

Ceci est un "draft" dont la première diffusion est destinée à provoquer des commentaires. Toute information complémentaire sur les sujets traités ici sera bienvenue.

TAUX D'IRRADIATION DES UNITES DE L'AIMANT.

STATISTIQUES ET PREVISIONS.

I. Introduction

Les unités de l'aimant soumises aux radiations se dégradent lentement, et en particulier, les tôles d'acier se décollent et les enroulements polaires s'affaiblissent. Il est prévu de réparer et même éventuellement de changer les unités endommagées et de remplacer les enroulements polaires déficients. Afin de prévoir la fiabilité du CPS jusqu'à 1985, époque à laquelle il devrait être encore un bon injecteur pour le SPS, il était nécessaire de connaître la distribution des doses dans l'accélérateur dans le passé, afin de pouvoir faire des prédictions pour le futur en fonction des différentes opérations prévues.

Les données présentées ici ne doivent être considérées que comme des ordres de grandeur, car toute précision dans ce domaine est une utopie et il est d'usage de considérer qu'un facteur deux est une marge d'erreur normale. Nous donnons ci-dessous les raisons principales de cette imprécision:

- Les statistiques d'opération du CPS ne peuvent pas être absolument précises et il y a des données qui ne sont pas connues (irradiation pendant le temps de "Machine Development", de "Setting-up", utilisation des "Dumps" etc.). Nous avons estimé que la contribution des ces périodes pour les irradiations était de l'ordre de 10 %. D'autre

part, les prévisions d'opération jusqu'à 1985 sont des estimations très grossières avec des pourcentages très arrondis, entachés d'une grande marge d'incertitude. En plus, les efficacités d'opération (cibles ou éjections) sont assez variables et difficilement prévisibles dans le détail.

- La dosimétrie elle-même donne des résultats variables en fonction de l'énergie, du spectre de particules secondaires, du type de matériau absorbant, de la caractéristique de ce matériau qui est considérée, et surtout de l'emplacement exact des dosimètres qui devrait être connu au centimètre près. Nous avons essayé de normaliser ces données en donnant l'irradiation d'une unité comme étant l'énergie absorbée dans le fer à l'entrée amont de l'unité, au coin du premier bloc le plus près de l'axe de la machine, car c'est la partie la plus exposée. Il faut aussi compter l'effet de "fading" au cours d'une période d'irradiation, car en même temps qu'ils sont activés les dosimètres perdent cette activité (éclaircissement des verres, désintégration radioactive etc. ...) d'une manière difficile à suivre si la période est longue (un mois habituellement). [L'irradiation dans le reste de l'unité a été décrite dans la Réf. 1]
- Les corrélations entre un type d'opération (par exemple la cible O1) et les irradiations autour du CPS sont assez difficiles à définir. Nous avons essayé de trouver les corrélations les plus importantes en examinant les pertes signalées par le système des AIC, et en essayant de les justifier par une théorie.
- Le pourcentage de protons perdus sur un septum d'éjection par rapport au nombre de protons alloués à l'éjection correspondante peut paraître élevé. Il tient compte des essais au cours desquels il arrive accidentellement que tout le faisceau heurte le septum considéré. Il est probable que ces pertes supplémentaires seront diminuées à l'avenir. Les données présentées ici seraient alors pessimistes.

Nous sommes conscients que certains points de cette note peuvent être contestés, mais il fallait néanmoins trouver des chiffres là où ils manquaient et nous nous sommes efforcés de minimiser l'ensemble des contestations possibles. Les résultats seront mieux précisés au fur et à mesure que de nouvelles informations nous parviendront.

II. Normalisation des mesures de doses

Nous avons comparé différentes données à la fois théoriques et expérimentales (Réfs. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10) avec des mesures de radiation que nous avons faites dans le courant de l'année 1972 pour différents types d'opération. Nous avons constaté que, en tenant compte des corrections pour le type de matériau et pour l'emplacement géométrique exact, ces données sont assez cohérentes.

Nous avons normalisé les doses en les ramenant à l'énergie absorbée dans le fer au coin amont du premier bloc d'acier sous l'axe du CPS, soit à 5 cm sous cet axe.

Bien que les facteurs de correction soient particuliers à une section droite donnée et à un type d'opération, nous avons relevé quelques corrections systématiques en faisant les moyennes statistiques sur le maximum de données. Ainsi, par exemple, la dose lue sur un dosimètre du type verre-CERN est, en moyenne, 0,7 fois la valeur théorique de référence, ce qui est une bonne approximation, compte tenu de toutes les incertitudes. Dans ce coefficient, le phénomène de "fading" doit jouer un rôle. Par ailleurs, la moyenne statistique des mesures "Health Physics", ramenées au coin du bloc 1, est 1,4 fois supérieure à la valeur théorique de référence. Mais il y a de grosses variations dans ce coefficient qui est très influencé par la position des dosimètres relative aux sources de radiation à cause de l'effet des neutrons rapides et des particules de basse énergie. De toute façon, cette correction reste dans les limites de la prévision. Les rapports entre les doses mesurées dans les containers mis en place par F. Rohner dans chaque unité,

et les doses qui seraient théoriquement mesurées au point de référence est, en moyenne, $1/3$; mais ce rapport varie suivant les unités considérées. Par exemple, il est $1/2,5$ pour les unités 1, 2 et 33, $1/2$ pour l'unité 8, $1/3,3$ pour les unités 62 et 63 (lorsque le septum 63 est présent) etc.

Pour les prévisions, nous avons utilisé les taux donnés déjà dans la Réf. 1), à savoir:

- a) Pour une cible dans une longue section droite (à 3 m)
 $2 \cdot 10^{-10}$ rad/int.p.;
- b) Pour une cible dans une courte section droite (à 1 m)
 $3 \cdot 10^{-10}$ rad/int.p.;
- c) Pour un septum sur le côté d'une section droite courte
 $2,5 \cdot 10^{-10}$ rad/int.p.

Il est évident que pour déduire des statistiques CPS le nombre de protons interagissants il faut faire quelques hypothèses sur l'efficacité moyenne de production de radiation par les sources. Nous avons pris des efficacités entre 0,66 et 0,75 suivant le type de cible et le type de septum.

Nous avons vérifié que ces taux théoriques étaient en accord avec les statistiques passées.

III. Irradiation causée par la cible 01

- a) Unité 01 : $3 \cdot 10^{-10}$ rad/int.p. sur le bloc 1.
Dose bobine 1/dose bloc 1 = $1/4$
Dose bloc 6/dose bloc 1 = $1/10$
Dose fin aval/dose bloc 1 = $1/8$
Lecture AIC 01 = $3,2 \cdot 10^{-3}$ rad/volt sur le bloc 1.

b) Il est assez difficile de séparer l'effet de la cible 01 de celui de la cible 08: c'est pourquoi il est probable que dans la liste qui suit, certaines doses soient en fait créées par la cible 08 travaillant en parallèle avec la cible 01. Les rapports indiqués ci-dessous sont: dose sur le bloc 1 de l'unité i/dose sur le bloc 1 de l'unité 1.

Unité	02 = 1/3	
	03 = 1/5	
	04 = 1/20	
	05 = 1/30	
	14 = 1/30	
	15 = 1/15	
	17 = 1/20	
	19 = 1/20	
	26 = 1/25	
	28 = 1/25	
	30 = 1/40	
	33 = 1/10	(très variable)
	45 = 1/50	
	47 = 1/20	
	49 = 1/10	dans les premières années du CPS, 1/50 dans de bonnes conditons
	51 = 1/25	
	52 = 1/25	
	53 = 1/25	
	87 = 1/100	
	88 = 1/100	
	89 = 1/100	

Cette liste indique les principales corrélations de ces derniers temps avec des valeurs moyennes. Mais ces corrélations varient beaucoup autant dans leur valeur que dans leur position en fonction de la qualité de l'opération. Les corrélations plus faibles, non mentionnées ici, seront englobées plus loin dans la statistique générale des unités "banales". La lecture des AIC dans des sections droites courtes où il n'y a pas de source est environ $1,07 \cdot 10^{-2}$ rad/volt.

Le rapport entre la dose de routine donnée par la Physique de Santé (HP) pour une section droite sans source et la dose théorique de référence pour l'unité correspondante est, en moyenne, de 1/1,2 (mais ce rapport peut atteindre 1/2 dans certains cas, en particulier à proximité d'une source).

IV. Irradiation causée par la cible 08

a) Unité 08: $2,5 \cdot 10^{-10}$ rad/int.p. sur le bloc 1 de 8.

