

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

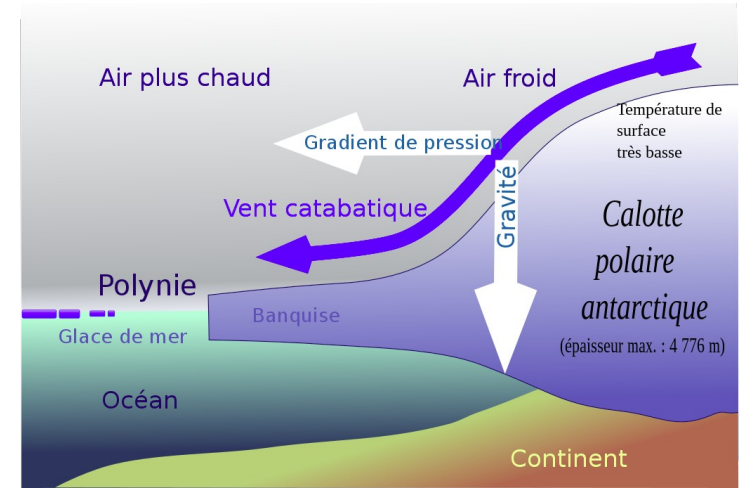
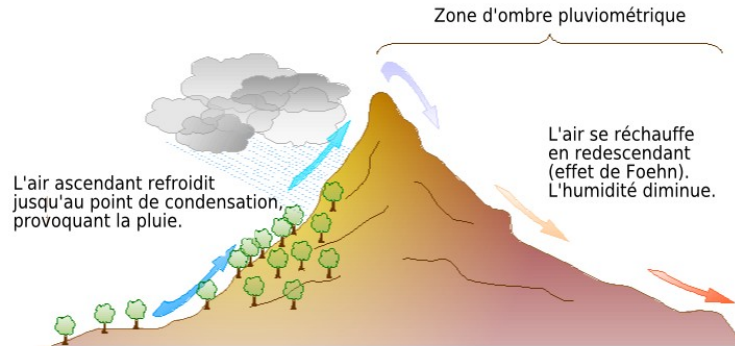
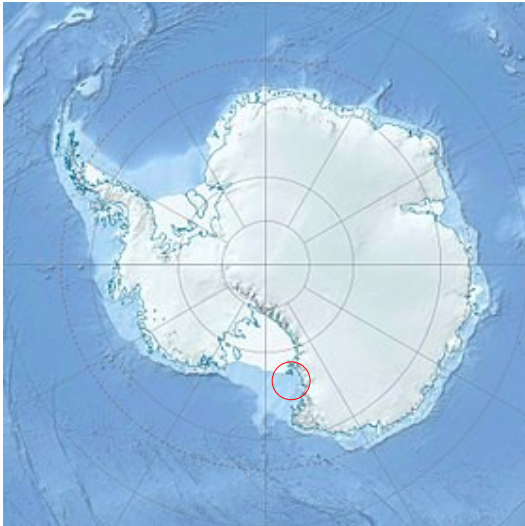


Pour une meilleure compréhension, certaines explications pourront être légèrement simplifiées/tronquées
Images : Wikipedia sauf mention contraire

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 ²) |
|------|-----------------|---------------------|----------------------------------|
| 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 ²) |
|------|---------------------|----------------|----------------------------------|
| 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

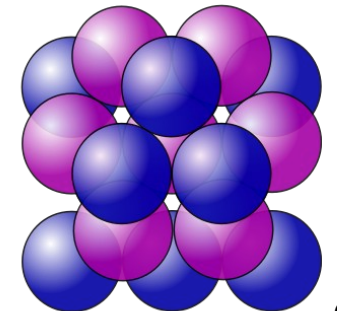
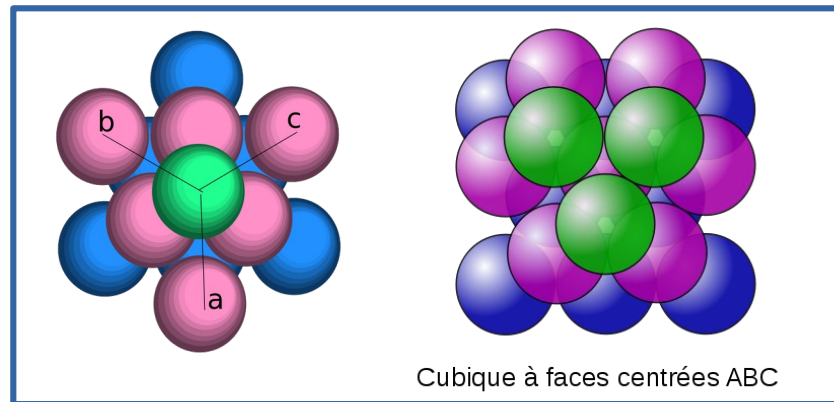
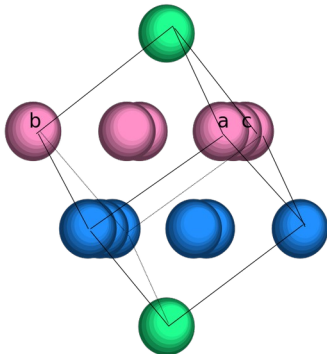
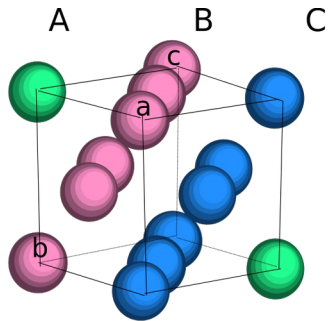
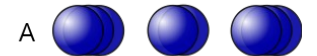
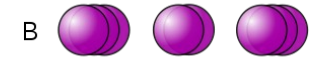
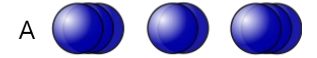
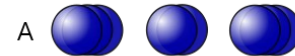
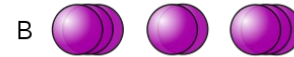
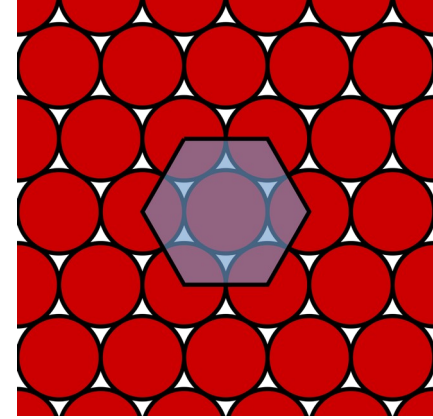
- **Chronos** : le temps linéaire, physique, « chronologique », mesuré : jour, mois, année
- **Kairos** : le temps métaphysique, le bon moment pour agir, l'instant de l'opportunité
- **Aiôn** : le temps cyclique (cycle circadien, saisons, ...)



