



Remise du prix Cnano – J3N – 8 novembre 2010 à Lille – A.Plecis



# Sur la route du microprocesseur fluide

Adrien Plecis

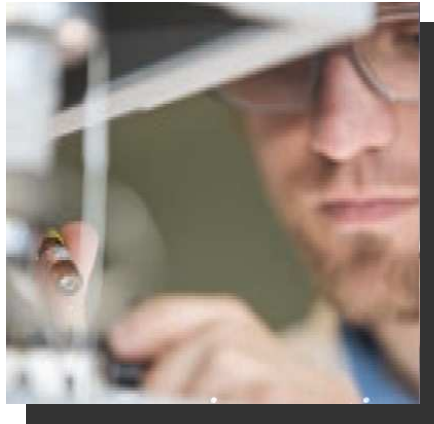
Laboratoire de Photonique et Nanostructures  
(LPN-CNRS, UPR 20, Marcoussis, FRANCE)

Directeur de thèse : Prof. Chen

Date : 28 Novembre 2008



# Diagnostic et société



- Diagnostic médical en forte croissance
  - > **Capacité d'analyse**
  - > **Rapidité de l'analyse**

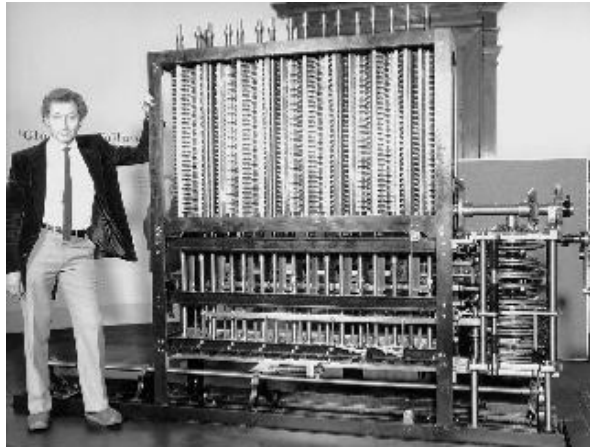
- Menaces sanitaires (épidémies, grippe aviaire, bioterrorisme,... )
  - > **analyse continue et in situ**



- Qualité environnementale (agro-alimentaire, réseau d'eau, climatisation...) -> **Analyse abordable**



# Microélectronique et laboratoire sur puce

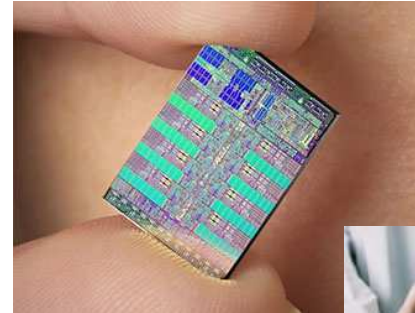


*Machine différentielle de C.Babbage*

Besoin croissant



*Circuits microélectroniques*

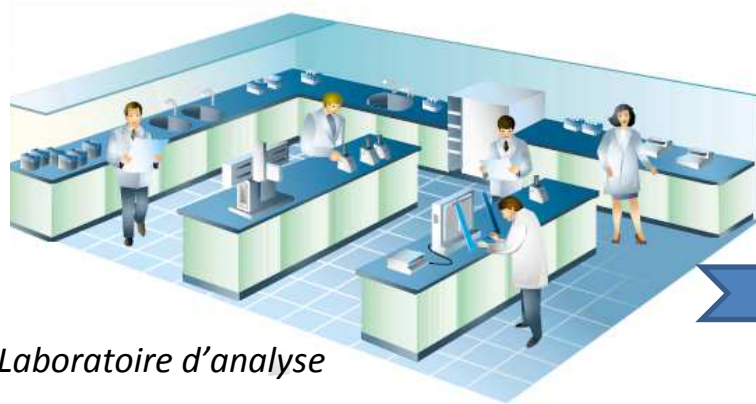


*1 milliard de transistors -> algorithmes complexes*

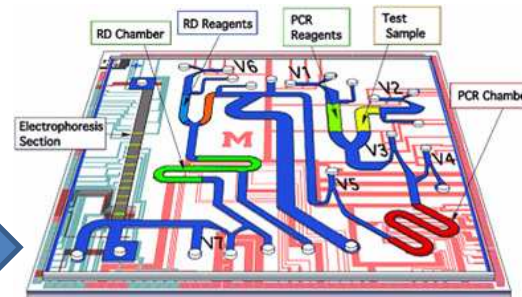
*Production standardisée -> grande fiabilité*



