

## Adieu les dosimètres film-badges!



## La dosimétrie par Luminescence stimulée optiquement

Dr V. Pirlet  
Expert Classe II  
Service Universitaire de Contrôle  
Physique des Radiations (ULg)

## La dosimétrie passive est une obligation réglementaire (Art 30.6 AR du 20.07.2001)

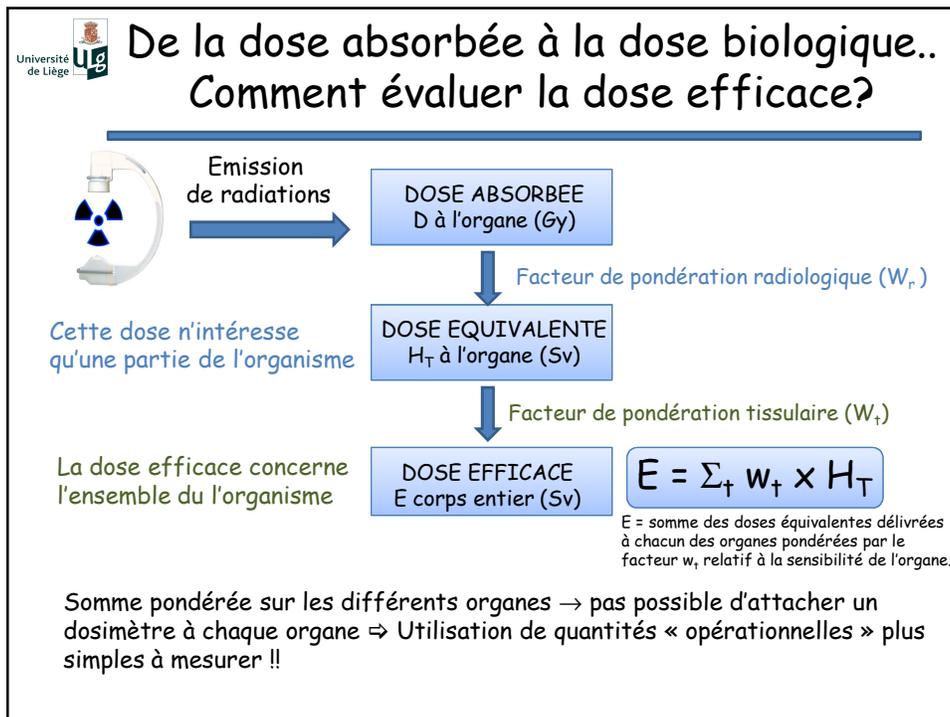
Personnes professionnellement exposées	
Dose efficace	
20 mSv par 12 mois consécutifs glissants	
Dose équivalente	
- Tissus et organes	500 mSv par 12 m.c.g.
- cristallin	150 mSv par 12 m.c.g.
- peau	500 mSv par 12 m.c.g.
- main	500 mSv par 12 m.c.g.

Nouvelle limite à 20 mSv/an



Toute personne professionnellement exposée doit porter un dosimètre à hauteur de la poitrine (sauf en cas d'exposition à des émetteurs  $\beta$  de faible énergie)

↓  
Valeur moyenne de l'exposition globale du corps entier



Université de Liège

## Pour l'estimation de la dose reçue: Utilisation de grandeurs opérationnelles

Quantités pour mesurer le rayonnement externe:  
Dose équivalente individuelle  $H_p(d)$ , d= profondeur en mm dans le corps

Rayonnements fortement pénétrants: profondeur recommandée : 10 mm ( $H_p(10)$ )  
Rayonnements faiblement pénétrants: profondeur recommandée : 0,07 mm pour la peau ( $H_p(0,07)$ ) ( $\gamma < 15$  keV,  $\beta < 500$  keV) et 3 mm ( $H_p(3)$ ) pour l'œil

Dosimètres individuels conçus pour mesurer  $H_p(10)$  et  $H_p(0,07)$ ....et certains  $H_p(3)$ .

Avant 2009-2010  
Films et TLD

Université de Liège 

## La performance d'un dosimètre dépend de plusieurs paramètres



Système de détection  
(phénomène physique)

Géométrie de l'ensemble  
(boîtier)

107023	Madame X	Dose 12 mois: 1,11											Date de fin d'exposition :
Type de dose	Année	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Standard	2010	< LD	0.06	0.14	0.14	0.06	0.12	0.3	0.12	0.17	< LD	< LD	

Filtres  
(qualification de l'énergie)

Algorithme de calcul

Performance du dosimètre individuel variant avec les conditions environnementales (Température, Humidité...)

Université de Liège 

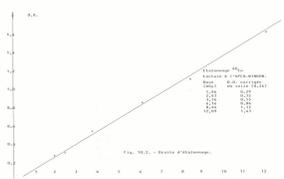
## Le dosimètre film-badge $\beta, X, \gamma$

- Détection: Emulsion photographique
  - Sensibles aux rayonnements
    - Aspect de détection (qualification)
    - Aspect de dosimétrie (quantification)

**Principe:** noircissement du film par les rayonnements  
→ Dose cumulée estimée par le degré de noircissement

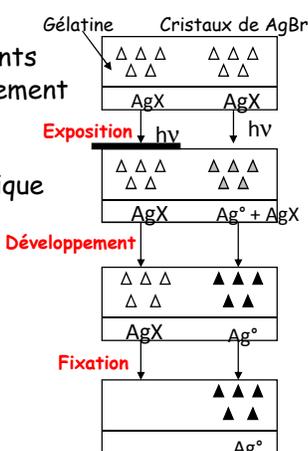
- Formation d'une image latente révélée par un développement photo ⇒ mesure de la densité optique

