

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# Etude de poste en radiologie interventionnelle

Jean-luc REHEL

Unité d'expertise en radioprotection médicale  
IRSN/DRPH/SER

Congrès ATSR - Cherbourg 10 Novembre 2006

# Cadre réglementaire

## Décret 2003-296

### Article 231-75 :

« Les **expositions professionnelles** individuelles et collectives aux rayonnements ionisants doivent être maintenues en deçà des limites prescrites [...] **au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre.** »

« II.- A cet effet, le chef d'établissement procède à une **analyse des postes de travail** qui est renouvelée périodiquement et à l'occasion de toute modification des conditions pouvant affecter la santé et la sécurité des travailleurs. »

### Articles 231-93 et 94 :

« I.- Tout travailleur intervenant en **zone réglementée** fait l'objet d'un suivi par dosimétrie passive, complétée pour la zone contrôlée par un dosimétrie opérationnelle... »

### Article 231-99 :

« ...fait l'objet d'un examen médical par le médecin du travail... **fiche d'aptitude** indiquant la **date de l'étude de poste de travail** »

## Arrêté du 30 décembre 2004 (annexe)

« La surveillance individuelle par dosimétrie passive [...] repose sur **l'analyse des postes de travail...** »

« La surveillance individuelle par dosimétrie opérationnelle [...] repose sur **l'analyse des postes de travail...** »

# Règles d'aménagement des locaux de travail

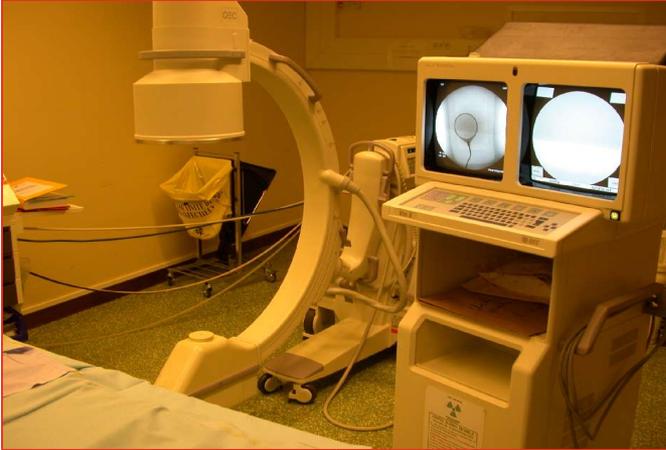
## Articles R. 231-81, R. 231-82 et R. 231-83

- ↪ Le chef d'établissement délimite des zones d'accès réglementées à l'intérieur desquelles des mesures renforcées de protection des travailleurs sont mises en oeuvre sous sa responsabilité.

**→ Arrêté du 15 mai 2006**

relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants, ainsi qu'aux règles d'hygiène, de sécurité et d'entretien qui y sont imposées

# Étude de poste de travail en radiologie interventionnelle : l'environnement



Arceau mobile de bloc opératoire



Vasculaire (intensificateur d'image)



Cardiologie (détecteur plan dynamique)



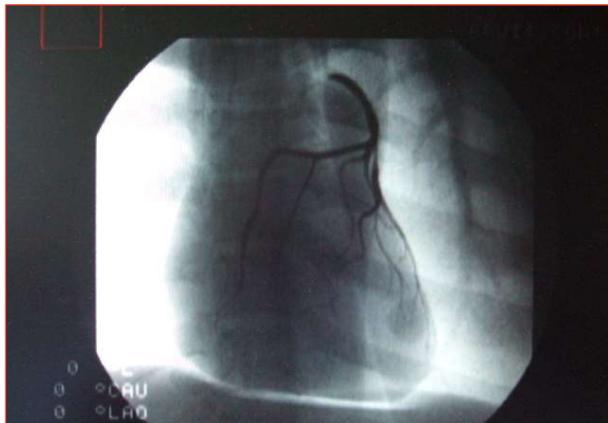
Vasculaire (détecteur biplan dynamique)

