



## ***Nano-électrodes***

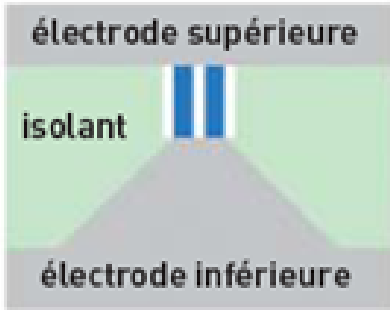
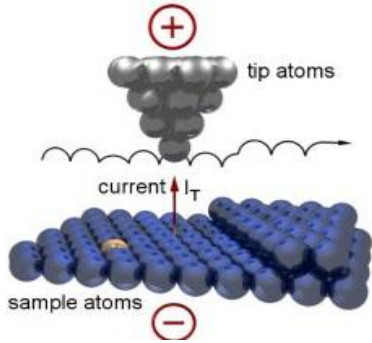
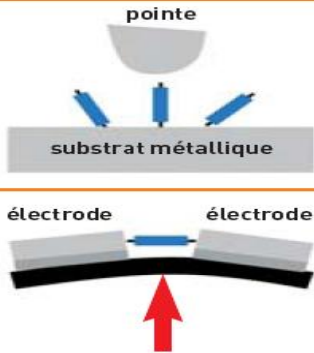
***pour contacter une molécule unique***

***M. Alwan, H. Klein, N. Candoni et Ph. Dumas***

***CiNaM CNRS – Campus de Luminy, Case 913, 13288 Marseille Cedex 09, France,  
Département Sources et Sondes Ponctuelles***

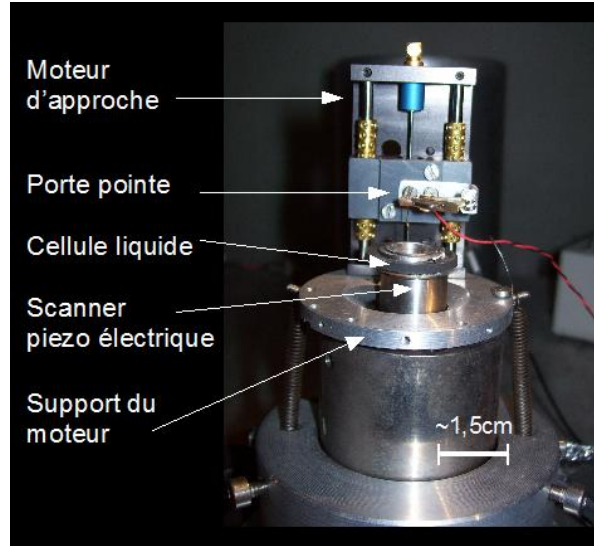
# Techniques de mesure de $G_{\text{molécule}}$

**Créer 2 pinces d'or de taille nanométrique pour connecter une molécule unique et mesurer sa conductance**

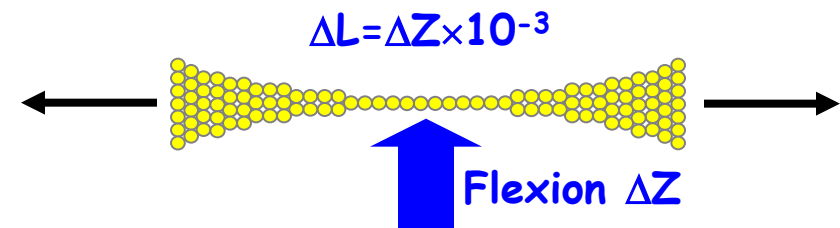
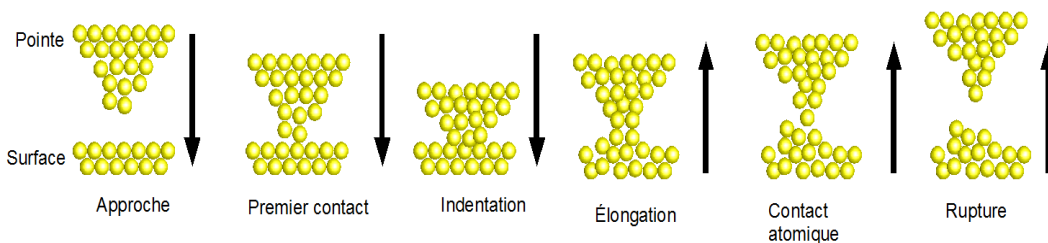
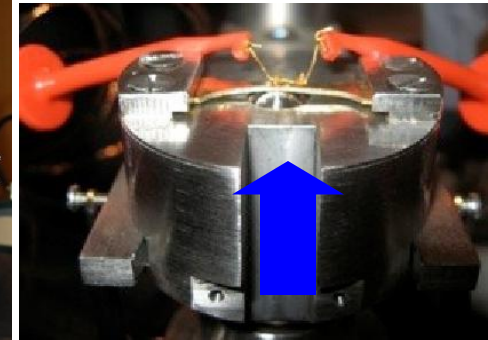
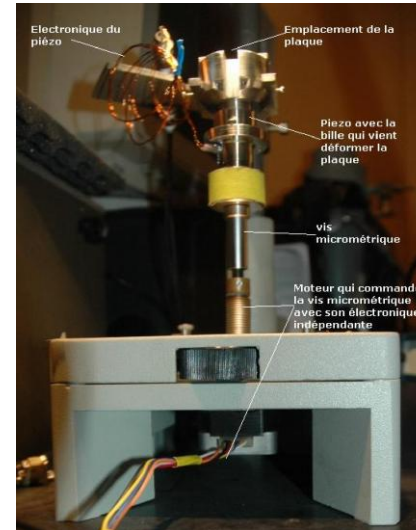
|  | Gap fixe   | Gap variable   | $G_{\text{mol}}$   |
|--|--|--|--|
| <p><b>Surface de contact</b><br/>~ 25nm<sup>2</sup></p> <p>↔ 100 molécules ?</p> |   |  | <p><math>G_{\text{octanedithiol}} = 0,1\text{nS} - 1\mu\text{S}</math></p> |
| <p><b>Surface de contact</b><br/>&lt; 1nm<sup>2</sup></p> <p>↔ 1 molécule</p>    |  |  | <p><math>G_{\text{octanedithiol}} = 1 - 10\text{nS}</math></p>             |

# 2 dispositifs de jonction brisée

## Scanning Tunneling Microscopy Break Junction (STM-BJ)



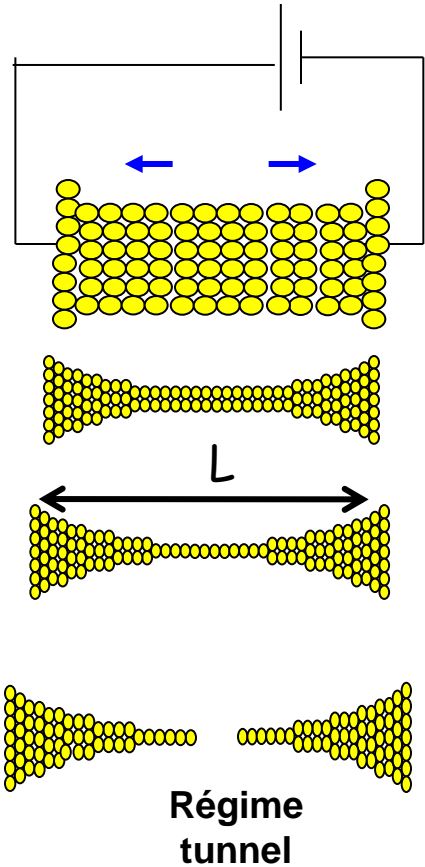
## Mechanically Controlled Break junction (MCBJ)



