

# Physique du désert

- Définition
- Déserts sur Terre
- Le sable
- Rayonnement et températures

## Notions utilisées :

1. Introduction
- 2-3. Structure de la matière
4. Les ondes
16. Chaleur et énergie
20. Physique de la Terre IV

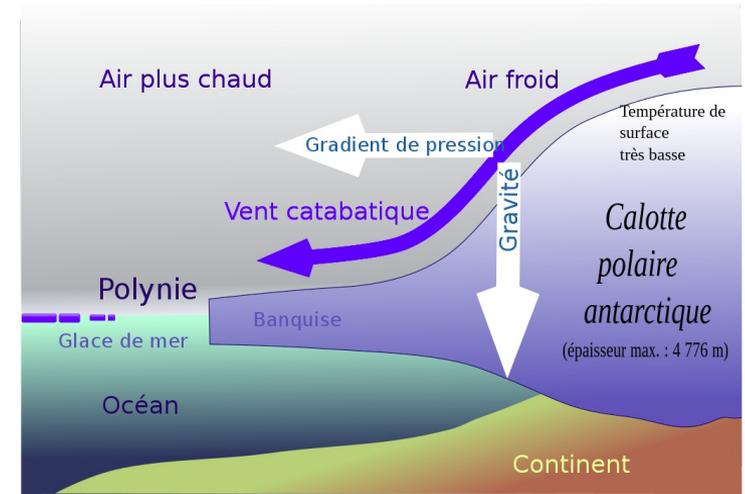
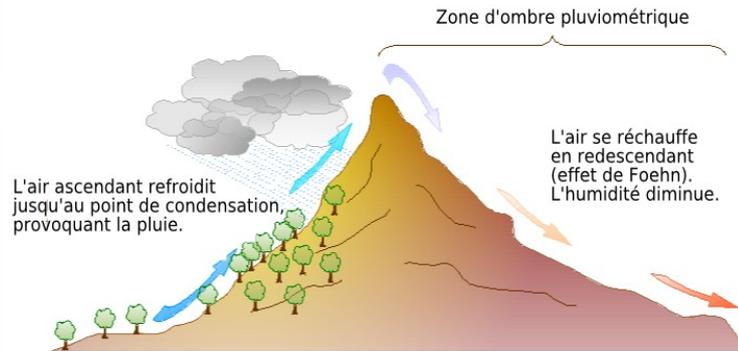
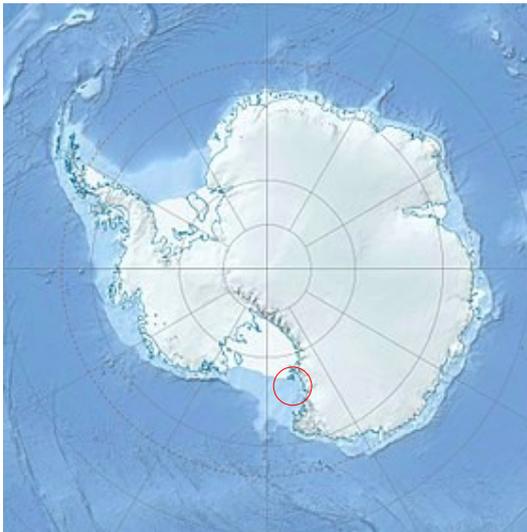


Pour une meilleure compréhension, certaines explications pourront être légèrement simplifiées/tronquées  
Images : Wikipedia sauf mention contraire

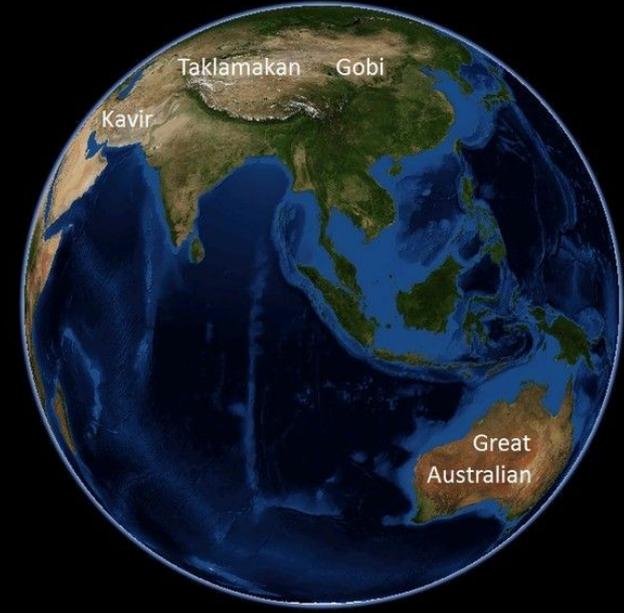
# Définition

- Définition : zone où les précipitations sont **rare**s et **peu abondantes**
  - → conditions de vie **hostiles** pour plantes & animaux
- Il existe des déserts **chauds** et **froids**

- Endroit **le plus sec** : **vallées sèches de McMurdo** en Antarctique
  - situées dans l'**ombre pluviométrique** du **vent catabatique** descendant des montagnes
  - Les vents peuvent atteindre 320 km/h, se **réchauffent** et **s'assèchent** à mesure qu'ils descendent, **évaporant** toute l'eau, la glace et la neige



# Les déserts sur la Terre



Rang	Nom	Type de désert	Superficie (en km <sup>2</sup> )
1	Antarctique	Polaire	14 000 000
2	Arctique	Polaire	13 700 000
3	Sahara	Subtropical	9 065 000
4	Désert d'Arabie	Subtropical	2 331 000
5	Désert de Gobi	Froid (continental)	1 300 000

Rang	Nom	Type de désert	Superficie (en km <sup>2</sup> )
6	Désert du Kalahari	Subtropical	900 000
7	Patagonie	Froid	673 000
8	Désert de Syrie	Subtropical	520 000
9	Grand Bassin	Froid	492 000
10	Désert de Chihuahua	Subtropical	450 000

# ALMA (Atacama Large Millimeter Array)

- 66 antennes (D = 7 à 12 m) à 5000+ m d'altitude
- Observation des **nuages moléculaires** dans lesquels naissent les étoiles (ondes (sub)millimétriques)
- Capable d'étudier le processus de **formation des planètes** autour des jeunes étoiles



