



POSITHÔT

L'application commerciale et industrielle de la spectrométrie d'annihilation des positons

Session ATMA 2023
17/10/2023

Vers un contrôle non destructif de résolution nanométrique

17/10/2023

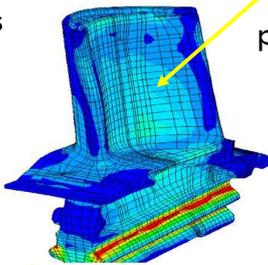
0

1



La solution apportée par POSITHÔT

Nombre de défauts



Quelques mesures ponctuelles reflètent le niveau d'usure de la pièce

Taille de défaut critique



Une technologie d'analyse des défauts ayant une résolution à l'échelle de l'atome, et utilisable en CND¹

Plage de sensibilité de la technique POSITHÔT

Plage de sensibilité des techniques de CND existantes

Evolution des défauts en fonctionnement

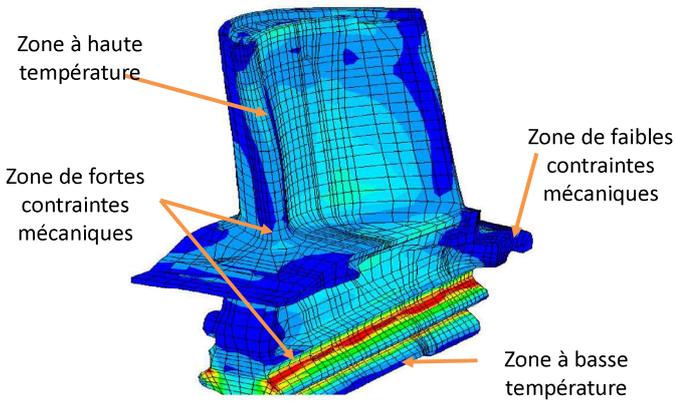
MET & SAT (destructif)

Taille des défauts

17/10/2023

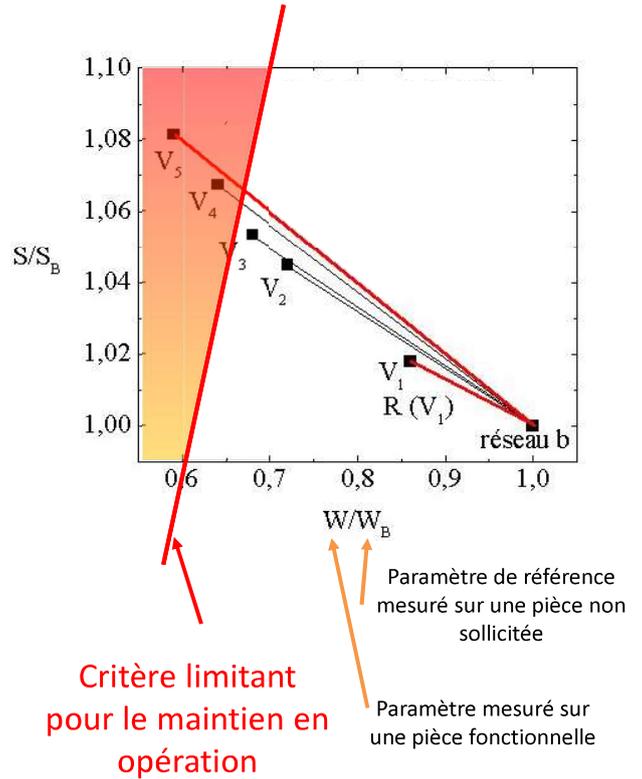
10^5 Nombre d'atomes

¹ Contrôle Non-Destructif



- Mesure locale
- Acquisition par comptage de photons
- Traitement statistique des données
- Mesure automatisable
- Méthode indépendante de l'opérateur
- Réduction du temps et des coûts
- Augmentation de la sécurité

