

Meeting on non destructive testing
Paris (France) 23-24 Mar 1983
CEA-CONF--6834

RADIOGRAPHIE DES MATERIAUX LOURDS
AU MOYEN D'UN GENERATEUR X de 420 kV

G. BOURDARIOS

M. DELEUZE

P. LEMOINE

SOMMAIRE

1. - OBJECTIFS DE L'ETUDE

2. - DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

3. - COMPARAISON DES PERFORMANCES AVEC LA GAMMAGRAPHIE ¹⁹²Ir

CONCLUSION

1. - OBJECTIFS DE L'ETUDE

Ces travaux s'inscrivent dans le cadre de l'amélioration des performances des méthodes de contrôle par radiographie.

Ils visent à atteindre trois objectifs :

- résoudre les problèmes de contrôle de santé matière de matériaux lourds

- remplacer l' ^{192}Ir par le rayonnement X à 420 kV en vue d'améliorer les performances

- saisir cette occasion pour étudier le développement d'une technique à des fins industrielles.

.../...

2. - DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

Cette installation comprend :

a) dans le local d'irradiation :

- le générateur X MG 420 comprenant :

- . le tube MN 421
- . les 2 générateurs + et - 210 kV
- . un transformateur 75 kV
- . le système autonome de refroidissement par huile

- la chaîne de radioscopie comprenant :

- . l'amplificateur de brillance
- . la caméra de télévision pour prise de vues

- divers équipements :

- . une caméra de télévision de surveillance
- . le système de préhension des pièces à radiographier
- . des dispositifs limiteurs du rayonnement diffusé

b) dans le local de télécommande :

- le pupitre de télécommande du tube radiogène
- le pupitre de télécommande de la chaîne de radioscopie
- l'écran de visualisation de l'image de l'objet radioscopie
- l'écran de télévision de surveillance

.../...

2.1 Caractéristiques du Philips MG 420

- . tube MCN 421 métal céramique
- . foyers 1,5 x 1,5 mm et 4,5 x 4,5 mm
- . fenêtre de béryllium (2,2 mm)
- . angle du faisceau X = 30°
- . petit foyer : 210 kV - 5 mA
420 kV - 3 mA
- . grand foyer : 210 kV - 15 mA
420 kV - 10 mA
- . 13200 Rh⁻¹ à 1 mètre (420 kV - 10 mA)
- . refroidissement autonome par circulation d'huile

2.2 Protections contre le diffusé

- . filtration cuivre 2 mm
- . diaphragme de limitation de l'angle du faisceau X
- . écrans intensificateurs d'image dans la cassette (Pb 0,1/0,2mm)
- . masque en plomb entourant l'objet à radiographier
- . écran de plomb derrière la cassette

2.3 Abaques de temps de pose (figures 1 à 5)

Ces abaques permettent de choisir, pour une épaisseur déterminée d'uranium et le film choisi, la tension au générateur et le temps de pose correspondant.

.../...

Tous les abaques sont tracés avec les paramètres suivants :

- . distance source-film : 0,7 m
- . filtration par cuivre d'épaisseur 2 mm
- . foyer 4,5 x 4,5 mm avec i : 10 mA
- . foyer 1,5 x 1,5 mm avec i : 3 mA
- . densité optique : 2,00
- . film en cassette avec écrans de plomb 0,1 avant et 0,2 arrière
- . temps de pose maximal : 20 mn
- . soit en fonction de la tension pour un film déterminé
- . soit en fonction de 5 films de rapidité différente pour une tension déterminée

On constate qu'avec un film Kodak A on peut radiographier jusqu'à 9 mm d'épaisseur d'uranium; avec un film Kodak M jusqu'à 5 mm avec le grand foyer et 4 mm avec le petit foyer.

On voit ainsi que pour les épaisseurs d'uranium jusqu'à 5 mm, il y a intérêt à choisir un film type M et à utiliser une tension d'autant plus faible que l'épaisseur d'uranium est faible, en adoptant des temps de pose raisonnables c'est à dire inférieurs à 20 mn.

Au delà de 5 mm on a intérêt à utiliser un film de rapidité immédiatement supérieure, par exemple le Cronex NDT 55.

Au delà de 6mm on préconise le Cronex NDT 65.

Au delà de 8mm on utilisera le Kodak A.

.../...

2.4 Tension minimale requise

Pour augmenter le contraste, on voit qu'il y a intérêt à utiliser les tensions les plus basses possibles compatibles avec les données du problème.

Il existe une tension minimale requise, fonction du film et de l'épaisseur d'uranium (figure 6).

Ainsi avec un film Kodak A :

- une épaisseur de 8 mm, implique 400 kV
- une épaisseur de 6 mm, implique 350 kV

Avec un film Kodak M :

- une épaisseur de 5 mm implique 420 kV
- une épaisseur de 4 mm implique 350 kV
- une épaisseur de 3 mm implique 320 kV

.../...

3. - COMPARAISON DES PERFORMANCES AVEC CELLES DE ^{192}Ir

3.1 Flou géométrique (figure 7)

Pour des mêmes valeurs de distances foyer-film et objet-film :

- le flou avec un petit foyer est de valeur moitié de celui avec une source ^{192}Ir type IRG 1.
- le flou avec un grand foyer est 1,4 fois supérieur à celui avec une source ^{192}Ir type IRG 1.

3.2 Contraste radiographique

Nous exprimons le contraste à partir des valeurs théoriques du coefficient d'atténuation linéaire (μ) exprimées en fonction de l'énergie du rayonnement : $\mu = f(\text{keV})$ (figure 8).

Cette courbe montre :

- pour ^{192}Ir : $3 < \mu < 9 \text{ cm}^{-1}$
- pour les rayons X de 420 keV à 150 keV = $5 < \mu < 45 \text{ cm}^{-1}$

Suivant la tension appliquée au tube, le rayonnement X permet d'obtenir un contraste 2 à 5 fois supérieur à celui obtenu avec le rayonnement de ^{192}Ir .

Au niveau du contraste du film (figure 9) pour une épaisseur d'uranium voisine de 3 mm et contenant un manque de matière de 0,1 mm, pour une densité optique du film, hors défaut, $D = 2,00$, cela se traduit par un contraste :

$$\Delta D = 0,08 \text{ pour } ^{192}\text{Ir}$$

$$\Delta D = 0,22 \text{ pour } 420 \text{ kV, } 10 \text{ mA}$$

Le contraste est sensiblement 3 fois plus élevé avec le rayonnement X qu'avec ^{192}Ir .

Les courbes $D = f(\text{mm d'uranium})$ ont été établies à partir d'un étalon à gradins.

3.3 Temps d'exposition

Nous présentons sous forme de tableaux les temps de contrôle pour les trois techniques : la radioscopie, la radiographie pour les tensions extrêmes du MG 420 (300 kV et 420 kV), la gammagraphie pour 2 activités de source, 50 et 100 ci.

Les tableaux (1 à 4) sont établis, par type de film, à partir des abaques exprimant le type d'exposition en fonction de l'épaisseur d'uranium (figures 10 et 11).

Le temps d'examen pour une pièce cylindrique est celui au bout duquel l'opérateur a connaissance de la qualité de la pièce contrôlée. Le point de départ de ce comptage est le début de l'irradiation X ou γ

On constate :

- pour des épaisseurs d'uranium inférieures à 5 mm, la supériorité évidente de la radioscopie.

- des temps d'examen par rayons X systématiquement inférieurs à ceux avec l' ^{192}Ir .

