

5. MESURES DE CONTAMINATION ATMOSPHERIQUE

5.1. Appareils de Prélèvement d'Air

La Figure 5 présente de façon schématique la séquence des modèles qui doivent être utilisés pour permettre l'interprétation en termes de dose efficace engagée des mesures de contamination atmosphérique réalisées par des Appareils de Prélèvement d'Air (APA).

Ces modèles sont le modèle d'Exposition, ainsi que la totalité du modèle Dosimétrique d'inhalation comprenant, dans l'ordre, les sous-modèles Pulmonaires et Digestifs, le sous-modèle Biocinétique, le sous-modèle d'Irradiation et le sous-modèle de Pondération.

En effet, l'évaluation de la dose efficace engagée s'effectue en deux temps et consiste à déterminer tout d'abord l'activité inhalée sur la base de l'activité mesurée, puis à déterminer la dose efficace engagée sur la base de l'activité inhalée.

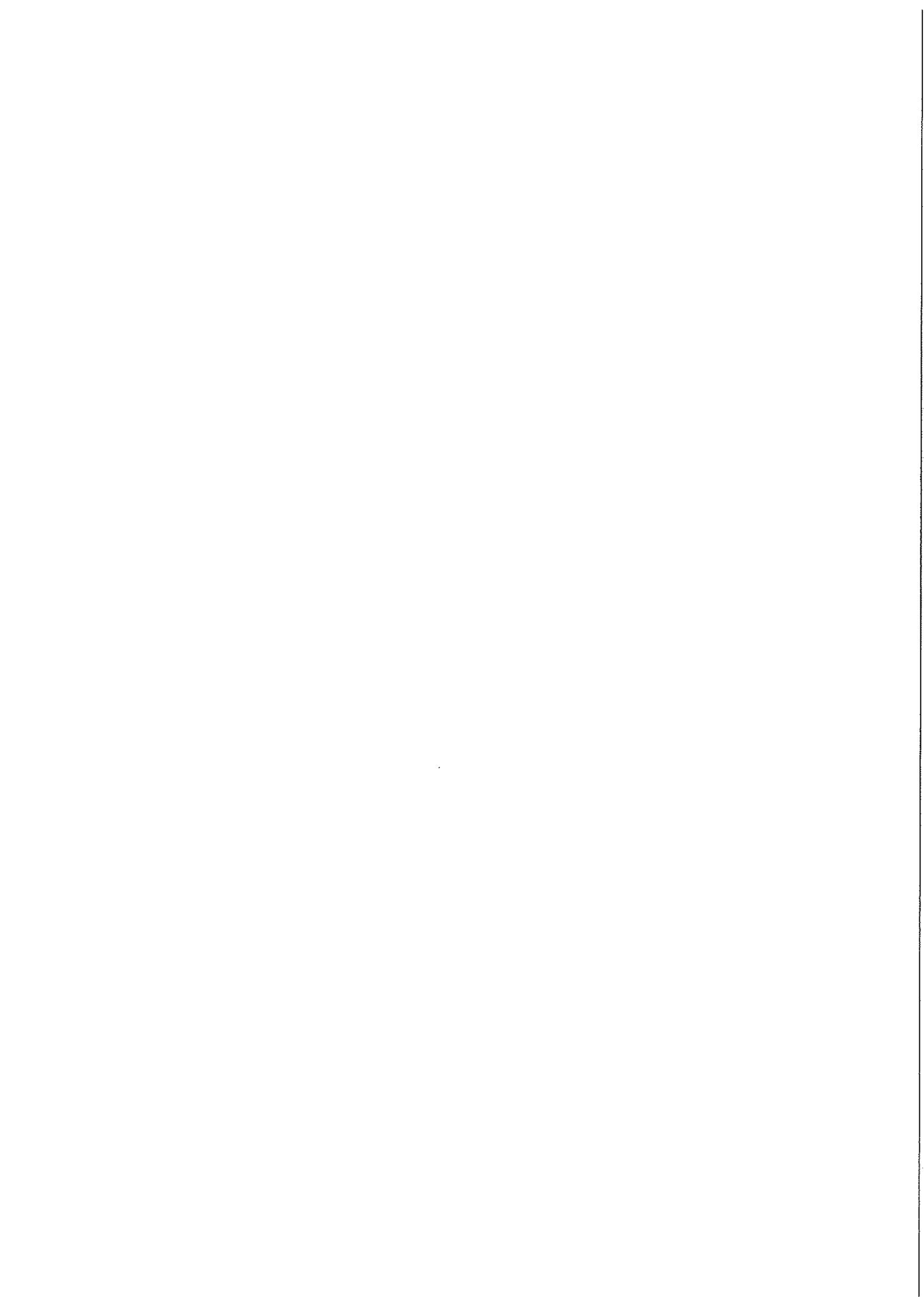
Dans un premier temps, l'application du modèle d'exposition permet de déterminer l'activité inhalée sur la base de l'activité mesurée par les APA.

Dans un deuxième temps, l'application de facteurs de dose permet de passer directement de l'activité inhalée à la dose efficace engagée, en appliquant l'ensemble des sous-modèles dosimétriques.

On notera qu'une grande part de l'incertitude associée à l'estimation réside, au delà de l'utilisation du modèle dosimétrique, dans l'utilisation du modèle d'exposition.

En effet, ce dernier nécessite non seulement des mesures de concentration atmosphérique représentatives de l'air inhalé, mais aussi la connaissance du débit respiratoire et du temps passé par les travailleurs concernés aux différents postes de travail. Ces exigences constituent les points faibles de ce moyen de surveillance.

On notera enfin que la nature même de ces mesures ne leur permet pas d'estimer la dose résiduelle reçue par des opérateurs pourvus de dispositifs de protection respiratoire.



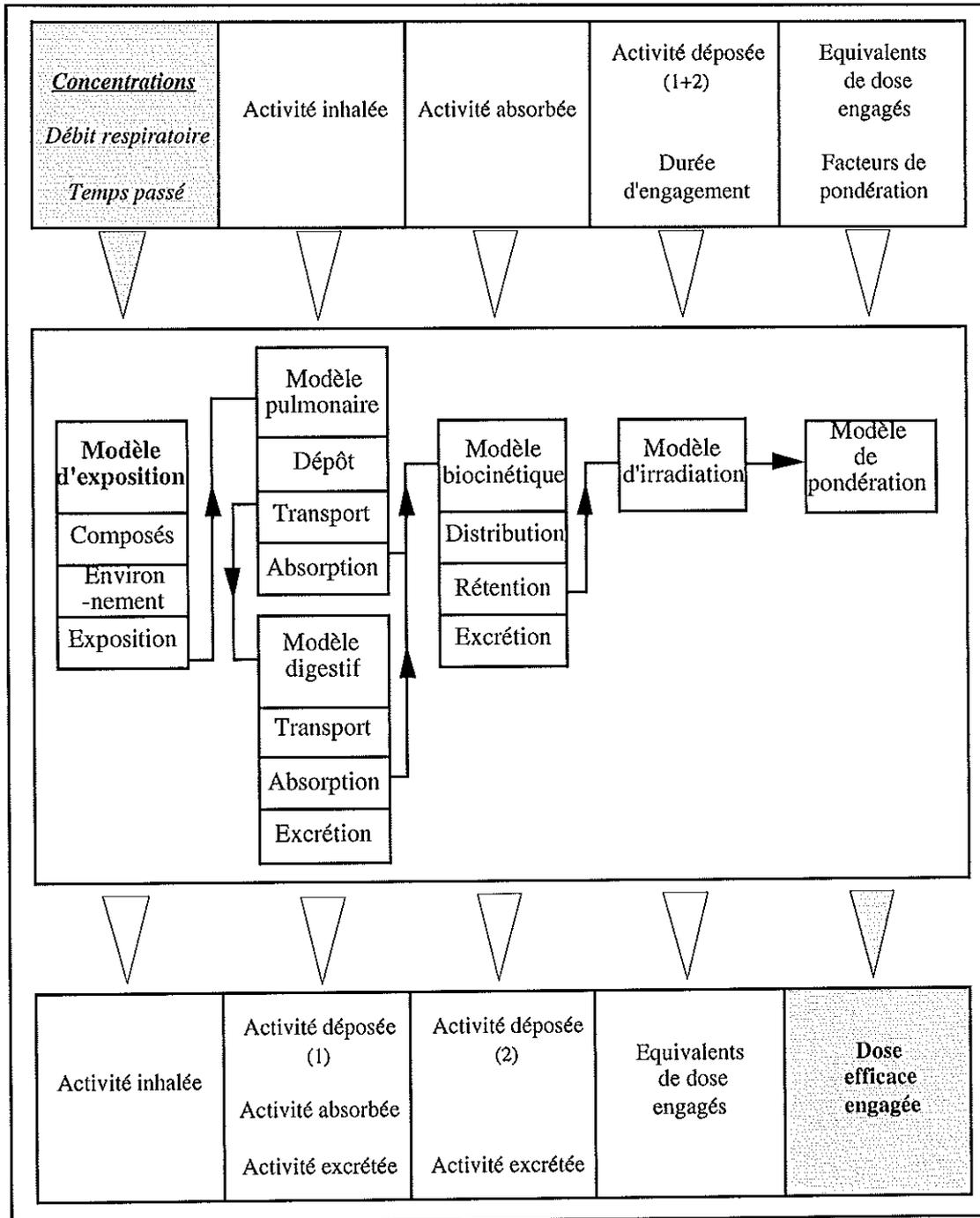
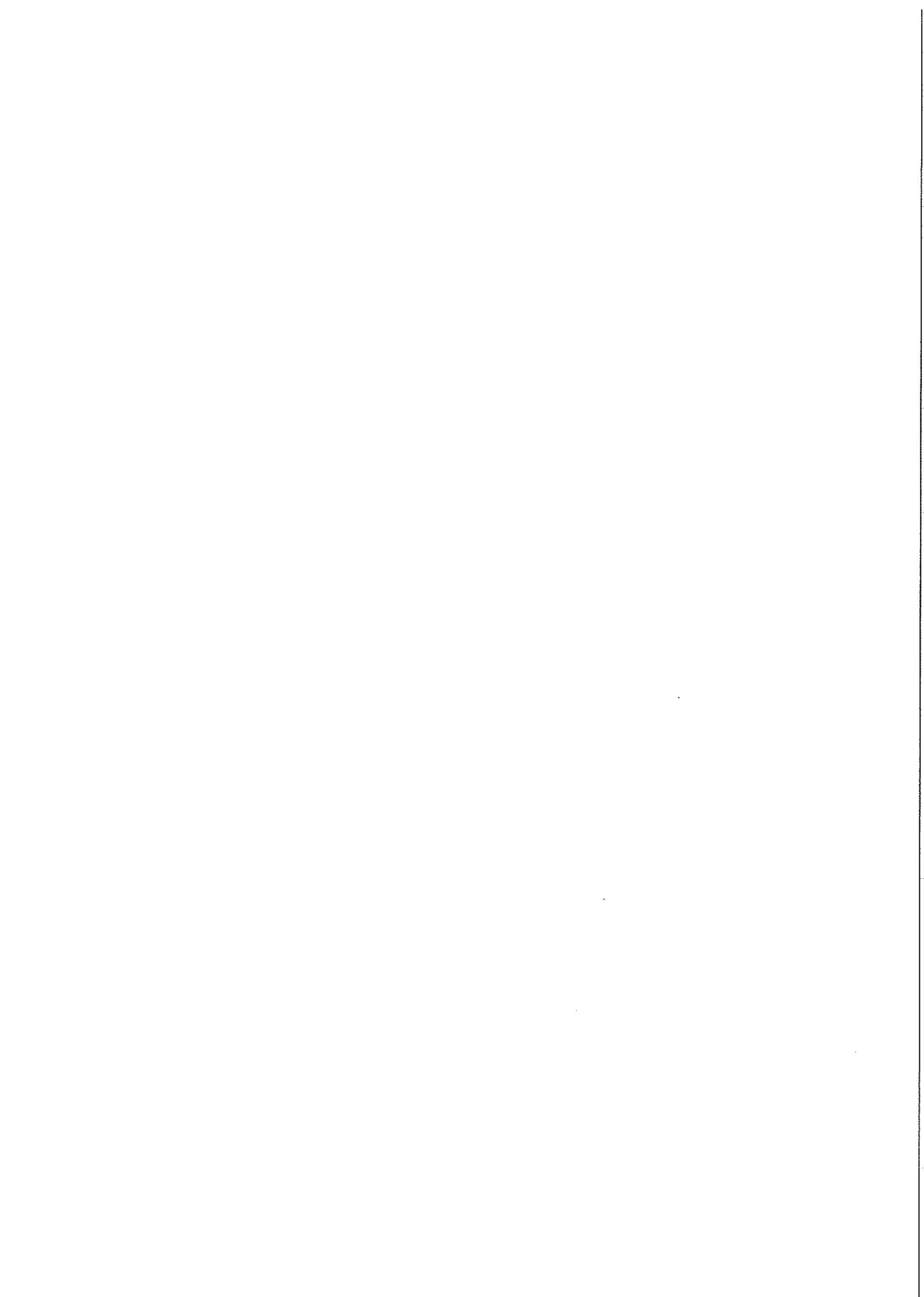


Figure 5. Modèles utilisés pour le calcul des doses internes par prélèvement d'air collectif (APA)



5.2. Systèmes Individuels de Dosimétrie Interne

La Figure 6 présente de façon schématique la séquence des modèles qui doivent être utilisés pour permettre l'interprétation en termes de dose efficace engagée des mesures de contamination atmosphérique réalisées par des Systèmes Individuels de Dosimétrie Interne (SIDI).

Ces modèles se réduisent en fait au modèle Dosimétrique d'inhalation comprenant, dans l'ordre, les sous-modèles Pulmonaires et Digestifs, le sous-modèle Biocinétique, le sous-modèle d'Irradiation et le sous-modèle de Pondération.

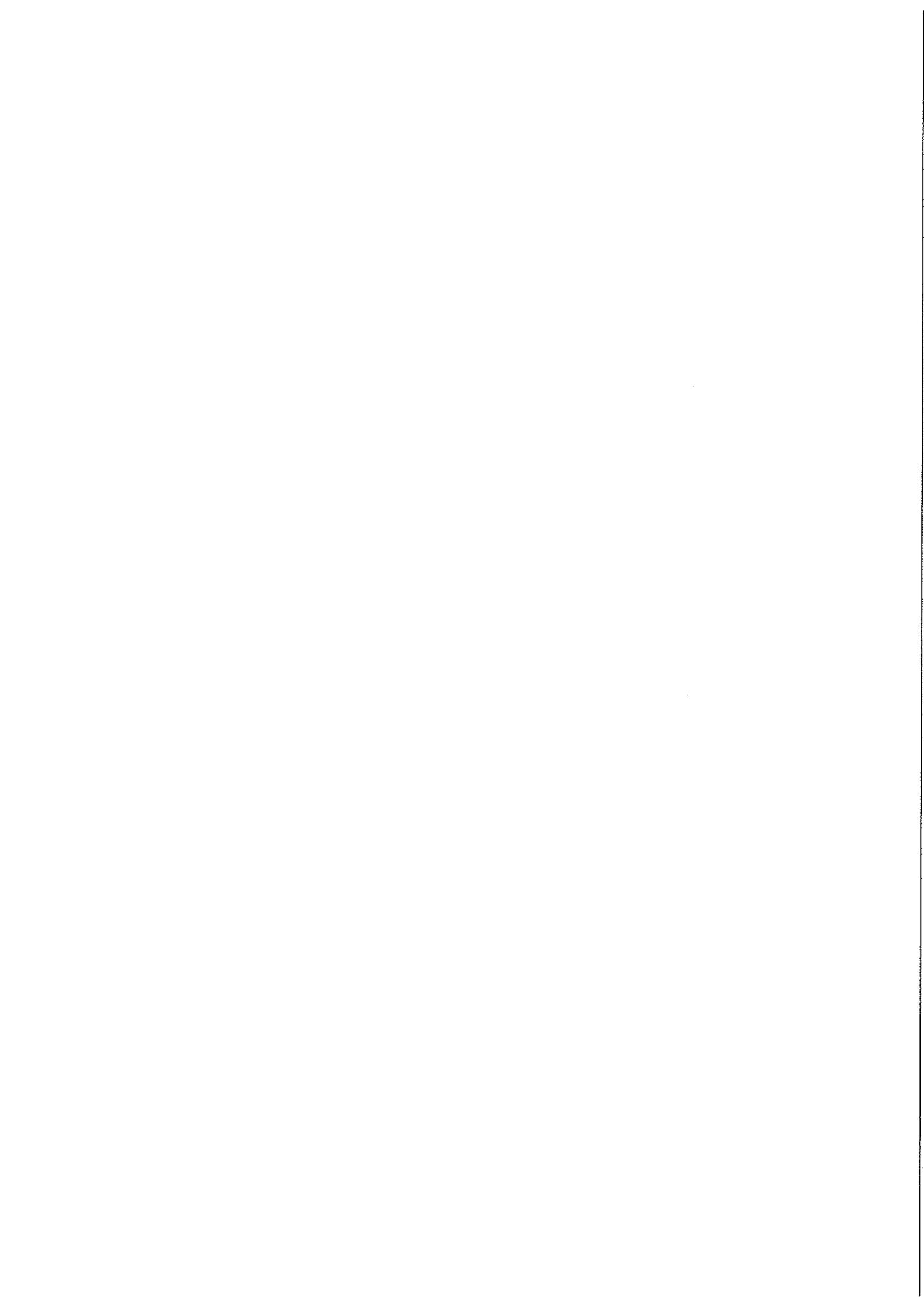
En effet, le modèle d'exposition permettant de passer de l'activité mesurée à l'activité inhalée est réduit à l'estimation du débit respiratoire moyen de l'opérateur

L'évaluation de la dose efficace engagée consiste donc à appliquer simplement les facteurs de dose permettant de passer directement de l'activité inhalée à la dose efficace engagée, en appliquant l'ensemble des sous-modèles dosimétriques.

On notera donc que l'incertitude de modélisation associée à l'estimation réside presque uniquement dans l'utilisation du modèle dosimétrique, ce qui constitue un des points forts de ce moyen de surveillance.

On rappellera néanmoins que le faible taux d'échantillonnage de ces appareils individuels les rend très sensibles à la captation éventuelle de quelques particules de fort diamètre non représentatives de l'aérosol échantillonné.

Par ailleurs, la nature même de ces mesures ne leur permet pas d'estimer la dose résiduelle reçue par des opérateurs pourvus de dispositifs de protection respiratoire.



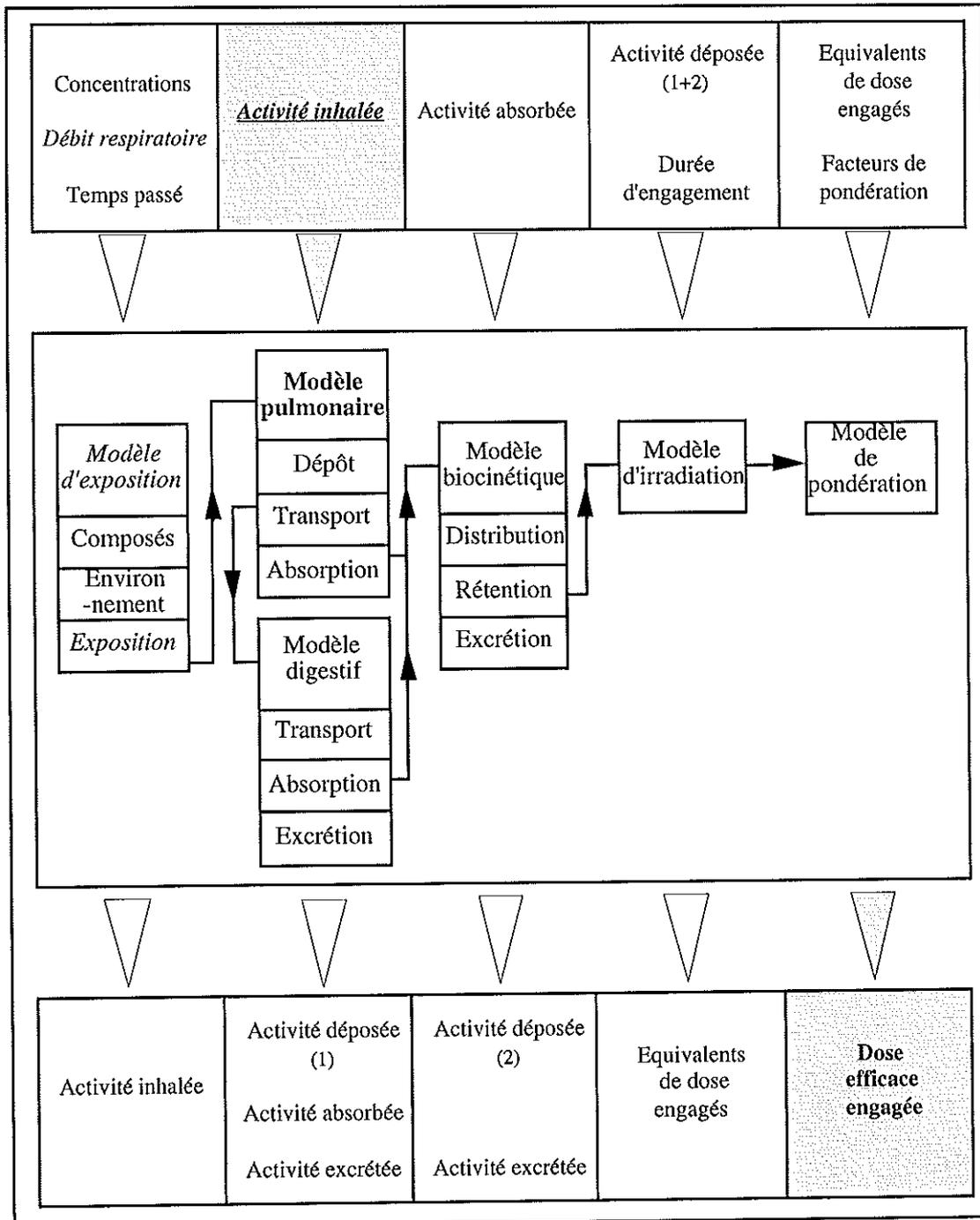
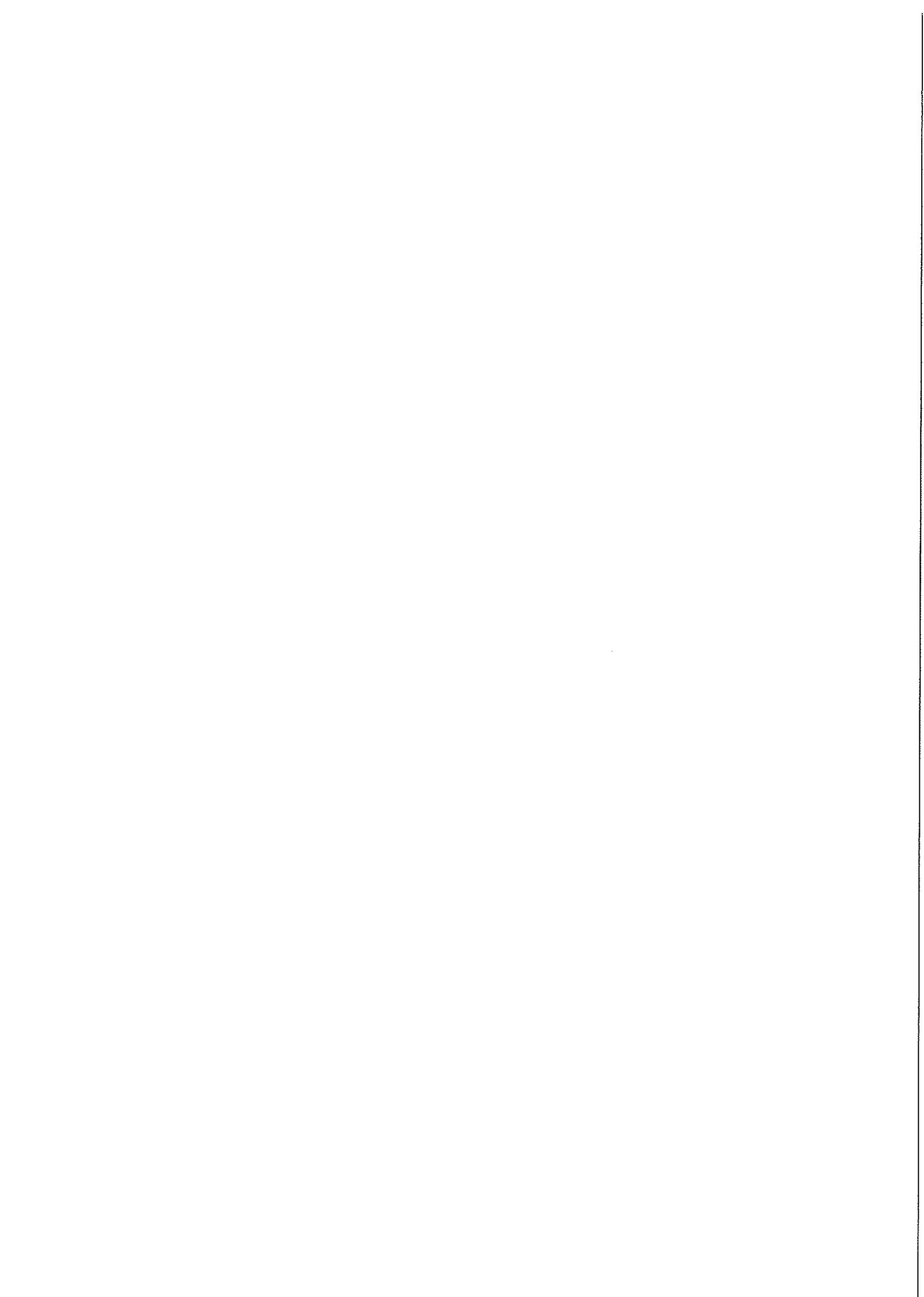


Figure 6. Modèles utilisés pour le calcul des doses internes par prélèvement d'air individuel (SIDI)



6. ANALYSES BIOLOGIQUES

6.1. Excréta Fécaux

La Figure 7 présente de façon schématique la séquence des modèles qui doivent être utilisés pour permettre l'interprétation en termes de dose efficace engagée des mesures d'*excréta* fécaux.

On peut noter que la totalité du modèle Dosimétrique d'inhalation comprenant, dans l'ordre, les sous-modèles Pulmonaires et Digestifs, le sous-modèle Biocinétique, le sous-modèle d'Irradiation et le sous-modèle de Pondération est utilisée, et que la plupart de ses sous-modèles (sous-modèles Pulmonaires, Digestifs et Biocinétiques) sont utilisés deux fois, dans un sens, puis dans l'autre.

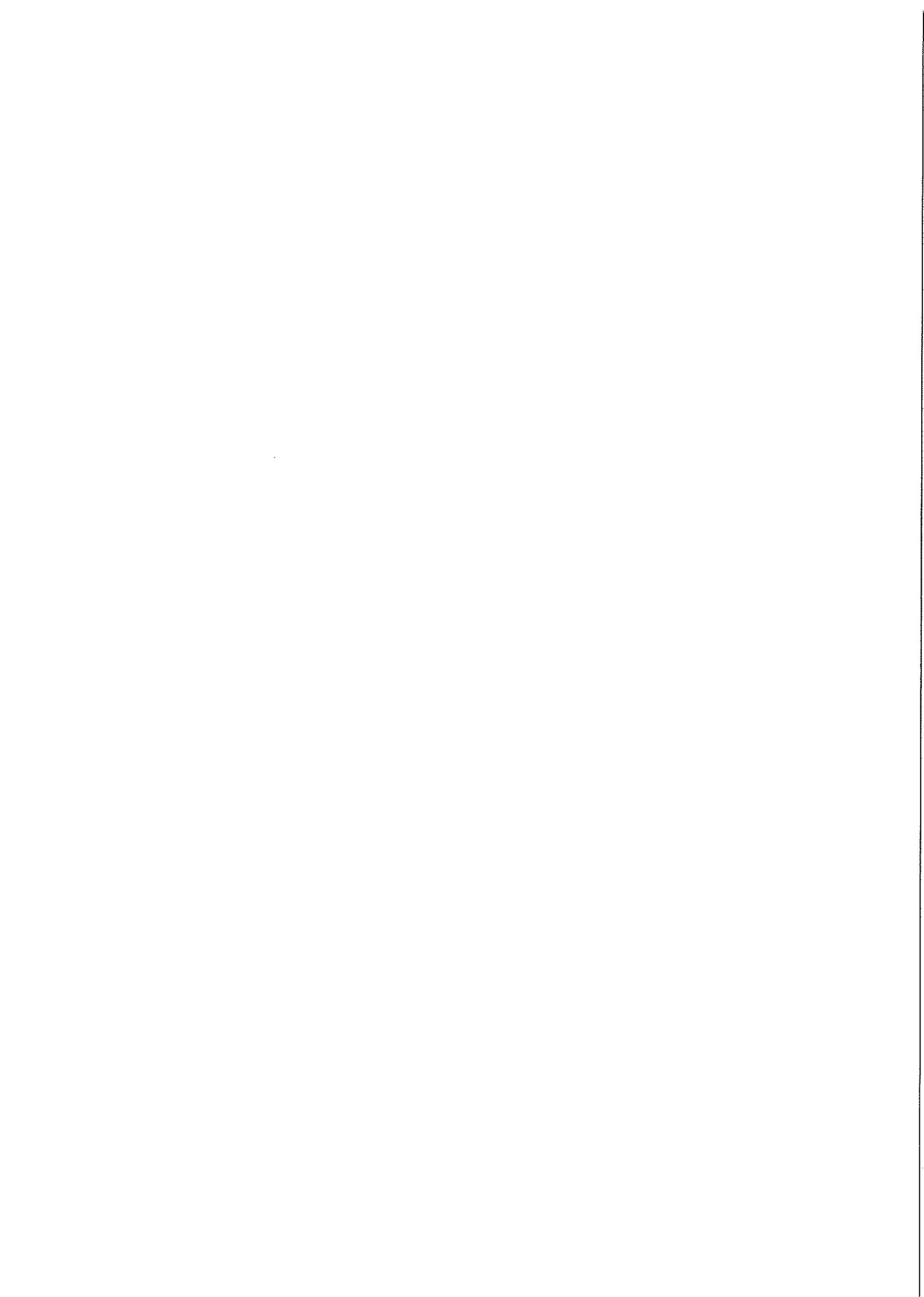
En effet, l'évaluation de la dose efficace engagée s'effectue en deux temps et consiste à déterminer tout d'abord l'activité inhalée sur la base de l'activité mesurée dans les fèces, puis à déterminer la dose efficace engagée sur la base de l'activité inhalée.

Dans un premier temps, l'application successive et à rebours des sous-modèles biocinétiques (y-compris sa fonction d'excrétion fécale systémique), digestifs (y-compris sa fonction d'excrétion fécale) et du sous-modèle respiratoire permet de déterminer l'activité inhalée correspondant à l'activité excrétée mesurée.

Dans un deuxième temps, l'application de facteurs de dose permet de passer directement de l'activité inhalée à la dose efficace engagée, en appliquant cette fois-ci l'ensemble des sous-modèles dosimétriques.

On notera qu'aucune hypothèse de débit respiratoire n'est nécessaire et que l'essentiel de l'incertitude associée à l'estimation réside dans l'utilisation du modèle dosimétrique et, plus particulièrement, dans celle des sous-modèles biocinétiques, digestifs et respiratoires, qui sont utilisés par deux fois, ainsi que dans celle des fonctions d'excrétion fécale.

On signalera enfin les difficultés posées par le recueil d'échantillons représentatifs de l'excrétion fécale journalière.



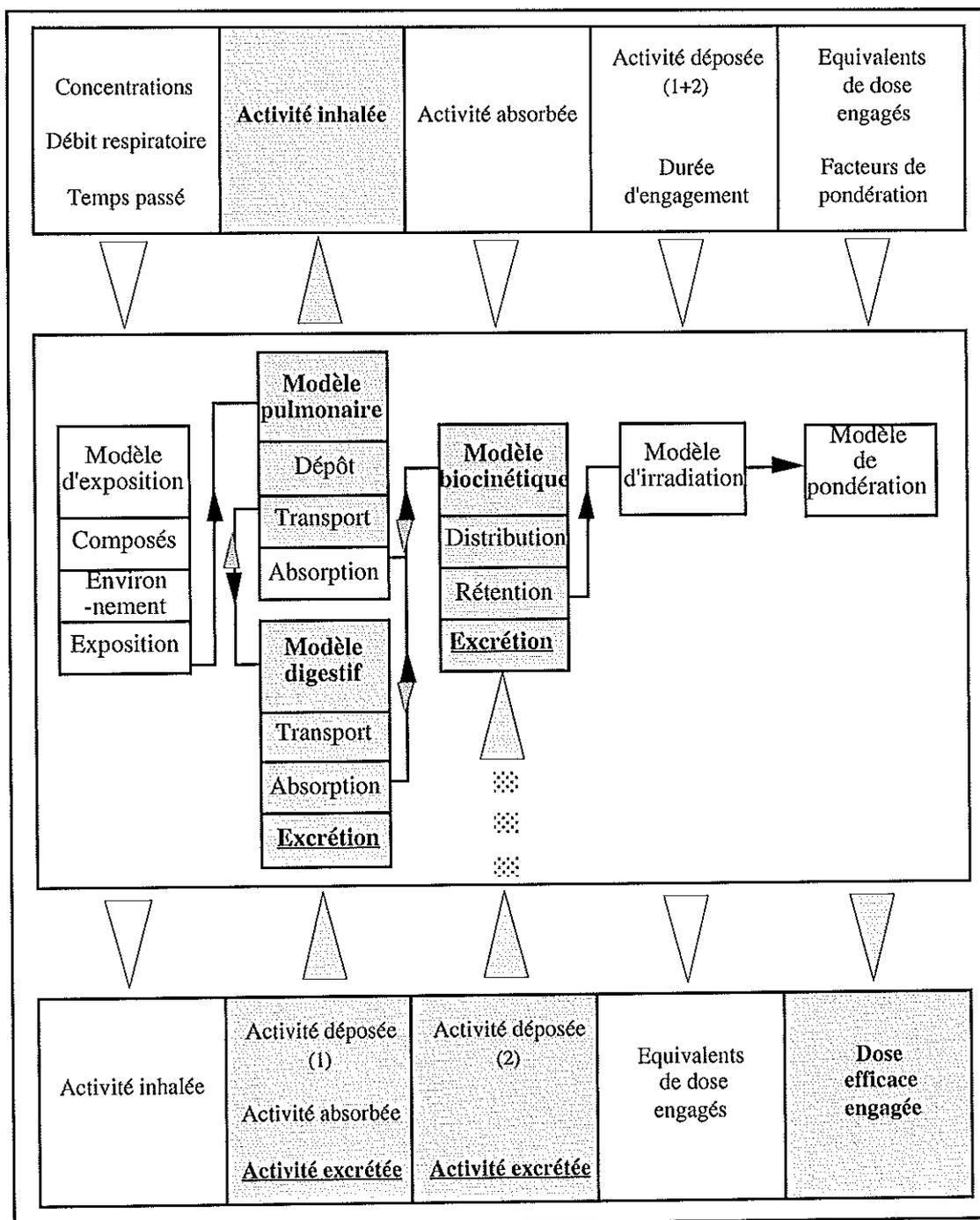
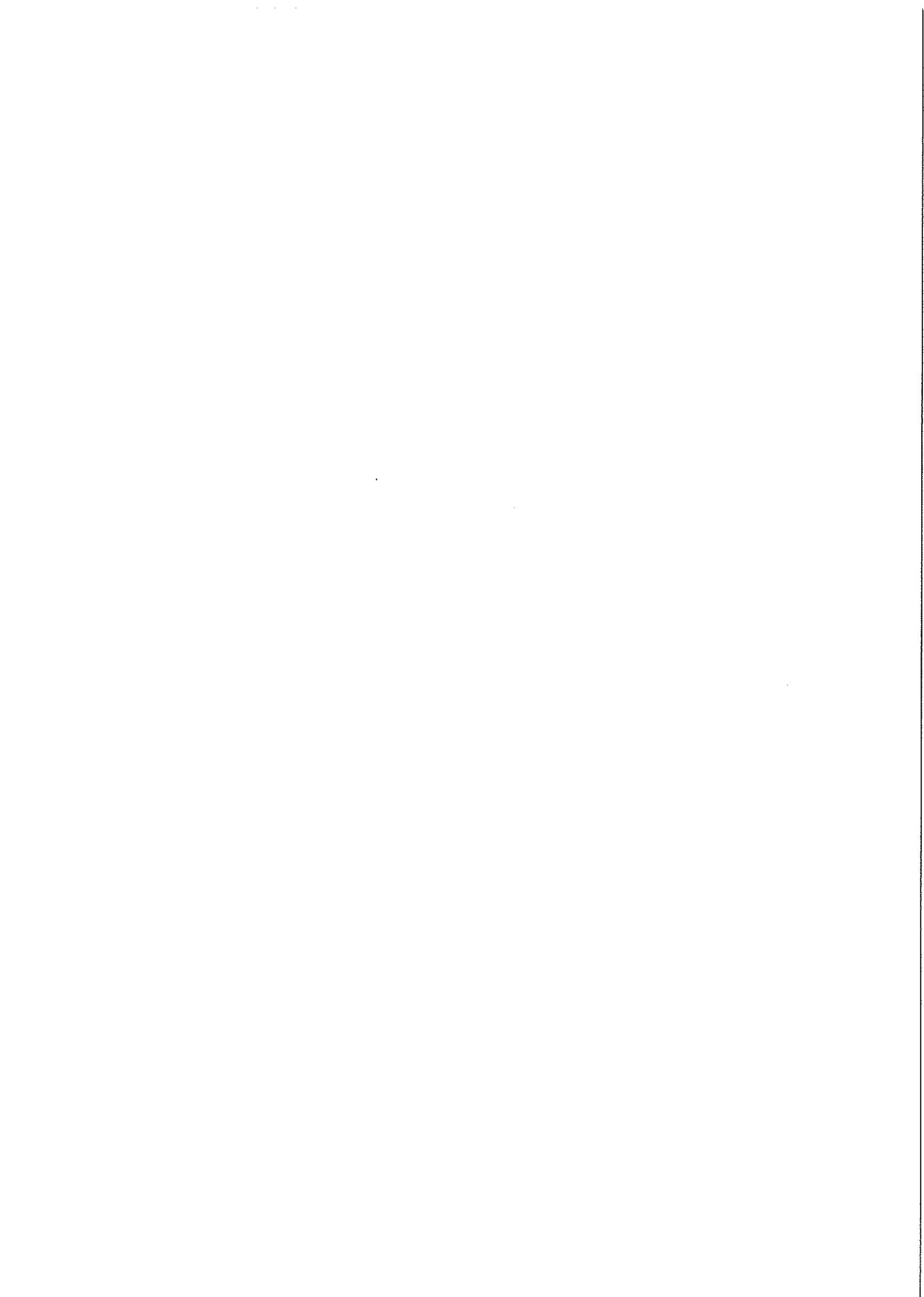


Figure 7. Modèles utilisés pour le calcul des doses internes par mesure d'excréta fécaux



6.2. Excréta Urinaires

6.2.1. Méthode de calcul de l'exposition

La Figure 8 présente de façon schématique la séquence des modèles qui doivent être utilisés pour permettre l'interprétation en termes de dose efficace engagée des mesures d'*excréta* urinaires.

On peut noter que la totalité du modèle Dosimétrique d'inhalation comprenant, dans l'ordre, les sous-modèles Pulmonaires et Digestifs, le sous-modèle Biocinétique, le sous-modèle d'Irradiation et le sous-modèle de Pondération est utilisée, et que la plupart de ses sous-modèles (sous-modèles Pulmonaires, Digestifs et Biocinétiques) sont utilisés deux fois, dans un sens, puis dans l'autre.

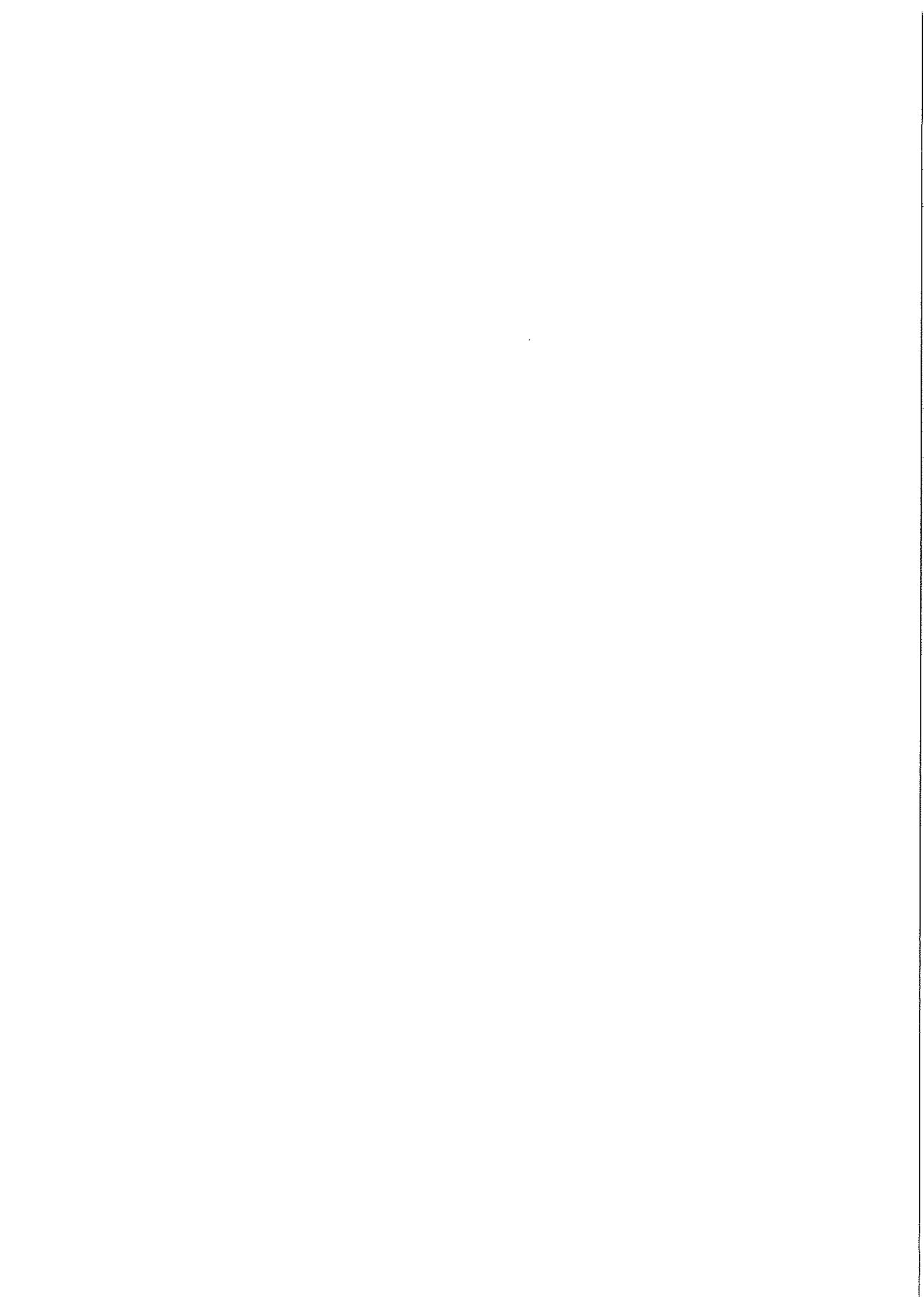
En effet, l'évaluation de la dose efficace engagée s'effectue en deux temps et consiste à déterminer tout d'abord l'activité inhalée sur la base de l'activité mesurée dans les urines, puis à déterminer la dose efficace engagée sur la base de l'activité inhalée.

Dans un premier temps, l'application successive et à rebours des sous-modèles biocinétiques (y-compris sa fonction d'excrétion urinaire systémique), digestifs et respiratoires permet de déterminer l'activité inhalée correspondant à l'activité excrétée mesurée.

Dans un deuxième temps, l'application de facteurs de dose permet de passer directement de l'activité inhalée à la dose efficace engagée, en appliquant cette fois-ci l'ensemble des sous-modèles dosimétriques.

On notera qu'aucune hypothèse de débit respiratoire n'est nécessaire et que l'essentiel de l'incertitude associée à l'estimation réside dans l'utilisation du modèle dosimétrique d'inhalation et, plus particulièrement, dans celle des sous-modèles digestifs et respiratoires, qui sont utilisés par deux fois, ainsi que dans celle de la fonction d'excrétion urinaire systémique.

On remarquera enfin que le dosage dans les urines des composés recherchés par rapport à la créatinine excrétée permet de faciliter le recueil d'échantillons représentatifs de l'excrétion urinaire journalière.



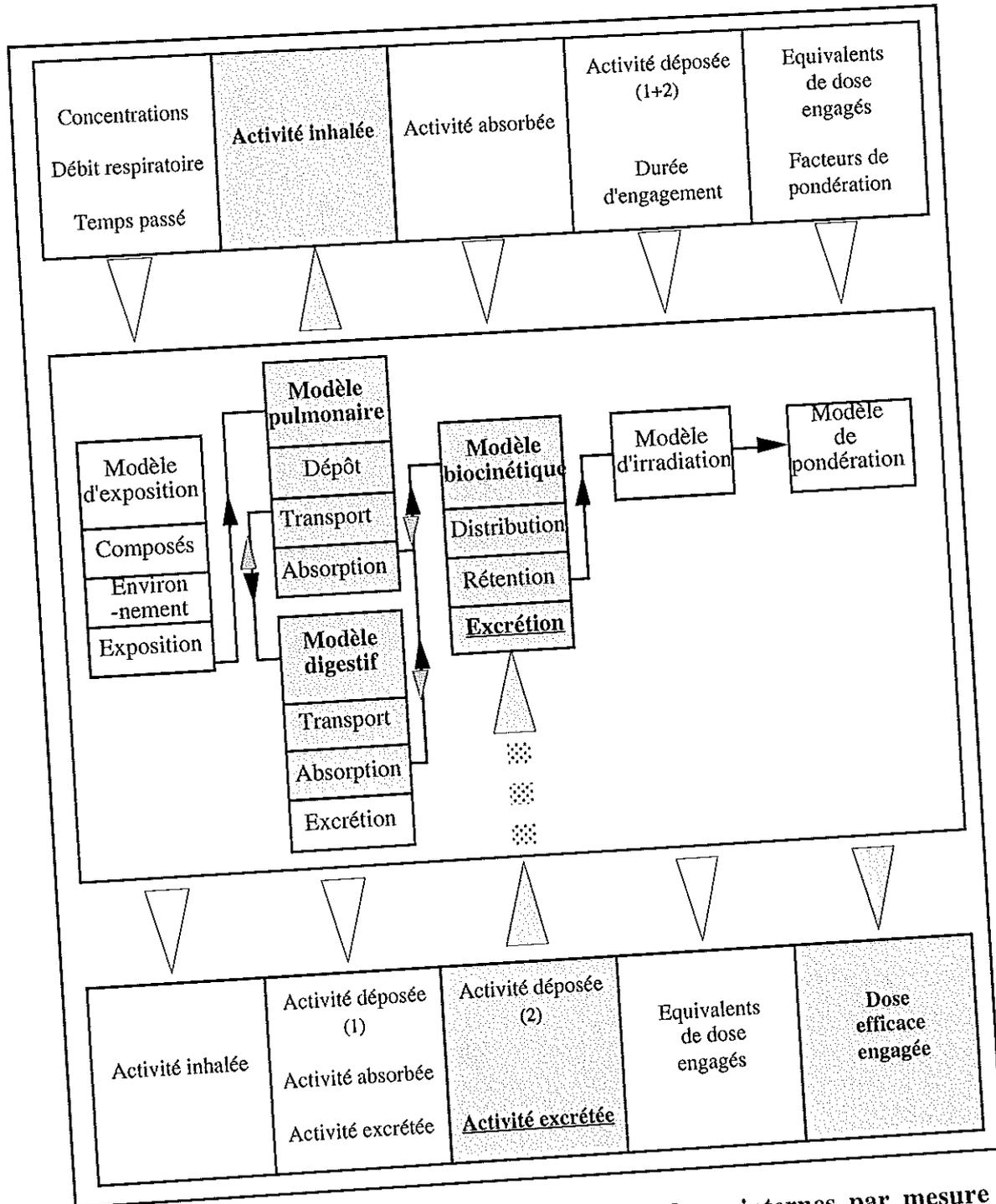


Figure 8. Modèles utilisés pour le calcul des doses internes par mesure d'excréta urinaires



6.2.2. Eléments d'interprétation quantitative

6.2.2.1. Fonctions d'excrétion

La Figure 9 présente l'évolution de l'activité journalière excrétée par les voies urinaires en fonction du temps écoulé depuis l'inhalation d'une activité unitaire pour des composés d'uranium très solubles (Day), moyennement solubles (Week) et peu solubles (Year) de diamètre aérodynamique médian en activité (AMAD) égal à $1\mu\text{m}$. Cette fonction d'excrétion a été établie sur la base des calculs de la publication 54 de la CIPR [21].

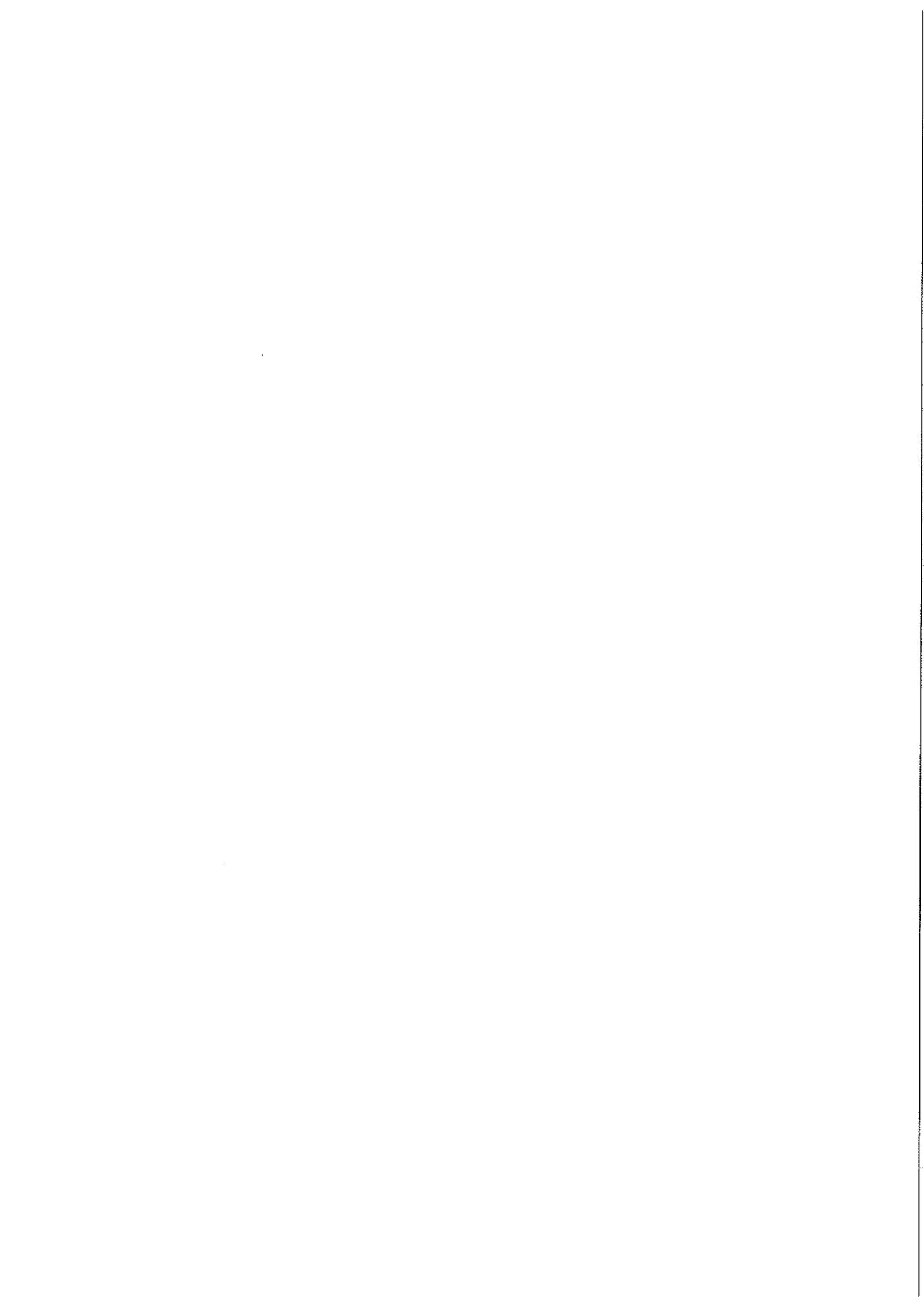
On peut tout d'abord remarquer que l'allure générale de la variation de l'excrétion urinaire journalière en fonction du temps est uniformément décroissante pour les trois classes de solubilité, et présente une première phase de diminution rapide, suivie d'une deuxième phase d'excrétion à diminution plus lente.

On notera cependant que l'excrétion journalière pendant les 50 premiers jours est directement fonction de la solubilité des composés (fractions d'activité inhalée excrétées le premier jour égales respectivement à $2 \cdot 10^{-1}$, $4 \cdot 10^{-2}$, et $2 \cdot 10^{-3}$ pour les composés Day, Week et Year) et que l'excrétion urinaire journalière des composés les moins solubles (Year) présente un plateau quasi constant ($2 \cdot 10^{-5}$) entre 50 et 1000 jours après l'incorporation.

De même, la Figure 10 présente l'évolution de l'activité journalière excrétée par les voies urinaires en fonction du temps écoulé depuis le début de l'inhalation quotidienne d'une activité unitaire pour des composés d'uranium très solubles (Day), moyennement solubles (Week) et peu solubles (Year) d'AMAD égal à $1\mu\text{m}$. Cette fonction d'excrétion relative à une incorporation chronique a été établie par convolution des fonctions d'excrétion relatives à une incorporation unique présentées dans la figure précédente.

On notera cette fois que l'allure générale de la variation de l'excrétion urinaire journalière en fonction du temps est uniformément croissante pour les trois classes de solubilité, et présente une phase d'augmentation jusqu'à un plateau.

Les valeurs asymptotiques de la fraction journalière excrétée de l'activité inhalée quotidienne sont égales respectivement à $5 \cdot 10^{-1}$, $1,5 \cdot 10^{-1}$ et $5 \cdot 10^{-2}$, pour les composés de classes Day, Week et Year et sont atteintes à 100, 300 et 5000 jours après le début de l'exposition chronique.



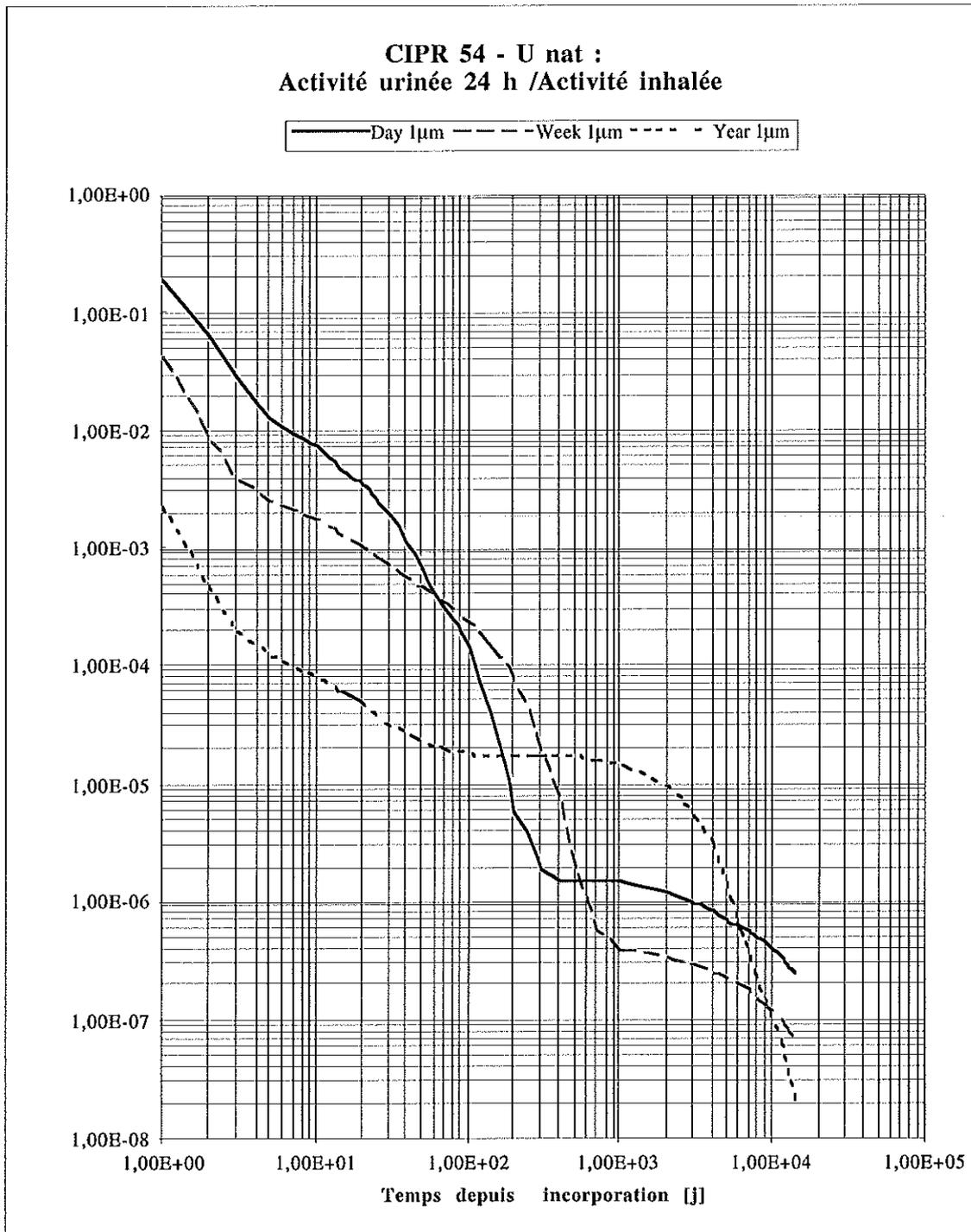
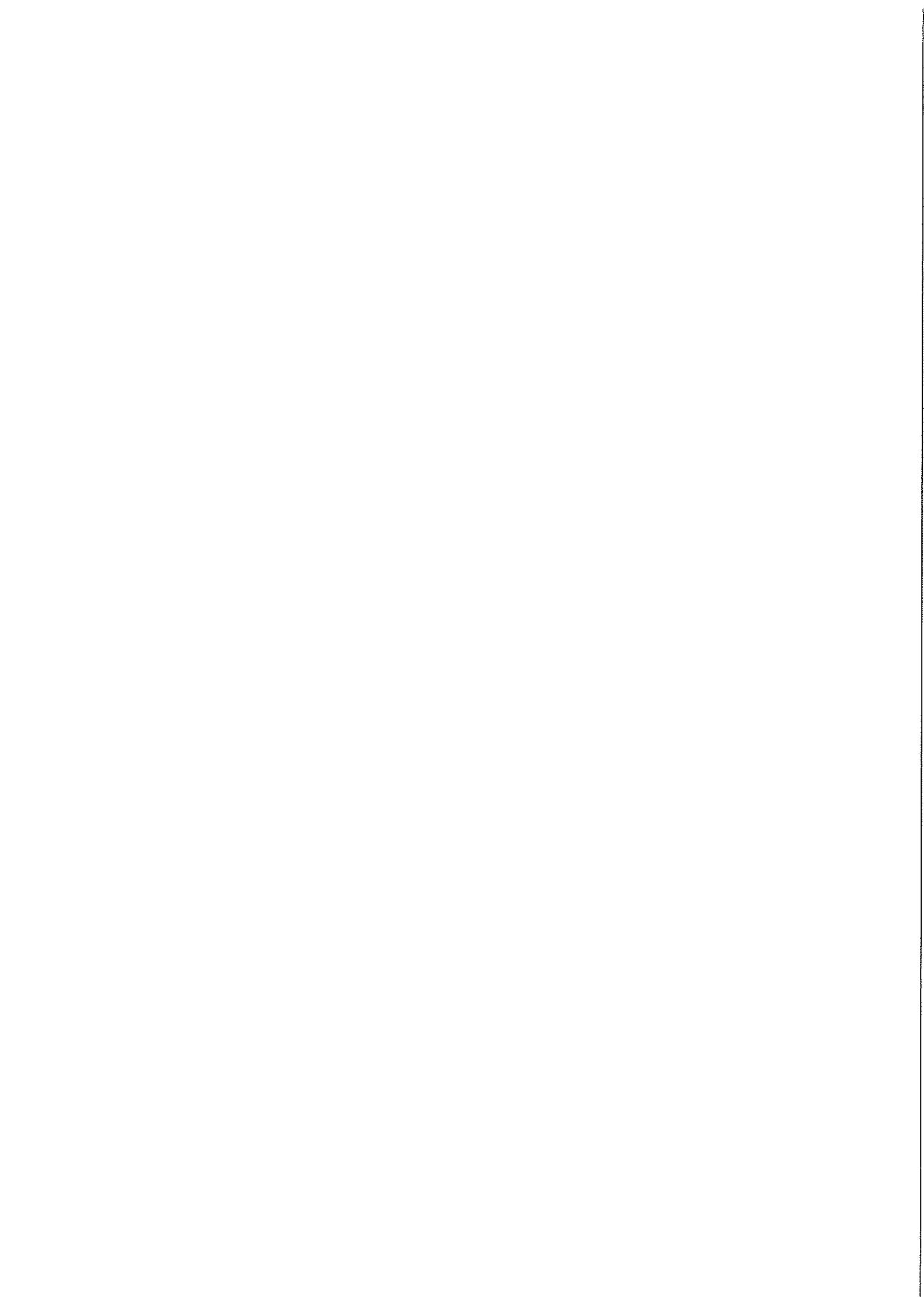


Figure 9. Excrétion urinaire associée à une incorporation unique d'uranium (CIPR 54)



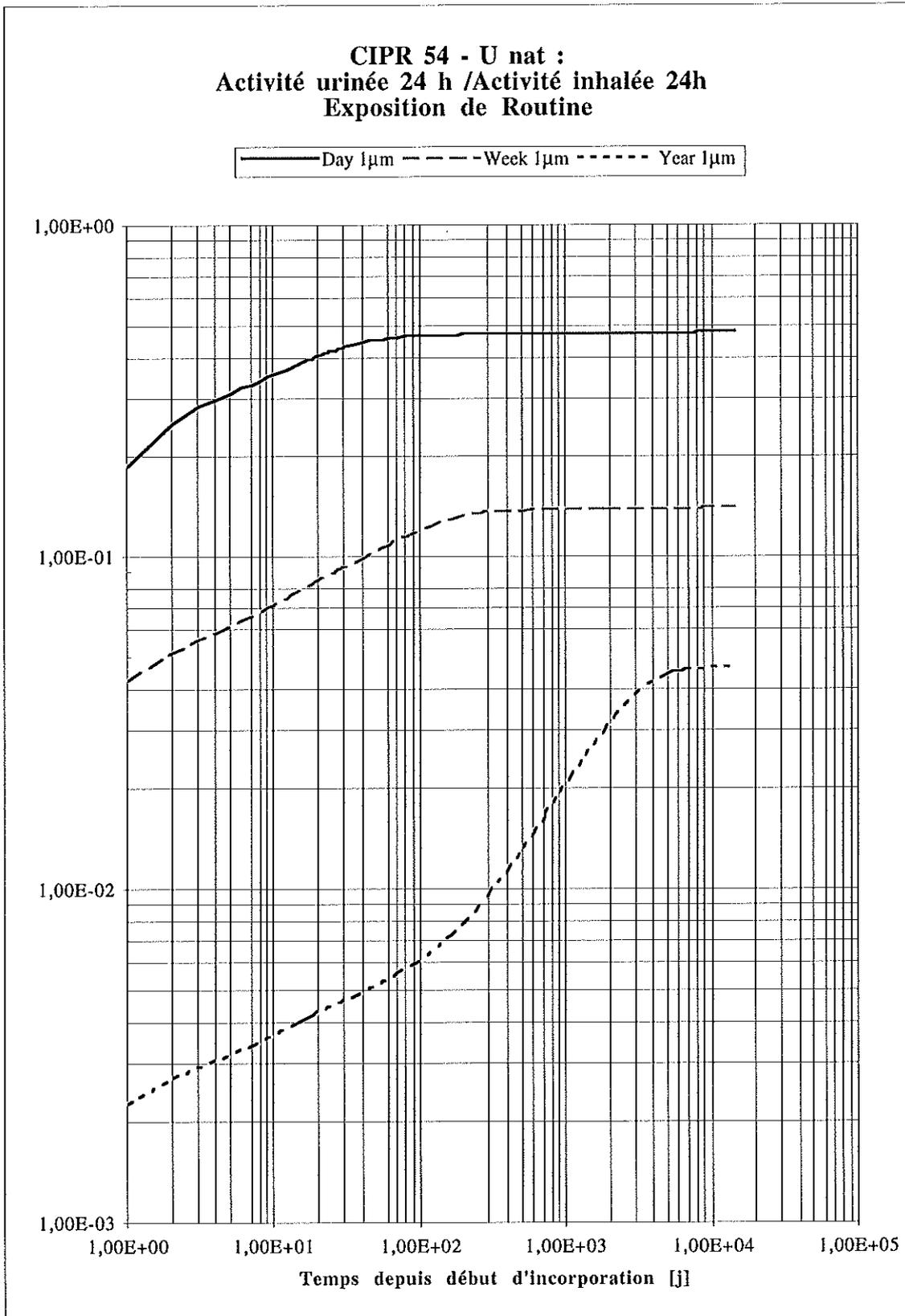
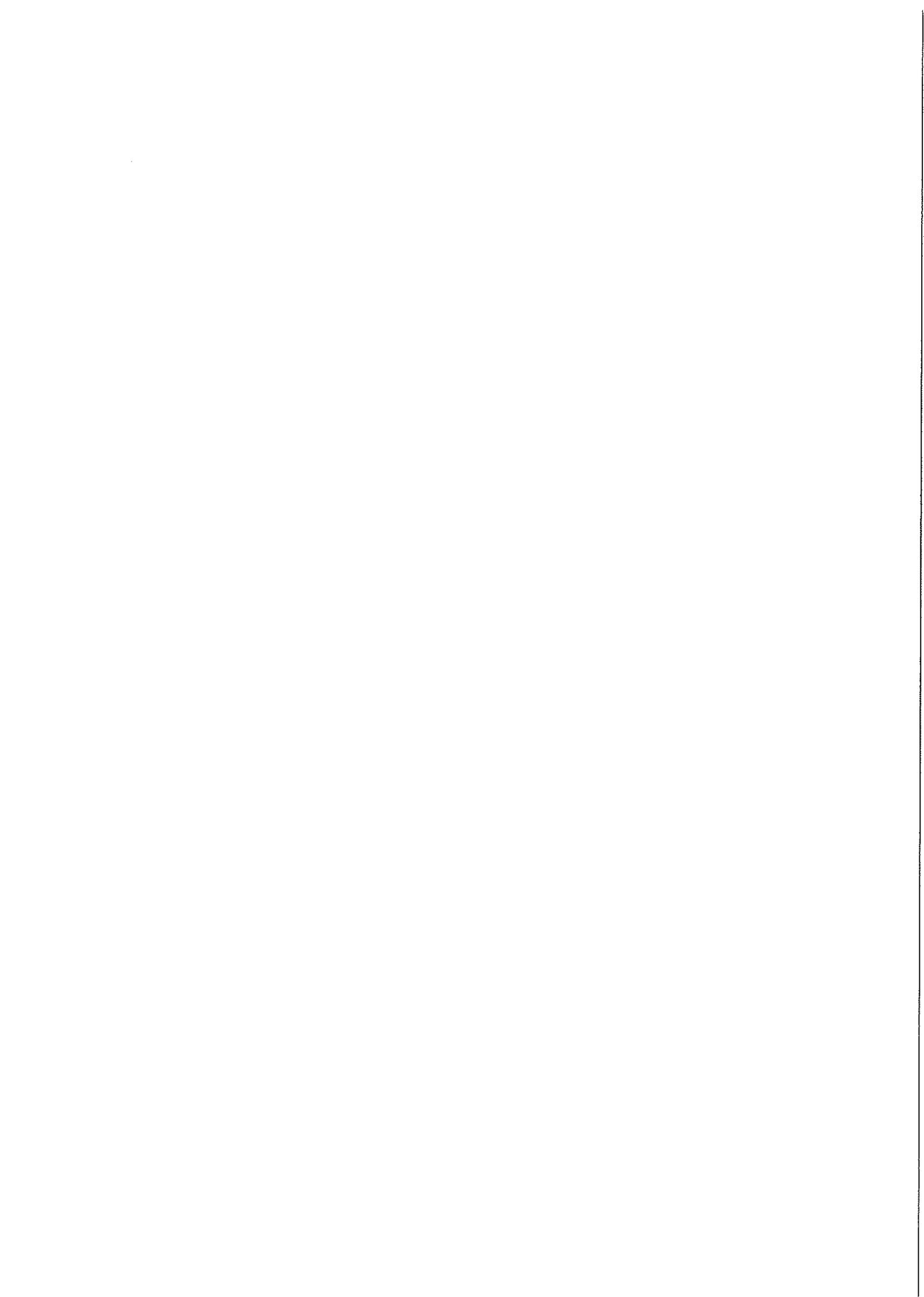


Figure 10. Excrétion urinaire associée à une incorporation chronique d'uranium (CIPR 54)



6.2.2.2. Fonctions d'interprétation

Les quatre tableaux et figures suivants présentent les résultats de l'évaluation de dose engagée effectuée à l'aide des fonctions d'excrétion et des facteurs de dose de la CIPR 54 [21] (respectivement exposées dans les figures précédentes et présentés en Tableau 5), sur la base d'une mesure unique de concentration urinaire d'uranium éventuellement rapportée à la concentration urinaire de créatinine.

