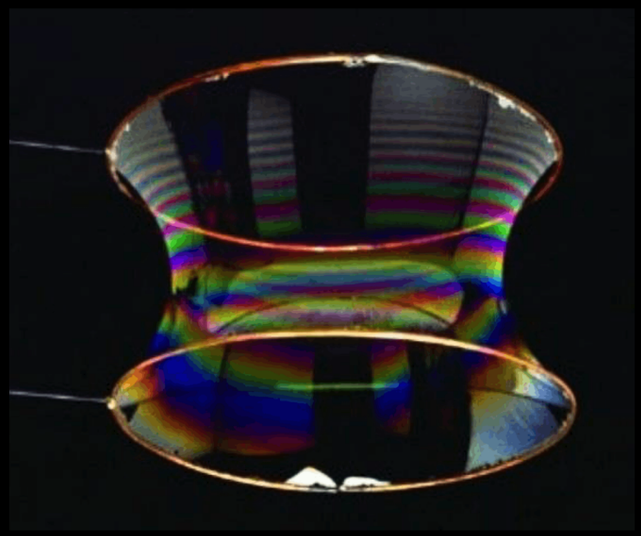
Des expériences de physique à faire chez soi !

Mardi 04/06/2024
Marcher sur l'eau :
la tension de surface

Pierre Muller
Chargé de Recherche
CNRS
Institut Charles Sadron



Mardi 11/06/2024
Histoires de courbure :
Surfaces minimales…

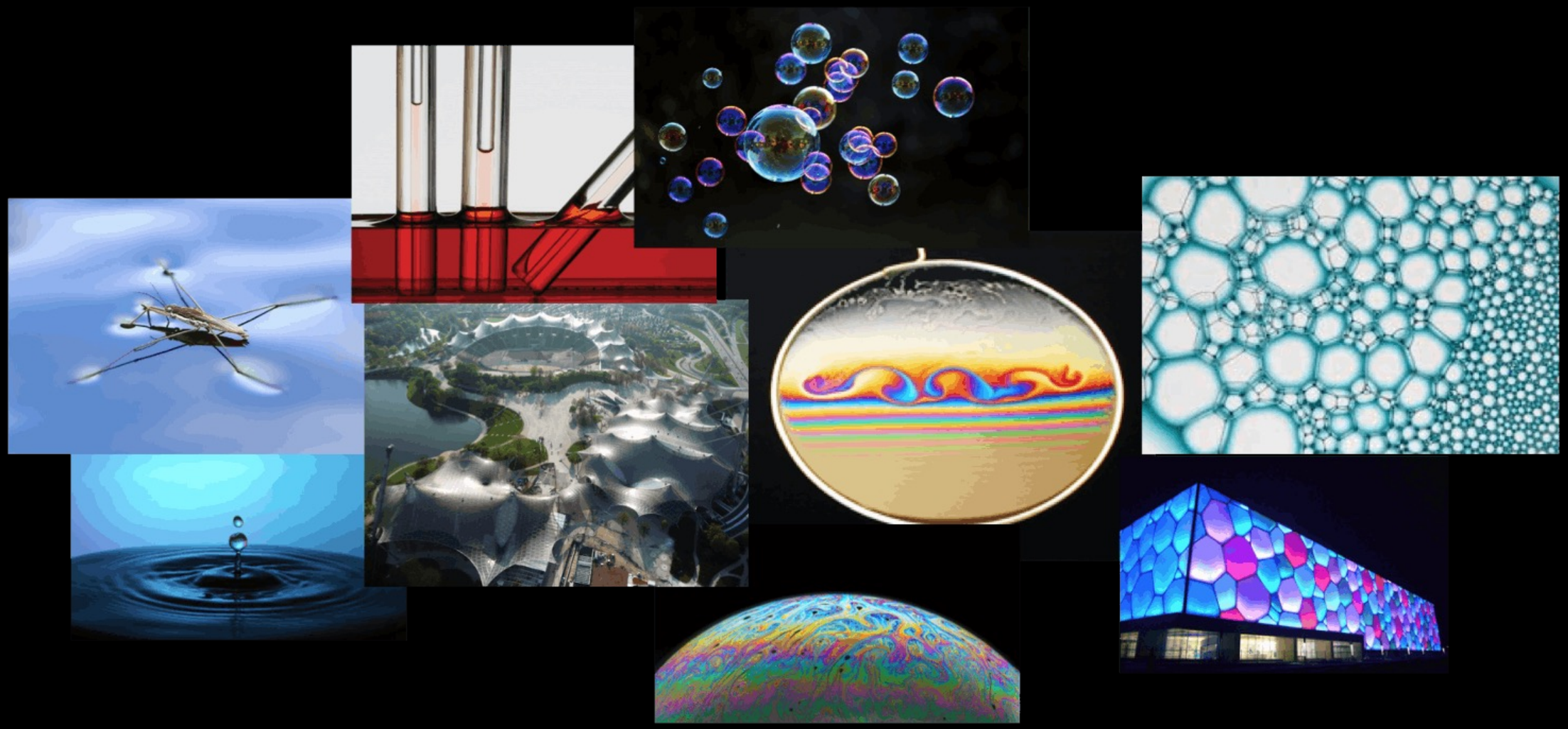
Thierry Charitat
Professeur de Physique
Université de Strasbourg
Institut Charles Sadron

cnrs

P&I Faculté de **physique et ingénierie**
Université de Strasbourg

INSTITUT Charles SADRON
CNRS - UNISTRA - STRASBOURG

Des expériences à faire chez soi….



Pour faire de la physique il ne faut pas juste observer ou décrire…
Il faut mesurer et modéliser !

Solide - Liquide – Gaz : vision macroscopique

Solide

- Dense, compact….
- Forme propre ;
- Résiste au cisaillement – Elasticité ;
- Ne coule pas ;

Liquide

- Densité proche d'un solide ;
- Adopte la forme du contenant ;
- Résiste faiblement au cisaillement - Elasticité (?) ;
- Coule;

Gaz

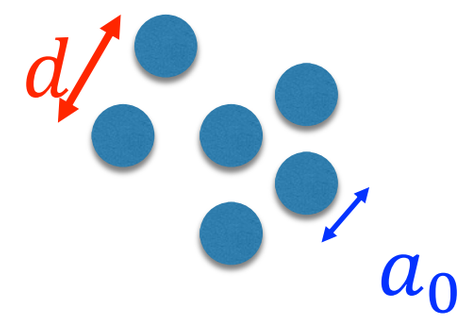
- Faible densité ;
- Occupe tout le volume du contenant ;
- Résiste faiblement au cisaillement.

Solide - Liquide – Gaz : vision microscopique (1)

Solide

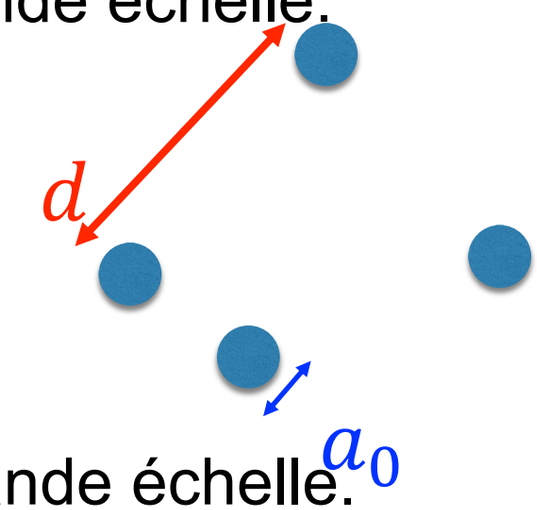
- distance entre atome d comparable à la taille des atomes a_0 ;
- Ordre à longue portée (cristallographie), amorphe ;
- atomes (molécules) bougent *rapidement* mais restent localisés.

Liquide



- distance entre atome d comparable à la taille des atomes a_0 ;
- Ordre à courte-portée ;
- atomes (molécules) bougent *rapidement* et peuvent diffuser à grande échelle.

Gaz

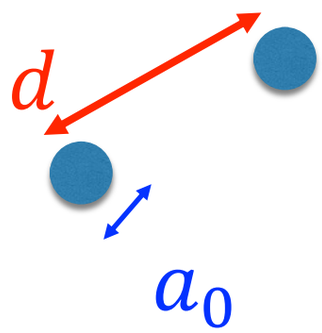


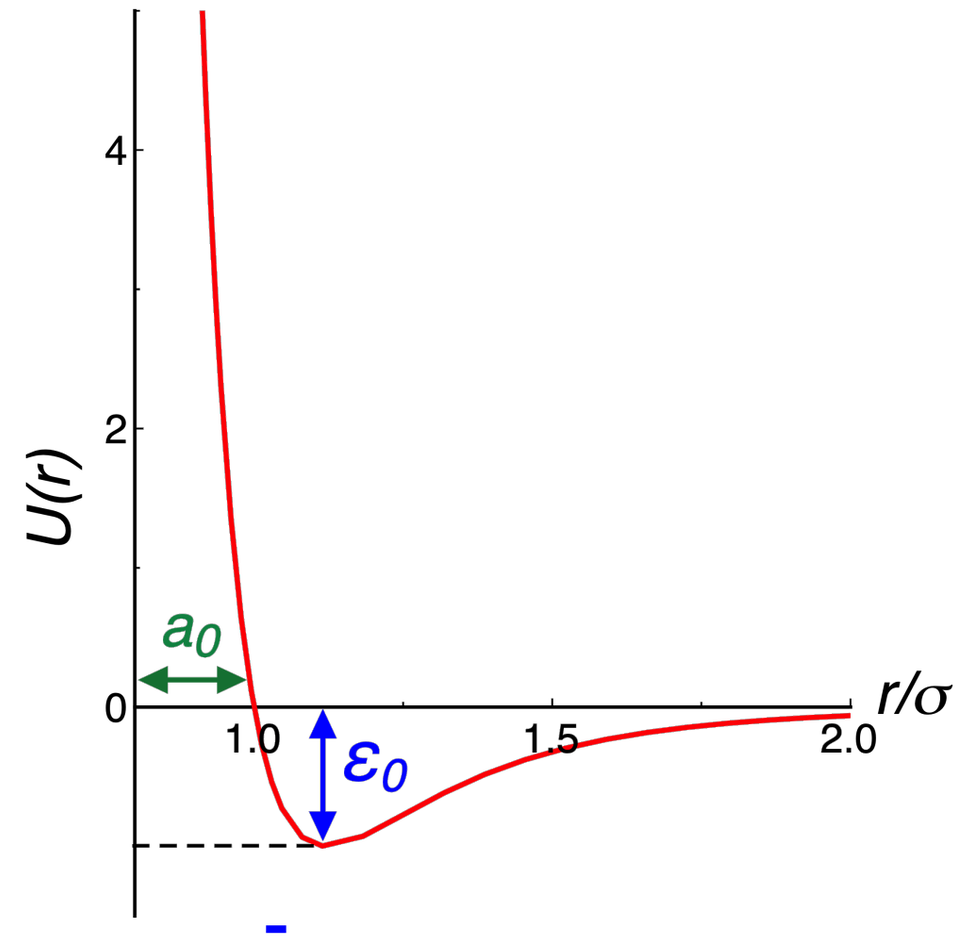
- distance entre atome d grande devant la taille des atomes a_0 ;
- atomes (molécules) bougent *rapidement* et peuvent diffuser à grande échelle.

https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter-basics/latest/states-of-matter-basics_fr.html

Solide - Liquide – Gaz : vision microscopique (2)

Interaction entre les molécules





- répulsion à très courte portée (~ la taille des atomes a_0) ;
- attraction à courte-portée ;
- atomes (molécules) bougent rapidement et peuvent diffuser à grande échelle.

L'énergie E tend à favoriser un système ordonné: solide, liquide.

