

RG/iw

CERN/MPS/SR 73-5

21 juin 1973

LA RADIOACTIVITE DE L'AIMANT DU CPS

ET SON INFLUENCE SUR LA MAINTENANCE DE L'ANNEAU

- STATISTIQUES ET PREVISIONS -

R. Gouiran

Table des Matières

1. Introduction
2. Radioactivité du Fer Près d'une Source de Radiation
3. Doses Mesurées
4. Décroissance de la Radioactivité ("Cooling")
5. Etablissement de la Radioactivité en Opération Continue
6. Distribution Azimuthale des Doses
 - 6.1 Cible 01
 - 6.2 Cible 08
 - 6.3 Ejection Lente 62 - SQUARE
 - 6.4 Ejection Lente 16 - SQUARE
 - 6.5 Ejection Rapide 16
 - 6.6 Ejection Rapide 58
 - 6.7 Ejection Rapide 74
 - 6.8 Cibles de Décharge ("Dumps")
 - 6.9 Injection
 - 6.10 Sections Droites Banales
7. La Planification des Opérations et des Arrêts en Fonction de la Maintenance Prévue.
8. Prévisions de la Radioactivité, Début 1978

9. Prévisions de la radioactivité dans les années '80.
10. Doses effectivement Reçues par le Personnel Pendant la Maintenance
 - 10.a Doses Spécifiques
 - 10.b Doses Générales
 - 10.c Deux Exemples
11. Statistique des Interventions sur le CPS
12. Références et Méthodes
 - Références Bibliographiques

1. Introduction

Dans un précédent rapport ⁽¹⁾ nous avons étudié les taux d'irradiation et leurs conséquences. Nous devons maintenant considérer la radioactivité induite dans l'accélérateur, en nous préoccupant principalement de son influence sur les difficultés de maintenance dans l'anneau. Dans quelles conditions à l'avenir pourront se faire l'entretien et les modifications, y compris les réparations d'unités, les changements d'enroulements polaires, les échanges divers d'équipement, sans que le personnel ait à supporter des doses d'irradiation trop importantes?

Les prévisions sont ici beaucoup plus hypothétiques et élastiques que dans le cas des taux d'irradiation ⁽¹⁾ car l'effet de la radioactivité dépend d'un plus grand nombre de facteurs complexes. En particulier cela dépend du type d'opération du CPS dans les périodes précédant l'intervention (cibles internes, éjection lente, etc...), du lieu et de la fréquence de l'intervention envisagée, de la période de refroidissement radioactif possible, du type d'intervention etc... Un certain nombre d'études ont déjà été faites dans ce sens ^(2,3,4,5,6).

2. Radioactivité du Fer Près d'une Source de Radiation

Une approche théorique de la radioactivité induite par une source consiste à considérer qu'en première approximation la dose au contact dans le fer (ou en cuivre) est proportionnelle à la densité d'étoiles nucléaires ("Hadronic Cascade Star Density" ou HCSD dans ⁽³⁾) à la surface du matériau. Cette densité peut alors être calculée par des programmes Monte-Carlo ⁽⁷⁾.

Le facteur de proportionnalité entre dose et densité d'étoiles reste néanmoins assez approximatif. Il est défini comme la dose mesurée au contact après 30 jours d'irradiation continue et 1 jour de décroissance. Suivant certains auteurs ^(7,8) ce facteur varie entre 4 et $12 \cdot 10^{-7}$ rem/h

par (star/cm³ sec). Nous indiquons donc ici une valeur moyenne à \pm 50% près, soit

$$\omega_{30,1} = 8 \cdot 10^{-7} \text{ rem/h par (stars/cm}^3 \text{ sec)} \quad (1)$$

Considérons alors une source à l'entrée d'une section droite et cherchons la dose au contact d'une pièce de fer ($\alpha_{30,1}$) en rem/h par proton interagissant dans la source par seconde, pour 30 jours d'irradiation continue et 1 jour de décroissance libre. La Fig. 1 donne cette dose en fonction de la distance radiale R depuis l'axe, d'après MAGKA⁽⁷⁾. Elle varie assez peu avec la distance azimuthale depuis la source autour de 1m, distance choisie pour la courbe; elle varie aussi assez peu avec l'énergie entre 10 et 25 GeV/c. Comme l'incertitude sur $\omega_{30,1}$ est de \pm 50%, nous considérons donc la courbe de la Fig. 1 comme une indication de l'ordre de grandeur des doses autour de 20 GeV/c et autour de 1 m de distance azimuthale, au contact d'une pièce de fer ou de cuivre. Par exemple pour une pièce de fer située à 1m de la cible et à 3,5 cm de l'axe (rayon vertical d'une chambre à vide normale), la dose $\alpha_{30,1}$ est $1,6 \cdot 10^{-10}$ rem/h par proton interagissant dans la cible par seconde pendant 30 jours, la dose étant mesurée après 1 jour d'arrêt.

Mais les données de cette courbe $\alpha_{30,1}$ ne peuvent malheureusement pas être directement exploitées pour les raisons suivantes :

- a) Il s'agit de la dose d'une pièce isolée. Or, le niveau de radioactivité à distance est donné par le rayonnement global de masses de grandes dimensions et dépend donc de la géométrie des masses irradiées.
- b) Cette dose néglige la présence de la source elle-même restant à l'intérieur de l'enceinte. Cet effet est faible lorsqu'on se trouve à distance de gros volumes d'acier, mais n'est pas

négligeable lorsqu'on se place à très petite distance.

- c) Cette dose suppose une plaque épaisse d'au moins plusieurs centimètres. Or, les parois des chambres à vide sont plus minces, quoiqu'il y ait des brides épaisses et qu'elles soient irradiées sous incidence rasante.

C'est pourquoi la connaissance de α (30,1) ne permet pas à elle seule de connaître les niveaux de radioactivité.

3. Doses Mesurées

Les doses mesurées régulièrement par la Physique de Santé sont prises à 40 cm de l'enceinte à vide, en amont et en aval de chaque section droite.

Le rapport q entre cette mesure à 40 cm et la dose au contact α (30,1) décrite au § 2 dépend non seulement de l'irradiation mais de la géométrie de la région considérée⁽⁹⁾. Il ne nous a pas été possible de déterminer ce rapport q pour les différents types de sections droites. C'est pourquoi nous ne pouvons donner que le rapport $\frac{\alpha}{q}$ comme étant la dose en rem/h mesurée à 40 cm de l'enceinte à vide dans laquelle se trouve la source, pour un proton par seconde interagissant dans la source pendant 30 jours, suivis de 1 jour d'arrêt. Ce n'est que dans certains cas précis et faciles que nous pouvons séparer les connaissances de la dose au contact α et du facteur q de réduction à distance.

Néanmoins, à titre d'exemple, nous indiquons quelques valeurs du facteur de réduction q entre les doses mesurées avec une canne Teletector placé à 40 cm d'une enceinte puis mise au contact de cette même enceinte. (Cette dernière valeur n'est donc pas la vraie dose au contact, car la canne a un diamètre non négligeable.)

- a) En moyenne pour la somme de toutes les sections droites : $q \approx 7$
(mesurées par la Physique de Santé).

b) Section droite 01; à l'entrée amont $q = 14$, à 1 m $q = 14$, à la sortie aval $q = 7$.

c) Septum 83, 16, 62, q varie entre 3 et 5 etc...

Nous nous rendons compte alors que, en comparant les mesures sur les enceintes larges (septums) et sur les enceintes étroites (cibles), la dose au contact est relativement plus faible sur les enceintes de gros diamètre, mais la dose à distance par contre est plus élevée car le volume rayonnant est plus étendu. Ce point devrait être étudié en détail car il devrait être possible de prévoir pour chaque source de radiation la meilleure géométrie de l'enceinte afin de minimiser la radioactivité et les doses reçues en fonction des interventions humaines prévues sur cette enceinte.

4. Décroissance de la Radioactivité ("Cooling")

La formule de Sullivan - Overton⁽¹⁰⁾ rend assez bien compte de la radioactivité autour du CPS. Elle dit que la dose $D(t)$ est donnée par

$$D(t) = k \log \left(1 + \frac{T}{t} \right) \quad (2)$$

où T est le temps d'irradiation continue, t le temps de décroissance ("Cooling") et k un facteur de proportionnalité. Ainsi la dose de radioactivité d'une section droite i , mesurée à 40 cm, après une irradiation continue de la source, pendant un temps T au cours duquel I proton/sec ont interagi dans cette source, et après un temps de décroissance libre t , est

$$D_i (T,t) = \frac{\alpha_i (30,1)}{q_i} \frac{1}{1.49} I_i \text{ (p/s)} \log \left(1 + \frac{T}{t} \right) \quad (3)$$

(le facteur 1.49 est $\log \left(1 + \frac{30}{1} \right)$).

Appelons

$$K_i = \frac{\alpha_i(30,1)}{q_i} \frac{1}{1,49} \quad (4)$$

alors, à 40 cm :

$$D_i(T,t) = K_i I_i(p/s) \cdot \log\left(1 + \frac{T}{t}\right) \quad (5)$$

Cette formule (5) va être la base de tous nos calculs. La constante K_i est donc une caractéristique de la section droite où se trouve la source et nous allons donc chercher à déterminer expérimentalement les K_i de chaque source. Nous déterminerons ensuite quelles sont les autres sections droites qui sont activées par la source i , en corrélation et dans quel rapport. Ce sont en général les sections droites qui suivent et aussi celles où les pertes dues aux cibles internes sont particulièrement élevées.

