IONISOS
Ionisation par électrons accélérés et rayons gamma

Sophie ROUIF, Responsable R&D Chimie sous rayonnements - sophie.rouif@ionisos.fr

Les modes d'exposition sous rayonnement : mise en œuvre et les avantages des installations industrielles

Lyon / 29 septembre 2009

IONISOS – Parc Dombes Côtière
Activités – 01120 DAGNEUX

Tel : 04 78 06 35 08
www.ionisos.com
info@ionisos.fr

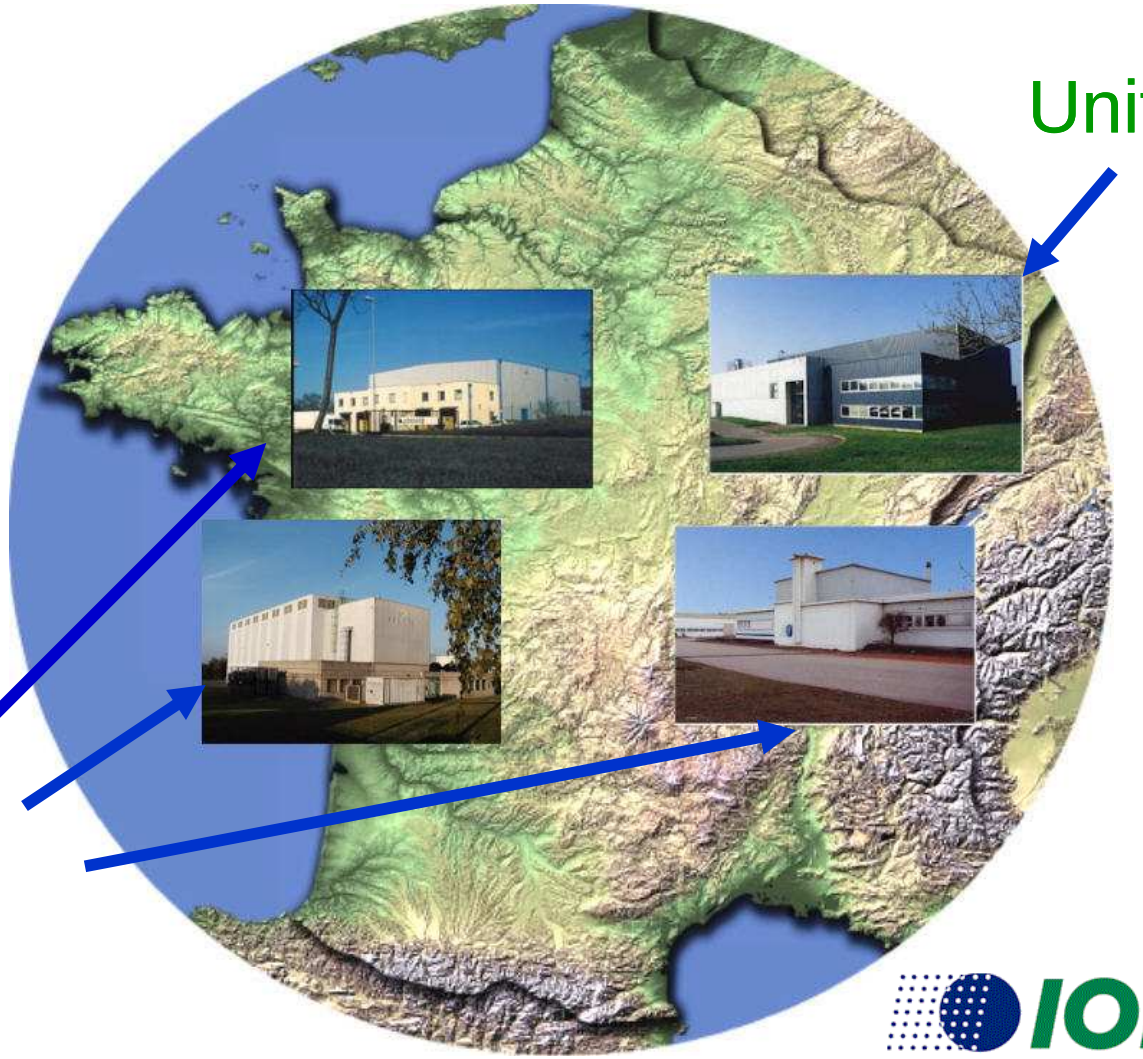
SOMMAIRE

- Présentation de IONISOS
- Description des rayonnements ionisants
  - Qu'est-ce qu'une radiation ionisante ?
  - Electrons accélérés 10 MeV et rayons gamma du cobalt 60
  - Caractéristiques et Différences
  - Profondeurs de pénétration
- Sources de rayonnements ionisants
  - Les sources BETA
  - Les sources GAMMA
- Installations industrielles BETA et GAMMA
- Modes d'exposition BETA et GAMMA
  - Dynamique
  - Statique
  - Débits de dose
  - Dosimétrie
- Conclusions

PRESENTATION DE IONISOS

- **IONISOS** est une **PME** (80 p).
- Leader français du traitement à façon par les **rayonnements ionisants** (n°2 européen), notés ensuite R.I.
- 2 technologies proposées :
  - Les **électrons accélérés** (E-Beam ou rayons BETA)
  - Les **rayons Gamma** (sources de Cobalt 60)
- 5 sites industriels dédiés à des **moyennes comme des grandes séries** : 4 en France + 1 en Espagne (Ionmed)
- Des structures permettant **des essais et le traitement de petites séries** : 2 services essais (pour le beta et pour le gamma).

IONISOS : 4 unités en France + 1 en Espagne (EB)



Unité EB

Unités Gamma

IONISOS

ESSAIS D'EXPOSITION

- IONISOS propose des expositions de courtes comme de très longues durées aux rayonnements, pour valider la résistance des matériaux et des équipements utilisés dans le domaine nucléaire ou aérospatial.

Parmi les produits de nos clients, se trouvent :

- Des éprouvettes de matière,
- Des câbles, des flexibles, des joints (de conduite, de porte …),
- Des cartes électroniques, des commandes, des capteurs,
- Des systèmes complets : moteurs, réacteurs sous pression …

Ceux-ci sont destinés aux centrales nucléaires, aux navires à propulsion nucléaire, aux accélérateurs de particules (CERN, Soleil …), au stockage des déchets radioactifs …

DESCRIPTION DES R.I. mis en œuvre par IONISOS : *caractéristiques, différences, et profondeurs de pénétration*

RADIATION IONISANTE

- Elle possède une énergie suffisante pour créer au sein du matériau ionisé des entités réactives, appelées ions, la profondeur de pénétration dépendant du type de rayonnement et de son énergie.
- Ses principaux effets :
  - Dans le cas d'organismes (bactéries, champignons, moisissures…), l'ionisation va provoquer leur destruction.
  - Dans le cas des polymères, les ions se transforment instantanément en des radicaux libres, actifs, qui en se recombinant créent de nouvelles liaisons chimiques permanentes, et induisent des modifications chimiques importantes

INTERACTIONS RAYONNEMENT - MATIERE

Lorsqu'un rayonnement pénètre un milieu cible (matière) :

