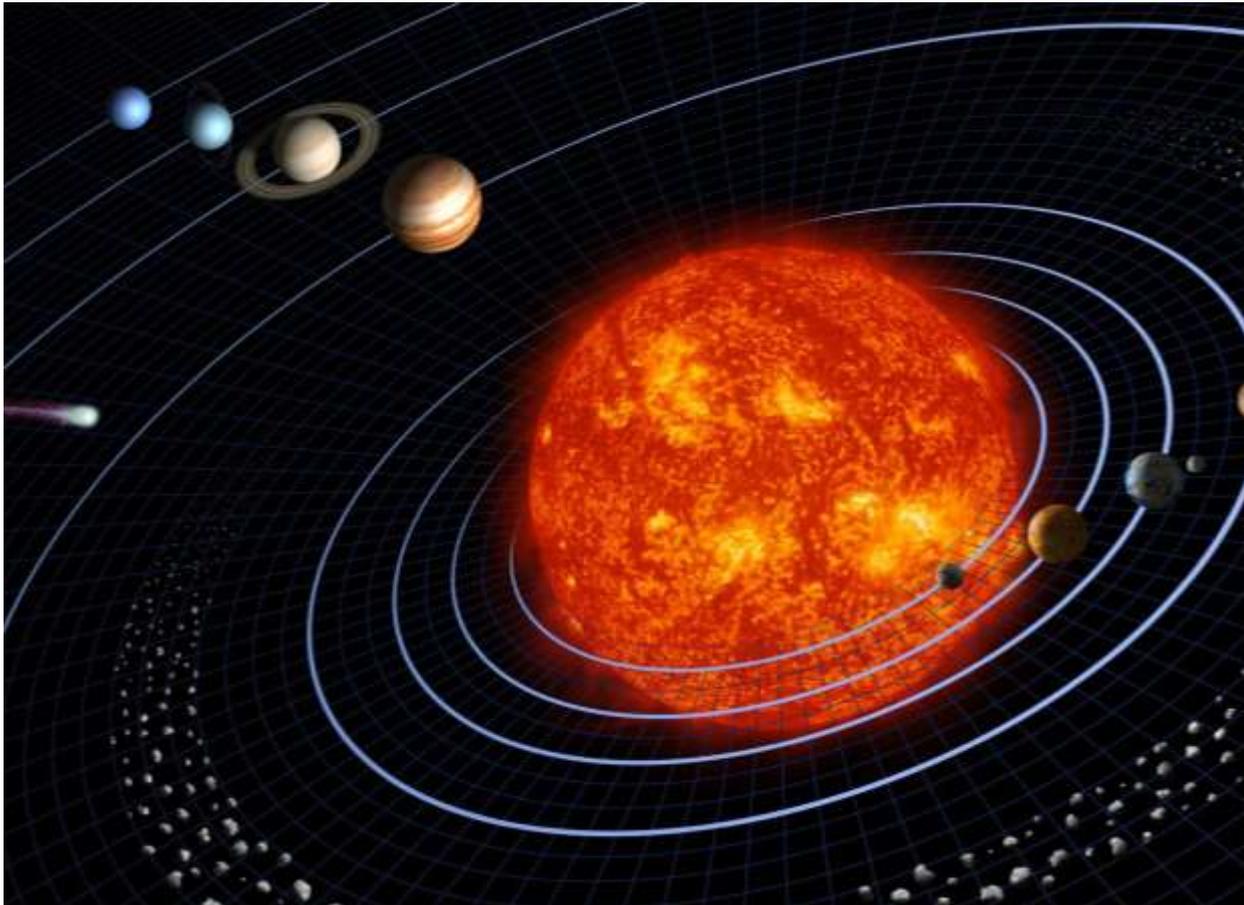


# Les agrégats

Du microscopique au macroscopique

les propriétés physiques varient avec la taille de l'objet étudié

**Fête de la science 2014**  
*de l'infiniment grand à l'infiniment petit*



## Échelle astronomique

Dominée par les forces de gravitation

Masse de la Terre :