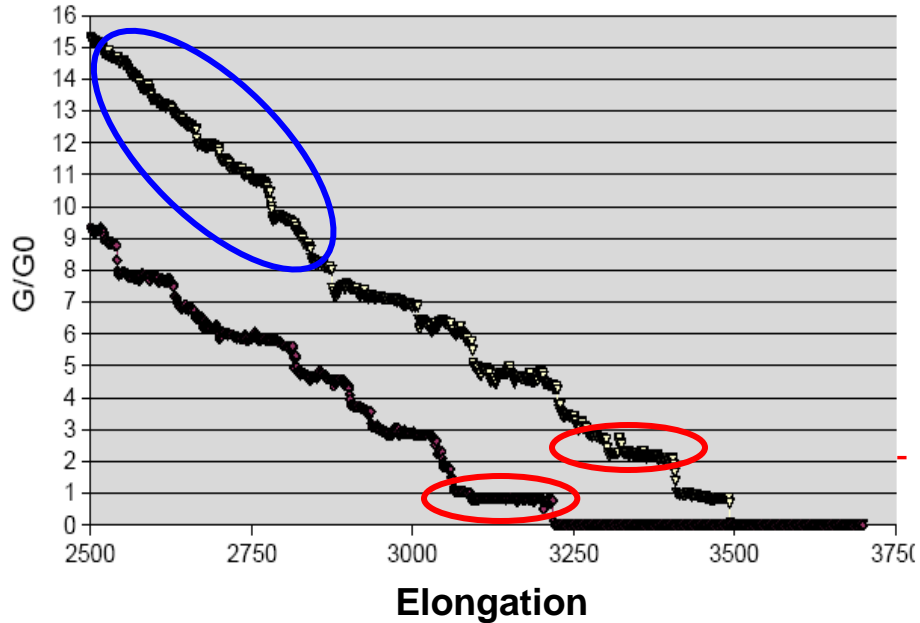
**Systeme flexible mais peu stable**

**Systeme rigide et donc stable**

# Conductance du fil d'or en fonction de son élongation



Courbes de Conductance  $G = f(\text{Elongation } L)$

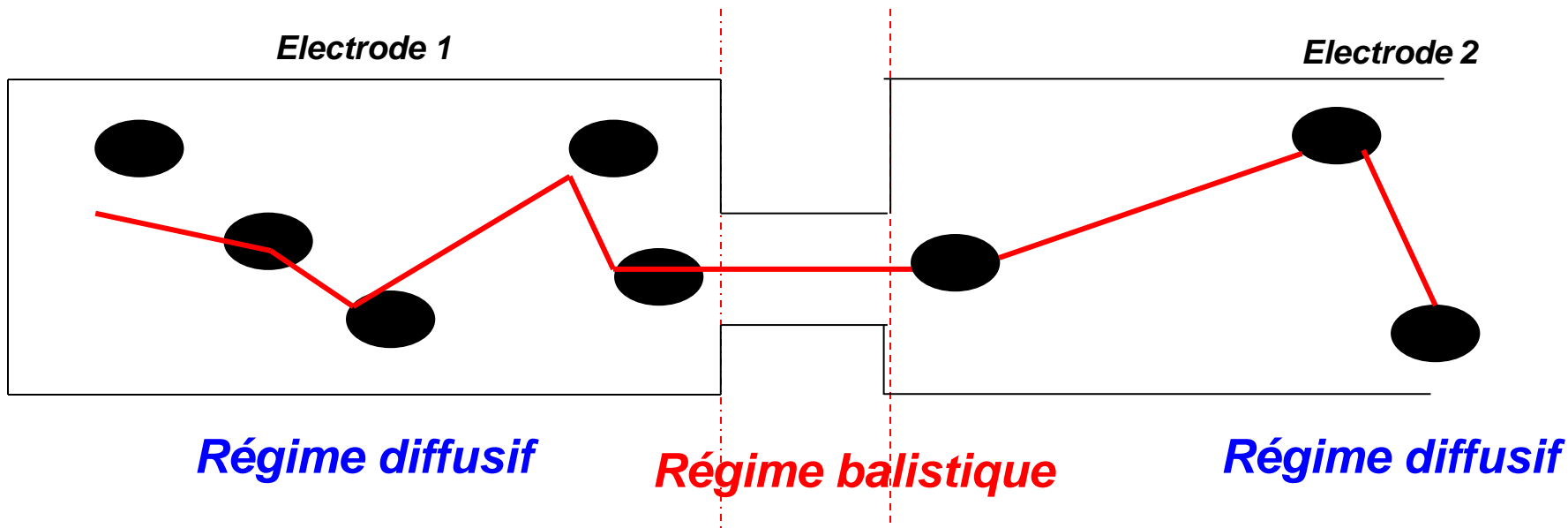


La conductance diminue de façon linéaire en fonction de la longueur

La conductance est :  
- indépendante de la longueur

→ 2 régimes de transport électronique

# Transport balistique



Conducteur de dimensions  
macroscopiques

Régime diffusif

$L \gg$  libre parcours moyen

**$G$  dépend de  $L$**

$$G = \sigma \cdot S / L$$

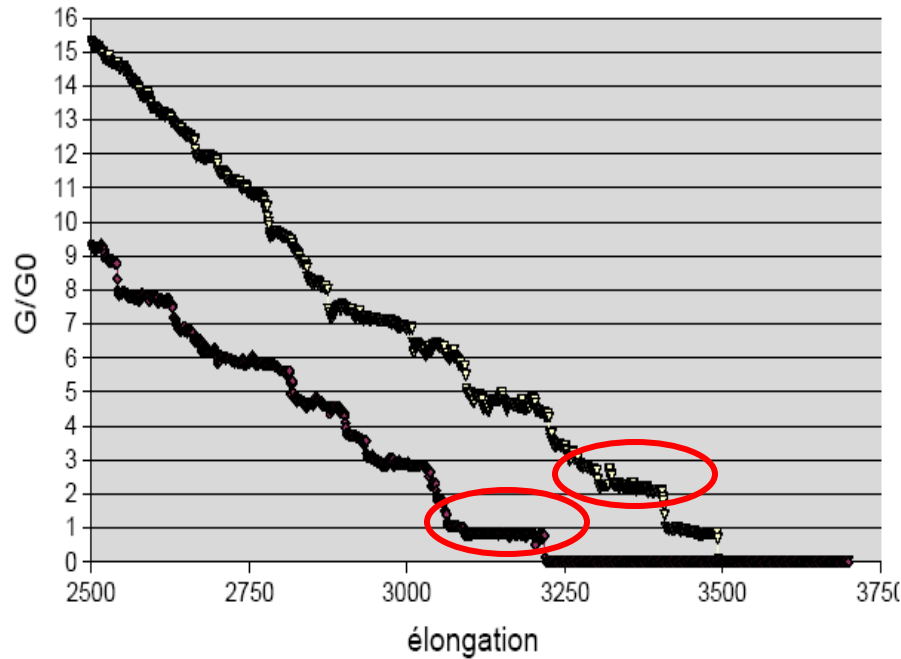
Conducteur de dimensions  
nanoscopiques

