

Le carbure de silicium pour le nucléaire du futur : étude de l'endommagement généré par irradiation.

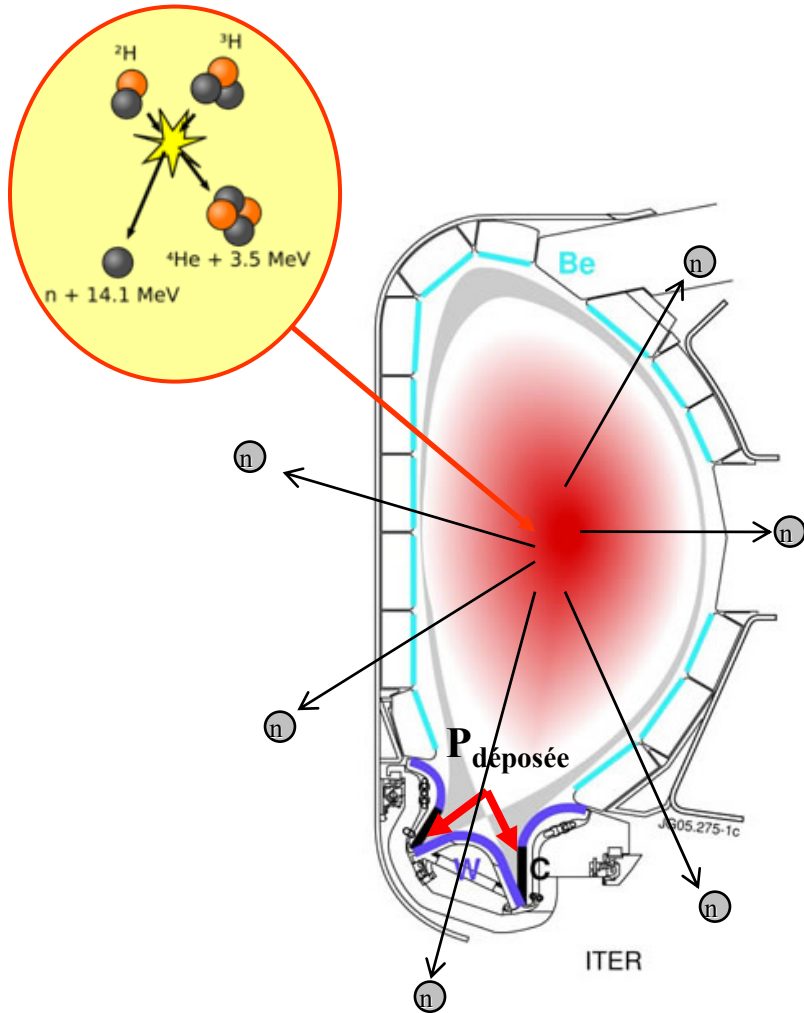
F. LINEZ¹, A. GENTILS², W. EGGER³,
P. DESGARDIN¹, M.-F. BARTHE¹

¹ CEMHTI, CNRS, 3A rue de la Férollerie, 45071 ORLEANS, France

² CSNSM, CNRS-IN2P3- Université Paris-Sud 11, Bât.108, 91405 ORSAY Campus, France

³ Universität der Bundeswehr München, Werner-Heisenberg-Weg 39, 85579 Neubiberg, Germany

- 1 | Problématique des matériaux pour la fusion
- 2 | Défauts créés dans le SiC par interaction nucléaire
- 3 | Implantation du SiC par des ions Au 4 et 20 MeV
- 4 | Spectroscopie d'annihilation de positons
- 5 | Analyse de la nature des défauts générés



Flux neutroniques intenses
(~150 dpa)



Températures élevées
(de 500°C à 1000°C)

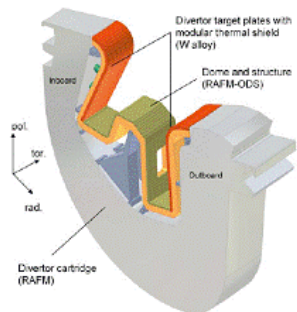
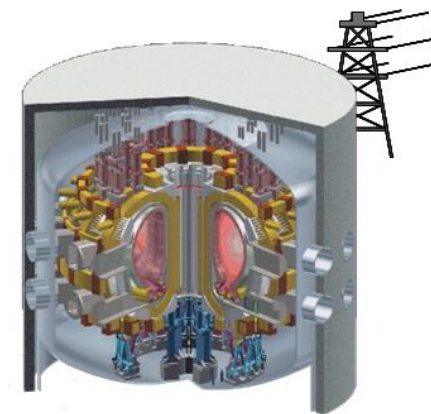
Champ électromagnétique intense