$DO = \log I_0/I$





Gélatine    Cristaux de AgBr

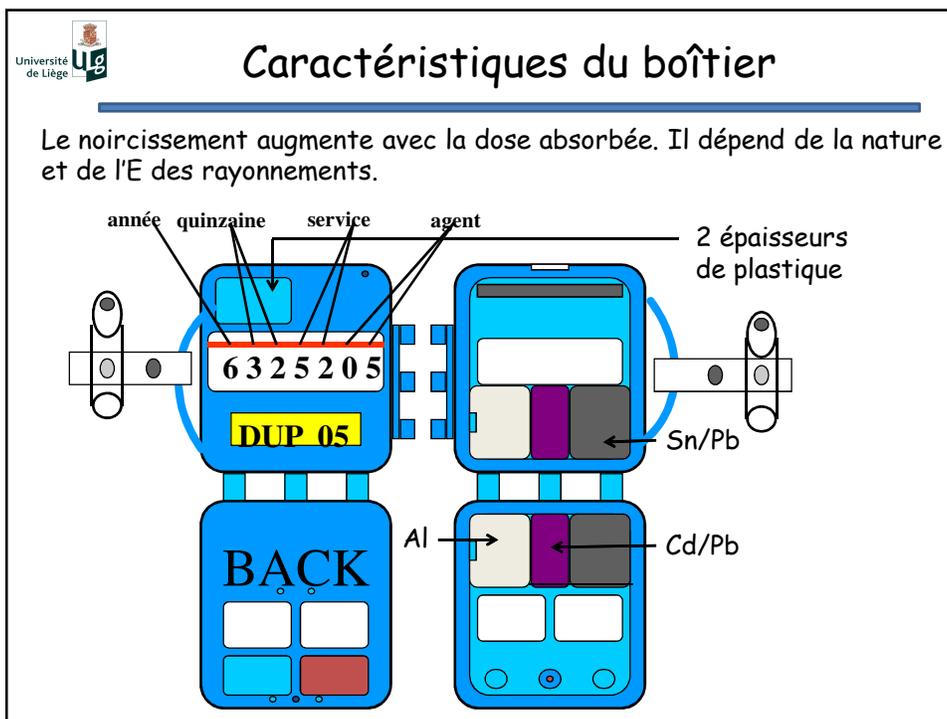


Exposition  $h\nu$

Développement

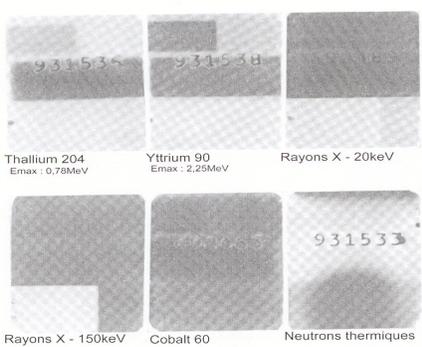
Fixation

Courbes d'étalonnage (irradiation de films à des doses définies)



Université de Liège 

## Images caractéristiques des $\beta$ , X, $\gamma$ et neutrons thermiques



Thallium 204  
E<sub>max</sub> : 0,78MeV

Yttrium 90  
E<sub>max</sub> : 2,25MeV

Rayons X - 20keV

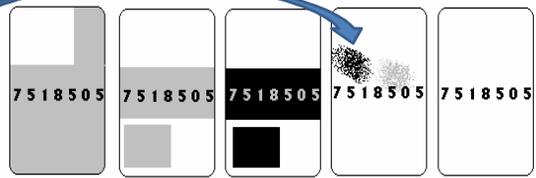
Rayons X - 150keV

Cobalt 60

Neutrons thermiques

Un avantage certain:  
le côté visuel de l'information  
dosimétrique !!

Un autre avantage:  
la visualisation d'une  
contamination potentielle !!



RX ou <sup>125</sup>I     $\beta$  FAIBLE     $\beta$  FORTE    CONTAMINATION    BLANC

Université de Liège 

## Avantages et inconvénients du film

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût peu élevé pour l'exploitant</li> <li>• Ergonomie</li> <li>• Capacité de réponse en situation accidentelle</li> <li>• Estimation de la dose due aux neutrons thermiques</li> <li>• Informations supplémentaires pouvant être obtenues               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Homogénéité de l'irradiation</li> <li>– Contamination (projection sur le badge)</li> <li>– Détails caractéristiques (ex: film net ou diffus)</li> <li>– Visualisation de la dose</li> </ul> </li> <li>• <math>E\gamma &gt; 0.5 \text{ MeV}</math> → pas de sur-réponse</li> <li>• Conservation de l'information sur le temps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Film sensible aux conditions environnementales (température, humidité, produits chimiques)</li> <li>• Film pas étalonné individuellement</li> <li>• Non-linéarité de la réponse</li> <li>• Etalonnage avec une source radioactive</li> <li>• Seuil de sensibilité du film: 0,1 mSv</li> <li>• Sensibilité importante entre 25 et 50 keV → film 50x plus sensible               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Domaine d'E de l'effet photoélectrique (coefficient d'absorption élevé du AgBr avec production d'électrons)</li> </ul> </li> <li>• Différence avant-arrière</li> <li>• Utilisation de produits chimiques et travail en chambre noire</li> </ul>

Université de Liège 

## Pourquoi évoluer vers de nouvelles technologies?

- Fourniture de films de plus en plus difficile ⇒ passage de la photo au numérique
  - Abandon dans un futur proche des films (Kodak, Agfa)
- Normes plus strictes
- Agrément des services de dosimétrie par l'AFCN (AR du 1/07/2008) ⇒ Obligation d'une accréditation **ISO-17025 pour 2013 (Labo de métrologie)!**

