

# Chapitre XII: Dosimètres chimiques

# Dosimètres chimiques

- Introduction
- Dosimètre de Fricke
- Dosimètre en gel polymérique
- Dosimètre alanine
- Film radiochromique

# Principe des dosimètres chimiques

- Dans un dosimètre chimique → la dose est déterminée à partir d'une modification mesurable de l'état chimique du milieu considéré (gazeux, liquide ou solide)
- Toute réaction chimique bien caractérisée peut servir de base pour un dosimètre chimique

# Dosimètre de Fricke: Composition

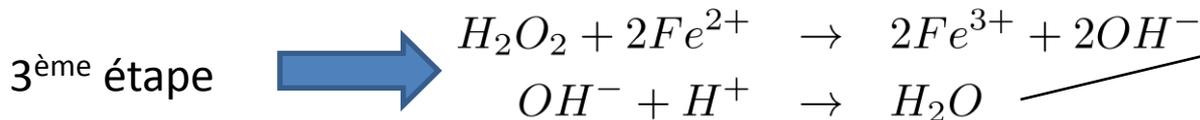
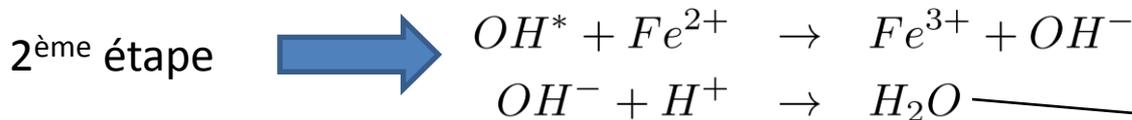
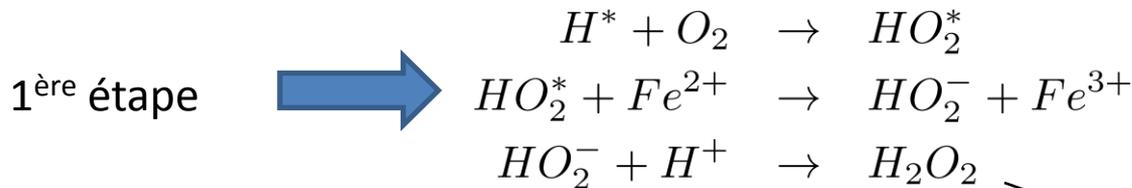
- Le dosimètre de Fricke standard consiste en une solution composée de sulfate ferreux ( $\text{FeSO}_4 \rightarrow \text{Fe}$  sous forme  $\text{Fe}^{2+}$ ) et d'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dans de l'eau ou dans un gel ( $\rightarrow$  dosimètre de Fricke est assimilé dans ce cas à de la dosimétrie par gel)
- Performances très sensibles à la présence d'impuretés organiques  $\rightarrow$  grande pureté nécessaire
- NaCl est parfois rajouté pour désensibiliser le système aux impuretés  $\rightarrow$  NaCl n'a pas d'effet sur la réaction dosimétrique sauf à haute dose  $\rightarrow$  dans ce cas, à éviter

# Principe dosimétrique

- Le détecteur est basé sur la réaction sulfate ferreux  $\rightarrow$  sulfate ferrique ( $Fe_2(SO_4)_3$ ) càd  $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$
- Les rayonnements ionisants induisent cette réaction soit par absorption directe (rare) soit via des radicaux libres produits dans l'eau  $\rightarrow H^*$  et  $OH^*$  (fréquent car l'eau est le milieu dominant  $\rightarrow$  les rayonnements interagissent surtout avec l'eau)

## Réactions chimiques $\rightarrow$

$HO_2^*$ : hydrurodioxigène  
 $OH^*$ : hydroxyle  
 $H_2O_2$ : peroxyde d'hydrogène



car milieu acide

# Mesure de la production de $\text{Fe}^{3+}$

La mesure peut se faire par

- Titrage chimique
- Résonance magnétique nucléaire (mesure des propriétés paramagnétiques)
- Absorption optique → le plus fréquemment utilisé car bonne sensibilité, nécessite de petits échantillons et facile à mettre en œuvre ( $\text{Fe}^{3+}$  → couleur bleue)