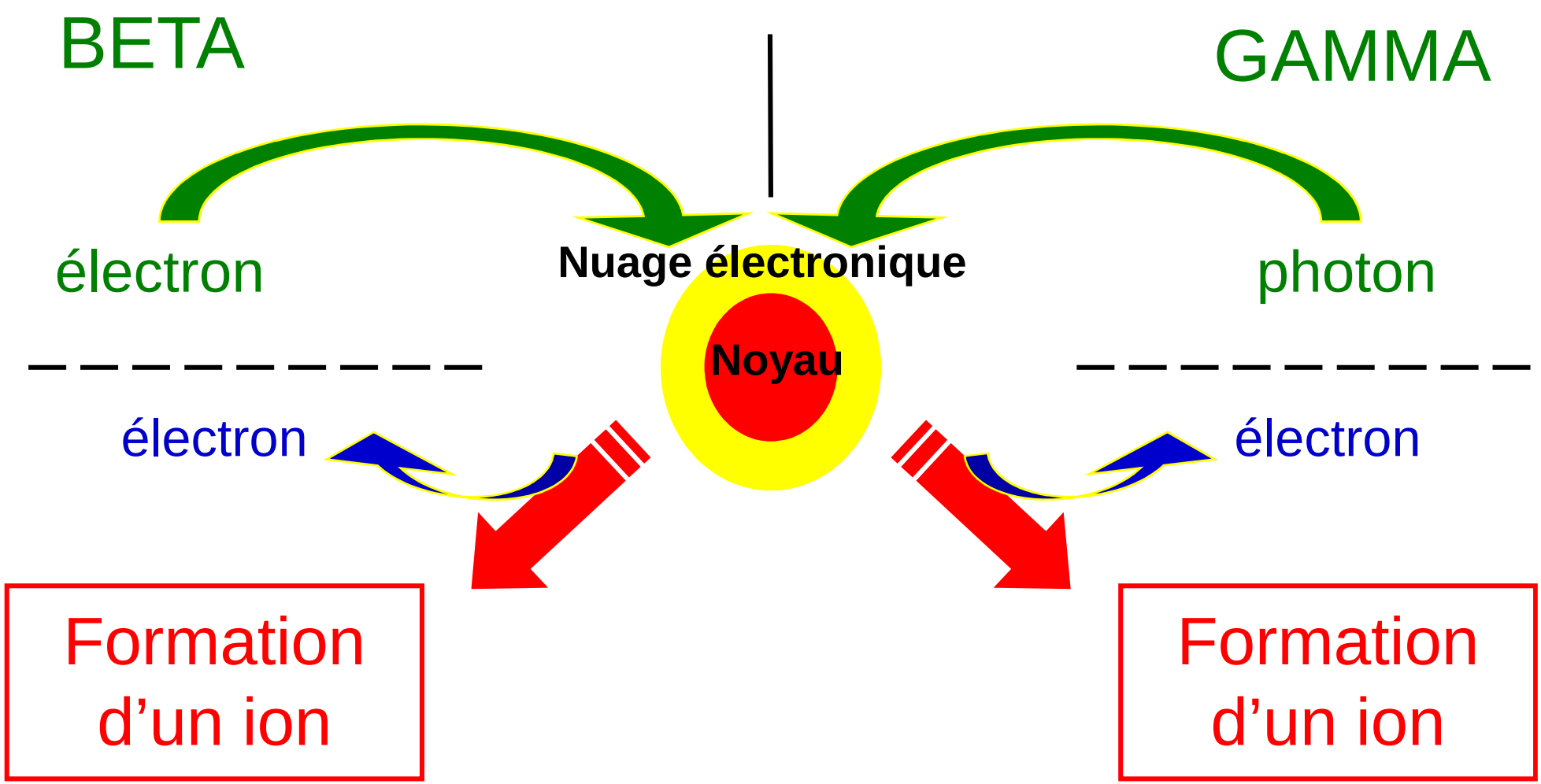
- Il interagît avec les électrons et les noyaux des atomes
- Les interactions dépendent de :
  - La nature du R.I.
  - L'énergie du R.I.
  - La composition du matériau cible (atomes, densité …)
- Il y a transfert d'énergie du rayonnement incident vers le matériau :
  - Phase physique dont la durée est < 10^{-15} s
  - Provoque l'excitation et/ou l'ionisation de certains atomes ou molécules du matériau cible

IONISOS

Caractéristiques du rayonnement émis :

- Quel que soit le rayonnement incident, seuls 2 types de rayonnements secondaires sont générés après interaction avec la matière
  - Des photons : retour à un état plus stable d'un atome excité
  - Des électrons secondaires (appelés également électrons delta)
- Ils perdent une partie de leur énergie cinétique à chaque collision, mais ils peuvent avoir suffisamment d'énergie pour générer d'autres réactions d'ionisation.

PRINCIPE DE L'IONISATION



IONISOS

Notions d'énergie et de dose

IONISOS

- L'énergie du rayonnement incident s'exprime en électron volts (eV) ou MeV.
- La quantité d'énergie reçue par la matière est appelé la dose et est exprimée en Gy ou kGy (1 kGy = 0.1 Mrad = 1 k Joule / kg).
- Un traitement se caractérise aussi par son débit de dose, en kGy / h, pouvant être constant, variable, moyen.

Les rayonnements apportent de l'énergie :

Rayons BETA :

• Electrons accélérés possèdant une énergie de 10 MeV

Énergie de cohésion d'une liaison chimique covalente : entre 1 eV et 10 eV, selon les atomes mis en jeu, et au maximum 30 eV.

Rayons GAMMA :

• Photons se répartissant entre 2 niveaux d'énergie : 1,17 MeV et 1,33 MeV

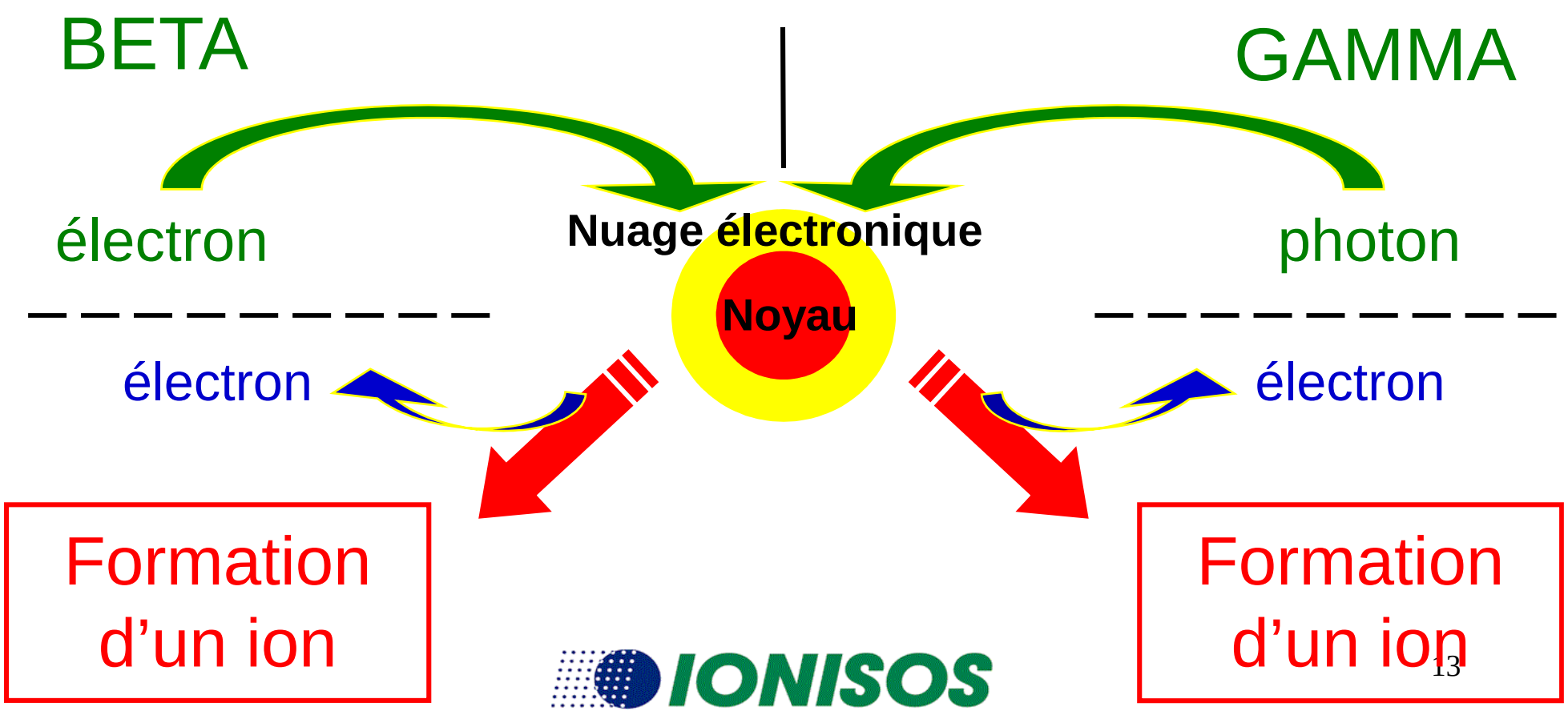
Les énergies des rayons incidents sont bien supérieures à cette énergie de cohésion

Les rayons bêta et gamma peuvent casser des liaisons chimiques covalentes.