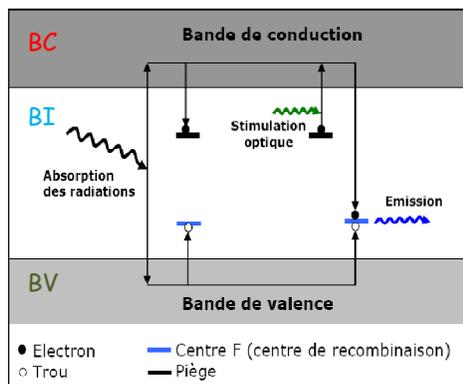
↓

Sensibilité importante des dosimètres  
Qualité de mesure irréprochable !  
Mise en place de procédures QA

## Technologies disponibles sur le marché

- Détecteurs basés sur la luminescence (Système de détection constitué d'un cristal qui absorbe, emmagasine l'énergie délivrée par les rayonnements suite à une irradiation)
  - Thermoluminescence (TLD) → LiF (TI), CaSO<sub>4</sub>.....(A.Regibeau)
  - Luminescence stimulée optiquement (OSL) → Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.C, BeO
  - La radiophotoluminescence (RPL) (E.Cale)

**La luminescence:** phénomène physique se traduisant par la propriété qu'ont des cristaux, ayant subi une irradiation, d'émettre de la lumière lorsqu'on les stimule avec de l'énergie.



Recouvrement de l'énergie par

- traitement thermique (TLD)
- stimulation lumineuse (OSL)

- Structure imparfaite des cristaux (défauts ou impuretés) ⇒ niveaux d'E intermédiaires (BI)
- Excitation des électrons par des RI (BV) vers la BC
- Trou + électron dans leurs bandes
  - Déplacement, recombinaison
  - Capture par des pièges (états métastables: impuretés) dans la BI
- Stimulation énergétique
  - Excitation des électrons piégés vers BC
  - Recombinaison des électrons et des trous (centre de recombinaison)



Retour de l'électron à son état initial avec émission d'un  $\phi$  lumineux

La lumière émise est proportionnelle au nombre de paires d'électrons-trous créées, lui-même proportionnel à la dose reçue.


**3 labos de dosimétrie avec des films ont fait le choix de l'OSL**

---

- 2 labos  $\Rightarrow$  Oxyde d'aluminium dopé au carbone ( $Al_2O_3.C$ )
 

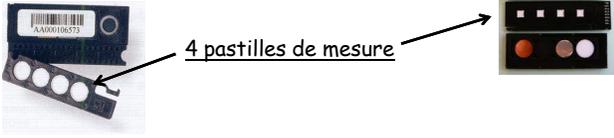
L'OSL ( $Al_2O_3.C$ ) est une technologie utilisée à travers le monde depuis 15 ans, pour assurer le suivi dosimétrique de plus de 1.500.000 personnes (% important aux USA).
- 1 labo  $\Rightarrow$  Oxyde de Béryllium ( $BeOx$ )



$Al_2O_3.C$



$BeOx$

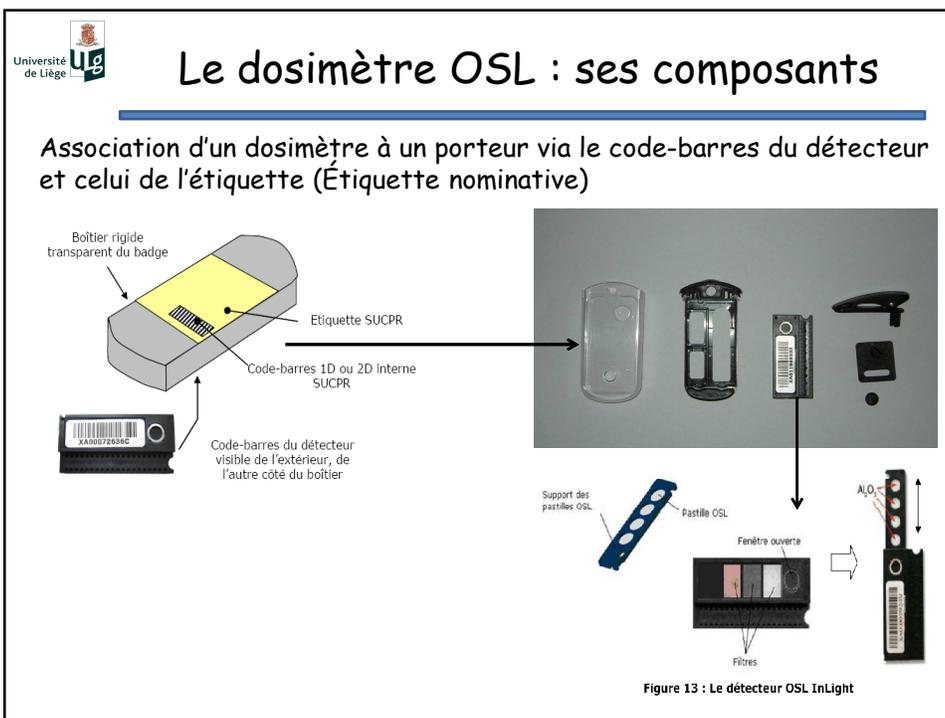
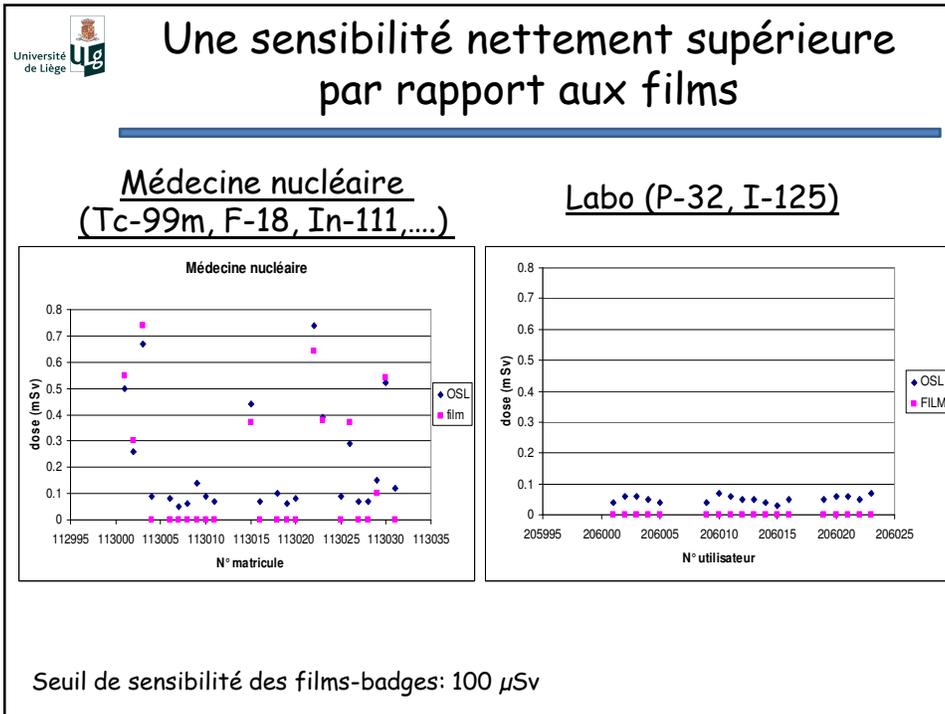