# Type de procédures en radiologie interventionnelle

proche

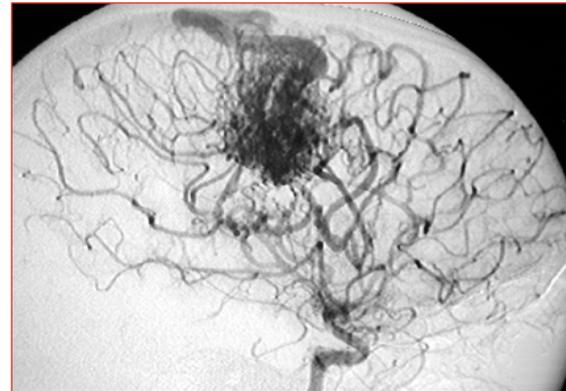


Vasculaire abdominal



Vasculaire cardiaque

distale



Vasculaire cérébral



Vasculaire périphérique

# Objectifs d'une étude de poste de travail (1)

- **Délimitation des zones réglementées**
- **Classement des travailleurs**
- **Détermination des moyens de protection**
- **Choix des moyens de surveillance dosimétrique les plus adaptés**

# Objectifs d'une étude de poste de travail (2)

En évaluant de façon prévisionnelle les doses reçues par le personnel à partir :

- de la caractérisation du champ de rayonnement au poste de travail,
- des activités des opérateurs dans l'installation radiologique

Pour cela il est nécessaire de :

- réaliser des mesures,
- prendre en compte l'historique de la dosimétrie,
- Identifier et quantifier les activités, et tout particulièrement les plus pénalisantes en dose.

# Méthodologie : Préparation (1)

## Description de l'installation

- Identifier les caractéristiques :
  - ✓ du générateur (puissance, fréquence,...)
  - ✓ du tube à rayons X (type, anode, foyer, filtrations inhérente et additionnelle)
  - ✓ des détecteurs (intensificateur d'image, détecteur plan,...)
- Détermination du type de dispositif médical (dispositif vasculaire biplan, artériophlébographe...)
- Identification du mode d'exposition
  - ✓ rayonnement direct : source provenant directement du tube
  - ✓ rayonnement diffusé: la source étant le patient ainsi que les accessoires (table)
- Schéma à l'échelle de l'implantation radiologique



# Méthodologie : Préparation (2)

## Évaluation des tâches réalisées dans l'installation

- Identification du personnel concerné (manipulateur, médecins, infirmière, physiciens (PSPRM), techniciens, stagiaire...).
- Évaluation du temps de présence du personnel concerné au poste de travail.
- Caractérisation des différentes procédures radiologiques réalisées à l'aide du dispositif médical.
- Quantification de l'activité radiologique sur une période représentative (semaine, mois,...).
- Sélection des tâches
- Extrapolation de l'activité sur 1 an.



# Méthodologie : Préparation (3)

## Évaluation des tâches réalisées dans l'installation

- **Caractérisation des différentes procédures radiologiques réalisées à l'aide du dispositif médical selon :**
  - ✓ leur fréquence de réalisation dans un même poste,
  - ✓ leur type d'acquisition (radioscopie analogique ou numérique, radiographie, soustraction d'images) en y associant une valeur de dose ou de débit de dose à une distance de référence,
  - ✓ des paramètres de réalisation :
    - *haute tension*
    - *charge ou courant et temps d'exposition*
    - *filtration*
  - ✓ la position du (des opérateurs) par rapport au volume de diffusion (distance opérateur/patient)

# Méthodologie : Evaluation de la dose (1)

## Sélection des tâches

- Sélectionner l'ensemble des tâches les plus représentatives, en particulier les plus irradiantes ou les plus fréquentes de façon à couvrir l'ensemble de l'exposition dans le poste



- Position :
  - des opérateurs
  - des manipulateurs
  - des anesthésistes
  - des infirmières...
- Position des mains des opérateurs par rapport au faisceau direct et au volume diffusant

En radiologie interventionnelle, la position des différents personnels dépend, entre autre, du type d'examen radiologique réalisé, de la région anatomique explorée, des incidences multiples ainsi que du type d'acquisition (radioscopie et radiographie).