IONISOS

• Les énergies des rayons bêta et gamma sont en revanche insuffisantes pour casser les interactions chimiques au sein du noyau des atomes (protons et neutrons)

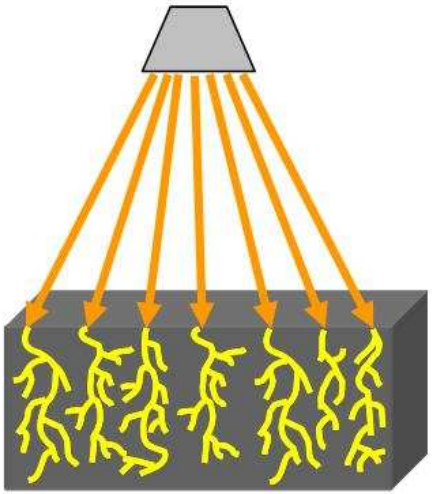
⇒ **PAS DE RADIOACTIVITE INDUITE**



Caractéristiques des rayonnements :

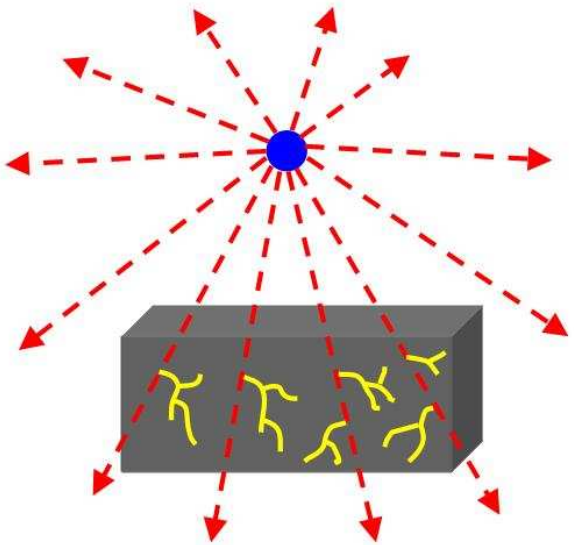
Rayons BETA :

- Les électrons incidents pénètrent peu.
- Ils mettent en mouvement les électrons secondaires qui génèrent des réactions d'ionisation en cascade.



Rayons GAMMA :

- Les photons pénètrent dans toute l'épaisseur.
- Ils mettent en mouvement les électrons secondaires.

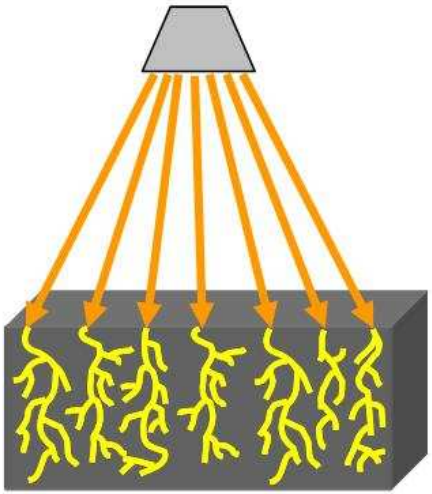


IONISOS

Caractéristiques des rayonnements (suite) :

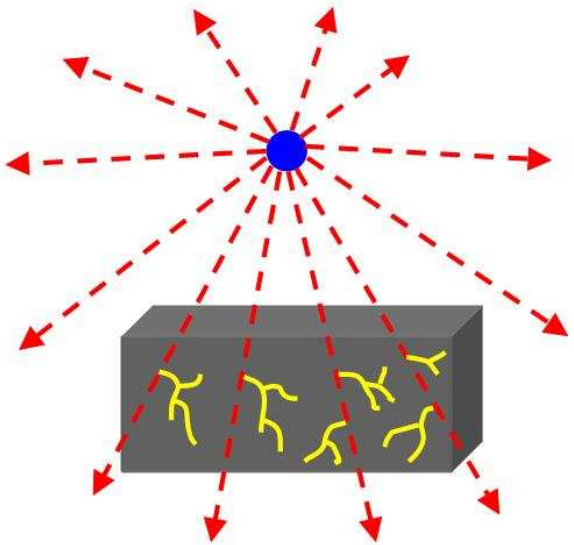
Rayons BETA :

Donc, ce sont à la fois les électrons incidents et les électrons secondaires qui génèrent les réactions d'ionisation.



Rayons GAMMA :

Ce sont donc uniquement les électrons secondaires (mis en mouvement par les photons) qui génèrent les réactions d'ionisation.



IONISOS

DIFFERENCES

BETA

- Rayonnement corpusculaire (électron)
- Profondeur de pénétration limitée à l'épaisseur d'un carton
- Fort débit d'électrons : dose délivrée rapidement (100 kGy en quelques minutes)

GAMMA

- Rayonnement électromagnétique (photon)
- Le photon étant sans masse, la profondeur de pénétration est très importante (> 1 m)
- Possibilité de traiter des pièces plastiques comportant des parties ou des inserts métalliques
- Débit de dose plus lent (1 à 2 kGy/h)

IONISOS

CARACTERISTIQUES DU BETA

IONISOS

- Rayonnement corpusculaire (électron accéléré)

- L'énergie du rayonnement incident détermine la profondeur de pénétration, en fonction également de la densité du milieu cible et de son homogénité.

- Les niveaux d'énergie utilisés à l'échelle industrielle sont ≤ 12 MeV = énergie inférieure aux énergies d'interaction existants au sein du noyau de tous les atomes existants. Seuls le nuage électronique des atomes est touché.

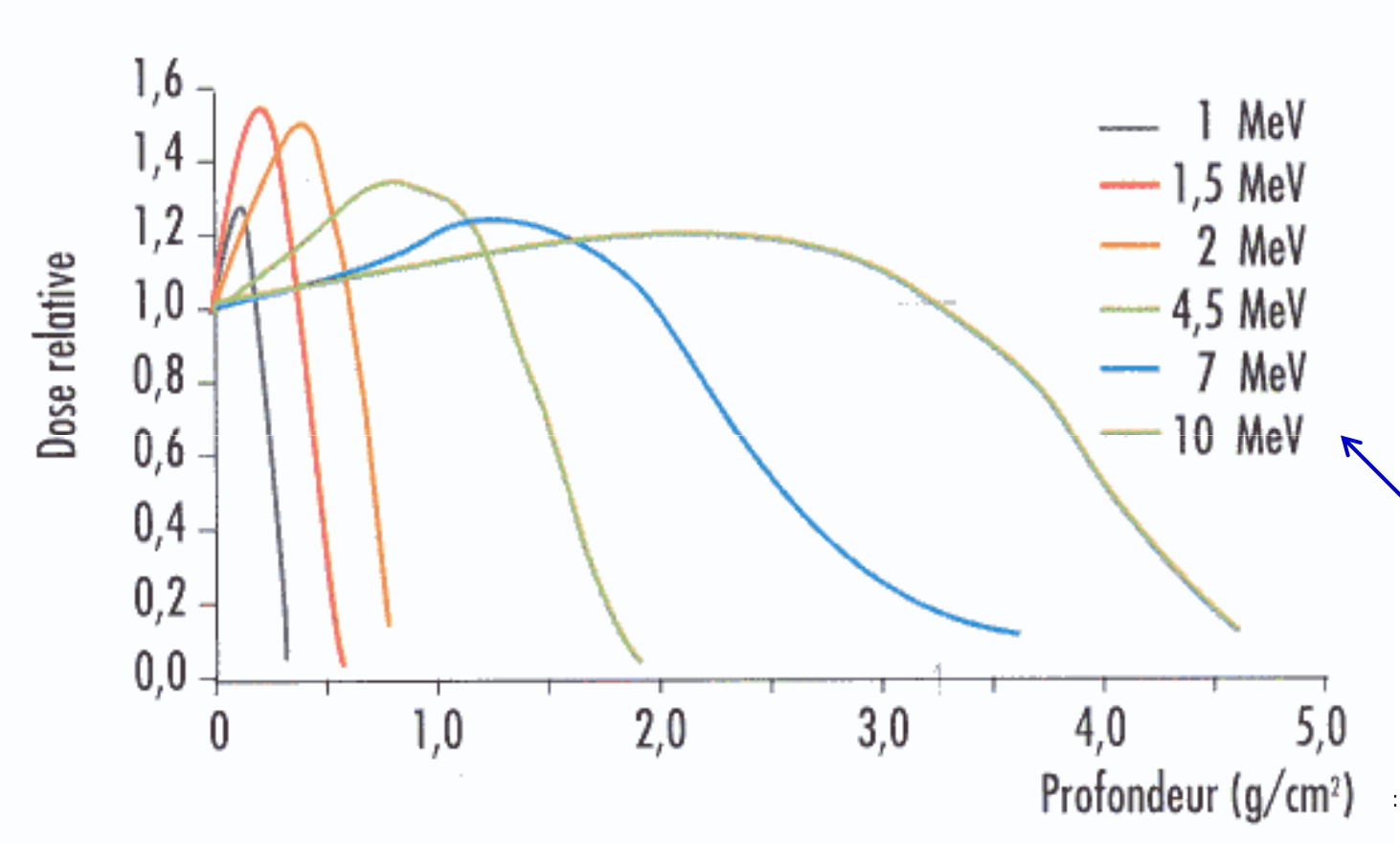
- Au-dessus, il y a risque d'activation de la matière (radioactivité) de la matière, en allant modifier le noyau des atomes.