Nous avons porté sur la Fig. 2 plusieurs courbes de décroissance dont nous aurons besoin par la suite :

- Courbe A - Moyenne des décroissances mesurées sur des aimants du CPS au cours des années passées après qu'ils aient été sortis de l'anneau. Cette courbe coïncide assez bien avec $\log\left(1 + \frac{200}{t}\right)$.
- Courbe B - $\log\left(1 + \frac{670}{t}\right)$, soit une décroissance après deux années consécutives identiques
- Courbe C - $\log\left(1 + \frac{22}{t}\right)$, soit une décroissance après une période classique pour la physique nucléaire (sessions de "machine development" exclues).

Nous constatons que le refroidissement radioactif devient très lent après 4 mois, époque où déjà un facteur 4 a été gagné par rapport à la dose après 2 jours. C'est pourquoi nous estimons que quatre mois est un

délai raisonnable d'attente avant de travailler sur une pièce radioactive.

5. Etablissement de la Radioactivité en Opération Continue

La formule (5) appliquée aux opérations du CPS permet des prédictions satisfaisantes^(4,5).

A titre d'exemple, examinons comment nous aurions pu prédire la radioactivité de la section droite O1, où se trouve une cible interne, au cours de l'année 1972.

La Fig. 3 montre :

Courbe A : radioactivité mesurée par la Physique de Santé à 40 cm de la chambre à vide vers son milieu, deux jours après l'arrêt des opérations pour la physique.

Courbe B : décroissance de la radioactivité ancienne due à l'année précédente (1971).

Courbe C : nombre de protons ayant interagi dans la cible au cours de chacune des périodes mensuelles. (Il y a une alternance entre une grosse et une petite allocation.)

Calculons la dose que nous devrions trouver à la fin de la première période après 22 jours d'irradiation continue de la cible, suivie de 2 jours de décroissance (point M, 6-3-1972).

La Fig. 1 nous indique que pour $R = 3,5$ cm, $\alpha(30.1) = 1.4 \cdot 10^{-10}$. Nous savons que $q \approx 14$ (cf § 3). D'où

$$K_1 = \frac{\alpha_1}{q_1} \frac{1}{1.49} \approx 6.7 \cdot 10^{-12}$$

Le nombre de protons par seconde dans la cible est 9.10^{10} int p/sec.
L'application de la formule (5) donne immédiatement

$$D_1 = K_1 I_1 (p/s) \cdot \log \left(1 + \frac{22}{2} \right) = 0.650 \text{ rem/h.}$$

A cette radioactivité "fraiche" nous devons ajouter l'ancienne qui, d'après les mesures faites pendant l'arrêt, décroît à peu près suivant la loi $\log \left(1 + \frac{150}{t} \right)$. Elle vaut 0.185 rem/h au point M. Donc nous pouvons prédire une dose de 835 mrem/h, tandis que la dose effectivement mesurée ce jour a été de 720 mrem/h. Ceci prouve que cette méthode permet des prédictions relativement valides.

Nous constatons donc qu'à la fin de l'année n la dose de radioactivité peut être considérée comme essentiellement due à 3 composantes :

- a) la dose décroissante de l'année qui a précédé, soit n - 1
- b) la dose créée par une irradiation moyenne pendant l'année n, sans compter le dernier mois, avec décroissance pendant le dernier mois
- c) la dose particulière créée par les opérations du dernier mois.

En négligeant les doses créés par les années encore antérieures aux deux dernières années nous introduisons une erreur qui serait au maximum de 15% si les intensités étaient restées les mêmes sans être augmentées régulièrement au cours des 3 dernières années, ce qui a été rarement le cas. A l'occasion nous ajouterons donc environ 10% à 15% pour tenir compte de l'irradiation très ancienne, dans les cas où l'intensité resterait stable sur plus de 2 années consécutives.

En tenant compte de ces 10 à 15% à ajouter, nous pouvons encore simplifier et réduire la radioactivité à 2 composantes :

- d) la composante "vieille" créée par les 2 dernières années moins le dernier mois, avec décroissance pendant le dernier mois.

- e) La composante "fraiche" créée par les opérations du dernier mois (généralement entre 20 et 28 jours). (En cas d'opération régulière, la composante "fraiche" a à peu près la même valeur que la composante "vieille". Ces deux composantes se partagent ainsi la dose à peu près moitié-moitié.)

En reprenant l'exemple utilisé décrit sur la Fig. 3 (section droite 01 en 1972) nous avons à la fin de l'année (la mesure ayant été faite 5 jours après l'arrêt de la physique) :

- composante a (courbe B, Fig. 3) : 62 mrem/h
- composante b : 450 mrem/h
- composante c : 220 mrem/h

Soit un total prédit de 732 mrem/h que nous devons comparer aux 700 mrem/h effectivement mesurées le 27.12.1972 par la Physique de Santé. La concordance est assez bonne dans ce cas et elle ne doit pas masquer les difficultés nombreuses qui ne permettent pas toujours des prédictions aussi justes.

6. Distribution Azimuthale des Doses

A titre d'exemple la Fig. 4 reproduit le relevé de la Physique de Santé fait le 3.7.1972, 36 heures après l'arrêt de l'accélérateur, environ 3 jours après l'arrêt des cibles internes 1 et 8. La période de 4 semaines précédant l'arrêt avait vu le partage suivant : 31.6% sur la cible 01, 21.2% sur la cible 08, 13.5% pour l'éjection SQUARE en 16, 13.8% pour l'éjection rapide en 16, 11.5% pour l'éjection rapide 58 et 8.4% pour l'éjection rapide 74 et des décharges de faisceaux ("dumps") sur plusieurs cibles (49 et 54 en particulier). La hauteur des traits correspond aux deux mesures, amont et aval.

Nous constatons là aussi l'effet "wigggle" déjà noté pour les irradiations ¹⁾ : loin des sources, l'activité des sections paires est en moyenne 2.5 fois moindre que celle des sections impaires, facteur identique à celui trouvé pour les irradiations.

Nous traçons alors sur la Fig. 4 le spectre azimuthal de la radio-activité en négligeant cet effet "wigggle" et en adoucissant un peu la courbe.

Les zones chaudes apparaissent comme des pics autour des cibles 1 et 8, des éjections 16, 58, 62, 74, des septums 83 et 85, du "kicker" rapide 97, des injections 26 et 42, des "dumps" 49 et 54, avec des zones de pertes dues aux cibles dans les régions 30-35, 49 et 88-89 etc... Cinq zones "froides" et tranquilles apparaissent en 22-24, 36-40, 70-72, 80-83, 92-96.

Comme il y a un assez bon accord entre la distribution de la radio-activité et celle des irradiations ¹⁾, nous pouvons nous inspirer des corrélations d'unité à unité déjà décrites dans ¹⁾.

Les données qui vont suivre donnent pour chaque section droite le coefficient K_1 à mettre dans la formule (5). L'incertitude reste assez grande, bien que moindre que pour les taux d'irradiations (peut être \pm 30%). Il faut tenir compte aussi du fait que, à la suite d'incidents, des aimants à septum et des enceintes à vide peuvent être changés en cours d'année.

Nous indiquons aussi sous le terme "pertes" la proportion de protons interagissant dans la source considérée par rapport au nombre de protons alloués à l'opération utilisant cette source.

6.1 Cible 01

$K = 6.7 \cdot 10^{-12}$ *; pertes = 70% (efficacité approximative d'une cible interne).

* Rappelons que K est donné en rem/h par proton interagissant par seconde dans la source de radiations.

Dose section 2	=	1/5 de la dose de la section 1
" " 3	=	1/7 " " " " " "
" " 4	=	1/20 " " " " " "
" " 5	=	1/25 " " " " " "
" " 14	=	1/50 " " " " " "
" " 15	=	1/50 " " " " " "
" " 19	=	1/10 " " " " " "
" " 28	=	1/20 " " " " " "
" " 29	=	1/5 (très variable suivant SQUARE)
" " 30	=	1/5 " " " "
" " 31	=	1/30 " " " "

Il y a d'autres pertes mais elles sont assez variables car leur distribution azimuthale dépend de l'utilisation de la cible (seule, en partage avec la cible 08, en partage avec l'éjection SQUARE, etc...).

6.2 Cible 08

$$K = 6.7 \cdot 10^{-12}, \text{ pertes} = 70\%$$

Dose section 9	=	1/3 de la dose section 8
" " 10	=	1/7 " " " "
" " 11	=	1/20 " " " "
" " 12	=	1/20 " " " "

(Mêmes remarques que pour la cible 01 en ce qui concerne le partage avec SQUARE).