Régime balistique

$L <$  libre parcours moyen

**$\rightarrow G$  indépendant de  $L$**

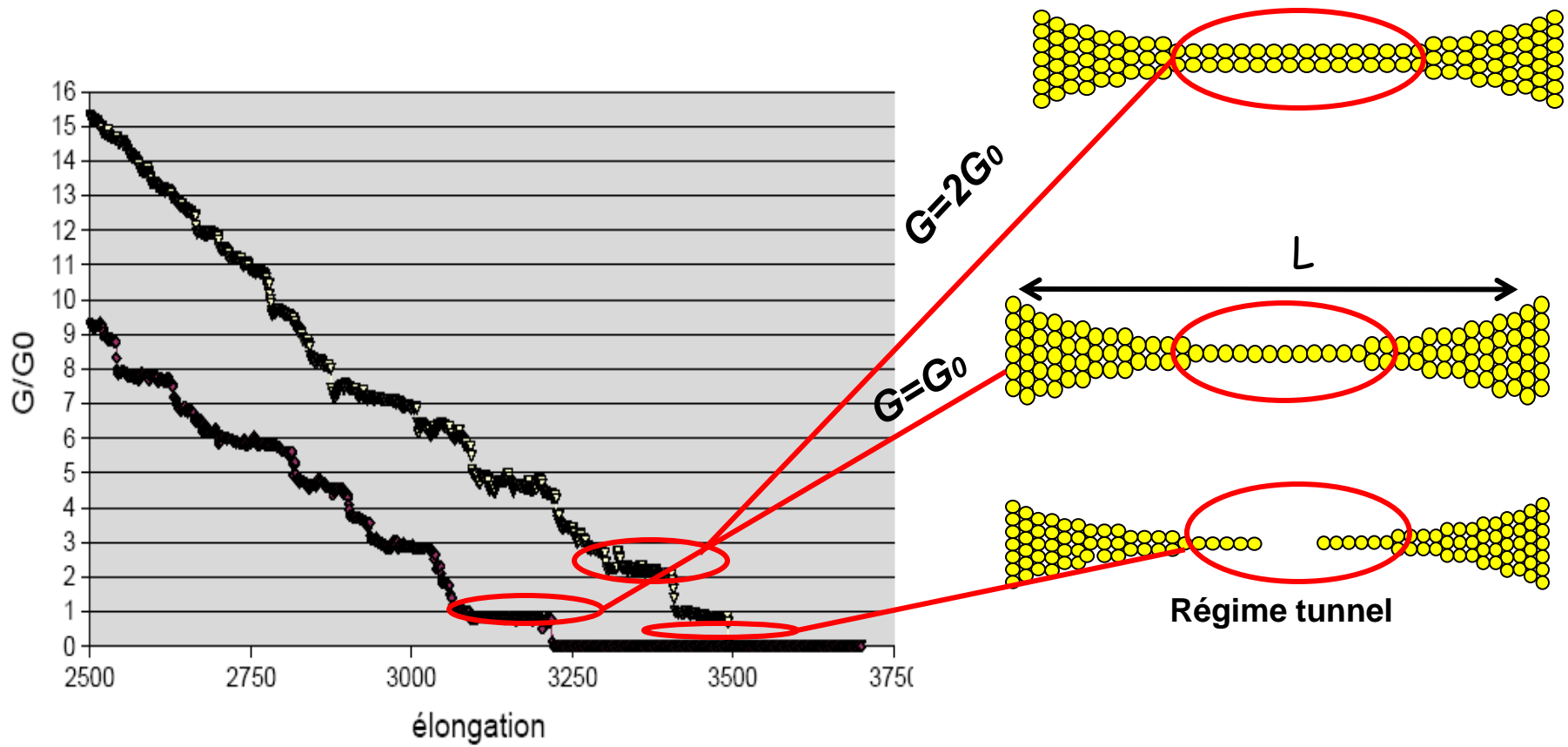
# Plateaux de conductance du fil d'or



*Pour un canal de conduction  $G = TG_0$  avec  $G_0 =$  quantum conductance  $= G_0 = 2e^2/h$   
canal de conduction parfait  $\rightarrow T=1$*

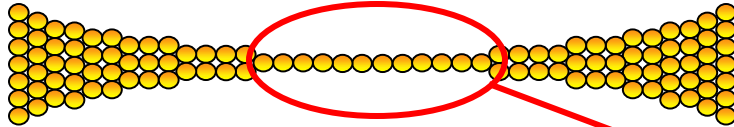
*Cas particulier de l'or :*

- $G = G_0$  pour un fil de section monoatomique
- $G = 2G_0$  pour un fil de section diatomique

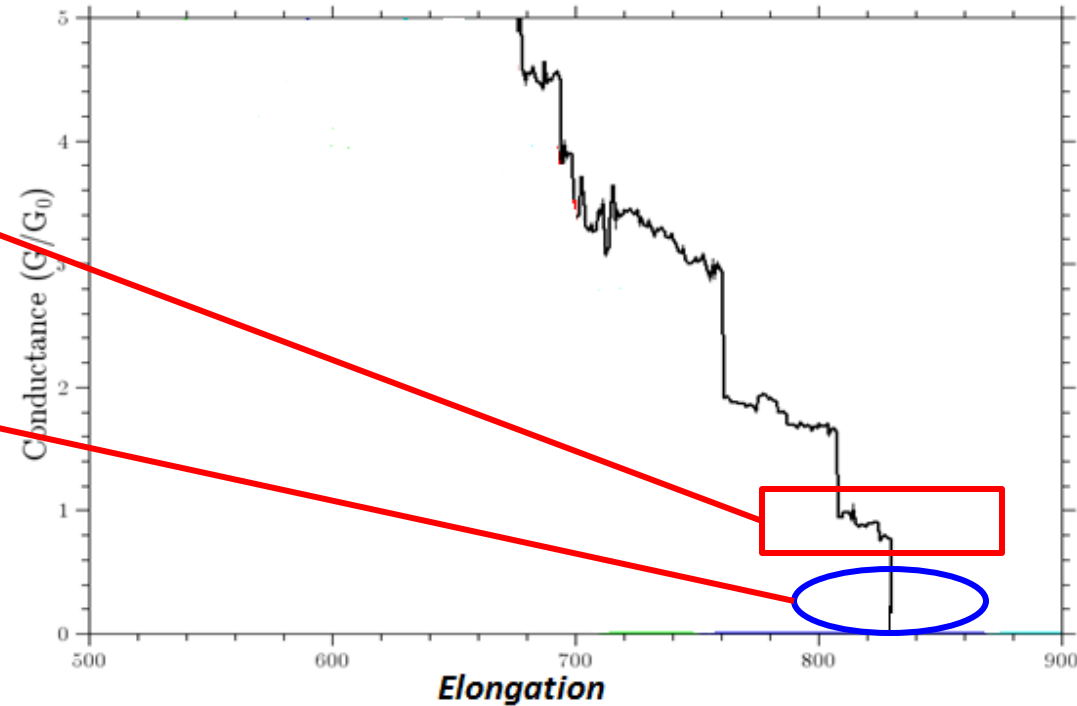
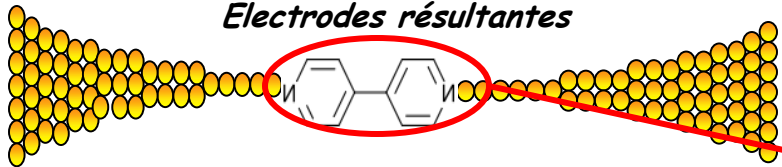