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

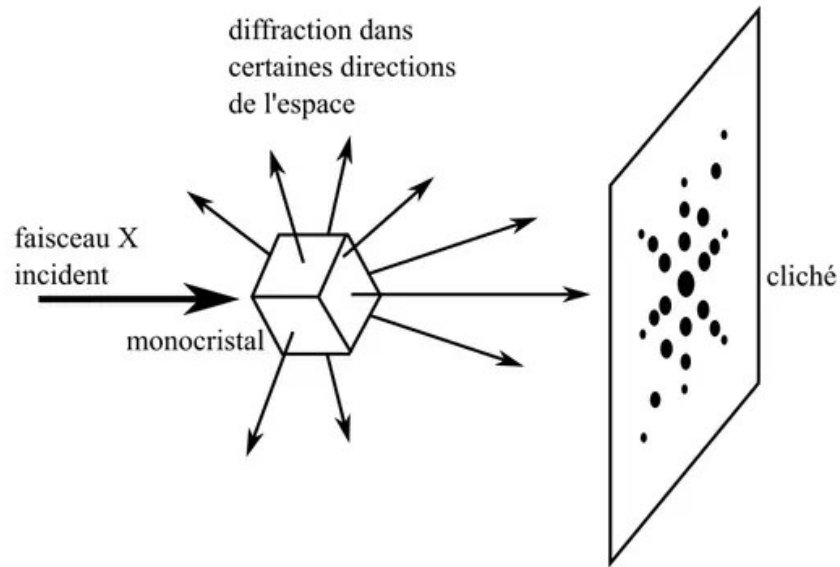
- 7 « systèmes réticulaires » de base : cubique, hexagonal, rhomboédrique, quadratique (ou tétragonal), orthorhombique, monoclinique et triclinique
- 14 « réseaux de Bravais »
- 230 « groupes d'espace » (toutes les combinaisons possibles de réseaux et de symétries)

| | 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**

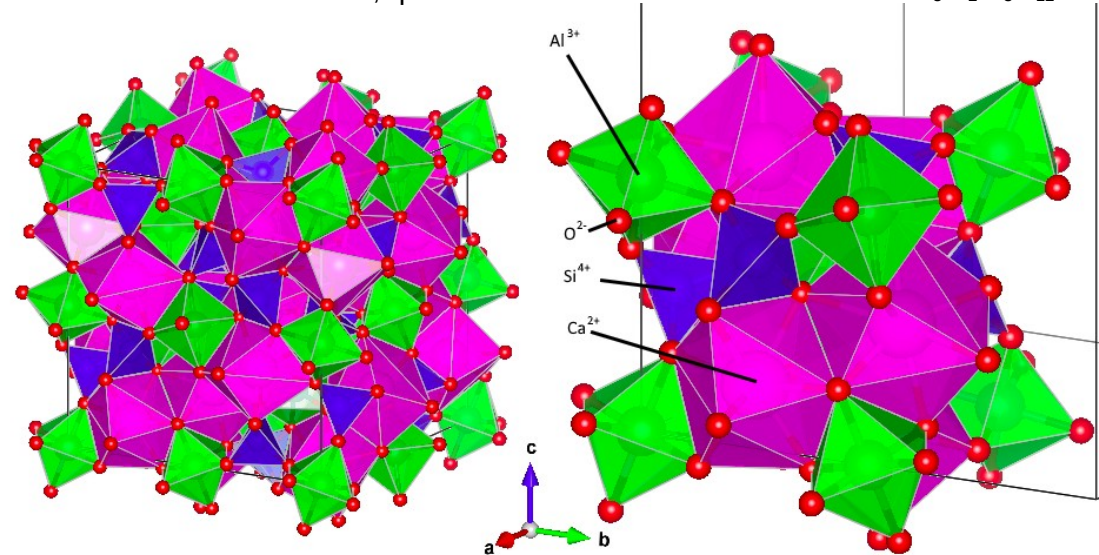


<https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-analytique/spectroscopies/le-siecle-de-la-cristallographie-de-la-diffraction-0>

Exemple :
le grenat



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



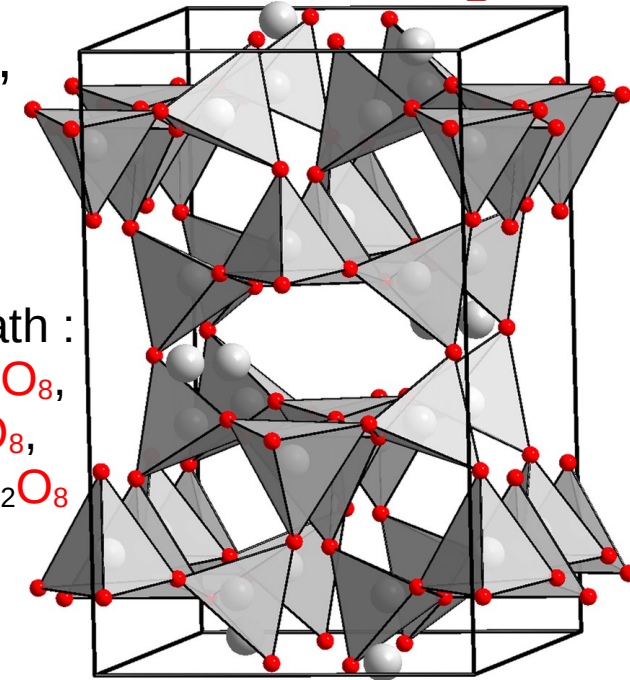
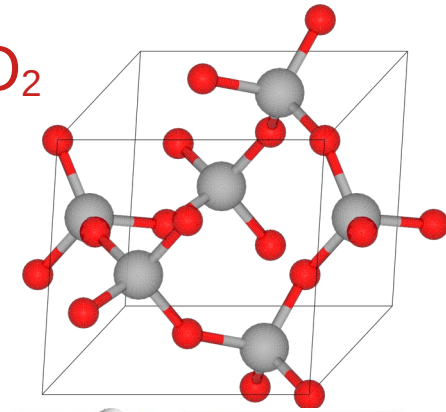
Le sable

