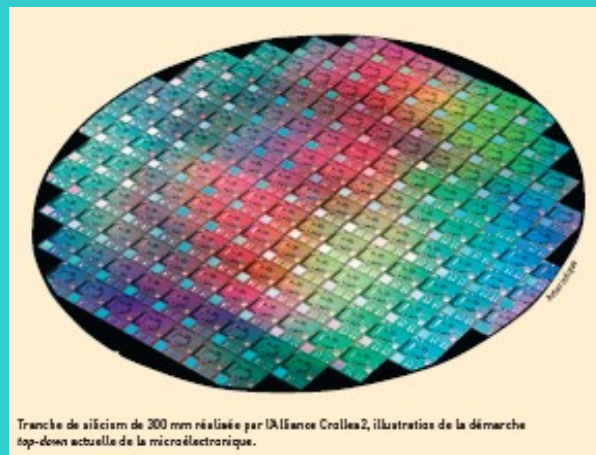
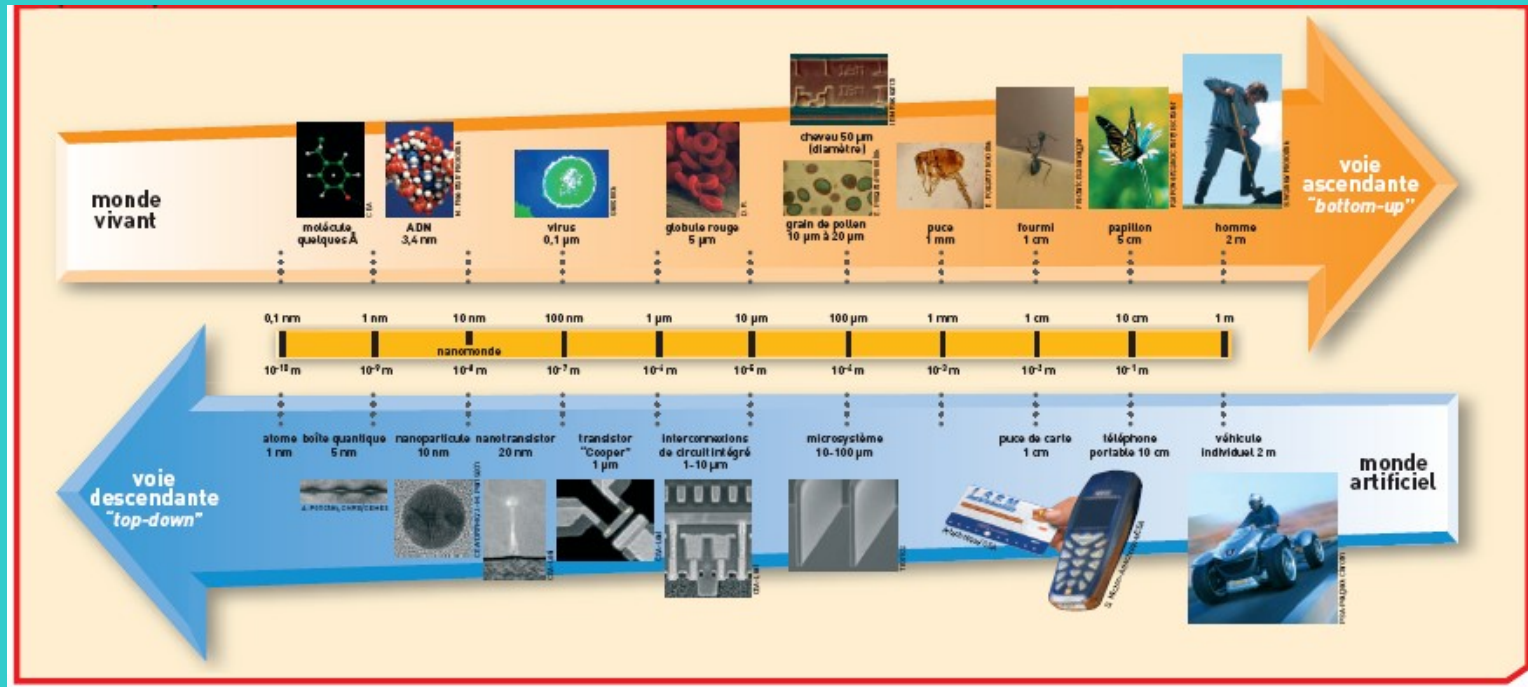




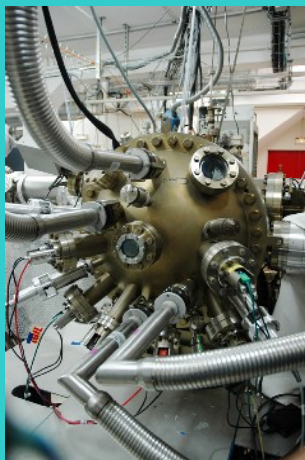
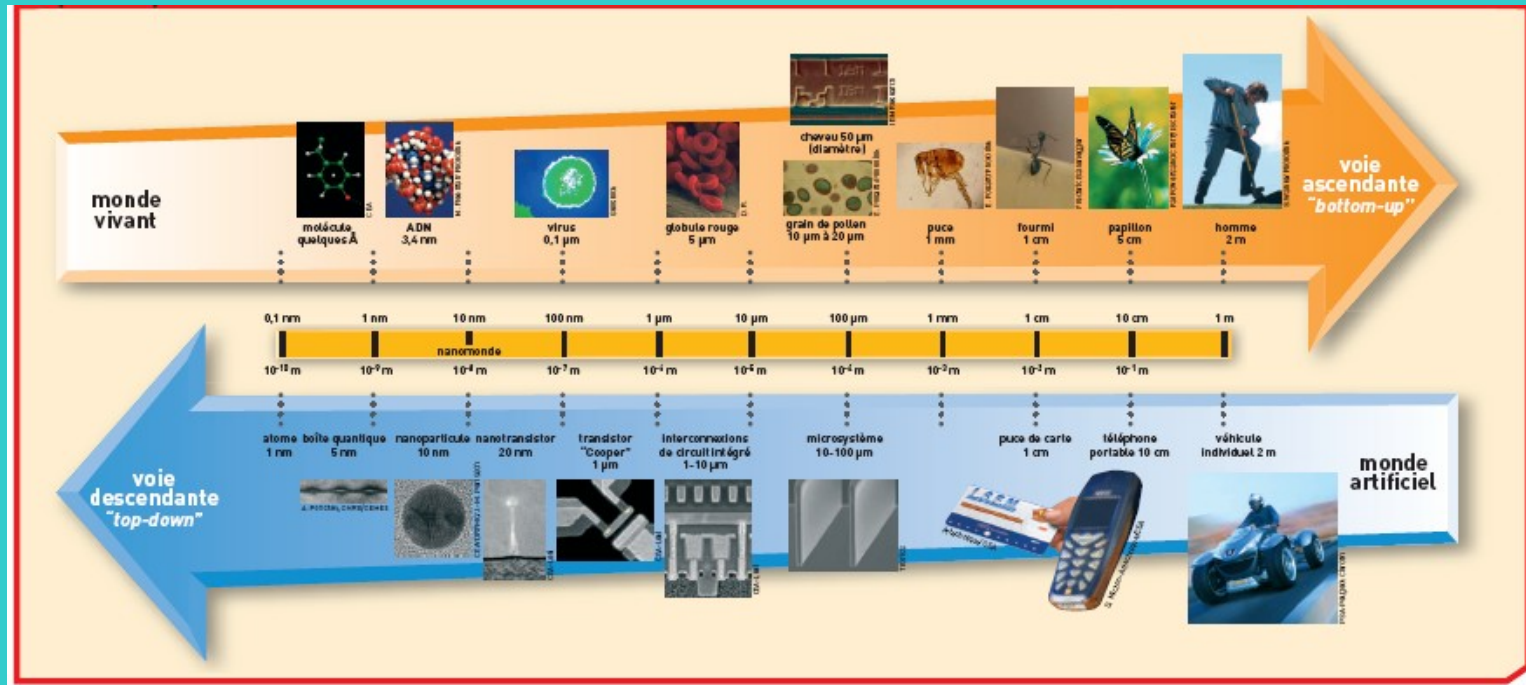
L'Ultra-Vide pour L'Epitaxie par Jets Moléculaires

***Mahmoud Eddrief IR-UPMC
Institut des NanoSciences de Paris (INSP)
Université Pierre et Marie Curie & CNRS***

Introduction



Introduction



L'épitaxie par Jets moléculaires
Elaboration des nanostructures
avec un contrôle à la monocouche
atomique



La lithographie, clé de la miniaturisation

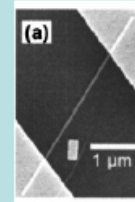
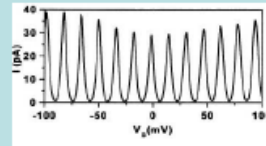
Physique des systèmes 1D et 0D

Transport

• Blocage de Coulomb

Fil $\phi=55\text{nm}$
Boîte InAs
Double barrière InP
Backgate voltage
4.2 K

→ Single Electron Transistor



C. Thelander et al., Appl. Phys. Lett. 83, 2052 (2005)

Propriétés radiatives

• Fils à boîtes uniques

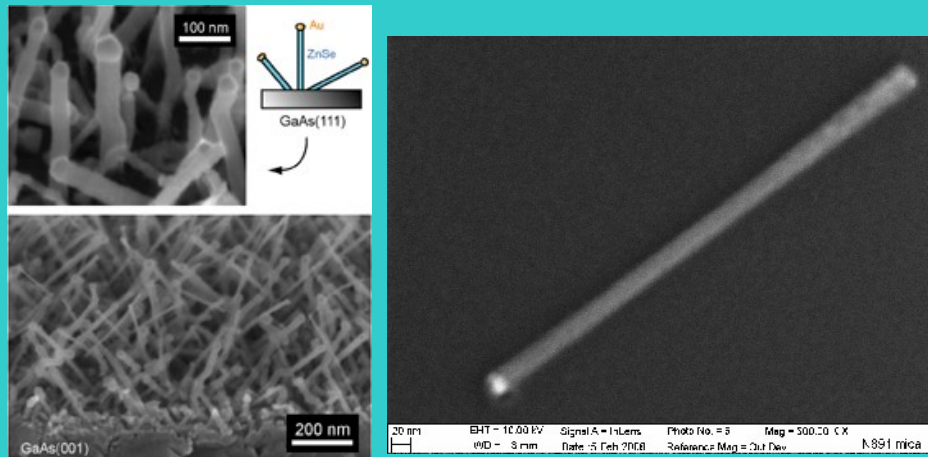
→ Sources à photons uniques
Cryptographie quantique

• Fils à boîtes quantiques couplées



→ Mieux qu'avec des boîtes SK

Nanofils de ZnSe par VLS (INSP-2008)



Equipe : Croissance et propriétés de systèmes hybrides en couches minces

- * **MBE** : - V.H. Etgens (DR2-CNRS-responsable d'équipe),
- M. Marangolo (MCF-UPMC), - F. Vidal (MCF-UPMC),
- M. Eddrief (IR-UPMC);

Élaboration par EJM d'une structure monolithique où des métaux magnétiques sont associés avec des semiconducteurs.

Fe/ZnSe et MnAs/GaAs

Développer des nouvelles fonctionnalités qui utiliseraient le spin des porteurs (électronique de spin).