- pour une même épaisseur d'uranium, un même type de film, des temps de pose avec l' ^{192}Ir 10 à 20 fois supérieurs à ceux avec les rayons X.

- pour une même épaisseur d'uranium, un même type de film, des temps d'examen complet d'une pièce de résolution, avec l' ^{192}Ir , 2 à 5 fois plus longs que ceux avec les rayons X.

Ces résultats montrent qu'on a toujours intérêt, pour réduire le temps de pose, à utiliser les rayons X préférentiellement aux rayons de l' ^{192}Ir , ceci indépendamment d'autres avantages.

.../...

3.4 Manque de matière minimal détecté

Nous avons comparé les performances des trois techniques sur un disque en uranium percé de 54 trous, d'épaisseur 3,56 mm (figure 12)

Ces trous sont placés sur trois circonférences, chacune est caractérisée par le diamètre du trou (1 - 1,5 et 2 mm). Ces trous sont à profondeurs constantes pour chacun des diamètres. Pour un même diamètre, les profondeurs sont étagées : 0,17 - 0,25 - 0,37 - 0,47 mm etc ...

Les profondeurs de trou minimales détectées sont regroupées dans le tableau 5 faisant apparaître ces valeurs par technique, par type de film, par diamètre de trou, par épaisseur d'uranium. Les différentes épaisseurs d'uranium sont obtenues en superposant au disque percé des disques d'épaisseur différente.

On constate :

- pour une épaisseur de 3,56 mm, les performances des 3 techniques sont sensiblement équivalentes, toutefois dans la limite du plus petit trou présent dans le disque étalon.

- pour une épaisseur de 5 mm, la supériorité des rayons X en graphie s'affirme par rapport à l'¹⁹²Ir.

La chute des performances de la radioscopie (sensibilité de 11% pour un trou de \varnothing 1 mm et 6% pour un trou de \varnothing 1,5 mm) fixe la limite d'emploi de cette technique à cette épaisseur.

- pour une épaisseur de 10 mm, seule la radiographie à 420 kV avec un film A permet encore de bonnes performances (sensibilité de 4% pour un trou \varnothing 1 mm et 3,5% pour un trou \varnothing 1,5 mm).

En conclusion, pour des épaisseurs d'uranium jusqu'à 3 mm, la radioscopie X prime sur les autres techniques, compte tenu d'autres avantages par ailleurs, notamment le temps d'immobilisation de la pièce pour son contrôle.

.../...

3.5 Choix de la technique

Nous avons établi le tableau 6 faisant apparaître :

- les raisons pour lesquelles il y a supériorité des rayons X avec un générateur de 420 kV sur la gammagraphie à ^{192}Ir .

- les raisons pour les quelles il y a supériorité de la gammagraphie à ^{192}Ir sur les rayons X avec un générateur 420 kV.

Il ressort de ces comparaisons qu'il y a plus de raisons pour employer les rayons X plutôt que les rayons γ de ^{192}Ir .

En conclusion, toutes les fois que l'emploi de la radiographie X est possible, il convient de la préférer à la gammagraphie.

.../...

CONCLUSION

Ces essais ont permis de connaître les performances d'un équipement de radiographie à 420 kV pour le contrôle de la santé matière des matériaux à masse volumique élevée comme l'uranium.

On a ainsi montré que l'uranium est contrôlable pour des épaisseurs :

- jusqu'à 9 mm en radiographie avec un film rapide type Kodak A ou équivalent
- jusqu'à 5 mm en radiographie avec un film lent type Kodak M ou équivalent
- jusqu'à 4 mm avec une chaîne de radioscopie équipée d'un amplificateur de brillance spécifique aux rayonnements X de haute énergie.

La comparaison des performances de cette technique avec celles de la gammagraphie à ^{192}Ir a montré qu'elle était nettement plus performante. Cette amélioration se traduit par :

- un meilleur contraste ,
- une réduction très sensible des temps d'examen .

Notre conviction est que la radiographie à 420 kV doit être utilisée de préférence à la gammagraphie à ^{192}Ir , toutes les fois que cela est possible.