- 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 SiO_2



Feldspath :
 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$,
 KAlSi_3O_8 ,
 $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

Physique du sable

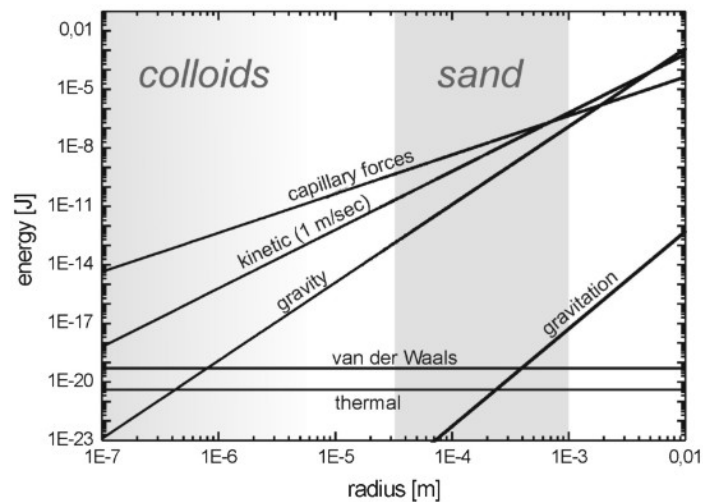
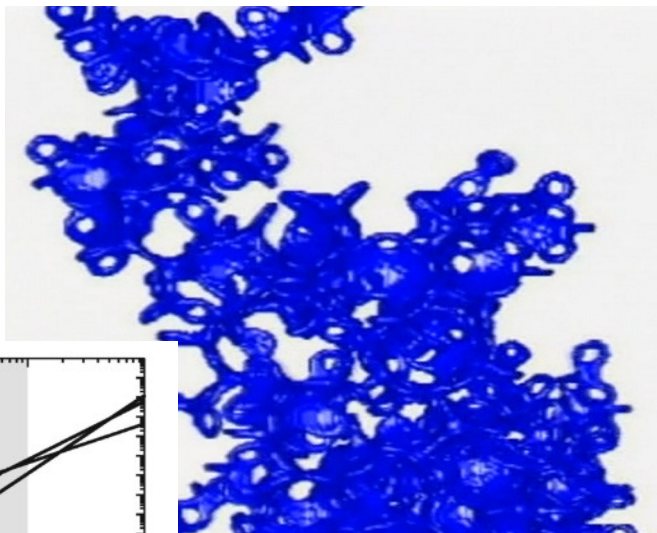
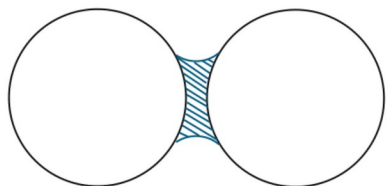
- Rappels :
 - **Solide** : forme et volume propres
 - **Liquide** : coule, prend la forme du récipient
- Le sable possède des **propriétés des 2 états** : matériau « **granulaire** », comme la neige ou le sucre en poudre
 - **Fluide** car il s'écoule et prend la forme du récipient
 - **Pas fluide** 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

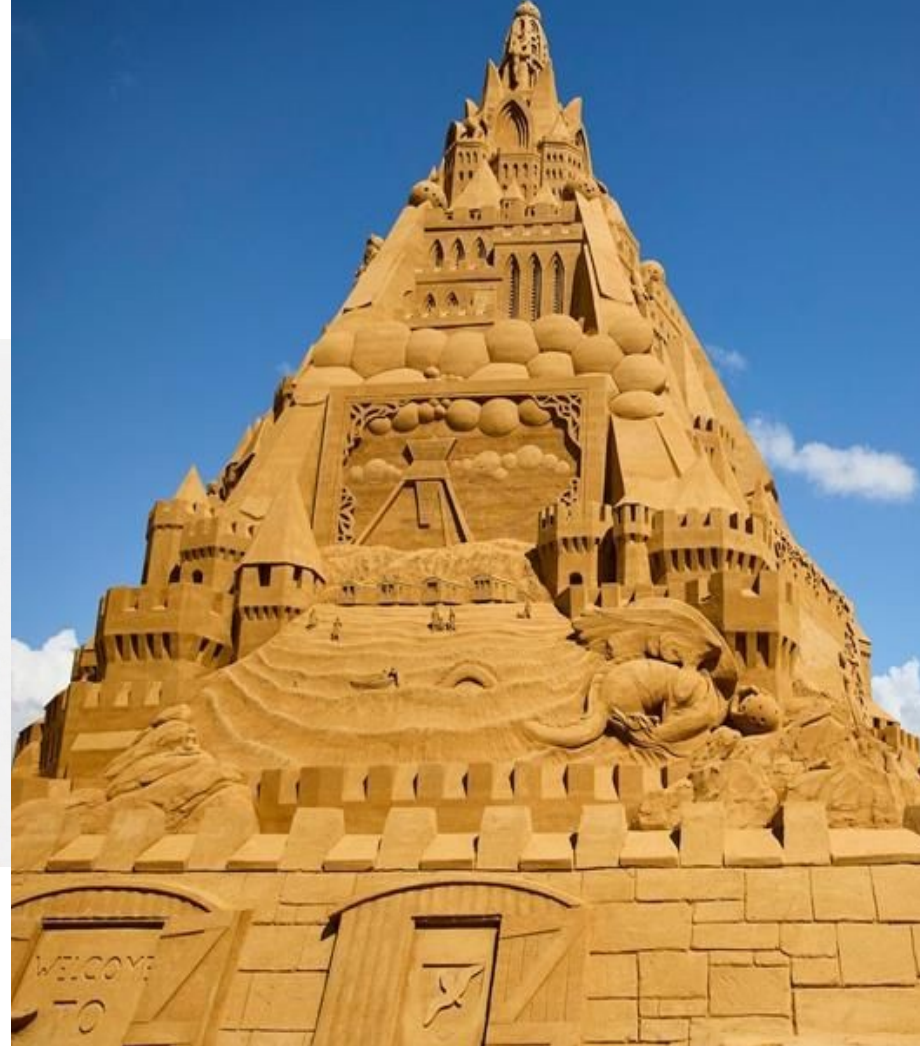


Physique du sable mouillé

- 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>

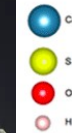
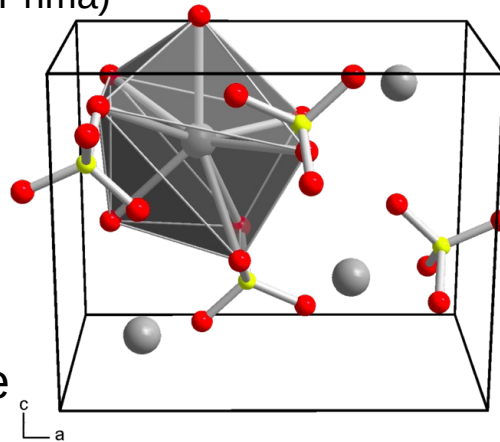
La rose des sables