Solide - Liquide – Gaz : thermodynamique (statistique)

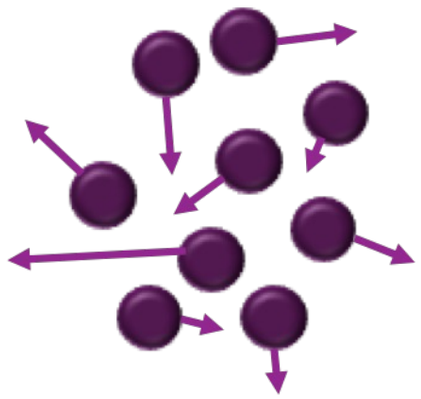
$$\mathcal{F} = E - TS$$

solide ordonné

$$\mathcal{F} \sim E$$

$$E \sim TS$$

liquide, fluide complexe,
matière molle



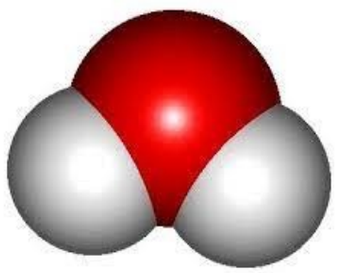
gaz désordonné

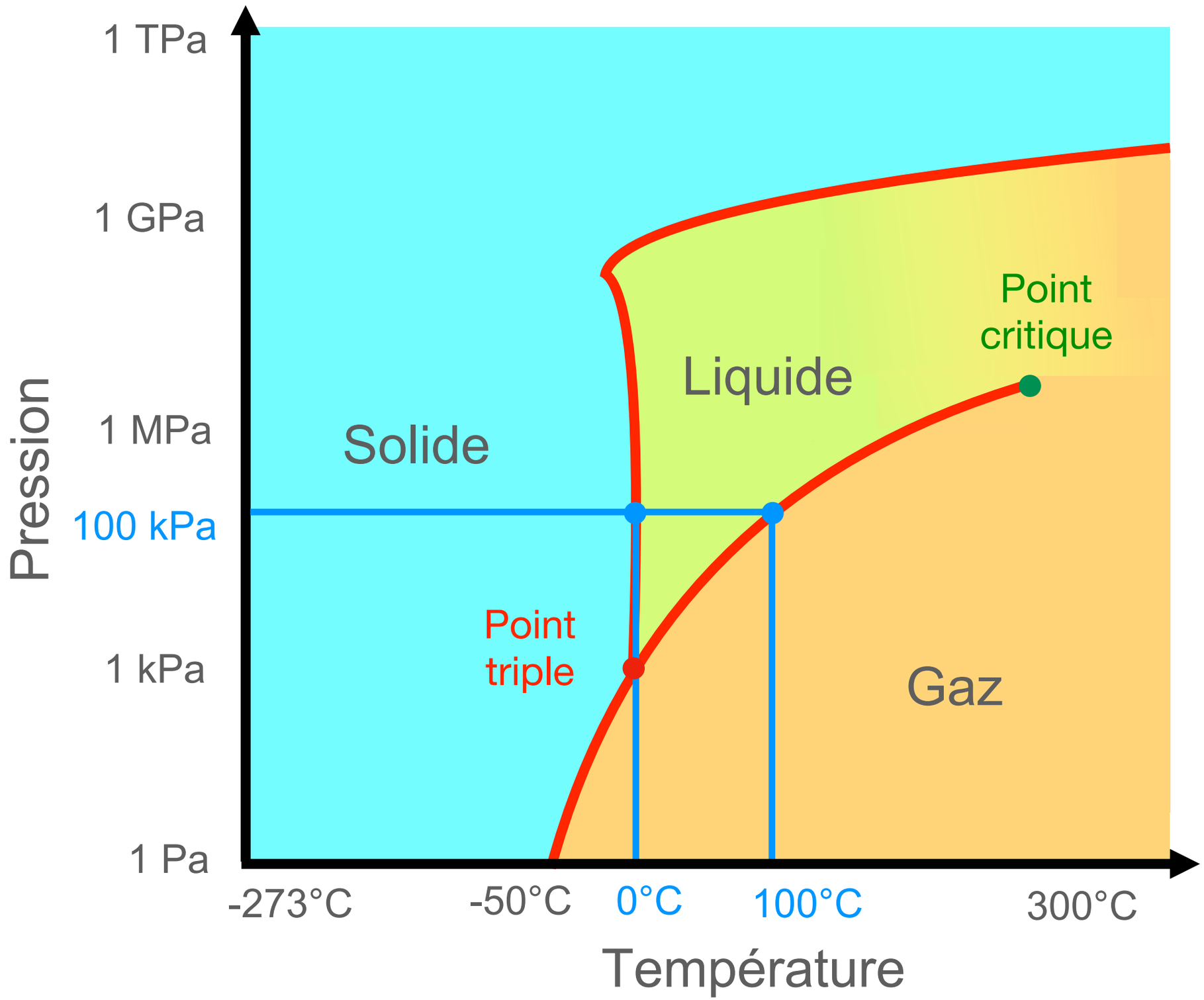
$$\mathcal{F} = -TS$$

Entropie S tend à favoriser un système désordonné : liquide, gaz.

Solide - Liquide – Gaz : diagramme de phase

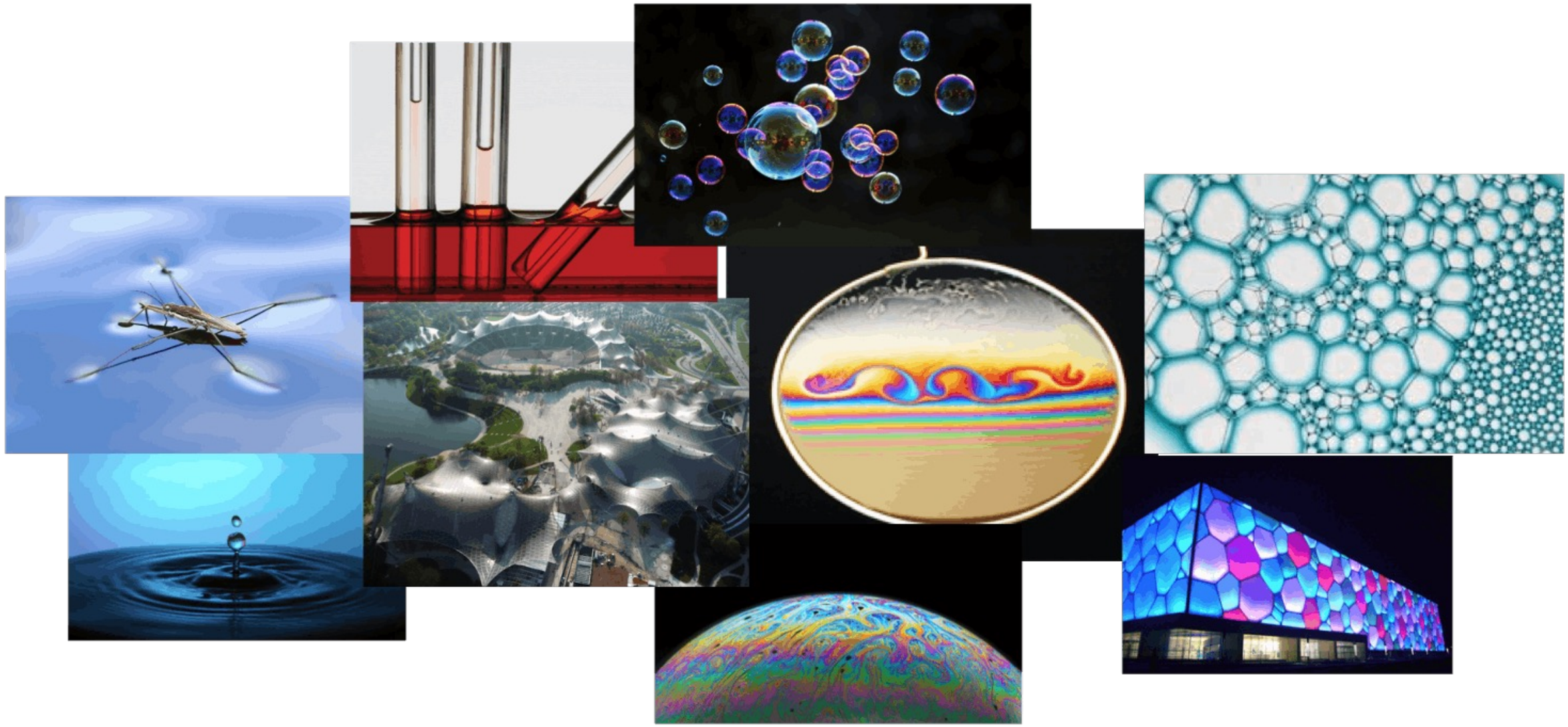
Eau





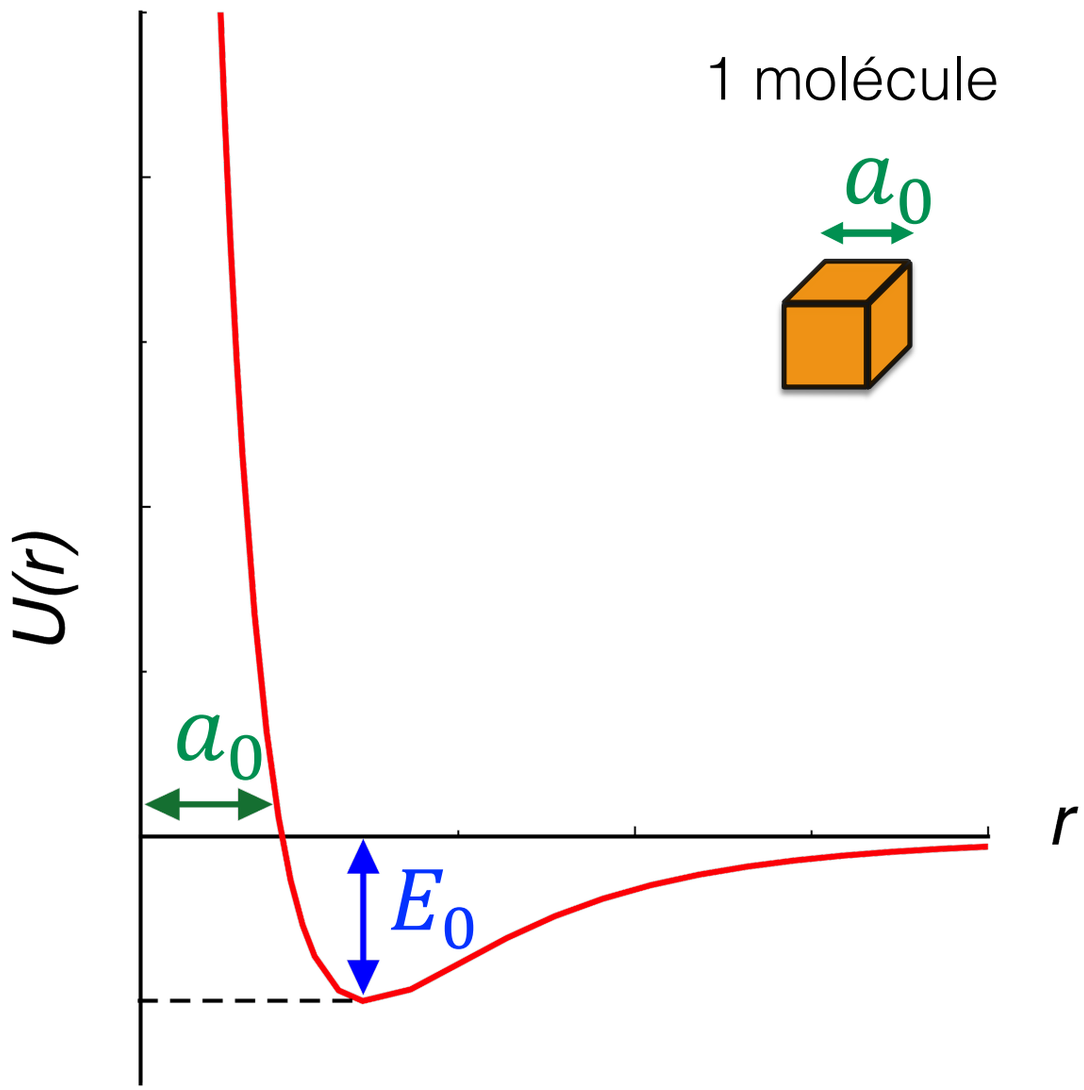
Interfaces liquide/gaz, solide/liquide, solide/gaz…

Comment décrire les interfaces ?

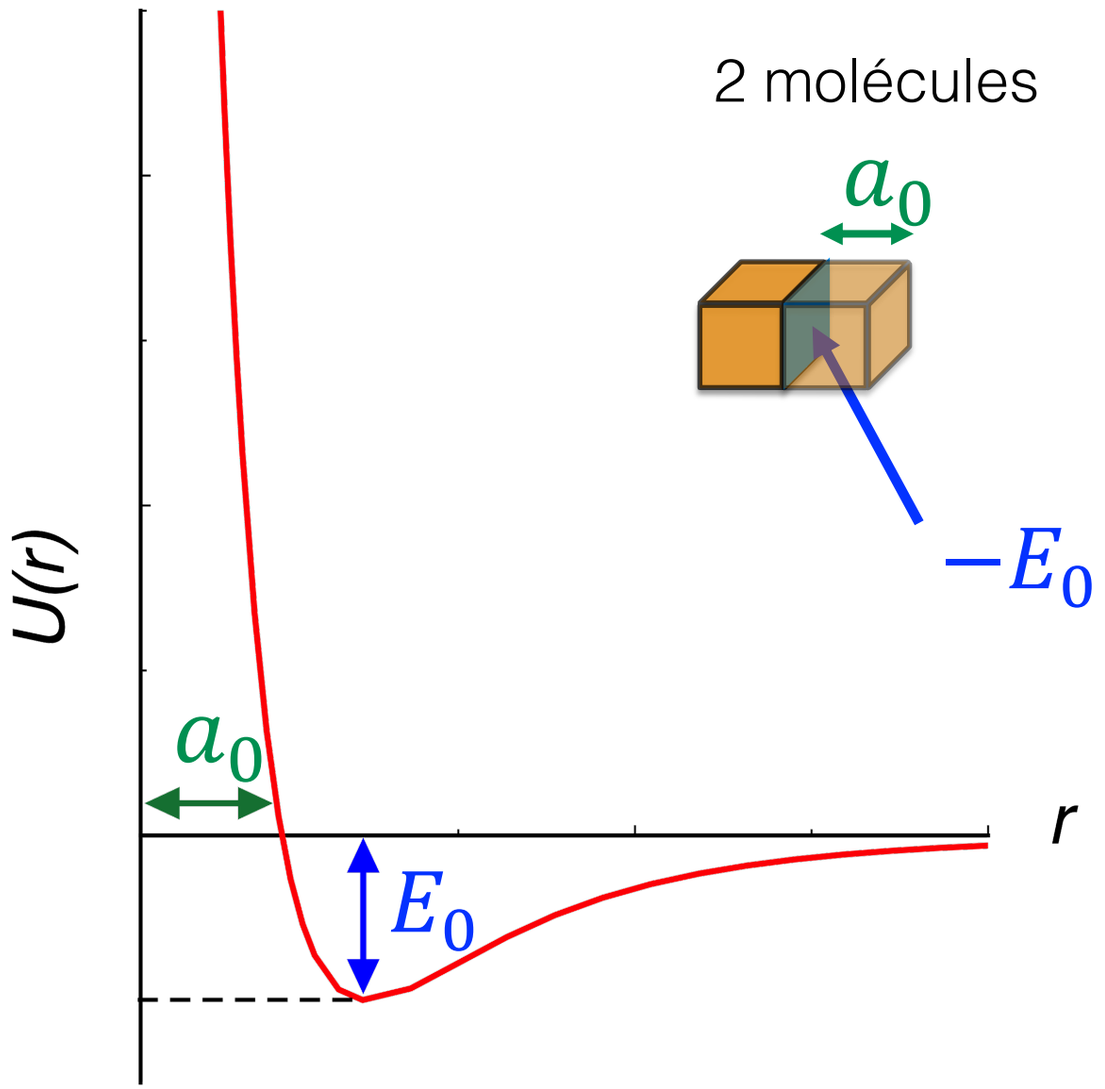


Quelles sont les propriétés des interfaces ?