# Absorption optique

- Principe de l'absorption optique → mesure de  $\Delta M$ : la variation de concentration molaire (mol/l) de  $\text{Fe}^{3+}$  avant et après irradiation
- On considère le rapport entre l'intensité lumineuse transmise à travers un échantillon irradié ( $I$ ) et un autre non-irradié ( $I_0$ ) →

$$\frac{I}{I_0} = 10^{-\Delta(OD)}$$

avec  $\Delta(OD)$  la modification de densité optique

- Or on a, par la loi de Beer-Lambert →

$$\Delta(OD) = \epsilon l \Delta M$$

avec  $\epsilon$ : le coefficient d'absorption (ou d'extinction) molaire ( $\epsilon = 2187 \text{ l/mol}$  à  $25 \text{ °C}$  pour le  $\text{Fe}^{3+}$ ),  $l$ : la taille de l'échantillon ( $\approx 1\text{cm}$ )

## Dose $\leftrightarrow$ Absorption optique

- Par définition  $\rightarrow$

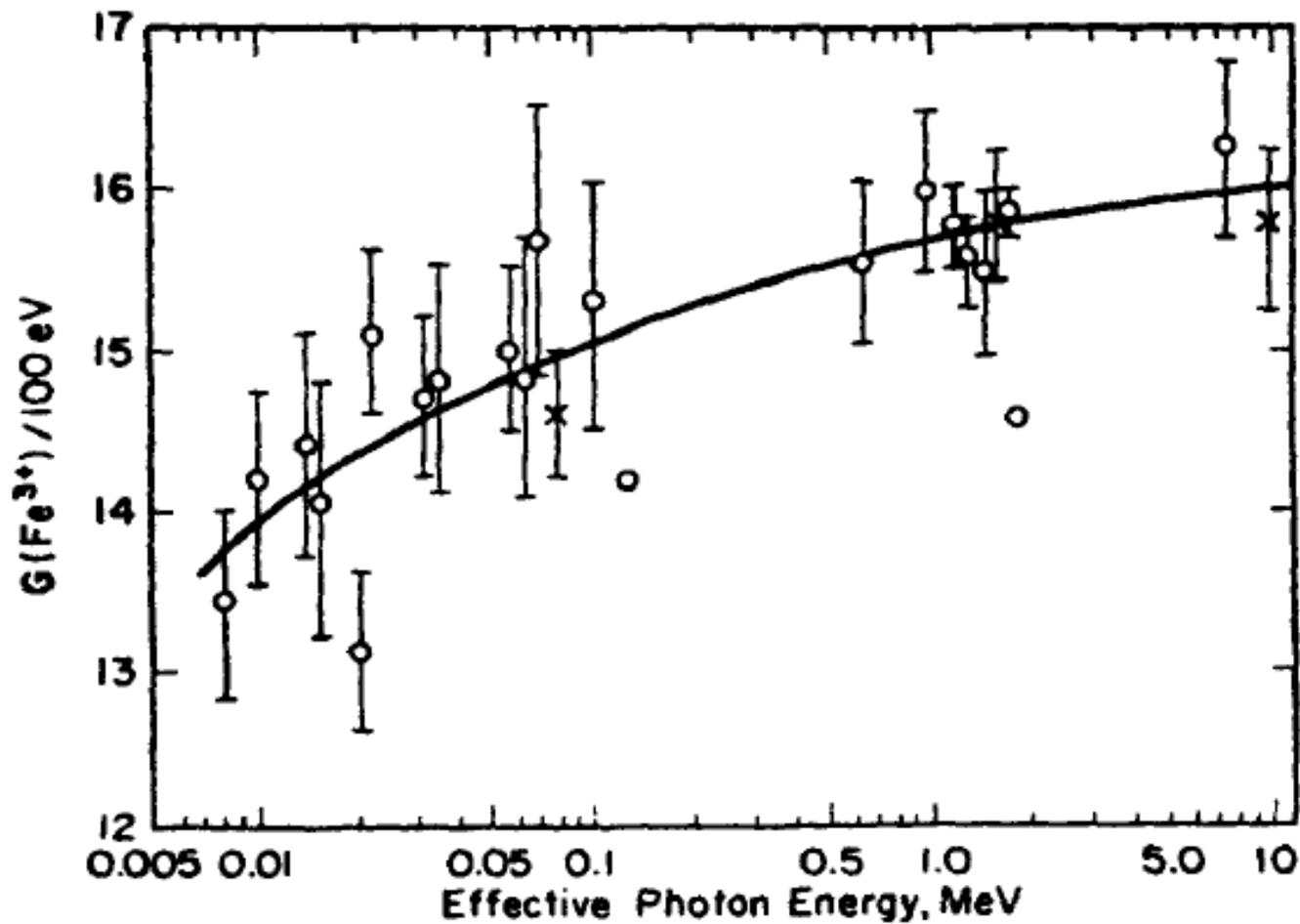
$$\bar{D} = \frac{\Delta M}{\rho G(\text{Fe}^{3+})}$$