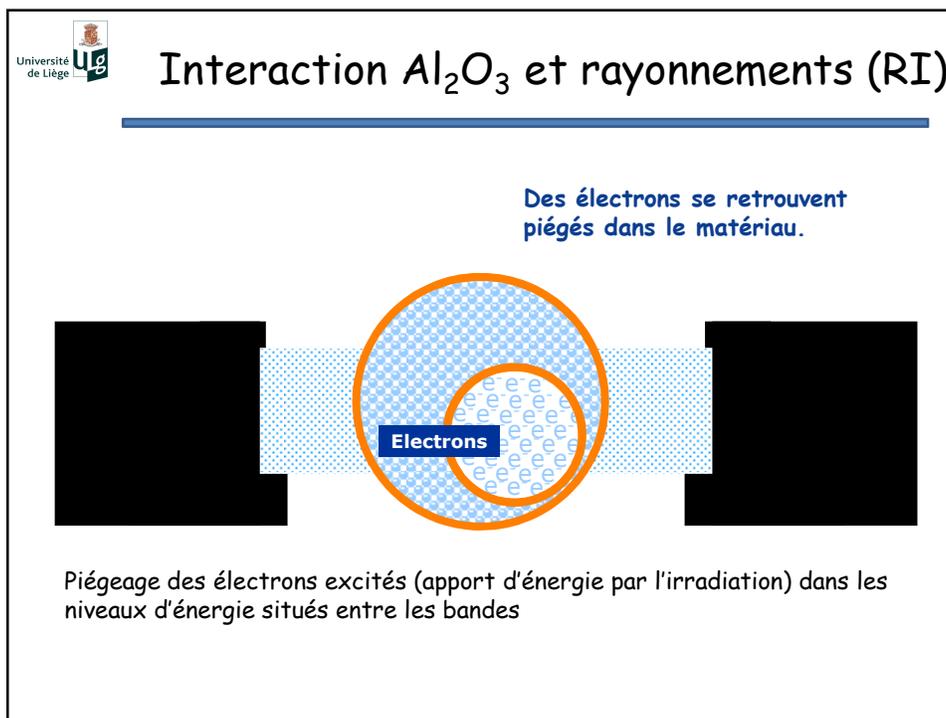
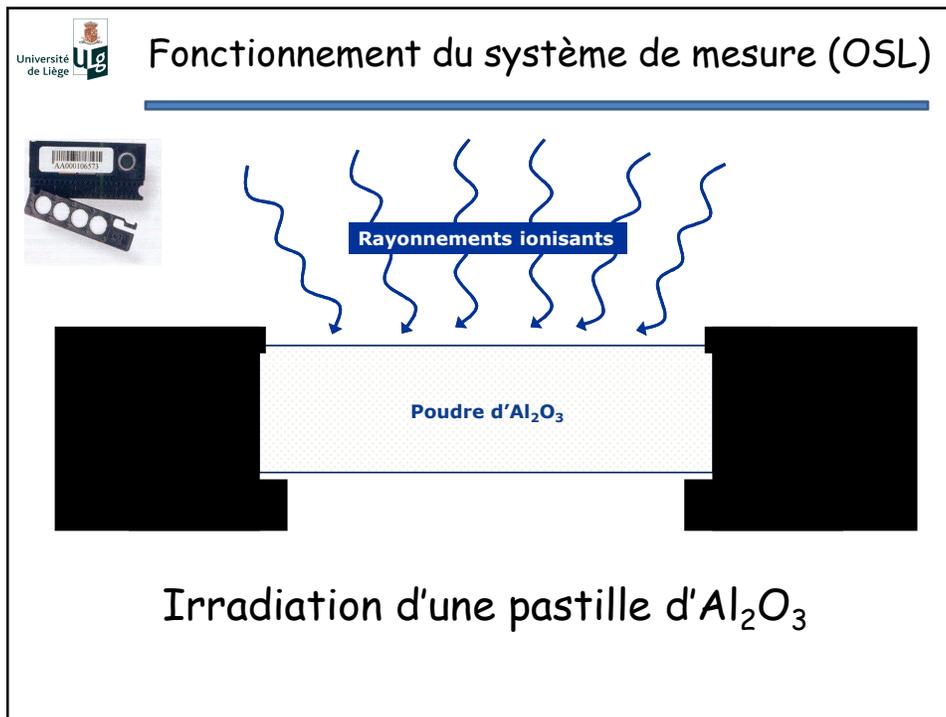
4 pastilles de mesure

