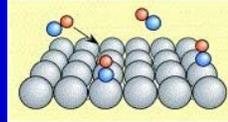


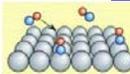
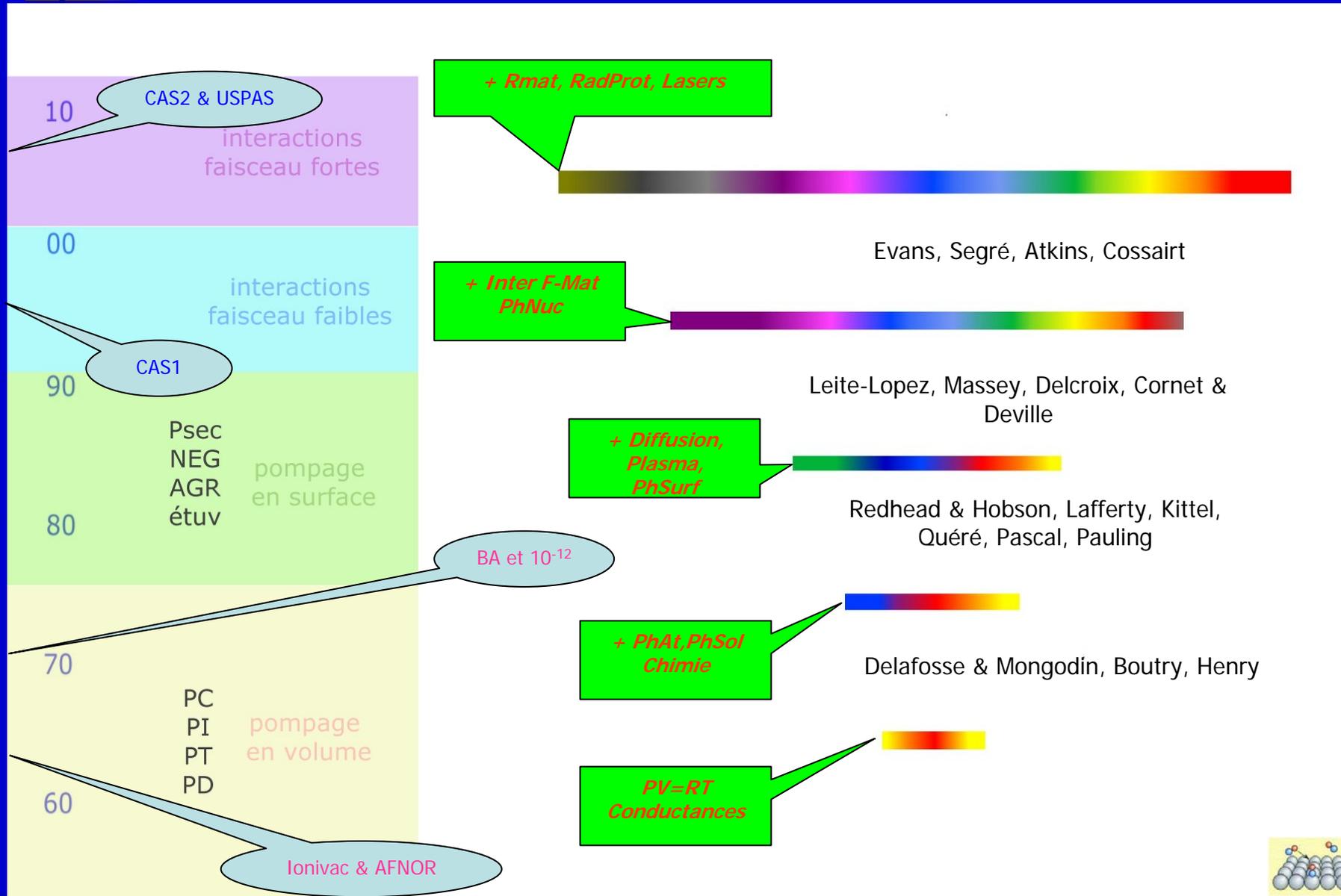
FAISCEAU MATTERIE LUMIERE



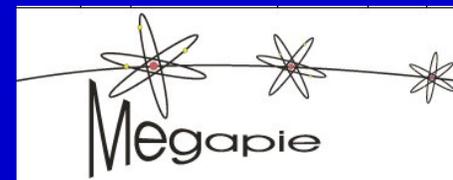
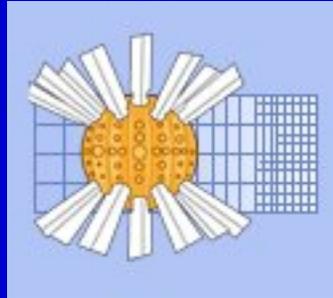


Un peu d'histoire du « vidiste λ »

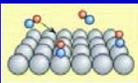
5. VERTICALEZURICOMMUNAUTY MOON



La course à la puissance



5.12.2012 14:00:00





3 protagonistes=3 fautifs & 3 victimes

Le gaz résiduel -qui modifie la forme et l'énergie du faisceau

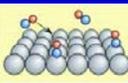
-dont la pression est un fragile équilibre entre le pompage et la désorption de la surface

Le faisceau -qui interagit avec le gaz résiduel, produisant des particules secondaires qui se perdent sur la surface

-qui peut être affecté par la pression résiduelle

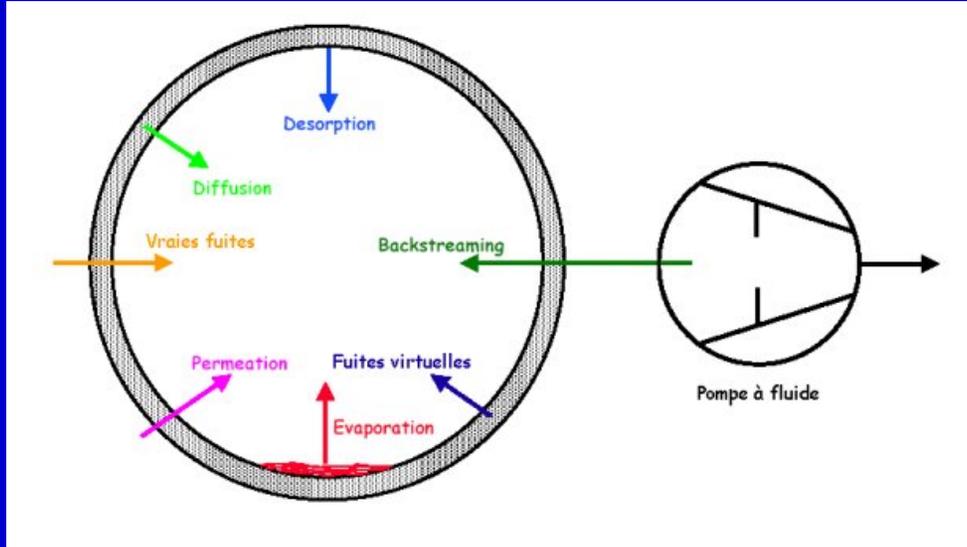
La surface -qui dégaze plus ou moins sous l'effet des interactions ou ré-émet des particules

-qui peut être endommagée



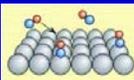
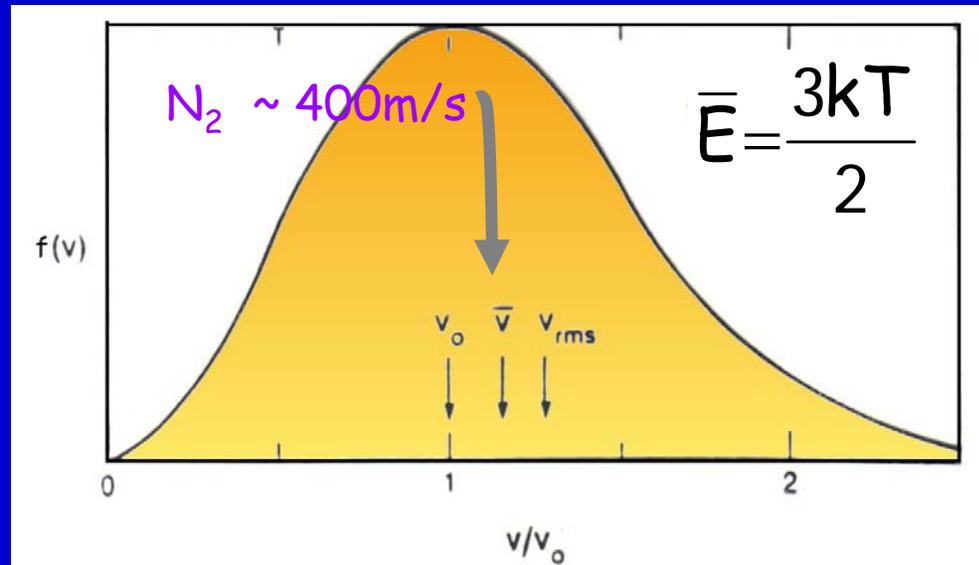


Acteur 1: un « vide » plein de gaz résiduel

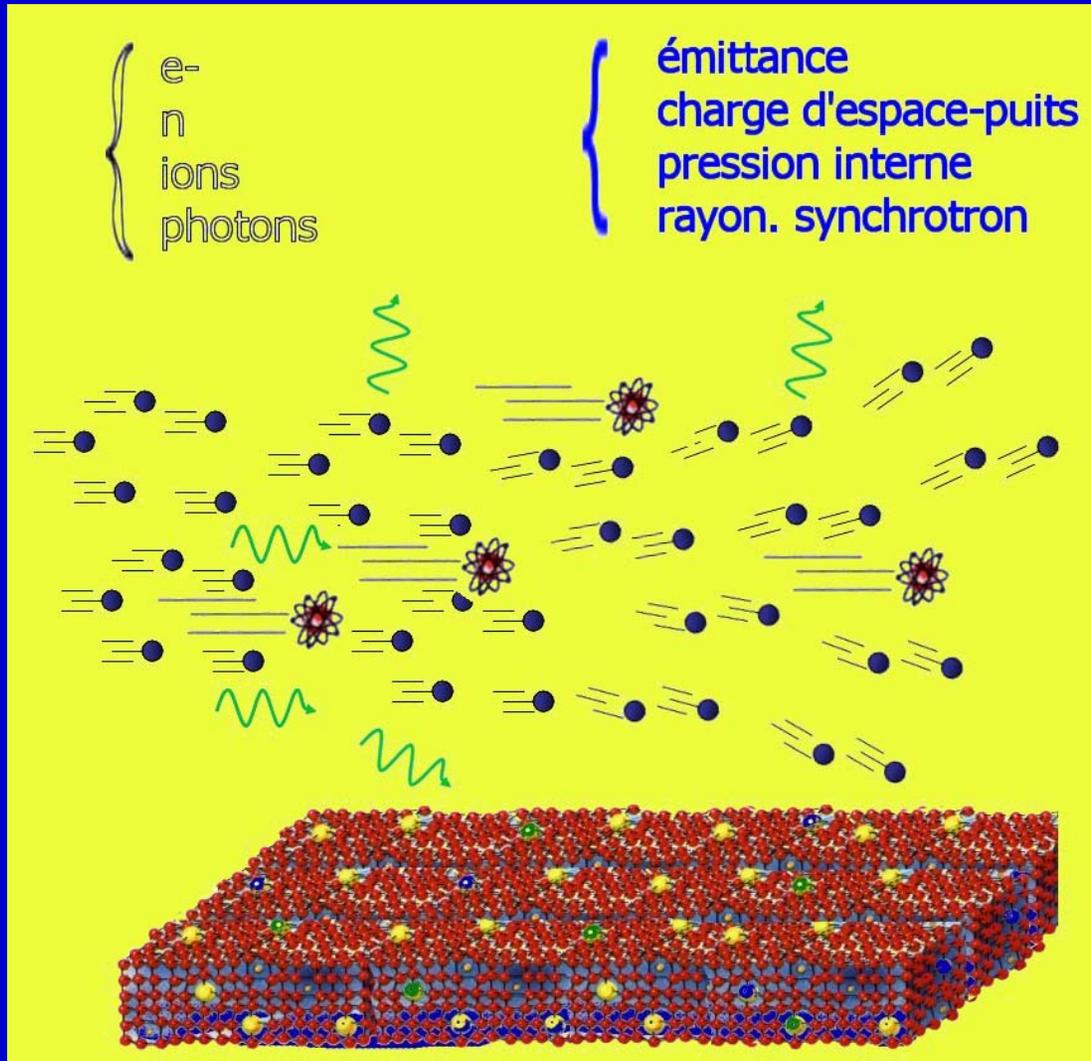


$$\dot{N}_s [\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}] = 2,6 \cdot 10^{22} \frac{P_{[\text{hPa}]}}{\sqrt{AT}}$$

$$\tau_{[s]} = \frac{1,16 \cdot 10^{-6}}{P_{[\text{hPa}]}} \text{ pour } H_2$$



Acteur 2: le faisceau



Définition

Intensité

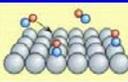
Flux

Fluence

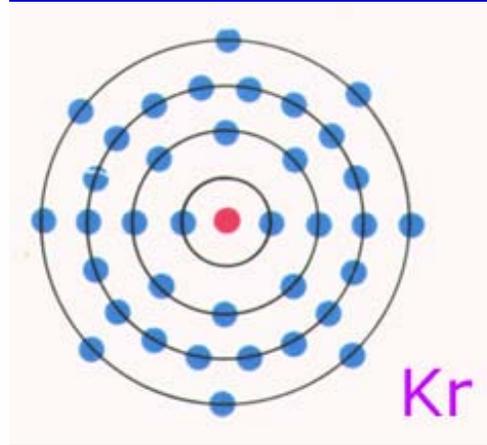
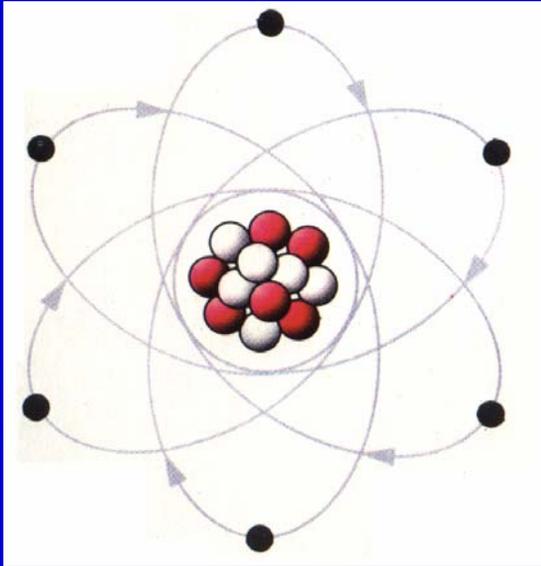
Energie

Rayon

Divergence



Les projectiles du faisceau: la genèse



L'atome de Rutherford, quelques ordres de grandeur:

R de l'atome $\approx 3 \cdot 10^{-8} \text{cm}$

R du noyau $\approx 10^{-12} \text{cm}$

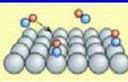
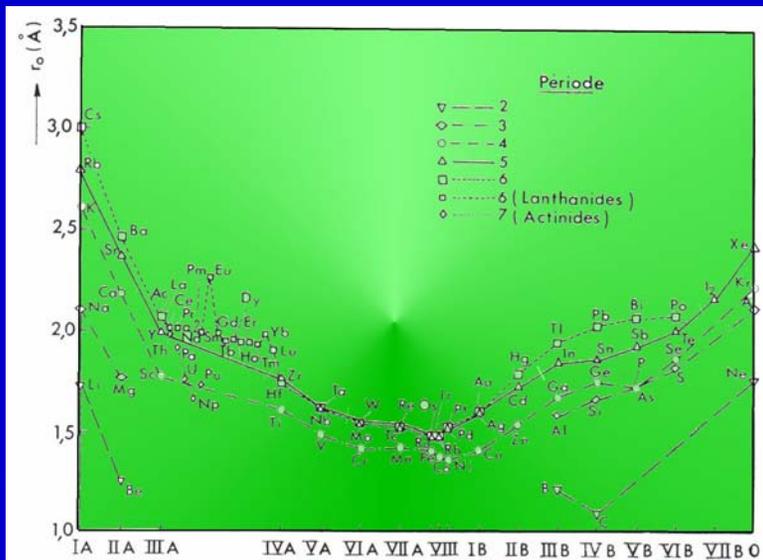
R du proton/neutron $\approx 10^{-13} \text{cm}$

R de l'électron $< 3 \cdot 10^{-19} \text{cm}$!

$B \approx 5 \text{T}$

$E \approx 2 \cdot 10^4 \text{GV/m}$

$\nu = \text{qq millions de GHz}$

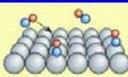
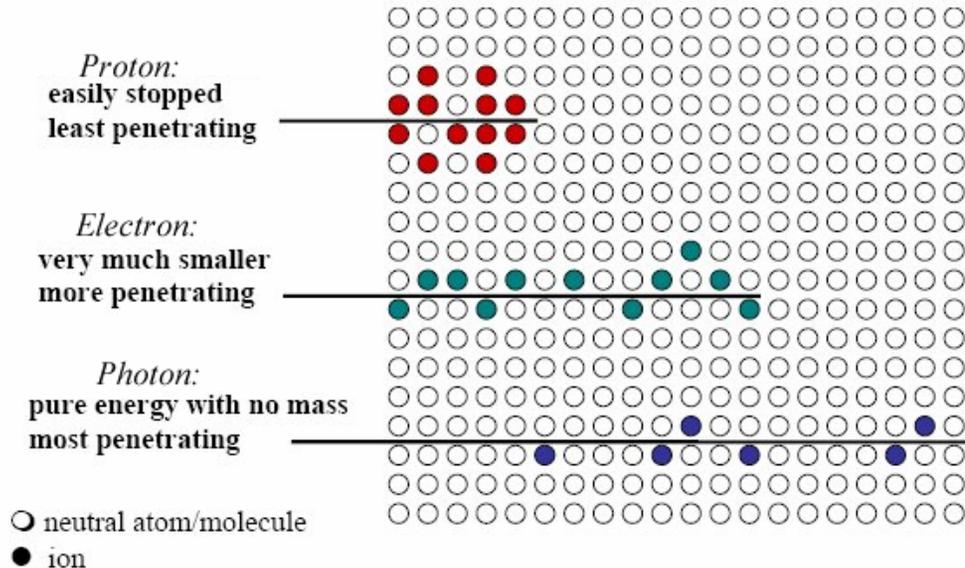




Leurs atouts

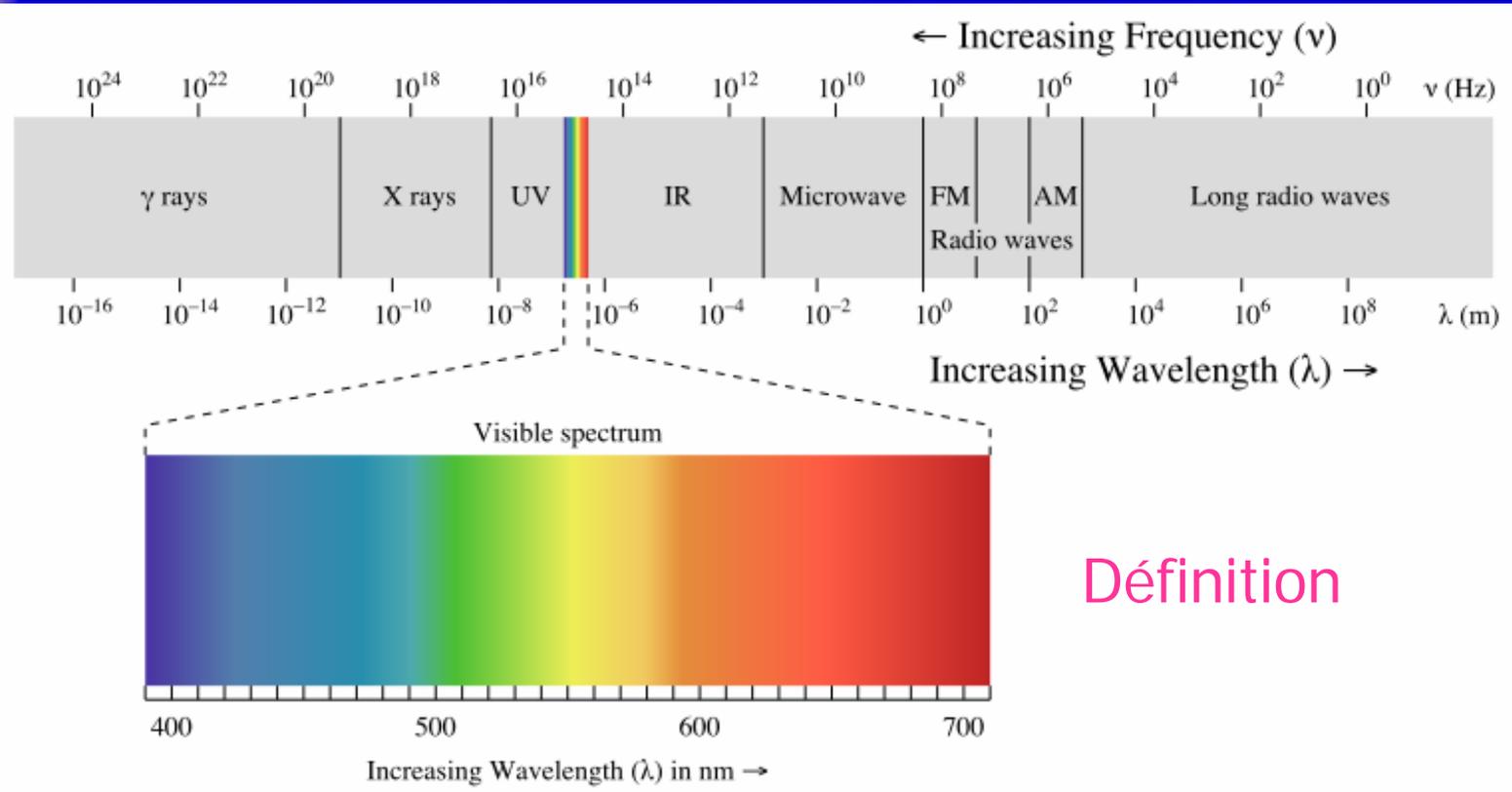
Characteristic	Radiation ($E_K = 1 \text{ MeV}$)			
	Proton (p)	Beta (β) or Electron (e)	Photon (γ or X ray)	Neutron (n)
Symbol	${}_1^1p \text{ or } H^{1+}$	${}_{-1}^0e \text{ or } \beta$	${}_0^0\gamma$	${}_0^1n$
Charge	+1	-1	neutral	neutral
Ionization	Direct	Direct	Indirect	Indirect
Mass (amu)	1.007276	0.00054858	—	1.008665
Velocity (cm/sec)	1.38×10^9	2.82×10^{10}	$c = 2.998 \times 10^{10}$	1.38×10^9
Speed of Light	4.6%	94.1%	100%	4.6%
Range in Air	1.81 cm	319 cm	82,000 cm*	39,250 cm*

