiellement dirigés dans les coffrages. Ceux-ci doivent être suffisamment résistants pour vaincre ces poussées horizontales. L'effort de compaction vertical disparaît ainsi partiellement sur les côtés: les chaînes de forces ne parviennent pas jusqu'en bas car elles se dissipent sur les bords.



#15

## PHYSIQUE DU TAS DE SABLE LA BALANCE MAGIQUE



**OBJECTIF** Observer une conséquence des efforts de poussée latérale dans les milieux granulaires

**DURÉE** 5 min

**MATÉRIEL** coupelles de présentation et 4 terres différentes

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** Placer autour de la balance, le support en plexiglas maintenant le tube transparent 1 cm au-dessus du plateau. Bien vérifier que le tube ne touche pas le plateau de la balance. Verser par étape 3 volumes de gravier dans le tube.

**OBSERVATION** Le premier volume de gravier versé, la balance affiche un certain poids. **1** Pour le deuxième, le poids affiché est légèrement supérieur au premier. **2** Pour le troisième volume de gravier versé, le poids n'augmente plus. **3** Le poids indiqué sur la balance est bien dessous de la quantité de gravier au-dessus du plateau.

**EXPLICATION** 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.



#16

# PHYSIQUE DU TAS DE SABLE

## BÂTON BÉTON



**OBJECTIF** Observer et sentir les forces de frottement dues à la formation d'arcs et de voûtes dans un milieu granulaire

**DURÉE** 5 min

**MATÉRIEL** coupelles de présentation et 4 terres différentes

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** Placer le bâton dans le récipient cylindrique. **1** Le maintenir au centre et verser du sable sec autour du bâton. **2** Une fois le récipient rempli, tapoter sur le côté pour tasser le sable. **3** Essayer de retirer le bâton en tirant dessus. **4 5 6**

**OBSERVATION** Le bâton reste bien coincé dans le tube.

**EXPLICATION** Cette expérience met en évidence les phénomènes de blocage, dus aux effets de voûte : quand on essaie de retirer le bâton du tube, il reste bloqué comme dans un bloc de béton. C'est encore une fois la formation entre le tube et le bâton d'une succession de petits arcs, de concavité dirigée vers le bas, qui explique ce résultat étonnant. Les deux extrémités des arches sont solidement arrimées par frottement sec, aussi bien sur la surface externe du bâton que sur la paroi interne du tube.



# PHYSIQUE DU CHATEAU DE SABLE DE L'EAU POUR COLLER LES GRAINS



**OBJECTIF** Observer comment l'eau peut coller des billes verre

**DURÉE** 5 min

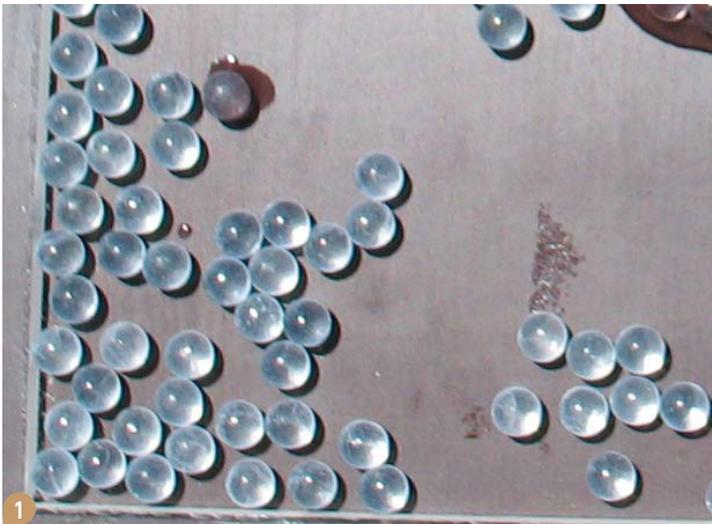
**MATÉRIEL** coupelles de présentation et 4 terres différentes

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** Etaler des billes en verre sèches dans une coupelle. Délicatement faire bouger le récipient. Ajouter quelques gouttes d'eau. A nouveau faire bouger le récipient jusqu'à ce que les billes se rassemblent. Ajouter beaucoup d'eau et faire bouger le récipient.

