

éducation | conférences | évènements  
 ateliers | animations | formation | exposés

la médiation scientifique



## GRAINS de GÉNIE

De la plage au labo

Dossier enseignants



Département éducation formation  
 avenue Franklin Roosevelt  
 75008 Paris  
 www.palais-decouverte.fr



# SOMMAIRE

## PREPARER SA VISITE

- |  |         |
|--|---------|
| 1. LIEN AVEC LE PROGRAMME SCOLAIRE                     | page 2  |
| 2. PRESENTATION DE L'EXPOSITION                        | page 6  |
| 3. PLACE DE LA VISITE DANS UNE PROGRESSION PEDAGOGIQUE | page 11 |
| 4. RESSOURCES  | page 12 |
| 5. CORRECTION DES PARCOURS PROPOSES                    |         |
| Ecole primaire et collège                              | page 14 |
| Lycée  | page 16 |
| 6. DETAILS PRATIQUES                                   | page 19 |

## 1. LIEN AVEC LE PROGRAMME SCOLAIRE

### ECOLE PRIMAIRE

#### CP/CE1

*L'exposition n'est pas directement adaptée à recevoir un tel public mais autour des compétences et connaissances spécifiques il y a matière à élaborer un projet pédagogique.*

COMPETENCES ET CONNAISSANCES SPECIFIQUES	LIENS AVEC L'EXPOSITION
Découvrir le monde de la matière et des objets solides et liquides. <ul style="list-style-type: none"><li>• Repérer ce qui permet de distinguer un solide d'un liquide</li><li>• Identifier quelques ressemblances et quelques différences entre plusieurs solides, entre plusieurs liquides.</li></ul>	La matière en grains possède des propriétés à la fois d'un liquide et d'un solide. 1 <sup>er</sup> et 3 <sup>ème</sup> espaces : Empilements. Fluide ou solide.

#### CE2/CM

COMPETENCES ET CONNAISSANCES SPECIFIQUES	LIENS AVEC L'EXPOSITION
Mélanges et solutions. <ul style="list-style-type: none"><li>• Les états de la matière</li><li>• Distinguer deux types de mélanges : homogènes et hétérogènes</li></ul>	La matière en grains adopte des comportements propres aux liquides, aux solides et aux gaz 1 <sup>er</sup> , 2 <sup>ème</sup> et 3 <sup>ème</sup> espaces : Empilements. Grains, le difficile mélange ! Fluide ou solide.

### COLLEGE

#### 5<sup>e</sup>

COMPETENCES ET CONNAISSANCES SPECIFIQUES	LIENS AVEC L'EXPOSITION
Mélanges homogènes et hétérogènes. <ul style="list-style-type: none"><li>• Extraire des informations de l'observation d'un mélange</li><li>• Identifier et décrire un état physique à partir de ses propriétés</li></ul> Grandeurs physiques associées <ul style="list-style-type: none"><li>• Masse et volume</li></ul>	Mélanger des grains de différentes grosseurs est très difficile voire impossible : plus on essaie de les mélanger plus ils se séparent. C'est le phénomène de ségrégation granulaire. 2 <sup>ème</sup> espace : Grains, le difficile mélange !

4<sup>e</sup>

COMPETENCES ET CONNAISSANCES SPECIFIQUES	LIENS AVEC L'EXPOSITION
Volume et masse de l'air <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'état gazeux</li> <li>• Compressibilité d'un gaz</li> </ul>	La matière en grains adopte des comportements propres aux gaz 2 <sup>ème</sup> et 3 <sup>ème</sup> espaces : Grains, le difficile mélange ! Fluide ou solide.

3<sup>e</sup>

COMPETENCES ET CONNAISSANCES SPECIFIQUES	LIENS AVEC L'EXPOSITION
Poids et masse d'un corps. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Action à distance exercée par la Terre sur un objet situé dans son voisinage</li> </ul>	La matière en grains dévie les forces quand on lui applique des contraintes. 5 <sup>ème</sup> espace : Déviation des forces.