* range based on a 99.9% reduction

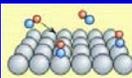
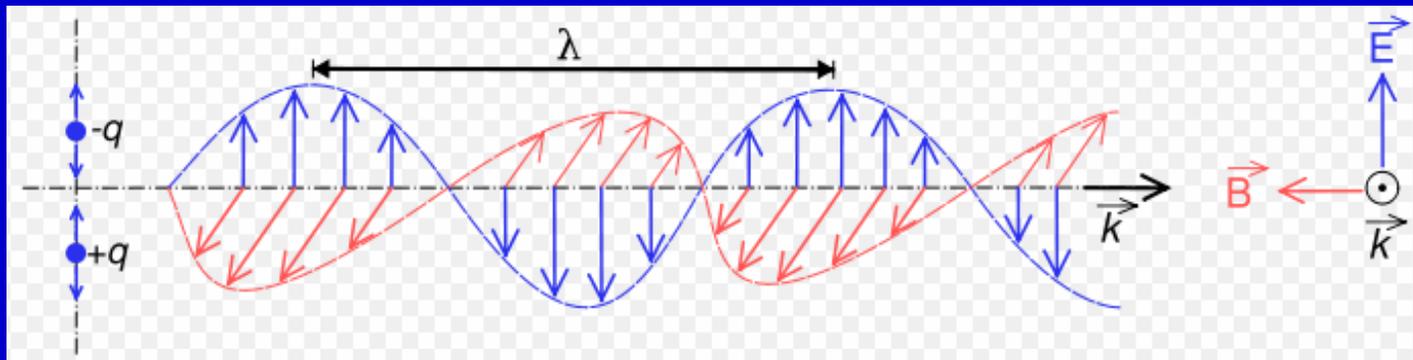




Le cas particulier du photon

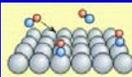
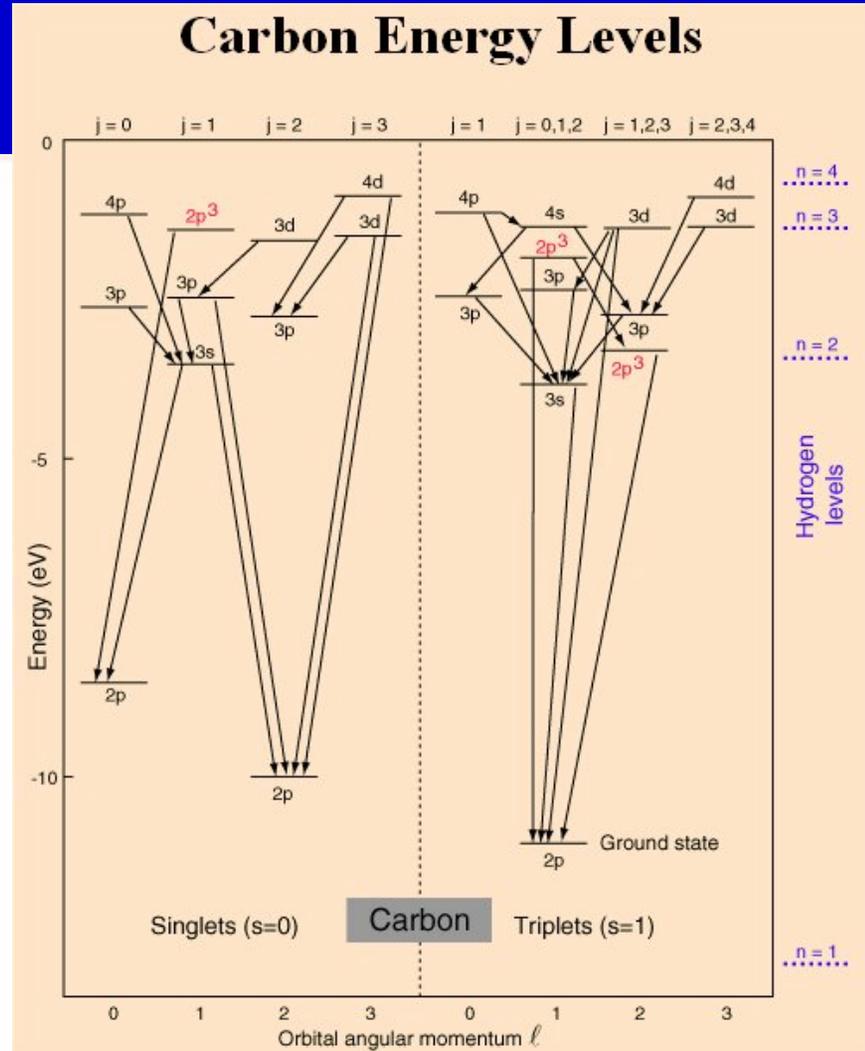
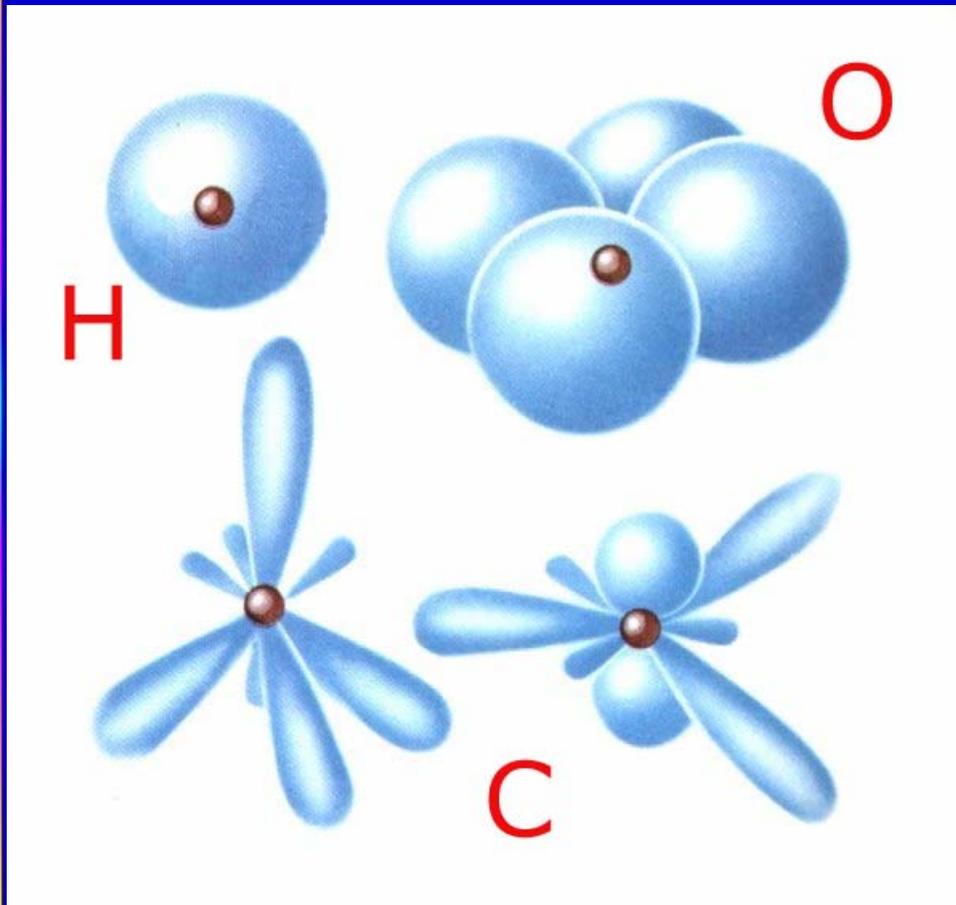


Définition



Acteur 3 : Vu du projectile!

L'atome de Bohr





Actions & Interactions

Les 3 fautifs-responsables peuvent se la jouer solo:

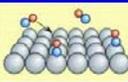
R freinage

Dégazage

Evaporation

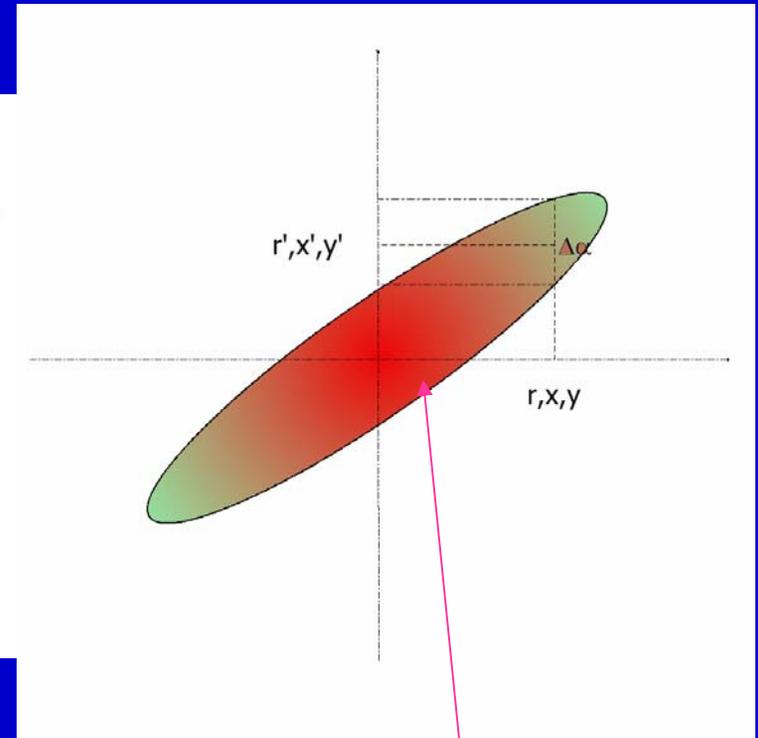
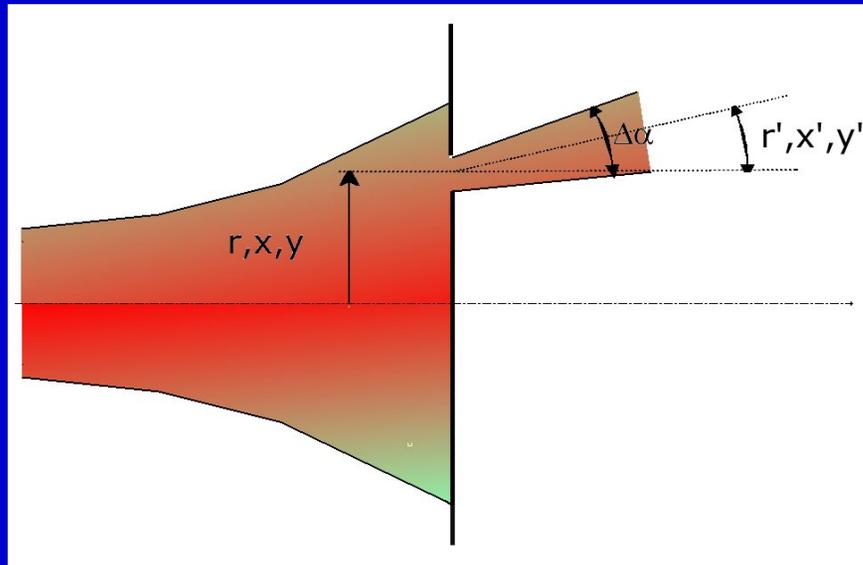
Ou

Interagir 2 à 2 (le 3^{ème} n'étant pas un simple voyeur!)



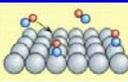
Le faisceau chargé

Emittance?

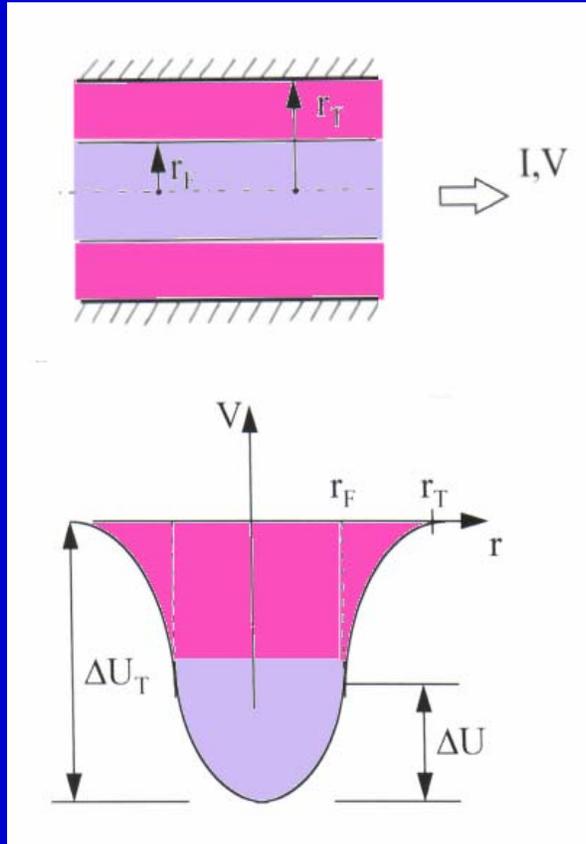


$$\varepsilon_{N,\text{nat.}} = 2r_k \sqrt{\frac{2kT}{mc^2}}$$

C'est la surface A/π ,
donc des mm.mrad!



Puits de potentiel & Neutralisation



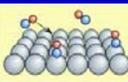
$$\Delta U = V_{r_F} - V_{(0)} = \frac{I}{4\pi\epsilon_0\sqrt{2\eta V}}$$

$$\Delta U_T = \Delta U \left(1 + 2 \ln \frac{r_T}{r_F} \right)$$

$$\tau_N \approx 4.65 \cdot 10^{-10} \frac{E^{1/2}}{P \ln 3E}$$

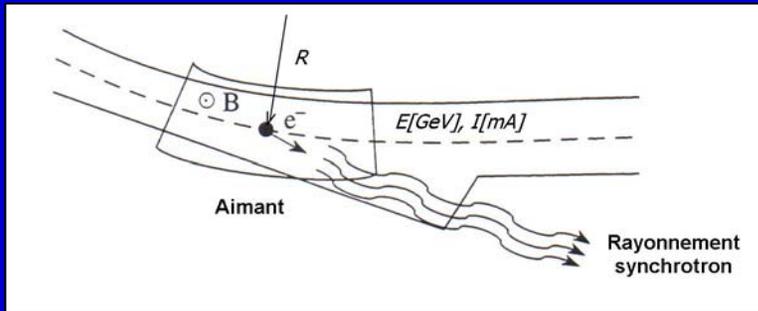
$$P_{int} [\text{mbar}] = 0.75 \cdot 10^{-4} \frac{I}{v r_F^2}$$

La neutralisation des faisceaux pose un grave problème sur les accélérateurs HV



Le rayonnement synchrotron

Principalement dû aux électrons

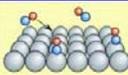
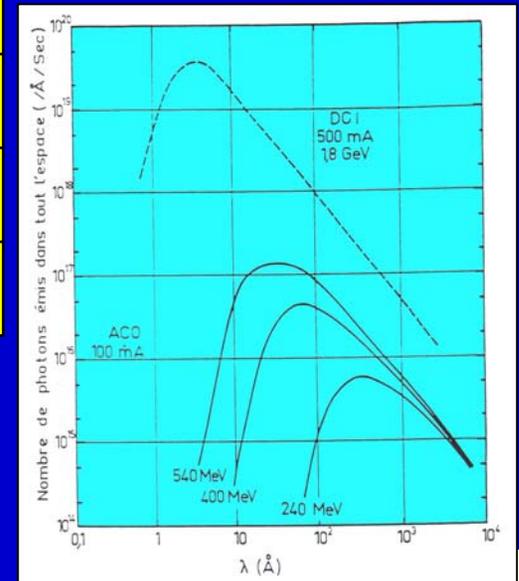


$$P_{\dagger} = 88.6 \frac{E^4_{[GeV]} I_{[mA]}}{R}$$

$$\frac{dN}{ds} [m^{-1}s^{-1}] = 1.2810^{17} \frac{IE}{R}$$

Machine	Particule	R(m)	E(GeV)	γ	$\lambda(\text{\AA})$
EPA	e-	1.43	0.5	978	20
LEP	e-	3096	45	88000	0.06
SPS	p	741	400	426	128000

Conséquences: qq 100nesW/m
et la désorption de H₂,CO,CO₂,CH₄...





Exercice 1

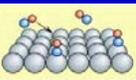
Le LEP travaille à 3mA-45GeV. Si un photon libère 10^{-2} particule neutre, quel est le flux gazeux à évacuer?

$$\frac{d\dot{N}}{ds} \left[\frac{m^{-1}s^{-1}}{m^{-1}s^{-1}} \right] = 1.28 \cdot 10^{17} \frac{I_{[mA]} E_{[GeV]}}{R}$$

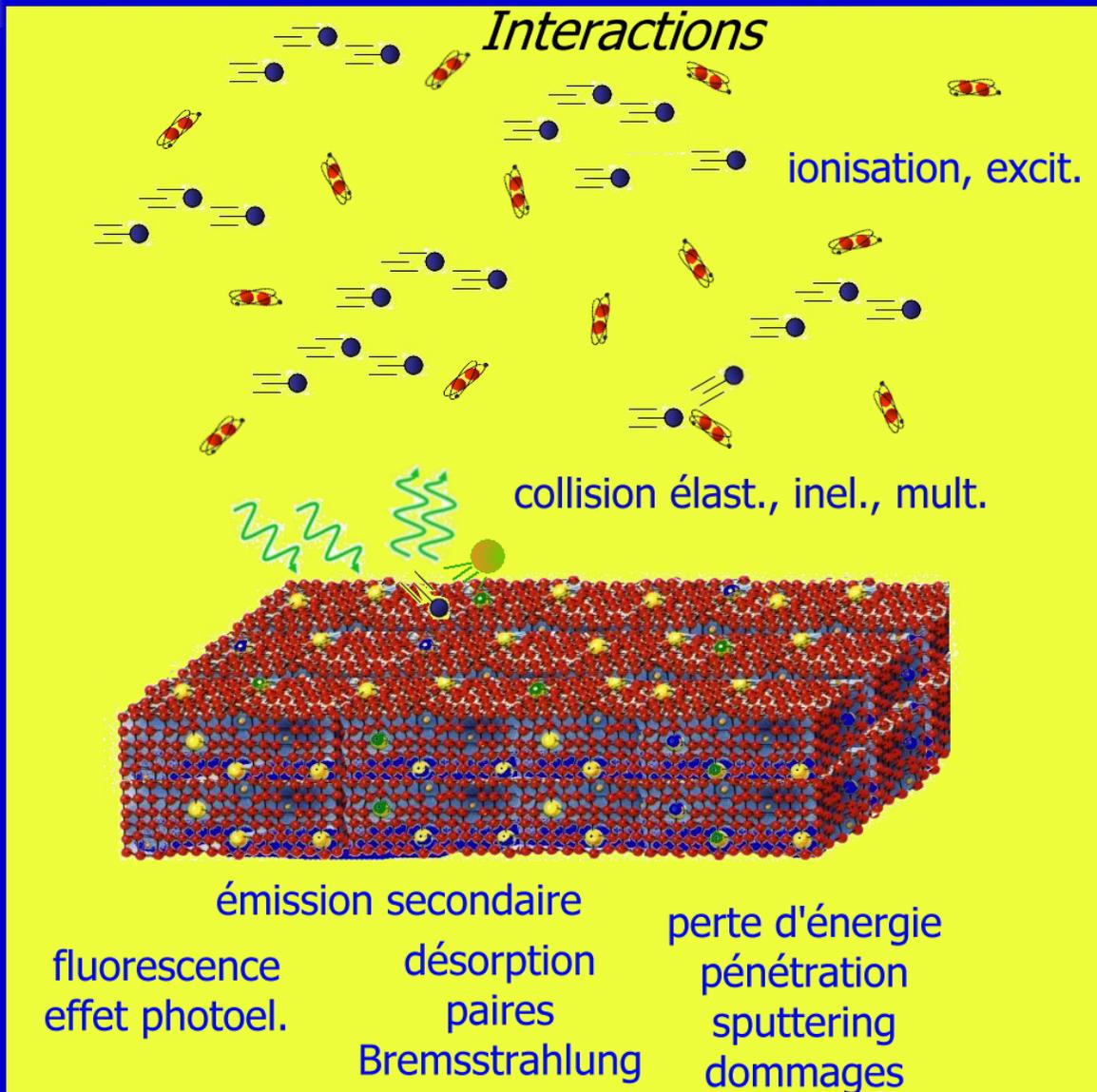
Soit $1.1 \cdot 10^{18}$ neutres/s.