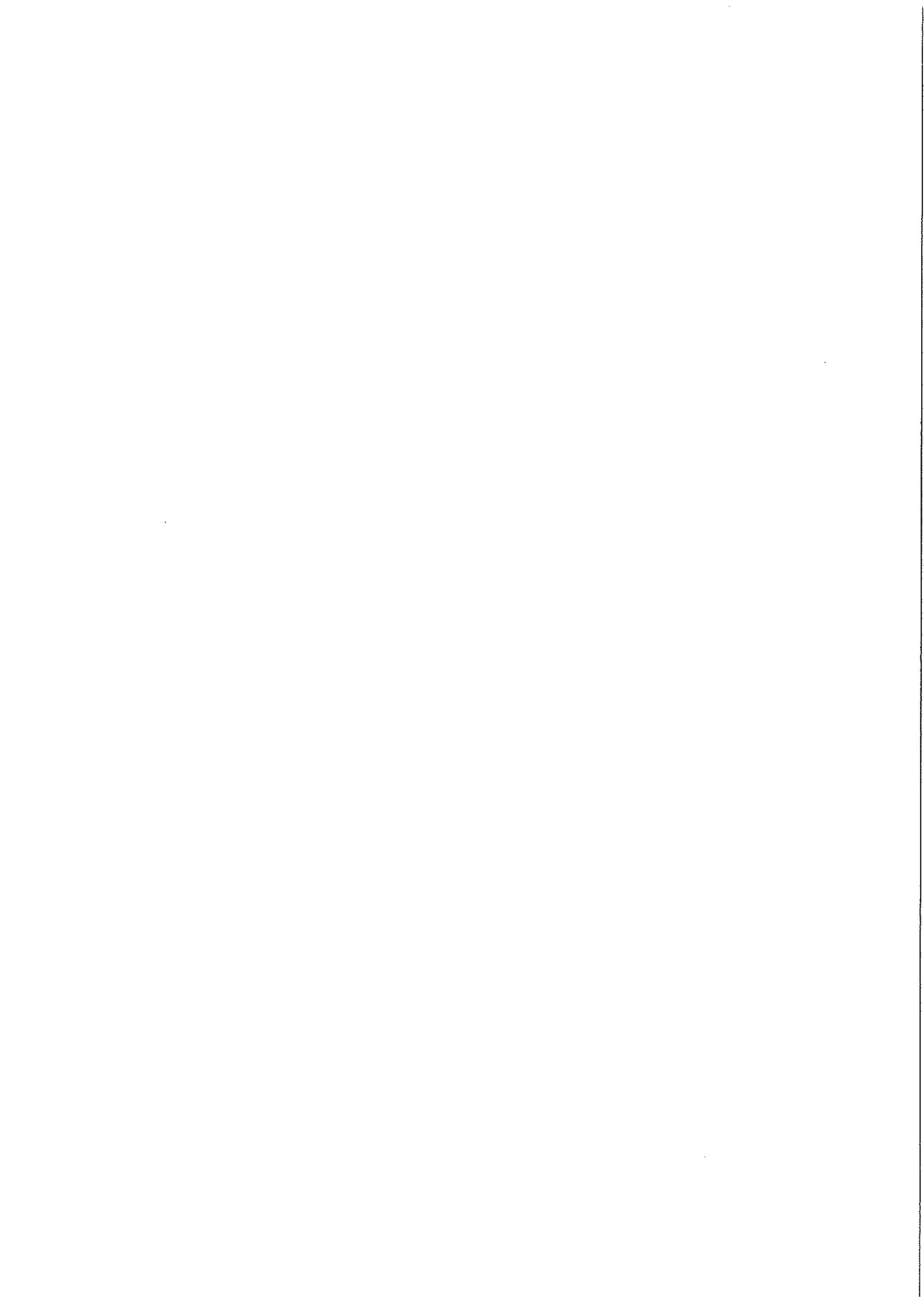
Ces estimations sont réalisées pour des composés présentant un diamètre aérodynamique médian en activité (AMAD) égal à $1\mu\text{m}$, ainsi que sous l'hypothèse d'une excrétion urinaire journalière de créatinine égale à 1,7 g ou d'un volume d'excrétion urinaire journalière égal à 1,4 l, ces valeurs correspondant aux valeurs moyennes présentées dans la CIPR 23 [26] pour l'homme adulte.

Ces estimations ne sont pas directement applicables à l'exposition des femmes pour lesquelles les valeurs moyennes présentées dans la CIPR 23 [26] sont respectivement égales à 1,0 g créatinine/j et 1,0 l urine/j.

Le Tableau 13 et la Figure 11 sont relatifs au cas d'une incorporation unique et permettent une première estimation de la dose engagée (exprimée en mSv) associée à cette incorporation, à partir du résultat d'une mesure isolée d'excréta (exprimée en μg Uranium/g Créatinine), et en fonction du temps écoulé depuis l'instant supposé de l'incorporation.

Ainsi, une mesure isolée d'excrétion urinaire dont le résultat est égal à $1\mu\text{g}$ d'uranium par gramme de créatinine donnerait lieu à une première estimation de dose engagée égale respectivement à $3,1 \cdot 10^{-3}$, $3,6 \cdot 10^{-2}$ et 15 mSv pour une incorporation unique de composés de classes Day, Week et Year de $1\mu\text{m}$ supposée avoir eu lieu 7 jours auparavant, et égale à $3,3 \cdot 10^{-1}$, $1,5 \cdot 10^{-1}$ et 59 mSv pour une incorporation de composés de classes Day, Week et Year de $1\mu\text{m}$ supposée avoir eu lieu 45 jours plus tôt.

Le Tableau 14 et la Figure 12 permettent la même estimation sur la base d'une mesure de concentration d'uranium urinaire (exprimée en μg Uranium / l d'urine) non rapportée à la concentration urinaire de créatinine.



Ainsi, une mesure isolée d'excrétion urinaire dont le résultat est égal à 1 μg d'uranium par litre d'urine donnerait lieu à une première estimation de dose engagée égale respectivement à $2,6 \cdot 10^{-3}$, $2,9 \cdot 10^{-2}$ et 12 mSv pour une incorporation unique de composés de classes Day, Week et Year de 1 μm supposée avoir eu lieu 7 jours auparavant, et égale à $2,7 \cdot 10^{-2}$, $1,2 \cdot 10^{-1}$ et 49 mSv pour une incorporation de composés de classes Day, Week et Year de 1 μm supposée avoir eu lieu 45 jours plus tôt.

Le Tableau 15 et la Figure 13 sont quant à eux relatifs au cas d'une incorporation chronique et permettent une première estimation de la dose engagée annuelle moyenne (exprimée en mSv) correspondant à l'incorporation totale depuis le début de l'exposition, à partir du résultat d'une mesure isolée d'excréta (exprimée en μg Uranium / g Créatinine), et en fonction du temps écoulé depuis l'instant supposé du début de l'incorporation chronique.

Cette dose engagée annuelle moyenne est calculée sur la base de la dose engagée correspondant à l'incorporation totale depuis le début de l'exposition chronique, corrigée dans le rapport de 365 jours avec la durée écoulée depuis le début de l'exposition.

Ainsi, une mesure isolée d'excrétion urinaire dont le résultat est égal à 1 μg d'uranium par gramme de créatinine donnerait lieu à une première estimation de dose engagée annuelle moyenne égale respectivement à $2,3 \cdot 10^{-2}$, $2,0 \cdot 10^{-1}$ et 49 mSv pour une incorporation chronique de composés de classes Day, Week et Year de 1 μm supposée avoir débuté 1 an auparavant, et égale à $2,3 \cdot 10^{-2}$, $2,0 \cdot 10^{-1}$ et 31 mSv pour une incorporation chronique de composés de classes Day, Week et Year de 1 μm supposée avoir débuté 2 ans plus tôt.

Le Tableau 16 et la Figure 14 permettent la même estimation sur la base d'une mesure de concentration d'uranium urinaire (exprimée en μg Uranium / l d'urine) non rapportée à la concentration urinaire de créatinine.

Ainsi, une mesure isolée d'excrétion urinaire dont le résultat est égal à 1 μg d'uranium par litre d'urine donnerait lieu à une première estimation de dose engagée annuelle moyenne égale respectivement à $1,9 \cdot 10^{-2}$, $1,7 \cdot 10^{-1}$ et 40 mSv pour une incorporation chronique de composés de classes Day, Week et Year de 1 μm supposée avoir débuté 1 an auparavant, et égale à $1,9 \cdot 10^{-2}$, $1,7 \cdot 10^{-1}$ et 26 mSv pour une incorporation chronique de composés de classes Day, Week et Year de 1 μm supposée avoir débuté 2 ans plus tôt.

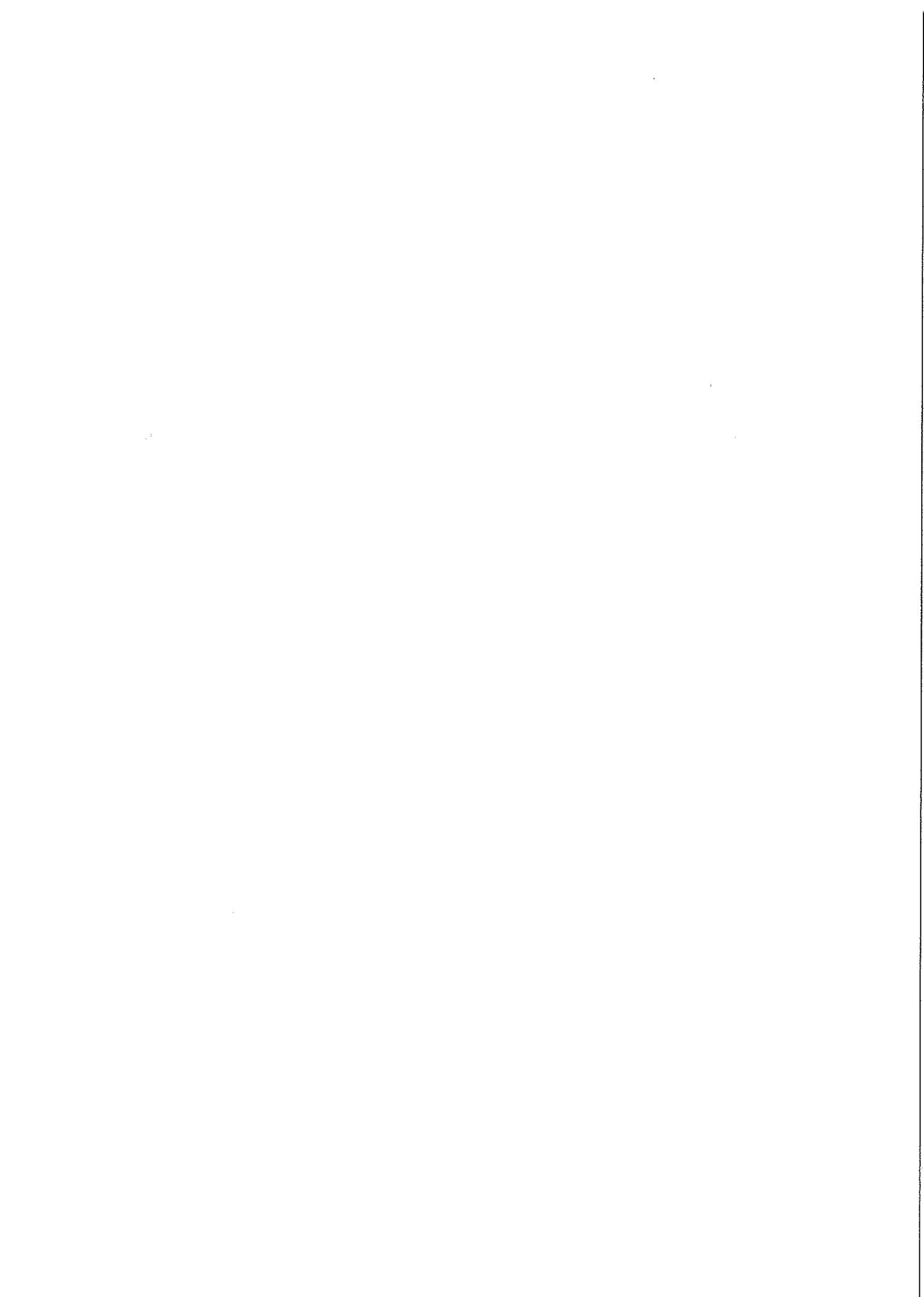
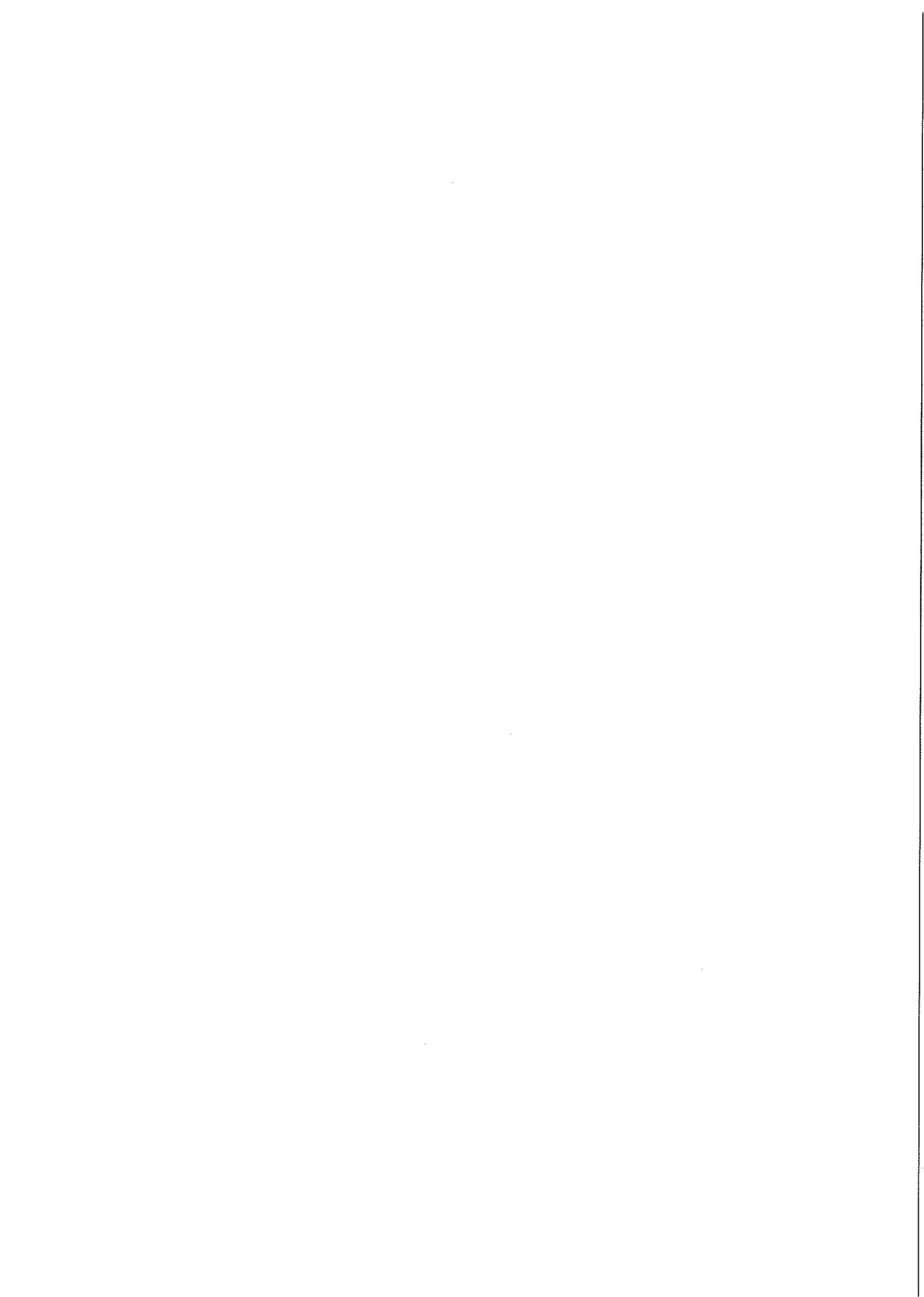


Tableau 13. Dose engagée / Concentration d'uranium par gramme de créatinine ; Excréta urinaires - Incorporation unique (CIPR 54)

U nat [Bq/g]	Créatinine [g/l]	Dose engagée / Concentration urinée
2,56E+04	1,70E+00	

Temps depuis incorporation [j]	Day 1µm [mSv / µg U / g Créat.]	Week 1µm [mSv / µg U / g Créat.]	Year 1µm [mSv / µg U / g Créat.]
1	1,56E-04	1,83E-03	6,44E-01
2	4,49E-04	8,44E-03	3,22E+00
3	1,02E-03	1,87E-02	7,41E+00
4	1,74E-03	2,53E-02	9,88E+00
5	2,28E-03	3,02E-02	1,14E+01
6	2,70E-03	3,27E-02	1,35E+01
7	3,12E-03	3,57E-02	1,48E+01
8	3,41E-03	3,81E-02	1,58E+01
9	3,72E-03	4,07E-02	1,68E+01
10	4,06E-03	4,35E-02	1,80E+01
11	4,44E-03	4,64E-02	1,91E+01
12	4,84E-03	4,96E-02	2,04E+01
13	5,29E-03	5,30E-02	2,17E+01
14	5,78E-03	5,66E-02	2,32E+01
15	6,31E-03	6,04E-02	2,47E+01
16	6,68E-03	6,28E-02	2,58E+01
17	7,07E-03	6,54E-02	2,69E+01
18	7,48E-03	6,80E-02	2,80E+01
19	7,92E-03	7,07E-02	2,92E+01
20	8,39E-03	7,35E-02	3,05E+01
21	8,88E-03	7,65E-02	3,18E+01
22	9,40E-03	7,96E-02	3,31E+01
23	9,95E-03	8,28E-02	3,45E+01
24	1,05E-02	8,61E-02	3,60E+01
25	1,11E-02	8,96E-02	3,76E+01
26	1,18E-02	9,32E-02	3,92E+01
27	1,25E-02	9,69E-02	4,08E+01
28	1,32E-02	1,01E-01	4,26E+01
29	1,40E-02	1,05E-01	4,44E+01
30	1,48E-02	1,09E-01	4,63E+01
35	1,94E-02	1,22E-01	5,03E+01
40	2,53E-02	1,35E-01	5,46E+01
45	3,31E-02	1,51E-01	5,93E+01
50	4,33E-02	1,63E-01	6,28E+01
55	5,67E-02	1,77E-01	6,66E+01
60	7,41E-02	1,92E-01	7,06E+01
65	8,32E-02	2,05E-01	7,18E+01
70	9,34E-02	2,20E-01	7,30E+01
80	1,18E-01	2,53E-01	7,55E+01
85	1,32E-01	2,71E-01	7,67E+01
90	1,48E-01	2,91E-01	7,80E+01
100	2,04E-01	3,25E-01	7,94E+01
120	3,86E-01	4,05E-01	8,23E+01
140	7,30E-01	5,06E-01	8,23E+01
160	1,38E+00	6,31E-01	8,23E+01
180	2,61E+00	7,87E-01	8,23E+01
200	4,94E+00	9,81E-01	8,23E+01
240	7,67E+00	1,71E+00	8,23E+01
260	9,55E+00	2,15E+00	8,23E+01
280	1,19E+01	2,98E+00	8,23E+01
300	1,48E+01	3,93E+00	8,23E+01
360	1,76E+01	6,80E+00	8,23E+01
400	1,98E+01	9,81E+00	8,23E+01
500	1,98E+01	3,93E+01	8,54E+01
600	1,98E+01	7,17E+01	8,86E+01
700	1,98E+01	1,31E+02	9,19E+01
720	1,98E+01	1,34E+02	9,26E+01
1000	1,98E+01	1,96E+02	1,03E+02



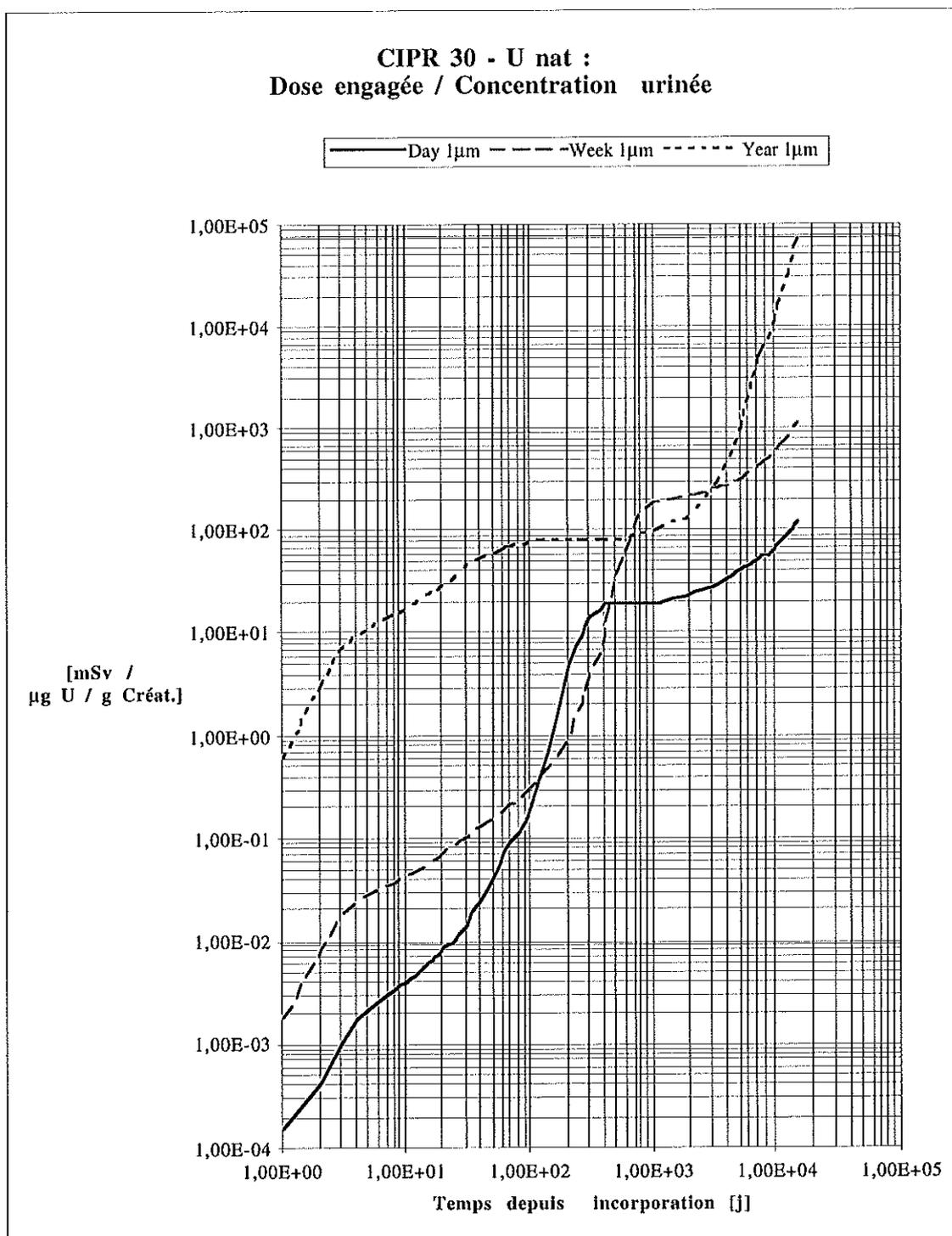
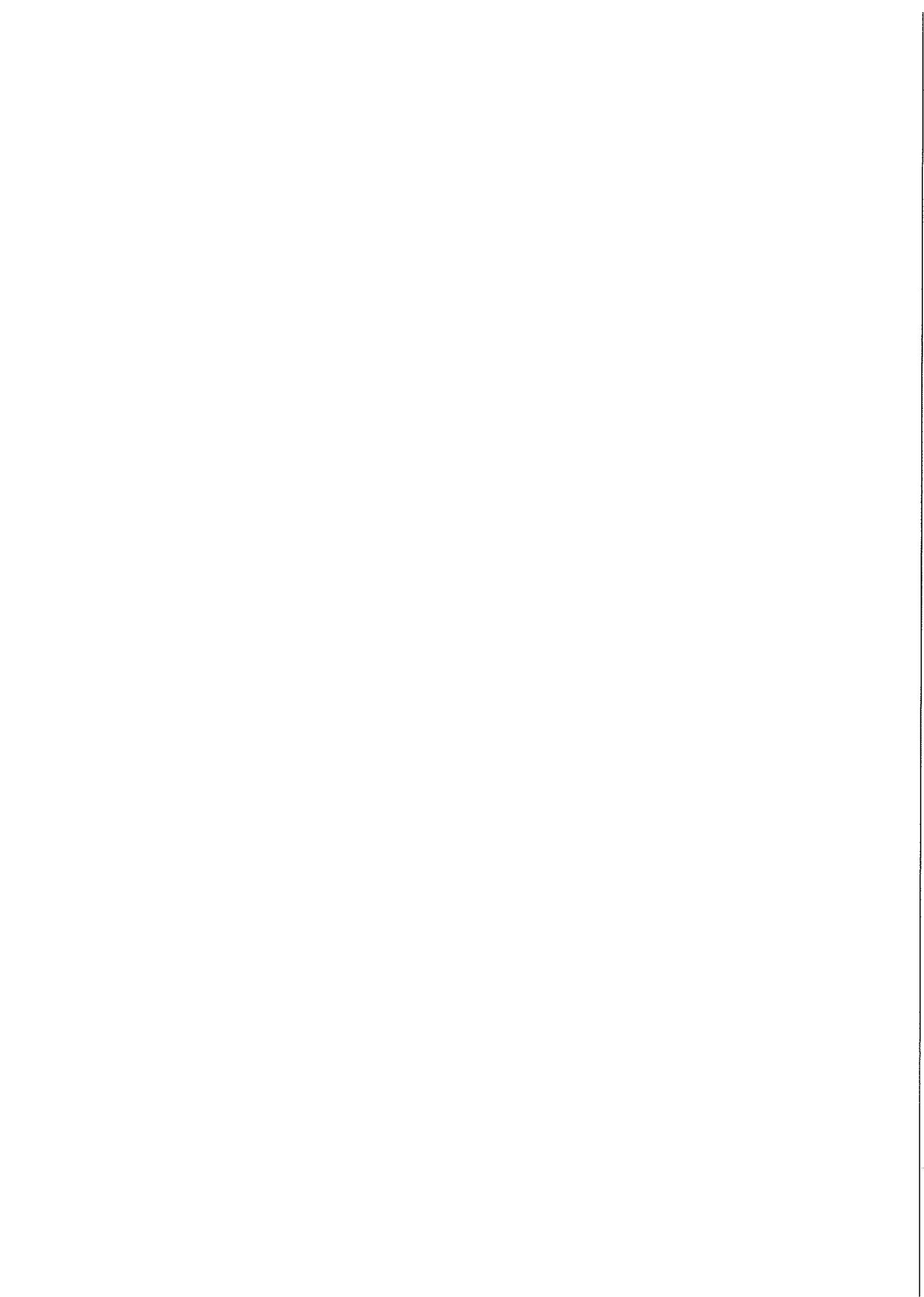


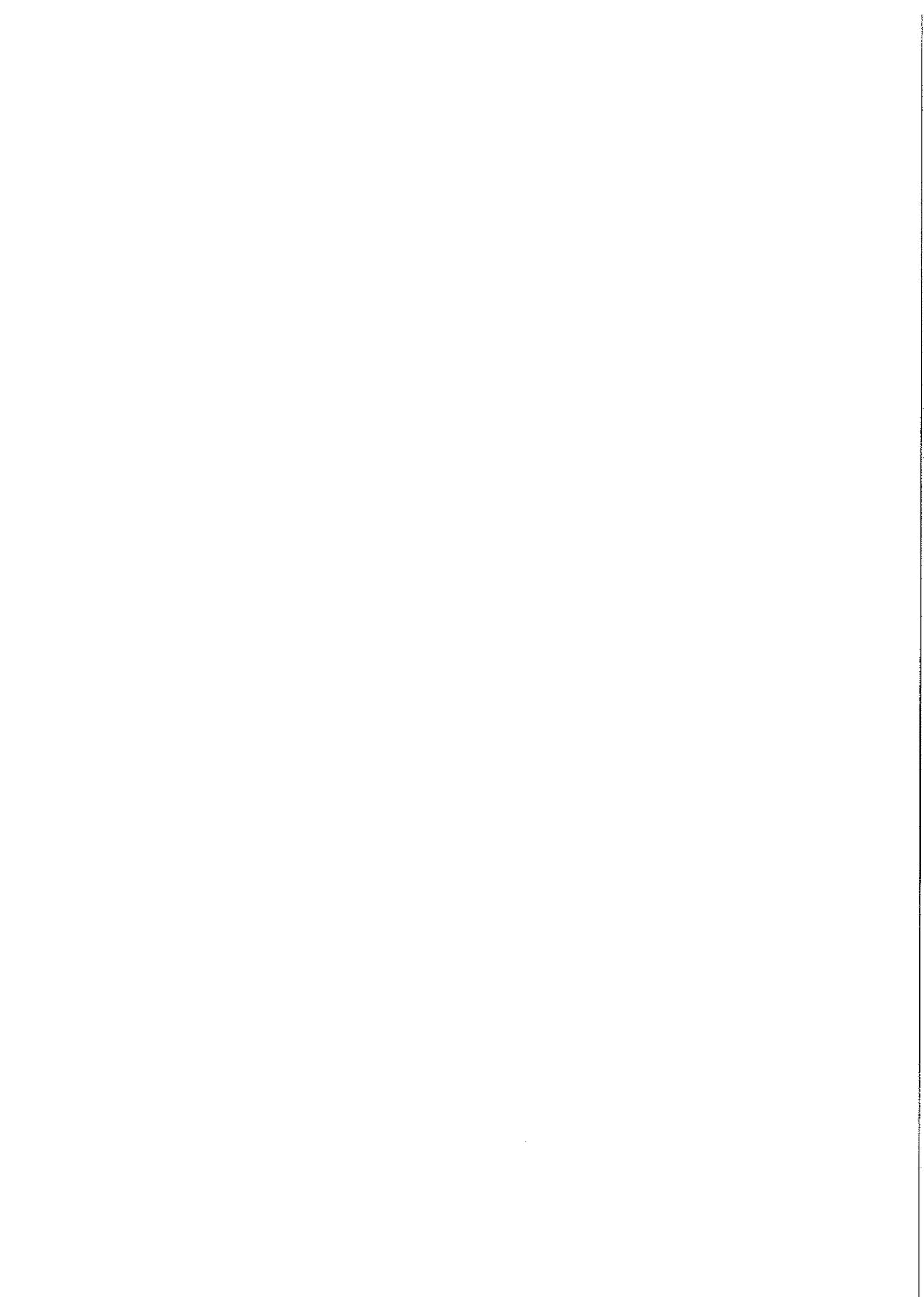
Figure 11. Dose engagée / Concentration d'uranium par gramme de créatinine ; Excréta urinaires - Incorporation unique (CIPR 54)

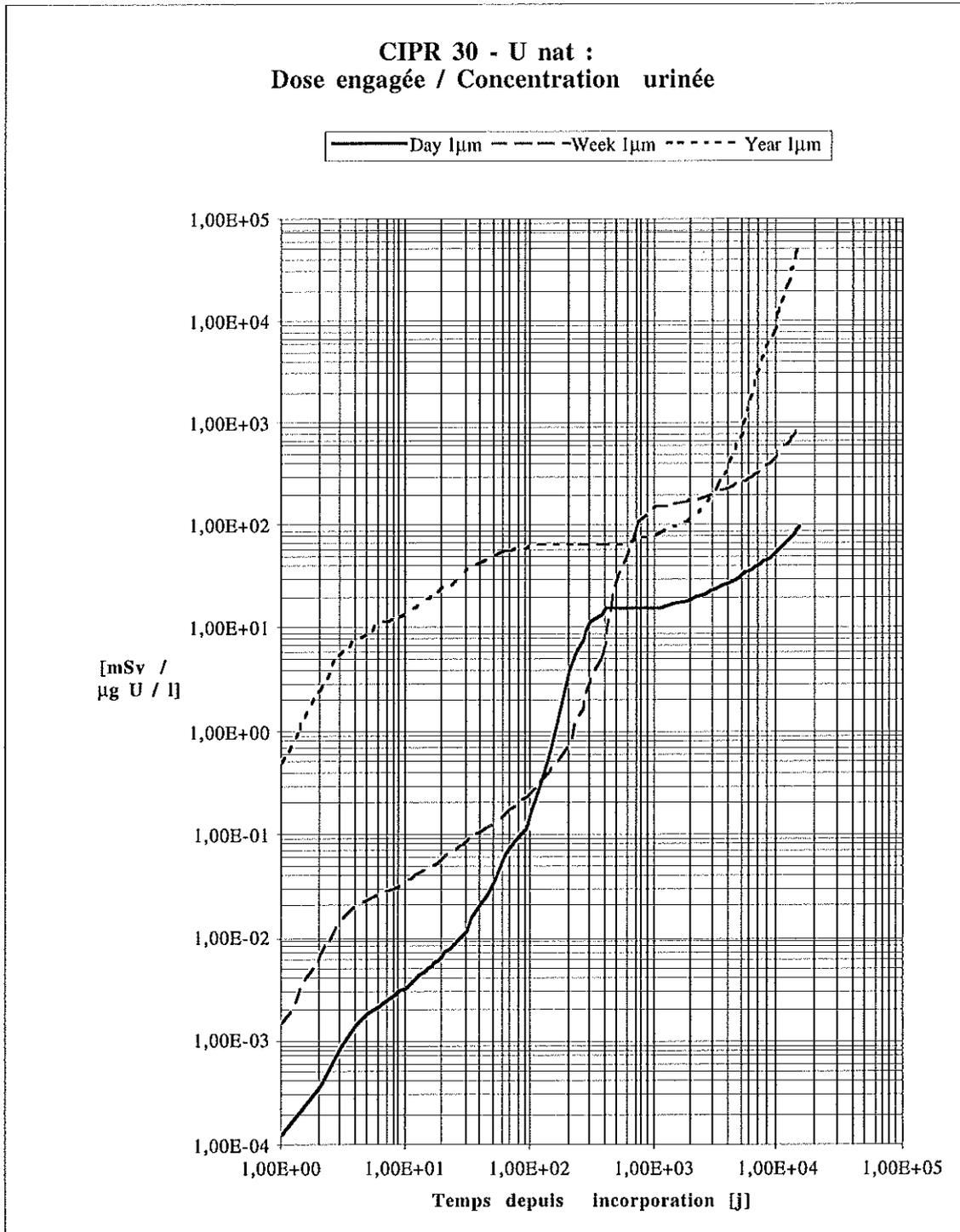


**Tableau 14. Dose engagée / Concentration d'uranium par litre d'urine ;
Excréta urinaires - Incorporation unique (CIPR 54)**

U nat [Bq/g]	Urine [l/l]	Dose engagée / Concentration urinée
2,56E+04	1,40E+00	

Temps depuis incorporation [j]	Day 1µm [mSv / µg U / l]	Week 1µm [mSv / µg U / l]	Year 1µm [mSv / µg U / l]
1	1,28E-04	1,50E-03	5,31E-01
2	3,70E-04	6,95E-03	2,65E+00
3	8,42E-04	1,54E-02	6,10E+00
4	1,44E-03	2,09E-02	8,14E+00
5	1,88E-03	2,49E-02	9,39E+00
6	2,22E-03	2,69E-02	1,11E+01
7	2,57E-03	2,94E-02	1,22E+01
8	2,81E-03	3,14E-02	1,30E+01
9	3,06E-03	3,35E-02	1,39E+01
10	3,35E-03	3,58E-02	1,48E+01
11	3,65E-03	3,82E-02	1,58E+01
12	3,99E-03	4,08E-02	1,68E+01
13	4,36E-03	4,36E-02	1,79E+01
14	4,76E-03	4,66E-02	1,91E+01
15	5,19E-03	4,97E-02	2,03E+01
16	5,50E-03	5,17E-02	2,12E+01
17	5,82E-03	5,38E-02	2,21E+01
18	6,16E-03	5,60E-02	2,31E+01
19	6,52E-03	5,82E-02	2,41E+01
20	6,91E-03	6,06E-02	2,51E+01
21	7,31E-03	6,30E-02	2,62E+01
22	7,74E-03	6,55E-02	2,73E+01
23	8,19E-03	6,82E-02	2,84E+01
24	8,67E-03	7,09E-02	2,97E+01
25	9,18E-03	7,38E-02	3,09E+01
26	9,72E-03	7,67E-02	3,23E+01
27	1,03E-02	7,98E-02	3,36E+01
28	1,09E-02	8,30E-02	3,51E+01
29	1,15E-02	8,63E-02	3,66E+01
30	1,22E-02	8,98E-02	3,81E+01
35	1,60E-02	1,00E-01	4,14E+01
40	2,09E-02	1,12E-01	4,50E+01
45	2,73E-02	1,24E-01	4,88E+01
50	3,57E-02	1,35E-01	5,17E+01
55	4,67E-02	1,46E-01	5,48E+01
60	6,10E-02	1,58E-01	5,81E+01
65	6,85E-02	1,69E-01	5,91E+01
70	7,69E-02	1,81E-01	6,01E+01
80	9,69E-02	2,08E-01	6,21E+01
85	1,09E-01	2,23E-01	6,32E+01
90	1,22E-01	2,39E-01	6,42E+01
100	1,68E-01	2,67E-01	6,54E+01
120	3,18E-01	3,34E-01	6,78E+01
140	6,01E-01	4,16E-01	6,78E+01
160	1,14E+00	5,19E-01	6,78E+01
180	2,15E+00	6,48E-01	6,78E+01
200	4,07E+00	8,08E-01	6,78E+01
240	6,31E+00	1,41E+00	6,78E+01
260	7,87E+00	1,77E+00	6,78E+01
280	9,80E+00	2,45E+00	6,78E+01
300	1,22E+01	3,23E+00	6,78E+01
360	1,45E+01	5,60E+00	6,78E+01
400	1,63E+01	8,08E+00	6,78E+01
500	1,63E+01	3,23E+01	7,04E+01
600	1,63E+01	5,90E+01	7,30E+01
700	1,63E+01	1,08E+02	7,57E+01
720	1,63E+01	1,11E+02	7,63E+01
1000	1,63E+01	1,62E+02	8,45E+01





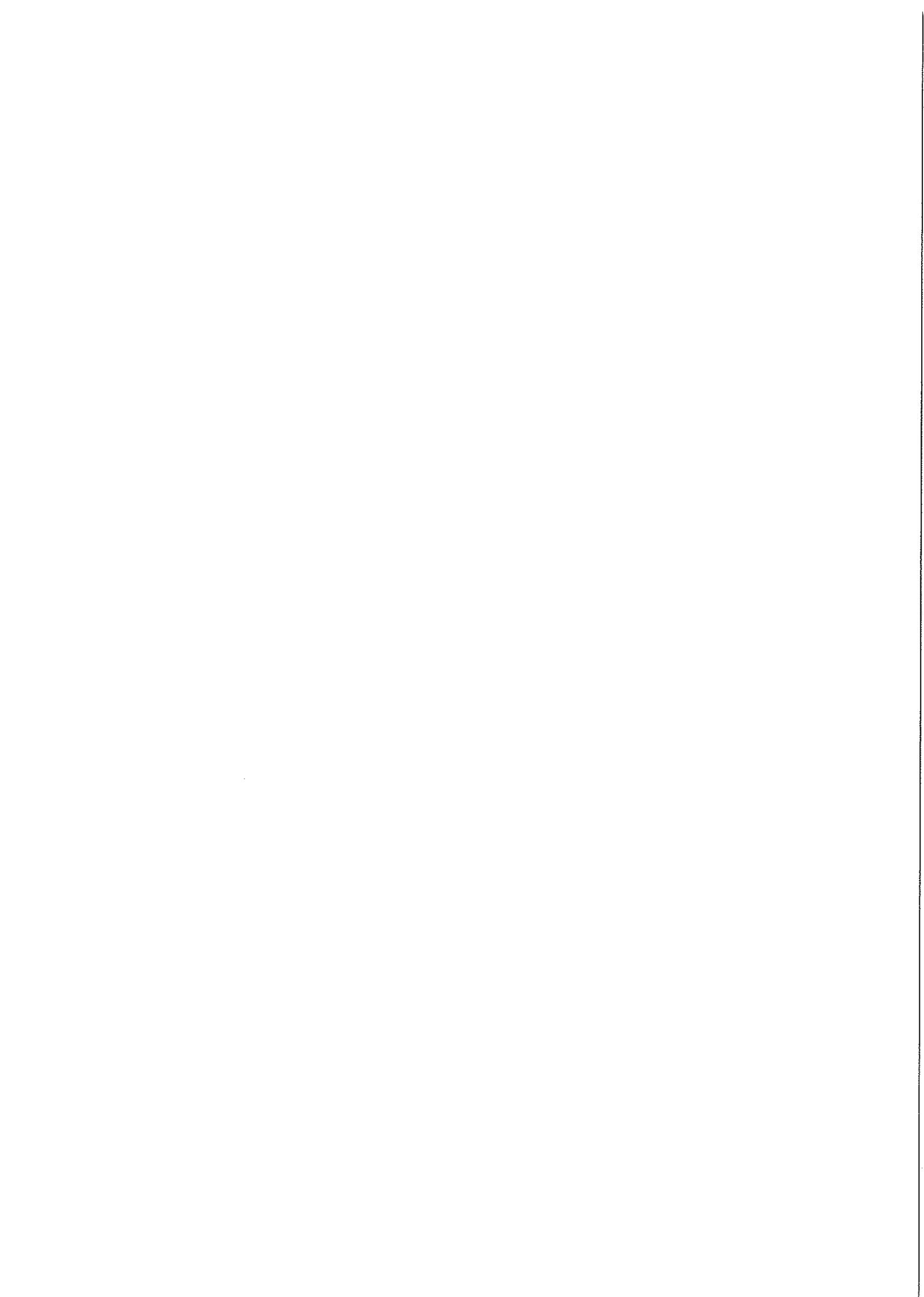
**Figure 12. Dose engagée / Concentration d'uranium par litre d'urine ;
Excréta urinaires - Incorporation unique (CIPR 54)**



Tableau 15. Dose annuelle moyenne / Concentration d'uranium par gramme de créatinine ; Excréta urinaires - Incorporation chronique (CIPR 54)

U nat [Bq/g]	Créatinine [g/l]	Dose annuelle moyenne / Concentration urinée
2,56E+04	1,70E+00	

Temps depuis début d'incorporation [j]	Day 1µm [mSv / µg U / g Créat.]	Week 1µm [mSv / µg U / g Créat.]	Year 1µm [mSv / µg U / g Créat.]
1	5,62E-02	6,57E-01	2,32E+02
2	4,17E-02	5,40E-01	1,93E+02
3	3,74E-02	5,00E-01	1,80E+02
4	3,53E-02	4,74E-01	1,72E+02
5	3,39E-02	4,54E-01	1,65E+02
6	3,27E-02	4,38E-01	1,59E+02
7	3,18E-02	4,23E-01	1,55E+02
8	3,10E-02	4,11E-01	1,51E+02
9	3,03E-02	3,99E-01	1,47E+02
10	2,97E-02	3,89E-01	1,44E+02
11	2,91E-02	3,81E-01	1,41E+02
12	2,87E-02	3,73E-01	1,38E+02
13	2,82E-02	3,65E-01	1,36E+02
14	2,79E-02	3,59E-01	1,34E+02
15	2,75E-02	3,53E-01	1,32E+02
16	2,72E-02	3,48E-01	1,30E+02
17	2,69E-02	3,43E-01	1,28E+02
18	2,67E-02	3,38E-01	1,26E+02
19	2,64E-02	3,34E-01	1,25E+02
20	2,62E-02	3,29E-01	1,23E+02
21	2,60E-02	3,25E-01	1,22E+02
22	2,58E-02	3,22E-01	1,21E+02
23	2,56E-02	3,18E-01	1,20E+02
24	2,54E-02	3,15E-01	1,19E+02
25	2,53E-02	3,12E-01	1,18E+02
26	2,51E-02	3,09E-01	1,17E+02
27	2,50E-02	3,06E-01	1,16E+02
28	2,48E-02	3,04E-01	1,15E+02
29	2,47E-02	3,01E-01	1,14E+02
30	2,46E-02	2,99E-01	1,13E+02
35	2,42E-02	2,89E-01	1,10E+02
40	2,39E-02	2,81E-01	1,07E+02
45	2,36E-02	2,74E-01	1,04E+02
50	2,34E-02	2,68E-01	1,02E+02
55	2,33E-02	2,62E-01	9,98E+01
60	2,32E-02	2,57E-01	9,79E+01
65	2,31E-02	2,53E-01	9,60E+01
70	2,30E-02	2,49E-01	9,43E+01
80	2,29E-02	2,42E-01	9,11E+01
85	2,29E-02	2,39E-01	8,97E+01
90	2,28E-02	2,37E-01	8,83E+01
100	2,27E-02	2,32E-01	8,56E+01
120	2,27E-02	2,25E-01	8,09E+01
140	2,26E-02	2,19E-01	7,67E+01
160	2,26E-02	2,15E-01	7,30E+01
180	2,26E-02	2,12E-01	6,95E+01
200	2,26E-02	2,09E-01	6,64E+01
240	2,26E-02	2,07E-01	6,10E+01
260	2,26E-02	2,06E-01	5,86E+01
280	2,26E-02	2,05E-01	5,63E+01
300	2,26E-02	2,04E-01	5,43E+01
360	2,26E-02	2,03E-01	4,89E+01
400	2,26E-02	2,03E-01	4,59E+01
500	2,26E-02	2,02E-01	3,99E+01
600	2,26E-02	2,02E-01	3,55E+01
700	2,25E-02	2,02E-01	3,20E+01
720	2,25E-02	2,02E-01	3,14E+01
1000	2,25E-02	2,02E-01	2,54E+01



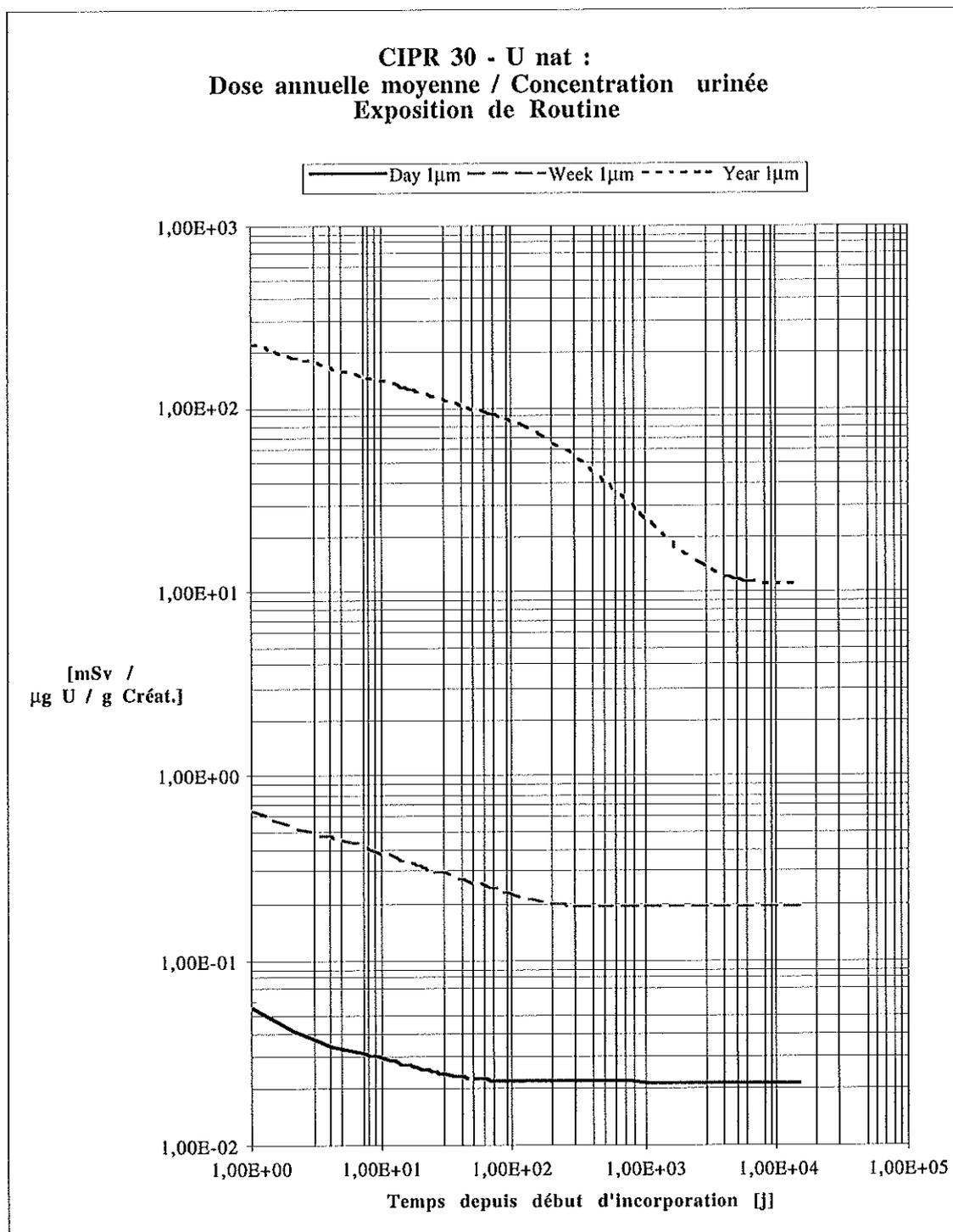


Figure 13. Dose annuelle moyenne / Concentration d'uranium par gramme de créatinine ; Excréta urinaires - Incorporation chronique (CIPR 54)

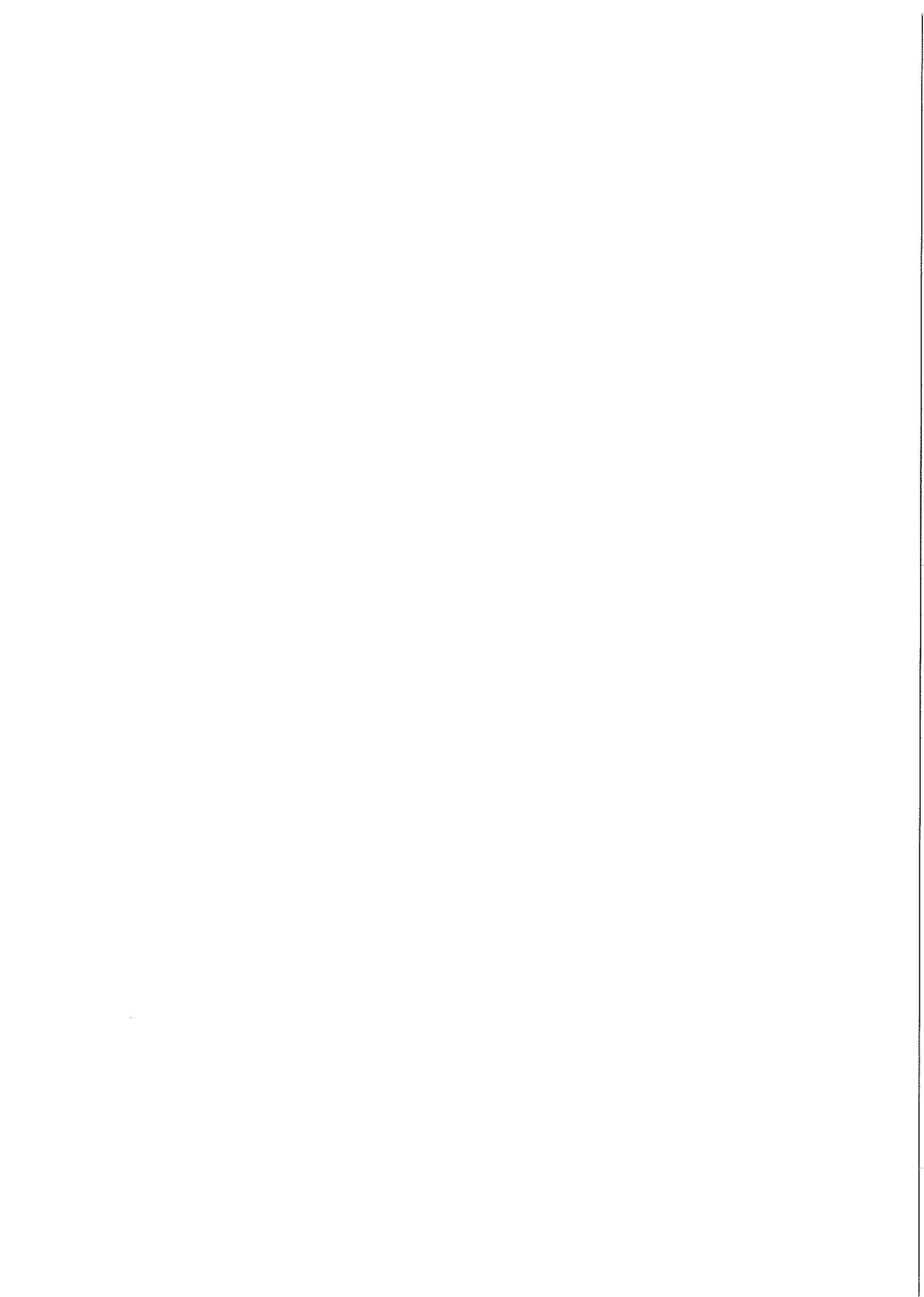
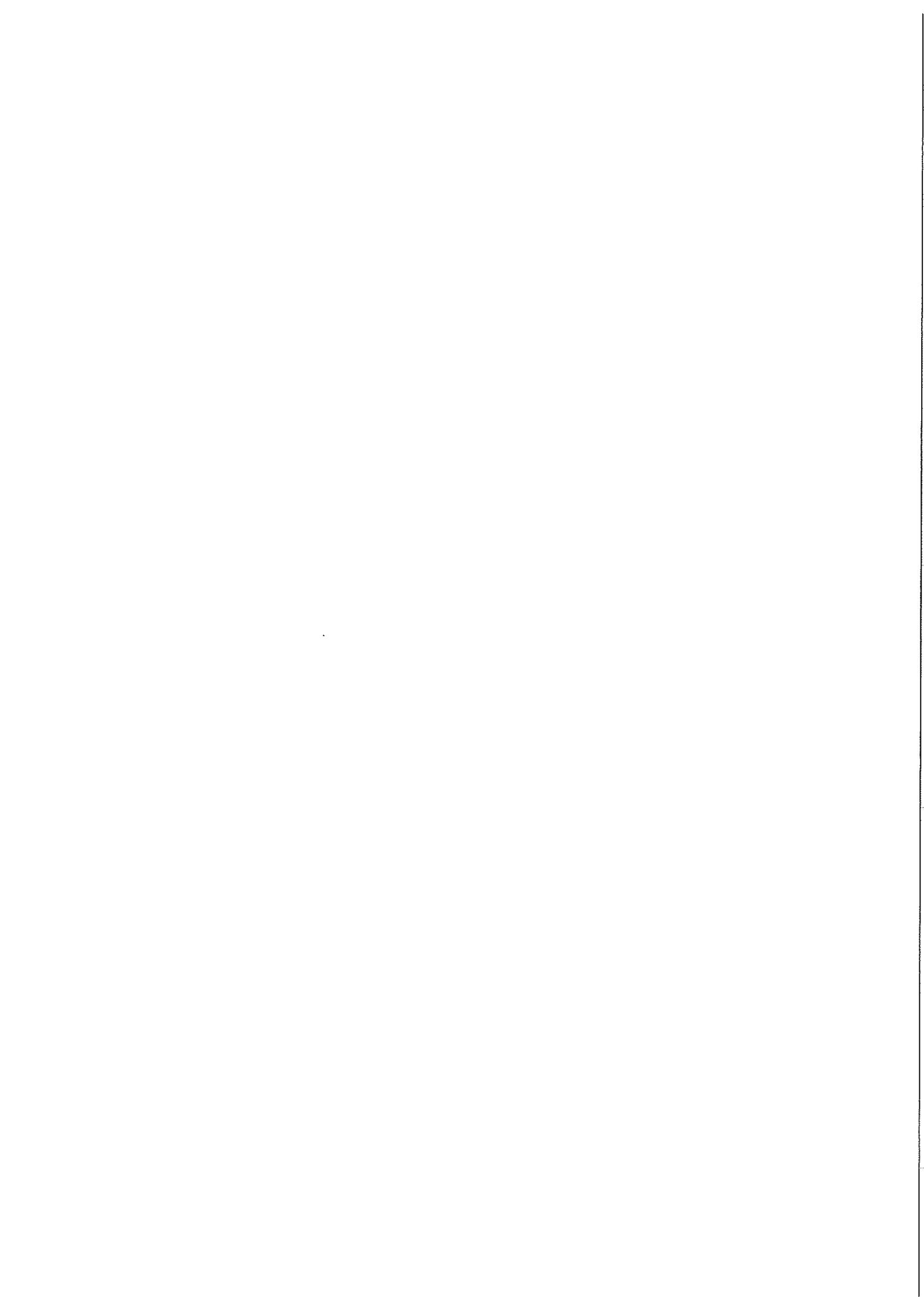


Tableau 16. Dose annuelle moyenne / Concentration d'uranium par litre d'urine) ; Excréta urinaires - Incorporation chronique (CIPR 54)

U nat [Bq/g]	Urine [l/j]	Dose annuelle moyenne / Concentration urinée
2,56E+04	1,40E+00	

Temps depuis début d'incorporation [j]	Day 1µm [mSv / µg U / l]	Week 1µm [mSv / µg U / l]	Year 1µm [mSv / µg U / l]
1	4,63E-02	5,41E-01	1,91E+02
2	3,43E-02	4,45E-01	1,59E+02
3	3,08E-02	4,12E-01	1,48E+02
4	2,91E-02	3,91E-01	1,41E+02
5	2,79E-02	3,74E-01	1,36E+02
6	2,70E-02	3,60E-01	1,31E+02
7	2,62E-02	3,48E-01	1,27E+02
8	2,55E-02	3,38E-01	1,24E+02
9	2,50E-02	3,29E-01	1,21E+02
10	2,45E-02	3,21E-01	1,18E+02
11	2,40E-02	3,13E-01	1,16E+02
12	2,36E-02	3,07E-01	1,14E+02
13	2,33E-02	3,01E-01	1,12E+02
14	2,29E-02	2,96E-01	1,10E+02
15	2,27E-02	2,91E-01	1,08E+02
16	2,24E-02	2,86E-01	1,07E+02
17	2,22E-02	2,82E-01	1,05E+02
18	2,20E-02	2,78E-01	1,04E+02
19	2,18E-02	2,75E-01	1,03E+02
20	2,16E-02	2,71E-01	1,02E+02
21	2,14E-02	2,68E-01	1,01E+02
22	2,12E-02	2,65E-01	9,96E+01
23	2,11E-02	2,62E-01	9,86E+01
24	2,09E-02	2,60E-01	9,77E+01
25	2,08E-02	2,57E-01	9,69E+01
26	2,07E-02	2,55E-01	9,61E+01
27	2,06E-02	2,52E-01	9,53E+01
28	2,05E-02	2,50E-01	9,46E+01
29	2,04E-02	2,48E-01	9,39E+01
30	2,03E-02	2,46E-01	9,33E+01
35	1,99E-02	2,38E-01	9,05E+01
40	1,97E-02	2,31E-01	8,80E+01
45	1,95E-02	2,26E-01	8,58E+01
50	1,93E-02	2,20E-01	8,39E+01
55	1,92E-02	2,16E-01	8,22E+01
60	1,91E-02	2,12E-01	8,06E+01
65	1,90E-02	2,08E-01	7,91E+01
70	1,90E-02	2,05E-01	7,77E+01
80	1,89E-02	2,00E-01	7,51E+01
85	1,88E-02	1,97E-01	7,38E+01
90	1,88E-02	1,95E-01	7,27E+01
100	1,87E-02	1,91E-01	7,05E+01
120	1,87E-02	1,85E-01	6,67E+01
140	1,86E-02	1,81E-01	6,32E+01
160	1,86E-02	1,77E-01	6,01E+01
180	1,86E-02	1,75E-01	5,73E+01
200	1,86E-02	1,72E-01	5,47E+01
240	1,86E-02	1,70E-01	5,02E+01
260	1,86E-02	1,69E-01	4,82E+01
280	1,86E-02	1,69E-01	4,64E+01
300	1,86E-02	1,68E-01	4,47E+01
360	1,86E-02	1,67E-01	4,03E+01
400	1,86E-02	1,67E-01	3,78E+01
500	1,86E-02	1,67E-01	3,29E+01
600	1,86E-02	1,67E-01	2,92E+01
700	1,86E-02	1,66E-01	2,64E+01
720	1,86E-02	1,66E-01	2,59E+01
1000	1,86E-02	1,66E-01	2,09E+01



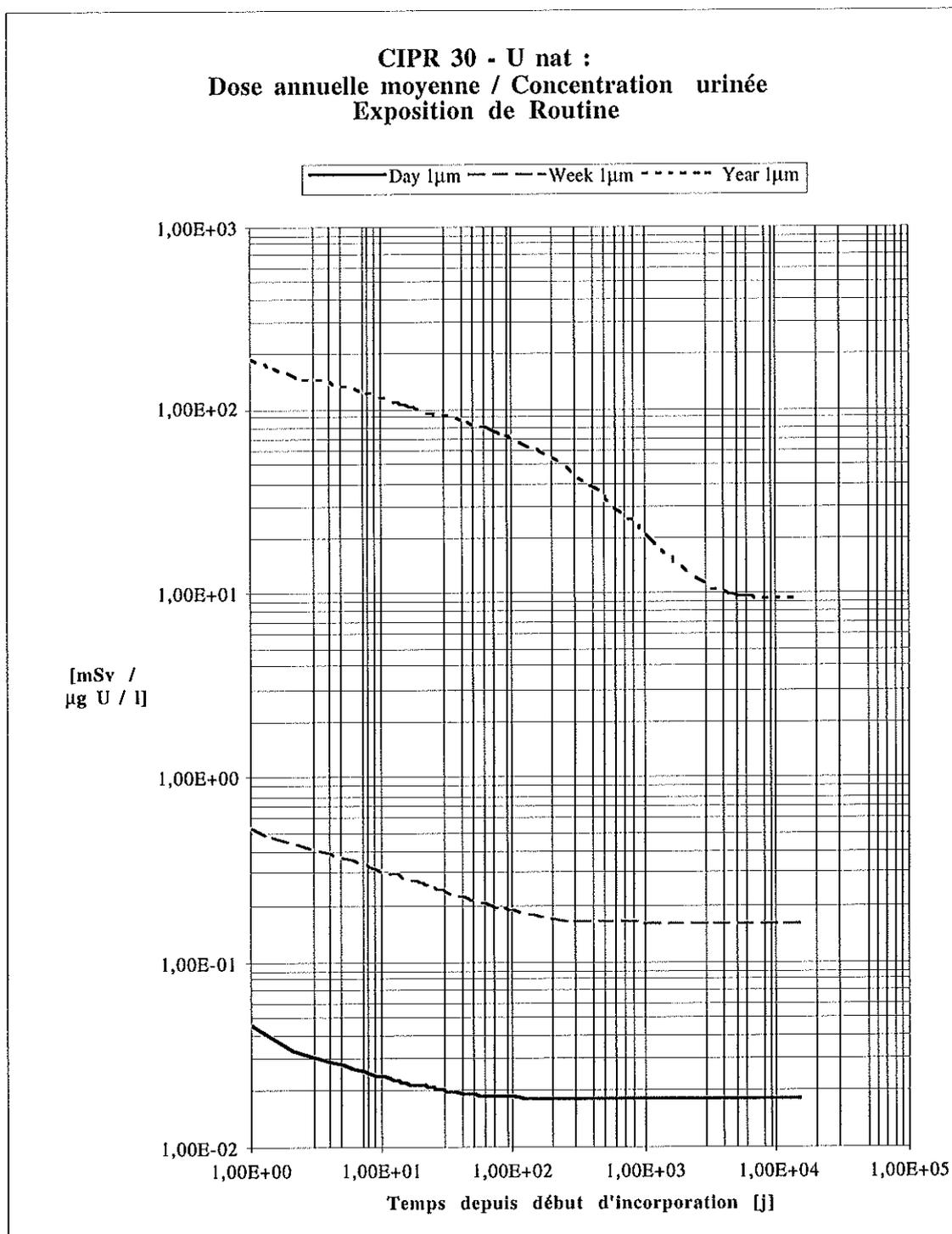
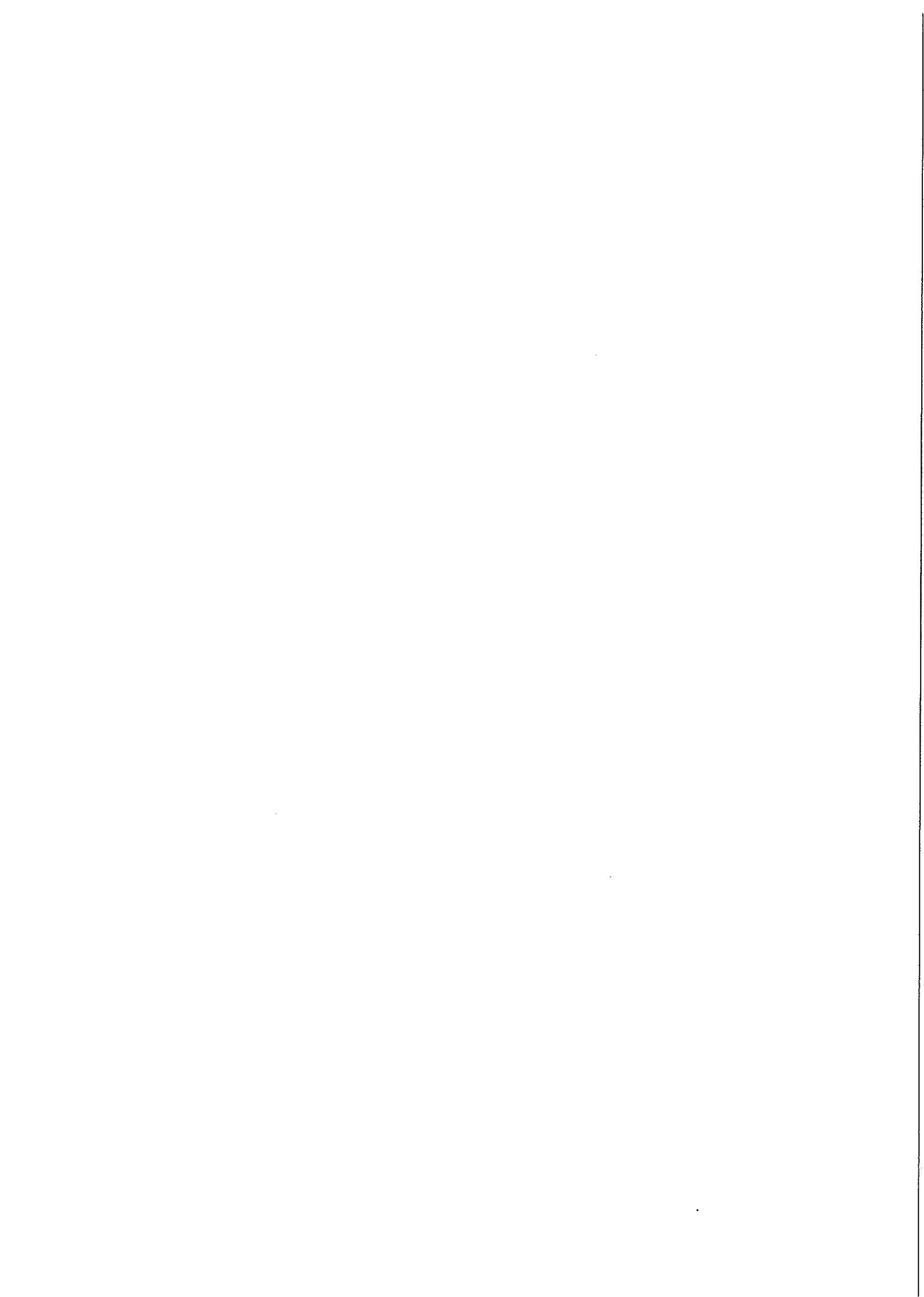


Figure 14. Dose annuelle moyenne / Concentration d'uranium par litre d'urine) ; Excréta urinaires - Incorporation chronique (CIPR 54)



6.2.2.3. Limites de détection

Les dosages d'uranium dans les excréta urinaires réalisés au laboratoire de Pierrelatte peuvent faire appel à deux techniques d'analyse présentant des limites de détection respectivement égales à 4 µg Uranium/l pour la méthode standard, et 0,1 µg Uranium/l pour la méthode fine [5].