*Production de masse -> faible coût*

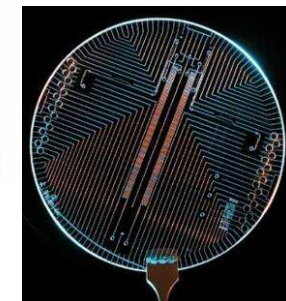


*Laboratoire d'analyse*



*Laboratoire sur puce*

*Microfluidique*

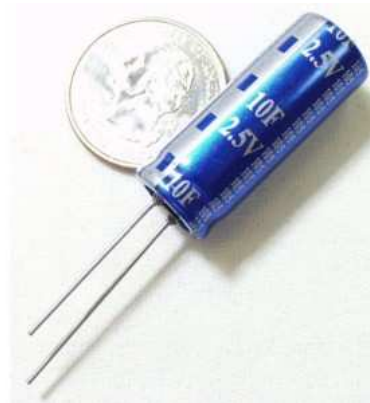


# A l'origine, des composants simples

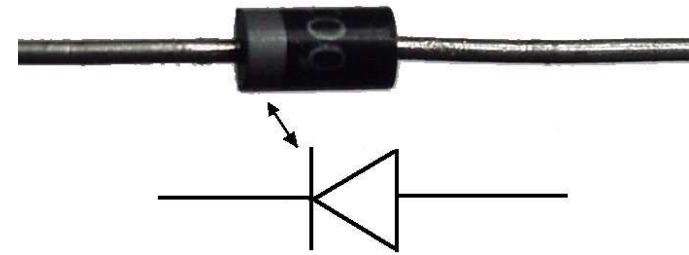
résistance



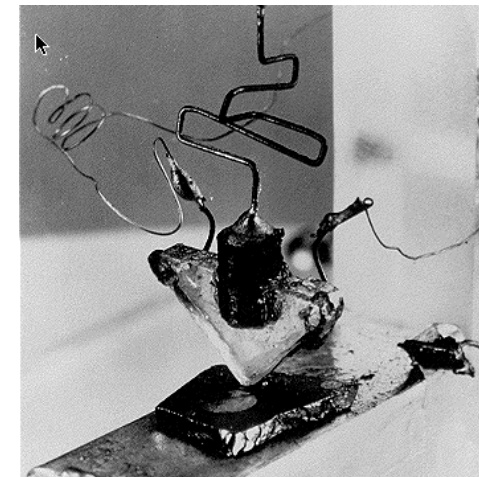
capacité



diode



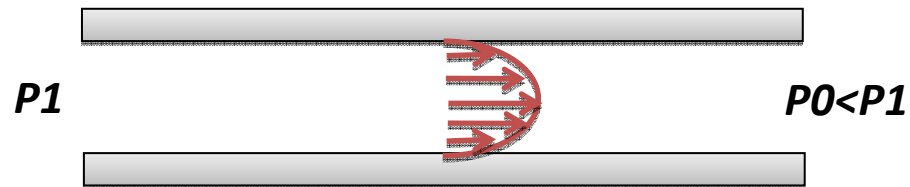
transistor



*Peut-on manipuler les molécules  
comme des électrons ?*

*Comment réaliser les fonctions  
simples de l'électronique en  
fluidique ?*

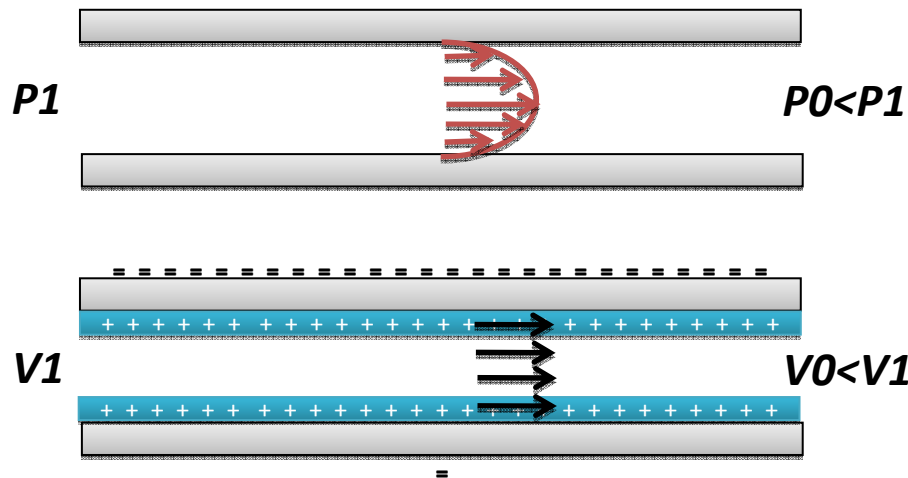
# Transport microfluidique : 3 composantes



- *Gradient de pression met le liquide en mouvement (vitesse du liquide dépend de la géométrie du canal -  $R_{fluid} > 0$ )*