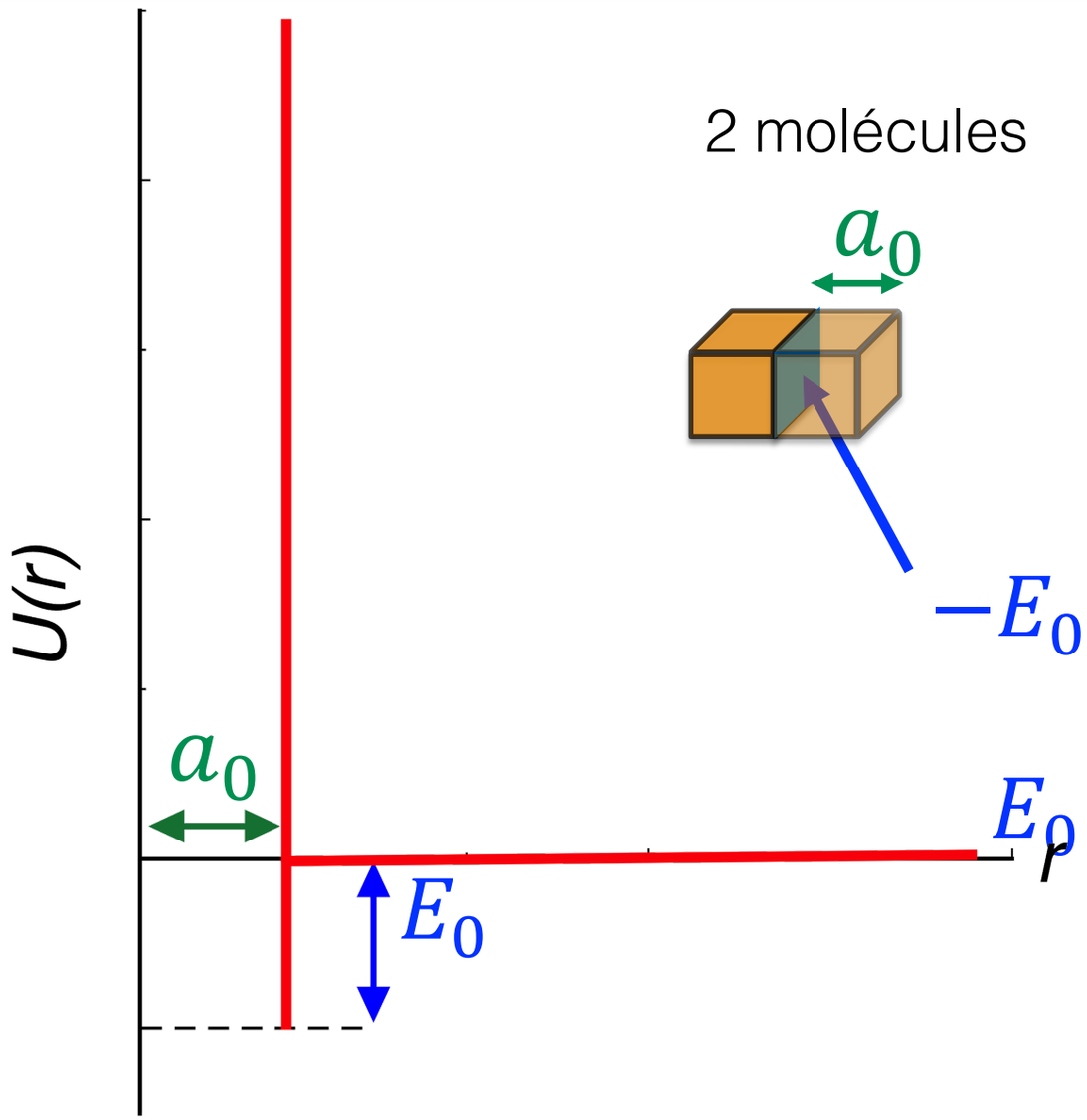
Interface : notion de tension de surface



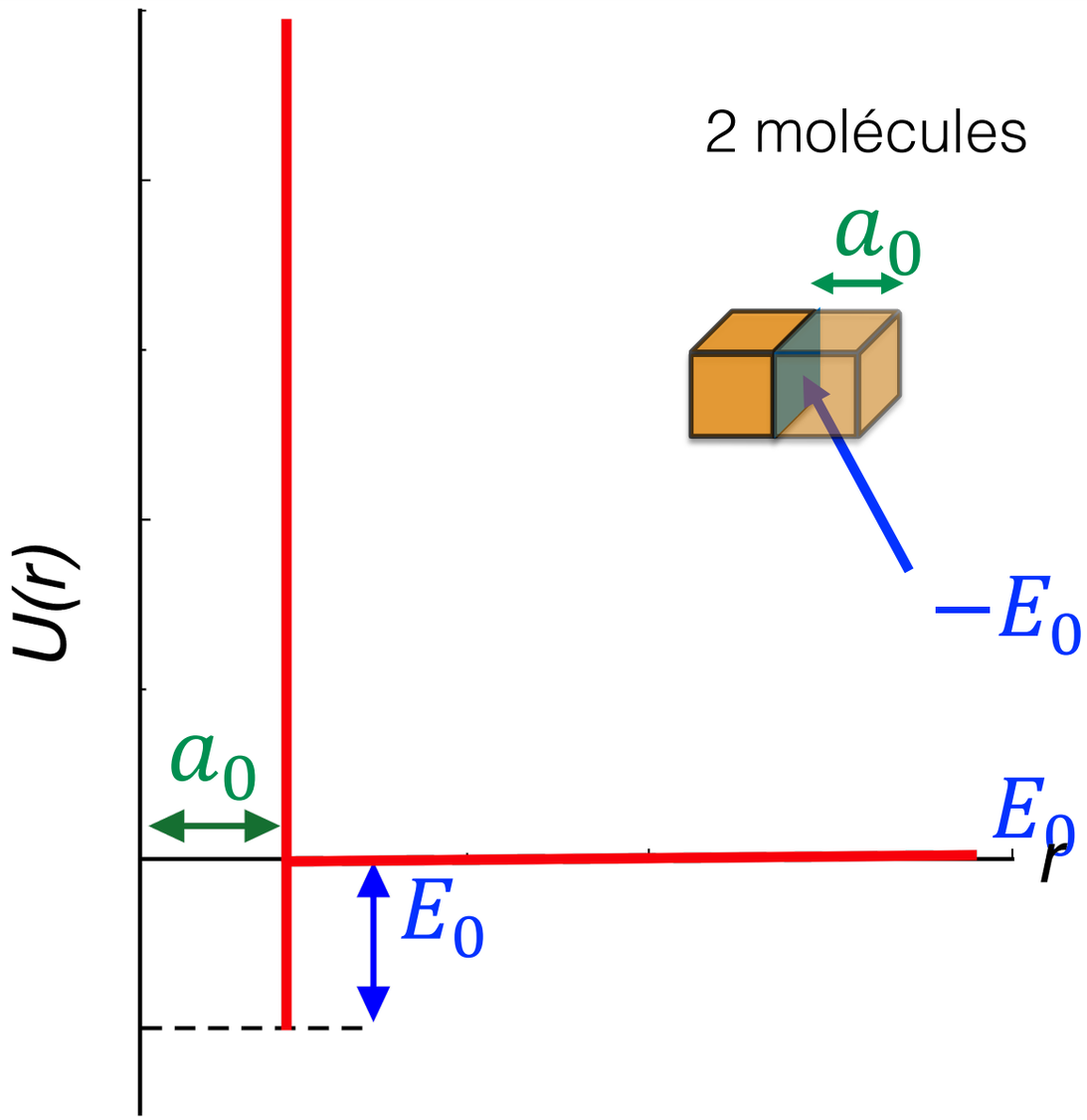
Interface : notion de tension de surface



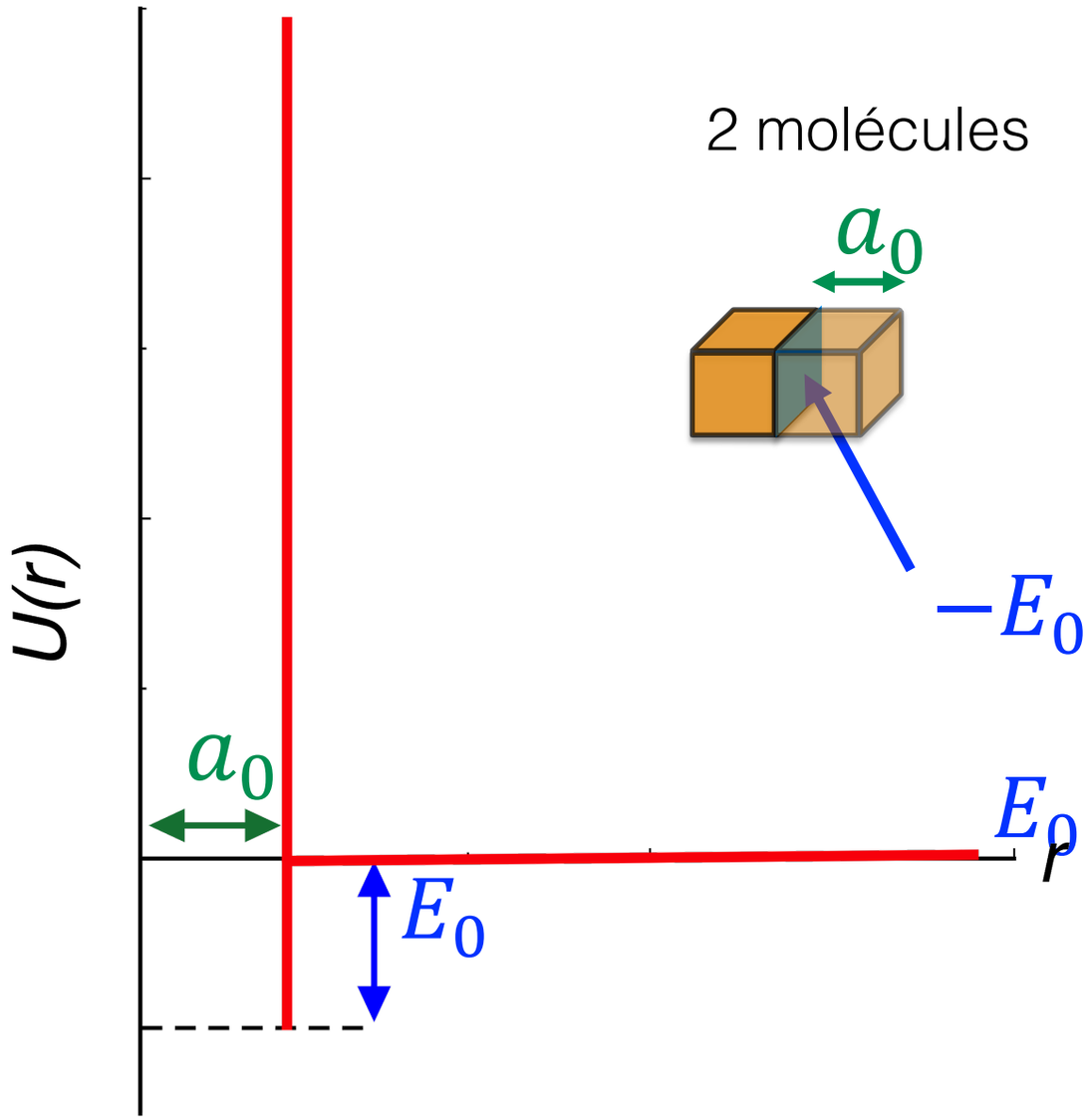
Interface : notion de tension de surface