# Les 3 temps des Grecs

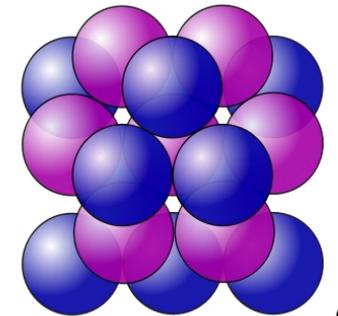
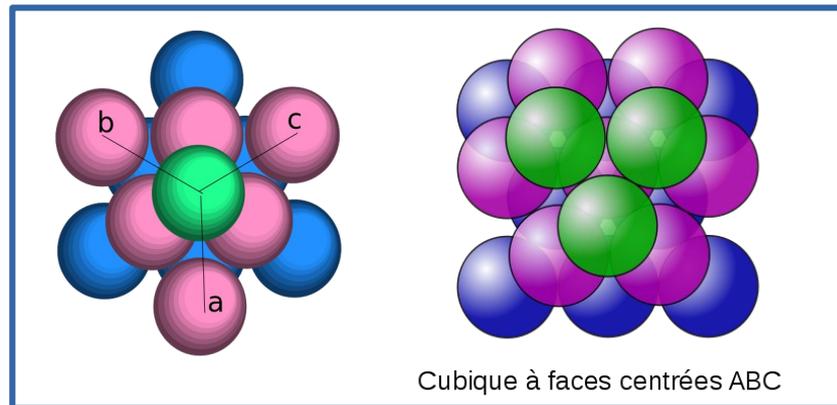
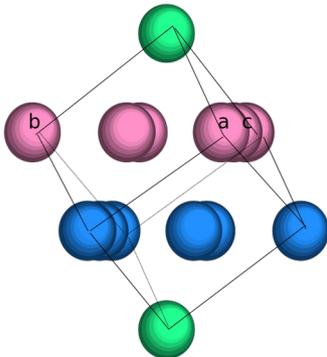
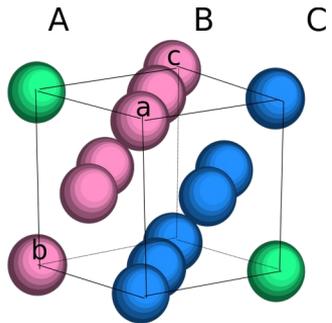
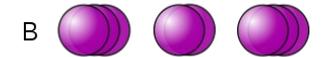
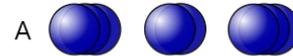
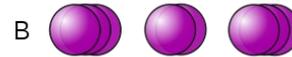
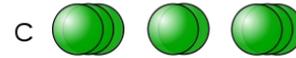
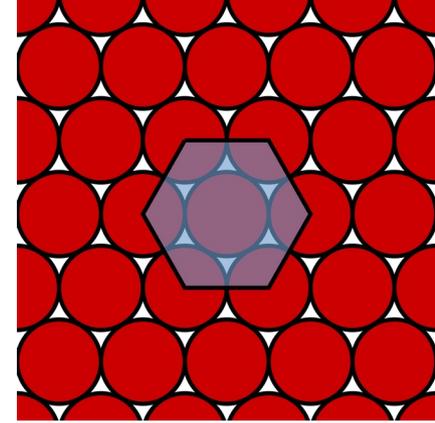
- **Chronos** : le temps linéaire, physique, « chronologique », mesuré : jour, mois, année
- **Kairos** : le temps métaphysique, le bon moment pour agir, l'instant de l'opportunité
- **Aiôn** : le temps cyclique (cycle circadien, saisons, ...)



# La cristallographie

- Étude de l'**empilement atomique** des cristaux
  - Atomes représentés par des sphères
- Cristal « **parfait** » = sans **défauts cristallins**
- 2 empilements « **compacts** »
  - **Cubique à faces centrées & hexagonal compact**
  - De nombreux **autres empilements** (non compacts) existent
- **Maille** = plus petit motif reproductible à l'infini dans un cristal – exemples : CFC, HC

Empilement compact en 2D :  
cercles dans un espace  
carré → forme hexagonale.



Hexagonal compact ABA

# Caractérisation des cristaux

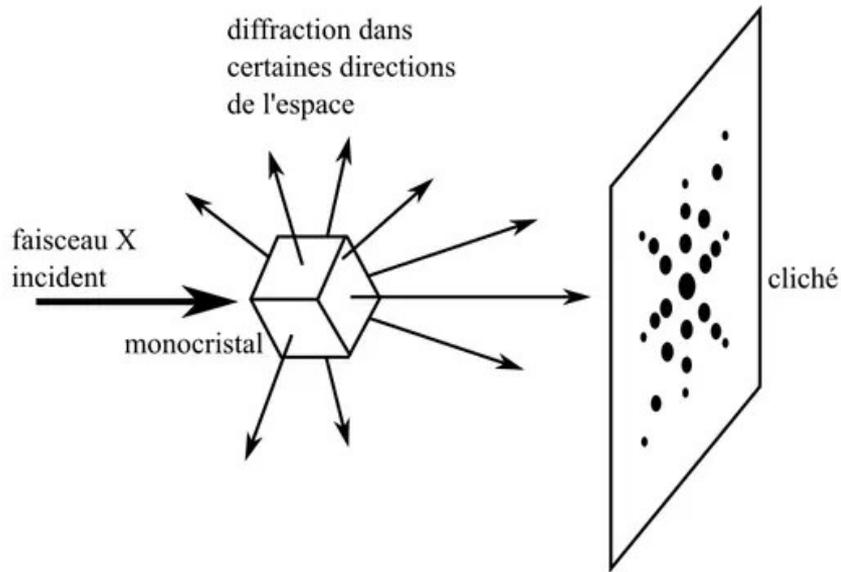
- 7 « systèmes réticulaires » de base : cubique, hexagonal, rhomboédrique, quadratique (ou tétragonal), orthorhombique, monoclinique et triclinique
- 14 « réseaux de Bravais »
- 230 « groupes d'espace » (toutes les combinaisons possibles de réseaux et de symétries)

	Triclinique $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	Monoclinique $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ et $\gamma \neq 90^\circ$	Hexagonal $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ et $\gamma = 120^\circ$	Rhomboédrique $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Orthorhombique $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Quadratique $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Cubique $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Primitif P							
Maille centrée I							
Deux faces centrées C							
Faces centrées F							

<https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-des-materiaux/solides-cristallins/un-siecle-de-cristallographie-de-la-maille-0>

# Étude des cristaux

- La **figure de diffraction** des rayons X permet de remonter à la **structure cristalline**

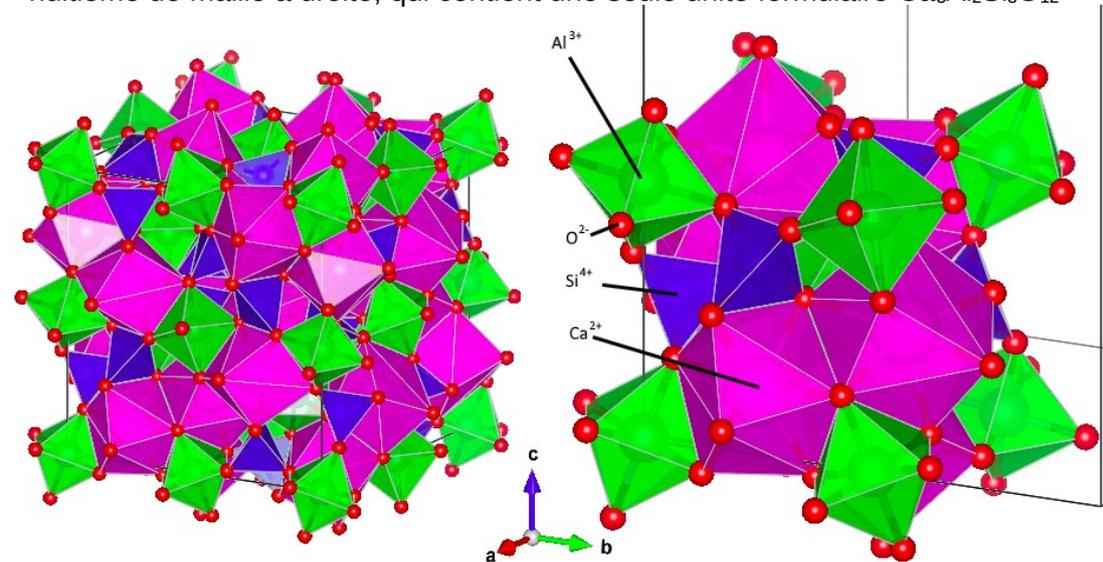


<https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-analytique/spectroscopies/le-siecle-de-la-cristallographie-de-la-diffraction-0>