# Méthodologie : Evaluation de la dose (2)

## Mode opératoire

- Analyse des résultats de surveillance dosimétrique et d'éventuelles études antérieures
- **Réalisation de mesures :**
  - ✓ en équivalent de dose ambient  $H^*(10)$  à la position du travailleur, par exemple :
    - à proximité du patient,
    - avec ou sans équipement de protection collective (bas-volet, suspension plafonnière, derrière le paravent)
    - avec ou sans protection individuelle,
    - dans des conditions anormales (absence de protection, porte anormalement ouverte).
  - ✓ en équivalent de dose individuel aux extrémités et aux cristallins
- Extrapolation, analyse et classification
- Recommandations dans le cadre de l'optimisation



# Méthodologie: Evaluation de la dose (3)

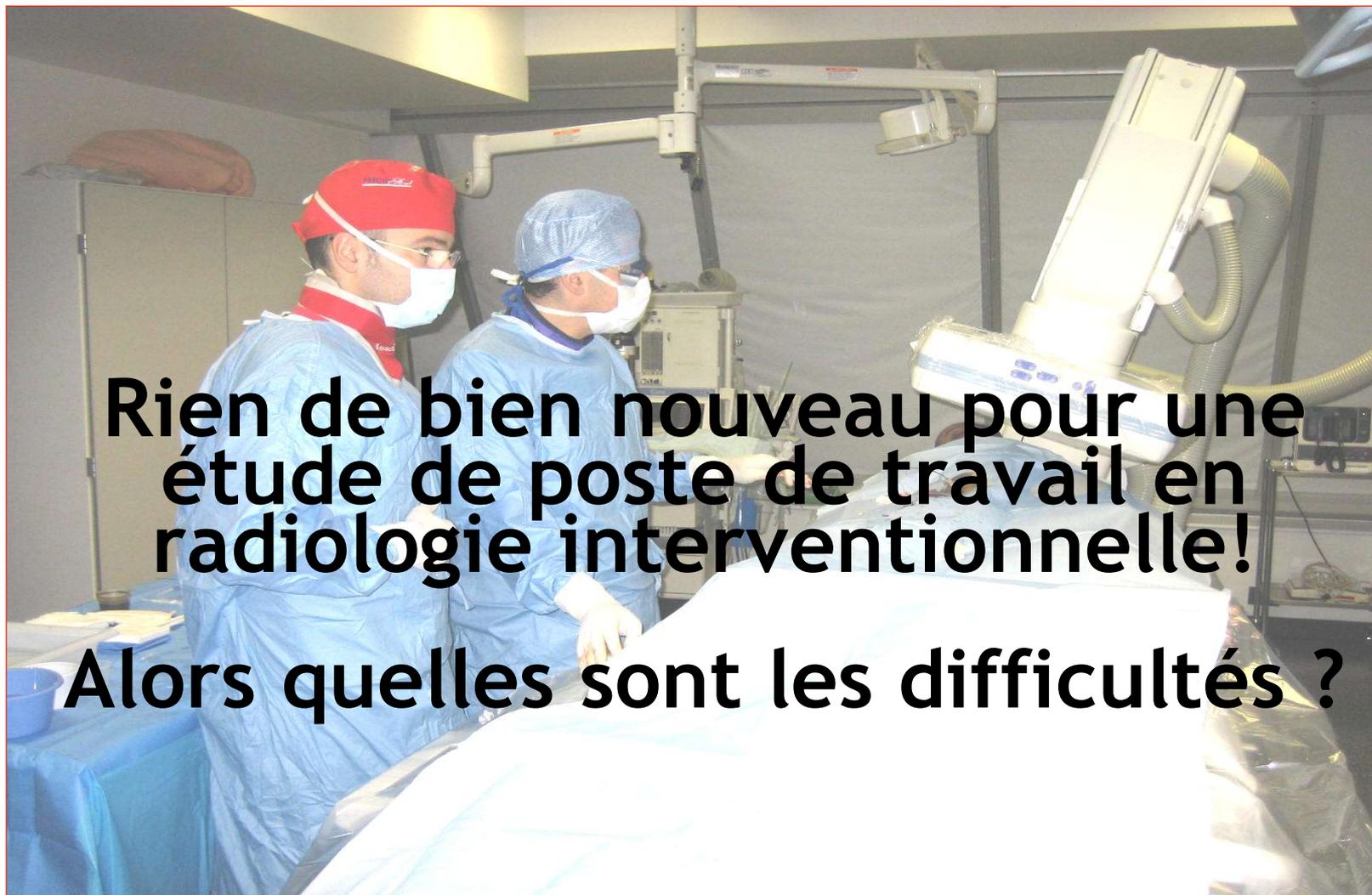
## Réalisation de mesures

- d'une part, s'assurer que les dosimètres utilisés permettent d'obtenir l'information pertinente (gamme d'énergie et de dose, temps de réponse,...) et,
- d'autre part, veiller à utiliser ces informations de façon satisfaisante.
- La **chambre d'ionisation de grand volume**