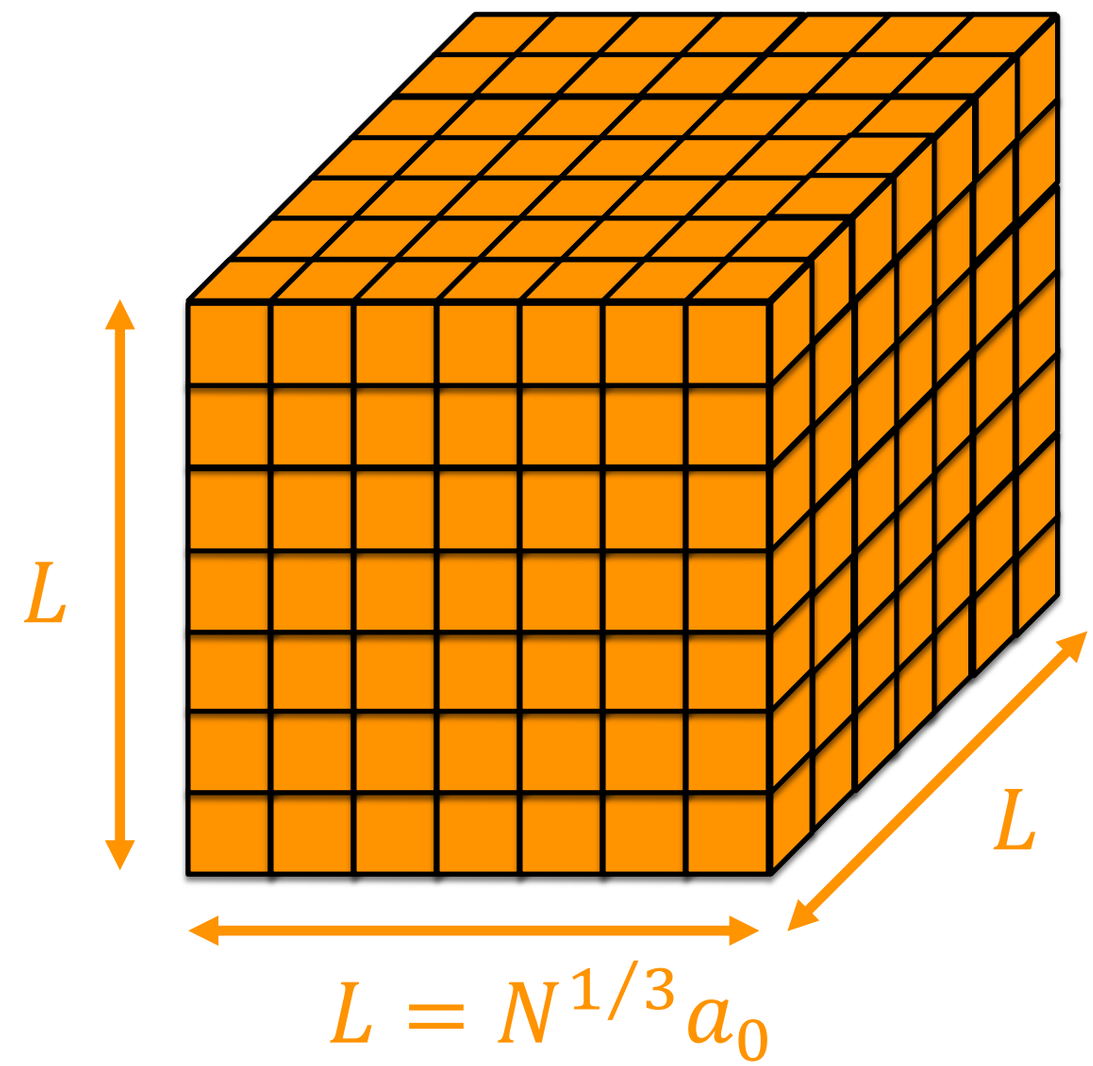


Interface : notion de tension de surface



Interface : notion de tension de surface





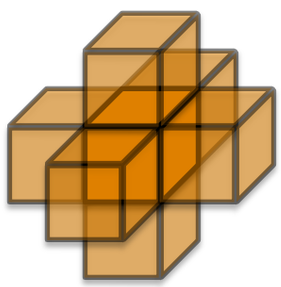
- Volume $V = L^3 = N a_0^3$, surface $\mathcal{A} = 6L^2 = 6N^{2/3} a_0^2$

- Quelle est l'énergie associée à ce volume de matière ?

Interface : notion de tension de surface

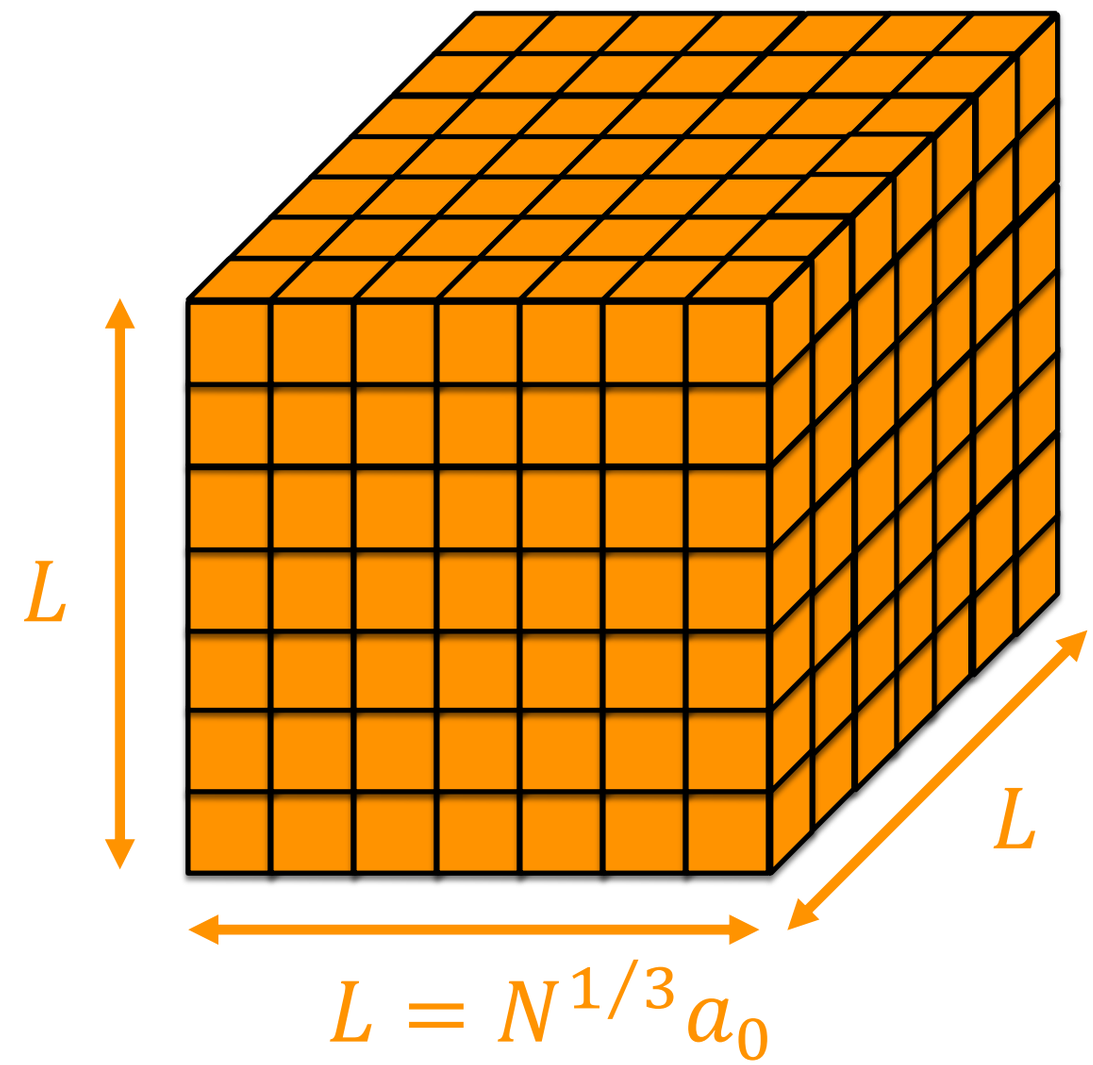
- Volume $V = L^3 = Na_0^3$,
- Surface $\mathcal{A} = 6L^2 = 6N^{2/3}a_0^2$,

- Energie ?
  - molécule dans le volume = 6 voisins



$-E_0$ par paire de molécule

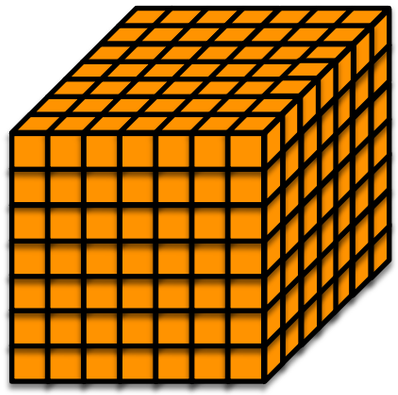
$$\mathcal{E}_{\text{volume}} = 6\frac{N}{2}(-E_0)$$



- mais les $6\times N^{2/3}$ molécules aux interfaces n'ont que 5 voisins !

$$\mathcal{E}_{\text{tot}} = -3NE_0 + 6N^{2/3}E_0 = -3\frac{E_0}{a_0^3}V + \frac{E_0}{a_0^2}\mathcal{A}$$

Interface : notion de tension de surface



Volume V, surface $\mathcal{A}$

$$\mathcal{E}_{\text{tot}} = -3\frac{E_0}{a_0^3}V + \frac{E_0}{a_0^2}\mathcal{A}$$

< 0,
$\propto V$,
énergie de cohésion

> 0,
$\propto \mathcal{A}$,
coût en énergie de la surface

On définit la tension de surface $\gamma = \frac{E_0}{a_0^2}$ en J/m²

Liquide	Densité (kg/m³)	Temp. d'ébulition (°C)	Tension de surface (mJ/m²)
H2 liquide	70.8	-253	2
N2 liquide	806	-196	8.9
Hexane	655	69	18
Octane	703	125	21.6
Eau	1000	100	72
Mercure	5430	300	487

Interface : force de tension de surface

La surface coûte de l'énergie $\mathcal{F} = \gamma \mathcal{A}$

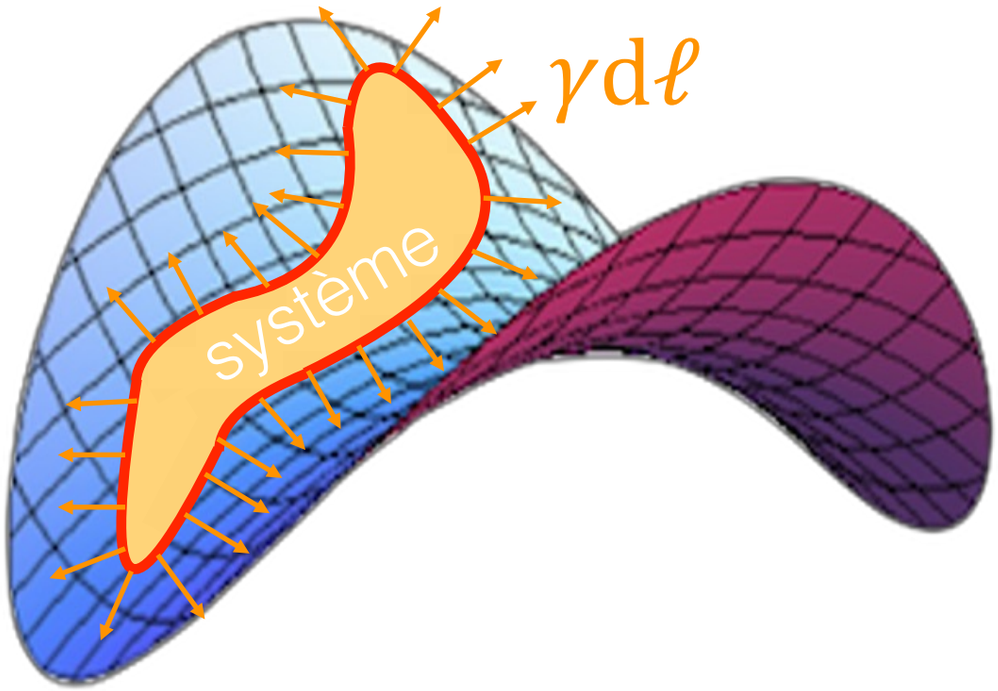
$\Downarrow$

la surface tend à se réduire

$\Downarrow$

Il existe une force qui tire sur les bords

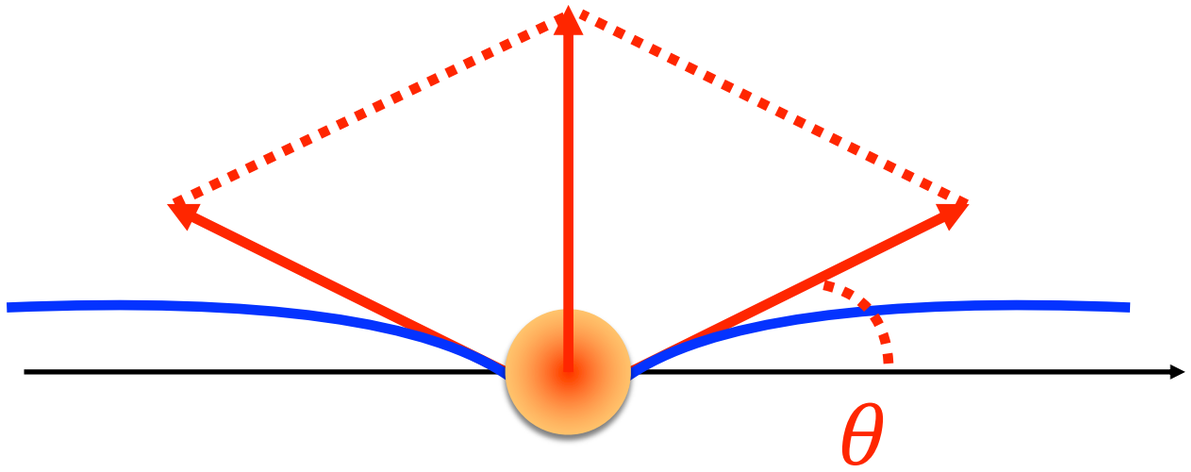
γ en J/m^2 mais aussi en N/m



La tension de surface produit une force :

- exercée par une interface sur une ligne ;
- proportionnelle à la longueur de la ligne $\gamma \ell$;
- tangente à l'interface.