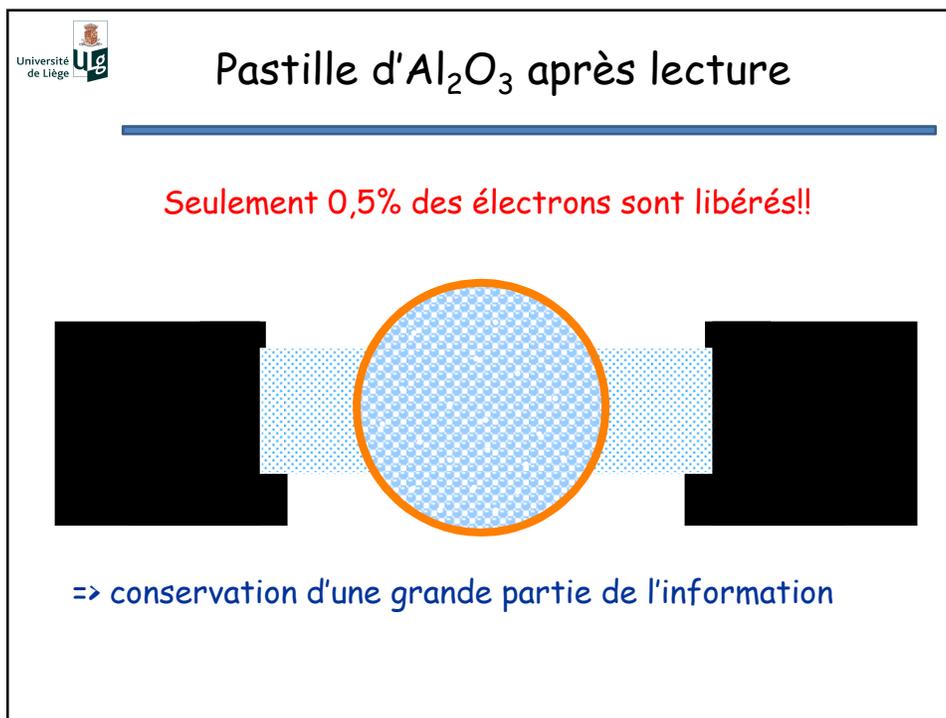
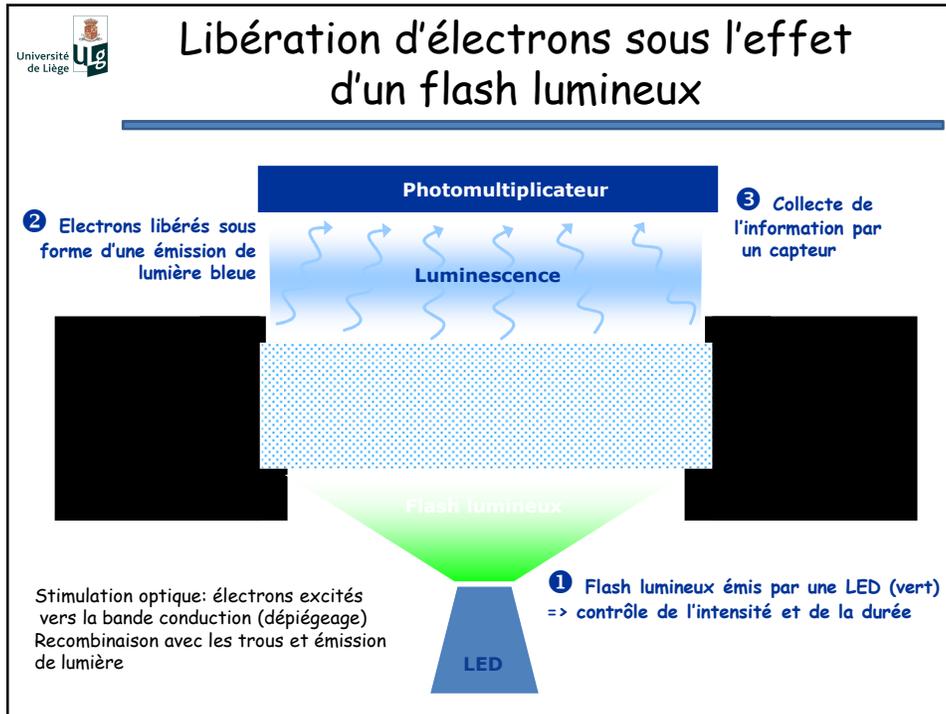

**Les avantages de la technologie OSL**

---

- Stimulation optique non destructive
  - Pas de vidange complète des centres de luminescence (seule une partie des électrons est stimulée (0,5%) par lecture)
  - Conservation d'une grande partie de l'information  $\Rightarrow$  Éventuelle ré-analyse ultérieure
  - Relectures indépendantes du temps et de la dose
  - Remise à zéro possible ou archivage des dosimètres (choix à faire)
- Source de stimulation facilement contrôlable (intensité, durée)
- Sensibilité supérieure aux films et TLD ( $LiF$ )
- Large plage de mesure
  - Hp(10) de 50  $\mu Sv$  à 10 Sv dans des gammes d'énergie de
    - 5 keV à 40 MeV (RX et  $\gamma$ )
    - 150 keV à 10 MeV ( $\beta$ )
- Affecté ni par la chaleur, ni par l'humidité et insensible aux neutrons
- Pas d'avant ni d'arrière







Université de Liège 

## Le détecteur



Code barre Fenêtre ouverte

Quatre détecteurs OSL :  
fine feuille de poudre d'oxyde  
d'aluminium dopé au carbone,  $Al_2O_3:C$

4 pastilles de détecteurs  
Détermination des doses:  
Hp(10), Hp(0,07), Hp(3), dose beta

Aluminium  
Cuivre Plastique

Distinction: RX,  $\gamma$ ,  $\beta$   
Filtres Al, Cu, plastique.....