*Jonction tunnel : Ferromagnétique/Semiconducteur/Ferromagnétique
(en Collaboration avec l'équipe mixte CNRS-Thalès pour le transport tunnel).*

** Fe/ZnSe/Fe épitaxié sur substrat GaAs(001) et*

** MnAs/GaAs/MnAs épitaxié sur substrat GaAs(001) et (111)B.*

Nanofils de ZnSe par VLS.

- * **PLD** : - Y. Zheng (CR1-CNRS) – D. Demaille (IE-CNRS)

CeO_{2-δ} dopé Co (~ 4-5%) sur SrTiO₃

Oxyde ferromagnétique dilué anisotrope

L'électronique de spin

Twenty Years of Spintronics Retrospective and Perspective

December 8 - 9, 2008
Auditorium Marie Curie – CNRS, Paris (France)

for the discovery of Giant Magnetoresistance

Guests of honor

Albert Fert (Nobel laureate)

Peter Grünberg (Nobel laureate)



Albert Fert

© 1/2 of the prize

France



Peter Grünberg

© 1/2 of the prize

Germany

Invited Speakers

Józef Barnas (Poland)

Agnès Barthélémy (France)

Jack Bass (USA)

Patrick Bruno (France)

Claude Chappert (France)

Burkard Hillebrands (Germany)

Ron Jansen (Netherlands)

Peter Levy (USA)

Jagadeesh Moodera (USA)

Hideo Ohno (Japan)

YoshiChika Otani (Japan)

Stuart Parkin (USA)

Luc Piraux (Belgium)

William Rippard (USA)

Shinji Yuasa (Japan)



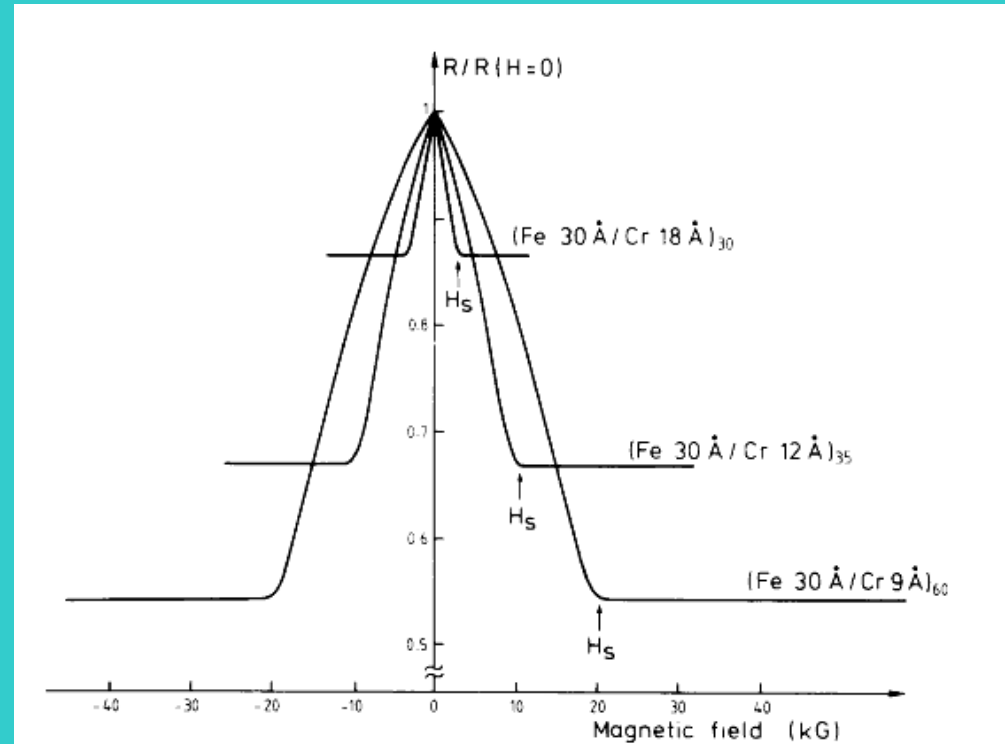
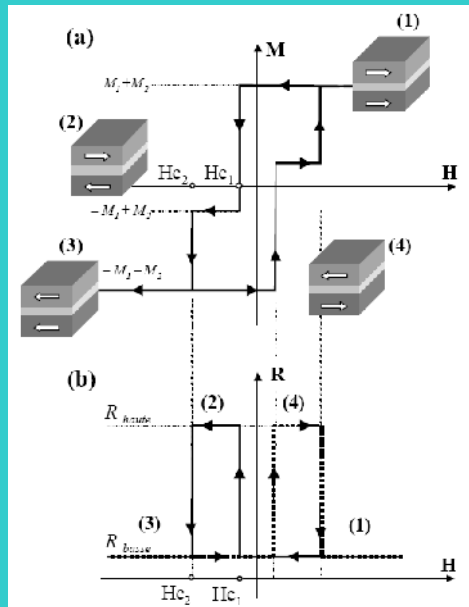
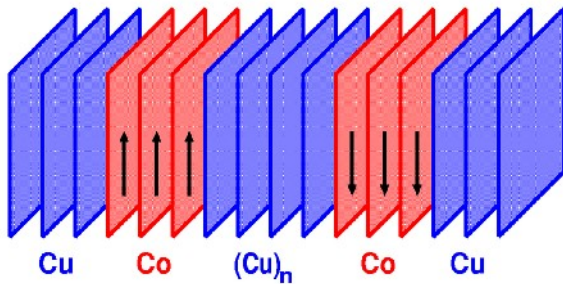
THALES



L'électronique de spin

GMR en 1988 par A. Fert et coll.

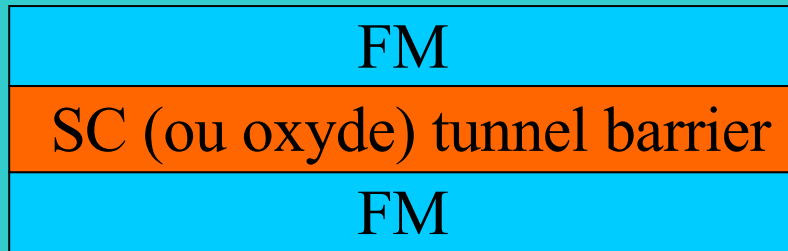
Structure tout métal
préparée par EJM.



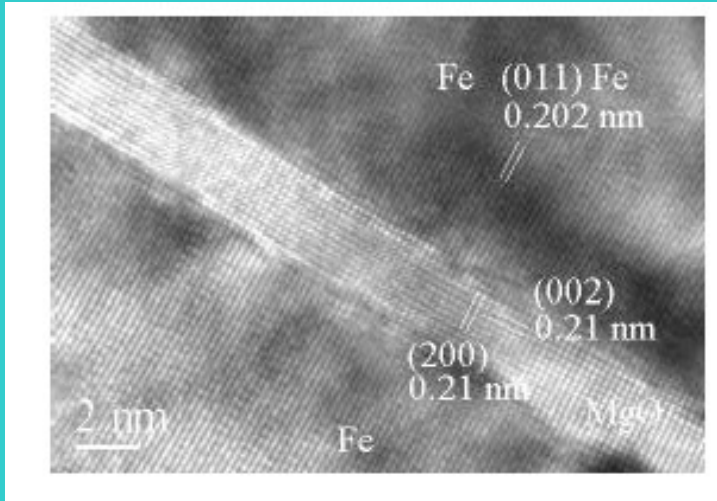
$$GMR = \frac{R_{AP} - R_P}{R_P}$$

GMR : Magnétorésistance Géante ~ 80%

Magnétorésistance Tunnel



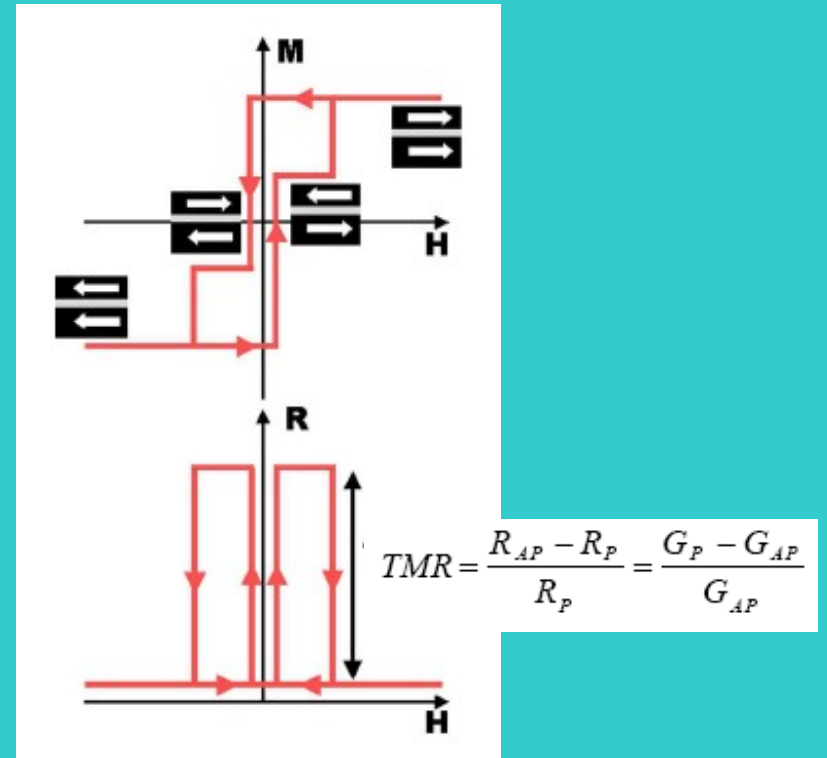
Fe/MgO/Fe TMR ~ 1000% à l'ambiante



Fe/ZnSe/Fe

MnAs/GaAs/MnAs

TMR ~ 10-20% à 10K



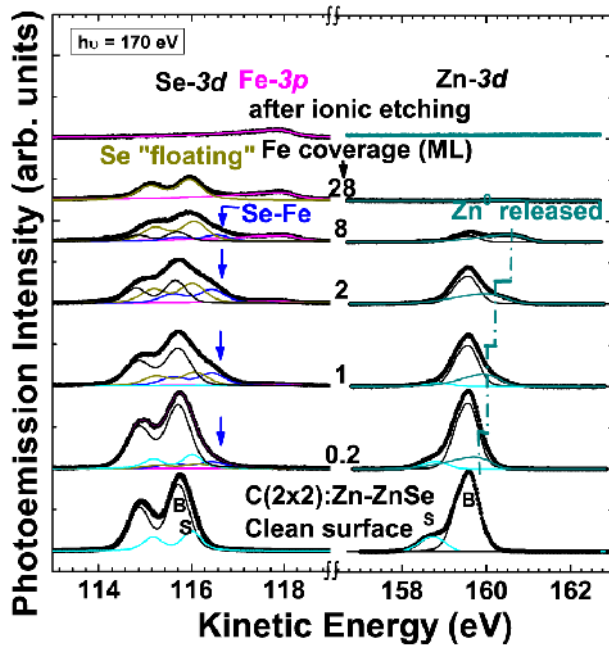
Fe/SC : reactivité chimique



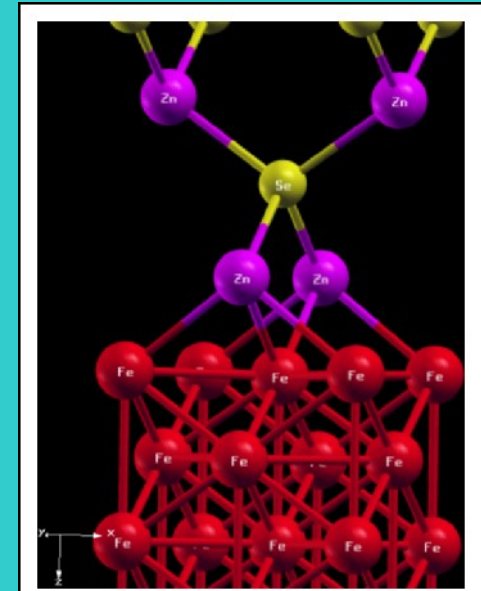
Choix
de Fe/ZnSe, MnAs/GaAs.