# Mesure de la conductance d'1 molécule

Chaîne monoatomique d'or



Electrodes résultantes

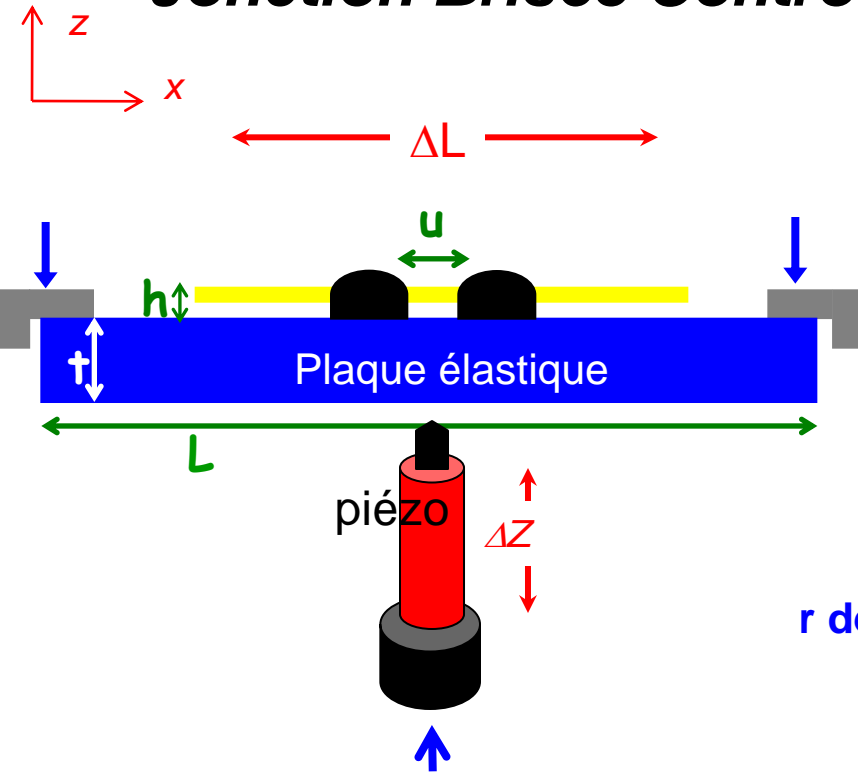
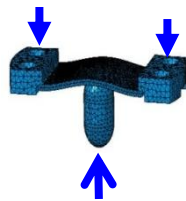


Molécules  $\rightarrow$  plateaux de conductance  $G \ll G_0$

$\nearrow$  Temps d'observation de la molécule



# Jonction Brisée Contrôlée Mécaniquement (MCBJ)



$\Delta Z$  : déformation de la plaque élastique suivant l'axe Z

$\Delta L$  : élongation du fil en traction suivant l'axe X

Effet de démultiplication

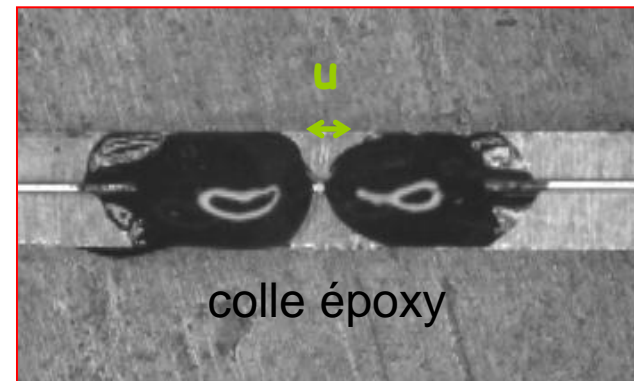
$$\Delta L = \Delta Z \times r \text{ avec } r \ll 1$$

r dépend des paramètres géométriques de la plaque

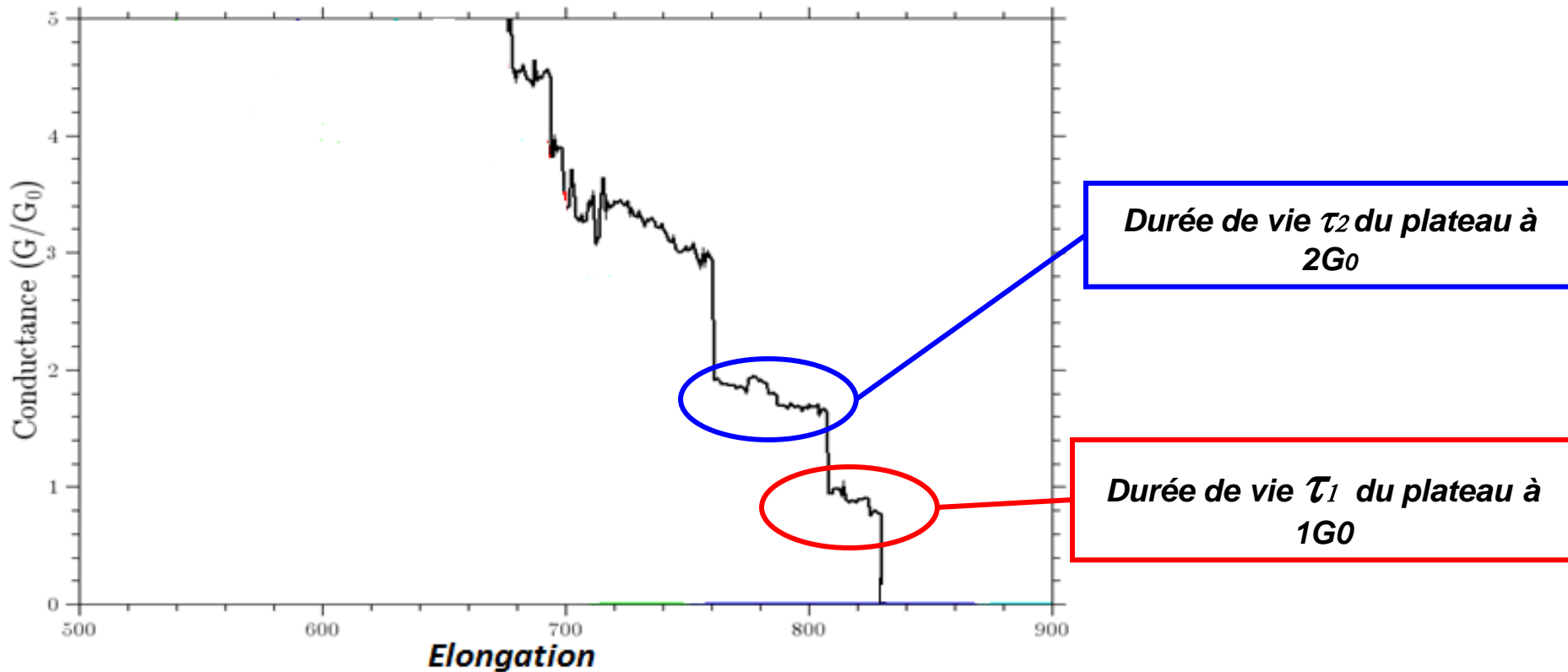
$$r = k \cdot u$$

$$u = 0,2 \text{ mm} : r \sim 10^{-3}$$

$$\Delta z = 1 \text{ nm} \rightarrow \Delta l = 1 \text{ pm}$$



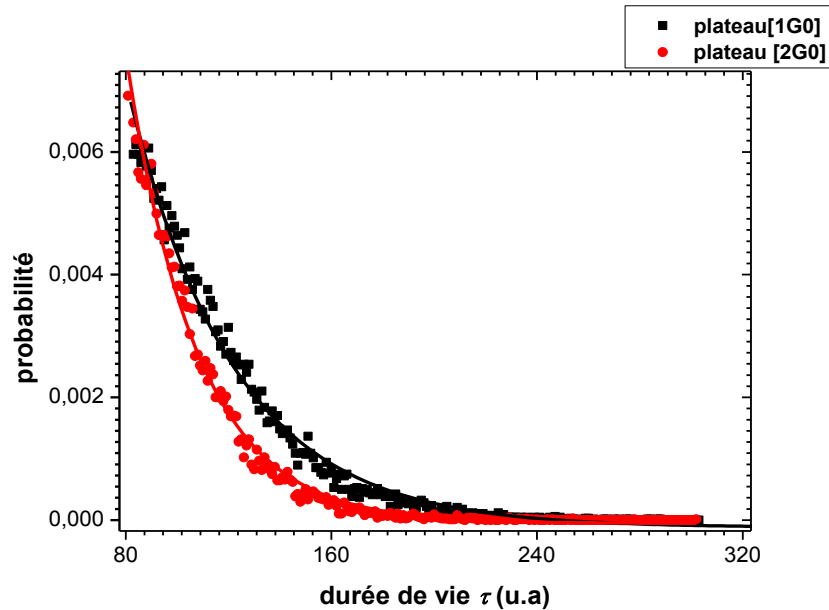
**À une vitesse d'élongation donnée**



**À une vitesse donnée:  
élongation=f(temps)**

# Durée de vie du fil d'or $t$ à une vitesse donnée

Histogramme de la durée de vie des plateaux à  $1G_0$  et  $2G_0$



*Probabilité suit une loi  
de décroissance exponentielle  
→ phénomène de rupture aléatoire*