Université de Liège 

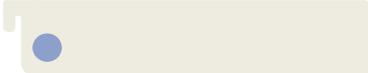
## La Lecture du dosimètre

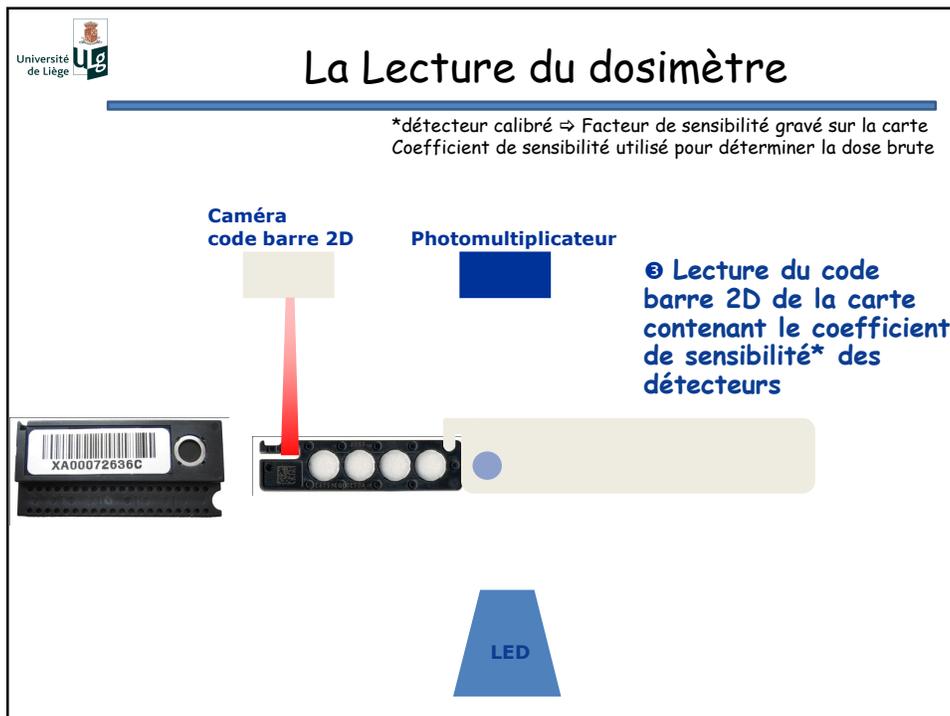
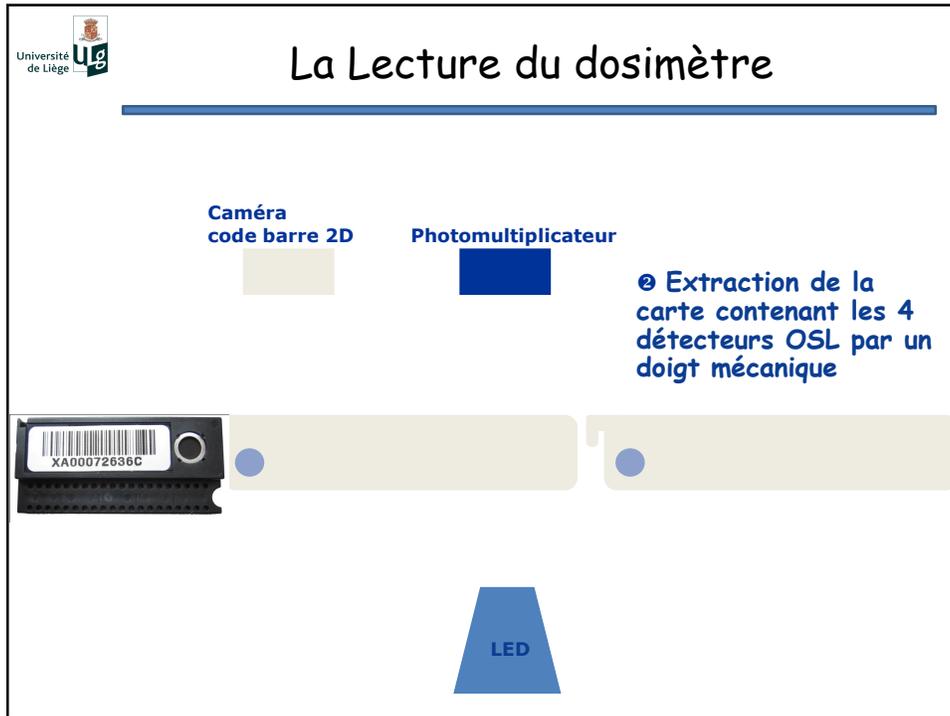
Caméra code barre 2D