Sachant qu'1 mbar.l/s équivaut à $2.6 \cdot 10^{19}$ neutres/s, le flux gazeux à évacuer est de $4.2 \cdot 10^{-2}$ mbar.l/s.

Pour maintenir une pression de 10^{-9} mbar, il faut avoir une capacité d'aspiration globale de $4.2 \cdot 10^7$ l/s!

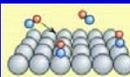


Les interactions binaires



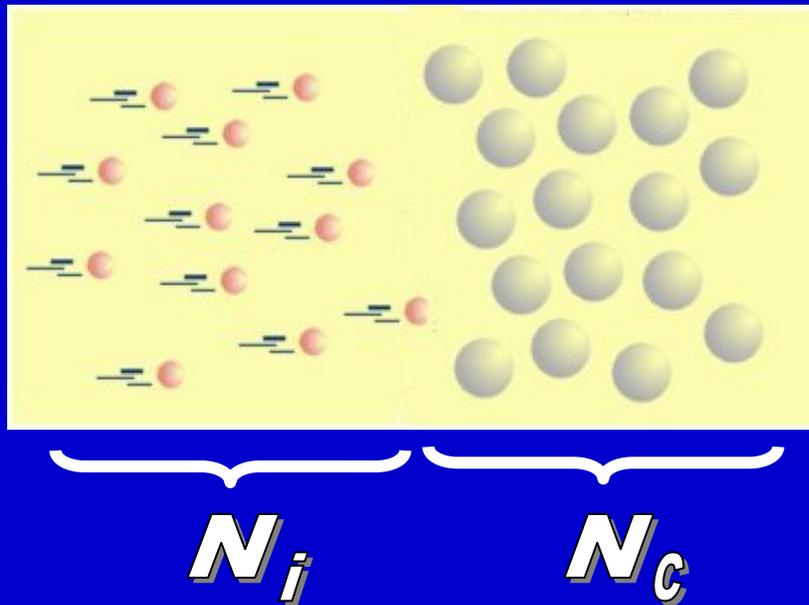
Non évoqués:
 Compton, R, R
 E stimulée
 Positrons
 R nucléaires
 Photo-Abs.
 Chauffage

.....



Les collisions

Elastique, inélastique?



Le nombre dN_r d'événements issus de la réaction est:

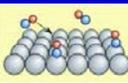
$$dN_r = \Phi N_i N_c da$$

↑
probabilité des événements

↑
paramètre d'action
(temps, distance...)

Si N_i est le nombre de projectiles, N_c par cm^3 et a une distance, on écrit pour : $dN_r = \sigma N_i N_c dx$

σ , probabilité de l'interaction, est appelée
sa section efficace (en cm^2)





Illustration

Mariages

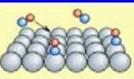
Dans une communauté, le nombre de femmes qui se marient dN est:

$$dN = \Phi N_h N_f dt$$

N_h est le nombre d'hommes célibataires

N_f est le nombre de femmes célibataires

Φ est un paramètre d'attraction qui dépend, par exemple, de l'âge moyen, des revenus, de la densité...C'est une forme de SE.



Exercice 2

Cas de la désorption induite

On calcule le nombre d'atomes γ désorbés par particule incidente:

$$\gamma = \frac{dNr}{Ni} = \sigma Nc dx = \sigma Ns \text{ [cm}^{-2}\text{]}$$

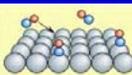
Ns est le taux de couverture

Cas de la fluence

On peut calculer le nombre d'interactions par atome sur une durée t induit par un nombre ϕ de projectiles par cm^2 et par seconde appelé fluence:

$$\frac{dNr}{VNc} t = \sigma \frac{Nid x}{V} t = \sigma \frac{Nid x}{S dx} = \sigma \phi \text{ [cm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{]} t$$

On parlera de d.p.a., si l'interaction se traduit par un déplacement de l'atome collisionné





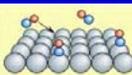
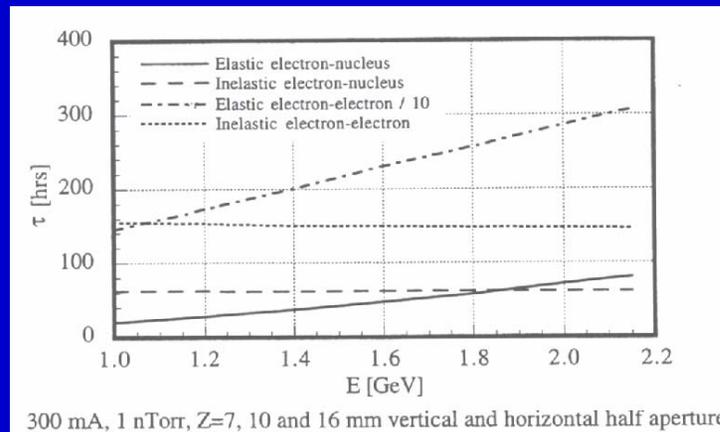
Exercice 2

Cas des pertes

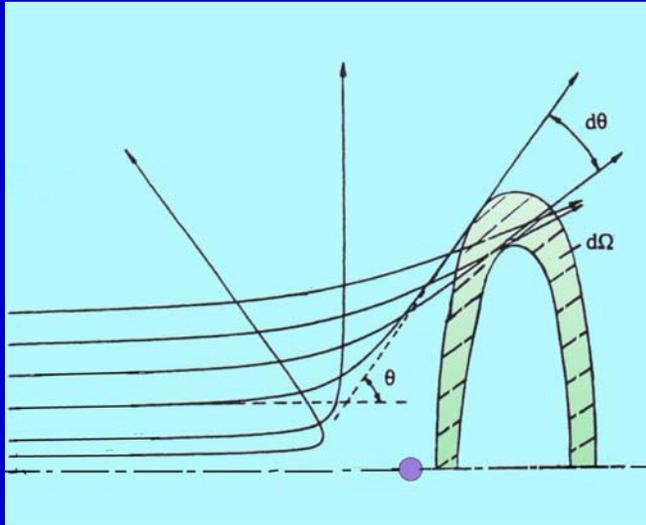
Si le faisceau incident subit des pertes dN_i par interaction avec une cible, on peut introduire la notion de durée de vie du faisceau:

$$\frac{dN_i}{N_i dt} = -\sigma N_c \frac{dx}{dt} = -\sigma v N_c$$

$$N_i = N_{i[t=0]} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \text{ avec } \tau = \sigma v N_c$$



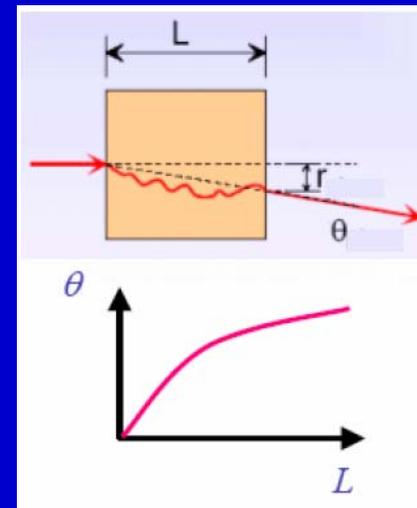
La diffusion coulombienne par le GR



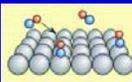
$$\text{pertes} \propto \left(\frac{\xi_{\text{oi}} Z_c e^2}{E} \right)^2 \frac{1}{D^2}$$

L'énergie moyenne échangée dans une CE Coulombienne est:

$$\frac{\Delta W}{W} \approx \frac{2m_i m_c}{(m_i + m_c)^2}$$



La diffusion multiple participe aux « stragglings »



Exercice 3

$$\text{CE e,p} \quad \frac{\Delta W}{W} \approx \frac{2m_e m_p}{(m_e + m_p)^2} \approx 0.3 \cdot 10^{-3}$$

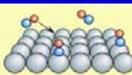
e- & photons induisent
peu de désorption
comparés aux nucléons

$$\text{CE n,p} \quad \frac{\Delta W}{W} \approx 50\%$$

Le seuil de déplacement d'un atome dans un solide est
de 20 à 50eV → e- de 1MeV, n de 1keV, ions de 100eV

$$\text{CINEL i,c} \quad W_{c,max} \approx \frac{m_c}{m_i + m_c} W_i$$

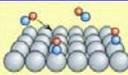
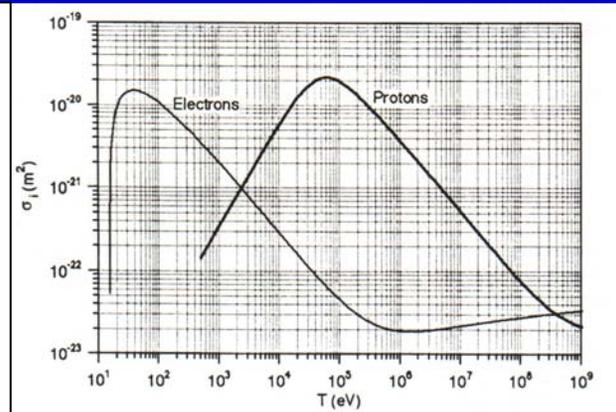
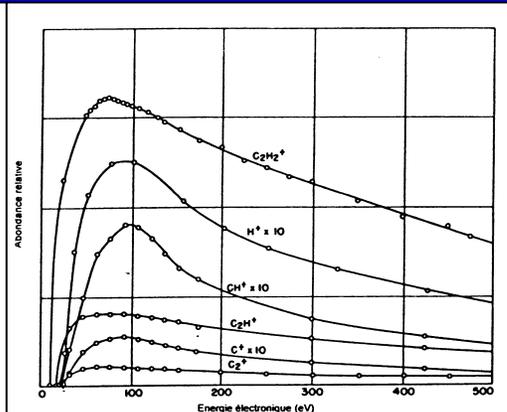
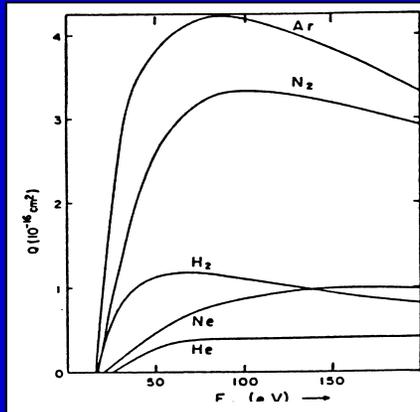
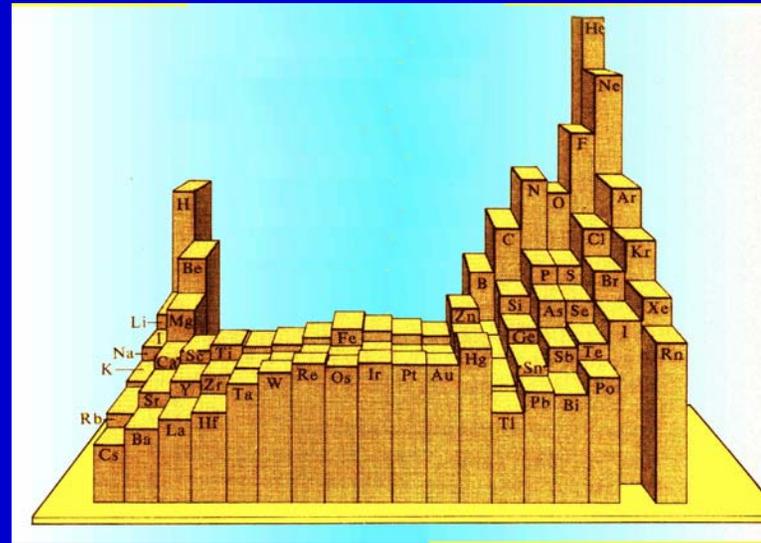
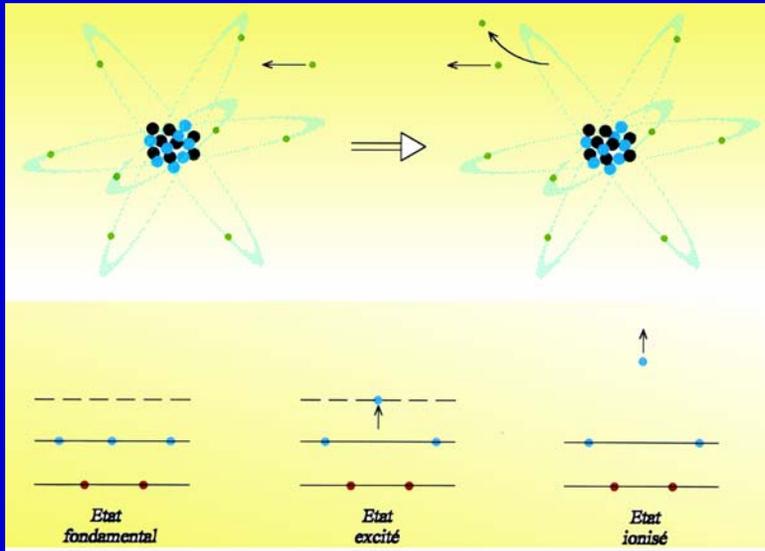
Un e peut perdre toute son énergie dans une
collision inélastique



L'ionisation

Collision coulombienne inélastique

$$\sigma_{[\text{cm}^2]} \approx a \frac{\text{Ln}(E/E_i)}{EE_i}$$





Exercice 4

Ionisation sur la distance

$$dNr = \sigma N_i N_c dx$$

Dans une jauge à vide de longueur active 5cm, les électrons ont 125 eV.

Sachant que la pression est de 10^{-7} hPa et que le courant I_e est de $100\mu A$, quel est le courant collecteur?

$$N_c[\text{cm}^{-3}] = 2.65 \cdot 10^{16} P[\text{hPa}]$$

$$N_i = 100 \cdot 10^{-6} / 1.6 \cdot 10^{-19}$$

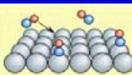
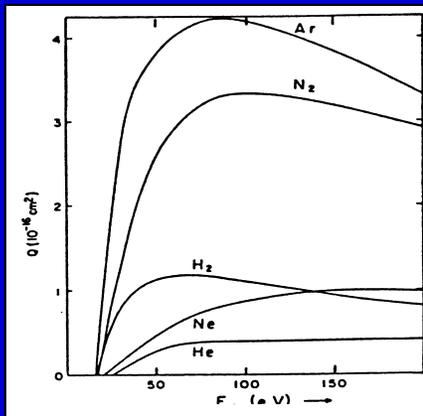
$$\sigma = 1 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^2$$

$$dNr = 8.25 \cdot 10^8 \text{ soit } I_+ = 132.5 \text{ pA}$$

On peut écrire:

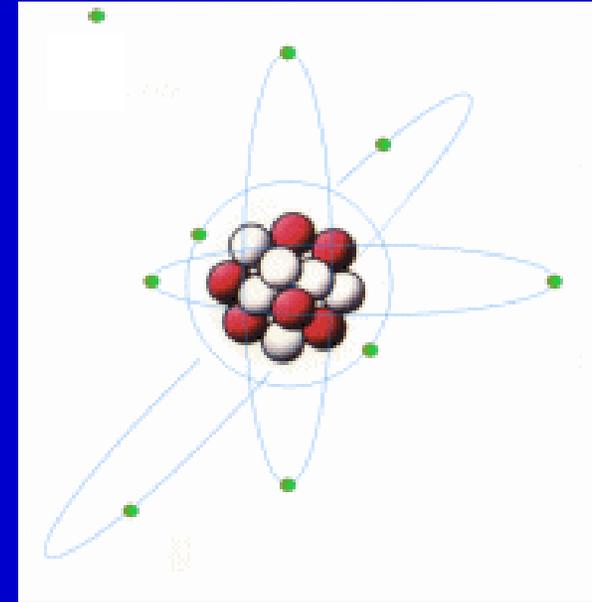
$$I_+ = 2.65 \cdot 10^{16} \sigma I_e P dx$$

1 é sur 1 million agit!