### LYCEE VOIES GENERALE ET TECHNOLOGIQUE

2<sup>de</sup>

COMPETENCES ET CONNAISSANCES SPECIFIQUES	LIENS AVEC L'EXPOSITION
La santé. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les médicaments</li> </ul> La pratique du sport <ul style="list-style-type: none"> <li>• Actions mécaniques, modélisation par une force.</li> <li>• Force pressante exercée sur une surface, perpendiculairement à cette surface</li> </ul> L'univers <ul style="list-style-type: none"> <li>• La pesanteur terrestre</li> </ul>	Mélanger des grains de différentes grosseurs est très difficile voire impossible : plus on essaie de les mélanger plus ils se séparent. C'est le phénomène de ségrégation granulaire. Un problème très fréquemment rencontré dans les industries pharmaceutiques.  Répartition des forces lors de l'application d'une contrainte à un matériau granulaire.  2 <sup>ème</sup> et 5 <sup>ème</sup> espaces : Grains, le mélange difficile ! Déviation des forces.

1<sup>re</sup> S

COMPETENCES ET CONNAISSANCES SPECIFIQUES	LIENS AVEC L'EXPOSITION
Champs et forces <ul style="list-style-type: none"> <li>• Champ électrostatique</li> <li>• Champ de pesanteur</li> </ul> Forme et principe de conservation de l'énergie <ul style="list-style-type: none"> <li>• Frottements ; transferts thermiques ; dissipation d'énergie</li> <li>• Formes d'énergie</li> </ul> Nouveaux matériaux <ul style="list-style-type: none"> <li>• Propriétés de matériaux amorphes reliées à sa structure microscopique</li> </ul>	Répartition des forces lors de l'application d'une contrainte à un matériau granulaire.  Le rôle de l'eau entre les grains. L'eau « colle » les grains par de nouvelles forces de cohésion, dites capillaires et permettent d'ériger une colonne. 4 <sup>ème</sup> , 5 <sup>ème</sup> et 6 <sup>ème</sup> espaces : L'eau ennemie ou amie ? Déviation des forces. Argile, ciment de la terre et électrostatique.

**1<sup>re</sup> séries STI2D et STL**

COMPETENCES ET CONNAISSANCES SPECIFIQUES	LIENS AVEC L'EXPOSITION
<p>Temps, mouvement et évolution</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energie mécanique</li> <li>• Exemple de frottements</li> </ul> <p>Thème 1 : l'eau Thème 3 : matériaux</p>	<p>Répartition des forces lors de l'application d'une contrainte à un matériau granulaire.</p> <p>Le rôle de l'eau entre les grains. L'eau « colle » les grains par de nouvelles forces de cohésion, dites capillaires et permettent d'ériger une colonne. 4<sup>ème</sup>, 5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> espaces : L'eau ennemie ou amie ? Déviation des forces. Argile, ciment de la terre et électrostatique.</p>

**Terminale S**

COMPETENCES ET CONNAISSANCES SPECIFIQUES	LIENS AVEC L'EXPOSITION
<p>Temps, mouvement et évolution</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energie mécanique</li> <li>• Exemple de frottements</li> </ul> <p>Thème 1 : l'eau Thème 3 : matériaux</p>	<p>Répartition des forces lors de l'application d'une contrainte à un matériau granulaire. Observation de la direction des forces grâce à la photoélasticité.</p> <p>Le rôle de l'eau entre les grains. L'eau « colle » les grains par de nouvelles forces de cohésion, dites capillaires et permettent d'ériger une colonne. 4<sup>ème</sup>, 5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> espaces : L'eau ennemie ou amie ? Déviation des forces. Argile, ciment de la terre et électrostatique.</p>

**Terminale séries STI2D et STL spécialité SPCL**

COMPETENCES ET CONNAISSANCES SPECIFIQUES	LIENS AVEC L'EXPOSITION
<p>Habitat</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les fluides dans l'habitat</li> </ul> <p>Transport / mise en mouvement</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Actions mécaniques</li> <li>• Frottements de contact entre solides</li> </ul> <p>Longévité et sécurité</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Des matériaux résistants</li> </ul>	<p>Matière granulaire : fluide ou solide ? Répartition des forces lors de l'application d'une contrainte à un matériau granulaire. Observation de la direction des forces grâce à la photoélasticité. L'empilement des grains. Cohésion des milieux granulaires grâce à la présence d'eau. 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup>, 4<sup>ème</sup>, 5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> espaces : Empilements. Grains, le difficile mélange ! Fluide ou solide. L'eau ennemie ou amie ? Déviation des forces. Argile, ciment de la terre et électrostatique.</p>

## **LYCEE VOIE PROFESSIONNELLE DANS LES METIERS DU BATIMENT**

Six espaces thématiques proposent des manipulations simples permettant de mieux appréhender le comportement de la matière granulaire.