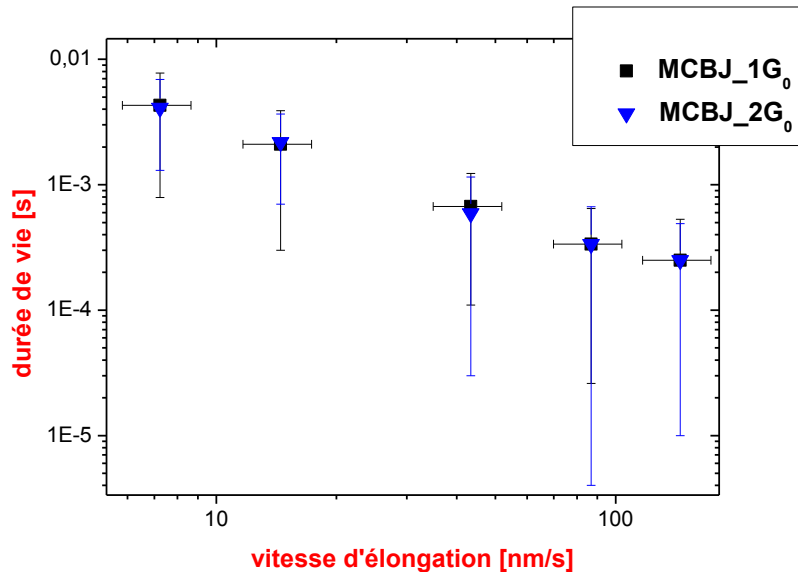
Statistique sur plus de 75000 expériences

***Donc la rupture est provoquée par :***

- l'agitation thermique***
- les perturbations extérieures***
- La contrainte appliquée à la jonction lors de l'élongation***

# Influence de la vitesse d'élongation sur $\tau$

Gamme de vitesse d'élongation [7,3nm/s à 145nm/s]



⇒ Durée de vie  $\searrow$  quand  $v \nearrow$

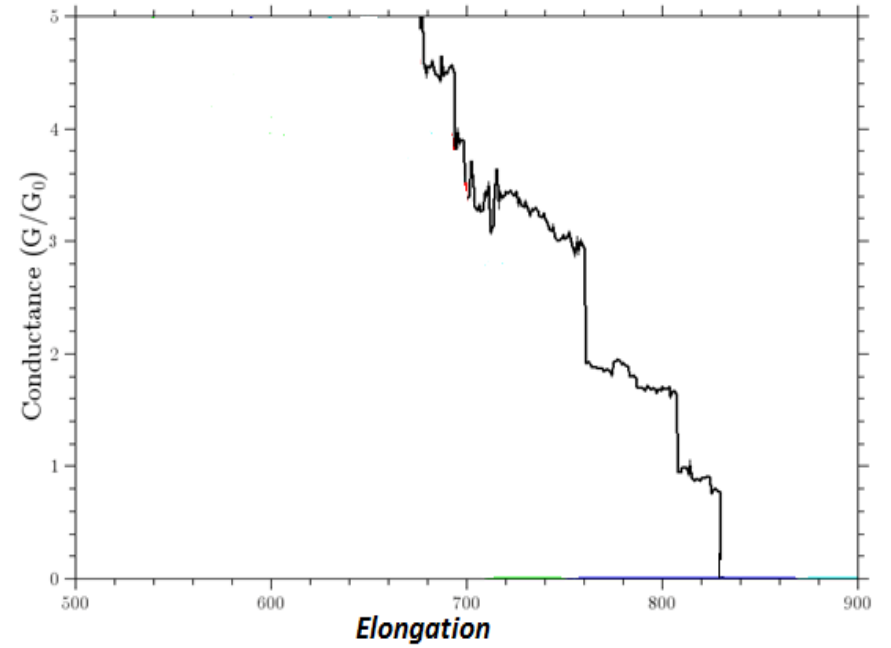
*Donc la rupture est provoquée par :*

- ~~l'agitation thermique~~
- les perturbations extérieures ~~indépendantes de la vitesse d'élongation~~