Le rayonnement de freinage électronique

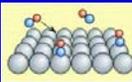
Ou « Bremsstrahlung »,
même nature que le
rayonnement synchrotron



	Z	A	X_0 [g/cm ²]	ρ [g/cm ²] $\times 10^3$
H ₂	1	1.01	61.28	0.090
He	2	4.00	94.32	0.178
N ₂	7	14.01	37.99	1.25
O ₂	8	16.00	34.24	1.43
Ne	10	20.18	28.94	0.90
Ar	18	39.95	19.55	1.78
Xe	54	131.29	8.48	5.89
Air			36.66	1.29
CO ₂			36.2	1.977
Ethane C ₂ H ₆			45.66	1.356
Methane CH ₄			46.5	0.717

$$\frac{dE}{E} = - \frac{dx}{\chi_0}$$

$$\chi_{0[g/cm^2]} = \frac{714.6 A_c}{Z_c(Z_c + 1) \ln(287 / \sqrt{Z_c})}$$



Exercice 5

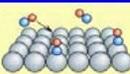
Longueur de radiation & Perte de faisceau par désynchronisation HF

$$H_2 \quad \chi_0 = 61.3 \text{ g / cm}^2 \quad \rho_H = 0.09 \text{ g / l}$$

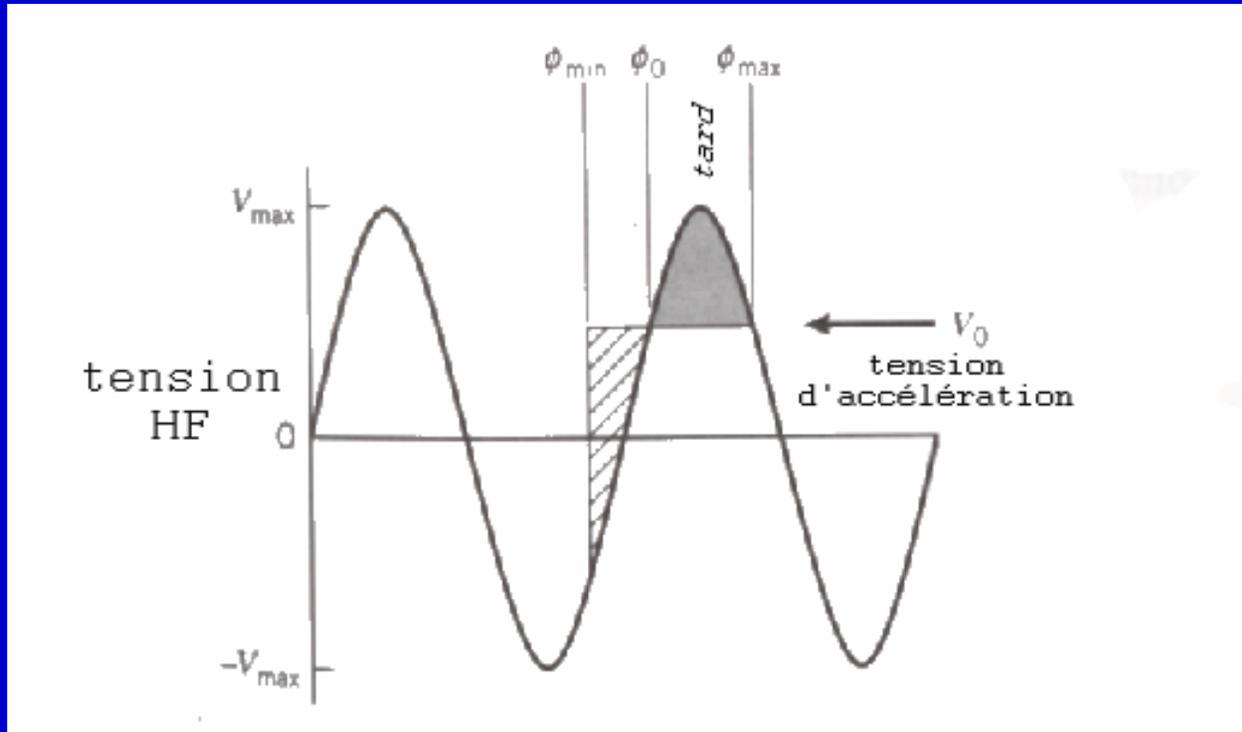
Rappelons que:

$$\frac{\rho_p}{\rho_H} = \frac{P_{[\text{hPa}]}}{1013}$$

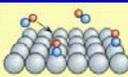
$$\frac{\Delta E}{E} = 1.4 \cdot 10^{-4} P_{[\text{hPa}]} \Delta x_{[\text{km}]}$$



Le rayonnement de freinage électronique



Conséquences: perte de faisceau par désynchronisation HF

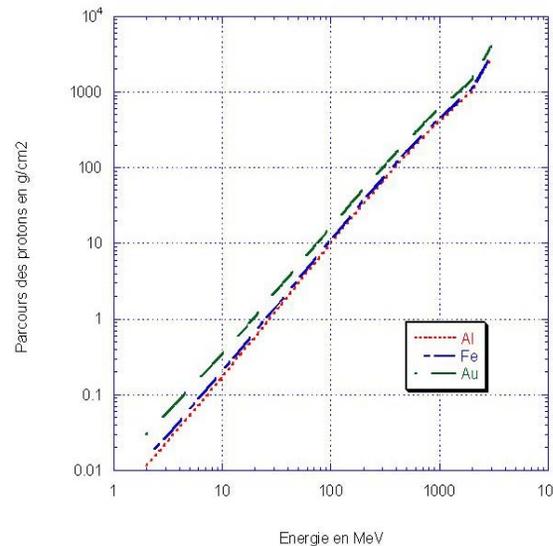
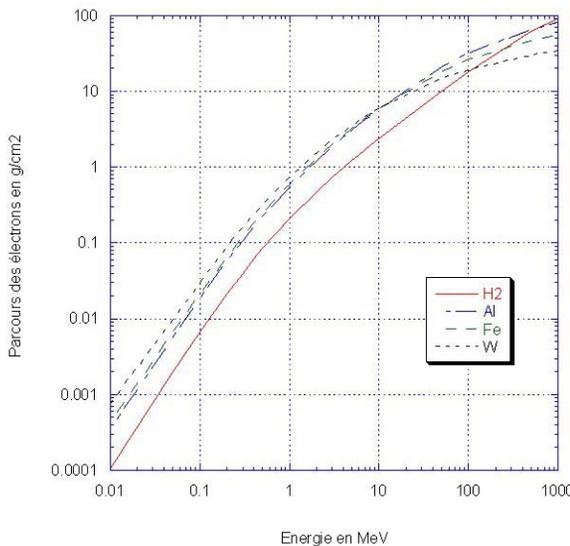
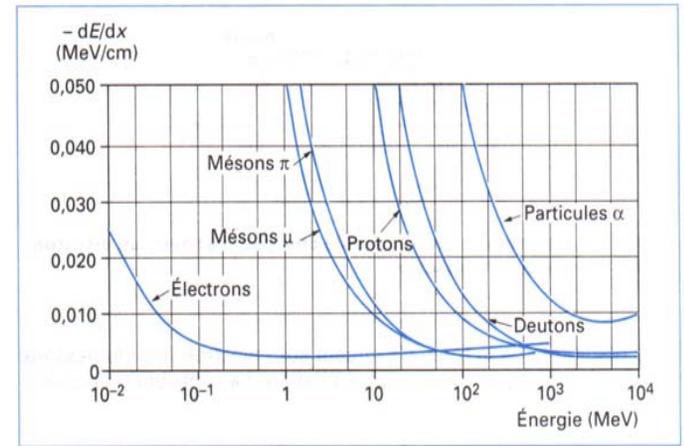
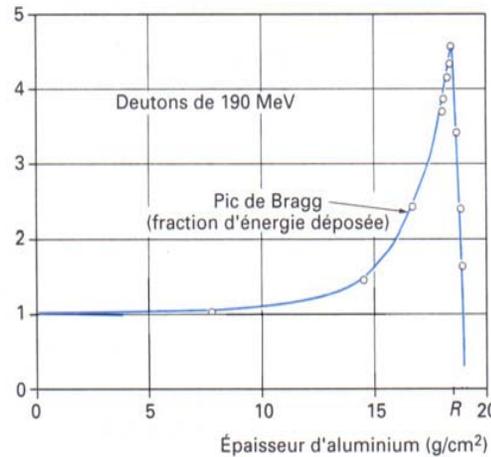
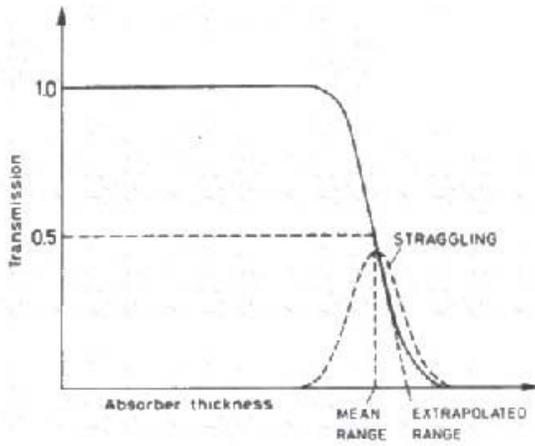




Pertes d'énergie par ionisation

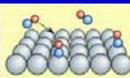
Pouvoir d'arrêt

$$-\frac{dE}{dx}_{[MeV.cm^{-1}]} \approx 0.3071 \frac{Z_c \rho}{A \beta^2} \left(\text{Ln} \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2}{\Im} - \beta^2 \right)$$



Parcours ou "Range"

$$R \propto \frac{E^2}{m_e \xi^2 Z_c N}$$



Exercice 6

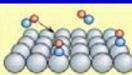
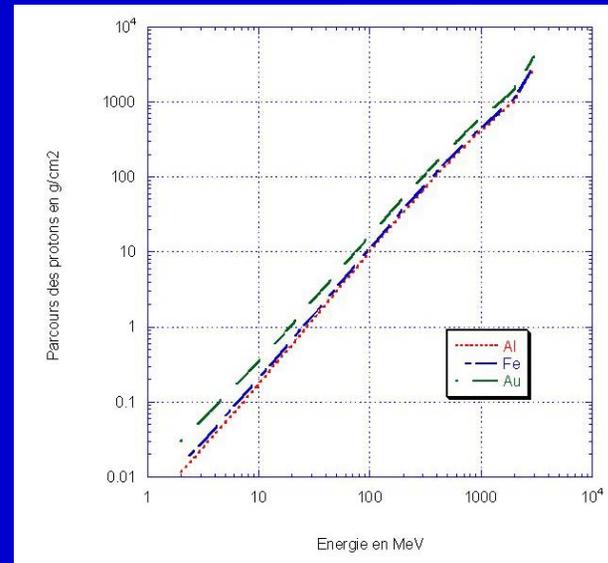
Calcul des ranges

Quel est le range approximatif d'électrons de 5 MeV dans N_2 ?

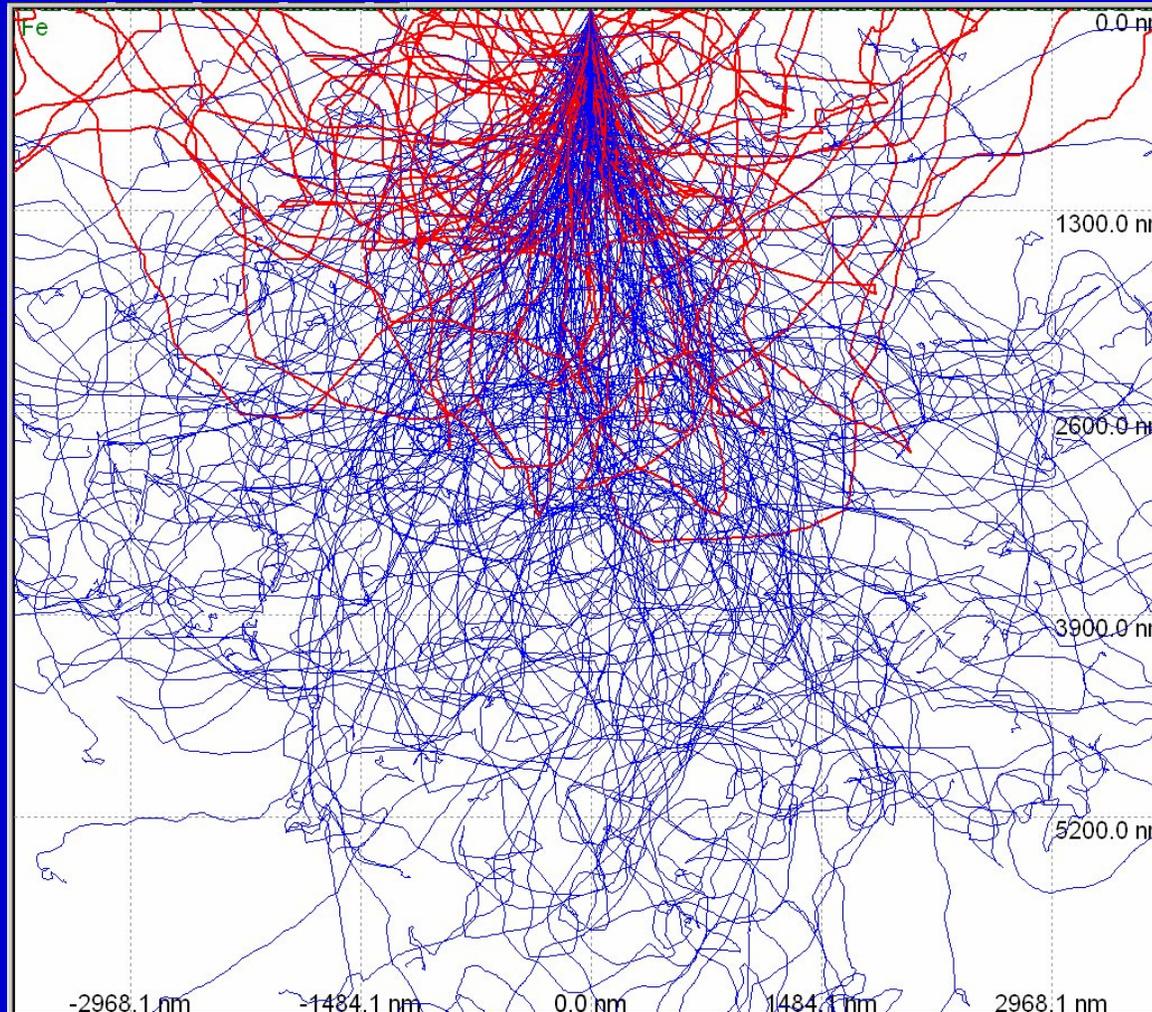
R vaut 2.544 g/cm^2 donc 20.35m .

Quel est le range, en cm, de protons de 10 GeV dans Al ($d=2.7$)?

La courbe donne en gros $R=10^4 \text{g/cm}^2$, donc $R=370\text{m}$.



Pertes d'énergie par ionisation

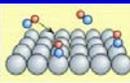


Pertes + diffusion multiple → des « stragglings »

$$\sigma_E^2 [eV^2] = \frac{4\pi N e^2}{(4\pi\epsilon_0)^2} \xi_i^2 Z_c \Delta x$$

$$\sigma_\theta^2 = \frac{4\pi \xi_i^2}{\alpha \beta^2 \gamma^2} \frac{m_e^2}{m_i^2} \frac{\Delta x}{\chi_0}$$

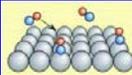
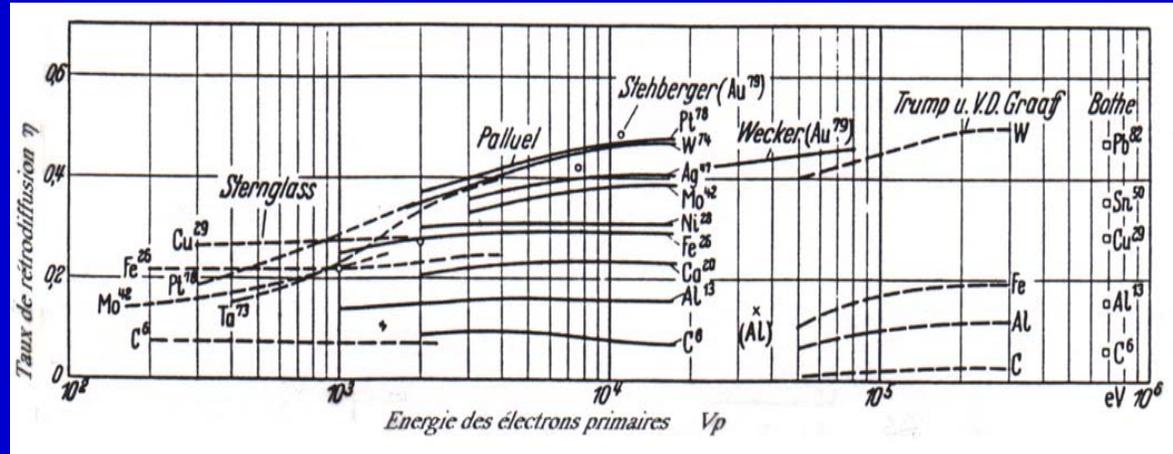
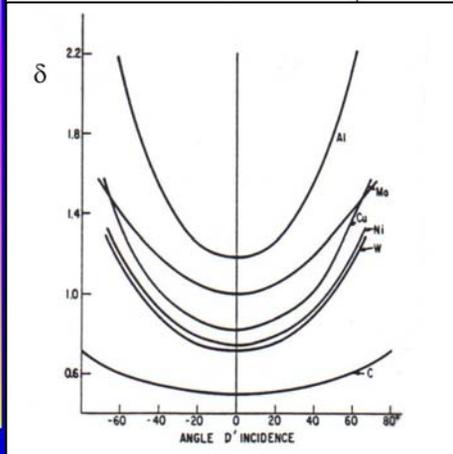
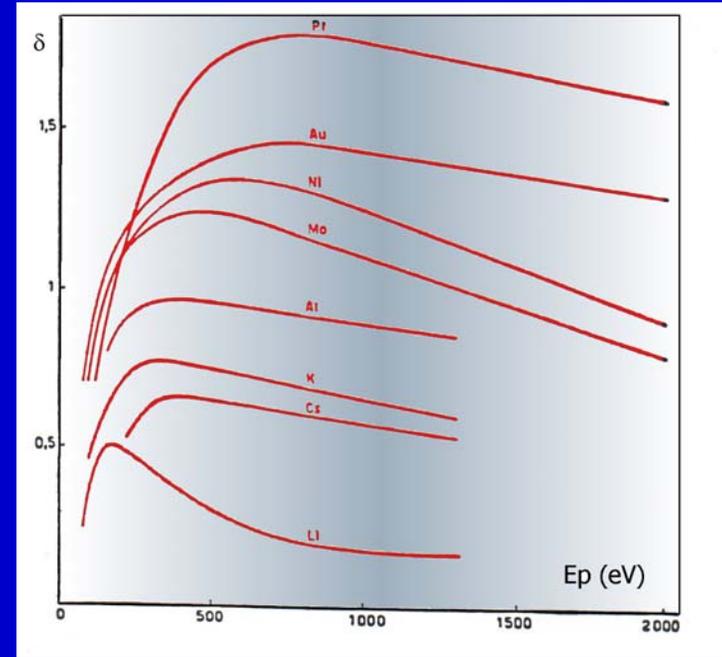
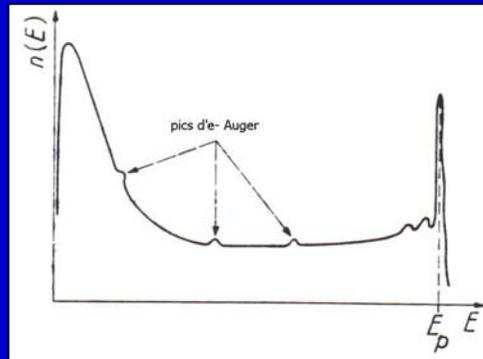
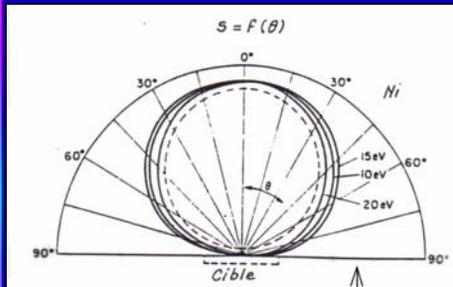
SRIM08, CASINO, GEANT & MCNP



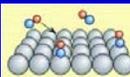
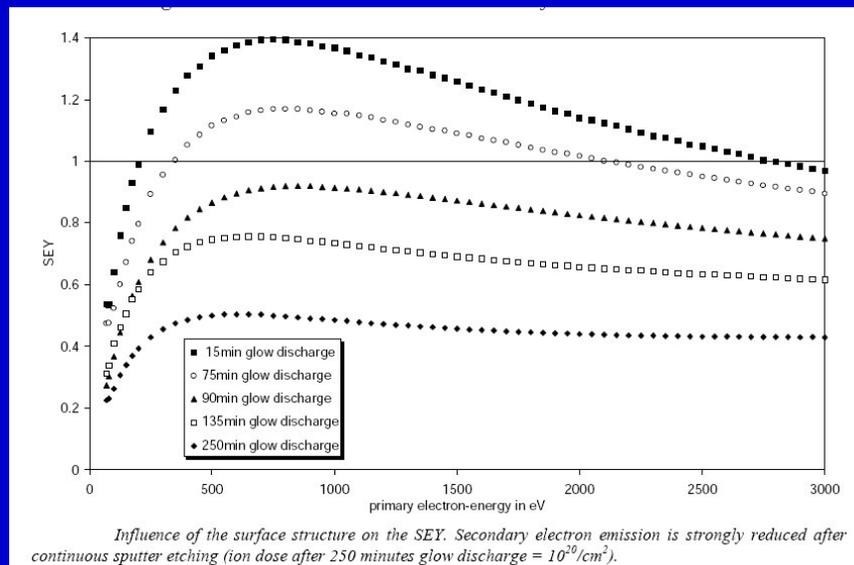
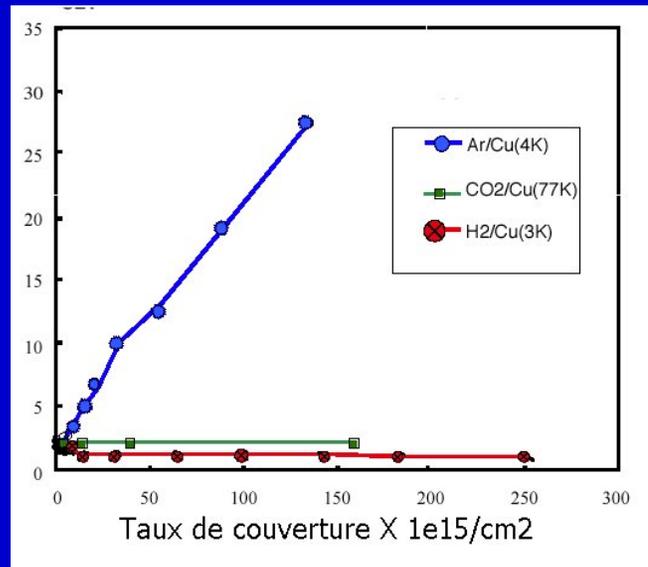
L'émission secondaire d'électrons

Sous impact électronique: cinétique

$$\delta = \frac{Z_s}{Z_i}$$

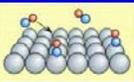


L'émission secondaire d'électrons



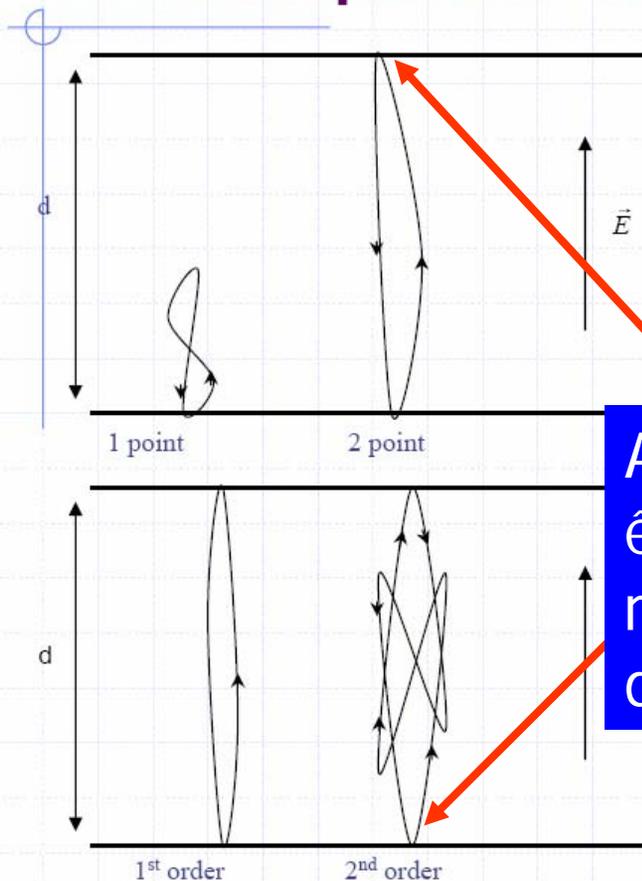
L'enfer du multipactor!