**OBSERVATION** Les billes sèches ne sont pas liées, elles bougent indépendamment. **1**  
Lorsqu'un peu d'eau est ajoutée, les billes se collent et se réorganisent selon une structure hexagonale compacte (en nid d'abeille) **2**. Davantage d'eau désorganise à nouveau les billes. **3**

**EXPLICATION** Il est impossible de construire un château avec du sable sec : ce dernier ne présente aucune cohésion. Pour réussir ne serait-ce qu'un simple pâté, il faut ajouter de l'eau, qui confère une certaine cohésion au sable et permet, à partir d'un ensemble divisé, d'obtenir un matériau cohérent. Mais pas en n'importe quelle quantité : il existe en effet une teneur en eau optimale pour laquelle le sable mouillé est particulièrement cohésif. La cohésion augmente avec la quantité d'eau, pour atteindre un maximum. Au-delà, la cohésion s'écroule rapidement pour finalement disparaître lorsque le sable est saturé d'eau. Avec la bonne quantité d'eau, il est aussi possible de faire une pyramide de billes de verre ! **4**



#18

## PHYSIQUE DU CHATEAU DE SABLE LES PLAQUES DE VERRE



**OBJECTIF** Observer l'action des forces capillaires

**DURÉE** 5 min

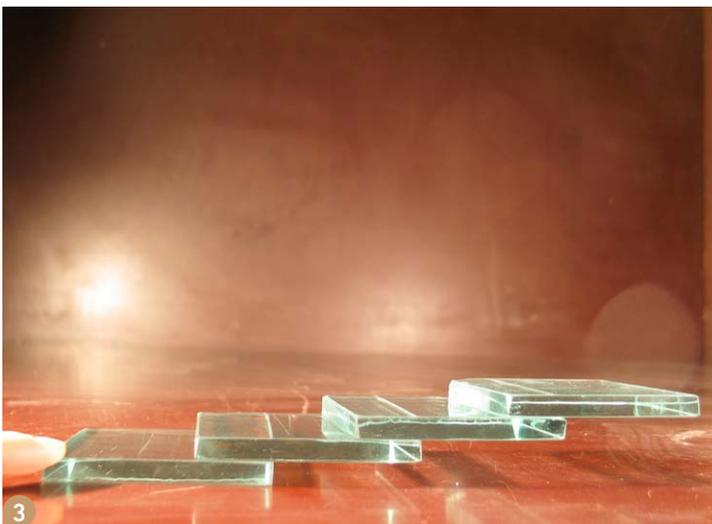
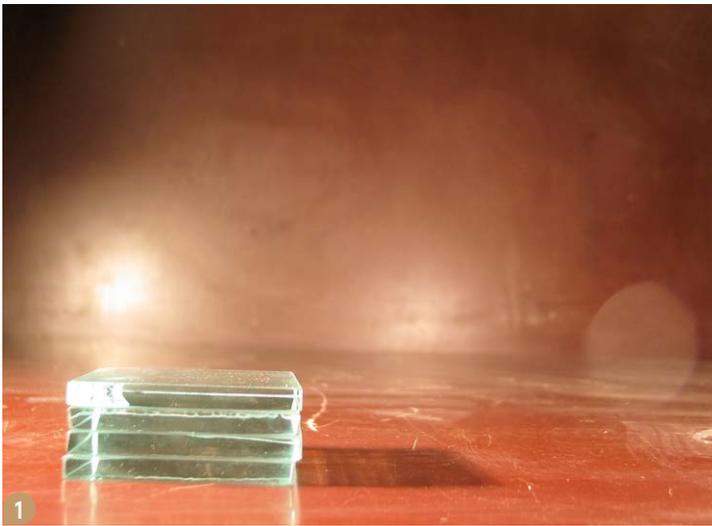
**MATÉRIEL** plaques transparentes

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** Souffler sur une plaque et disposer immédiatement une autre dessus. Reproduire l'opération avec d'autres plaques. **1**  
Soulever. **2** Essayer de les décoller sans glissement. Faire glisser les plaques. **3 4**

**OBSERVATION** Les plaques se collent.

**EXPLICATION** Un peu de buée suffit à coller des plaques de verre entre elles. En effet, les forces capillaires sont beaucoup plus importantes dans le cas d'objets plans plutôt que sphériques, car la surface de contact est alors beaucoup plus étendue. Ces mêmes plaques sont impossibles à décoller sans les faire glisser l'une sur l'autre. Ce déplacement face contre face est responsable de la grande plasticité des argiles.