Expérience n°1 : marcher sur l'eau



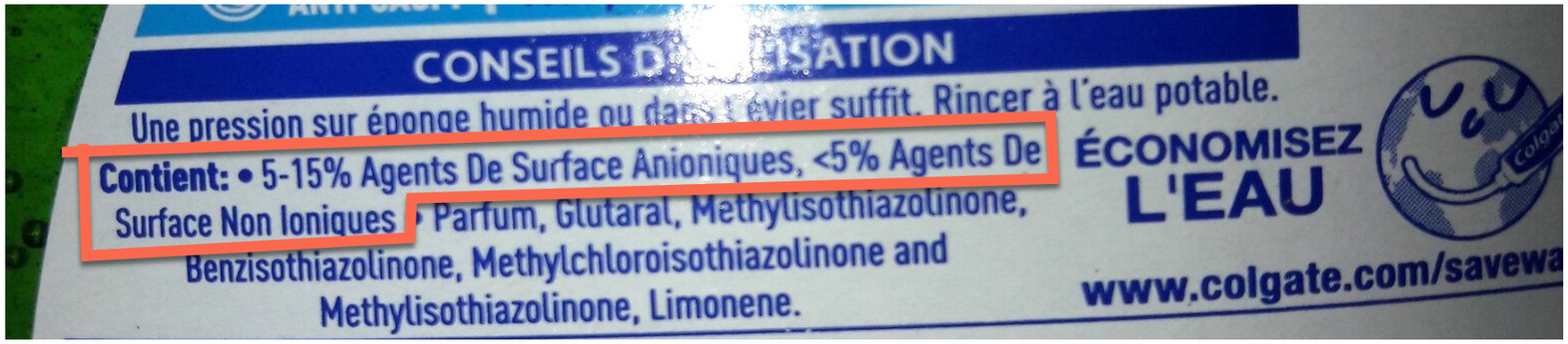
Expérience n°1: marcher sur l'eau ou le trombone flottant

Estimer γ ?

Taille : $L \sim 1\ \mathrm{cm}, d \sim 1\ \mathrm{mm}$

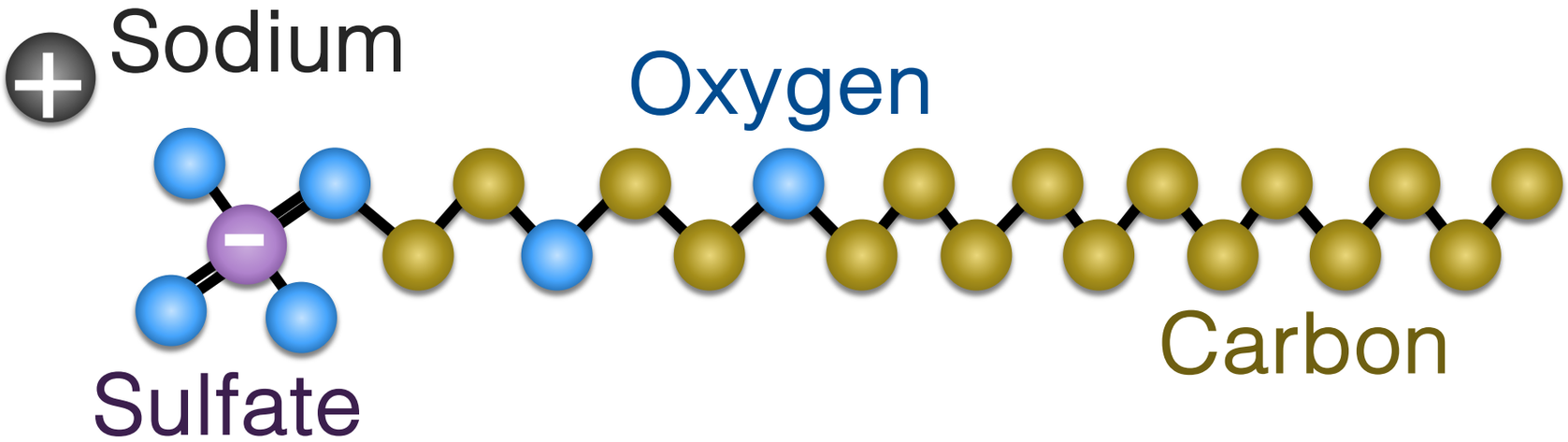
Masse : pesée m, ou d'après la densité ρ

Les tensioactifs

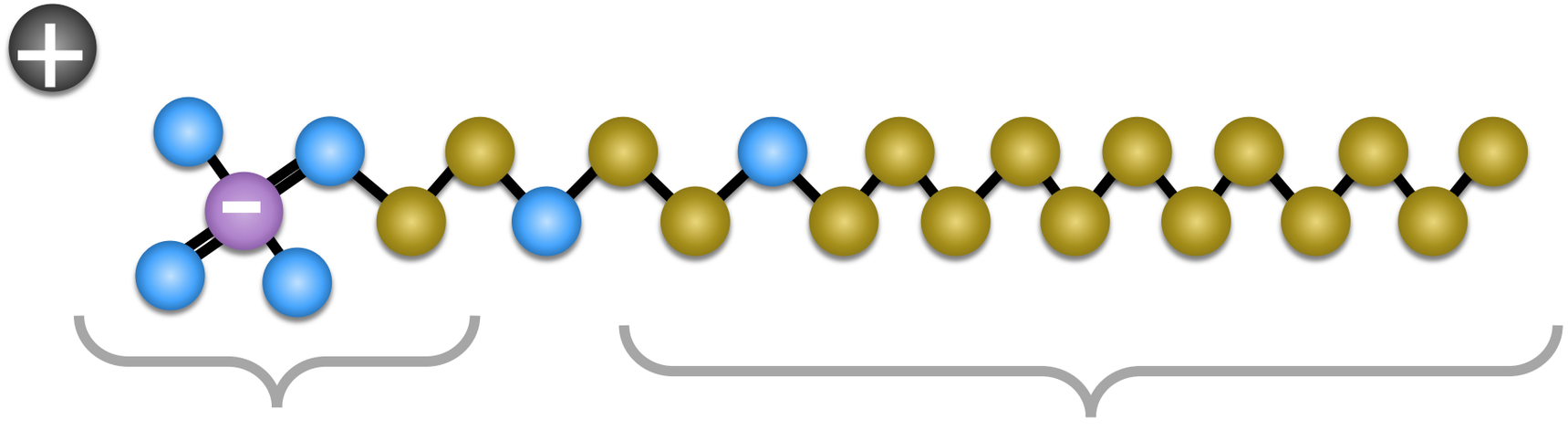


Sodium C12-C14 Ethoxylated Alcohol E0 2-3/1 sulfate

Sodium Laureth Sulfate (SLES)