CARACTERISTIQUES DU BETA

IONISOS

- A l'échelle industrielle, il est utilisé des énergies de 75 keV à 10 MeV.
- En labo ou pour de la modification de semi-conducteurs ou de pierres, on trouve des EB de 20 MeV.

Courbes de pénétration des électrons accélérés (BETA)



câbles
tubes
cartons

Energie utilisée par Ionisos

: épaisseur (cm) si d=1 g/cm³

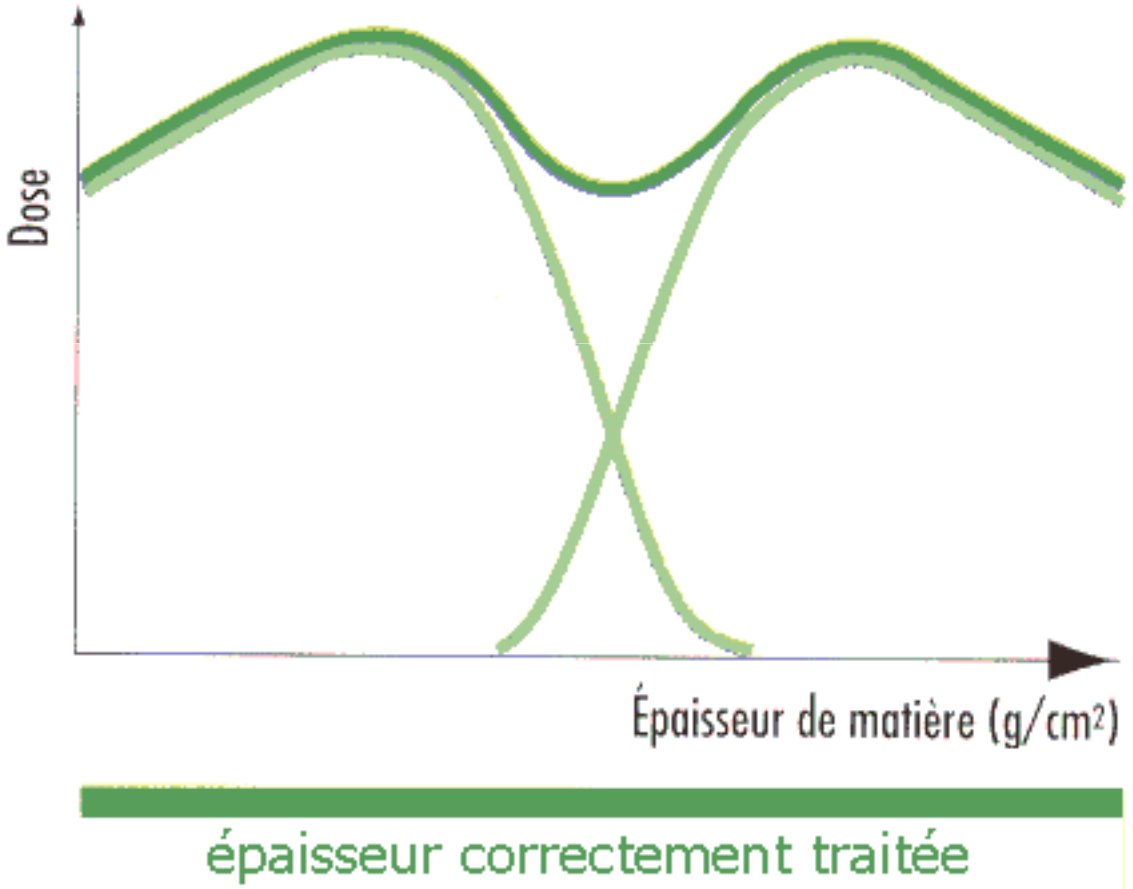
Densité surfacique apparente

Evolution de la profondeur de pénétration en fonction de l'énergie du faisceau d'électrons

RAYONS BETA : cumul de dose

La dose se cumule

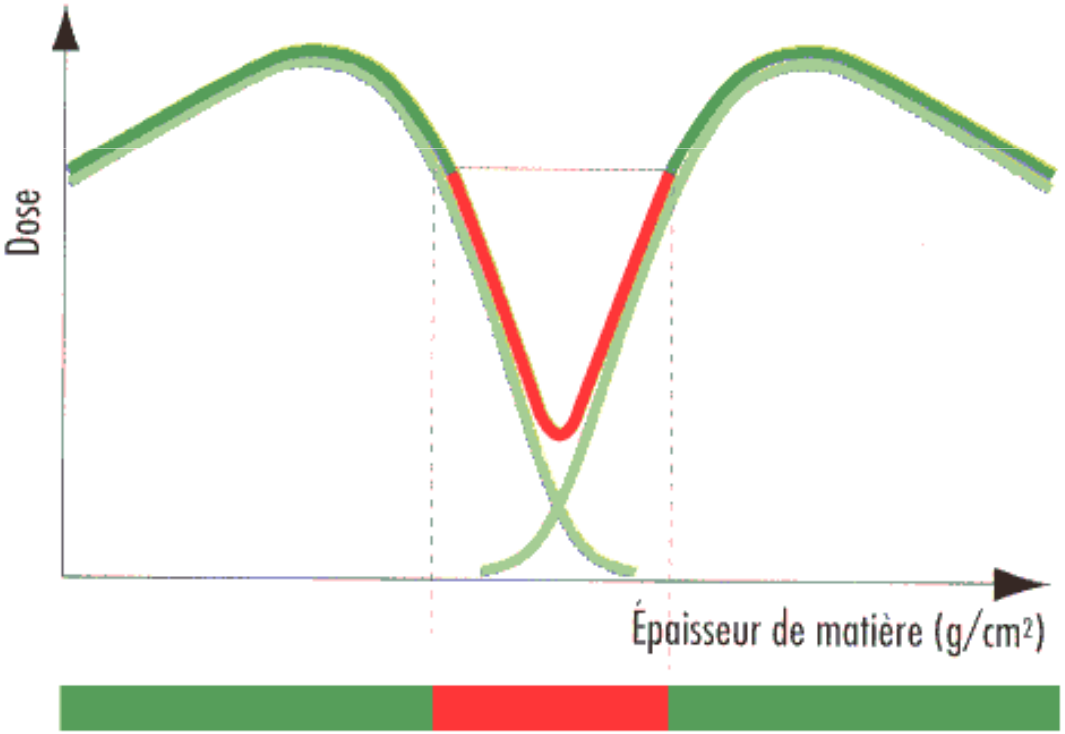
Configuration optimale de traitement BIFACE