$$J_{TOT} = R_{fluid} \cdot \Delta P \cdot \Delta V$$

# Transport microfluidique : 3 composantes

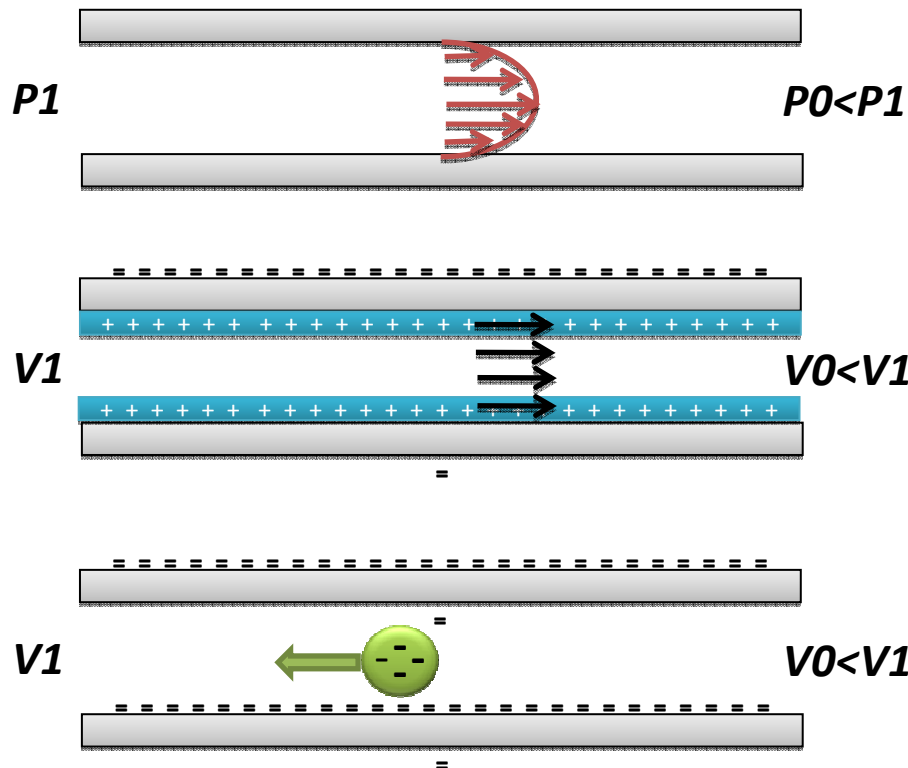


• *Gradient de pression met le liquide en mouvement (vitesse du liquide dépend de la géométrie du canal -  $R_{fluid} > 0$ )*

• *Champs électrique met le liquide en mouvement (flux électro osmotique FEO dépend de la charge de surface du canal –  $R_{FEO} > \text{ou} < 0$ )*

$$J_{TOT} = R_{fluid} \cdot \Delta P + R_{FEO} \cdot \Delta V$$

# Transport microfluidique : 3 composantes



• **Gradient de pression met le liquide en mouvement (vitesse du liquide dépend de la géométrie du canal -  $R_{fluid} > 0$ )**

• **Champs électrique met le liquide en mouvement (flux électro osmotique FEO dépend de la charge de surface du canal -  $R_{FEO} > \text{ou} < 0$ )**

• **Champs électrique met les molécules en mouvement ( vitesse électrophorétique dépend de la charge et de la taille des molécules -  $\mu_{elect} > \text{ou} < 0$ )**

$$J_{TOT} = R_{fluid} \cdot \Delta P + R_{FEO} \cdot \Delta V + \mu_{elect} \cdot \Delta V$$

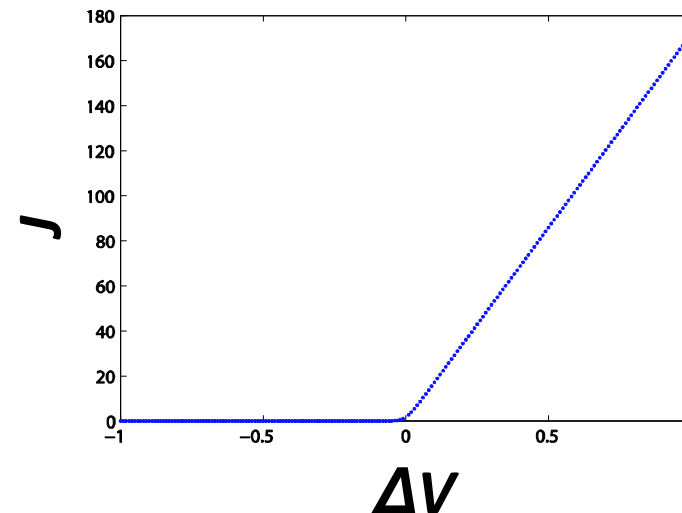
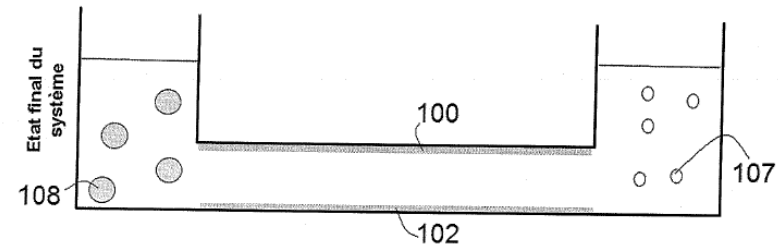
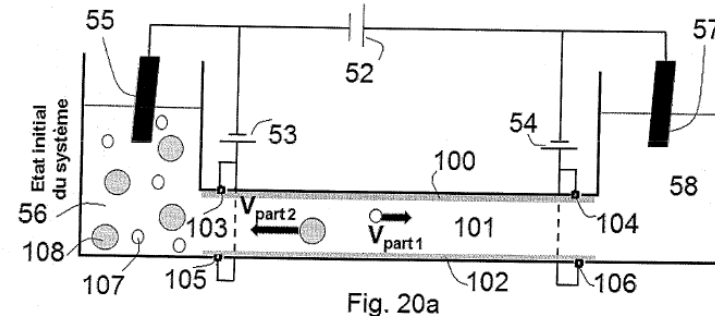
# Transport convectif vs électrique