- Le **dosimètre thermoluminescent** placé dans une bague, ou mieux à l'extrémité d'un doigt





**Rien de bien nouveau pour une  
étude de poste de travail en  
radiologie interventionnelle!**

**Alors quelles sont les difficultés ?**

# Radioscopie : Variation des débits de dose en fonction de la régulation des kV et des mA

Paramètres moyens d'acquisition :

Haute tension (kV)	Intensité (mA)	Durée émission (ms)	Filtration	Cadence (images/s)	Ø champ (cm)
66	33	8	0,2 mm Cu	30	22

↪ 3 niveaux de radioscopie :

Chaque niveau de radioscopie est lié à une courbe de régulation automatique (kV, mA)

Courbe de régulation	faible débit	débit standard	débit élevé
Débit d'équivalent de dose ambiant en mSv/h à 0,5 mètre (niveau poitrine opérateur)	1,4	2,6	3,2

**Attention** : en débit standard, le débit de dose dans le diffusé sera 2 fois plus élevé si le diamètre du champ du détecteur utilisé est de 42 cm.

# Radioscopie : Variation des débits de dose en fonction des cadences d'image (scopie pulsée)

Paramètres moyens d'acquisition:

Haute tension (kV)	Intensité (mA)	Durée d'émission (ms)	filtration	Ø champ (cm)	Courbe de régulation
66	33	8	0,2 mm Cu	22	Débit standard

➤ plusieurs cadences d'images par niveau de radioscopie (scopie pulsée) :

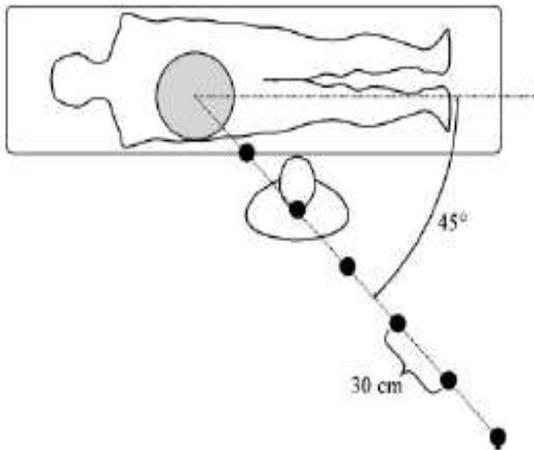
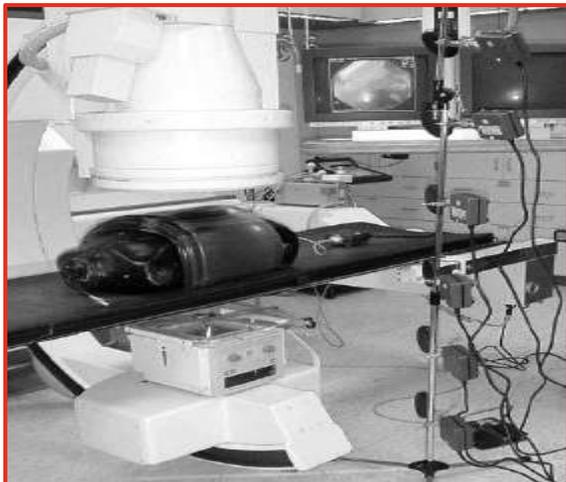
Les cadences d'images associées à chaque niveau de radioscopie, peuvent être comprises (suivant les appareils) entre 0,5 et 30 images/s

Cadence (images/s)	10	15	30
Débit d'équivalent de dose ambiant en mSv/h à 0,5 mètre (niveau poitrine opérateur)	0,8	1,3	2,6

**Attention** : en scopie pulsée, le nombre d'images sur 1 seconde nécessite en réalité un temps d'émission des rayons x très inférieur.

Dans le cas présent, le courant nécessaire à une cadence de 15 i/s est de 120 ms !