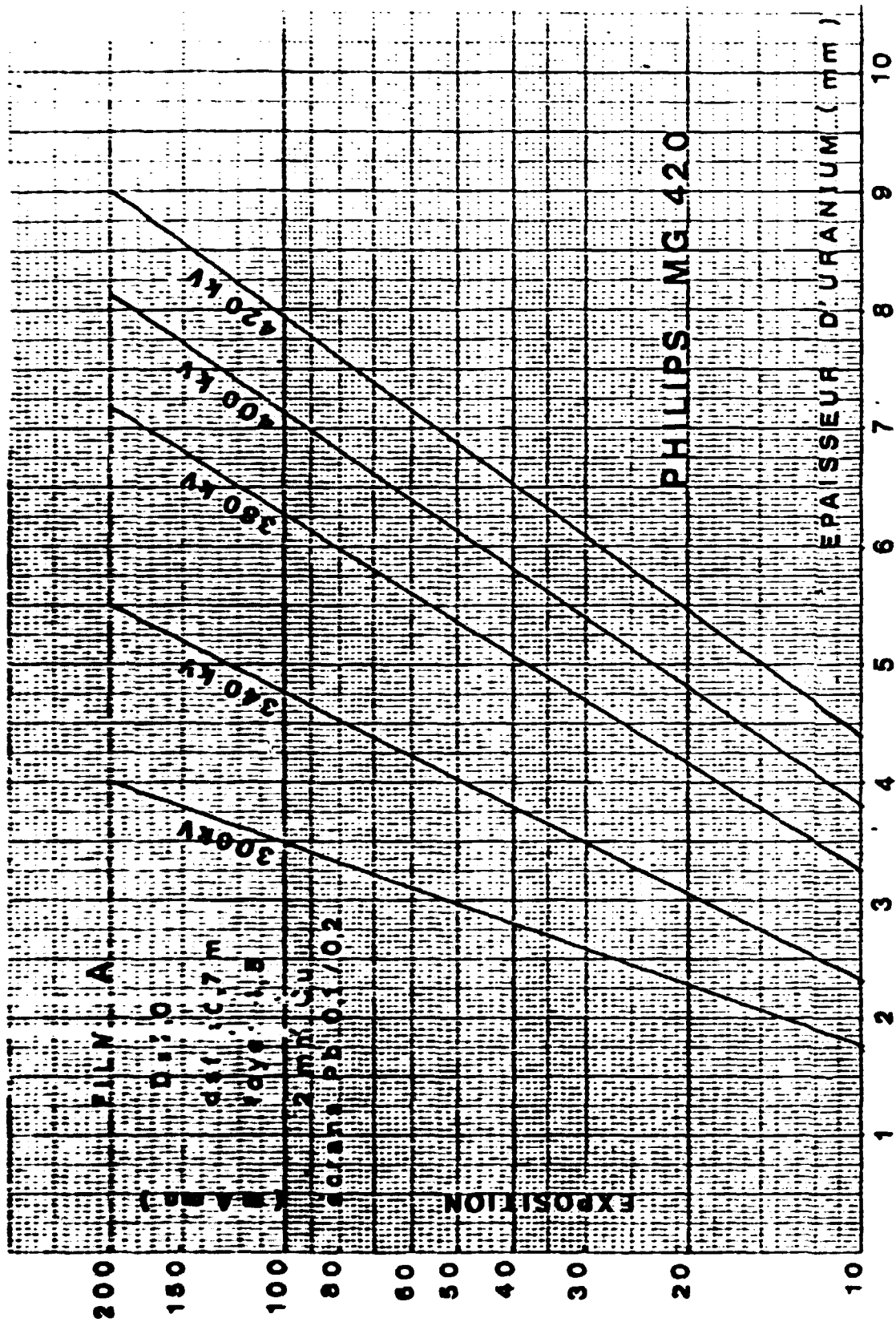


Figure 1

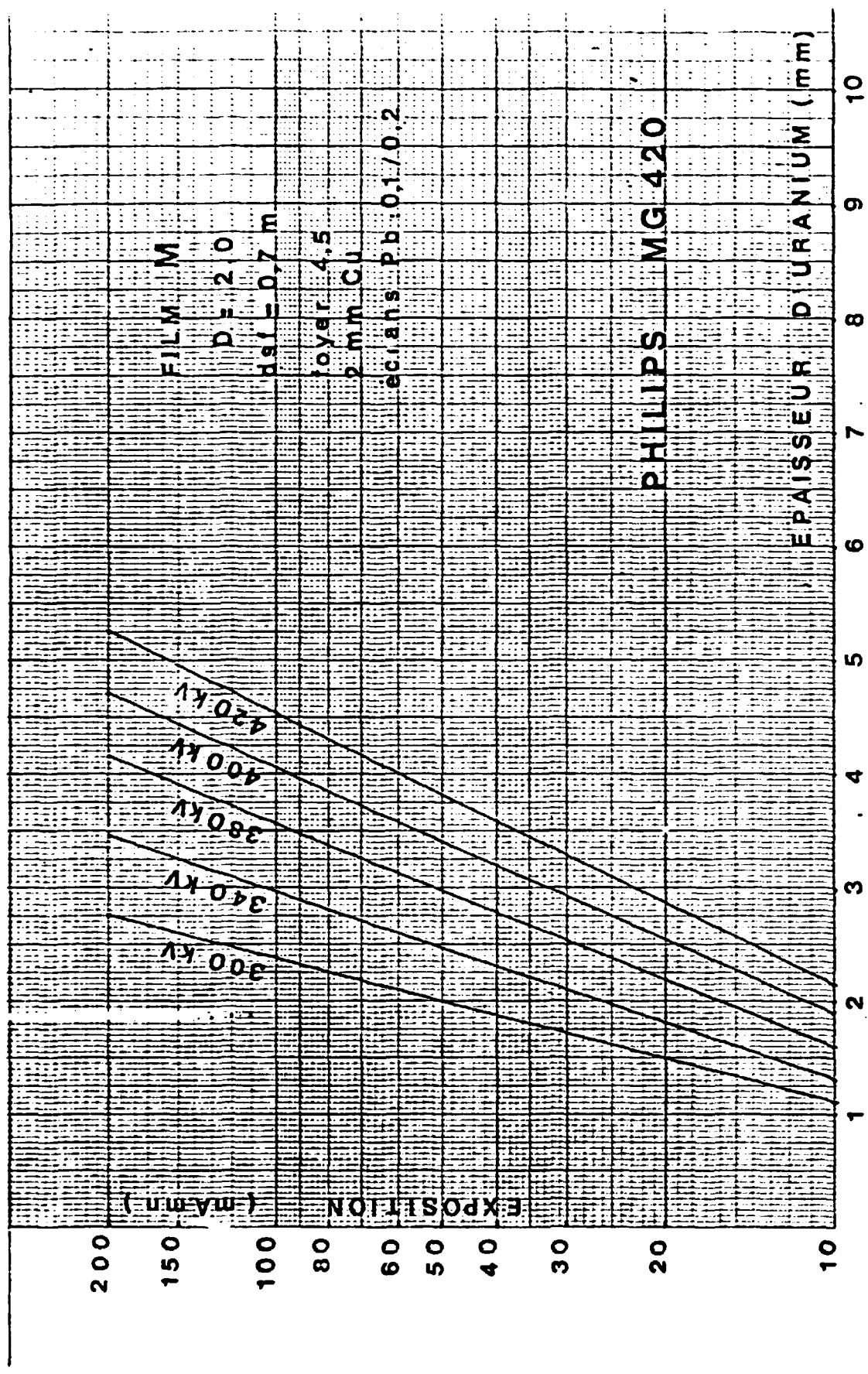


Figure 2

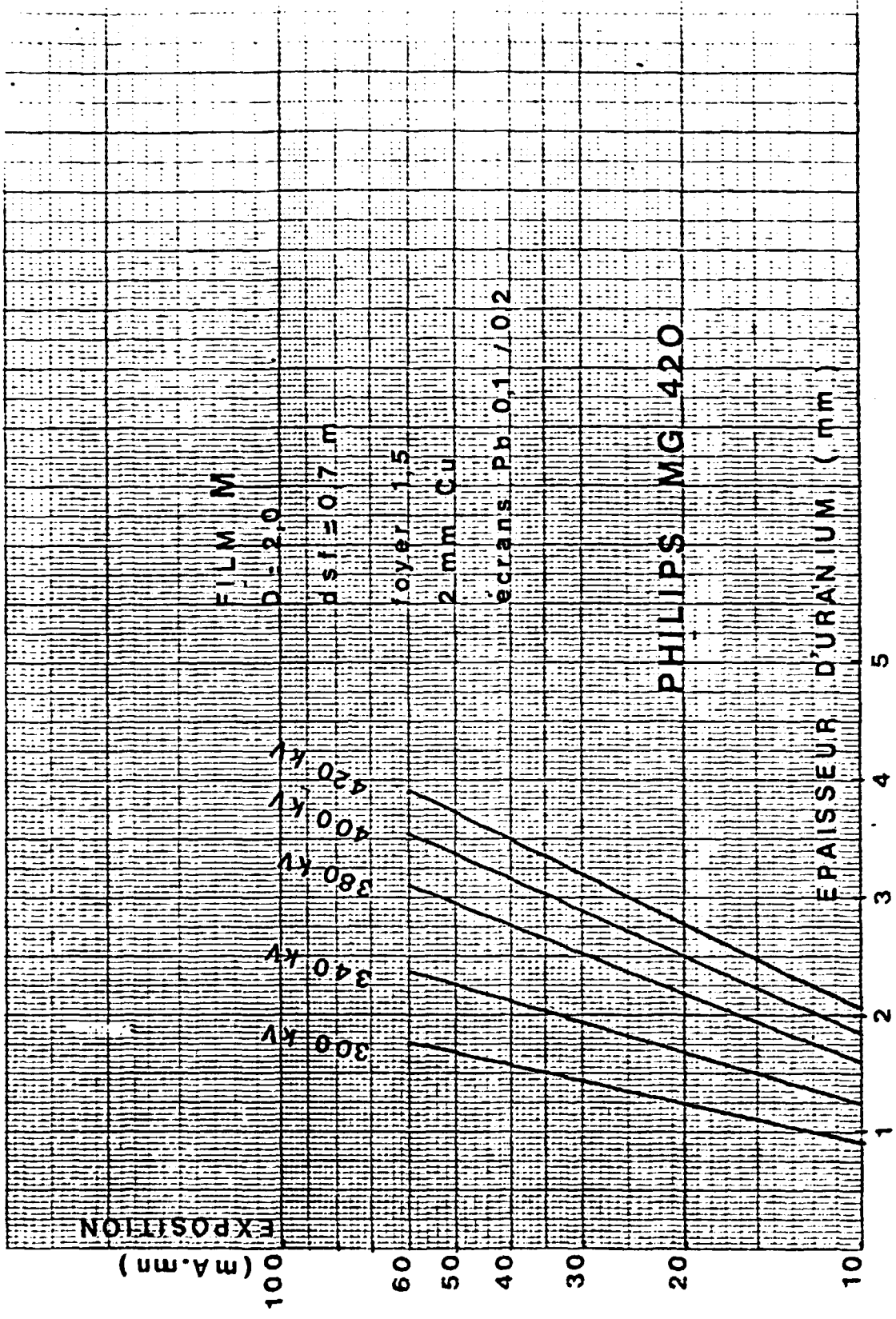