$6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

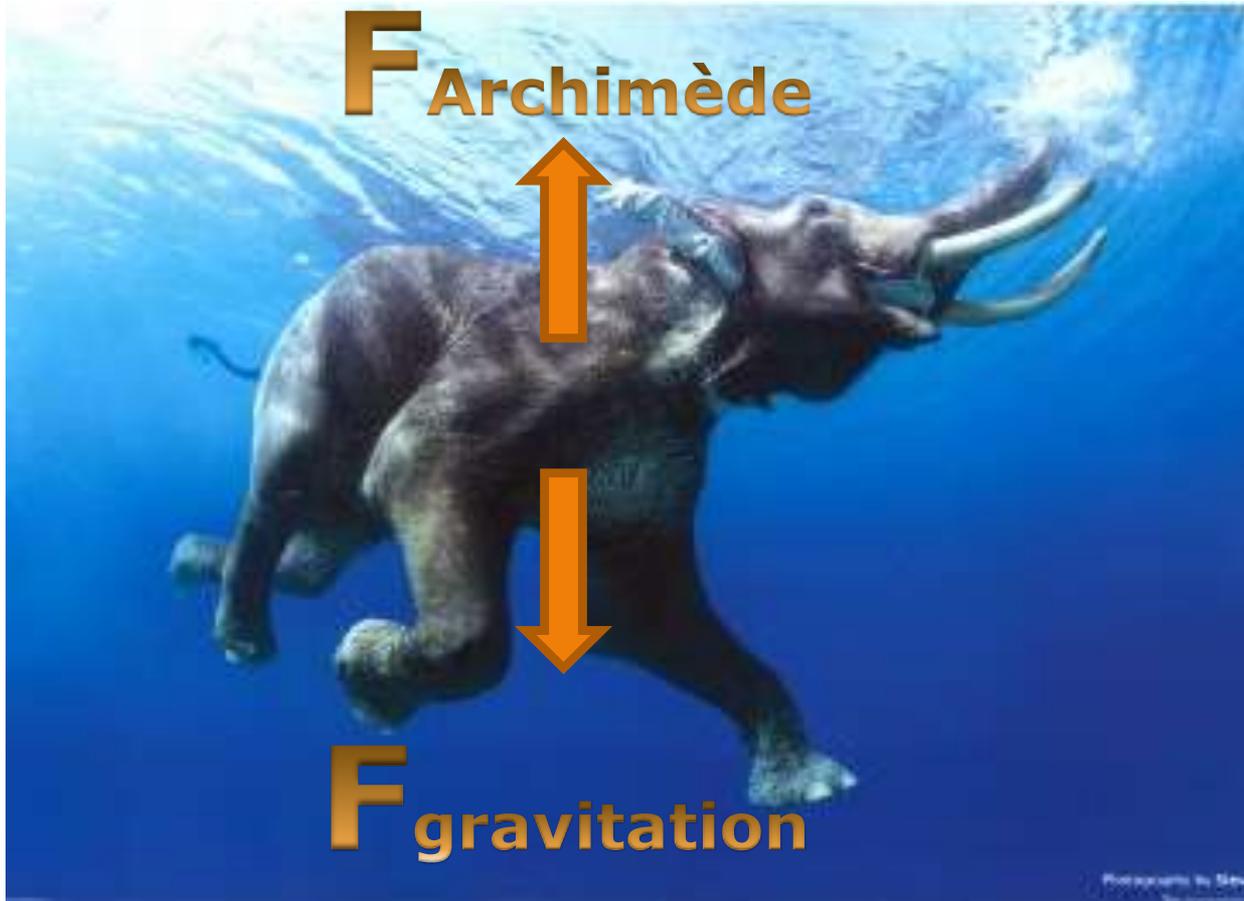
Masse du soleil:

$2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

Force soleil-terre:

$3,5 \cdot 10^{22} \text{ Newton}$

# Échelle astronomique



## Archimède

Gravitation et  
hydrostatique

L'éléphant subit  
une force  $F$  de  
bas en haut  
égale au poids  
du liquide  
déplacé

Systeme *macro*scopique

grec *μακρός* « grand »



## "Jesus lizard"

Pour peu qu'on soit **petit** et rapide, on peut courir sur l'eau comme *basiliscus plumifrons*.

Le **petit** lézard qui marche sur l'eau

**Dernières  
nouvelles de la  
lune ...**

Un sportif entraîné  
pourrait (peut-être)  
marcher sur l'eau...  
sur la lune.