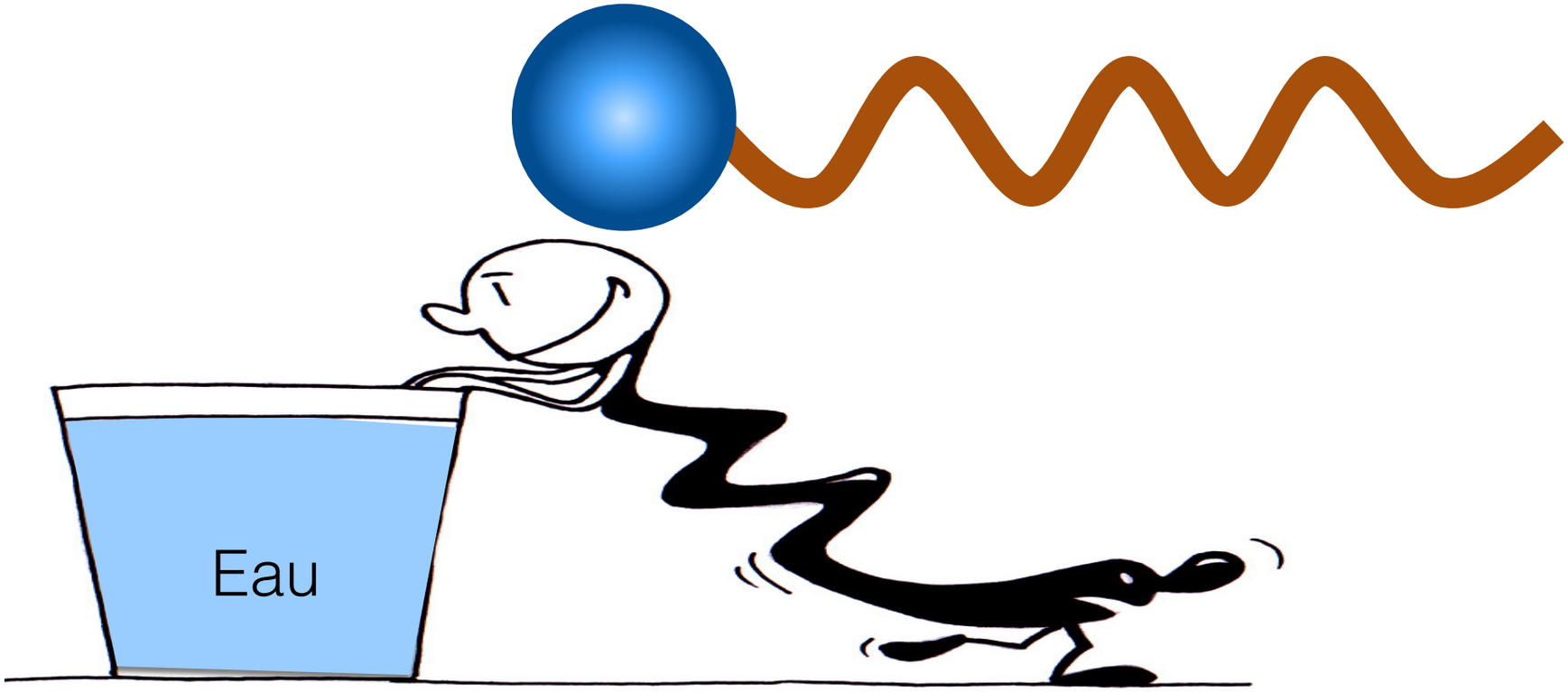


Les tensioactifs



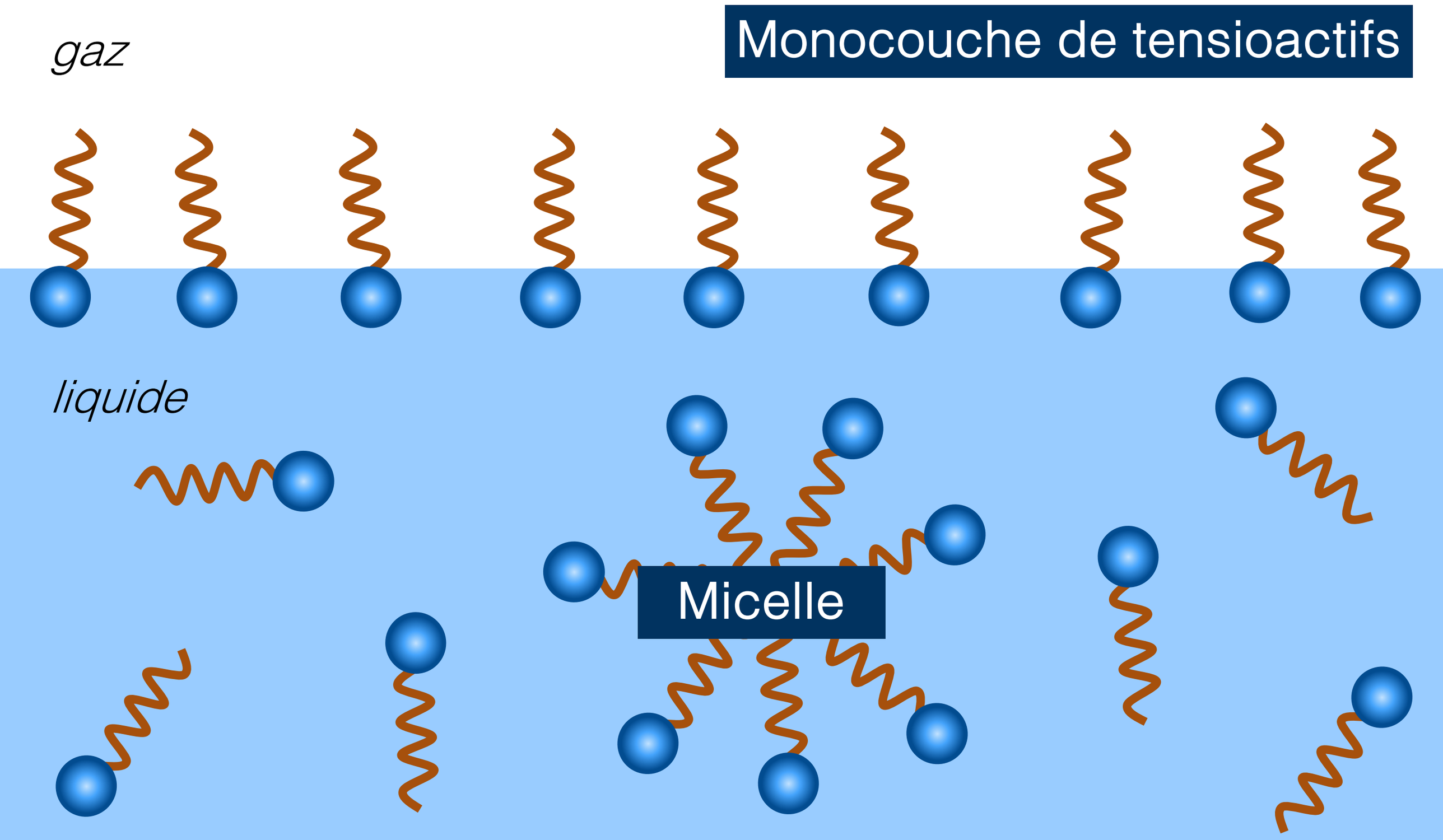
“aimé par l’eau”
“hydrophile”

“pas aimé par l’eau”
“hydrophobe”



Des molécules schizophrènes : amphiphile

Les tensioactifs dans l'eau



Comment “voir” la monocouche ?

Expérience n°2 : étalement d’une couche tensioactive

Un bol ou un saladier, du poivre, du produit vaisselle… éventuellement un pointeur LASER

Les tensioactifs

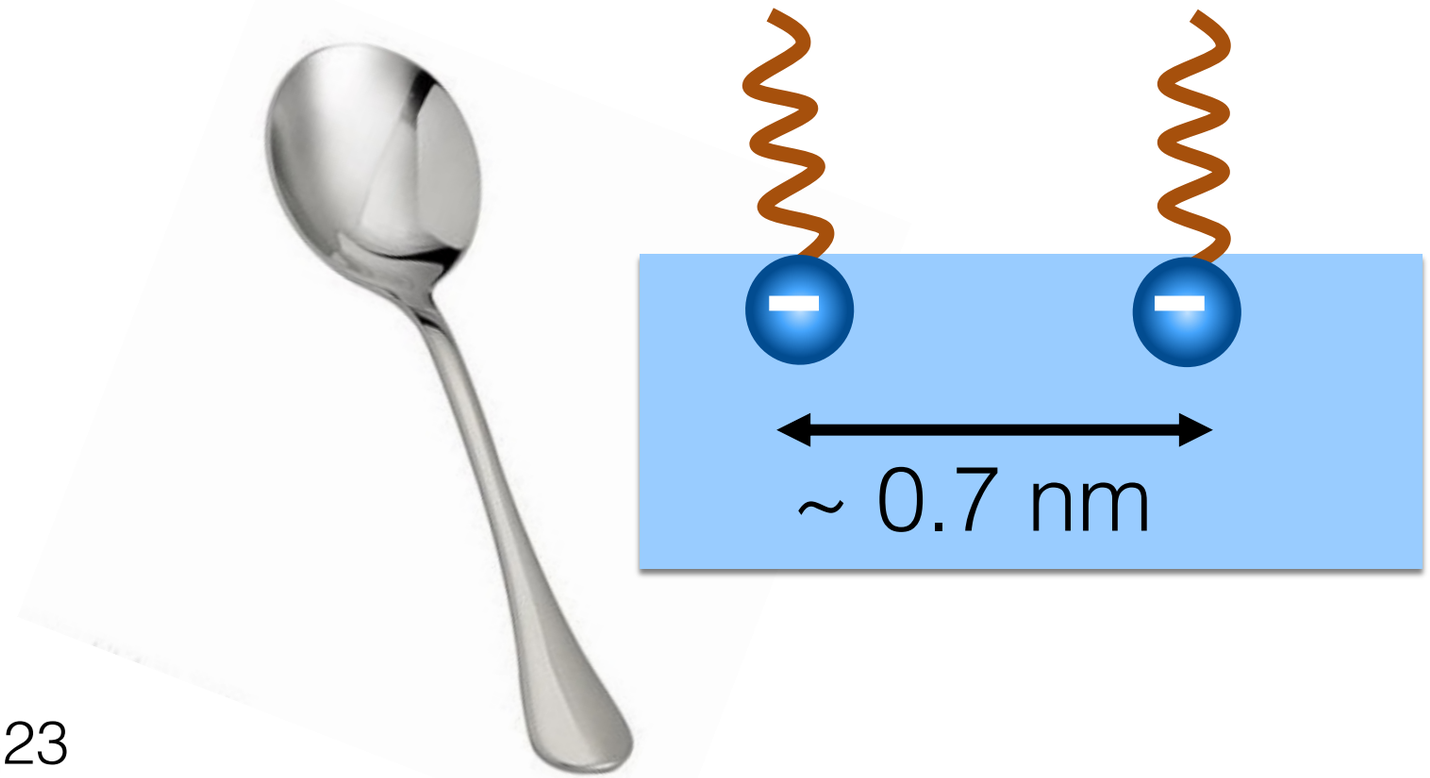
Cuillère à soupe de PAIC

⊠ 1 g de SLS (15%)

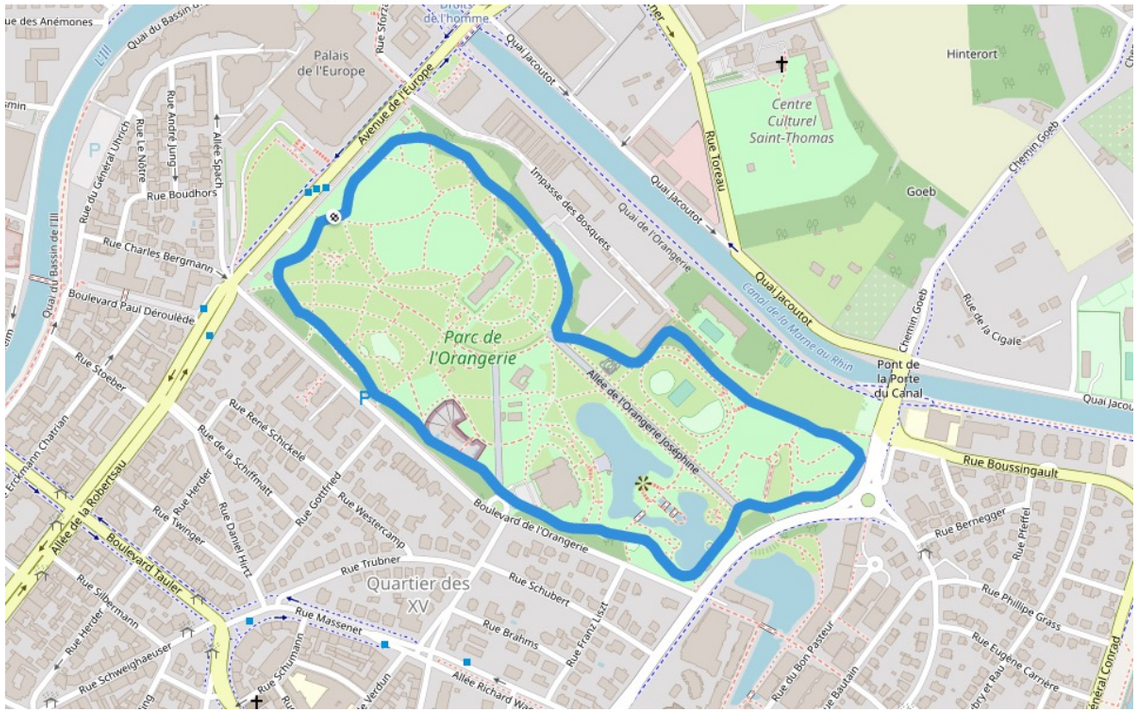
SLES: 288,38 g/mol

1 mol = 6,022 140 76 × 10^{23}

Aire par molecule à la surface:
$(0.7\ \text{nm})^2 = 0.5 \times 10^{-18}\ \text{m}^2$