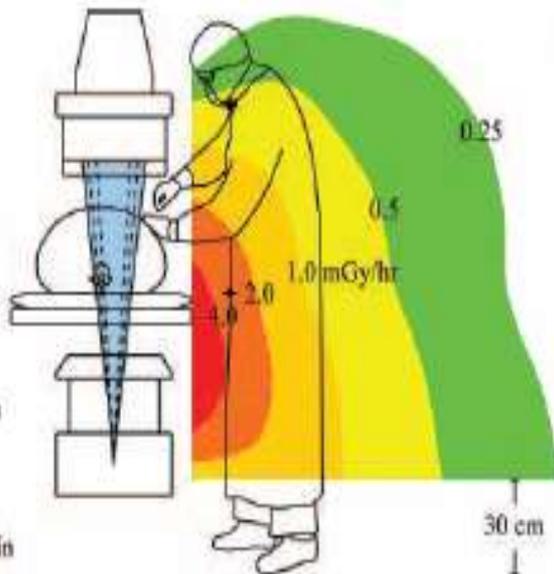
# Radioscopie : Variation des débits de dose en fonction de la taille du champ



## An Investigation of Operator Exposure in Interventional Radiology<sup>1</sup>

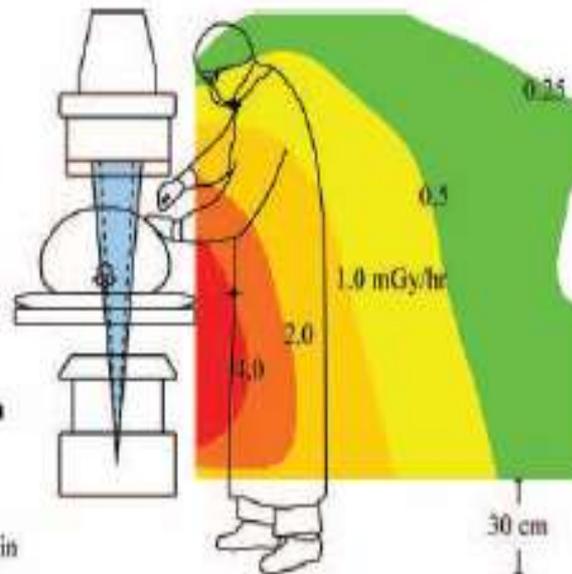
Beth A. Schueler, PhD • Thomas J. Vrieze, RT(R) • Haraldur Bjarnason, MD • Anthony W. Stanson, MD