La terre, le sable, l'argile et l'eau nous dévoilent leur secret pour « tenir ensemble ».

**Cette exposition s'inscrit aussi dans des parcours d'interdisciplinarité comme :**

- **la granulométrie dans la branche mathématique,**
- **le développement durable sur les matériaux dans la branche des sciences de la vie et de la Terre.**

## 2. PRESENTATION DE L'EXPOSITION

Le propos de cette exposition est d'appréhender quelques principes de la physique spécifique de la matière granulaire. Elle se déroule sur six espaces thématiques. Dans chacun d'eux, une notion scientifique est illustrée au centre par une « manip' totem » et autour par d'autres manipulations, par des textes, des visuels et des vidéos.

Une vingtaine d'expériences interactives, réparties au sein des six espaces, permettent de comprendre de façon ludique le comportement souvent surprenant de cette matière.



### Le grain sec

#### *Empilements*

Comment les grains s'organisent-ils dans un tas ? Les propriétés de fluidité et de compacité sont ici mises en lumière.

- La « manip' totem » :

#### **Ranger les grains**

*Consigne* : à l'aide d'un jeu multimédia tactile, le visiteur résout un problème posé par Apollonios de Perga (vers 262-205 avant Jésus-Christ, mathématicien grec de l'école d'Alexandrie, surnommé « le grand géomètre »). Remplir un espace avec des sphères de tailles différentes appelé « empilement apollonien ».

*Notion scientifique* : l'arrangement le plus compact.

- Deux autres manipulations interactives :

#### **Le bouche-trou**

*Consigne* : retourner le cadre et observer.

*Notion scientifique* : les petits grains se fauillent entre les gros augmentant ainsi la compacité.

#### **Compacité maximale**

*Consigne* : le visiteur touche les moulages

*Notion scientifique* : l'empilement apollonien.

- Dans cet espace on entend le proverbe marocain : « quand tu rentres du marché si ton panier d'oranges est rempli à ras bord, ne crois pas qu'il est plein ! tu peux encore y glisser des noix et des pois chiches.... ».



## Grains, le difficile mélange !

Plus on essaie de mélanger des grains de différentes tailles plus ils se séparent : c'est le phénomène de ségrégation granulaire. Quelles en sont les conséquences ?

- La « manip' totem » :

### Taper- trier

*Consigne* : le visiteur fait vibrer un plateau contenant deux sables dont la taille des grains est différente. Observer.

*Notion scientifique* : la réorganisation des grains, du tri des grains sous l'effet des vibrations.



- Deux autres manipulations interactives :

### Le sapin

*Consigne* : le visiteur retourne le cadre et observe.

*Notion scientifique* : les grains se trient par taille, en s'écoulant les grains dévalent la pente, les gros grains dévalent jusqu'en bas tandis que les plus fins restent coincés en haut.

### Les roues

*Consigne* : tourner doucement la roue et observer

*Notion scientifique* : les grains se trient par taille.

## Fluide ou solide ?

Chaque grain est un solide. Ensemble ils se comportent comme un liquide voire comme un gaz.

- La « manip' totem » :

### Le bac à sable

*Consigne* : appuyer sur un bouton pour fluidifier le sable permet d'y enfoncer un bâton.

*Notion scientifique* : le sable a des propriétés d'un gaz par sa compressibilité.



- Deux autres manipulations interactives :

### Le sablier

*Consigne* : retourner le cadre et observer comment le sable remplit le volume disponible.

*Notion scientifique* : le sable a des propriétés d'un liquide.

### En pente douce.

*Consigne* : incliner doucement la demi-roue pour reproduire les coulées de sable présentées dans la vidéo.

*Notion scientifique* : angle d'avalanche, le sable a des propriétés d'un solide.

Dans cet espace on entend « le chant des dunes », c'est-à-dire le bruit du sable qui « coule ».

# Le grain mouillé

## *L'eau amie ou ennemie ?*

Quel est le rôle de l'eau dans la cohésion des grains ? Quelle quantité d'eau ?

- La « manip' totem » :

### **La bulle**

*Consigne* : le visiteur tourne une manivelle pour créer une bulle de savon qui lui permet de visualiser la forme du pont capillaire entre deux billes.

*Notion scientifique* : l'eau minimise sa surface en contact avec l'air.