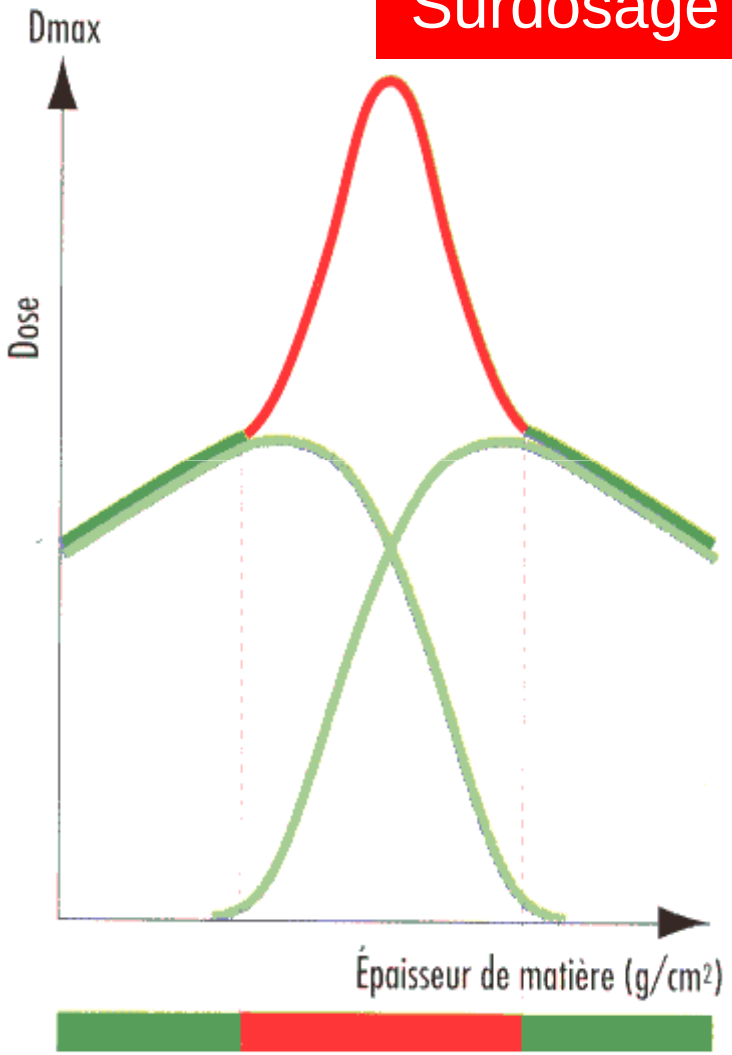
RAYONS BETA : cumul de dose

Configurations à éviter :

Sous-dosage : épaisseur ou densité trop fortes



Surdosage



CARACTERISTIQUES DU GAMMA

IONISOS

- Rayonnement électromagnétique (pas de masse, pas de charge)
- Pas de relation entre les niveaux d'énergie (1,17 et 1,33 MeV pour le Co60) avec la profondeur de pénétration.
- Profondeur de pénétration très importante (> 1 m, possibilité de traverses des parties métalliques)
- Débit de dose faible : 1 à 2 kGy/h
- Il en découle souvent, en présence d'oxygène, une compétition plus grande entre réactions d'oxydation et autres modifications chimiques. Soit, une formation plus importantes de fonctions hydropéroxydes, péroxydes et hydroxyles en surface.

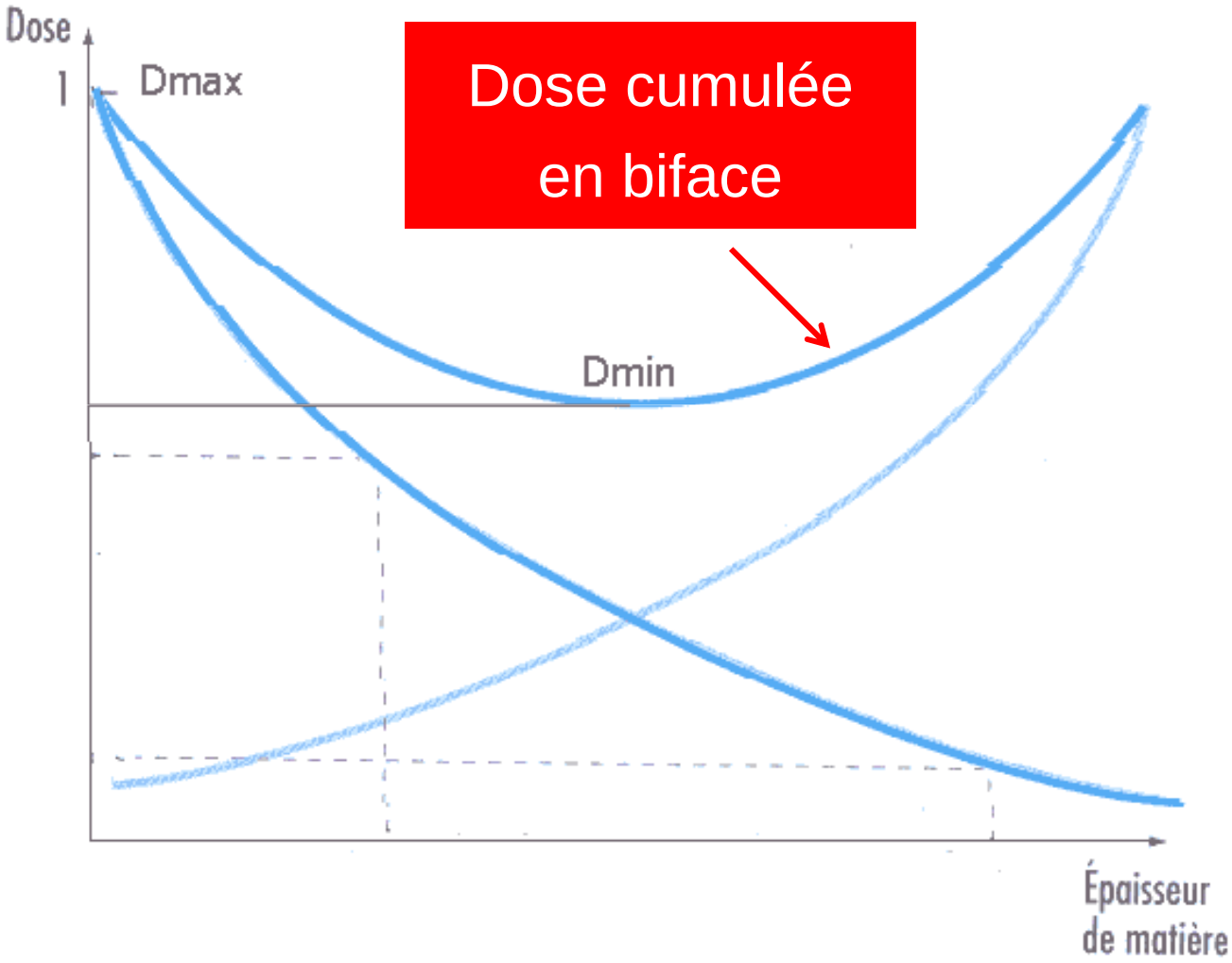
Courbe de pénétration des rayons gamma

$$I = I_0 \, e^{(-\mu x)}$$

I : intensité du rayonnement électromagnétique atténué.

I_0 : intensité du rayonnement électromagnétique incident.