6.3 Ejection Lente 62 - SQUARE

Dans l'utilisation des septums, certaines erreurs peuvent intervenir. D'abord la présence de l'aimant dans l'enceinte n'est pas négli-

geable. Ensuite ces aimants sont parfois changés sans qu'il soit toujours possible de suivre leur histoire. Et enfin le partage de SQUARE avec des cibles internes entraîne des pertes dues aux cibles, mais s'accrochant parfois sur les septums qui reçoivent alors plus de protons que n'en justifieraient les pertes SQUARE seules. Le chiffre "Pertes" tient compte un peu de cet effet encore mal connu, auquel s'ajoute aussi l'influence d'un septum sur l'autre; c'est ainsi que la perte sur le septum 85 est causée en partie (pour 10% peut-être?) par l'action du septum 83, et que la perte sur le septum 62 contient un effet du septum 61.

Il est néanmoins probable que les pertes sur les septums 83 et 85 puissent être diminuées dans l'avenir.

Septum	K	Pertes
61*	$4.7 \cdot 10^{-12}$	3 à 4% (très variable à cause des cibles internes)
62	$1.9 \cdot 10^{-11}$ ($1.7 \cdot 10^{-11}$ sans le septum 61)	1 à 2%
83	$4.7 \cdot 10^{-12}$	3 à 4%
85	$1.15 \cdot 10^{-11}$	3 à 4%

Dose section i / dose section j :

$$63/62 = 1/5$$

$$64/62 = 1/7$$

$$65/62 = 1/7$$

$$67/62 = 1/7$$

$$84/83 = 1/3$$

$$86/85 = 1/10$$

$$87/85 = 1/10$$

$$88/85 = 1/10$$

* L'utilisation du septum 61 est provisoire et ne sera pas maintenue longtemps, en principe. Il est possible que les septums 83 et 85 soient déplacés en 47 et 49 respectivement.

6.4 Ejection Lente 16, SQUARE

Nous faisons ici les mêmes remarques que pour l'éjection lente 62.
Septum 16 : $K = 1.7 \cdot 10^{-11}$, pertes = 1%. Les doses pour les sections 83 à 88 sont les mêmes qu'au § 6.3 ; il convient d'ajouter $17/16 = 1/5$.

6.5 Ejection Rapide 16

Septum 16 : $K = 1.7 \cdot 10^{-11}$, pertes = 4% (un peu fort actuellement, devrait être réduit).

Dose 17 / dose 16 = 1/5. Sections 13 et 97 ("kickers" rapides) : $K = 1.7 \cdot 10^{-11}$, pertes = 1% sur chacun des deux.

Cette répartition des pertes sur 13 et 97 est une moyenne, mais nous ne savons pas quelles seront ces pertes à l'avenir, surtout si le FAK est utilisé en 71 pour remplacer les "kickers" 13 et 97

Dose 14 /dose 13 = 1/10

Dose 98 /dose 97 = 1/10

6.6 Ejection Rapide 58

Septum 58 : $K = 1.7 \cdot 10^{-11}$, pertes = 8% (sera réduit dans l'avenir).

Dose 59 /dose 58 = 1/4. Mêmes doses sur 13, 14, 97, 98 qu'au paragraphe 6.5.

6.7 Ejection Rapide 74

Septum 74 : $K = 1.7 \cdot 10^{-11}$, pertes : 4 à 5%
Dose 75/74 = 1/1, mêmes doses sur 13,14,97,98 qu'au paragraphe 6.5.

6.8 Cibles de Décharges D ("Dump")

$K = 6.7 \cdot 10^{-12}$. Pertes - devraient être réduites à 8 ou 5% des protons accélérés.

$$\text{Dose D} + 1/D = 1/4$$

$$\text{Dose D} + 2/D = 1/6$$

$$\text{Dose D} + 3/D = 1/10$$

Anciennes cibles de décharge importantes : 49, 84, etc....

Actuelles " " " " : 68, 54, 79, etc....

Section droite éventuelle pour une décharge protégée : 21.

6.9 Injection

a) A 50 MeV. La prévision est difficile. Mais tout se passe "comme si" nous avons, en section 26, $K = 1.7 \cdot 10^{-11}$ et pertes = 1.5% des protons accélérés.

b) A 800 MeV. Nous n'avons pas encore d'informations précises sur cette injection en opération normale. Nous pouvons estimer, intuitivement, qu'elle peut être plus propre que l'injection en 26 et nous prendrons comme base de départ, à discuter par la suite :

Section 42 : $K = 1.7 \cdot 10^{-11}$, pertes = 1% des protons accélérés.

Section 37 (ralentisseur) : $K = 6.7 \cdot 10^{-12}$, pertes = 0,5% des protons accélérés.

6.10 Sections Droites Banales

En dehors des 46 sections droites ci-dessus, pour lesquelles nous avons pu définir des corrélations entre dose et opération, il nous reste 54 sections ordinaires pour lesquelles il devient difficile de trouver des

corrélations. Ce sont les sections "banales" pour lesquelles nous avons estimé. (comme en ¹⁾) que la radioactivité était simplement proportionnelle aux protons accélérés.

En nous basant sur les années passées, nous avons trouvé une valeur moyenne de $K = 10^{-14}$ rem/h par proton accéléré par seconde dans le CPS, et par section droite banale. En tenant compte de l'effet "wiggler", nous obtenons les doses banales dues à l'accélération et à l'utilisation générale :

$$\begin{aligned} \text{Section droite F : } K &= 1.4 \cdot 10^{-14} \text{ par proton accéléré s}^{-1} \\ \text{Section droite D : } K &= 5.6 \cdot 10^{-15} \text{ par proton accéléré s}^{-1} \end{aligned}$$

A titre d'exemple, à la fin de l'année 1972 ces doses mesurées après 5 jours d'arrêt (donc le 27.12.1972) auraient dû être 18 mrem/h en section F et 7 mrem/h en section D, en moyenne, ce qui correspond assez bien à la moyenne mesurée. Comme nous l'avons expliqué en ¹⁾, ces doses banales doivent aussi être ajoutées aux doses corrélées, mais affectées alors d'un facteur 0.7.

6.11 Accélération et Ejection à 10 GeV/c

Cette opération donnera à peu près les doses suivantes* :

Septum 16 : $K = 10^{-11}$, pertes : 1%

Septum 81 : $K = 2.7 \cdot 10^{-12}$, pertes : 4% (pourra être réduit)

Dose 17 / dose 16 = 1/5

Dose 82 / dose 81 = 1/5

Doses banales à 10 GeV/c* = - section F : $4 \cdot 10^{-15}$ par acc. pr. s⁻¹
- section D : $1.6 \cdot 10^{-15}$ " " " s⁻¹

(Pour l'injection de ces protons, nous nous rapportons au § 6.9)

6.12 Résumé des Contributions de Chaque Opération

Il peut être intéressant de comparer les contributions de chaque

* Le facteur de réduction des doses provoquées à 10 GeV/c par rapport à celles provoquées à 24 GeV/c a été pris égale à 1.78 comme dans (1). Mais ce facteur devra être vérifié expérimentalement dès que possible. Par ailleurs, pour compter les doses banales à 10 GeV/c, nous avons aussi estimé que l'opération d'éjection à 10 GeV/c serait assez propre.

opération à la radioactivité totale des sections droites. Rappelons qu'ici nous ne nous intéressons qu'à l'activité des sections droites et qu'il est d'usage d'appeler "activité totale" la somme des activités moyennes mesurées dans les 100 sections droites. Cette contribution sera donnée pour l'ensemble des sections correlées à une opération et par proton alloué à cette opération. C'est donc $\Sigma K \times$ pertes pour cette opération :

- Par proton alloué à une cible interne : $9 \cdot 10^{-12}$ rem/h
- " " " à l'éjection lente 62 : $1.2 \cdot 10^{-12}$ rem/h
- " " " à l'éjection lente 16 SQUARE : $1 \cdot 10^{-12}$ rem/h
- " " " à l'éjection rapide 16 : $1.2 \cdot 10^{-12}$ rem/h
- " " " " " " 58 : $2 \cdot 10^{-12}$ rem/h
- " " " " " " 74 : $2 \cdot 10^{-12}$ rem/h

- Par proton accéléré :
 - décharge non protégée : $5 \cdot 10^{-13}$
 - injection : $2 \text{ à } 2.5 \cdot 10^{-13}$ (mal connu)
 - doses banales (total pour l'anneau) : $8.5 \cdot 10^{-13}$
 - opération à 10 GeV/c (total avec injection
accélération et éjection) } : $8 \cdot 10^{-13}$

Exemples:

Pour mieux comprendre les méthodes de calcul, nous allons prendre quelques exemples fictifs.

1er Exemple: soit une opération de cible interne 01 ayant consommée 20% des protons accélérés (allocation) régulièrement pendant 2 ans. Pendant ces deux ans, $2.4 \cdot 10^{19}$ protons ont été accélérés pendant une période s'étendant sur 673 jours entre la fin d'un grand arrêt et le début d'un autre. Cela fait une moyenne sur ces 673 jours de $4 \cdot 10^{11}$ acc. pr. s⁻¹ pour la physique. La radioactivité

en section droite 01 à 40 cm, après deux jours, sera donc : $6.7 \cdot 10^{-12} \times 0.7 \times 4 \cdot 10^{11} \times 0.2 \times \log(1 + 673/2) = 945 \text{ mrem/h}$. La contribution totale de cette opération à l'activité totale de l'anneau sera : $9 \cdot 10^{-12} \times 4 \cdot 10^{11} \times 0.2 \times \log(1 + 673/2) = 1.810 \text{ rem/h}$

2è Exemple : Pour la même intensité accélérée que ci-dessus et une allocation régulière de 40% à l'éjection lente SQUARE 62, la radioactivité en section droite 83 à 40 cm après 2 jours sera : $4.7 \cdot 10^{-12} \times 0.04 \times 4 \cdot 10^{11} \times 0.4 \times \log(1 + 673/2) = 76 \text{ mrem/h}$. La contribution totale de cette opération à l'activité totale de l'anneau sera : $1.2 \cdot 10^{-12} \times 4 \cdot 10^{11} \times 0.4 \times \log(1 + 673/2) = 0.485 \text{ rem/h}$.