17/10/2023



2

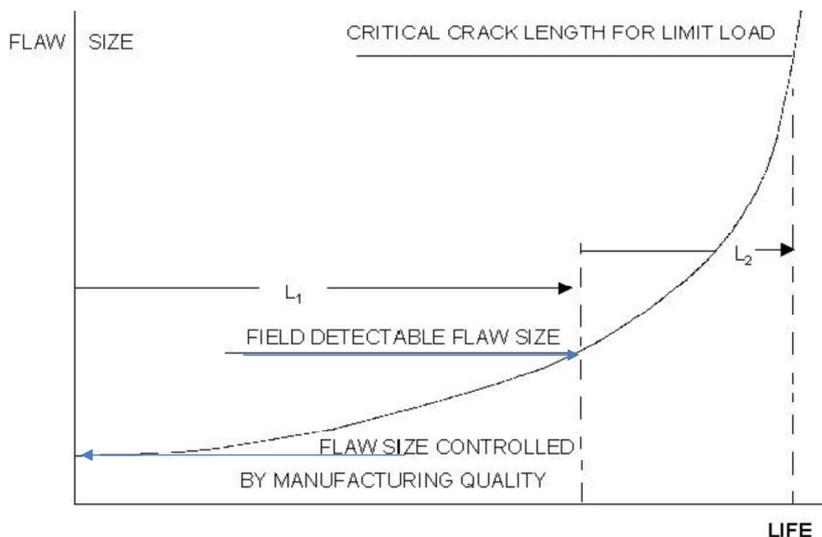


FIGURE AC 29 MG 11-1 CRACK GROWTH FOR SINGLE ELEMENT STRUCTURE

Plus la résolution du moyen d'analyse permet d'identifier des défauts de petite taille, plus le temps entre inspection est important

First inspection at $L_1/3$
Further inspection interval: $L_2/4$

From FAA document: « airworthiness standards transport category rotorcraft », AC 29 MG 11: fatigue tolerance evaluation of transport category rotorcraft metallic structure.

17/10/2023

3

La spectrométrie positons ouvre de nouvelles perspectives:

- Pour la métallurgie
 - Les analyses par microscopie donnent les concentrations en espèces chimiques jusqu'au millième (10^{-3})
 - Les positons rendent accessible la mesure de la densité des dislocations représentant entre 10^{-7} et 10^{-5} de la matière présente
- Pour les interfaces
 - Les positons permettent de caractériser les interfaces en passant à travers les couches de revêtement, et sans les dégrader
- Pour les polymères
 - Les positons donnent une mesure directe du volume libre, même en présence de charges, et son évolution en présence d'agents extérieurs (eau, gaz, etc...)

17/10/2023

4

Exemples

A terme, le CNES souhaite disposer d'une méthode permettant de:

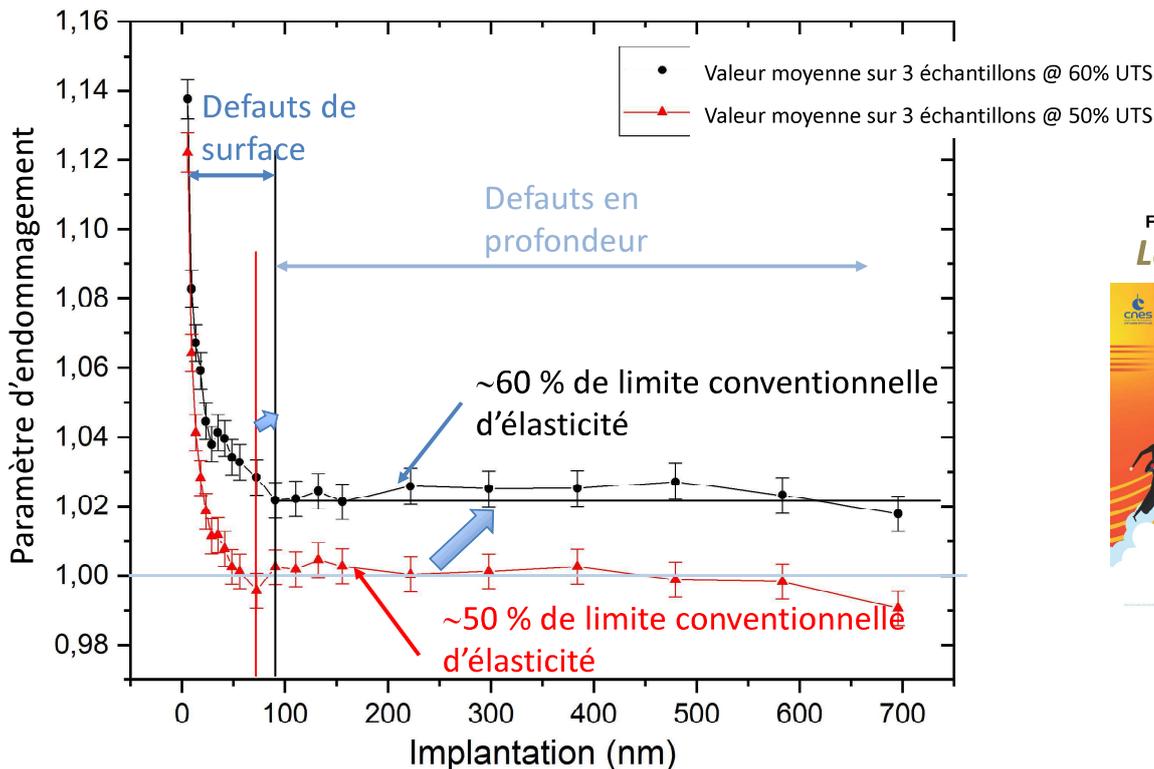
- Quantifier l'endommagement avant l'apparition des fissures
 - Mesure de l'évolution de la densité de dislocations et défauts ponctuels à partir de la mise en service
- Estimer la durée de vie résiduelle en opération
 - Disposer d'une méthode de maintenance prédictive
- Disposer d'un critère de décision pour réutiliser un élément de lanceur (moteur cryogénique, élément de structure)

17/10/2023



6

Etude d'endommagement d'un alliage pour applications spatiale



17/10/2023

La  met en évidence l'augmentation de la densité de défauts



7

Etude de fatigue sur un acier inoxydable

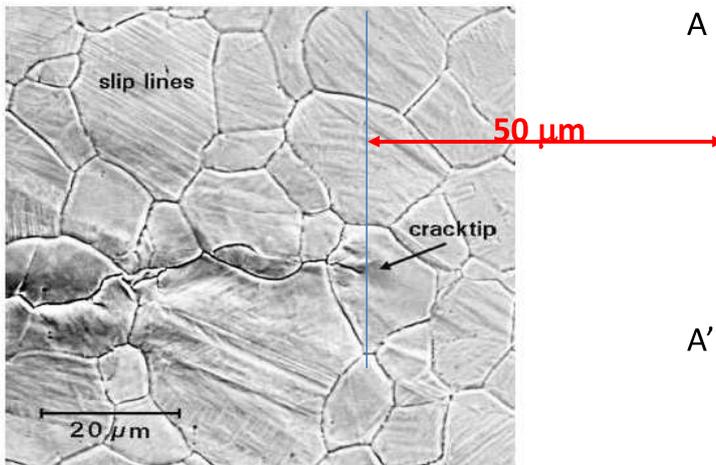


Fig. 4. SEM image of a cracktip in stainless steel AISI 321. Near the cracktip slip lines are clearly visible.