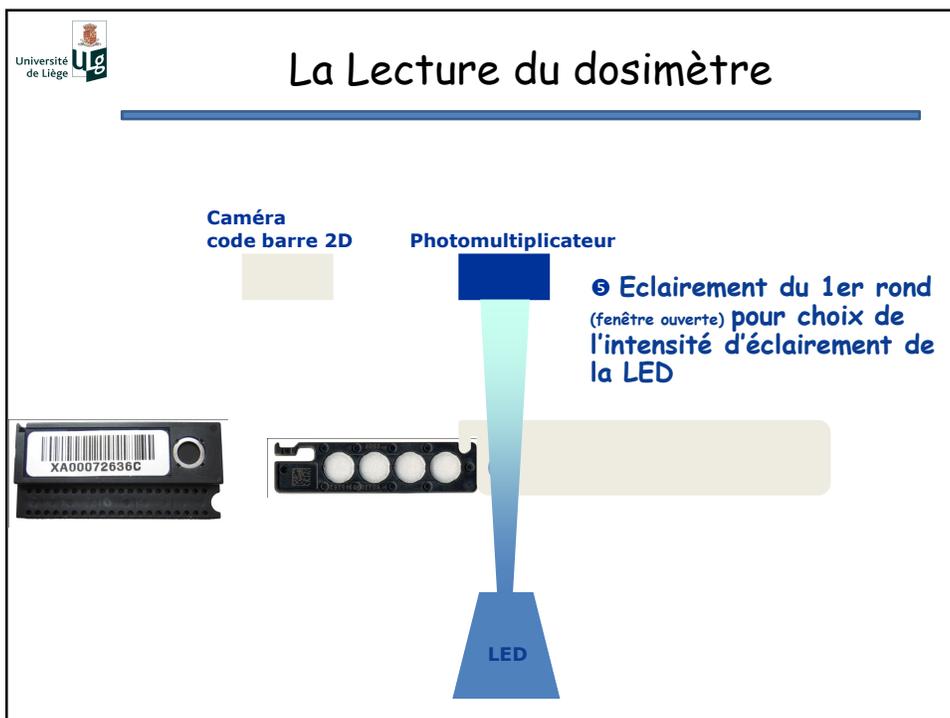
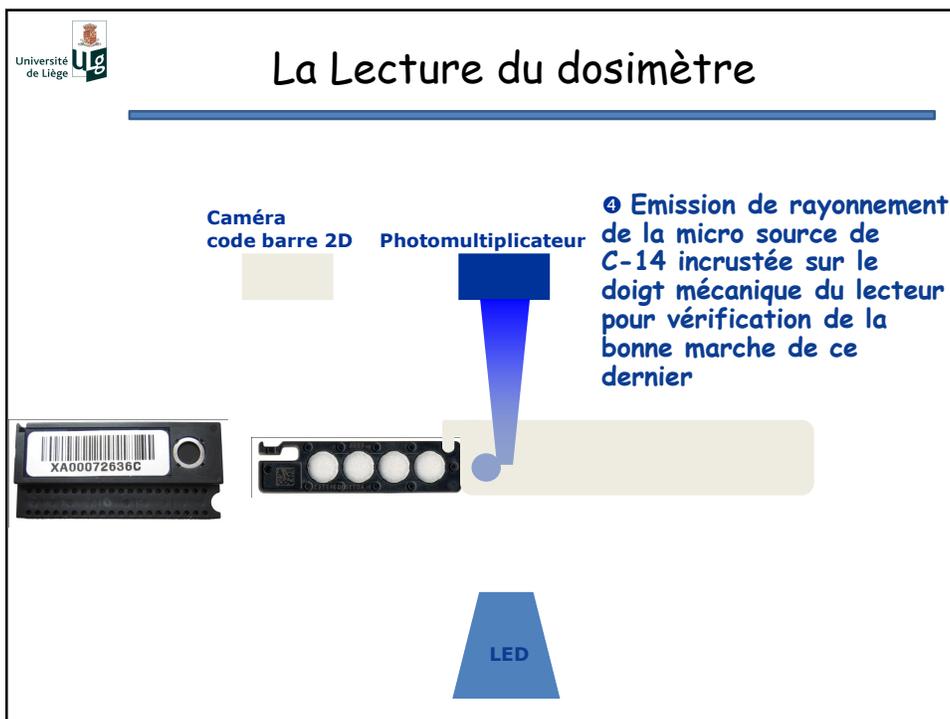
Photomultiplicateur

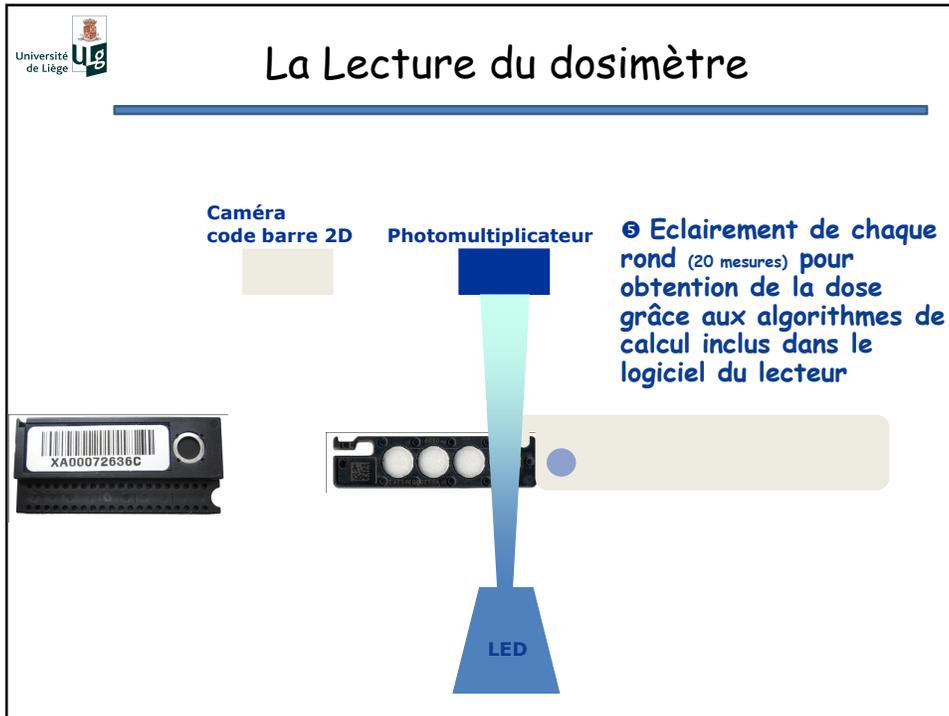
① Lecture du code barre linéaire du boîtier pour identification