- 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 = BaSO_4 , système orthorhombique, groupe d'espace Pnma)

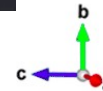


©Dakota Matrix

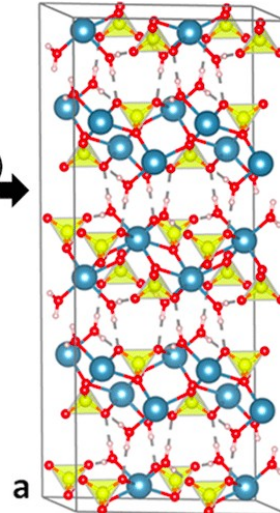
Baryte



Gypse

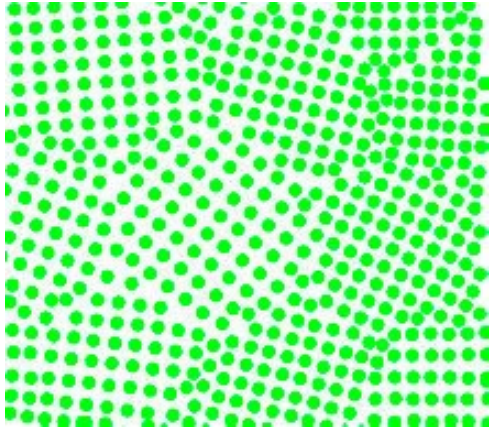
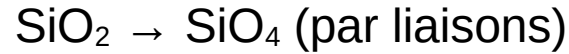
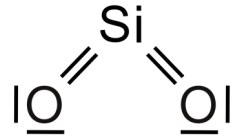


Plane (010)

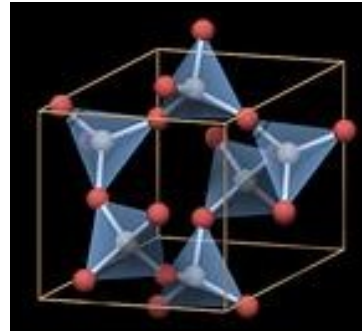
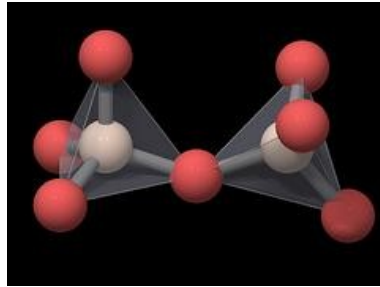


Les silex

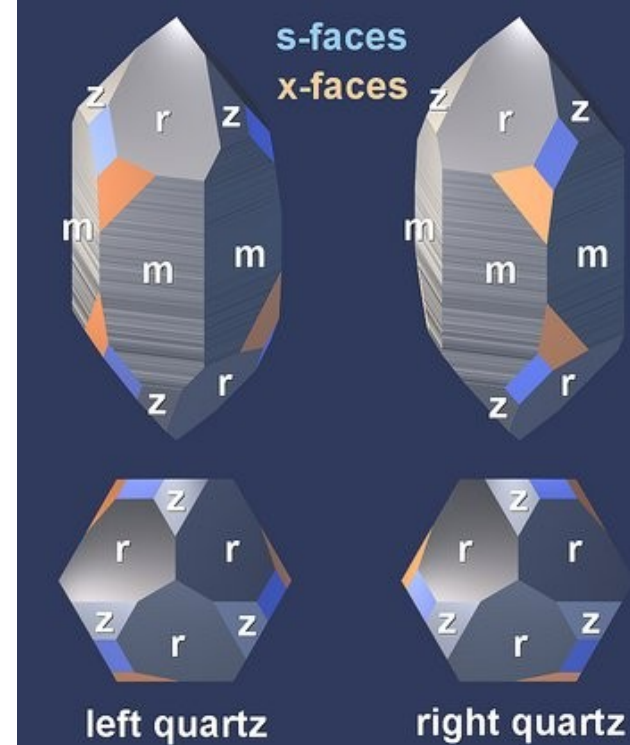
- Roche très dure constituée de **calcédoine** et d'**impuretés** (eau ou oxydes) → couleur
- Formée à partir d'eau de mer ou de lac saturée en **opale** (silice hydratée) → calcédonite
- Calcédoine composée de **crystallites** (= portions de monocristal) de **quartz** de taille ~ 50 – 100 nm³
- Quartz = phase de la **silice** (SiO₂)



