

POSITHÔT

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

**AG AFENDA
20/09/2023**

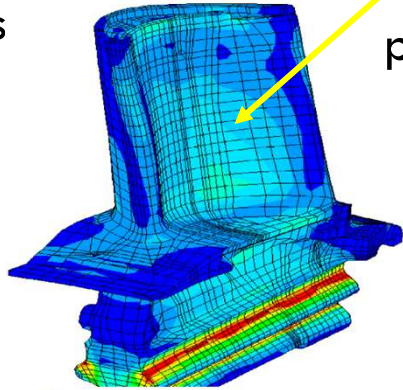
Vers un contrôle non destructif de résolution nanométrique



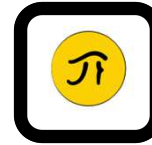
POSITHÔT

Nombre de défauts

La solution apportée par POSITHÔT



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



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

Taille de défaut critique

Plage de sensibilité de la technique POSITHÔT

Plage de sensibilité des techniques de CND existantes

Evolution des défauts en fonctionnement

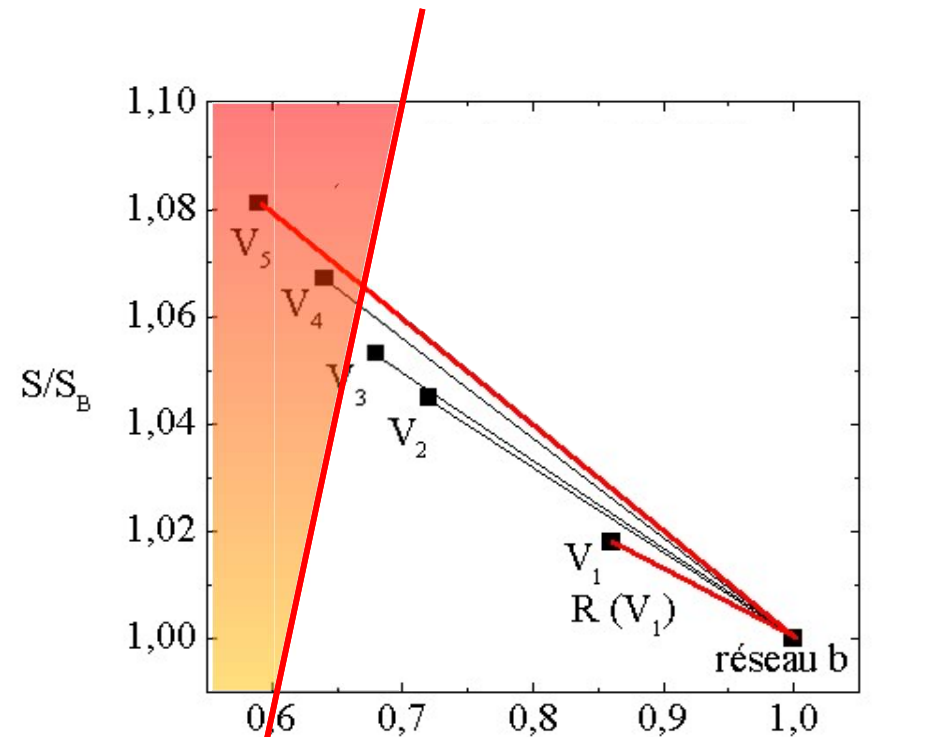
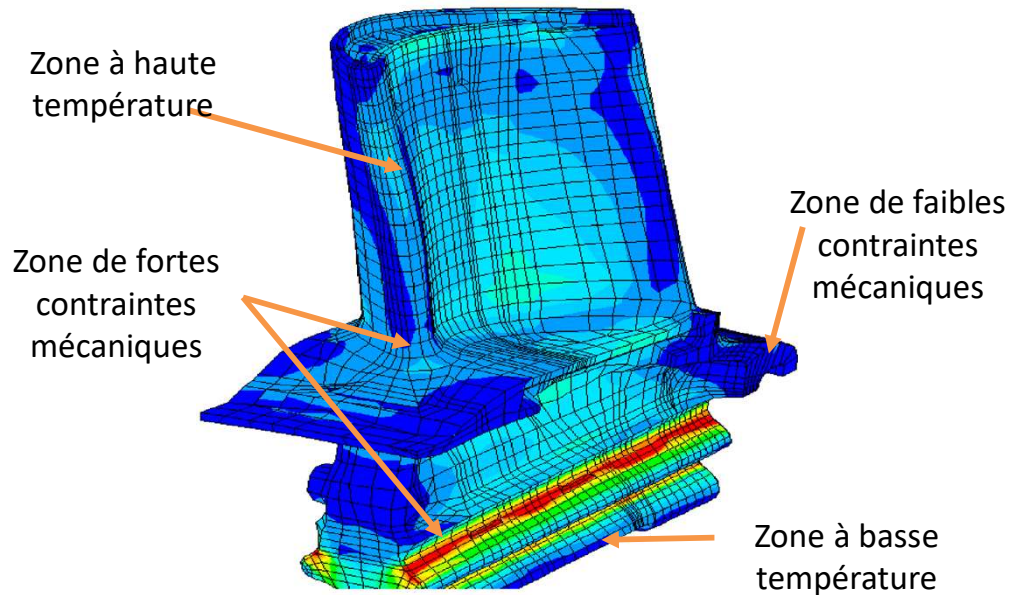
MET & SAT (destructif)