Exemple :  
le grenat



Structure cristalline du grossulaire : maille complète à gauche; uniquement un huitième de maille à droite, qui contient une seule unité formulaire  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$



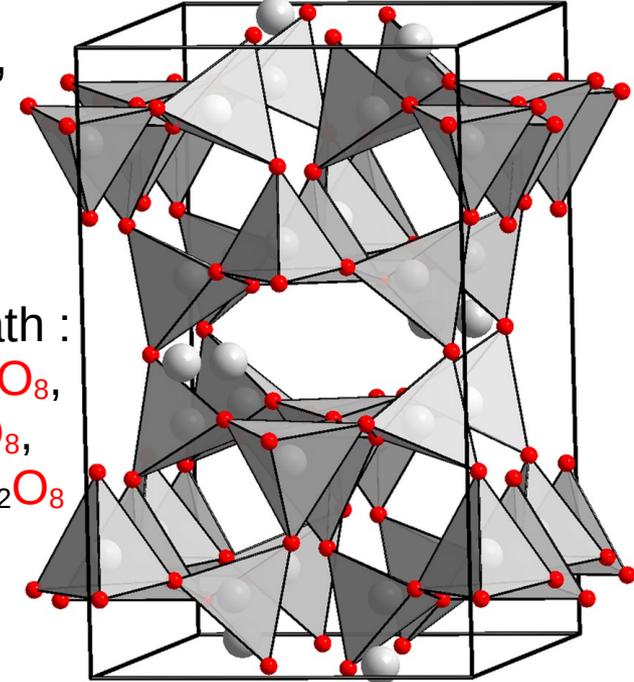
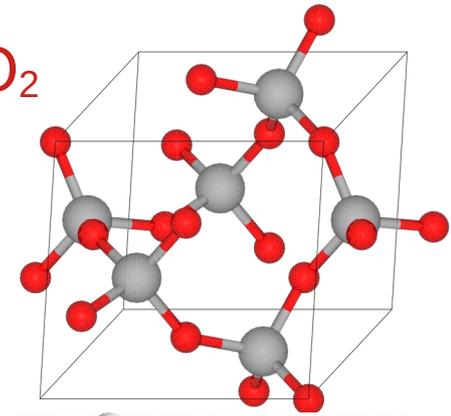
# Le sable

- Constitué de petites particules :  $\sim 0,01 - 1 \text{ mm}$
- Provient de la **désagrégation** de matériaux d'origine **minérale** (roches) ou **organique** (coquilles, corail, etc.)
- Peut contenir jusqu'à **180 minéraux différents** (quartz, micas, feldspaths, etc.), ainsi que des débris calcaires
- Nombreuses applications, notamment le béton

Crystal Mountain, Égypte



Quartz  $\text{SiO}_2$



Feldspath :  
 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ,  
 $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ,  
 $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

# Physique du sable

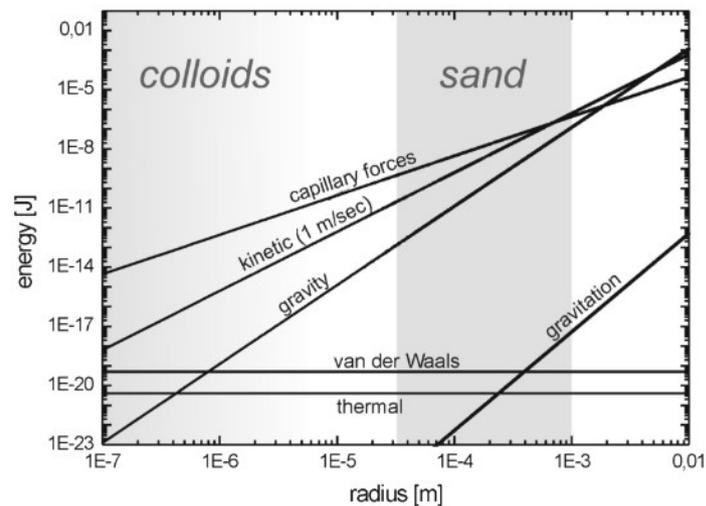
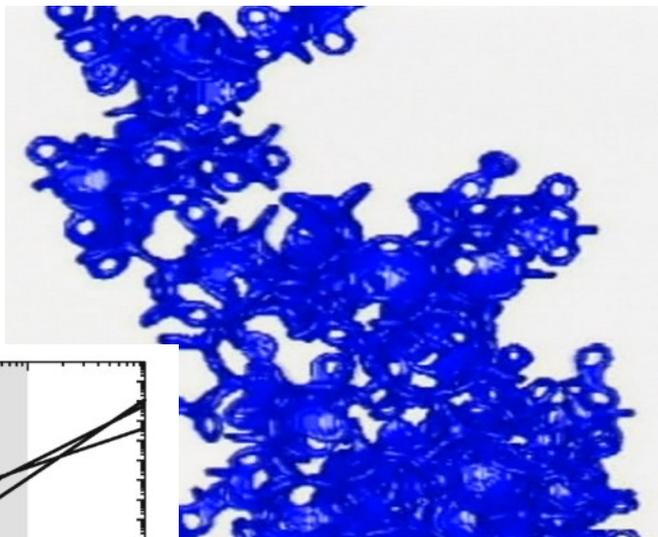
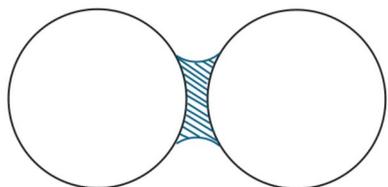
- Rappels :
  - **Solide** : forme et volume propres
  - **Liquide** : coule, prend la forme du récipient
- Le sable possède des **propriétés des 2 états** : matériau « **granulaire** », comme la neige ou le sucre en poudre
  - **Fluide** car il s'écoule et prend la forme du récipient
  - **Pas fluide** car surface pas horizontale
    - → dunes (angle  $\sim 30^\circ$ ) : au-delà de cet angle, il s'écoule par avalanches successives pour retrouver cette pente stable
  - Voire **propriétés gazeuses** (tempêtes de sable)

- Physique des matériaux granulaires **très difficile à théoriser**
  - presque un **état propre de la matière**
- Concept de **température granulaire**
  - Rappel : la température mesure le mouvement des particules
  - La température granulaire mesure l'ampleur du mouvement des éléments : **varie avec la profondeur**, contrairement aux liquides