avec  $\rho$ , la « densité » de la solution (en kg/l) et  $G(\text{Fe}^{3+})$  (en mol/J), le rendement chimique pour le  $\text{Fe}^{3+}$  (càd la quantité de  $\text{Fe}^{3+}$  produit par unité d'énergie incidente  $\rightarrow$  dépend du type et de l'énergie des particules incidentes)  $\rightarrow$  pour les  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$   $\rightarrow$   $G(\text{Fe}^{3+}) = 1.607 \times 10^{-6}$  mol/j

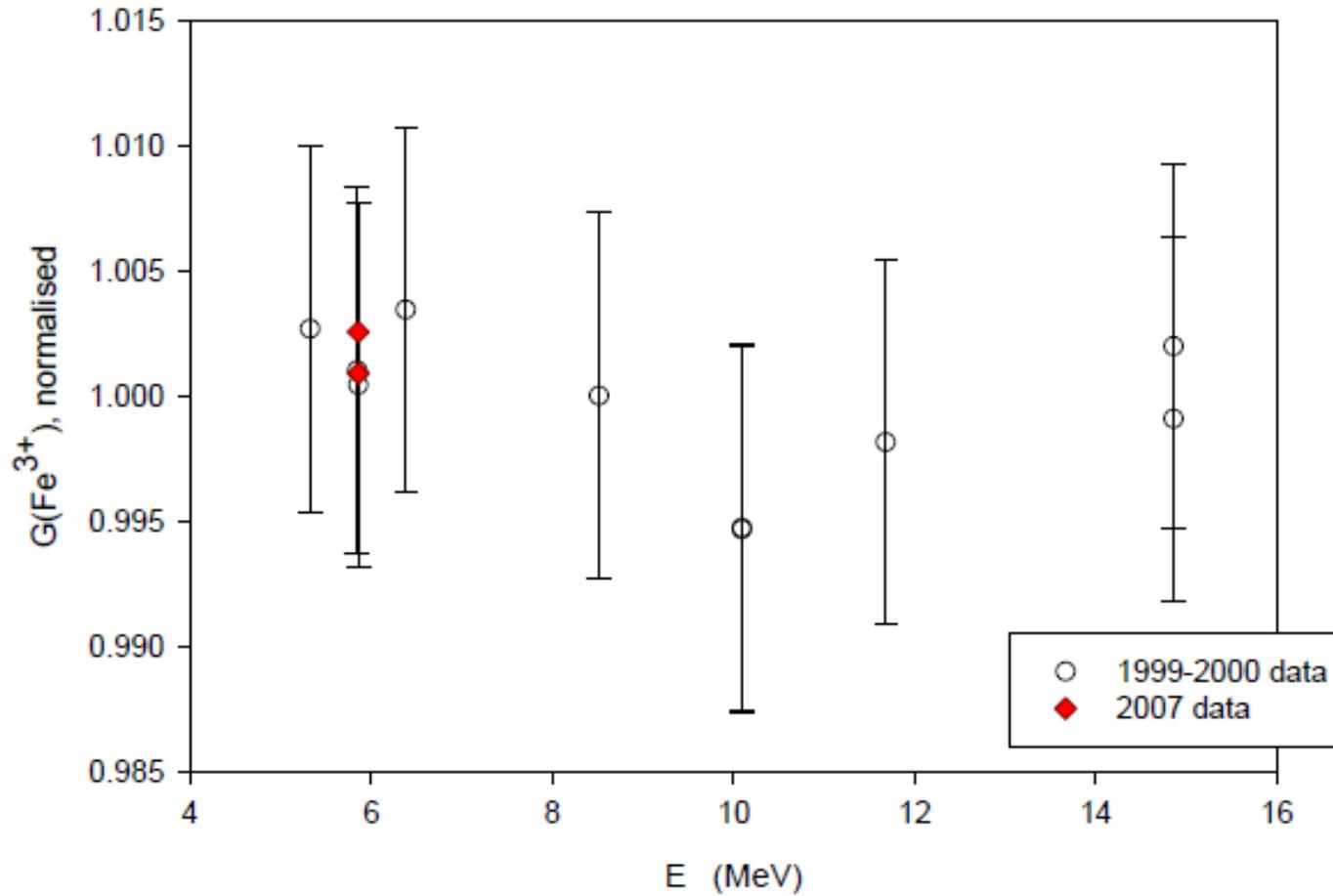
- On obtient donc  $\rightarrow$

$$\bar{D} = \frac{\Delta(OD)}{\epsilon l \rho G(\text{Fe}^{3+})} \quad \longrightarrow \quad \bar{D} = 278 \Delta(OD) \text{ Gy}$$

# Rendement chimique en fonction de E pour des $\gamma$

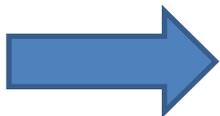


# Rendement chimique en fonction de E pour des $e^-$



# Applications des dosimètres de Fricke

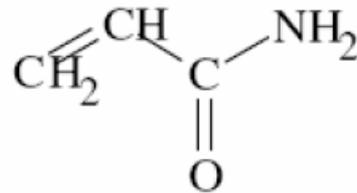
- Réponse en dose linéaire entre  $\approx 4$  Gy et 4000 Gy