μ : coeff d'absorption linénaire du matériau



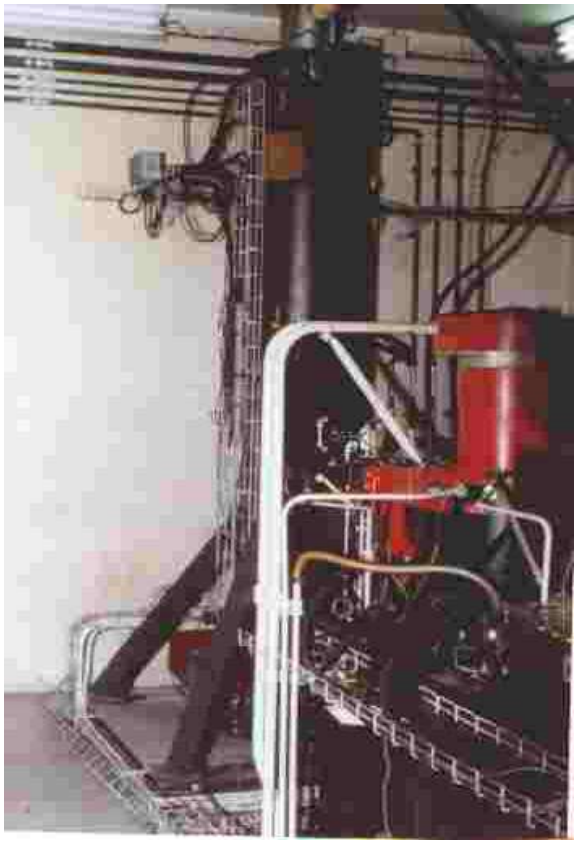
IONISOS

Les sources de R.I. proposées par IONISOS

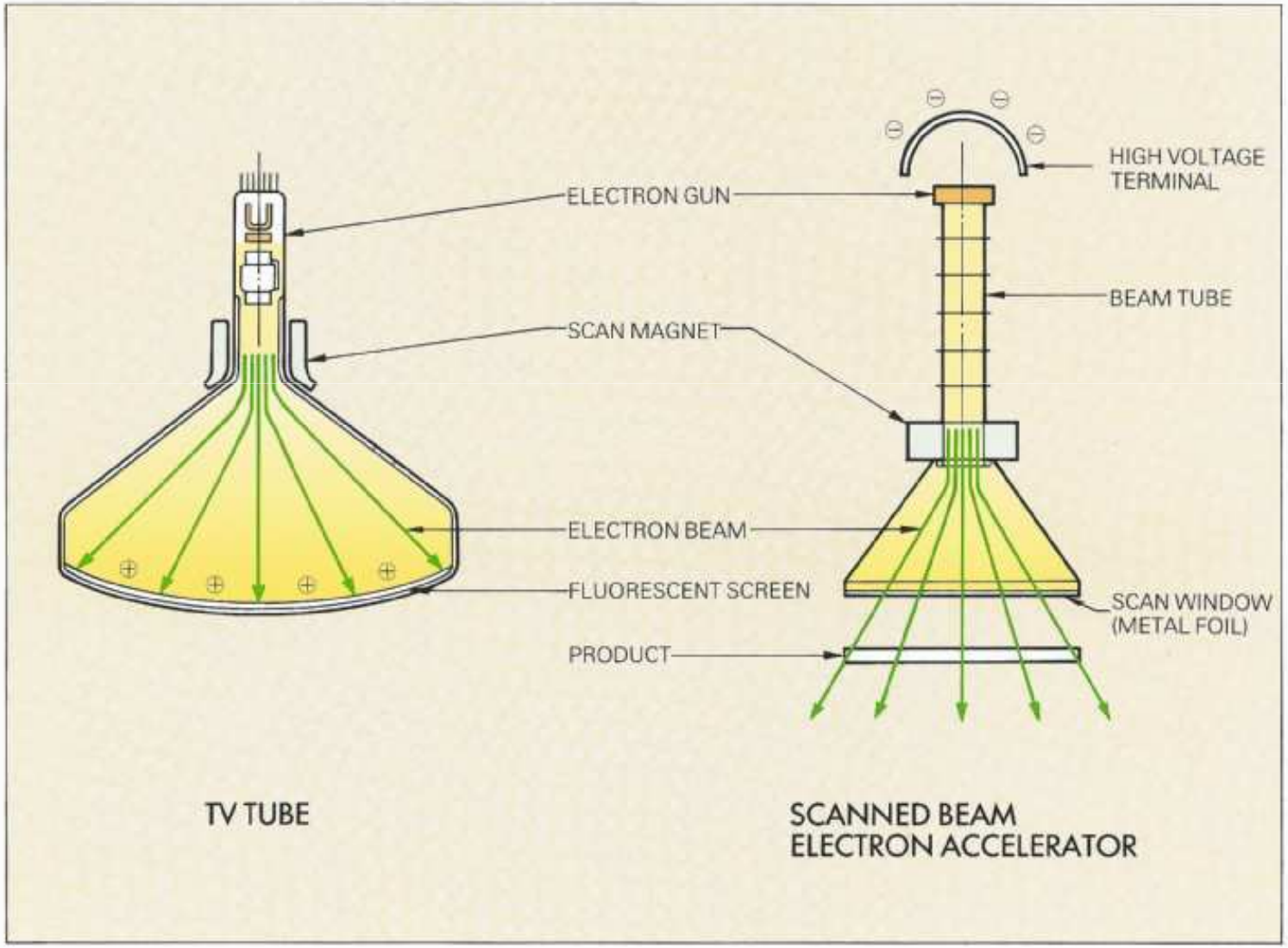
LES SOURCES BETA

Les électrons sont issus de générateurs électriques :

- Ce sont des accélérateurs d'électrons (E-Beam)
- Les caractéristiques des installations dépendent de leur énergie et de leur puissance.
- IONISOS possède 2 types d'accélérateurs :
  - LINAC 10 MeV, 10 kW
  - RHODOTRON 10 MeV, 80 kW



PRINCIPE DE L'ACCELERATEUR D'ELECTRONS



LES IRRADIATEURS BETA

IONISOS

ELECTRONS ACCELERES 10 MeV

Largeur du faisceau = 100 cm

Traitement par couches de palettes (convoyeur à rouleaux)

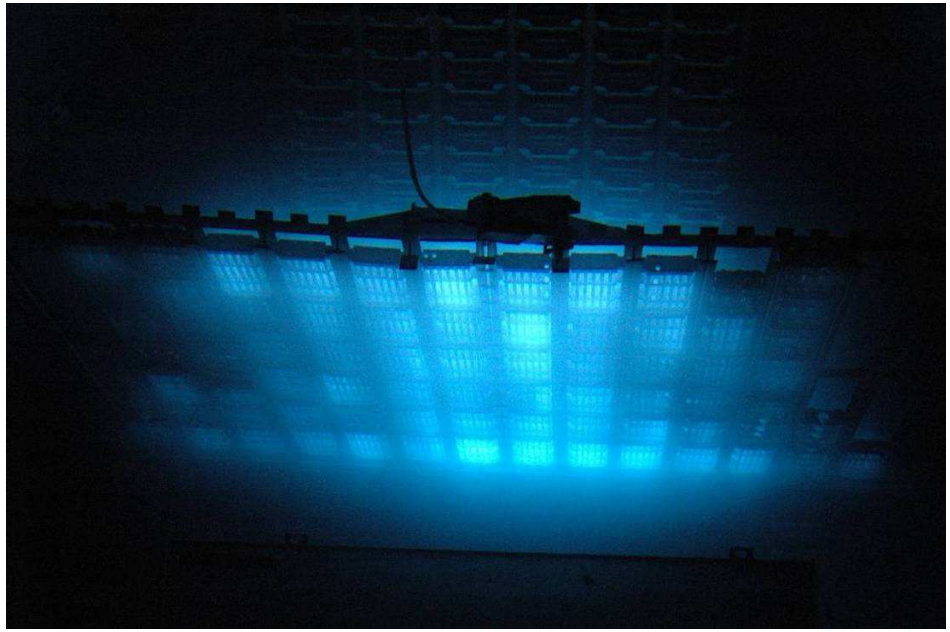
- Ionisos CHAUMESNIL (Aube)
- Ionmed TARANCON (Esp)

Traitements biface : retournement au moyen d'un robot

Cornet de balayage

LES SOURCES GAMMA

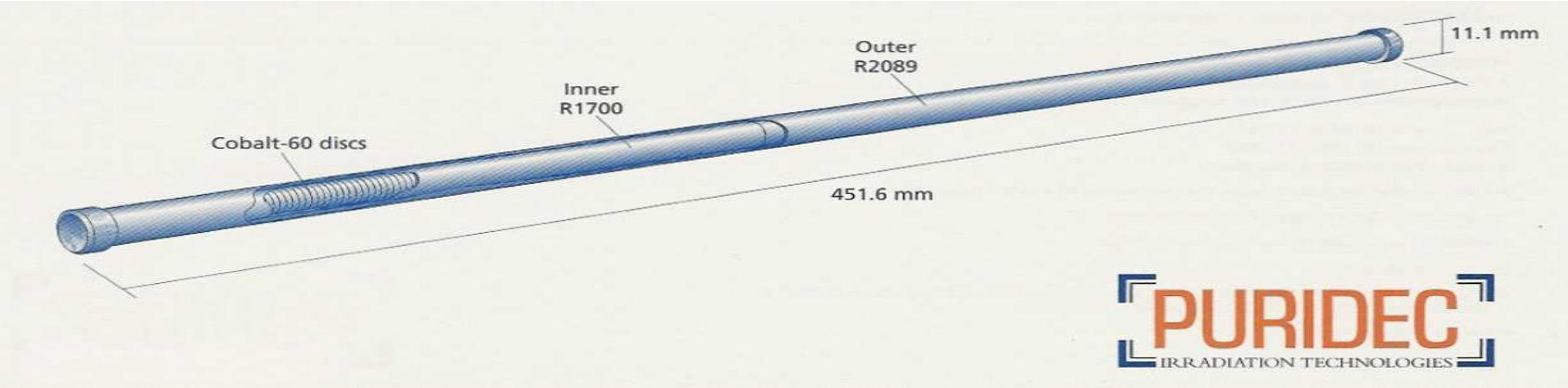
- Ionisos utilise les rayons gamma du Cobalt 60 : ce sont des photons.
- Ils sont émis tout autour de la source.
- Ils sont très pénétrants.
- Leur production est continue.
- Les sources gamma se caractérisent par leur puissance.
- Leur demi-vie est de 5.1 ans.