L'eau est « une colle » : elle relie les grains en formant des ponts qui tendent à les rapprocher.

La résultante de ces forces d'attraction est appelée cohésion capillaire.



- Plusieurs autres manipulations interactives :

### **Cohésion capillaire**

*Consigne* : le visiteur actionne une manette pour secouer des billes et il compare leur comportement en fonction de la quantité d'eau ajoutée.

*Notion scientifique* : Il se forme un pont capillaire très cohésif entre deux billes mais quand la quantité d'eau ajoutée est trop grande, ces ponts sont détruits car noyés.

### **L'optimum d'eau**

*Consigne* : observer des colonnes de sable plus ou moins mouillées.

*Notion scientifique* : pour « coller » les grains il faut la juste quantité d'eau. Des forces de cohésion apparaissent, dites capillaires. Trop d'eau noie ces ponts car alors l'équilibre eau-air-grains est rompu.

### **La stalagmite**

*Consigne* : l'organisation des grains, en cône ou en structure verticale, a lieu selon qu'on verse ces grains dans une coupelle sèche ou mouillée.

*Notion scientifique* : l'eau dans le fond de la coupelle crée une structure verticale due à la cohésion capillaire.

### **Chasser l'air**

*Consigne* : le visiteur génère des vibrations à l'endroit indiqué, et il observe sur l'écran l'effet sur la colonne de sable.

*Notion scientifique* : les vibrations chassent l'air, les ponts capillaires fusionnent et l'équilibre eau-air-grains est rompu, la colonne de sable s'effondre.

- Dans cet espace on entend « le bruit de la terre » : quand l'eau entre dans la terre, l'air sort, c'est le bruit de l'interaction entre ces deux éléments qui se fait entendre.

Une vidéo : Concours de plage. Les châteaux de sable sur la plage sont éphémères car l'eau s'évapore entre les grains.

## Déviation des forces.

Comment se répartissent les forces exercées sur un matériau granulaire ? D'où viennent ces arches qui apparaissent pendant l'écoulement des grains de sable ?

- La « manip' totem » :

### Où vont les forces ?

*Consigne* : le visiteur, en abaissant une manette, applique une contrainte verticale sur le matériau granulaire.

*Notion scientifique* : Grâce à la photoélasticité, il observe la propagation de cette force au sein du tas. Elle se transmet de grain en grain, par contact et par frottement. Les lignes de forces apparaissent et s'orientent globalement vers les côtés. Il y a donc des grains contraints et des grains dits passifs.



- Deux autres manipulations interactives :

### Ça coince !

*Consigne* : le visiteur retourne un cadre et observe la formation de pont.

*Notion scientifique* : les grains doivent se coincer car ils s'organisent spontanément en arche.

### L'arche

*Consigne* : construire une arche avec des briques puis appuyer dessus pour tester la résistance.

*Notion scientifique* : l'arche est une structure solide car la force exercée est déviée, transmise de brique en brique par contact et par frottement.

## Argile

### Argile, ciment de la terre et électrostatique.

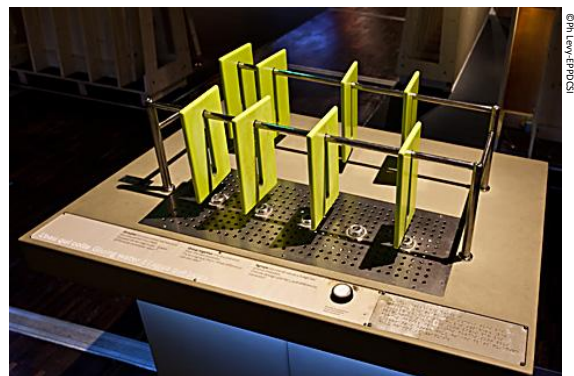
La particularité des grains de l'argile, en plaquette, est abordée dans cet îlot. Les caractéristiques lui confèrent des propriétés uniques de « ciment ».

- La « manip' totem » :

### L'eau qui colle

*Consigne* : le visiteur rassemble des petites plaquettes en plastique enfilées sur une tige métallique. Puis les sépare. Sèches puis mouillées : quelle différence constate-t-il ?

*Notion scientifique* : ces plaquettes symbolisent les grains plats d'argile. L'argile est constituée de grains plats microscopiques qui collent grâce à l'eau. Les forces capillaires sont beaucoup plus importantes entre deux grains plats qu'entre deux grains sphériques et augmentent aussi avec la petitesse des grains.