*Pas de charge de surface => pas de FEO*



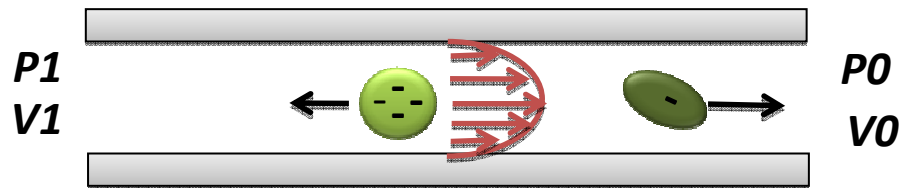
$$J_{TOT} = R_{fluid} \cdot \Delta P + \mu_{elect} \cdot \Delta V > 0?$$

**Effet Diode :** les molécules ne sont transportées qu'à partir d'un champ électrique critique  $\Delta V_{seuil}$  ou d'une pression électrique critique  $\Delta P_{seuil}$  (Seuil dépendant de  $\mu_{elect}$ )



# Transport différentiel

Différentes mobilités  $\mu \Rightarrow$  différents transports  $J$

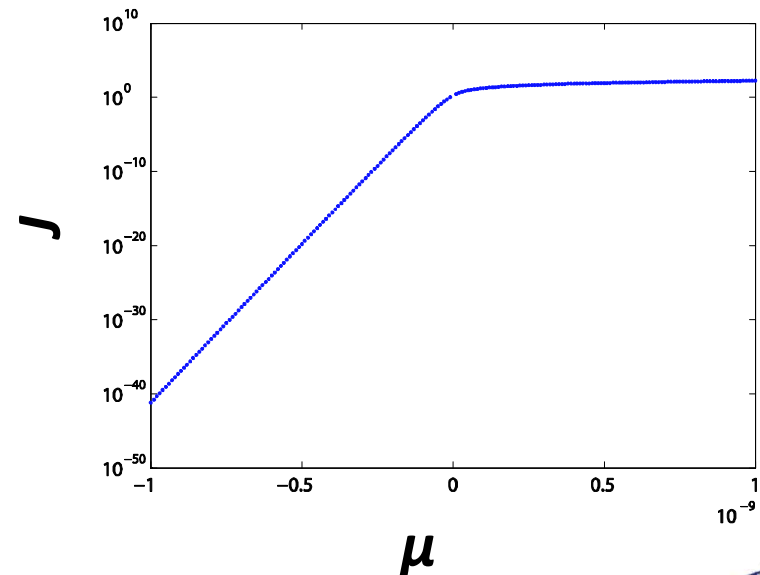
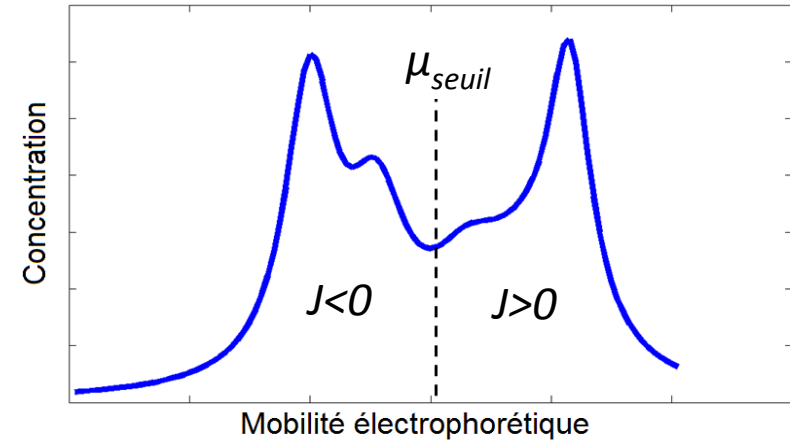


$$J_{TOT} = R_{fluid} \cdot \Delta P + \mu_{elect} \cdot \Delta V > 0?$$

## Effet filtre passe haut

- les molécules lentes ( $\mu < \mu_{seuil}$ ) suivent le flux
- les molécules rapides ( $\mu > \mu_{seuil}$ ) remontent le flux de liquide