IgNobel de physique 2013



Gecko



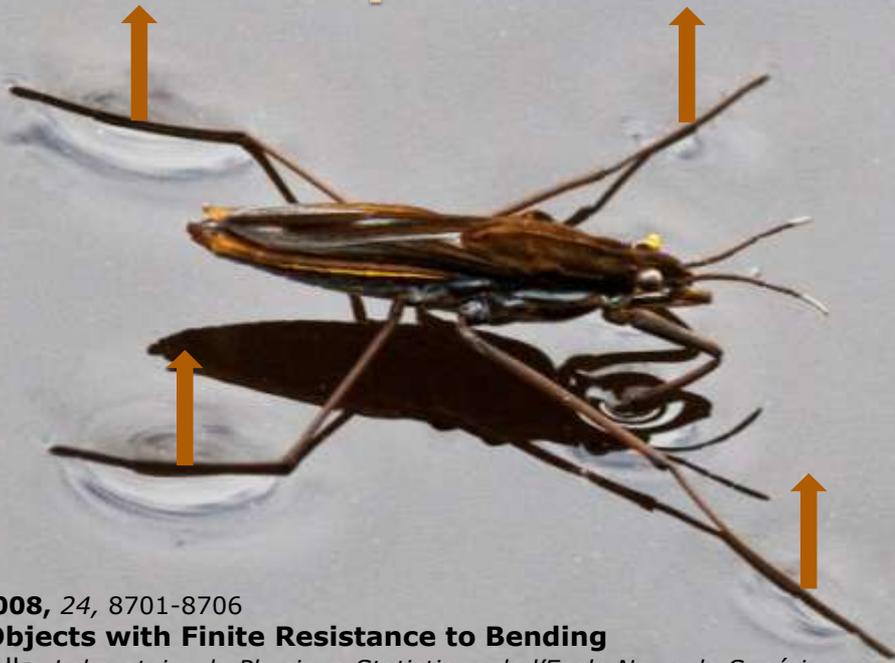
Patte du gecko

## Adhérence moléculaire

Le gecko adhère aux parois grâce à des **interactions moléculaires** entre les molécules de la paroi et celles de ses pattes dont la structure maximise la surface d'interaction.

Le gecko adhère à la paroi par des **forces intermoléculaires**

$F_{\text{capillaire}}$



*Langmuir* **2008**, 24, 8701-8706

**Floating Objects with Finite Resistance to Bending**

Dominic Vella, *Laboratoire de Physique Statistique de l'Ecole Normale Supérieure*

*The ability of many arthropods to walk on the surface of water has recently inspired research across a range of disciplines...*

## Tension de surface

La tension superficielle permet au gerris de marcher sur l'eau.

# Systeme *méso*scopique

grec *μέσος* « médian »



## Tension de surface

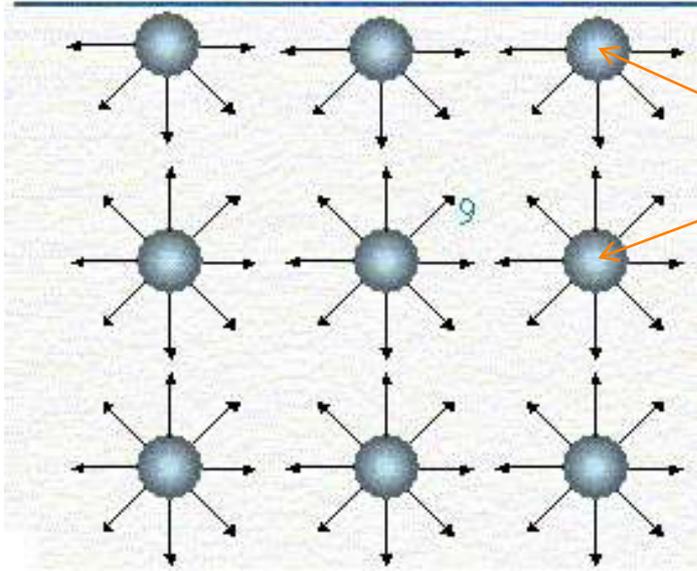
La tension superficielle donne une **forme** quasi-sphérique aux gouttes d'eau