- Deux vidéos :

**Voyage dans l'argile ; L'argile électrique**, explicitent le comportement de ces particules microscopiques. Les argiles sont chargées électriquement et créent des forces électrostatiques répulsives ou attractives d'où la complexité du monde des argiles !

**Lieu d'animation : visite guidée de l'exposition, sur inscription à l'accueil. Exposés sur les matériaux granulaires une fois par jour, les mercredis après-midi, les week-ends et tous les jours des vacances scolaires parisiennes. Les horaires du jour figurent au programme du jour disponible à la billetterie.**



©Ph. Levy-EPD/CSTI

### 3. PLACE DE LA VISITE DANS UNE PROGRESSION PEDAGOGIQUE

D'une façon générale, la visite d'un îlot de l'exposition peut prendre sa place dans une séquence de cours dans le cadre des programmes scolaires. Les liens des contenus des îlots avec les programmes ont été précisés ci-dessus.

La visite peut également avoir lieu dans le cadre d'une démarche de projet, pour alimenter un atelier scientifique ou un projet de classe. Dans ce cas, les notions abordées peuvent être plus larges que celles des programmes, mais les compétences demandées aux élèves doivent correspondre à celles de son niveau.

Dans ces deux cas, la visite peut se faire :

- Avant d'aborder la notion : elle est utilisée comme phase d'accroche pour introduire une notion ou faire émerger une problématique. Elle peut permettre, par exemple, de débusquer les représentations initiales des élèves.
- Au cours d'une séquence : elle peut permettre d'apporter des éléments supplémentaires ou des réponses au questionnement des élèves. Dans ce cas, elle constitue une étape dans la démarche d'investigation.
- Après une séquence : elle complète les notions abordées et propose une ouverture culturelle.

## 4. RESSOURCES

*A utiliser pour préparer sa visite ou à utiliser en classe*

### Bibliographie

- Bâtir en terre. Du grain de sable à l'architecture. Ouvrage coédité avec les Editions Belin en 2009.
- Vous avez dit physique ?, Kamil Fadel. Coédition Palais de la découverte/Editions Dunod. Sortie : mars 2015.
- articles écrits par Jacques Duran, directeur de recherche au CNRS de Paris :
  - L'étonnante matière en grains.  
<http://www.espci.fr/usr/jduran/articleBUP.pdf>
  - La physique des milieux granulaires.  
[http://www.odpf.org/images/archives\\_docs/17eme/memoires/gr-24/memoire.pdf](http://www.odpf.org/images/archives_docs/17eme/memoires/gr-24/memoire.pdf)
- Les sables émouvants de Jacques Duran, édition Belin.
- Sables, poudres et grains de Jacques Durand. Eyrolles Sciences, 1999.
- Matière et matériaux sous la direction d'Etienne Guyon, édition Belin.

### Les sites Internet incontournables

- *Vidéos coup de cœur* : 6 vidéos, entre 5 et 8 minutes chacune, pour refaire ces expériences en classe avant ou après la visite de l'exposition.  
<http://www.universcience.tv/categorie-jerome-et-le-sable-291.html>
- 55 vidéos découpées en huit chapitres ou thèmes, entre 1 et 3 minutes chacune, pour comprendre en images quelques notions scientifiques et refaire ces manipulations en classe.  
<http://www.grainsdebatisseurs.com/references/videos/>

#### Chapitre 1

##### **Les trois états de la matière granulaire, solide, liquide et gaz**

*Vidéos coup de cœur* : 1 : Le tas et le poids. 5 : Le tube de poudre qui rebondit. 7 : Les poudres tassées et aérées.

#### Chapitre 2

##### **La compacité des tas de grains**

*Vidéos coup de cœur* : 8 et 9 :  $1+1=2$ .

#### Chapitre 3

##### **L'angle d'avalanche en fonction de la taille et de la forme des grains et sur l'effet volcan**

*Vidéos coup de cœur* : 10 : Le tas. 14 : L'effet volcan.

#### Chapitre 4

##### **La ségrégation granulaire**

*Vidéos coup de cœur* : 16 : Le sapin. 19 : La ségrégation par vibration.

## Chapitre 5 La déviation des forces

*Vidéos coup de cœur* : 21 : L'arc de billes. 23 : Le bâton béton. 24 : Les grains photoélastiques. 26 : Comment faire un super pâté.