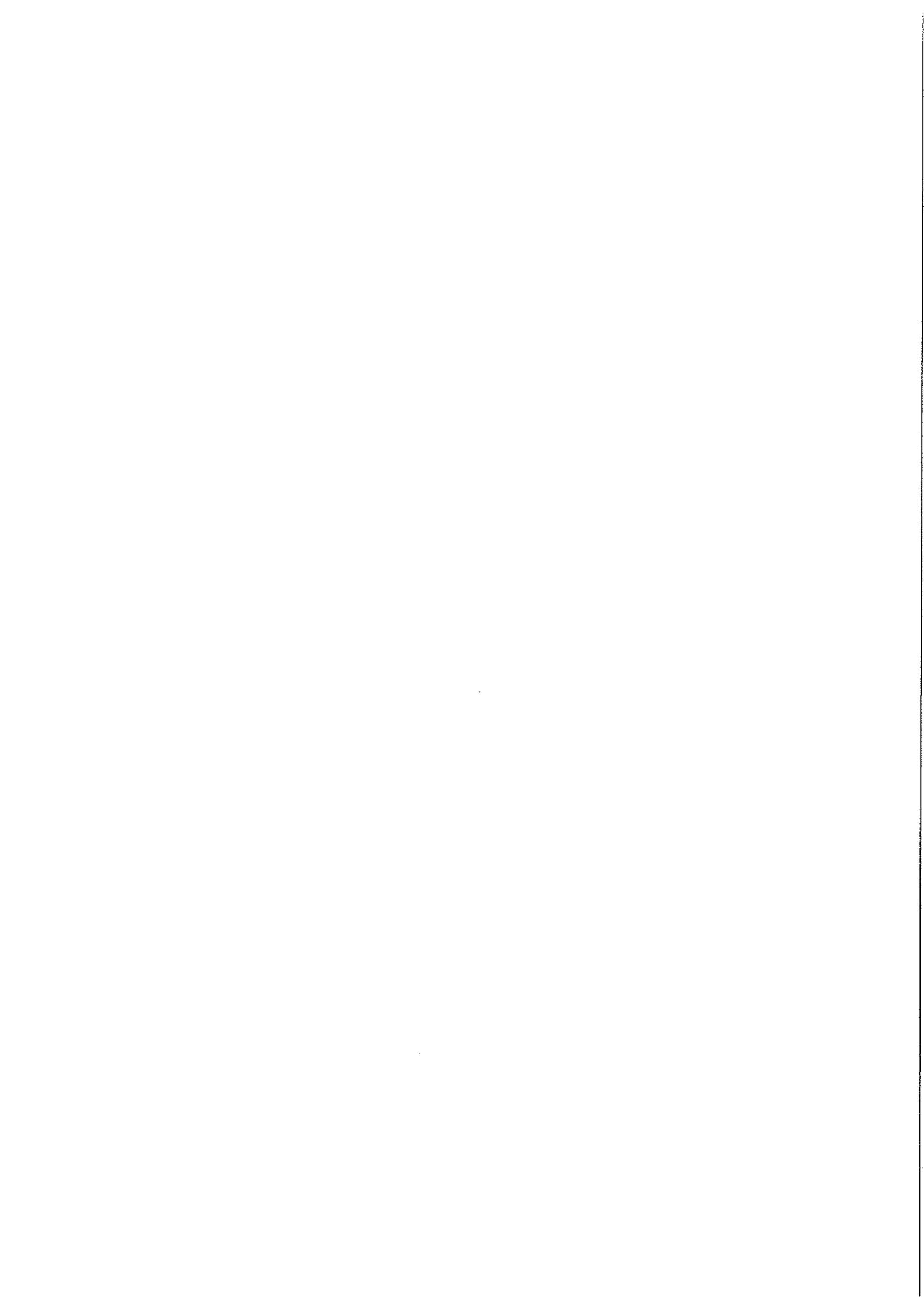
L'activité massique de l'uranium naturel étant égale à $2,56 \cdot 10^4$ Bq/g, les limites de détection exprimées en activités sont respectivement égales à $1 \cdot 10^{-1}$ Bq Unat /l pour la méthode standard et $2,5 \cdot 10^{-3}$ Bq Unat/l pour la méthode fine. De même, en considérant une excrétion urinaire chez l'homme adulte égale à 1,4 l/j et 1,7 g-Créatinine/j [84], les limites de détection exprimées en activités sont respectivement égales à 3,3 g-Uranium /g-Créatinine pour la méthode standard et $8,2 \cdot 10^{-2}$ Bq Unat/l pour la méthode fine.

Les limites de détection peuvent être utilement comparées aux niveaux dérivés d'enregistrement et d'investigation recommandés par la CIPR pour la surveillance de routine et correspondant à des niveaux d'incorporation égaux respectivement à 1/10 et 3/10 de la Limite Annuelle d'Incorporation (LAI) rapportée à la période à laquelle correspond la mesure, soit LAI/10 N et 3 LAI/10 N pour une surveillance de routine effectuée N fois par an.

Les deux tableaux suivants présentent les résultats de cette comparaison pour chacune des méthodes standard et fine. Cette comparaison est effectuée pour des intervalles de surveillance compris entre 14 et 360 jours et des composés d'uranium de classes de solubilité Day, Week et Year.

Les résultats de cette comparaison pour la méthode standard (Tableau 17) montrent que si pour les composés les plus solubles (Day et Week), la limite de détection est toujours inférieure aux niveaux dérivés d'enregistrement et d'investigation, la limite de détection est par contre toujours supérieure à ces deux niveaux pour les composés les moins solubles (Year), et ceci quelque soit l'intervalle de mesure considéré.

En ce qui concerne la méthode fine (Tableau 18), la limite de détection n'est inférieure aux niveaux d'investigation des composés les moins solubles (Year) que pour des intervalles de surveillance supérieurs à 90 jours, et est supérieure au niveau d'enregistrement pour toute période de surveillance inférieure à l'année.



**Tableau 17. Seuils d'enregistrement et d'investigation ; Excréta urinaires ;
Méthode standard (Limite de détection = 4 µg/l Uranium)**

SURVEILLANCE DE ROUTINE	EXCRETION URINAIRE	CIPR 30
Méthode Standard	Sensibilité	4,0 [µg Unat/l]

Elément	Solubilité	Facteur de Dose Inhalation [Sv/Bq]	LAI Inhalation [Bq]	Intervalle de mesure T [j]	Fraction d'activité mesurée [T/2]	Sensibilité [µg /l]	Sensibilité [µg/24h]	Seuil d'enregistrement LAI/10 N	Seuil d'investigation 3 LAI/10 N	
								[µg/24h]	[µg/24h]	
U nat	Day 1µm	6,80E-07	4,80E+04	90	8,9E-04	4,0E+00	5,6E+00	4,2E+01	1,3E+02	
				60	2,0E-03			6,2E+01	1,9E+02	
				30	4,7E-03			7,3E+01	2,2E+02	
				14	9,5E-03			6,9E+01	2,1E+02	
	Week 1µm	1,80E-06	2,75E+04	180	120	2,7E-04	4,0E+00	5,6E+00	1,4E+01	4,3E+01
					90	4,1E-04			1,5E+01	4,4E+01
					60	5,2E-04			1,4E+01	4,2E+01
					30	7,2E-04			1,3E+01	3,9E+01
	Year 1µm	3,40E-05	1,50E+03	14	30	1,3E-03	4,0E+00	5,6E+00	1,2E+01	3,5E+01
					60	2,2E-03			9,2E+00	2,8E+01
					90	1,8E-05			1,1E-01	3,2E-01
					180	1,9E-05			5,6E-02	1,7E-01
				120	2,1E-05			4,1E-02	1,2E-01	
				90	2,5E-05			3,7E-02	1,1E-01	
				60	3,2E-05			3,1E-02	9,4E-02	
				30	6,0E-05			2,9E-02	8,8E-02	
				14	1,0E-04			2,3E-02	6,8E-02	

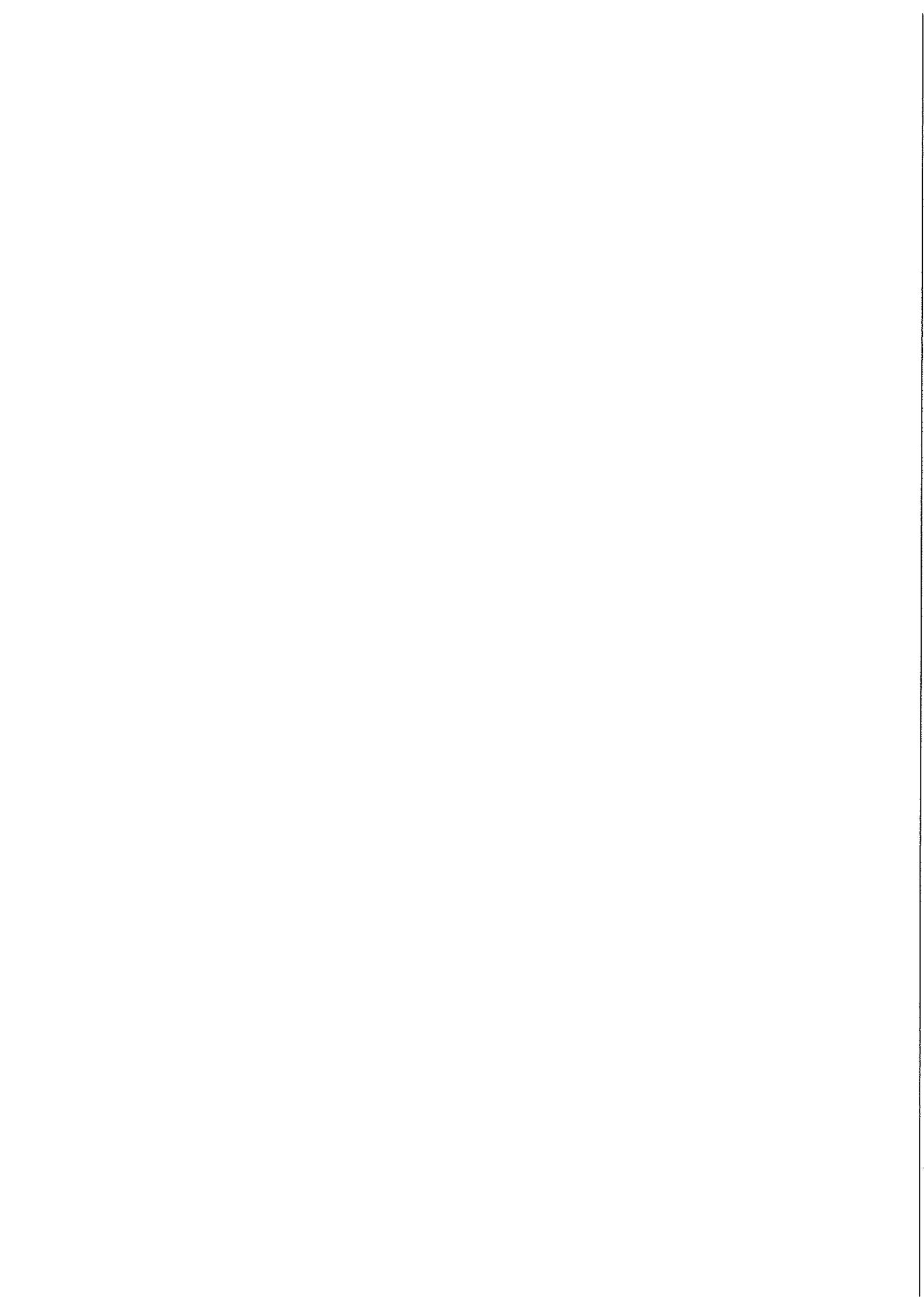
Excrétion urinaire	1,4	[l/j]
Activité spécifique Unat	2,56E+04	[Bq/g]

**Tableau 18. Seuils d'enregistrement et d'investigation ; Excréta urinaires ;
Méthode fine (Limite de détection = 0,1 µg/l Uranium)**

SURVEILLANCE DE ROUTINE	EXCRETION URINAIRE	CIPR 30
Méthode Fine	Sensibilité	0,1 [µg Unat/l]

Elément	Solubilité	Facteur de Dose Inhalation [Sv/Bq]	LAI Inhalation [Bq]	Intervalle de mesure T [j]	Fraction d'activité mesurée [T/2]	Sensibilité [µg /l]	Sensibilité [µg/24h]	Seuil d'enregistrement LAI/10 N	Seuil d'investigation 3 LAI/10 N	
								[µg/24h]	[µg/24h]	
U nat	Day 1µm	6,80E-07	4,80E+04	90	8,9E-04	1,0E-01	1,4E-01	4,2E+01	1,3E+02	
				60	2,0E-03			6,2E+01	1,9E+02	
				30	4,7E-03			7,3E+01	2,2E+02	
				14	9,5E-03			6,9E+01	2,1E+02	
	Week 1µm	1,80E-06	2,75E+04	180	120	2,7E-04	1,0E-01	1,4E-01	1,4E+01	4,3E+01
					90	4,1E-04			1,5E+01	4,4E+01
					60	5,2E-04			1,4E+01	4,2E+01
					30	7,2E-04			1,3E+01	3,9E+01
	Year 1µm	3,40E-05	1,50E+03	14	30	1,3E-03	1,0E-01	1,4E-01	1,2E+01	3,5E+01
					60	2,2E-03			9,2E+00	2,8E+01
					90	1,8E-05			1,1E-01	3,2E-01
					180	1,9E-05			5,6E-02	1,7E-01
				120	2,1E-05			4,1E-02	1,2E-01	
				90	2,5E-05			3,7E-02	1,1E-01	
				60	3,2E-05			3,1E-02	9,4E-02	
				30	6,0E-05			2,9E-02	8,8E-02	
				14	1,0E-04			2,3E-02	6,8E-02	

Excrétion urinaire	1,4	[l/j]
Activité spécifique Unat	2,56E+04	[Bq/g]



6.2.2.4. Dose détectable par examen

Au delà de la simple comparaison des limites de détection aux niveaux dérivés d'enregistrement et d'investigation, une autre façon d'interpréter la sensibilité des méthodes de mesure consiste à déterminer, pour un intervalle de surveillance, l'engagement de dose correspondant à la mesure du niveau de détection.

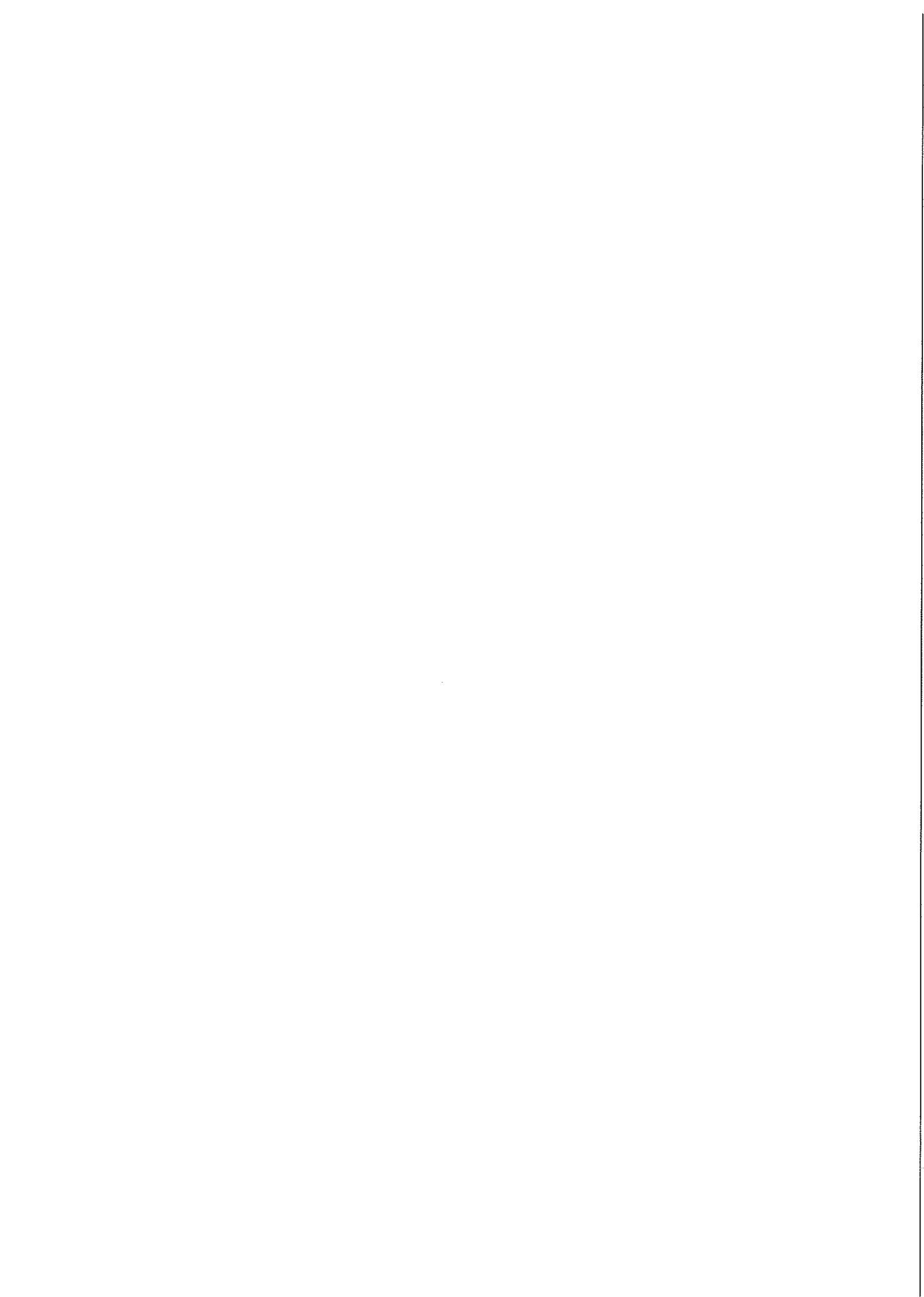
En effet, l'existence d'une limite de détection pour les examens biologiques implique qu'en dessous d'une certaine valeur, l'exposition associée à la période séparant deux examens pourra rester inaperçue (concept de dose détectable) si l'estimation de l'exposition repose sur ces seuls examens biologiques.

La dose pouvant être manquée, pour un intervalle de surveillance considéré isolément, est donc l'engagement de dose qui correspond à une incorporation s'étant produite au cours de cet intervalle et restée inaperçue car donnant lieu à un résultat de mesure juste inférieur à la limite de détection.

Par ailleurs, plus l'intervalle séparant les examens biologiques est important, plus grande est l'incertitude associée au manque de connaissance du moment où a eu lieu l'incorporation. L'augmentation de la fréquence des examens, ainsi que la définition d'une durée d'exclusion du travailleur de toute source d'exposition interne préalable à chaque examen permet de diminuer cette incertitude.

Les deux tableaux suivants présentent, pour la méthode fine (Tableau 20) et la méthode standard (Tableau 19), et pour des composés d'uranium de classes de solubilité Day, Week et Year, l'évolution de la dose détectable par examen en fonction des fréquences d'examen et des durées d'exclusion minimales permettant de maintenir l'incertitude liée au profil d'incorporation inférieure à un facteur trois, comme le conseille la CIPR 35 [23], soit un facteur 9 entre les estimations minimales et maximales.

Cette évaluation est effectuée sous diverses hypothèses du profil temporel de l'incorporation au cours de l'intervalle de surveillance, à savoir une incorporation unique à la fin de l'intervalle de surveillance ($t=T_{\text{exclusion}}$), une incorporation chronique tout au long de cet intervalle (0 à T), une incorporation unique au milieu de l'intervalle de surveillance ($t=T/2$), et une incorporation au début de cet intervalle ($t=0$).



On notera que cette évaluation ne prend pas en compte l'éventuelle influence sur le résultat de mesure de l'intervalle de surveillance considéré des incorporations reçues au cours des intervalles qui l'ont précédé, cette influence pouvant être d'autant plus importante que le composé est moins soluble.

**Tableau 19. Doses engagées détectables par examen ; Excréta urinaires ;
Méthode fine (Limite de détection = 0,1 µg/l Uranium)**

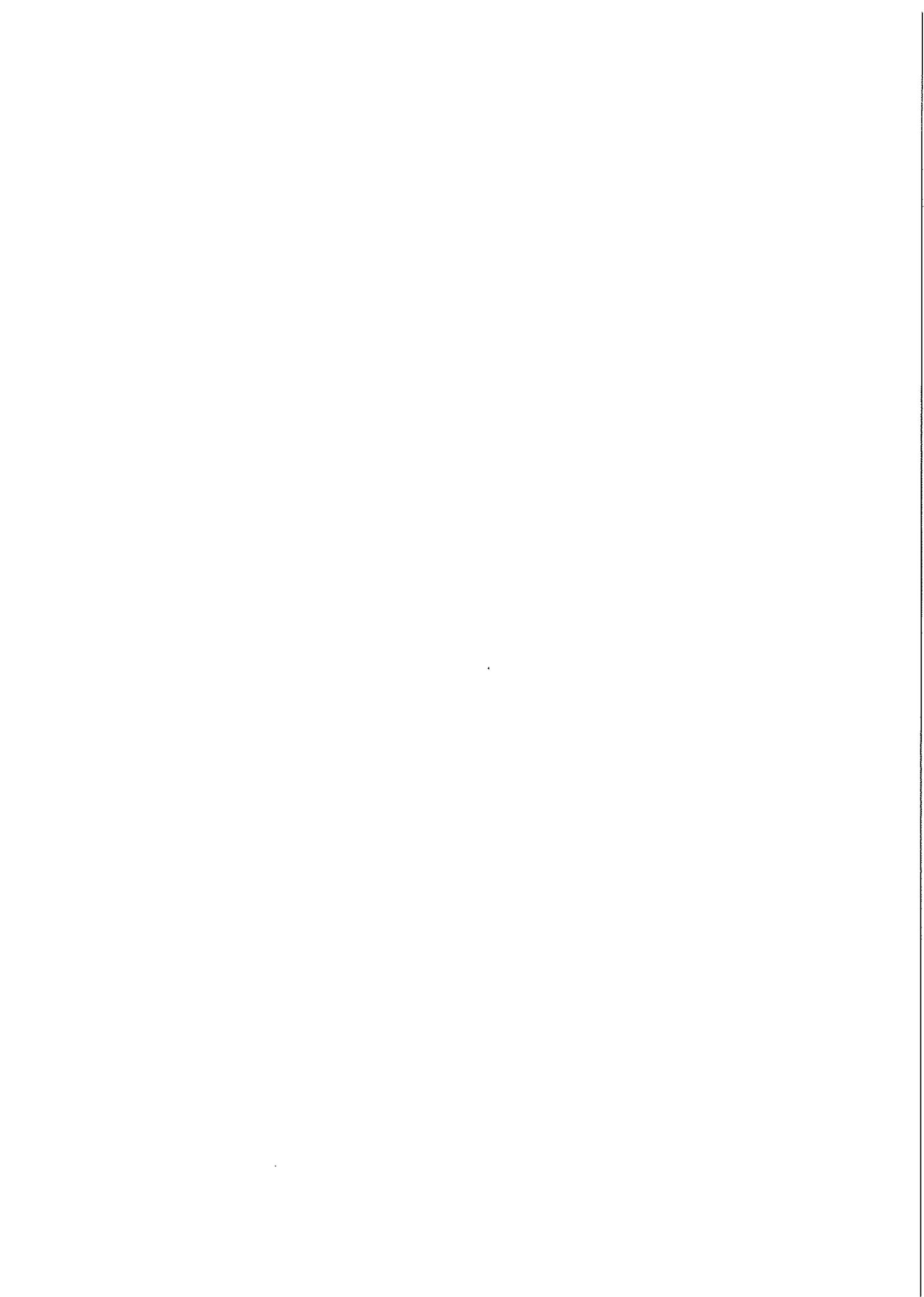
SURVEILLANCE DE ROUTINE		EXCRETION URINAIRE				CIPR 30						
Méthode Fine		Sensibilité		0,1		[µg Unat/l]						
Élément	Solubilité	Facteur de Dose Inhalation [Sv/Bq]	LAI Inhalation [Bq]	Intervalle de mesure T [j]	Durée d'exclusion Texcl [j]	Fraction d'activité mesurée [T/2]	Sensibilité [µg/l]	Sensibilité de mesure max (=Texcl) [mSv]	Sensibilité de mesure moyenne (0 à T) [mSv]	Sensibilité de mesure moyenne (=T/2) [mSv]	Sensibilité de mesure min(=T) [mSv]	
U nat	Day 1µm	6,80E-07	4,80E+04	90	22	8,9E-04	1,0E-01	7,7E-04	4,7E-04	2,7E-03	1,2E-02	
				60	12	2,0E-03		4,0E-04	1,6E-04	1,2E-03	6,1E-03	
				30	4	4,7E-03		1,4E-04	1,7E-04	5,2E-04	1,2E-03	
				14	3	9,5E-03		8,4E-05	8,9E-05	2,6E-04	4,7E-04	
	Week 1µm	1,80E-06	2,75E+04	180	25	2,7E-04	1,0E-01	7,4E-03	8,7E-03	2,4E-02	6,5E-02	
				120	15	4,1E-04		5,0E-03	6,2E-03	1,6E-02	3,3E-02	
				90	11	5,2E-04		3,8E-03	4,9E-03	1,2E-02	2,4E-02	
				60	6	7,2E-04		2,7E-03	3,5E-03	9,0E-03	1,6E-02	
	Year 1µm	3,40E-05	1,50E+03	360	16	1,8E-05	1,0E-01	6,9E-04	1,1E-03	2,9E-03	4,6E-03	
				180	15	1,9E-05		2,1E+00	2,9E+00	6,4E+00	6,8E+00	
				120	13	2,1E-05		1,8E+00	2,2E+00	5,8E+00	6,8E+00	
				90	11	2,5E-05		1,6E+00	1,8E+00	4,9E+00	6,4E+00	
			60	7	3,2E-05		1,2E+00	1,3E+00	3,8E+00	5,8E+00		
			30	3	6,0E-05		6,1E-01	7,8E-01	2,0E+00	3,8E+00		
			14	2	1,0E-04		2,6E-01	4,3E-01	1,2E+00	1,9E+00		

Excrétion urinaire		1,4	[µj]
Activité spécifique	Unat	2,56E+04	[Bq/g]

**Tableau 20. Doses engagées détectables par examen ; Excréta urinaires ;
Méthode standard (Limite de détection = 4 µg/l Uranium)**

SURVEILLANCE DE ROUTINE		EXCRETION URINAIRE				CIPR 30						
Méthode Standard		Sensibilité		4,0		[µg Unat/l]						
Élément	Solubilité	Facteur de Dose Inhalation [Sv/Bq]	LAI Inhalation [Bq]	Intervalle de mesure T [j]	Durée d'exclusion Texcl [j]	Fraction d'activité mesurée [T/2]	Sensibilité [µg/l]	Sensibilité de mesure max (=Texcl) [mSv]	Sensibilité de mesure moyenne (0 à T) [mSv]	Sensibilité de mesure moyenne (=T/2) [mSv]	Sensibilité de mesure min(=T) [mSv]	
U nat	Day 1µm	6,80E-07	4,80E+04	90	22	8,9E-04	4,0E+00	3,1E-02	1,9E-02	1,1E-01	4,9E-01	
				60	12	2,0E-03		1,6E-02	6,6E-03	4,9E-02	2,5E-01	
				30	4	4,7E-03		5,8E-03	6,8E-03	2,1E-02	4,9E-02	
				14	3	9,5E-03		3,4E-03	3,6E-03	1,0E-02	1,9E-02	
	Week 1µm	1,80E-06	2,75E+04	180	25	2,7E-04	4,0E+00	3,0E-01	3,5E-01	9,6E-01	2,6E+00	
				120	15	4,1E-04		2,0E-01	2,5E-01	6,3E-01	1,3E+00	
				90	11	5,2E-04		1,5E-01	2,0E-01	5,0E-01	9,6E-01	
				60	6	7,2E-04		1,1E-01	1,4E-01	3,6E-01	6,3E-01	
	Year 1µm	3,40E-05	1,50E+03	360	16	1,8E-05	4,0E+00	6,2E-02	8,2E-02	2,0E-01	3,6E-01	
				180	15	1,9E-05		2,8E-02	4,6E-02	1,2E-01	1,9E-01	
				120	13	2,1E-05		8,5E+01	1,6E+02	2,7E+02	2,7E+02	
				90	11	2,5E-05		8,2E+01	1,2E+02	2,6E+02	2,7E+02	
			120	13	2,1E-05		7,2E+01	8,9E+01	2,3E+02	2,7E+02		
			90	11	2,5E-05		6,3E+01	7,3E+01	2,0E+02	2,6E+02		
			60	7	3,2E-05		4,9E+01	5,4E+01	1,5E+02	2,3E+02		
			30	3	6,0E-05		2,5E+01	3,1E+01	8,2E+01	1,5E+02		
			14	2	1,0E-04		1,1E+01	1,7E+01	4,9E+01	7,7E+01		

Excrétion urinaire		1,4	[µj]
Activité spécifique	Unat	2,56E+04	[Bq/g]



6.2.2.4.1. Composés fortement solubles (Day)

Les limites de détection associées aux méthodes fine et standard (0,1 µgU/l et 4 µgU/l) correspondent pour cette classe de composé à des doses détectables par examen inférieures respectivement à 0,01 mSv et 0,5 mSv.

L'interprétation des résultats pose de façon aiguë le problème de la fréquence d'examen et de la durée d'exclusion. En effet, la période minimale d'examen associée à un facteur trois d'incertitude est de 30 jours et l'incertitude associée à des périodes d'examen de 60 et 90 jours est de l'ordre du facteur 5. Par ailleurs, un temps d'exclusion de 22 jours est associé à une période d'examen de 90 jours. Le temps d'exclusion diminue cependant rapidement avec la période d'examen puisque des temps d'exclusion de 12, 4 et 3 jours sont associés à des périodes d'examen égales respectivement à 60, 30 et 14 jours.

6.2.2.4.2. Composés moyennement solubles (Week)

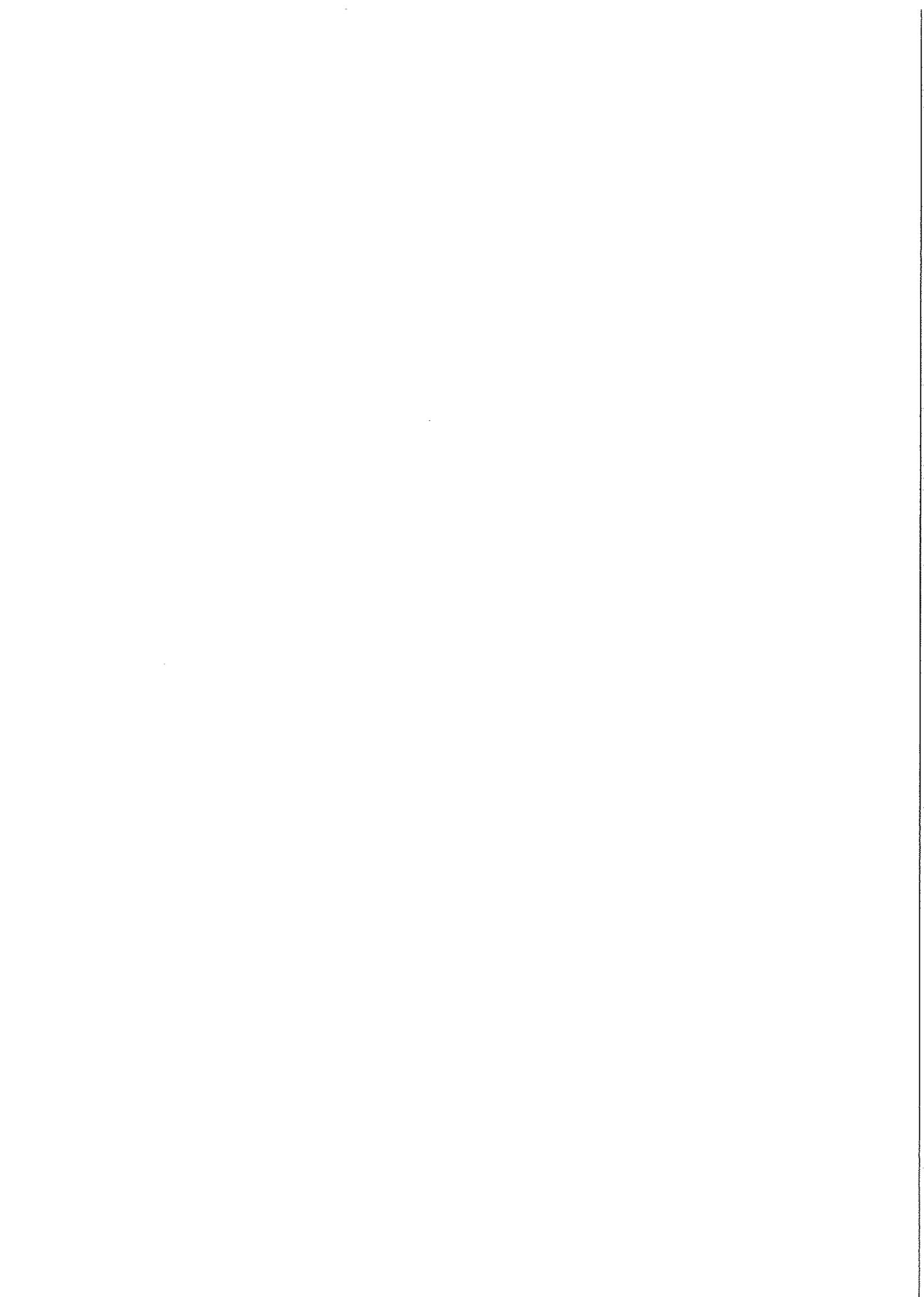
Les limites de détection associées aux méthodes fine et standard correspondent pour cette classe de composé à des doses détectables par examen inférieures respectivement à 0,07 mSv et 3 mSv.

Si le problème posé par la fréquence d'examen est moins aigu que pour les composés fortement solubles, la question de la durée d'exclusion reste déterminante. En effet, si la période minimale associée à un facteur trois d'incertitude est de 180 jours, le temps d'exclusion correspondant est égal à 25 jours, et la durée d'exclusion diminue lentement avec la période d'examen. Des temps d'exclusion égaux à 15, 11, 6 et 3 jours sont en effet associés à des périodes d'examen égales respectivement à 120, 90, 60 et 30 jours.

6.2.2.4.3. Composés peu solubles (Year)

Les limites de détection associées à la méthodes fine correspondent pour cette classe de composé à une dose détectable par examen comprise entre 0,3 et 7 mSv. La méthode standard s'avère peu utilisable pour ces composés puisqu'elle conduit à des doses détectables par examen comprises entre 10 et 300 mSv

Le problème de la fréquence d'examen et la durée d'exclusion se pose, pour ces composés, en des termes différents. En effet, si un facteur d'incertitude inférieur à trois est associé à une période d'examen annuelle, et le temps d'exclusion correspondant inférieur à 16 jours, le temps d'exclusion diminue lentement avec la période d'examen.



Des temps d'exclusion égaux à 15, 13, 11, 7 et 3 jours sont en effet associés à des périodes d'examen égales respectivement à 180, 120, 90, 60 et 30 jours.

Les six figures suivantes présentent ces indicateurs pour les composés Day, Week, Year et les méthodes d'analyse fine et standard.

Les doses détectables par examen correspondant aux différentes hypothèses de profil temporel d'exposition sont représentées, en fonction de la période de mesure considérée, sur l'axe gauche des abscisses. Les temps d'exclusion correspondants sont représentés sur l'axe droit des abscisses.

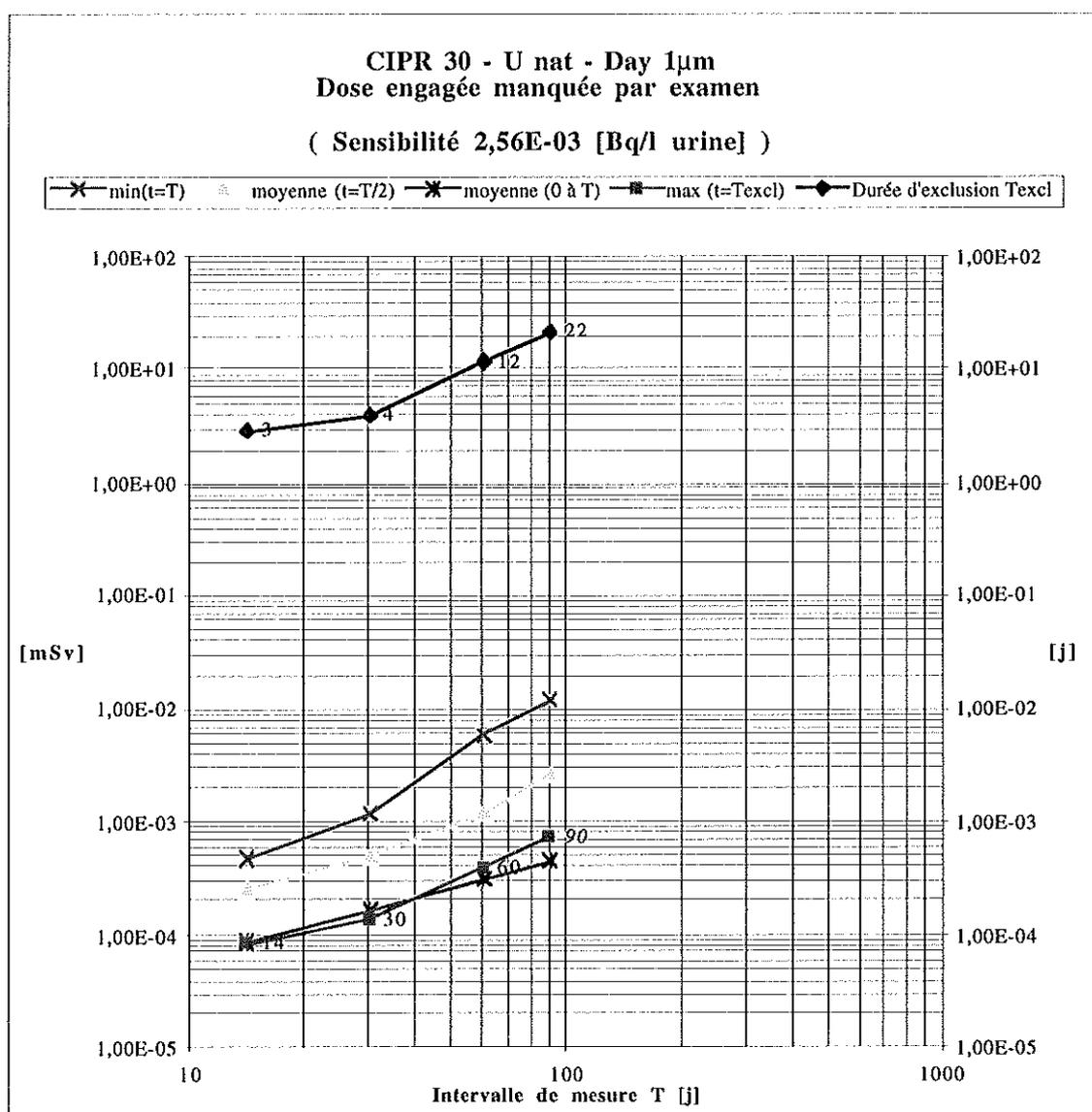
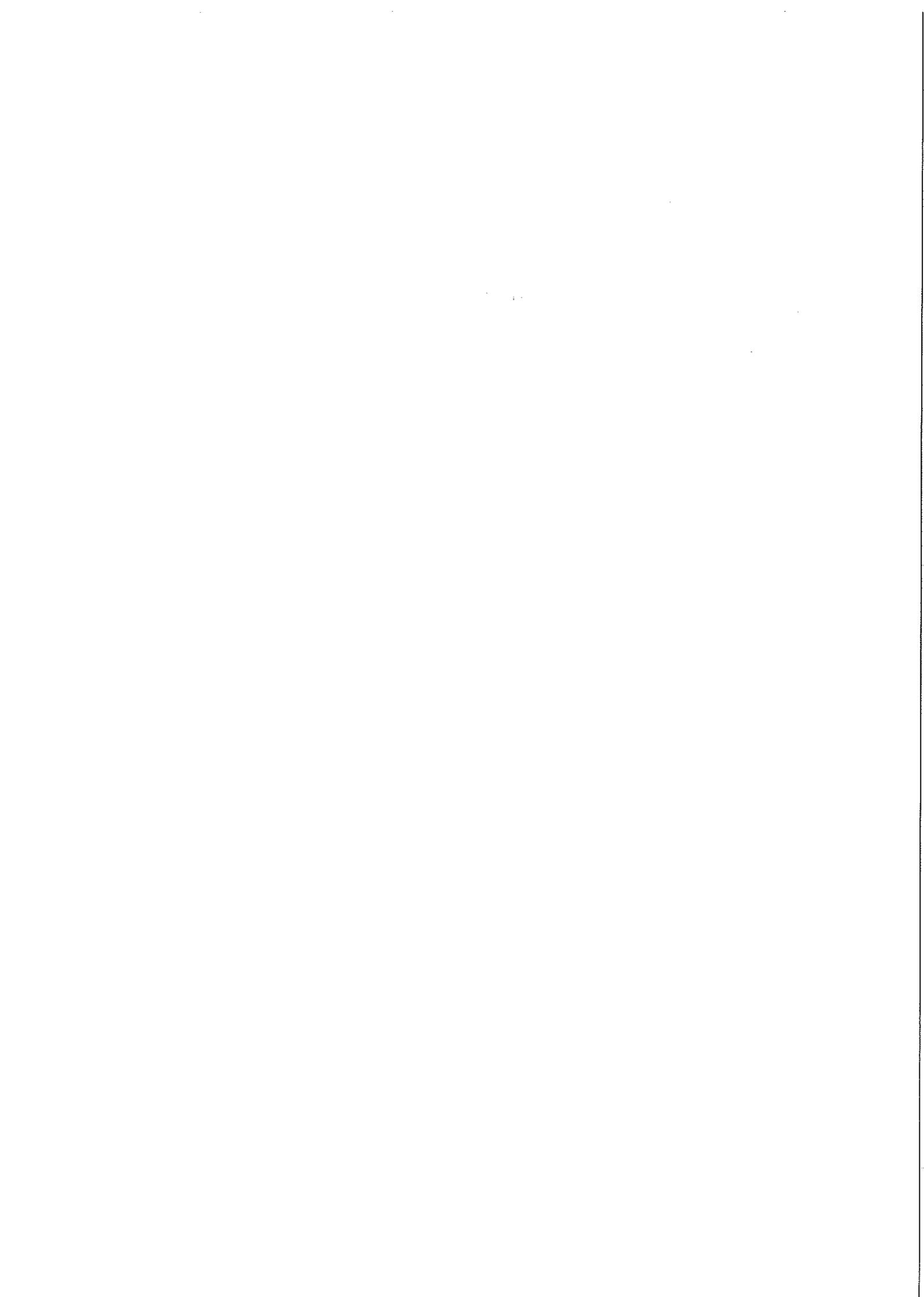


Figure 15. Dose détectable par examen ; Excréta urinaires : Composé Day; Méthode fine (Limite de détection = 0,1 μ g/l Uranium)



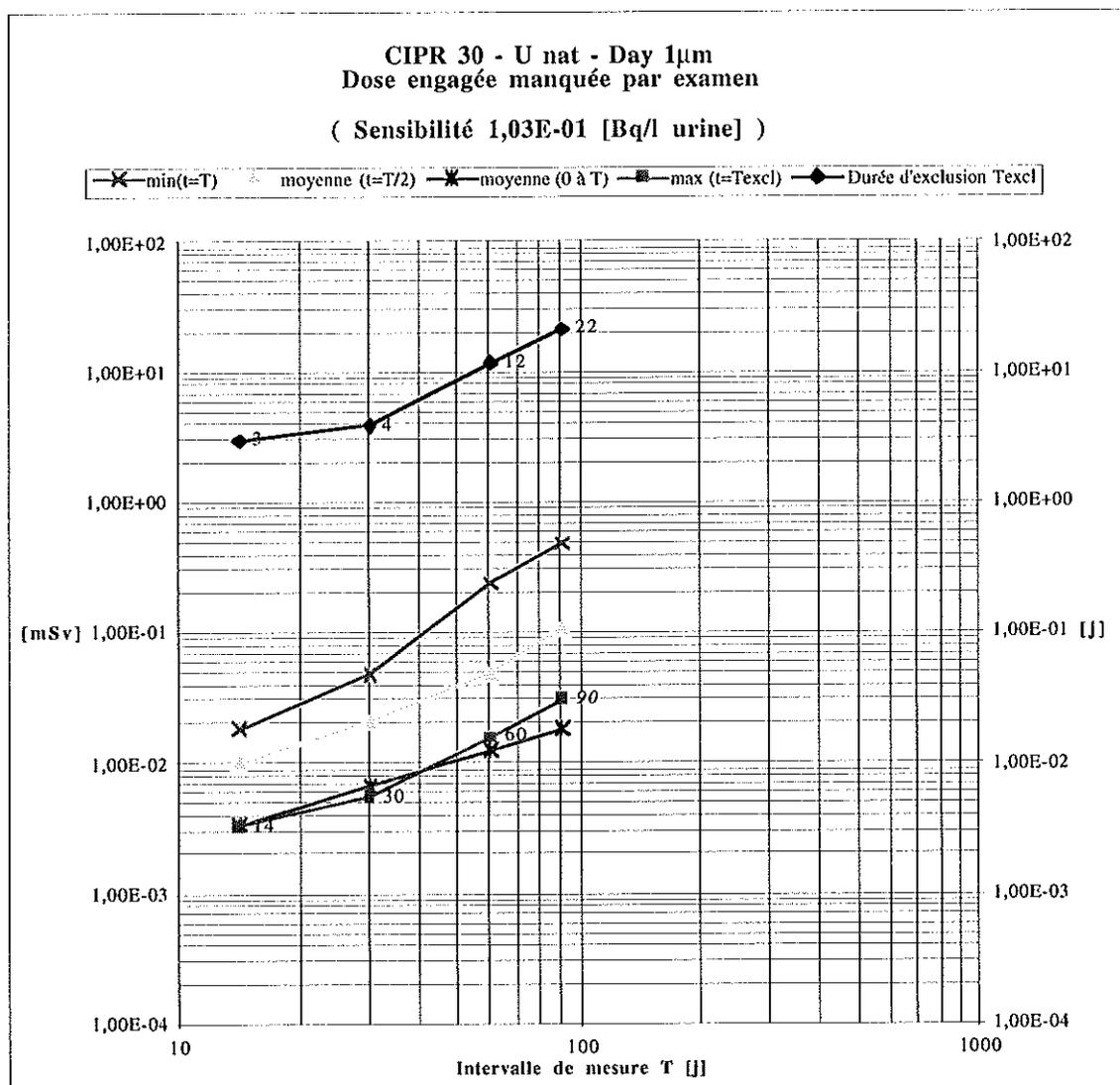
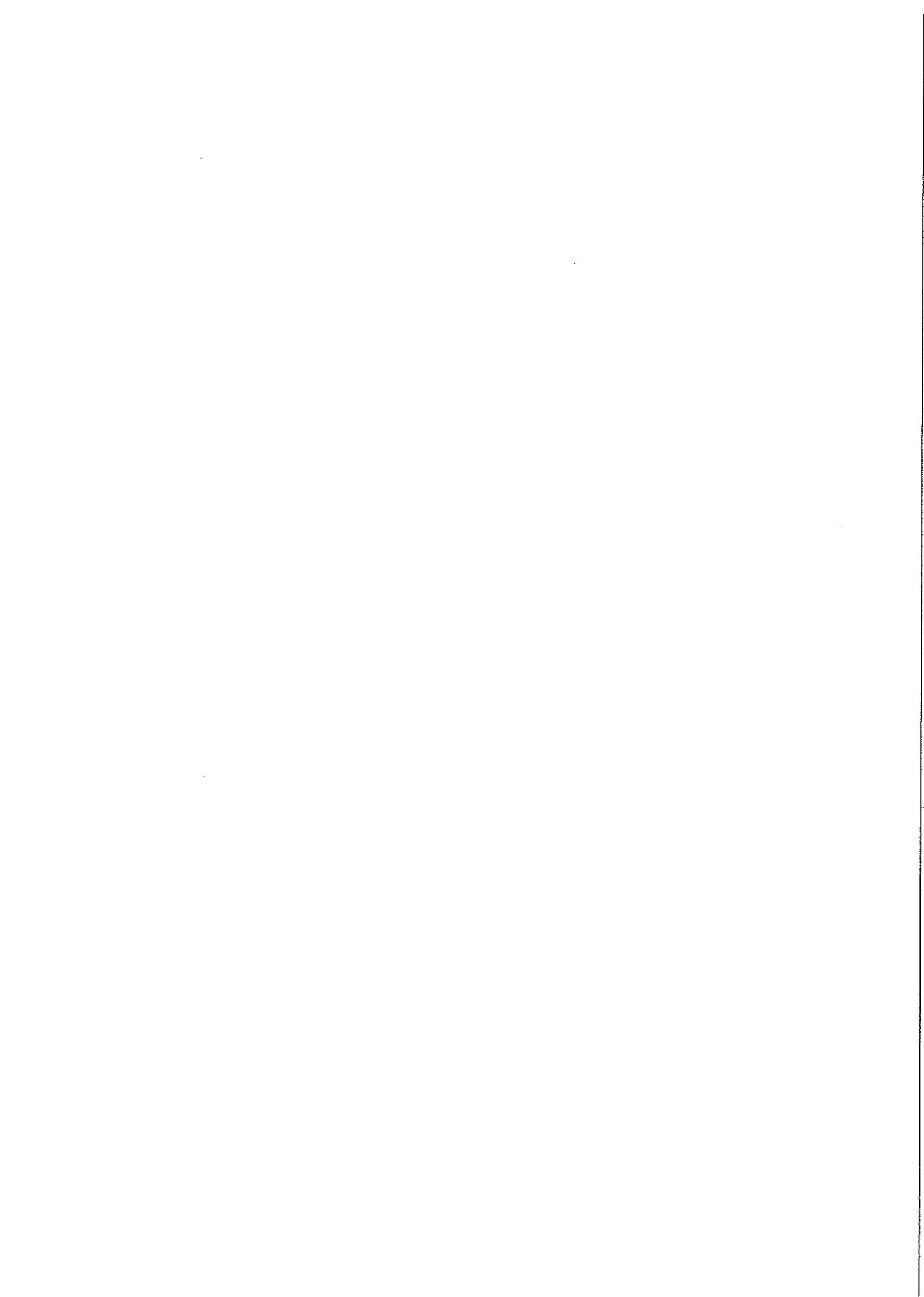


Figure 16. Dose détectable par examen ; Excréta urinaires : Composé Day; Méthode standard (Limite de détection = 4 μ g/l Uranium)



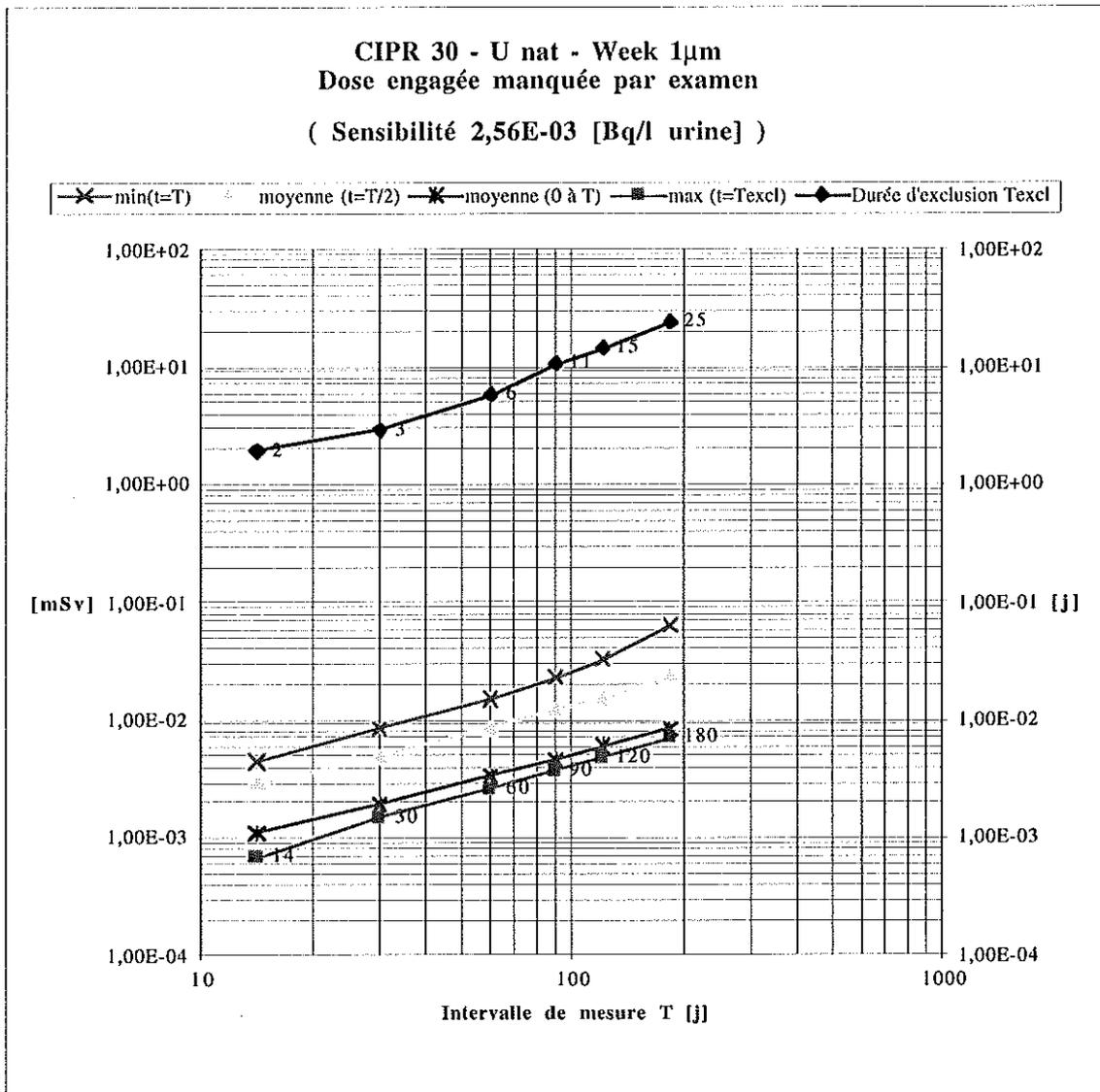


Figure 17. Dose détectable par examen ; Excréta urinaires : Composé Week ; Méthode fine (Limite de détection = 0,1 μ g/l Uranium)



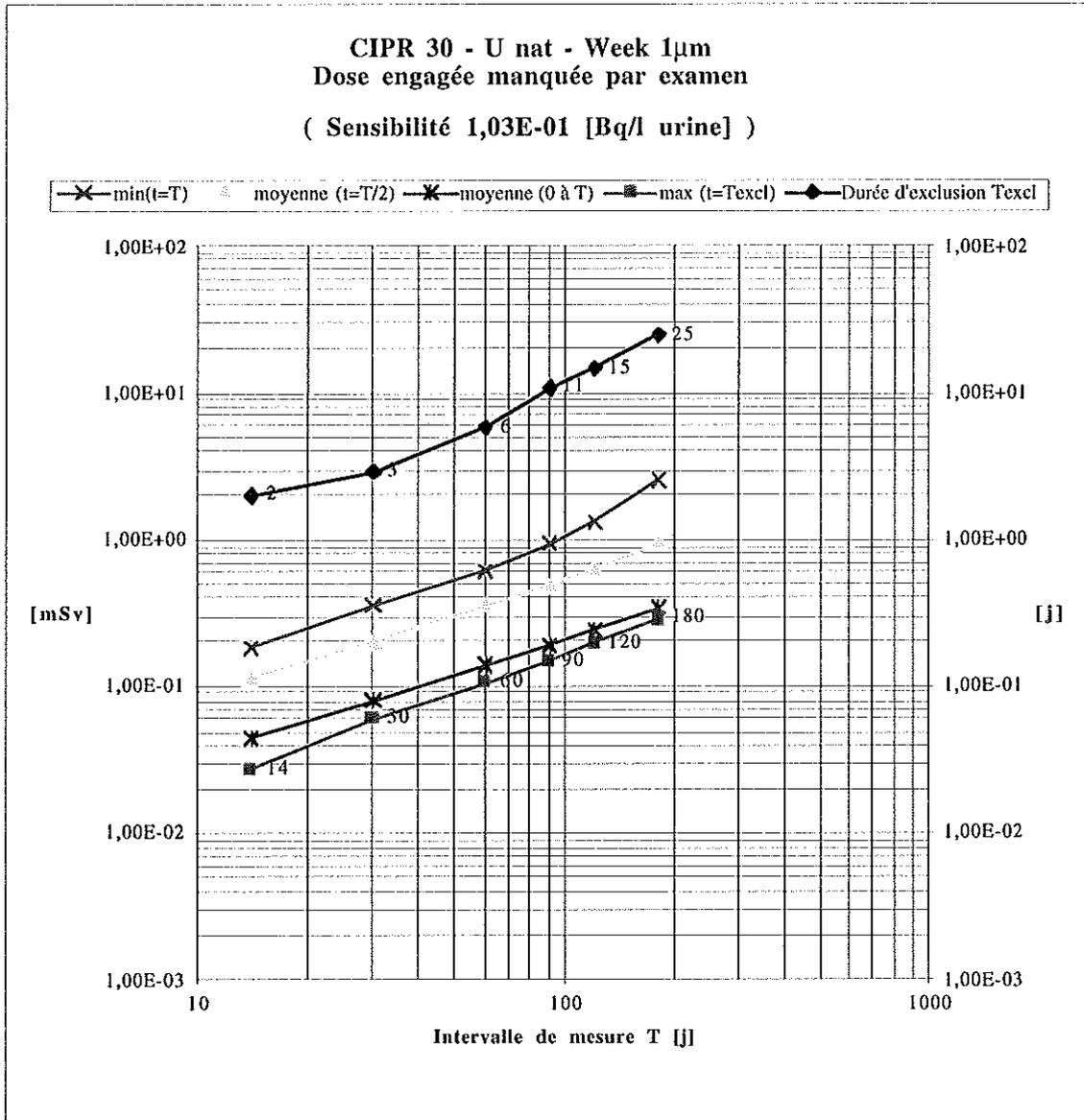
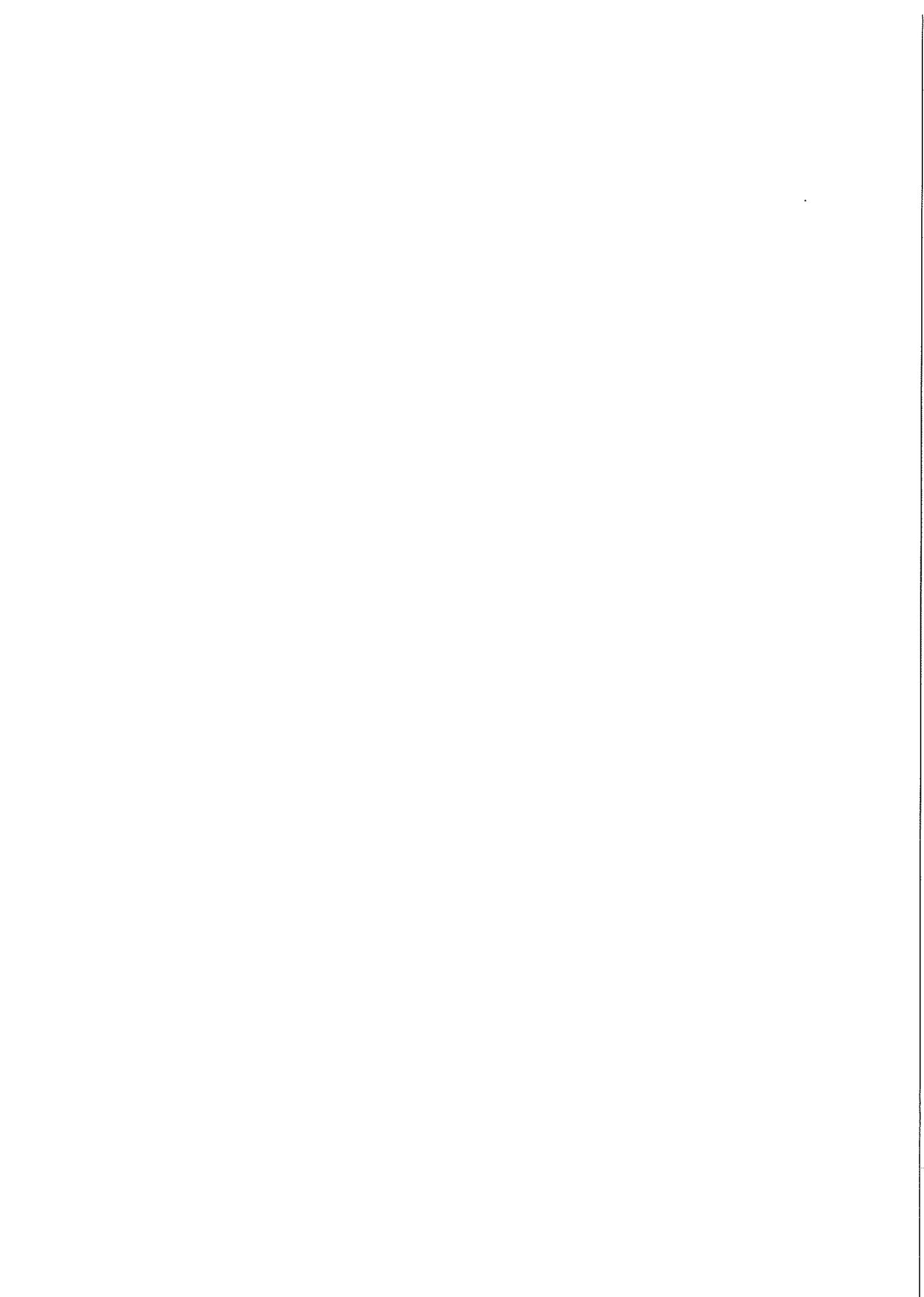