XPS
LURE
ELETTRA

M. Marangolo HDR-2007
Eddrief et al., Phys. Rev. B 73, 115315 (2006).



Model → electronic structure.



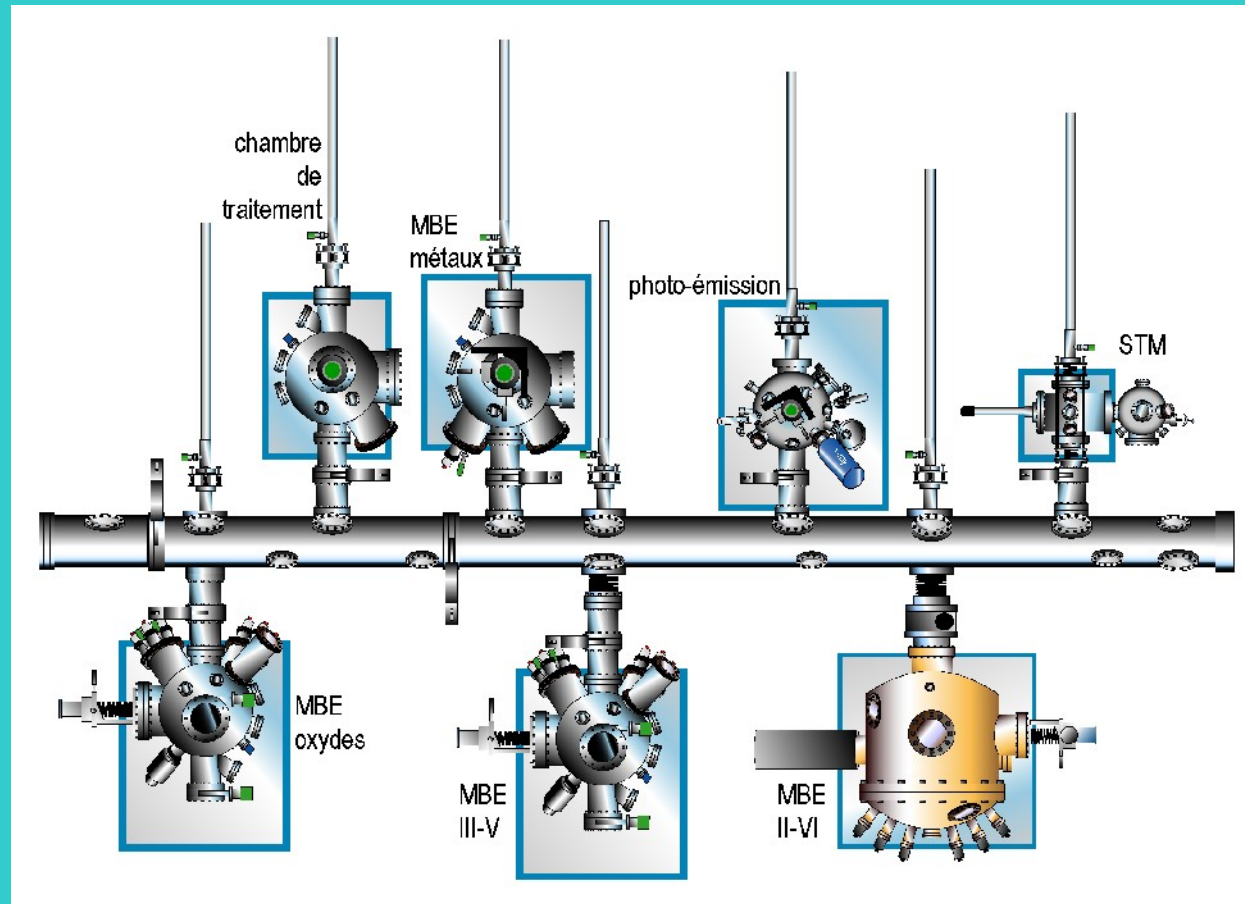
Zn/Fe-ideale :
Interface spin
polarization at E_F : -80%

Se floating

Fe-Se inter+Zn atoms

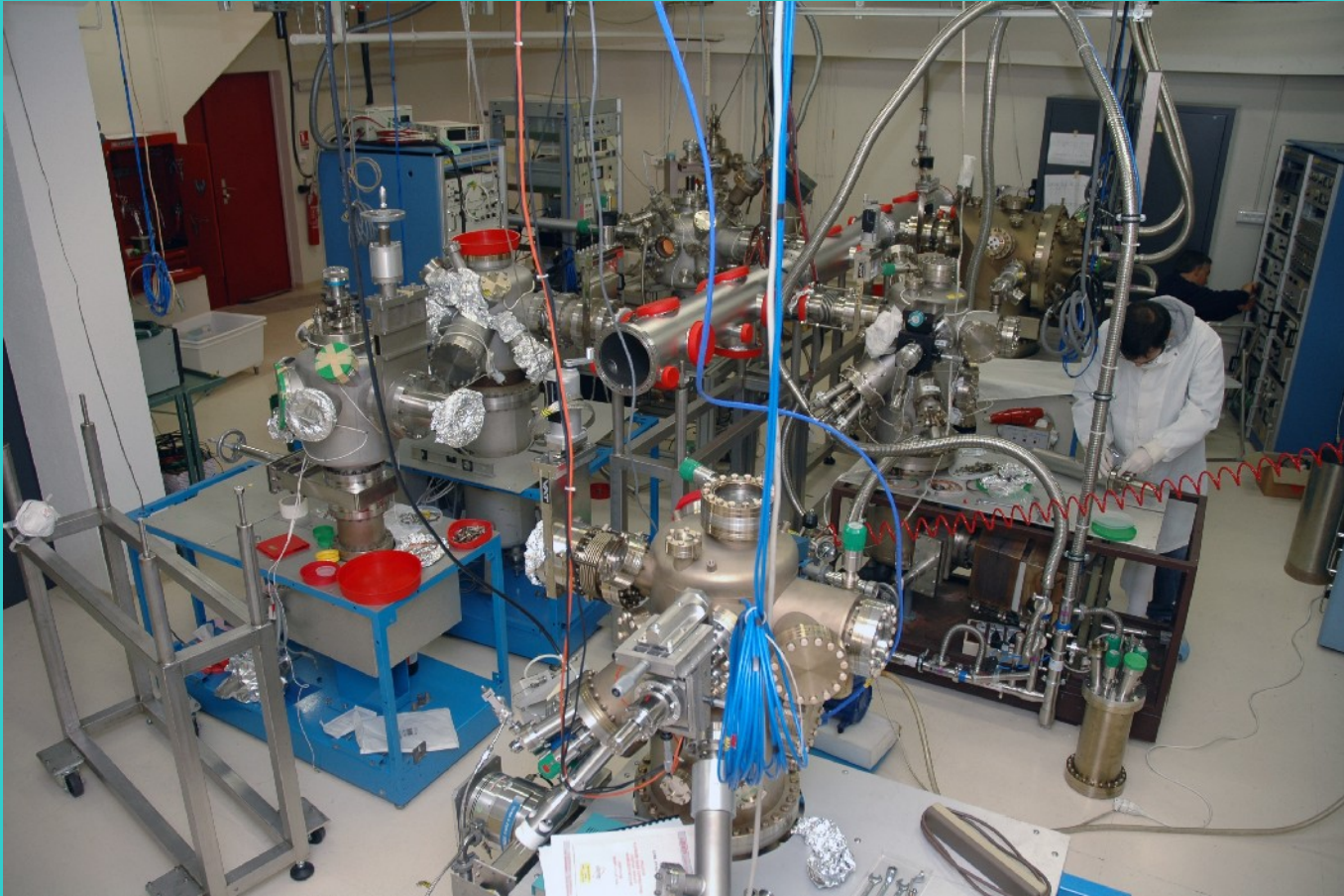
ZnSe

Equipements



Pompage : ionique, à sublimation de titane et turbomoléculaire

Equipements

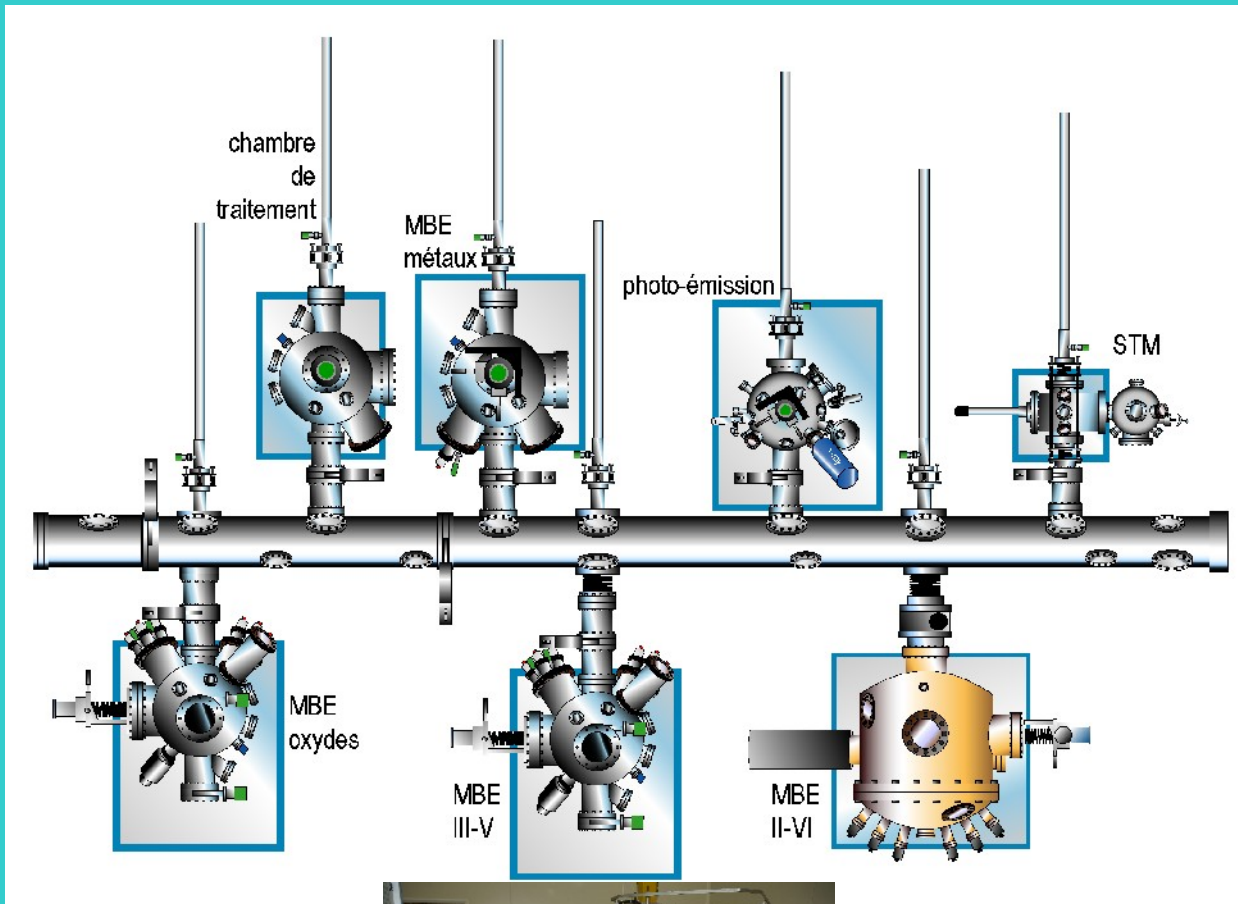


Phase de montage 2005

(déménagement à cause du chantier amiante du campus Jussieu)