Échantillon complexe



## Contrôle total du transport

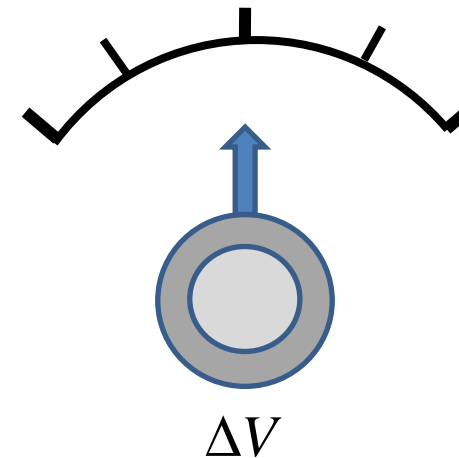
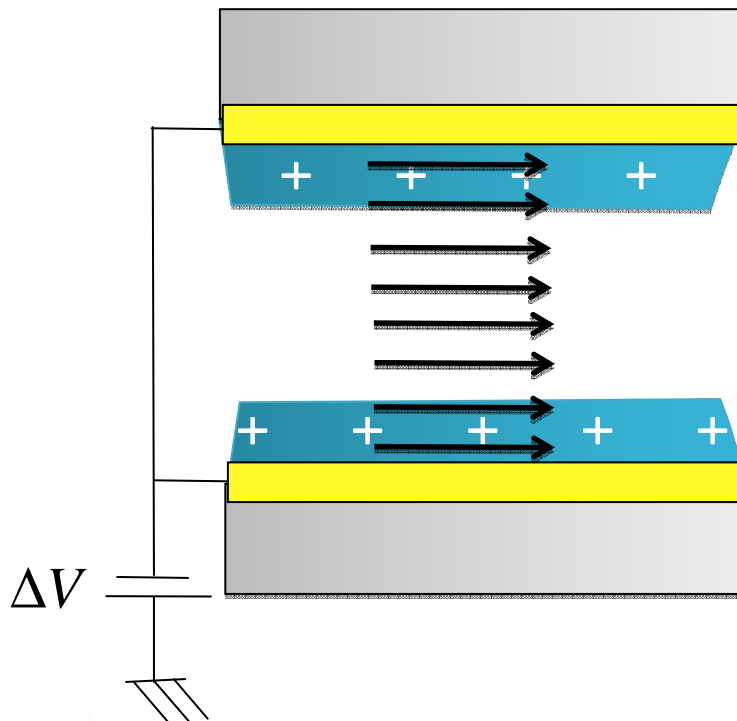
$$J_{TOT} = R_{fluid} \cdot \Delta P + \mu_{elect} \cdot \Delta V + R_{FEO} \cdot \Delta V$$

*Comment contrôler dynamiquement  $R_{FEO}$  ?*

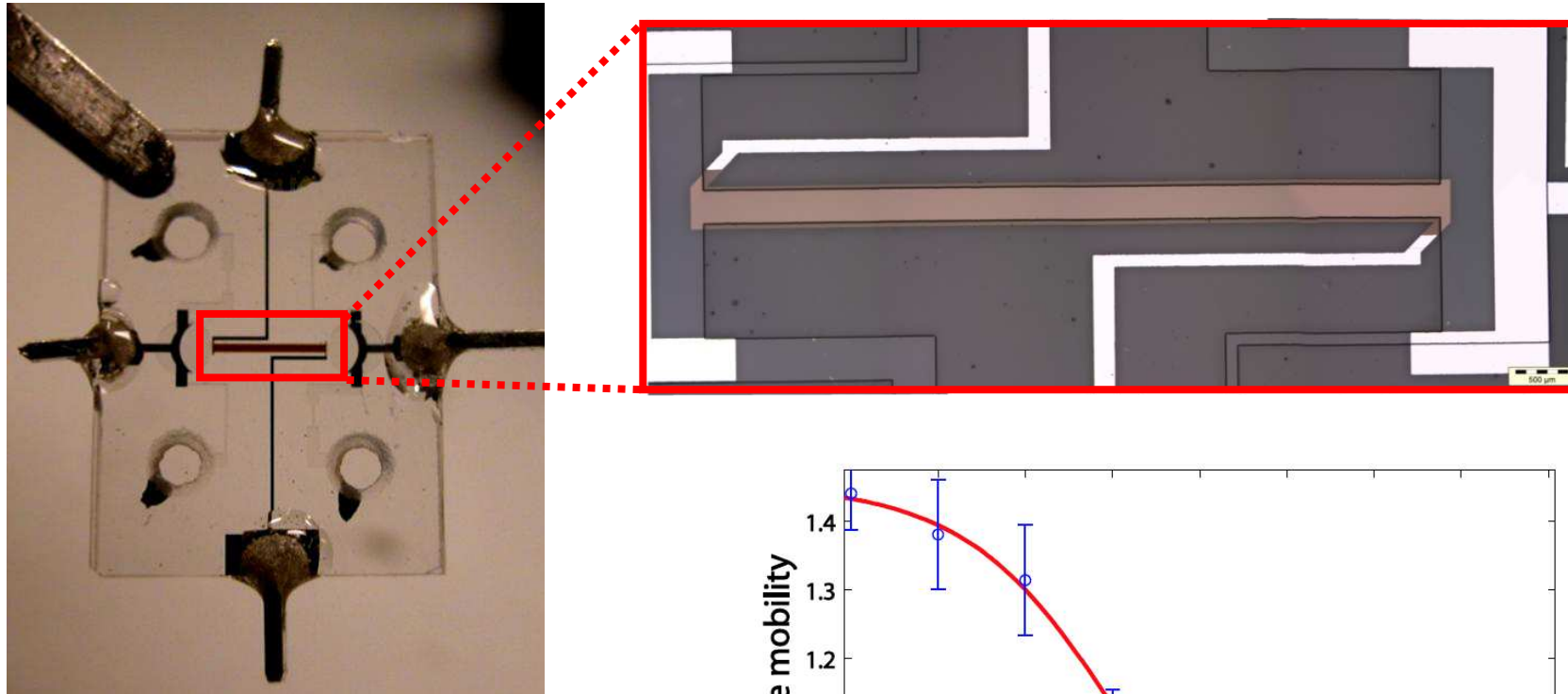
# Contrôle total du transport

$$J_{TOT} = R_{fluid} \cdot \Delta P + \mu_{elect} \cdot \Delta V + R_{FEO} \cdot \Delta V$$