Ici, c'est l'interface air-eau qui est minimisée

Systeme **més**oscopique

air

eau

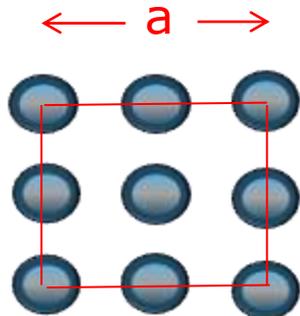


Molécules  
d'eau

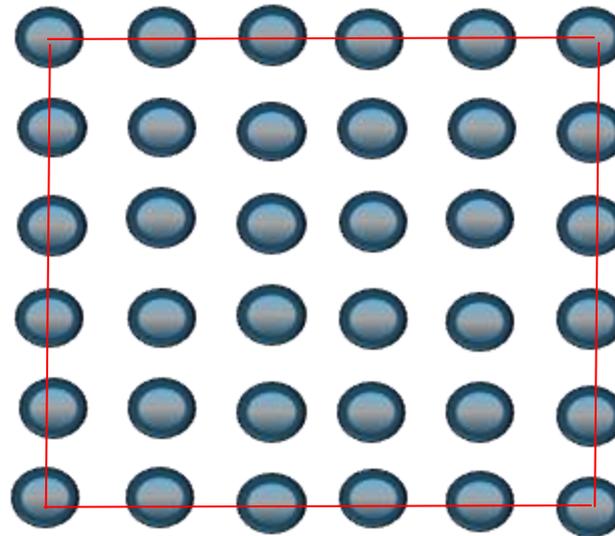
## Tension superficielle

Cette force résulte, au niveau moléculaire, d'un « déficit d'interaction » à l'interface.

Origine microscopique des forces capillaires



9 atomes dont  
8, soit 89 %,  
sur les bords



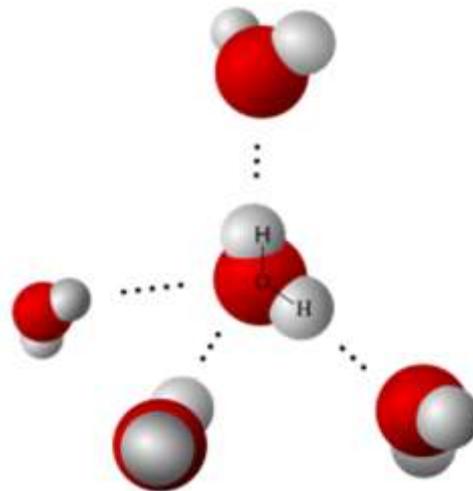
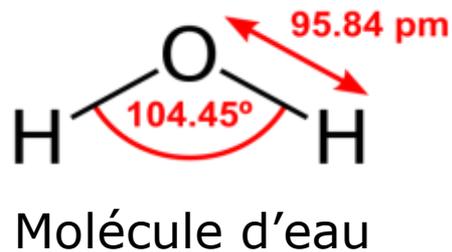
36 atomes dont  
20, soit 56 %,  
sur les bords

**Le rapport surface/volume diminue quand la taille augmente** (comme  $1/a$ )

Taille, surface et volume

## Surface et volume

La surface augmente moins vite que le volume quand la taille augmente.



## Forces moléculaires

Interaction **intra**moléculaire entre les atomes d'une molécule

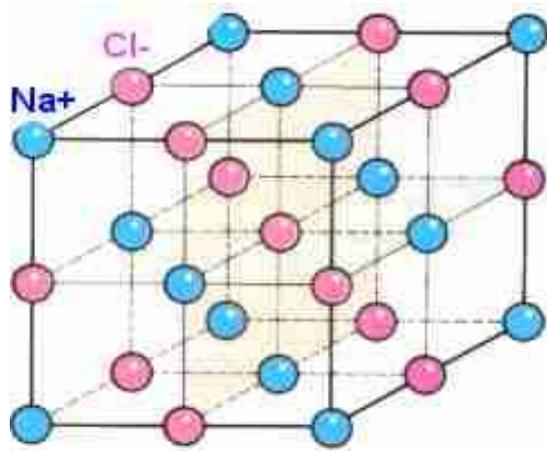
- covalentes
- ioniques
- ...