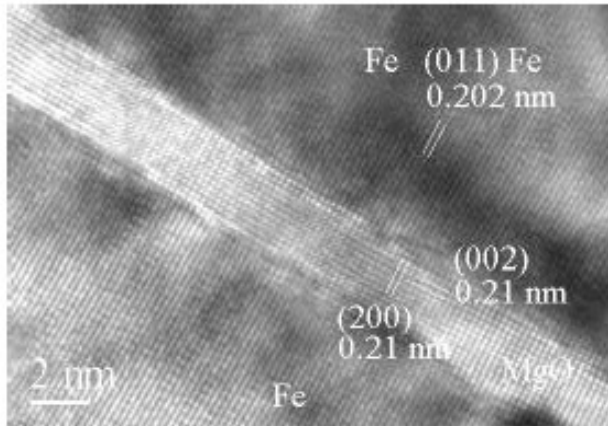
Réseau des Technologies du Vide

Equipements

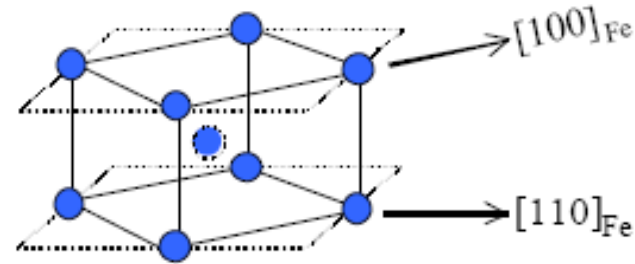


***nouvelle machine compact 21-TM
pour III-V Livraison 18 déc. 2008***

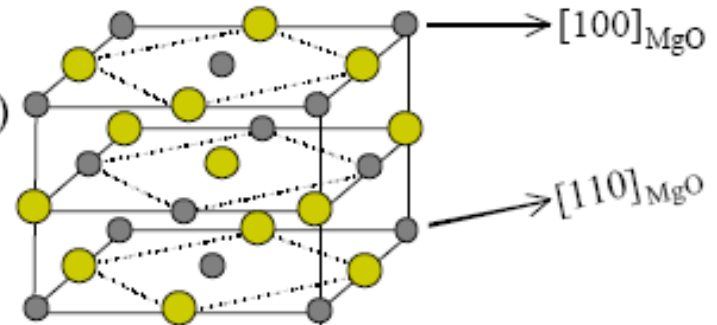
Principe de l'Epitaxie



Fe : cc
 $a_{\text{Fe}} = 2.87 \text{ \AA}$

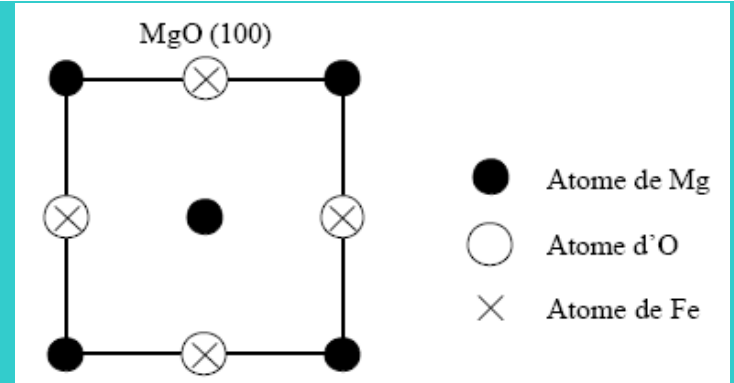


MgO : (NaCl)
 $a_{\text{MgO}} = 4.21 \text{ \AA}$

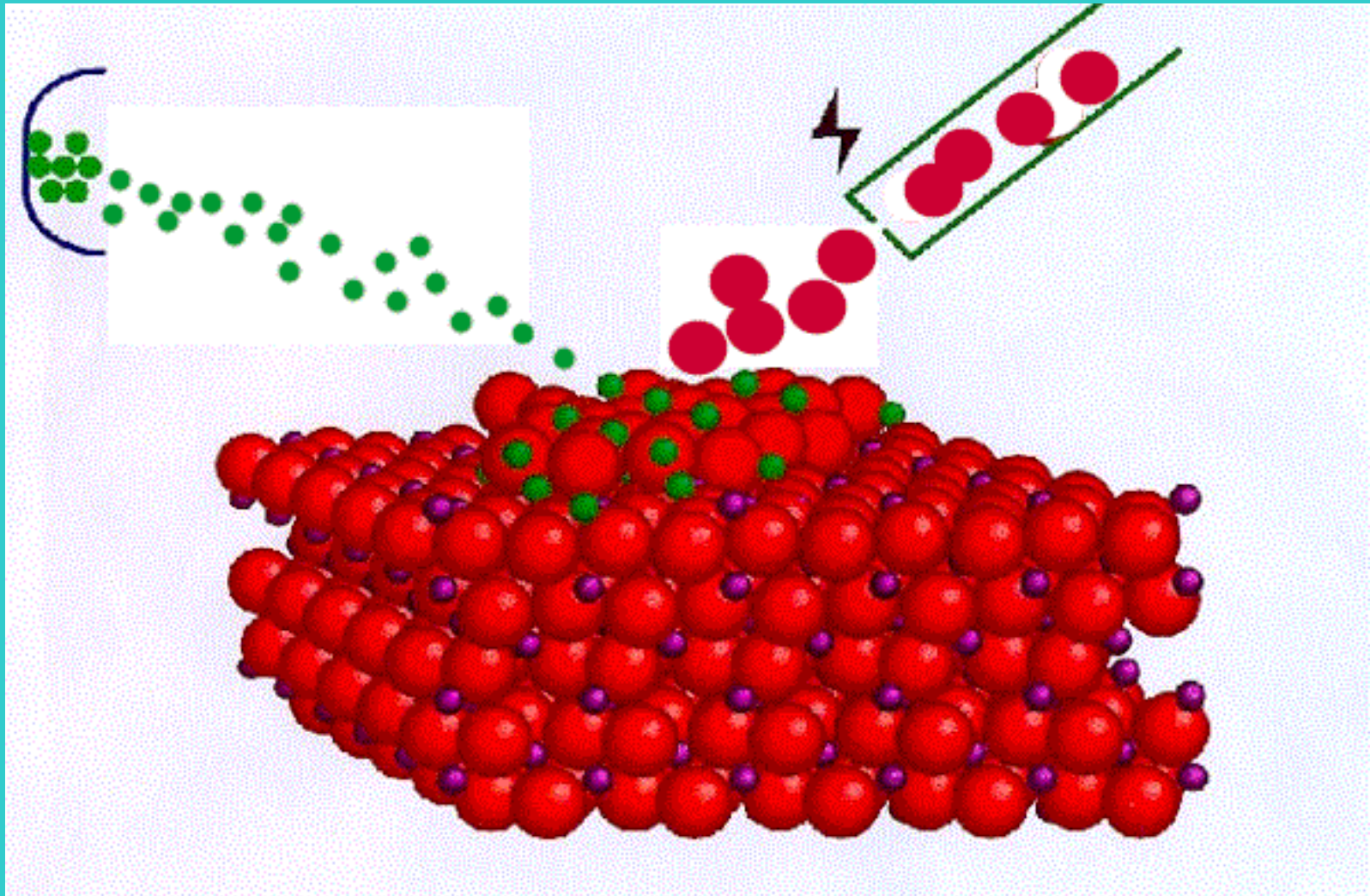


Relation d'Epitaxie :

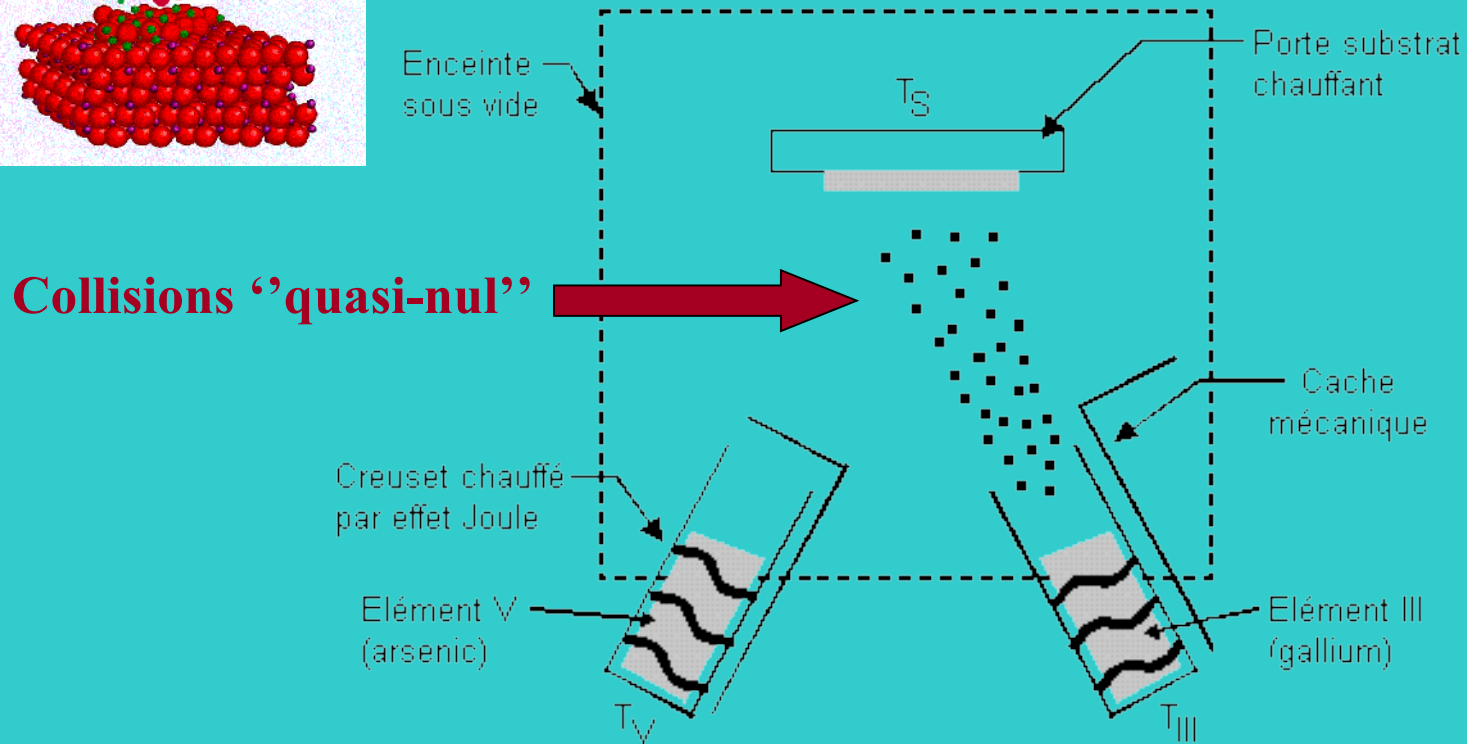
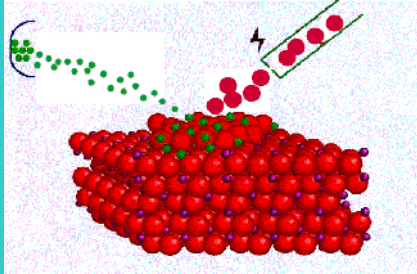
Fe (001) [110] // MgO (001) [100].