Taille des défauts

10⁵ Nombre d'atomes

¹ Contrôle Non-Destructif

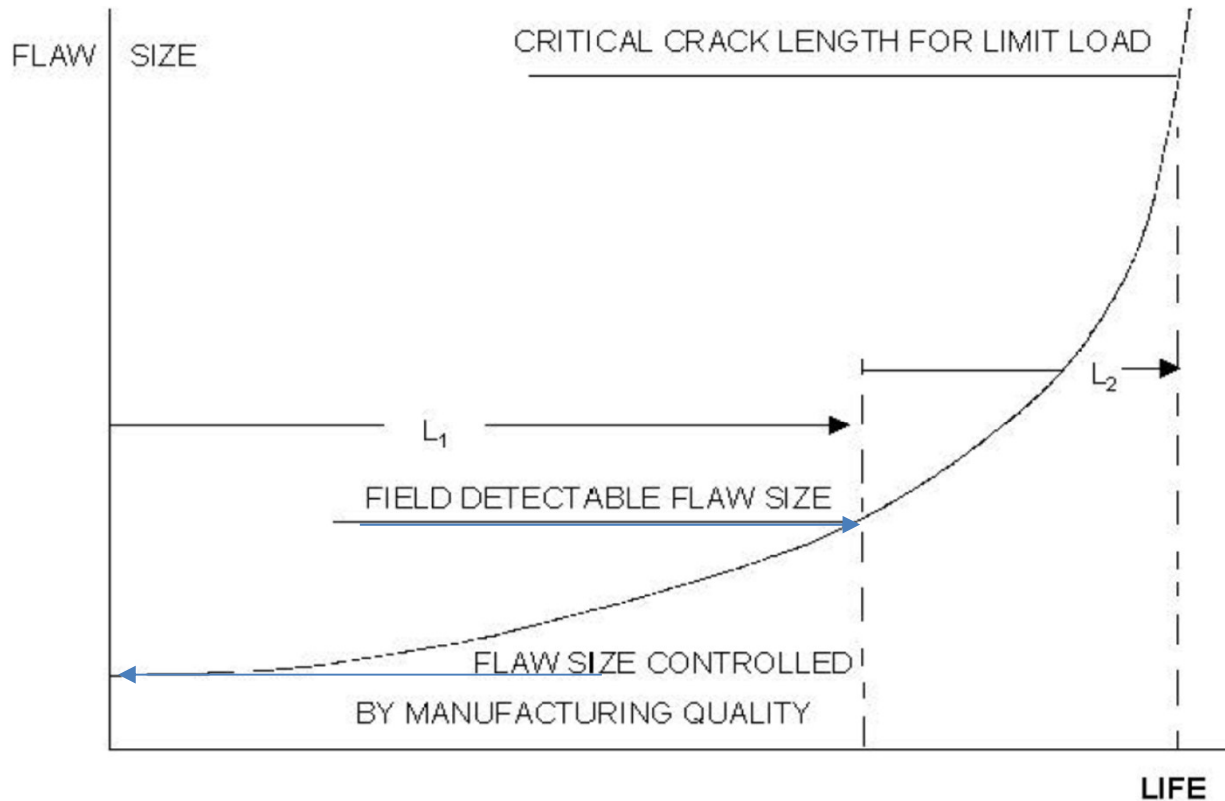
Bénéfices attendus pour les industries de haute technologie



Critère limitant pour le maintien en opération

W/W_B
 Paramètre de référence mesuré sur une pièce non sollicitée
 Paramètre mesuré sur une pièce fonctionnelle

- 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



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

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

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.

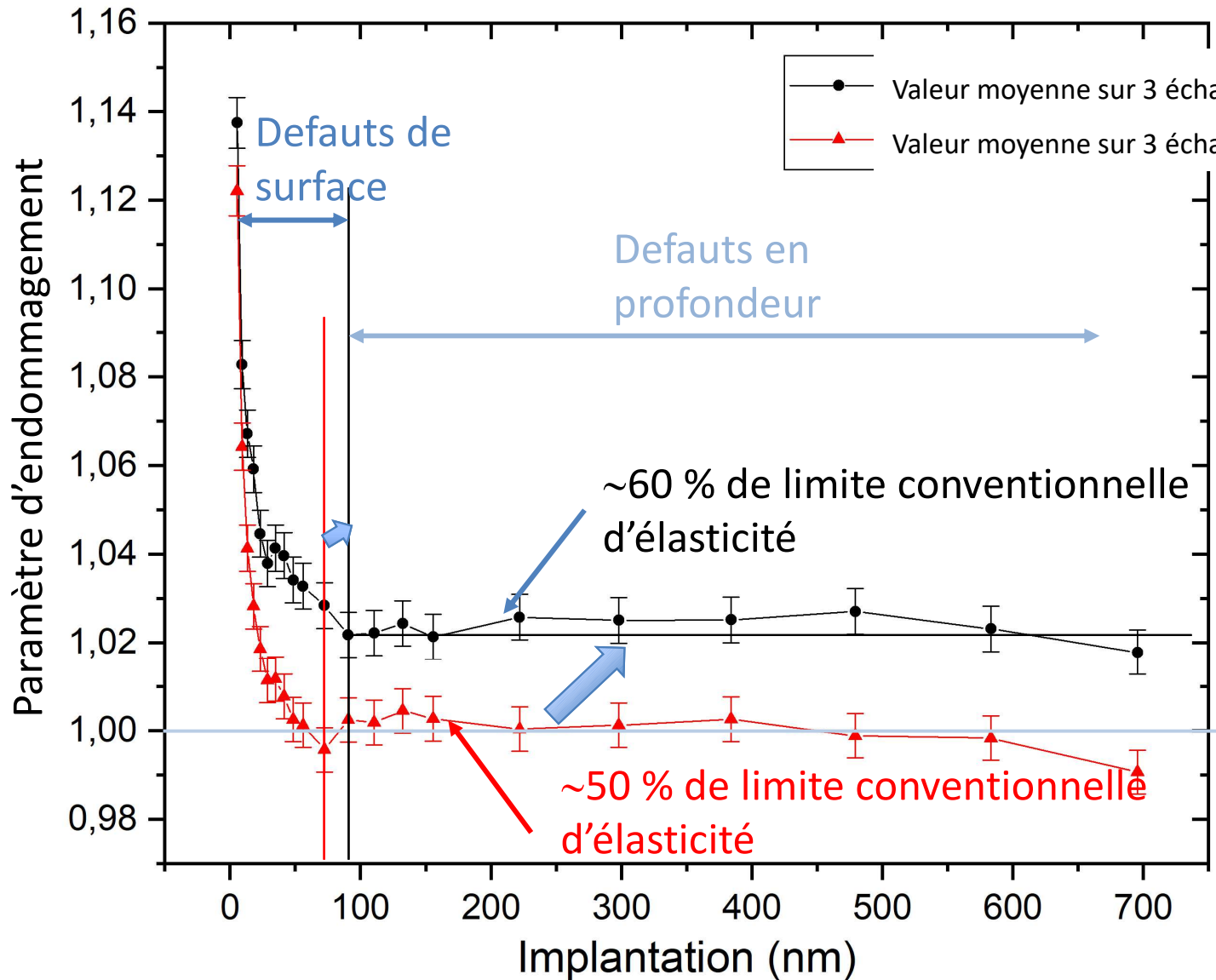
Exemples


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)