7. La Planification des Opérations et des Arrêts en Fonction de la Maintenance Prévue.

Etant donné l'importance de l'irradiation causée par la dernière période d'opération (composante c), il apparaît primordial de planifier l'utilisation des protons en fonction des interventions prévues, dans la mesure du possible. Pour illustrer ce point, nous allons comparer trois types d'opération pendant le mois précédant l'arrêt, en supposant qu'auparavant l'opération du CPS fut régulière pendant 2 ans. Ceci n'est évidemment qu'un exemple : Opération régulière $I_p = 2.3 \cdot 10^{19} \text{ p/an}$ pour environ $3.2 \cdot 10^{12} \text{ p/p}$, soit le double de l'année 1972. Pourcentages moyens = 15% sur la cible 01 et 40% pour l'éjection SQUARE en 62, plus les autres utilisateurs.

Vatiente a)

	645 j.	5j.	23j.	2j.
	----- ----- -----			
Cible 01:	15%		0%	M
SE 62 :	40%		70%	

Variante b)

	645j.	5j.	23j.	2j.	
	-----		-----		
Cible 01 :	15%		30%		M
SE 62 :	40%		40%		

Variante c)

	645j.	5j.	11j.	12j.	2j.	
	-----		-----	-----		
Cible 01 :	15%		60%	0%		M
SE 62 :	40%		10%	70%		

Nous allons calculer la somme totale des radioactivités corrélées avec l'opération cible 01 et avec l'opération SE 62 (§ 6.1 et 6.3) :

Cible 1: $\Sigma K = 13.4 \cdot 10^{-12}$ avec 70% de pertes, soit $9.4 \cdot 10^{-12}$ rem/h par proton alloué par seconde à la cible 01, distribué sur une douzaine de sections droites.

SE 62: $\Sigma K = 1.2 \cdot 10^{-12}$ rem/h par proton alloué par seconde à l'éjection lente 62, distribué sur une douzaine de sections droites.

Nous voyons déjà, à allocations de protons égales, que l'éjection lente 62 apporte 8 fois moins de radioactivité que l'opération de cible 01.

Voici quelle serait la somme des radioactivités le jour M, soit 2 jours après l'arrêt final sur les sections corrélées respectivement aux opérations "cible 01" de "éjection 62" :

	Corrélation Cible 01	Corrélation SE 62	Total Colonnes I + II
Variante a	1.560 rem/h	1.520 rem/h	3.1 rem/h
Variante b	4.860 rem/h	1.120 rem/h	6.0 rem/h
Variante c	3.160 rem/h	1.335 rem/h	4.4 rem/h

Nous remarquons l'énorme gain lorsque l'opération d'une cible interne est arrêtée un mois avant une intervention dans les régions qu'elle irradie. Ce gain est d'un facteur 1.85, soit presque 2, sur le total des deux colonnes, et d'un facteur 3 sur la colonne I, seule lorsque nous comparons les variantes b et a).

Dans la variante c, l'allocation de la cible 01 est groupée dans la première moitié de la période pour lui laisser 14 jours de refroidissement, tandis que l'éjection lente est accumulée en fin de période, car son effet sur la radioactivité est relativement 8 fois moindre que celui d'une cible interne. Il est évident qu'une telle opération, bien que intéressante pour la maintenance, se heurte à certaines difficultés : les cibles ou les physiciens pourraient-ils accepter des pourcentages aussi élevés et ainsi groupés? Mais il serait intéressant d'étudier ce type d'opération lorsque la maintenance le demande, car le facteur de gain est 1.3 pour le total des colonnes I et II, et 1.7 pour la colonne I seule, lorsque nous comparons les variantes c et b. Etant donné le niveau élevé de la radioactivité, ces gains peuvent correspondre à plusieurs centaines de millirems épargnés au personnel chargé de la maintenance.

8. Prévisions de la Radioactivité, Début 1978

En partant des données décrites ci-dessus, nous allons essayer d'estimer quelle pourrait être la distribution de la radioactivité de l'aimant à la fin de la période d'utilisation des cibles internes prévues vers fin 1977 - début 1978.

Les opérations exactes du CPS pour ces périodes ne sont pas très bien connues et les prévisions qui suivent doivent être considérées avec beaucoup de prudence. Elles ne sont données que pour avoir quelques indications très générales (voir Réf. 1), et elles sont basées sur les hypothèses suivantes :

Cible 01 : 15%
Cible 08 : 15%
Ejection lente 62 : 41%
Ejections rapides 58 et 74 : 12% chaque
Ejection rapide 16 : 5%

En plus, une cible "dump" pourrait consommer 5%. Le cycle comprendrait une éjection à 10 GeV/c à 10^{13} p/p en 1977 (avec 5 à 10 fois moins en 1976), et une opération à 25 GeV/c avec $5 \cdot 10^{12}$ p/p, l'ensemble formant un cycle de 4 secondes environ.

Comme au paragraphe précédent nous allons considérer trois variantes pour la dernière période mensuelle avant l'arrêt considéré :

- a) sans cible interne
- b) avec 30% sur la cible 01 seule
- c) avec 60% sur la cible 01 pendant la première moitié seulement de la dernière période mensuelle

Les autres opérations restant inchangées dans ces trois variantes, sauf l'éjection lente 62 qui récupère ce que ne prennent pas les cibles internes.

Le Tableau I donne les doses possibles après 2 jours d'arrêt, à 40 cm de l'enceinte à vide, à peu près au milieu de la section droite considérée. Après 10 jours nous appliquons un facteur de réduction globale de 0.7 bien que ce ne soit pas le même pour toutes les unités car leur radioactivité est plus ou moins fraîche suivant les variantes. Après 30 jours nous appliquons un facteur global de réduction de 0.5 avec la même réserve que

ci-dessus. Les cibles "dumps" et corrélées (D à D + 3) ont été comptées à part. Il faut donc ajouter ces valeurs en les répartissant sur les différentes cibles de décharges qui seront réellement utilisées. Les 57 sections banales non corrélées sont supposées avoir toutes reçues des doses identiques (au facteur "wiggle" près) ce qui est une simplification. Les sections 81 et 82 sont supposées recevoir leur radioactivité du septum du transfert continu de l'éjection à 10 GeV/c. Si d'autres sections sont choisies, il faut y rapporter ces doses*.

La somme des activités des 100 sections droites forme le TAR⁽¹¹⁾ (Total Activity Ring). Bien qu'il soit difficile de déduire de cette valeur des indications utiles pour la maintenance, le TAR donne néanmoins une idée de la différence entre les variantes. Comme décrit au paragraphe précédent, la variante b coûte cher en radioactivité, la variante c est un compromis et la variante a reste celle à utiliser avant un arrêt important.

A titre de comparaison, le TAR à la fin de l'année 1972, était de 5.1 rem/h après 2 jours^{(11)**}. Mais les conditions d'opération étaient différentes.

Il est intéressant de noter que 40% des unités contribuent pour 86% de toute la radioactivité. C'est pourquoi il est profitable, lors d'un grand arrêt, de réparer ces unités en dernier. Dans le cas de la variante a, s'il fallait travailler sur les 100 unités, nous économiserions plus de 3 rem/h sur le TAR en réparant 40% après 30 jours d'arrêt.

Néanmoins il faut s'attendre à ce qu'au début 78, avec les hypothèses de ce paragraphe, une quarantaine d'unités totaliseront à elles seules plus de 10 rem/h à 40 cm après 2 jours, soit à peu près le double de la présente radioactivité.

* Nous avons pris l'hypothèse pessimiste des pertes de 4% (au lieu de 3%) sur les septums 81, 83 et 85 chaque, ce qui peut donner 400 mrem/h de trop sur le TAR.

** Le TAR reconstitué à posteriori par la méthode ici indiquée aurait été de 5.2 rem/h prédits ce même jour.

Les proportions relatives des origines de cette radioactivité seront à peu près (dans l'hypothèse de la variante a) :

- Cible 1 et 8 : 23%
 - Ejection lente 62 : 12%
 - Injection : 5% (très imprécis)
 - Ejection à 10 GeV/c : 18%
 - (injection, accélération et éjection à 10 GeV/c : 29%)
 - décharges de faisceau : 6%
 - radioactivité "banale" non corrélée (à 10 GeV/ et à 25 GeV/c) : 21%
 - Autres utilisateurs (éjections rapides) : 15%
- Total : 100%

La situation présentée ici ne correspond pas au maximum de la radioactivité qui devrait apparaître vers fin 1976 lorsque les cibles internes donneront leur maximum sans impulsion intermédiaire pour l'injection dans le SPS. Une augmentation d'environ 30 à 40% par rapport aux chiffres du Tableau I serait alors probable (sauf pour les sections 16, 17, 81, 82 spécialement irradiées par l'éjection à 10 GeV/c). Une étude plus détaillée de ces différents cas sera présentée dans un prochain rapport sur les conséquences des opérations à haute intensité.