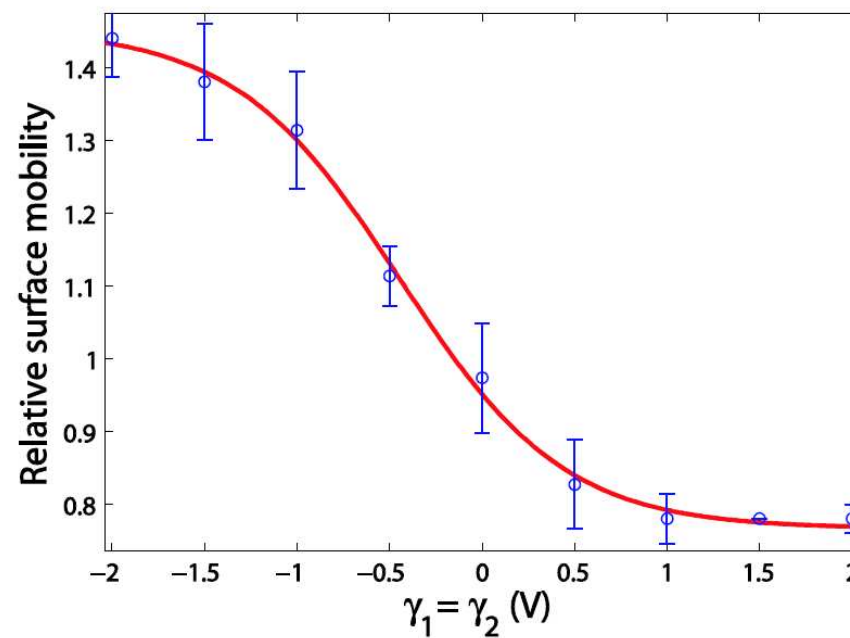
*Comment contrôler dynamiquement  $R_{FEO}$  ?*



# Transistor fluide à interface polarisable



*Transistor fluide permet de moduler  $R_{FEO}$  à l'aide d'une tension de porte*



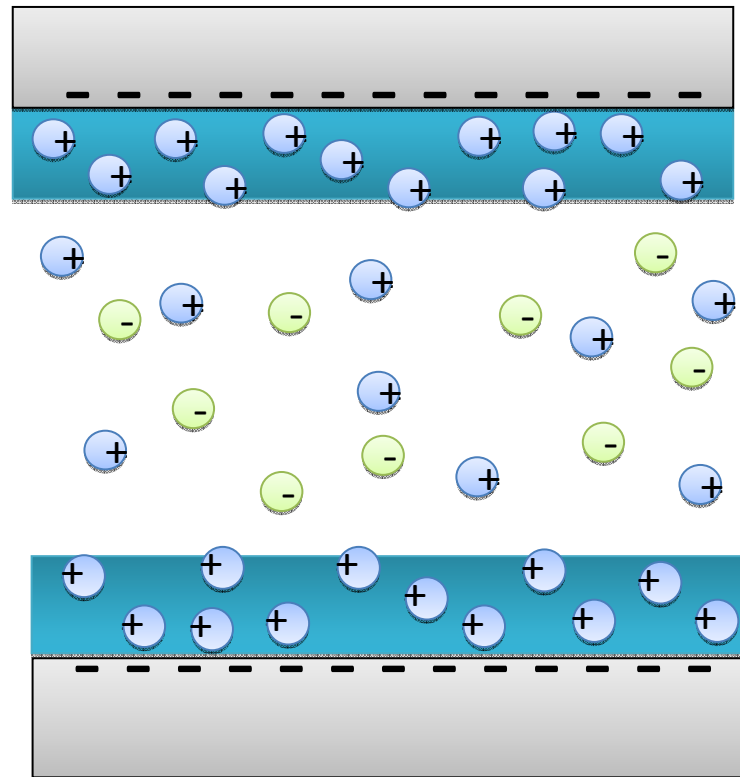
## Conclusion sur le contrôle du transport

**3 paramètres indépendants ( $\Delta P$ ,  $R_{FEO}$  et  $\Delta V$ )  
pour contrôler le transport différentiel des  
molécules (en fonction de  $\mu_{elect}$ )**