Dose bobine 1/dose bloc 1 = 1/4

Dose bloc 6/dose bloc 1 = 1/5

Dose fin aval/dose bloc 1 = 1/6

b) Doses associées à l'opération de la cible 08

Nous ajoutons seulement les corrélations qui sont probablement dues à la cible 08 et non à la cible 01:

Unité 09 = 1/2,5

10 = 1/7

11 = 1/25

12 = 1/25

79 = 1/25

87 = 1/100

88 = 1/100

89 = 1/100

V. Irradiation causée par la cible 06

Cette cible n'est plus en service à présent.

Unité 06 = $2,5 \cdot 10^{-10}$ rad/int.p.

Les doses des unités 07 et 08 sont difficiles à corrélérer avec 06, car elles sont masquées par l'effet de 01 et de 08. On peut, néanmoins, penser que l'unité 7 a reçu un tiers de la dose de l'unité 6, dans cette opération.

VI. Irradiation causée par les cibles "Dump" et l'injection

Il est assez difficile de reconstituer et de prévoir les doses causées par ces cibles, car non seulement les statistiques CPS ne donnent pas les protons perdus sur ces "dumps", mais encore ne précisent pas

toujours celle en usage. Dans le passé, la plus importante fut 84. Nous avons estimé qu'en moyenne 10 % des protons accélérés étaient consommés par les "dumps". Mais nous avons ramené ce chiffre à 5 % pour les prévisions en espérant que des progrès seront accomplis pour diminuer cette cause d'irradiation.

Unité suivant la cible "dump", $D = 2,5 \cdot 10^{-10}$ rad/int.p.

Dose D+1/dose D = 1/3

Dose D+2/dose D = 1/5

Dose D+3/dose D = 1/20.

L'injection, quant à elle, pose un problème. En effet, nous constatons que des unités situées dans la région du linac sont dégradées bien que la dosimétrie habituelle n'indique aucune dose particulière dans cette région. Nous essayons en ce moment de faire des mesures de doses avec des détecteurs plus sensibles aux basses énergies pour comprendre ce phénomène.

C'est pourquoi il nous est difficile de faire des prévisions sur les doses qui seront engendrées par l'injection en provenance du synchrotron injecteur à 800 MeV, et sur les possibilités de protection par blindage ou autre. Mais du fait que le faisceau injecté sera déjà bien adapté et que les "kickers" seront à pleine ouverture, nous avons estimé que cette injection provoquerait dix fois moins de dégâts que le linac actuel et que ces dégâts seraient localisés en 42 et 45. Ce point sera surveillé dès que la nouvelle injection sera opérationnelle. Quant à la cible "dump" prévue pour 800 MeV en 37, nous avons estimé qu'elle consommerait 0,5 % du faisceau accéléré et que de toute façon elle serait facile à blinder. A la limite, il sera toujours possible de prévoir des "scrapers" sur la ligne d'injection si le faisceau est trop "salissant".

VII. Irradiation causée par l'éjection lente 62

La reconstitution est difficile, car l'efficacité a beaucoup varié au cours des dernières années et l'équipement lui-même a varié (éjection directe, avec cible - ombre, avec lentille à septum ...).

Considérons d'abord le cas où la lentille à septum 63 était en place. Soit η l'efficacité d'éjection, les protons interagissant dans les septums 62 et 63 sont à peu près $I_p \cdot (1-\eta) \cdot 0,7$. Les doses produites sont $2,4 \cdot 10^{-10}$ rad/int.p. pour 62 et $2,5 \cdot 10^{-10}$ rad/int.p. pour 63. Le partage des doses entre 63 et 62, toujours au point de référence, était 4/1. Voici quelques relations entre différentes doses, avec le septum 63 en service:

- Dose bobine/dose bloc 1(en 62) = 1/5
- Dose aval 62/dose amont 62, lorsque le septum 63 est en service = 1/2,5
- Dose milieu 62/dose bloc 1 de 62 = 1/2
- Dose fin de 63/dose bloc 1 de 63 = 1/15
- Dose 64/dose 63 = 1/2
- Dose 65/dose 63 = 1/3
- Dose 67/dose 63 = 1/5.

Pour les prévisions, nous avons considéré que le septum 63 n'était plus en place, mais que l'éjection SQUARE était en service. En appelant I_{A62} les protons alloués à l'éjection 62, nous avons estimé que le nombre de protons interagissants créant des doses sur les blocs sont *:

- en 62 ≤ 1 % de I_{A62}
- en 83 = 3 % de I_{A62}
- en 85** = 3 % de I_{A62}

* D'une façon générale, tous les pourcentages de perte sur les septums sont indiqués avec une précision de ± 30 % au mieux. Ainsi, lorsque nous indiquons 3 % sur 83, il faut comprendre entre 2 et 4 % environ !

** En réalité, cette dose reçue par l'unité 85 est causée pour 1/4 par les protons perdus sur le septum 83. Ce n'est donc que 2,25 % des protons alloués qui interagissent sur le septum 85, en moyenne, en comprenant toujours les temps "MD" et "SU". Cette remarque est aussi valable pour l'unité 63 vis-à-vis du septum 62.

et que ces protons créaient une dose de $2,4 \cdot 10^{-10}$ rad/int.p. pour 62 et $2,5 \cdot 10^{-10}$ rad/int.p. pour 83 et 85. En plus, nous avons associé les unités:

84 avec dose 84/dose 83 = 1/3
86 " dose 86/dose 85 = 1/3
87 " dose 87/dose 85 = 1/5
63 " dose 63/dose 62 = 1/2,5
64 " dose 64/dose 62 = 1/5
65 " dose 65/dose 62 = 1/20

Il faut aussi compter qu'environ 10 % des protons perdus pour l'éjection sont diffusés élastiquement dans les septums sans avoir la possibilité de créer des doses sur l'unité qui suit et vont se perdre dans la machine *.

VIII. Irradiation causée par l'éjection lente 16

Avec le système SQUARE, en appelant I_{A16} le nombre de protons alloué à cette opération, nous avons considéré que les protons causant des radiations sont:

en 16 ≤ 1 % de I_{A16}
en 83 = 3 % de I_{A16}
en 85** = 3 % de I_{A16}

* Dans le cas des septums situés du côté étroit de l'entrefer (63, 83, 85), la partie du bloc la plus exposée est plus à l'extérieur que dans les cas ordinaires.

** En réalité, cette dose reçue par l'unité 85 est causée pour 1/4 par les protons perdus sur le septum 83. Ce n'est donc que 2,25 % des protons alloués qui interagissent sur le septum 85, en moyenne, en comprenant toujours les temps "MD" et "SU". Cette remarque est aussi valable pour l'unité 63 vis-à-vis du septum 62.

et que ces protons créaient des doses de $2,5 \cdot 10^{-10}$ rad/int.p. En plus, nous avons associé à cette irradiation les unités:

17 avec dose 17/dose 16 = 1/2
84 " dose 84/dose 83 = 1/3
86 " dose 86/dose 85 = 1/3
87 " dose 87/dose 85 = 1/5.

IX. Irradiation causée par les éjections rapides

a) FE 58

Unité 58: $2,5 \cdot 10^{-10}$ rad/int.p., le nombre de protons interagissant dans le septum étant environ 10 % des protons alloués à cette éjection. C'est là une valeur assez élevée, mais fondée sur les statistiques passées. Ce pourcentage semble déjà diminuer ces derniers temps et il est fort probable qu'il sera encore amélioré. Les prévisions faites avec 8 % sont donc probablement pessimistes pour cette éjection.

Dose 59/dose 58 = 1/3

Dose 60/dose 58 = 1/4.

Il n'est pas possible de prévoir exactement quel "kicker" sera utilisé (13 ou 97) et si le FAK 71 sera ensuite le seul utilisé. De toute façon, nous constatons des pertes dans les deux "kickers" rapides. Bien qu'elles soient dues probablement aux opérations qui suivent ou précèdent le mouvement de ces appareils, elles n'en sont pas moins causées par l'opération de l'éjection rapide elle-même. Comme à l'avenir, les pourcentages alloués aux éjections rapides sont assez constants, nous avons estimé que les pertes sur 13 et 97 représentent un peu moins de 2 % des protons alloués aux éjections. Nous sommes conscients que le raisonnement n'est pas très juste car la relation entre les éjections rapides et les irradiations de 13 et 97 est

indirecte. Néanmoins, il correspond jusqu'ici à une certaine réalité statistique. Nous avons ensuite réparti cette perte moitié-moitié entre 13 et 97. D'où les chiffres suivants :

Dose en 13 = causée par 1 % des protons alloués au taux de $2,5 \cdot 10^{-10}$ rad/int.p.