- $Z$  et  $\mu_{en}/\rho$  proches de ceux de l'eau  $\rightarrow$  tissu-équivalent
- Forme et volume variables
- Dosimètre absolu
- Peu stable dans le temps  $\rightarrow$  défaut majeur
- Utilisation et dépouillement complexes  $\rightarrow$  défaut majeur
- Limite inférieure de dose élevée  $\rightarrow$  défaut majeur
- Grande dépendance en  $E$  et type de particules  $\rightarrow$  défaut majeur



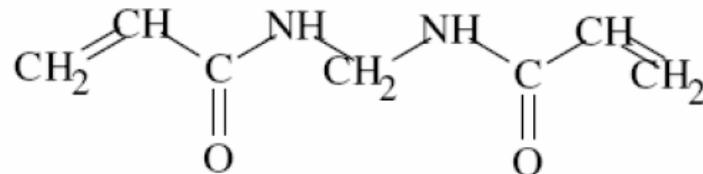
**Disparition progressive**

# Dosimètre en gel polymérique

- Dans un gel polymère → monomères dispersés dans une matrice → exemple: acrylamide ( $C_3H_5NO$ ) dispersé dans de la gélatine



- Soumis à irradiation → les monomères subissent une réaction de polymérisation (Polyacrylamide) → gel polymérisé en 3D



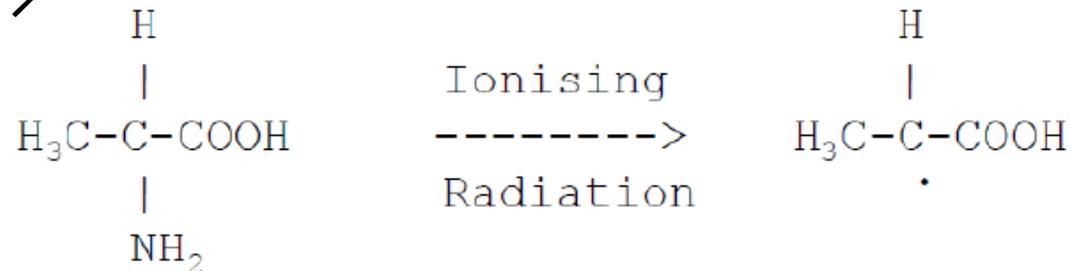
- Le degré de polymérisation dépend de la dose
- La dose peut être évaluée par RMN, tomодensitométrie (scanner-X), tomographie optique (IR), ...