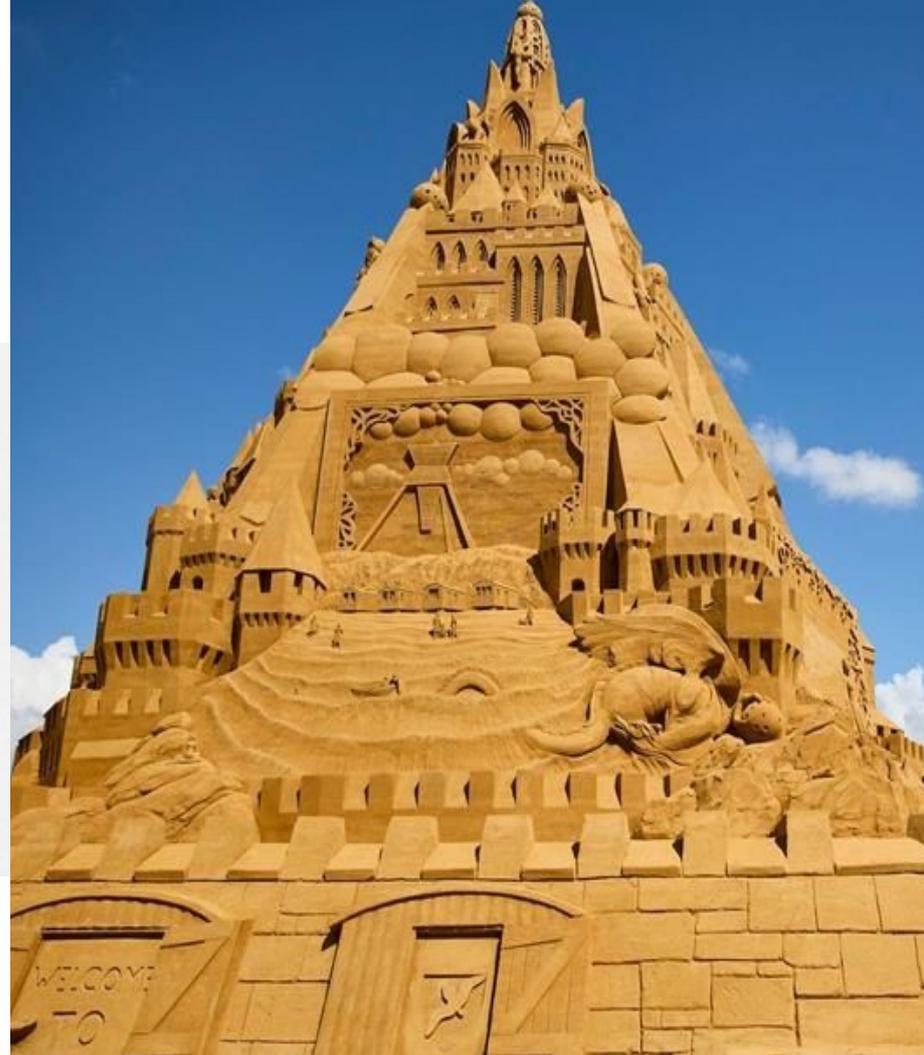


# Physique du sable mouillé

- L'eau crée des « ponts capillaires » entre les grains de sable



Énergies caractéristiques  
des systèmes granulaires  
humides en fonction de la  
taille des grains



<https://www.mpg.de/781130/modellsystem-sand?c=2191>  
<https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/8575#t=aboutBook>  
<https://www.loveexploring.com/gallerylist/113580/the-worlds-biggest-sandcastle-and-other-amazing-seaside-sculptures>

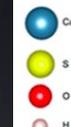
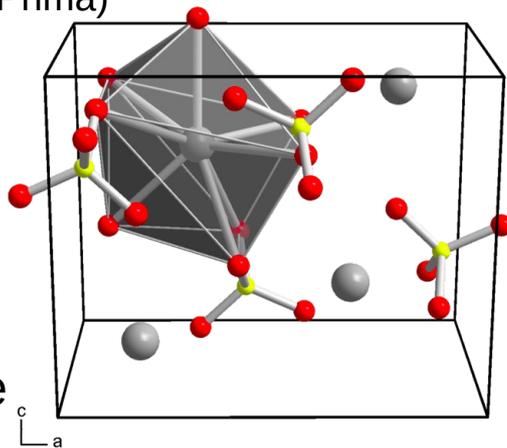
# La rose des sables

- Roche « **évaporitique** » formée par cristallisation de **minéraux** solubles déposés dans un lac salé ou une mer intérieure puis lentement asséchés, comprimés, compactés
- Se rencontre dans les terrains tendre (sable, argile), notamment dans les déserts
- Composée de
  - **Gypse** (sulfate de calcium dihydraté =  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ )
  - Baryt(in)e (sulfate de baryum =  $\text{BaSO}_4$ , système orthorhombique, groupe d'espace Pnma)

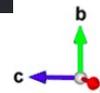


©Dakota Matrix

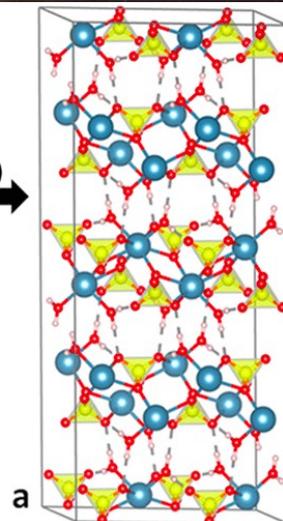
Baryte



Gypse

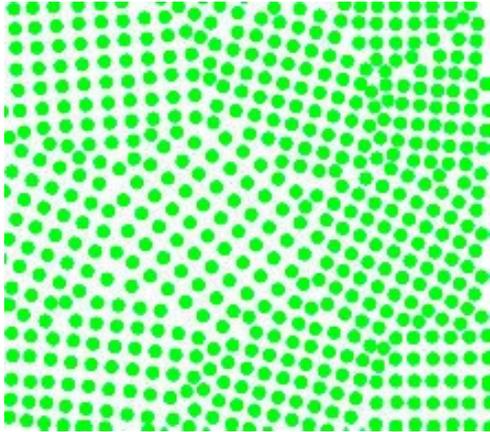
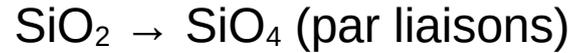
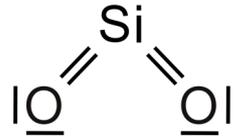


Plane (010)

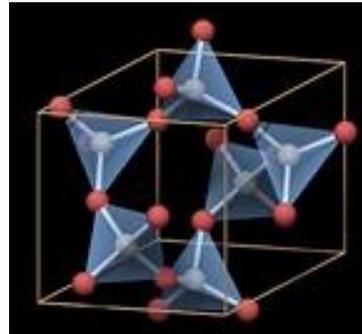
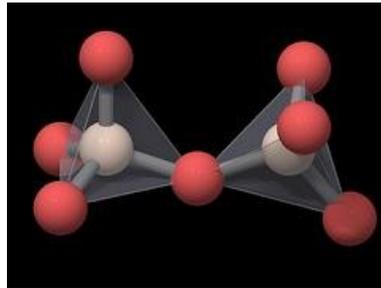


# Les silex

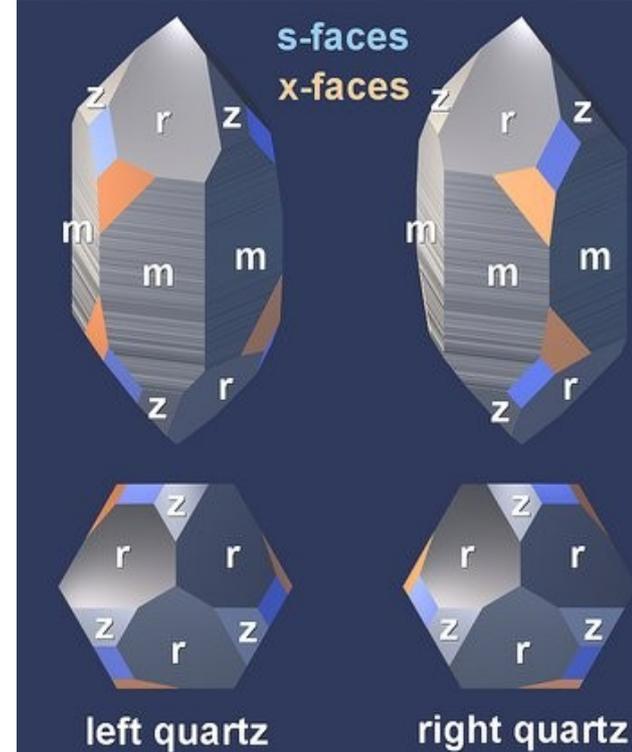
- Roche très dure constituée de **calcédoine** et d'**impuretés** (eau ou oxydes) → couleur
- Formée à partir d'eau de mer ou de lac saturée en **opale** (silice hydratée) → calcédonite
- Calcédoine composée de **crystallites** (= portions de monocristal) de **quartz** de taille ~ 50 – 100 nm<sup>3</sup>
- Quartz = phase de la **silice** (SiO<sub>2</sub>)