Choix méticuleux des matériaux

Propriétés du SiC: (carbure de silicium)

- Résistance haute T°C
- Faible activation
- Semi-conducteur
- Inertie chimique



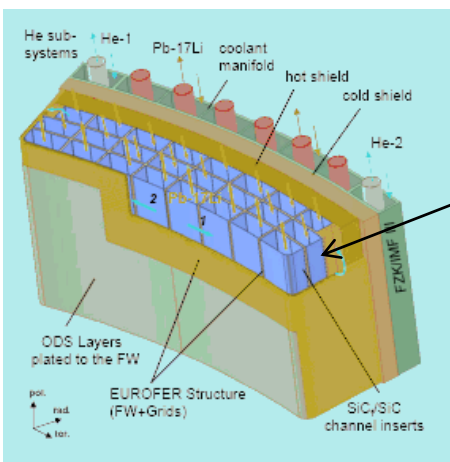
2 concepts de couvertures pour DEMO

« Dual Coolant »

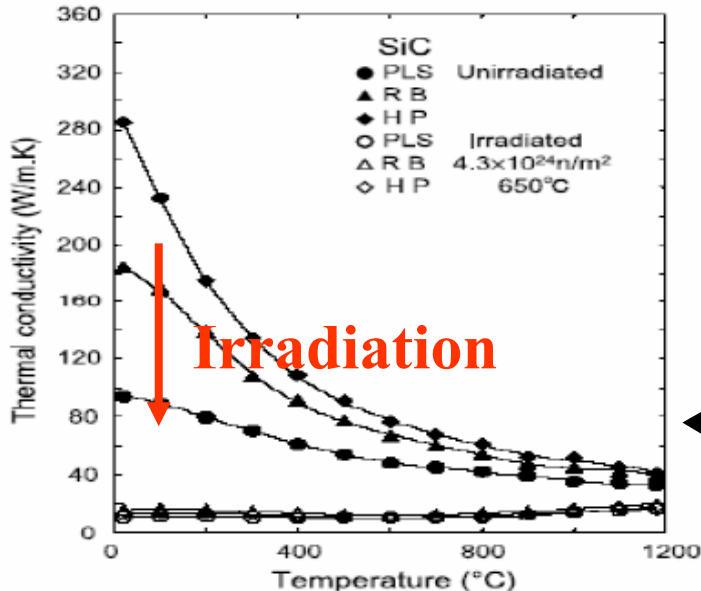
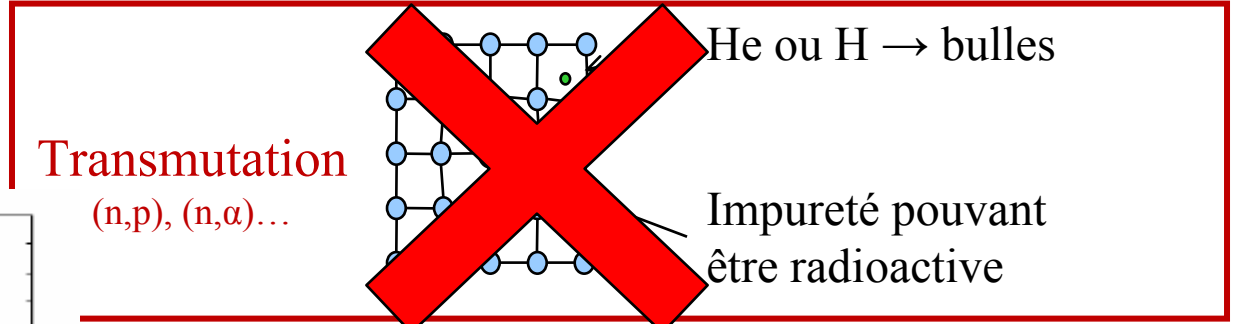
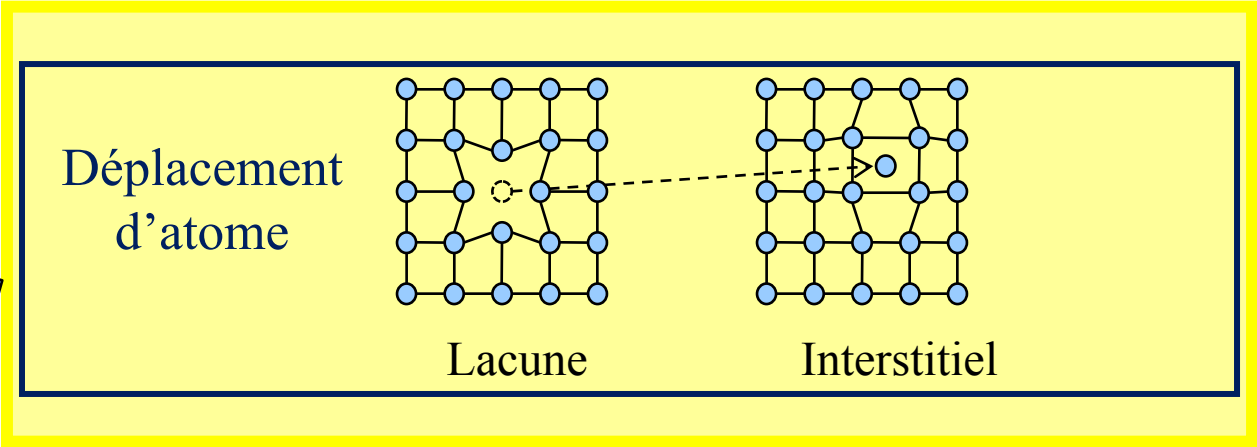
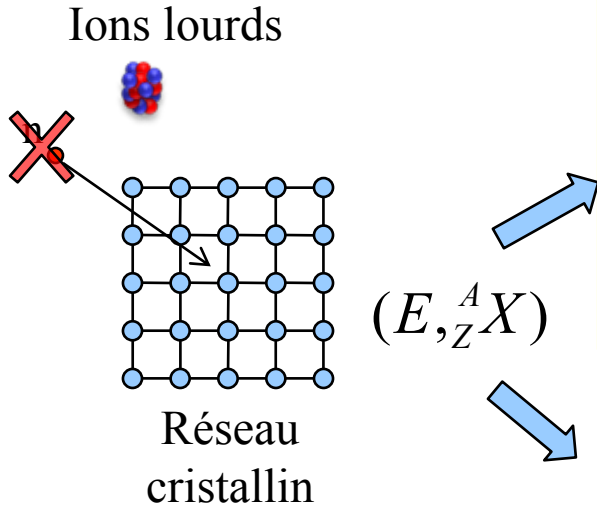
Insert dans circuits de Li-Pb
Isolant électrique
Isolant thermique