# Avantages et inconvénients des gels

- Facilement disponibles commercialement et peu chers
- Dû à la grande proportion d'eau dans le gel → eau-équivalent  
→ peu de corrections nécessaires pour la réponse en énergie
- Mesures 3D possibles
- Parfaitement adaptés pour des mesures présentant de grandes variations spatiales de dose → application en radio-chirurgie stéréotaxique
- Accès nécessaire à une machine RMN, scanner → pas toujours évident
- Peu sensible → applications en radiothérapie

# Dosimètre alanine

- L'irradiation de l'acide aminé alanine produit des radicaux libres alkyl stables →



- Concentres des radicaux libres  $\propto$  dose absorbée et mesurée par résonance paramagnétique électronique ou RPE (technique similaire à RMN mais sont les spins des  $e^-$  qui sont excités plutôt que les spins des noyaux atomiques)

# Alanine pour la dosimétrie

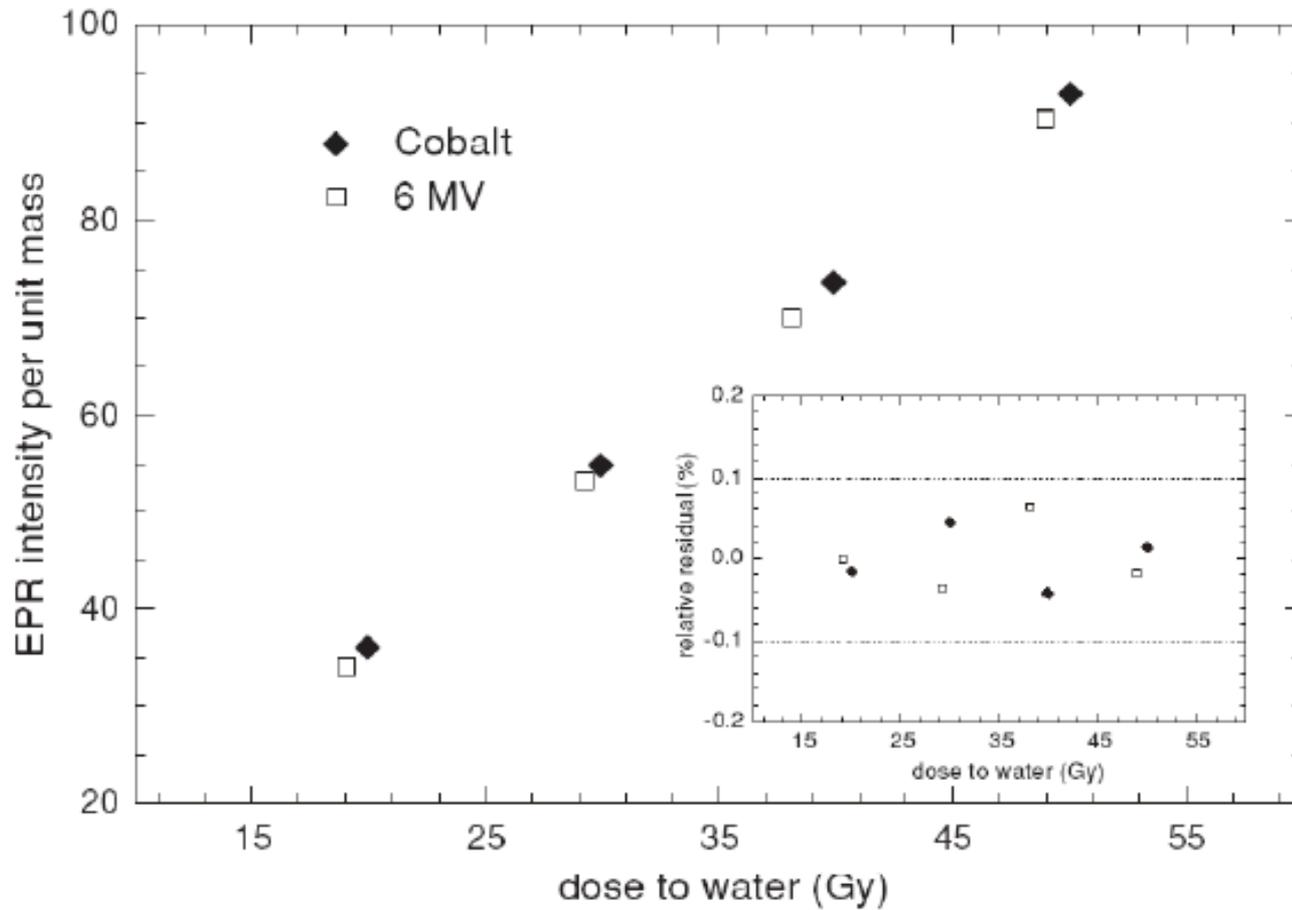


Pastilles d'alanine



Appareil de RPE

# Réponse en dose



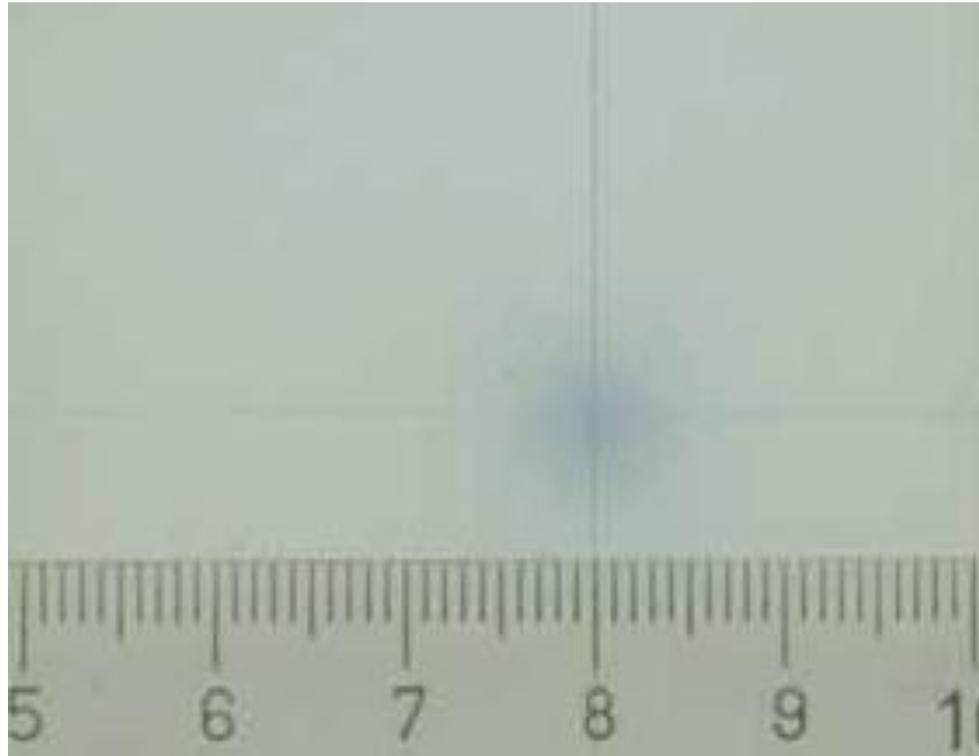
# Avantages et inconvénients

- Relativement tissu-équivalent
- Bonne linéarité en fonction de la dose
- Petit volume
- Limite inférieure de dose élevée → applications en radiothérapie
- Large gamme de mesure de dose → 0.5 – 100 kGy
- Accès nécessaire à une machine RPE → peu disponible → défaut majeur

# Film radiochromique

- Les films radiochromiques sont des films translucides qui révèlent une couleur bleue après une irradiation