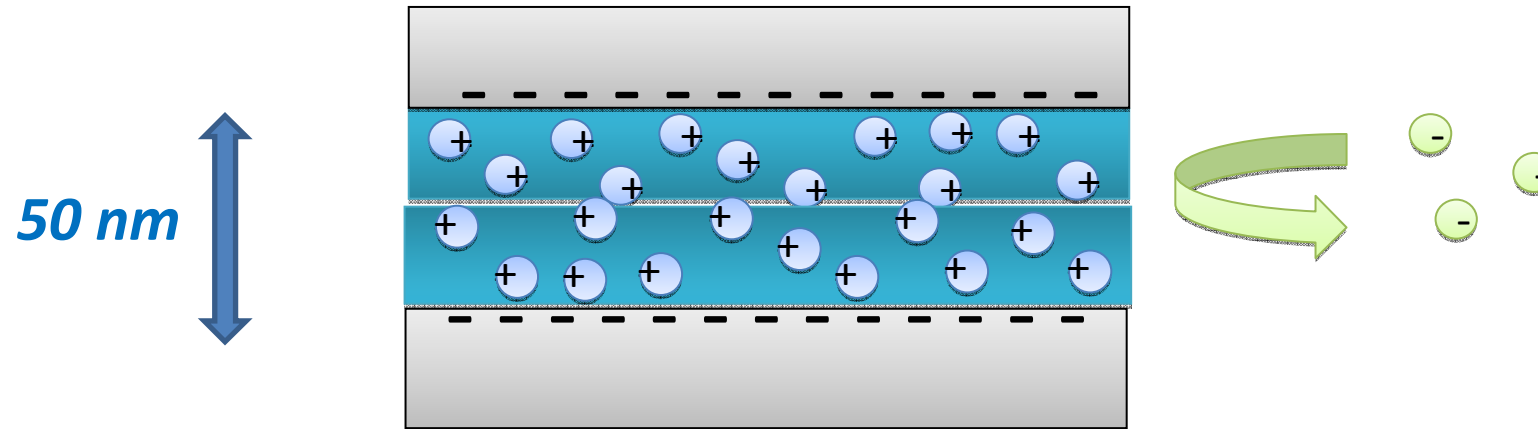
$$J_{TOT} = R_{fluid} \cdot \Delta P + (\mu_{elect} + R_{FEO}) \cdot \Delta V$$

***Pas d'influence de la géométrie sur le  
transport dans le domaine de linéarité.  
Que se passe-t-il aux limites de ce domaine ?***

# Nanofluidique et transport charge sélectif



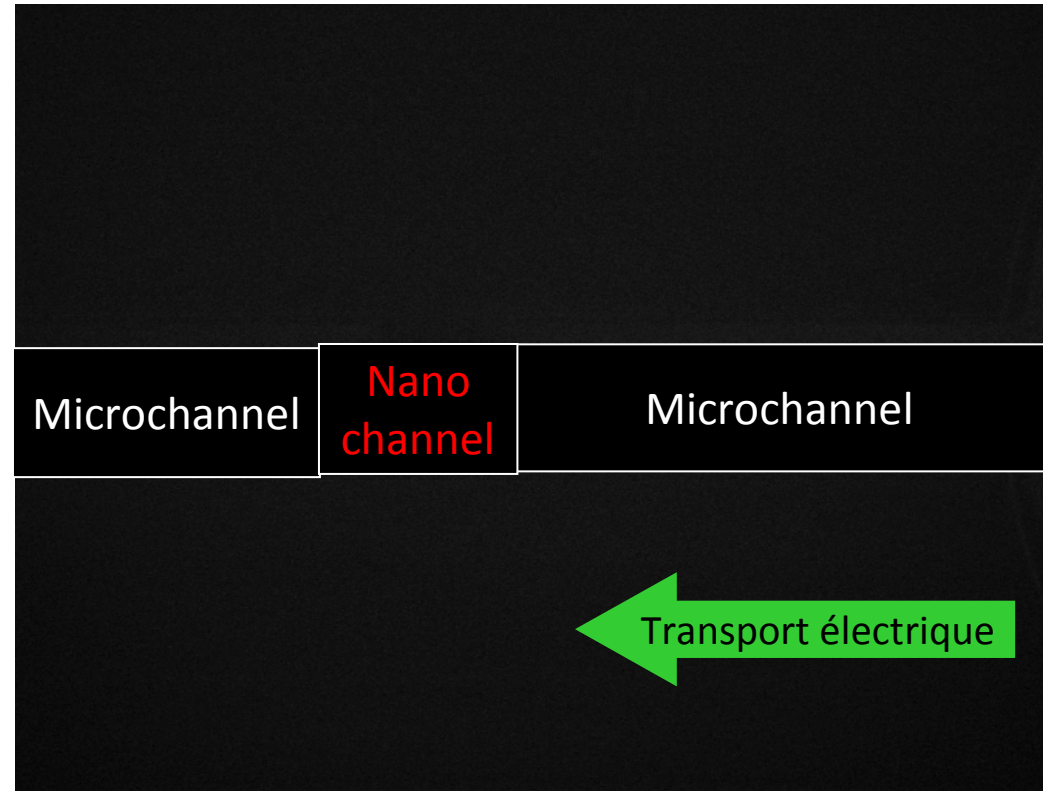
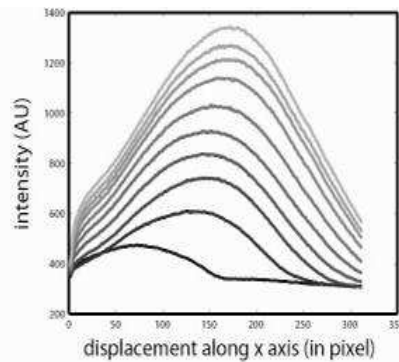
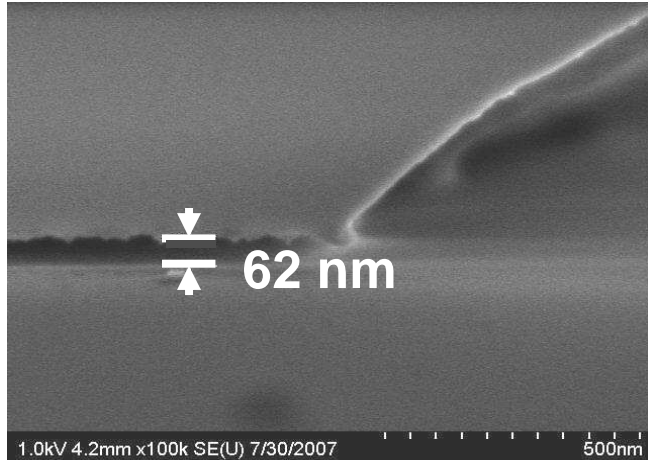
# Nanofluidique et transport charge sélectif