Etude d'endommagement d'un alliage pour applications spatiales



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



POSITHÔT
Lauréat du



Etude de fatigue sur un acier inoxydable

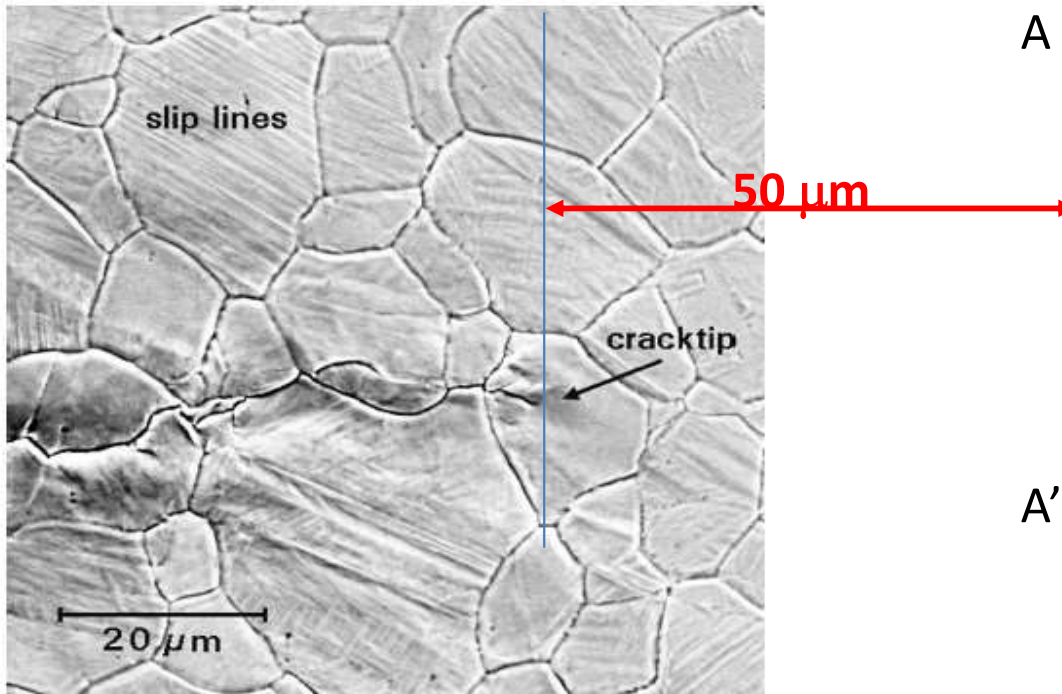


Fig. 4. SEM image of a cracktip in stainless steel AISI 321. Near the cracktip slip lines are clearly visible.

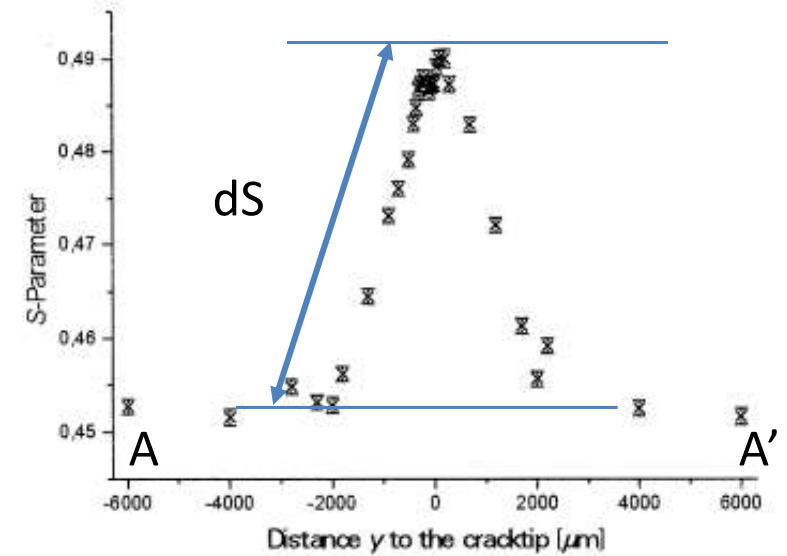
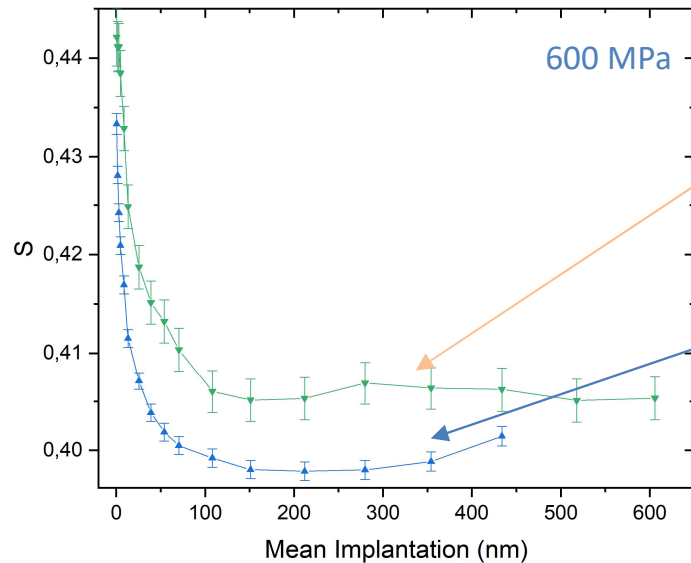


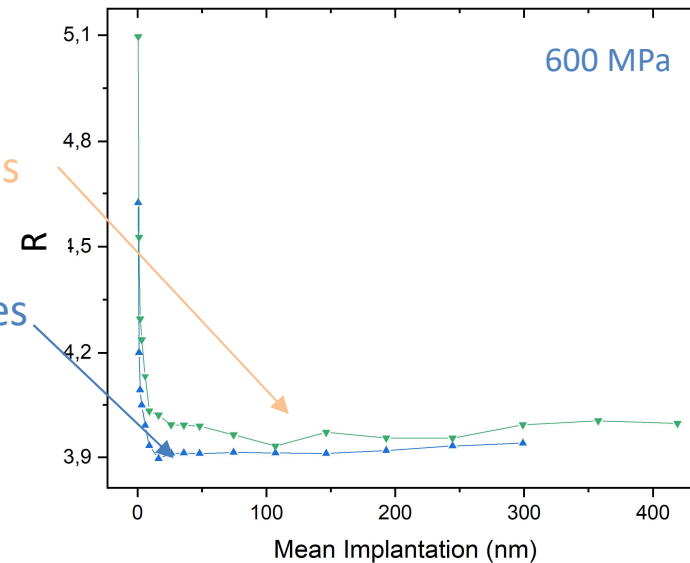
Fig. 6. *S* parameter scan 50 μm in front of a cracktip in AISI 321 crosswise to the cracktip. A massive effect of about 10% appears due to the fatigue deformation.