Figure 3

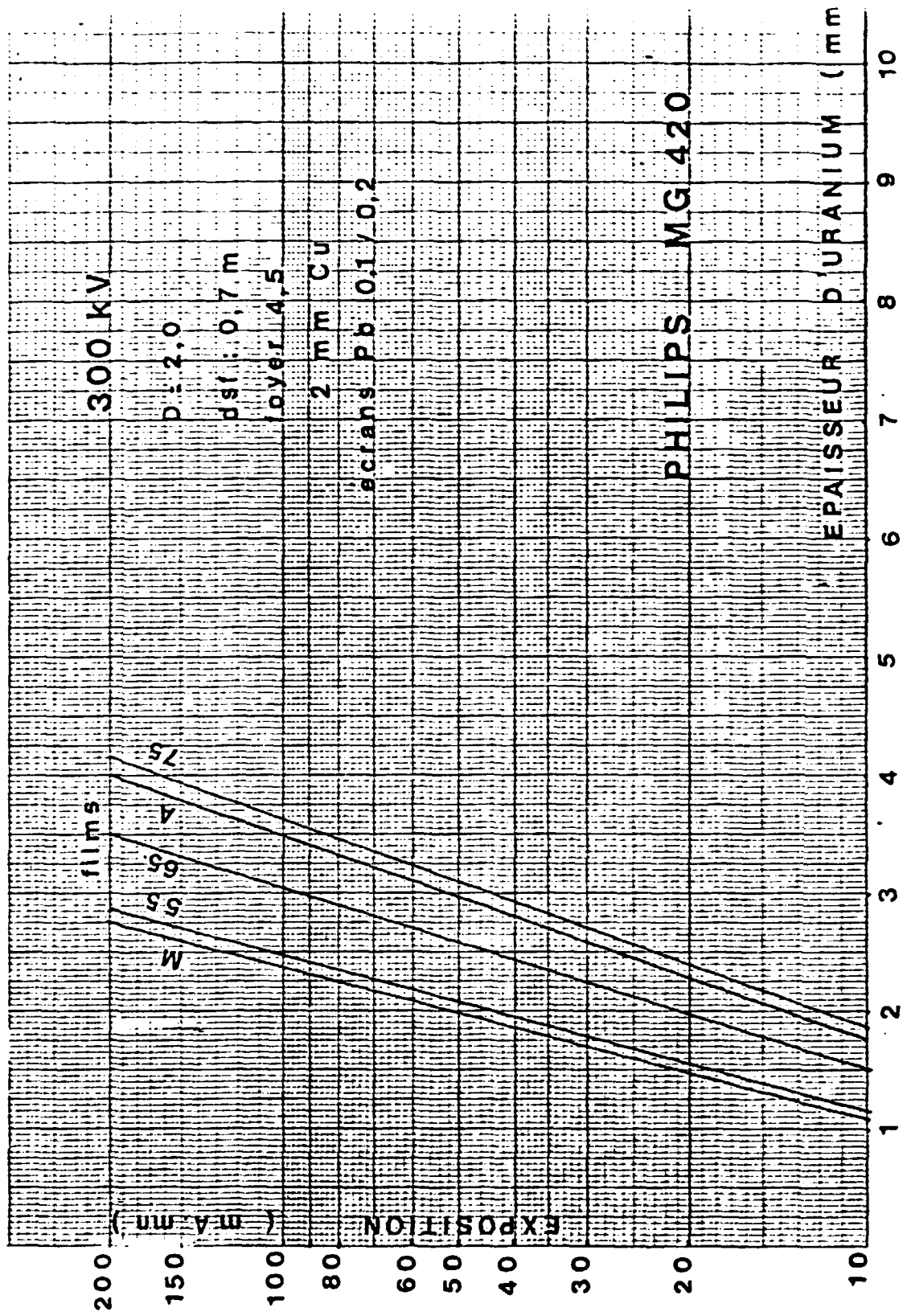


Figure 4

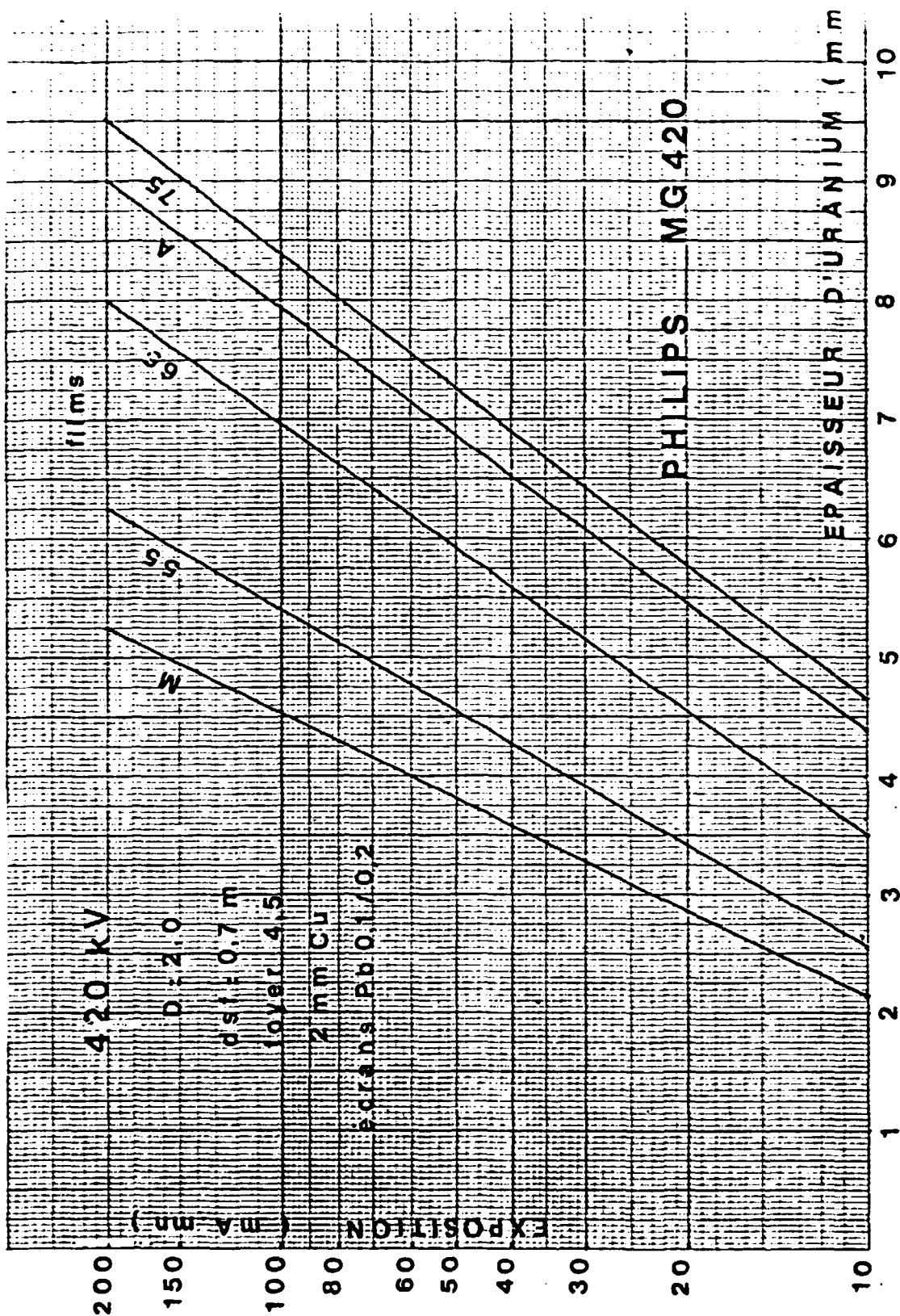