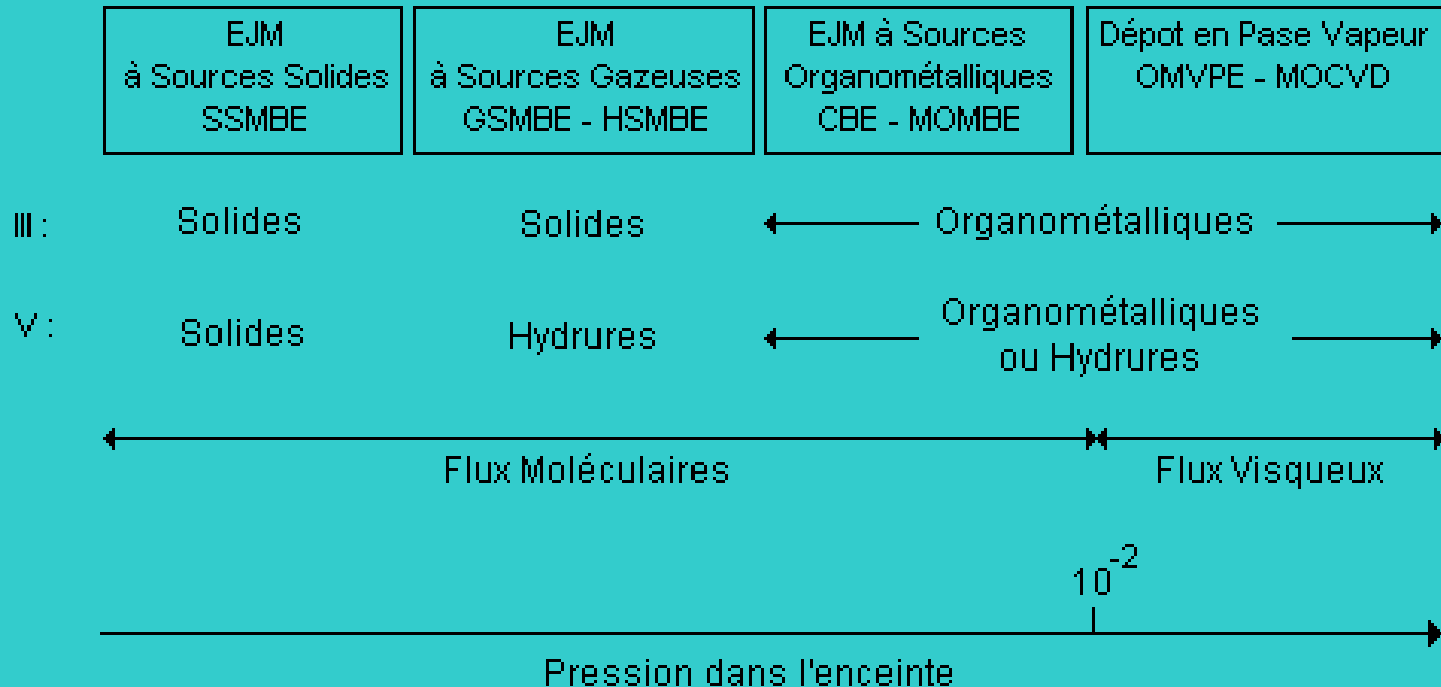
Principe de l'Épitaxie par Jets Moléculaires



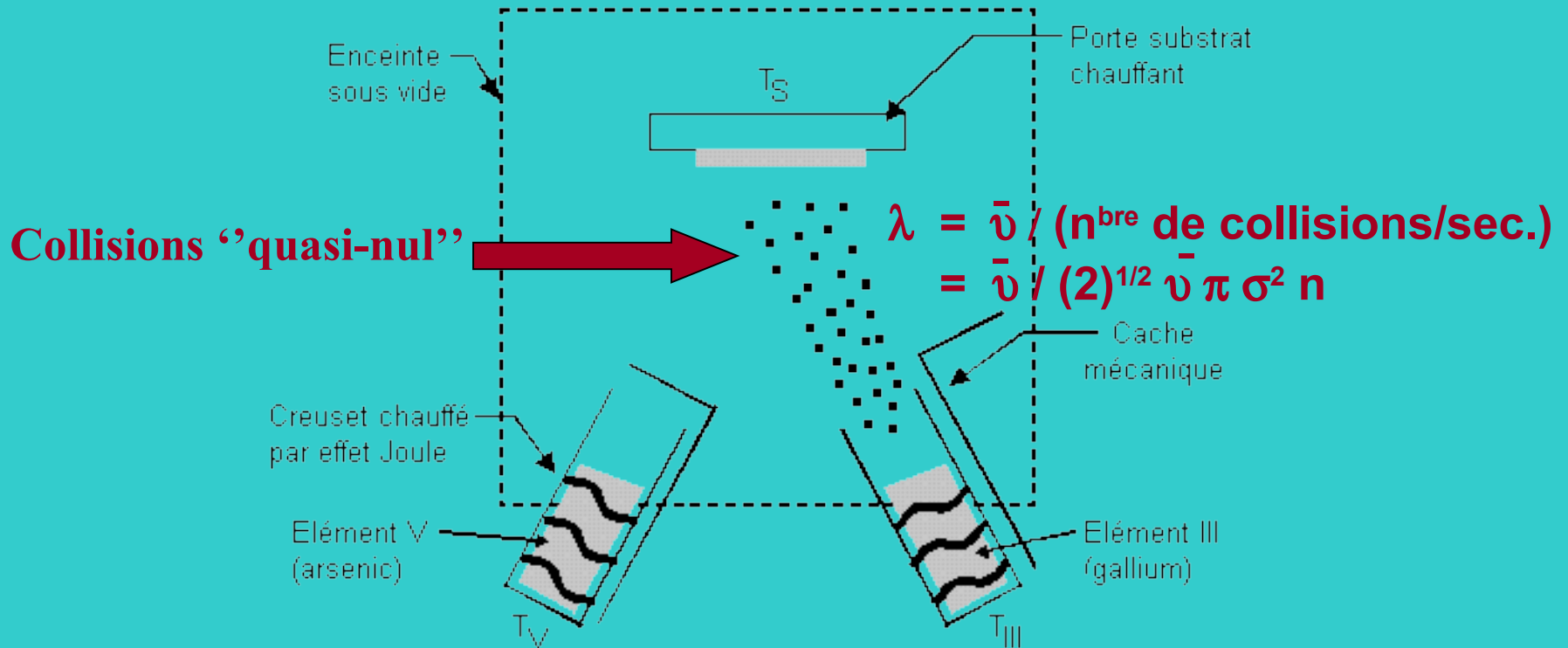
Principe de l'Épitaxie par Jets Moléculaires



Variantes de l'EJM



Pourquoi l'Ultra-Vide pour l'EJM ?



Pourquoi l'Ultra-Vide pour l'EJM ?

Conditions de collisions "quasi-nul"



$P < 10^{-4}$ Torr

- Conditions de Knudsen :

$$n = P / KT$$

P-pression [Pa], K-cste de Boltzmann = $1,38 \cdot 10^{-23}$ J.K⁻¹,
T-température [K].

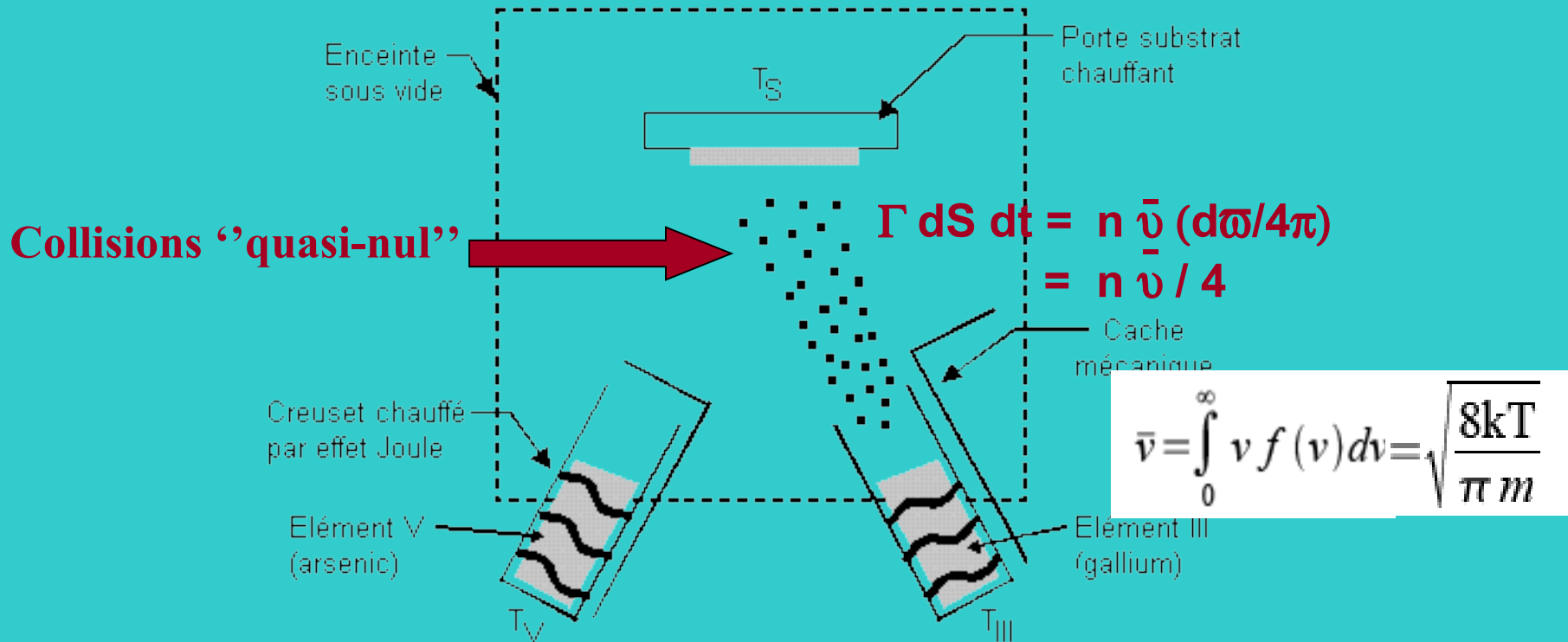
T à l'ambiante, $\sigma \sim 0.3$ nm pour l'azote

$$\lambda = K T / (2)^{1/2} \pi \sigma^2 P$$

Pression (Torr)	n (cm ⁻³)	λ (m)
760	$2,5 \cdot 10^{19}$	$1 \cdot 10^{-7}$
1	$3,3 \cdot 10^{16}$	$7,8 \cdot 10^{-5}$
10^{-4}	$3,3 \cdot 10^{12}$	$7,8 \cdot 10^{-1}$
10^{-6}	$3,3 \cdot 10^{10}$	$7,8 \cdot 10^1$
10^{-8}	$3,3 \cdot 10^8$	$7,8 \cdot 10^3$
10^{-10}	$3,3 \cdot 10^6$	$7,8 \cdot 10^5$

Tableau extrait du Mémoire F. Languy - 2007

Pourquoi l'Ultra-Vide pour l'EJM ?