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

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



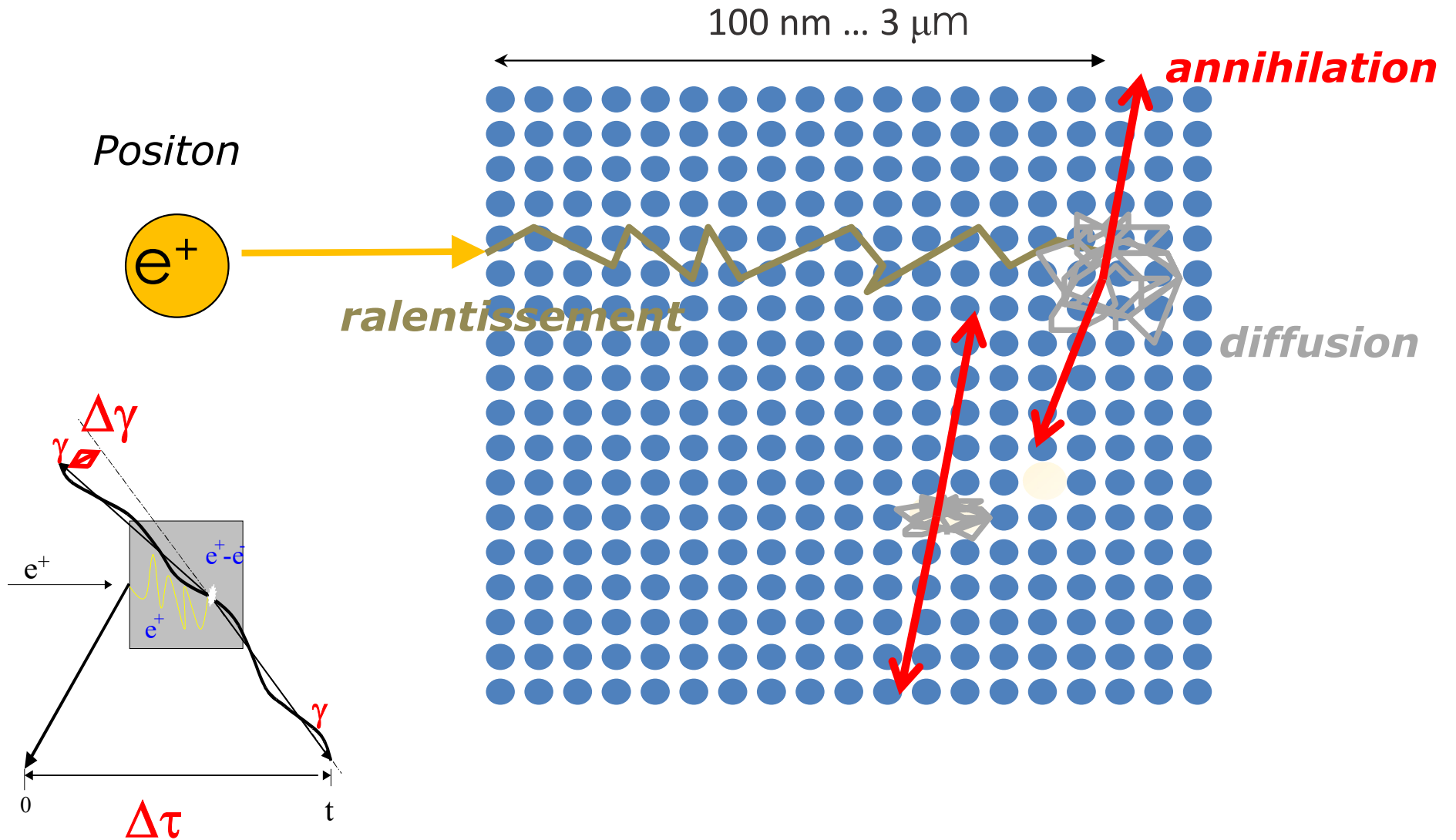
Parametre R: pas de changement significatif. La densité de défauts n'est pas suffisante pour créer des chemins préférentiels vers la surface pour le positronium

Comment ça marche ?