Dose en 97 = causée par 1 % des protons alloués au taux de $2,5 \cdot 10^{-10}$

Dose en 14 = la moitié de celle en 13

Dose en 95 = autant qu'en 97 (effet de dump, assez variable)

Dose en 98 = la moitié de celle en 97.

Ces appareils devraient cesser leur service vers 1975. Toutefois, comme nous ignorons si leurs remplacements provoqueront ou non des doses et à quel emplacement ces doses apparaîtront, nous avons considéré que ces irradiations continueraient jusqu'en 1985. Seules changeraient les unités affligées.

b) FE 74

Unité 74: $2,5 \cdot 10^{-10}$ rad/int.p., le nombre de protons interagissant dans le septum étant environ 5 % des protons alloués.

Dose 75/dose 74 = 1/2,5.

Les doses sur 13, 14, 95, 97, 98 correspondent aux mêmes pourcentages que pour l'éjection 58.

c) FE 16

Unité 16: $2 \cdot 10^{-10}$ rad/int.p., le nombre de protons interagissant dans le septum étant environ 4 % des protons alloués.

Dose 17/dose 16 = 1/2.

Les doses sur 13, 14, 55, 97, 98 correspondent aux mêmes pourcentages que pour l'éjection 58.

X. Unités banales

Nous avons considéré que toutes les unités ayant reçu à la fin de 1971 moins de $6 \cdot 10^7$ rads depuis le début du PS ne pouvaient pas être corrélées à une source de radiation avec suffisamment de certitude. Leur irradiation provient donc de l'accélération elle-même et des multiples détails peu cohérents liés aux opérations.

Il y en avait à cette époque (fin 1971) 54 totalisant à elles seules $1,6 \cdot 10^9$ rads, soit une moyenne de $2,9 \cdot 10^7$ rads par unité pour une accélération totale de $0,3 \cdot 10^{19}$ protons. Nous avons donc estimé qu'une unité "banale", c'est-à-dire difficile à corréler à une cause, recevait en moyenne une dose de $4,5 \cdot 10^{-13}$ rad/int.p.

Ce principe, consistant à prévoir pour chaque unité banale la même dose moyenne, donne des résultats plus cohérents que le principe qui consisterait à multiplier individuellement chaque dose déjà mesurée sur les unités par le pro-rata des protons accélérés. En effet, ce qui nous intéresse c'est de prévoir la quantité moyenne d'unités risquant d'être endommagées et non le sort individuel des unités banales qui est imprévisible dans le détail, la distribution azimutale des doses n'étant pas stable dans le temps.

Jusqu'à 1971, nous n'avions que 6 unités qui avaient reçu des doses anormalement basses, à savoir 27, 38, 40, 46, 82, 96 sans que l'on puisse vraiment savoir pourquoi. Il semble que la région autour de 40 soit nettement moins irradiée que le reste de la machine, mais il est difficile d'en tenir compte dans les prévisions futures.

Parmi les unités banales, les numéros pairs reçoivent, en grande majorité, moins de dose que les impairs. Cet effet de "wiggles" est très marqué et atteint souvent un facteur 2 à 3, ce qui montre que les pertes sont provoquées principalement par le comportement horizontal du faisceau. En conclusion, les prévisions d'irradiation des unités banales vont montrer

une distribution adoucie où les détails seront perdus. Il faut seulement garder à l'esprit que d'une part une dizaine d'unités présenteront des doses très basses, peut-être encore dans la région des 40, et que d'autre part, les unités paires banalisées recevront en moyenne moins de dose que les unités impaires.

XI. Histogramme des irradiations jusqu'à fin 1972

Le Tableau I montre les doses reçues par les unités, toujours normalisées au point de référence, du début du CPS jusqu'à fin 1972. Il y a 104 unités considérées, car nous avons introduit dans ces statistiques les 4 unités remplacées.

La Figure I montre la distribution des doses mesurées par la Physique de Santé entre 1966 et 1971, au début de chaque section droite, sur la chambre à vide.

Le Tableau IIa montre l'histogramme des irradiations du début jusqu'à fin 1972 pour un certain choix de tranches, alors que le Tableau IIb montre cet histogramme pour des tranches correspondant toutes à un facteur 2. En effet, les irradiations sont une fonction linéaire de l'utilisation de la machine et, par conséquent, la représentation en échelle logarithmique peut être trompeuse.

Les Figures 2a et 2b représentent les histogrammes des Tableaux IIa et IIb respectivement.

Le pic de la distribution se trouve vers $4 \cdot 10^7$ rads et la queue s'allonge jusqu'à 10^9 rads.

XII. Courbe de fiabilité

En considérant pour chaque tranche d'irradiation la proportion d'unités endommagées ayant reçu ces doses, nous obtenons le risque de pannes (p) en fonction de l'irradiation, et la fiabilité $f = 1-p$.

En essayant de faire passer une courbe suivant ces points, nous obtenons la courbe de la Figure 3 qui est, dans la représentation semi-logarithmique, une droite partant de $5 \cdot 10^7$ pour tomber à $8 \cdot 10^8$ avec une fiabilité nulle. Malheureusement, le départ de cette courbe est imprécis, car nous ne savons pas encore comment tenir compte des cas des unités 22, 23 et 24 qui paraissent anormalement placées (données avec le point d'interrogation), comme si elles avaient reçu plus de dose que nous en aurions mesurées.

Néanmoins, il n'y a pas d'unité endommagée pour des doses inférieures à $2 \cdot 10^7$ et il n'y a pas d'unité en bon état pour des doses supérieures à $8 \cdot 10^8$ rads. Il se trouve que cette courbe de fiabilité reproduit assez fidèlement la dégradation de la résistance mécanique de l'araldite soumise aux radiations [Réf. 8)]. Nous constatons sur ces courbes que la moitié du CPS se trouve dans cette fourchette.

Pour établir cette courbe nous avons utilisé les données au début de 1972.

XIII. Prévisions d'opération jusqu'au 1985

Le Tableau III montre les prévisions les plus probables à ce jour suivant des estimations faites en collaboration avec G. Munday et O. Barbalat. Il ne sert à rien de discuter ces prévisions dans le détail, car seuls nous intéressent les ordres de grandeur des irradiations.

XIV. Prévisions d'irradiation jusqu'au 1985

En partant des données du Tableau III et des corrélations indiquées plus haut, nous obtenons la dernière colonne du Tableau I donnant les irradiations des unités au point de référence. Il est évident que des progrès seront accomplis pour les pertes sur les septums. Ces données peuvent donc être pessimistes, par exemple pour les unités 85 et 16 avec leurs unités associées.

Pour estimer les doses "banales" non corrélables, nous avons divisé les protons accélérés en deux groupes:

- a) les protons pour la physique à 25 GeV/c créant des doses banales de $4,5 \cdot 10^{-13}$ rad/acc.p. dans les unités non corrélées. Mais il ne faut pas perdre de vue que les unités corrélées continuent à recevoir des doses "banales". Nous avons donc été amenés à ajouter aux doses corrélées aux opérations une dose "banale" moyenne de 0,7 fois la valeur "banale non corrélée", soit $3,1 \cdot 10^{-13}$ rad/acc.p.;
- b) les protons accélérés à 10 GeV/c créant des doses banales de $1 \cdot 10^{-13}$ rad/acc.p. Ce dernier chiffre provient d'une part du fait que la dose varie avec l'énergie (nous avons pris la variation en $E^{0,66}$ comme première approximation) et aussi que l'opération à 10 GeV/c sera plus propre, car il n'y aura pas de sources particulières, si ce n'est l'éjection rapide en 16. (N'ayant pas encore de données sur l'éjection continue, nous avons pris celles de l'éjection rapide.) Pour ce dernier point nous avons intuitivement compté un facteur 2.

XV. Fiabilité future

Nous pouvons donc maintenant prévoir l'histogramme des irradiations jusqu'en 1985 suivant les Tableaux IVa et IVb et les courbes 4a et 4b correspondantes obtenues suivant les deux principes de découpage des tranches décrit plus haut. Les trois unités influencées par le "dump" sont appelées D, D+1 et D+3, mais elles seront choisies parmi celles de la classe la moins irradiée.

Pour prévoir le risque d'incident, nous avons multiplié chaque tranche par la fiabilité correspondante, tout en estimant qu'une unité réparée pouvait ensuite supporter jusqu'à $5 \cdot 10^9$ rads.