Interaction **inter**moléculaire entre les molécules

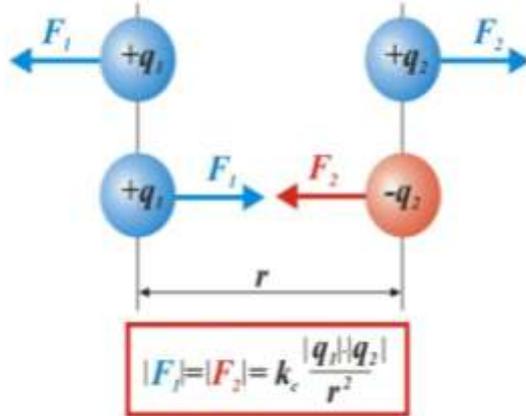
- van der Waals
- liaison hydrogène
- ...

# Systeme *micro*scopique

grec *μικρός* « petit »



### Loi de Coulomb (électrostatique) Calcul de l'interaction électrique



Dans les deux cas la force est proportionnelle au produit des charges et varie en carré inverse de la distance entre les charges.

## Force électrostatique

Force (répulsion) entre deux êtres humains distants de 1m dont 1% des molécules d'eau ont perdu un électron :  $10^{22}$  Newton

Une telle force permettrait de soulever un milliard de milliards de tonnes (soit le « poids » de l'Europe entière)

~ même force qu'entre la terre et le soleil !

# Les forces moléculaires sont gigantesques

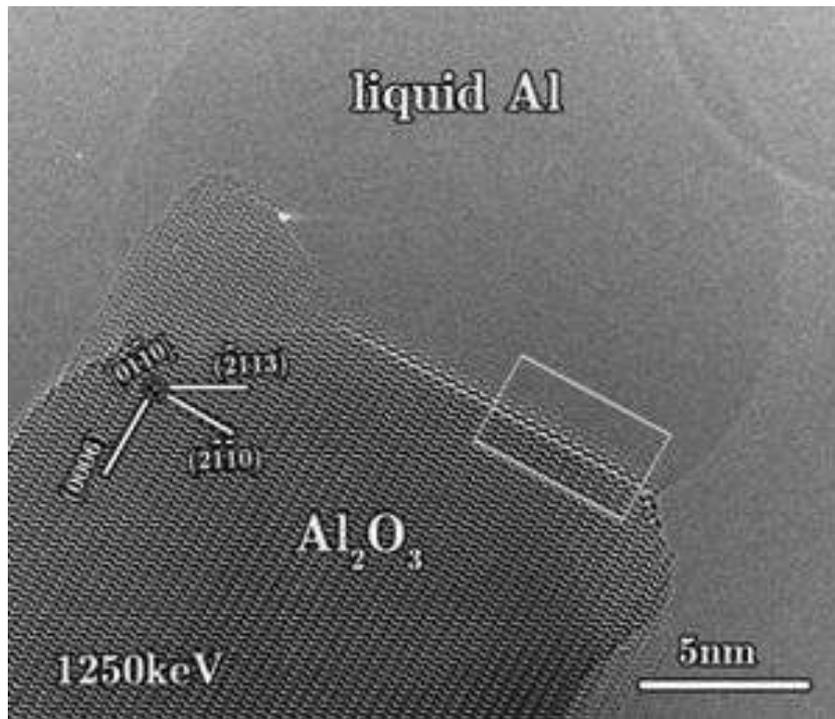


**Solide**

**Liquide**

**Gaz**

Transitions de phase



Saphir (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, solide) en interface avec de l'aluminium liquide (vu au microscope électronique)

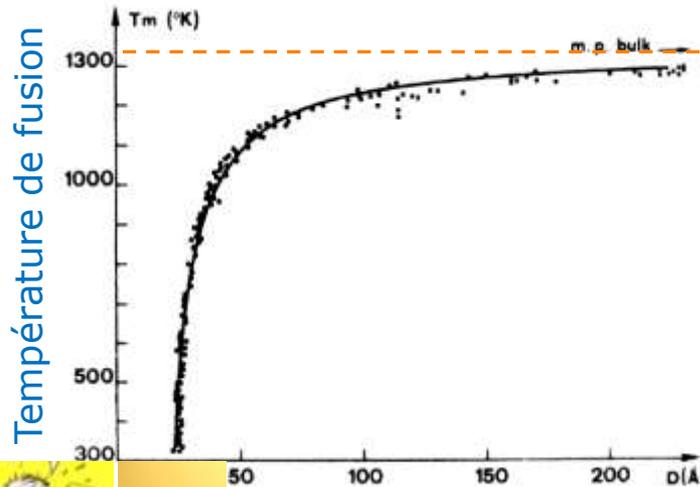
**Solide** :  
ordonné

**Liquide** :  
désordonné

La matière peut adopter différentes  
« phases »