9. Prévisions de la Radioactivité dans les Années '80.

Lorsque le CPS et le SPS seront arrivés à un fonctionnement stable dans les années entre 1980 et 1985, nous pouvons faire les hypothèses suivantes (voir Réf. 1) :

- Ejection lente 62 : 71%,
- Ejection rapide 58 et 74 : 12% chaque
- Ejection rapide 16 : 5%
- Décharge : 5% en plus

Le cycle serait de 5.5 secondes avec $2 \cdot 10^{13}$ p/p pour le SPS et peut être $5 \text{ à } 7 \cdot 10^{12}$ p/p* pour la physique du CPS. Nous faisons les mêmes remarques qu'au paragraphe 8 pour les cibles de décharge D, les sections 81 à 88** ainsi que pour la répartition adoucie des doses banales. Nous obtenons alors la distribution du Tableau II.

Nous constatons d'abord que la radioactivité globale (TAR = 11.5 rem/h après 2 jours) ne va plus augmenter après 1978, date prévue pour l'arrêt des cibles internes, et elle aurait même tendance à diminuer. Dans cette hypothèse, 30% des unités fournissent 75% de la radioactivité.

La répartition parmi les causes principales est :

- Ejection lente 62	20%
- Ejection à 10 GeV/c	30%
- Injection	6% (très imprécis)
- Doses "banales" non corrélées (à 10 et à 25 GeV/c)	26%
- Décharges de faisceau	6%
- Autres utilisateurs (éjections rapides)	12%
Total	100%

Une prévision plus optimiste permet de diminuer de 25% les doses des sections 81 à 88 (en prenant 3% de pertes au lieu de 4%), et de diminuer encore de 30% les sections corrélées à la physique à 25 GeV/c (éjection lente 62 et éjections rapides, en prenant $5 \cdot 10^{12}$ p/p au lieu de $7 \cdot 10^{12}$ p/p). Alors le TAR peut diminuer de 15% et devenir environ 10 rem/h après 2 jours (à comparer à 6 rem/h actuellement en moyenne).***

* Nous avons pris $7 \cdot 10^{12}$ p/p pour la physique à 25 GeV/c, ce qui est peut-être optimiste et donne donc une radioactivité pessimiste. Ce cycle n'est qu'une hypothèse de travail parmi des dizaines d'autres possibles et n'est présenté qu'à titre d'illustration.

** Entre autre nous avons encore pris 4% de pertes (et non 3%) sur les septums 81, 83 et 85, ce qui est pessimiste.

*** Nous devons aussi considérer le cas où la décharge (dump) interne non protégée disparaît peu à peu et où seulement 10^{13} p/p seraient injectés dans le SPS. Alors le TAR du tableau I (§ 8) baisserait d'environ 10% et celui du tableau II (§ 9) d'environ 15%.

10. Doses Effectivement Reçues par le Personnel Pendant la Maintenance

a) Doses spécifiques

Nous supposons d'abord que l'opération du CPS et ses arrêts ont été organisées ensemble de façon à minimiser les doses reçues par le personnel en fonction de la maintenance prévue, comme nous l'avons indiqué au paragraphe 7.

Mais la dose reçue par la personne travaillant sur une section droite i n'est pas celle décrite jusqu'ici dans ce rapport que nous appellerons D_i . Nous devons appliquer trois facteurs de réduction :

- 1) le travail sur les sections très actives est retardé au maximum, ce qui fait que la dose décroît avec le délai suivant la Fig. 2. Nous pouvons donc appliquer un "facteur de délai" f_d , valant $\log(1 + T/2)/\log(1 + T/t)$, où t est le délai en jours entre l'arrêt de la physique et l'intervention. Avec $T = 200$ nous obtenons une assez bonne représentation, d'où $f_d = 2/\log(1 + 200/t)$.
- 2) La personne travaillant une heure sur la section i n'est pas, pendant une heure, immobile à 40 cm de l'enceinte à vide. Suivant le type d'intervention nous obtenons la dose effectivement reçue pendant une heure en divisant la dose D_i par un "facteur de présence" f_p , qui varie entre 1 et 5 suivant le travail à faire.
- 3) La dose varie aussi suivant l'équipement qui est conservé pendant l'intervention. Lorsque les sections droites sont démontées et les chambres à vide enlevées, la dose engendrée par les aimants seuls est diminuée d'un facteur f_e que nous appellerons "facteur d'équipement". Il est malheureusement très variable. La valeur moyenne sur une vingtaine de cas donne $f_e = 2$ lorsque section droite et chambre à vide sont enlevées. Mais ce facteur de réduction est plus important lorsque l'enceinte enlevée contient un septum, et il atteint même 10 pour la section 26 lorsque l'inflexeur est

démonté, car dans ce cas particulier la radioactivité est très localisée à cause de la faiblesse de l'énergie (50 MeV). Lorsque seule la section droite est enlevée mais que la chambre à vide reste, nous prendrons un f_e un peu plus faible (1.7 en moyenne, avec des valeurs plus importantes pour les sections contenant septums ou inflecteurs).

Ainsi la dose effective $D_{e,i}$ reçue par une personne travaillant une heure sur la section i se déduit de la dose mesurée à 40 cm après 2 jours d'arrêt (D_i telle qu'elle est décrite dans ce rapport et mesurée par la Physique de Santé) par la formule

$$D_{e,i} = \sigma D_i \quad (6)$$

avec

$$\sigma = \frac{1}{f_e \cdot f_p} \cdot \frac{1}{2} \cdot \log (1 + 200/t) \quad (7)$$

où t est le nombre de jours entre l'arrêt et l'intervention. Si la radioactivité est vraiment très fraîche, nous pouvons remplacer le facteur de délai $(\log (1 + 200/t)/2)$ par $\log (1 + T/t)/\log(1 + T/2)$ où T serait inférieur à 200; mais l'écart avec la formule 7 restera assez faible.

b) Doses générales

Il convient d'ajouter aux doses spécifiques définies ci-dessus une dose générale reçue pendant les séjours dans l'anneau, soit en-dehors des travaux spécifiques, soit pour des travaux multiples difficiles à corrélérer à certaines sections droites, soit par une présence inutile dans une zone radioactive ("talk-dose"). L'importance de cette dose est qu'elle est proportionnelle à la longueur de l'arrêt. C'est une valeur très imprécise car elle peut être fortement influencée par un séjour prolongé près d'une section très radioactive. Nous ne

donnons ici que des valeurs très indicatives obtenues en moyennant de multiples présences dans l'anneau.

C'est ainsi que durant des arrêts de 1972, cette dose a été de 18 mrem/jour pour les arrêts courts et de 10 mrem/jour en moyenne sur l'arrêt long de 7 semaines de 1973. C'est pourquoi, sur 35 jours ouvrables d'arrêt, une personne peut accumuler 350 mrem rien que par sa présence dans l'anneau. Il est évident que, lorsque nous évaluons la dose reçue par une personne pour un travail spécifique, nous ne comptons cette dose générale que pour le temps supplémentaire passé dans l'anneau en-dehors des interventions spécifiques.

Il y a deux méthodes pour prévoir l'évolution de cette dose; soit en la reliant au TAR, soit en la reliant aux doses "banales" du § 6.10. Elle pourra donc être définie comme valant (mesurée après 2 jours d'arrêt) : $1,8 \cdot 10^{-14}$ rem/jour par proton accéléré par seconde pendant les 2 années précédentes, ou $\text{TAR (rem/h)} \times 3,5 \cdot 10^{-3}$ rem/jour. La vérité doit se trouver entre ces deux estimations.

c) Deux exemples

Pour illustrer cette formule, prenons comme exemple le cas de Monsieur R. qui travailla sur le cerclage des blocs d'aimant pendant l'arrêt de janvier 1972. Il s'agit d'un exemple simplifié avec des facteurs très moyennés, dans le seul but de montrer la méthode. t_i est le temps en heures passé sur une unité i pour l'intervention correspondante. D_i est la dose mesurée à 40 cm après 2 jours d'arrêt sur l'unité.

Intervention	t_i (h)	$\Sigma t_i D_i$	f_e	f_p	f_d	$\sigma = \frac{1}{f_e \cdot f_p \cdot f_d}$	Dose effective $\Sigma \sigma t_i D_i$
Déconnexion de 2 unités	3	62	1.7	3	1.8	$1/g=0.11$	7
Reconnexion de 7 unités	7	4000	1.7	3	1.8	$1/g=0.11$	444
Changement de joints sur 7 unités	0.3	187	1.7	1	1.8	$\frac{1}{2.7}=0.37$	69
Réparation complète de 9 blocs avec démontage et nettoyages divers	9	7400	2	2	1.8	$\frac{1}{7}=0.14$	1.050
Dose générale reçue dans l'anneau (approx.)							130

Total = 1.700 rem

Nous trouvons donc un total d'environ 1.7 rem. Or les mesures, tant sur le film-badge que sur les dosimètres personnels, ont indiqué que durant cette période Monsieur R avait reçu 1.630 rem.