Ce total donne environ 60 unités à réparer d'ici 1985. De ces 60 nous retranchons les 13 déjà endommagées en 1972 et devant être réparées d'ici la fin de 1973. Il restera donc à réparer 47 unités entre début 1974 et fin 1985 au rythme suivant:

2,5/an dans les premières années pour atteindre
4/an à partir de 1978 environ.

Il n'est pas exclu que les 100 unités soient renforcées lors d'un seul arrêt.

XIV. Influence des opérations futures sur les irradiations

Pour pouvoir se faire une idée de l'importance des causes d'irradiation nous donnons ci-dessous la liste des pourcentages d'irradiations créées par chaque source, pour les 13 années prévues, soit du début 1973 à la fin 1985:

- accélération, doses "banales" difficiles à corrélés	23	%
- cibles 01 et 08 y compris les unités 01 et 08	43	%
- cibles 01 et 08 non compris les unités 01 et 08	(22	%)
- SE 16	1,2	%
- SE 62	13	%
- FE 16	1,1	%
- FE 58	4	%
- FE 74	1,7	%
- Dump	12	%
- Injection (prévision difficile, à revoir)	1	%
	<u>100</u>	<u>%</u>
	=====	

R. Gouiran

Distribution: Membres du Groupe de Travail sur l'Aimant du CPS
M. Hoefert, L. Hoffmann, J.H.B. Madsen, G.L. Munday,
M. Nielsen, P.H. Standley, Ch. Steinbach, M. Van de Voorde,
C.J. Zilverschoon

REFERENCES

- 1) R. Gouiran
"Irradiation of CERN PS Magnet Steel Blocks"
Note MPS/MU/EP 72-14, RG-ld
- 2) G.J. Levine, D. Squier, G.B. Stapleton, G.R. Stevenson
The angular dependence of dose and hadron yields from targets
in 8 GeV/c and 24 GeV/c extracted proton beams
Particle accelerators - 1972. Vol. 3, pp. 91-101
- 3) M. Hoefert, Ch. Steinbach
Communication privée
- 4) J. Ranft, J.J. Routti
"Fluka and Magka, Monte-Carlo program for calculating
nucleon-meson cascades in cylindrical geometries"
CERN Lab. II RA/71-4
- 5) J.H.B. Madsen, M. Van de Voorde
Results of radiation dose measurements in the PS tunnels
MPS/Int. CO 67-7
- 6) J. Hoffmann, M. Sullivan, J.A. Geibel, J. Ranft
Shielding studies in steel with 10 and 20 GeV/c protons
Nuclear Instrument and Methods, 1965, 45-69
- 7) S. Charalambus, K. Goebel, D. Nachtigall
Angular distribution of secondary particles and dose-
rates produced by 19.2 GeV/c protons bombarding thin
Be, Al, Cu and U targets
CERN DI/HP/97 (1967)
- 8) M. Van de Voorde
Action des radiations ionisantes sur les résines poxydes
CERN 70-10 (1970)
- 9) C.D. Johnson, R. Sheldon, G.B. Stapleton
Measurements of radiation dose distribution generated
by targetting in the CERN proton synchrotron
RHEL/M 175, Rutherford Laboratory (1969)
- 10) J. Ranft, J.J. Routti
Hadron cascade calculations of angular distribution of
integrated secondary particles fluxes from external
targets and description of program FLUKU
CERN Lab II RA/72-8

TABLEAU I

DOSES, EN RAD, A 5 CM SOUS L'AXE,
A L'ENTREE DE L'UNITE CORRESPONDANTE

Unité	Fin 1972	Fin 1985
<u>1</u> (T 30)	$6 \cdot 10^8$	
<u>1</u> (T 37)	$1 \cdot 10^9$	
1 ⁺ (T 38)	$8,9 \cdot 10^8$	$4,6 \cdot 10^9$
<u>2</u> (U 9)	$7,2 \cdot 10^8$	
2 ⁺ (U 18)		$1,3 \cdot 10^9$
3	$4,7 \cdot 10^8$	$1,3 \cdot 10^9$
4	$1,2 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^8$
5	$8,6 \cdot 10^7$	$3,7 \cdot 10^8$
<u>6</u> (R 6)	$5 \cdot 10^8$	
6 ⁺ (R 36)	$8 \cdot 10^6$	$2,8 \cdot 10^8$
<u>7</u> { amont = { { aval =	{ $1,7 \cdot 10^8$ { { $2,5 \cdot 10^8$	{ $3,4 \cdot 10^8$ { { $5 \cdot 10^8$
<u>8</u> (U 4)	$1,3 \cdot 10^9$	
8 ⁺ (U 16)	$8,2 \cdot 10^8$	$5,4 \cdot 10^9$
<u>9</u>	$6,8 \cdot 10^8$	$2,5 \cdot 10^9$
<u>10</u>	$2,9 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^9$
11	$1,4 \cdot 10^8$	$4,7 \cdot 10^8$
<u>12</u>	$1,4 \cdot 10^8$	$4,7 \cdot 10^8$
13	$7,3 \cdot 10^7$	$5,4 \cdot 10^8$
14	$9,1 \cdot 10^7$	$3,1 \cdot 10^8$
15	$1,6 \cdot 10^8$	$5,6 \cdot 10^8$

!! Unités soulignées (1) = dégâts constatés début 1972

Unités marquées d'une croix (1⁺) = nouvelle fabrication

TABIEAU I
(page 2)

Unité	Fin 1972	Fin 1985
16	$5 \cdot 10^7$	$5,7 \cdot 10^8$
17	$1,3 \cdot 10^8$	$6,2 \cdot 10^8$
18	$5,9 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^8$
19	$2,2 \cdot 10^8$	$4,7 \cdot 10^8$
20	$3,6 \cdot 10^7$	$3,6 \cdot 10^8$
21	$4,2 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^8$
<u>22</u>	$3 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^8$
<u>23</u>	$2,2 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^8$
<u>24</u>	$3 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^8$
25	$5,6 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^8$
26	$9,3 \cdot 10^7$	$3,6 \cdot 10^8$
27	$1 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^8$
<u>28</u>	$7,3 \cdot 10^7$	$3,6 \cdot 10^8$
29	$5,2 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^8$
30	$4,2 \cdot 10^7$	$3,1 \cdot 10^8$
31	$4,6 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^8$
32	$4,4 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^8$
33	$2,6 \cdot 10^8$	$7,8 \cdot 10^8$
34	$4,6 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^8$
35	$5,6 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^8$

TABLEAU I
(page 3)

Unité	Fin 1972	Fin 1985
36	$2,4 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^8$
37	$2,8 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^8$
38	$1 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^8$
39	$2 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^8$
40	$4 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^8$
41	$2,6 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^8$
42	$2,6 \cdot 10^7$	$4,7 \cdot 10^8$
43	$2,6 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^8$
44	$2,6 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^8$
45	$6 \cdot 10^7$	$5,8 \cdot 10^8$
46	$1,3 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^8$
47	$7 \cdot 10^7$	$3,6 \cdot 10^8$
<u>48</u>	$2,6 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^8$
<u>49</u>	$1,7 \cdot 10^8$	$7,3 \cdot 10^8$
50	$6,6 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^8$
51	$9,3 \cdot 10^7$	$4,4 \cdot 10^8$
52	$9,3 \cdot 10^7$	$4,4 \cdot 10^8$
53	$1,3 \cdot 10^8$	$4,8 \cdot 10^8$
54	$8,6 \cdot 10^7$	$2,8 \cdot 10^8$
55	$5,6 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^8$

TABLEAU I
(page 4)

Unité	Fin 1972	Fin 1985
56	$3,2 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^8$
57	$4,6 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^8$
<u>58</u>	$2,4 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^9$
59	$7 \cdot 10^7$	$4,7 \cdot 10^8$
60	$6 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^8$
61	$3,6 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^8$
<u>62</u> (mont =	($1,2 \cdot 10^8$	($7,5 \cdot 10^8$
(aval =	($7,6 \cdot 10^7$	($3 \cdot 10^8$
<u>63</u>	$3,6 \cdot 10^8$	$7 \cdot 10^8$
64	$2,4 \cdot 10^8$	$4,7 \cdot 10^8$
65	$1,27 \cdot 10^8$	$3,1 \cdot 10^8$
66	$5,6 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^8$
67	$7 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^8$
68	$5,6 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^8$
69	$6,6 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^8$
70	$1,8 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^8$
71	$3,6 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^8$
72	$1,8 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^8$
73	$2 \cdot 10^7$	$1,9 \cdot 10^8$
74	$1 \cdot 10^8$	$5,6 \cdot 10^8$
75	$5,8 \cdot 10^7$	$3,2 \cdot 10^8$