Ensemble de cristallites

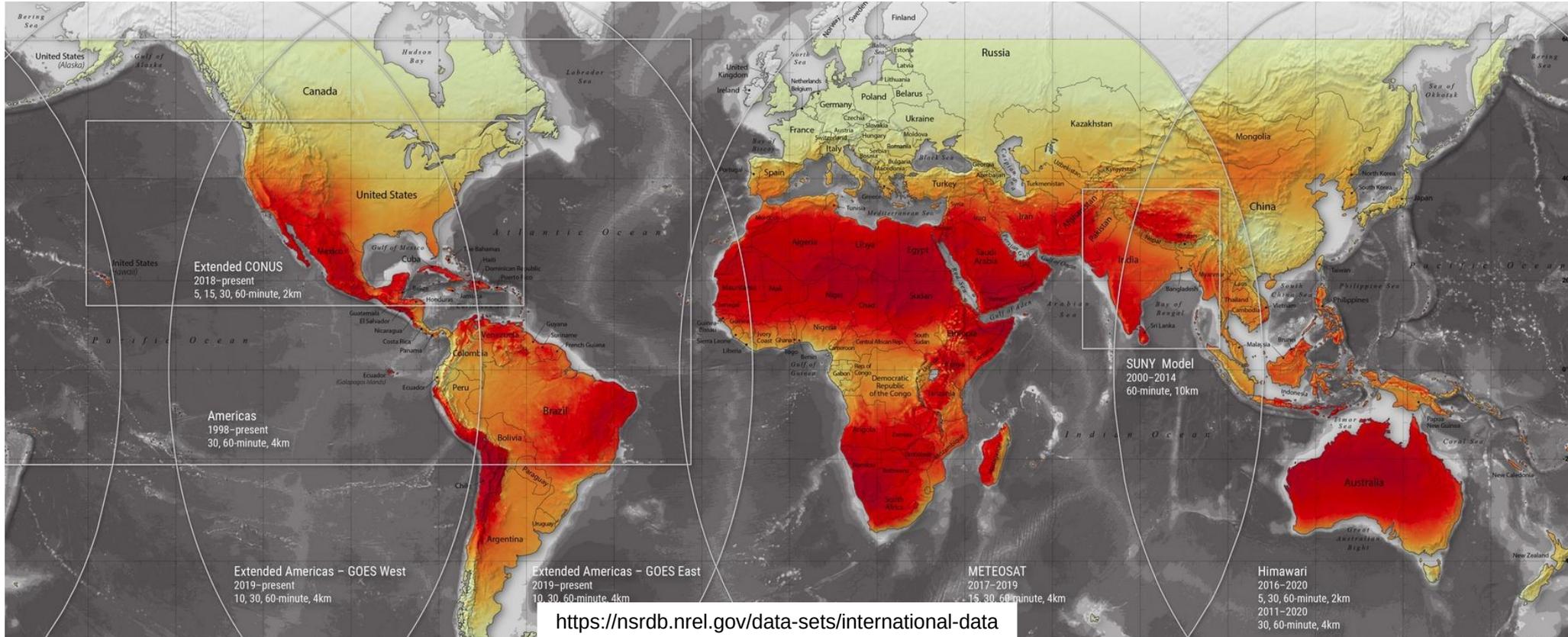


[http://www.quartzpage.de/gen\\_struct.html](http://www.quartzpage.de/gen_struct.html)



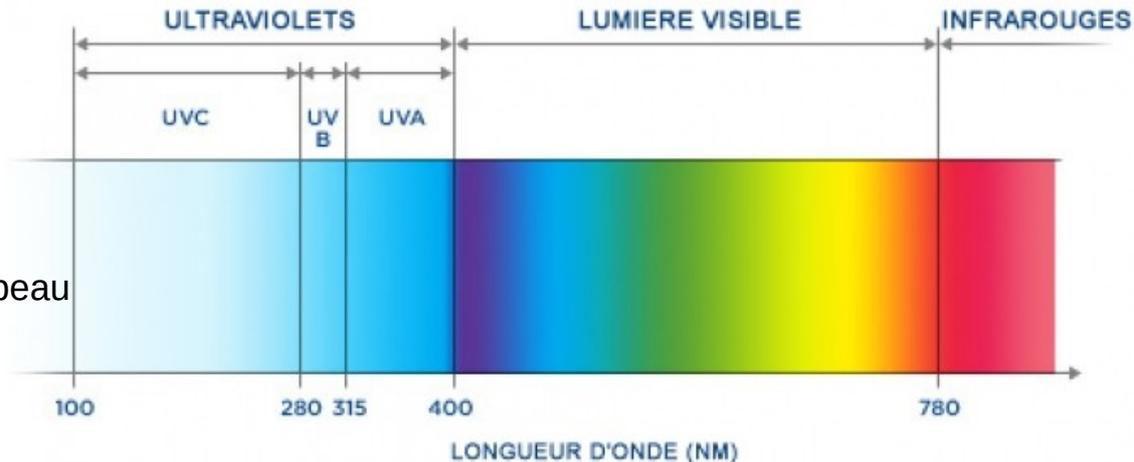
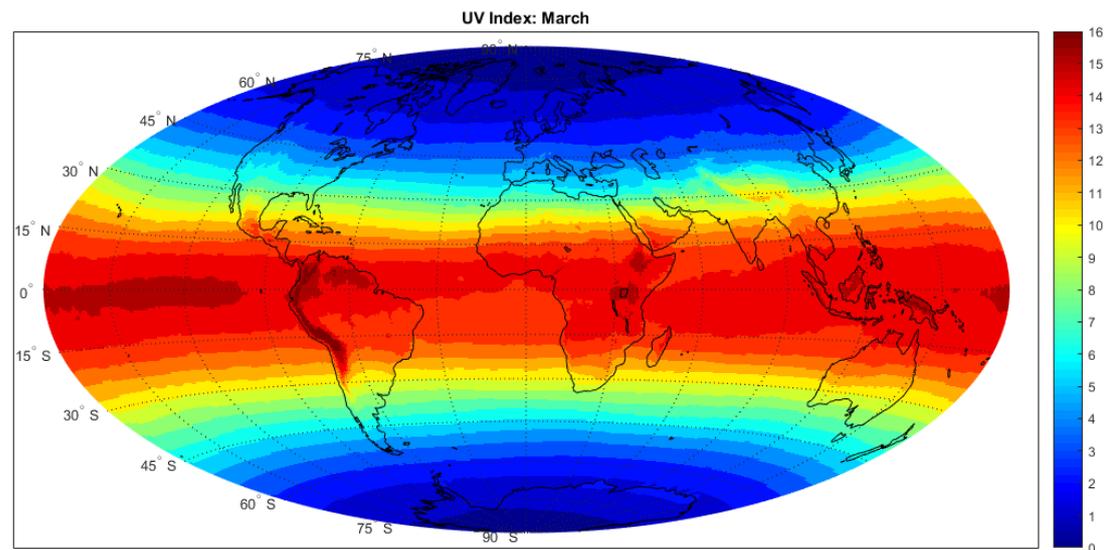
# Rayonnement solaire

- Le Soleil rayonne une puissance de  $\sim 4 \times 10^{26}$  W (« luminosité solaire »)
- La Terre reçoit  $180 \times 10^{15}$  W (PW), soit  $5 \times 10^{-10}$  (0,5 milliardième)
- Soit  $350 \text{ W.m}^{-2}$ , soit  $6 \times 10^{24}$  J (YJ) par an, dont 70 % absorbés :  $4 \times 10^{24}$  J (YJ)
- $\sim 10\,000$  fois la consommation terrestre :
- 1h « suffirait »...