**Stray Radiation**  
Operator Collar:  
0.62 mGy/hr  
Operator Waist:  
3.0 mGy/hr



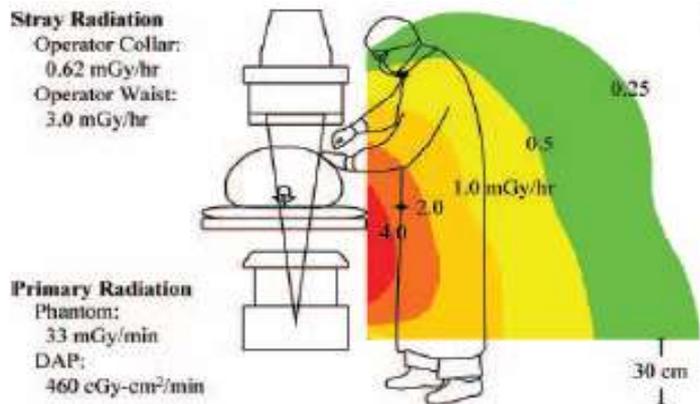
a. Champ de diamètre 28 cm

**Stray Radiation**  
Operator Collar:  
0.83 mGy/hr  
Operator Waist:  
3.9 mGy/hr

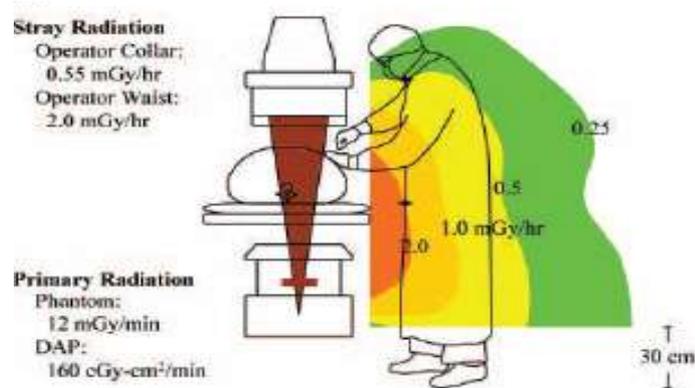


b. Champ de diamètre 20 cm

# Radioscopie : Variation des débits de dose en fonction des filtres en sortie de faisceau primaire

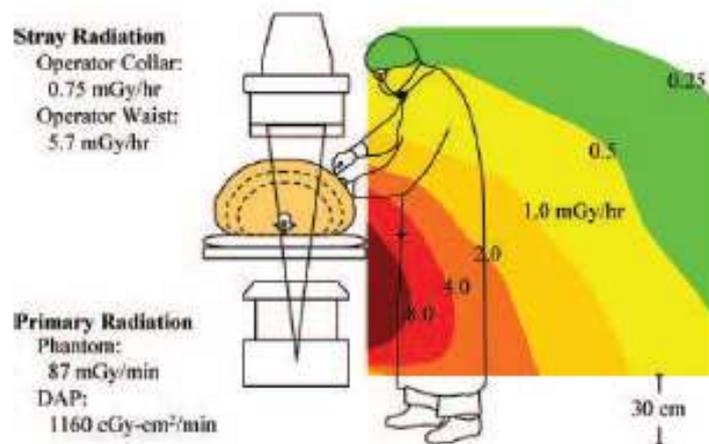
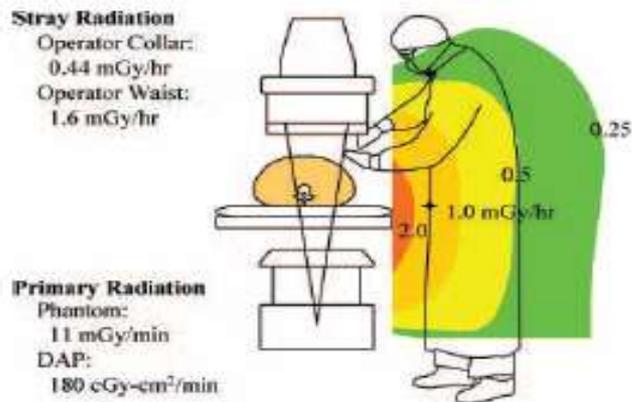


Sans filtration supplémentaire



Avec filtration supplémentaire (0,5 Cu)

# Radioscopie : Variation des débits de dose en fonction du volume du patient



# Radiographie : Exemple de débits de dose

## Paramètres moyens d'acquisition:

Haute tension (kV)	Intensité (mA)	Durée d'émission (ms)	Cadence d'image	Ø champ (cm)	Courbe de régulation
64	600	83	3 i/s	22	Débit standard

Equipements de protection collective	Débit d'équivalent de dose ambiant à 0,5 mètre (niveau poitrine opérateur)	
	niveau poitrine	niveau gonades
Sans bas-volet et vitre	26 mGy/h	90 mGy/h
Avec bas-volet et vitre	13 mGy/h	2,9 mGy/h

Un équipement de protection individuelle de type chasuble de 0,5 mm équivalent Pb permet de réduire la dose d'un facteur  $\approx 60$ .

**25  $\mu$ Sv pour une heure !!!**

# Doses aux extrémités et aux cristallins en radiologie interventionnelle biliaire

Certains opérateurs dépassent la dose équivalente annuelle aux extrémités (500 mSv) en réalisant moins de 100 examens.

Doses délivrées aux extrémités et aux cristallins au cours d'un drainage biliaire			
Zone exposée	Index Dt (mGy)	Index Gche (mGy)	Cristallins (mGy)
<i>Minimum</i>	0,2	0,15	0,12
<i>Maximum</i>	1,6	6,4	0,4
<i>Moyenne</i>	1	2.6	0,2

La catégorisation A des opérateurs en radiologie interventionnelle peut être déterminée à partir de l'évaluation des doses délivrées aux extrémités.