Il serait trop long ici de détailler tous les travaux possibles sur l'aimant avec les temps d'intervention et les facteurs de réduction. C'est d'ailleurs un travail qui est en cours d'élaboration. Signalons seulement un travail important : le démontage et le remontage d'une section droite par le Groupe Vide :

Intervention	t(h)	f_p	Nombre de personnes nécessaires
Démontage d'une section droite	2	4	2
Remontage d'une section droite	3	4	2
Réparation de fuite évent. (avec 20% de probabilité)	4	4	2 (donc 0.8 h en moyenne)
Contrôle d'isolation et de masses	0.75	5	2

Donc pour ce seul travail la somme $\Sigma \frac{t}{f_p}$ vaut 1.6 heure-équivalente pour chacune des deux personnes. Si la section droite engendre 100 mrem/h à 40 cm, ce travail seul provoquera donc une dose personnelle de 160 mrem. Il faut alors garder à l'esprit que, rien que pendant l'année 1972, une centaine de ces opérations ont été effectuées sur des sections droites plus ou moins radioactives.

11. Statistiques des Interventions sur le CPS

Nous utilisons dans ce paragraphe des données fournies par les groupes Vide (P. Riboni, A. Burllet) et Anneau du MPS, et par le groupe de la Physique de Santé (E. Barbe, M. Höfert). Une première étude dans ce sens apparaît dans (12).

Comme nous ne voulons pas traiter ici tout l'ensemble des interventions dans l'anneau, nous ne prendrons que deux exemples pour illustrer la méthode:

a) Le groupe Vide-MPS qui est le groupe le plus exposé aux radiations dans le PS, car il est chargé du démontage et du remontage des sections droites, avec la section Mécanique, b) le personnel du groupe Aimant, chargé de réparer les unités d'aimant et de changer les enroulements pôlaires.

11.1 Cas du Groupe Vide-Mécanique

Ce groupe considère trois aspects principaux dans ses interventions :

- A) démontage et remontage complet d'une section droite (≈ 6 heures^{*}, 2 personnes)
- B) action sur la chambre à vide sans démontage complet (intervention sur cible, électrode PU etc..., soit ≈ 1 heure à 2 personnes)
- C) démontage de tubes à vide dans les régions d'injection et d'inflexion (même temps que A) mais avec peut-être dix fois moins de doses).

Le tableau suivant donne le nombre annuel d'interventions qui est assez constant pour le type A) (soit environ 100 démontages de section droites par an), bien qu'en légère augmentation.

* Ces horaires sont approximatifs et varient beaucoup selon le cas.

TYPE D'INTERVENTION	1970	1971	1972
A	95	100	105
B	80	78	72
C	6	16	35

Pour pouvoir prédire la dose que recevra le personnel chargé de ces travaux, nous devons connaître la dose moyenne d'une section droite à 40 cm après 2 jours d'arrêt, soit dans les conditions de référence. Etant donné la diversité des sections droites démontées, nous aurions pu espérer que cette dose moyenne par section droite serait le centième du TAR ("Total Activity Ring") dont nous savons que, ces dernières années, la valeur oscillait entre 4.8 et 5 rem/h, soit entre 48 et 50 mrem/h par S.D. Mais en réalité nous nous apercevons que, pour les sections droites réellement démontées cette valeur moyenne a bien été 48 mrem/h pour l'année 1972^{*}, mais qu'elle ne fût que de 30 mrem/h pour l'année 1971. Cela nous montre qu'en prenant systématiquement la valeur TAR/100 comme dose moyenne par section droite, nous pouvons introduire une erreur non négligeable et qu'il vaut mieux calculer la dose réelle section droite par section droite pour éviter des surprises.

Le facteur de réduction de dose (facteur de présence par facteur de délai et par facteur d'équipement) est pris égal à 0.22 en moyenne.

Dans le tableau qui suit, le temps de présence dans l'anneau est calculé d'après le nombre d'interventions type A,B et C multiplié par le nombre d'heures de chaque intervention et le nombre de personnes par équipe (environ 2). La dose générale est celle décrite au § 10 a) pour 40 jours à 7 mrem/jour; cela correspond, dans l'année, à la dose générale prise en une demi-journée, l'autre demi-journée étant réservée pour le travail spécifique à courte distance de la chambre à vide.

* Dans ce rapport nous appelons "dose annuelle 1971" la dose reçue pendant les petits arrêts de 1971, plus celle reçue lors du grand arrêt qui suit cette année (soit janvier 1972). De même nous considérons 72 comme comprenant le grand arrêt de janvier 73.

	1971	1972
Personnel CERN présent en moyenne à tous les arrêts	6.9	6,4
Personnel extérieur présent seulement dans les grands arrêts	5	5
a) Présence totale dans l'anneau - pour le travail spécifique (heures)	687x2 = 1374	723x2 = 1446
b) Facteur de réduction de dose	0.22	0.22
c) Dose de référence moyenne par section droite intéressée (mrem/h))	30	48
Dose spécifique totale (a,b,c) (rem)	9.07	15.27
Dose générale de présence non spécifique (40 demi-journées (rem)	2.56	2.56
Dose totale calculée (rem)	<u>11.63</u>	<u>17.83</u>
Dose réellement mesurée sur les dosimètres portatifs (rem)	<u>11.8</u>	<u>16.9</u>

Nous donnons dans le tableau ci-dessous la dose moyenne reçue par le personnel CERN pendant la période considérée, calculée suivant la même méthode.

	1971	1972
Dose calculée comme ci-dessus (rem)	1.32	2.4
Dose réellement mesurée (rem)	1.4	2.1

Nous voyons donc que, malgré des simplifications qui peuvent paraître excessives, la méthode statistique peut donner des résultats relativement cohérents.

Il semble que les 12 à 13 personnes intéressées reçoivent déjà actuellement le maximum techniquement acceptable. Lorsque le TAR aura

doublé, plusieurs solutions seront à envisager, parmi lesquelles il faudra choisir, soit :

- a) doubler la quinzaine de personnes la plus exposée dans la maintenance
- b) réduire le nombre d'interventions
- c) diminuer les temps de présence par intervention et dans l'anneau en général (par amélioration de l'équipement et de la discipline par exemple)
- d) planifier l'opération du CPS en fonction des démontages prévus pour avoir un temps suffisant de décroissance radioactive des régions irradiées par les cibles ou les éjections etc...

11.2 Cas du Groupe Aimant

Pour changer les enroulements pôlaires et réparer les blocs d'aimant il faut à peu près 10 heures à 2 personnes par unité, avec un facteur de réduction de dose valant 0.15 en moyenne sur l'année. Si l'unité doit en plus être déplacée, il faut ajouter le même temps pour les connexions et les déconnexions.

Donc en moyenne, chaque membre de l'équipe de deux recevra, par unité : $\frac{TAR}{100} \times 10 \times 0.14 = 70 \text{ mrem}$, ou 150 mrem si l'unité doit être déplacée (pour TAR = 5 rem/h).

A titre d'exemple, supposons que ce travail doit être fait sur les 100 unités en un arrêt, à une époque où le TAR vaudrait à peu près 8 rem/h. Supposons que 40% de ces unités doivent être déplacées. La dose totale reçue par le personnel faisant ce travail serait à peu près

(ceci est très approximatif et ne doit être considéré que comme un exemple) :

$$2 \times 8 \times 0.14 (0.6 \times 10 + 0.4 \times 20) = 31.5 \text{ rem}$$

Cela montre qu'il faudrait au moins 16 personnes pour faire ce travail spécifique, en dehors de toute autre considération (en supposant 2 rem/an pour chaque personne).

12. Références et Méthodes

Les résultats donnés dans le présent rapport proviennent principalement des relevés routiniers faits par la Physique de Santé, de certaines estimations faites par d'autres groupes (2,3,4,5,6,11) ainsi que de mesures faites par nous-mêmes avec le matériel obligeamment prêté par la Physique de Santé.

Les corrélations entre sections droites sont basées sur les données de la référence (1), corrigées par des mesures particulières. Les données sur les interventions ont été obtenues pendant l'arrêt de janvier-février 1972 en particulier des groupes Vide, Anneau, Mécanique et Alimentation. Les hypothèses sur les opérations du CPS ont été décrites dans (1).

Je tiens à remercier ici toutes les personnes qui m'ont aidé dans ce travail, en particulier MM. M. Nielsen, E. Barbe, M. Höfert, A. Bùrlet, ainsi que MM. G. Munday, C. Germain et G. Plass pour leur intérêt à cette étude.

