

## BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Etude des sphères modératrices avec compteur à trifluorure de bore

V.D. Huynh

I - Introduction

En vue de l'organisation d'une comparaison internationale de mesures de débits de fluence de neutrons rapides monocinétiques, à la dernière réunion de la Section III (Mesures neutroniques) du Comité Consultatif pour les Etalons de Mesure des Rayonnements Ionisants qui s'est tenue du 5 au 7 avril 1972, on a proposé d'étudier d'une façon plus approfondie quelques types de détecteurs qui serviront éventuellement comme instruments de transfert pour la comparaison. Le Bureau International fut chargé d'effectuer des études sur un détecteur qui est une sphère de polyéthylène, au centre de laquelle est placé un compteur à  $\text{BF}_3$ .

Ce type de détecteur présente plusieurs avantages:

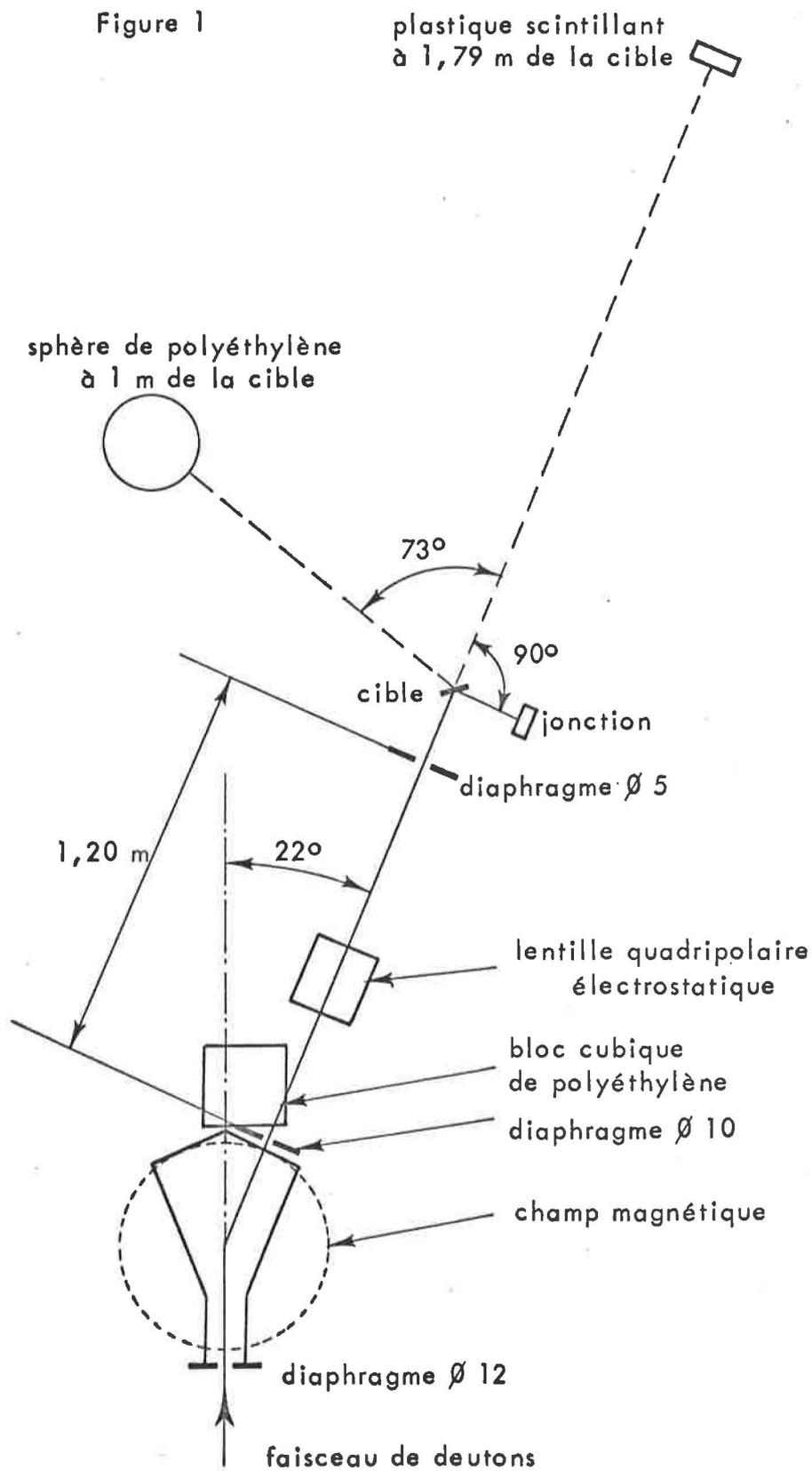
- a) l'efficacité de détection est relativement élevée (quelques  $10^{-4}$  à  $10^{-3}$ );
- b) il est peu sensible aux rayonnements  $\gamma$ ;
- c) le centre effectif du détecteur est confondu avec le centre géométrique de la sphère;
- d) la réponse du détecteur est relativement indépendante de la dispersion en énergie d'un faisceau de neutrons monocinétiques.