Xpactor sur 1 électrode



L'enfer du multipactor!

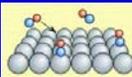
Description of multipactor



- An electron caught in the RF field will be accelerated and may impact with a wall
- The electron may produce one or several secondary electrons depending on the secondary

A l'impact, l'énergie cinétique peut être assez élevée pour créer du rayonnement X, lui-même capable de créer des photoélectrons!!

greater than initially, a multipactor resonance is possible

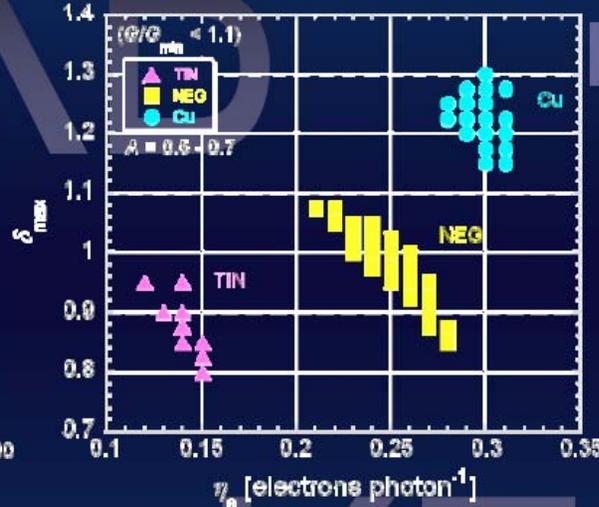
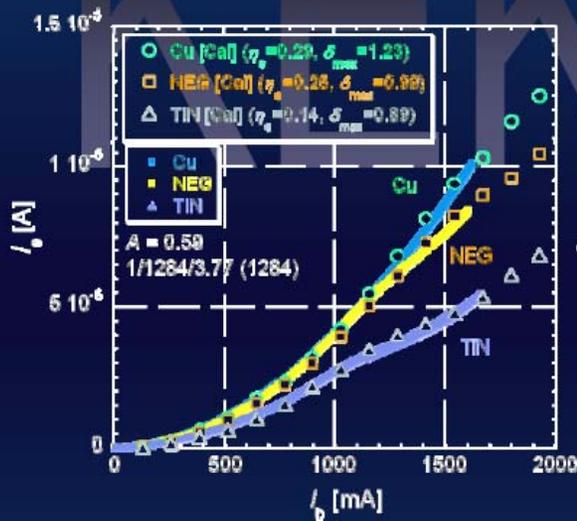




Inner Coating



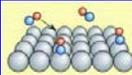
- Estimated η_e and δ_{max} (arc section) by simulation



Fitting

	η_e	δ_{max}
Cu	0.28-0.31	1.1-1.3
NEG	0.22-0.27	0.9-1.1
TiN	0.13-0.15	0.8-1.0

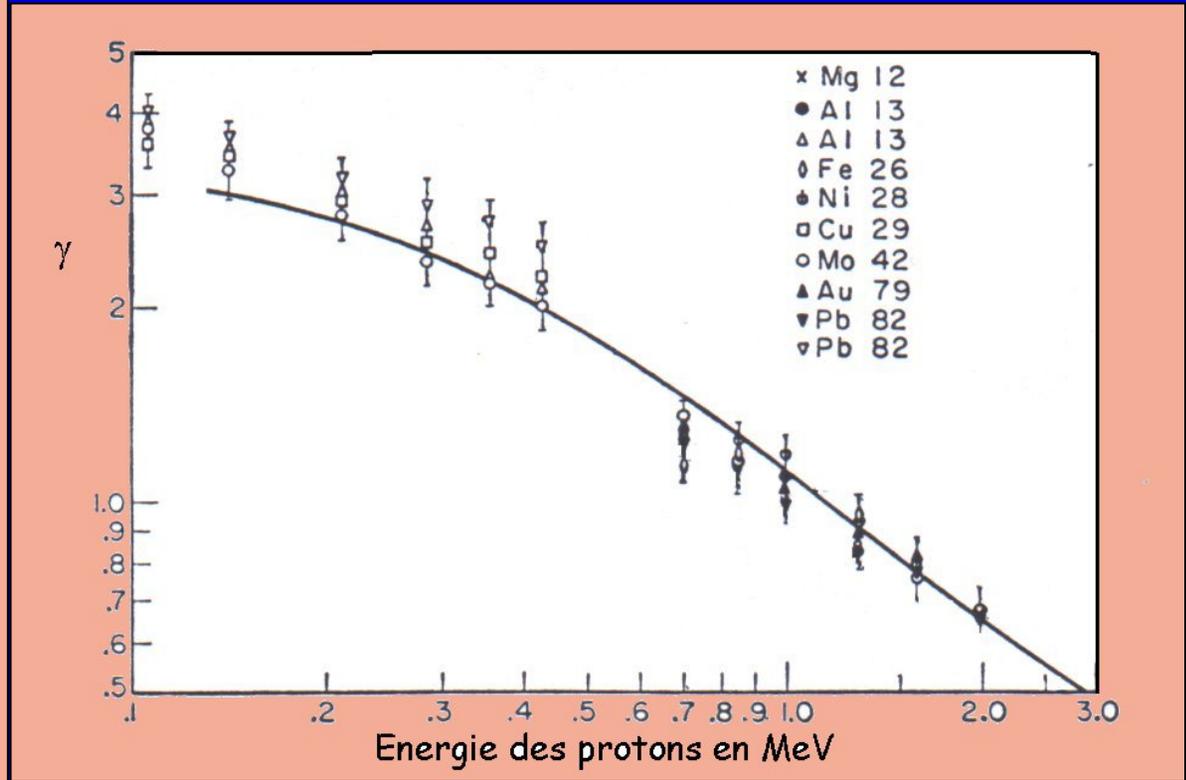
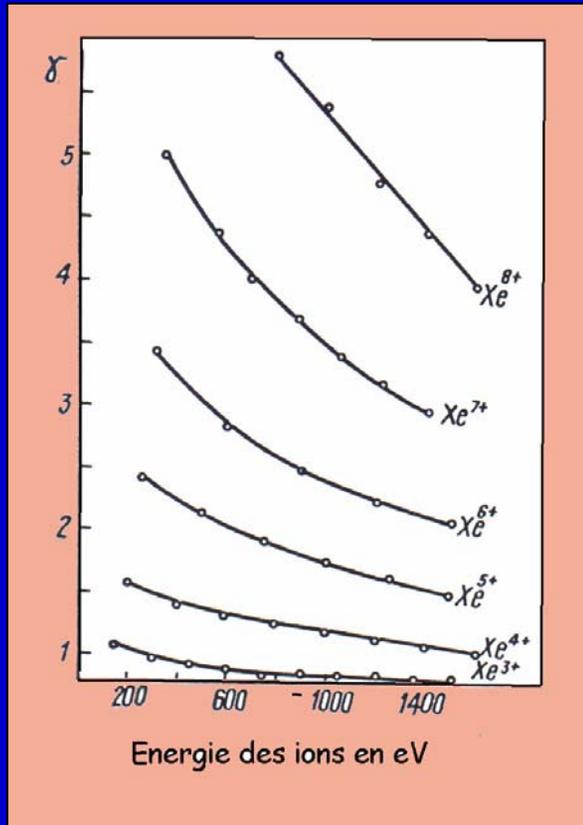
- TiN seems better from a view point of low δ_{max} and small η_e .
- δ_{max} of NEG is lower than Cu, but not so clear due to high η_e .
- δ_{max} of Cu, NEG and TiN is near to those measured in laboratory after sufficient electron bombardment (after aging).



L'émission secondaire d'électrons

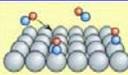
Sous impact ionique: potentielle

$$E_i \geq 2\Phi$$



E électrons éjectés <20eV

Attention aux erreurs d'appréciation des intensités de faisceau !!



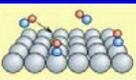


Exercice 7

Erreurs d'intensité

Sur une cage de Faraday est collecté un courant de $100\mu\text{A}$ de Xe^{7+} à 1000eV . Par quoi est-il parasité et quelle est l'intensité réelle?

La cage de Faraday voit un bilan de $6.25 \cdot 10^{14}$ charges réparties entre les électrons secondaires réémis et les ions Xe^{7+} . Chaque ion produit $3.5e^-$. Si x est le nombre réel d'ions, on a $7x + 3.5x = 6.25 \cdot 10^{14}$, d'où l'intensité réelle $7x \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} = 66\mu\text{A}$.

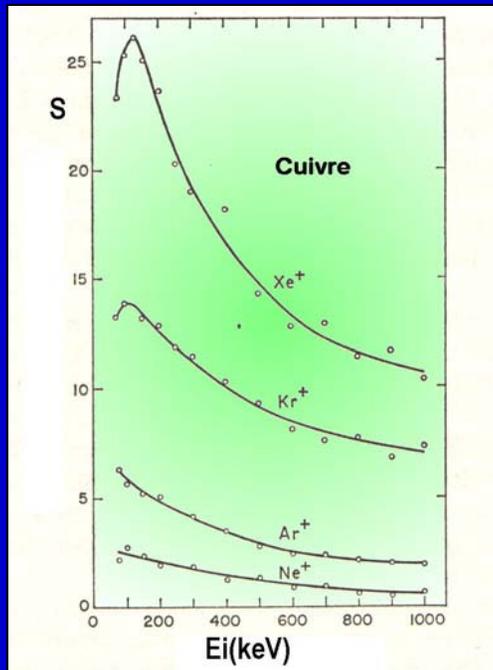


La pulvérisation ionique

Elle s'accompagne d'une émission secondaire d'ions à faible énergie

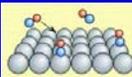
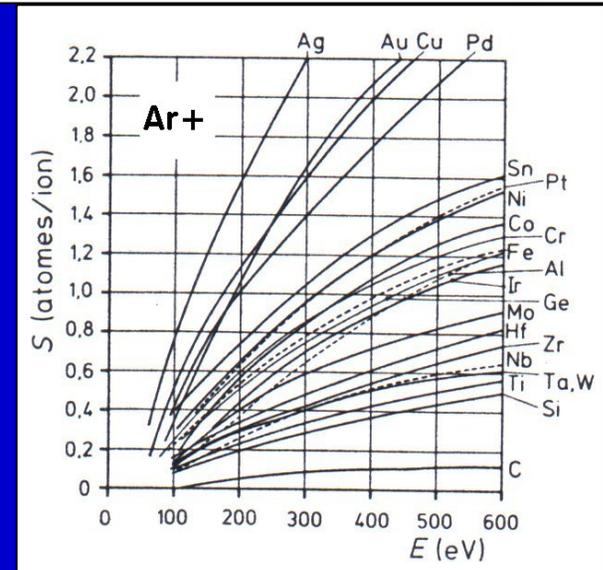
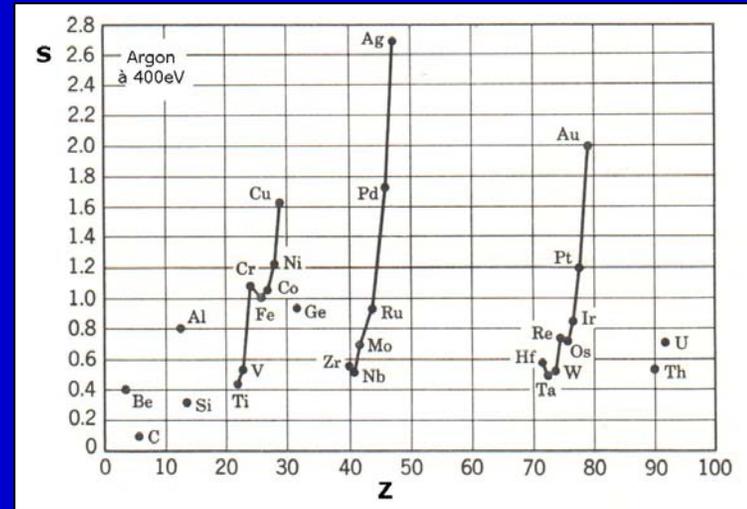
$$S = 76 \cdot 10^9 \alpha \alpha_i Z_i Z_c \frac{A_i}{A_i + A_c} \frac{S_n}{U [eV]}$$

$$S(\theta) = S(0) (\cos \theta)^{-5/3}$$



Matériaux à prohiber
Usure des PI

∃ P e-!!



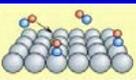


Exercice 8

Durée de vie d'une cathode de pompe

la cathode en titane d'une PI fait $e=3\text{mm}$. Elle travaille à 10^{-5} hPa/N₂. En supposant que les ions d'azote frappe cette cathode à 5keV et qu'elle collecte $100\mu\text{A}$ par cm^2 , quelle est sa durée de vie ?

1 cm^2 de cathode contient 1.35 g de Ti ($d=4.5$) donc $1.69 \cdot 10^{22}$ atomes de Ti ($A=48, Z=18$). $100\mu\text{A}$ représentent $6.25 \cdot 10^{14}$ ions/s. On déduit $a=1.4 \cdot 10^{-11}$, $\varepsilon=0.8$, $S_n=0.35$, $\alpha=0.6$ d'où $S=1.62$. Le nb d'atomes de Ti pulvérisés est de $1.01 \cdot 10^{15}/\text{s}$. Durée de vie=193 jours, mais inutilisable bien avant. Moralité : la pompe ionique doit travailler dans un vide préétabli suffisamment poussé pour que les cathodes durent plusieurs années.

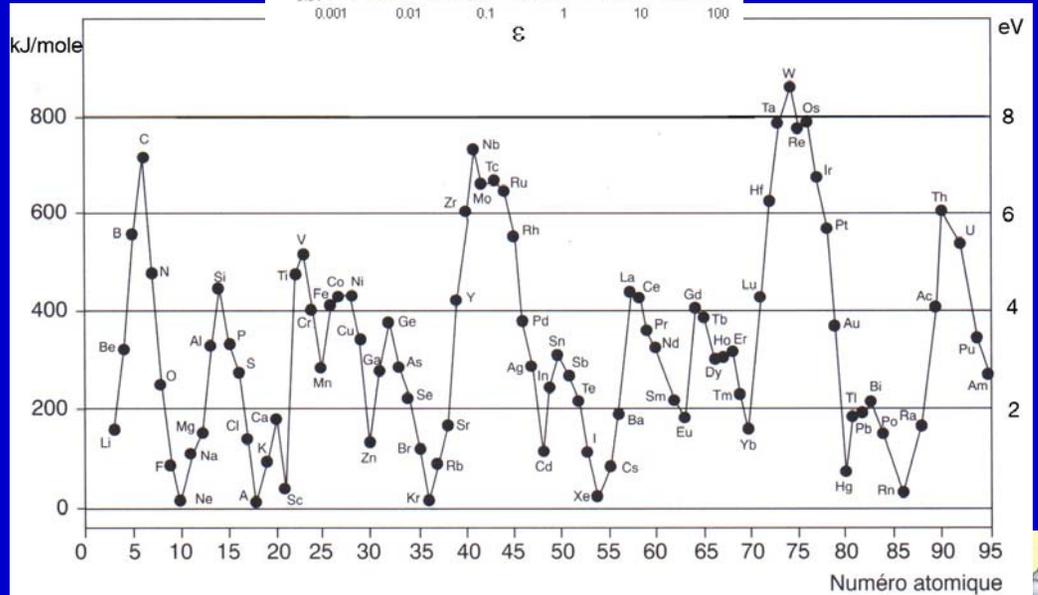
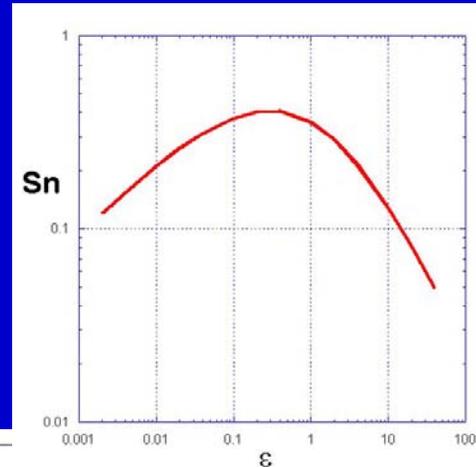
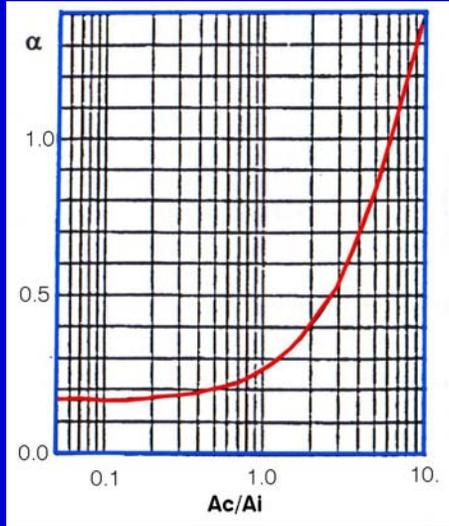




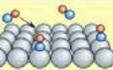
Exercice 8

$$\alpha = 0.4710^{-10} \frac{1}{\sqrt{Z_i^{2/3} + Z_c^{2/3}}}$$

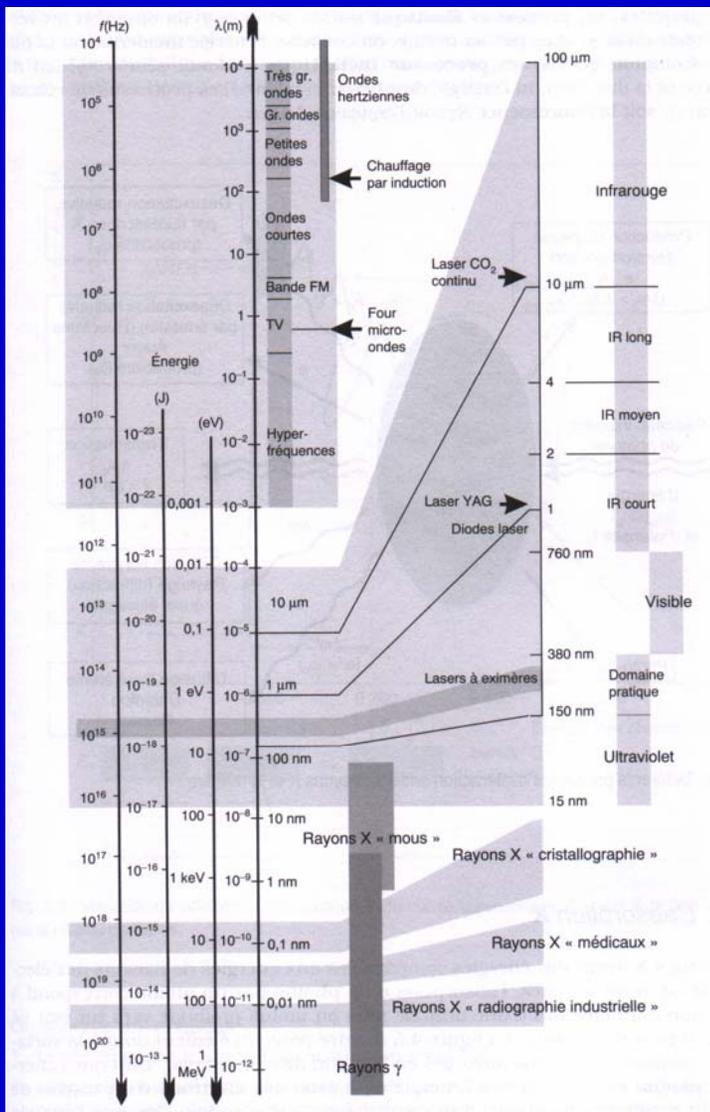
$$\epsilon = \frac{3.2510^{-2}}{Z_i Z_c} \frac{A_c}{A_c + A_i} E_i [eV]$$