Pourquoi l'Ultra-Vide pour l'EJM ?

Conditions de collisions "quasi-nul"



$P < 10^{-4}$ Torr

- Conditions de Knudsen :

$$\lambda = K T / (2)^{1/2} \pi \sigma^2 P$$

- Flux particulaire :

$$\Gamma = P / (2 \pi m K T)^{1/2}$$

m : masse atomique

Pression (Torr)	Γ (cm ⁻² s ⁻¹)
760	4,1.10 ²³
1	5,4.10 ²⁰
10 ⁻⁴	5,4.10 ¹⁶
10 ⁻⁶	5,4.10 ¹⁴
10 ⁻⁸	5,4.10 ¹²
10 ⁻¹⁰	5,4.10 ¹⁰

Tableau extrait du Mémoire F. Languy - 2007

Pourquoi l'Ultra-Vide pour l'EJM ?

Conditions de collisions "quasi-nul"

- Conditions de Knudsen :
- Flux particulaire :

(flux effectif)

$r = 0.5 \text{ m}$, $S = 5 \text{ cm}^2$, α et θ nuls



$P < 10^{-4} \text{ Torr}$

$$\lambda = K T / (2)^{1/2} \pi \sigma^2 P$$

$$\Gamma = P / (2 \pi m K T)^{1/2}$$

$$\Gamma' = \Gamma S \cos\alpha \cos\theta / \pi r^2$$

Pression (Torr)	Γ' ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)
760	$2,6 \cdot 10^{22}$
1	$3,4 \cdot 10^{19}$
10^{-4}	$3,4 \cdot 10^{15}$
10^{-6}	$3,4 \cdot 10^{13}$
10^{-8}	$3,4 \cdot 10^{11}$
10^{-10}	$3,4 \cdot 10^9$

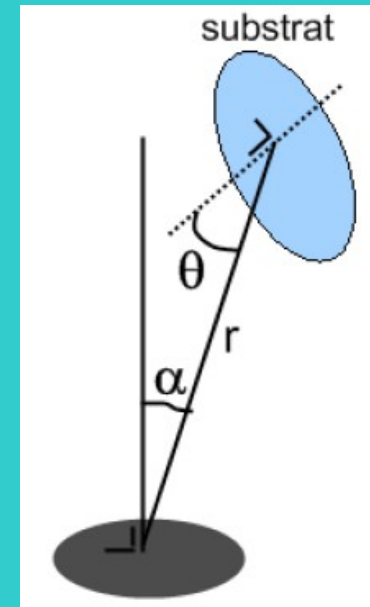


Tableau extrait du Mémoire F. Languy - 2007

Pourquoi l'Ultra-Vide pour l'EJM ?

Conditions de collisions "quasi-nul"

- Conditions de Knudsen :

- Flux particulaire :



$P < 10^{-4}$ Torr

$$\lambda = K T / (2)^{1/2} \pi \sigma^2 P$$

$$\Gamma = P / (2 \pi m K T)^{1/2}$$

$$\Gamma' = \Gamma S \cos\alpha \cos\theta / \pi r^2$$

$\tau = 1/\Gamma$ (cm⁻²/s) : temps de dépôt d'une MC
MC (10¹⁵ atoms.cm⁻²).

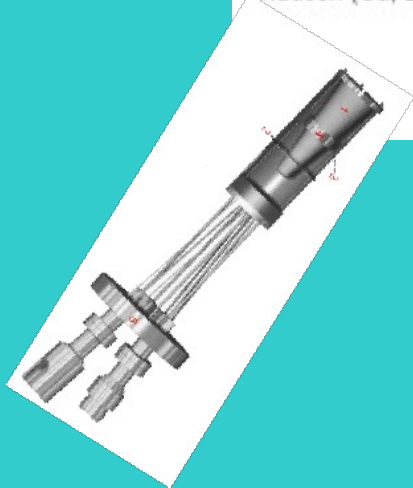
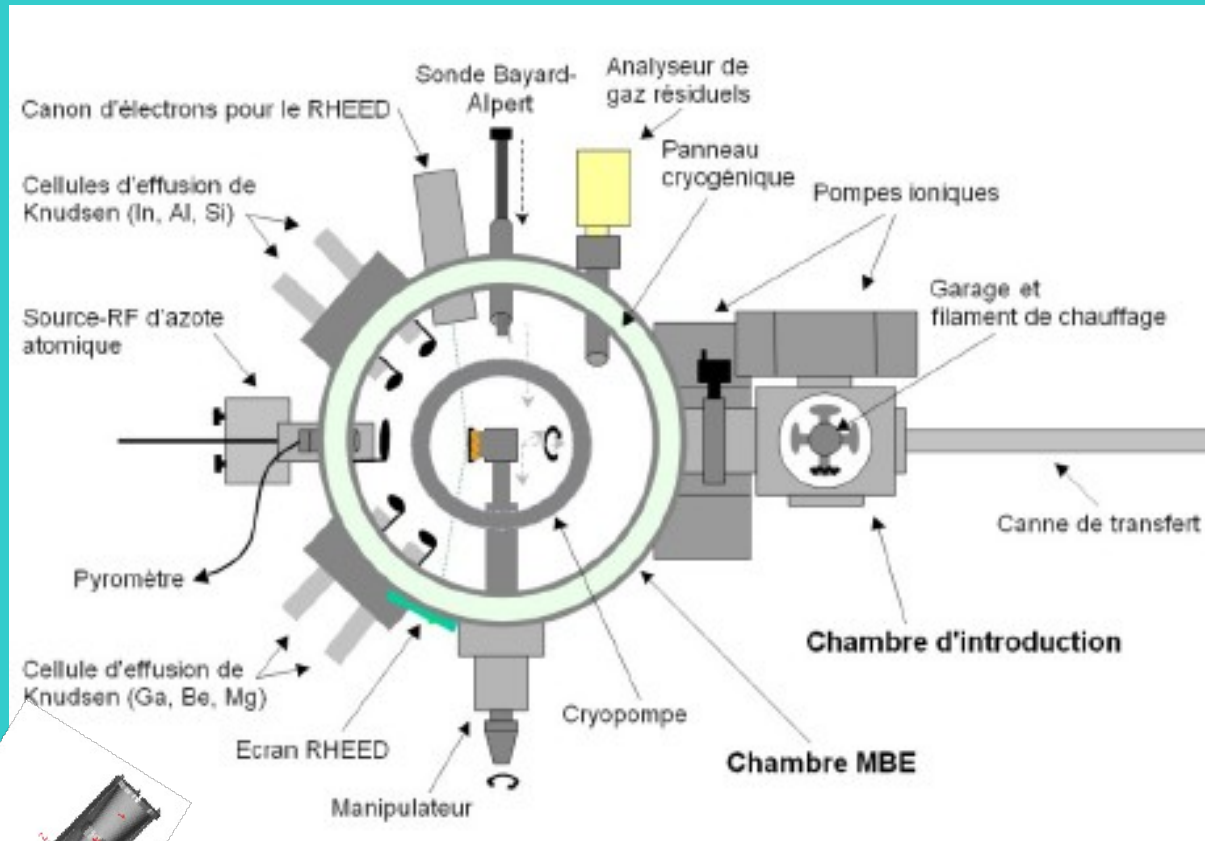
Pression (Torr)	n (cm ⁻³)	λ (m)	Γ (cm ⁻² s ⁻¹)	Γ' (cm ⁻² s ⁻¹)	τ (s)
760	2,5 10 ¹⁹	1 10 ⁻⁷	4,1.10 ²³	2,6.10 ²²	3,8.10 ⁻⁸
1	3,3 10 ¹⁶	7,8 10 ⁻⁵	5,4.10 ²⁰	3,4.10 ¹⁹	2,9.10 ⁻⁵
10 ⁻⁴	3,3 10 ¹²	7,8 10 ⁻¹	5,4.10 ¹⁶	3,4.10 ¹⁵	2,9.10 ⁻¹
10 ⁻⁶	3,3 10 ¹⁰	7,8 10 ¹	5,4.10 ¹⁴	3,4.10 ¹³	2,9.10 ¹
10 ⁻⁸	3,3 10 ⁸	7,8 10 ³	5,4.10 ¹²	3,4.10 ¹¹	2,9.10 ⁺³
10 ⁻¹⁰	3,3 10 ⁶	7,8 10 ⁵	5,4.10 ¹⁰	3,4.10 ⁰⁹	2,9.10 ⁺⁵

Vitesse de dépôt

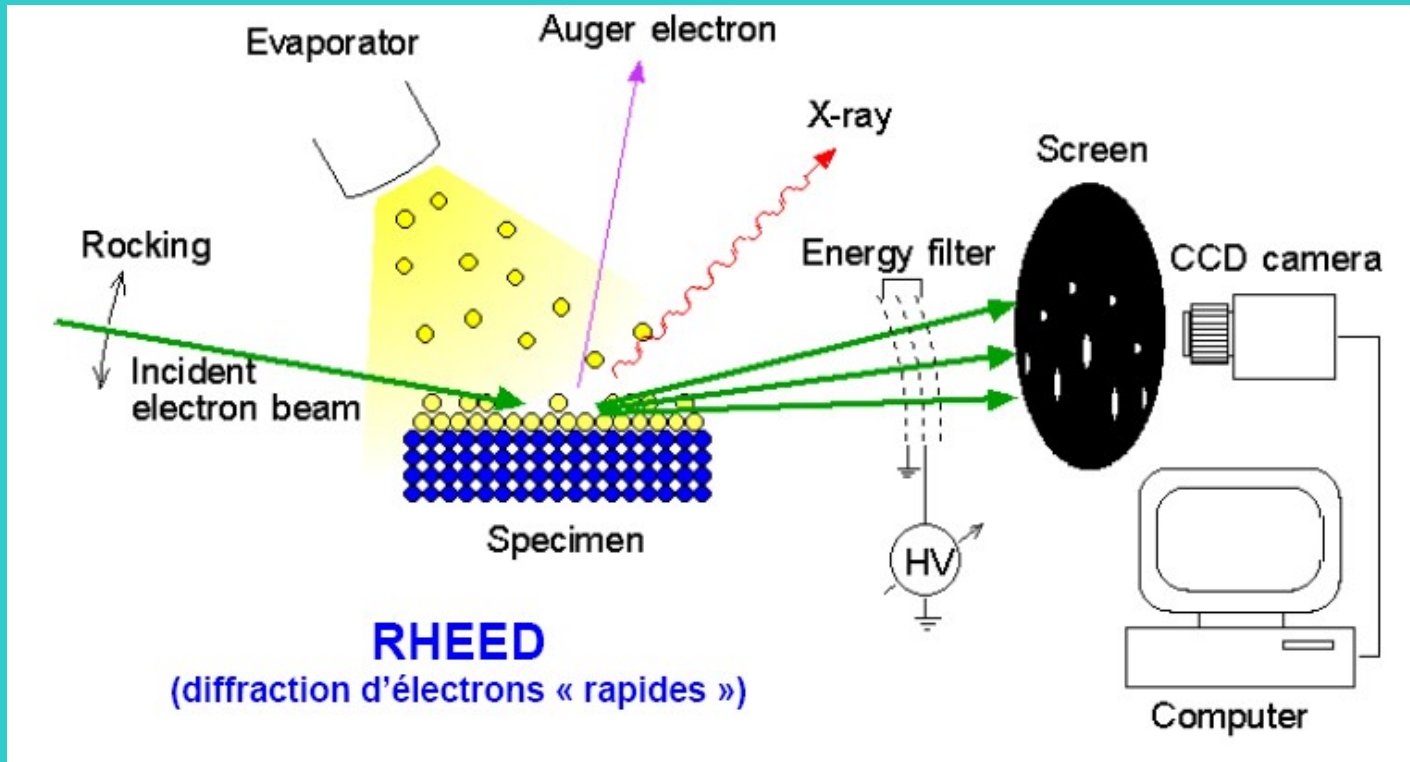
0.03- 3 MC/s

Tableau extrait du Mémoire F. Languy - 2007

Chambre d'EJM



Croissance EJM



$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_e eV + \left(\frac{eV}{c}\right)^2}}$$

h : cste de Planck

V : potentiel appliqué 12 KeV $\lambda \sim 0.01 \text{ nm}$.