II - Conditions expérimentales1. Source de neutrons et détecteurs de normalisation

Nous nous intéressons uniquement aux neutrons produits par la réaction  $\text{D}(d,n)^3\text{He}$ . Nous travaillons avec une énergie incidente de deutons de 140 keV et un courant cible de  $100 \mu\text{A}$ .

Le taux d'émission de la source est de  $1,6 \times 10^7$  neutrons  $\cdot \text{s}^{-1}$ . L'énergie de neutrons est 2,58 MeV. La normalisation des débits de fluence de neutrons s'effectue, soit par la jonction (comptage des protons), soit par le plastique scintillant (comptage des neutrons). La figure 1 montre la disposition géométrique des détecteurs: la jonction à  $90^\circ$  et à 19,4 cm de la cible, le plastique scintillant à  $0^\circ$  et à 1,79 m, et la sphère de polyéthylène à  $73^\circ$  et à 1 m.

Figure 1



## 2. Sphère de polyéthylène avec compteur à $\text{BF}_3$

Nous disposons de 2 sphères de polyéthylène (de fabrications différentes) dont les diamètres sont respectivement de 25,4 cm et de 20 cm. Pour pouvoir utiliser différents compteurs avec une même sphère, il a été percé un canal diamétral cylindrique dans la sphère et chaque compteur est mis dans un fourreau de polyéthylène que l'on glisse dans la sphère, ce qui permet de faire coïncider le centre de la sphère avec celui de la partie active du compteur (Fig. 2).

Trois compteurs à  $\text{BF}_3$  ont été étudiés, dont deux sont de fabrication française (Le Matériel Téléphonique (LMT)); le troisième est de fabrication anglaise (20th Century). Les 2 compteurs LMT sont du même type, mais l'un a un connecteur monté sur le compteur par le fabricant (0,2 NE 3/1 F), et l'autre est sans connecteur (0,2 NE 3/1). Le diamètre du compteur est de 1 cm et la longueur utile de 3 cm. Les caractéristiques électriques sont les suivantes: palier 200 V, pente 3,8% par 100 V, tension appliquée 1 900 V.

Le compteur 20th Century est du type 5 EB 40/13; ses caractéristiques sont: diamètre 1,3 cm, longueur utile 5 cm, palier 200 V, pente 1,7% par 100 V, tension appliquée 1 100 V.

### III - Résultats expérimentaux pour la sphère de 25,4 cm

#### 1. Taux de comptage et sensibilité

Les mesures ont été effectuées pour une distance de 1 m entre le détecteur et la cible. Les résultats sont donnés dans le tableau I.

Tableau I

Référence compteur	Taux de comptage ( $\text{s}^{-1}$ )	Sensibilité (coups/s) pour $1 \text{ n/cm}^2/\text{s}$
N° 20030 (0,2 NE 3/1 F)	16	0,153
N° 20034 (0,2 NE 3/1)	16	0,153
20th Century	25	0,242

#### 2. Centre effectif du détecteur

Le centre effectif du détecteur est bien le centre géométrique de la sphère. En effet, la loi de l'inverse du carré de la distance est bien vérifiée expérimentalement.