TABLEAU I
(page 5)

Unité	Fin 1972	Fin 1985
76	$5,6 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^8$
77	$3 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^8$
78	$2 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^8$
79	$6,9 \cdot 10^7$	$3,8 \cdot 10^8$
80	$1,6 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^8$
81	$2,5 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^8$
82	$1,4 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^8$
83	$4,2 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^9$
84	$7 \cdot 10^8$	$1,8 \cdot 10^9$
85	$8,6 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^9$
86	$9,1 \cdot 10^7$	$8,2 \cdot 10^8$
87	$1 \cdot 10^8$	$6,5 \cdot 10^8$
88	$7,4 \cdot 10^7$	$2,8 \cdot 10^8$
89	$5,4 \cdot 10^7$	$2,8 \cdot 10^8$
90	$3 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^8$
91	$2,2 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^8$
92	$2,3 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^8$
93	$4,6 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^8$
94	$2,6 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^8$
95	$6,3 \cdot 10^7$	$3,5 \cdot 10^8$

TABLEAU I
(page 6)

Unité	Fin 1972	Fin 1985
96	$1,6 \cdot 10^7$	$1,9 \cdot 10^8$
97	$6,3 \cdot 10^7$	$3,7 \cdot 10^8$
98	$2,9 \cdot 10^7$	$2,7 \cdot 10^8$
99	$3,4 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^8$
100 {	{	{
amont =	$3,6 \cdot 10^7$	$1,7 \cdot 10^8$
aval =	$3 \cdot 10^8$	$6 \cdot 10^8$
"Dump D"		$3 \cdot 10^9$
D+1		$1 \cdot 10^9$
D+2		$6,3 \cdot 10^8$
D+3		$1,8 \cdot 10^8$
"Dump booster"		$6 \cdot 10^7(?)$

TABLEAU Iia

DISTRIBUTION DES IRRADIATIONS DU DEBUT
DU CPS JUSQU'A FIN 1972

Tranche (rads)	Nombre d'unités	Numéros des unités	Fiabilité moyenne
1 à $2,5 \cdot 10^9$	1	<u>8</u> (U4)	0
7,5 à $10 \cdot 10^8$	3	<u>1</u> (T37), 1 ⁺ (T38), 8 ⁺ (U16)	0
5 à $7,5 \cdot 10^8$	4	<u>1</u> (T30), <u>2</u> (U9), <u>9</u> , 84	0,15
2,5 à $5 \cdot 10^8$	4	3, <u>6</u> (R6), <u>10</u> , <u>63</u>	0,3
1 à $2,5 \cdot 10^8$	14	4, <u>7</u> , 11, <u>12</u> , 15, 17, 19, 33, <u>49</u> , 53, <u>58</u> , <u>62</u> , 64, 65	0,55
7,5 à $10 \cdot 10^7$	11	5, 14, 26, 51, 52, 54, 69, 74, 85, 86, 87	0,80
5 à $7,5 \cdot 10^7$	21	13, 18, 25, <u>28</u> , 35, 45, 47, 50, 59, 60, 61, 66, 67, 75, 76, 79, 88, 89, 95, 97, 100	0,9
2,5 à $5 \cdot 10^7$	27	16, 20, 21, <u>22</u> , <u>24</u> , 29, 30, 31, 32, 34, 37, 40, 41, 42, 43, 44, 55, 56, 57, 68, 71, 77, 81, 83, 90, 93, 99	0,95
1 à $2,5 \cdot 10^7$	18	<u>23</u> , 27, 36, 38, 39, 46, <u>48</u> , 70, 72, 73, 78, 80, 82, 91, 92, 94, 96, 98	0,99
2,5 à $5 \cdot 10^6$	1	6 ⁺ (R36)	1
Total	104		

!! Unités soulignées (1) = dégâts constatés début 1972

Unités marquées d'une croix (1⁺) = nouvelle fabrication

TABLEAU Iib

DISTRIBUTION DES IRRADIATIONS DU DEBUT
DU CPS JUSQU'A FIN 1972

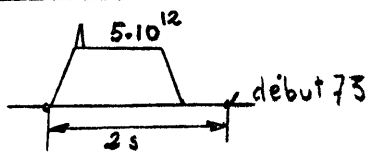
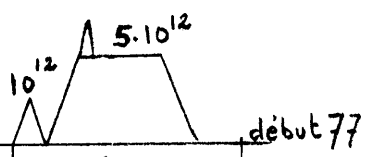
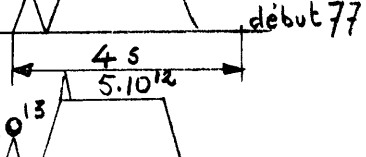
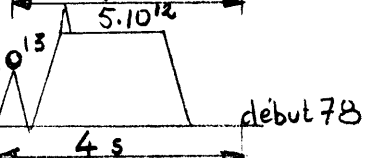
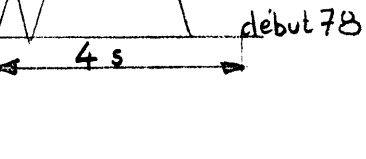
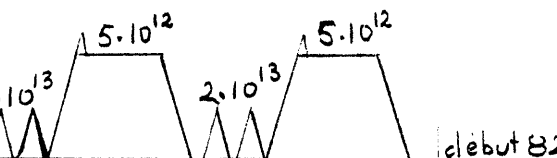
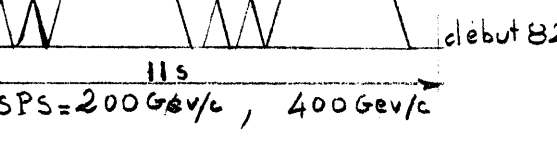
Tranche (rads)	Nombre d'unités	Numéros des unités
1,28 à $2,56 \cdot 10^9$	1	<u>8</u> (U4)
$6,4 \cdot 10^8$ à $1,28 \cdot 10^9$	6	<u>1</u> (T37), 1 ⁺ (T38), <u>2</u> (U9), 8 ⁺ (U16), <u>9</u> , 84
3,2 à $6,4 \cdot 10^8$	3	<u>1</u> (T30), 3, <u>6</u> (R6)
1,6 à $3,2 \cdot 10^8$	9	<u>7</u> , <u>10</u> , 15, 19, 33, <u>49</u> , <u>58</u> , <u>63</u> , 64
$8 \cdot 10^7$ à $1,6 \cdot 10^8$	16	4, 5, 11, <u>12</u> , 14, 17, 26, 51, 52, 53, 54, <u>62</u> , 65, 74, 85, 87
$4 \cdot 10^7$ à $8 \cdot 10^7$	33	13, 16, 18, 21, 25, <u>28</u> , 29, 30, 31, 32, 34, 35, 45, 47, 50, 55, 57, 59, 60, 66, 67, 68, 69, 75, 76, 79, 83, 86, 88, 89, 93, <u>95</u> , 97
$2 \cdot 10^7$ à $4 \cdot 10^7$	25	20, <u>22</u> , <u>23</u> , <u>24</u> , 36, 37, 40, 41, 42, 43, 44, <u>48</u> , 56, 61, 71, 77, 78, 81, 90, 91, 92, 94, 98, 99, 100
$1 \cdot 10^7$ à $2 \cdot 10^7$	10	27, 38, 39, 46, 70, 72, 73, 80, 82, 96
$0,5 \cdot 10^6$ à $1 \cdot 10^7$	1	6 ⁺ (R36)
Total	104	

!! Unités soulignées (1) = dégâts constatés début 1972

Unités marquées d'une croix (1⁺) = nouvelle fabrication

TABLEAU III

PREVISIONS D'OPERATION JUSQU'A FIN 1985

Année	Cycle	T1	T8	SE16	SE62	FE58	FE74	FE16	Dump
1973		15 %	15 %	20 %	25 %	12 %	12 %	5 %	5 %
1974									
1975									
1976									
1977									
1978					80 %				
1979									
1980									
1981									
1982									
1983	SPS = 200 GeV/c, 400 GeV/c								
1984									
1985									

Les chiffres de ce tableau sont à utiliser avec une extrême prudence. Ce sont des valeurs très approximatives destinées uniquement à fixer les idées, car rien n'a été décidé officiellement dans ce domaine. Le dernier cycle, à partir de 1982, n'est qu'un cycle possible parmi plusieurs autres probabilités. Nous l'avons indiqué pour montrer les possibilités qui pourront s'offrir à cette époque. Nous ne savons pas si l'injection dans les SPS prendra 1 ou 3 cycles CPS, c'est pourquoi nous avons choisi la valeur intermédiaire de 2. Nous avons gardé la valeur de 5.10^{12} pour les plateaux à 25 GeV/c, car les modifications des zones d'expérience permettant d'utiliser 10^{13} p/p ne sont pas encore envisagées.