*Transport unique des contre-ions  
⇒ charge sélectivité*

*Phénomènes non linéaires !*

# Préconcentration sélective

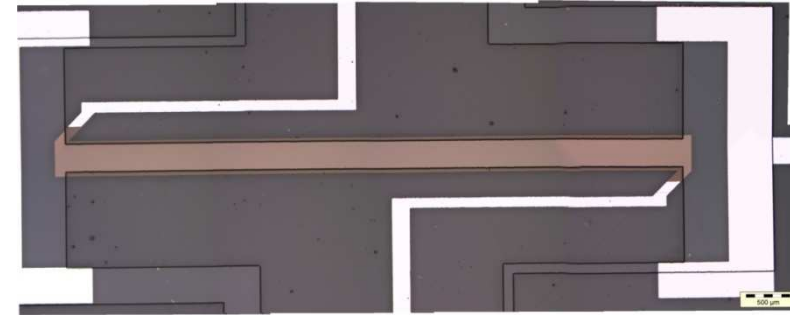
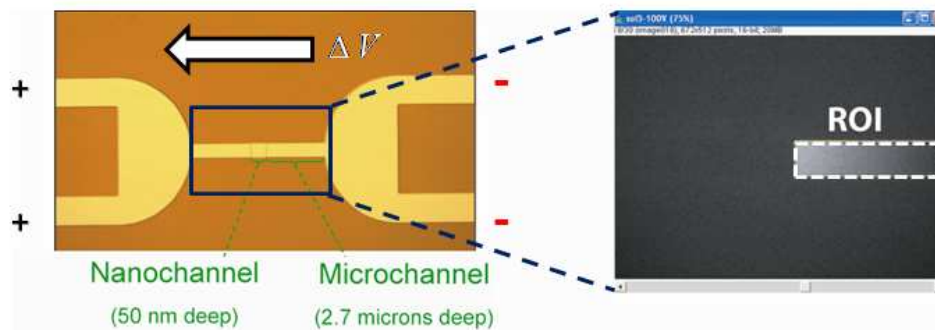


*Effet non linéaire capacitif qui dépend de  $\mu$ ,  $\Delta P$ ,  $R_{FEO}$  et  $\Delta V$*

# Vers le microprocesseur fluide

## *Transistors fluidiques*

*une nouvelle dimension pour le contrôle du transport*



## *Systèmes nanofluidiques*

*un transport non linéaire pour la conception de pré-concentrateurs moléculaires*

*Peut-on manipuler les molécules comme des électrons ?*

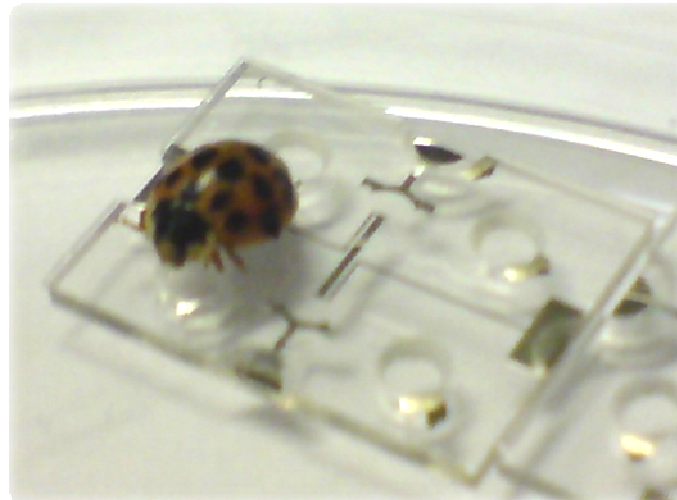
⇒ *Oui au travers de 4 paramètres ( $R_{fluid}$ ,  $\Delta P$ ,  $R_{FEO}$  et  $\Delta V$ )*

⇒ *Complexe (viscosité vs électrostatique vs diffusion)*

⇒ *Beaucoup de place pour la recherche et l'innovation...*



# Merci pour votre attention



Contact / manuscrit : [adrien.plecis@lpn.cnrs.fr](mailto:adrien.plecis@lpn.cnrs.fr)