Li-Pb auto-refroidie

Matériaux de structure
Résistance hautes T°C
Faible activation



Evolution du SiC sous irradiation?



Détérioration des propriétés des matériaux

Utilisation des ions lourds

Conductivité thermique décroît avec l'irradiation

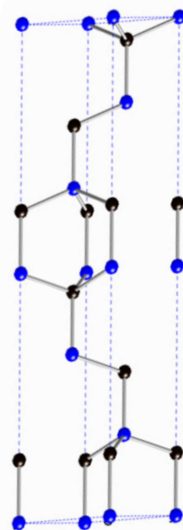
Caractéristiques des échantillons:

Monocristaux (plus purs que polycristaux)

Polytype: 6H-SiC

Dopage: type n ($n_D - n_A = 1.9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)

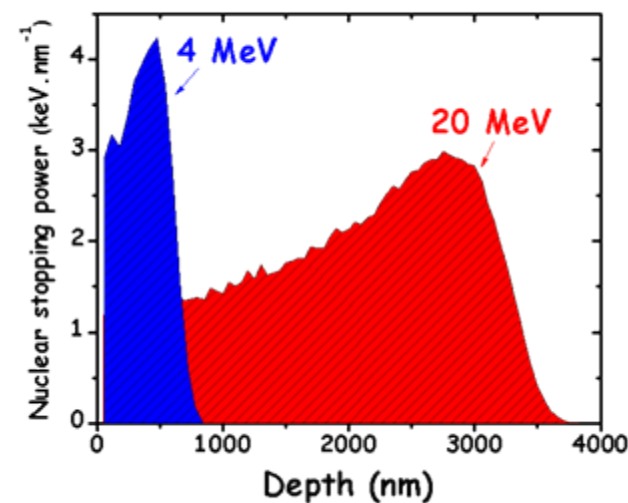
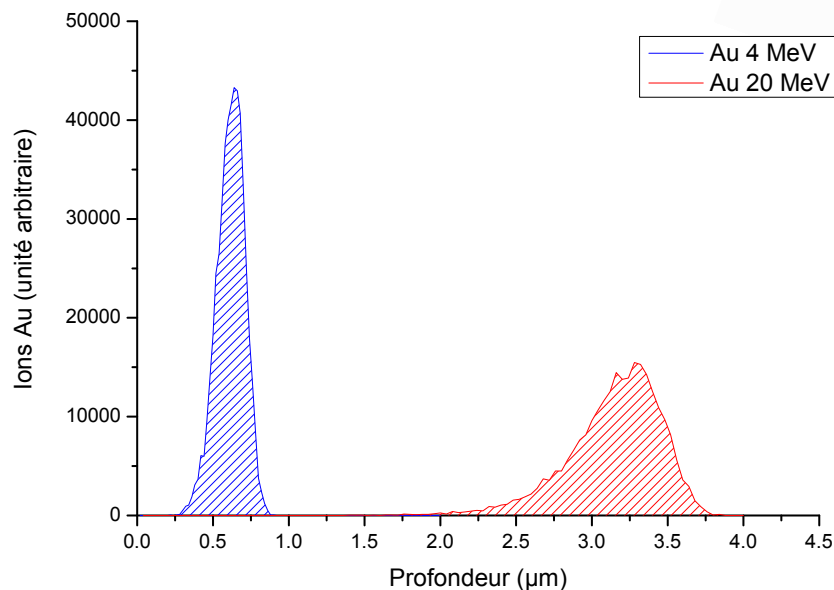
Epaisseur: 256 μm



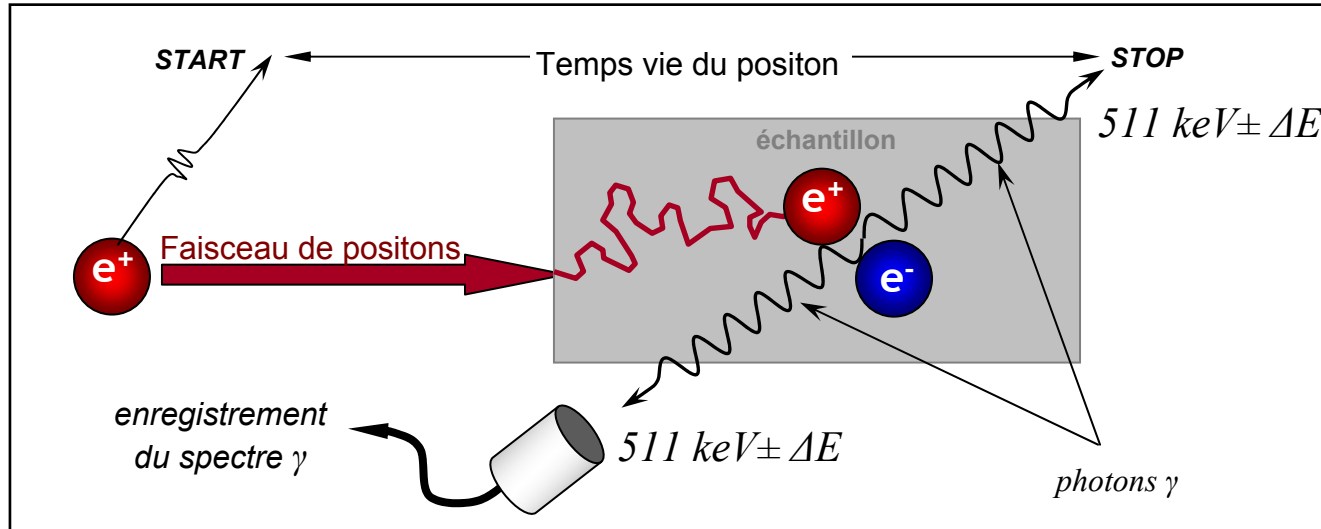
Implantation ions ^{79}Au :

	4 MeV	20 MeV
F L U E N C E S	10^{12} cm^{-2}	10^{12} cm^{-2}
	10^{13} cm^{-2}	10^{13} cm^{-2}
	10^{14} cm^{-2}	10^{14} cm^{-2}
	10^{15} cm^{-2}	10^{15} cm^{-2}
	—	10^{16} cm^{-2}

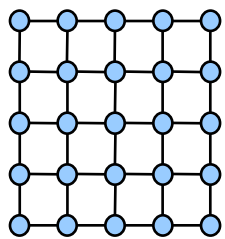
Implantation des ions Au dans 6H-SiC en fonction de l'énergie.