# Les rayons UV

- 5 % de l'énergie électromagnétique du Soleil
- On en distingue **3 types** :
  - Les **UVC** ( $\lambda = 100 - 280 \text{ nm}$ )
    - les **plus énergétiques** et les plus nocifs
    - Filtrés par la **couche d'ozone** (importante !)
    - Effet **germicide** (stérilisation de l'eau, d'objets)
  - Les **UVB** ( $\lambda = 280 - 315 \text{ nm}$ ) – 5% exposition
    - **arrêtés** par le verre et les nuages
    - → **bronzage à retardement** et **coups de soleil**
    - **vieillissement** de la peau et **cancers** cutanés
  - Les **UVA** ( $\lambda = 315 - 400 \text{ nm}$ ) – 95 % exposition
    - **Pas arrêtés** par le verre ou nuages
    - → **bronzage immédiat** et du **vieillissement** de la peau
    - Effet **cancérigène** longtemps ignoré (<< à UVB)
  - Énergie de **qq eV** ( $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ )
    - $\lambda > \lambda_{\text{visible}} \Leftrightarrow E > E_{\text{visible}}$
    - ~ **énergie de liaison chimique**



# Les coups de soleil

- Ou « **érythème actinique** » = **brûlure** du 1<sup>er</sup> degré (et rarement 2<sup>ème</sup>)
- Sensibilité de la peau aux UV caractérisée par le « **phototype** »
  - Classification de Fitzpatrick : 6 degrés



Phototype I



Phototype II



Phototype III



Phototype IV



Phototype V

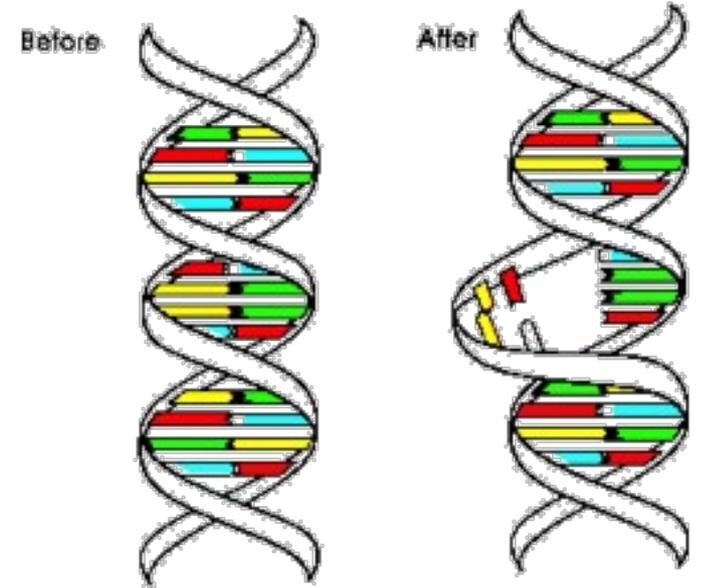
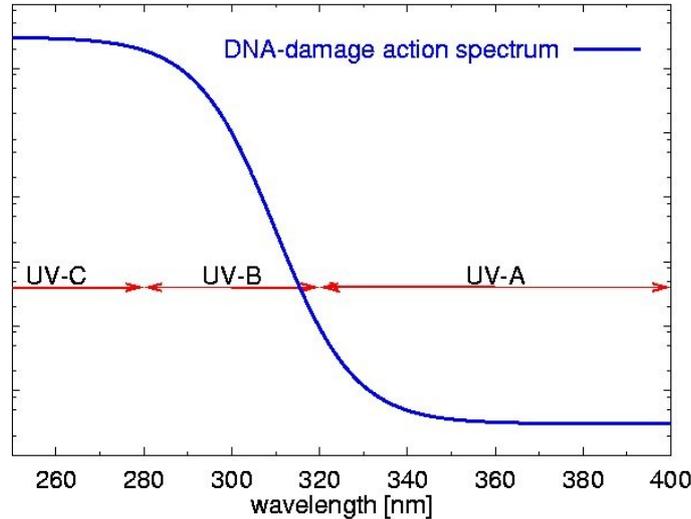
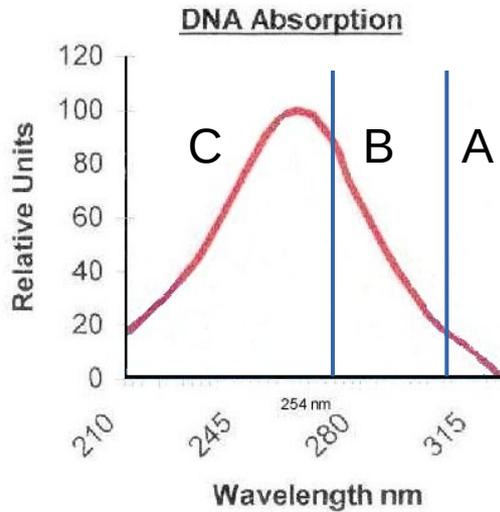


Phototype VI

- Protection :
  - **Mélanine** : **bronzage** = **défense** de l'organisme (absorbe les UV)
  - « **Filtres ultraviolets** » (composés chimiques absorbant les rayonnements ultraviolets)
- Facteur de protection solaire (FPS)
  - Facteur d'**allongement de la durée avant un coup de soleil**
  - Indice 2 : 2 fois plus longtemps (50 % des UV érythémateux sont absorbés)
  - Indice 20 : 20 fois plus longtemps (95 % des UV érythémateux sont absorbés)
  - Indice 50 : 50 fois plus longtemps (98 % des UV érythémateux sont absorbés)
  - Plus d'« écran total » depuis 2006 en Europe