## Chapitre 6 Les forces capillaires

*Vidéos coup de cœur* : 27 : Stalagmite de sable. 30 : L'huile et l'eau.

## Chapitre 7 La cohésion capillaire, comment l'eau joue-t-elle le rôle de « colle » entre les grains ?

*Vidéos coup de cœur* : 35 : Le pont capillaire entre 2 billes. 38 : Le sable magique. 39 : La colonne de sable. 40 : La dilatance. 42 : Les plaques de verre.

## Chapitre 8 L'argile et les forces électrostatiques

*Vidéos coup de cœur* : 48 : Rhéofluidifiant. 49 : La farine de maïs. 51 : Les boues et le sel.

### Les sites Internet élargis à d'autres thèmes

- La larve du fourmilion utilise l'angle d'avalanche pour piéger ses proies.  
<https://www.youtube.com/watch?v=qA7t6YjV9TE>
- Les petites créatures du désert.  
[www.youtube.com/watch?v=zEwklwC6Cb0](http://www.youtube.com/watch?v=zEwklwC6Cb0)
- Une vidéo très courte sur la tempête de sable du siècle à Phoenix.  
En 2011 est survenue la plus grosse tempête de sable depuis 100 ans, un **habood** selon le terme venu du Sahara. Il s'étendait sur plus de 1 km de haut et 150 km de large.  
<http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/actu/d/meteorologie-extreme-video-tempete-sable-siecle-phoenix-47217/>

### Un calcul approximatif étonnant

Y a-t-il plus d'étoiles dans l'univers que de grains de sable sur Terre?

<http://sciencetonante.wordpress.com/2012/07/23/y-a-t-il-plus-detoiles-dans-lunivers-que-de-grains-de-sable-sur-terre/>

### Les événements

Espace Pierre Gilles de Gennes : Grains de bâtisseurs du 13/12 au 14/03/2015

<http://www.espgg.org/Grains-de-Batisseurs>

Pavillon d'Arsenal : Matière grise du 26 /09 au 04/01/2015.

<http://www.pavillon-arsenal.com/expositions/matiere-grise.php#.VIBBrTKG-uk>

Cité de l'Architecture et du Patrimoine : Un bâtiment, combien de vie ? du 03/12 au 28/09/2015.

<http://www.citechaillot.fr/fr/expositions/expositions-temporaires/25628-un-batiment-combien-de-vies.html>

## 5. Correction des parcours

### École primaire et collège

#### De quoi est-il question ?

#### La matière granulaire, c'est quoi ?

- C'est de la matière qui contient des grumeaux.
- C'est de la matière constituée de grains.
- C'est de la matière qu'on ne peut pas voir à l'œil nu.

#### D'où vient cette matière ?

- Des plantes
- Des roches sous l'effet du gel, du vent, de l'eau, des animaux et des végétaux.
- Des animaux

### Les trois états de la matière

#### Cette matière peut être considérée comme

#### un liquide car :

- En grande quantité, elle prend la forme du récipient qui la contient.
- Sa surface libre est plane et horizontale.
- Elle est légère.

#### un solide car :

- Elle est façonnable.
- On peut la transporter
- Pris individuellement, chaque grain a sa forme propre.

#### un gaz car :

- Elle peut être emportée par le vent.
- Elle est compressible.
- Elle ne brûle pas.

### Le sable tassé

#### Une fois le bâton enfoncé dans le bac à sable ; si on tapotait le bac à sable de sorte de tasser le sable. Que se passerait-il ?

- Le bâton semble coller au sable : on ne peut pas le retirer. *Par le tassement, les grains se réarrangent sous l'effet des chocs, et s'appuient les uns contre les autres. Il se forme des lignes de force (que l'on ne voit pas) appelées **ponts** ou **voûtes**.*
- On enlève le bâton très facilement.
- Le bâton tombe car le niveau de sable baisse.

## Les mélanges

### Les grains de différentes tailles se mélangent pour former

- Un mélange homogène.
- Un mélange trop bizarre.
- Un mélange hétérogène *car les gros grains restent en surface et les petits sont en dessous.*

### Pourquoi les grains de différentes tailles ne se mélangent-ils pas ?

- Car ils sont trop gros
- Car on ne les mélange pas assez longtemps
- Car leur différence de taille les empêche de se mélanger.