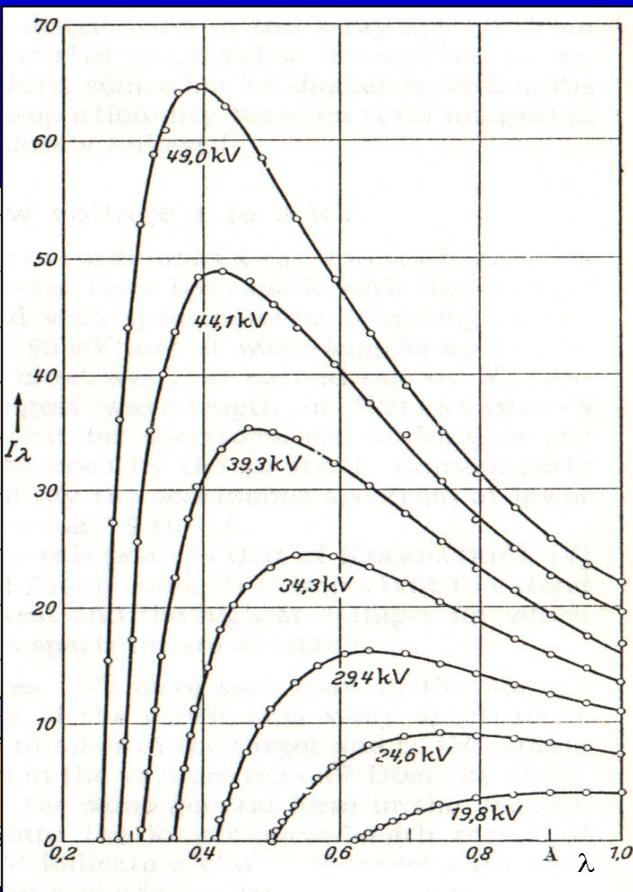
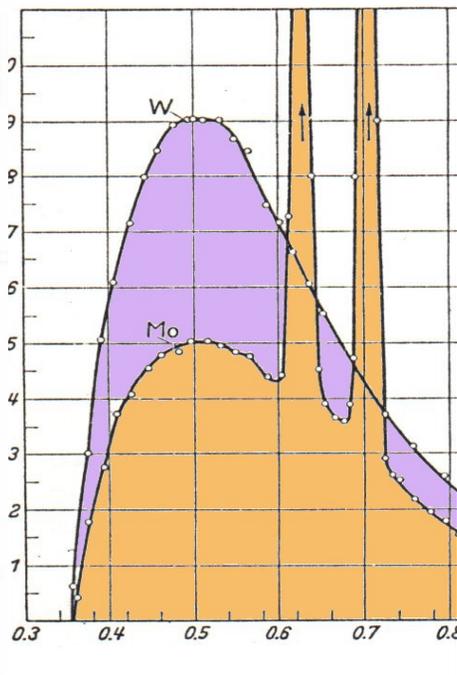
$$S = 76 \cdot 10^9 \alpha \alpha Z_i Z_c \frac{A_i}{A_i + A_c} \frac{Sn}{U [eV]}$$



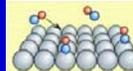
La production de photons par impact e-



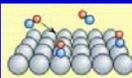
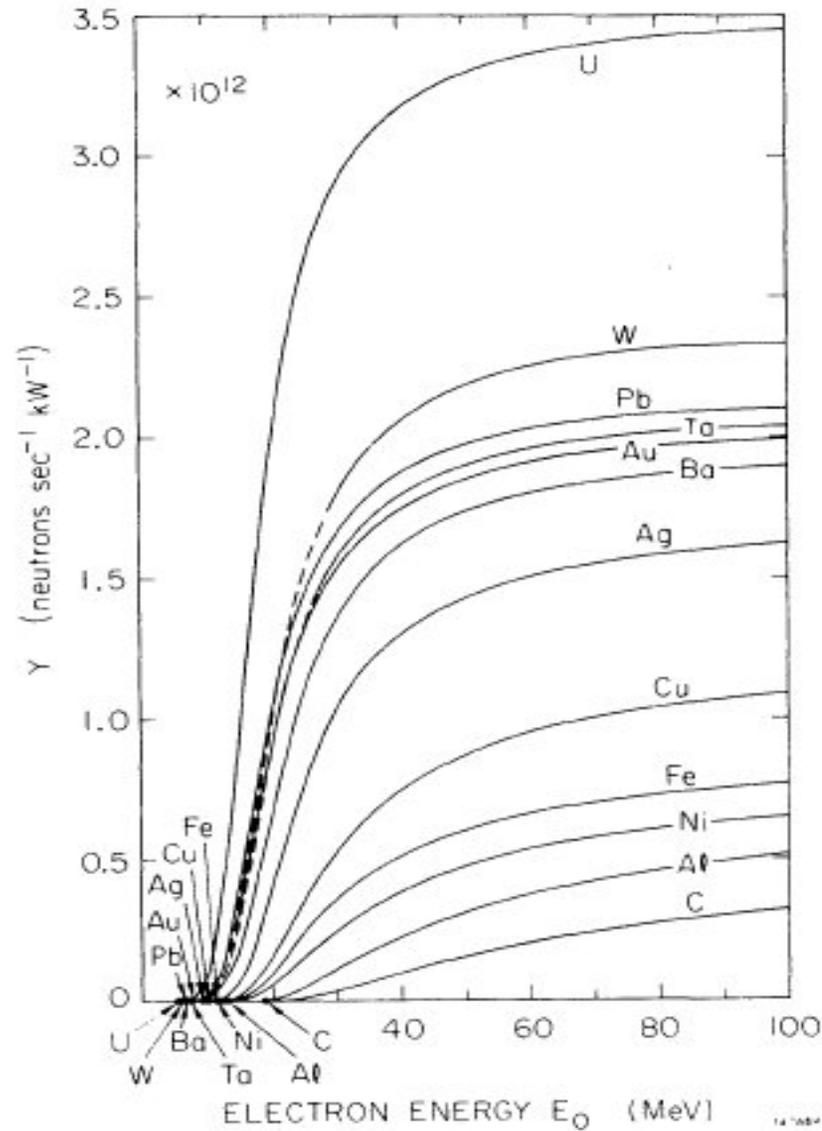
$$I = kZE^2$$



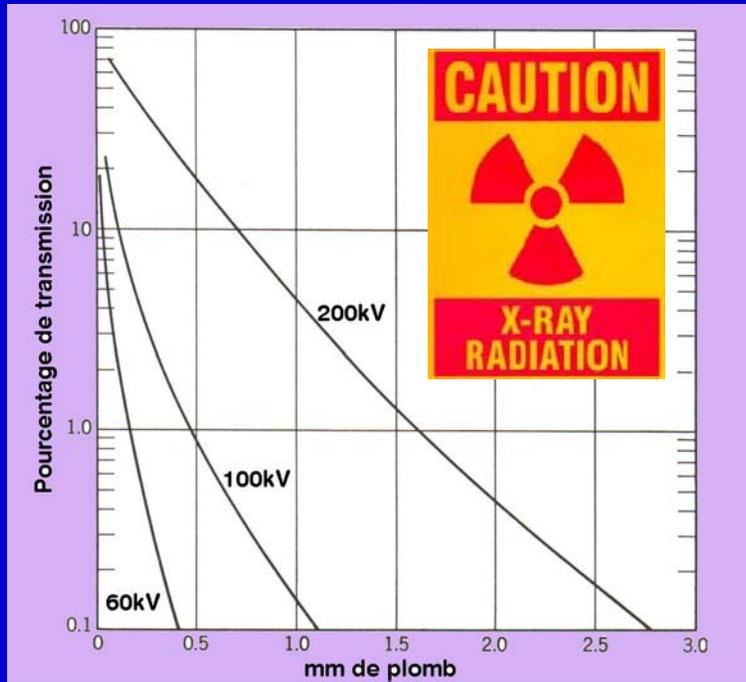
→ Effet photo-électrique



La production de neutrons par impact e-

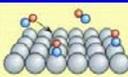
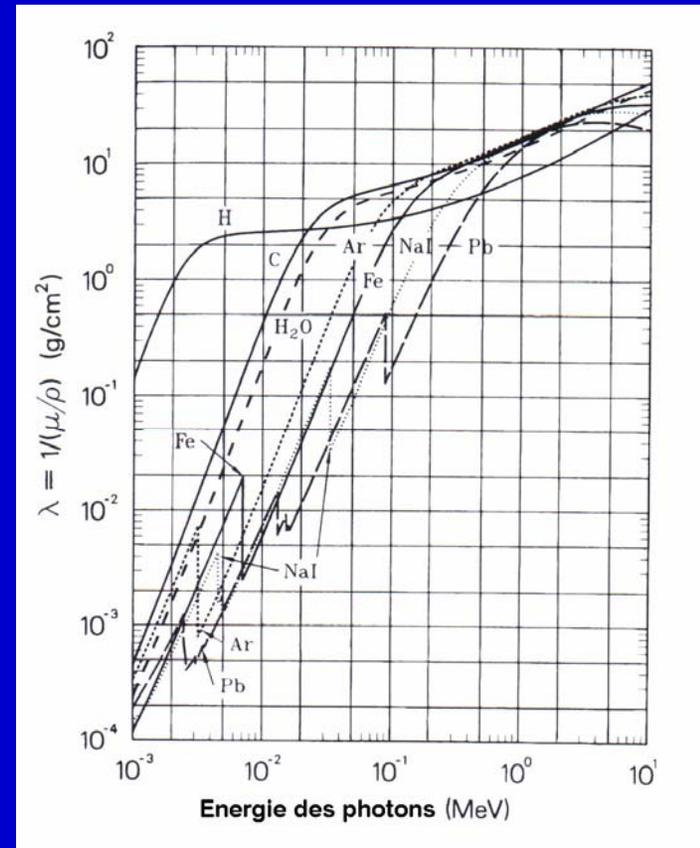


L'atténuation des photons



Danger pour les personnes et le matériel!

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{\rho}{\lambda} x\right)$$





Exercice 9

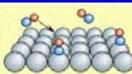
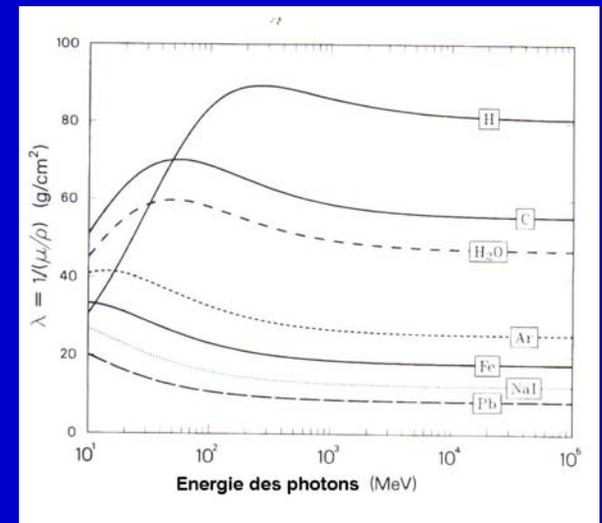
Blindage

Supposons que dans un bloc d'arrêt d'électrons, les photons produits aient une énergie de 50MeV, quelle épaisseur de plomb faut-il pour abaisser le rayonnement d'un facteur 1000 ?

Solution : la longueur d'atténuation dans le plomb ($d=11.4$) est de 10g/cm^2 pour des photons de 50MeV, le coefficient d'absorption linéique μ_l est donc de 1.14cm^{-1} . Il faut 6cm de plomb.

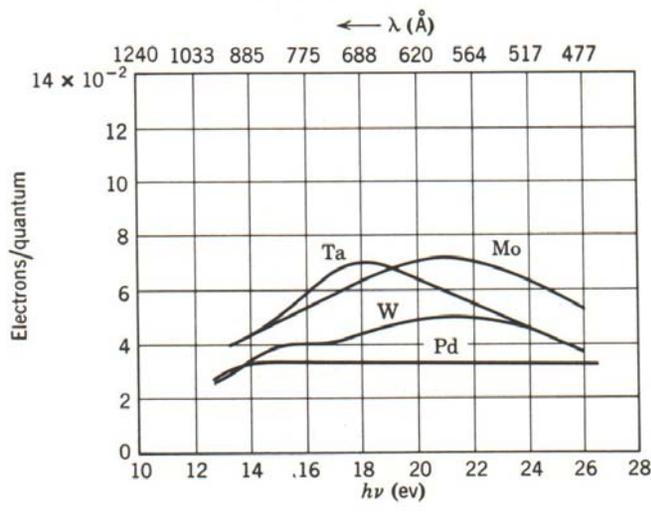
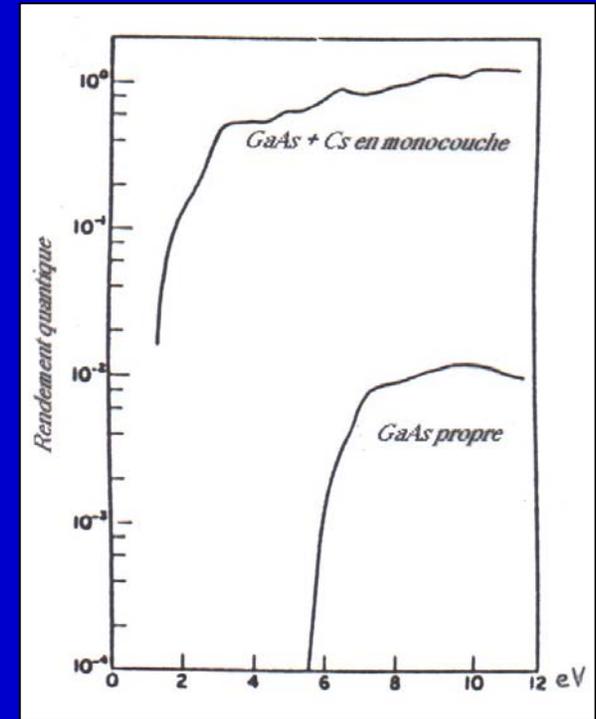
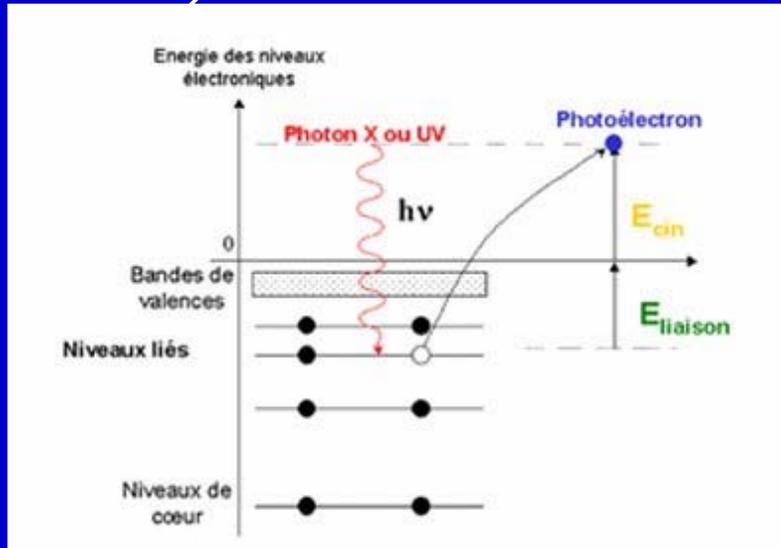
$$I = I_0 \exp(-\mu_l x)$$

$$\lambda = \frac{\rho}{\mu_l}$$



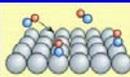
L'effet photo-électrique

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - \Phi \quad h\nu_0 = \Phi$$

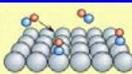
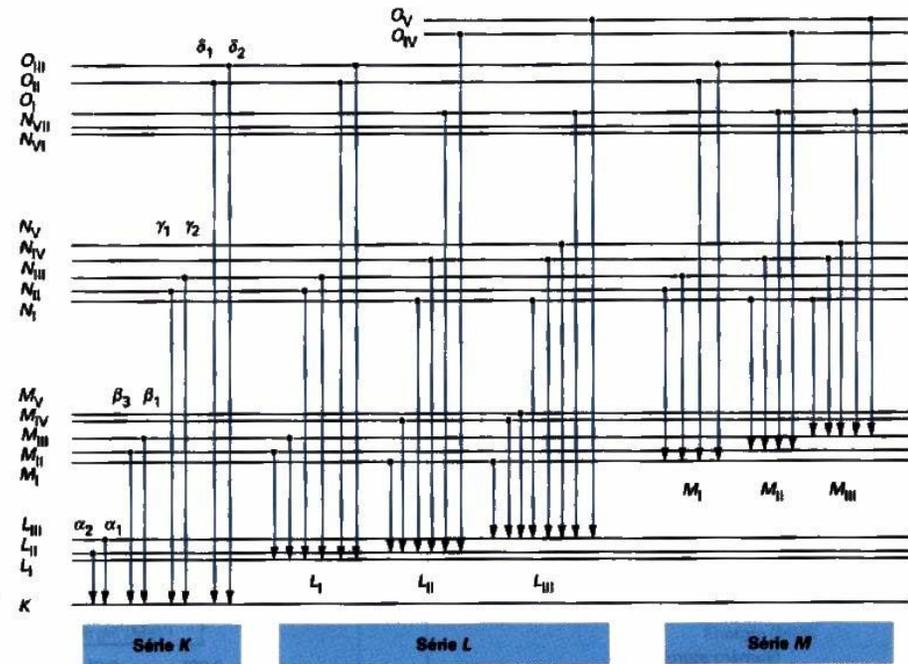
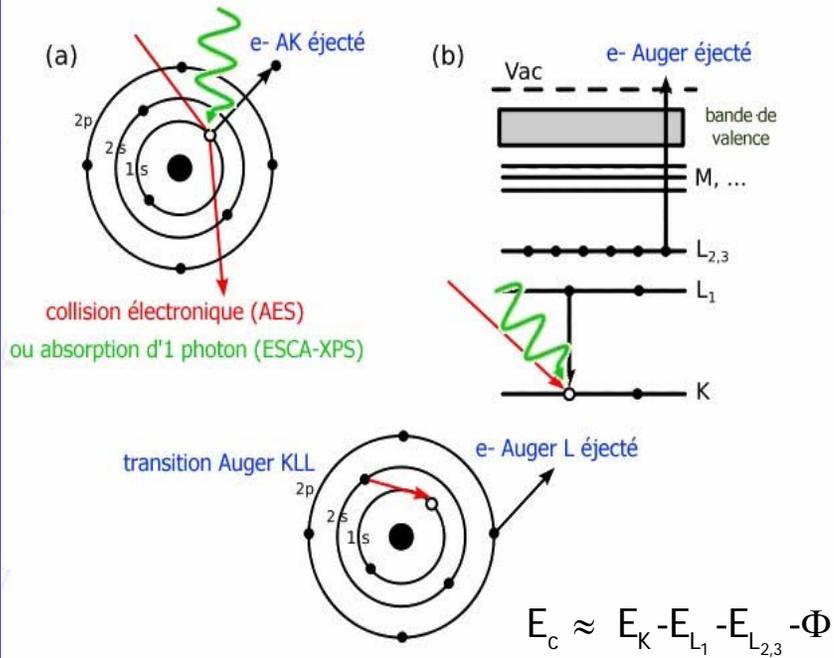