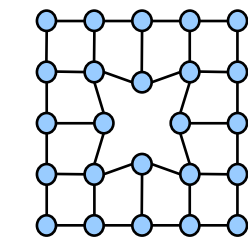
Mesure du temps vie des positons



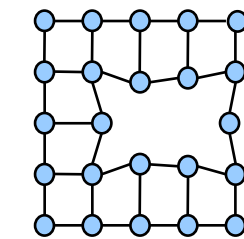
Temps vie τ dépend de la **densité électronique** \approx le **volume libre**



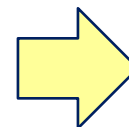
$\tau_{\text{réseau}}$



$\tau_{\text{lacune}} > \tau_{\text{réseau}}$

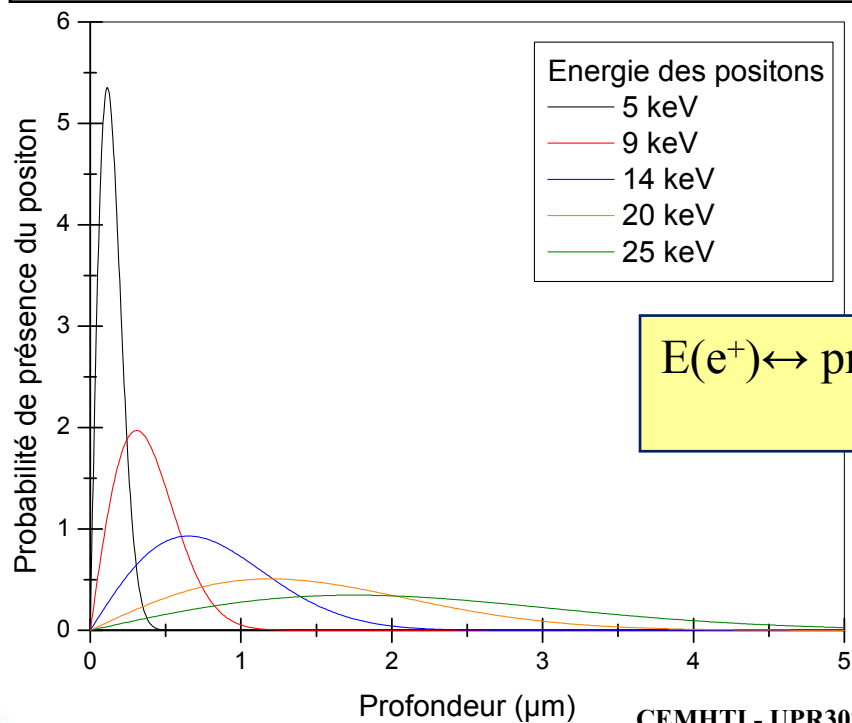
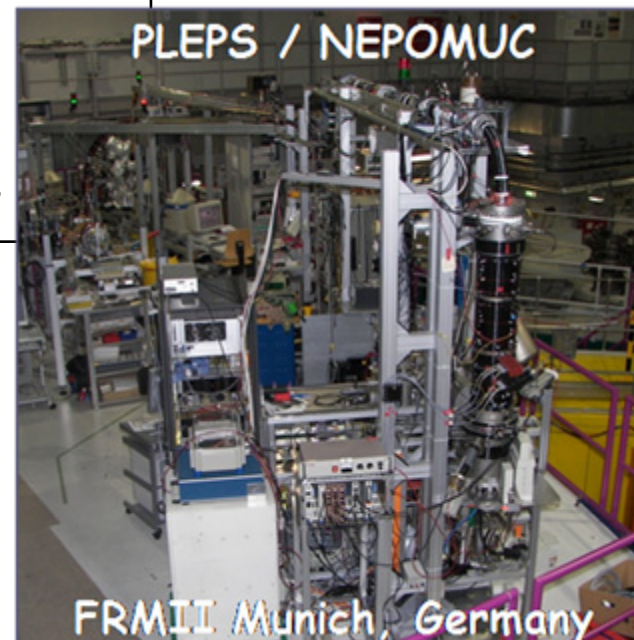
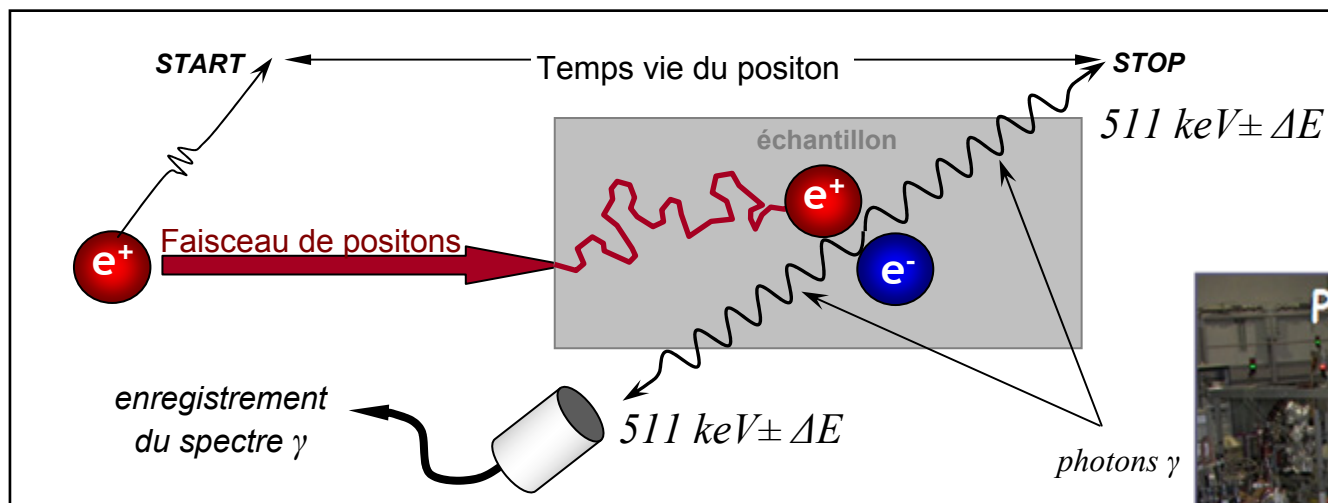