### Comment appelle-t-on ce phénomène ?

- La ségrégation granulaire
- La migration des grains
- La division des tailles

$$1+1 = 2 ?$$

### Quand on additionne deux volumes de grains de tailles différentes, on obtient

- Un volume égal à la somme des deux volumes
- Un volume plus petit que la somme des deux volumes *car les grains de plus petite taille se logent dans les interstices des grains de plus grande taille.*
- Un volume plus grand que la somme des deux volumes

## Que de grains !

La dune du Pilat dans le bassin d'Arcachon est un lieu touristique très fréquenté.

Elle culmine à 110 m et est la plus haute dune de sable d'Europe.

<http://www.dunedupilat.com/fran%C3%A7ais/la-dune/site-naturel/>

Son volume est estimé à 60 millions de mètres cube de sable. Le volume d'un grain de sable est approximé à un millième de millimètre cube.

Déterminer le nombre de grains de sable contenu dans cette dune.

Le volume de cette dune est donné :  $V = 60 \times 10^6 \text{ m}^3$

Le volume d'un grain de sable est donné :

$$v = \frac{1}{1000} = 10^{-3} \text{ mm}^3 = 10^{-12} \text{ m}^3$$

Le nombre de grains, N, contenu dans cette dune :

$$N = \frac{V}{v} = \frac{60 \times 10^6}{10^{-12}} = 60 \times 10^{18}.$$

La dune de Pilat contient  $60 \times 10^{18}$  grains de sable c'est-à-dire 60 trillions.



## Correction du parcours lycée

### La barkhane, forme de sable laissée par le vent dans le désert

Lorsque l'on regarde cette forme, d'où provient le vent.

- De la droite
- De la gauche



Quelle pente de la barkhane est plus tassée ?

- Celle de droite
- Celle de gauche car elle est tassée par le vent. *On pourra aisément marcher du côté tassé alors que l'on s'enfoncera du côté abrité du vent.*

Pourquoi utilise-t-on du ballast sur les rails de chemin de fer ?

- Parce que c'est moins cher
- Parce que c'est naturel
- Parce que les forces de pressions se répartissent latéralement de caillou en caillou.

### Arche vélaire ou arche idéale, obtenue en renversant une chaînette

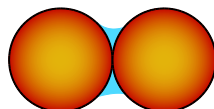
Pourquoi sont-elles si solides ?

- Car les forces de traction deviennent des forces de pure compression. *Les forces sont dirigées vers le sol, c'est-à-dire que les contraintes sont canalisées le long de l'arc lui-même et annihilent les poussées obliques.*
- Car les forces de traction sont très fortes.
- Car les forces de compression sont très faibles.

### Les châteaux de sable

Les artistes sculpteurs des châteaux de sable utilisent un sable mouillé, salé, provenant d'une carrière. Pourquoi ?

Ils utilisent un sable mouillé car l'eau forme de minuscules ponts entre les grains de sable appelés ponts capillaires (*en bleu*), les deux grains de sable sont considérés comme étant deux sphères.



C'est la faible force de la tension superficielle de l'eau qui suffit à faire tenir les grains ensemble. Cette force, responsable de la forme sphérique des gouttes d'eau, fait que l'eau minimise son contact avec l'air et maximise son contact avec les grains de sable. Elle empêche les grains de se séparer.

La tension superficielle est une limite physique à la surface d'un milieu dense ou entre deux milieux denses. Dans le cas de l'eau et l'air, cette séparation "rigide" est due aux forces inter-moléculaires qui s'exercent entre les molécules d'eau.

Le sel assure les ponts quand l'eau s'est évaporée et le sable de carrière est plus anguleux donc présente une meilleure cohésion.

# L'empilement des grains

## La conjecture de Kepler .....en 2D !

Johannes Kepler, astronome allemand, énonce, en 1611, que la densité maximale d'un empilement de sphères, en 3D, est égale à

$$\frac{\pi}{3\sqrt{2}} \approx 0.7405$$



Soit la densité du réseau cubique face centrée.

La façon la plus compacte d'entasser des sphères est de les empiler en pyramide, en quinconce, comme les fruits sur les étales des maraîchers.

La démonstration de cette conjecture a vu le jour en août 2014 par l'américain Thomas C. Hales.

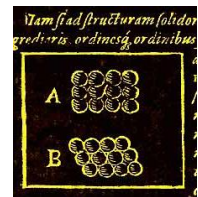
Il aura fallu 387 ans pour la démontrer : un problème purement géométrique.