Ensemble de cristallites

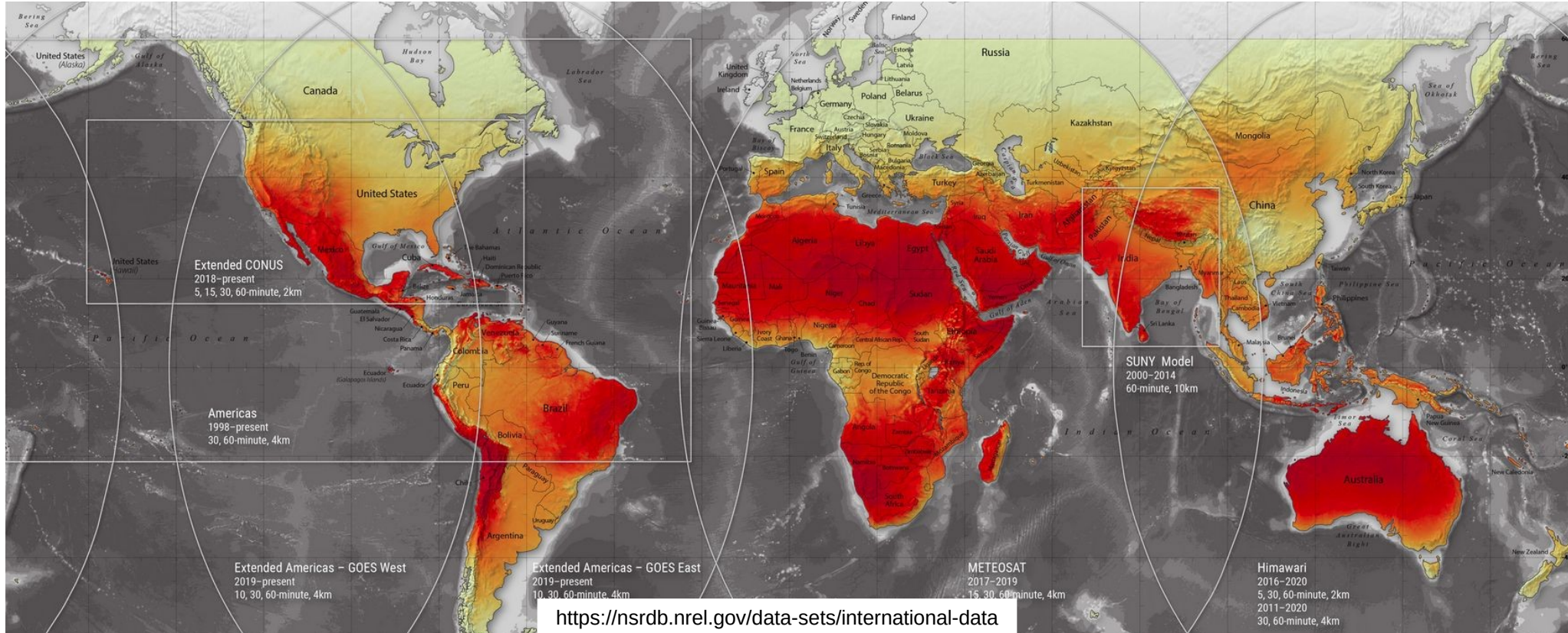


http://www.quartzpage.de/gen_struct.html



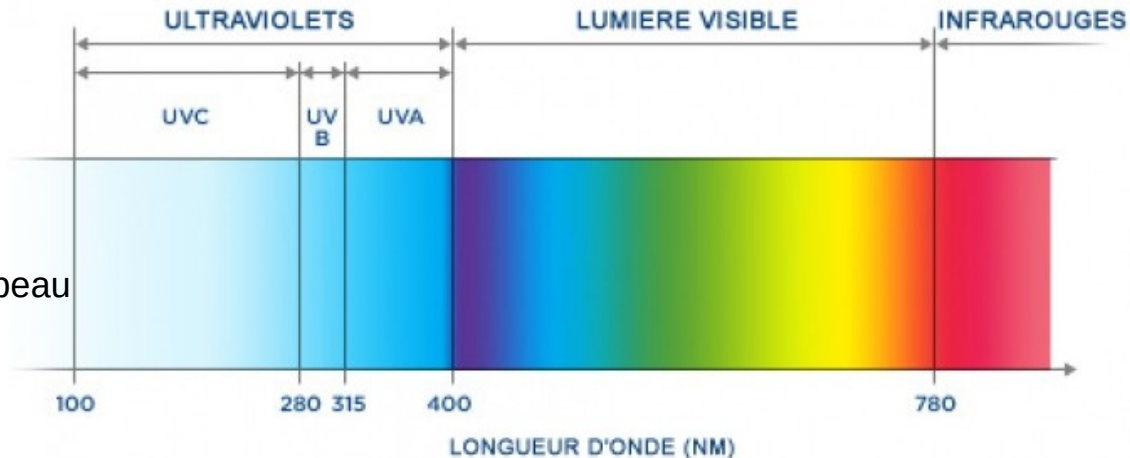
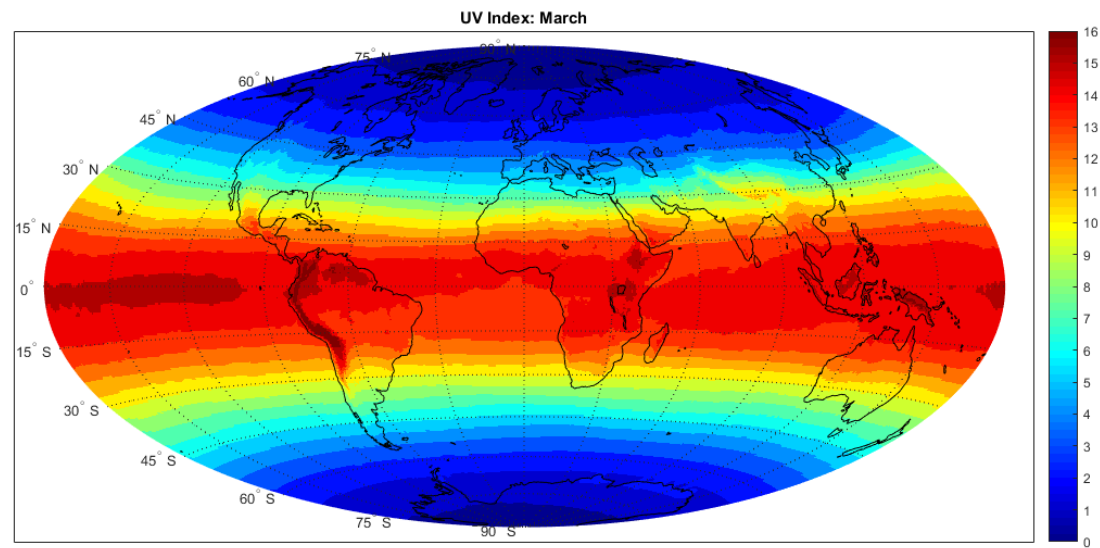
Rayonnement solaire

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



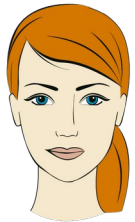
Les rayons UV

- 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

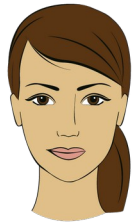
- Ou « **érythème actinique** » = **brûlure** du 1^{er} degré (et rarement 2^{ème})
- Sensibilité de la peau aux UV caractérisée par le « **phototype** »
 - Classification de Fitzpatrick : 6 degrés