Références

1. "Taux d'irradiation des unités de l'aimant. Statistiques et prévisions."
R. Gouiran - MPS/MU-Note/EP 72-15, Rev.
2. "Radiation problems encountered in the design of Multi-GeV research facilities." K. Goebel, CERN 71-20.
3. "Estimation of induced radioactivity around high energy accelerators from hadronic cascade star densities obtained from Monte-Carlo calculations." J. Ranft and K. Goebel, 300 GeV/RAD. Note/70-24.
4. "Predictions of induced radioactivity in the PS Ring." K. Goebel and M. Nielsen. HP-70-90.
5. "Prediction of future radiation levels from induced radioactivity around the proton synchrotron and in regions near external targets in view of higher machine intensities." M. Höfert, M. Nielsen, J.M. Hamon - HP-73-124.
6. "The work in highly radioactive experimental areas of the PS and estimate of induced activity and radiation damage inside the tunnels of extracted beams." P. Coet - CERN/MPS-MU/EP 72-2.
7. "Fluka and Magka", Monte-Carlo program for calculating nuclear meson cascades in cylindrical geometries." J. Ranft, J.T. Routti - CERN-Lab II RA/71-4.
8. "Induced Radioactivity." M. Barbier, North Holland Publ.
9. "Radiation problems in view of high intensity beam dumping on dump D1", M. Höfert, J.M. Hanon, M. Nielsen, HP 73-120.

10. "Time variation of the dose rate from radioactivity induced in a high energy accelerator." A.H. Sullivan, T.R. Overton - Health Physics, II, 1101-1105 (1965).
11. "Radiation in the PS Ring during '69, '70, '71." J.H.B. Madsen, MPS/CO Note 72-11.
12. "The second stage CPS improvement study." MPS-int/DL/B 67-19.

Distribution :

Membres du groupe d'étude sur l'aimant CPS
Chefs de Groupes MPS

E. Barbe
A. Burllet
J. Freeman
K. Goebel
M. Höfert
G.L. Munday
M. Nielsen
P. Riboni
C.J. Zilverschoon

TABLEAU I

Prévisions des doses de radioactivité début 1978, après 2 jours d'arrêt à 40 cm (voir par. 8 pour l'opération choisie). Après 10 jours, multiplier par 0.7 et après 30 jours multiplier par 0.5 environ.

Section droite	Dose en mrem/h variante			Section droite	Dose en mrem/h variante		
	a	b	c		a	b	c
1	767	2167	1457	28	48	118	83
2	159	439	297	29	177	457	315
3	156	335	233	30	159	439	297
4	48	118	83	31	54	101	71
5	59	115	87	32	17	17	17
6	42	42	42	33	42	42	42
7	17	17	17	34	17	17	17
8	767	767	767	35	42	42	42
9	279	279	279	36*	17	17	17
10	138	138	138	37	138	138	138
11	66	66	66	38	30	30	30
12	48	48	48	39	42	42	42
13	130	130	130	40	17	17	17
14	36	54	40	41	42	42	42
15	44	72	58	42*	500	500	500
16	912	921	921	43*	70	70	70
17	210	210	210	44	17	17	17
18	20	20	20	45	42	42	42
19	103	249	172	46	17	17	17
20	17	17	17	47	42	42	42
21	42	42	42	48	17	17	17
22	17	17	17	49	47	47	47
23	42	42	42	50	17	17	17
24	17	17	17	51	42	42	42
25	42	42	42	52	17	17	17
26	17	17	17	53	42	42	42
27	42	42	42	54	17	17	17

* très incertain

TABLEAU II (Suite)

Section droite	Dose en mrem/h variante			Section droite	Dose en mrem/h variante		
	a	b	c		a	b	c
55	42	42	42	82**	212	212	212
56	17	17	17	83	248	190	167
57	42	42	42	84	84	62	57
58	348	348	348	85	294	224	196
59	114	114	114	86	38	31	28
60	17	17	17	87	56	49	46
61*	230	190	167	88	38	31	28
62	469	334	287	89	50	50	50
63	118	94	85	90	17	17	17
64	74	58	51	91	42	42	42
65	92	76	69	92	17	17	17
66	17	17	17	93	42	42	42
67	92	76	69	94	17	17	17
68	17	17	17	95	42	42	42
69	42	42	42	96	17	17	17
70	17	17	17	97	130	130	130
71	42	42	42	98	112	112	112
72	17	17	17	99	42	42	42
73	42	42	42	100	17	17	17
74	180	180	180	D	491	491	491
75	190	190	190	D+1	122	122	122
76	17	17	17	D+2	80	80	80
77	42	42	42	D+2	49	49	49
78	17	17	17				
79	42	42	42				
80	17	17	17				
81**	980	980	980				
				<u>Total, rem/h</u>			
				après 2 jours	11.5	13.9	12.3
				après 10 jours	8	9.7	8.6
				après 30 jours	5.8	7	6.2

* Durée d'utilisation du septum malconnue

** Si l'éjection à 10 GeV/c utilise d'autres sections pour le septum, ces valeurs devront y être rapportées.

TABLEAU III

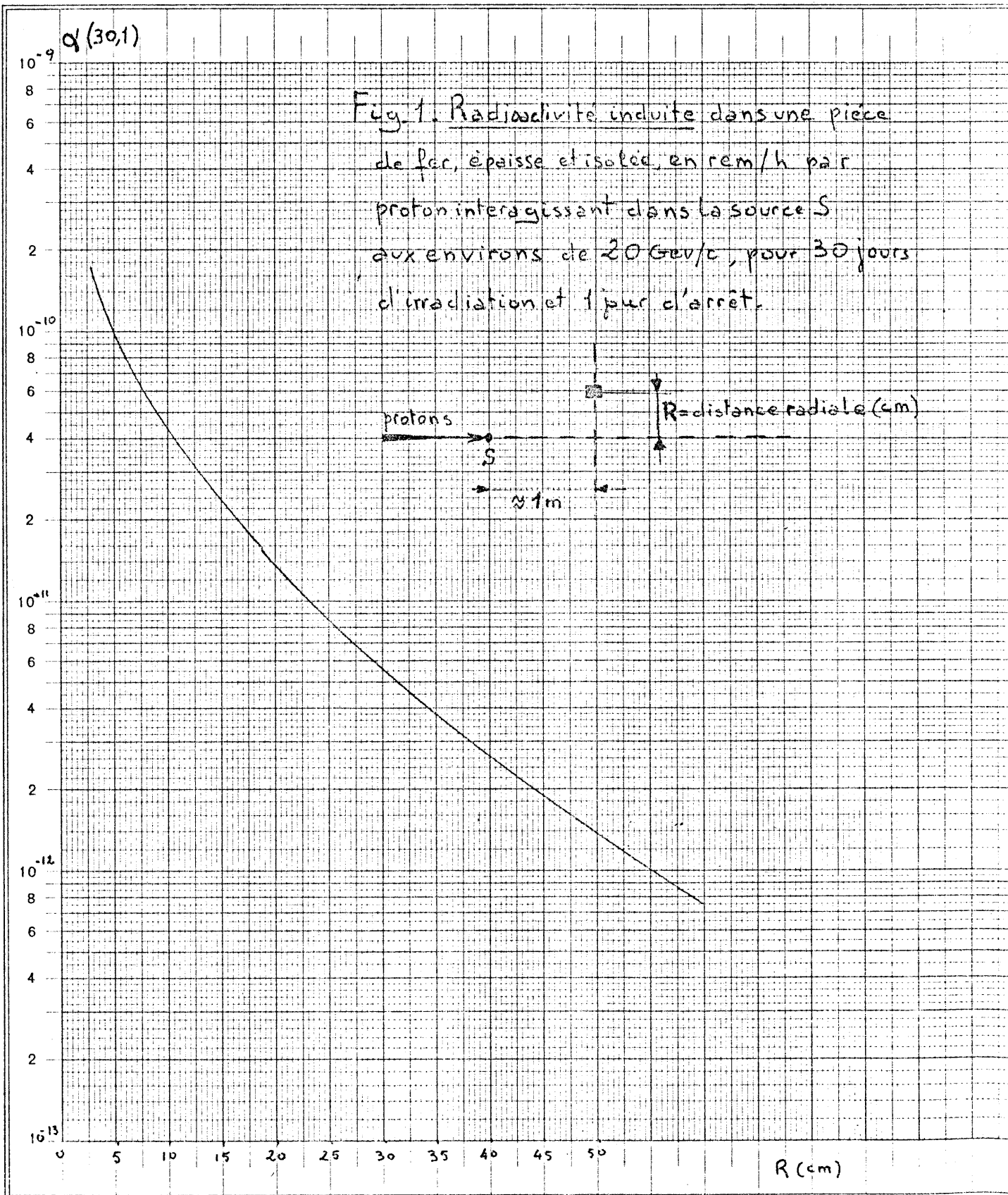
Prévision de la radioactivité après 2 jours à 40 cm dans les années 1980 à 1985

Section droite	mrem/h	Section droite	mrem/h	Section droite	mrem/h	Section droite	mrem/h
1	156	28	23	55	50	82	300
2	40	29	70	56	19	83	400
3	70	30	40	57	50	84	100
4	23	31	55	58	285	85	360
5	57	32	19	59	95	86	50
6	19	33	50	60	19	87	70
7	50	34	19	61*	300	88	50
8	125	35	50	62	563	89	50
9	85	36	19	63	160	90	19
10	33	37	150	64	97	91	50
11	51	38	20	65	120	92	19
12	19	39	50	66	20	93	50
13	13	40	20	67	120	94	19
14	113	41	50	68	20	95	50
15	50	42**	1100	69	50	96	19
16	1254	43**	140	70	20	97	110
17	290	44	19	71	50	98	80
18	150	45	50	72	20	99	50
19	50	46	19	73	50	100	20
20	19	47	50	74	170	D	380
21	50	48	19	75	170	D+1	95
22	19	49	52	76	20	D+2	63
23	50	50	19	77	50	D+3	337
24	19	51	52	78	20	Total après 2 jours = 10.9 rem/h	
25	50	52	19	79	50	" 10 jours = 7.6 "	
26	19	53	50	80	20	" 30 jours = 5.5 "	
27	50	54	19	81***	1250		

* Le sort de la S.D. 61 est mal connu.