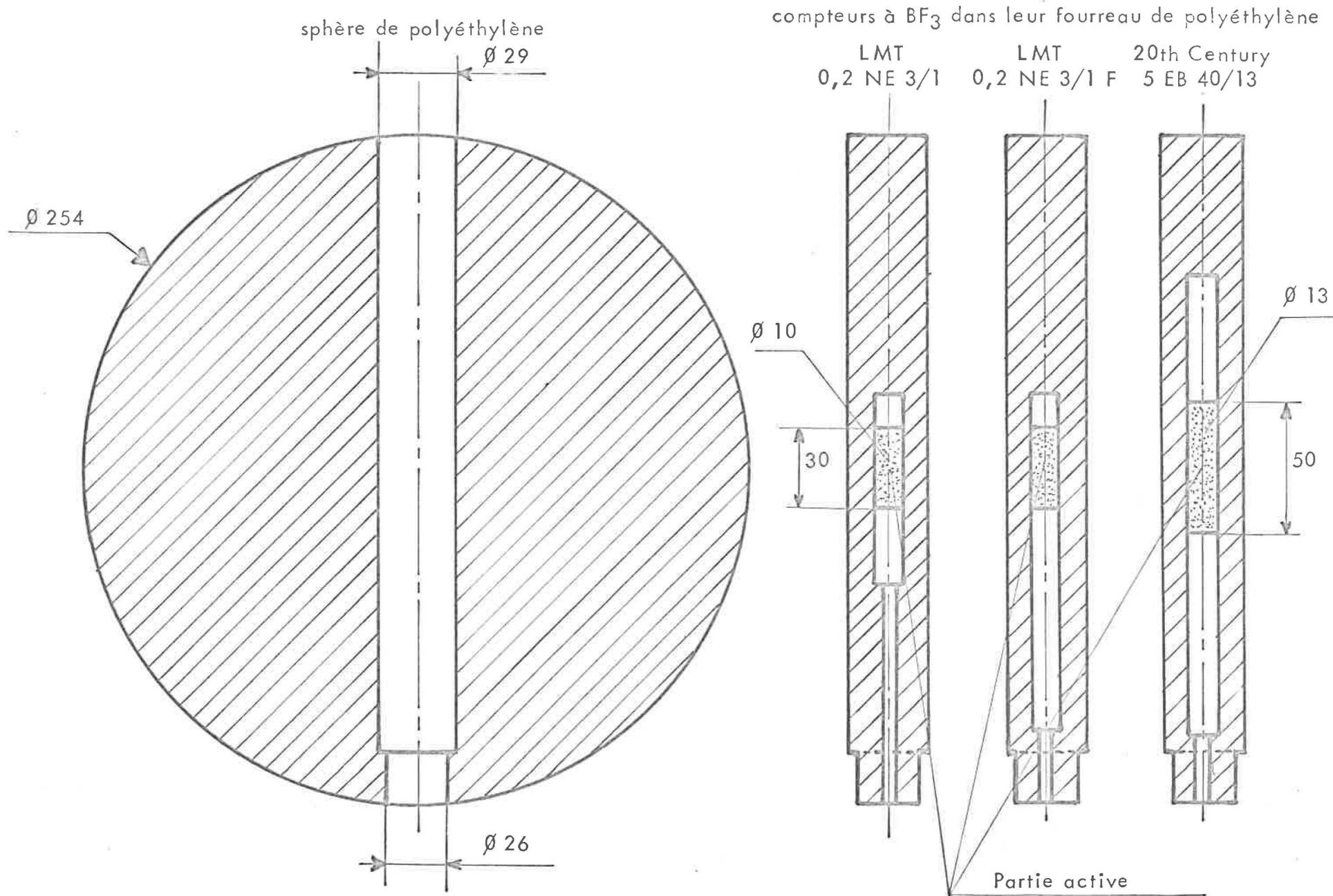


Figure 2 - Sphère de polyéthylène avec compteurs à  $\text{BF}_3$

échelle: 1/2

Les résultats sont résumés dans les tableaux II, III et IV, où  $d$  est la distance entre le compteur à  $\text{BF}_3$  et la cible,  $N_o$  est le comptage  $\text{BF}_3$  corrigé des neutrons diffusés et normalisé au comptage du plastique scintillant, et  $f_n$  est la fraction des neutrons diffusés.

Tableau II

## Compteur N° 20030

$d$ (cm)	45,7	55,0	70	100	138	197,5
$N_o$ ( $\times 10^{-2}$ )	76,3	52,7	32,7	16,08	8,32	4,07
$N_o \times d^2$	1 594	1 594	1 602	1 608	1 585	1 587
$f_n$ (%)	1,5	2,1	3,4	6,7	11,0	21,0

Tableau III

## Compteur N° 20034

$d$ (cm)	45,9	50	55,1	70	100	137,7	197,5
$N_o$ ( $\times 10^{-2}$ )	77,5	64,4	53,1	33,1	16,00	8,58	4,15
$N_o \times d^2$	1 633	1 610	1 613	1 622	1 600	1 627	1 619
$f_n$ (%)	1,4	1,7	2,0	3,5	6,5	11,0	21,0