Figure 18. Dose détectable par examen ; Excréta urinaires : Composé Week ; Méthode standard (Limite de détection = 4 μ g/l Uranium)



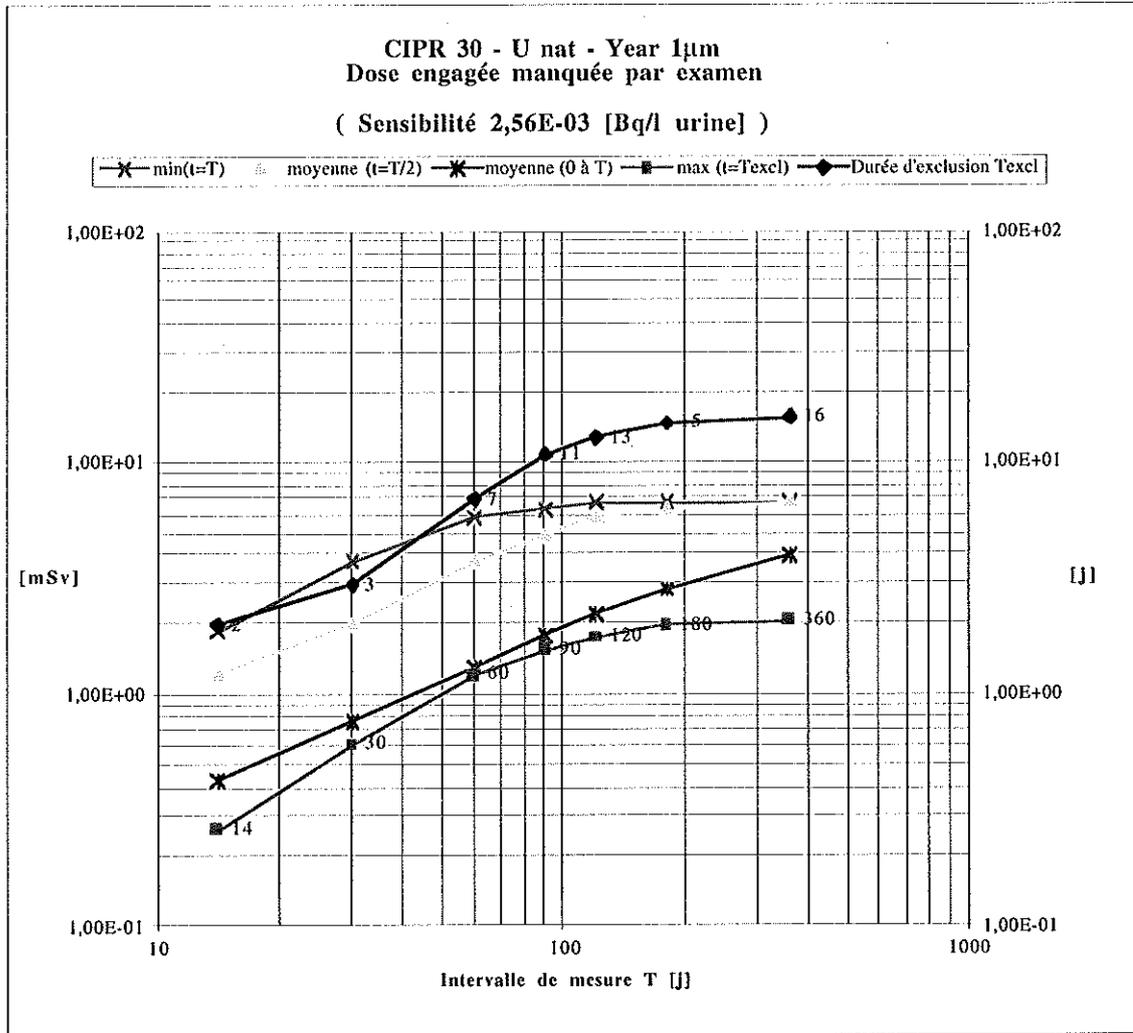
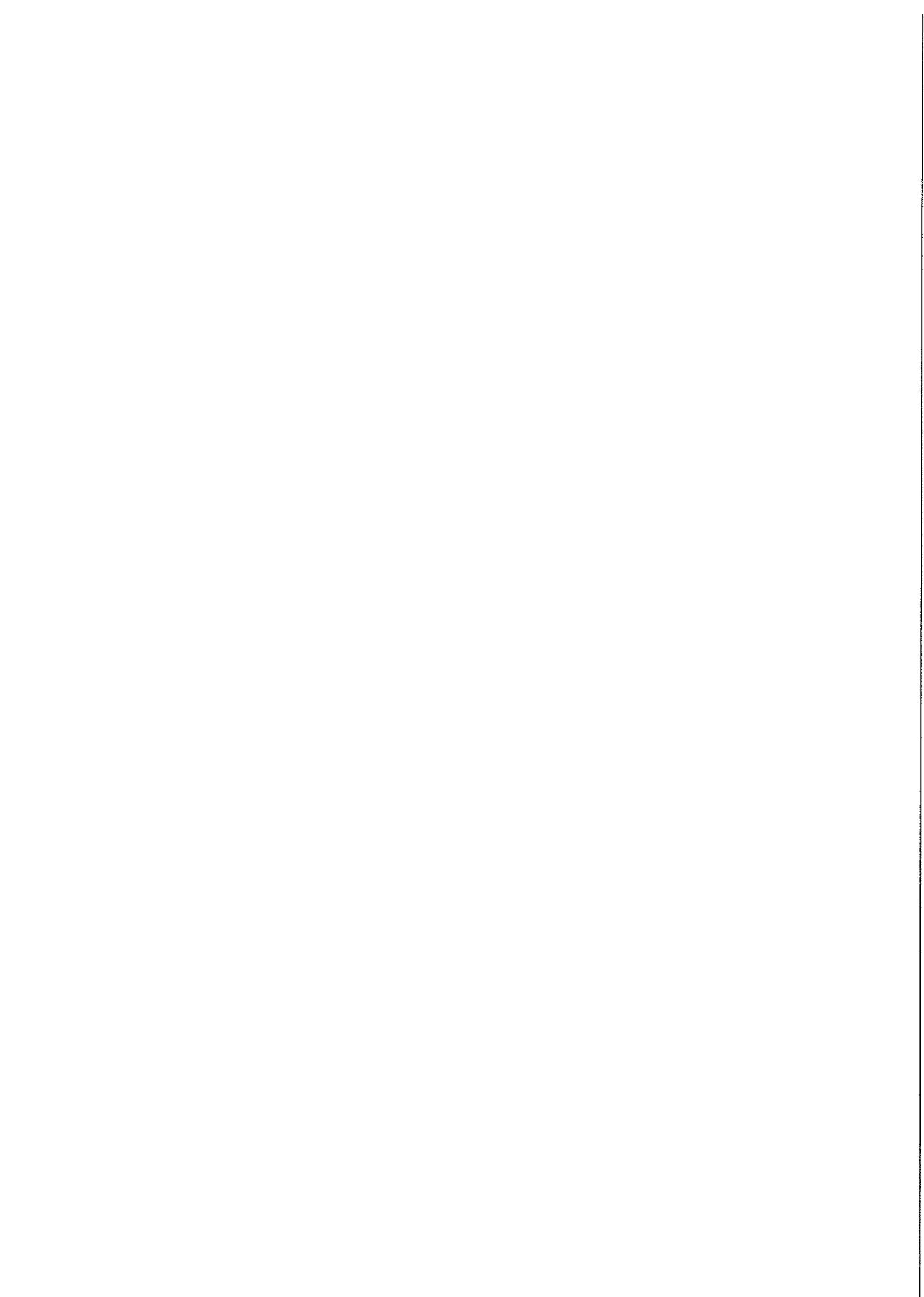


Figure 19. Dose détectable par examen ; Excréta urinaires ; Composé Year; Méthode fine (Limite de détection = 0,1 µg/l Uranium)



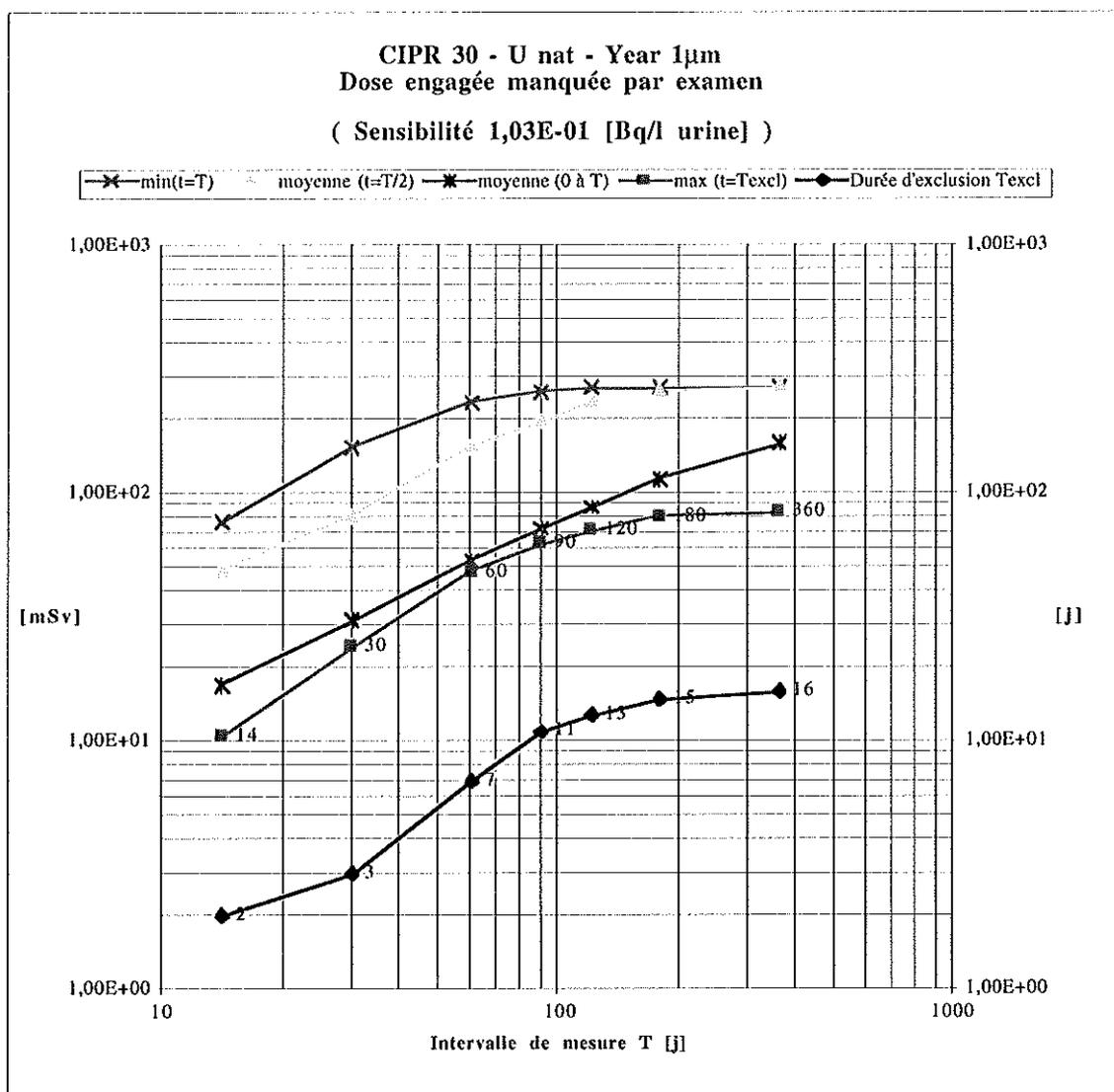
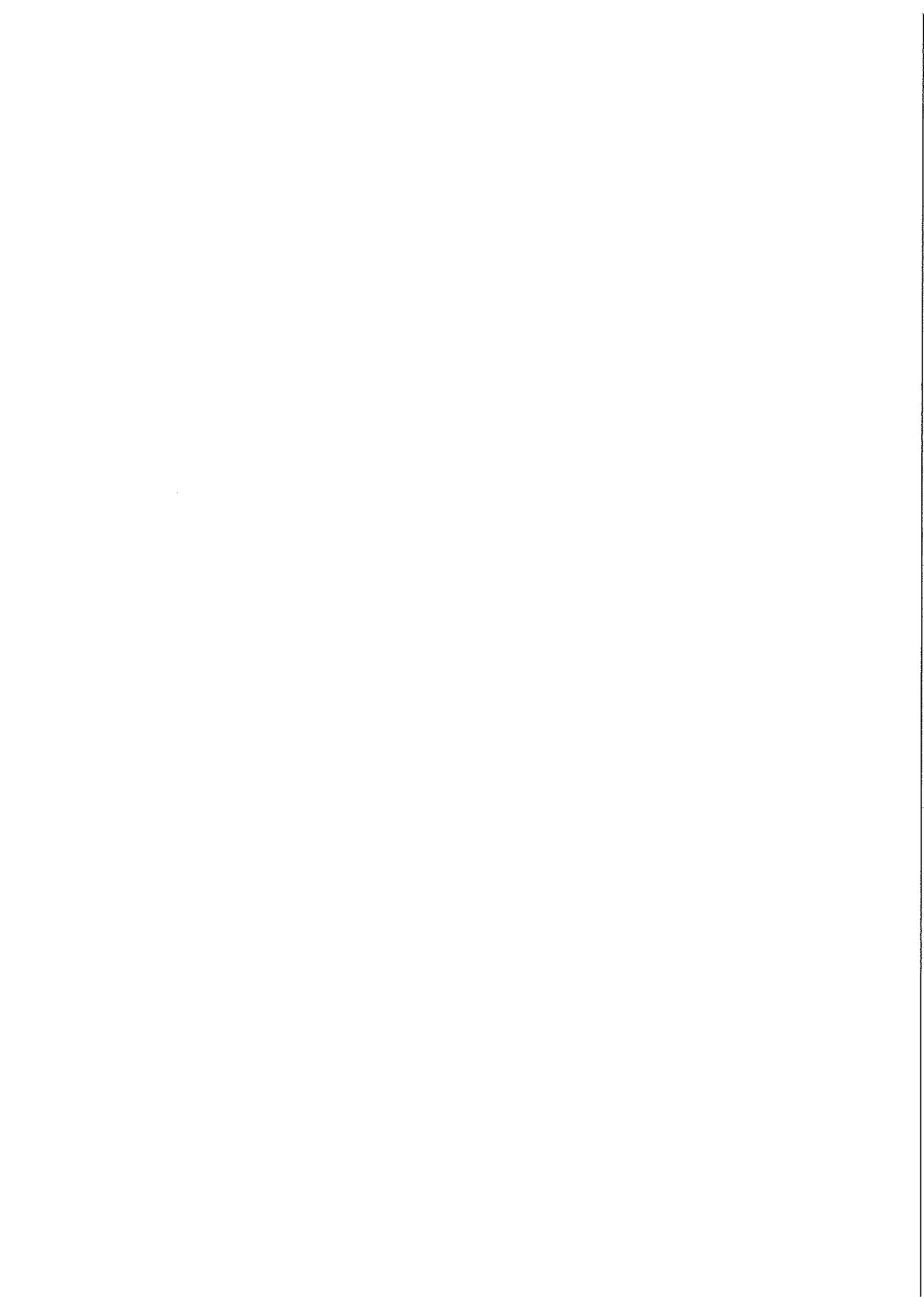


Figure 20. Dose détectable par examen ; Excréta urinaires : Composé Year; Méthode standard (Limite de détection = 4 μ g/l Uranium)



Les deux tableaux et deux figures suivants présentent, pour la méthode fine (Tableau 21 et Figure 21) et la méthode standard (Tableau 22 et Figure 22), et sous l'hypothèse d'une incorporation chronique, l'évolution de la dose moyenne annuelle détectable en fonction du temps écoulé depuis le début de l'incorporation.

Cette dose moyenne annuelle détectable décroît uniformément jusqu'à un plateau atteint respectivement par des composés Day, Week et Year de $1\mu\text{m}$ à 100, 2000 et 5000 jours.

Ainsi, la méthode d'analyse fine, sous l'hypothèse forte d'une exposition chronique, permet de détecter une dose engagée annuelle moyenne égale respectivement à $1,9 \cdot 10^{-3}$, $1,9 \cdot 10^{-2}$ et $7,3 \text{ mSv}$ pour une incorporation chronique de composés de classes Day, Week et Year de $1\mu\text{m}$ ayant débuté 90 jours auparavant, et égale à $1,9 \cdot 10^{-3}$, $1,7 \cdot 10^{-2}$ et 4 mSv pour une incorporation chronique de composés de classes Day, Week et Year de $1\mu\text{m}$ supposée avoir débuté 1 an plus tôt.

La méthode fine permet de détecter au mieux une dose engagée annuelle moyenne égale respectivement à $1,8 \cdot 10^{-3}$, $1,7 \cdot 10^{-2}$ et 1 mSv sous l'hypothèse extrême d'une incorporation chronique de composés de classes Day, Week et Year de $1\mu\text{m}$ ayant débuté 10 ans auparavant.

De même, la méthode d'analyse standard, sous l'hypothèse forte d'une exposition chronique, permet de détecter une dose engagée annuelle moyenne égale respectivement à $7,6 \cdot 10^{-2}$, $7,9 \cdot 10^{-1}$ et 290 mSv pour une incorporation chronique de composés de classes Day, Week et Year de $1\mu\text{m}$ ayant débuté 90 jours auparavant, et égale $7,5 \cdot 10^{-2}$, $6,7 \cdot 10^{-1}$ et 160 mSv pour une incorporation chronique de composés de classes Day, Week et Year de $1\mu\text{m}$ supposée avoir débuté 1 an plus tôt.

La méthode standard permet de détecter au mieux une dose engagée annuelle moyenne égale respectivement à $7,4 \cdot 10^{-2}$, $6,6 \cdot 10^{-1}$ et 42 mSv sous l'hypothèse extrême d'une incorporation chronique de composés de classes Day, Week et Year de $1\mu\text{m}$ ayant débuté 10 ans auparavant.

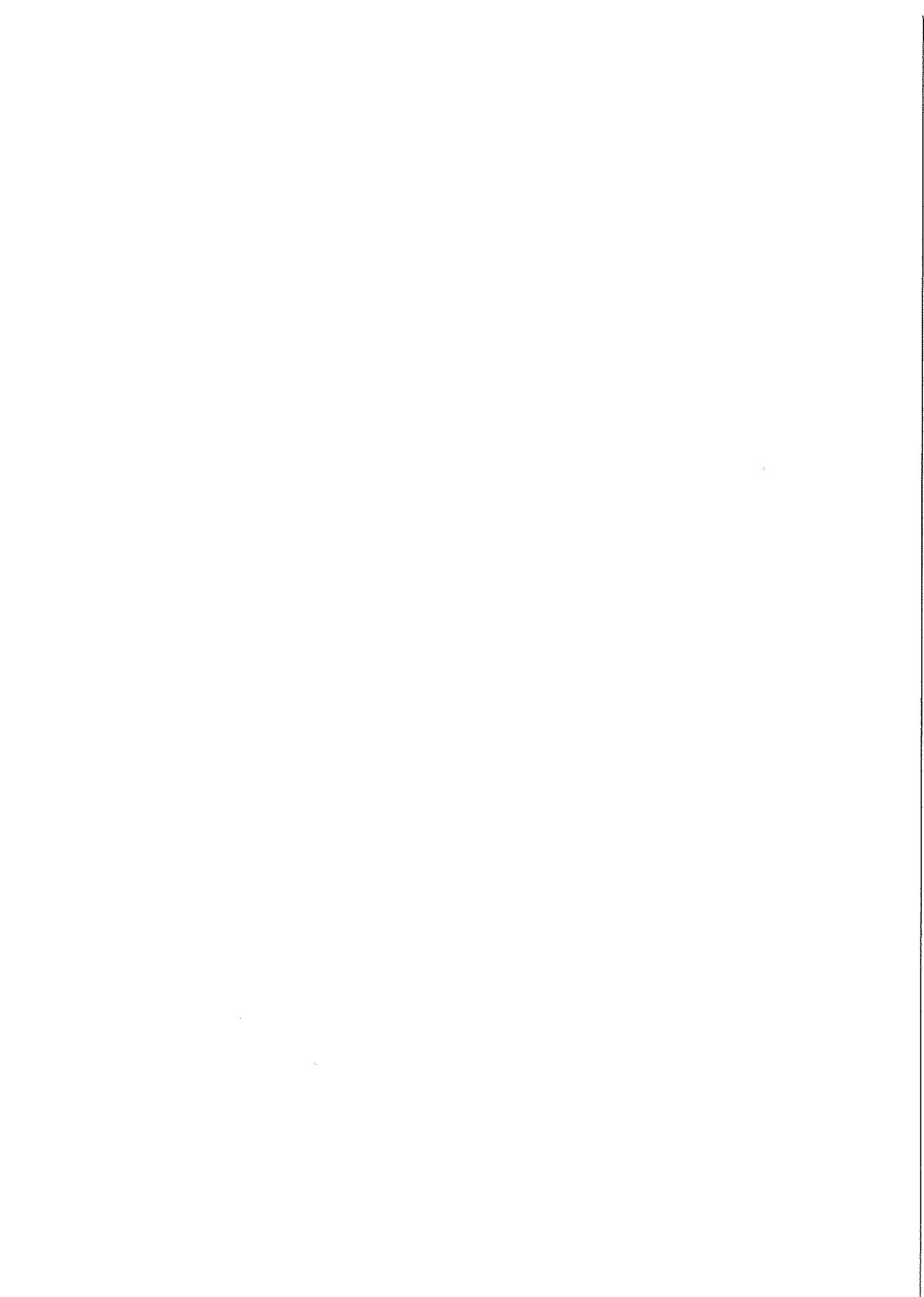


Tableau 21. Dose moyenne annuelle détectable; Excréta urinaires - Incorporation chronique ; Méthode fine (Limite de détection = 0,1 µg/l Uranium)

Sensibilité [Bq/l urine] 2,56E-03		Dose moyenne annuelle détectable		
Temps depuis début d'incorporation [j]	Day [µm]	Week [µm]	Year [µm]	
	[mSv]	[mSv]	[mSv]	
1	4,62E-03	5,40E-02	1,91E+01	
2	3,43E-03	4,44E-02	1,59E+01	
3	3,08E-03	4,11E-02	1,48E+01	
4	2,91E-03	3,89E-02	1,41E+01	
5	2,79E-03	3,73E-02	1,35E+01	
6	2,69E-03	3,59E-02	1,31E+01	
7	2,62E-03	3,47E-02	1,27E+01	
8	2,55E-03	3,37E-02	1,24E+01	
9	2,49E-03	3,28E-02	1,21E+01	
10	2,44E-03	3,20E-02	1,18E+01	
11	2,40E-03	3,12E-02	1,16E+01	
12	2,36E-03	3,06E-02	1,14E+01	
13	2,32E-03	3,00E-02	1,12E+01	
14	2,29E-03	2,95E-02	1,10E+01	
15	2,26E-03	2,90E-02	1,08E+01	
16	2,24E-03	2,85E-02	1,07E+01	
17	2,21E-03	2,81E-02	1,05E+01	
18	2,19E-03	2,77E-02	1,04E+01	
19	2,17E-03	2,74E-02	1,03E+01	
20	2,15E-03	2,70E-02	1,02E+01	
21	2,14E-03	2,67E-02	1,00E+01	
22	2,12E-03	2,64E-02	9,94E+00	
23	2,10E-03	2,61E-02	9,85E+00	
24	2,09E-03	2,59E-02	9,76E+00	
25	2,08E-03	2,56E-02	9,67E+00	
26	2,06E-03	2,54E-02	9,59E+00	
27	2,05E-03	2,52E-02	9,52E+00	
28	2,04E-03	2,50E-02	9,45E+00	
29	2,03E-03	2,48E-02	9,38E+00	
30	2,02E-03	2,46E-02	9,31E+00	
35	1,99E-03	2,38E-02	9,03E+00	
40	1,96E-03	2,31E-02	8,79E+00	
45	1,94E-03	2,25E-02	8,57E+00	
50	1,93E-03	2,20E-02	8,38E+00	
55	1,92E-03	2,15E-02	8,20E+00	
60	1,91E-03	2,11E-02	8,05E+00	
65	1,90E-03	2,08E-02	7,90E+00	
70	1,89E-03	2,04E-02	7,75E+00	
80	1,88E-03	1,99E-02	7,49E+00	
85	1,88E-03	1,96E-02	7,37E+00	
90	1,88E-03	1,94E-02	7,26E+00	
100	1,87E-03	1,90E-02	7,04E+00	
120	1,86E-03	1,85E-02	6,66E+00	
140	1,86E-03	1,80E-02	6,31E+00	
160	1,86E-03	1,77E-02	6,00E+00	
180	1,86E-03	1,74E-02	5,72E+00	
200	1,86E-03	1,72E-02	5,46E+00	
240	1,86E-03	1,70E-02	5,01E+00	
260	1,86E-03	1,69E-02	4,82E+00	
280	1,86E-03	1,68E-02	4,63E+00	
300	1,86E-03	1,68E-02	4,46E+00	
360	1,86E-03	1,67E-02	4,02E+00	
400	1,86E-03	1,66E-02	3,77E+00	
500	1,86E-03	1,66E-02	3,28E+00	
600	1,85E-03	1,66E-02	2,92E+00	
700	1,85E-03	1,66E-02	2,63E+00	
720	1,85E-03	1,66E-02	2,59E+00	
1000	1,85E-03	1,66E-02	2,09E+00	
1080	1,85E-03	1,66E-02	1,98E+00	
1440	1,85E-03	1,66E-02	1,65E+00	
1800	1,85E-03	1,65E-02	1,44E+00	
2000	1,85E-03	1,65E-02	1,35E+00	
2160	1,85E-03	1,65E-02	1,29E+00	
2520	1,85E-03	1,65E-02	1,20E+00	
2880	1,84E-03	1,65E-02	1,14E+00	
3000	1,84E-03	1,65E-02	1,12E+00	
3240	1,84E-03	1,65E-02	1,09E+00	
3600	1,84E-03	1,65E-02	1,05E+00	
3960	1,84E-03	1,65E-02	1,02E+00	
4000	1,84E-03	1,65E-02	1,02E+00	
4320	1,84E-03	1,65E-02	1,00E+00	
4680	1,84E-03	1,64E-02	9,88E-01	
5000	1,84E-03	1,64E-02	9,78E-01	

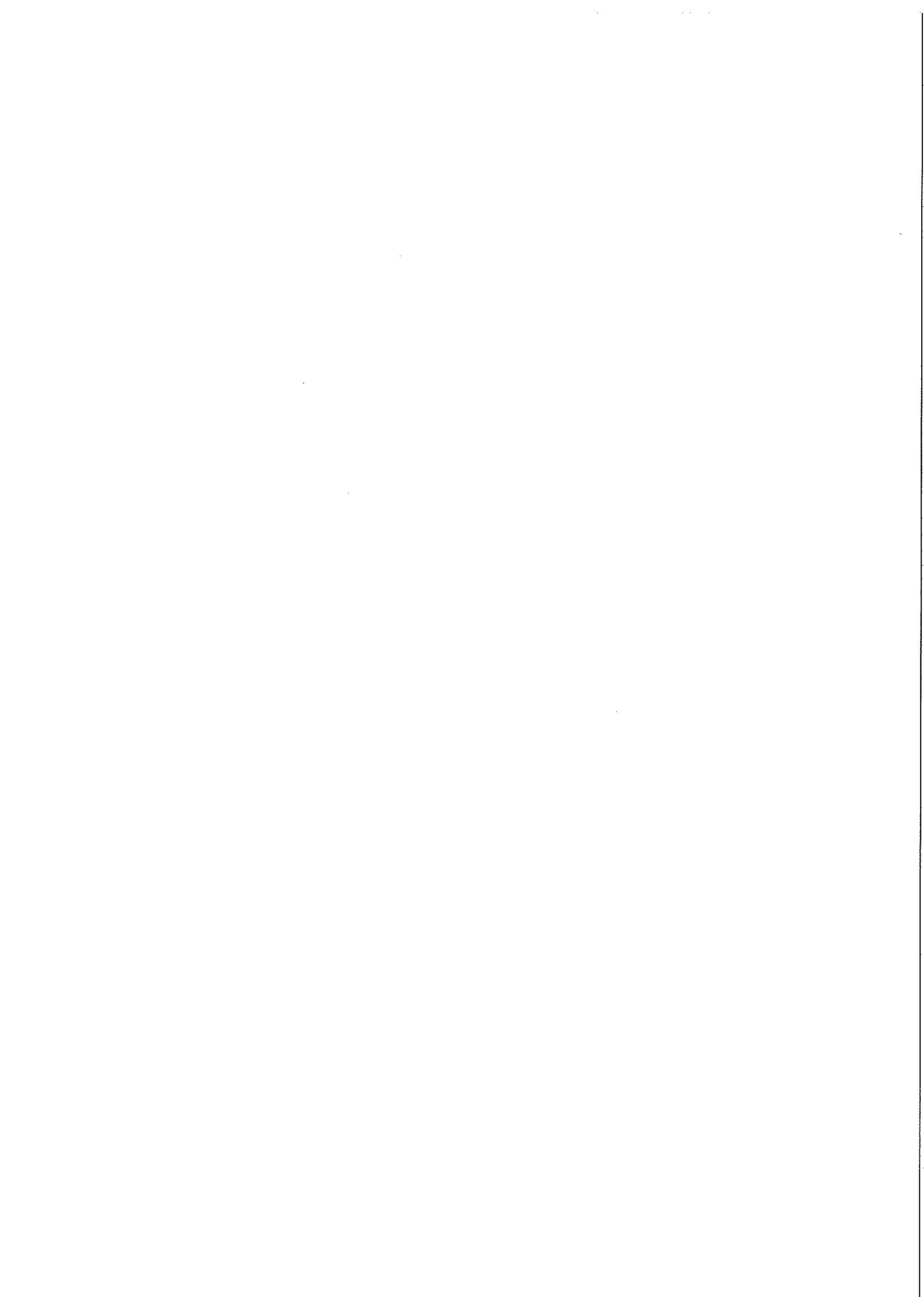


Tableau 22. Dose moyenne annuelle détectable; Excréta urinaires - Incorporation chronique ; Méthode standard (Limite de détection = 4 µg/l Uranium)

Sensibilité [Bq/l urine] 1,03E-01		Dose moyenne annuelle détectable		
Temps depuis début d'incorporation [j]	Day 1µm	Week 1µm	Year 1µm	
	[mSv]	[mSv]	[mSv]	
1	1,86E-01	2,17E+00	7,68E+02	
2	1,38E-01	1,79E+00	6,40E+02	
3	1,24E-01	1,66E+00	5,96E+02	
4	1,17E-01	1,57E+00	5,68E+02	
5	1,12E-01	1,50E+00	5,45E+02	
6	1,08E-01	1,45E+00	5,27E+02	
7	1,05E-01	1,40E+00	5,12E+02	
8	1,03E-01	1,36E+00	4,98E+02	
9	1,00E-01	1,32E+00	4,86E+02	
10	9,82E-02	1,29E+00	4,75E+02	
11	9,64E-02	1,26E+00	4,66E+02	
12	9,48E-02	1,23E+00	4,57E+02	
13	9,34E-02	1,21E+00	4,49E+02	
14	9,22E-02	1,19E+00	4,42E+02	
15	9,11E-02	1,17E+00	4,35E+02	
16	9,00E-02	1,15E+00	4,29E+02	
17	8,91E-02	1,13E+00	4,23E+02	
18	8,82E-02	1,12E+00	4,18E+02	
19	8,74E-02	1,10E+00	4,13E+02	
20	8,66E-02	1,09E+00	4,08E+02	
21	8,59E-02	1,08E+00	4,04E+02	
22	8,53E-02	1,06E+00	4,00E+02	
23	8,47E-02	1,05E+00	3,96E+02	
24	8,41E-02	1,04E+00	3,93E+02	
25	8,36E-02	1,03E+00	3,89E+02	
26	8,31E-02	1,02E+00	3,86E+02	
27	8,26E-02	1,01E+00	3,83E+02	
28	8,22E-02	1,01E+00	3,80E+02	
29	8,18E-02	9,97E-01	3,77E+02	
30	8,14E-02	9,90E-01	3,75E+02	
35	8,00E-02	9,57E-01	3,63E+02	
40	7,89E-02	9,30E-01	3,54E+02	
45	7,82E-02	9,06E-01	3,45E+02	
50	7,76E-02	8,86E-01	3,37E+02	
55	7,71E-02	8,67E-01	3,30E+02	
60	7,68E-02	8,51E-01	3,24E+02	
65	7,65E-02	8,37E-01	3,18E+02	
70	7,62E-02	8,23E-01	3,12E+02	
80	7,58E-02	8,02E-01	3,02E+02	
85	7,56E-02	7,92E-01	2,97E+02	
90	7,55E-02	7,83E-01	2,92E+02	
100	7,52E-02	7,67E-01	2,83E+02	
120	7,50E-02	7,44E-01	2,68E+02	
140	7,49E-02	7,26E-01	2,54E+02	
160	7,48E-02	7,12E-01	2,41E+02	
180	7,48E-02	7,01E-01	2,30E+02	
200	7,47E-02	6,93E-01	2,20E+02	
240	7,47E-02	6,84E-01	2,02E+02	
260	7,47E-02	6,80E-01	1,94E+02	
280	7,47E-02	6,77E-01	1,86E+02	
300	7,47E-02	6,75E-01	1,80E+02	
360	7,47E-02	6,72E-01	1,62E+02	
400	7,47E-02	6,71E-01	1,52E+02	
500	7,47E-02	6,70E-01	1,32E+02	
600	7,46E-02	6,69E-01	1,17E+02	
700	7,46E-02	6,69E-01	1,06E+02	
720	7,46E-02	6,69E-01	1,04E+02	
1000	7,45E-02	6,68E-01	8,40E+01	
1080	7,45E-02	6,68E-01	7,97E+01	
1440	7,44E-02	6,67E-01	6,65E+01	
1800	7,44E-02	6,67E-01	5,80E+01	
2000	7,43E-02	6,66E-01	5,44E+01	
2160	7,43E-02	6,66E-01	5,21E+01	
2520	7,42E-02	6,66E-01	4,83E+01	
2880	7,42E-02	6,65E-01	4,57E+01	
3000	7,42E-02	6,65E-01	4,49E+01	
3240	7,41E-02	6,65E-01	4,37E+01	
3600	7,41E-02	6,64E-01	4,22E+01	
3960	7,40E-02	6,64E-01	4,11E+01	
4000	7,40E-02	6,64E-01	4,10E+01	
4320	7,40E-02	6,63E-01	4,03E+01	
4680	7,39E-02	6,63E-01	3,97E+01	
5000	7,39E-02	6,63E-01	3,93E+01	



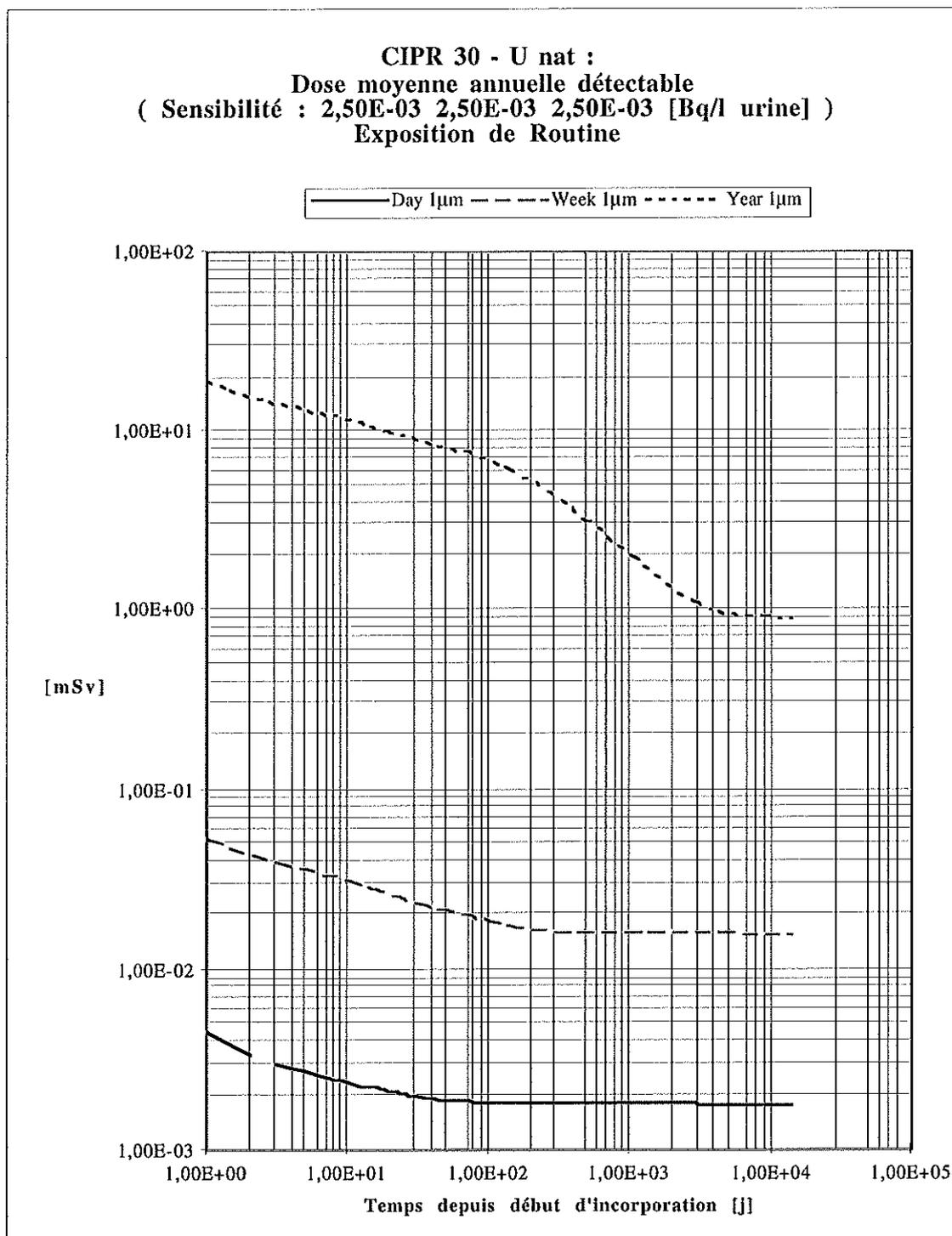


Figure 21. Dose moyenne annuelle détectable ; Excréta urinaires - Incorporation chronique ; Méthode fine (Limite de détection = 0,1 µg/l Uranium



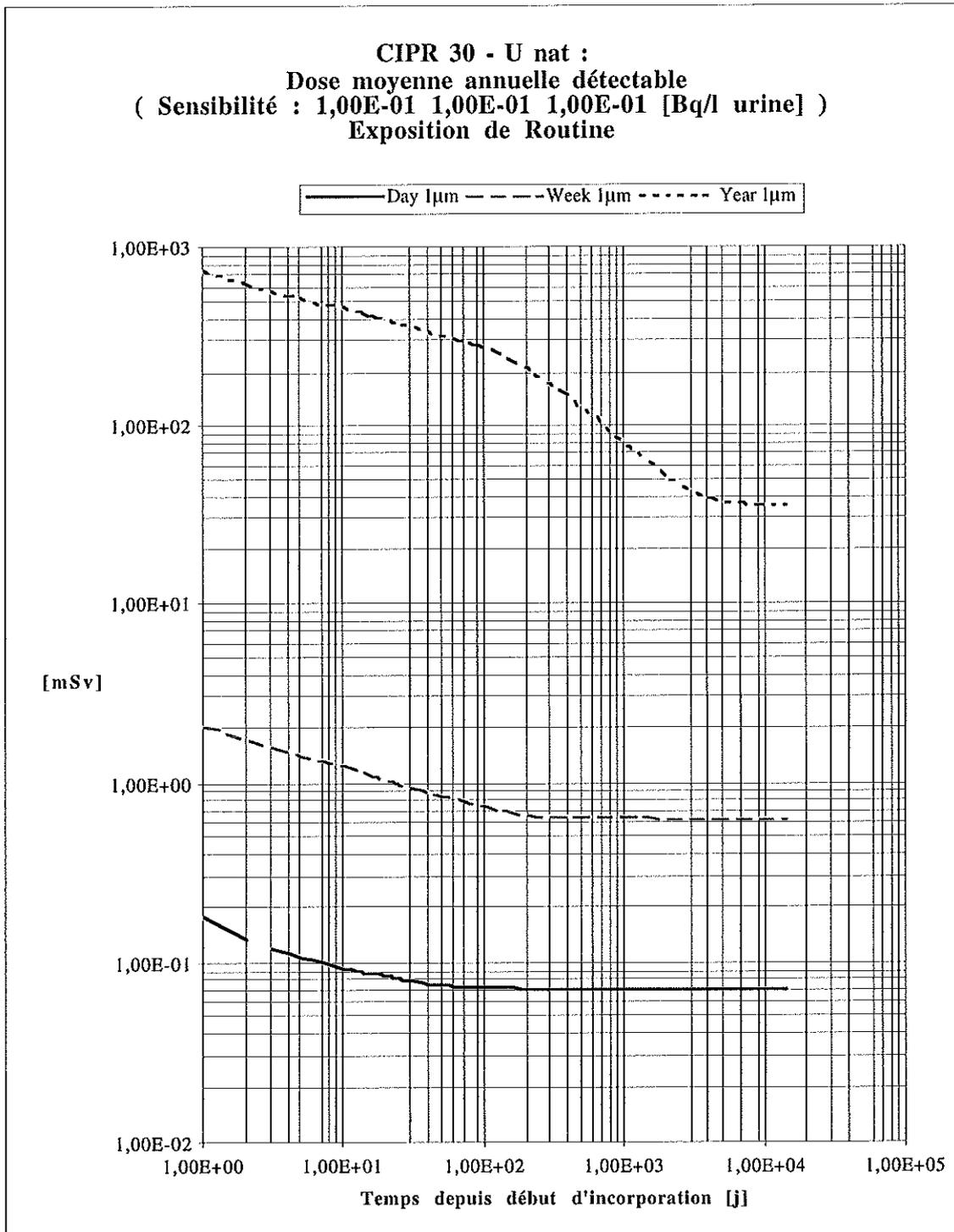
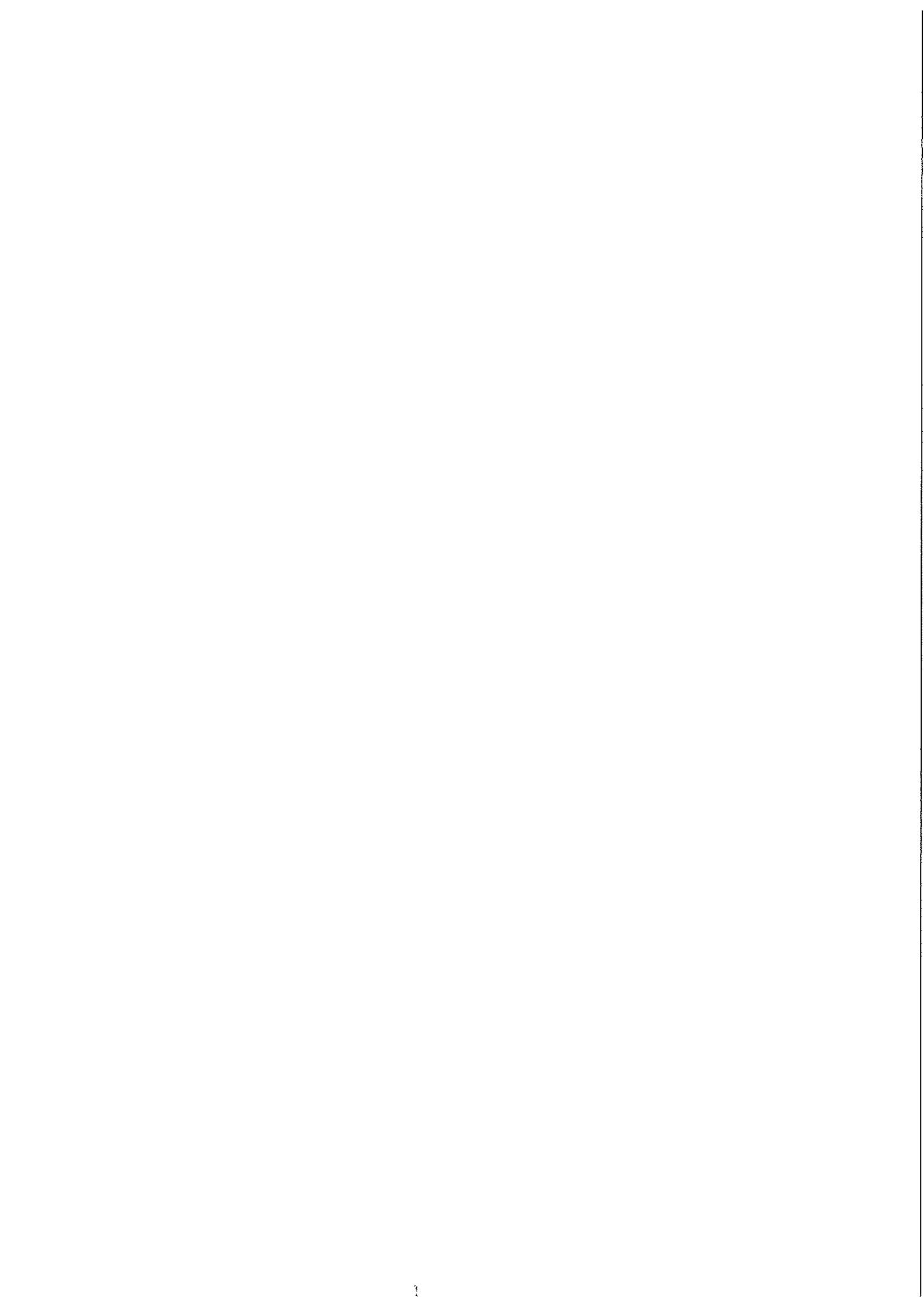


Figure 22. Dose moyenne annuelle détectable; Excréta urinaires - Incorporation chronique ; Méthode standard (Limite de détection = 4 µg/l Uranium)



6.3. Comptages Poumons

6.3.1. Méthode de calcul de l'exposition

La Figure 23 présente de façon schématique la séquence des modèles qui doivent être utilisés pour permettre l'interprétation en termes de dose efficace engagée des mesures d'activité pulmonaire.

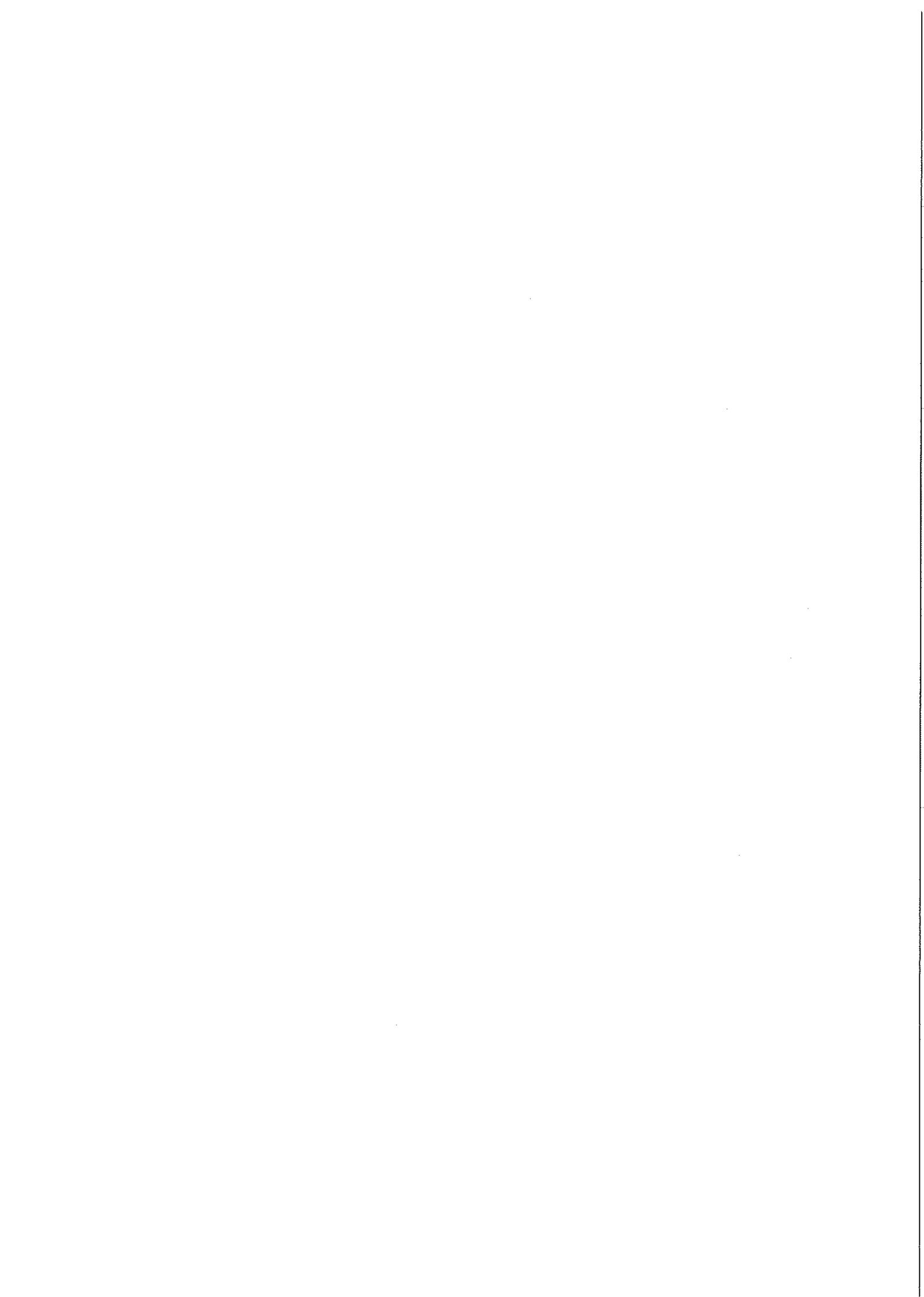
On peut noter que la totalité du modèle Dosimétrique d'inhalation comprenant, dans l'ordre, les sous-modèles Pulmonaires et Digestifs, le sous-modèle Biocinétique, le sous-modèle d'Irradiation et le sous-modèle de Pondération est utilisée, et que le sous-modèles Pulmonaire est utilisé deux fois, dans un sens, puis dans l'autre.

En effet, l'évaluation de la dose efficace engagée s'effectue en deux temps et consiste à déterminer tout d'abord l'activité inhalée sur la base de l'activité mesurée dans les poumons, puis à déterminer la dose efficace engagée sur la base de l'activité inhalée.

Dans un premier temps, l'application à rebours du sous-modèle respiratoire permet de déterminer l'activité inhalée correspondant à l'activité pulmonaire mesurée.

Dans un deuxième temps, l'application de facteurs de dose permet de passer directement de l'activité inhalée à la dose efficace engagée, en appliquant cette fois-ci l'ensemble des sous-modèles dosimétriques.

On notera qu'aucune hypothèse de débit respiratoire n'est nécessaire et que l'essentiel de l'incertitude associée à l'estimation réside dans l'utilisation du modèle dosimétrique et, plus particulièrement, dans celle du sous-modèle respiratoire, utilisé par deux fois.



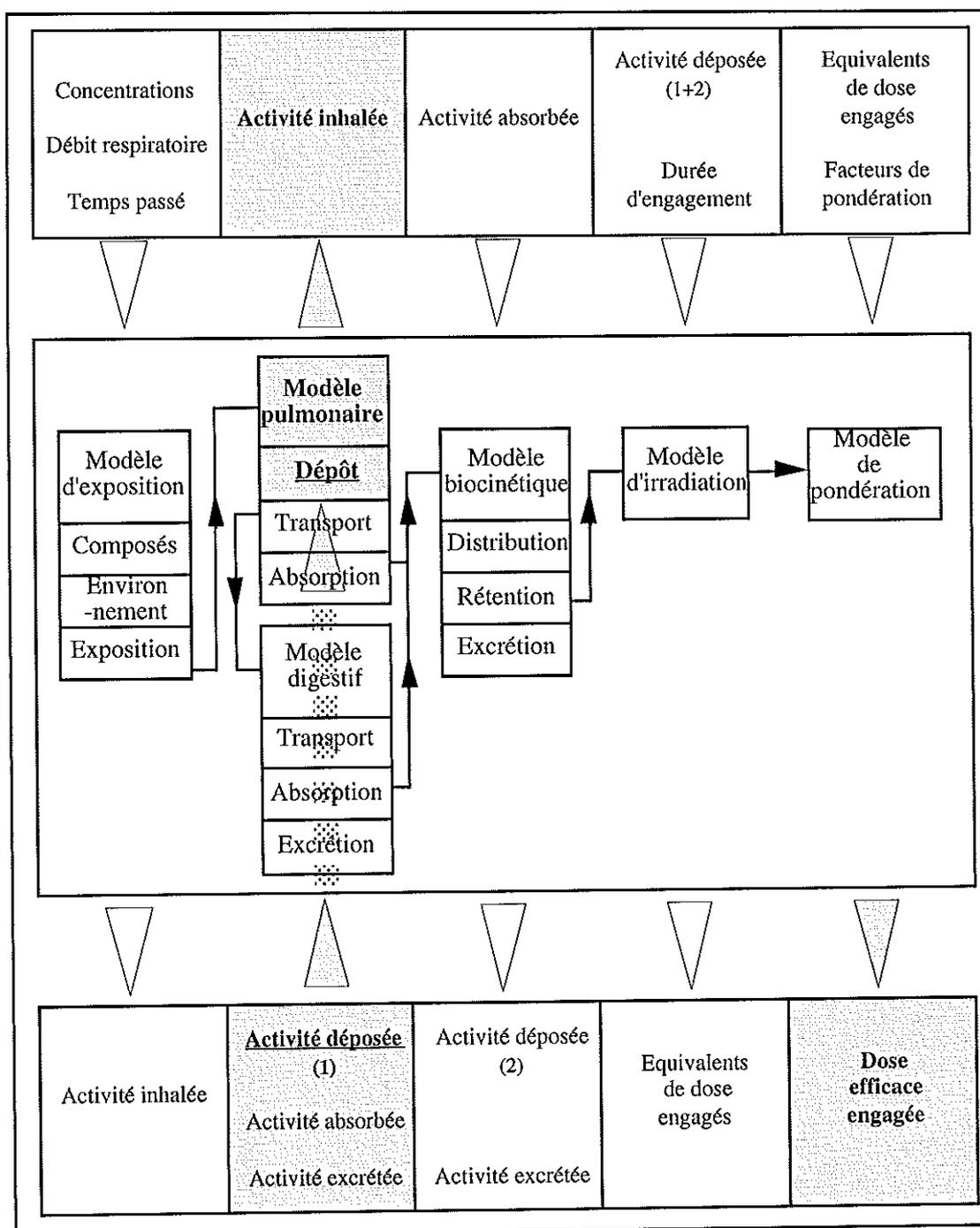
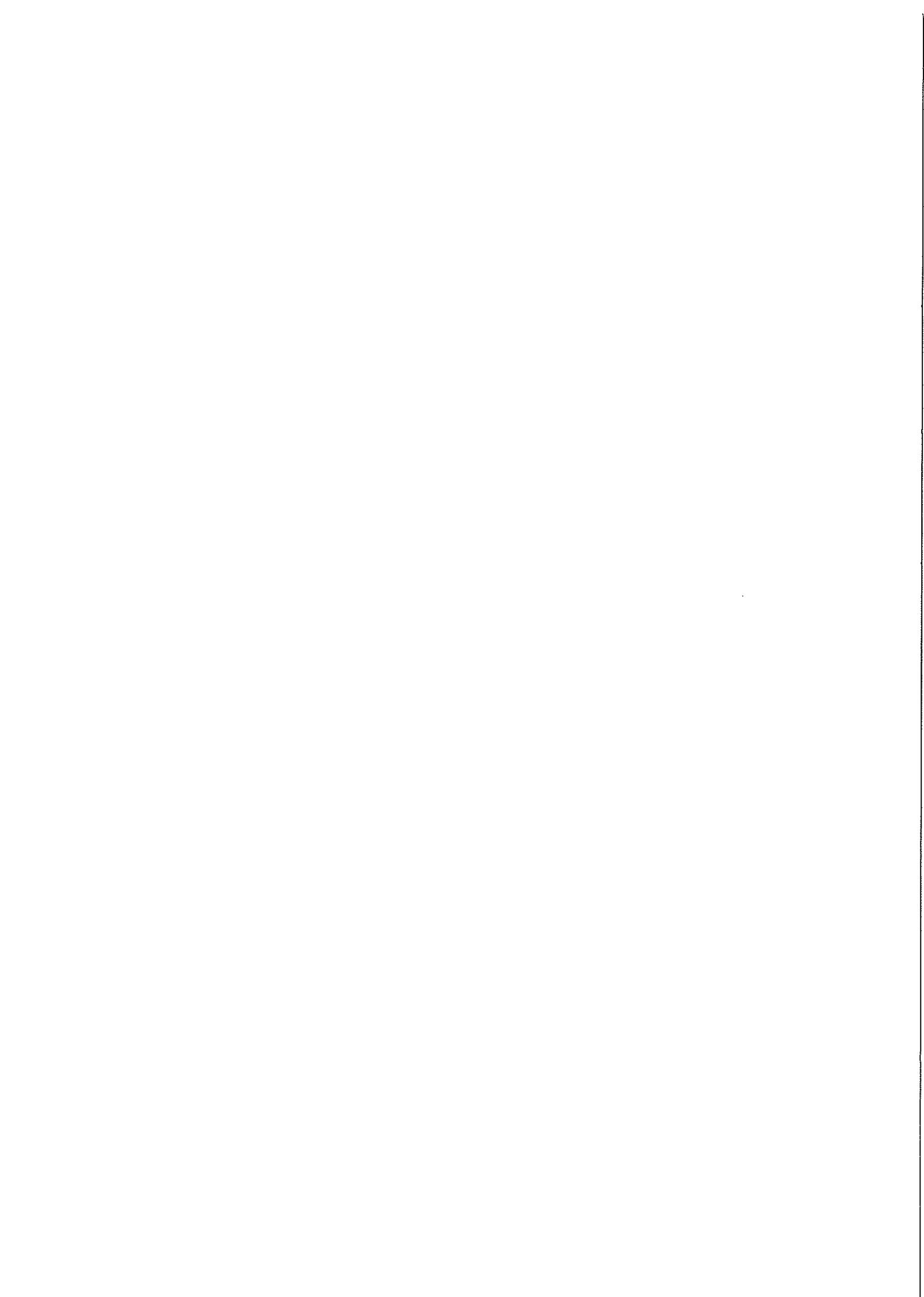


Figure 23. Modèles utilisés pour le calcul des doses internes par mesure d'activité pulmonaire



6.3.2. Eléments d'interprétation quantitative

6.3.2.1. Fonctions de rétention

La Figure 24 présente l'évolution de la rétention pulmonaire en fonction du temps écoulé depuis l'inhalation d'une activité unitaire pour des composés moyennement solubles (Week) et peu solubles (Year) de diamètre aérodynamique médian en activité (AMAD) égal à $1\mu\text{m}$. Cette fonction de rétention a été établie sur la base des calculs de la publication 54 de la CIPR [21].

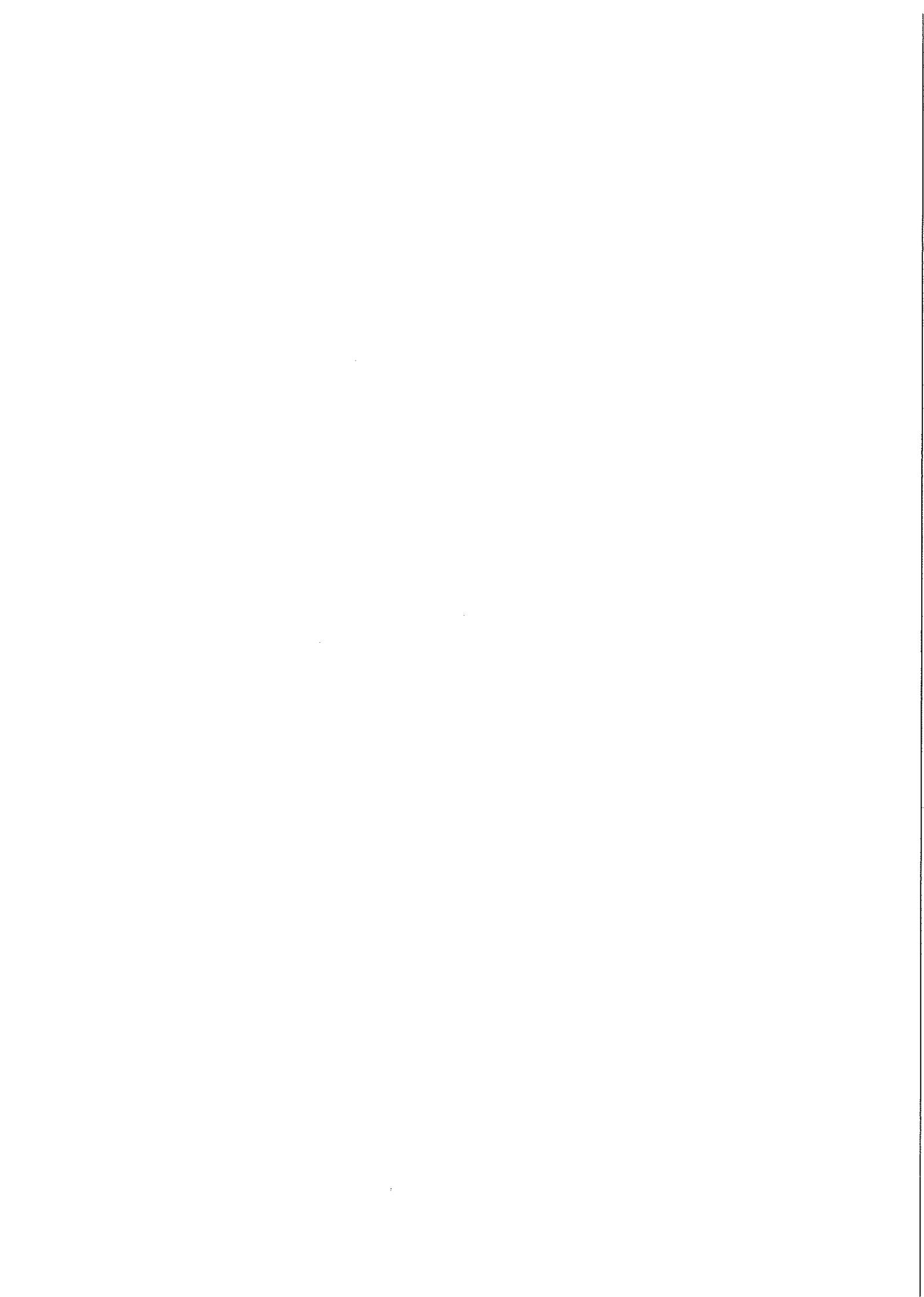
On peut tout d'abord remarquer que l'allure générale de la variation de la rétention pulmonaire en fonction du temps est uniformément décroissante pour ces deux classes de solubilité, et présente une première phase de diminution lente, suivie d'une deuxième phase de diminution plus rapide commençant respectivement à 100 et 1000 jours pour les composés de solubilité Week et Year.

Ainsi, la rétention pulmonaire est directement fonction de la solubilité des composés et si la rétention pulmonaire est égale le premier jour à 21% de l'activité inhalée pour les composés Week et Year, elle n'est plus égale qu'à 0,2% de cette activité, 360 jours après l'incorporation, pour les composés de classe Week, et est par contre toujours égale à 10% de l'activité initiale, 360 jours après l'incorporation, pour les composés de classe Year.

De même, la Figure 25 présente l'évolution de la rétention pulmonaire en fonction du temps écoulé depuis le début de l'inhalation quotidienne d'une activité unitaire pour des composés d'uranium moyennement solubles (Week) et peu solubles (Year) d'AMAD égal à $1\mu\text{m}$. Cette fonction de rétention relative à une incorporation chronique a été établie par convolution des fonctions de rétention relatives à une incorporation unique présentées dans la figure précédente.

On notera cette fois que l'allure générale de la variation de l'excrétion urinaire journalière en fonction du temps est uniformément croissante pour les deux classes de solubilité, et présente une phase d'augmentation jusqu'à un plateau.

Les valeurs asymptotiques de rétention pulmonaire exprimée en fonction de l'activité inhalée quotidienne sont égales respectivement à 11 et 150 pour les composés de classes Week et Year et sont atteintes à 300 et 5000 jours après le début de l'exposition chronique.