** Très incertain

*** Peut-être sur une autre section droite pour le transfert continu à 10 GeV/C



Logar. Teilung 1-10000, Einheit 50 mm

Fig. 2. Décaissance de la Radioactivité.

A: Valeurs moyennes pour le CPS correspondant

$\hat{a}: \log(1 + 200/t)$

B: $\log(1 + 670/t)$

C: $\log(1 + 22/t)$

à 1 heure (A)

2; (B)

2; (A)

2; (A)

5; (A)

2; (E)

B

A

C

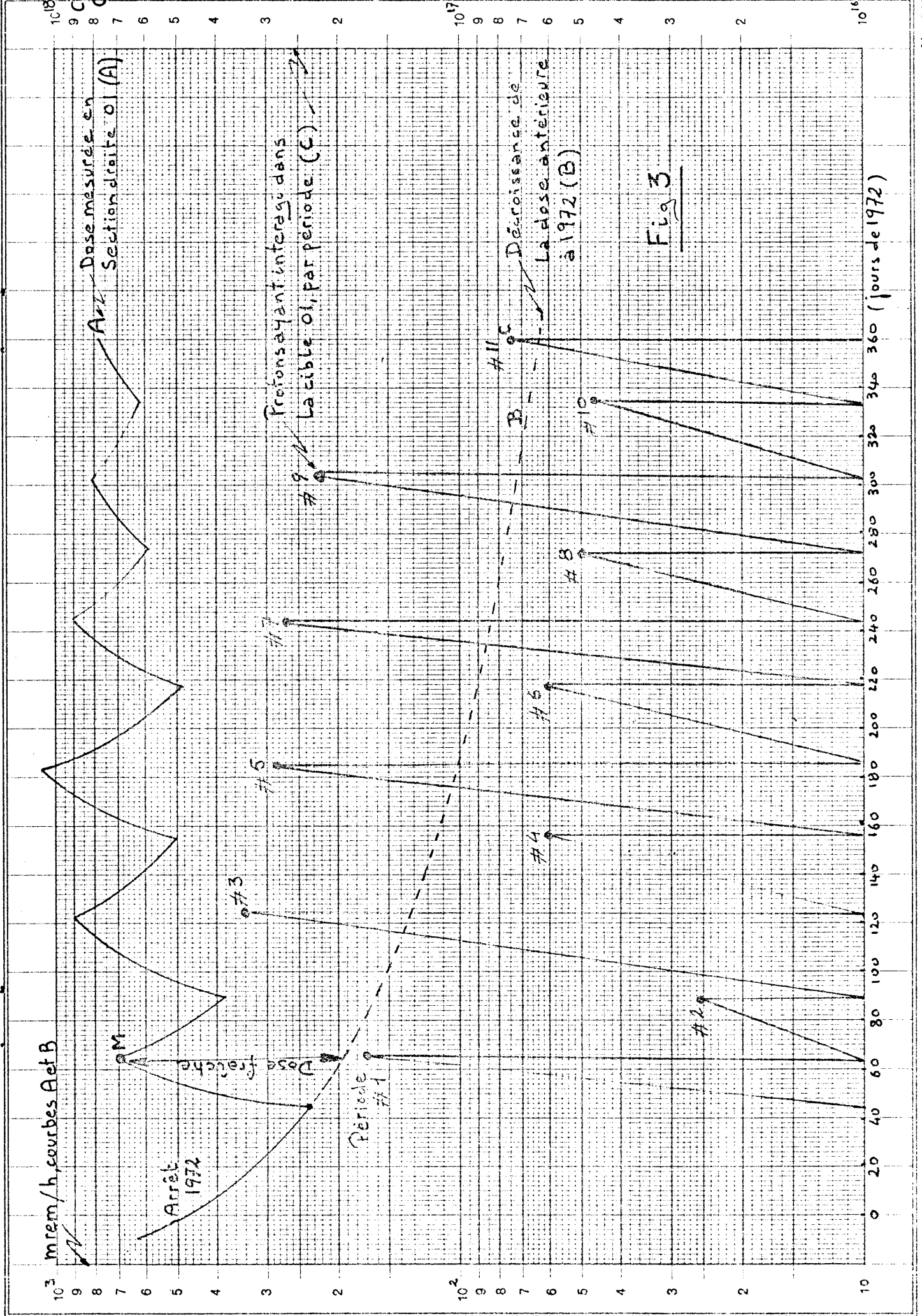
$\log(1 + 200/t)$

10
9
8
7
6
5
4
3
2
1

10¹
9
8
7
6
5
4
3
2
1

0
10
20
30
40
50
100
200

t (jours)

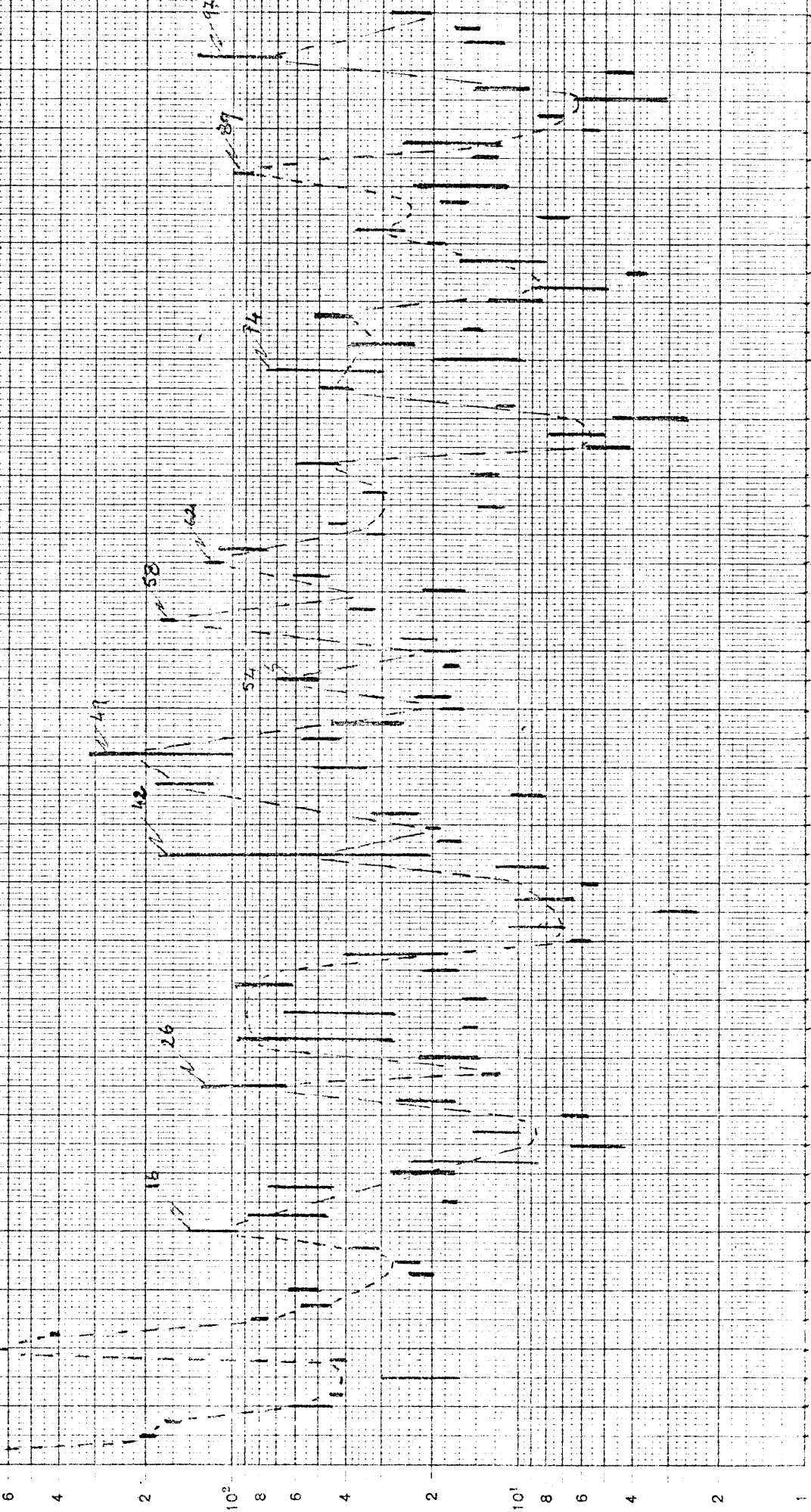


Teilung } 1-100, Einheit } 82,33 mm
 Logar. Division }

mrem/h

9

Fig. 4 Exemple de Distribution Simultane de la Radioactivite du CPS
(1972 - Periode #5)



2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64 66 68 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98 100 Section droite