Figure 5

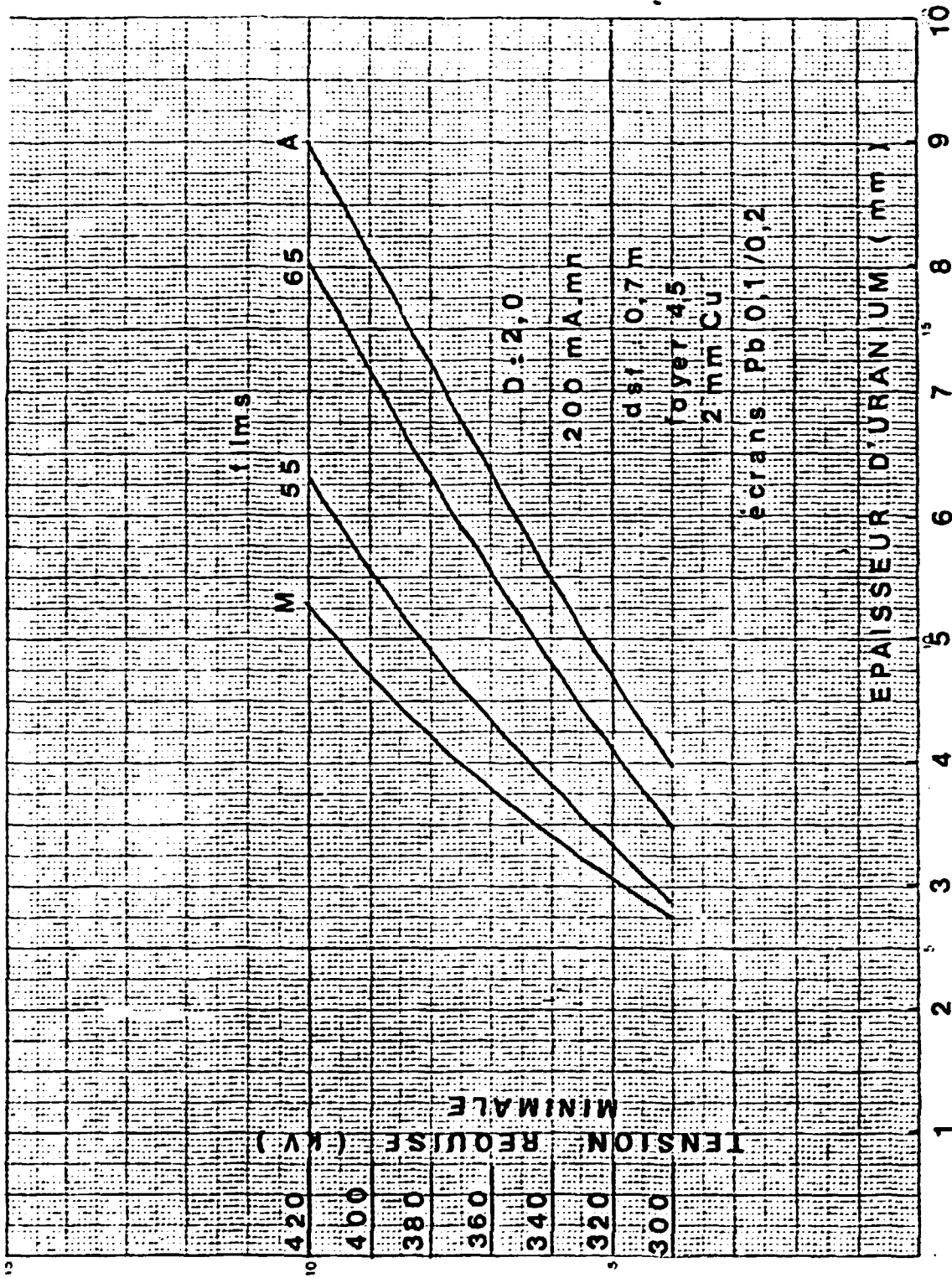


Figure 6

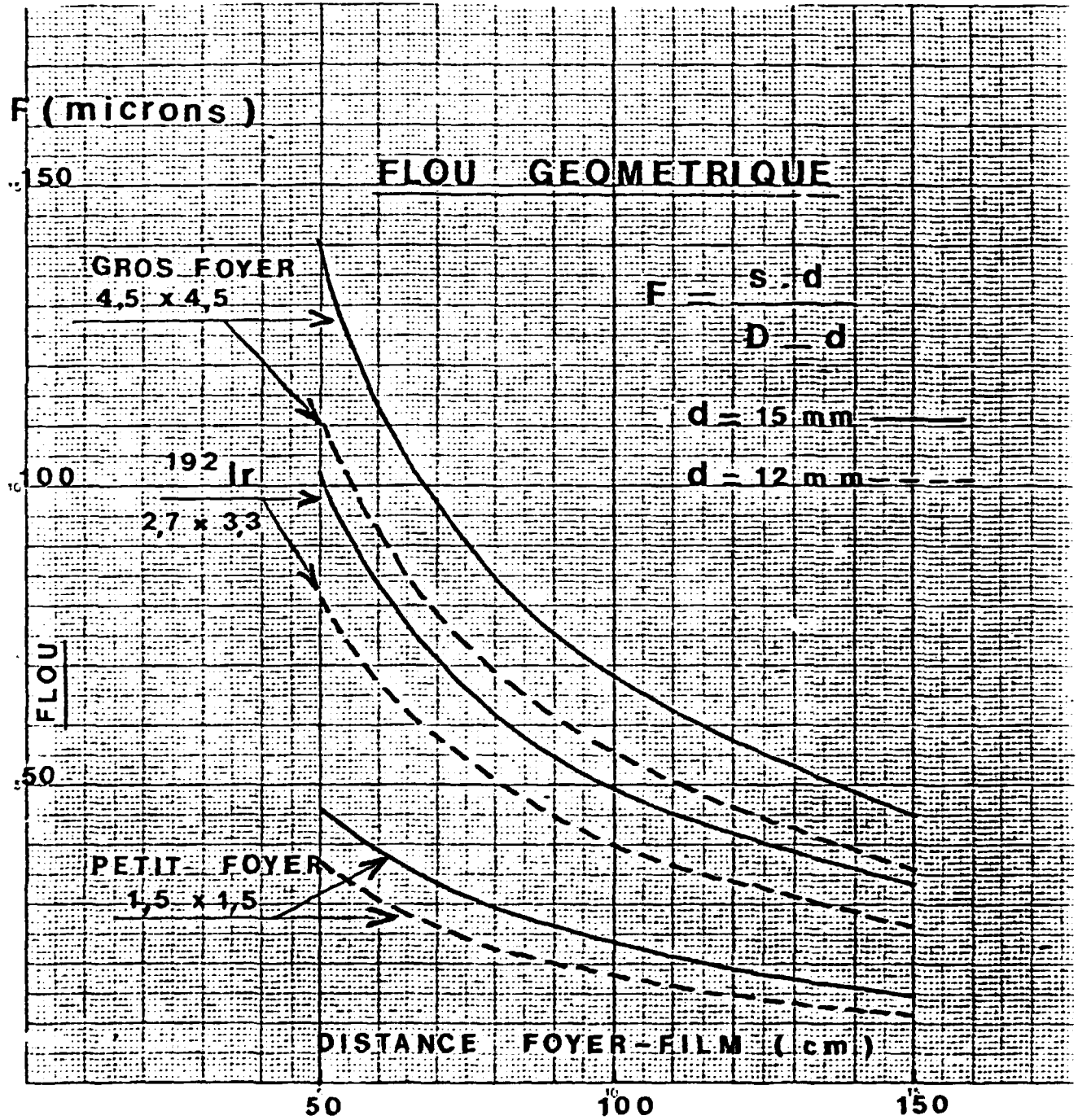


Figure 7

μ (cm⁻¹)