Tableau IV

## Compteur 20th Century

$d$ (cm)	55	70	100	138	197,8
$N_o$ ( $\times 10^{-2}$ )	83,1	51,7	25,5	13,42	6,51
$N_o \times d^2$	2 514	2 534	2 553	2 556	2 547
$f_n$ (%)	2,0	3,5	6,5	12,0	22,0

### 3. Isotropie de la réponse du détecteur

Dans sa position normale de fonctionnement, l'axe du compteur à BF<sub>3</sub> étant perpendiculaire au plan horizontal détecteur-cible, si l'on fait tourner la sphère autour de son axe vertical, la réponse du détecteur reste constante quelle que soit sa position.

D'autre part, nous avons comparé les taux de comptage pour l'axe du compteur orienté à 0° (compteur horizontal) et à 90° (compteur vertical) par rapport à la direction du faisceau de neutrons. Aux erreurs expérimentales près, nous avons trouvé que ce rapport est égal à 1 pour les 2 compteurs LMT et à 1,032 pour le compteur 20th Century. Le tableau V donne les résultats de ces mesures, où N<sub>p</sub> est le comptage du compteur à BF<sub>3</sub> à 1 m, normalisé au comptage du plastique scintillant, mais non corrigé des neutrons diffusés.

Tableau V

Référence compteur	$\frac{N_p}{p} (0^\circ)$	$\frac{N_p}{p} (90^\circ)$
N° 20030	$17,26 \times 10^{-2}$	$17,13 \times 10^{-2}$
N° 20034	$17,00 \times 10^{-2}$	$17,02 \times 10^{-2}$
20th Century	$28,20 \times 10^{-2}$	$27,30 \times 10^{-2}$

### 4. Reproductibilité et stabilité à long terme

La reproductibilité pour démontage et remontage est  $\lesssim 1\%$ .

En ce qui concerne la stabilité à long terme, les tableaux VI et VII donnent les résultats des 2 séries de mesures effectuées à 1 m respectivement pour le compteur N° 20030 et pour le compteur 20th Century, où N<sub>p</sub> et N<sub>H</sub> sont les comptages BF<sub>3</sub> normalisés respectivement au comptage du plastique scintillant et au comptage des protons.

On constate dans chacune des 2 séries de mesures que la reproductibilité à long terme du comptage BF<sub>3</sub> est de  $\pm 1\%$ . Cependant, il nous manque des informations pour pouvoir comparer les résultats des 2 séries, par suite d'une défaillance de comptage du plastique scintillant (variation importante du seuil de détection due au décollement du cristal de son photomultiplicateur).

Tableau VI  
Compteur N° 20030

<u>1<sup>re</sup> série</u>		<u>2<sup>e</sup> série</u>	
<u>Date</u>	<u>N<sub>p</sub> (x 10<sup>-2</sup>)</u>	<u>Date</u>	<u>N<sub>H</sub> (x 10<sup>-2</sup>)</u>
21.09.72	17,07	28.02.73	5,01
22.09.72	17,14	01.03.73	4,97
26.09.72	17,23	01.03.73	5,01
29.09.72	17,15	06.03.73	5,00
16.10.72	17,22	06.03.73	5,00
03.11.72	17,06	03.04.73	5,08
21.11.72	17,04	03.04.73	5,07
		04.04.73	5,10
moyenne:	17,13	04.04.73	5,00
		05.04.73	5,02
		05.04.73	5,04
		06.04.73	5,06
		06.04.73	5,02
		10.05.73	4,89
		10.05.73	4,93
		11.05.73	4,90
		11.05.73	4,94
		moyenne:	5,00

Tableau VII  
Compteur 20th Century

<u>1<sup>re</sup> série</u>		<u>2<sup>e</sup> série</u>	
<u>Date</u>	<u>N<sub>p</sub> (x 10<sup>-2</sup>)</u>	<u>Date</u>	<u>N<sub>H</sub> (x 10<sup>-2</sup>)</u>
30.10.72	27,22	13.03.73	7,92
30.10.72	27,34	14.03.73	7,95
03.11.72	27,33	14.03.73	7,94
08.11.72	26,93	16.03.73	8,04
		21.03.73	7,85
moyenne:	27,21	21.03.73	7,82
		22.03.73	7,84
		22.03.73	7,97
		23.03.73	7,91
		23.03.73	7,94
		moyenne:	7,92