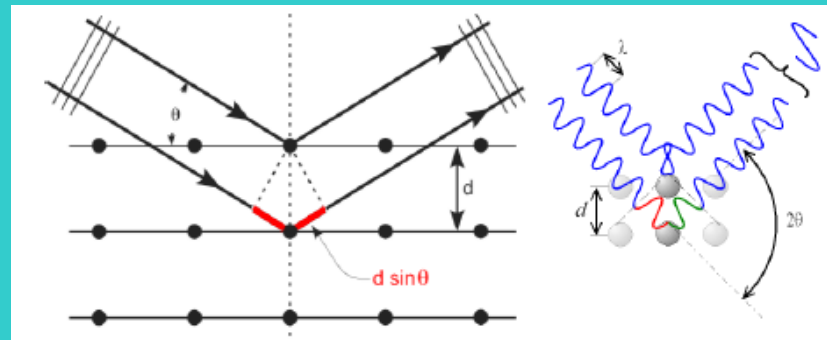
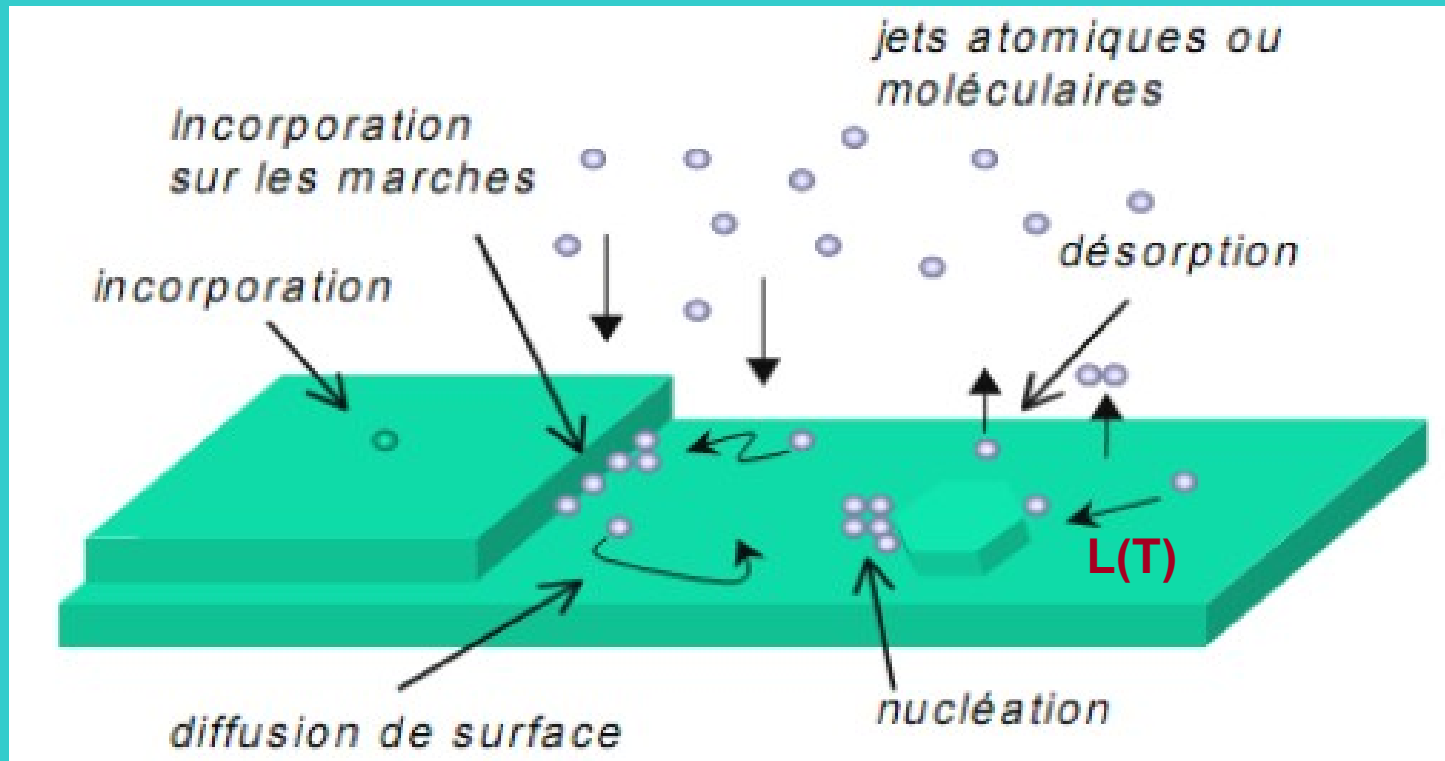


Illustration 8 : diffraction de Bragg

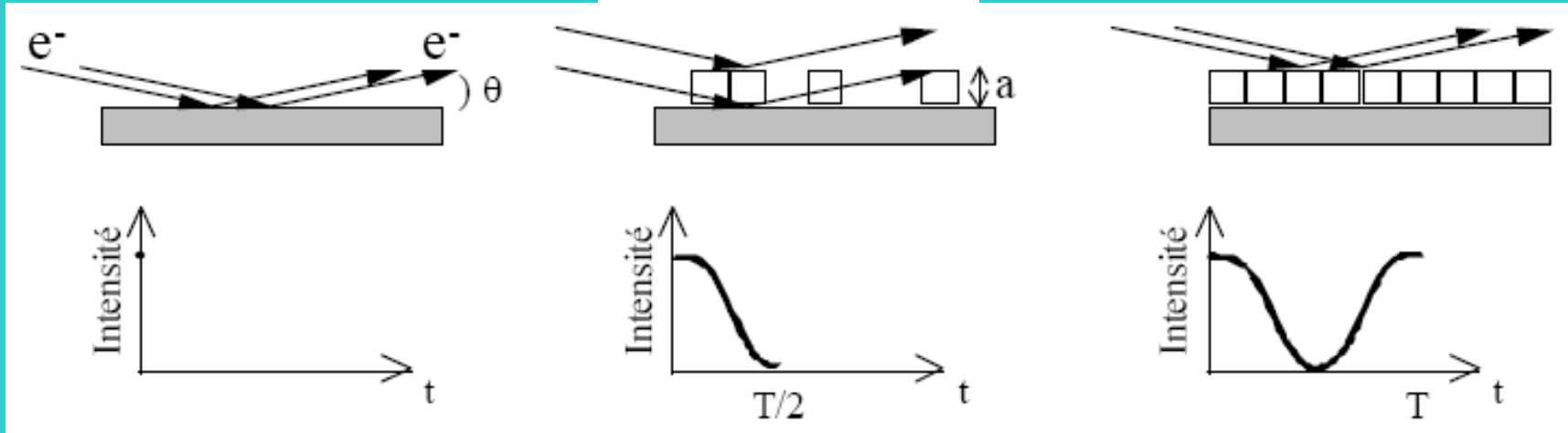
Croissance EJM



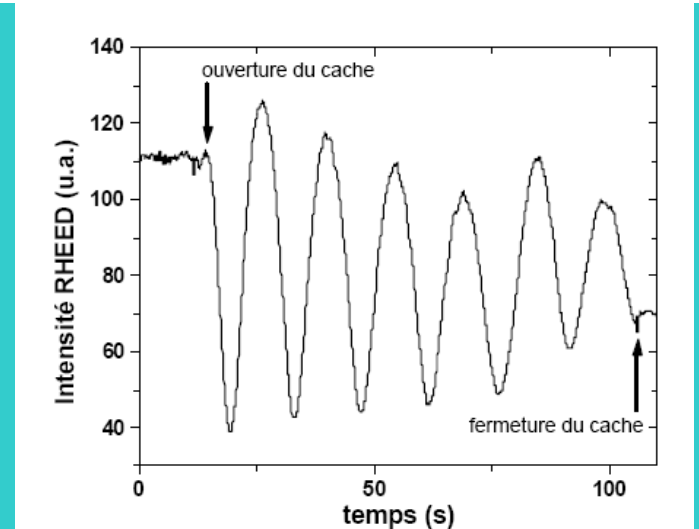
τ : temps de dépôt d'une MC (10^{15} atoms.cm⁻²),
 τ' : temps de résidence d'un adatom $\sim \tau$,
 $L(T) = [D(T) \tau']$: longueur de diffusion de surface,
Cinétique de croissance : - vitesse de croissance (MC/s),
- température de dépôt (°C).

Mesure de la vitesse de croissance

Oscillations RHEED



tâche spéculaire dans la condition anti-Bragg

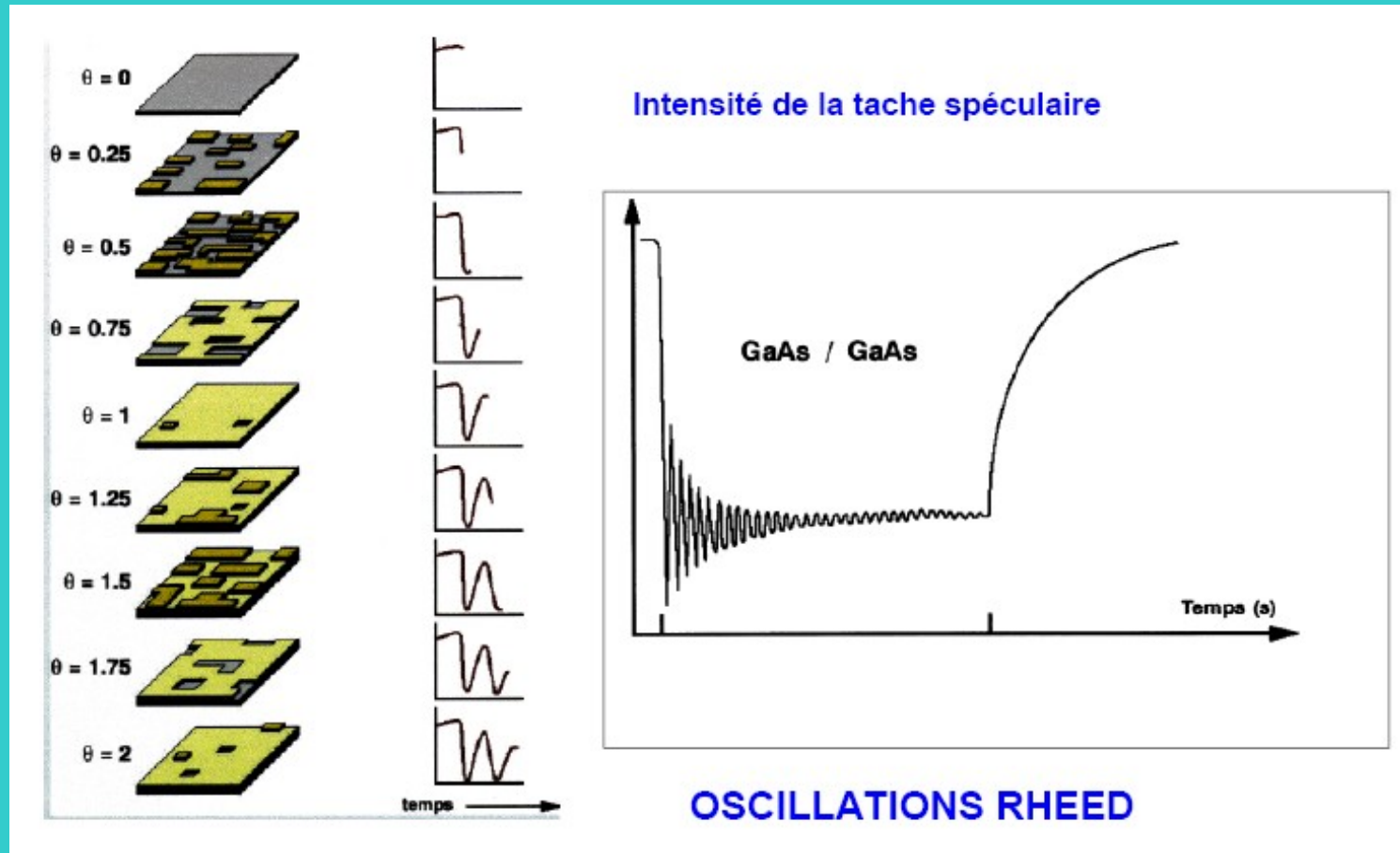


Pourquoi l'Ultra-Vide pour l'EJM ?