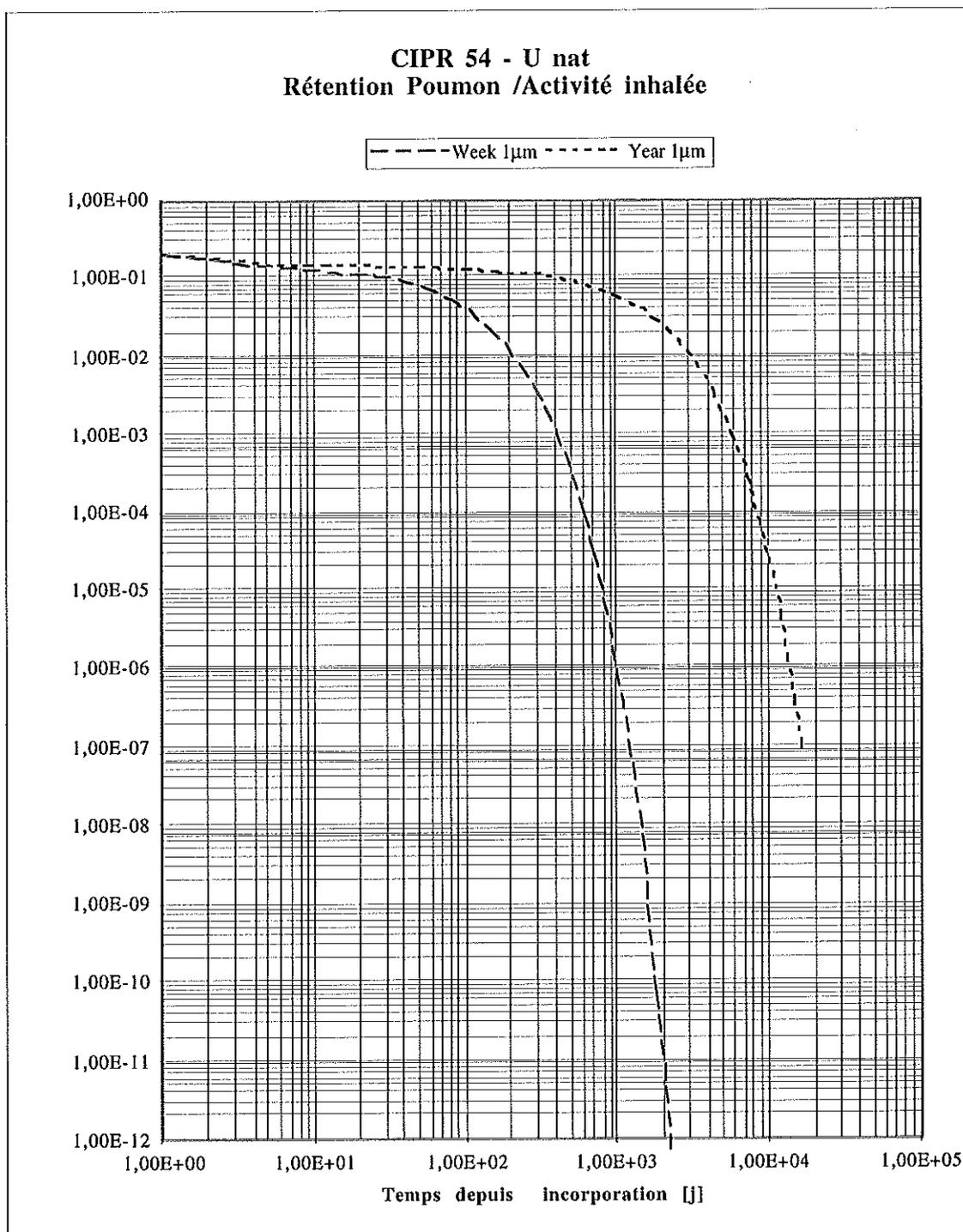
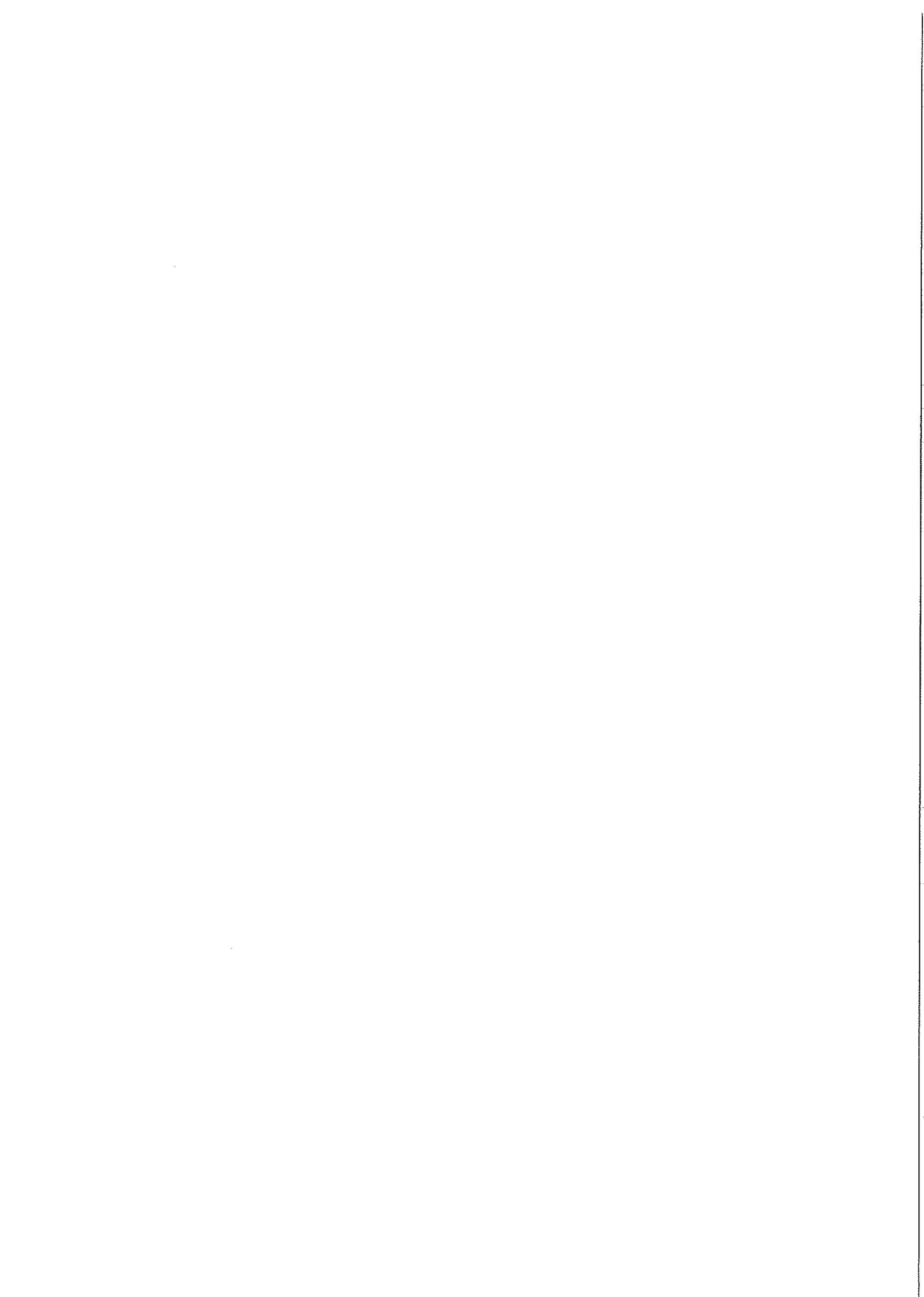


Figure 24. Rétention pulmonaire associée à une incorporation unique d'uranium (CIPR 54)



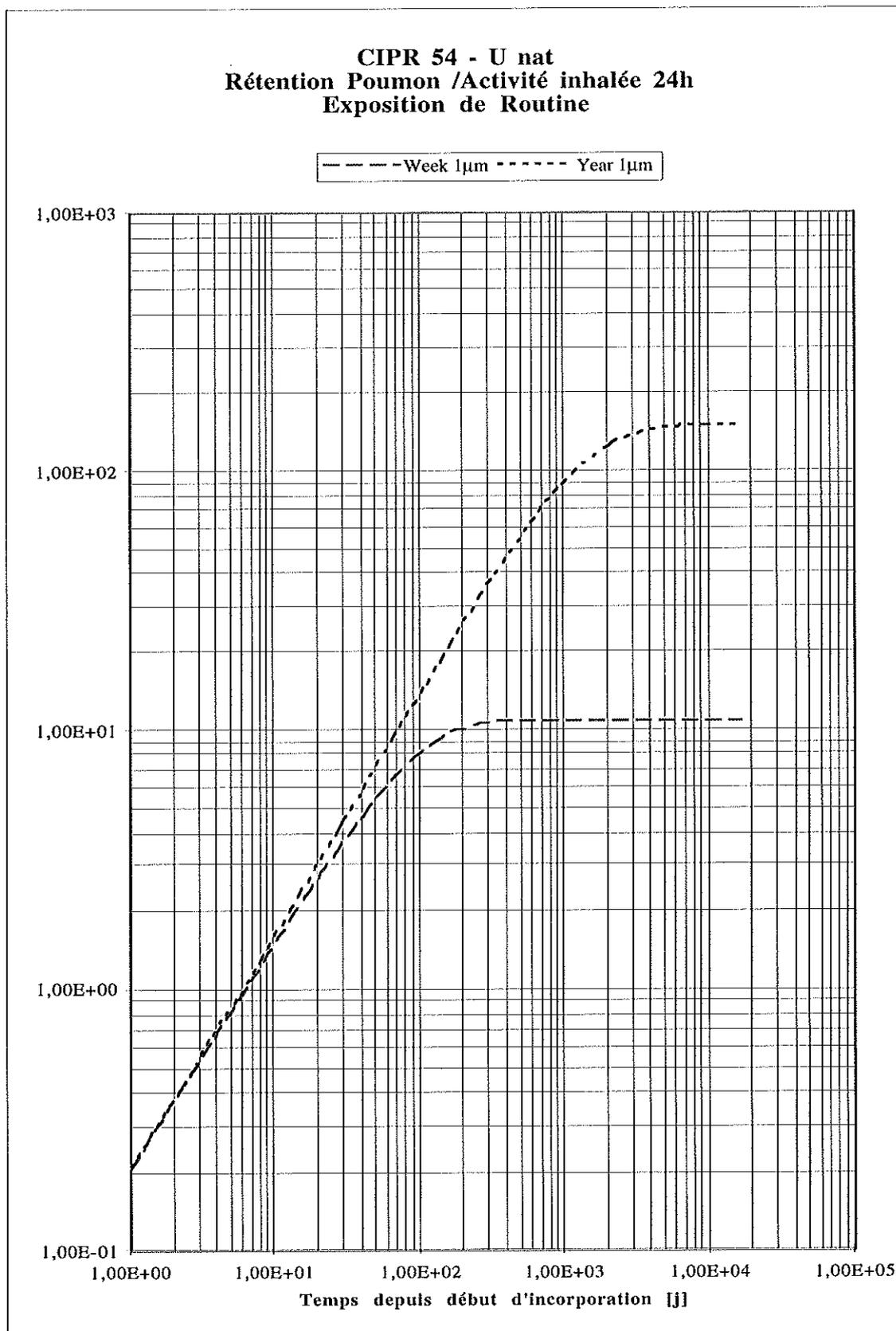
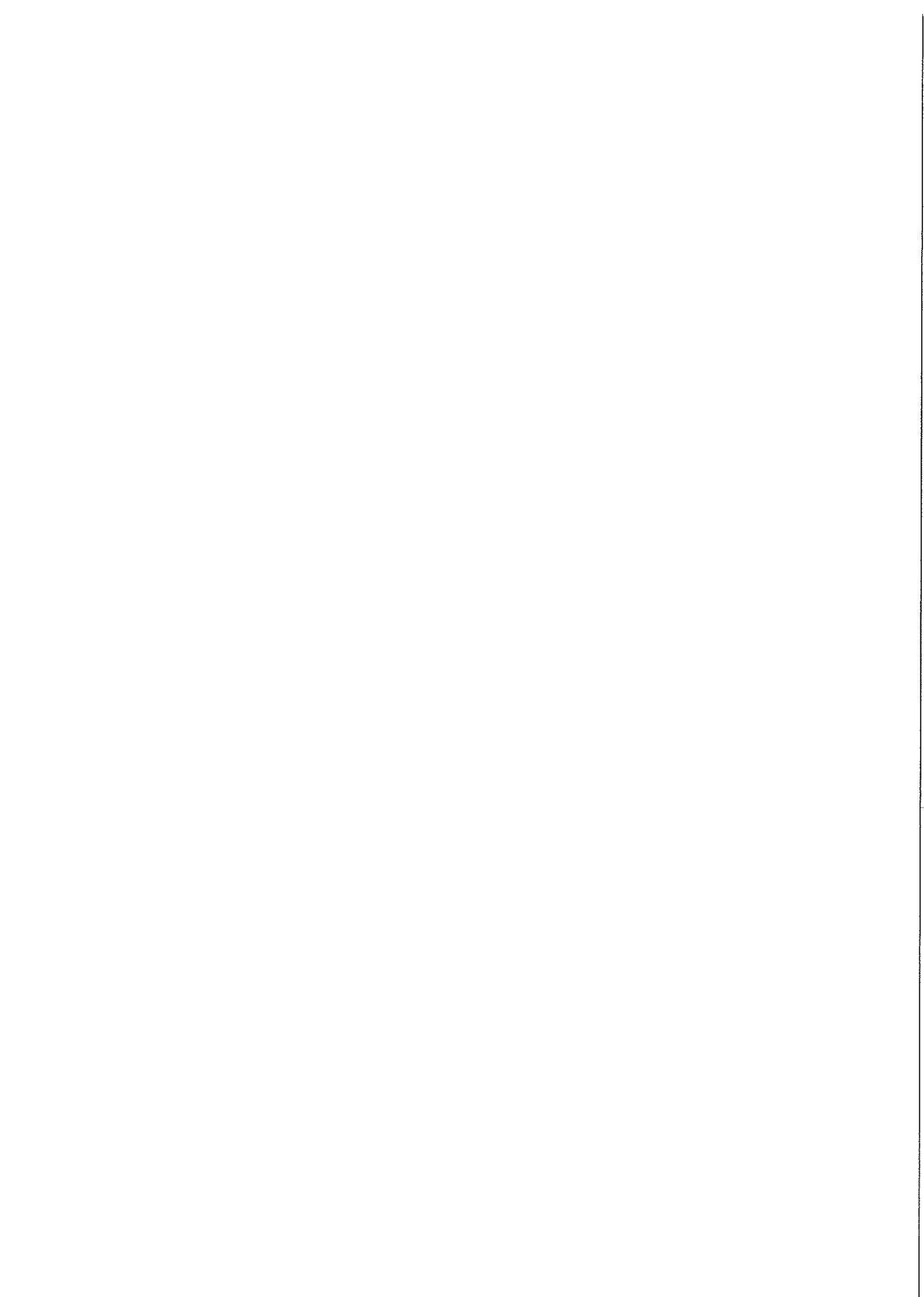


Figure 25. Rétention pulmonaire associée à une incorporation chronique d'uranium (CIPR 54)



6.3.2.2. Fonctions d'interprétation

Les deux tableaux et deux figures suivants présentent les résultats de l'évaluation de dose engagée effectuée à l'aide des fonctions de rétention et des facteurs de dose de la CIPR 54 [21] (respectivement exposées dans les figures précédentes et présentés en Tableau 5), sur la base d'une mesure unique de rétention pulmonaire d'uranium.

Ces estimations sont réalisées pour des composés présentant un diamètre aérodynamique médian en activité (AMAD) égal à $1\mu\text{m}$.

Le Tableau 23 et la Figure 26 sont relatifs au cas d'une incorporation unique et permettent une première estimation de la dose engagée (exprimée en mSv) associée à cette incorporation, à partir du résultat d'une mesure isolée de rétention pulmonaire (exprimée en Bq), et en fonction du temps écoulé depuis l'instant supposé de l'incorporation.

Ainsi, une mesure isolée de rétention pulmonaire dont le résultat est égal à 1 Bq donnerait lieu à une première estimation de dose engagée égale respectivement à $3,8 \cdot 10^{-2}$ et $2,6 \cdot 10^{-1}$ mSv pour une incorporation unique de composés de classes Week et Year de $1\mu\text{m}$ supposée avoir eu lieu 90 jours auparavant, et égale à $1,25 \cdot 10^{-1}$ et $2,8 \cdot 10^{-1}$ mSv pour une incorporation de composés de classes Week et Year de $1\mu\text{m}$ supposée avoir eu lieu 180 jours plus tôt.

Le Tableau 24 et la Figure 27 sont quant à eux relatifs au cas d'une incorporation chronique et permettent une première estimation de la dose engagée annuelle moyenne (exprimée en mSv) correspondant à l'incorporation totale depuis le début de l'exposition, à partir du résultat d'une mesure isolée de rétention pulmonaire (exprimée Bq), et en fonction du temps écoulé depuis l'instant supposé du début de l'incorporation chronique. Cette dose engagée annuelle moyenne est calculée sur la base de la dose engagée correspondant à l'incorporation totale depuis le début de l'exposition chronique, corrigée dans le rapport de 365 jours avec la durée écoulée depuis le début de l'exposition.

Ainsi, une mesure isolée de rétention pulmonaire dont le résultat est égal à 1 Bq donnerait lieu à une première estimation de dose engagée annuelle moyenne égale respectivement à $5,9 \cdot 10^{-2}$ et $2,8 \cdot 10^{-1}$ mSv pour une incorporation chronique de composés de classes Week et Year de $1\mu\text{m}$ supposée avoir débuté 1 an auparavant, et égale à $5,9 \cdot 10^{-2}$ et $1,7 \cdot 10^{-1}$ mSv pour une incorporation chronique de composés de classes Week et Year de $1\mu\text{m}$ supposée avoir débuté 2 ans plus tôt.

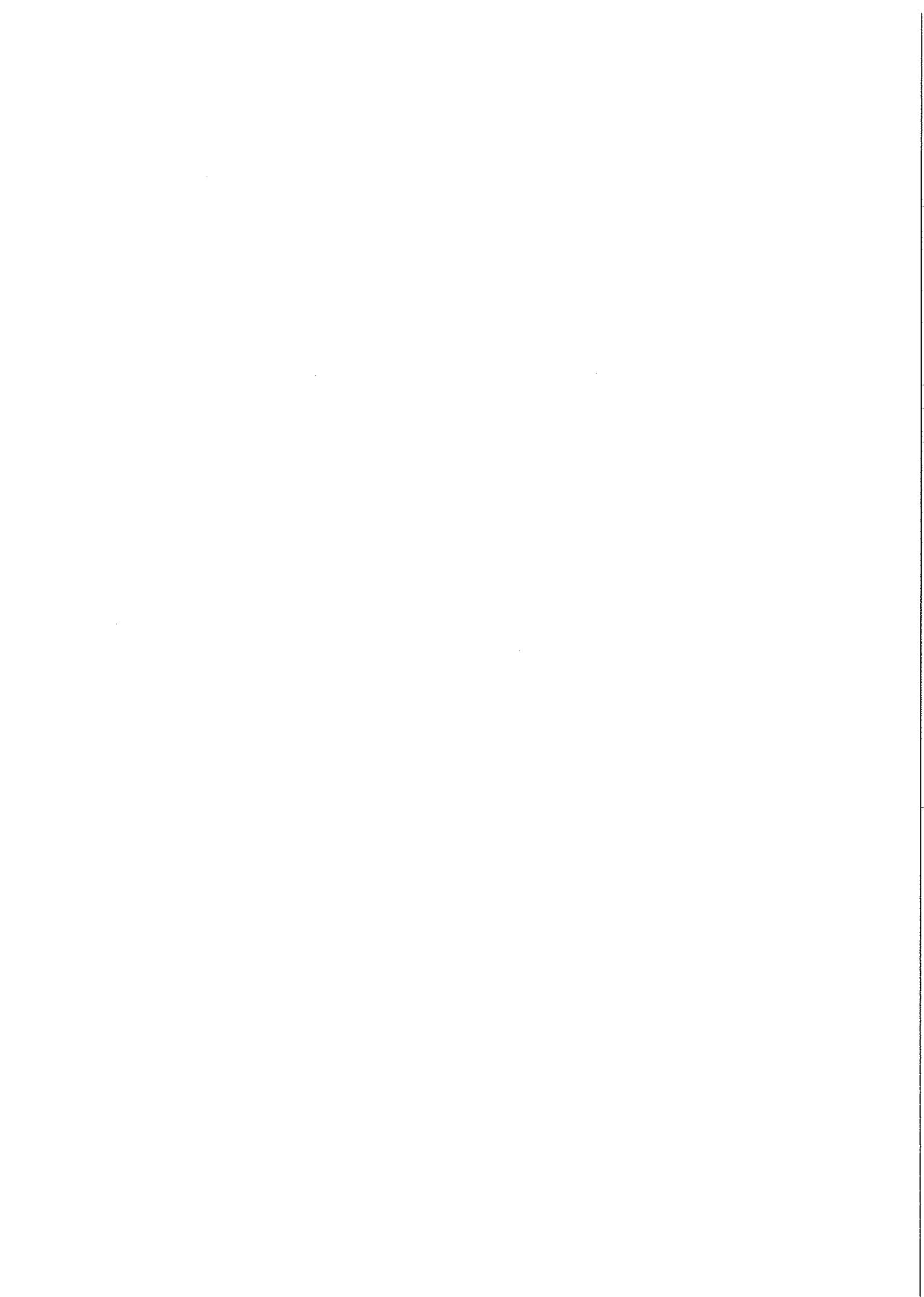
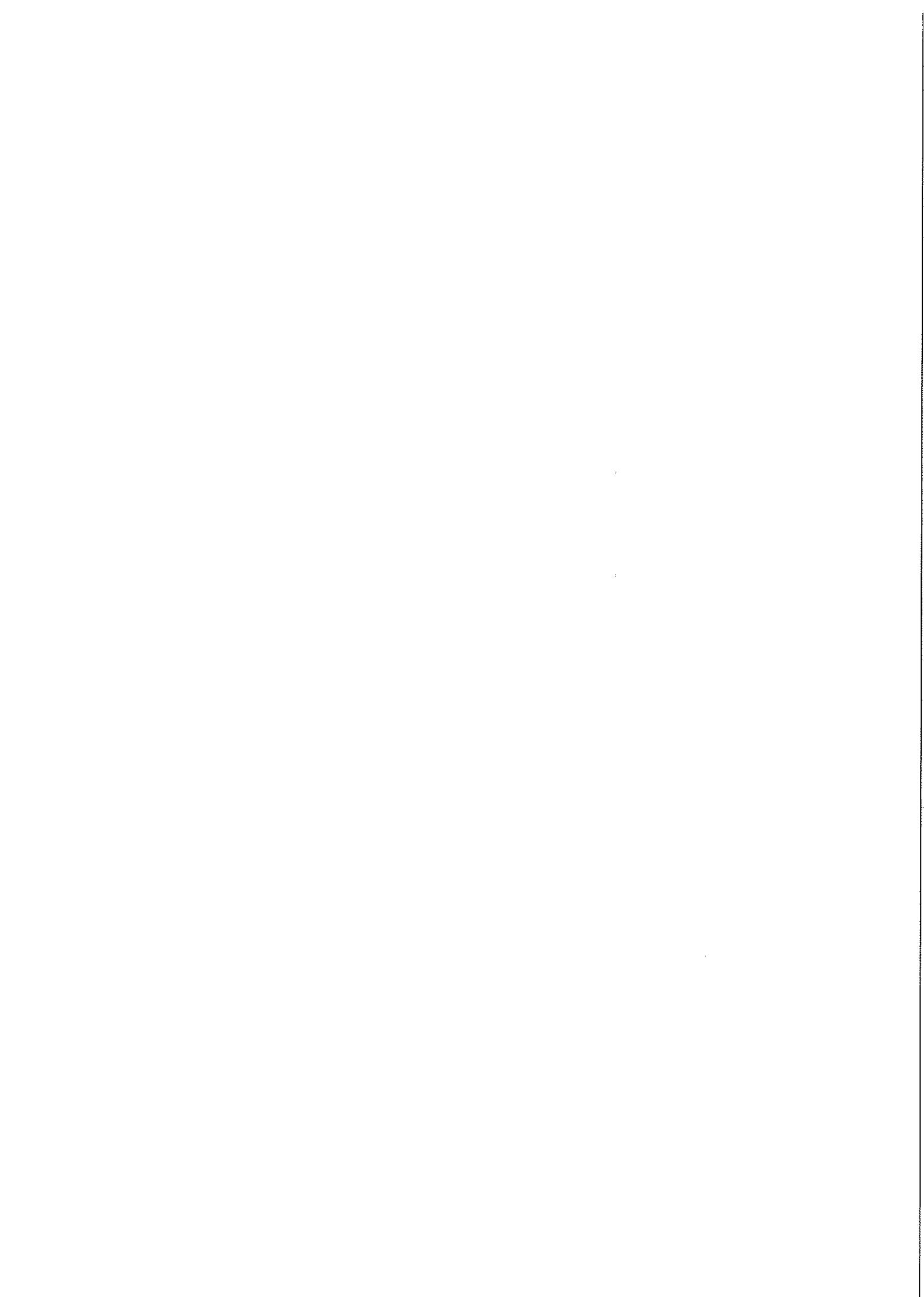


Tableau 23. Dose engagée / Activité d'uranium pulmonaire; Comptage poumons - Incorporation unique (CIPR 54)

Dose engagée	/ Rétention Poumon
--------------	--------------------

Temps depuis incorporation [j]	Week 1µm	Year 1µm
	[mSv /Bq]	[mSv /Bq]
1	8,58E-03	1,62E-01
2	1,00E-02	1,89E-01
3	1,13E-02	2,00E-01
4	1,20E-02	2,13E-01
5	1,20E-02	2,27E-01
6	1,29E-02	2,27E-01
7	1,29E-02	2,27E-01
8	1,31E-02	2,27E-01
9	1,34E-02	2,28E-01
10	1,36E-02	2,28E-01
11	1,39E-02	2,28E-01
12	1,42E-02	2,29E-01
13	1,44E-02	2,29E-01
14	1,47E-02	2,30E-01
15	1,50E-02	2,30E-01
16	1,52E-02	2,30E-01
17	1,54E-02	2,31E-01
18	1,56E-02	2,31E-01
19	1,58E-02	2,32E-01
20	1,60E-02	2,32E-01
21	1,61E-02	2,33E-01
22	1,63E-02	2,33E-01
23	1,65E-02	2,33E-01
24	1,67E-02	2,34E-01
25	1,70E-02	2,34E-01
26	1,72E-02	2,35E-01
27	1,74E-02	2,35E-01
28	1,76E-02	2,36E-01
29	1,78E-02	2,36E-01
30	1,80E-02	2,36E-01
35	1,90E-02	2,39E-01
40	2,01E-02	2,41E-01
45	2,12E-02	2,43E-01
50	2,26E-02	2,44E-01
55	2,41E-02	2,46E-01
60	2,57E-02	2,47E-01
65	2,75E-02	2,49E-01
70	2,94E-02	2,50E-01
80	3,35E-02	2,53E-01
85	3,57E-02	2,54E-01
90	3,82E-02	2,56E-01
100	4,35E-02	2,59E-01
120	5,66E-02	2,65E-01
140	7,37E-02	2,71E-01
160	9,58E-02	2,77E-01
180	1,25E-01	2,83E-01
200	1,62E-01	2,88E-01
240	2,60E-01	2,99E-01
260	3,29E-01	3,04E-01
280	4,16E-01	3,09E-01
300	5,26E-01	3,15E-01
360	1,07E+00	3,31E-01
400	1,71E+00	3,43E-01
500	5,55E+00	3,74E-01
600	1,80E+01	4,08E-01
700	5,85E+01	4,45E-01
720	7,40E+01	4,53E-01
1000	2,00E+03	5,78E-01



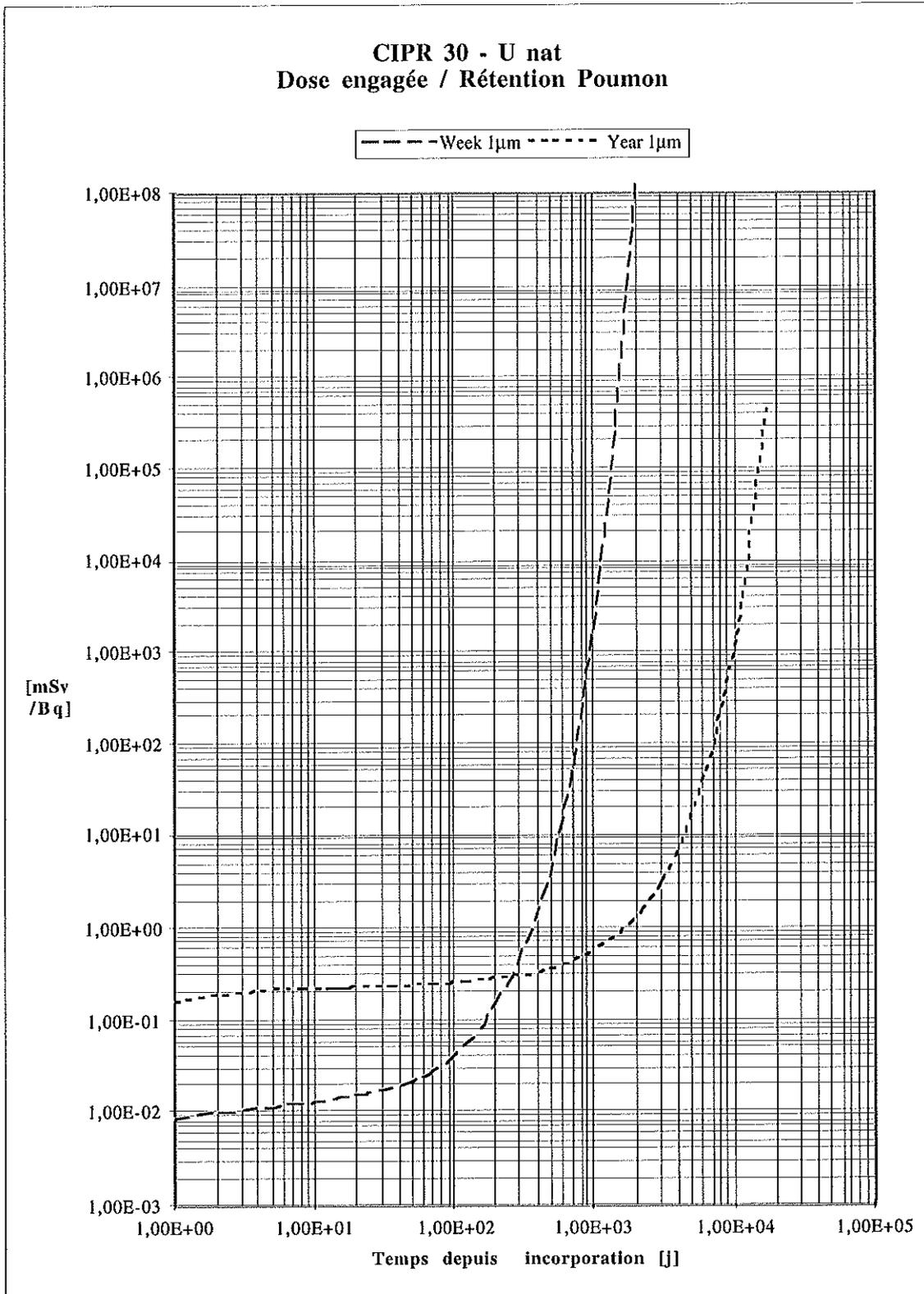
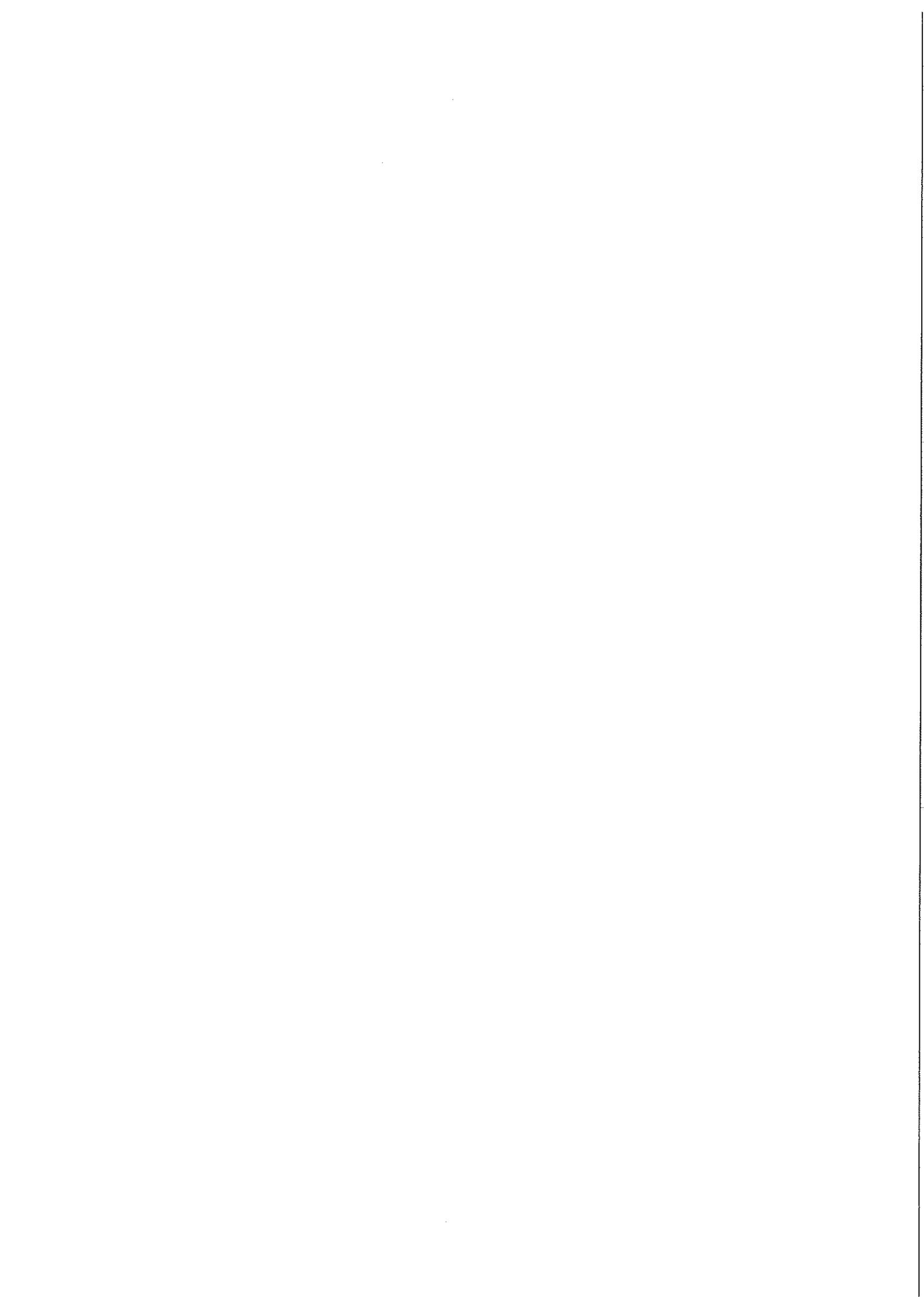


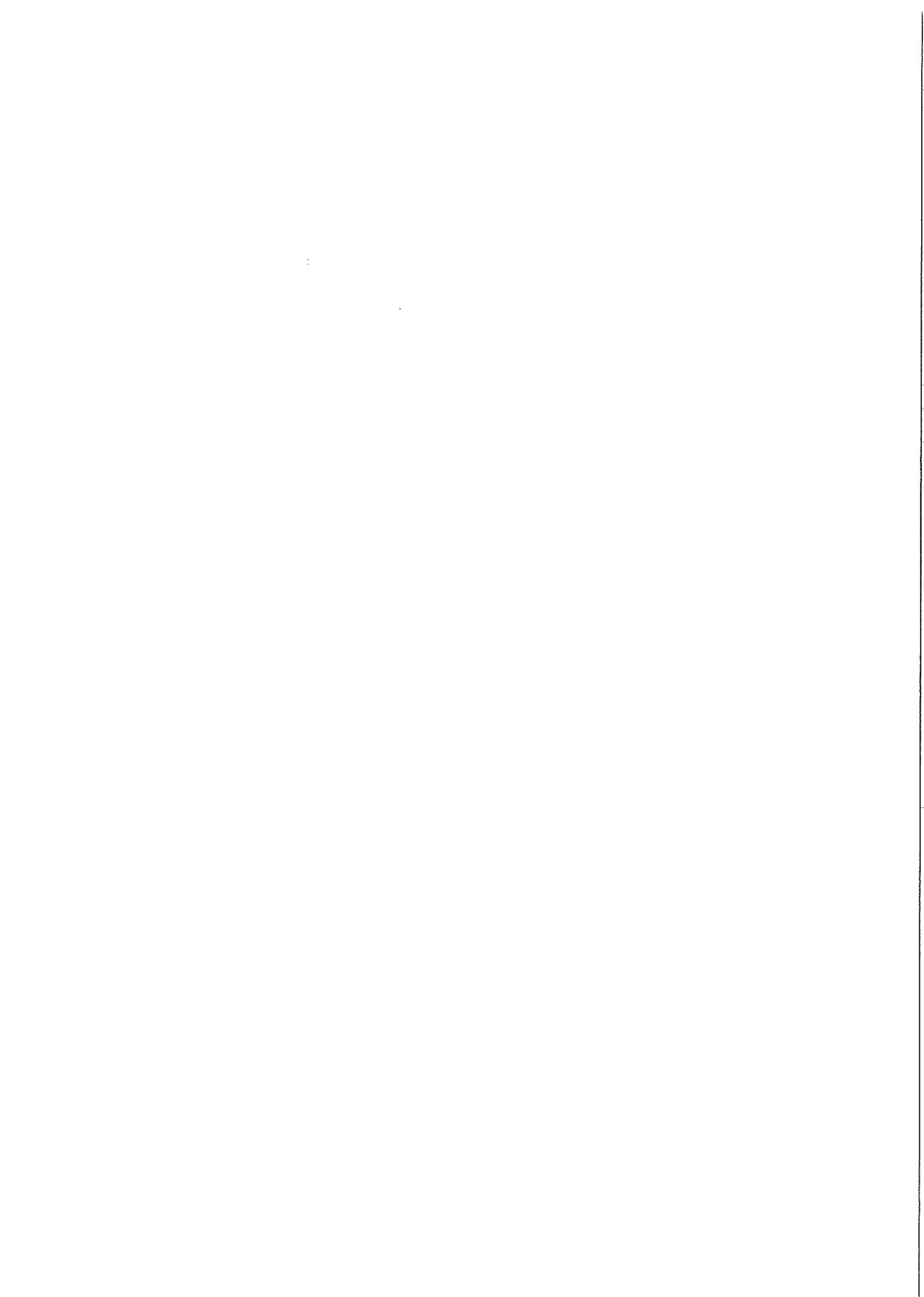
Figure 26. Dose engagée / Activité d'uranium pulmonaire; Comptage poumons - Incorporation unique (CIPR 54)

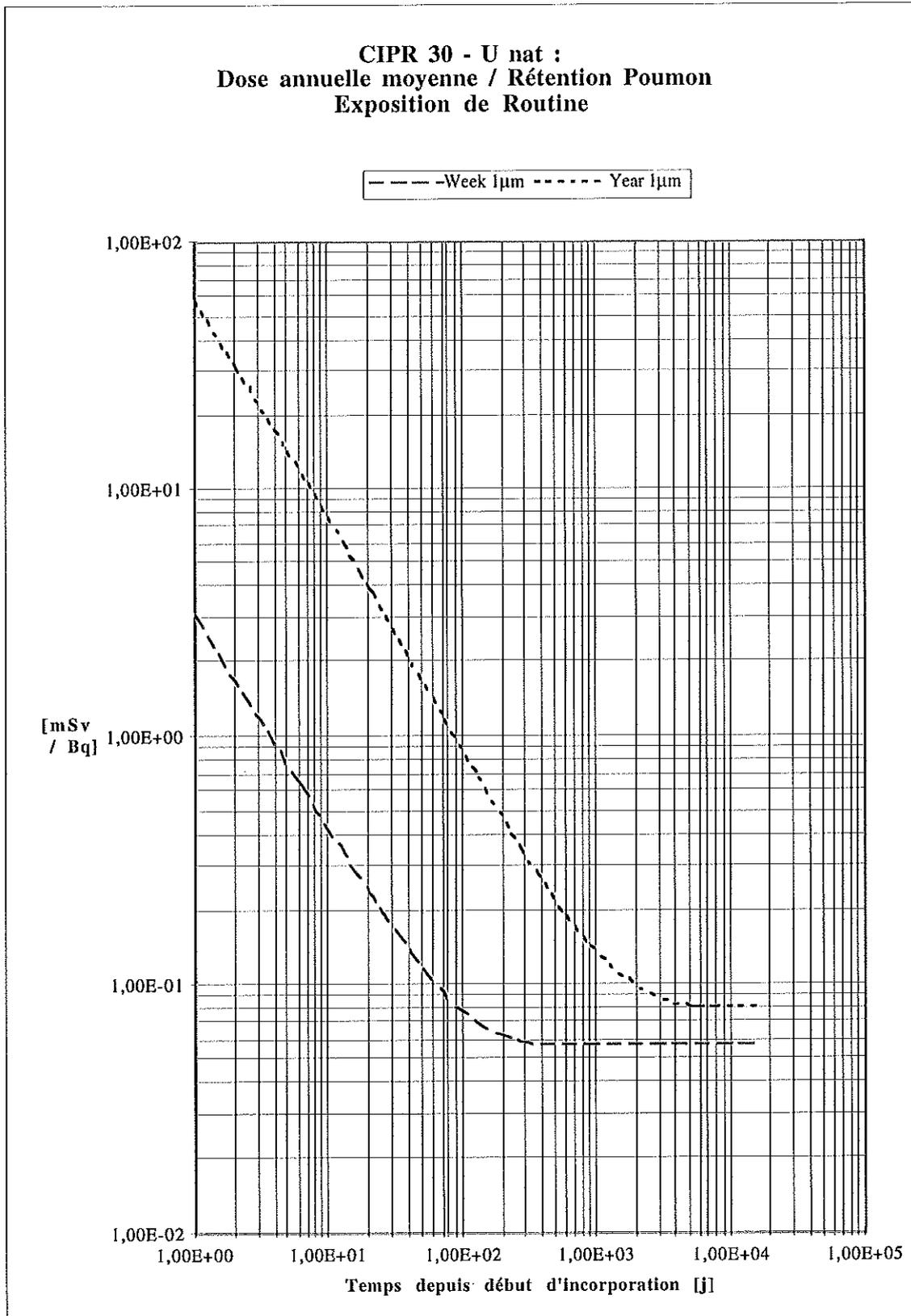


**Tableau 24. Dose annuelle moyenne / Activité d'uranium pulmonaire ;
Comptage poumons - Incorporation chronique (CIPR 54)**

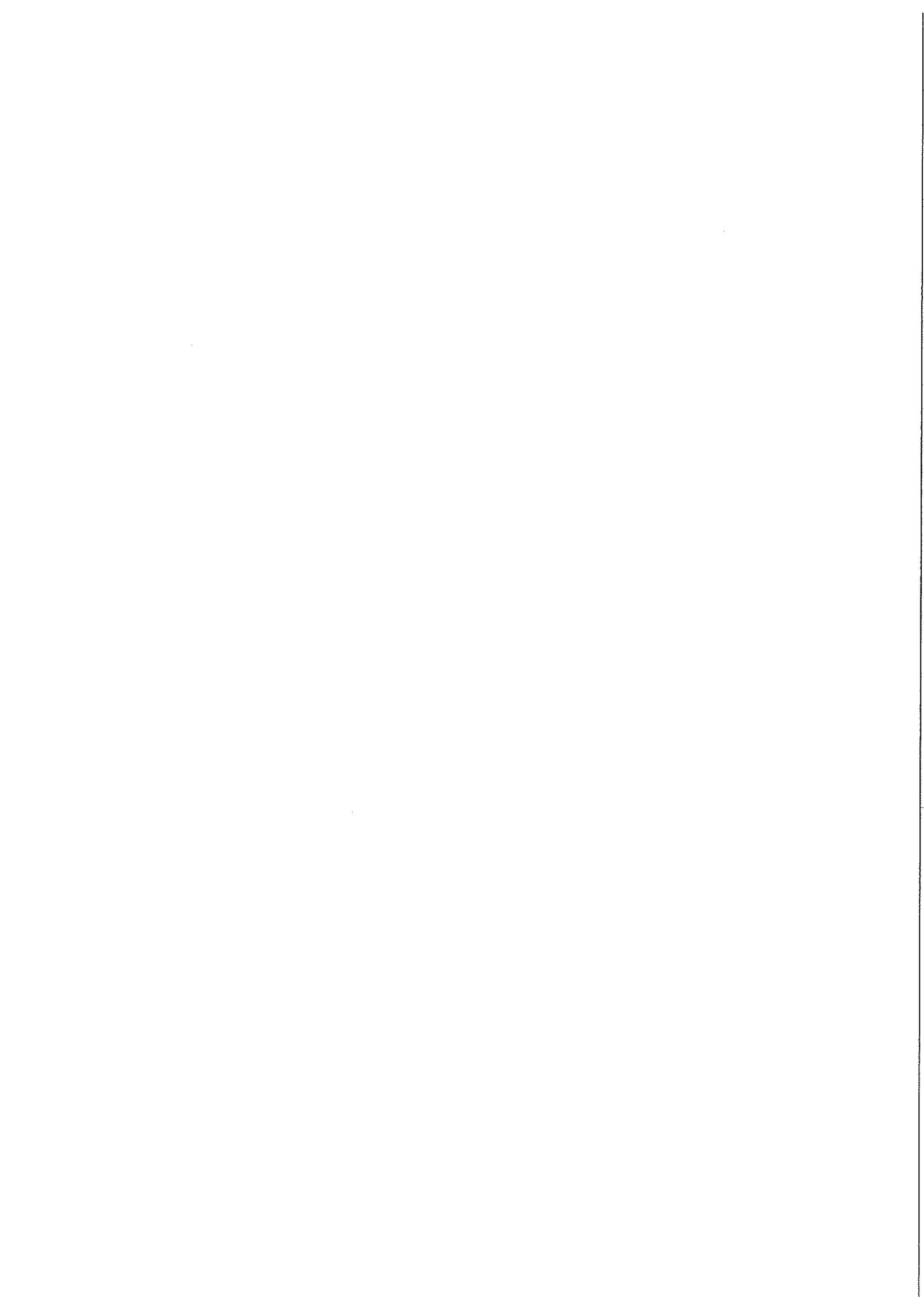
Dose annuelle moyenne / Rétention Poumon

Temps depuis début d'incorporation [j]	Week 1µm [mSv / Bq]	Year 1µm [mSv / Bq]
1	3,09E+00	5,83E+01
2	1,66E+00	3,14E+01
3	1,18E+00	2,19E+01
4	9,26E-01	1,70E+01
5	7,63E-01	1,41E+01
6	6,55E-01	1,20E+01
7	5,74E-01	1,05E+01
8	5,12E-01	9,28E+00
9	4,63E-01	8,33E+00
10	4,23E-01	7,56E+00
11	3,90E-01	6,93E+00
12	3,62E-01	6,39E+00
13	3,39E-01	5,93E+00
14	3,18E-01	5,53E+00
15	3,01E-01	5,19E+00
16	2,85E-01	4,88E+00
17	2,71E-01	4,61E+00
18	2,58E-01	4,37E+00
19	2,47E-01	4,15E+00
20	2,37E-01	3,96E+00
21	2,28E-01	3,78E+00
22	2,19E-01	3,61E+00
23	2,11E-01	3,46E+00
24	2,04E-01	3,33E+00
25	1,98E-01	3,20E+00
26	1,92E-01	3,08E+00
27	1,86E-01	2,98E+00
28	1,81E-01	2,88E+00
29	1,76E-01	2,78E+00
30	1,71E-01	2,69E+00
35	1,52E-01	2,33E+00
40	1,38E-01	2,05E+00
45	1,26E-01	1,84E+00
50	1,17E-01	1,66E+00
55	1,10E-01	1,52E+00
60	1,04E-01	1,40E+00
65	9,84E-02	1,30E+00
70	9,40E-02	1,21E+00
80	8,72E-02	1,07E+00
85	8,44E-02	1,01E+00
90	8,19E-02	9,58E-01
100	7,78E-02	8,68E-01
120	7,23E-02	7,34E-01
140	6,85E-02	6,38E-01
160	6,59E-02	5,66E-01
180	6,40E-02	5,09E-01
200	6,27E-02	4,64E-01
240	6,10E-02	3,96E-01
260	6,04E-02	3,69E-01
280	5,99E-02	3,46E-01
300	5,95E-02	3,26E-01
360	5,90E-02	2,80E-01
400	5,88E-02	2,57E-01
500	5,86E-02	2,16E-01
600	5,85E-02	1,88E-01
700	5,85E-02	1,68E-01
720	5,85E-02	1,65E-01
1000	5,85E-02	1,35E-01





**Figure 27. Dose annuelle moyenne / Activité d'uranium pulmonaire ;
Comptage poumons - Incorporation chronique (CIPR 54)**



6.3.2.3. Limites de détection

Les mesures de rétention pulmonaire réalisées au laboratoire de Pierrelatte font appel à une technique de mesure présentant, pour l'uranium naturel, une limite de détection égale à 150 Bq [29], soit 3,3 Bq d'uranium 235.

Les limites de détection peuvent être utilement comparées aux niveaux dérivés d'enregistrement et d'investigation recommandés par la CIPR pour la surveillance de routine et correspondant à des niveaux d'incorporation égaux respectivement à 1/10 et 3/10 de la Limite Annuelle d'Incorporation (LAI) rapportée à la période à laquelle correspond la mesure, soit LAI/10 N et 3 LAI/10 N pour une surveillance de routine effectuée N fois par an.

Le tableau suivant présente les résultats de cette comparaison, effectuée pour des intervalles de surveillance compris entre 14 et 360 jours et des composés d'uranium de classes de solubilité Week et Year.

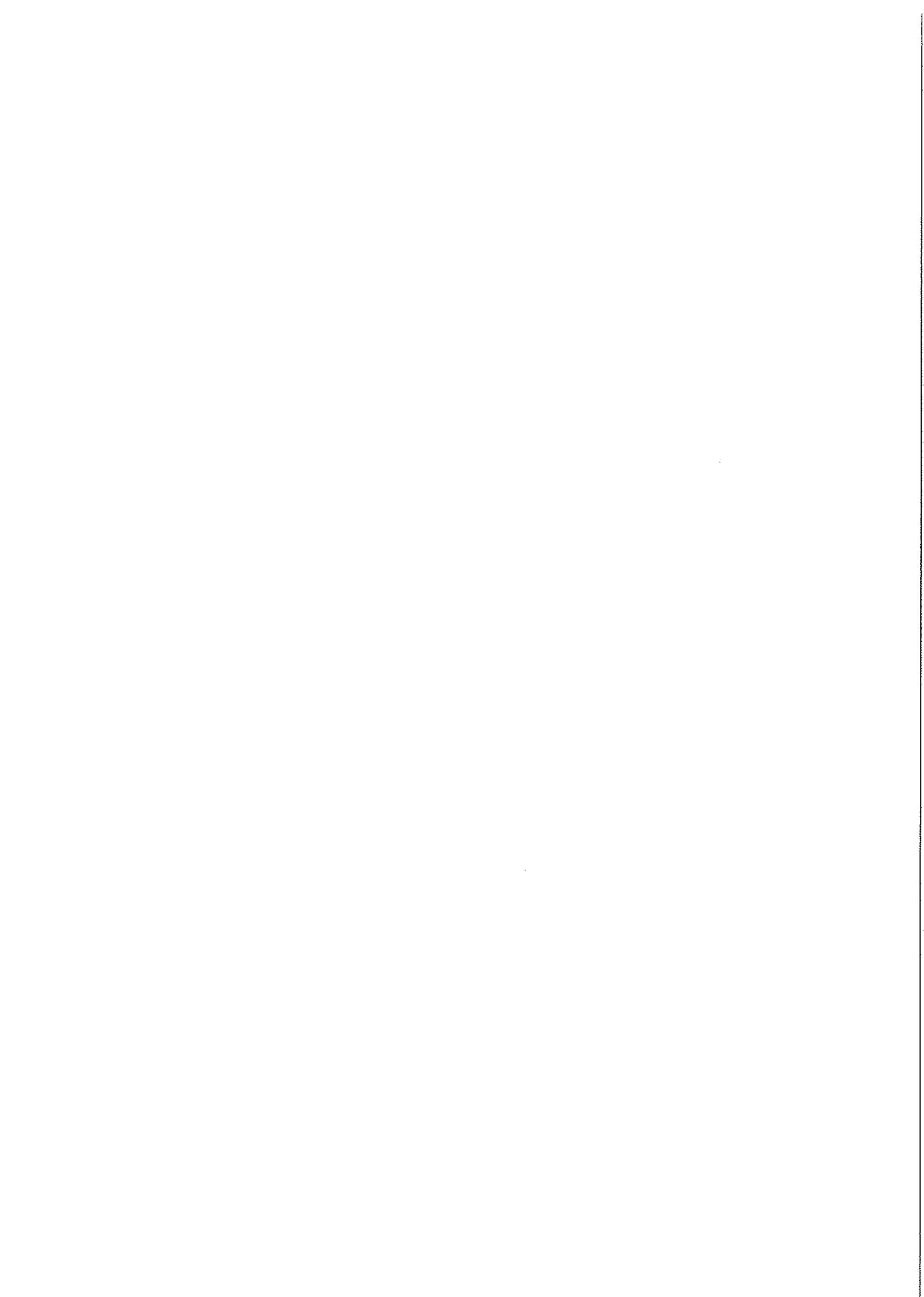
Tableau 25. Seuils d'enregistrement et d'investigation ; Comptages pulmonaires ; (Limite de détection = 150 Bq Uranium)

SURVEILLANCE DE ROUTINE	ANTHROPOGAMMAMETRIE	CIPR 30
Sensibilité	3,33 [Bq U235]	150 [Bq Unat]

Elément	Solubilité	Facteur de Dose Inhalation [Sv/Bq]	LAI Inhalation [Bq]	Intervalle de mesure T [j]	Durée d'exclusion Texcl [j]	Fraction d'activité mesurée [T/2]	Sensibilité [Bq Unat]	Seuil d'enregistrement LAI/10 N [Bq Unat]	Seuil d'investigation 3 LAI/10 N [Bq Unat]													
U nat	Day 1µm	1,80E-06	2,75E+04	360	90	1,4E-02	1,50E+02	4,0E+01	1,2E+02													
										Week 1µm	180	5	4,7E-02	6,5E+01	1,9E+02							
	120										1	7,0E-02	6,4E+01	1,9E+02								
	90										0	8,5E-02	5,8E+01	1,8E+02								
	60										0	1,0E-01	4,6E+01	1,4E+02								
	30										0	1,2E-01	2,7E+01	8,2E+01								
	14										0	1,4E-01	1,5E+01	4,5E+01								
	Year 1µm										3,40E-05	1,50E+03	360	0	1,2E-01	1,50E+02	1,8E+01	5,4E+01				
										180									0	1,3E-01	1,0E+01	3,0E+01
										120									0	1,4E-01	6,9E+00	2,1E+01
										90									0	1,4E-01	5,2E+00	1,6E+01
										60									0	1,4E-01	3,6E+00	1,1E+01
										30									0	1,5E-01	1,8E+00	5,5E+00
										14									0	1,5E-01	8,7E-01	2,6E+00

Activité spécifique	Unat	1,27E+04 [Bq/g]
---------------------	------	-----------------

Cette comparaison montre tout d'abord que la limite de détection est toujours largement supérieure aux niveaux d'enregistrement, quelque soit la classe de solubilité et l'intervalle de mesure considérés.



En ce qui concerne les niveaux dérivés d'investigation, la limite de détection ne s'en approche que pour les composés moyennement solubles (Week), et pour des intervalles de surveillance supérieurs à 60 jours.

La limite de détection est par contre toujours largement supérieure aux niveaux dérivés d'investigation pour les composés les moins solubles (Year), et ceci quelque soit l'intervalle de mesure considéré.

6.3.2.4. Dose détectable par examen

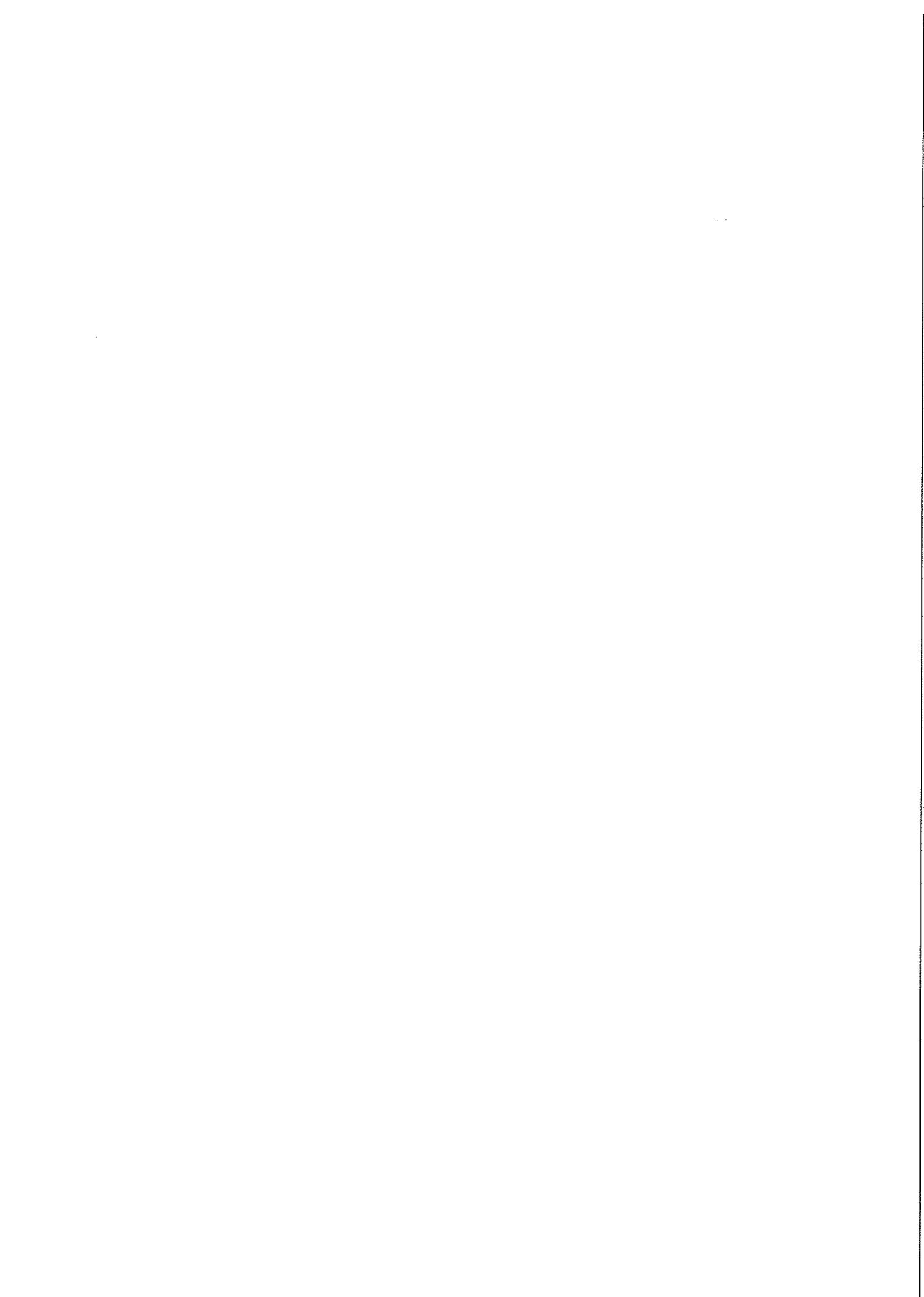
Au-delà de la simple comparaison des limites de détection aux niveaux dérivés d'enregistrement et d'investigation, une autre façon d'interpréter la sensibilité des méthodes de mesure consiste à déterminer, pour un intervalle de surveillance, l'engagement de dose correspondant à la mesure du niveau de détection.

En effet, l'existence d'une limite de détection pour les examens biologiques implique qu'en dessous d'une certaine valeur, l'exposition associée à la période séparant deux examens pourra rester inaperçue (concept de dose détectable) si l'estimation de l'exposition repose sur ces seuls examens biologiques.

La dose pouvant être manquée, pour un intervalle de surveillance considéré isolément, est donc l'engagement de dose qui correspond à une incorporation s'étant produite au cours de cet intervalle et restée inaperçue car donnant lieu à un résultat de mesure juste inférieur à la limite de détection.

Par ailleurs, plus l'intervalle séparant les examens biologiques est important, plus grande est l'incertitude associée au manque de connaissance du moment où a eu lieu l'incorporation. L'augmentation de la fréquence des examens, ainsi que la définition d'une durée d'exclusion du travailleur de toute source d'exposition interne préalable à chaque examen permet de diminuer cette incertitude.

Le tableau suivant (Tableau 26) présente pour des composés d'uranium de classes de solubilité Week et Year, l'évolution de la dose détectable par examen en fonction des fréquences d'examen et des durées d'exclusion minimales permettant de maintenir l'incertitude liée au profil d'incorporation inférieure à un facteur trois, comme le conseille la CIPR 35 [23], soit un facteur 9 entre les estimations minimales et maximales.



Cette évaluation est effectuée sous diverses hypothèses du profil temporel de l'incorporation au cours de l'intervalle de surveillance, à savoir une incorporation unique à la fin de l'intervalle de surveillance ($t=T_{\text{exclusion}}$), une incorporation chronique tout au long de cet intervalle (0 à T), une incorporation unique au milieu de l'intervalle de surveillance ($t=T/2$), et une incorporation au début de cet intervalle ($t=0$).

On notera que cette évaluation ne prend pas en compte l'éventuelle influence sur le résultat de mesure de l'intervalle de surveillance considéré des incorporations reçues au cours des intervalles qui l'ont précédé, cette influence pouvant être d'autant plus importante que le composé est moins soluble.

Tableau 26. Doses engagées détectables par examen ; Comptages pulmonaires ; (Limite de détection = 150 Bq Uranium)

SURVEILLANCE DE ROUTINE		ANTHROPOGAMMAMETRIE		CIPR 30							
Sensibilité		3,33	[Bq U235]	150	[Bq Unat]						
Elément	Solubilité	Facteur de Dose Inhalation [Sv/Bq]	LAI Inhalation [Bq]	Intervalle de mesure T [j]	Durée d'exclusion Texcl [j]	Fraction d'activité mesurée [T/2]	Sensibilité [Bq Unat]	Sensibilité de mesure max (t=Texcl) [mSv]	Sensibilité de mesure moyenne (t=T/2) [mSv]	Sensibilité de mesure moyenne (t=T/2) [mSv]	Sensibilité de mesure min (t=T) [mSv]
U nat	Day 1µm			360	90	1,4E-02	1,50E+02	5,7E+00	8,8E+00	1,9E+01	1,6E+02
				180	5	4,7E-02		1,8E+00	4,8E+00	5,7E+00	1,9E+01
	Week 1µm	1,80E-06	2,75E+04	120	1	7,0E-02	1,3E+00	3,6E+00	3,9E+00	3,9E+00	8,5E+00
				90	0	8,5E-02	1,3E+00	3,1E+00	3,2E+00	5,7E+00	
				60	0	1,0E-01	1,3E+00	2,6E+00	2,7E+00	3,9E+00	
				30	0	1,2E-01	1,3E+00	2,1E+00	2,3E+00	2,7E+00	
				14	0	1,4E-01	1,3E+00	1,9E+00	1,9E+00	2,2E+00	
				Year 1µm	3,40E-05	1,50E+03	360	0	1,2E-01	1,50E+02	2,4E+01
	Year 1µm			180	0	1,3E-01	2,4E+01	3,8E+01	3,8E+01	3,8E+01	4,3E+01
				120	0	1,4E-01	2,4E+01	3,7E+01	3,7E+01	4,0E+01	
				90	0	1,4E-01	2,4E+01	3,6E+01	3,6E+01	3,8E+01	
				60	0	1,4E-01	2,4E+01	3,5E+01	3,5E+01	3,7E+01	
				30	0	1,5E-01	2,4E+01	3,4E+01	3,4E+01	3,5E+01	
	14	0	1,5E-01	2,4E+01	3,2E+01	3,4E+01	3,4E+01				

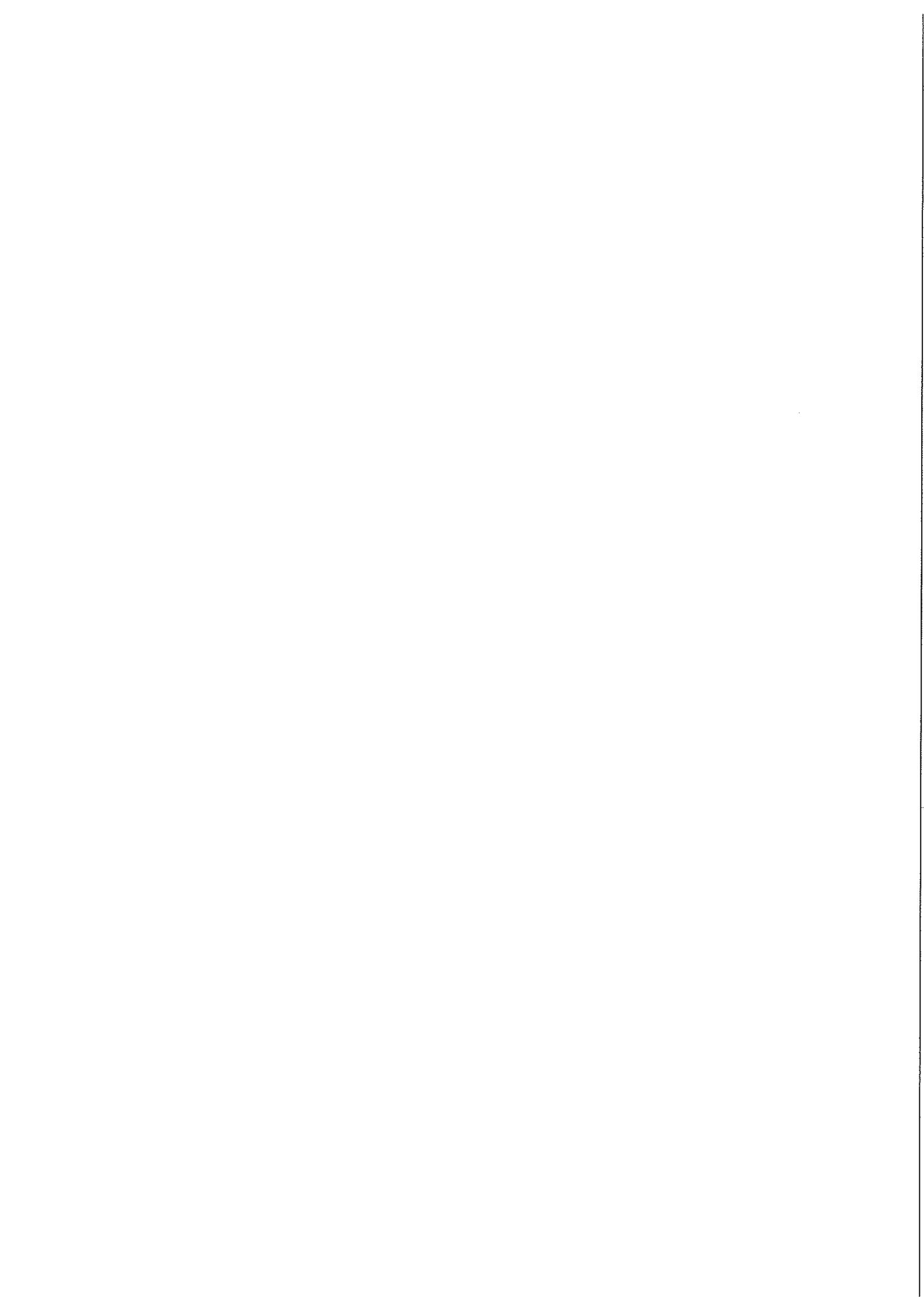
Activité spécifique Unat 1,27E+04 [Bq/g]

6.3.2.4.1. Composés fortement solubles (Day)

Les mesures d'activité pulmonaire sont inadaptées à la détection de l'exposition aux composés fortement solubles, en raison de la très grande rapidité de l'épuration pulmonaire.

6.3.2.4.2. Composés moyennement solubles (Week)

Les mesures d'activité pulmonaire peuvent être utilisées pour les composés moyennement solubles mais, de même que les mesures d'excréta urinaires, posent elles aussi le problème de la limite de détection et de l'incertitude de l'interprétation.



La limite de détection de 150 Bq correspond en effet pour ces composés à des doses détectables par examen comprises entre 1 et 20 mSv.