## 5. Reproductibilité avec différentes chaînes électroniques

Nous disposons de 3 chaînes électroniques que nous désignons comme suit:

- 1<sup>re</sup> chaîne: la chaîne habituellement utilisée pour le compteur à  $\text{BF}_3$ , constituée d'un préamplificateur de charges (N° 1) et d'un amplificateur (N° 1) construits par P. Bréonce (B.I.P.M.);
- 2<sup>e</sup> chaîne: la chaîne habituellement utilisée pour la jonction, constituée d'un préamplificateur Ortec 113 et d'un amplificateur Ortec 435 A;
- 3<sup>e</sup> chaîne: la chaîne constituée d'un préamplificateur du type CEA, modèle PBF 10, et d'un amplificateur (N° 1) de la 1<sup>re</sup> chaîne.

Les bruits de fond sont respectivement de 100 mV, 50 mV et 400 mV, pour la 1<sup>re</sup>, la 2<sup>e</sup> et la 3<sup>e</sup> chaîne, les gains de fonctionnement étant réglés de manière à être sensiblement les mêmes pour les trois chaînes.

Les mesures ont été effectuées avec le compteur N° 20030, placé à 1 m; les résultats ne montrent aucune différence significative parmi les comptages des 3 chaînes.

## 6. Sensibilité aux rayonnements $\gamma$

Les 2 compteurs LMT ont été exposés devant la source de 275 Ci de  $^{60}\text{Co}$  du groupe des rayons X et  $\gamma$  de la Section des rayonnements ionisants. Le comptage (au seuil de discrimination choisi) est nul pour un débit d'exposition allant jusqu'à 200 R/h.

## 7. Importance de la fraction des neutrons diffusés

Dans nos conditions expérimentales (Fig. 1), il se forme une source secondaire de neutrons principalement située à l'endroit où se trouve le diaphragme qui arrête le faisceau moléculaire de deutons incidents à la sortie du champ magnétique. En utilisant une cible neuve d'aluminium à la place de la cible habituelle de titane deutéré, nous avons estimé une contribution d'environ 3% de neutrons provenant de la source secondaire. Afin de réduire l'importance de cette source, nous avons placé un bloc cubique de polyéthylène (11 cm de côté) derrière la boîte à vide du champ magnétique entre le point d'impact du faisceau moléculaire de deutons et le compteur à  $\text{BF}_3$ . (Fig. 1), puis nous avons redéterminé la fraction de neutrons diffusés,  $f_0$ , par la loi de l'inverse du carré de la distance qui est très bien vérifiée expérimentalement. Le tableau VIII donne les résultats obtenus avec le compteur N° 20030. Les notations sont celles utilisées dans le tableau II.

Tableau VIII

d (cm)	45,5	55	70	100	138	197,5
$N_o$ ( $\times 10^{-2}$ )	78,82	53,64	33,32	16,27	8,59	4,20
$N_o \times d^2$	1 632	1 623	1 633	1 627	1 636	1 638
$f_n$ (%)	1,3	1,8	2,9	5,8	10,5	19,3

D'autre part, avec le bloc cubique de polyéthylène en place, les mesures effectuées avec une barre d'ombre (cône de polyéthylène de 40 cm de longueur) montrent que la fraction des neutrons parasites est réduite de  $\approx 2\%$ , c'est-à-dire qu'elle est de 8,9% au lieu de 11% (sphère à 1 m).

Nous signalons ici que la contribution de la source secondaire mesurée en mars 1973 retrouve la valeur de 3% obtenue en décembre 1972; il semble donc qu'actuellement notre source secondaire ait déjà atteint la saturation.

Remarque - On voit d'après le tableau VIII que la fraction des neutrons diffusés (5,8% à 1 m) déterminée par la loi de l'inverse du carré de la distance est en désaccord avec la valeur obtenue par la mesure avec la barre d'ombre (8,9% à 1 m). Il nous semble qu'on puisse expliquer qualitativement cet écart par l'addition des deux effets suivants:

- a) une fraction supplémentaire des neutrons diffusés a été créée par la présence de la barre d'ombre. En effet, une mesure faite avec une barre d'ombre de 46 cm de longueur a montré une augmentation de 0,4% de neutrons diffusés par rapport à celle obtenue avec une barre d'ombre de 40 cm;
- b) les neutrons diffusés ont principalement deux origines: ceux diffusés par la cible (support en cuivre de 1 mm d'épaisseur et de 49 mm de diamètre) et ceux ne provenant pas de la cible (neutrons diffusés ambiants).