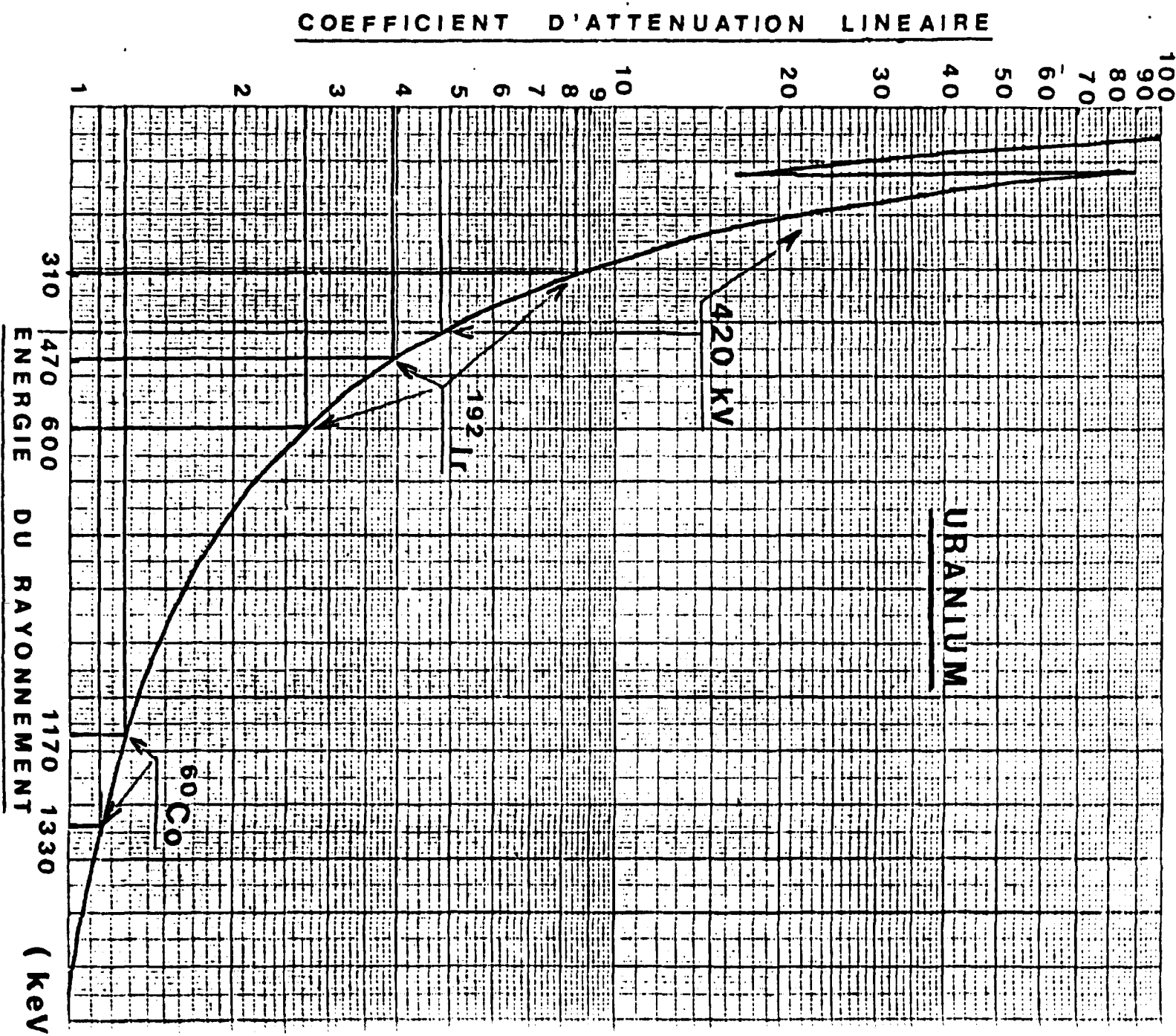


Figure 8

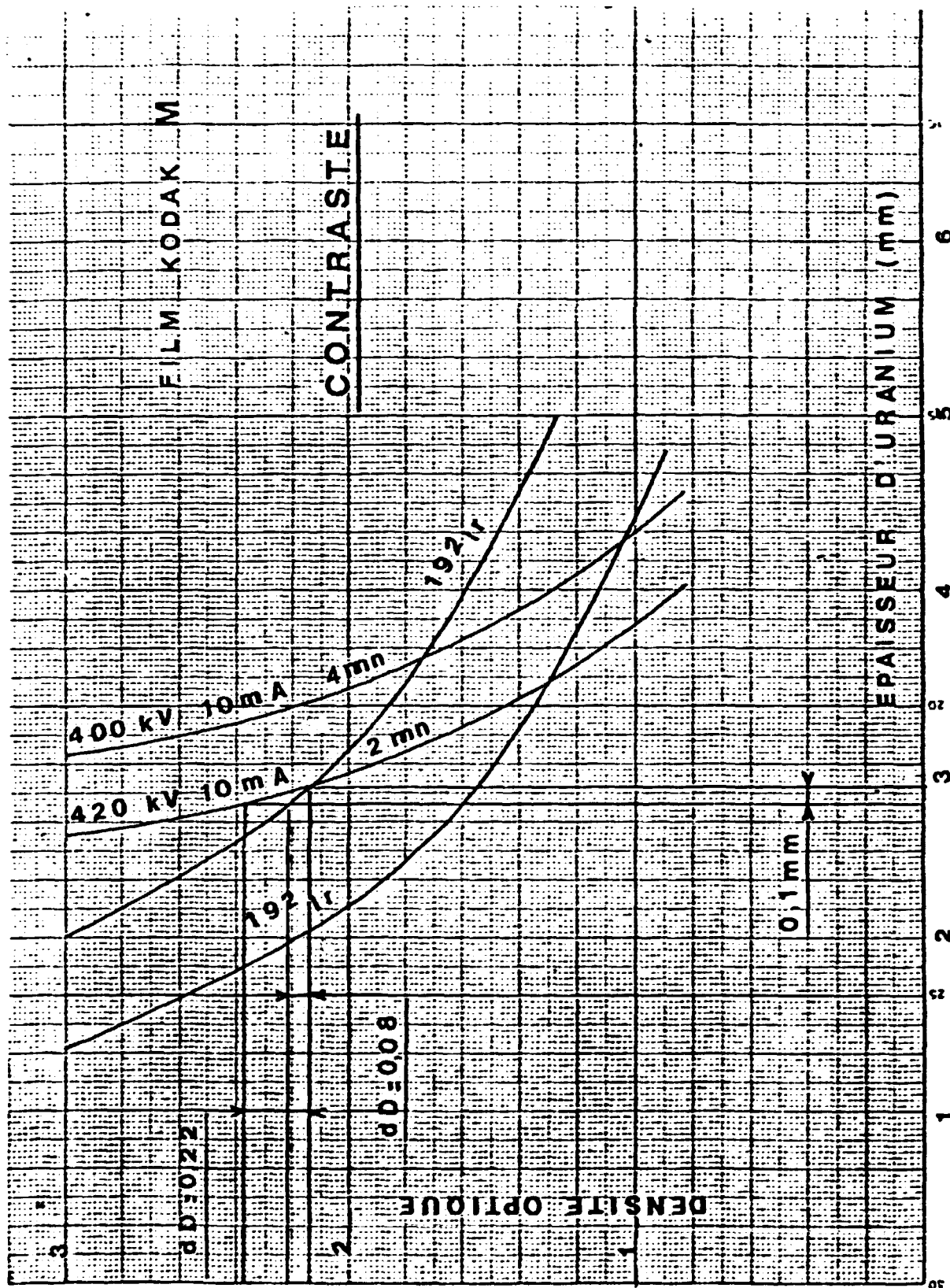


Figure 9

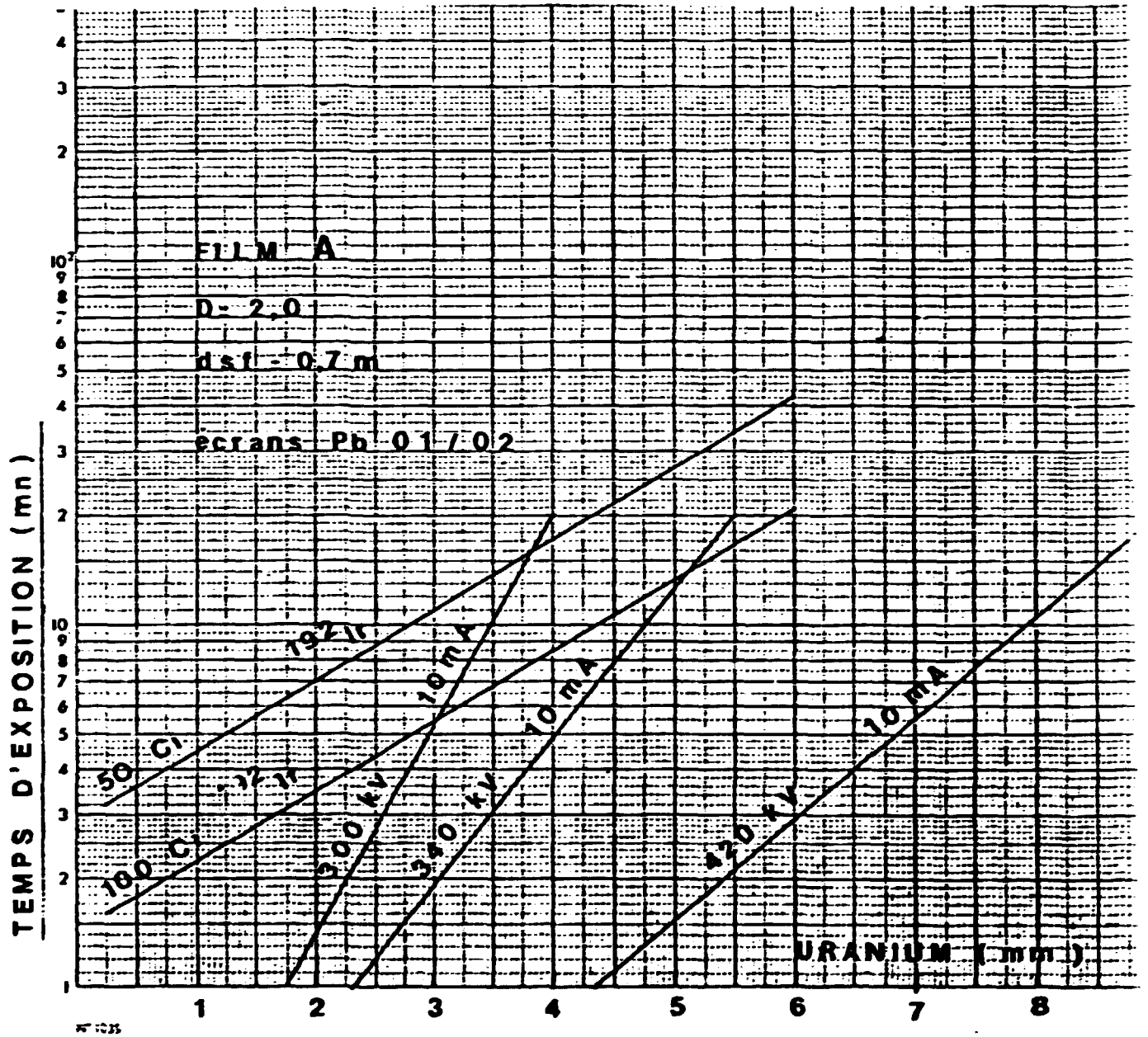


Figure 10

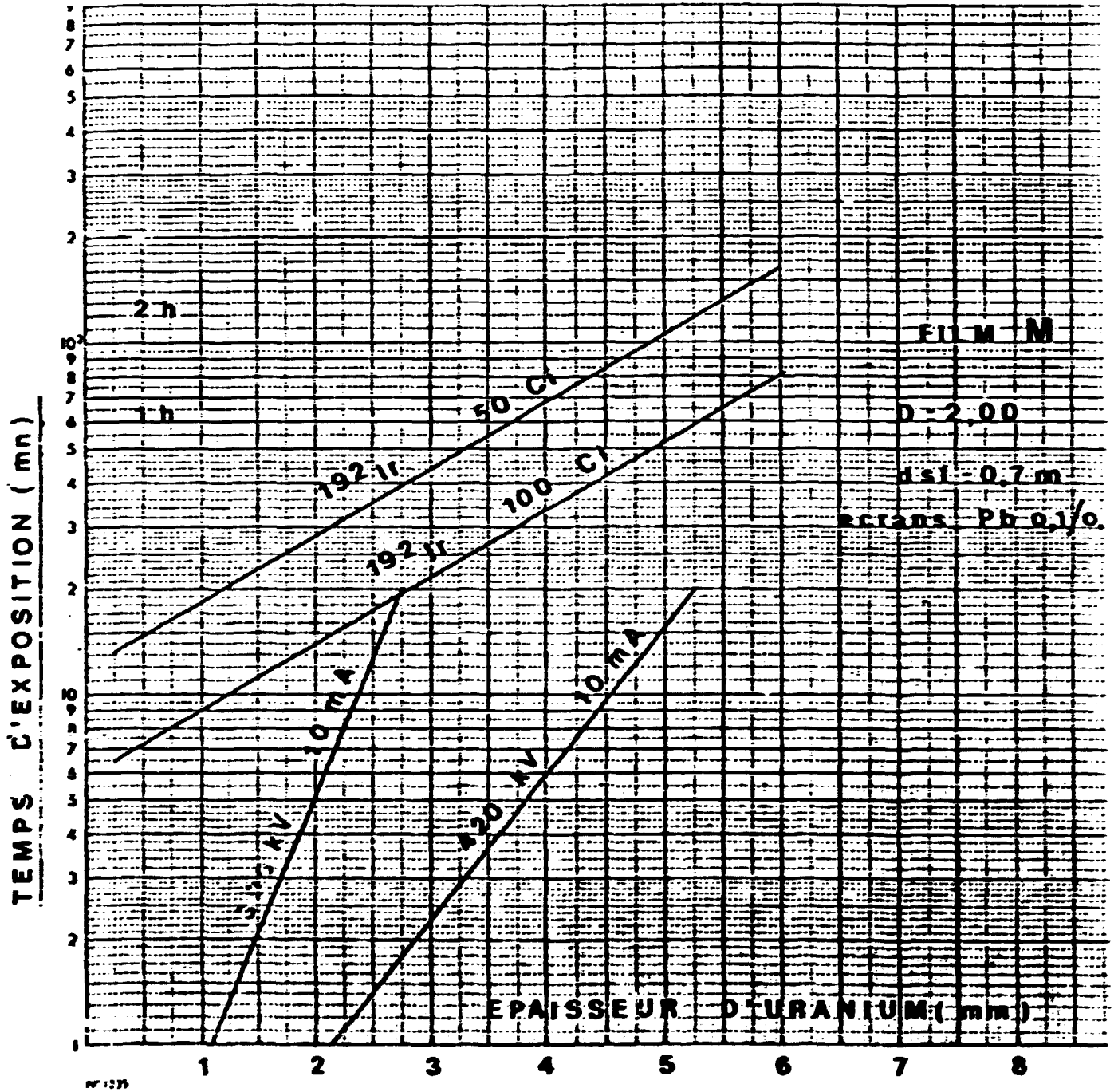


Figure II

Film KODAK A D.S.P. = 0.7 m Ecran Pb D = 2.0	EPAISSEUR D'URANIUM (mm)				
	2	3	4	5	6
RADIOSCOPIE	TEMPS REEL				
RADIOGRAPHIE 300 kV	1 mn	2 mn	5 mn	12,5 mn	
RADIOGRAPHIE 420 kV			1 mn	1,5 mn	3 mn
¹⁰⁰ kV 100 Ci	3,5 mn	5,5 mn	8,5 mn	13,5 mn	21 mn
¹⁰⁰ kV 50 Ci	7 mn	11 mn	17 mn	27 mn	42 mn

TEMPS DE POSE POUR UNE EXPOSITION

Tableau 1

Film 400 et 45 D.E.P. = 1,7 m Source / D = 20	EPAISSEUR D'URANIUM (mm)				
	2	3	4	5	6
RADIOSCOPIE	TEMPS REEL				X
RADIOGRAPHIE 200 kV	2,5 mn	10 mn	X	X	X
RADIOGRAPHIE 400 kV	1 mn	2,5 mn	6 mn	10 mn	X
¹³⁷ Cs 100 Ci	14 mn	22 mn	24 mn	52 mn	70 mn
¹³⁷ Cs 50 Ci	20 mn	44 mn	60 mn	2 h 10 mn	X

TEMPS DE POSÉ POUR UNE EXPOSITION

Tableau 2

Film KODAK A D.S.F. 0,7 m D = 2,0 6 expositions + 50 mm pour opérations diverses	EPAISSEUR D'URANIUM (mm)				