Le principe de la mesure

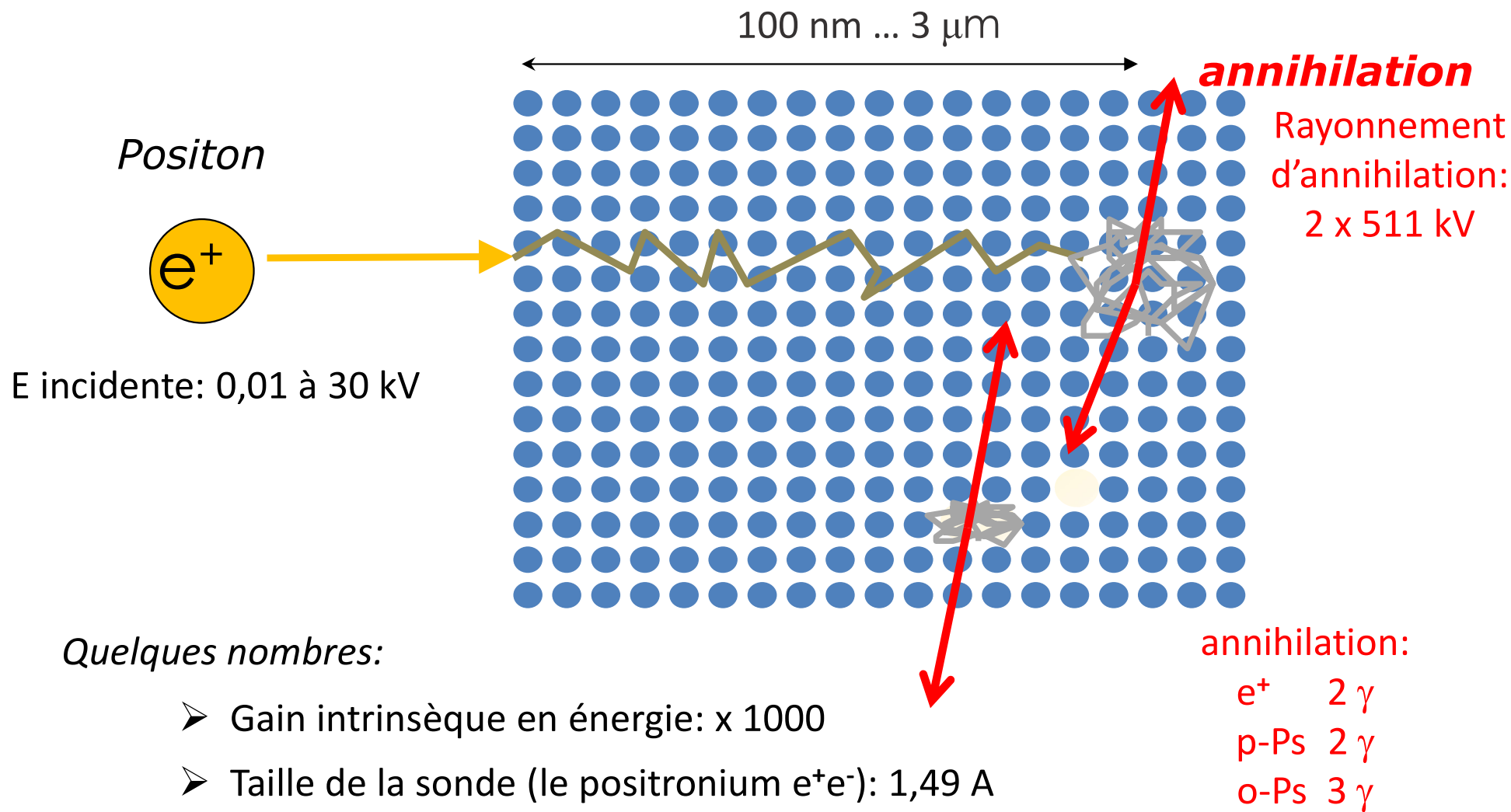
Le principe de la mesure

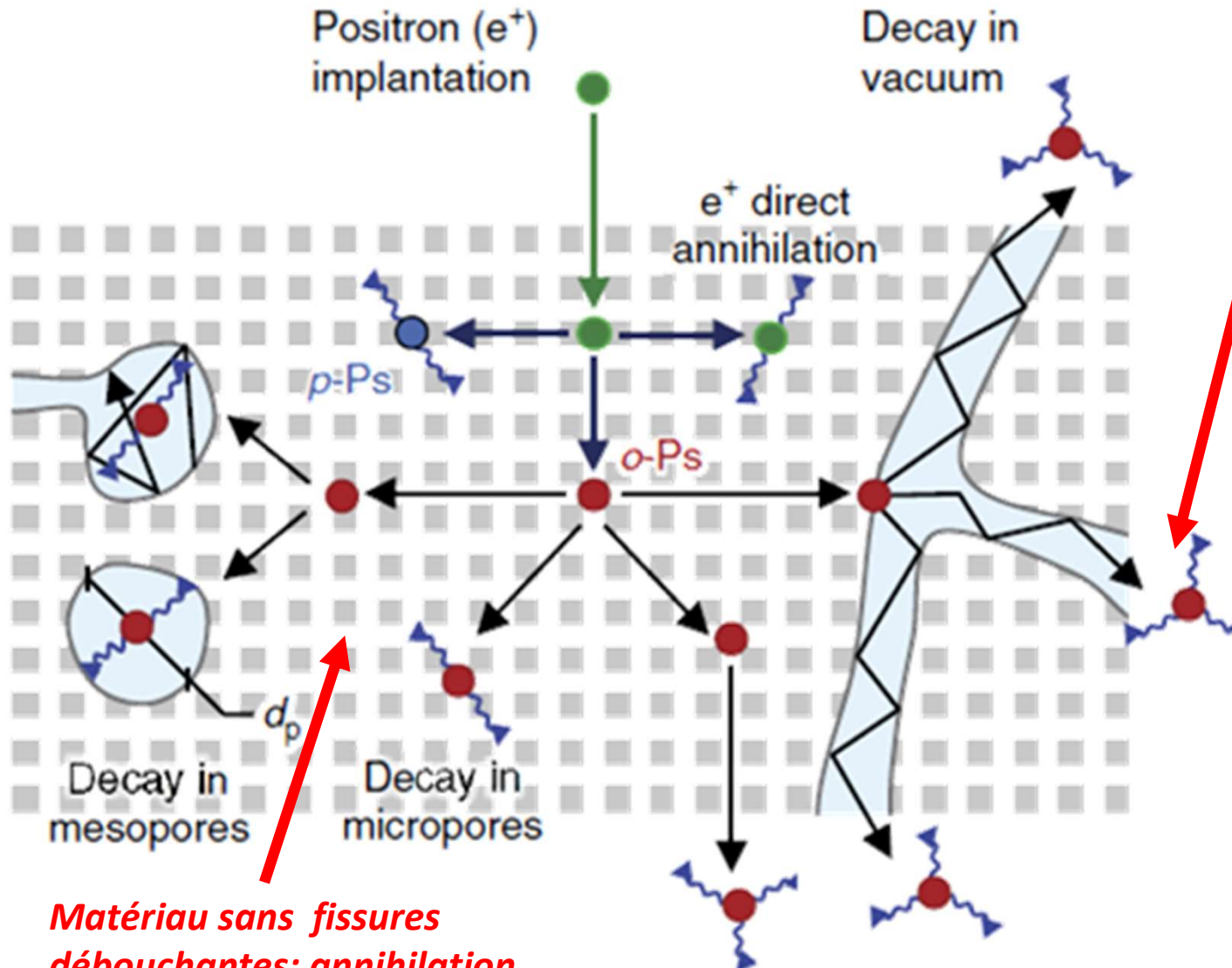
Un fonctionnement comparable au MEB



Le principe de la mesure

On mesure l'énergie d'annihilation





Matériau avec des fissures débouchantes: annihilation en 3 photons

Matériau sans fissures débouchantes: annihilation en 2 photons

Dans tous les cas la somme des énergies des photons d'annihilation produits est de **2×511 keV**, somme des énergies de masse de l'électron et du positon.