Conditions de collisions "quasi-nul"

$P < 10^{-4}$ torr

Vitesse de croissance EJM \sim MC/s



Pourquoi l'Ultra-Vide pour l'EJM ?

Conditions de collisions "quasi-nul"



$P < 10^{-4}$ Torr

Vitesse de croissance EJM ~ MC/s. pour une pression de flux de 10^{-6} Torr.

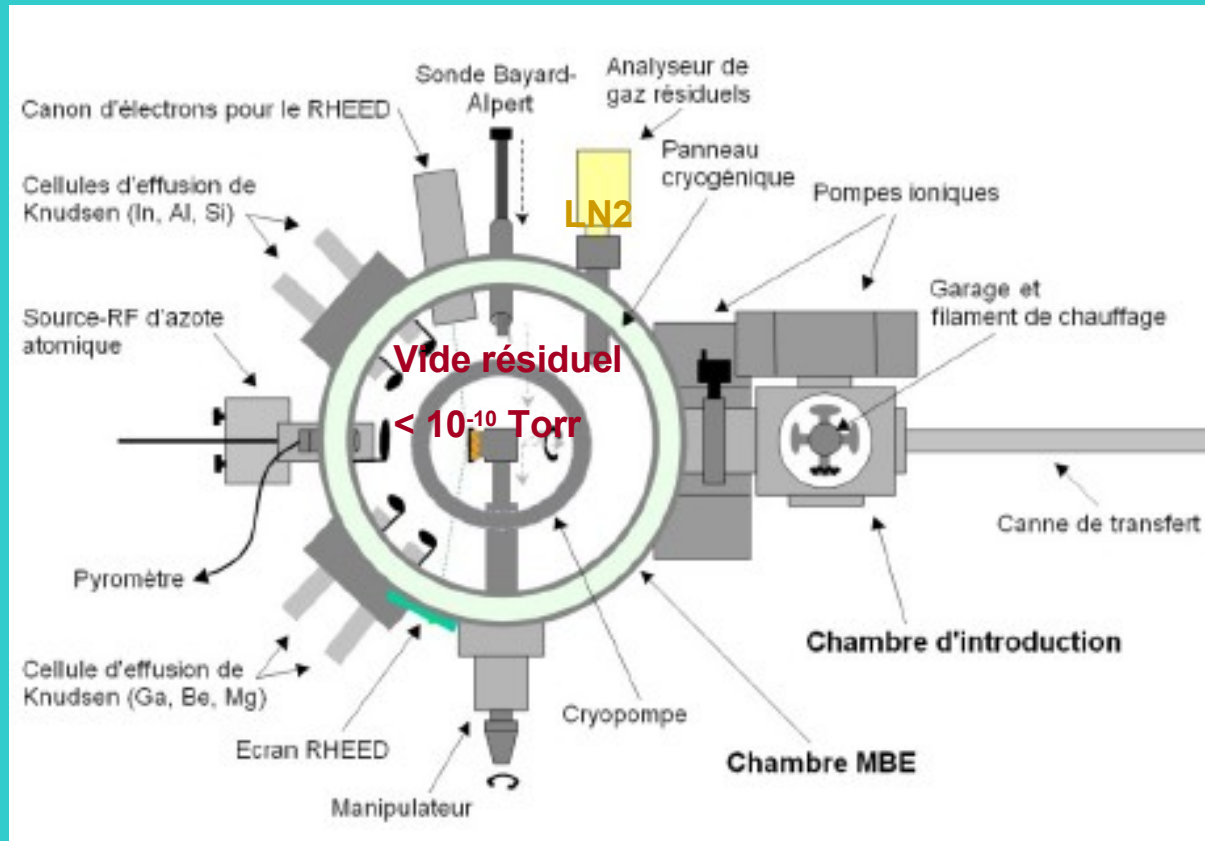
Maintien d'une surface "propre"



$P < 10^{-9}$ Torr

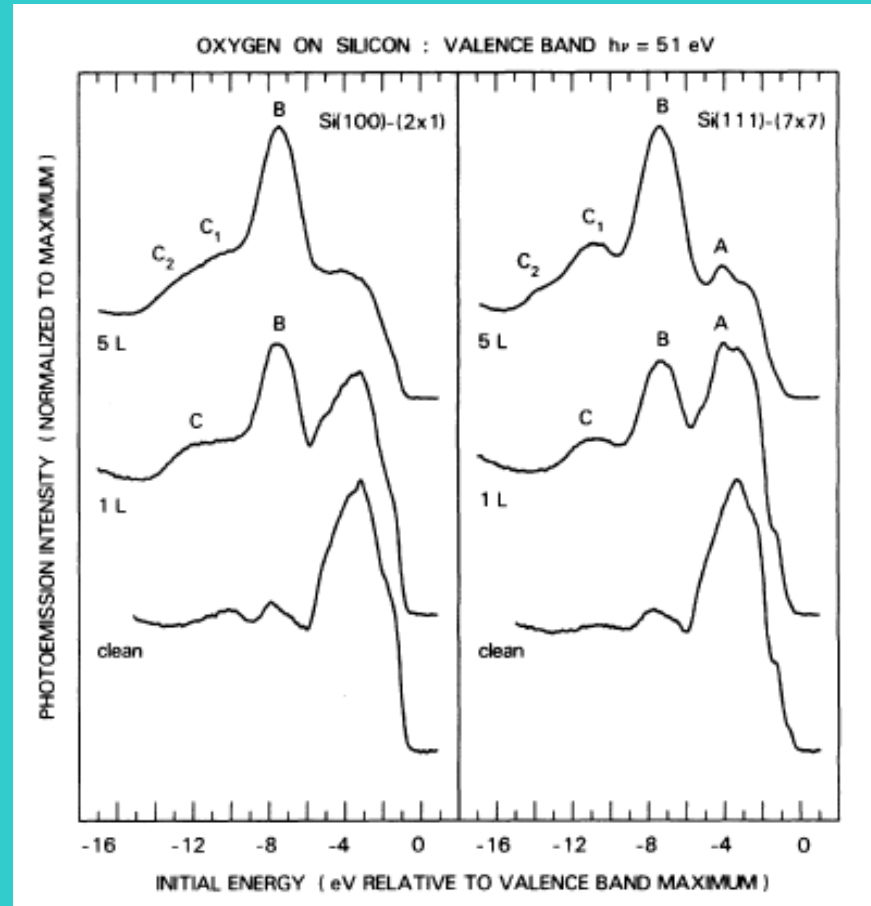
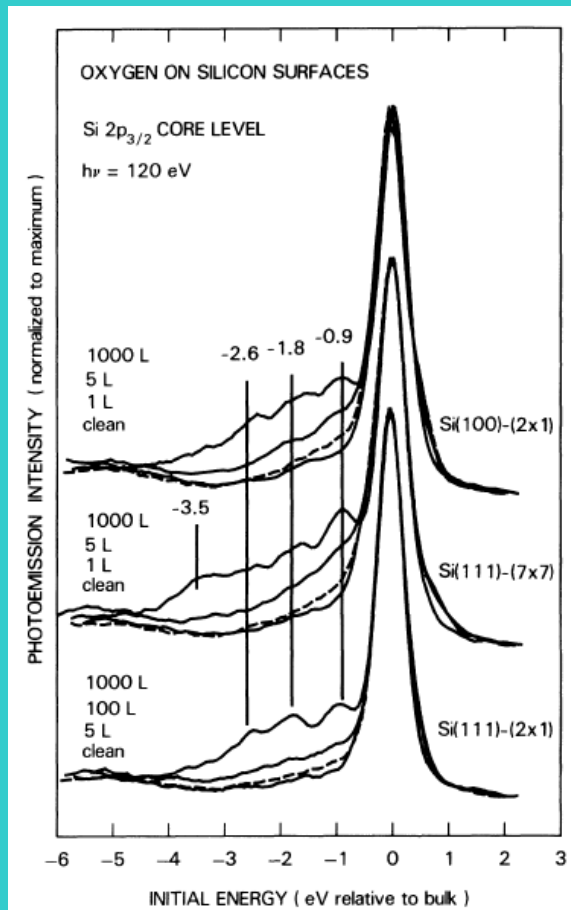
Degré du vide	Pression (Torr)	Densité du gaz (cm ⁻³)	λ (m)	τ /MC (sec.)
Atmosphérique	760	$2,5 \cdot 10^{19}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-8}$
Primaire	10^{-4}	$3,3 \cdot 10^{12}$	$7,8 \cdot 10^{-1}$	$2,9 \cdot 10^{-1}$
Secondaire	10^{-6}	$3,3 \cdot 10^{10}$	$7,8 \cdot 10^1$	$2,9 \cdot 10^1$
Ultra-Vide	10^{-10}	$3,3 \cdot 10^6$	$7,8 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^5$

Chambre d'EJM



*pas de contamination de l'échantillon par les gaz résiduels (<math>< 10^{-9}</math> Torr)
Les principales contaminations du vide résiduel (H_2 , H_2O , CO , CO_2 ..).*

Exposition d'une surface "propre" à un gaz



G. Hollinger and F.J Himpfel PRB Vol. 26-N6, 3651(1983).

Pourquoi l'Ultra-Vide pour l'EJM ?

Conditions de collisions "quasi-nul"



$P < 10^{-4}$ Torr

Vitesse de croissance EJM ~ MC/s pour une pression de flux de 10^{-6} Torr.

Maintien d'une surface "propre"



$P < 10^{-9}$ Torr

Pression des flux = 10^{-6} Torr temps pour coller 1MC ~ seconde.

Lors de la croissance EJM lente (~ MC/s) nécessite une atmosphère contrôlée pour ne pas contaminer de l'échantillon.

Eviter une contamination de l'échantillon par les gaz résiduels.

En physique des surfaces :

- Exposition d'une surface "propre" à un gaz
- "L : Langmuir" = 10^6 x pression (Torr) x temps (s) .

Le maintien d'une surface "propre" sous UHV dépend de la nature de la surface et du degré de la qualité du vide.