	2	3	4	5	6
RADIOSCOPIE	1 ROTATION EN 1 MINUTE				
RADIOGRAPHIE 340 kV	56 mn	62 mn	1 h 20	2 h 05	
RADIOGRAPHIE 420 kV			56 mn	1 h 00	1 h 08
¹⁹² Ir 100 Ci	1 h 11	1 h 23	1 h 41	2 h 11	2 h 58
¹⁹² Ir 50 Ci	1 h 32	1 h 56	2 h 32	3 h 32	5 h 00

TEMPS D'EXAMEN D'UNE PIECE CYLINDRIQUE
DU DEBUT DE L'IRRADIATION A LA LECTURE DES FILMS

Tableau 3

Film KODAK M D.S.F. 0,7 m D = 2,0 6 expositions + 50 mn pour opérations diverses	EPAISSEUR D'URANIUM (mm)				
	2	3	4	5	6
RADIOSCOPIE	1 ROTATION EN 1 MINUTE				
RADIOGRAPHIE 340 kV	1 h 05	1 h 50			
RADIOGRAPHIE 420 kV	56 mn	1 h 05	1 h 26	2 h 26	
¹⁹² Ir 100 Ci	2 h 14	3 h 02	4 h 14	6 h 02	7 h 00
¹⁹² Ir 50 Ci	3 h 38	5 h 14	7 h 38	11 h 14	

TEMPS D'EXAMEN D'UNE PIECE CYLINDRIQUE
DU DEBUT DE L'IRRADIATION A LA LECTURE DES FILMS

Tableau 4

MANQUE DE MATIERE MINIMAL DETECTE					
EPAISSEUR D'URANIUM	DIAMETRE DU TROU (mm)	¹⁹² Ir	¹⁹² Ir	X 420 kV	SCOPIE 420 kV
		Film A	Film M	Film M	
3,56 mm	1	0,17 (4,7%)	0,17 (4,7%)	0,17 (4,7%)	0,25 (7%)
	1,5	0,17	0,17	0,17	0,17 (4,7%)