Phototype I



Phototype II



Phototype III



Phototype IV



Phototype V

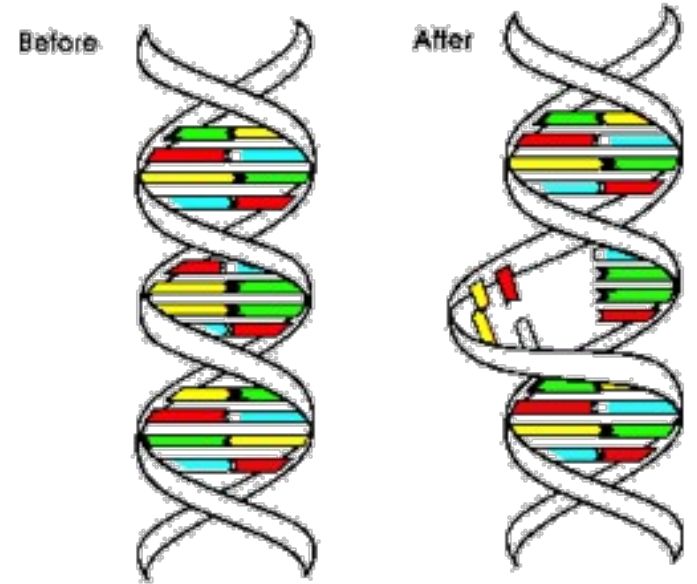
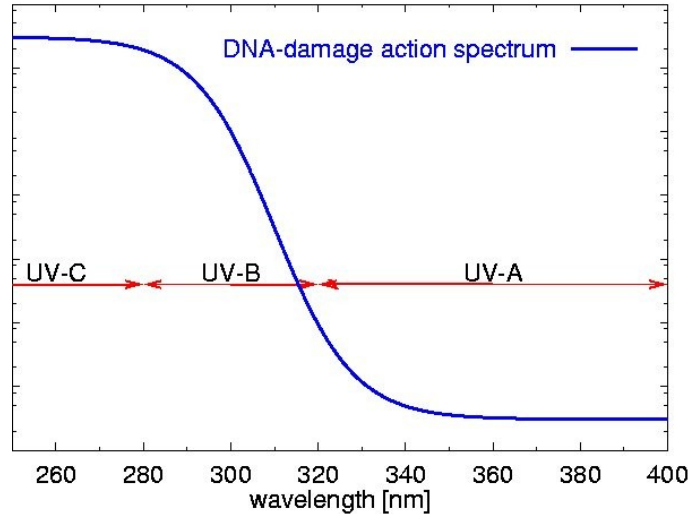
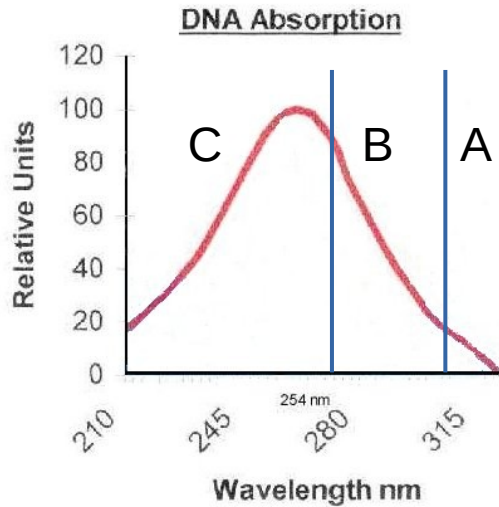


Phototype VI

- 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

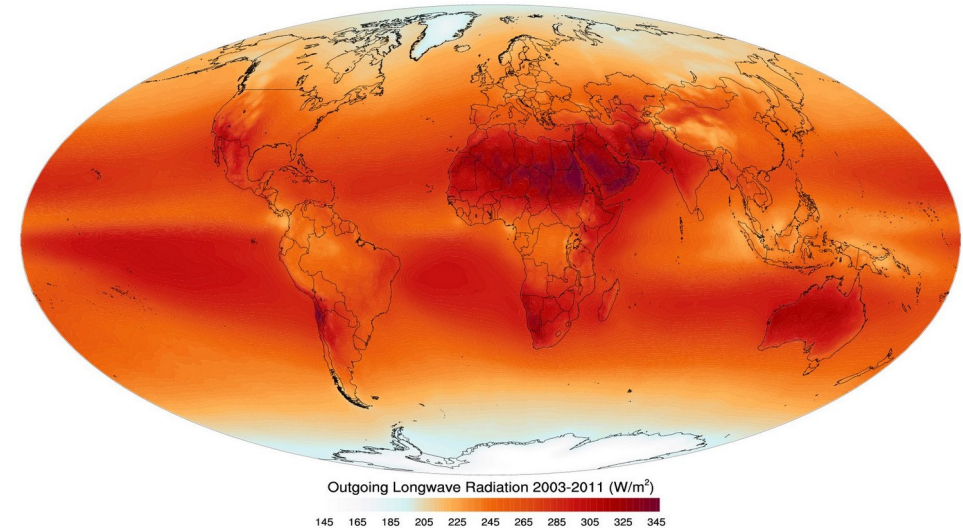
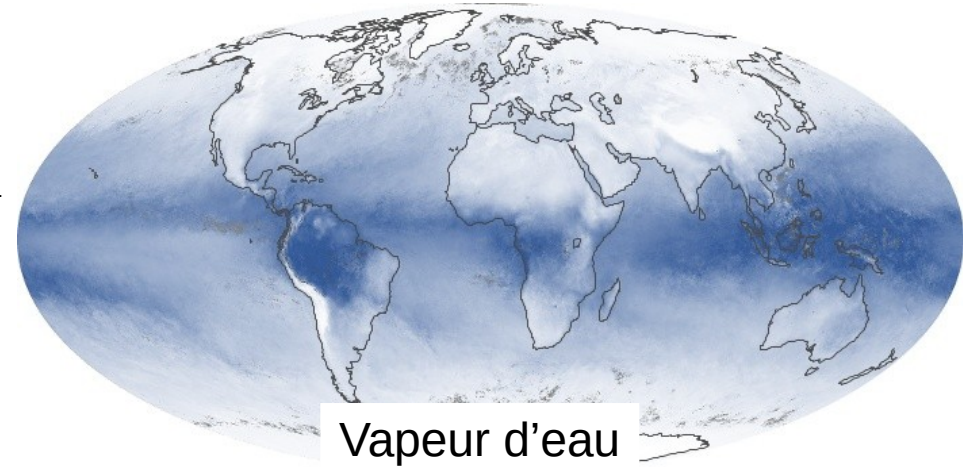
- Les UV créent un « **stress oxydatif** » (**radicaux libres**) qui **endommagent** l'ADN, ce qui déclenche une **réaction inflammatoire**