# Exemple en radiologie interventionnelle

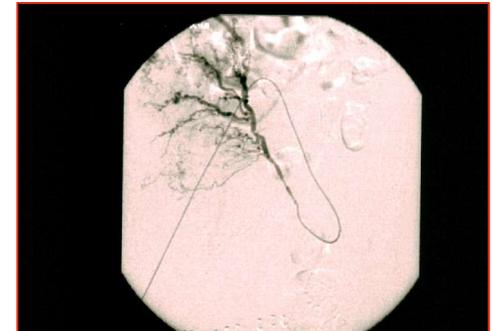
## Embolisation utérine

### - Radioscopie (15 i/s)

Diamètre du champ	22 cm	42 cm
Débit de dose sans protection (mGy/h) à 0,5m	0,75	1,4

### - Radiographie (en soustraction de l'image)

Diamètre du champ	22 cm	42 cm
Débit de dose sans protection (mGy/h) à 0,5m	11,8	22,7

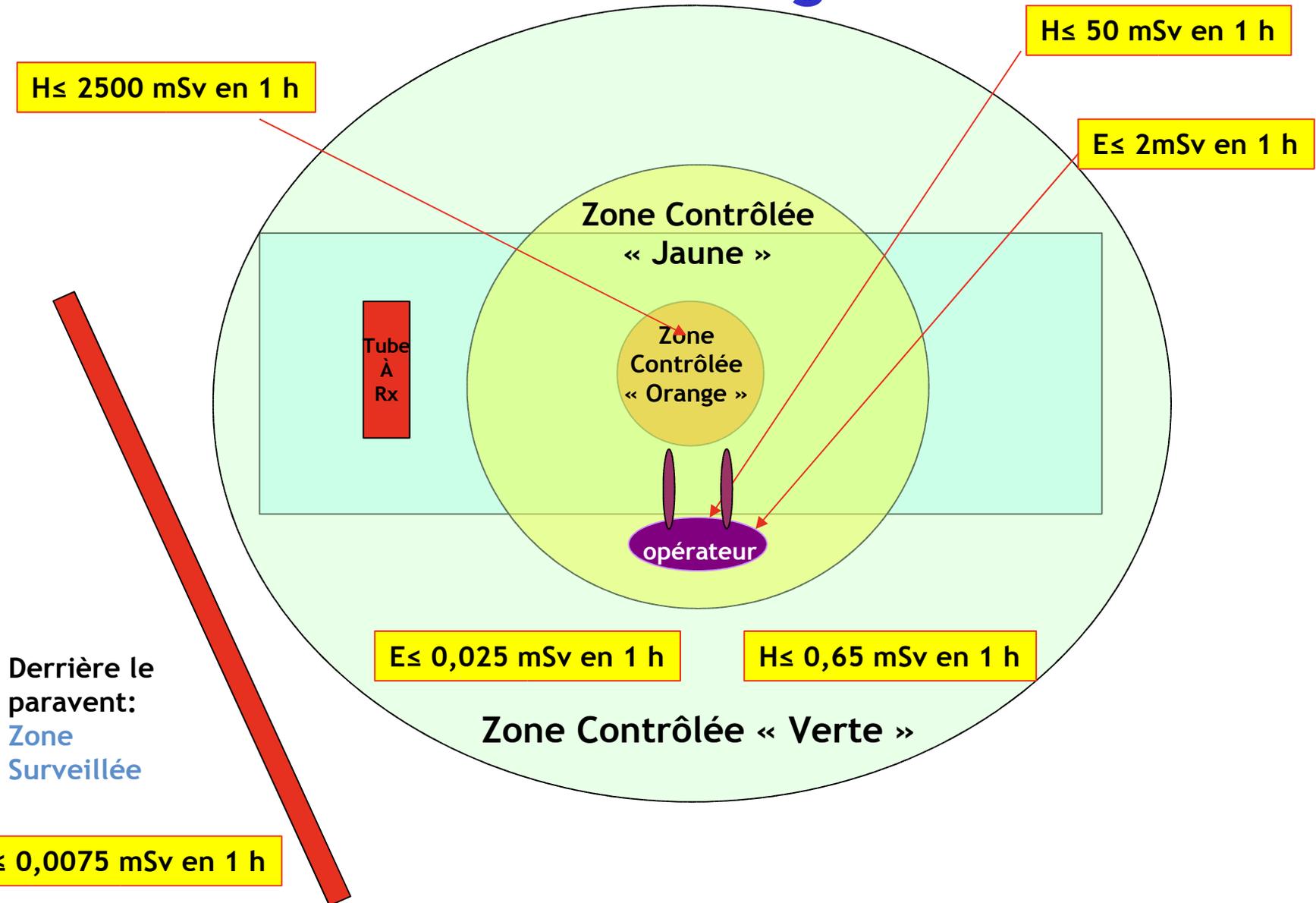


**Durée moyenne de l'examen radiologique : 2 heures**

**2 minutes de graphie + 40 mn de scopie = 1,7 mGy (champ de Ø 42cm)**

**L'opérateur est en zone spécialement réglementée jaune.**

# le zonage



# Dose et débit de dose : formulation

$$\dot{D}_{\text{Diff}} = 0,10 \cdot e^{-5,5x} \cdot 0,028 \cdot \frac{1}{d^2} \cdot K_A(\alpha) \frac{S_{\text{CH}}}{\cos \alpha \cdot \cos \beta} \cdot I \cdot \Delta t \cdot N \cdot \left( \frac{U}{100} \right)^2 \cdot \left( \frac{1}{\text{DFD}} \right)^2 \text{ [mGy / h]}$$

$U=70\text{kV}$  ;  $S_{\text{CH}}=0,02\text{m}^2$  ;  $\text{DFD}=1,05\text{m}$  ;  $X=0,1\text{mm Cu}$ ,  $\alpha = 1,33$

$N=15 \text{ p/s}$	}	Radioscopie
$Q=2,8 \text{ mAs}$		
$N=3 \text{ im/s}$	}	Radiographie
$Q=22 \text{ mAs}$		

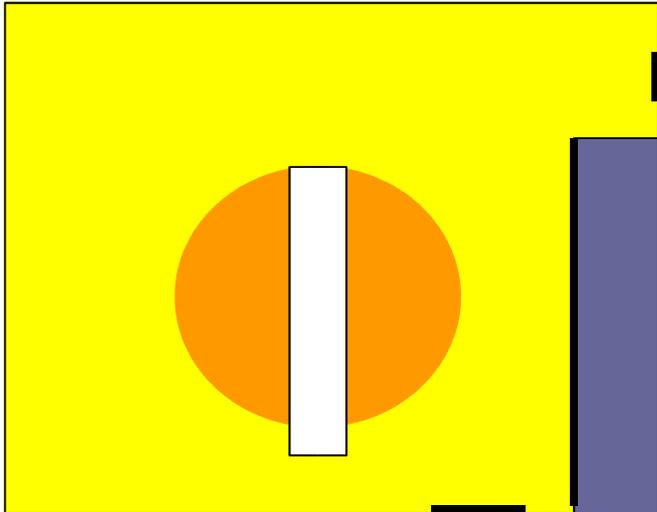


Distances	1m	1m50	2m	4m
Radiographie [mGy /h]	4,17	1,85	1,04	0,26