Lorsqu'il n'y a pas de barre d'ombre, seuls les neutrons diffusés ambiants interviennent, car pour les neutrons diffusés provenant de la cible, il y a une compensation entre les neutrons partant de la cible, initialement en dehors de l'angle de détection, puis diffusés dans la cible vers la sphère, et les neutrons partant de la cible, initialement dans cet angle, puis diffusés hors de celui-ci. En effet, les mesures faites avec les cibles ayant respectivement 1 mm et 2 mm d'épaisseur de Cu comme support montrent qu'il n'y a pas de différence de comptage du compteur à  $BF_3$ .

Par contre, avec une barre d'ombre entre la cible et la sphère, en plus de la fraction de neutrons diffusés ambiants, qui est déterminée par la loi de l'inverse du carré de la distance, il y a des neutrons diffusés par la partie périphérique de la cible vers la sphère. En effet, lorsque la barre d'ombre est en place, la fraction des neutrons diffusés mesurée avec la cible ayant 2 mm de Cu est de 0,4% plus élevée que celle mesurée avec la cible ayant 1 mm de Cu.

#### IV - Résultats expérimentaux pour la sphère de 20 cm

Avec les mêmes notations que pour les paragraphes précédents, les résultats expérimentaux sont résumés dans les tableaux IX et X.

Tableau IX

Compteur N° 20030 (à 1 m)			Compteur 20th Century (à 1 m)		
Date	$N_p$ (0°) ( $\times 10^{-2}$ )	$N_p$ (90°) ( $\times 10^{-2}$ )	Date	$N_p$ (0°) ( $\times 10^{-2}$ )	$N_p$ (90°) ( $\times 10^{-2}$ )
14.11.72	17,47		09.11.72	29,61	
15.11.72	17,46		09.11.72		28,89
15.11.72		17,52	10.11.72	29,21	
16.11.72		17,69	10.11.72		28,54
			13.11.72		28,65
moyenne:	17,46	17,60	moyenne:	29,41	28,70

Tableau X

Compteur N° 20030

d (cm)	55	70	100	138	197,5
$N_o$ ( $\times 10^{-2}$ )	54,00	32,96	16,48	8,58	4,26
$N_o \times d^2$	1 634	1 615	1 648	1 634	1 662
$f_o$ (%)	2,0	3,5	8,0	14,0	25,0

A partir des tableaux II, V, IX et X, on peut faire les observations suivantes:

- les rapports des taux de comptage pour la sphère de 20 cm et pour la sphère de 25,4 cm sont respectivement de 1,03 pour le compteur N° 20030 et de 1,05 pour le compteur 20th Century;
- le rapport des taux de comptage pour l'axe du compteur orienté à 0° et à 90° par rapport à la direction du faisceau de neutrons est égal à 0,992 pour le compteur N° 20030, tandis que ce rapport est égal à 1,025 pour le compteur 20th Century;

- comme dans le cas de la sphère de 25,4 cm, la loi de l'inverse du carré de la distance est bien vérifiée; le centre effectif du détecteur est donc bien confondu avec le centre géométrique de la sphère;
- la fraction de neutrons diffusés (à 1 m) est 1,3% plus élevée pour la sphère de 20 cm que pour la sphère de 25,4 cm.

#### V - Conclusion

En résumé, cette étude sur les sphères modératrices avec compteur à  $\text{BF}_3$  montre que :

- avec un faisceau de  $1,6 \times 10^7$  neutrons  $\cdot$  s<sup>-1</sup>, pour une distance de 1 m et une durée de mesure de 2 heures, l'erreur statistique est de 0,3%;
- la reproductibilité des mesures à long terme est de  $\pm 1\%$ ;
- le centre effectif du détecteur est confondu avec le centre géométrique de la sphère;
- la réponse du détecteur est isotrope;
- le détecteur est pratiquement insensible aux rayonnements  $\gamma$ ;
- le principal inconvénient est la contribution relativement importante des neutrons diffusés ( $\approx 6\%$  à 1 m); cela exige une détermination très précise de cette contribution.

En conclusion, il semble donc que, dans la région d'énergie de 2,5 MeV, ce type de détecteur se prête bien à être utilisé comme instrument de transfert pour la comparaison internationale de mesures de débits de fluence de neutrons.