On notera que la dose détectable par examen s'élève à 160 mSv pour une période d'examen annuelle. Toutefois, un facteur d'incertitude supérieur à 8 est associé à une telle périodicité d'examen et le temps d'exclusion correspondant est égal à 90 jours.

Un facteur d'incertitude inférieur à 3 est associé à une période d'examen bisannuelle et le temps d'exclusion diminue rapidement avec la période d'examen puisque des temps d'exclusion de 5 et 1 jour sont respectivement associés à des périodes d'examen de 180 et 120 jours.

6.3.2.4.3. Composés peu solubles (Year)

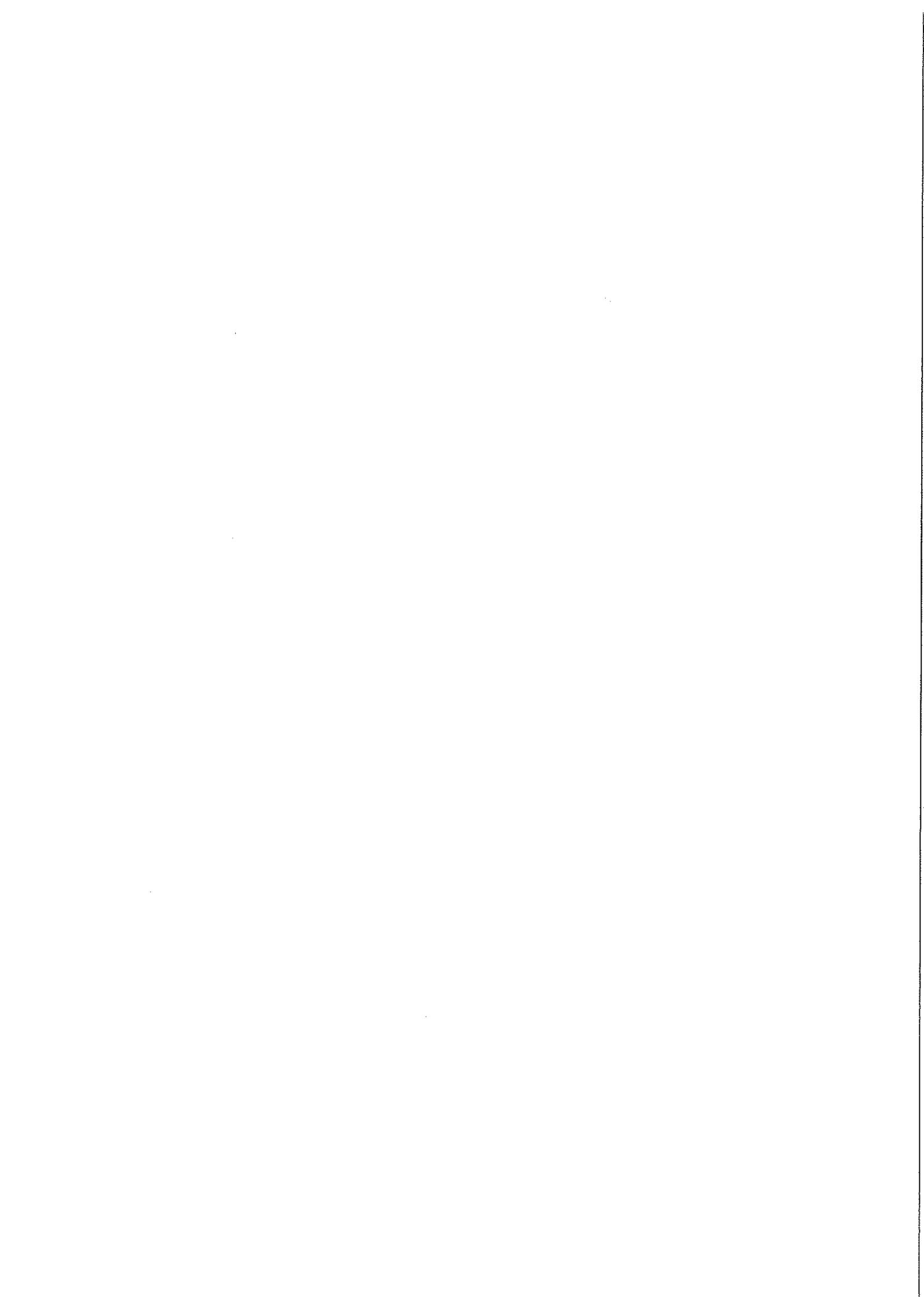
Les mesures d'activité pulmonaire peuvent être utilisées pour les composés peu solubles, et les problèmes de la limite de détection et de l'incertitude se posent en termes différents.

La limite de détection de 150 Bq correspond en effet pour ces composés à une dose détectable par examen comprise entre 24 et 50 mSv.

Cependant, une période d'examen annuelle permet d'obtenir un facteur d'incertitude inférieur à trois, et un temps d'exclusion ne s'avère pas nécessaire.

Les deux figures suivantes (Figure 28 et Figure 29) présentent ces indicateurs pour les composés Week et Year.

Les doses détectables par examen correspondant aux différentes hypothèses de profil temporel d'exposition sont représentées, en fonction de la période de mesure considérée, sur l'axe gauche des abscisses. Les temps d'exclusion correspondants sont représentés sur l'axe droit des abscisses.



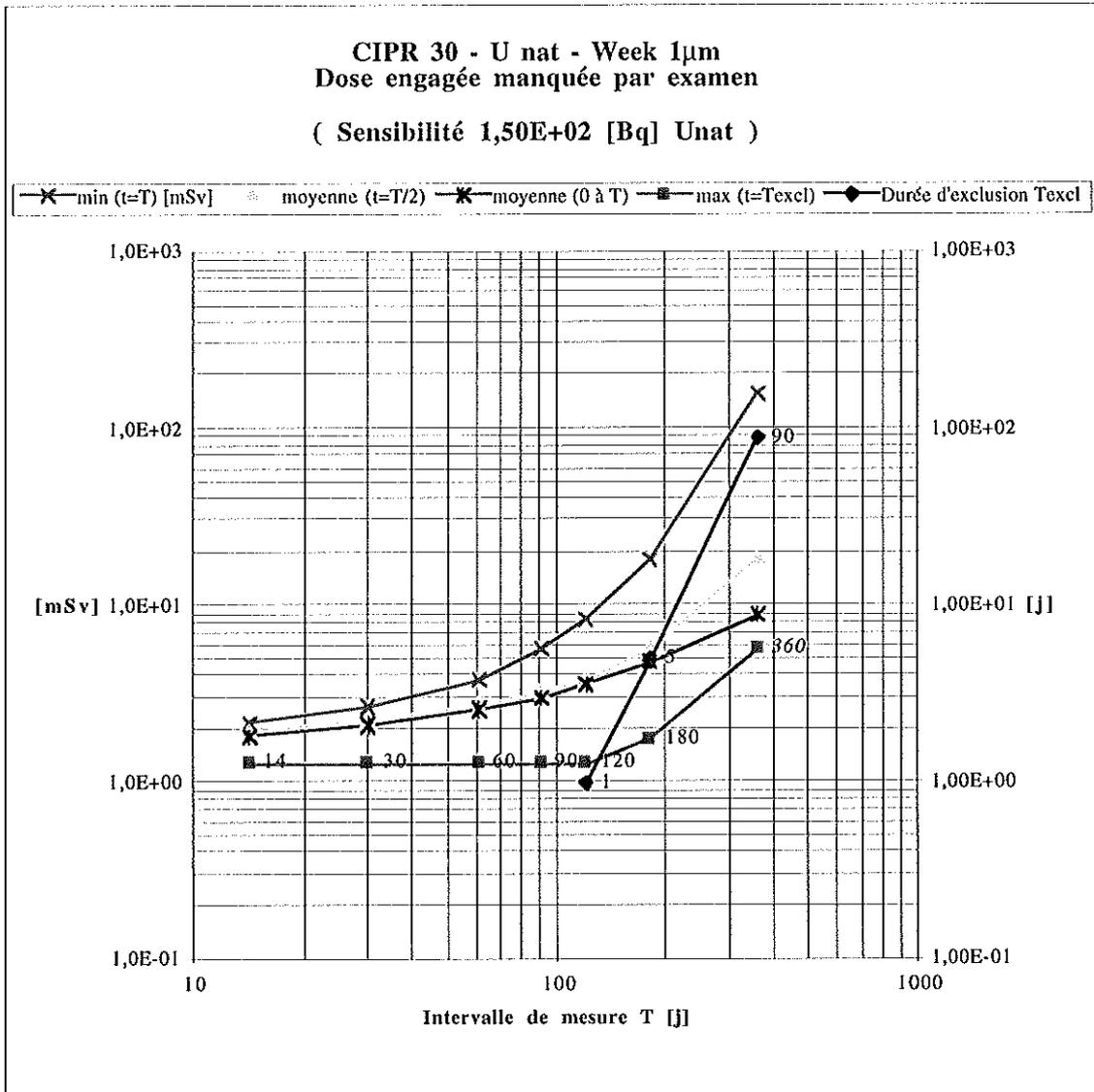
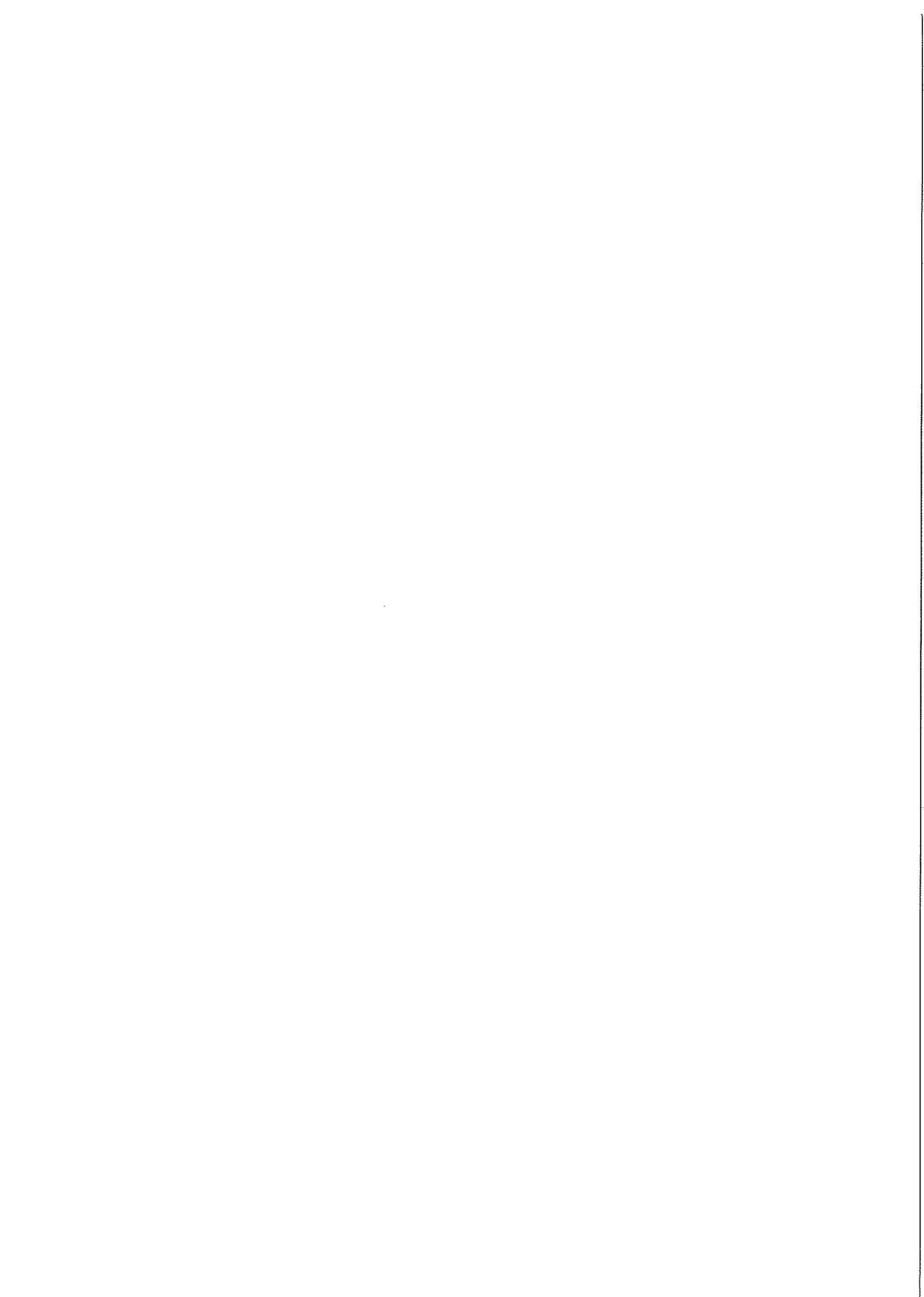


Figure 28. Dose détectable par examen ; Comptage poumons: Composé Week ; (Limite de détection = 150 Bq d'Uranium naturel)



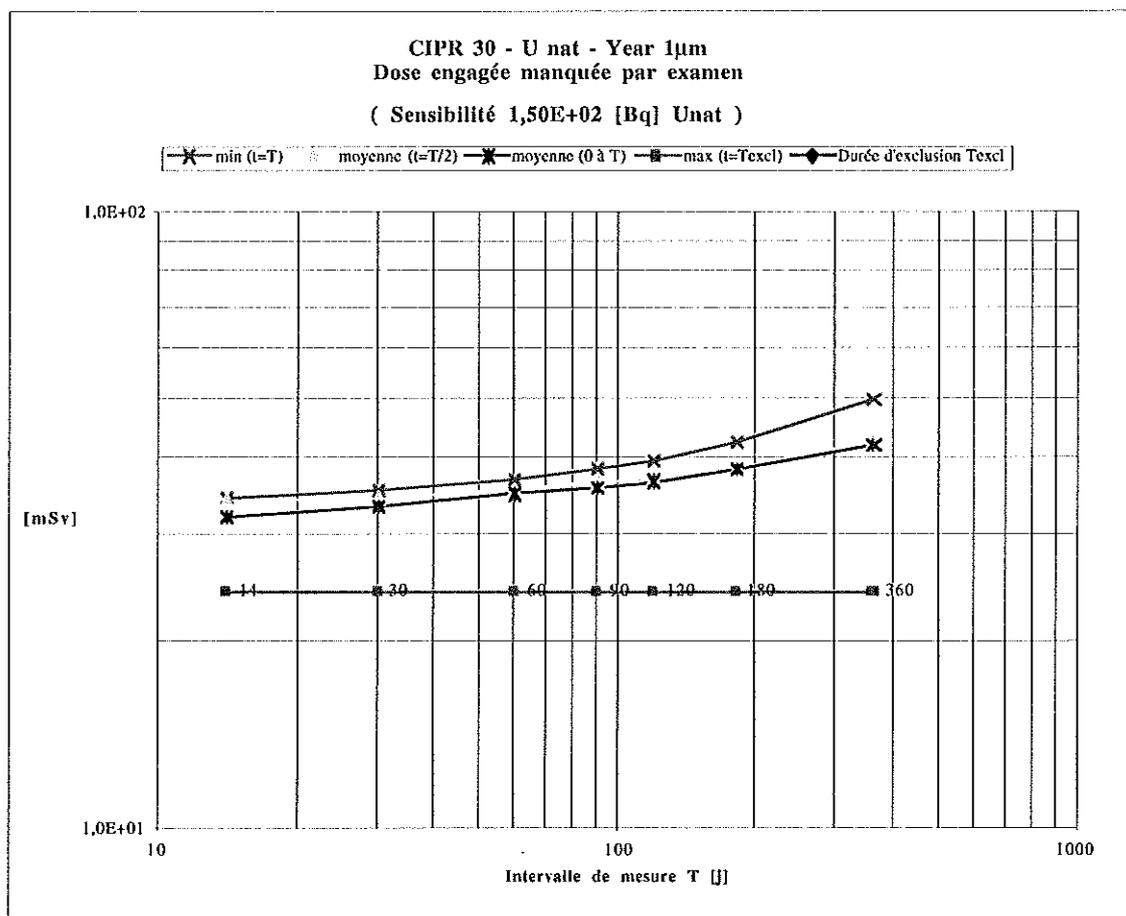


Figure 29. Dose détectable par examen ; Comptage poumons: Composé Year ; (Limite de détection = 150 Bq d'Uranium naturel)

Le tableau et la figure suivants présentent, (Tableau 27 et Figure 30), sous l'hypothèse d'une incorporation chronique, l'évolution de la dose moyenne annuelle détectable en fonction du temps écoulé depuis le début de l'incorporation.

Cette dose moyenne annuelle détectable décroît uniformément jusqu'à un plateau atteint respectivement par des composés Week et Year de 1µm à 400 et 4000 jours.

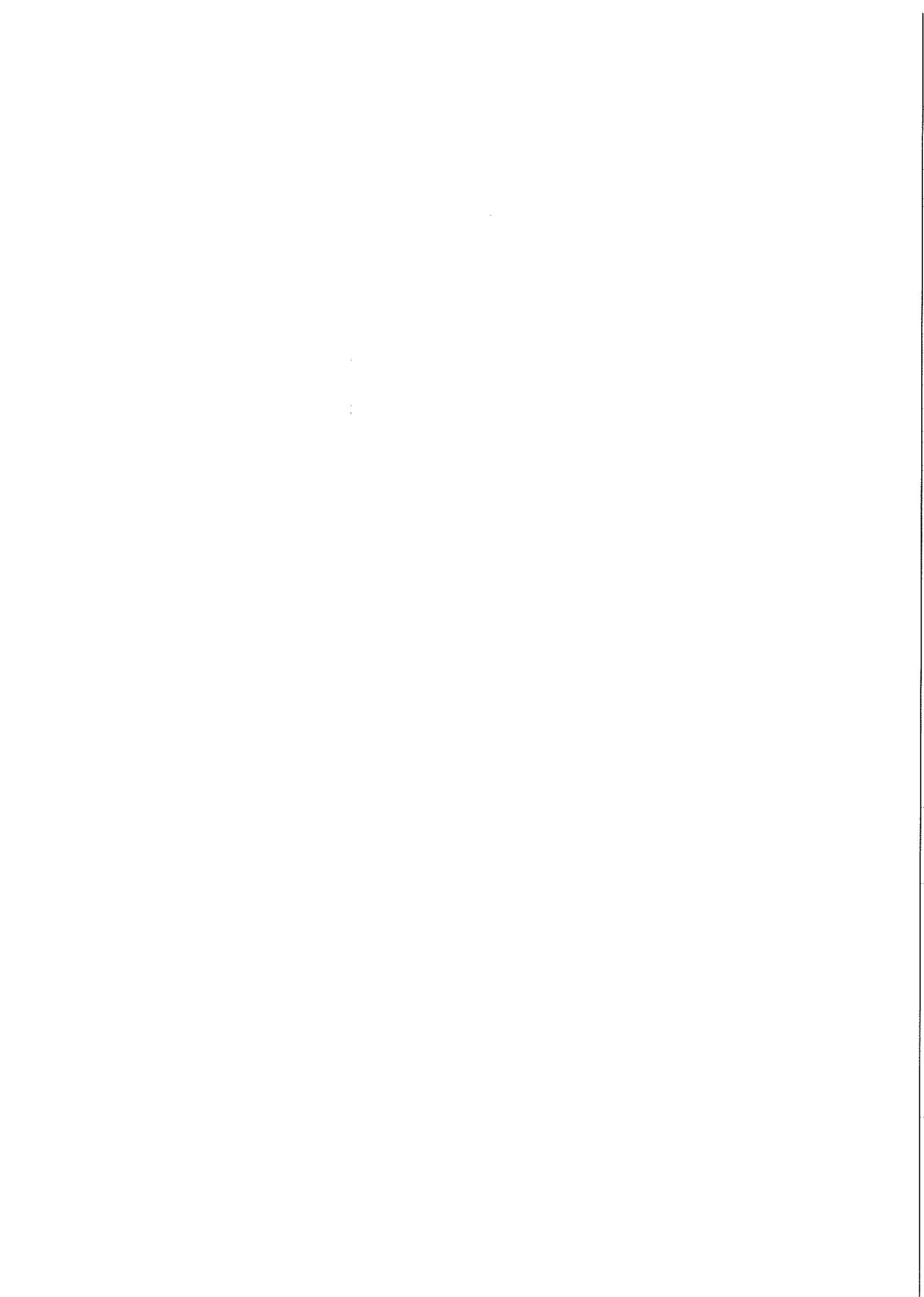
Ainsi, la mesure de rétention pulmonaire, sous l'hypothèse forte d'une exposition chronique, permet de détecter une dose engagée annuelle moyenne égale respectivement à 8,9 et 42 mSv pour une incorporation chronique de composés de classes Week et Year de 1 µm ayant débuté 1 an auparavant, et égale à 8,8 et 25 mSv pour une incorporation chronique des mêmes composés supposée avoir débuté 2 ans plus tôt.

Cette méthode d'examen permet de détecter au mieux une dose engagée annuelle moyenne égale respectivement à 8,8 et 13 mSv sous l'hypothèse extrême d'une incorporation chronique de composés de classes Week et Year de 1 µm ayant débuté 10 ans auparavant.



Tableau 27. Dose moyenne annuelle détectable; Comptage poumons - Incorporation chronique; (Limite de détection = 150 Bq d'Uranium naturel)

Sensibilité (Bq) Unat	Dose annuelle moyenne détectable	
1,50E+02		
Temps depuis début d'incorporation [j]	Week Ijm [mSv]	Year Ijm [mSv]
1	4,63E+02	8,74E+03
2	2,49E+02	4,71E+03
3	1,77E+02	3,28E+03
4	1,39E+02	2,55E+03
5	1,14E+02	2,11E+03
6	9,83E+01	1,80E+03
7	8,61E+01	1,57E+03
8	7,68E+01	1,39E+03
9	6,94E+01	1,25E+03
10	6,34E+01	1,13E+03
11	5,85E+01	1,04E+03
12	5,43E+01	9,58E+02
13	5,08E+01	8,90E+02
14	4,77E+01	8,30E+02
15	4,51E+01	7,78E+02
16	4,27E+01	7,32E+02
17	4,06E+01	6,92E+02
18	3,88E+01	6,55E+02
19	3,71E+01	6,23E+02
20	3,55E+01	5,93E+02
21	3,42E+01	5,67E+02
22	3,29E+01	5,42E+02
23	3,17E+01	5,20E+02
24	3,06E+01	4,99E+02
25	2,96E+01	4,80E+02
26	2,87E+01	4,63E+02
27	2,79E+01	4,46E+02
28	2,71E+01	4,31E+02
29	2,63E+01	4,17E+02
30	2,56E+01	4,04E+02
35	2,28E+01	3,49E+02
40	2,06E+01	3,08E+02
45	1,89E+01	2,76E+02
50	1,76E+01	2,49E+02
55	1,65E+01	2,28E+02
60	1,55E+01	2,10E+02
65	1,48E+01	1,95E+02
70	1,41E+01	1,82E+02
80	1,31E+01	1,60E+02
85	1,27E+01	1,52E+02
90	1,23E+01	1,44E+02
100	1,17E+01	1,30E+02
120	1,08E+01	1,10E+02
140	1,03E+01	9,57E+01
160	9,89E+00	8,49E+01
180	9,61E+00	7,64E+01
200	9,40E+00	6,96E+01
240	9,15E+00	5,93E+01
260	9,06E+00	5,53E+01
280	8,99E+00	5,19E+01
300	8,93E+00	4,89E+01
360	8,85E+00	4,20E+01
400	8,82E+00	3,85E+01
500	8,79E+00	3,24E+01
600	8,78E+00	2,82E+01
700	8,78E+00	2,53E+01
720	8,78E+00	2,47E+01
1000	8,78E+00	2,02E+01
1080	8,78E+00	1,93E+01
1440	8,78E+00	1,68E+01
1800	8,78E+00	1,53E+01
2000	8,78E+00	1,47E+01
2160	8,78E+00	1,43E+01
2520	8,78E+00	1,37E+01
2880	8,78E+00	1,33E+01
3000	8,78E+00	1,32E+01
3240	8,78E+00	1,30E+01
3600	8,78E+00	1,28E+01
3960	8,78E+00	1,26E+01
4000	8,78E+00	1,26E+01
4320	8,78E+00	1,25E+01
4680	8,78E+00	1,25E+01
5000	8,78E+00	1,24E+01



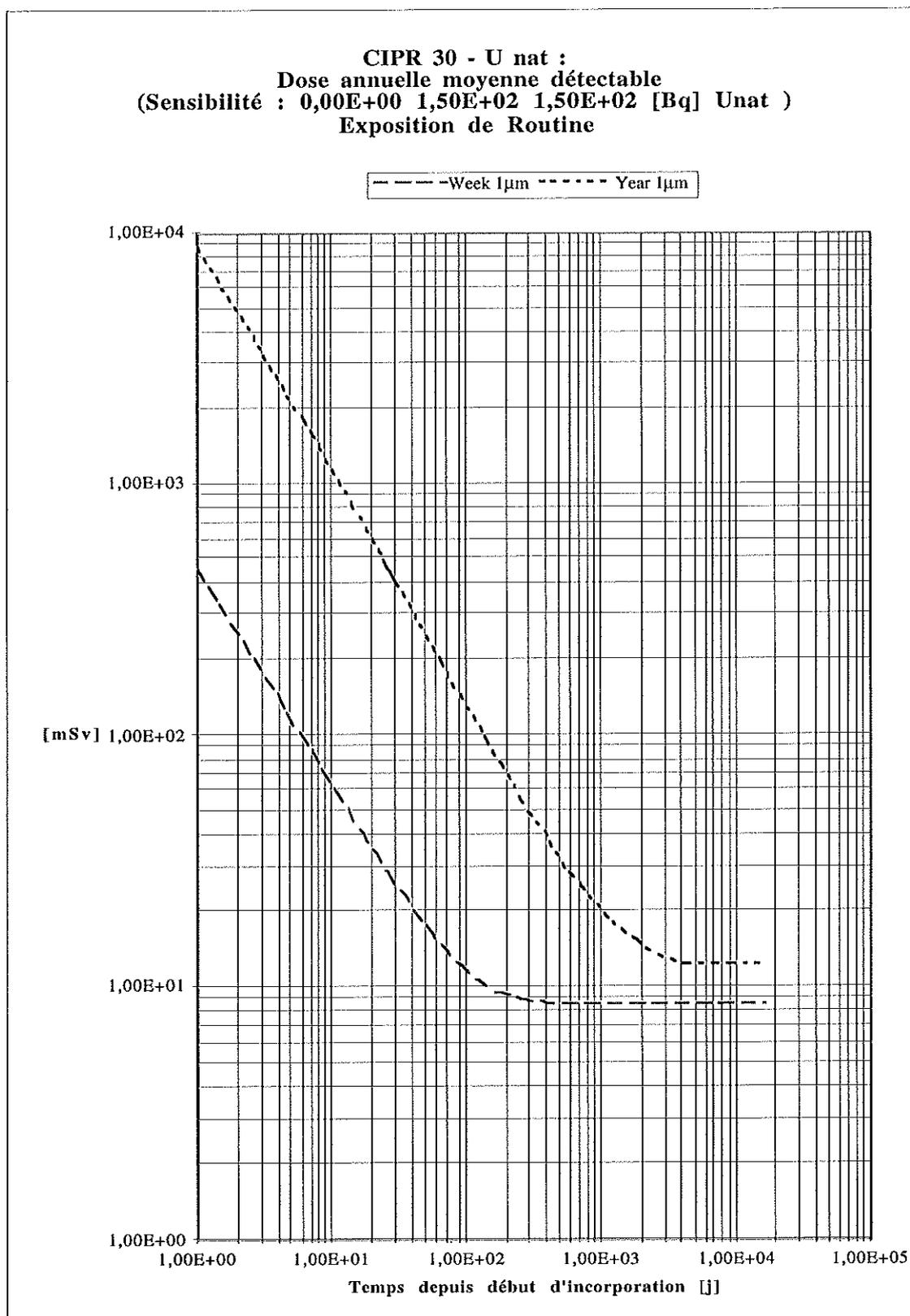
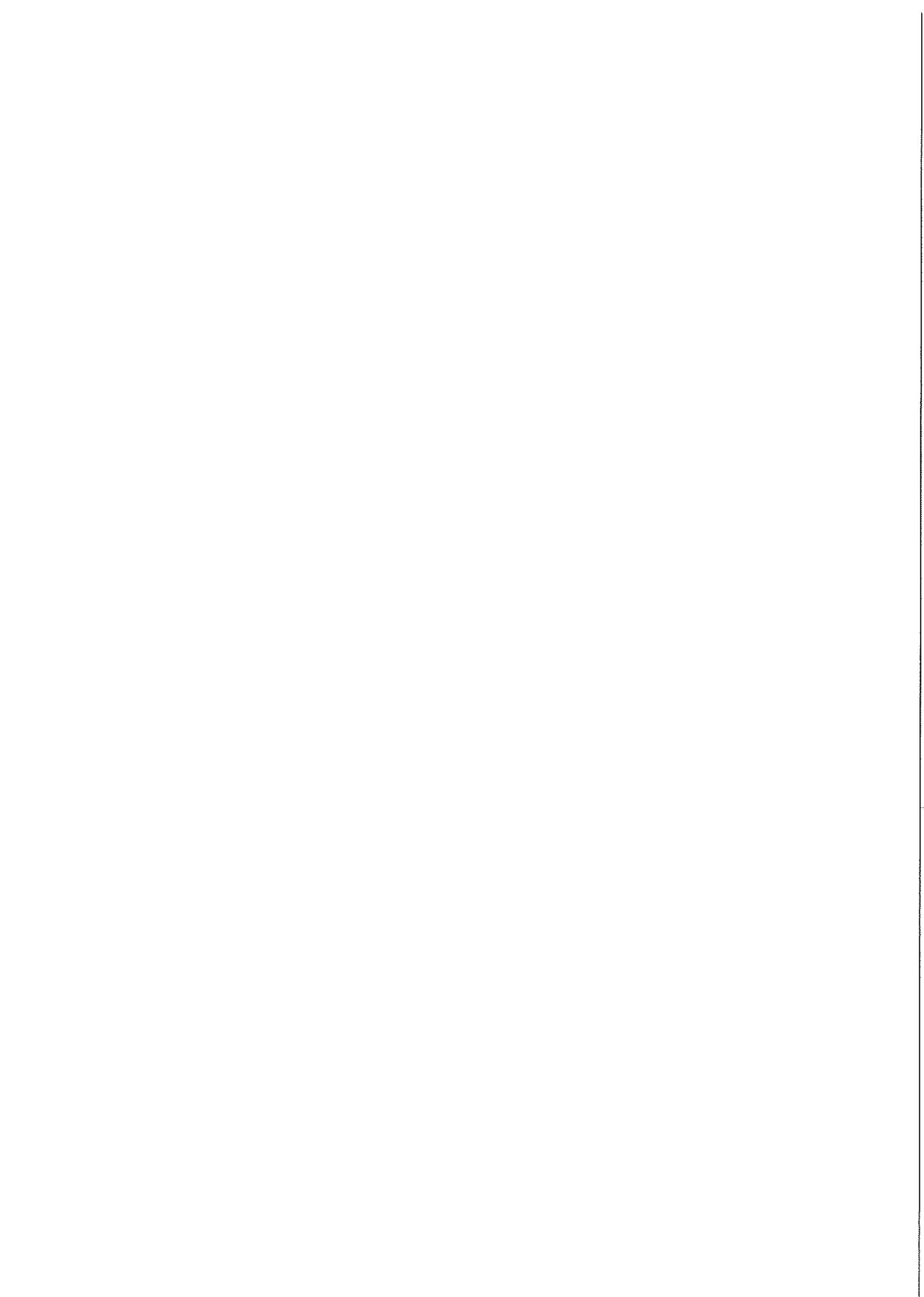


Figure 30. Dose moyenne annuelle détectable; Comptage poumons - Incorporation chronique; (Limite de détection = 150 Bq d'Uranium naturel)



6.4. Comptages Corps Entier

La Figure 31 présente de façon schématique la séquence des modèles qui doivent être utilisés pour permettre l'interprétation en termes de dose efficace engagée des mesures d'activité corps-entier.

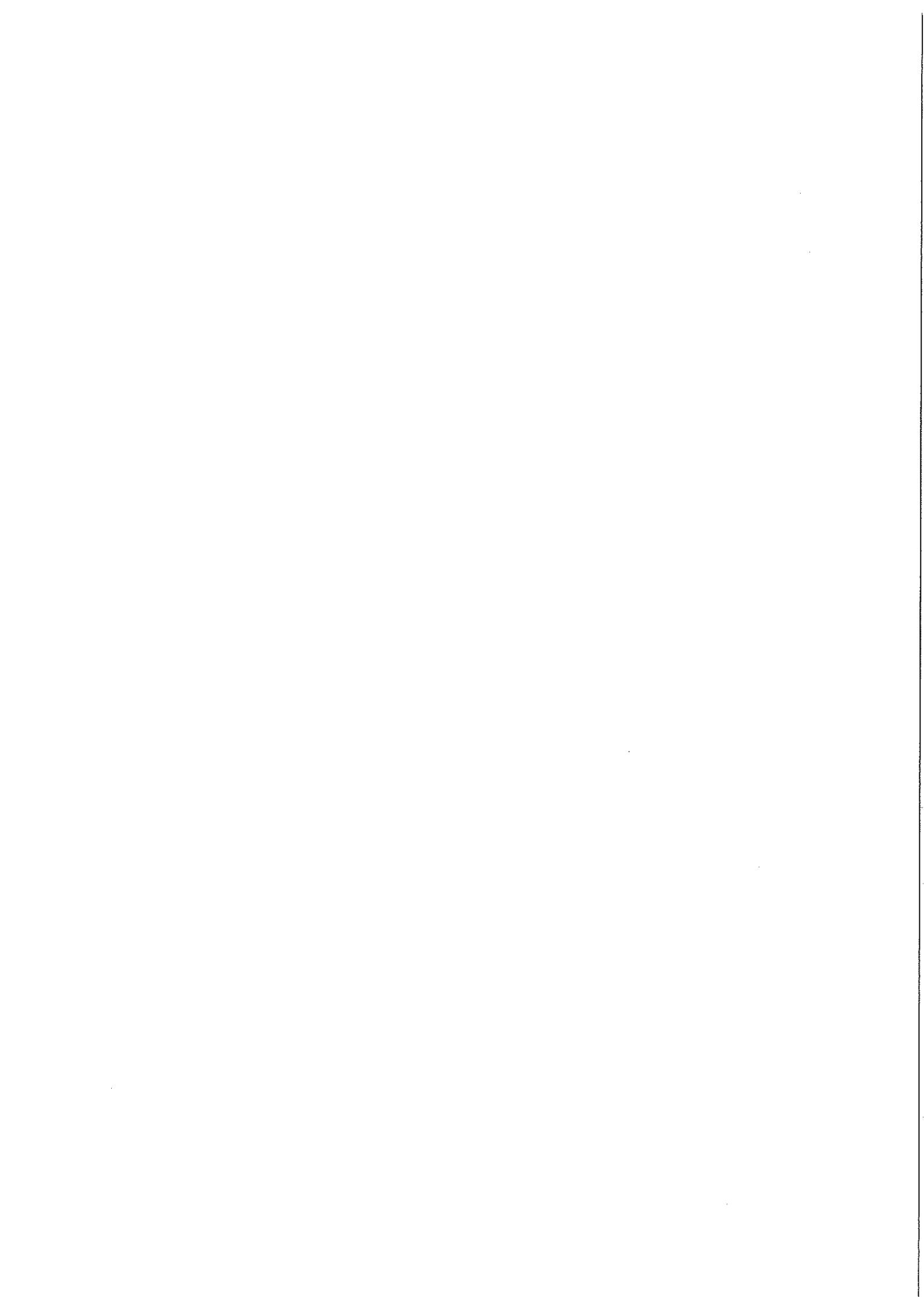
On peut noter que la totalité du modèle Dosimétrique d'inhalation comprenant, dans l'ordre, les sous-modèles Pulmonaires et Digestifs, le sous-modèle Biocinétique, le sous-modèle d'Irradiation et le sous-modèle de Pondération est utilisée, et que la plupart de ses sous-modèles (sous-modèles Pulmonaires, Digestifs et Biocinétiques) sont utilisés deux fois, dans un sens, puis dans l'autre.

En effet, l'évaluation de la dose efficace engagée s'effectue en deux temps et consiste à déterminer tout d'abord l'activité inhalée sur la base de l'activité mesurée dans le corps entier, puis à déterminer la dose efficace engagée sur la base de l'activité inhalée.

Dans un premier temps, l'application successive des sous-modèles biocinétiques, digestifs et respiratoires permet de déterminer l'activité inhalée correspondant à l'activité excrétée mesurée.

Dans un deuxième temps, l'application de facteurs de dose permet de passer directement de l'activité inhalée à la dose efficace engagée, en appliquant cette fois-ci l'ensemble des sous-modèles dosimétriques.

On notera qu'aucune hypothèse de débit respiratoire n'est nécessaire et que l'essentiel de l'incertitude associée à l'estimation réside dans l'utilisation du modèle dosimétrique dont l'ensemble des sous-modèles digestifs, respiratoires et biocinétiques sont utilisés par deux fois.



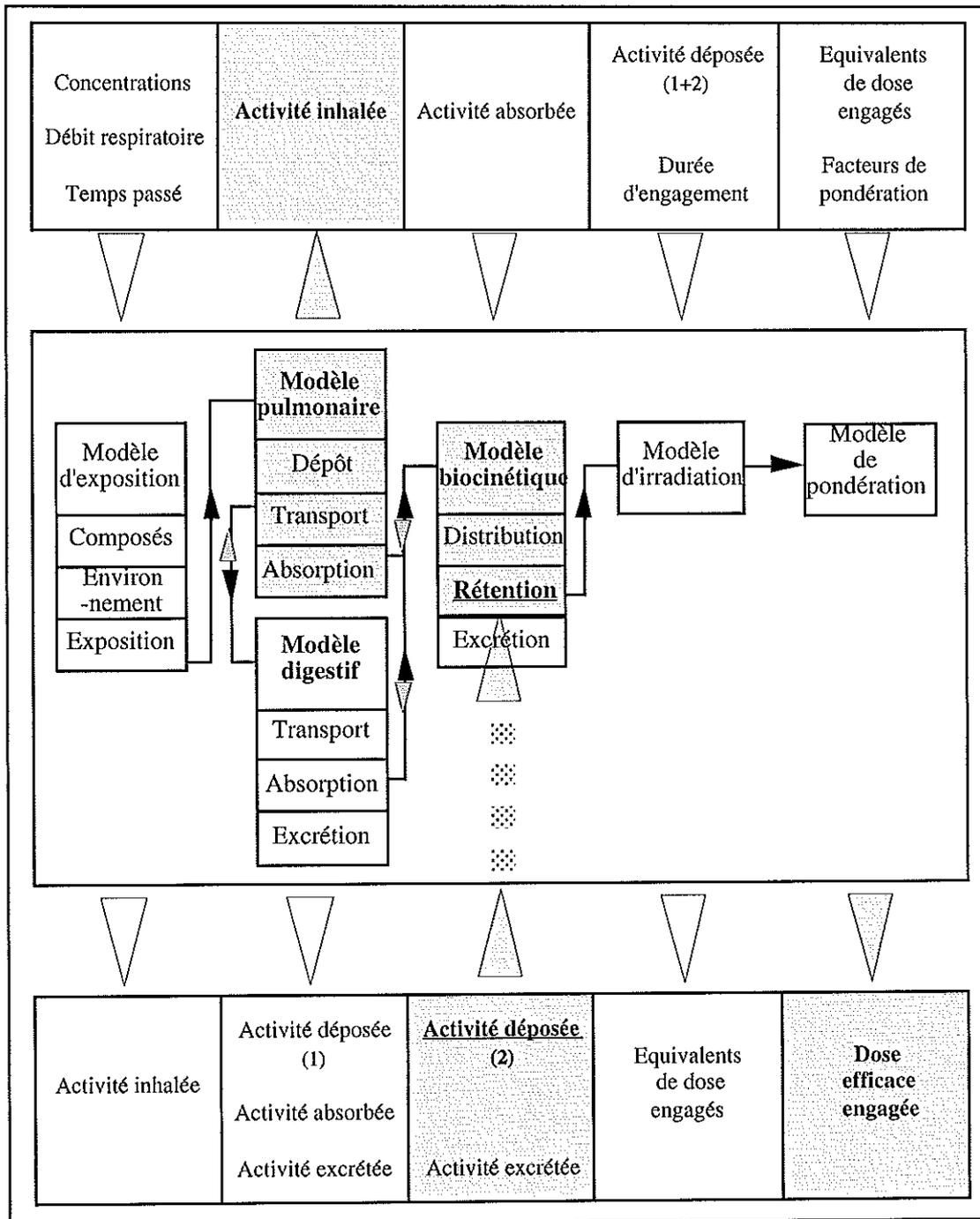
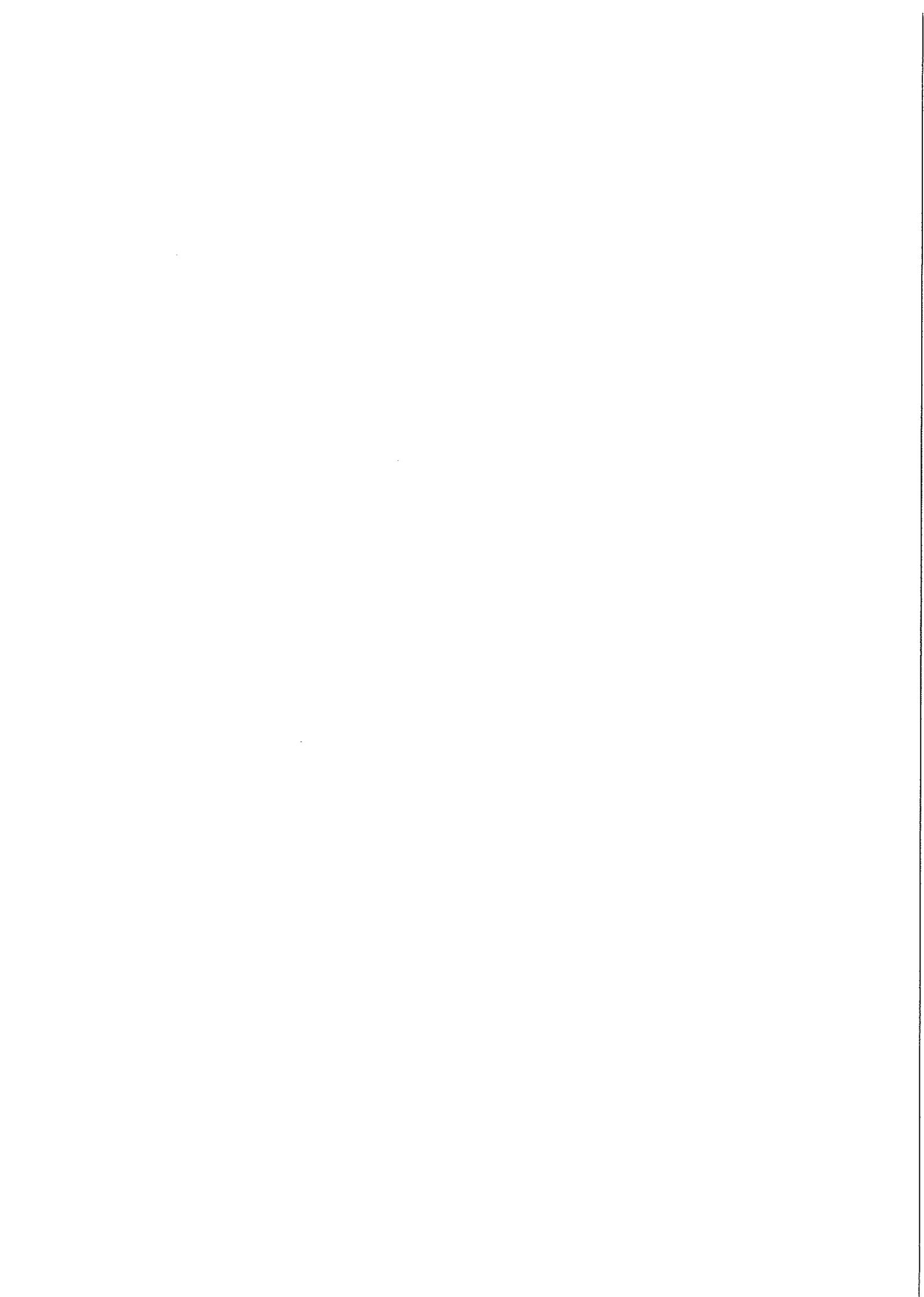


Figure 31. Modèles utilisés pour le calcul des doses internes par mesure d'activité corps-entier







7. CONCLUSION

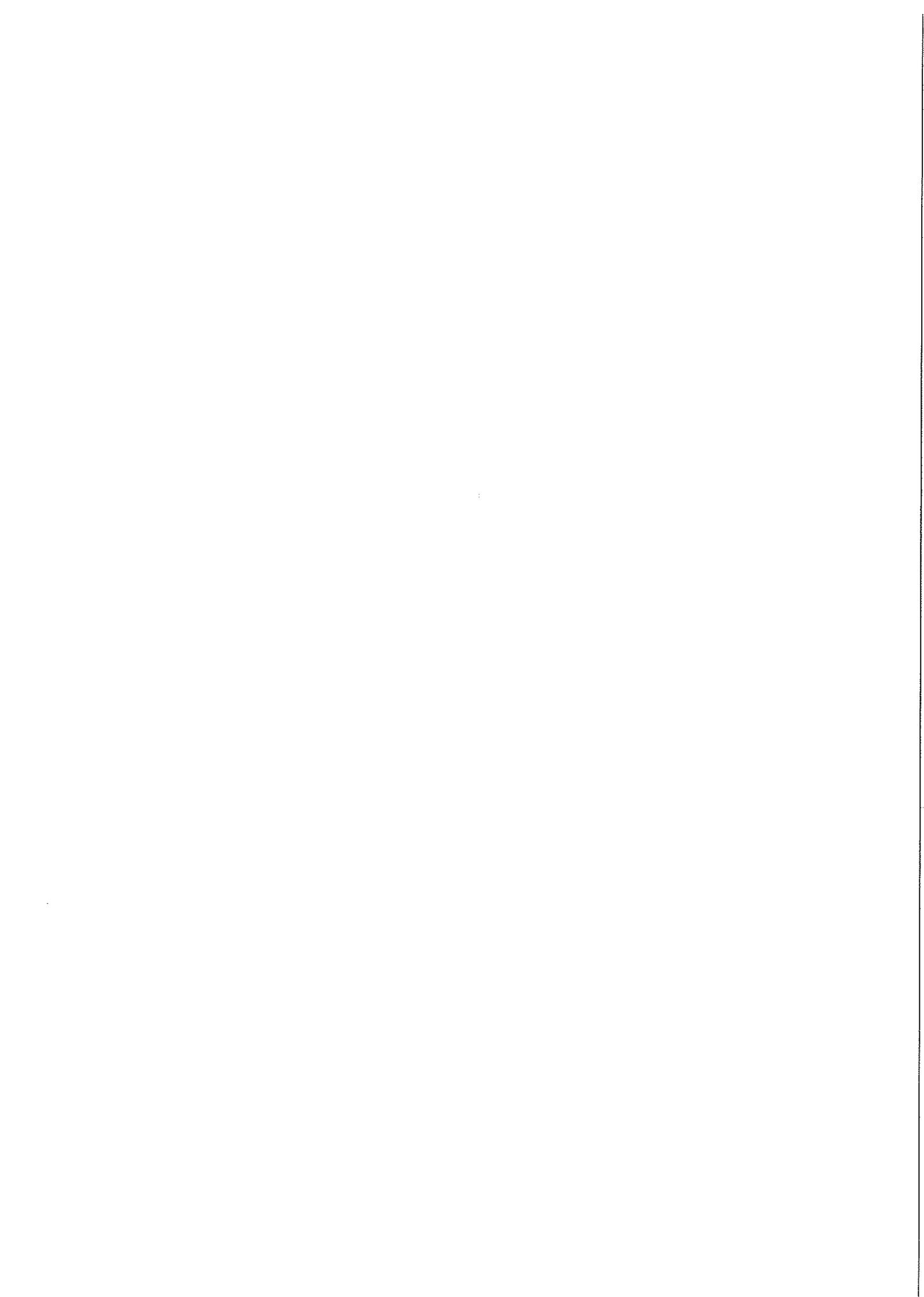
L'analyse des principales publications de la CIPR a permis de constater que l'ensemble des stratégies de surveillance collectives ou individuelles de la contamination interne est essentiellement tourné vers la vérification du respect des limites de dose individuelle et le contrôle du bon fonctionnement des installations.

L'étude des réglementations Françaises, Helvétiques et des Etats-Unis a permis de mettre en évidence que ces réglementations restent basées sur des modèles dosimétriques anciens, dont les estimations peuvent différer notablement de celles qui pourraient être réalisées à l'aide de modèles dosimétriques plus récents, tels que le nouveau modèle pulmonaire de la CIPR. On notera l'intérêt particulier d'approches réglementaires telles que celles de la Suisse, qui propose des fiches de surveillance décrivant les méthodes (moyens et périodicité) de mesure adaptés aux principaux composés, ou des Etats-Unis, qui explicitent au travers de notes techniques les méthodes de mesure et d'estimation dosimétrique pouvant être utilisés.

L'analyse de l'enchaînement des modèles nécessaires aux estimations dosimétriques réalisées à partir des moyens de surveillance considérés (appareils de prélèvement d'air d'ambiance ou individuels, examens biologiques fécaux, urinaires, et anthropogammamétries) a permis de caractériser les principales sources d'incertitude rencontrées lors de l'estimation des doses individuelles.

Pour les appareils de prélèvement d'air ambiant, il est nécessaire de disposer non seulement de mesures de concentration atmosphérique représentatives de l'air inhalé, mais aussi d'estimations du débit respiratoire et du temps passé par les travailleurs aux différents postes de travail. Ces exigences constituent un point faible de ce moyen de surveillance. Pour les appareils de prélèvement d'air individuel, l'incertitude associée aux estimations dosimétriques est bien plus faible dès lors que le point de prélèvement est bien situé et le débit de prélèvement suffisamment important.

En ce qui concerne les examens urinaires et les comptages d'activité pulmonaire, si l'essentiel de l'incertitude réside dans la détermination d'un profil temporel d'exposition réaliste, une fréquence de mesure élevée, ainsi que la prise en compte (pour les composés les moins solubles) de l'activité inhalée au cours des intervalles de mesure précédents, permet d'augmenter le réalisme de l'estimation. On notera toutefois, dans le cas des

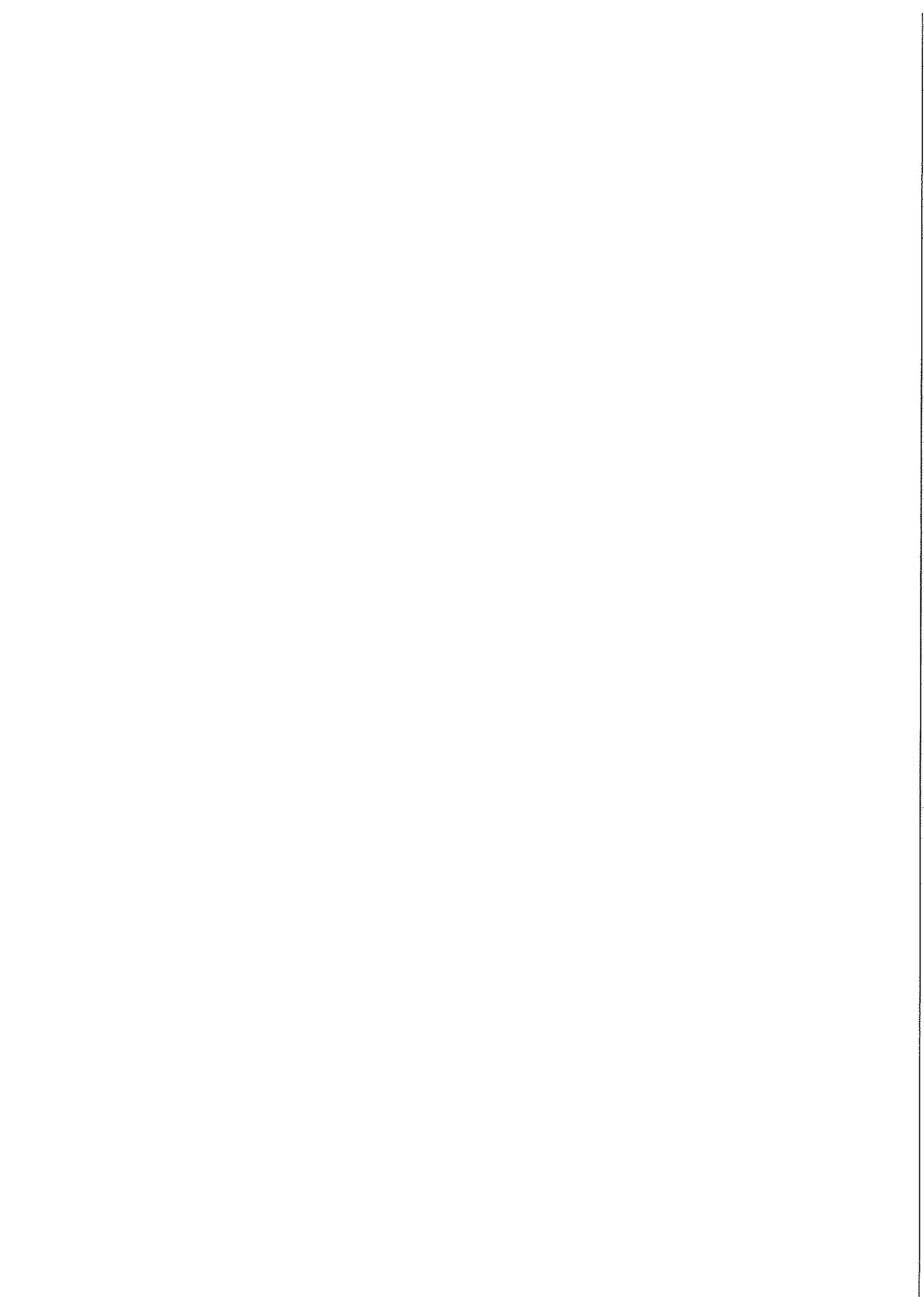


examens urinaires, l'importance de l'incertitude associée à la fonction d'excrétion urinaire systémique et au manque de représentativité des échantillons prélevés.

Les fonctions d'interprétation fournissant directement la dose engagée en fonction du résultat d'examen ont été déterminées à partir des fonctions de rétention et d'excrétion et des facteurs de dose des publications 30 et 54 de la CIPR, pour des expositions isolées ou chroniques à des composés d'uranium naturel de diverses solubilités.

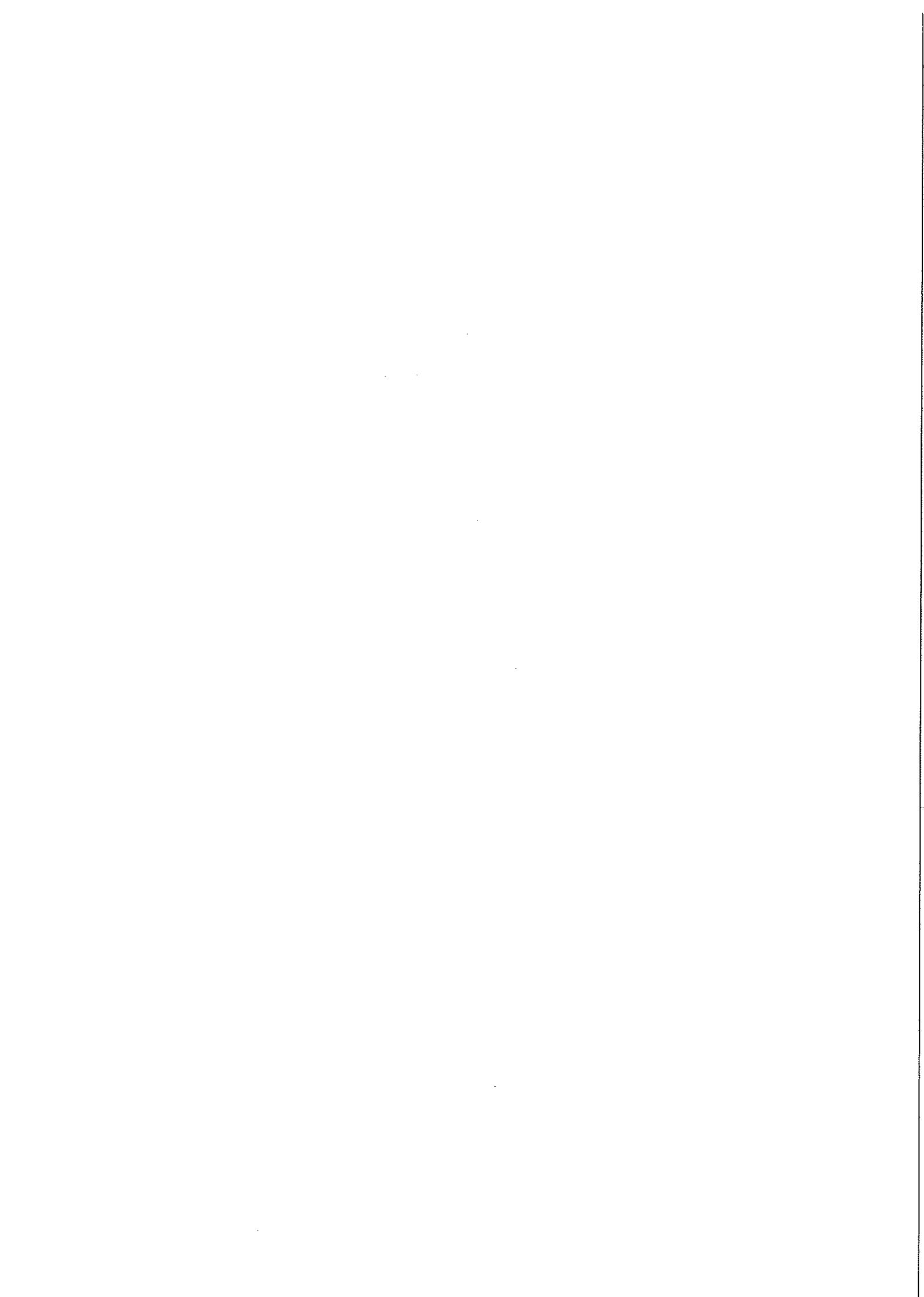
L'application de ces fonctions d'interprétation aux limites de détection des examens urinaires et des comptages d'activité pulmonaire a permis de calculer la dose détectable par examen dans le cas d'une exposition isolée et la dose annuelle moyenne détectable en cas d'exposition chronique. Dans le cas d'une exposition isolée, la variation avec la périodicité des examens de la dose détectable a été de plus étudiée, ainsi que celle de la durée d'exclusion permettant de limiter à un facteur trois l'incertitude associée à l'estimation de l'instant d'incorporation. Ainsi, la comparaison des doses détectables avec les limites de dose individuelle annuelle a permis de montrer que seuls les examens urinaires les plus sensibles permettent d'obtenir une sensibilité suffisante pour les composés les plus insolubles.

Cette première analyse permet de conclure que l'optimisation de la protection dans le cas des expositions internes par inhalation ne pourra être réalisée que par la mise en oeuvre simultanée de moyens de mesure complémentaires. On notera toutefois l'intérêt que présenterait la reprise de l'évaluation quantitative réalisée pour les examens urinaires et pulmonaires à l'aide des modèles dosimétriques de la CIPR les plus récents, ainsi que son extension aux moyens de surveillance de l'air ambiant et individuel.

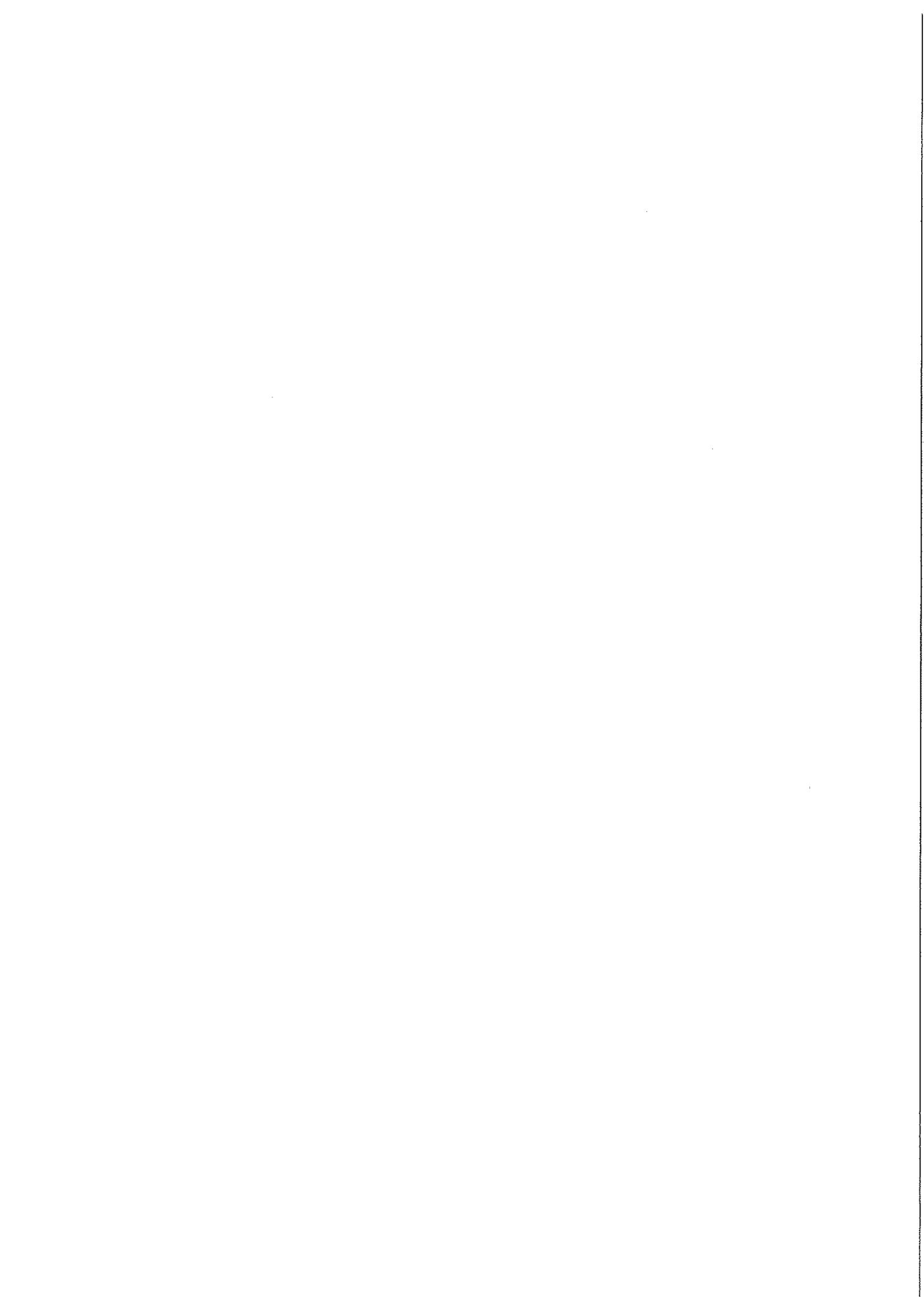


REFERENCES

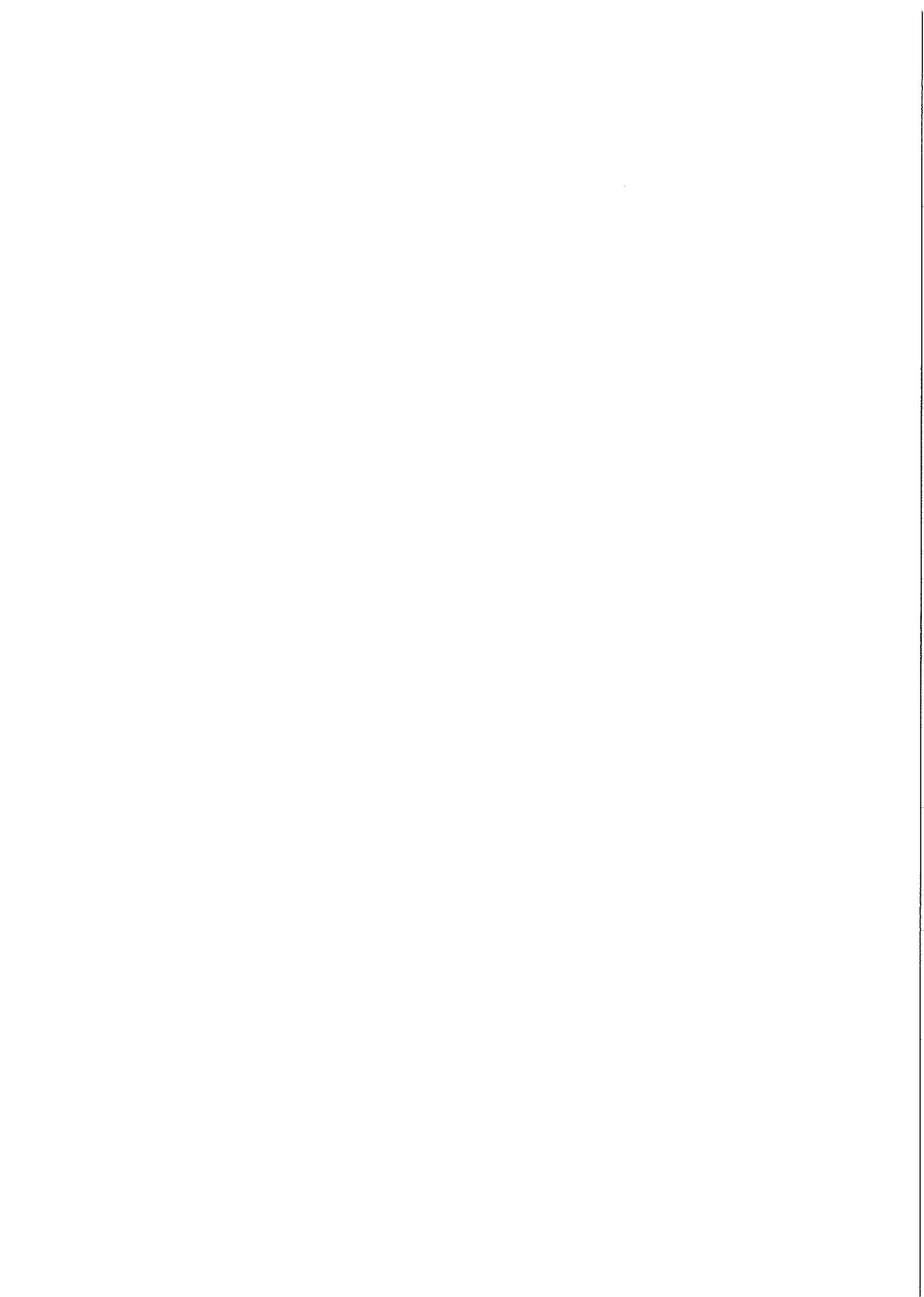
- [1] ROY M., **Dosimetry of the respiratory tract, IRPA9, Proceedings of the international congress on radiation protection, April 14-19 1996, Vienna, Austria, 1996.**
- [2] CIPR 69, **Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 3 Ingestion Dose Coefficients, Publication 69, Pergamon Press, Oxford, 1995.**
- [3] TOOHEY R.E., **Internal dosimetry and contamination control, Radiation protection at nuclear reactors, Health Physics Society 1995 Summer School, Medical Physics Publishing, Madison, Wisconsin, 1995.**
- [4] HENGE-NAPOLI M.H., ANSOBORLO E., **The biokinetics of uranium aerosol formed in a new laser enrichment process: implications for human exposure, Radiation dose management in the nuclear industry, Proceedings of the conference organised by the British Nuclear Energy Society, 9-11 October 1995, Windermere, Cumbria, 1995.**
- [5] GIBERT B., **Méthode et sensibilité des analyses d'uranium urinaire, communication personnelle, 1995.**
- [6] CIPR 68, **Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers, Publication 68, Replacement of ICRP Publication 61, Pergamon Press, Oxford, 1994.**
- [7] CIPR 66, **Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, Publication 66, Pergamon Press, Oxford, 1994.**
- [8] **Loi sur la radioprotection du 22 mars 1991 (LRaP), Assemblée fédérale de la Confédération Suisse, RO 1994.**
- [9] **Ordonnance sur la radioprotection du 22 juin 1994 (ORaP), Conseil Fédéral de Suisse, RO 1994.**
- [10] **Proposition de réglementation pour la dosimétrie individuelle en cas d'incorporation, Commission fédérale de la protection contre les radiations, Séance de la CFR du 14 juin 1994, Groupe d'experts pour la dosimétrie individuelle, 1994.**
- [11] LABONE T. R., **The Perfect Internal Dosimetry Code, Internal Radiation Dosimetry, pages 585-594, Raabe, O.G., Ed. (Medical Physics Publishing, Madison, Wisconsin), 1994.**
- [12] CIPR 67, **Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2 Ingestion Dose Coefficients, Publication 67, Pergamon Press, Oxford, 1993.**
- [13] BAILEY M.R., **The new ICRP model for the respiratory tract, Intakes of radionuclides : Detection, assessment and limitation of occupational exposure, 13-17 September 1993, Bath, England, 1993.**



- [14] JARVIS N.S., BIRCHALL A., LUDEP 1.0, **A personal computer program to implement the new ICRP respiratory tract model**, Intakes of Radionuclides : Detection, Assessment and Limitation of Occupational Exposure, 13-17 September 1993, Bath, England, 1993.
- [15] NRC 8.9, **Acceptable concepts, models, equations, and assumptions for a bioassay program**, Regulatory guide 8.9, revision 1, U.S Nuclear Regulatory Commission, 1993.
- [16] **Protection contre les rayonnements ionisants**, Textes législatifs et réglementaires, Journal officiel de la république française, Février 1992.
- [17] CIPR 60, **1990 Recommendations of the International Commission of Radiological Protection**, Publication 60, Pergamon Press, Oxford, 1991.
- [18] NRC 10CFR20, **Standards for Protection Against Radiation**, Nuclear Regulatory Commission, 1991.
- [19] CIPR 61, **Annual limits on intake of radionuclides by workers based on the 1990 Recommendations**, Publication 61, Pergamon Press, Oxford, 1990. (*Replaced by ICRP Publication 68*).
- [20] CIPR 56, **Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 1**, Publication 56, Pergamon Press, Oxford, 1989.
- [21] CIPR 54, **Individual Monitoring for Intakes of Radionuclides by Workers: Design and Interpretation**, Publication 54, Pergamon Press, Oxford, 1988.
- [22] CIPR 50, **Lung Cancer Risk from Indoor Exposures to Radon Daughters**, Publication 50, Pergamon Press, Oxford, 1987.
- [23] CIPR 35, **1982 General Principles of Monitoring for Radiation Protection of Workers**, Publication 35, Pergamon Press, Oxford, 1982.
- [24] CIPR 30, **Limits for Intakes of Radionuclides by Workers**, Publication 30 Part 1, Pergamon Press, Oxford, 1979.
- [25] CIPR 26, **Recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique**, Publication 26, Pergamon Press, Oxford, 1977.
- [26] CIPR 23, **Report of the Task Group on Reference Man**, Publication 23, Pergamon Press, Oxford, 1972.
- [27] STOKELL P.J. et al., **ALARA From theory towards practice**, Commission of the European Communities, Report EUR 13796 EN, 1991.
- [28] NRC 8.34, **Monitoring criteria and methods to calculate occupational radiation doses**, Regulatory guide 8.34, U.S Nuclear Regulatory Commission, 1992.