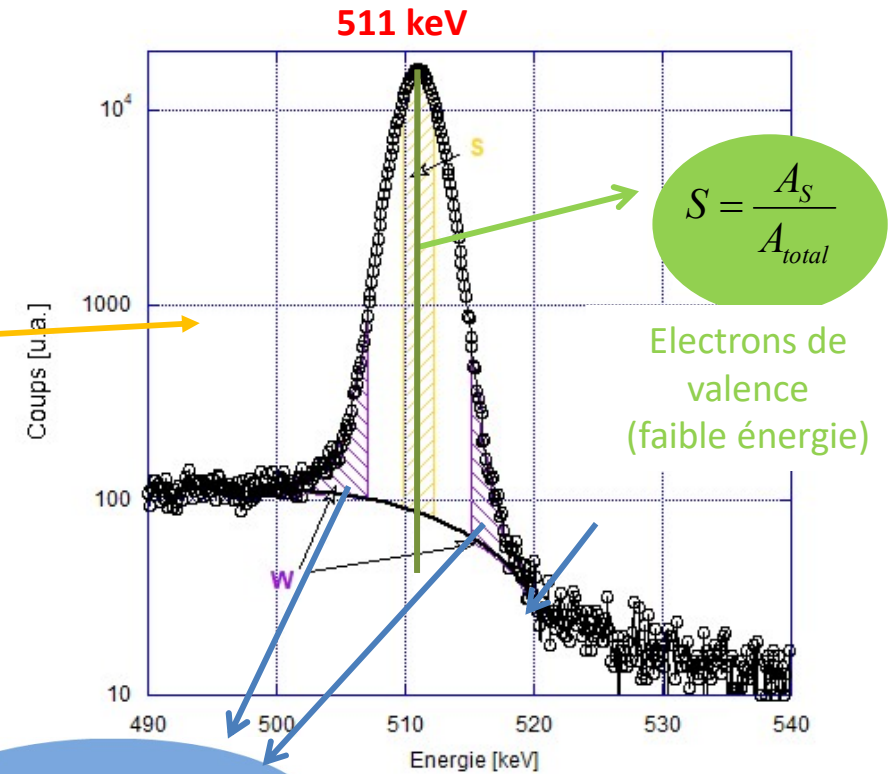
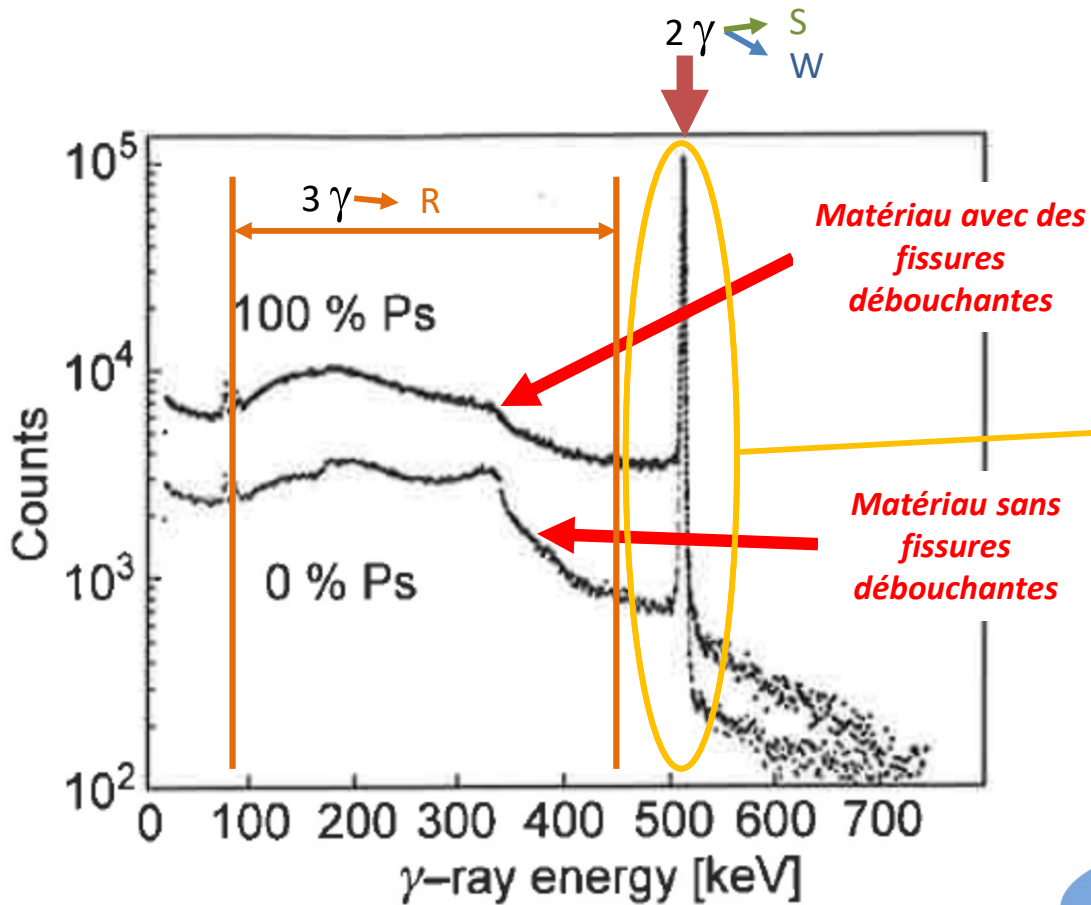
La différentiation entre les défauts

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

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

Energie de masse de l'électron et du positon



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

Electrons de cœur
(forte énergie)

Pourquoi ça marche ?