# Mécanisme du coup de soleil

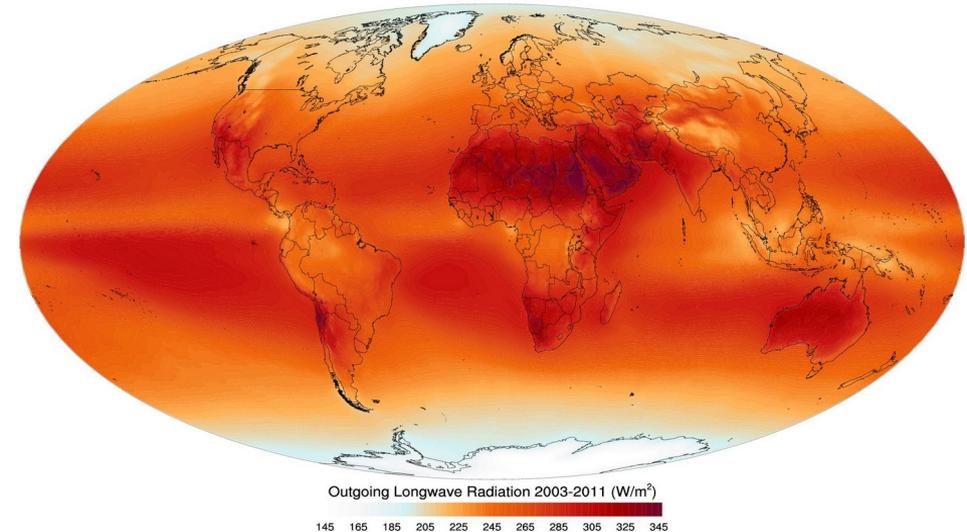
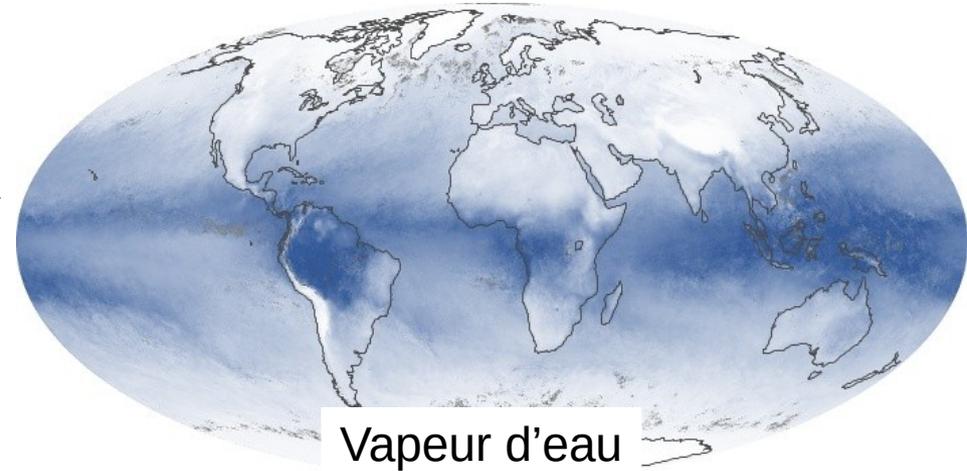
- Les UV créent un « **stress oxydatif** » (**radicaux libres**) qui **endommagent** l'ADN, ce qui déclenche une **réaction inflammatoire**



Les principales cibles sont les bases thymine et cytosine (A, T, G, C) : les photons (UVB) absorbés **rompent les liaisons** existantes et créent d'autres  
→ **distorsions dans la molécule**

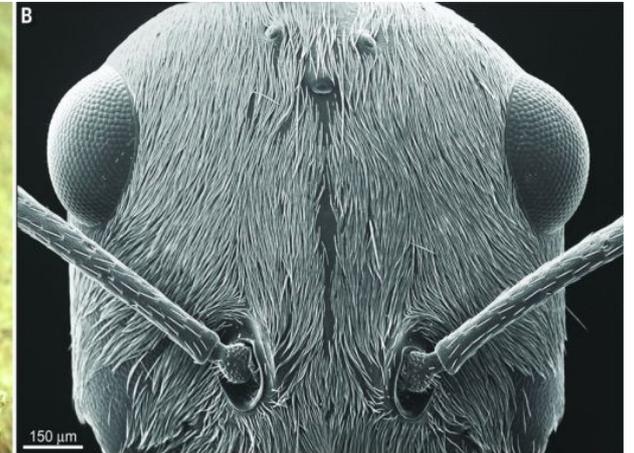
# Chaud le jour et froid la nuit

- **Fort rayonnement** solaire reçu
- Caractéristiques du sable :
  - **Capacité thermique massique** de  $0,830 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ 
    - 5 fois moins que l'eau
  - **Conductivité thermique** faible :  $0,25 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ 
    - Roches : 1 à 3  $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  et argent :  $429 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
  - **Fort pouvoir réfléchissant** (albédo)
- Conséquence : le sable **chauffe beaucoup** sur une **faible épaisseur** et **refroidit assez vite** (stocke peu de chaleur)
- **Peu de vapeur d'eau** dans le désert
  - ⇒ **nuits claires** (pas de nuages)
  - ⇒ **rayonnement infrarouge** émis par le sol directement **envoyé vers l'espace** (rappel : eau = principal gaz à effet de serre)



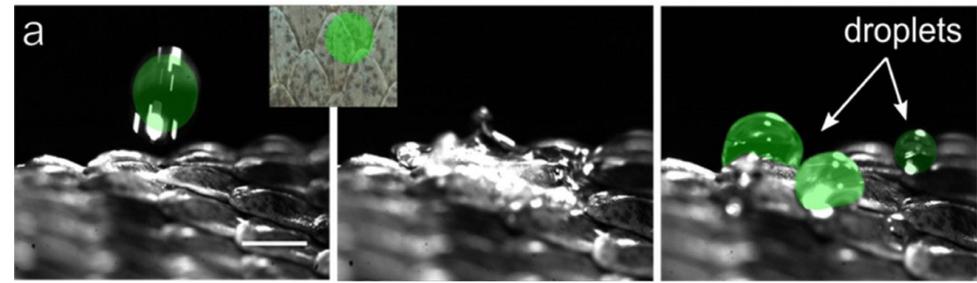
# Les animaux à « sang froid »

- Animaux « **poïkilothermes** » (dont la température varie avec le milieu) par opposition à « **homéothermes** »
  - Plus juste : « **ectothermes** » (ne produisent pas de chaleur)
- Fonctionnement **plus contraignant** mais **plus économe**
- Dans le désert : se protéger de la chaleur
  - vie crépusculaire / nocturne
  - Adaptations anatomiques
- Hors du désert : capter la chaleur
  - Héliothermie & thigmothermie
- Deux exemples :
  - La « vipère des pyramides », considérée comme le serpent le plus mortel du monde (en nombre)
  - La fourmi argentée du Sahara
    - Recouverte de poils argentés qui réfléchissent le rayonnement solaire
    - Elle survit jusqu'à une température corporelle de 54°C.
    - Très rapide : jusqu'à 0,85 m/s (3 km/h), 47 pas par seconde



# Boire dans le désert

- *Molochus horridus* (« thorny devil »)
  - Ses écailles font remonter l'eau des pattes à la bouche par capillarité



- *Crotalus atrox* :
  - Les écailles sur sa peau récoltent les gouttes d'eau qui tombent dessus (utilisent la tension de surface de l'eau)
- Scarabée *stenocara*
  - Recueille la condensation grâce à leur carapace et se penche en avant pour boire