IONISOS

LE COBALT 60

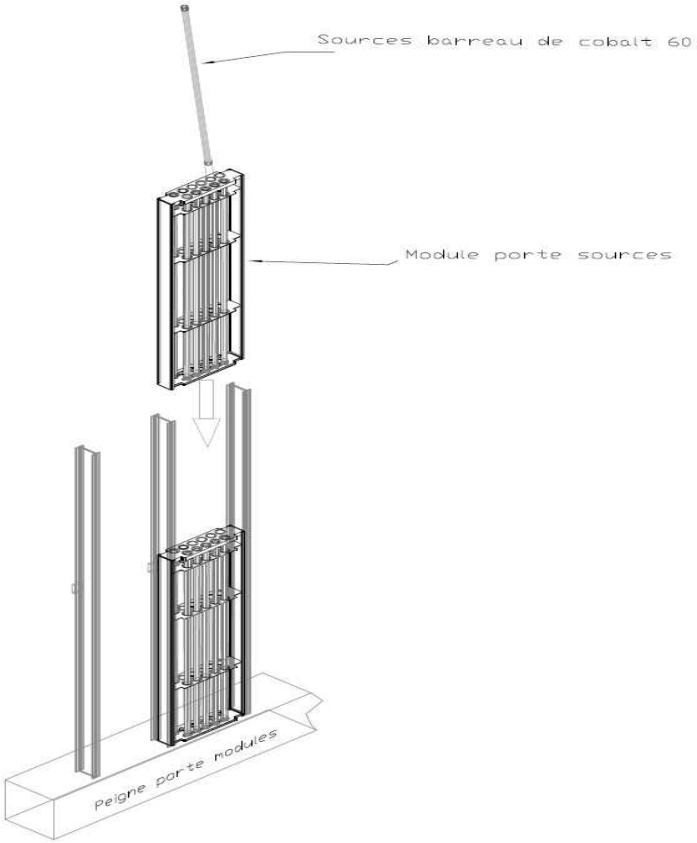
- Sources scellées sous double enveloppe, sous la forme de barreaux
- Activité nominale d'un barreau # 9 à 13 kCi



IONISOS

LA SOURCE / PANNEAU DE SOURCE

- Le barreaux contenant le cobalt-60 sont disposés sur un module.
- Les modules sont associés pour donner la source (ou panneau de source).
- La source peut être plane (DAG & SAB) ou parallélépipédique (PZG)



LES IRRADIATEURS GAMMA

IONISOS

- La source radioactive de cobalt-60 est confinée dans une casemate en béton avec des murs de 2 m d'épaisseur.
- La casemate abrite également une piscine de stockage du panneau de source (7-8 m de profondeur), destinée à la protection biologique lorsque la source n'est pas en position de « travail ».
- Le traitement industriel s'effectue en continu au moyen un convoyeur aérien, porteur de nacelles (encore appelés balancelles).

IONISOS

IONISOS utilise des installations industrielles

Quelque soit le type de rayons, le schéma d'une installation est le suivant :

IONISOS

- une source de rayonnement (accélérateur d'électrons ou source de cobalt 60) localisée dans une enceinte de protection en béton (murs de 2 m d'épaisseur)
- un système de convoyage traversant l'enceinte de protection :
  - Convoyeur à rouleaux, à plateaux (Bêta)
  - Convoyeur à balancelles (Gamma)

→ traitements industriels / mode dynamique

- des aires de stockage différenciées situées à l'entrée et à la sortie du système de convoyage
- des zones d'exposition :
  - Sous l'accélérateur d'électrons en BETA
  - A l'intérieur de la cellule d'irradiation en GAMMA

→ mode statique

LES INSTALLATIONS BETA

IONISOS

- En routine, le traitement s'effectue en continu : il est rapide, le temps d'exposition au rayonnement ne dure que quelques secondes.
- La dose (kGy), est inversement proportionnelle à la vitesse du convoyeur sous le faisceau d'électrons.

IONISOS Chaumesnil

Retourneur automatique pour les traitements biface
(plus grande homogénéité)

- Unité « électrons accélérés » disposant d'un accélérateur de 10 MeV et d'une puissance de 20 kW.
- Largeur de balayage du faisceau : 1m.
- Gabarit maxi hors tout : 1000*1200*500 mm (100 kg maxi)
- Traitement en continu par couche de palette assuré par un robot dépaletiseur et repalettiseur, et un convoyeur à plateaux.
- Totalement automatisée et informatisée
- Capacité de traitement importante
- Certifiée ISO 9001, ISO 14001, ISO 13485, EN 552

IONISOS

IONMED Espagne

- Accélérateur de type Rhodotron de 10 MeV et d'une puissance de 80 kW.
- Traitement en continu par couche de palette
- Largeur de balayage du faisceau : 1m.
- Gabarit maxi hors tout : 1000*1200*500 mm (100 kg maxi)
- Capacité de traitement importante : 140.000 palettes / an
- Certifiée ISO 9001, ISO 13488

Rhodotron

Pol. Industrial Tarançon Sur-C/ Rocinante, parcela 50

16 400 TARANCON (CUENCA)-SPAIN

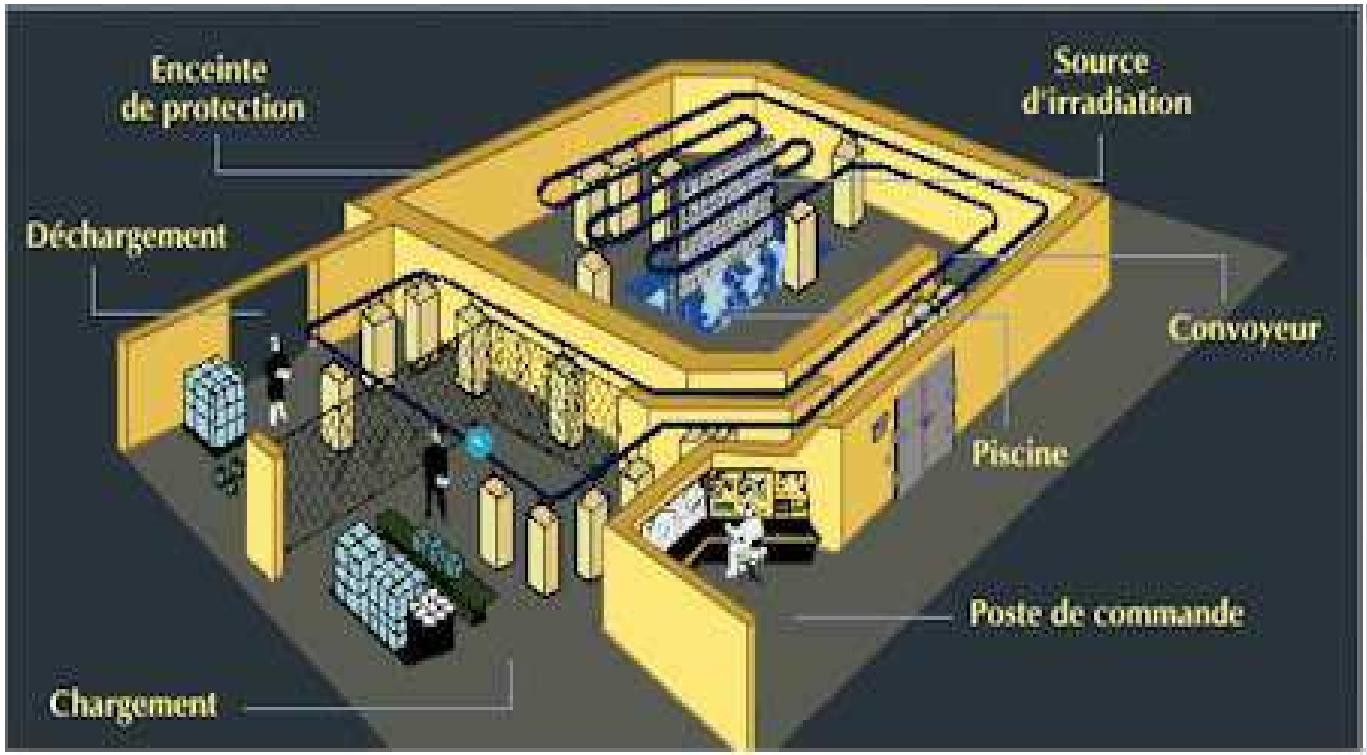
LES INSTALLATIONS GAMMA

- Ionisos DAGNEUX (Lyon) : traitement par *balancelle*

- Ionisos SABLE et POUZAUGES : traitement sans dépalettisation

directement par palette ou big bag

IONISOS Dagneux



- Puissance 2 millions de Curies (= activité de la source)
- Traitement par balancelles
- Gabarit maxi hors tout : 600*400*2000 mm (150 kg maxi)
- Certifiée ISO 9001, ISO 14001, ISO 13485, EN 552 établissement pharmaceutique.