- [29] BERARD P., **Description et intérêt des mesures anthropogammamétriques**, IPSN/DPS/SHI, RP-87-122, 1987.
- [30] CIPR 38, **Radionuclide Transformations: Energy and Intensity of Emissions**, Publication 38, Pergamon Press, Oxford, 1983.
- [31] RSIC 1989, **Radiation Shielding Information Center (RSIC)**, Oak Ridge, Tennessee, Oak Ridge National Laboratory, 1989.
- [32] CRISTY M., ECKERMAN K.F., **Specific fractions of energy at various ages from internal photon sources. VII Adult male**, ORNL/TM-8381/V7, Oak Ridge, Tennessee, Oak Ridge National Laboratory, 1989.
- [33] CURRIE L. A., **Limits for qualitative detection and quantitative determination. Application to radiochemistry**. Analytical chemistry, 40 (3) 586-593, 1968.

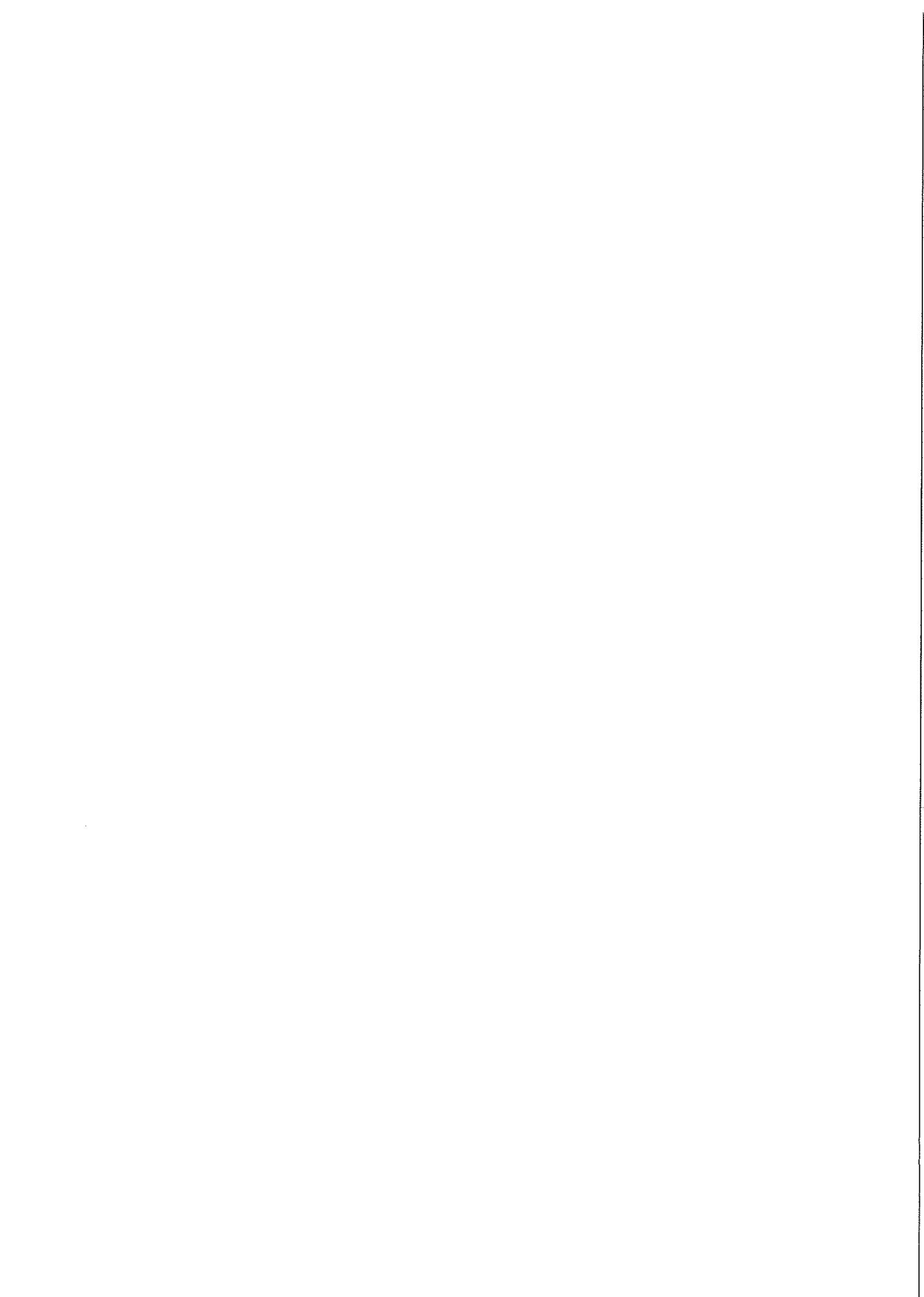






ANNEXE

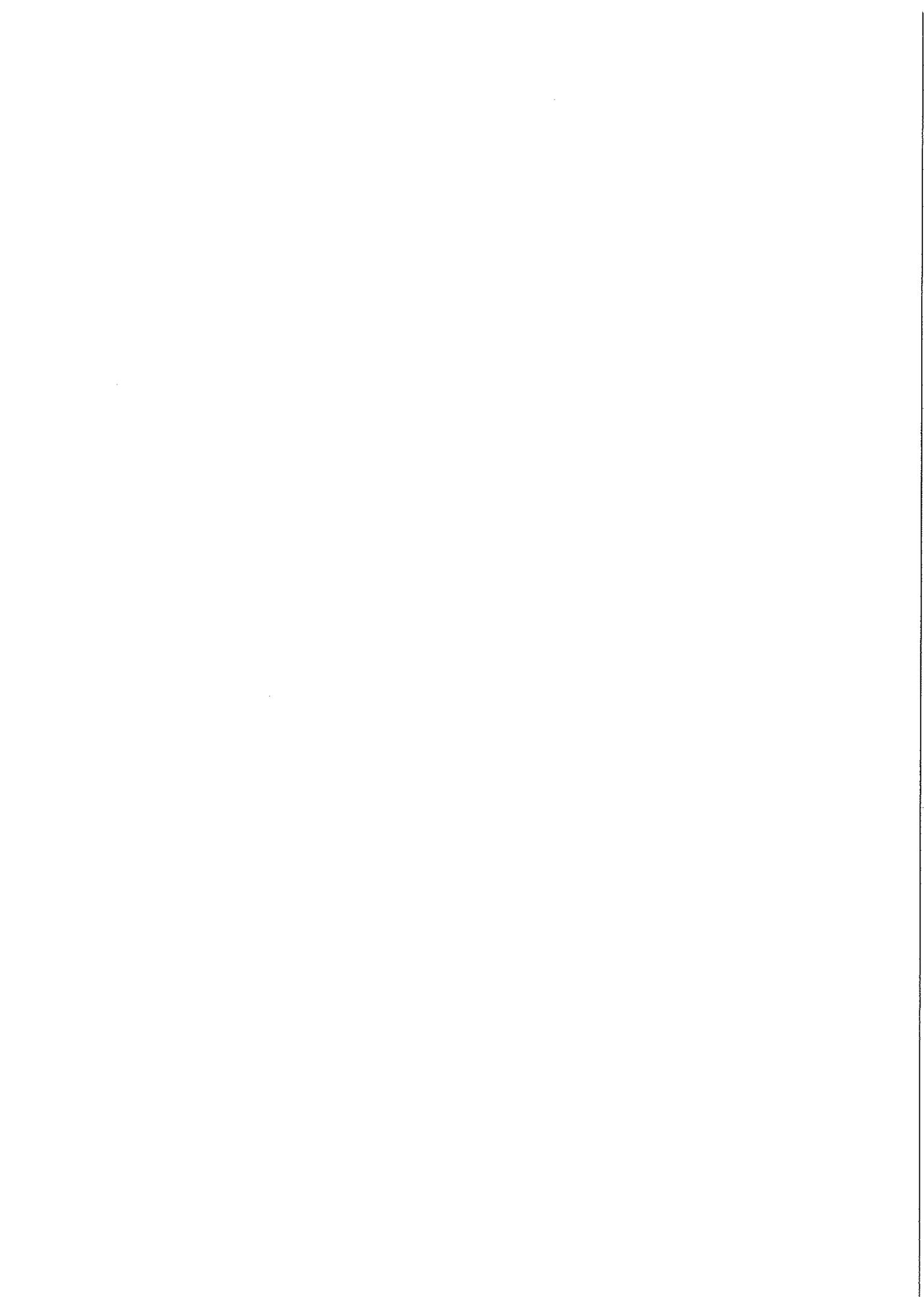
**PRINCIPES ET STRATEGIES DE SURVEILLANCE EXPOSES
DANS LES PRINCIPALES REGLEMENTATIONS**





SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION	1
2.	LA REGLEMENTATION FRANÇAISE	1
2.1	Résumé	1
2.1.1	Décret n°66-450 du 20 juin 1966	1
2.1.2	Décret n°86-1103 du 2 octobre 1986	1
2.1.3	Arrêté du 1er juin 1990 (Annexe 1)	2
2.1.4	Recommandations aux médecins	2
2.2	Principes généraux de protection contre les rayonnements ionisants (toutes installations)	2
2.2.1	Classement des travailleurs	3
2.2.2	Principes généraux de protection et de surveillance	3
2.3	Protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants (hors installations nucléaires)	4
2.4	Méthodes de contrôle relatives à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants (hors installations nucléaires)	5
2.4.1	Appareils de mesure et techniques à mettre en oeuvre	5
2.4.2	Délimitation de la zone contrôlée pour les installations fixes	6
2.4.3	Contrôles d'ambiance	7
2.5	Recommandations aux médecins exerçant la surveillance médicale des travailleurs exposés aux rayonnement ionisants	8
2.5.1	Limites d'exposition professionnelle	8
2.5.2	Classification des travailleurs exposés	9
2.5.3	Organisation de la radioprotection	9
2.5.4	Information	9
2.5.5	Surveillance systématique de l'exposition individuelle	10
3.	LA REGLEMENTATION HELVETIQUE	13
3.1	Résumé	13
3.1.1	Ordonnance du 22 juin 1994	13
3.1.2	Proposition de réglementation sur la dosimétrie individuelle	13
3.2	Loi sur la radioprotection	14
3.3	Ordonnance sur la radioprotection	14
3.3.1	Détermination de la dose de rayonnement (dosimétrie)	14
3.3.2	Déclarations du service de dosimétrie individuelle	15
3.3.3	Dispositions techniques	15
3.4	Proposition de réglementation de la dosimétrie individuelle	16
3.4.1	Utilisation des modèles dosimétriques	16



3.4.2	Identification des travailleurs devant faire l'objet d'une surveillance individuelle de la contamination interne	16
3.4.3	Méthodes de surveillance	17
3.4.4	Procédures de mesure	17
3.4.5	Intervalles de surveillance	17
3.4.6	Estimation des doses	18
3.4.7	Investigation des incorporations importantes	19
3.4.8	Documentation, valeurs de seuil et mesures à prendre	20
3.4.9	Recommandations pour la surveillance de l'incorporation d'uranium	20
4.	LA REGLEMENTATION DES ETATS-UNIS	21
4.1	Résumé	21
4.1.1	Guide NRC 8,34	21
4.1.2	Guide NRC 8,9	21
4.1.3	Guide NRC 8,25	22
4.2	Critères de surveillance et méthodes pour les calcul des doses dues à l'irradiation professionnelle	22
4.2.1	Critères de surveillance	23
4.2.2	Calcul de l'équivalent de dose engagée par inhalation	24
4.2.3	Enregistrement des résultats de la surveillance individuelle	25
4.3	Concepts, modèles, équations, et hypothèses acceptables pour un programme d'examens biologiques.	25
4.3.1	Disponibilité des services d'examens biologiques	26
4.3.2	Fréquence des examens biologiques obligatoires	27
4.3.3	Niveaux de référence pour l'estimation des incorporations	27
	4.3.3.1 Niveau d'évaluation	28
	4.3.3.2 Niveau d'investigation	28
4.3.4	Types de mesures	29
4.4	Prélèvements d'air sur les lieux de travail	29
4.4.1	Evaluation de la nécessité des prélèvements d'air	30
	4.4.1.1 Incorporations et concentrations attendues	30
	4.4.1.2 Prélèvement d'échantillons ou surveillance de l'air continue	31
	4.4.1.3 Utilisation d'équipements de protection respiratoire	31
	4.4.1.4 Analyse rapide de certains échantillons	31
	4.4.1.5 Surveillance d'air continue	32
	4.4.1.6 Détermination des incorporations par prélèvements d'air ou examens biologiques	32
	4.4.1.7 Substituts aux prélèvements d'air	32
4.4.2	Emplacement des échantillonneurs d'air	33
	4.4.2.1 Objectifs des mesures	33
	4.4.2.2 Détermination des écoulements d'air	33
	4.4.2.3 Sélection des emplacements d'échantillonneurs	34
4.4.3	Démonstration que les prélèvements d'air sont représentatifs de l'air inhalé	34
	4.4.3.1 Nécessité de démontrer que l'air échantillonné est représentatif de l'air de la zone respiratoire	35
	4.4.3.2 Démonstration de la représentativité de l'air échantillonné	35
	4.4.3.3 Actions correctrices en cas de non représentativité des résultats d'échantillonnage	37
	REFERENCES	39



1. INTRODUCTION

Les recommandations de la CIPR sont reprises de manière plus ou moins élaborée par les réglementations nationales. Cette annexe présente, à titre d'exemple, une description des principes et stratégies de surveillance proposés dans les réglementations françaises, helvétiques, et des Etats-Unis.

2. LA REGLEMENTATION FRANÇAISE

2.1 Résumé

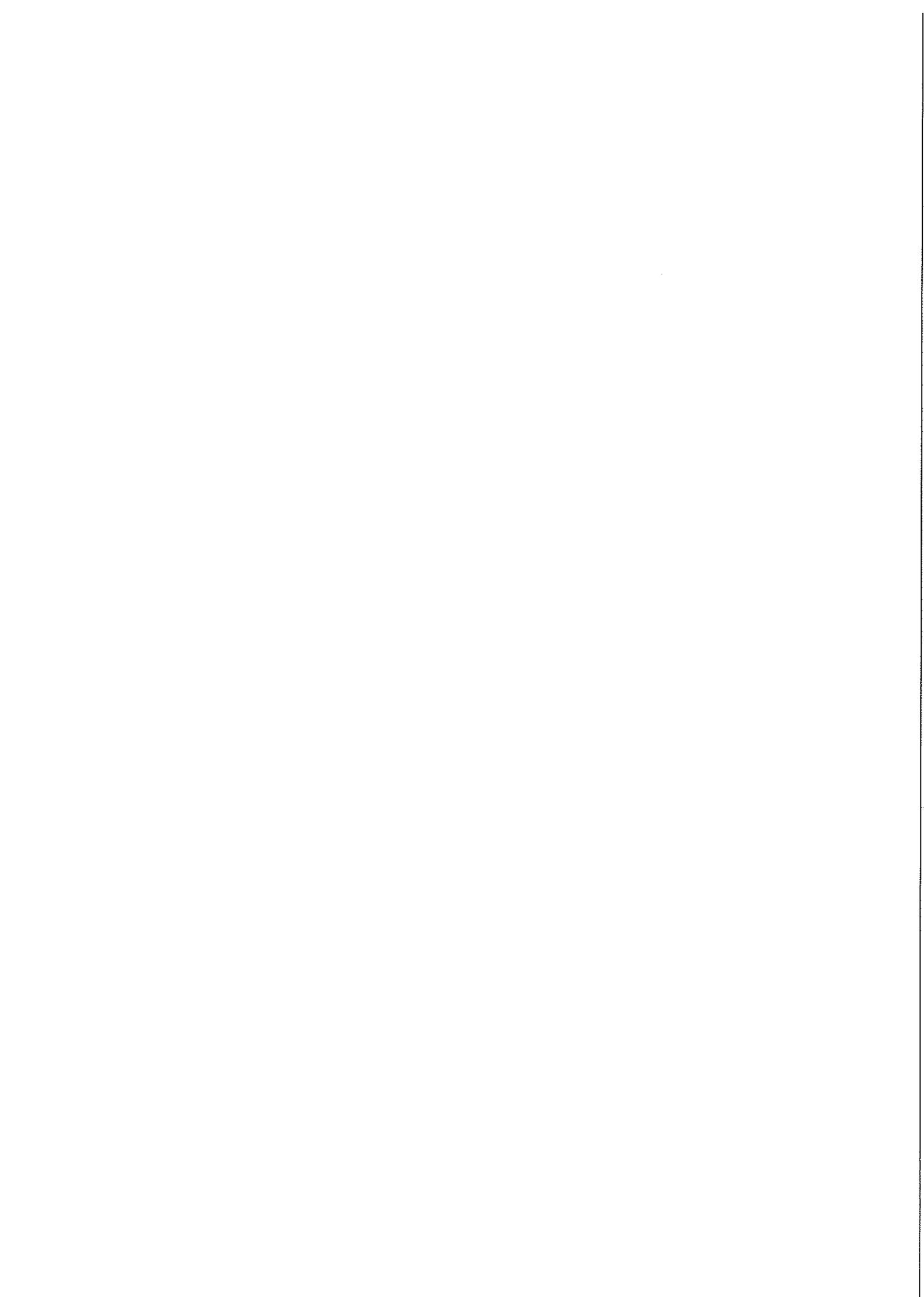
La réglementation française s'appuie essentiellement sur les décrets n°66-450 et 86-1103 du 20 juin 1966 et du 2 octobre 1986, de l'arrêté du 1er juin 1990 (Annexe 1), et des recommandations adressées aux médecins.

2.1.1 Décret n°66-450 du 20 juin 1966

Le décret n°66-450 du 20 juin 1966 expose les principes généraux de protection des travailleurs contre les rayonnements ionisants qui s'appliquent à toute activité impliquant une exposition à des rayonnements ionisants. Ce décret définit la classification des travailleurs et des lieux de travail ainsi que les limites relatives à l'exposition interne. Il indique par ailleurs qu'une surveillance adéquate des lieux de travail doit être exercée. Ce décret précise enfin le caractère obligatoire de la surveillance individuelle et de l'enregistrement des résultats de mesure et d'examens pour les travailleurs directement affectés aux rayonnements ionisants.

2.1.2 Décret n°86-1103 du 2 octobre 1986

Le décret n°86-1103 du 2 octobre 1986 expose des principes généraux de protection des travailleurs contre les rayonnements ionisants qui ne s'appliquent pas aux établissements dans lesquels sont implantés une ou plusieurs installations nucléaires de base. Ce décret précise que les matériels, les procédés, et l'organisation du travail doivent être conçus de telle sorte que les expositions individuelles et collectives soient maintenues aussi bas qu'il est raisonnablement possible en dessous des limites prescrites et indique que les postes de



travail exposés doivent faire l'objet, à cette fin, d'une analyse périodique. Ce décret précise par ailleurs la nature, l'emplacement et la périodicité des contrôles de contamination du lieu de travail qui doivent être effectués.

2.1.3 Arrêté du 1er juin 1990 (Annexe 1)

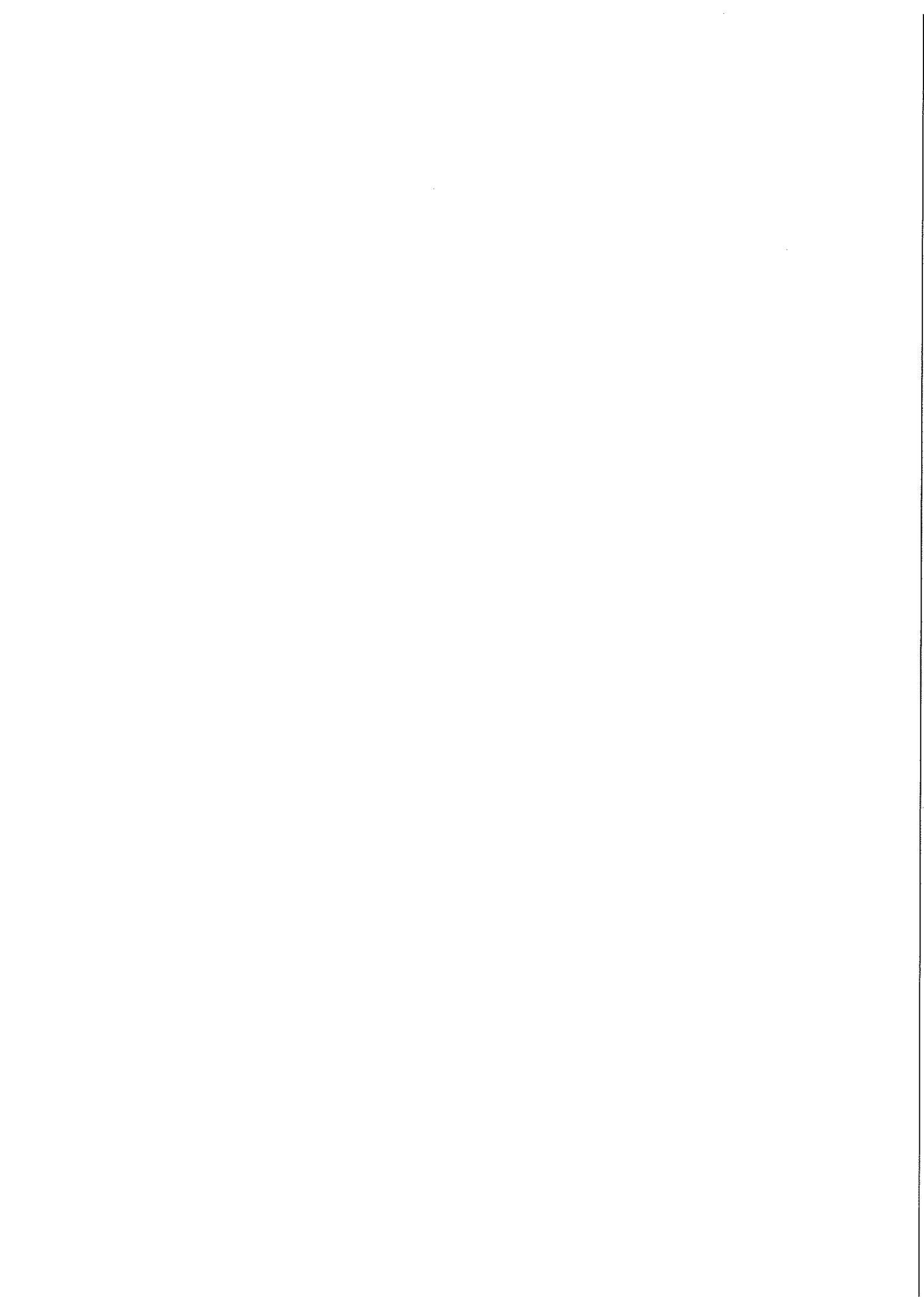
L'arrêté du 1er juin 1990 définit en son annexe 1 les méthodes de contrôle relatives à la protection des travailleurs prévues dans le décret n°86-1103 du 2 octobre 1986. Cet arrêté définit tout d'abord les appareils de mesure et les techniques à mettre en oeuvre pour vérifier l'étanchéité des sources scellées ainsi que la contamination des surfaces de travail et de l'atmosphère. Il définit ensuite les critères de délimitation de la zone contrôlée et, notamment, les débits de dose maximaux en limite extérieure de cette zone. Enfin, cet arrêté définit les objectifs ainsi que les conditions de la mise en oeuvre des contrôles d'ambiance. Il précise notamment que le seuil de débit de dose pour la mise en oeuvre éventuelle de détecteurs continus à alarme n'est pas le même dans le cas de l'irradiation externe et dans celui de la contamination interne.

2.1.4 Recommandations aux médecins

Les recommandations aux médecins exerçant la surveillance médicale des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants rappellent tout d'abord les limites d'exposition professionnelle, la classification des travailleurs exposés, ainsi que les principes généraux d'organisation de la radioprotection. Elles précisent ensuite les conditions dans lesquelles doit être réalisée l'information individuelle et collective des travailleurs exposés. Ces recommandations rappellent enfin le caractère obligatoire de la surveillance systématique de l'exposition individuelle des travailleurs opérant en zone contrôlée et précise notamment que la surveillance des travailleurs exposés repose sur les examens anthropogammamétriques et radiotoxicologiques prescrits par le médecin du travail.

2.2 Principes généraux de protection contre les rayonnements ionisants (toutes installations)

Ces principes sont exposés dans le décret n°66-450 du 20 juin 1966 et s'appliquent à toute activité impliquant une exposition à des rayonnements ionisants.



2.2.1 Classement des travailleurs

Les travailleurs dont l'exposition est susceptible de dépasser 1/10 des limites annuelles d'exposition fixées aux articles 9, 10 et 11 de ce décret sont classés par l'employeur dans une des catégories suivantes :

Catégorie A : (travailleurs Directement Affectés à des Travaux sous Rayonnements) : personnes dont les conditions habituelles de travail sont susceptibles d'entraîner le dépassement des 3/10 des limites annuelles d'exposition.

Catégorie B : (travailleurs non Directement Affectés à des Travaux sous Rayonnements) : personnes dont les conditions habituelles de travail sont telles qu'elles ne peuvent normalement pas entraîner le dépassement des 3/10 des limites annuelles d'exposition.

On pourra remarquer que le terme de 'conditions habituelles de travail' exclut de fait les événements rares, mais que cette définition qualitative ne fixe pas de seuil de probabilité annuelle au dessus duquel les événements incidentels doivent être pris en compte pour la détermination du classement.

2.2.2 Principes généraux de protection et de surveillance

Zone contrôlée

Une zone contrôlée doit être établie en tout lieu où les conditions d'exposition sont telles que les travailleurs sont susceptibles d'être exposés, dans les conditions normales de travail, à plus des 3/10 des limites annuelles fixées aux articles 9, 10 et 11.

Limites d'exposition interne

Les limites d'exposition interne dans les conditions normales de travail, à l'exclusion de toute exposition externe, sont les suivantes :

1. L'activité incorporée au cours d'une période de douze mois consécutifs :
 - dans le cas d'un radionucléide unique, ne doit pas dépasser les valeurs de L.A.I fixées à l'annexe IV-I de ce décret
 - dans le cas d'un mélange de radionucléides, doit satisfaire aux conditions limitatives indiquées à l'annexe IV-II de ce décret.
2. Au cours de trois mois consécutifs, les activités incorporées ne doivent pas dépasser les 6/10 des limites prévues en 1 de cet article.



Surveillance des lieux de travail

Une surveillance adéquate doit être exercée sur les lieux de travail. Selon la nature des opérations effectuées, cette surveillance portera sur :

- les champs de rayonnement
- la contamination atmosphérique
- la contamination des surfaces et des matériels

Surveillance individuelle

Les personnes Directement Affectées à des Travaux sous Rayonnements doivent faire l'objet d'une surveillance individuelle de l'irradiation externe et de la contamination interne. Cette surveillance, adaptée aux opérations effectuées, doit permettre l'évaluation des équivalents de dose reçus.

Enregistrement

Pour les personnes Directement Affectées à des Travaux sous Rayonnements, les résultats des mesures d'irradiation et de contamination, ainsi que les résultats des examens médicaux, doivent être conservés pendant la durée de vie de l'intéressé, et en tout cas, pendant au moins trente ans après la fin de la période d'exposition aux rayonnements.

2.3 Protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants (hors installations nucléaires)

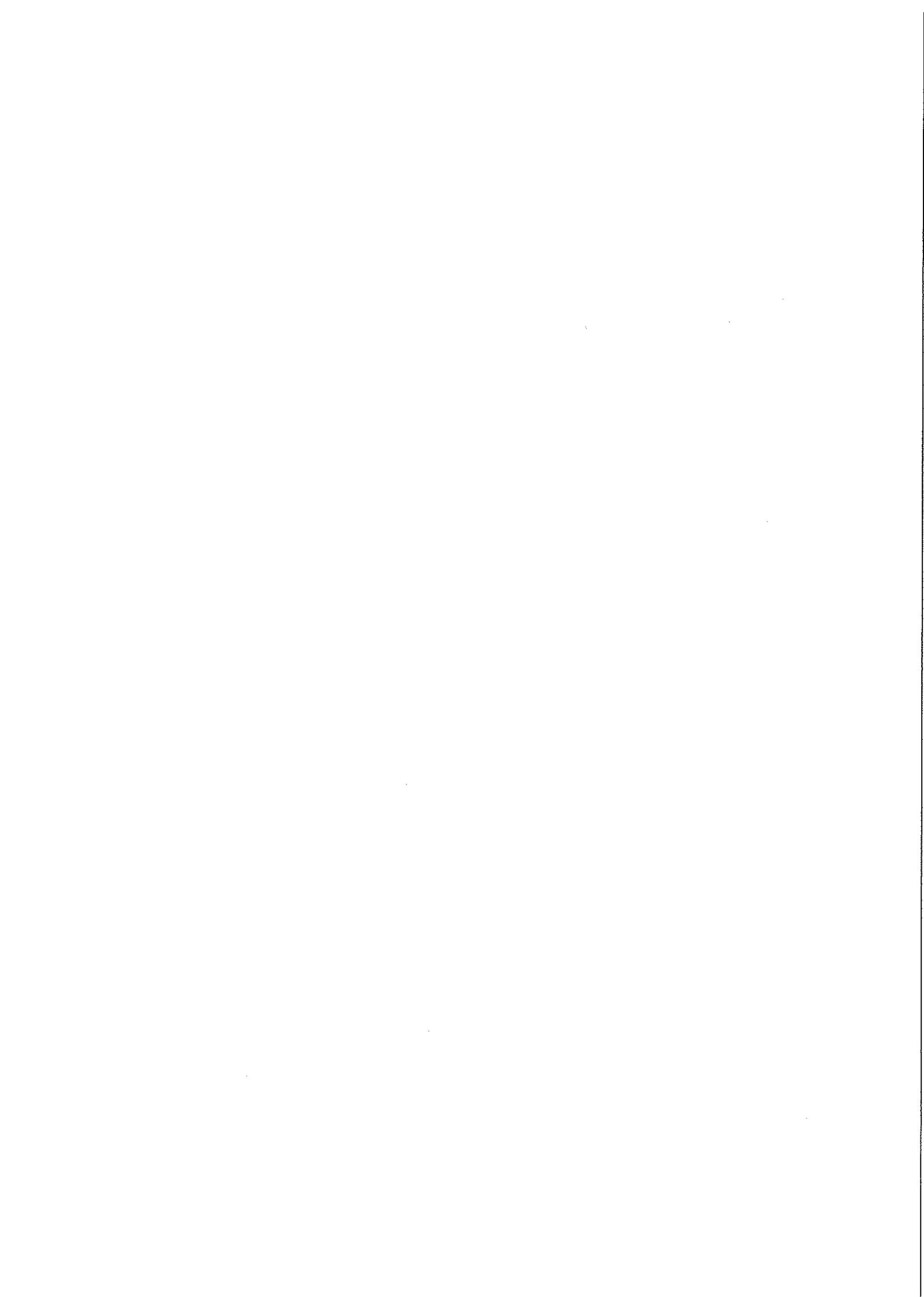
Ces principes sont exposés dans le décret n°86-1103 du 2 octobre 1986, et ne sont pas applicables aux établissements dans lesquels sont implantés une ou plusieurs installations nucléaires de base.

Principes généraux de protection

Les matériels, procédés, et l'organisation du travail doivent être conçus de telle sorte que les expositions professionnelles individuelles et collectives soient maintenues aussi bas qu'il est raisonnablement possible en dessous des limites prescrites par le présent décret. A cette fin, les postes de travail exposés font l'objet d'une analyse dont la périodicité est fonction du niveau d'exposition.

Mesures d'ordre technique concernant la zone contrôlée et la zone surveillée

Tout employeur de sources émettrices de rayonnements ionisants est tenu de faire



procéder, dans les conditions fixées par les articles 29, 30, 31, 33, 34 et 35 du présent décret, aux contrôles suivants :

- Contrôle des sources et de leurs appareils de protection
- Contrôles d'ambiance
- Contrôles portant sur les travailleurs exposés

En cas de risque d'exposition interne, des contrôles sur la contamination du lieu de travail, et notamment de l'atmosphère, doivent être faits ; les points de prélèvements doivent être situés aux postes de travail ainsi qu'aux points d'émission et d'extraction des substances contaminantes.

En zone surveillée, un contrôle d'ambiance systématique doit être effectué au moins tous les six mois.

Les travailleurs appartenant à la catégorie A doivent faire l'objet d'une surveillance individuelle de l'exposition. S'il s'agit d'exposition interne, cette évaluation s'effectue soit, en application de l'annexe IV du présent décret, par référence aux limites d'incorporation annuelles ou aux limites dérivées de concentration dans l'air, soit par mesure de la charge corporelle ou de l'activité radioactive des excréta. Un arrêté des ministres chargés du travail, de la santé et de l'agriculture fixe les modalités techniques d'application du présent décret.

Les résultats des évaluations prescrites au présent article doivent faire l'objet de relevés précis, reportés sur la fiche d'exposition du dossier médical des intéressés. Les résultats de ces évaluations sont destinés au médecin du travail.

2.4 Méthodes de contrôle relatives à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants (hors installations nucléaires)

Ces méthodes de contrôles, prévues dans le décret n°86-1103 du 2 octobre 1986, sont définies en annexe 1 de l'arrêté du 1er juin 1990.

2.4.1 Appareils de mesure et techniques à mettre en oeuvre

Etanchéité des sources scellées

La vérification des sources scellées prévue à l'article 48 du présent décret doit être



effectuée sur frottis humide, conformément aux instructions de l'annexe II du présent décret.

Contamination des surfaces de travail

La vérification de l'absence de contamination radioactive des surfaces de travail dans les installations d'utilisation de sources radioactives non scellées doit être effectuée à l'aide de détecteurs adaptés aux rayonnements en cause et, si une contamination est mise en évidence, par prélèvement sur frottis exécutés dans les conditions indiquées à l'alinéa précédent.

Contamination de l'atmosphère

La vérification de l'absence de contamination de l'atmosphère par des poussières radioactives doit être effectuée par prélèvement sur filtre. Le dispositif de prélèvement doit être placé aussi près que possible de la source éventuellement contaminante. Le prélèvement doit porter au moins sur une journée de travail et dix mètres cubes d'air filtré.

2.4.2 Délimitation de la zone contrôlée pour les installations fixes

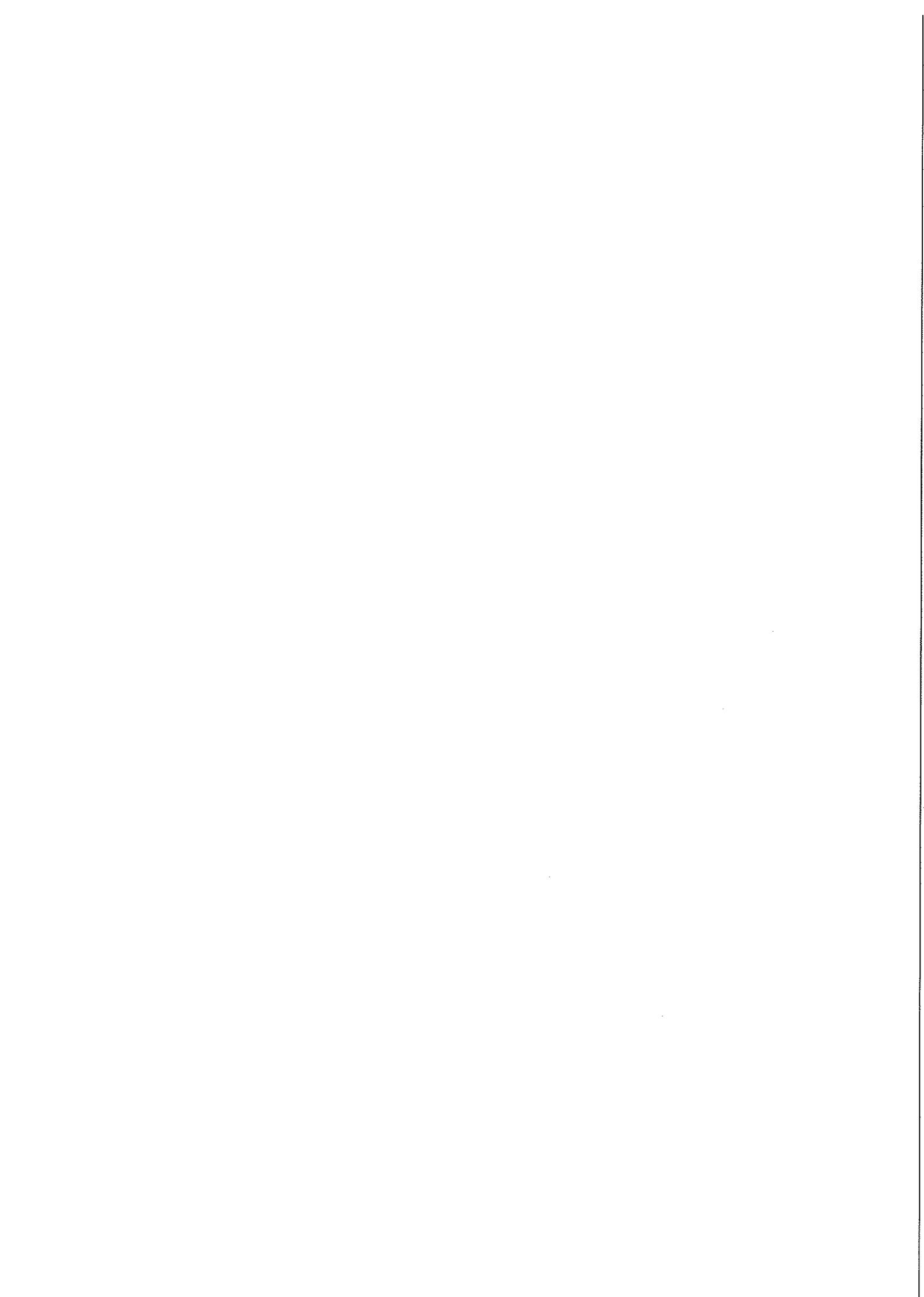
Etant donné la marge d'appréciation qu'implique la référence à un risque d'exposition annuel, la délimitation de la zone contrôlée doit être largement fondée sur des nécessités opérationnelles.

Lorsqu'elle existe, chaque zone contrôlée doit former une unité fonctionnelle bien individualisée, groupée et signalée : s'il s'agit d'une source unique, c'est, sauf exception, le local d'utilisation qui doit être classé zone contrôlée. S'il s'agit de sources multiples ou de sources non scellées utilisées dans plusieurs pièces, c'est l'ensemble de ces locaux qui doit être globalement classé en zone contrôlée, en tenant compte des risques cumulés éventuels d'exposition externe et interne.

Sous ces réserves, les débits de dose en limite extérieure de zone contrôlée ne doivent pas, dans les conditions les plus défavorables (notamment avec un diffuseur adéquat dans le faisceau primaire) dépasser :

- 7,5 $\mu\text{Sv/h}$, lorsque les zones attenantes sont placées sous la responsabilité exclusive de l'employeur et constituent des zones surveillées ;
- 2,5 $\mu\text{Sv/h}$, lorsque les zones ne sont pas placées sous la responsabilité de l'employeur.

Lorsque les zones attenantes sont des zones de passage, on pourra tenir compte d'un facteur d'occupation qui ne devra en aucun cas être inférieur à 0,1.



On pourra remarquer que ces limites de 7,5 et 2,5 $\mu\text{Sv/h}$ correspondent, pour une durée de travail annuelle de 2000 h et un facteur d'occupation égal à 1, aux limites basses de zone contrôlée et haute de zone surveillée égales respectivement à 3/10 et 1/10 de la limite annuelle de 50 mSv.

2.4.3 Contrôles d'ambiance

Les contrôles d'ambiance visent, en complément des contrôles périodiques des sources et de la surveillance individuelle des travailleurs :

- à vérifier que les risques d'exposition pris en considération pour l'organisation normale du travail demeurent inchangés ou, dans le cas contraire, à guider les mesures correctrices qui s'imposent ;
- à signaler immédiatement les risques de surexposition externe ou interne afin de déclencher aussitôt les mesures nécessaires.

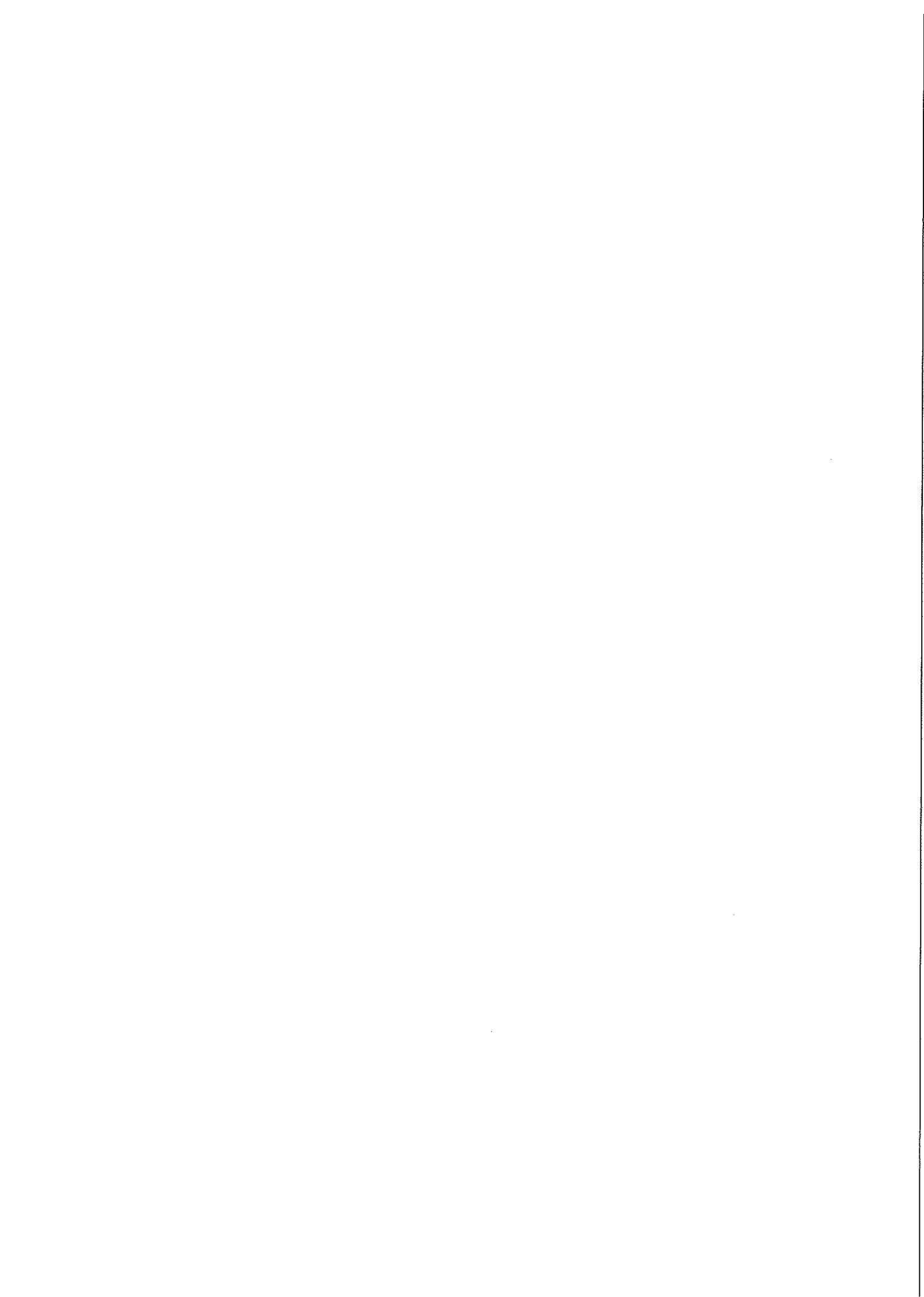
Pour atteindre ces objectifs, le type d'appareillage, la localisation des points de mesure dans l'espace à contrôler et la répartition dans le temps de ces contrôles seront déterminés par la personne compétente, ou l'organisme agréé auquel il aura été fait appel, en fonction de la nature du risque et de son éventuel accroissement (conditionnés par la nature des sources de rayonnement en cause et des travaux effectués).

Si le type de source est tel qu'il ne permette pas d'exclure un dépassement du débit maximal d'équivalent de dose mentionné au paragraphe précédent pour l'exposition externe ou de la limite dérivée de concentration dans l'air pour la contamination atmosphérique, es dispositifs détecteurs continus à alarme sonore ou lumineuse seront, si nécessaire, mis en place aussi près que possible des zones occupées par les travailleurs et devront être en fonctionnement pendant toute la durée du travail. Leur bon fonctionnement sera testé périodiquement.

Si la nature de la source garantit la stabilité intrinsèque du champ de rayonnement, le contrôle systématique d'ambiance se limite aux contrôles périodiques prévus à l'article 29 du décret du 2 octobre 1986.

Les contrôles d'ambiance doivent porter sur :

- la surveillance de l'exposition externe avec des détecteurs fixes ou mobiles dans le cas de la mise en oeuvre de générateurs électriques et de sources, scellées ou non, d'émetteurs bêta d'énergie supérieure à 100 keV ou de rayonnement gamma.



- la surveillance de la contamination éventuelle des surfaces de travail dans le cas de la mise en oeuvre de sources radioactives non scellées (ou de sources scellées s'étant avérées contaminantes). Elle est effectuée selon les indications données au chapitre relatif aux appareils de mesure et aux techniques à mettre en oeuvre.
- la surveillance de la contamination atmosphérique éventuelle des locaux de travail dans le cas de la mise en oeuvre de sources non scellées comportant un risque de dispersion appréciable. Elle est effectuée selon les indications données au chapitre relatif aux appareils de mesure et aux techniques à mettre en oeuvre.

On pourra remarquer que les indicateurs d'exposition pris comme seuil pour la mise en oeuvre éventuelle de détecteurs continus à alarme, dans les cas respectifs de l'irradiation externe et de la contamination interne, ne correspondent pas, pour une même hypothèse de durée de travail annuel et de facteur d'occupation, aux mêmes valeurs implicites de dose annuelle.

En effet, le seuil de débit de dose pour la mise en oeuvre éventuelle de détecteurs continus à alarme dans le cas de l'irradiation externe correspond aux 3/10 et 1/10 de la limite annuelle de dose efficace, suivant que la zone attenante à la zone surveillée est placée ou non sous la responsabilité de l'employeur.

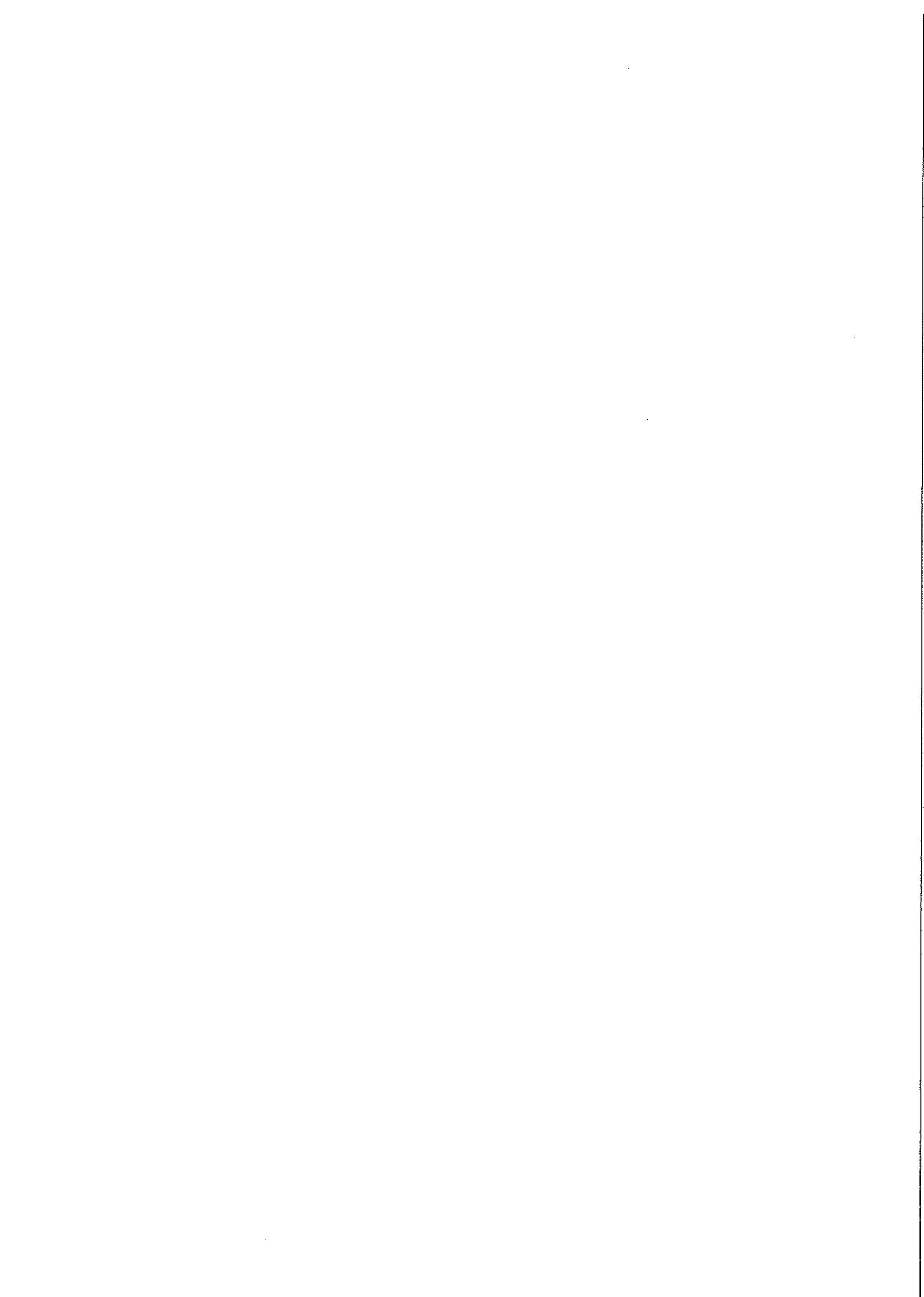
Par contre, le seuil de concentration pour la mise en oeuvre éventuelle de détecteurs continus à alarme dans le cas de la contamination interne est égal à la LDCA et correspond donc à la limite annuelle de dose efficace engagée.

2.5 Recommandations aux médecins exerçant la surveillance médicale des travailleurs exposés aux rayonnement ionisants

Ces recommandations s'appuient sur les décrets n°86-1103 du 2 octobre 1986 et n°75-306 du 28 avril 1975, modifié par le décret n°88-662 du 6 mai 1988.

2.5.1 Limites d'exposition professionnelle

Ces recommandations rappellent que les limites d'exposition professionnelle sont fixées, pour les conditions normales de travail, aux articles 6, 7 et 8 du 2 octobre 1986, respectivement pour l'exposition interne, l'exposition externe, et pour les expositions externe et interne associées.



Elles précisent par ailleurs d'emblée que la surveillance réglementaire de l'exposition individuelle ne doit pas être confondue avec la surveillance au jour le jour pratiquée dans certaines installations nucléaires de base à des fins d'optimisation et d'alarme.

2.5.2 Classification des travailleurs exposés

Les travailleurs sont répartis, sous la responsabilité de l'employeur, en deux catégories A et B correspondant aux anciennes catégories Directement affectés (DATR) et Non directement affectés aux travaux sous rayonnements (décret n°86-1103 du 2 octobre 1986, article 3).

2.5.3 Organisation de la radioprotection

L'existence de sources de rayonnement implique la délimitation d'une zone contrôlée lorsque le risque d'exposition peut atteindre certains niveaux ; seuls les travailleurs classés en catégorie A (D.A.T.R) peuvent y être affectés en permanence ; ils font l'objet d'une surveillance médicale spéciale dont les modalités sont fonction du type d'exposition et qui est étroitement associée au contrôle de l'exposition individuelle externe et/ou interne.

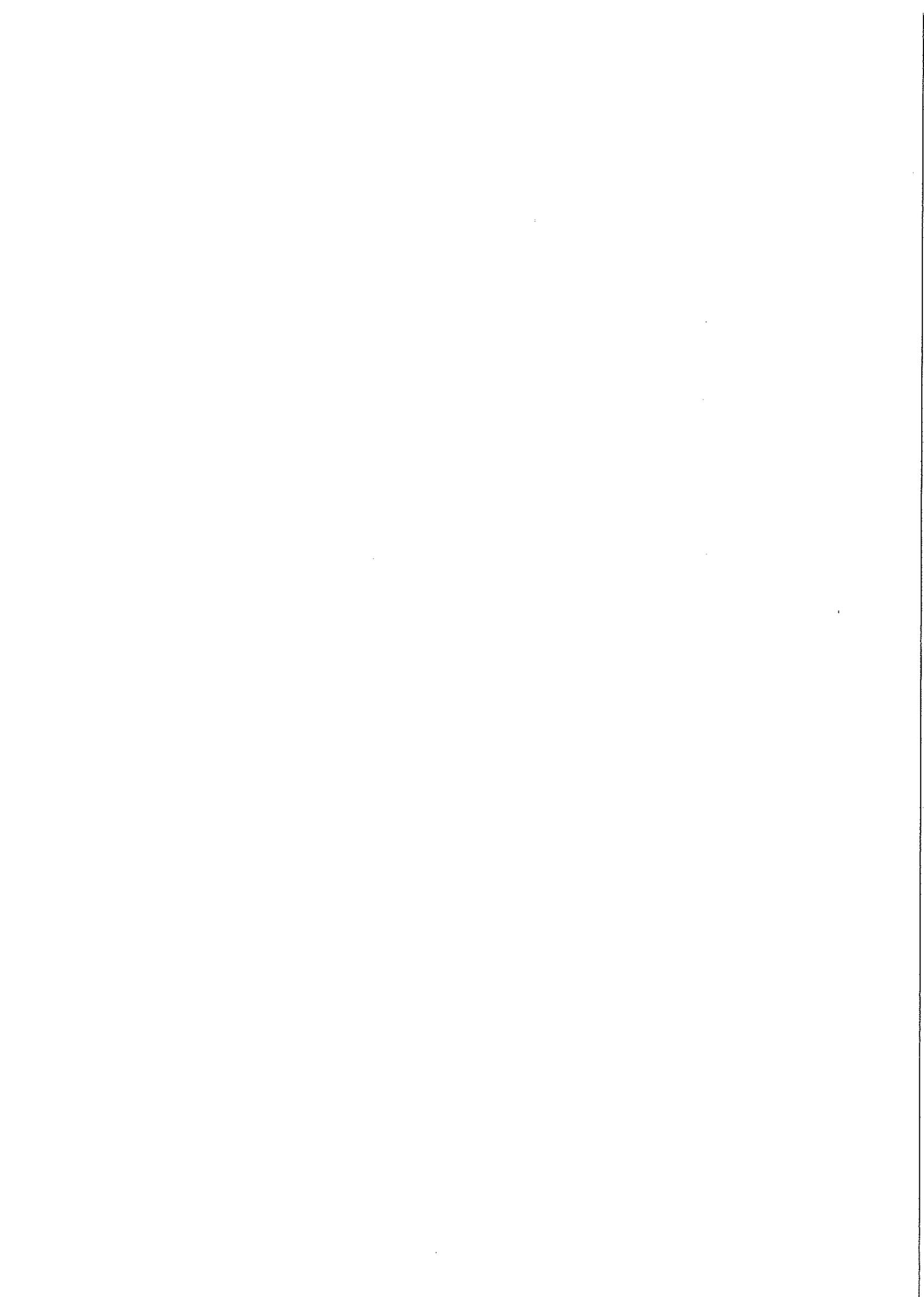
2.5.4 Information

La prévention implique une information continue, tant technique que médicale, des travailleurs susceptibles d'être exposés, des responsables de l'entreprise ou de l'établissement, du personnel d'encadrement, des membres des comités d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail ou, à défaut, des délégués du personnel.

Le médecin du travail participe à cette information en liaison notamment avec la personne compétente ou, dans les I.N.B., avec le service ou le personnel compétent en radioprotection.

Information individuelle

L'information du travailleur par le médecin du travail porte sur les risques encourus, les mesures de contrôle techniques et médicales prises, les mesures de prévention et d'hygiène à respecter ainsi que leur signification biologique. Cette information, qui distinguera clairement les deux modes d'exposition tiendra plus particulièrement compte du mode d'exposition de l'intéressé.



Les principes généraux de la surveillance médicale par des examens spécialisés doivent être expliqués aux travailleurs. Ceux-ci seront également informés des résultats des examens ainsi que des résultats de la surveillance individuelle de l'exposition.

Information collective

Elle implique que le médecin dispose, notamment en liaison avec la personne compétente en radioprotection, d'une bonne connaissance des sources de rayonnement détenues dans l'établissement.

Elle porte sur les modes d'exposition, les effets biologiques, la nature des risques selon le mode d'exposition et l'importance de la prévention.

Compte tenu du fait que le médecin a l'initiative du choix des examens complémentaires spécialisés, il lui appartient d'expliquer à tous l'intérêt de ces examens en fonction du mode d'exposition.

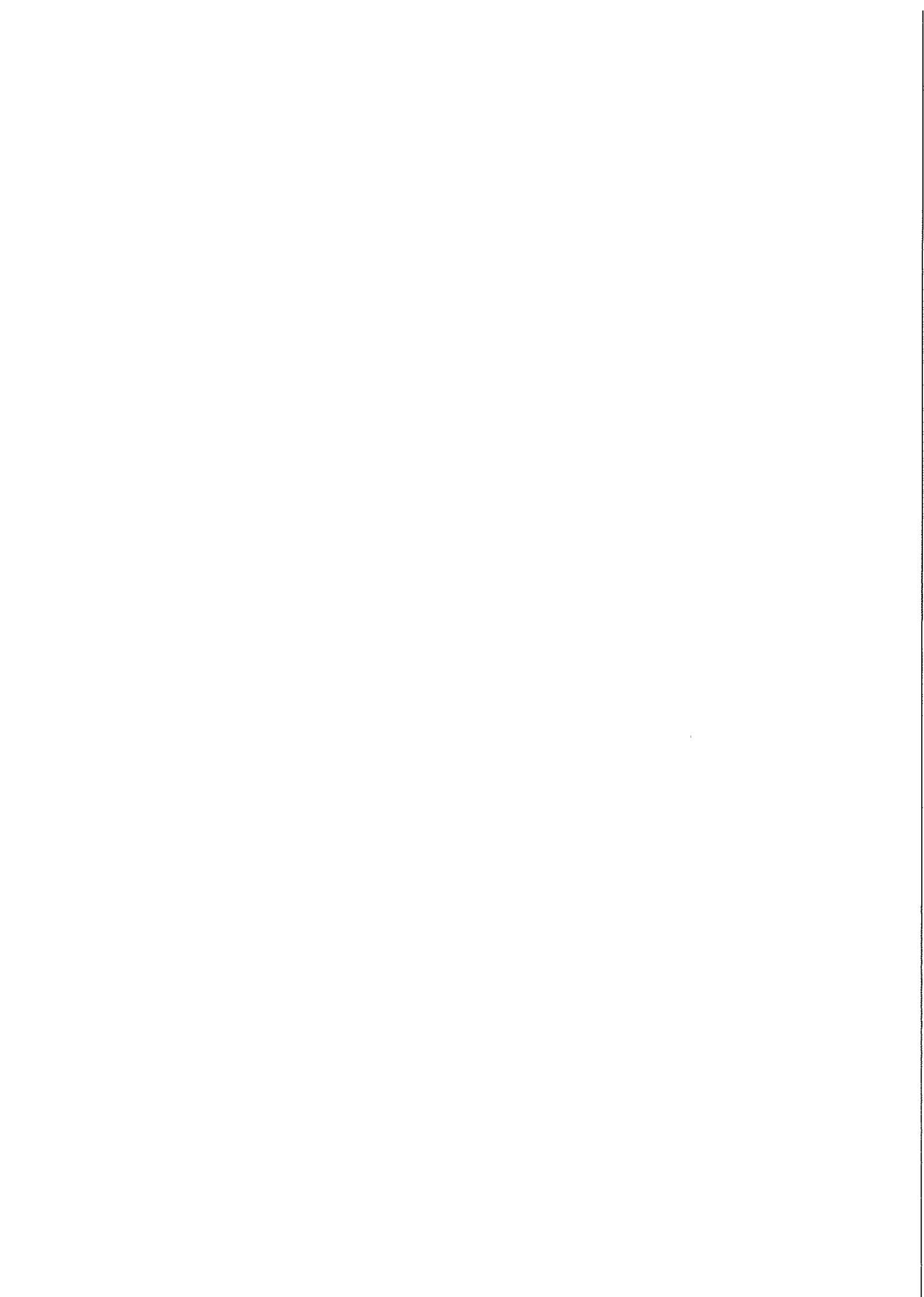
2.5.5 Surveillance systématique de l'exposition individuelle

L'exposition individuelle des travailleurs opérant en zone contrôlée doit faire l'objet d'une évaluation. (décret n°86-1103 du 2 octobre 1986, article 24-II et décret n°75-306 du 28 avril 1975, article 16-I).

Cette évaluation est systématique pour les travailleurs de catégorie A (articles 34 et 25 respectivement) et peut concerner de façon occasionnelle des travailleurs de catégorie B ; cette dernière éventualité ne peut être qu'occasionnelle, car l'affectation habituelle en zone contrôlée suppose un classement en catégorie A.

Les résultats de ces évaluations sont destinées au médecin du travail auprès duquel le intéressés peuvent en prendre connaissance. Ils doivent être inscrits sur la fiche d'exposition du dossier médical (spécial pour la catégorie A, ordinaire pour la catégorie B) et leur communication ne peut être opérée que selon les modalités définies par un arrêté distinct (articles 34 et 25 respectivement).

Exposition interne : La surveillance des travailleurs exposés au risque d'exposition interne repose sur des examens anthropogammamétriques et radiotoxicologiques prescrits par le médecin du travail, dont la fréquence et la nature sont notamment fonction de l'importance de l'expositions aux risques de contamination interne et des radionucléides en cause.