TABLEAU IVa

DISTRIBUTION PROBABLE DES IRRADIATIONS
A LA FIN DE 1985

Tranche (rads)	Nombre d'unités	Numéros des unités	Fiabilité
2,5 à 5 · 10 ⁹	4	1 ⁺ , 8 ⁺ , <u>9</u> , D	0
1 à 2,5 · 10 ⁹	8	2 ⁺ , 3, <u>10</u> , <u>58</u> , 83, 84, 85, "D+1"	0
7,5 à 10 · 10 ⁸	0		
5 à 7,5 · 10 ⁸	12	13, 16, 17, 33, 45, <u>49</u> , <u>62</u> , <u>63</u> , 74, 86, 87, "D+2"	0,12
2,5 à 5 · 10 ⁸	24	4, 5, 6 ⁺ , <u>7</u> , 11, <u>12</u> , 14, 15, 19, 20, 26, <u>28</u> , 42, 47, 59, 64, 65, 75, 79, 89, 95, 97, 98, 100 (aval)	0,33
1 à 2,5 · 10 ⁸	52*	18, 21, <u>22</u> , <u>23</u> , <u>24</u> , 25, 27, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 46, <u>48</u> , 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 60, 61, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 76, 77, 78, 80, 81, 82, 88, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 99, "D+3"	0,55
Total	100		

!! Unités soulignées (1) = dégâts apparents au début de 1972

Unités marquées d'une croix (1⁺) = nouvelle fabrication dès 1973

* Ce chiffre de 52 vient des 56 unités dans cette tranche moins les quatre unités D, D+1, D+2, D+3 qui seront prises dans cette tranche

TABLEAU IVb

DISTRIBUTION PROBABLE DES IRRADIATIONS
A LA FIN DE 1985

Tranche (rads)	Nombre d'unités	Numéros des unités
3,2 à 6,4 · 10 ⁹	2	1 ⁺ , 8 ⁺
1,6 à 3,2 · 10 ⁹	4	<u>9</u> , 83, 85, D
8·10 ⁸ à 1,6· 10 ⁹	6	2 ⁺ , 3, <u>10</u> , <u>58</u> , 84, "D+1"
4 à 8 · 10 ⁸	22	11, <u>12</u> , 13, 15, 16, 17, 19, 33, 42, 45, <u>49</u> , 51, 52, 53, 59, <u>62</u> , <u>63</u> , 64, 74, 86, 87, "D+2"
2 à 4 · 10 ⁸	58	4, 5, 6 ⁺ , <u>7</u> , 14, 20, 21, <u>23</u> , 25, 26, 27, <u>28</u> , 29, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 47, <u>48</u> , 50, 54, 55, 56, 57, 60, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 76, 77, 78, 79, 81, 82, 88, 89, 90, 91, 93, 95, 97, 98, 100
1 à 2 · 10 ⁸	8	18, <u>22</u> , <u>24</u> , 46, 61, 73, 80, 92, 94, 96, 99, "D+3"
Total	100	

!! Unités soulignées (1) = dégâts apparents au début de 1972

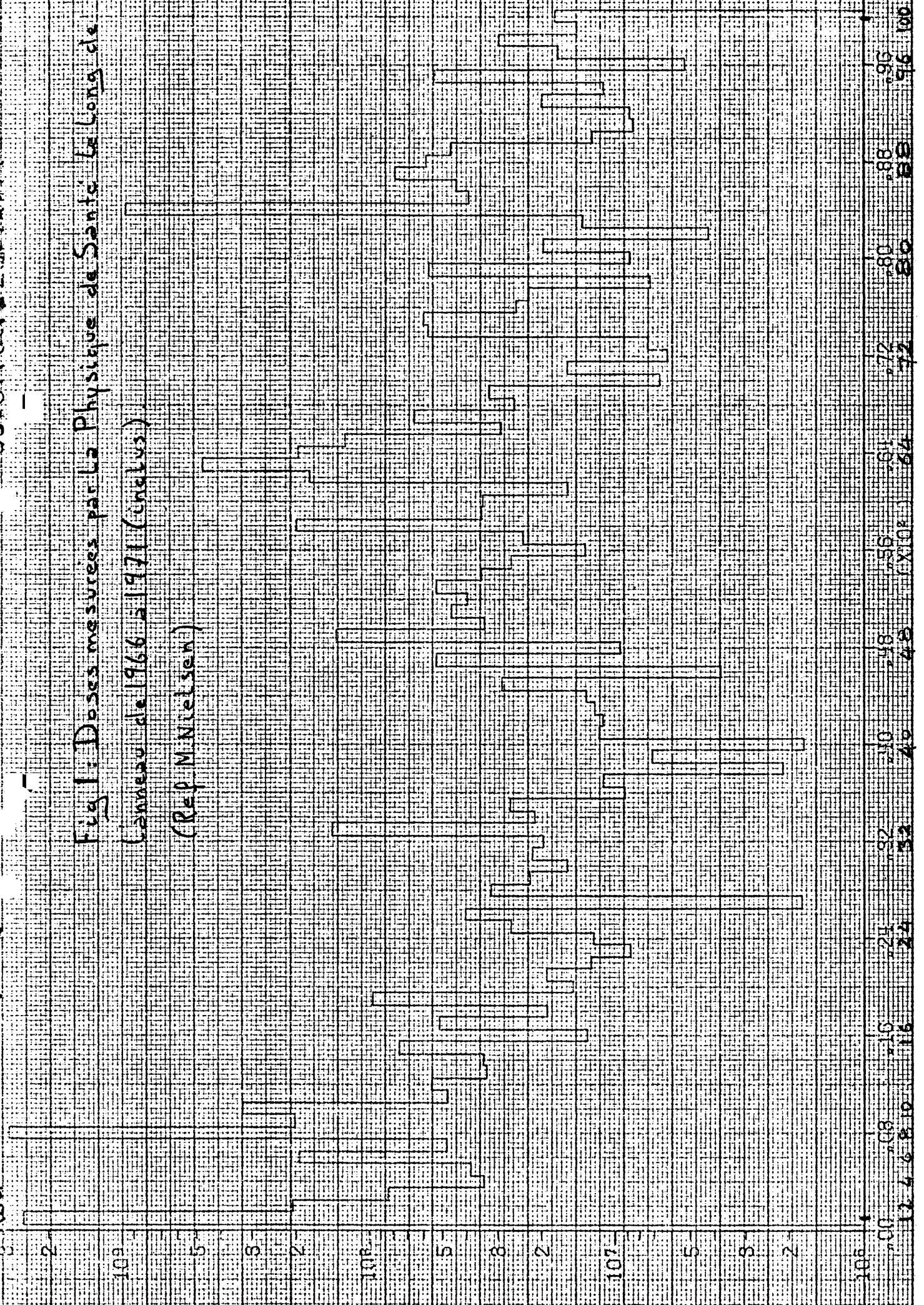
Unités marquées d'une croix (1⁺) = nouvelle fabrication dès 1973

* Ce chiffre de 52 vient des 56 unités dans cette tranche moins les quatre unités D, D+1, D+2, D+3 qui seront prises dans cette tranche

03.07.66 - 21.12.71

Rad

Fig 1: Doses mesurées par la Physique de Santé de Long de
l'anneau de 1966 à 1971 (chélus)
(Ref. M. Nielsen)



100
100
5
5
2
100
5
8
2
107
5
5
2
100
100
12 4 6 8 10 15 20 24 32 40 48 56 64 72 80 88 96 100