- Suite à l'irradiation, les cristaux de diacétylène (monomères) constituant le film se polymérisent ce qui donne la couleur bleue du film irradié
- Réaction  $\rightarrow$  monomères diacétylène ( $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$ )  $\rightarrow$  polymère acétylène ( $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$ ) avec un carbène (atome carbone avec deux  $e^-$  non-liés) attaché à la fin de chacune des chaînes polymères
- Analyse par densitométrie

# Exemple de résultat avec un film radiochromique



Test de positionnement dans un Gamma Knife

# Caractéristiques des films radiochromiques (1)

- Limite de dose inférieure élevée ( $\sim$  Gy) applications en radiothérapie
- Ne nécessitent aucun développement  $\rightarrow$  pas de contrôle de qualité
- Films sans « grain »  $\rightarrow$  très bonne résolution spatiale
- Parfaitement adaptés pour des mesures présentant de grandes variations spatiales de dose
- Réponse à la dose linéaire entre  $\sim$  Gy et quelques kGy

## Caractéristiques des films radiochromiques (2)

- Peu sensibles à la lumière du jour
- Peuvent être découpés suivant la forme voulue
- Pas trop éloignés du tissu-équivalent
- Archivage possible
- Faible sensibilité → défaut important



Peuvent potentiellement jouer un rôle croissant pour la dosimétrie en radiothérapie