$$\eta = \frac{N_e}{N_\varphi} \leq 10^{-3} \text{ pour les métaux III}$$

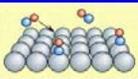
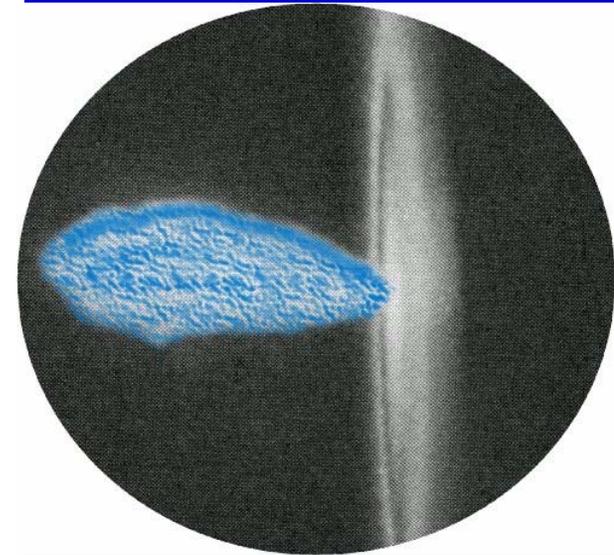
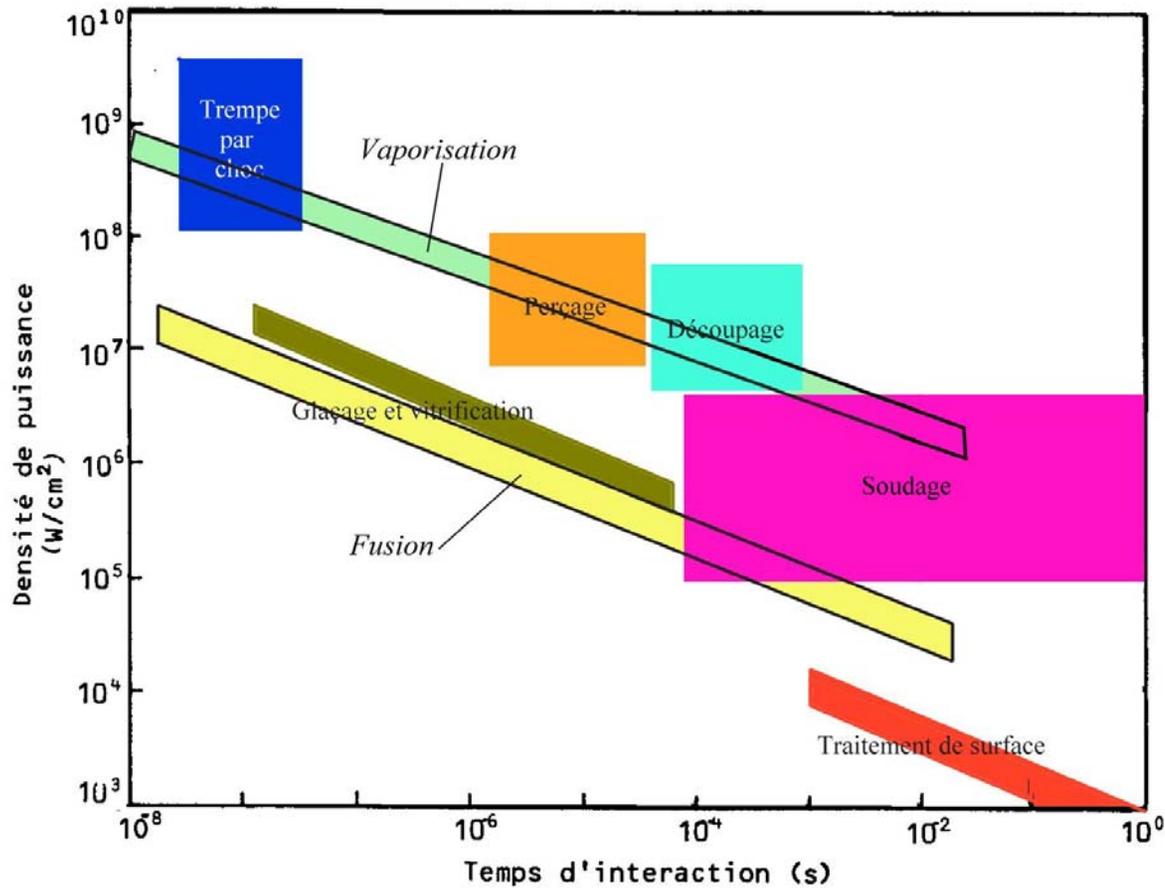
D'où le modulateur de
jauge BA!



L'effet Auger



L'interaction laser-surface

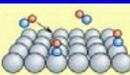


Les neutrons (interaction avec la matière)

- Thermiques : disparition par capture radiative (émission γ) ou non (émission d'une particule chargée ou d'un neutron)
- Région 10 keV-10 MeV: ralentissement par diffusion élastique avec effet de recul des noyaux.
- Plus haut (> 20 MeV), réactions nucléaires avec éjection de p , n , noyaux légers, mésons et γ .

Atténuation d'un flux de neutrons : béton, matériaux hydrogénés. N.B. Et si on ne couvre pas le toit de l'accélérateur, les neutrons s'échappent et, par collisions sur les atomes de l'atmosphère, retombent en parapluie sur le voisinage; c'est « l'effet de ciel ».

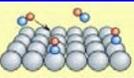
Remarque: dans tous les cas, il y a ionisation des atomes du milieu traversé par les particules secondaires.





Les dégâts résultants

Pour le vidiste, les interactions posent problème par:
Irradiation, donc destruction des électroniques,
dans le futur, agression de l'enceinte
Désorption, donc dégradation de la pression
Moins concerné par Pertes de faisceau





Les dégâts d'irradiation

Les matériaux solides d'usage en vide sont :

les matières organiques des types thermoplastiques ou thermodurcissables (polymères).

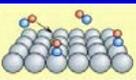
Les isolants céramiques.

Les corps vitreux.

Les semi-conducteurs et les circuits électroniques.

Les métaux.

Ces matériaux se présentent sous forme cristalline ou amorphe. Les défauts introduits par une irradiation sont ponctuels. Ils sont créés dans des volumes de l'ordre du volume atomique, de sorte que l'ordre ou le désordre à longue distance ne jouent aucun rôle sur la nature du défaut. Donc un défaut créé dans une phase cristalline peut s'accroître après amorphisation du matériau.





Les dégâts d'irradiation

Les radiations considérées sont :

les photons (X et γ).

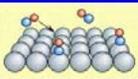
Les électrons.

Les neutrons.

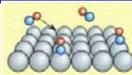
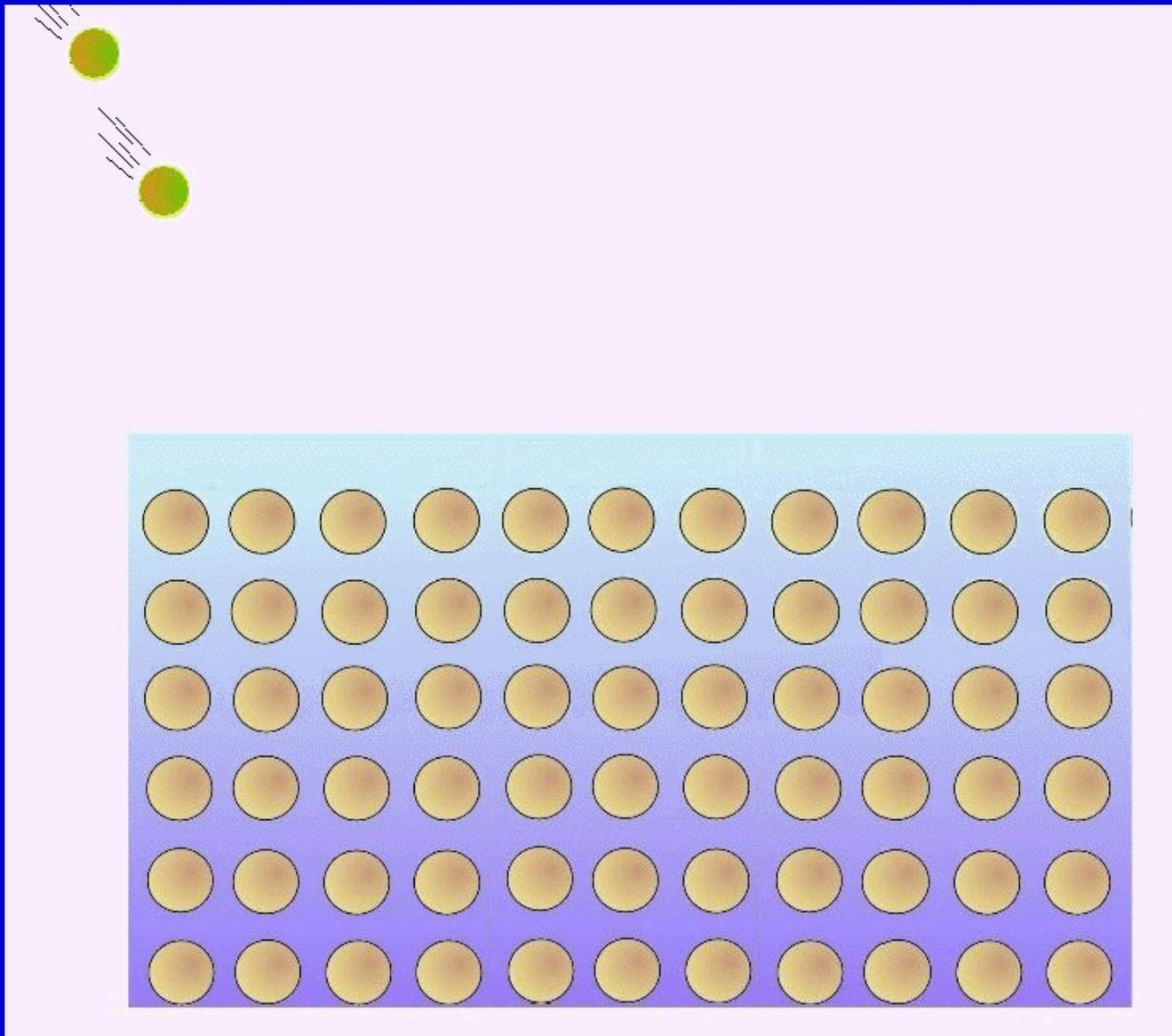
Les protons.

Les ions lourds.

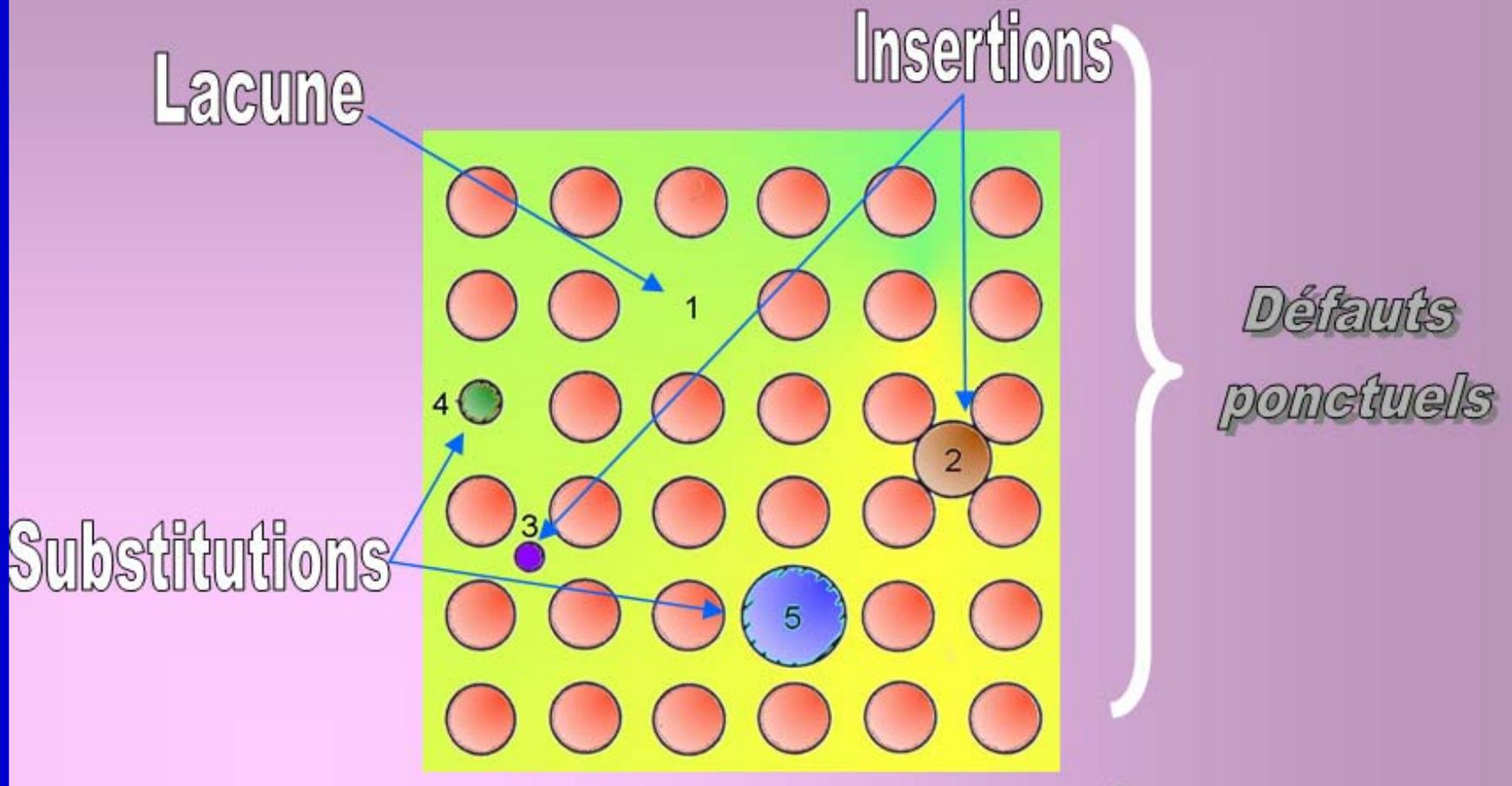
Les dégâts dus à ces radiations sont liés à des collisions
ou interactions binaires



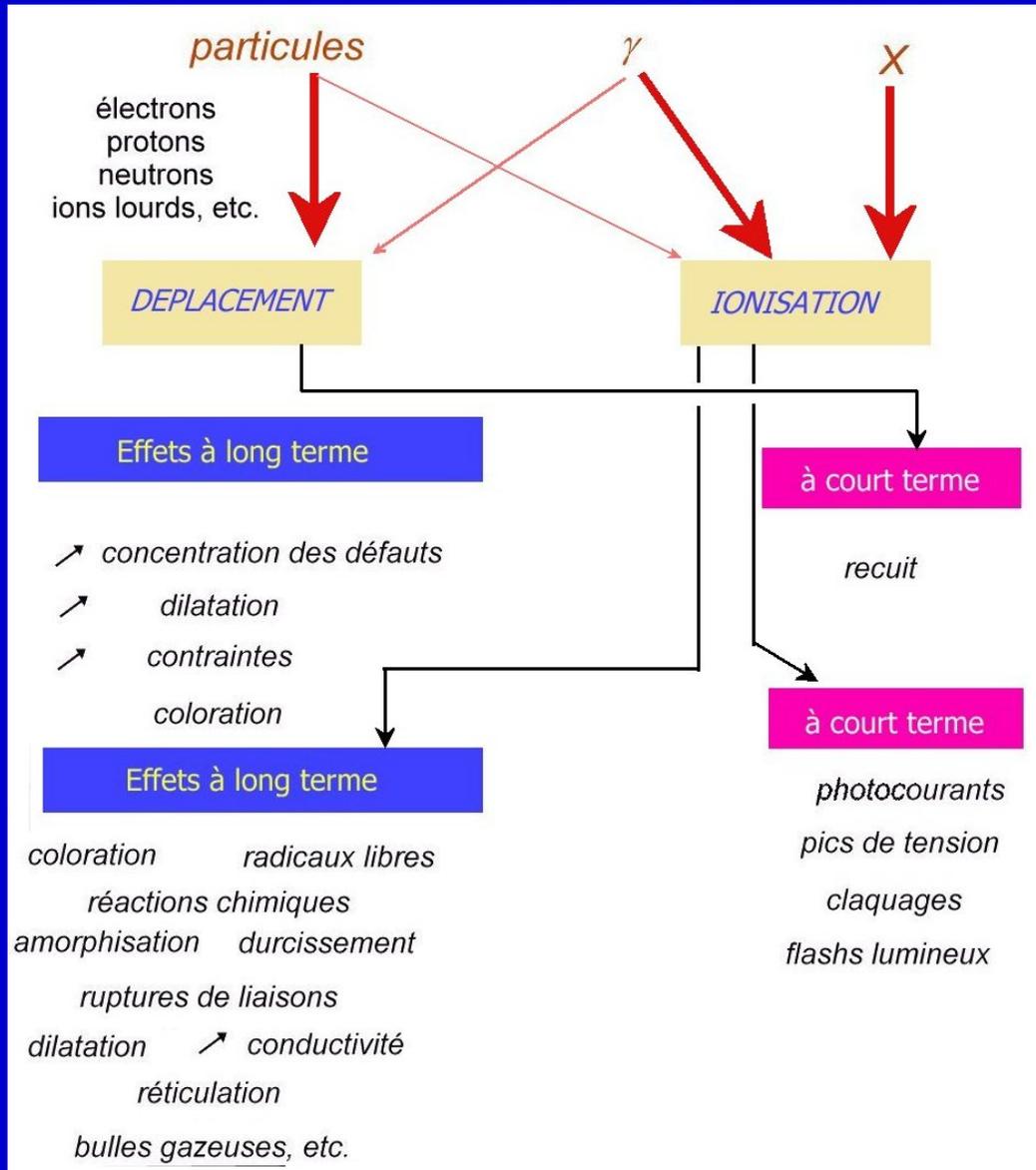
Les défauts induits



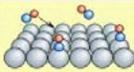
Les défauts induits



Les défauts induits

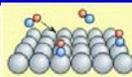
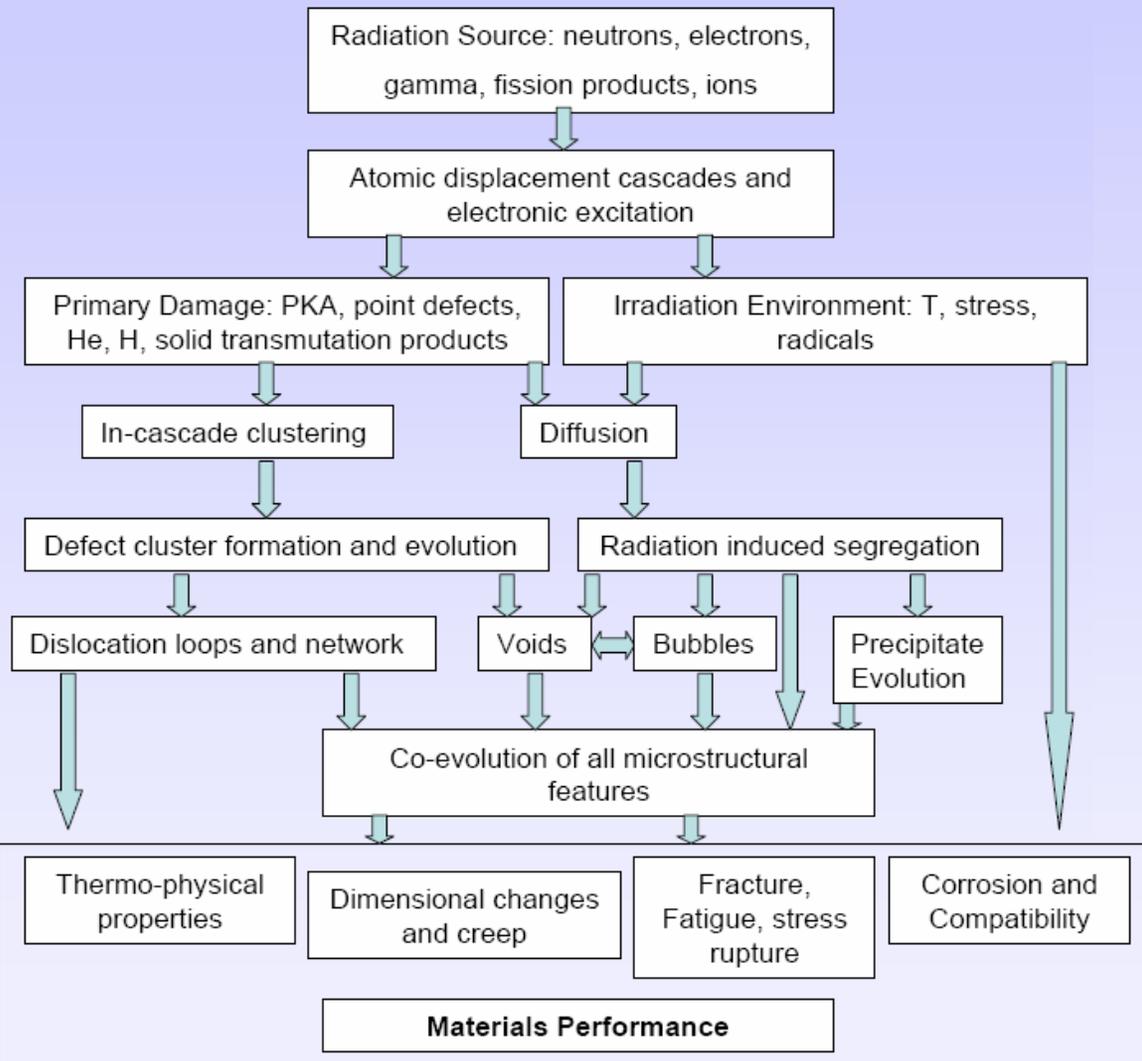


**TRANSMUTATION
CHAUFFAGE**



Pourquoi la prise de conscience?