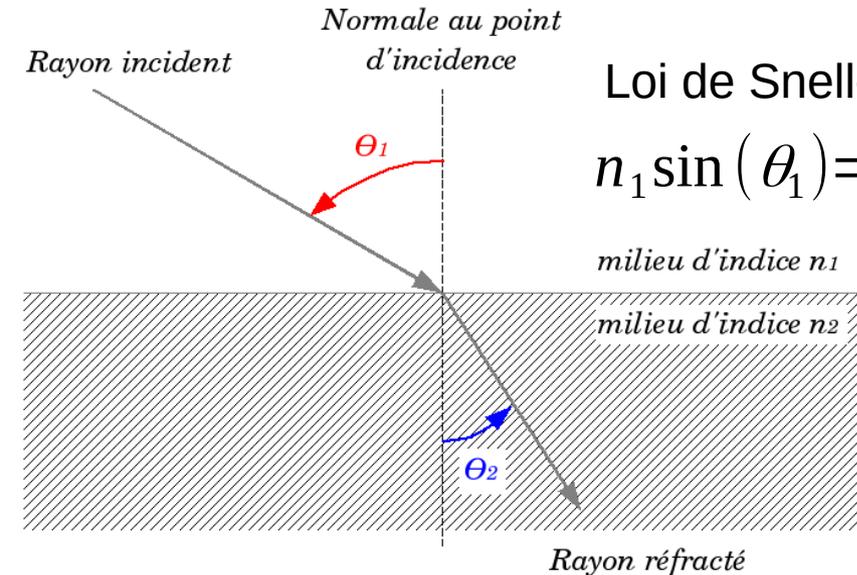


# L'indice optique

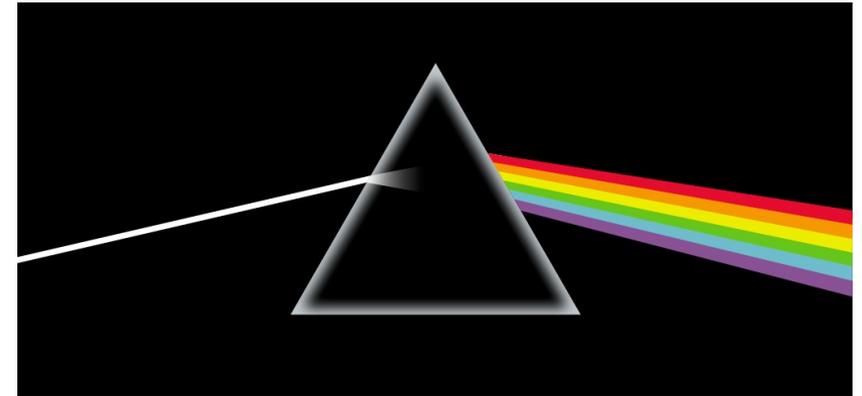
- Mesure la **vitesse de la lumière dans un milieu**
  - $n = c/v > 1$
- **Réfraction** lorsque la lumière rencontre un « **dioptre** »
- Ex :  $n_{\text{eau}} : 1,33$  ( $v : 2,25 \times 10^8$  m/s, effet Cerevnikov),  
 $n_{\text{verre}} > 1,5$



- Dépend de la longueur d'onde :
  - Prisme de Newton



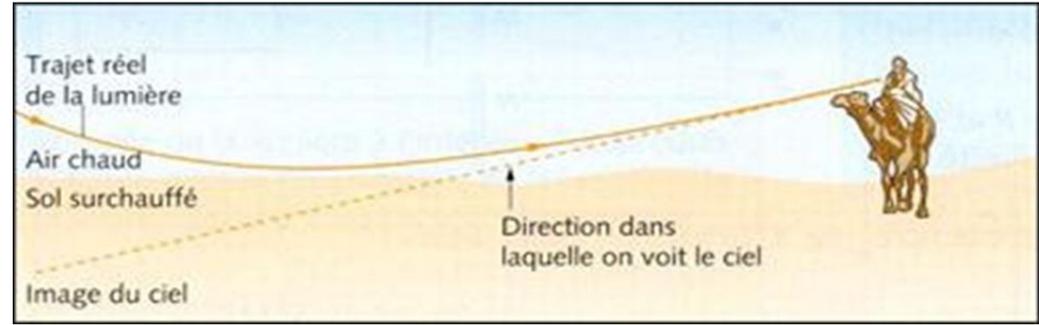
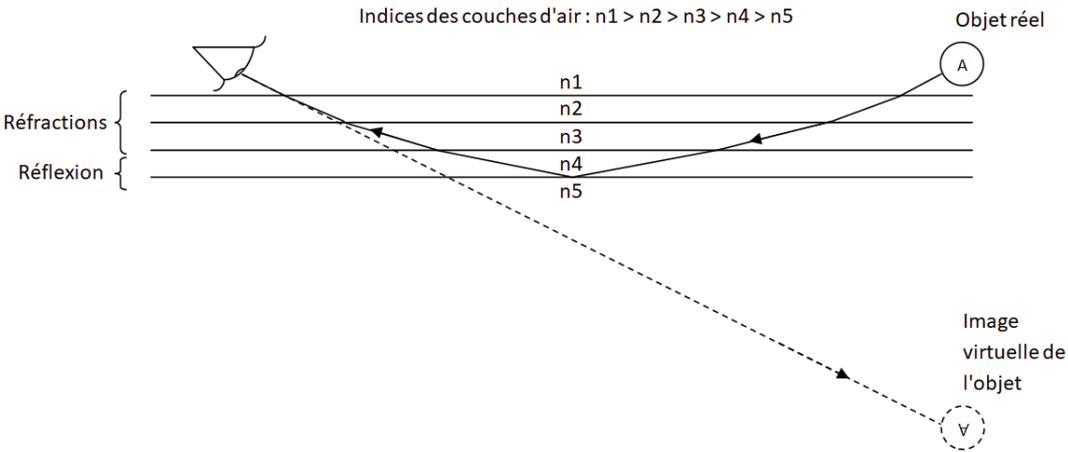
Loi de Snell-Descartes  
 $n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$



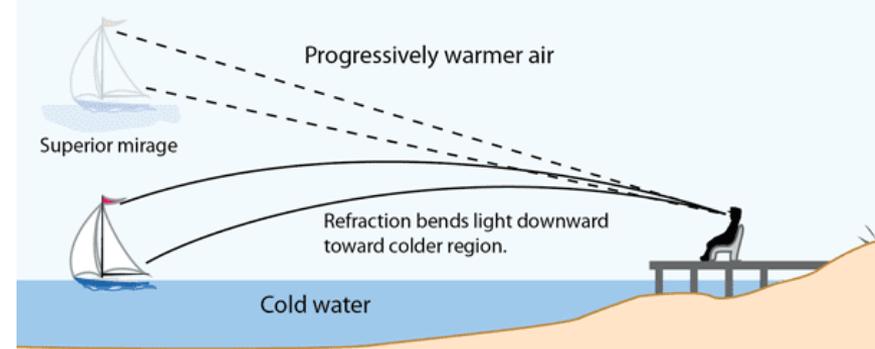
Pink Floyd, The Dark Side of the Moon (1973) <sup>21</sup>

# Les mirages

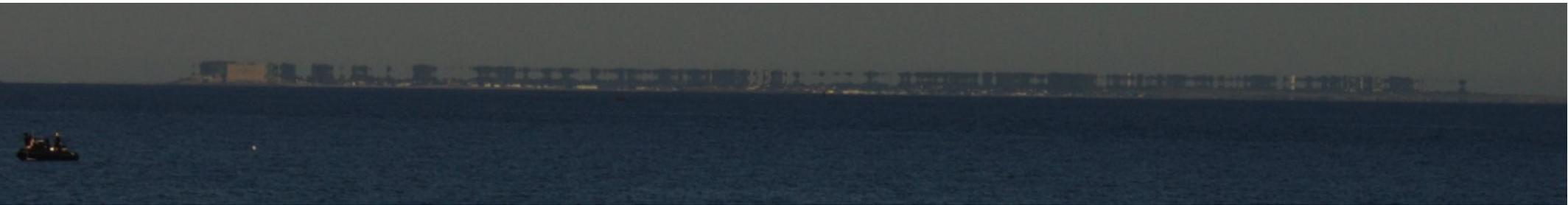
L'air **plus chaud** près du sol a un **indice optique plus faible** que l'air moins chaud au-dessus → **mirage « inférieur »**



# Autres mirages



**Mirage « supérieur » :**  
configuration inverse  
(air plus froid près de la surface)



**Fata Morgana** (« fée Morgane ») = combinaison des 2 phénomènes – Presqu'île de Quiberon (Morbihan, France)