Un lingot d'or fond à 1336 K



Diamètre des particules d'or

## Or liquide

La température de fusion de très petites particules d'or est abaissée de plusieurs centaines de degrés par rapport au celle du lingot macroscopique.

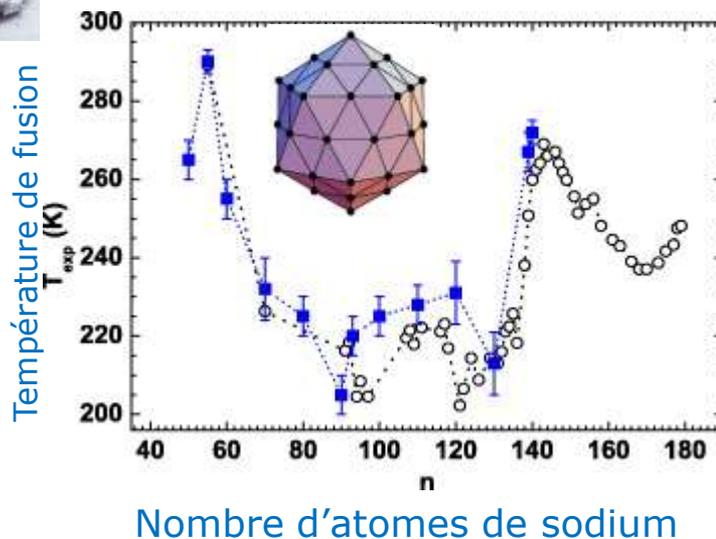
Les plus petites gouttes fondent à température ambiante.

La température de fusion dépend de la **taille** du système



Le sodium est un métal mou...

...dont la température de fusion varie énormément avec la taille à l'échelle microscopique



## Sodium

La température de fusion d'un agrégat de sodium peut varier de  $30^\circ$  en lui ajoutant un seul atome.

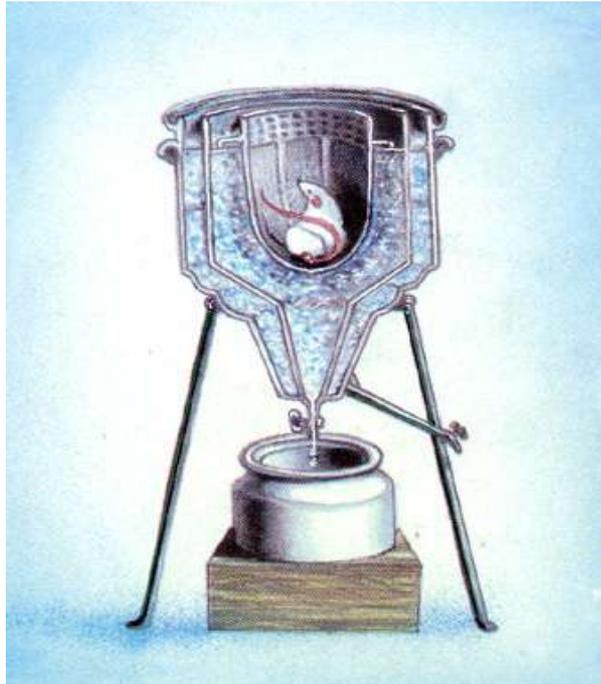
Le sodium fond-il à  $+98^\circ\text{C}$  ou à  $-60^\circ\text{C}$  ?  
Ça dépend de la taille.