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**

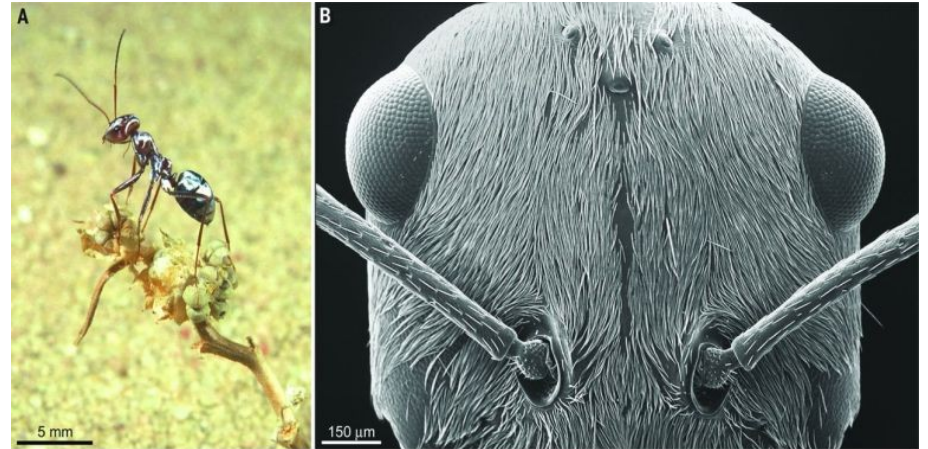
Chaud le jour et froid la nuit

- **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)



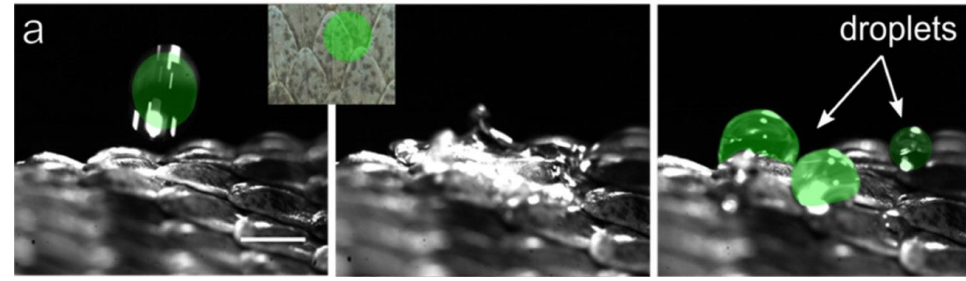
Les animaux à « sang froid »

- 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

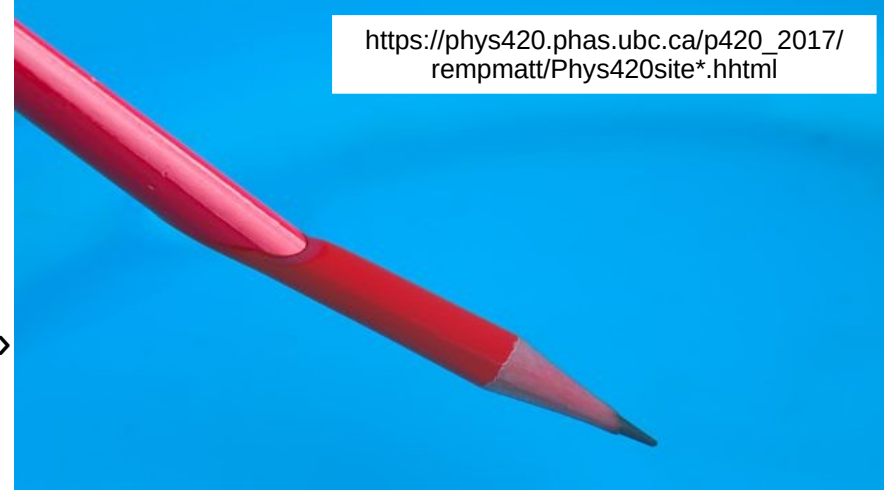


- *Crotalus atrox* :
 - Les écailles sur sa peau récoltent les gouttes d'eau qui tombent dessus (utilisent la tension de surface de l'eau)
- Scarabée *stenocara*
 - Recueille la condensation grâce à leur carapace et se penche en avant pour boire

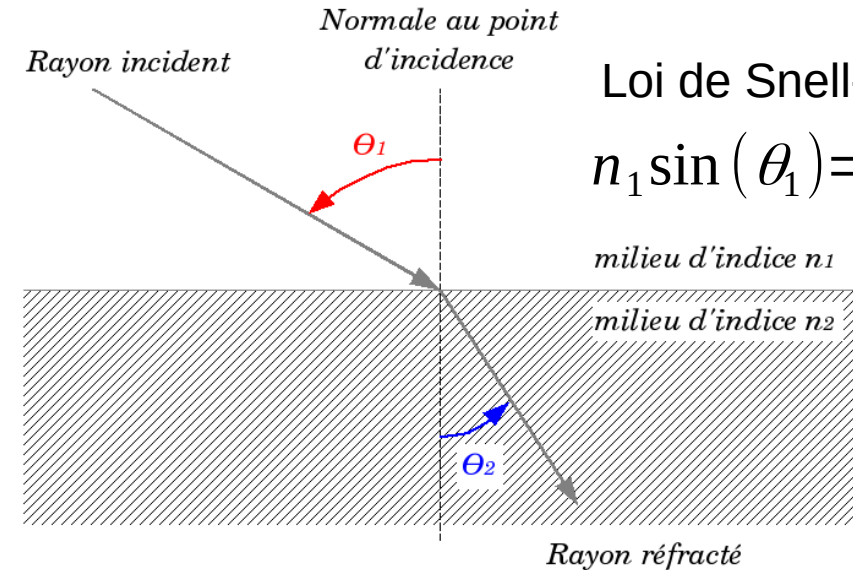


L'indice optique

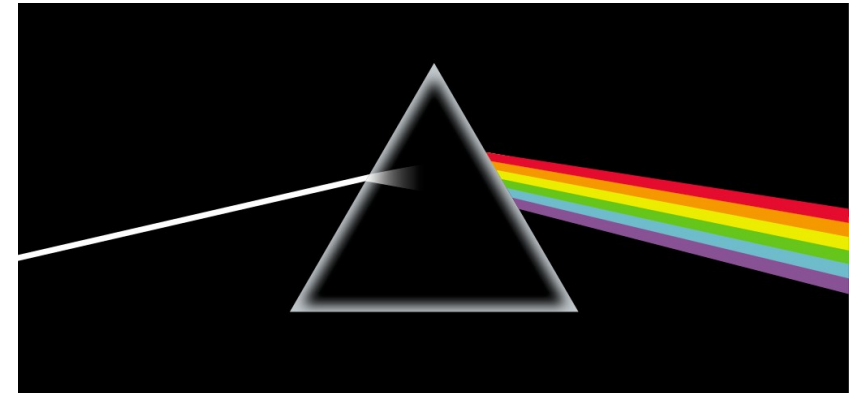
- Mesure la **vitesse de la lumière dans un milieu**
 - $n = c/v > 1$
- **Réfraction** lorsque la lumière rencontre un « **dioptre** »
- Ex : $n_{\text{eau}} : 1,33$ ($v : 2,25 \times 10^8$ m/s, effet Cerevnikov),
 $n_{\text{verre}} > 1,5$