Radiation Damage Evolution

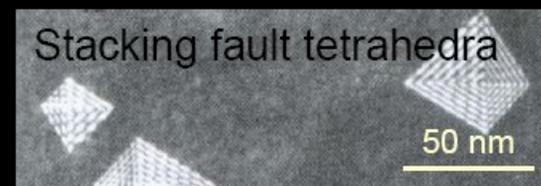
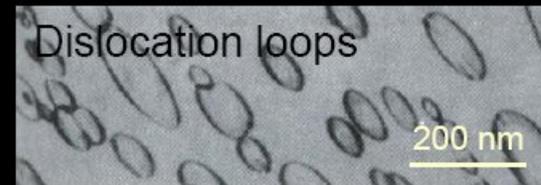


Pourquoi la prise de conscience?

Evolution of the Microstructure

- The microstructure of the irradiated material results from interactions between the various irradiation-induced defects. It can be formed of:

- Small defect clusters
- Dislocation loops
- Stacking fault tetrahedra
- Precipitates
- Voids
- He bubbles

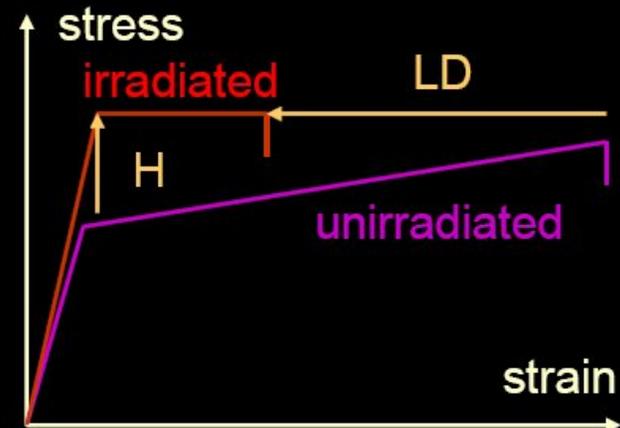




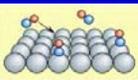
Pourquoi la prise de conscience?

Evolution of the Properties

- Chemical composition:
- Change in the chemical composition
- Physical properties:
- Decrease of electrical conductivity (low temperatures)
- Decrease of thermal conductivity (ceramic materials)
- Mechanical properties:
- Hardening (H)
- Loss of ductility (LD)
- Loss of fracture toughness
- Loss of creep strength
- Dimensions:
- Swelling, irradiation creep, irradiation growth
- Environmental effects:
- Irradiation-assisted stress corrosion cracking
- Radioactivity:
- Activation effects



N.Baluc



Les grandeurs

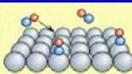
Les unités les plus employées

Le gray Gy

La fluence n/cm^2

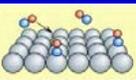
Le nombre de déplacements/atome dpa

Générateur X 40keV-20mA	10^4 Gy/h dans un spot de 1cm de rayon.
Bombe au Co en γ	10^3 Gy/h dans 1 dm ³ .
Linac e- 4MeV-20 μ A	$5 \cdot 10^6$ Gy/h @ un spot de 5cm de rayon.
Van de Graaff e- 500keV-10 μ A	$5 \cdot 10^7$ Gy/h @ un spot de 2.5cm de rayon.
Microsc.electr. 100keV-20 μ A	10^6 Gy/h @ un spot de 2cm de rayon.
Tube cathodique 30keV-0.1nA	10^6 Gy/h dans $10^{-6}cm^2$.
VdG protons 3MeV-2 μ A	$10^{13}cm^{-2}s^{-1}$ @ un spot de 1cm.
Réacteur U-6MW neutrons	$6 \cdot 10^{12}cm^{-2}s^{-1}$



Les quantités et les unités de mesure des rayonnements ionisants

- L'activité : nombre de désintégrations par unité de temps d'une source radioactive. Unité : le **becquerel**.
 $1 \text{ becquerel (Bq)} = 1 \text{ désintégration/s}$
- La dose absorbée: quantité d'énergie déposée dans un corps par unité de masse. Unité: le **Gray**.
 $1 \text{ Gray} = 1 \text{ joule/kg}$
- L'équivalent de dose (quantité utilisée pour les **tissus vivants**) : dose multipliée par Q, « facteur de qualité ». Unité : le **Sievert** .
 $1 \text{ Sievert} = 1 \text{ Gray} \times Q$
 Ordres de grandeur : $\alpha, \beta, \gamma : Q = 1,$
 neutrons thermiques : $Q = 2,3,$
 $p \text{ et } n \text{ rapides} : Q = 10$ $\alpha : Q = 20$
- Débit d'équivalent de dose : le **Sievert/h** ($\mu\text{Sv/h}$)



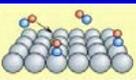


Exercice 10

Les doses

On pourrait déduire de la figure 3-3-2 que des protons de 70MeV ont un parcours de 3 cm dans l'eau. En supposant que l'énergie d'un faisceau de 1nA et de diamètre 2mm est déposée uniformément le long de ce parcours, quelle est la dose absorbée par seconde par l'eau ?

Solution : la puissance déposée est de 70mW. Le Gray/s correspond à 1W/ kg. Le volume irradié est de $94.25 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3$ soit $94.25 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$. La dose est de 742 Gy/s.



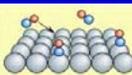
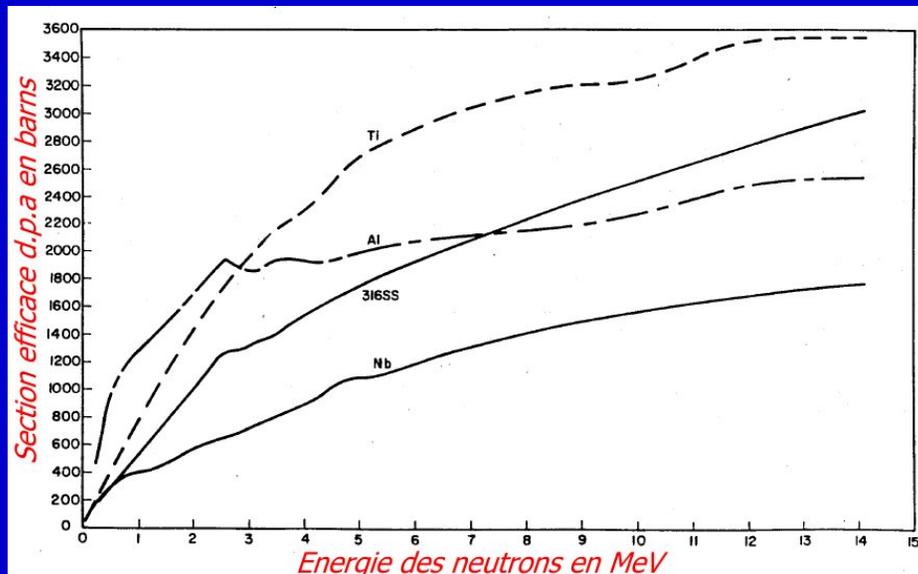
Exercice 11

La fluence

Un petit réacteur fournit $5 \cdot 10^{13}$ neutrons/cm².s. En supposant qu'ils aient tous 10MeV, calculer le d.p.a sur un an de l'inox.

$$\frac{dNr}{VNc} \dagger = \sigma \frac{Nidx}{V} \dagger = \sigma \frac{Nidx}{Sdx} = \sigma \varphi \left[\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \right] \dagger$$

La section efficace est de $2.4 \cdot 10^{-21}$ cm², on trouve 3.8, valeur très élevée.



Des exemples révélateurs

Pitting damage in 316ssCW & Kolst.

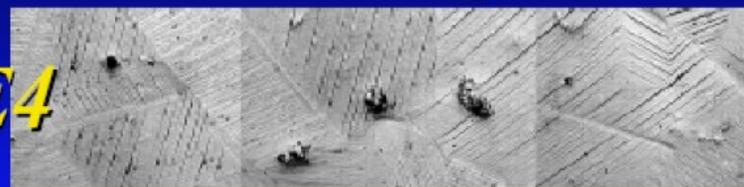
316ssCW

Kolsterising

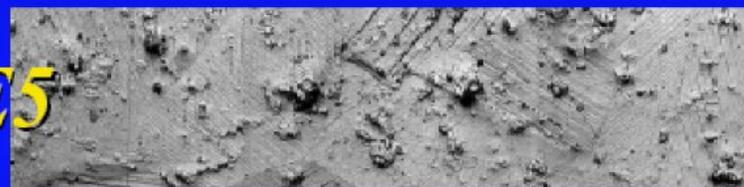
25μm



E4



E5



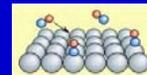
E6



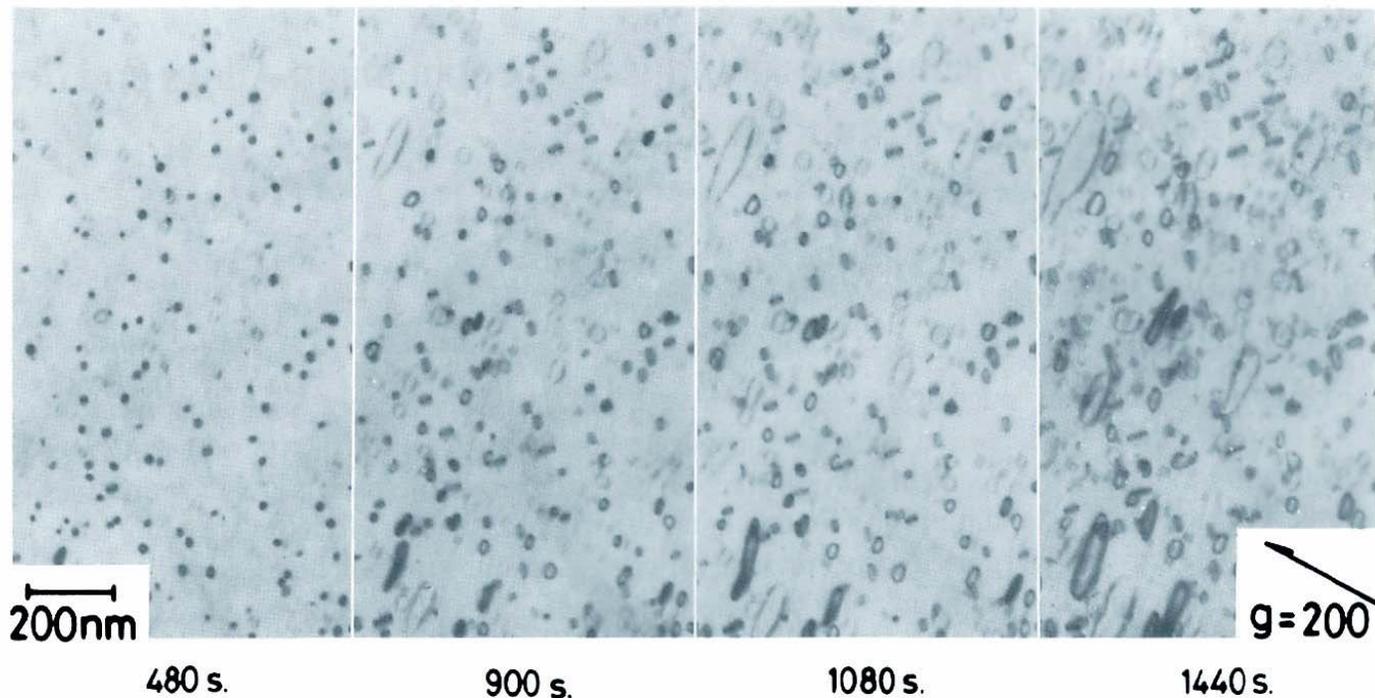
1E7



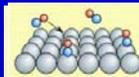
2E7



Des exemples révélateurs

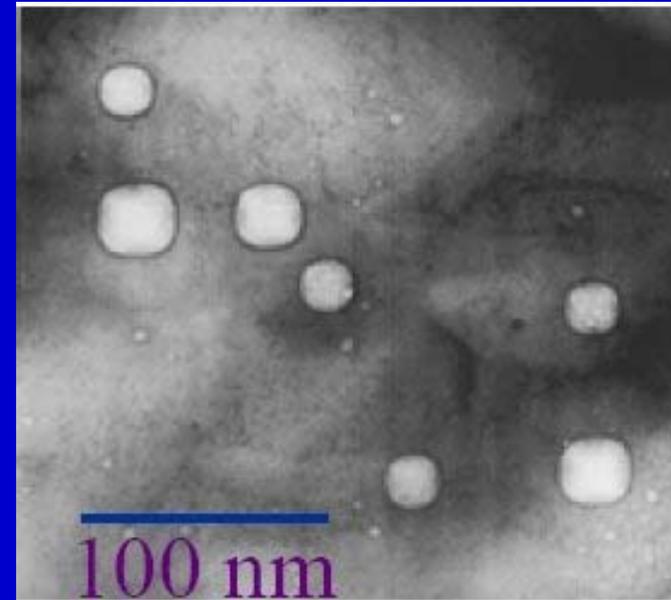


loupes interstitielles créées dans MgO
par des électrons de 10KeV-3A/cm² à 1020K



Des exemples révélateurs

Dommmages à 10dpa



Des exemples révélateurs

ORNL Drop Test Has Provided Data Up to One Million Cycles



- Upper specimen from ORNL drop test device (316SS).
- Specimen diameter = 16 mm.

1 μ s-60Hz-1.4MW

100 drops



6.8×10^4 drops



1.0×10^5 drops



3.7×10^5 drops



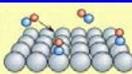
7.4×10^5 drops



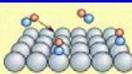
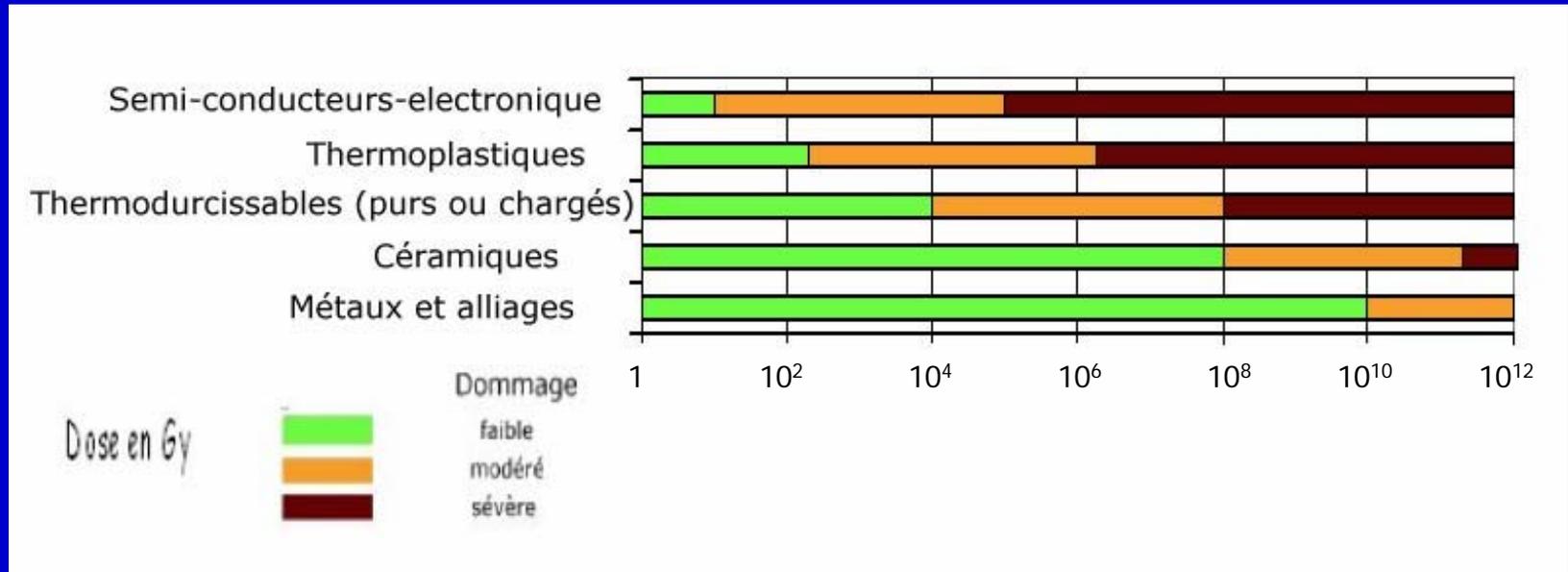
9.2×10^5 drops



Nov. 13-15, 2002

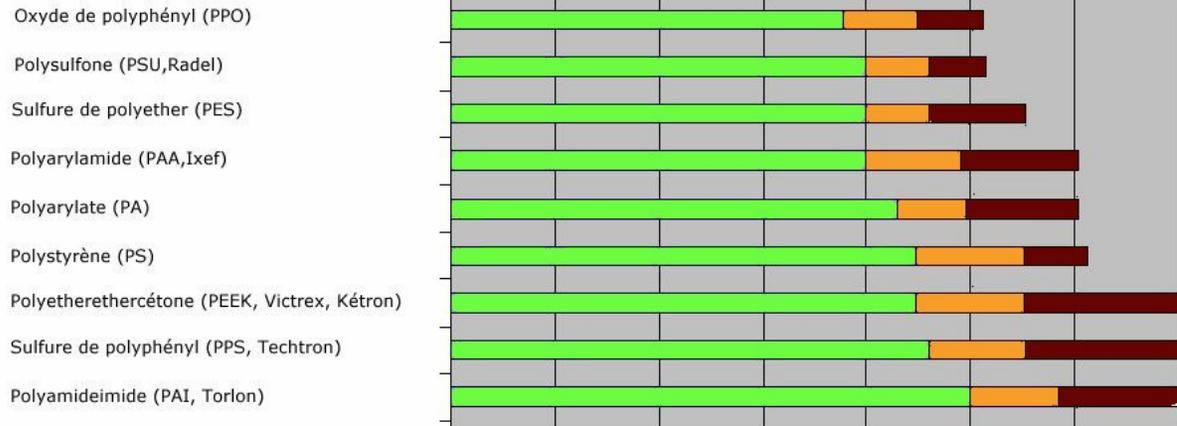


Où commencent les dégâts?

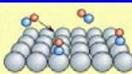
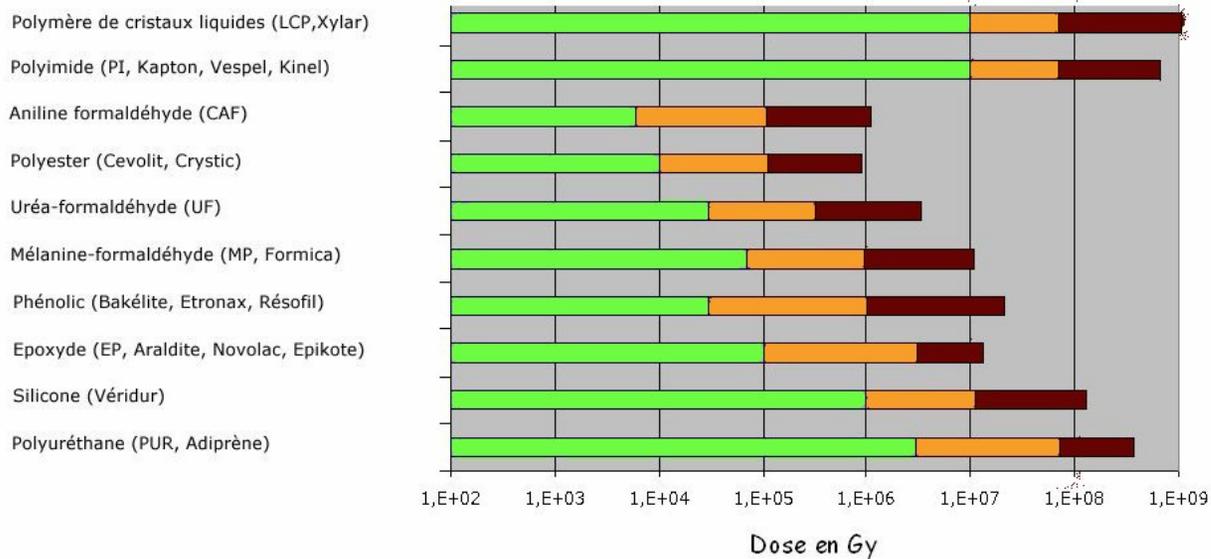


Où commencent les dégâts?

THERMOPLASTIQUES



THERMODURCISSABLES



Où commencent les dégâts?

THERMOPLASTIQUES