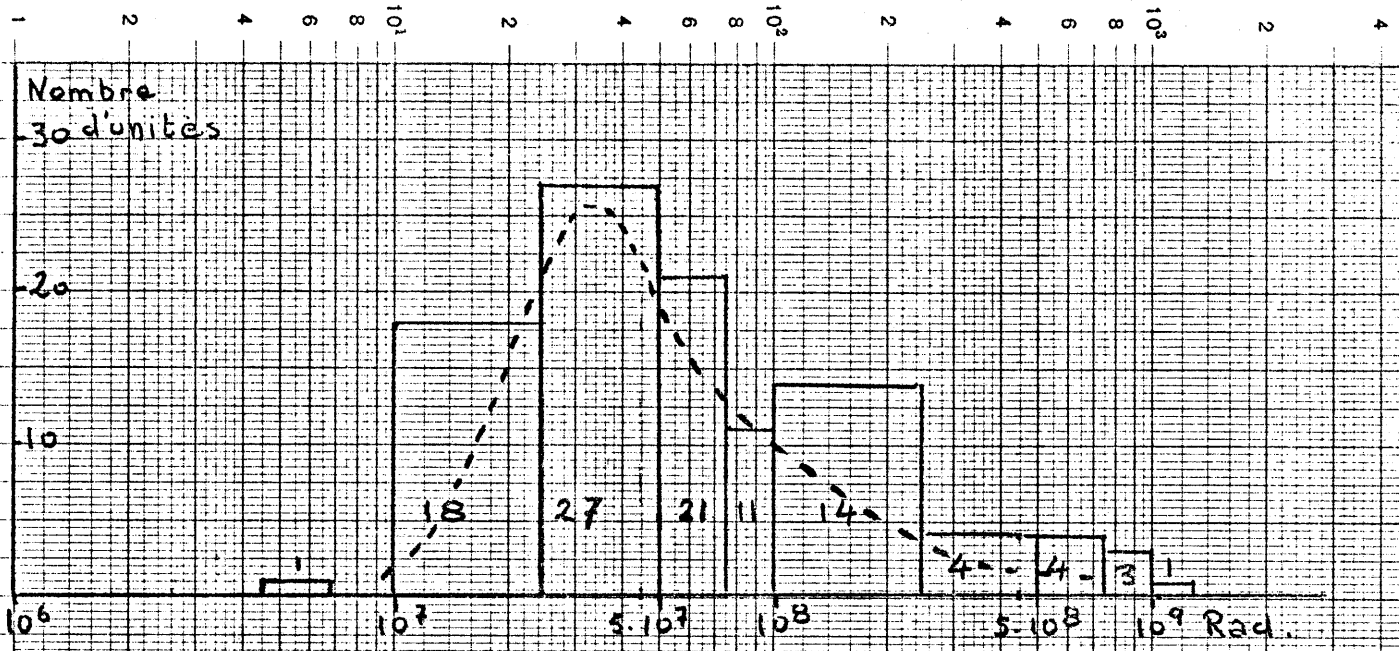


Fig. 2a - Distribution des irradiations du debut jusqu'en Fin 1972

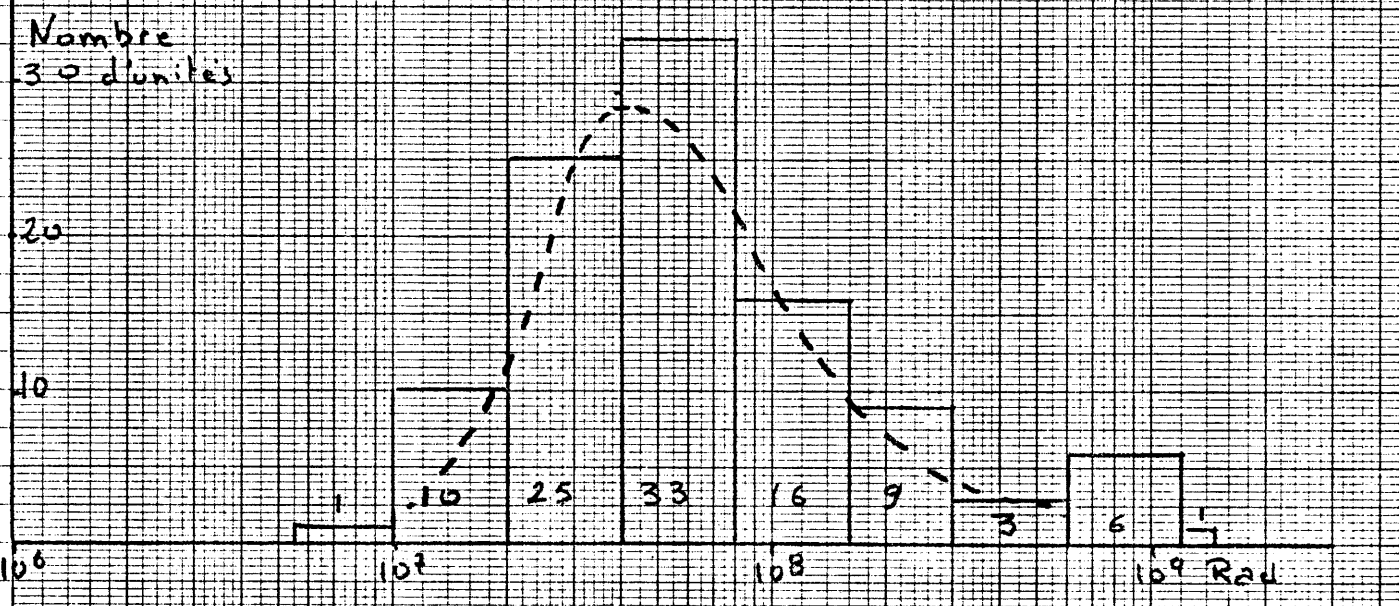


Fig 2 b. Comme la figure 2a, mais avec un autre découpage.

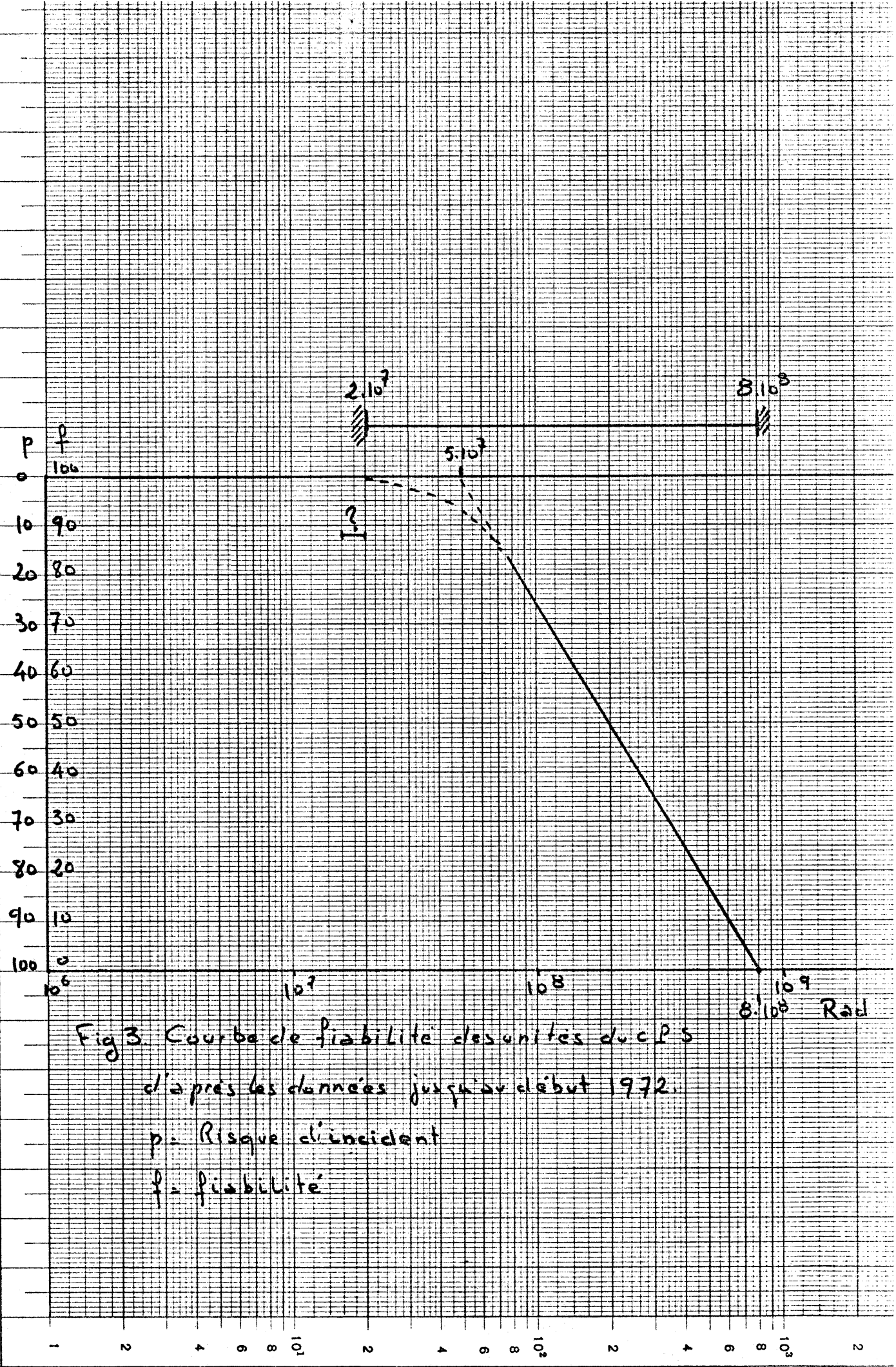


Fig 3. Courbe de fiabilité des unités du C.P.S. d'après les données jusqu'au début 1972.