**- la contrainte appliquée à la jonction lors de l'élongation**

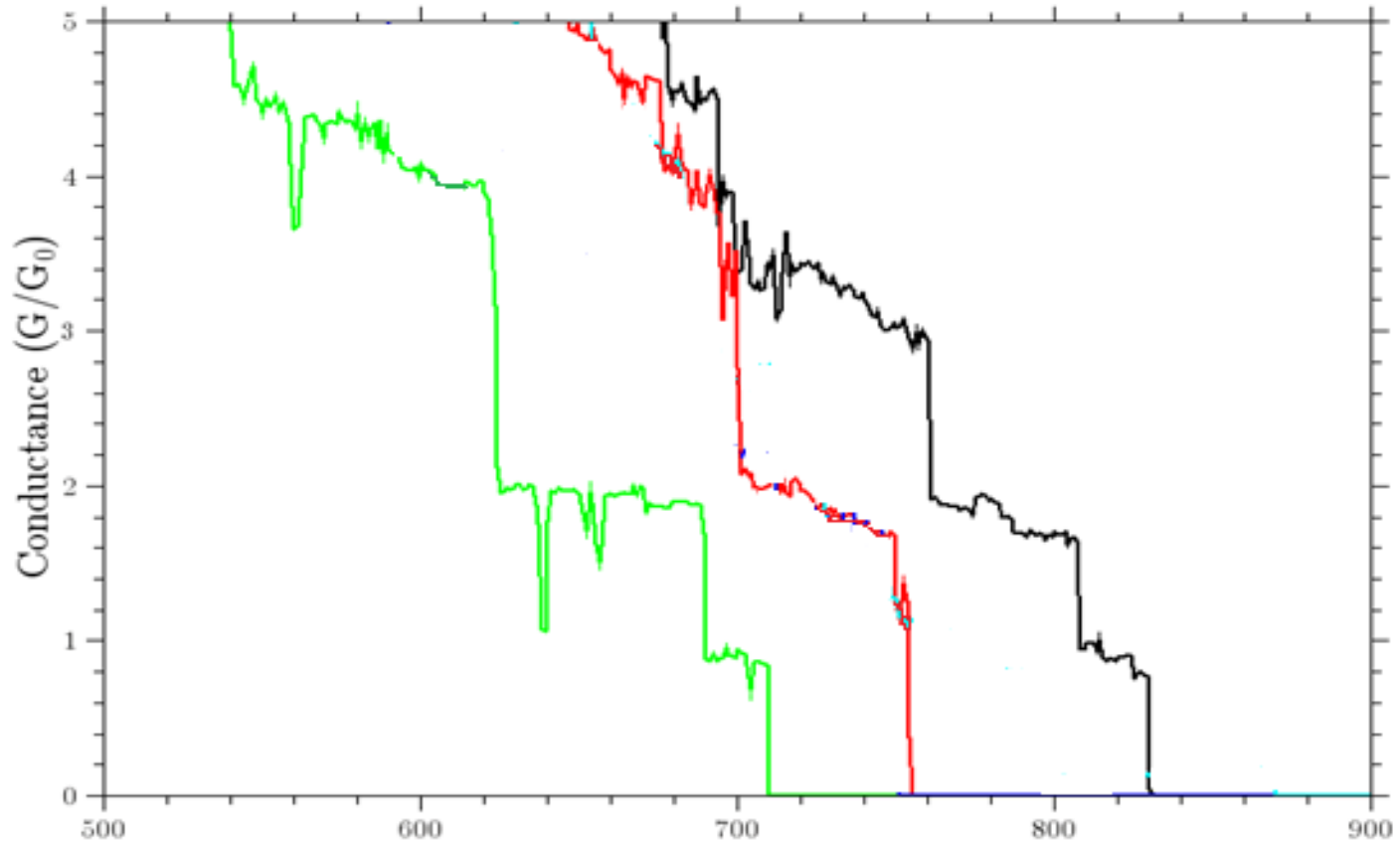


***Corde déjà contrainte***

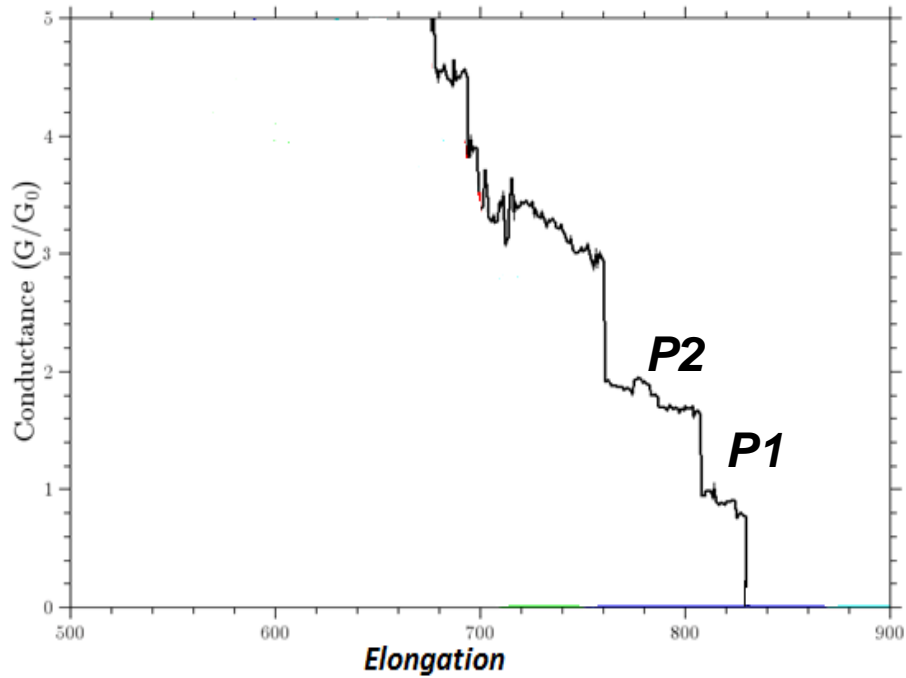


***Rupture séquentielle***

## Différentes allures des courbes de conductance



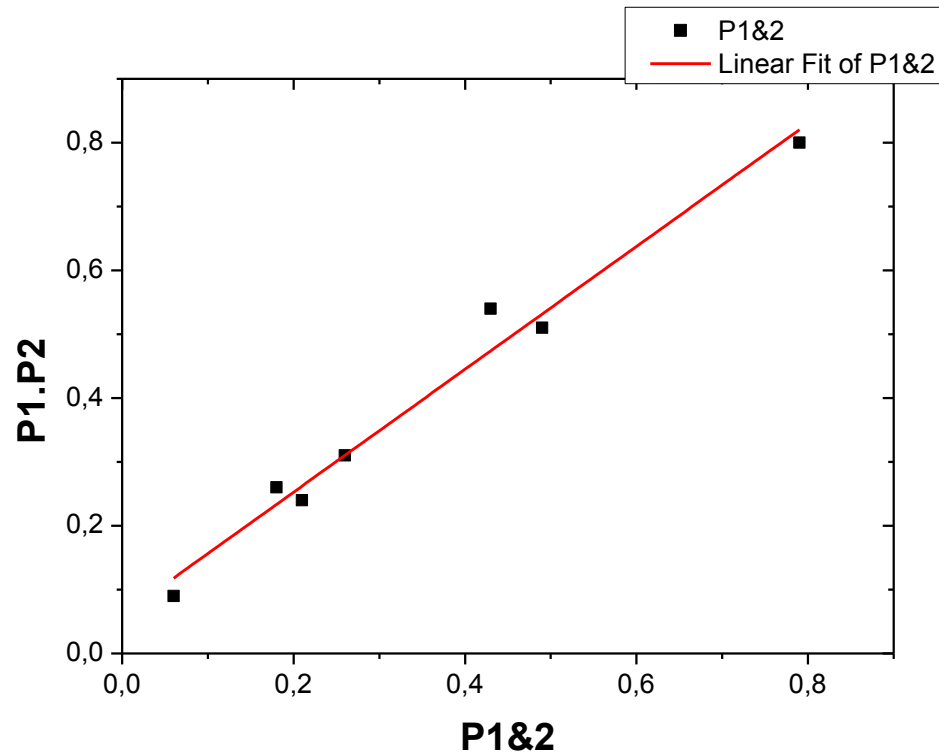
*La rupture n'est pas toujours séquentielle*



***P1&2: probabilité d'apparition des 2 plateaux à 1G<sub>0</sub> et 2G<sub>0</sub> sur la même courbe d'élongation.***

***Si  $P1=P2$   $\longrightarrow$   $P1\&2=P1^2$***

# ***Probabilités de présence du plateau à $1G_0$ et $2G_0$***

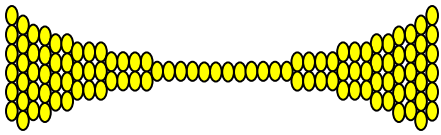
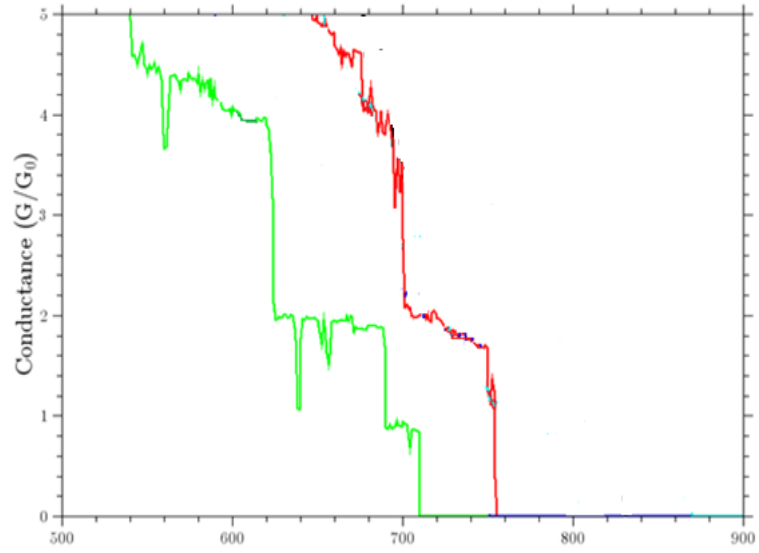
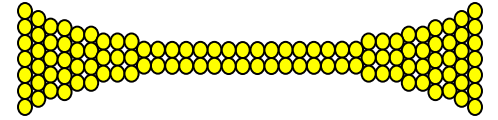
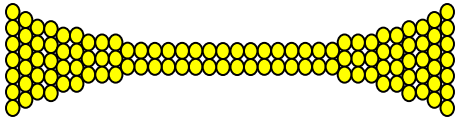