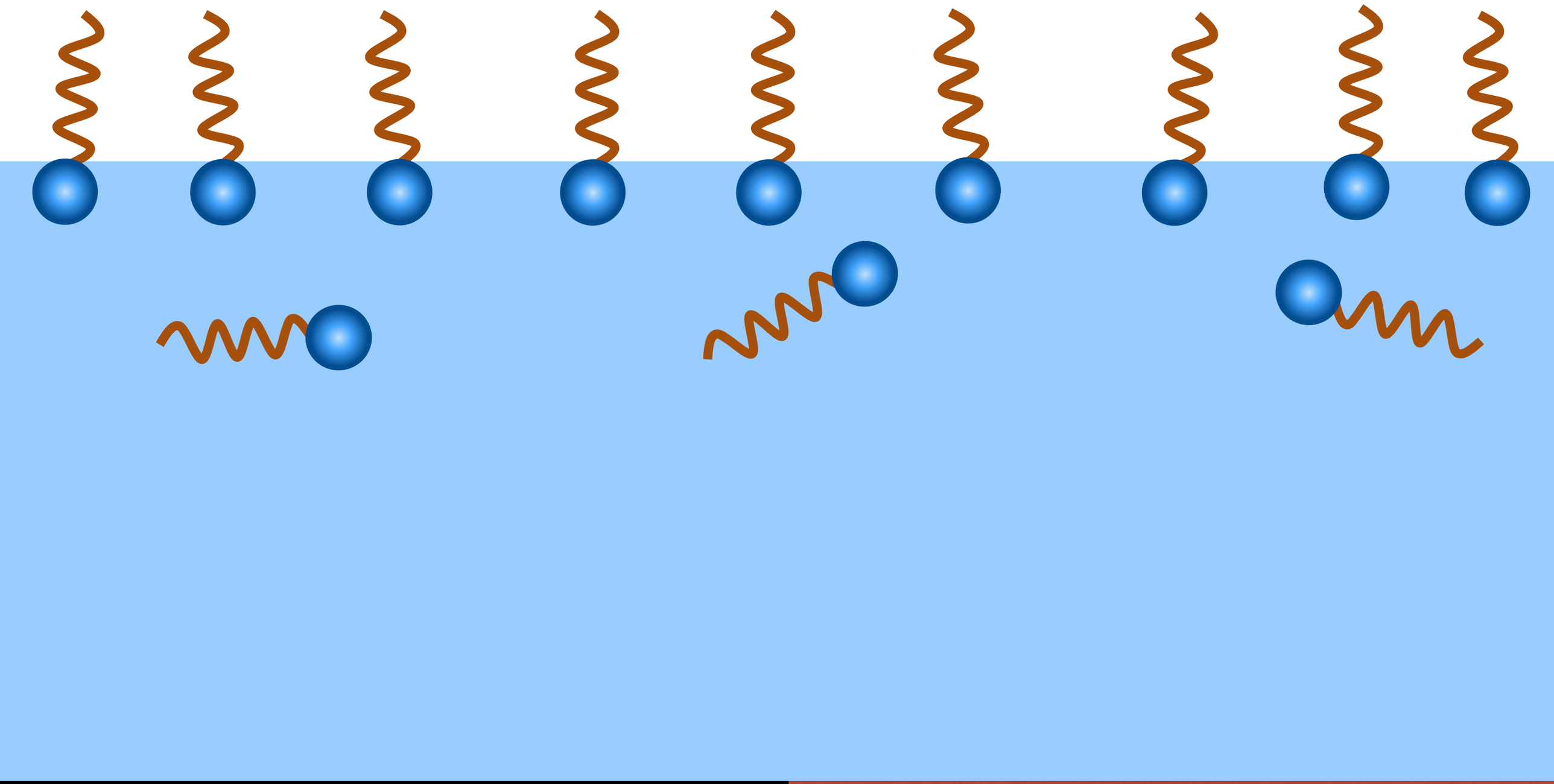


Surface totale :
1 000 m^2 = 0.1 ha



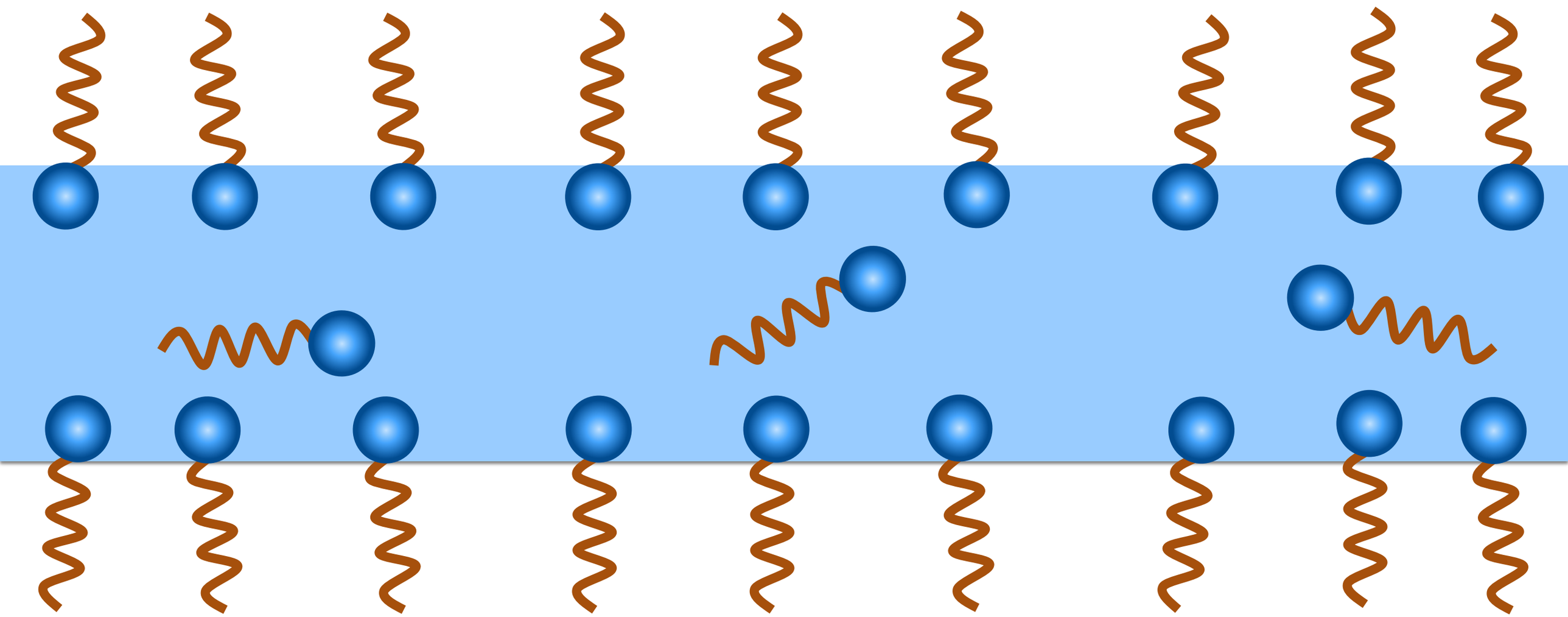
Surface de l'orangerie: 26 ha

Une autre manière de *voir* la monocouche

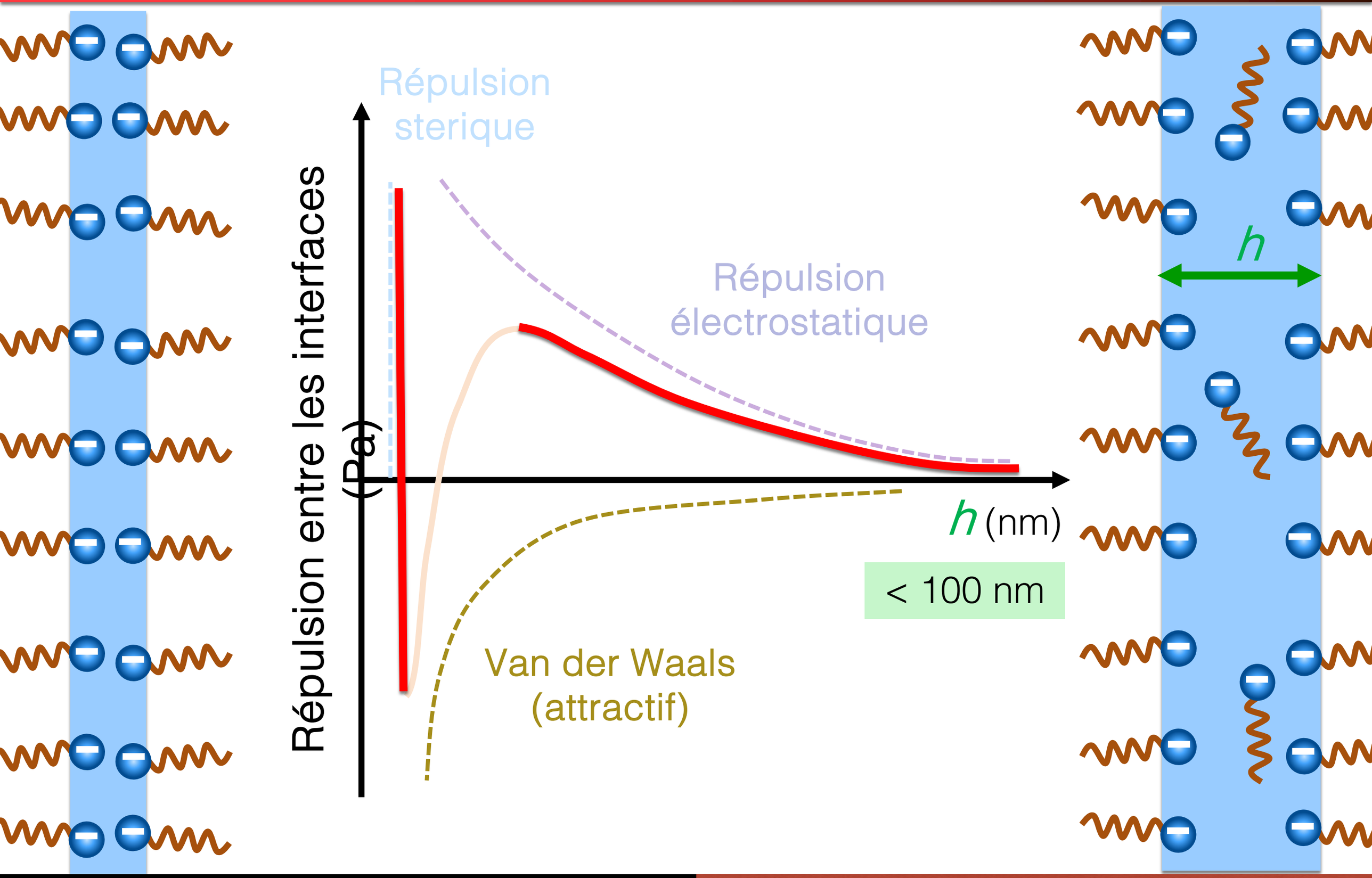


Une autre manière de *voir* la monocouche

Film de savon



Les films de savon – la “pression de disjonction”



Mise en evidence de la force de tension de surface

Expérience n°3 : anneau dans un fil de savon

Fabrication d'un anneau avec du tube plastique souple (tuyau) entouré de gaze pour pansement.

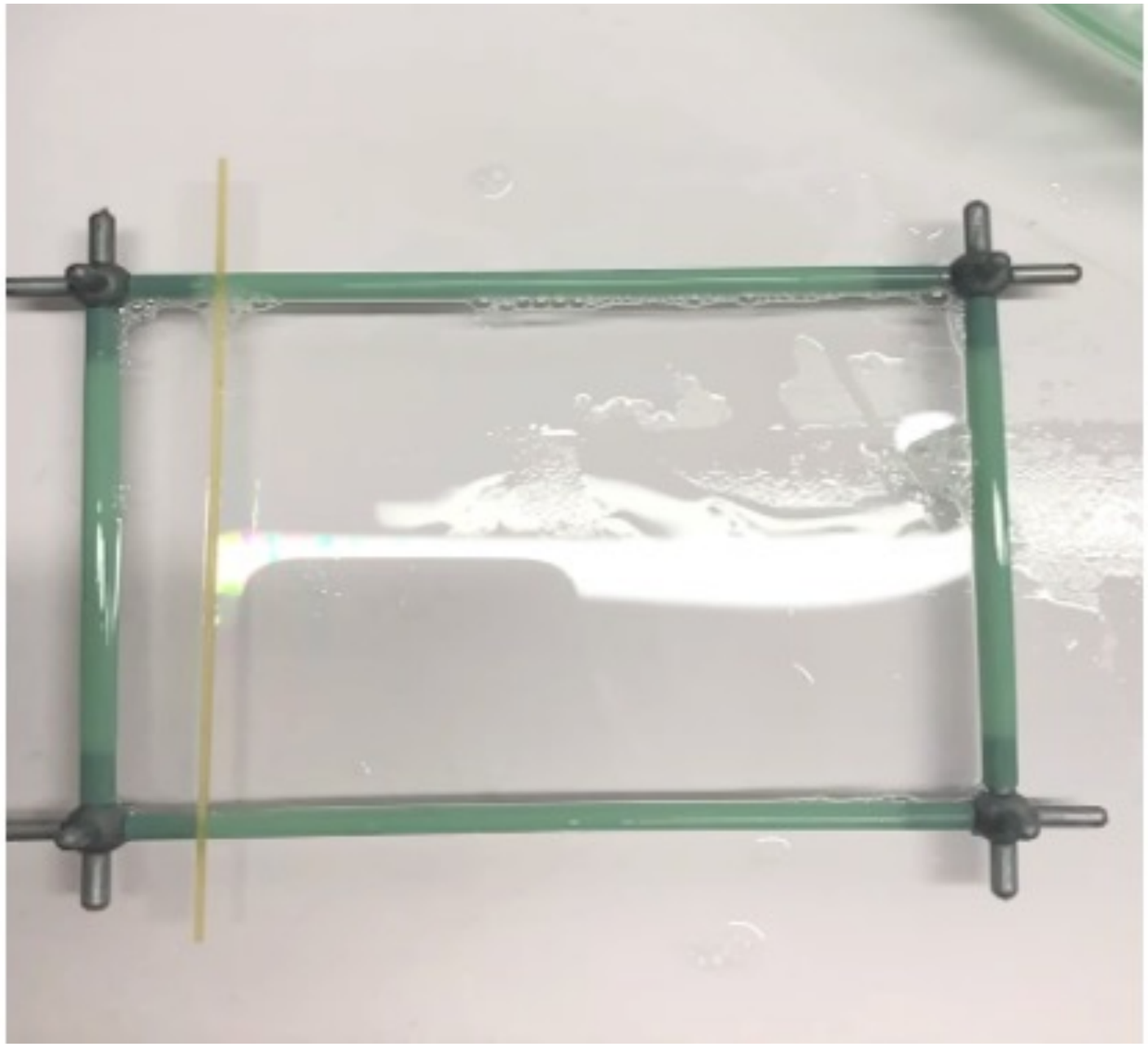
Anneau dans un film

Mise en evidence de la force de tension de surface

Expérience n°4 : film de savon sur un cadre

- Cadre avec du tube plastique (pailles, légos…).
- Spaghetti
- Pour aller plus loin un téléphone portable

Mise en evidence de la force de tension de surface



Version en ligne : http://physiquepourtous.unistra.fr/wp-content/uploads/2024/06/video-256fps.mov