#19

## PHYSIQUE DU CHATEAU DE SABLE LA STALAGMITE



**OBJECTIF** Observer les effets des phénomènes capillaires dans un tas de sable

**DURÉE** 8 min

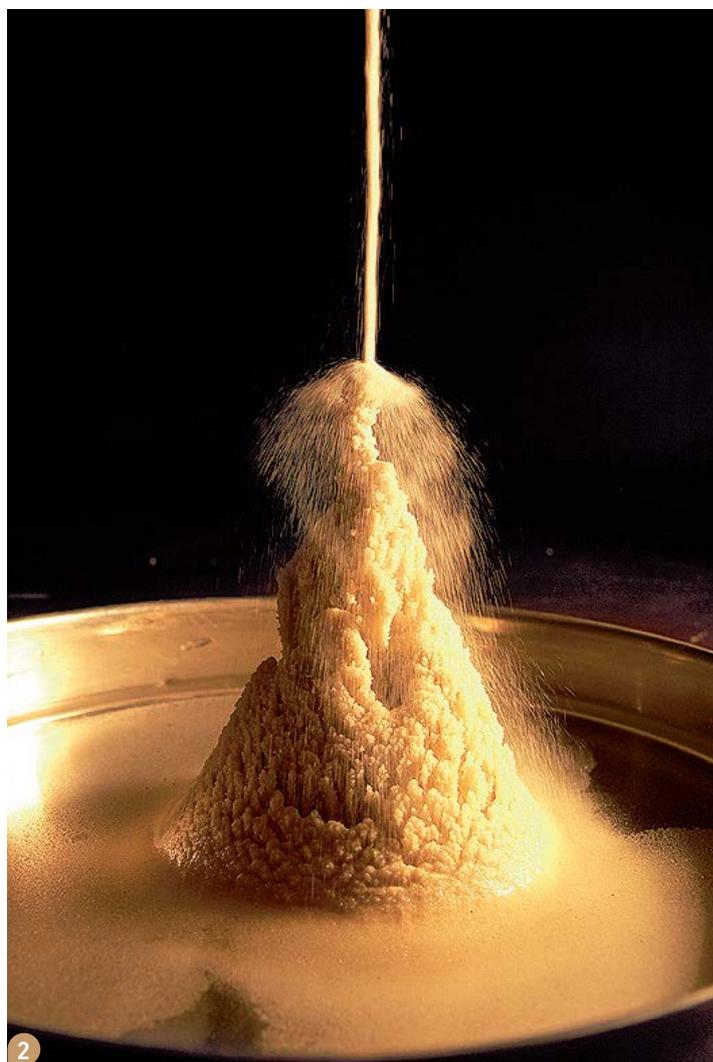
**MATÉRIEL** sable sec, eau, support et coupelles, verres percés

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** Placer sous le support une coupelle. Disposer un verre troué rempli de sable sec à l'endroit approprié sur le support. Répéter l'opération avec un fond d'eau dans la coupelle.

**OBSERVATION** Le sable sec s'écoule et forme un tas cône dans la première partie de l'expérience. **1**  
En revanche, dans l'assiette remplie d'eau, une étrange « stalagmite » se forme. **2**

**EXPLICATION** La présence d'eau conduit à une structure verticale, fruit de l'action conjuguée des remontées capillaires et de la cohésion capillaire : c'est la physique des milieux granulaires humides, ou « physique du château de sable », qui s'applique alors.



#20

## PHYSIQUE DU CHATEAU DE SABLE

### LA TOUR DE GOUTTES DE SABLE



**OBJECTIF** Observer une manifestation des forces capillaires dans le sable

**DURÉE** 5 min

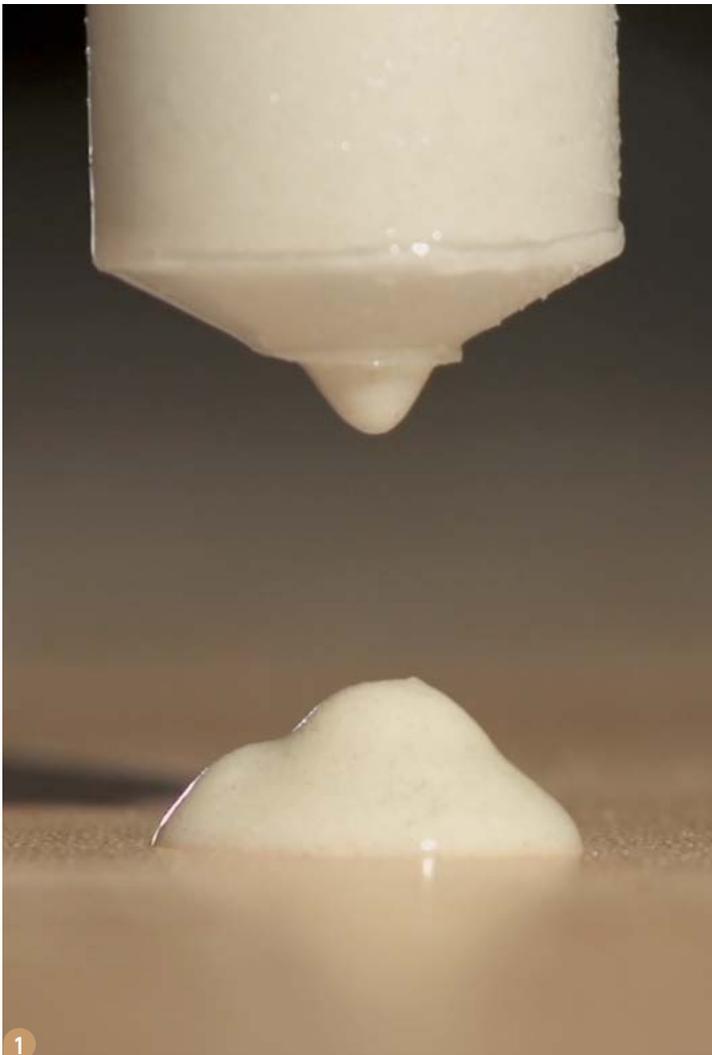
**MATÉRIEL** sable sec, eau, seringue au bout coupé, récipient