$$***P1.P2 = P1\&2***$$

***→ les plateaux à  $1G_0$  et à  $2G_0$***

***sont statistiquement indépendants***



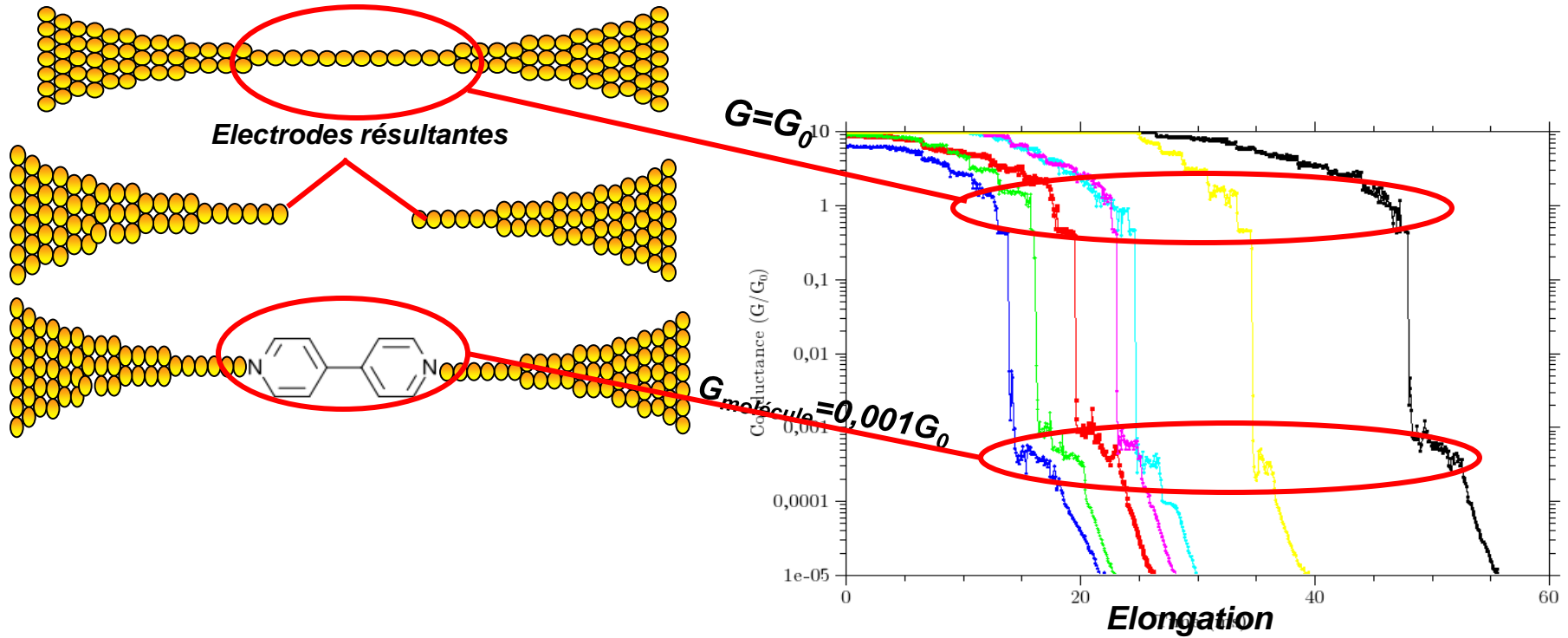


# **Jonction d'or**

***Rupture provoquée par la contrainte***

***MCBJ → Améliorer la durée de  
vie= diminuer la vitesse  
d'élongation***

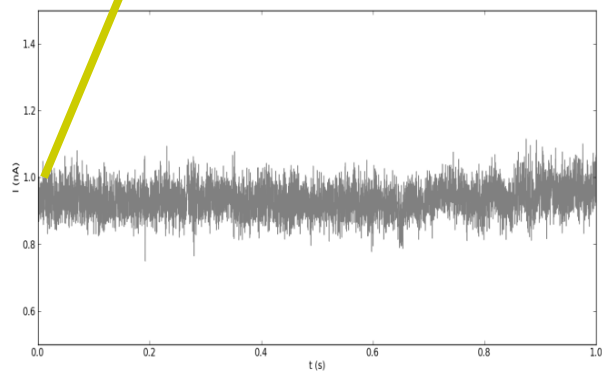
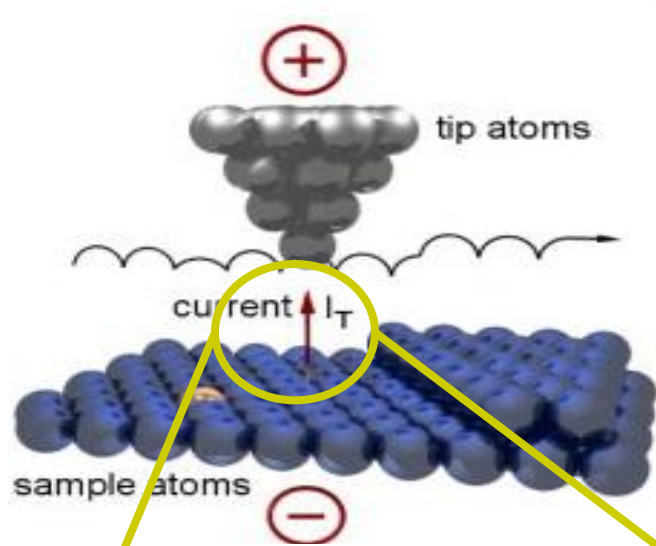
# Mesure de la conductance d'1 molécule



$I_{\text{nanojonction d'or}} \sim 1\mu\text{A}$  et  $I_{\text{molécule}} \sim 1\text{nA}$

**Amplificateur logarithmique**

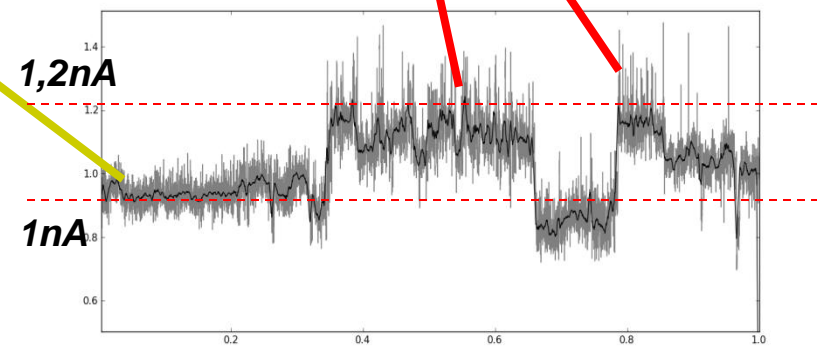
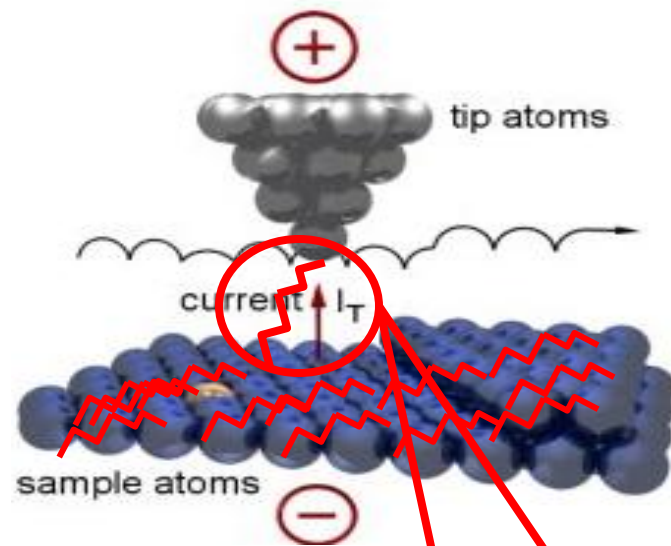
# Molécule octaméthylène-diamine avec STM sous vide