Radioscopie [mGy /h]	2,65	1,18	0,66	0,17

# Zonage en radiologie interventionnelle

	Zone contrôlée  Accès réglementé	Zone contrôlée  Accès réglementé	Zone contrôlée  Accès réglementé
E en 1h	$7,5\mu\text{Sv} < E < 25\mu\text{Sv}$	$25\mu\text{Sv} < E < 2\text{mSv}$	$2\text{mSv} < E < 100\text{mSv}$
Dose extrémités en 1h (mSv)	$0,2 < D < 0,65$	$0,65 < D < 50$	$50 < D < 2500$
Débit à ne pas dépasser	–	$2\text{mSv/h}$	$100\text{mSv/h}$

Débit instantané moyen à 1m = 4,17 mSv/h



Zone	Limite
Orange	144cm
Jaune	565cm
Verte	1030cm
Surveillée	Derrière le paravent plombé (2mm d'épaisseur)

# Conclusions

L'étude de poste de travail en radiologie interventionnelle est complexe.

Elle nécessite :

- Phase d'observation
- Connaissance
  - des procédures radiologiques
  - des équipements radiologiques
  - des paramètres techniques d'acquisition
  - des moyens de mesure à mettre en œuvre

Elle dépend aussi, pour une même procédure:

- de l'opérateur (expérience, habileté,...),
- du patient.

**Dans ces conditions, l'étude de poste de travail en radiologie interventionnelle permettra d'identifier les vraies situations à risque, d'adapter au mieux les moyens de protection, de surveillance et de faire des recommandations en matière d'optimisation.**