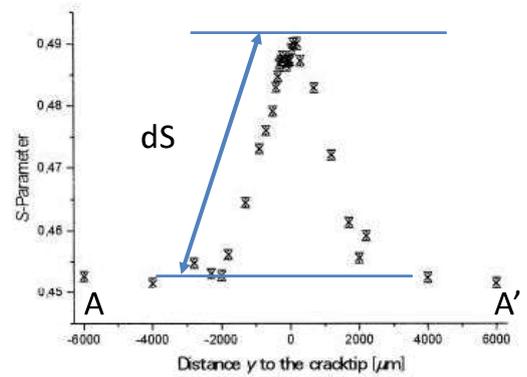


Fig. 6. S parameter scan 50 μm in front of a cracktip in AISI 321 crosswise to the cracktip. A massive effect of about 10% appears due to the fatigue deformation.

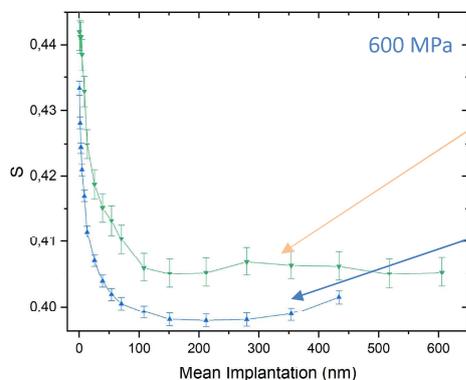
From: "Measurements on cracktips in stainless steel AISI 321 by using a new positron microprobe", M. Haaks et al., Applied Surface Science 149 1999. 207–210 Bonn Germany

17/10/2023

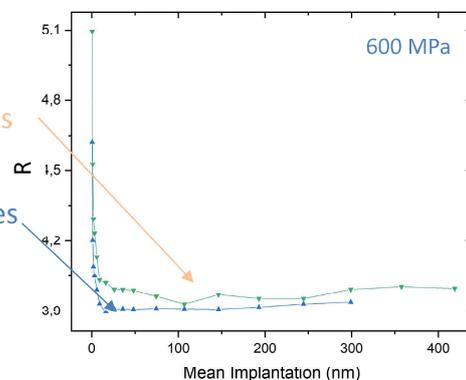
8

La différentiation entre les défauts

Tests sur échantillons métalliques après des tests de fatigue à 600 MPa – Influence du nombre de cycles



Parametre S: augmentation de la densité de dislocations



Parametre R: pas de changement significatif. La densité de défauts n'est pas suffisante pour créer des chemins préférentiels vers la surface pour le positronium

17/10/2023

9

Comment ça marche ?