OSL - Reader

Landauer InLight OSL Reader Program

Waiting for Next Badge

Process: Test    Skid ID: 2495    Case ID: AA00194J    Type: Customer

Operations: Stop Process, Measure Standards, Start Linearity, Start Calibration

Badge Information: Total Counts (Filter 1: 14580, Filter 2: 15245, Filter 3: 15161, Filter 4: 15342)

Dose Values (mSv): Deep: 1264.08, Shallow: 1264.08, Lens: 1264.08, Beta: P, R.F.G. P

Enregistrement des données

TruLight Reader Calibration

Reader number: 1    Operator: [blank]

Process Name: [blank]    Status: Accented    Accepted/Rejected Data/Time: [blank]

Beam used: [blank]

Calib Curve: [blank]    Element 1: [blank]    Element 2: [blank]    Element 3: [blank]    Element 4: [blank]

Y Intercept: 1308.5    1575.5    1552.8    1584.6

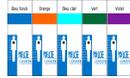
R Squared: 0.999    0.999    0.999    0.999

Blank avg: 0    0    0    0

Serial Number	Assigned Dose	Beam	Element 1	Element 2	Element 3	Element 4	Used
AA000006716	0	w	11	4	14	7	✓
AA000006698	0	w	12	8	14	12	✓
AA000006674	0	w	7	7	8	12	✓
Average			10	6	9	11	
STD			2.3	1.7	3.9	2.5	
CV (STD/Avg)			0.23	0.27	0.45	0.25	
AA00000630n	20000	w	24981	24388	24288	24936	✓
AA000006179	20000	w	24040	24954	24482	24518	✓
AA000006187	20000	w	24306	24601	24660	24577	✓
Average			24443	24409	24477	24607	
STD			195.0	145.4	199.6	203.0	

Université de Liège 

## Une présentation à la carte : identification de la période



2 couleurs de personnages  
**Rouge** pour les mois **impairs** (janvier, mars...)  
**Bleu** pour les mois **pairs** (février, avril...)  
**Mauve**: dosimètre classique

Bandeau supérieur  
**Information**  
 Nom, prénom, site  
 N° de téléphone du SUCPR  
 N° d'agent









Échange de l'ensemble du dosimètre !

Université de Liège 

## Port du dosimètre

- De la même façon que le film, hauteur poitrine...
- Trois types d'attaches
  - Pince crocodile 
  - Épingle à nourrice (manutentionnaire, technicienne de surface...)

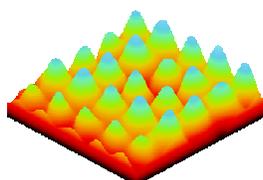


- Collier

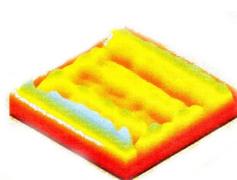
## Des possibilités supplémentaires (1)

- Des informations sur les conditions d'exposition du dosimètre (DéTECTEUR Imaging)
  - Une plaquette de cuivre munie de petits trous recouvrant un détecteur OSL de même surface
    - Statique
    - Dynamique
    - Contamination

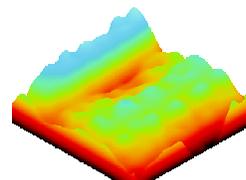
Permet de savoir si un dosimètre a été porté ou est resté en position fixe



Exposition statique



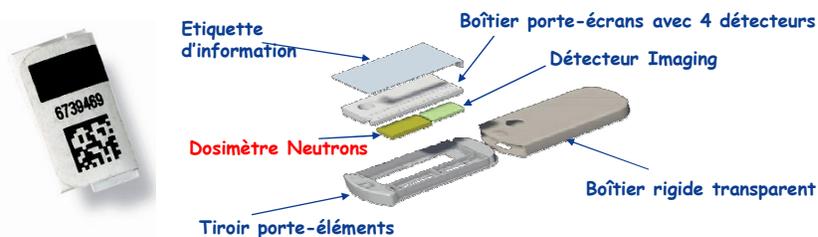
Exposition dynamique



Contamination

## Des possibilités supplémentaires (2)

- Mesures neutroniques
  - S'insère dans le boîtier en plus du détecteur classique
  - ne nécessite pas le port d'un dosimètre supplémentaire
  - Mesures des neutrons thermiques aux neutrons rapides
    - Sensibilité de 0,25 eV à 35 MeV
    - $H_p(10)$  de 0,2 à 250 mSv





## En résumé, une technologie avec beaucoup d'avantages...

- Accès à l'information dosimétrique avec 0,5% des électrons dépiégés
  - Conservation de l'information  $\Rightarrow$  ré-analyse ultérieure
- Remise à zéro ou archivage des dosimètres (réutilisation des détecteurs)
- Sensibilité plus importante que d'autres systèmes
- Large plage de mesure en dose et en énergie
- Pas affecté par la chaleur, par l'humidité
- Insensible aux neutrons
- Pas d'avant ni d'arrière
- Des possibilités supplémentaires
  - Visualisation des conditions d'exposition (statique ou dynamique - contamination)
  - Mesures neutroniques
- Aspect visuel de la dosimétrie (présentation à la carte)

Adieu les dosimètres film-badges!



Bienvenue à une nouvelle technologie en Belgique.....l'OSL