La physique de la mesure

Valeur intrinsèque de l'antimatière et de la technologie de POSITHÔT



Energie

$$e^+e^- \rightarrow 10^{13} \text{ J/g}$$

$$^{238}\text{U} \rightarrow 5 \cdot 10^8 \text{ J/g}$$

$$\text{H}_2 + \text{O} \rightarrow 1,2 \cdot 10^5 \text{ J/g}$$



Interaction matière / antimatière

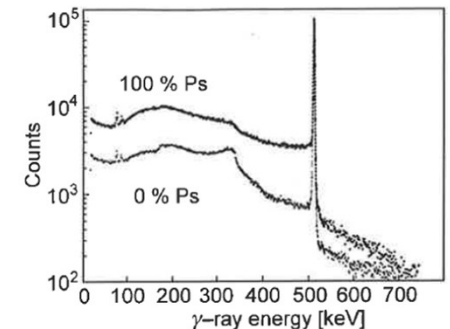
➤ Les positons sont repoussés par les noyaux des atomes

Les défauts attirent les positons; gain ~ 500

➤ Matière + Antimatière



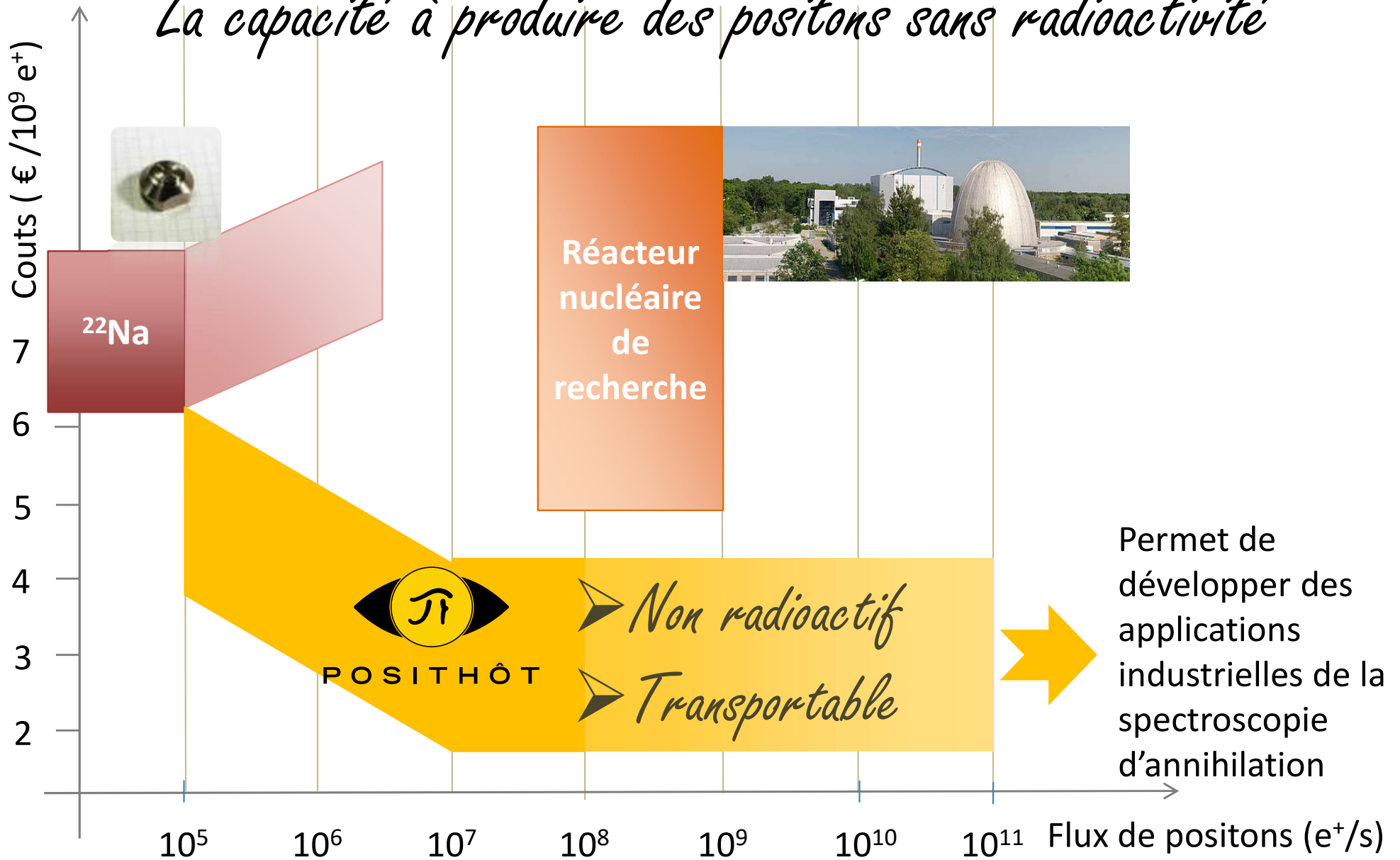
Energie



Réaction d'annihilation = consommation de l'énergie de masse

$$E = m C^2 ; \text{ gain } \sim 500$$

La capacité à produire des positons sans radioactivité



Autres champs d'application

- ❑ Furtivité: influence des défauts sur les propriétés d'absorption des ondes électromagnétiques pour les revêtements
- ❑ Couches minces, semiconducteurs;
- ❑ Production et stockage d'énergie;
- ❑ Catalyse, filtration, dépollution.

Présentation de POSITHÔT

Historique



SAS créée en 2015 par Jean-Michel Rey, capital 385 k€

Détenue par son fondateur (60%), CEA investissement (12%) et 40 investisseurs privés (Fondateurs et BA, 28%)



Société issue du CEA avec un important actif scientifique

Développements pour la physique fondamentale initiés en 2005,

Preuve de concept opérationnelle en 2011,

Construction en 2015 du **Défautscope atomique** et premières prestations de services en 2017

Début de construction en 2018 du **Premier générateur de positons non radioactif transportable** (première mondiale)



Propriété intellectuelle

Brevet sur la production de positons appartenant au CEA avec licence exclusive, rachat du brevet en cours

Enrichissement par brevets en propre à développer sur les applications

Idée: produire des positons à l'aide d'un accélérateur d'électrons, à une énergie en deçà du seuil d'activation neutronique.