IONISOS

Modes d’exposition

2 MODES D'EXPOSITION POSSIBLES

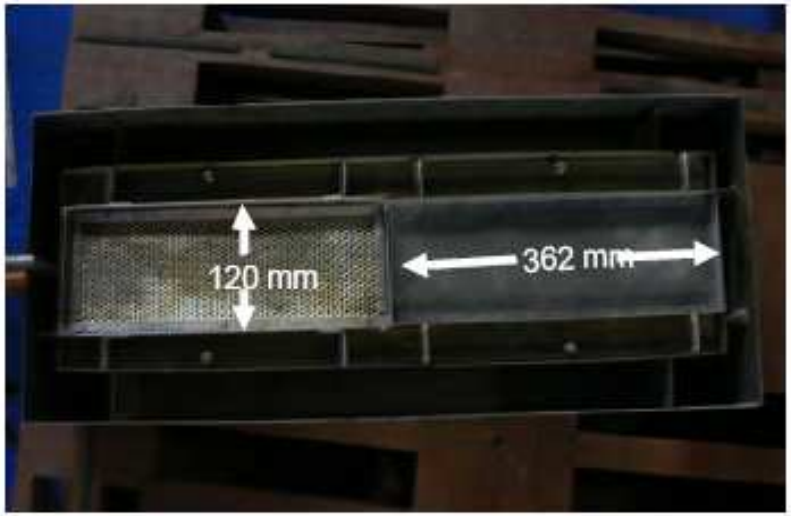
- Exposition dynamique :
  - Mode correspondant à des conditions de traitement industriel de grandes séries (stérilisation, décontamination, réticulation).
  - Réservé à des doses < 150 kGy
  - Conditions où un débit de dose constant n'est pas exigé, car celui-ci varie (on ne peut suivre que le débit de dose moyen)
- Exposition statique :
  - Condition où le débit de dose est constant.
  - Exige l'arrêt de la production et des entrées en cellule d'irradiation en respectant les règles de sécurité et de radioprotection.

CONDITIONS D'EXPOSITION BETA

- Réalisés sur les sites de IONISOS Chaumesnil ou de IONMED Tarancon
- 2 accélérateurs d'électrons
  - Accélérateurs de haute énergie : 10 MeV
  - 2 puissances possibles : 10 kW et 80 kW, possibilité de descendre à 2,5 kW (limiter l'échauffement matière).
  - Largeur de balayage de 600 à 1200 mm.
- Conditions particulières
  - Possibilité de refroidissement en continu par circulation d'eau ou par ventilation.
  - Possibilité de traitement sous balayage d'azote (Ionmed, avec modification).

TRAITEMENTS « FORTES DOSES » EN BETA

- L'EB permet des traitements à fortes doses sur des délais courts (contre plusieurs semaines voire plusieurs mois en gamma) : débit de dose de 5 à 80 MGy / h.
- Particulièrement adapté aux échantillons de composites, s'ils supportent l'échauffement dû au traitement, contrôlé jusqu'à 100°C.

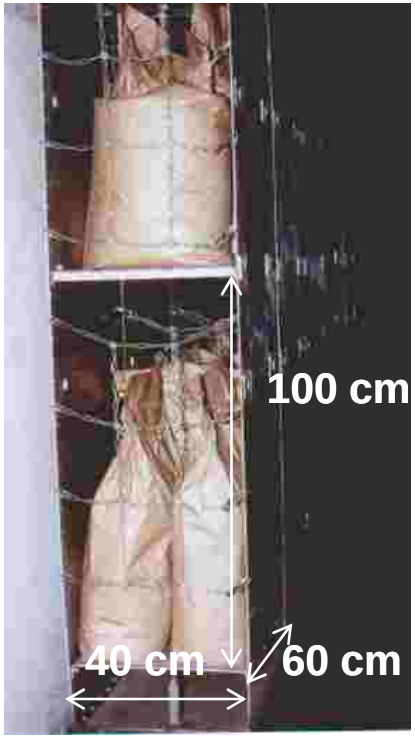


CONDITIONS D'EXPOSITION GAMMA

IONISOS

Sur le site de IONISOS DAGNEUX :

Exposition dynamique par convoyeur aérien



Hauteur pouvant aller jusqu'à 130 cm.

Exposition statique

2 zones adaptées, selon le gabarit :

- *Espace échantillons et éprouvettes :* adapté pour recevoir des segments câbles, des ampoules sur leur support …
- *Espace produits industriels :* adapté pour recevoir des composants et des systèmes complets (hauteur maxi de 66 cm) comme par exemple des réacteurs chimiques en inox, des transformateurs CPB, des cartes électroniques …

DEBITS DE DOSE

- Exposition dynamique :

R.I.	Variation du DD instantané	DD moyen
BETA	de 0 à 300 kGy / min	100 kGy / min
GAMMA	De 0,1 à 10 kGy / h	2 kGy / h

- Exposition statique :
  - GAMMA : choix d'un débit de dose sur la gamme 0,5 – 2 kGy / h à + ou – 0,2 kGy / h près.
  - BETA : de 100 à 300 kGy / min

METHODES

- IONISOS étudie votre cahier des charges :
  - Type de rayonnement
  - Volume de vos produits
  - Dose
  - Débit de dose
  - Température (ambiante à ce jour)
  - Milieu particulier (eau …)
  - Fonctionnement sous tension électrique …
- IONISOS cherche des solutions adaptées, et vous les proposent.

DOSIMETRIE

- **BETA :**
  - Contrôle du débit de dose moyen sur quelques minutes au moyen de dosimètres radiochromiques FWT.
  - Suivi de la dose au moyen temps d'exposition
- **GAMMA :**
  - Contrôle des faibles doses (< 50 kGy) et contrôle du débit de dose au moyen de dosimètres radiochromiques FWT et de systèmes dosimétriques Alanine-RPE.
  - Gamme de dose : 1 – 50 kGy.
  - Contrôle de la dose par le suivi du temps d'exposition pour les doses > 50 kGy.

CONDITIONS PARTICULIERES POSSIBLES EN GAMMA

IONISOS

- Suivi et cartographie du débit de dose dans le cas de pièces volumineuses et complexes.
- Retournement des produits pour une meilleure homogénéité.
- Suivi de la température possible.
- Possibilité d'alimenter des systèmes électriques ou électroniques à condition de fournir au moins 20 m de câblage.
- Possibilité d'immerger des produit dans l'eau.
- Maintien à basse température envisageable (ajout de carboglace).
- … A discuter au cours de la table ronde.

EQUIPE TECHNIQUE

Les essais sont réalisés et suivis par une équipe de techniciens :

- 3 techniciens en charge des essais.
- Notre service technique conçoit et réalise des systèmes sur mesure pour exposer vos produits :
  - 2 concepteurs
  - 1 mécanicien

EXPERTISE de IONISOS sur les interactions MATERIAUX - RAYONNEMENT

- **COFRAR**, filiale de IONISOS, dimensionne des casemates de radioprotection et conçoit des systèmes de convoyage.

  → Connaissance particulière des matériaux résistants

- **Le service technique de IONISOS DAGNEUX** : longue expérience de la tenue des matériaux et des équipements aux rayonnements (métal, plastiques et élastomères, systèmes électriques et électronique comme les capteurs par ex).

- Le **Service R&D** rassemble des données sur la tenue des matériaux aux rayonnements et les met à jour.