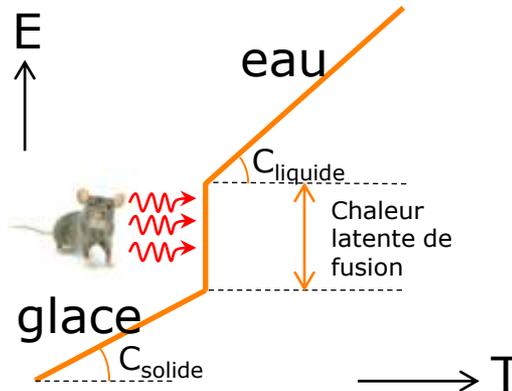
À quelle  
température  
fond une très  
petite goutte  
d'eau ?

**Eau et glace(s)**

# La nanocalorimétrie



Calorimètre de Laplace et Lavoisier (1783)



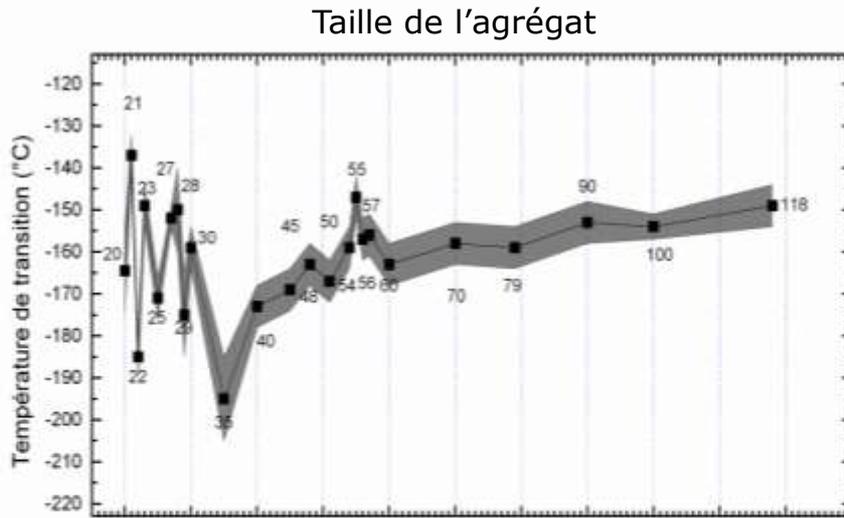
## Fusion de l'eau

Recherche menée au **LCAR**

Avec une méthode compliquée appelée **nanocalorimétrie**

... on peut mesurer la **température de fusion** de gouttes d'eau de quelques **dizaines de molécules**

# Température de fusion des agrégats d'eau en fonction de leur taille



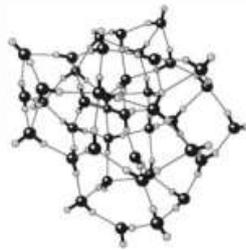
Importantes fluctuations. structures en cages

Évolution plus régulière. structures désordonnées ou « amorphes »

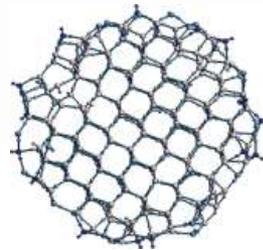
→ structure cristalline



21 molécules



40 molécules



600 molécules



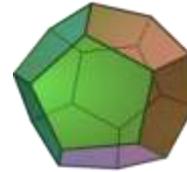
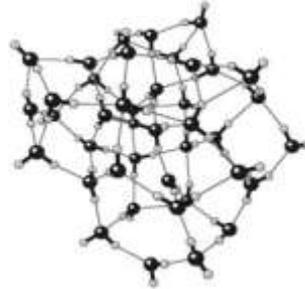
## Fusion de l'eau

Recherche menée au LCAR

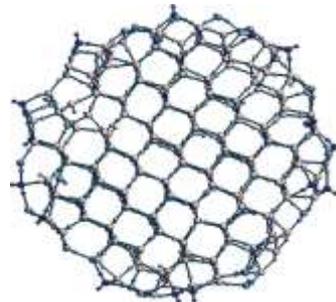
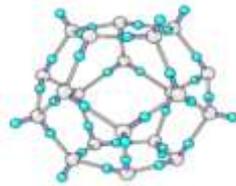
La mesure du point de « fusion » des agrégats d'eau nous renseigne sur leur structure.



Patrice de Mac-Mahon  
*Président de la République,  
visitant le LCAR à Toulouse en 1875*



**Que d'eau, que d'eau !**



**É  
P  
I  
L  
O  
G  
U  
E**