Mise en evidence de la force de tension de surface

Expérience n°4 : film de savon sur un cadre
Première analyse

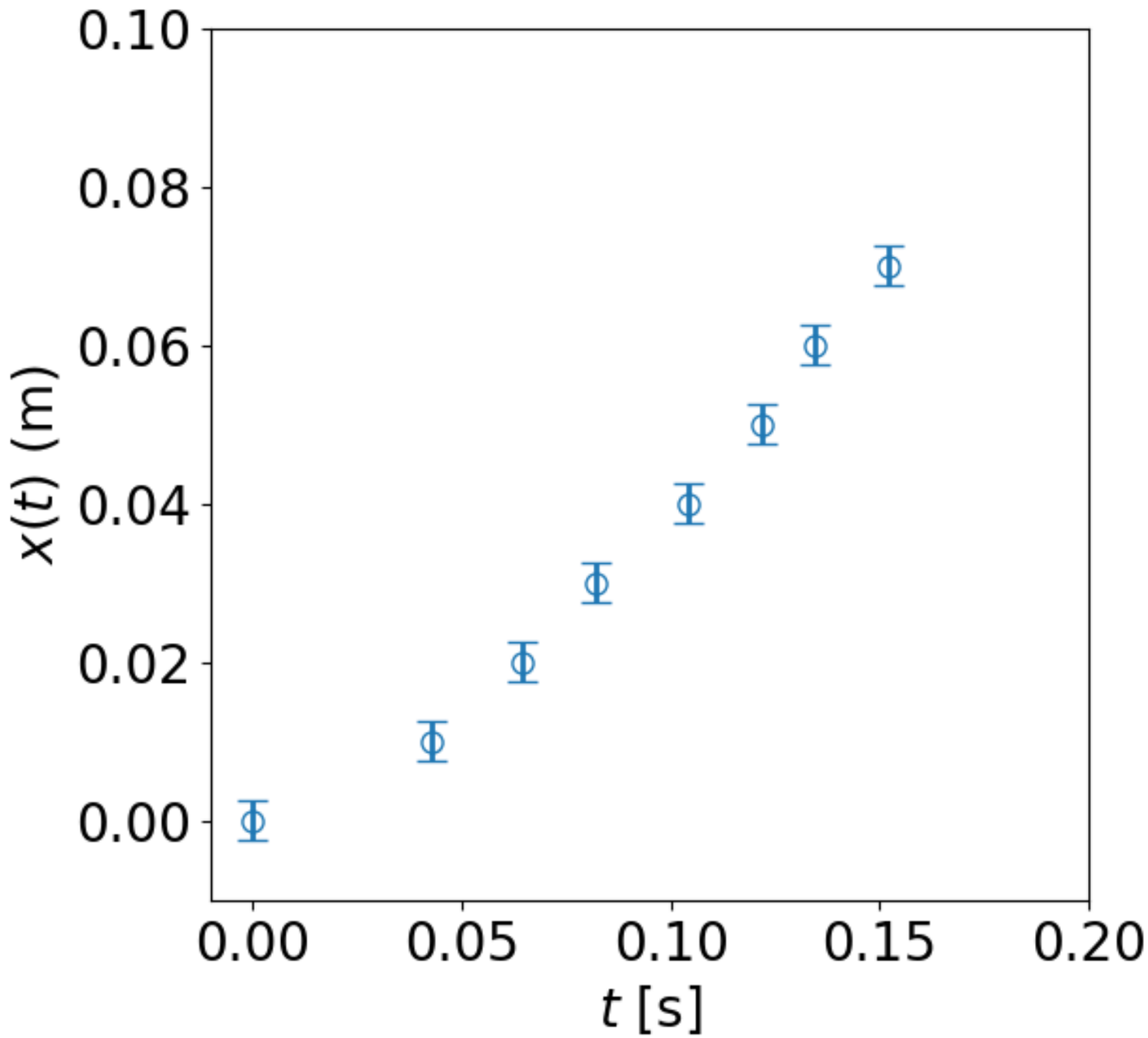
- Masse : m=0.4 g
- Longueur : L=9.1 cm
- Durée du mouvement : $\Delta t = 0.15$ s
- Distance : $\Delta x = 7$ cm

Conservation de l'énergie

$$\Delta E_c = \gamma \mathrm{L} \Delta \mathrm{x} \Rightarrow \frac{1}{2} m\, \mathrm{v}^2 = \gamma \mathrm{L} \Delta \mathrm{x} \Rightarrow \gamma = 3 \text{ mN/m}$$

Mise en evidence de la force de tension de surface

$$m\boldsymbol{a} = \sum \boldsymbol{F}$$

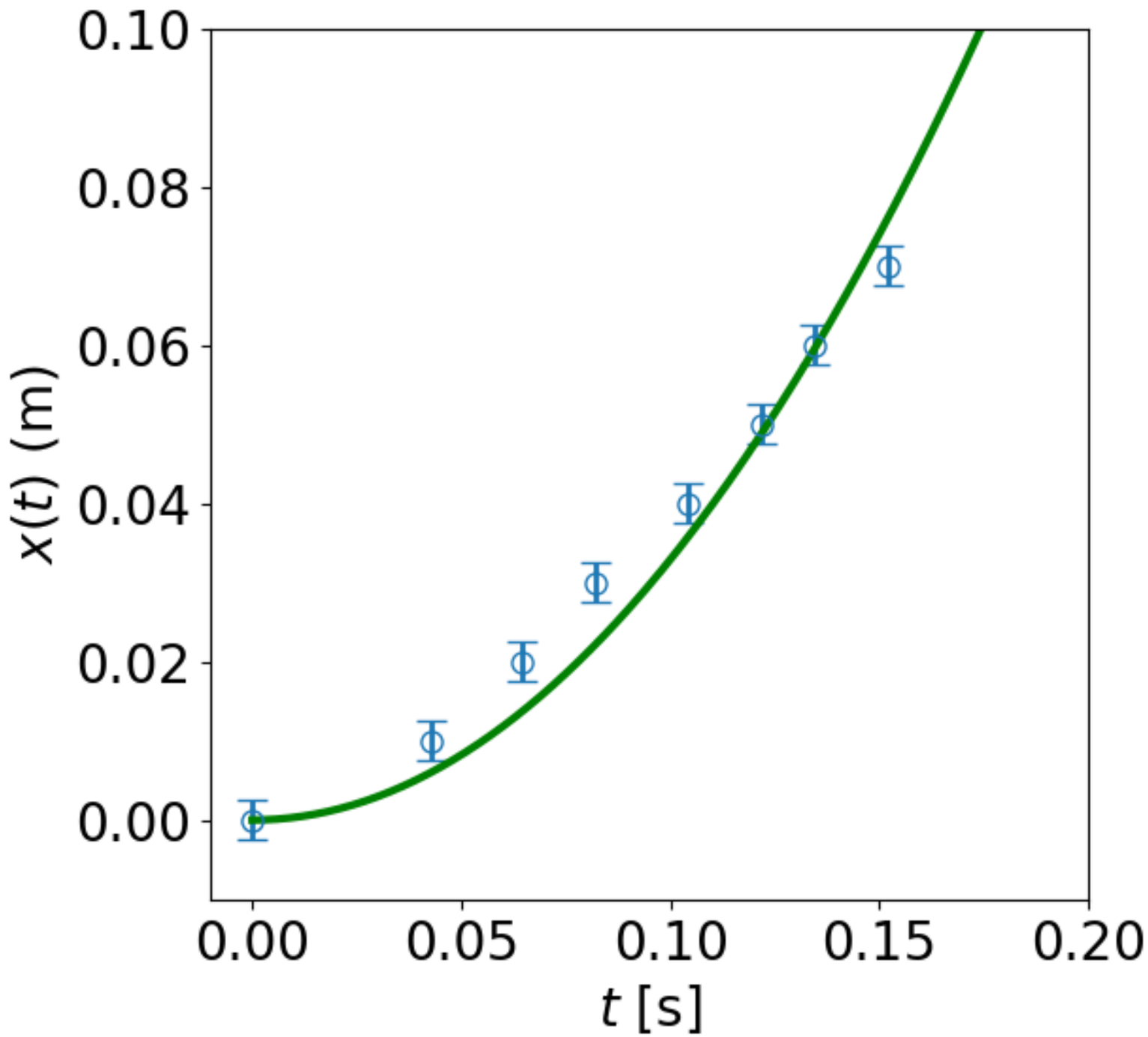


Mise en evidence de la force de tension de surface

$$m\boldsymbol{a} = \sum \boldsymbol{F}$$

$$\boldsymbol{F} = \gamma L$$

$$\gamma = 14 \pm 2 \text{ mN/m}$$



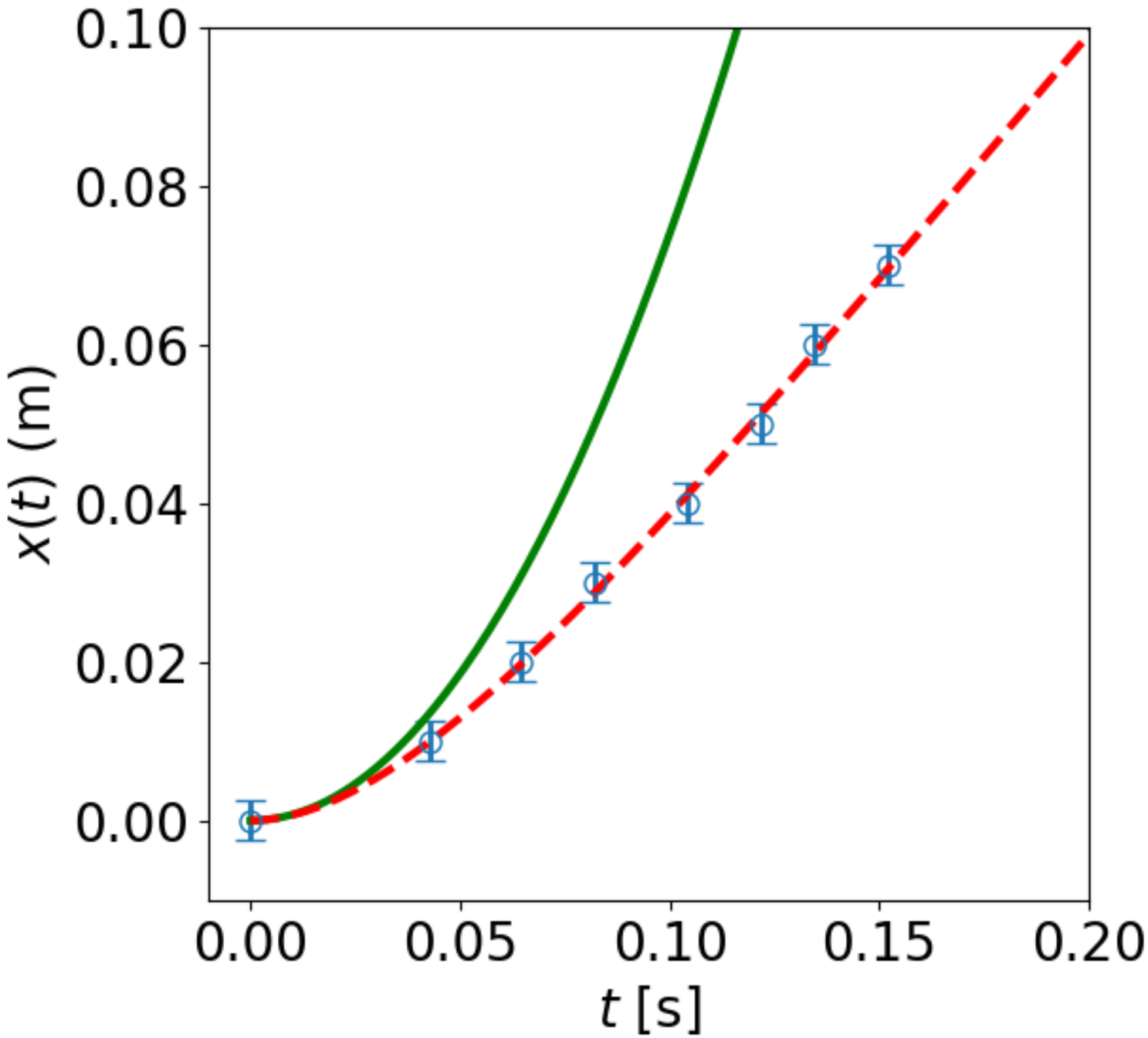
Mise en evidence de la force de tension de surface

$$ma = \sum F$$

$$F = \gamma L - f_r v$$

$$\gamma = 32 \pm 2 \text{ mN/m}$$

$$f_r = 0.01 \text{ N.s/m}$$

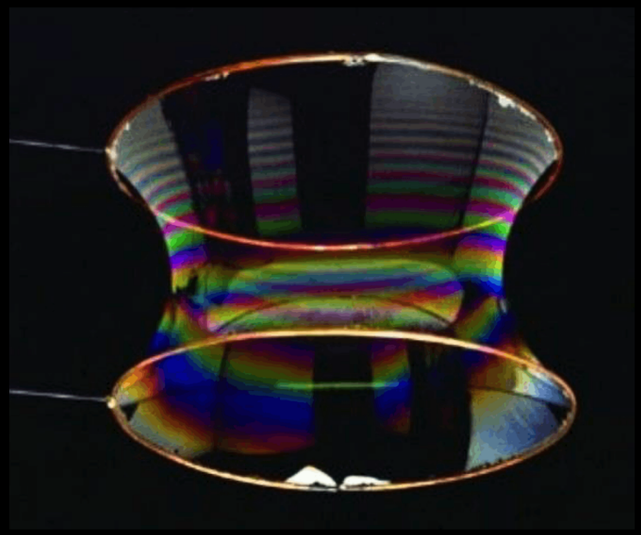


Origine de f_r ?

Des expériences de physique à faire chez soi !

Mardi 04/06/2024
Marcher sur l'eau :
la tension de surface

Pierre Muller
Chargé de Recherche
CNRS
Institut Charles Sadron



Mardi 11/06/2024
Histoires de courbure :
Surfaces minimales…

Thierry Charitat
Professeur de Physique
Université de Strasbourg
Institut Charles Sadron

Faculté de physique et ingénierie
Université de Strasbourg