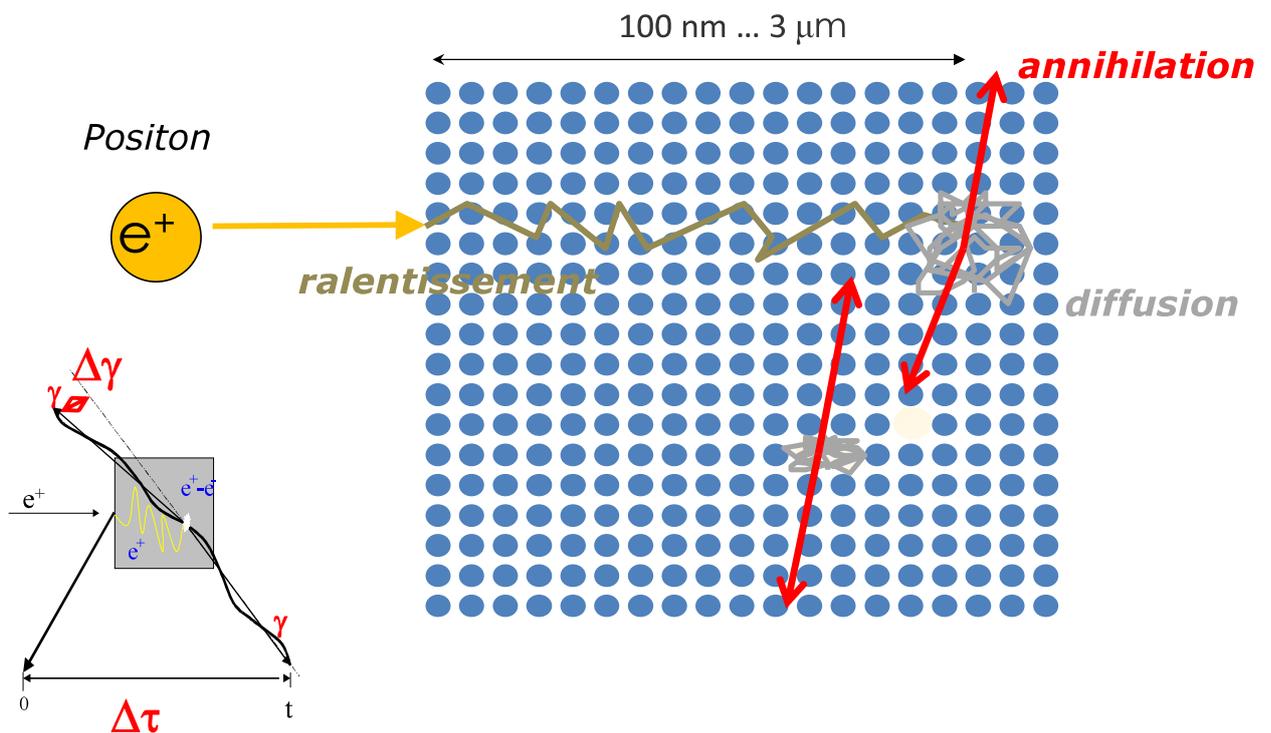
Le principe de la mesure

17/10/2023

10

Le principe de la mesure

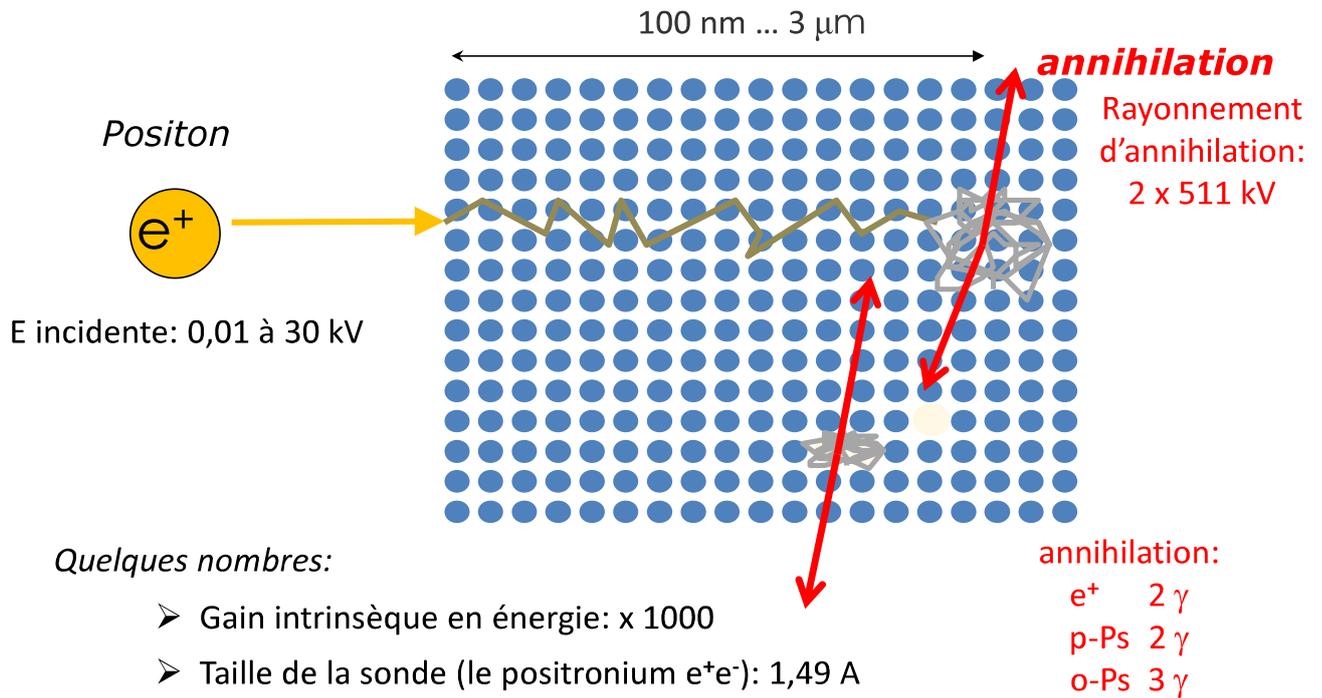
Un fonctionnement comparable au MEB



17/10/2023

11

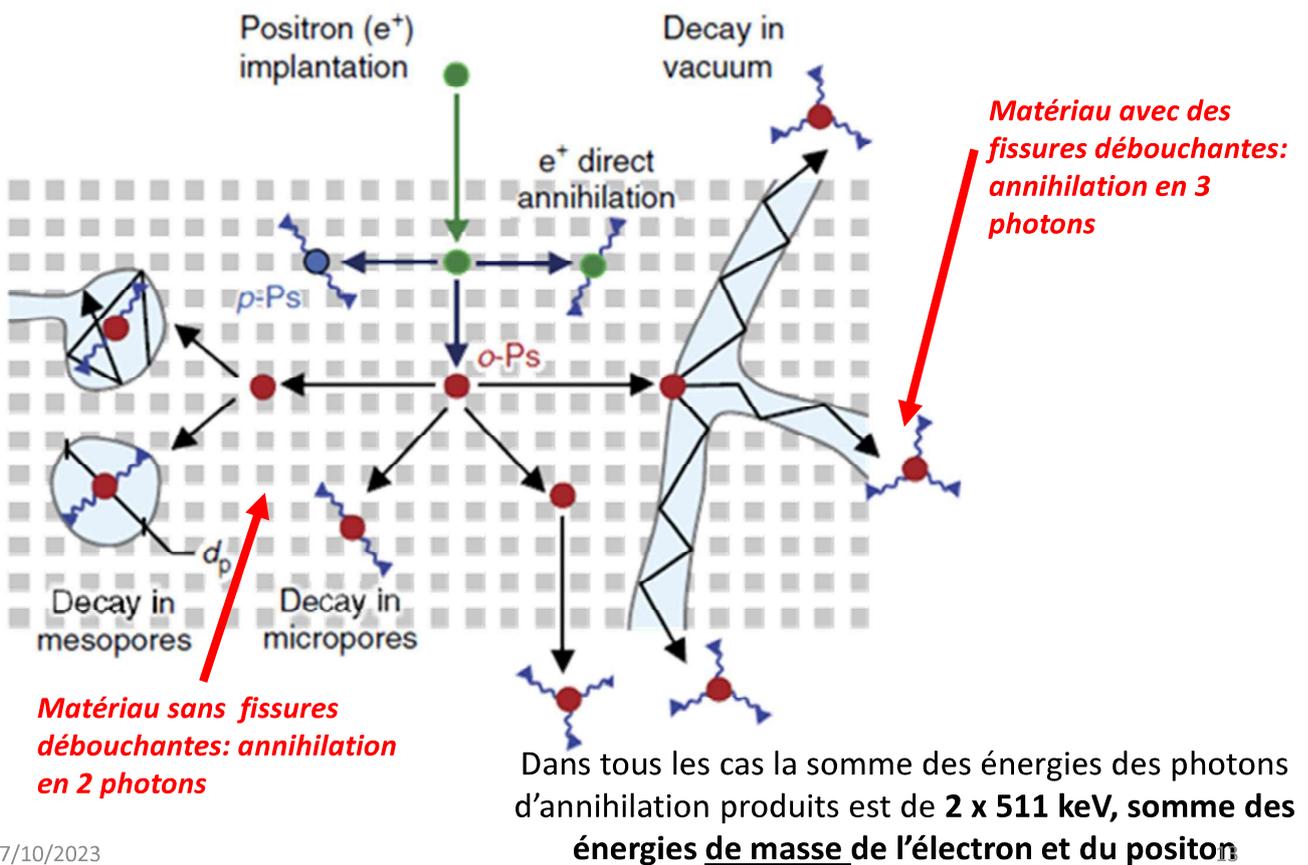
On mesure l'énergie d'annihilation