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



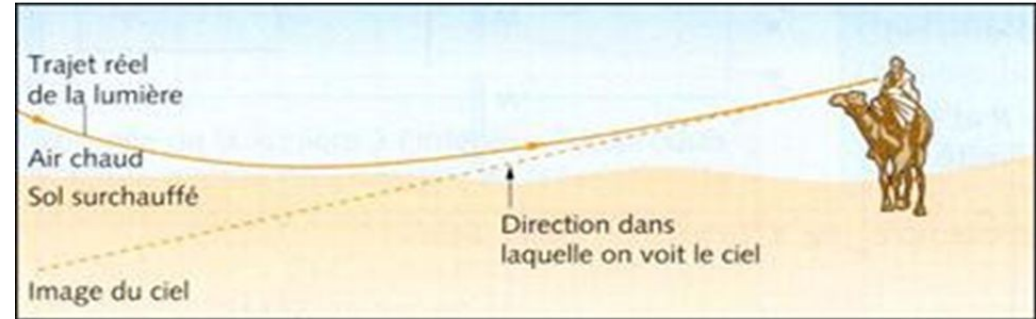
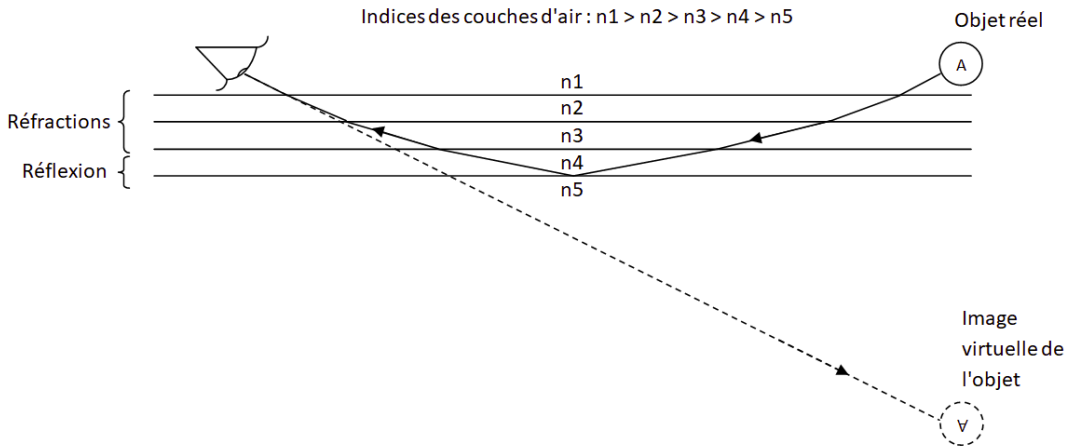
Loi de Snell-Descartes
 $n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$



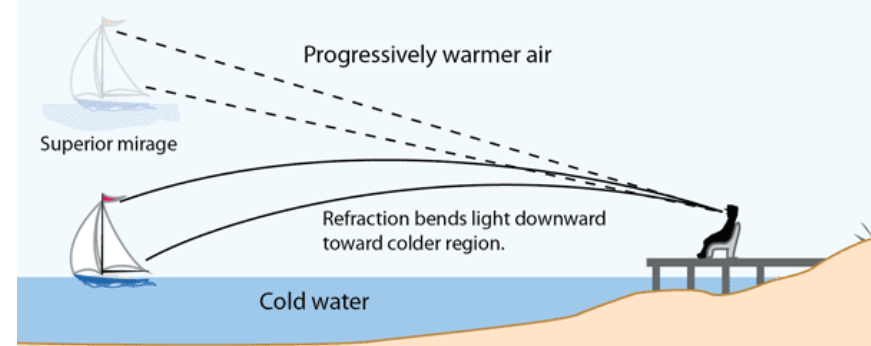
Pink Floyd, The Dark Side of the Moon (1973)

Les mirages

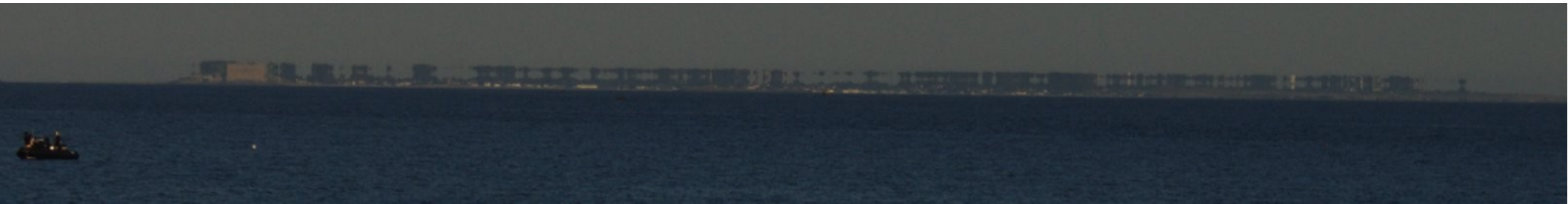
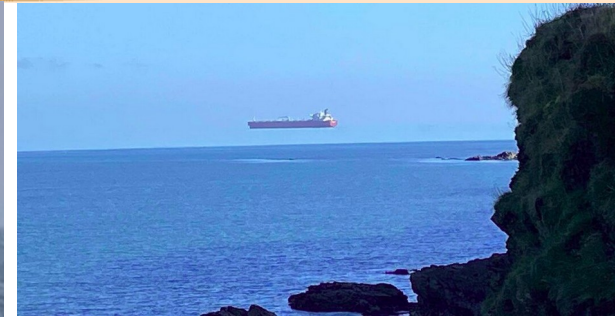
L'air **plus chaud** près du sol a un **indice optique plus faible** que l'air moins chaud au-dessus → **mirage « inférieur »**



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)