p = Risque d'incident
f = fiabilité

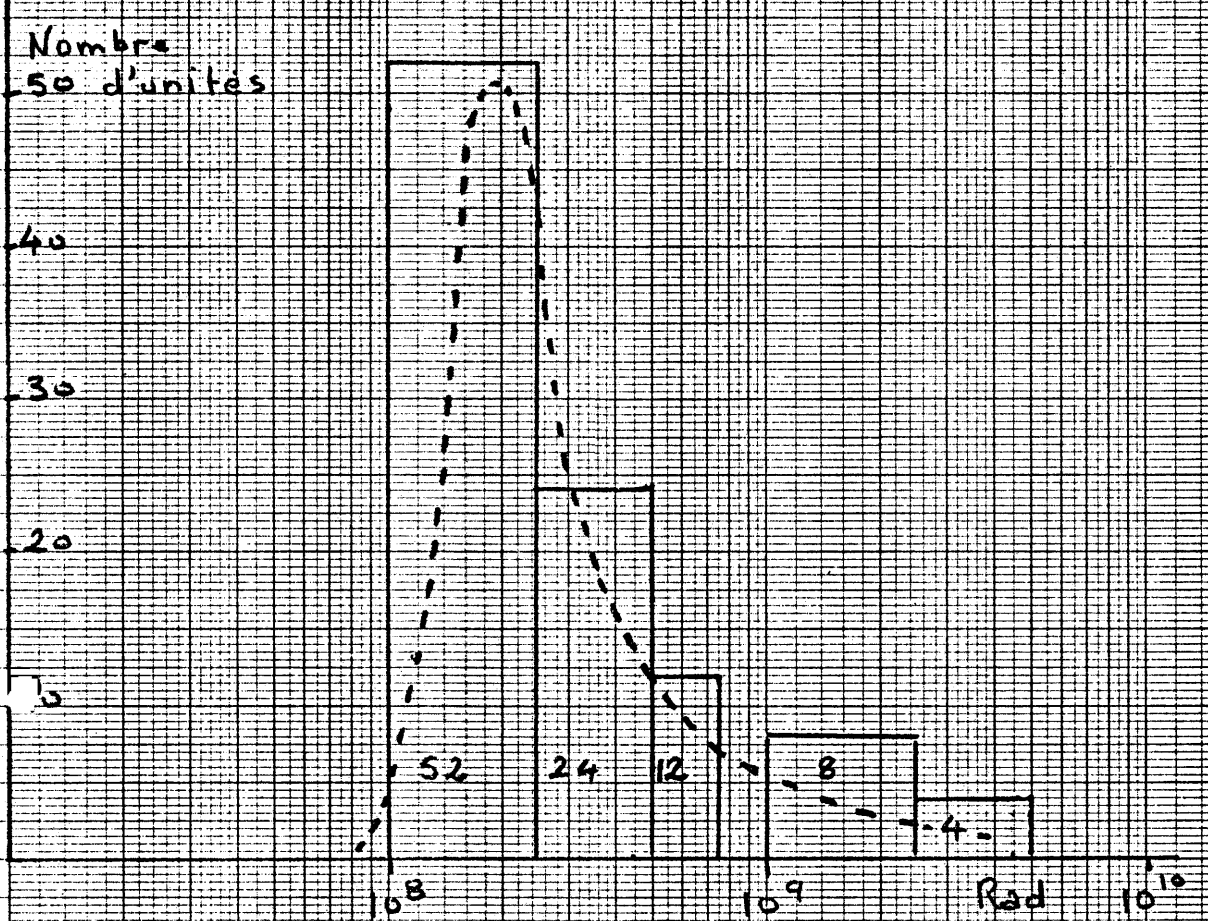


Fig 4a. Distribution des irradiations jusqu'à fin 1985

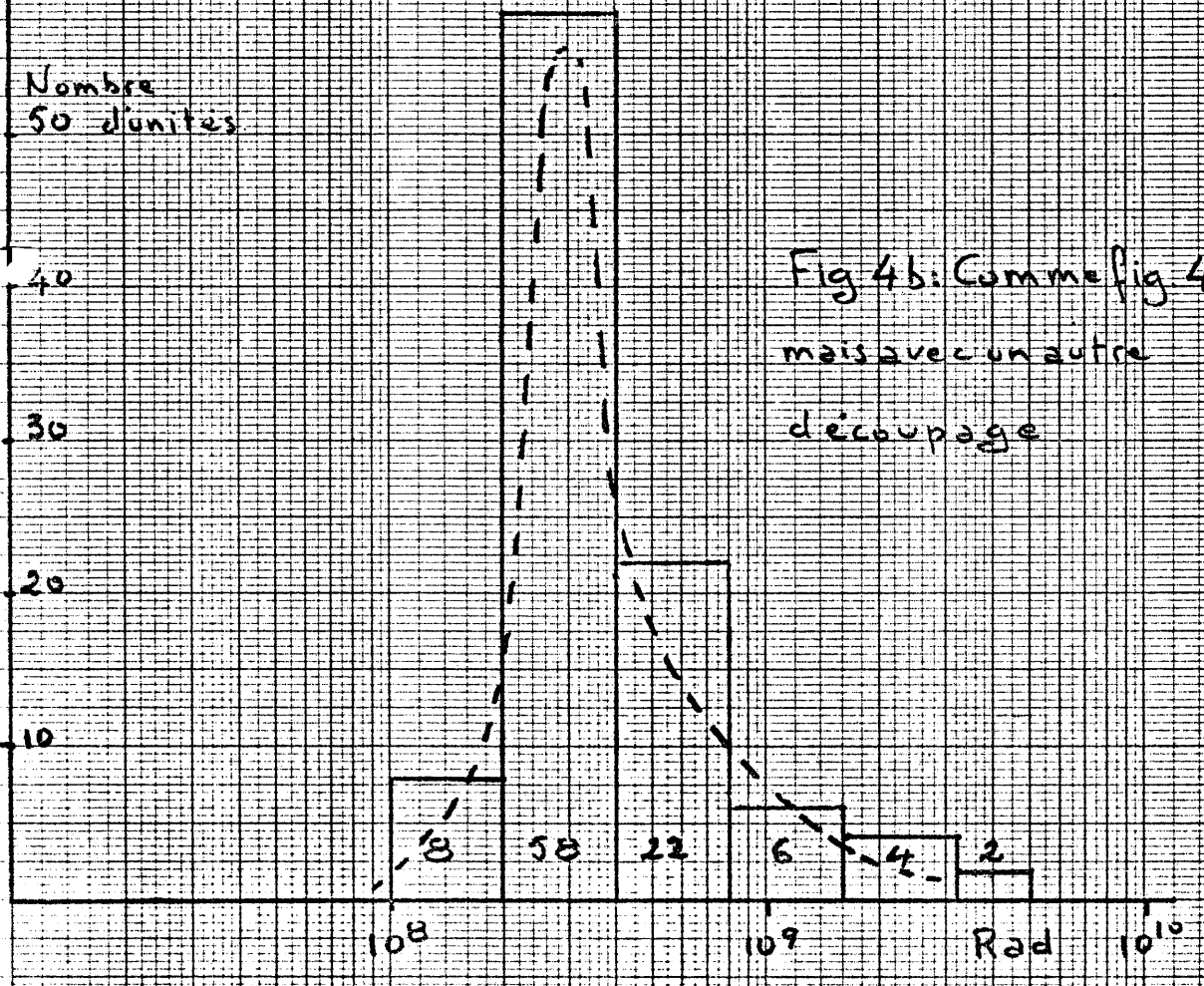


Fig 4b. Comme fig 4a
mais avec un autre
découpage