17/10/2023

12

La différentiation entre les défauts



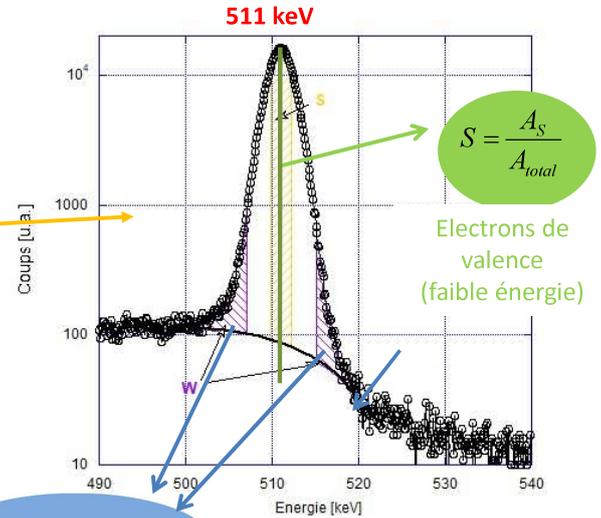
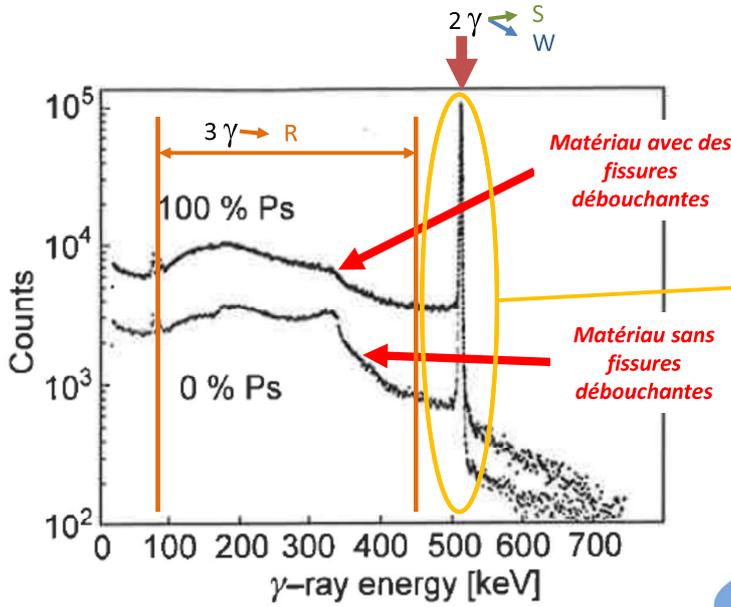
17/10/2023

Annihilation en 3 γ :
annihilation dans le vide -
fissures débouchantes -
paramètre R

Annihilation en 2 γ : annihilation dans
la matière - pas de fissures
débouchantes - paramètres S et W

$$\sum E_{\gamma} = 2 \times 511 \text{ keV} + \epsilon(E_e)$$

Energie de masse de l'électron et du positron



$$W = \frac{A_{W_G} + A_{W_D}}{A_{total}}$$

Electrons de cœur (forte énergie)

Pourquoi ça marche ?

La physique de la mesure