$\tau_{\text{bilacune}} > \tau_{\text{lacune}}$



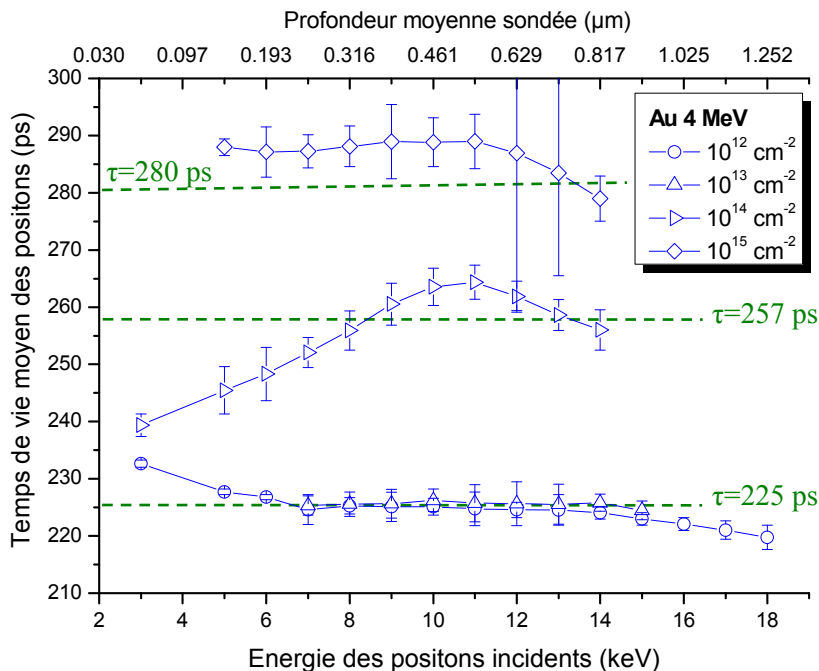
$$\bar{\tau} = \sum_i f_i \tau_i$$

$i = \text{état d'annihilation}$



$E(e^+) \leftrightarrow$ profondeur analysée

Profil de défauts en profondeur

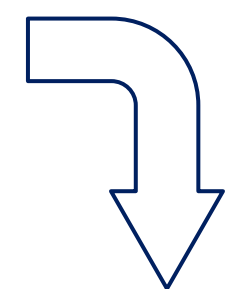


τ différents \rightarrow Défauts différents

$\rightarrow \tau_{\text{moy}} \approx 287 \text{ ps}$

$\rightarrow 237 \text{ ps} < \tau_{\text{moy}} < 270 \text{ ps}$

$\rightarrow \tau_{\text{moy}} = 225 \text{ ps}$



Identification des défauts Simulation Poswin

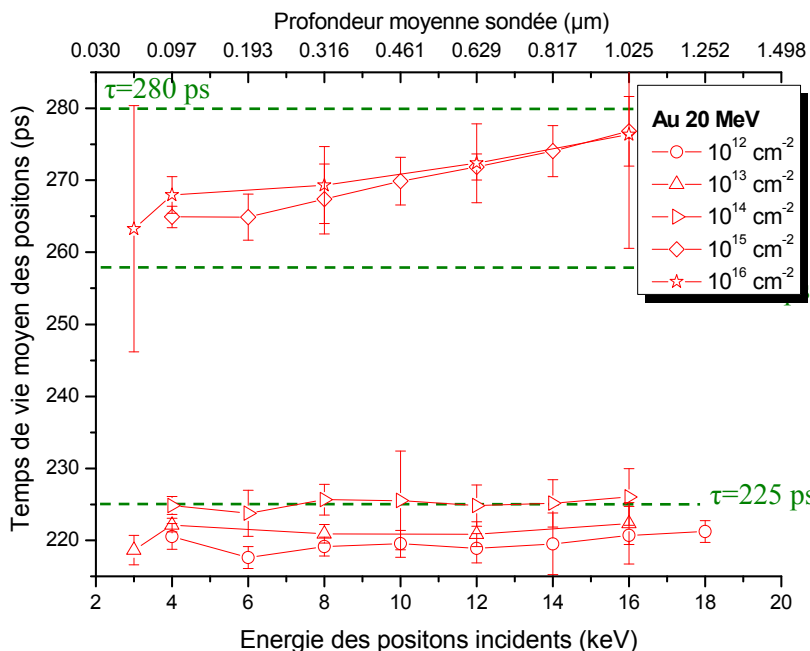
Fluence (cm ⁻²)	Au 4MeV
10 ¹²	100% V _{Si} V _C
10 ¹³	100% V _{Si} V _C
10 ¹⁴	(V _{Si} V _C) _{1,2,3} ?
10 ¹⁵	100% (V _{Si} V _C) ₃

Annihilation du positon	Temps de vie expérimentaux (ps)
Réseau	140±5
Monolacune (V _C) (V _{Si})	160± 5 202± 5
Bilacune (V _{Si} -V _C)	225±3
Quadrilacune (V _{Si} -V _C) ₂	257±1
Hexalacune (V _{Si} -V _C) ₃	280±1

$$\bar{\tau} = \sum_i f_i \tau_i$$

i = état d'annihilation

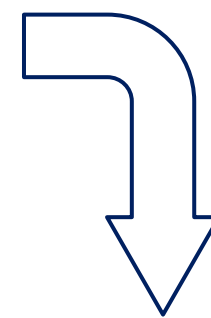




τ différents \rightarrow Défauts différents

$\rightarrow 263\text{ps} < \tau_{\text{moy}} < 280\text{ps}$

$\rightarrow \tau_{\text{moy}} = 225\text{ps}$



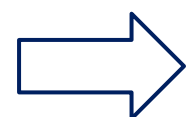
Identification des défauts
Simulation Poswin