	2	0,17	0,17	0,17	0,17
5,06 mm	1	0,25 (5%)	0,25	0,17 (3,4%)	0,57 (11%)
	1,5	0,17	0,17	0,17	0,35 (6%)
	2	0,17	0,17	0,17	0,35
6,56 mm	1	0,25 (3,8%)	0,25	0,25	1,53 (23%)
	1,5	0,17 (2,6%)	0,17	0,17	1,02 (15%)
	2	0,17	0,17	0,17	1,00
8,06 mm	1	0,37 (4,6%)	X		X
	1,5	0,17 (2,1%)			
	2	0,17			
10,1 mm	1	X	X	FILM A	X
	1,5			0,37 (3,7%)	
	2			0,37 (3,5%)	
				0,35	

COMPARAISON ¹⁹² Ir -- X 420 kV -- SCOPIE

Tableau 5

SUPERIORITE DES X 420 KV SUR ¹⁹²Ir

DOMAINE D'ENERGIE REGLABLE (220 à 420 keV)

DEBIT DE DOSE PLUS IMPORTANT

TEMPS D'EXPOSITION REDUITS

CONTRASTE RADIOGRAPHIQUE PLUS ELEVE

POSSIBILITE D'UN FOYER FIN

EPAISSEUR MAXIMALE D'URANIUM =

9 mm - film KODAK A

5 mm - film KODAK M

POSSIBILITE DE RADIOSCOPIE

MEILLEURE SECURITE RADIOLOGIQUE

SUPERIORITE DE ¹⁹²Ir SUR X 420 KV

EQUIPEMENT GAM 120 PLUS TRANSPORTABLE QU'UN MG 420

RAYONNEMENT PANORAMIQUE

NE NECESSITE NI ELECTRICITE NI FLUIDE REFROIDISSEUR

UTILISABLE SUR DES SITES INACCESSIBLES AU MG 420

Tableau 6