**Pour approcher ce problème de compacité, posons le à plat...en 2D.**

**Comment ranger des disques de même rayon pour qu'ils occupent le moins de place possible ?**

On appelle compacité ou densité surfacique (d) le rapport de la surface des morceaux de disques contenus dans une maille sur la surface de cette maille ; une maille est un motif élémentaire d'empilement ; elle s'exprime de la manière suivante:

$$d = \frac{\text{surface des morceaux des disques contenus dans une maille}}{\text{surface de la maille occupée}}$$

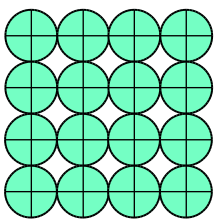


Elle permet de répondre à cette question qui devient :

**Comment arranger les disques de sorte que cette densité surfacique ou compacité soit la plus grande possible?**

Deux empilements possibles :

1- empilement carré : on considère des disques de rayon r empilés les uns au-dessus des autres.

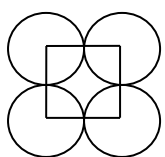


Le plan est partagé en mailles. Chaque maille est un carré dont les sommets sont les centres des quatre disques les plus proches.

On calcule la densité surfacique dans chaque carré:

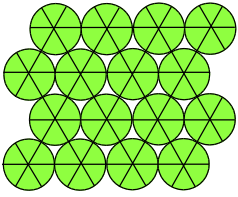
$$d = \frac{\text{surface des morceaux des disques contenus dans un carré}}{\text{surface d'un carré}}$$

Un carré contient l'équivalent d'un disque de rayon r.



$$d = \frac{\pi r^2}{4r^2} = \frac{\pi}{4} \approx 0,79$$

2- empilement hexagonal : on considère des disques de rayon  $r$  empilés en quinconce. Autour d'un disque on peut disposer au maximum six disques de même rayon  $r$ .



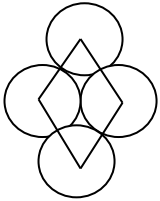
Le plan est partagé en mailles. Chaque maille est un losange dont les sommets sont les centres des quatre disques les plus proches.

On obtient la densité surfacique dans chaque losange :

$$d = \frac{\text{surface des morceaux des disques contenus dans un losange}}{\text{surface d'un losange}}$$

Un losange contient l'équivalent d'un disque de rayon  $r$  d'aire  $\pi r^2$ .

La surface d'un losange est le produit de ses deux diagonales divisé par deux :



$$\frac{1}{2} \cdot (2r) \cdot \left(2r \cdot \frac{r}{\tan \frac{\pi}{6}}\right) = 2r^2 \sqrt{3}$$

On calcule  $d$  :

$$d = \frac{\pi r^2}{2r^2 \sqrt{3}} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \approx 0.9069$$

En comparant les deux résultats des densités surfaciques, la plus grande compacité est obtenue pour un empilement hexagonal.

*C'est en 1910 que la conjecture de Kepler en 2D a été démontrée par Axel Thue, mathématicien norvégien.*

## 6. DETAILS PRATIQUES

### ADRESSE

Avenue Franklin D. Roosevelt  
75008 Paris  
01 56 43 20 20

<http://www.palais-decouverte.fr>

### ACCES

Métro Champs-Élysées Clémenceau (L1, L13) ou Franklin Roosevelt (L9)

Bus : 28, 42, 52, 63, 72, 73, 80, 83, 93.

RER : Invalides

### HORAIRES D'OUVERTURE

Du mardi au samedi de 9h30 à 18h, le dimanche de 10h à 19h.

Fermeture le lundi.

### TARIF PAR ELEVE

3,50 € jusqu'au 31-01-2014, puis 4,50€.

2,50 € pour les ZEP.

Ce tarif vous donne droit à la réservation de deux animations par élève.

### RESERVATION

La réservation est possible à partir du lundi 1<sup>er</sup> septembre et pour toute l'année scolaire en cours.

En contactant le bureau des groupes

- Par téléphone au 01 56 43 20 25

Du lundi au vendredi de 9h à 16h.

- Par courrier fax ou courriel

Palais de la découverte

Bureau des groupes

Avenue Franklin D. Roosevelt

75008 Paris

Fax : 01 56 43 20 29

[groupe.palais@universcience.fr](mailto:groupe.palais@universcience.fr)