$I$ (nA)





$t$ (s)

**1nA pendant 1s**



**Mesure du courant d'une molécule**

## **Conclusion**

| <i>gap variable</i>   | <i>gap fixe</i>   |
|---|---|
| <b>Contrainte appliquée</b>  | <b>Pas de contrainte</b>     |
| <b>Statistique</b>           | <b>Moins de statistique</b>  |

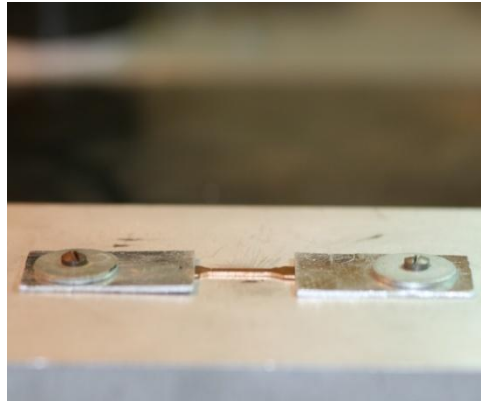
## **Perspective**

**Etudier une même molécule  
dans les 2 techniques**

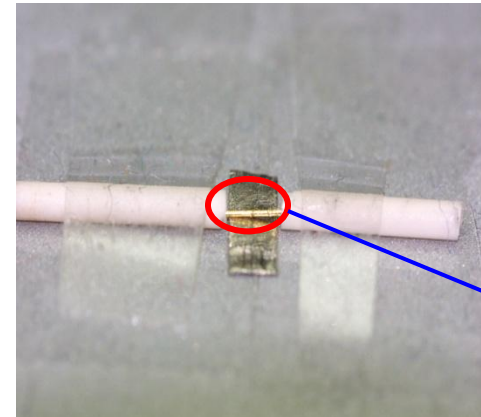


# Méthode de fabrication

*Fixer le fil d'or avec des points de colle espacés de  $u = 0,2-0,3$  mm*

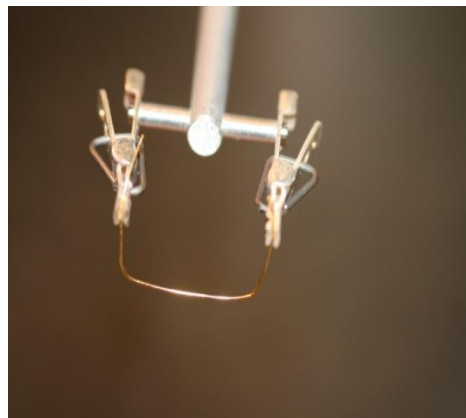
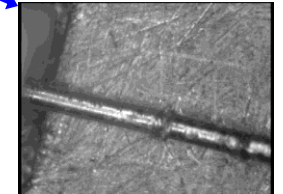


*Support pour tenir la plaque de bronze phosphoreux*

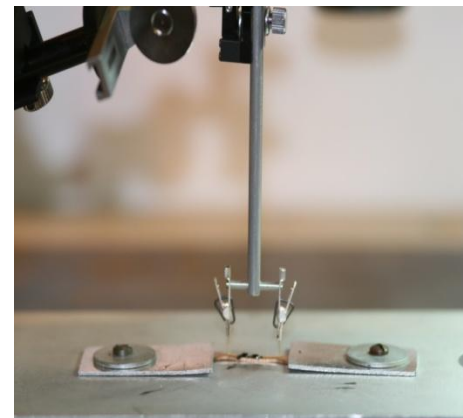


*Tube roulant pour entame le fil d'or tour autour*

**Zoom**



*Pincers pour tenir le fil d'or  
( $\varnothing 250\mu\text{m}$ )*



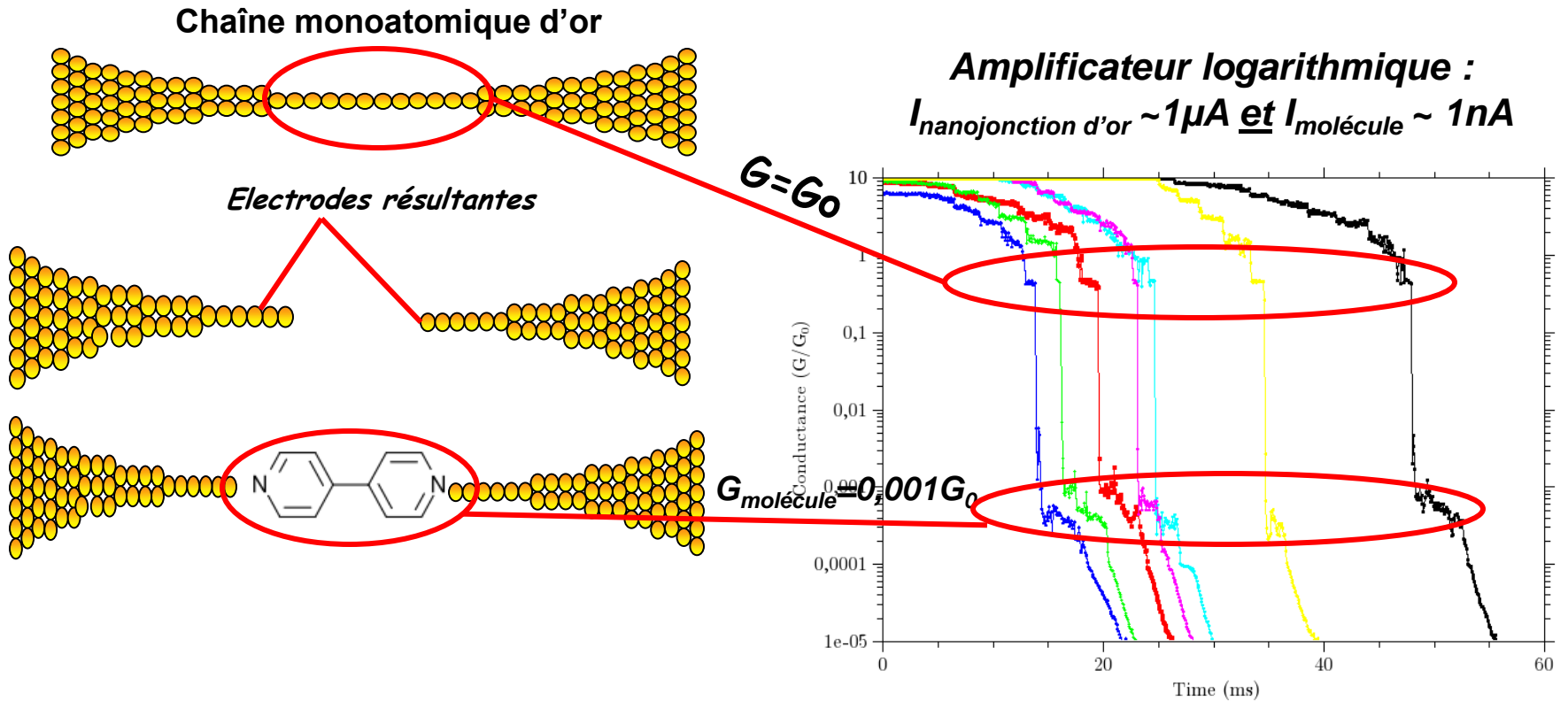
*Manipulateur à trois axes (x,y,z)  
pour placer le fil  
sur les points de colle*

$$r = 12(t/2+h)*u/(L^2)$$

$$G_{or} = \sum_{n=1}^N G_o$$



# Mesure de la conductance d'1 molécule



Molécules → plateaux de conductance  $G \ll G_0$

↗ Temps d'observation de la molécule