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** Mélanger le sable fin avec beaucoup d'eau dans le récipient. Le mélange doit être liquide. Préparer un lit de sable sec d'environ 3 cm d'épaisseur. Prélever du sable gorgé d'eau à l'aide de la seringue. Maintenir la seringue en position verticale et faire couler goutte par goutte le mélange sur le lit de sable. Recommencer sur le support étanche.

**OBSERVATION** Les gouttes de sable deviennent des boules solides qui se superposent les unes sur les autres pour former une tour de gouttes de sable. **2** Sur un support étanche, le sable forme un tas de consistance liquide. **1**

**EXPLICATION** Des gouttes de sable gorgé d'eau tombent sur un lit de sable sec. Au contact du sable sec, l'eau contenue dans les gouttes de sable mouillé est instantanément aspirée par capillarité dans le sable sec. Les gouttes de sable se solidifient et forment des boules : la majorité de l'eau a été absorbée, le peu d'eau restant est piégé entre les grains et forme des ponts capillaires qui assurent la cohésion des boules de sable. Sur le support étanche, l'eau n'est pas absorbée par capillarité. Il est par conséquent impossible de réaliser la tour de gouttes de sable.



#21

# PHYSIQUE DU CHATEAU DE SABLE UN CHÂTEAU ÉTONNANT



**OBJECTIF** Découvrir comment les fibres ont le pouvoir de renforcer une structure faite de grains

**DURÉE** 10 min

**MATÉRIEL** Grilles plastiques de 5mm - Gobelets plastique de 250ml - Sable humide - Pisoir rond

**QUANTITÉ** 1 L de sable humide - 1 gobelet par château - 5 grilles plastiques par gobelet

**DÉROULEMENT** Humifier le sable s'il est sec. Dans un gobelet, **1** tasser une poignée de sable humide à l'aide d'un psoir. **2** Recouvrir d'une grille **3** et recommencer ces étapes jusqu'en haut. Le gobelet est ainsi rempli par couches successives de sable humide compacté et de grilles. **4** Démouler, couvrir de la plaque transparente et tester la résistance.

**OBSERVATION** Le pâtre de sable supporte un poids d'un moins 7 kg. **5**

// le préalable à cette manip est de réaliser deux autres pâtes de sable :

1- un rempli en une seule fois puis tassé (sans armatures)

2 - un autre rempli et tassé par couches successives (sans armatures)

**EXPLICATION** Les fibres des grilles renforcent considérablement le pâtre de sable. Elles reprennent en traction les efforts de poussée verticale, en bloquant les grains à leur contact. De proche en proche, elles empêchent les grains de glisser sur la forte pression, ce qui conduirait à la ruine du pâtre.



#22

## PHYSIQUE DU CHATEAU DE SABLE LA DILATANCE

**OBJECTIF** Observer les manifestations du phénomène de dilatance dans le sable mouillé

**DURÉE** 5 min

**MATÉRIEL** sable sec, eau et maille

**QUANTITÉ** 1 lot pour l'ensemble des participants

**DÉROULEMENT** Verser le sable sec sur un plan. Le mouiller de manière à ce qu'il soit presque saturé en eau : il est modelable. En faire une colonne. **1** Tapoter sur le support à l'aide d'un maillet. **2** Une fois le sable étalé, rassembler à nouveau en colonne.

**OBSERVATION** Sous les vibrations, la colonne de sable mouillée s'étale **3** et des bulles d'air en sortent. Le sable semble plus liquide, il perd sa cohésion. En revanche, lorsqu'on rassemble avec les mains, il semble sécher **4** : il retrouve à nouveau sa cohésion

**EXPLICATION** Les vibrations réorganisent les grains dans un empilement plus compact, chassant l'air. Sans air entre les grains humides, le sable perd sa cohésion. Quand avec les mains le sable est rassemblé, cet empilement compact est destructuré, il y a à nouveau de la place pour l'air et le sable retrouve sa cohésion.



## CONTACT

[contact@amaco.org](mailto:contact@amaco.org)  
[www.amaco.org](http://www.amaco.org)

04 74 96 89 06