2005-2012 – Phase de R&D pour l'expérience GBAR

- ❑ Développement de la preuve de concept architecture 1
- ❑ En 2012 l'activité CEA représentait 50 h.an d'ingénieur-chercheur (soit 5,5 M€), et 4 projets validés par la communauté scientifique (ANR SOPHI et POSITRAP, ASTRE SELMA et P2I, pour un total de 1,24 M€).

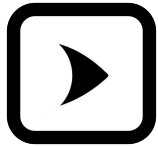


2012-2015 – Expérience GBAR approuvée par le CERN

- ❑ Développement de la preuve de concept architecture 2 à Saclay

2015-2019 – Installation de GBAR au CERN

- ❑ Réalisation de l'architecture 2 en version forte puissance – réception de cet équipement en 2019 – performance comparable au réacteur de Recherche de l'université de Delft aux Pays-bas.



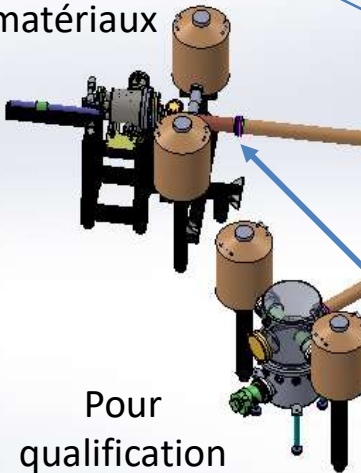
Objectifs

- ❑ Réaliser la plateforme de mesure
- ❑ Structurer l'activité de service
- ❑ Organiser la commercialisation des équipements

Défautscope atomique
Opérationnel

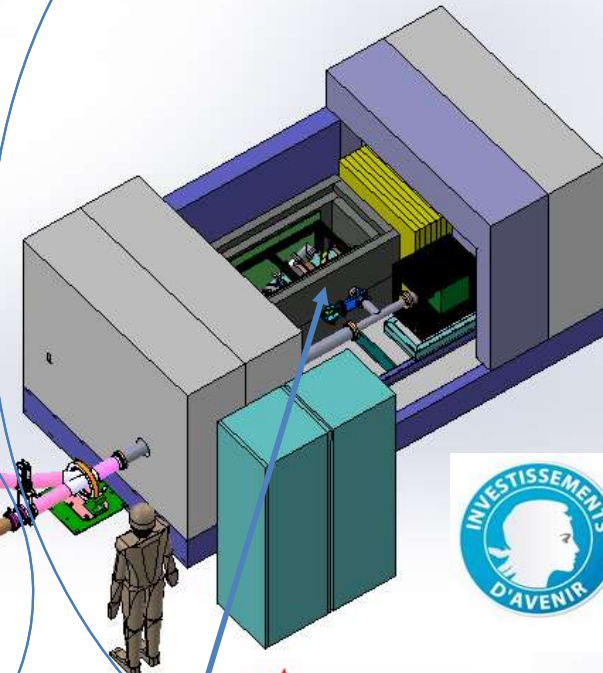
Blade Checker
Financement AID Rapid
Partenaire: Mirion
Canberra

Pour tests
matériaux

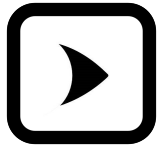


Pour
qualification
méthodes
CND

AM Gen
Financement
Innov'Up Leader PIA



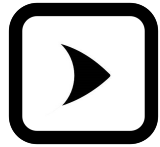
La pré-étude du **générateur de positons** et la réalisation du **Défautscope** ont été financées grâce au **concours ILAB** de



Objectifs

- Mise service d'ici la fin d'année

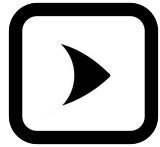




Objectifs

- Mise service d'ici la fin d'année

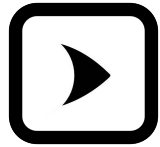




Objectifs

- Mise service d'ici la fin d'année





Objectifs

- Mise service d'ici la fin d'année





Objectifs

- ✓ Réaliser un démonstrateur pour qualifier la méthode sur des pièces mécaniques existantes



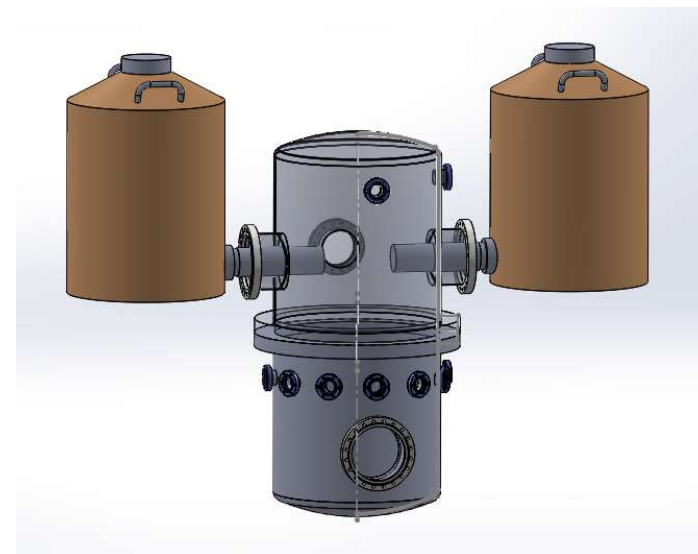
Partenaires

- ✓ POSITHÔT – faisceau de positons
- ✓ MIRION CANBERRA – détecteurs et acquisition
- ✓ DGA SIAé – intérêt pour la technique
- ✓ Safran - intérêt pour la technique
- ✓ Nexter - intérêt pour la technique



Principales caractéristiques

- ✓ Pièce à analyser : \varnothing 50 mm x L 70 mm,
- ✓ Enceinte à vide 140 dm³



Perspectives



Notre besoin

- ✓ Identifier les pièces pouvant bénéficier de cette méthode d'analyse



Valeur ajoutée

- ✓ Quantification de l'endommagement avant l'apparition des fissures
- ✓ Automatisation du procédé
- ✓ Optimisation des remises en fabrication de pièces de rechange



Évolutions induites

- ✓ Intégrer le retour d'expérience de l'évolution en fatigue dès la conception
- ✓ Intégrer le vieillissement au jumeau numérique des pièces à forte valeur ajoutée

Jean-Michel Rey

jean-michel.rey@posithot.com

06 52 02 65 60

lauréat du Challenge
Innovation Défense

lauréat du Challenge CNES
Lanceurs de demain