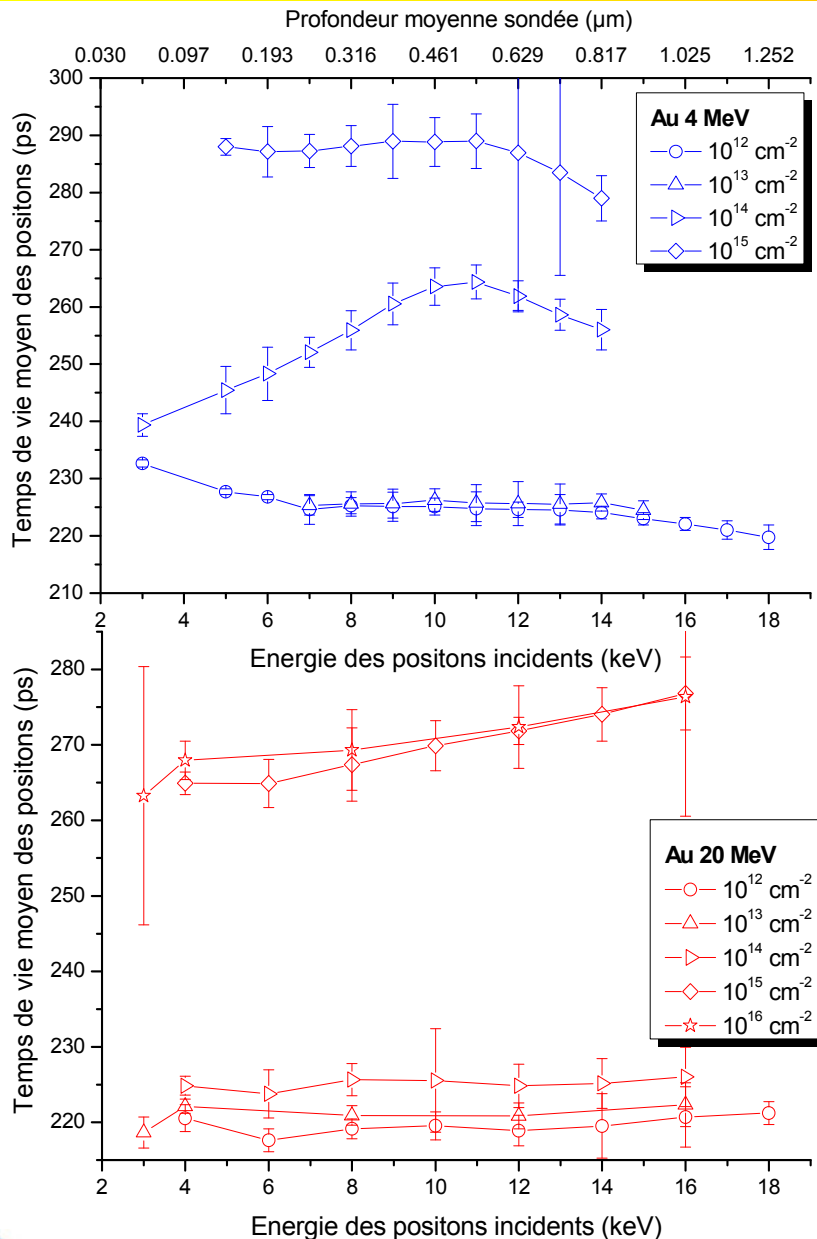
Fluence (cm ⁻²)	Au 20MeV
10 ¹²	V, V _{Si} V _C
10 ¹³	V, V _{Si} V _C
10 ¹⁴	100% V _{Si} V _C
10 ¹⁵	(V _{Si} V _C) _{2,3}
10 ¹⁶	(V _{Si} V _C) _{2,3}

Annihilation du positon	Temps de vie expérimentaux (ps)
Réseau	140±5
Monolacune (V _C) (V _{Si})	160± 5 202± 5
Bilacune (V _{Si} -V _C)	225±3
Quadrilacune (V _{Si} -V _C) ₂	257±1
Hexalacune (V _{Si} -V _C) ₃	280±1

$$\bar{\tau} = \sum_i f_i \tau_i$$

i=état d'annihilation

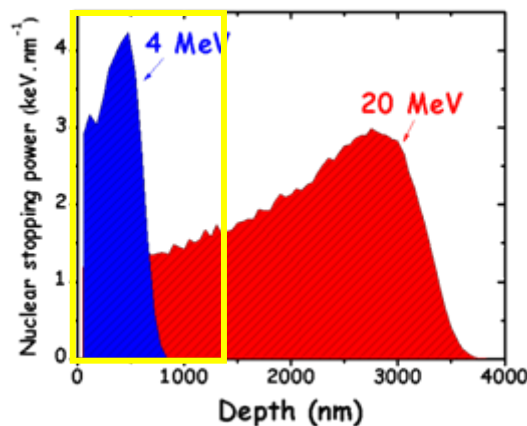




Régime intermédiaire, plusieurs types de défauts

Fluence (cm ⁻²)	Au 4MeV	Au 20MeV
10 ¹²	100% V _{Si} V _C	V, V _{Si} V _C
10 ¹³	100% V _{Si} V _C	V, V _{Si} V _C
10 ¹⁴	(V _{Si} V _C) _{1,2,3} ?	100% V _{Si} V _C
10 ¹⁵	100% (V _{Si} V _C) ₃	(V _{Si} V _C) _{2,3}
10 ¹⁶		(V _{Si} V _C) _{2,3}

Défauts plus gros



Spectroscopie d'annihilation
de positons

Autres techniques: Raman,
RPE, RBS/C,...

Caractérisation des défauts en fonction de
l'énergie des ions incidents et de la
fluence.

Mesure du
désordre, des
liaisons...

Simulations numériques

Résistance du SiC
comme matériau de
structure