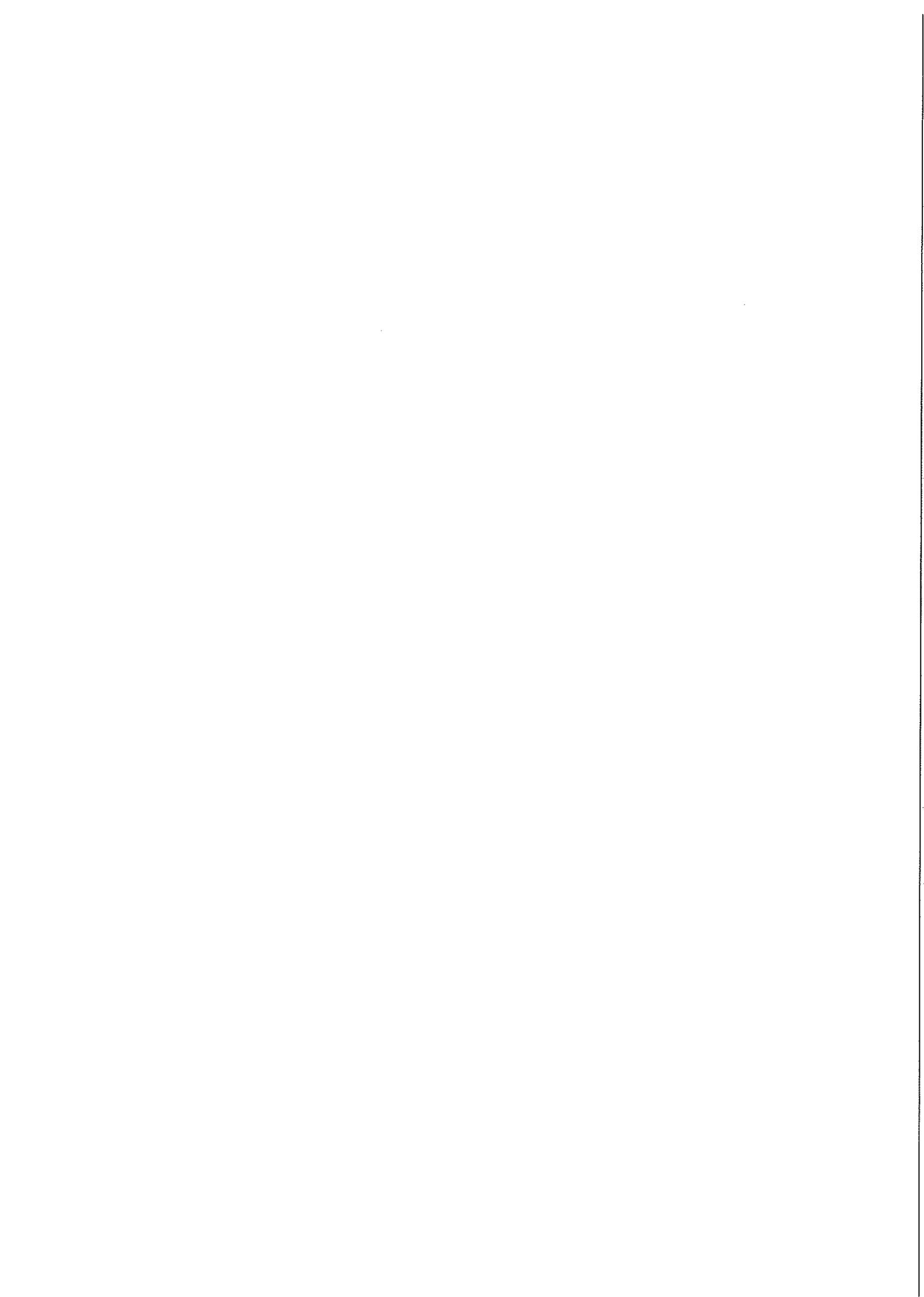


Ces examens doivent être conduits en respectant notamment les conditions minimales suivantes :

- Les appareils utilisés doivent permettre l'identification des radionucléides émetteurs gamma et leur mesure avec une sensibilité suffisante au regard des limites annuelles d'incorporation correspondantes.
- Les prélèvements biologiques pour examens radiotoxicologiques doivent permettre l'évaluation de l'élimination journalière ; les examens urinaires de dépistage devraient donc porter sur un prélèvement de vingt quatre heures ou assurant des garanties équivalentes.

En cas d'incident ou si, pour une raison quelconque, le médecin du travail est fondé à craindre une exposition interne significative, il pourra faire procéder spécialement à des mesures anthropogammamétriques et/ou à des analyses radiotoxicologiques pour pouvoir en évaluer la nature et l'importance.

On pourra remarquer que la surveillance individuelle de l'exposition interne repose, dans ces recommandations, sur les examens biologiques *in vivo* ou *in vitro*. On remarquera, de plus, que si les problèmes de la fréquence des examens et de la sensibilité des moyens de mesure sont évoqués, ils ne le sont qu'en termes qualitatifs.







3. LA REGLEMENTATION HELVETIQUE

3.1 Résumé

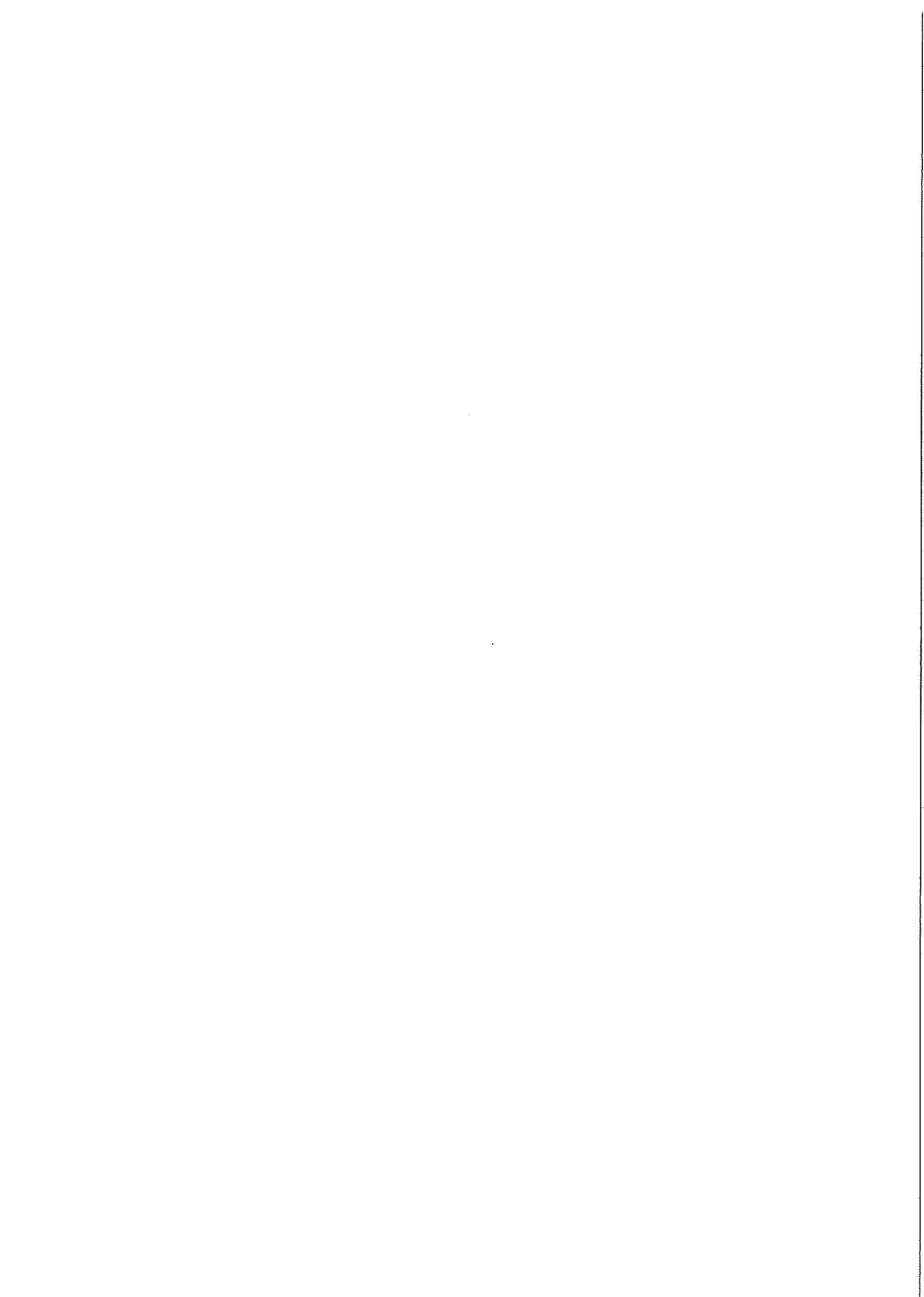
La réglementation helvétique s'appuie sur la loi sur la radioprotection [2] du 22 mars 1991 ainsi que sur son ordonnance d'application [1] du 22 juin 1994. Par ailleurs, une réglementation pour la dosimétrie individuelle en cas d'incorporation [3] a été proposée et mise à l'essai à titre consultatif.

3.1.1 Ordonnance du 22 juin 1994

L'ordonnance du 22 juin 1994 régleme la dosimétrie des personnes exposées professionnellement et précise notamment la nature de grandeurs opérationnelles à utiliser ainsi que la fréquence des mesures d'irradiation externe. Elle stipule par ailleurs que c'est l'autorité de surveillance qui fixe de quelle façon et à quels intervalles la contamination interne doit être déterminée, en fonction des conditions de travail et du type des radionucléides utilisés. Cette ordonnance précise la nature et les conditions des déclarations devant être faites en fonction des niveaux de dose atteints. Elle prévoit enfin l'édiction de dispositions techniques portant notamment sur la précision des mesures dans l'exploitation de routine ainsi que sur les modèles standard de calcul des doses de rayonnement.

3.1.2 Proposition de réglementation sur la dosimétrie individuelle

La proposition de réglementation sur la dosimétrie individuelle fournit des éléments de méthode relatifs à l'interprétation des mesures et présente des fiches relatives à 34 radio-isotopes. Cette proposition de réglementation vise à mettre à disposition de tous les services concernés par la dosimétrie individuelle d'incorporation un document de travail assurant une procédure uniforme de détermination et d'appréciation de la dose reçue, ainsi qu'une standardisation de la documentation des doses. Elle précise que la surveillance d'incorporation s'effectue en règle générale par la mesure de l'activité corporelle ou des excréctions mais que, dans des cas particuliers, elle peut aussi avoir lieu de manière indirecte par la mesure de l'activité de l'air.



Deux types de procédures de mesures sont proposés : Les mesures d'incorporation, qui ont pour objectif l'estimation des doses, ne sont effectuées que par les services de dosimétrie autorisés, et comportent des mesures *in vivo* ainsi que des analyses d'excréta. Les mesures de tri, qui ont pour objectif la détection d'une éventuelle incorporation et peuvent être effectuées par le personnel local. Après avoir précisé que les intervalles de surveillance doivent être fonction des objectifs relatifs à la précision et à la sensibilité des moyens de mesure mis en oeuvre, ce document indique les hypothèses selon lesquelles doit être calculée la dose engagée et établit les procédures devant être mises en oeuvre en cas de dépassement du niveau d'investigation de 1 mSv ou des limites de dose de 20 et 50 mSv.

Ce document fournit enfin, dans des fiches relatives à 34 radio-isotopes, des indications relatives à la nature et à la fréquence des mesures de tri et d'incorporation devant être mises en oeuvre, des grandeurs d'appréciation telles que les facteurs de dose ou les concentrations admissibles dans l'air, ainsi que des fonctions d'interprétation des mesures d'incorporation relatives à des scénarios d'incorporation unique ou chronique.

3.2 Loi sur la radioprotection

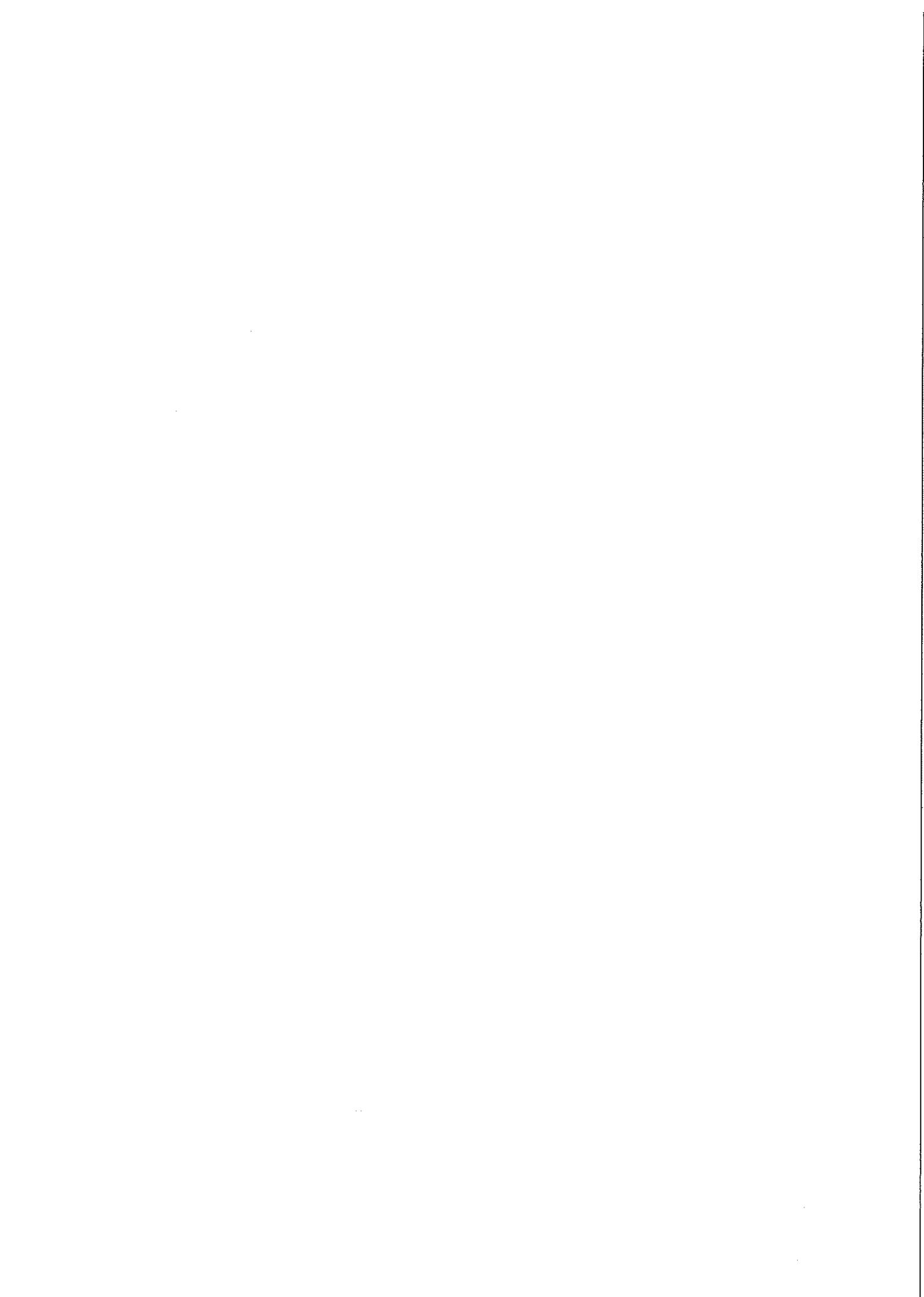
La loi sur la radioprotection précise que la mesure de la dose des radiations est réglée par le conseil fédéral qui détermine notamment pour quelles personnes l'exposition aux radiations doit être mesurée individuellement (dosimétrie individuelle) et à quels intervalles la dose de radiation doit être mesurée.

3.3 Ordonnance sur la radioprotection

3.3.1 Détermination de la dose de rayonnement (dosimétrie)

L'ordonnance sur la radioprotection régleme dans son article 42, la dosimétrie des personnes exposées professionnellement :

- La dose reçue par les personnes exposées aux rayonnements dans l'exercice de leur profession doit être déterminée pour chacune individuellement et conformément à l'annexe 5 (dosimétrie individuelle), qui précise les grandeurs opérationnelles à utiliser à cet effet.
- La dose délivrée par irradiation externe doit être déterminée mensuellement.



- L'autorité de surveillance fixe dans le cas d'espèce de quelle façon et à quels intervalles la contamination interne doit être déterminée. Pour ce faire, elle tient compte des conditions de travail et du type des radionucléides utilisés.
- L'autorité de surveillance peut exiger qu'un second système dosimétrique indépendant et remplissant une fonction supplémentaire soit utilisé.
- L'autorité de surveillance peut permettre des exceptions aux premier et deuxième alinéas lorsqu'on dispose d'un système dosimétrique supplémentaire ou d'un autre système approprié de surveillance de la dose.

Ainsi, cette réglementation met en avant la dosimétrie individuelle et prend en considération les problèmes spécifiques (moyens de mesure, intervalles de surveillance) posés par la détermination de la contamination interne.

3.3.2 Déclarations du service de dosimétrie individuelle

L'article 49 précise que si la dose effective correspondant à la période de surveillance excède 2 mSv, ou la dose équivalente reçue par un organe 10 mSv, le service de dosimétrie individuelle doit l'annoncer au titulaire de l'autorisation et à l'autorité de surveillance compétente, au plus tard dix jours après réception du dosimètre.

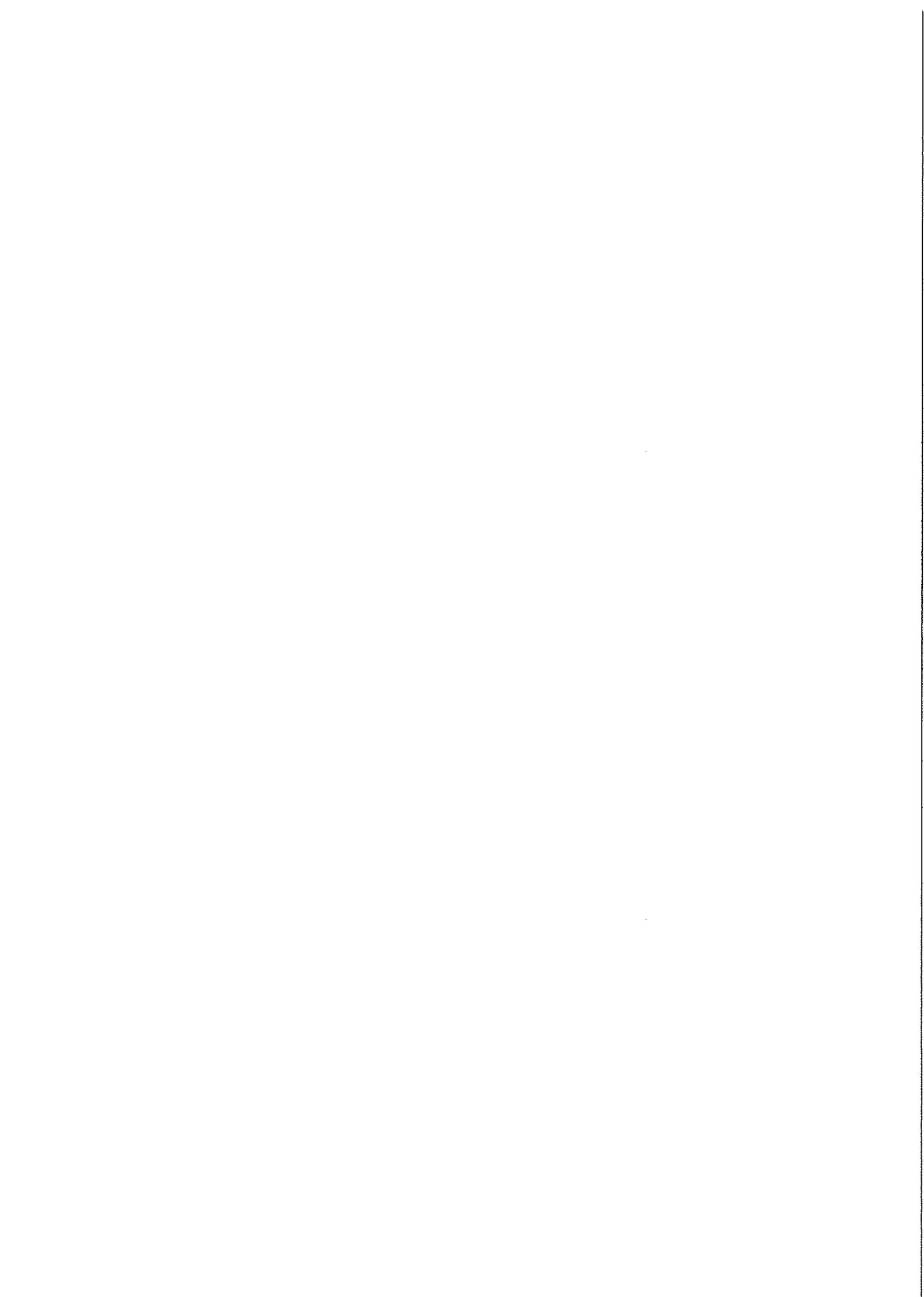
On remarquera que la réglementation utilise un seuil de déclaration égal à 1/10 de la limite annuelle de dose effective (20 mSv), ainsi qu'un seuil portant sur l'équivalent de dose maximum aux organes.

3.3.3 Dispositions techniques

L'article 52 prévoit que soient édictées des dispositions techniques concernant la dosimétrie individuelle portant notamment sur :

- les exigences minimales auxquelles doivent satisfaire les systèmes de mesure,
- les exigences minimales quant à la précision des mesures dans l'exploitation de routine et lors des mesures d'inter-comparaison,
- les modèles standard de calcul des doses de rayonnement,
- les formats des déclarations.

On remarquera que la réglementation va au delà de la simple proposition de valeurs de LAI et LDCA et prévoit notamment d'instaurer des modèles standard pour le calcul des doses.



3.4 Proposition de réglementation de la dosimétrie individuelle

Cette proposition de réglementation [3] et [4] fournit des éléments de méthode relatifs à l'interprétation des mesures et présente des fiches relatives à 34 radio-isotopes, dont l' U_{235} et l' U_{238} .

Selon les principes établis dans la loi de radioprotection, il faut démontrer que, lors d'activités soumises à autorisation, les doses individuelles ne dépassent pas les limites permises et que les expositions aux radiations associées à ces travaux soient maintenues aussi faibles que cela est raisonnablement possible.

Afin de pouvoir le contrôler, il faut déterminer à l'aide d'un programme adéquat les doses reçues par les personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur fonction et ceci concerne aussi bien les doses d'irradiation externe que celles liées à l'incorporation.

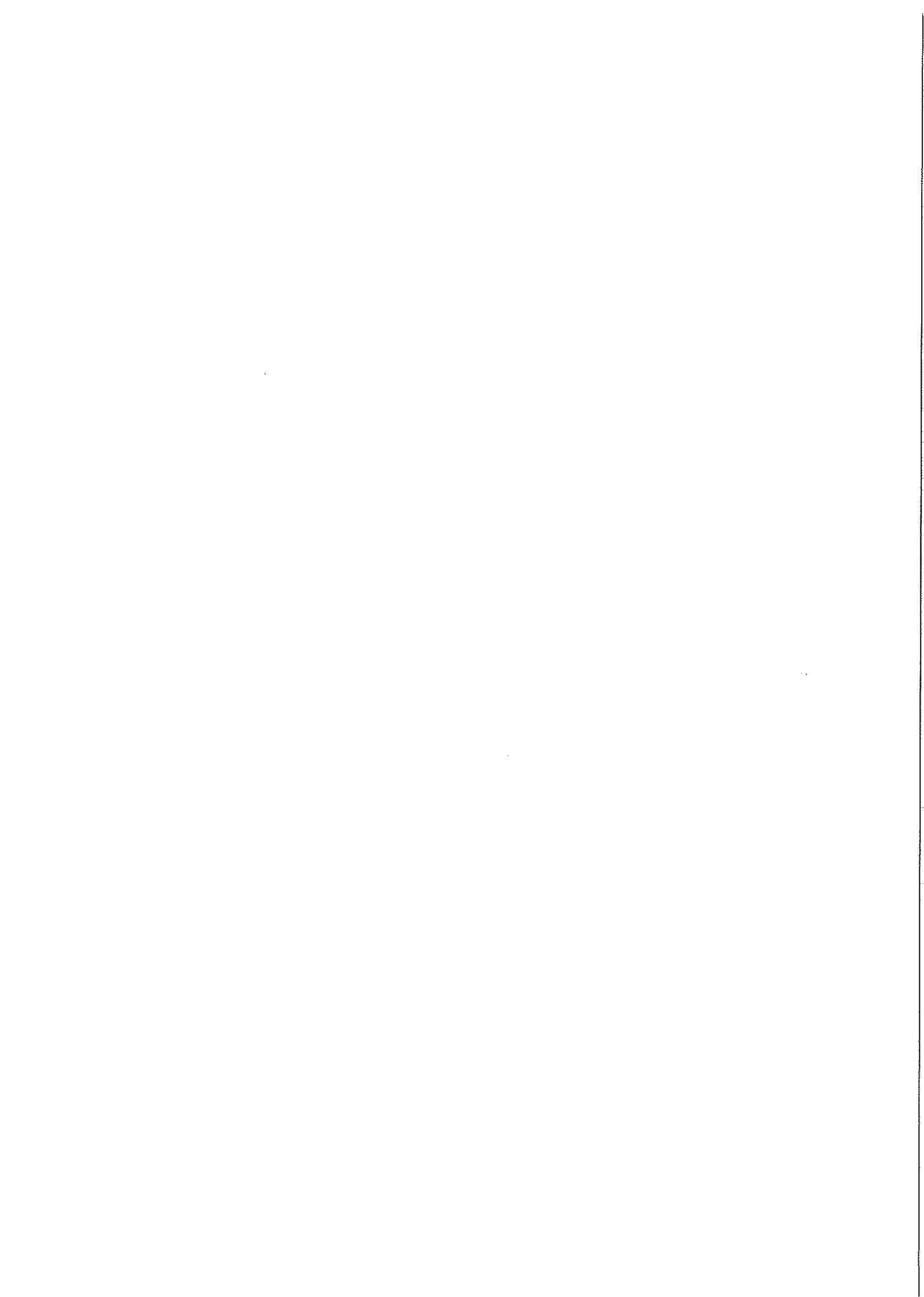
La présente réglementation devrait mettre à disposition de tous les services concernés par la dosimétrie individuelle d'incorporation un document de travail assurant une procédure uniforme de détermination de la dose reçue et de son appréciation. Cette démarche amènera en outre une standardisation de la documentation des doses.

3.4.1 Utilisation des modèles dosimétriques

Cette proposition de réglementation demande que des modèles standard de calcul de doses soient utilisés aussi longtemps que les expositions restent en dessous des limites annuelles, et que les données d'exposition ainsi que, si possible, des données métaboliques individuelles soient utilisées pour l'évaluation individuelle de la dose efficace dans le cas d'une exposition dépassant ces limites.

3.4.2 Identification des travailleurs devant faire l'objet d'une surveillance individuelle de la contamination interne

Les travailleurs qui peuvent accumuler une dose efficace annuelle (externe et interne) supérieure à 1 mSv sont classés comme des travailleurs professionnellement exposés et doivent faire l'objet d'une surveillance. S'il est démontré que la composante interne de l'exposition annuelle ne peut dépasser 0,1 mSv, la surveillance de l'exposition interne n'est pas requise.



3.4.3 Méthodes de surveillance

La surveillance d'incorporation s'effectue en règle générale par la mesure de l'activité corporelle ou des excréctions. Dans des cas particuliers, elle peut aussi avoir lieu de manière indirecte par la mesure de l'activité de l'air.

3.4.4 Procédures de mesure

Les procédures de mesure sont de deux types : les mesures d'incorporation et les mesures de tri.

Les mesures d'incorporation ont pour objectif le recueil des données nécessaires à l'estimation des doses et ne sont effectuées que par les services de dosimétrie autorisés. Les mesures d'incorporation comportent des mesures *in vivo* ainsi que des analyses d'excréta.

Les mesures de tri ont pour objectif la détection d'une éventuelle incorporation et peuvent être effectuées par le personnel local à l'aide d'une instrumentation relativement simple. Si le niveau de mesure spécifié pour un radionucléide et un moyen de mesure particuliers a été dépassé, une mesure d'incorporation doit être effectuée par un laboratoire autorisé. Les mesures de tri comportent des comptages *in vivo*, des mesures d'urine, ainsi que la surveillance de l'air.

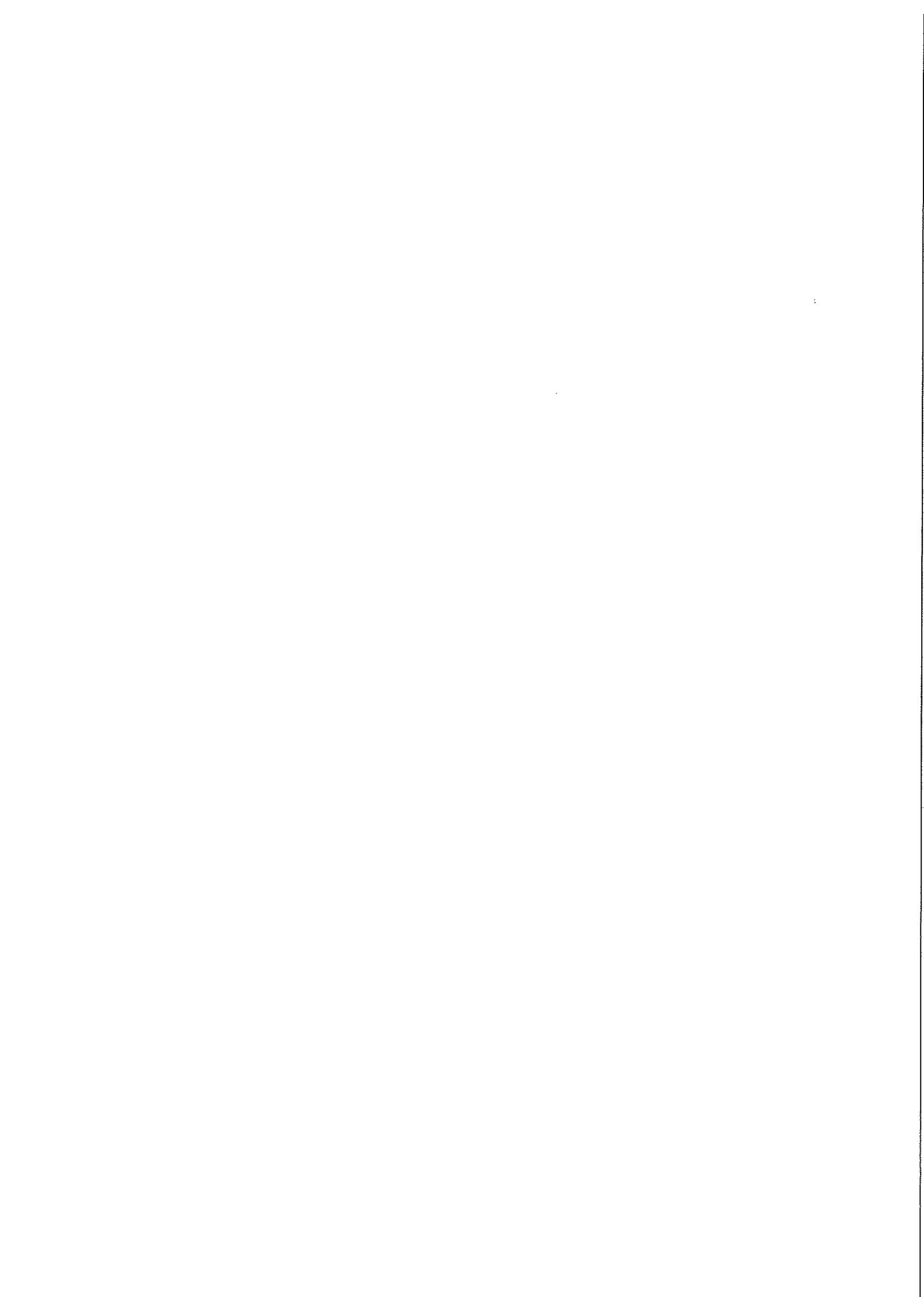
La surveillance d'incorporation peut aussi se baser uniquement sur des mesures d'incorporation.

Les exigences minimales concernant les méthodes de mesure sont indiquées dans des fiches spécifiques aux nucléides placées dans l'appendice ; les seuils de mesure y figurent également.

3.4.5 Intervalles de surveillance

La proposition de réglementation précise que les intervalles de mesure appropriés dépendent des radionucléides (demi-vie effective) et des techniques de mesure (limites de détection). Il faut cependant qu'au moins une mesure soit effectuée dans l'année.

L'intervalle devrait être choisi de telle manière que l'incertitude liée au manque de connaissance de l'instant de l'incorporation ne dépasse pas un facteur trois. Dans les cas



où ces exigences sont difficile à respecter, on limitera cependant la sous-estimation à un facteur cinq.

De plus, un niveau d'incorporation annuelle correspondant à une dose efficace engagée de 1 mSv devrait être détecté.

Pour les nucléides de longue période effective, l'objectif de sensibilité des mesures d'incorporation ne peut être atteint que par un engagement important. Dans ce cas, la mesure de tri peut être basée sur la surveillance de l'air respiré. En cas de dépassement du seuil de mesure, on prélèvera immédiatement des échantillons de selles et d'urine. Dans le cas où tout résultat positif dans l'urine peut signifier qu'un dépassement de la dose a eu lieu, l'interprétation des résultats de mesure obtenus se fera individuellement.

Pour les nucléides de très courte période, les mesures d'incorporation de routine ne sont souvent pas possibles. La surveillance a lieu dans ce cas à l'aide de mesures fréquentes de tri, par exemple chaque jour de travail.

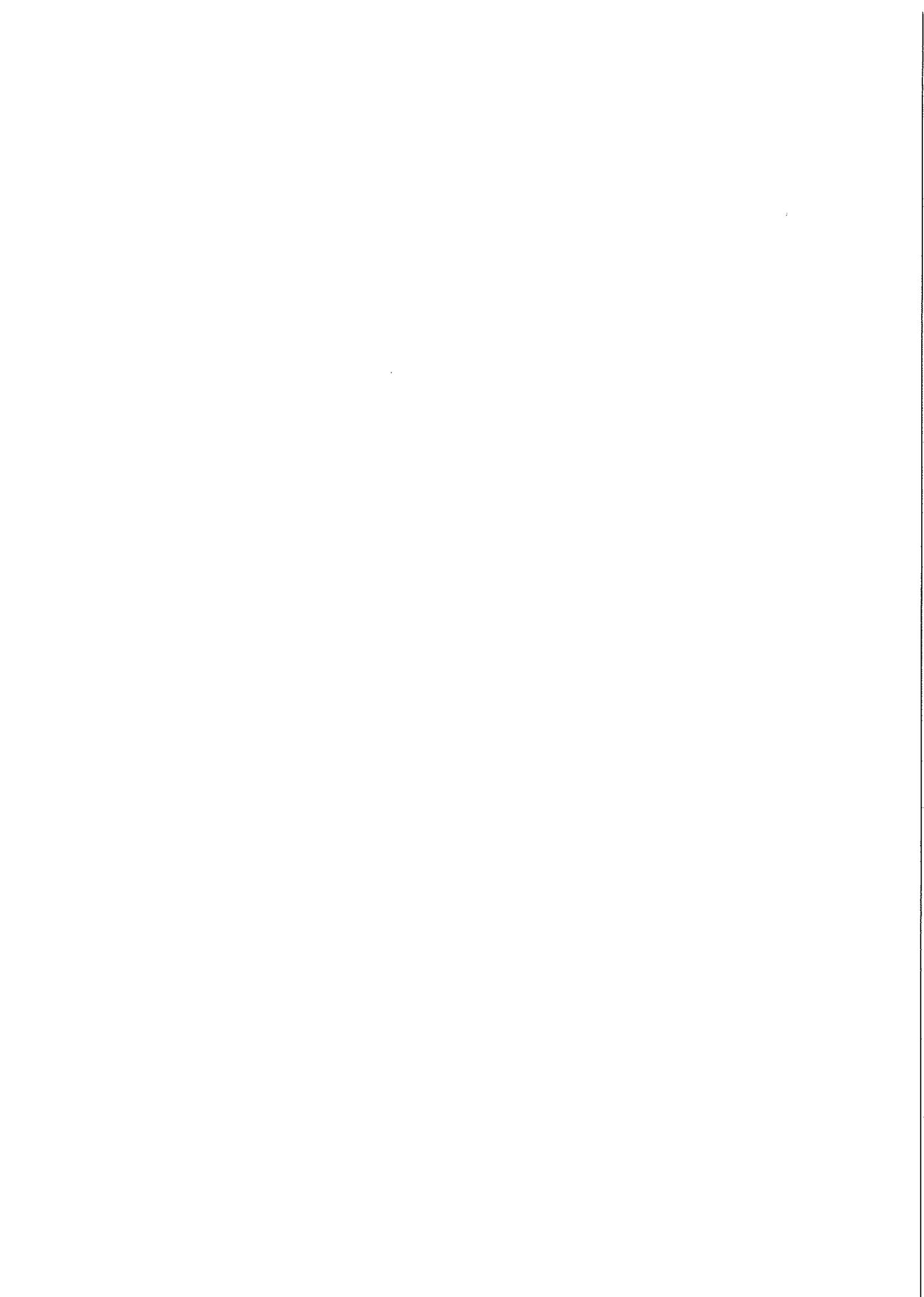
3.4.6 Estimation des doses

La méthode d'interprétation standard des incorporations est fondée sur les facteurs de dose publiés par la CIPR 61 [10] et repris dans l'ordonnance, ainsi que sur les valeurs de rétention en fonction du temps écoulé depuis l'incorporation, publiées par la CIPR 54 [11].

Dans le cas d'une incorporation accidentelle, le temps écoulé depuis l'incorporation est connu. Dans le cas d'une estimation de routine, on suppose que l'incorporation a eu lieu au milieu de l'intervalle de surveillance.

Une incorporation importante ayant eu lieu au cours d'un intervalle précédent peut influencer les estimations des résultats de mesure. Si plus de 10% du résultat de mesure est dû à une incorporation antérieure pour laquelle la dose a déjà été estimée, une correction devrait être effectuée en soustrayant la part d'activité correspondante.

La détermination des doses et leur enregistrement aura lieu suivant un procédé comprenant deux étapes :



En situation normale, la dose engagée est calculée selon les hypothèses standard concernant le métabolisme établies par la réglementation. Les indications concernant la procédure à suivre et l'interprétation des doses résultant de l'incorporation sont fournies dans la présente réglementation.

Dans le cas où la dose due à l'irradiation externe et à l'incorporation, calculée selon les hypothèses standard, est supérieure à la valeur limite de dose, une analyse approfondie de la situation d'irradiation, tenant compte le cas échéant du métabolisme individuel, sera effectuée en vue de déterminer avec plus de précision la dose reçue.

3.4.7 Investigation des incorporations importantes

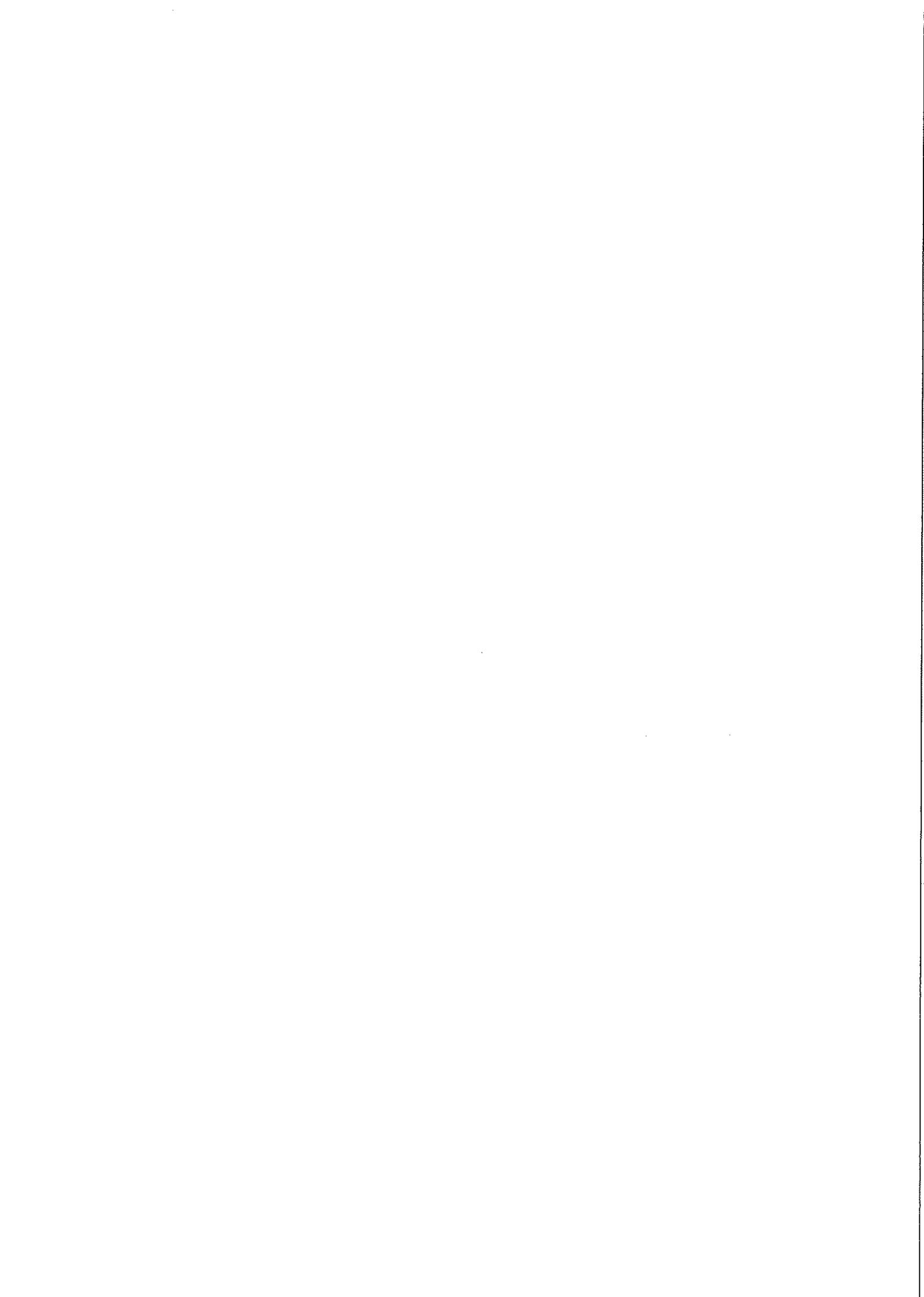
La proposition de réglementation établit les procédures suivantes, selon que le niveau de dose engagée sur 50 ans correspondant à l'intervalle de surveillance dépasse respectivement 1, 20 et 50 mSv.

Dépassement du seuil d'investigation de 1 mSv

Si l'engagement de dose efficace au cours d'un intervalle de surveillance dépasse le seuil d'investigation de 1 mSv (soit 1/20 de la limite annuelle moyenne sur 5 ans égale à 20 mSv), le service de dosimétrie interne doit avertir le radioprotectionniste local dans les 10 jours suivant la mesure *in vivo* ou la réception du rapport d'analyse biologique. Le radioprotectionniste local doit alors informer le travailleur et analyser les conditions de travail de façon à améliorer la situation.

Dépassement de la limite de dose de 20 mSv

Si l'engagement de dose efficace dépasse la limite de dose (limite annuelle moyenne sur 5 ans égale à 20 mSv), le service de dosimétrie interne doit avertir le radioprotectionniste immédiatement. Ce dernier doit alors s'assurer que la situation est sous contrôle et qu'une telle incorporation ne peut pas se renouveler. Il doit également analyser les conditions d'exposition et intensifier les mesures d'incorporation. Une estimation spécifique de l'équivalent de dose effective engagée devrait être effectuée, ainsi qu'une estimation aussi réaliste que possible de la dose efficace annuelle, avec l'aide scientifique éventuelle d'un consultant. Il devrait enfin informer les autorités et présenter les mesures destinées à prévenir la survenue ultérieure d'un tel incident.



Dépassement de la limite de dose de 50 mSv

Si l'engagement de dose efficace dépasse les 50 mSv (limite annuelle), le radioprotectionniste local doit informer immédiatement les services médicaux concernés et se conformer à leurs directives relatives au suivi médical, pouvant inclure d'éventuelles mesures de décorporation.

3.4.8 Documentation, valeurs de seuil et mesures à prendre

Comme les mesures de tri ne sont pas utilisées pour l'estimation des doses, elles ne doivent être enregistrées que localement. Ces enregistrements doivent être conservés pour une éventuelle inspection des autorités. Dans le cas où la valeur de mesure dépasse le seuil de mesure indiqué dans les fiches spécifiques aux radionucléides, une mesure d'incorporation doit être effectuée par un service dosimétrique agréé.

Les résultats des mesures d'incorporation doivent être enregistrés par le service de dosimétrie interne. Ce service rend compte des résultats de mesure et des doses résultantes à l'exploitant. La dose résultante est également transmise à un registre dosimétrique central. Les valeurs de dose sont arrondies à 0,1 mSv. Les doses inférieures à 0,1 mSv sont indiquées comme nulles.

3.4.9 Recommandations pour la surveillance de l'incorporation d'uranium

Métabolisme

La classe d'inhalation recommandée pour l'uranium est la classe Y.

Méthodes de mesure

La mesure de tri recommandée est la mesure de concentration de l'uranium de l'air respiré au poste de travail.

En cas de dépassement du seuil de mesure, il est recommandé de collecter et de mesurer les selles des trois premiers jours, en plus de la mesure d'incorporation, et de demander la collaboration d'un spécialiste pour l'interprétation.

La mesure d'incorporation recommandée est la mesure de concentration de l'uranium dans les urines.

Intervalles de surveillance

L'intervalle de mesure de tri recommandé n'est pas précisé. L'intervalle de mesure d'incorporation recommandé est égal à 90 jours.



4. LA REGLEMENTATION DES ETATS-UNIS

4.1 Résumé

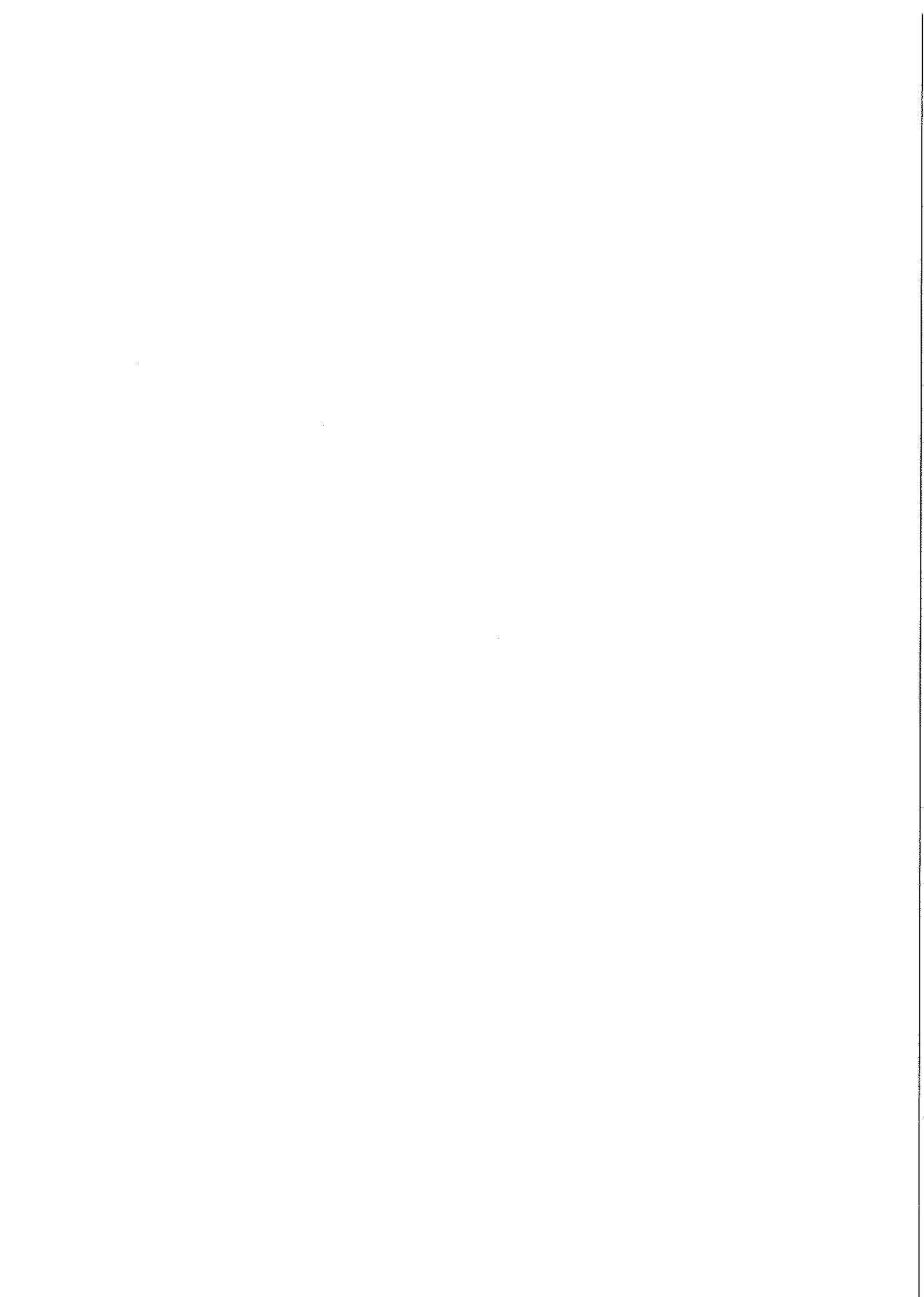
La réglementation américaine en matière de radioprotection est décrite dans la publication 10 CFR 20 de la NRC [9] et est largement fondée sur les recommandations des publications 30 [14] et 54 [11] de la CIPR. D'autres publications de la NRC (guides réglementaires 8.9 [5], 8.7 [7], 8.25 [6] et 8.34 [8]) sont plus particulièrement consacrées aux aspects pratiques de la prise en compte de la réglementation en matière de contamination interne, et notamment au problème de la surveillance de l'exposition des travailleurs.

4.1.1 Guide NRC 8,34

Le guide réglementaire 8,34 de la NRC [8] expose les critères de surveillance et les méthodes pour le calcul des doses dues à l'irradiation professionnelle. Ce guide détermine tout d'abord les conditions dans lesquelles peuvent être réalisées les évaluations destinées à la classification des travailleurs. Il liste ensuite les méthodes acceptables pour le calcul standard de l'équivalent de dose engagée en précisant l'intérêt de l'utilisation d'informations spécifiques à l'individu ou au produit en cas d'expositions accidentelles importantes.

4.1.2 Guide NRC 8,9

Le guide réglementaire 8,9 de la NRC [5] expose les concepts, modèles, équations, et hypothèses acceptables pour un programme d'examens biologiques. Il précise tout d'abord le niveau de concentration atmosphérique au-dessus duquel des services d'examens biologiques devraient être disponibles, ainsi que les éléments à considérer dans le choix de la fréquence des examens. Il fournit ensuite des indications relatives aux niveaux de référence devant être pris en compte pour l'estimation des incorporations : recueil d'information additionnelles au-dessus du niveau d'évaluation, investigation minutieuse au-delà du niveau d'investigation. Enfin, les paramètres devant être considérés pour la sélection des types de mesure les plus efficaces et les plus fiables sont exposés.



4.1.3 Guide NRC 8,25

Le guide réglementaire 8,25 de la NRC [6] expose les recommandations de la NRC relatives aux prélèvements d'air effectués sur les lieux de travail. Ce guide précise d'emblée que ces prélèvements sont une méthode acceptable pour atteindre certains objectifs d'étude et d'évaluation des doses requis par la réglementation, y compris l'évaluation des incorporations des travailleurs.

La première partie de ce guide fournit des éléments d'évaluation de la nécessité des prélèvements d'air en reliant tout d'abord l'étendue du programme de surveillance aux niveaux attendus de l'incorporation des travailleurs et de la concentration atmosphérique. Le choix entre prélèvement d'échantillons et surveillance de l'air continue est ensuite évoqué, avant de rappeler le caractère obligatoire du prélèvement d'air en cas d'utilisation d'équipements de protection respiratoire. Enfin, quelques critères de choix entre prélèvements d'air et examens biologiques sont présentés.

La deuxième partie de ce guide est consacrée aux recommandations relative à l'emplacement des échantillonneurs fixes ou portables. Après avoir rappelé que les emplacements doivent être choisis en fonction des objectifs de mesure et après détermination des écoulements d'air, des indications générales de sélection des emplacements sont fournies.

Enfin, la dernière partie de ce guide est consacrée au problème de la démonstration que les prélèvements d'air sont représentatifs de l'air inhalé. Après avoir rappelé le caractère réglementaire, dans certaines conditions, de cette démonstration, cette partie expose les méthodes pouvant être utilisées pour démontrer de façon quantitative la représentativité ainsi que les actions correctrices pouvant être mises en oeuvre en cas de non représentativité des résultats d'échantillonnage.

4.2 Critères de surveillance et méthodes pour les calcul des doses dues à l'irradiation professionnelle

Ces critères sont exposés dans le guide réglementaire 8.34 de la NRC [8], publié en 1993.



4.2.1 Critères de surveillance

La publication 10 CFR 20 de la NRC [9] précisent les exigences en matière de surveillance individuelle des expositions en fonction du mode d'exposition :

Irradiation externe : L'utilisation d'appareils de surveillance individuelle est nécessaire dès lors que le travailleur exposé est susceptible de recevoir une dose annuelle dépassant 1/10 de la limite annuelle.

Contamination interne : La surveillance individuelle de l'exposition (et non nécessairement l'utilisation d'appareils de surveillance individuelle) est nécessaire dès lors que le travailleur exposé est susceptible de recevoir une incorporation dépassant 1/10 de la limite annuelle.

On notera donc que l'utilisation d'appareils de surveillance individuels est requise pour la surveillance de la dose externe, alors qu'elle ne l'est pas pour la surveillance de l'incorporation de matières radioactives.

Evaluation de la dose annuelle vraisemblable

L'évaluation de la probabilité de doses dépassant les 10% de la limite devrait être fondée sur l'évaluation de la dose potentielle de l'individu au cours de l'année.

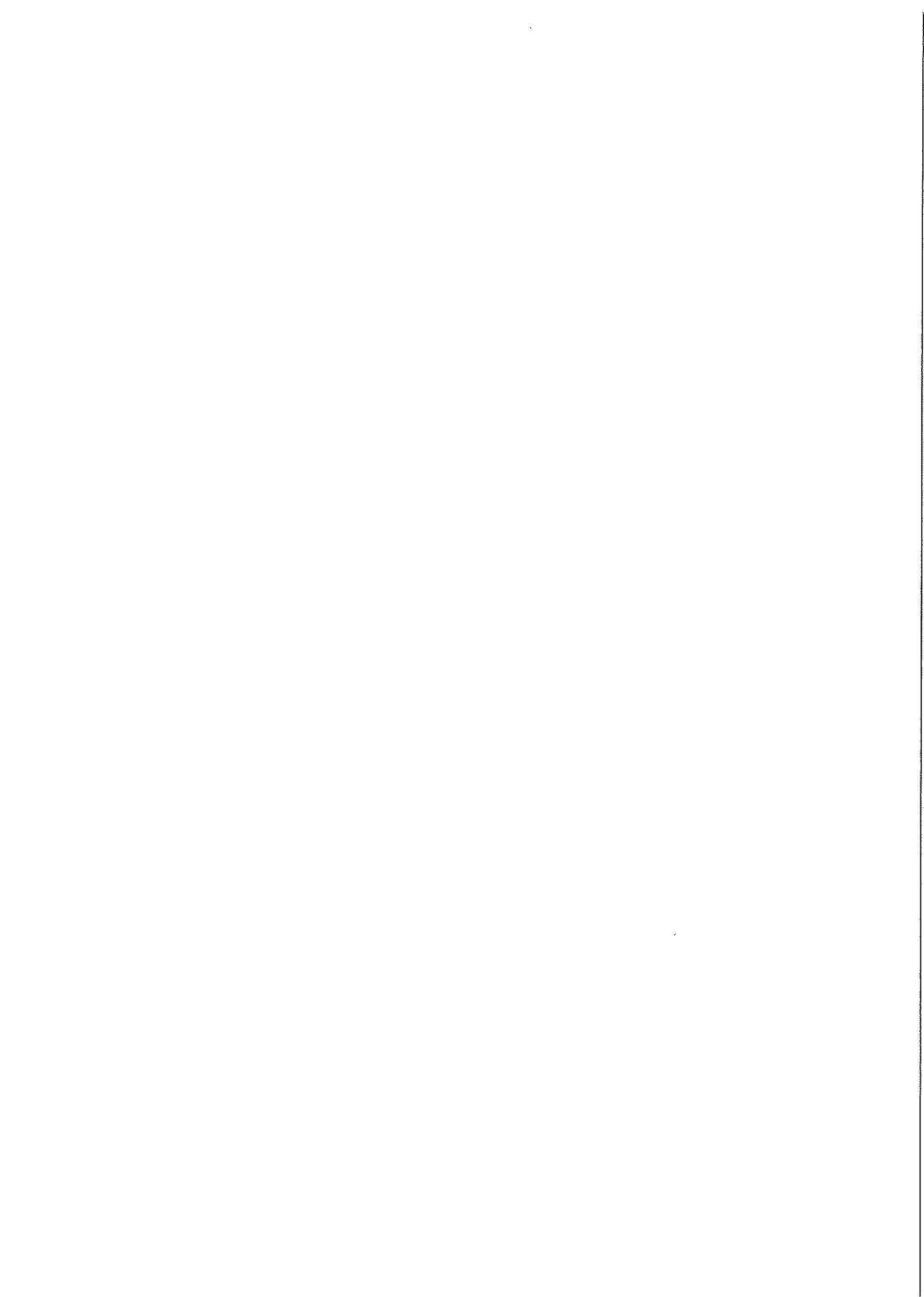
Les estimations découlant des données existantes de relevés dosimétriques ou d'examens biologiques peuvent être considérées dans la projection des doses. La prise en compte de l'utilisation d'équipements de protection respiratoire peut être également considérée dans les évaluations. Enfin, les mesures et les prédictions des concentrations atmosphériques des radionucléides, ainsi que la durée attendue de l'exposition, peuvent être utilisées pour prédire les incorporations de radionucléides.

Catégories de travailleurs pour la surveillance

Si des groupes de travailleurs sont exposés à des conditions radiologiques similaires, une seule évaluation peut être utilisée pour déterminer le besoin d'une surveillance individuelle.

Surveillance effectuée mais non requise

La surveillance individuelle peut être effectuée pour d'autres raisons que celle la rendant obligatoire mais, alors que les résultats de la surveillance obligatoire doivent être



enregistrés, les résultats de la surveillance non obligatoire ne sont pas tenus d'être conservés. Ainsi, les résultats d'enquêtes et de surveillance qui servent de mesure confirmatives ne sont pas soumis aux exigences d'enregistrement, dès lors qu'ils confirment que le niveau de dose individuelle est inférieur à 10% des limites. Un exemple de surveillance confirmative est un examen biologique annuel utilisé comme confirmation de l'adéquation des mesures de contrôle de la contamination atmosphérique.

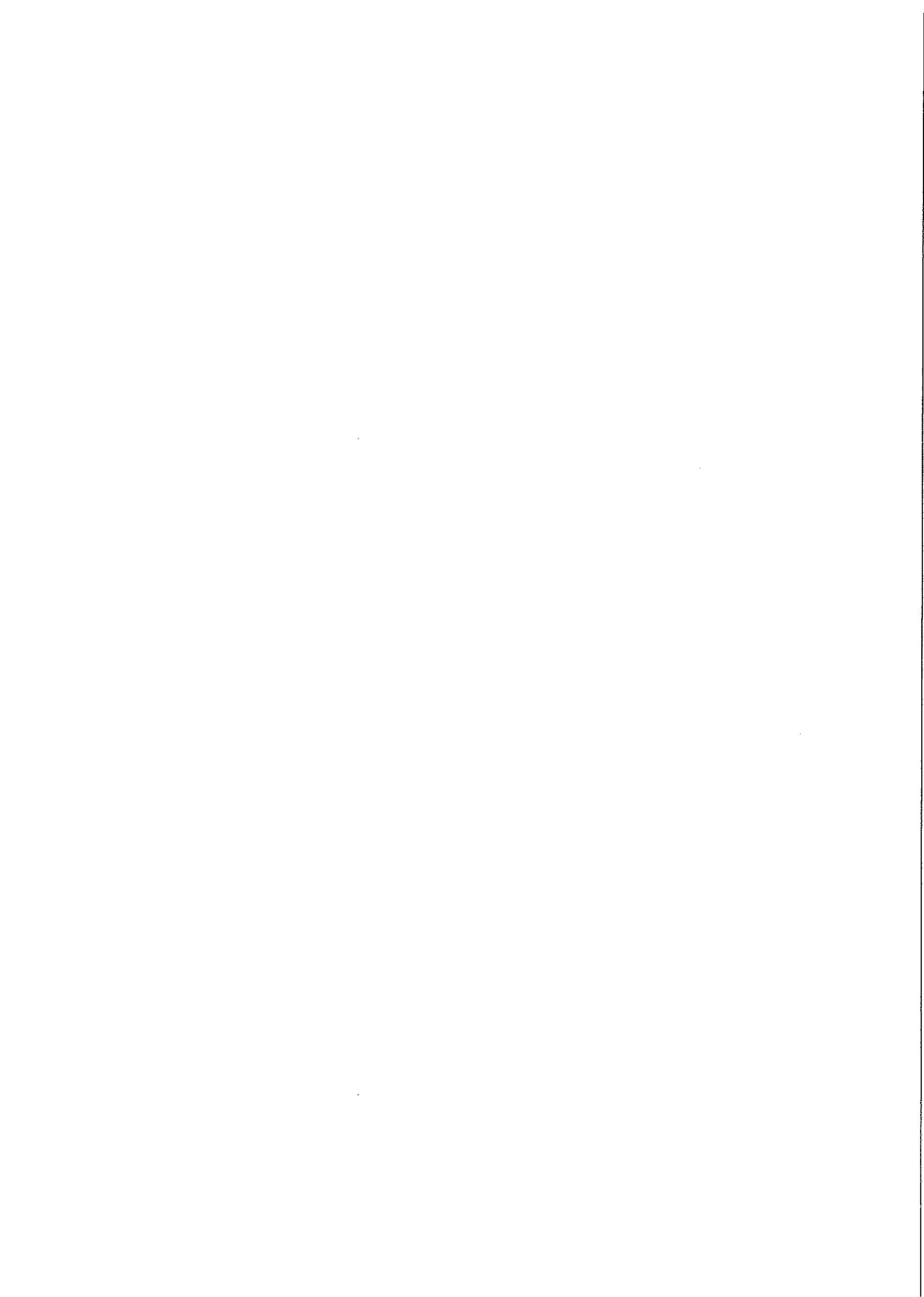
Sensibilité de détection

Les critères de surveillance individuelle n'établissent pas d'exigence en termes de niveaux requis de sensibilité de détection. Par exemple, il peut être impossible de confirmer des incorporations de l'ordre de 1/10 de la LAI, en particulier pour les examens biologiques de certains radionucléides émetteurs alpha. En conséquence, les seuils de surveillance ne devraient pas être interprétés comme des exigences portant sur la sensibilité d'une mesure particulière. L'utilisation des résultats de la surveillance du lieu de travail et de facteurs d'occupation devrait donc être considérée, le cas échéant, pour l'évaluation des expositions potentielles et des besoins de surveillance.

4.2.2 Calcul de l'équivalent de dose engagée par inhalation

Il y a au moins cinq méthodes acceptables pour le calcul de l'équivalent de dose engagée sur 50 ans :

- L'utilisation des équivalents de dose efficace engagée par unité d'incorporation (Sv/Bq) publiés dans le guide fédéral de l'EPA n°11 [12].
- L'utilisation des valeurs de LAI de la publication 10 CFR 20 de la NRC [9], correspondant à un équivalent de dose engagée efficace de 50 mSv ou un équivalent de dose engagée à l'organe le plus exposé de 500mSv, en retenant la valeur la plus restrictive. Ces LAI sont basées sur une distribution de particules présentant un AMAD de 1 µm et peuvent être utilisées quelle que soit la distribution réelle en diamètre des particules. Cependant, la NRC autorise un ajustement des LAI afin de tenir compte de la taille des particules, mais seulement après approbation préalable de la NRC.
- L'utilisation des LDCA de la publication 10 CFR 20 de la NRC [9]. Ces LDCA peuvent être directement si elles correspondent à des valeurs stochastiques. Dans le cas contraire, il est recommandé (mais non exigé) de calculer une LDCA stochastique à partir de la LAI stochastique.



- L'addition des facteurs de dose de la CIPR 30 [14] afin d'obtenir l'équivalent de dose efficace engagée par unité d'incorporation (Sv/Bq).
- L'utilisation d'informations spécifiques à l'individu ou au produit. La publication 10 CFR 20 de la NRC [9] précise en effet que lorsque des informations particulières sur les propriétés physiques ou biochimiques des radionucléides incorporés ou sur le comportement d'un composé chez un individu, cette information peut être utilisée pour calculer l'équivalent de dose engagée efficace. Aucune approbation préalable de la NRC n'est requise, mais la méthode de calcul doit être enregistrée.

Cette approche requiert une quantité de travail ainsi qu'une expertise bien plus importantes que les autres approches et présentera peu d'intérêt dans le cas d'incorporations de routine de niveau peu élevé. Elle pourra cependant être appropriée dans le cas d'expositions accidentelles importantes pour lesquelles une information plus précise conduira à une meilleure estimation de la dose.

4.2.3 Enregistrement des résultats de la surveillance individuelle

Unités :

L'unité de référence pour la dose est le rem. L'utilisation du millirem est permise, mais n'est pas recommandée. L'unité de référence pour les incorporations est le microcurie. La publication 10 CFR 20 de la NRC [9] ne permet pas l'emploi des sieverts et des becquerels dans les fiches d'enregistrement officielles.

Niveau d'enregistrement :

Les doses inférieures à 0,001 rem (soit 0,02% de la limite de 5 rem) ne devraient pas figurer sur les fiches de suivi dosimétrique car des valeurs inférieures ne sont pas significatives en regard des limites de dose.

4.3 Concepts, modèles, équations, et hypothèses acceptables pour un programme d'examens biologiques.

Le cadre méthodologique acceptable d'un programme d'examens biologiques est exposé dans le guide réglementaire 8.9 (révision 1) de la NRC, publié en 1993.



La publication 10 CFR 20 de la NRC [9] stipule que des mesures adaptées et opportunes des quantités de radionucléides présentes dans le corps, des quantités de radionucléides excrétées, des concentrations de radionucléides dans l'air du lieu de travail, ou toute combinaison de ces mesures, doivent être effectuées quand elles s'avèrent nécessaires pour la détection et l'évaluation des incorporations individuelles de matières radioactives.

De plus, cette publication autorise l'emploi d'informations spécifiques sur les propriétés physiques et biochimiques des radionucléides déposés dans le corps lors de la détermination de la dose interne.

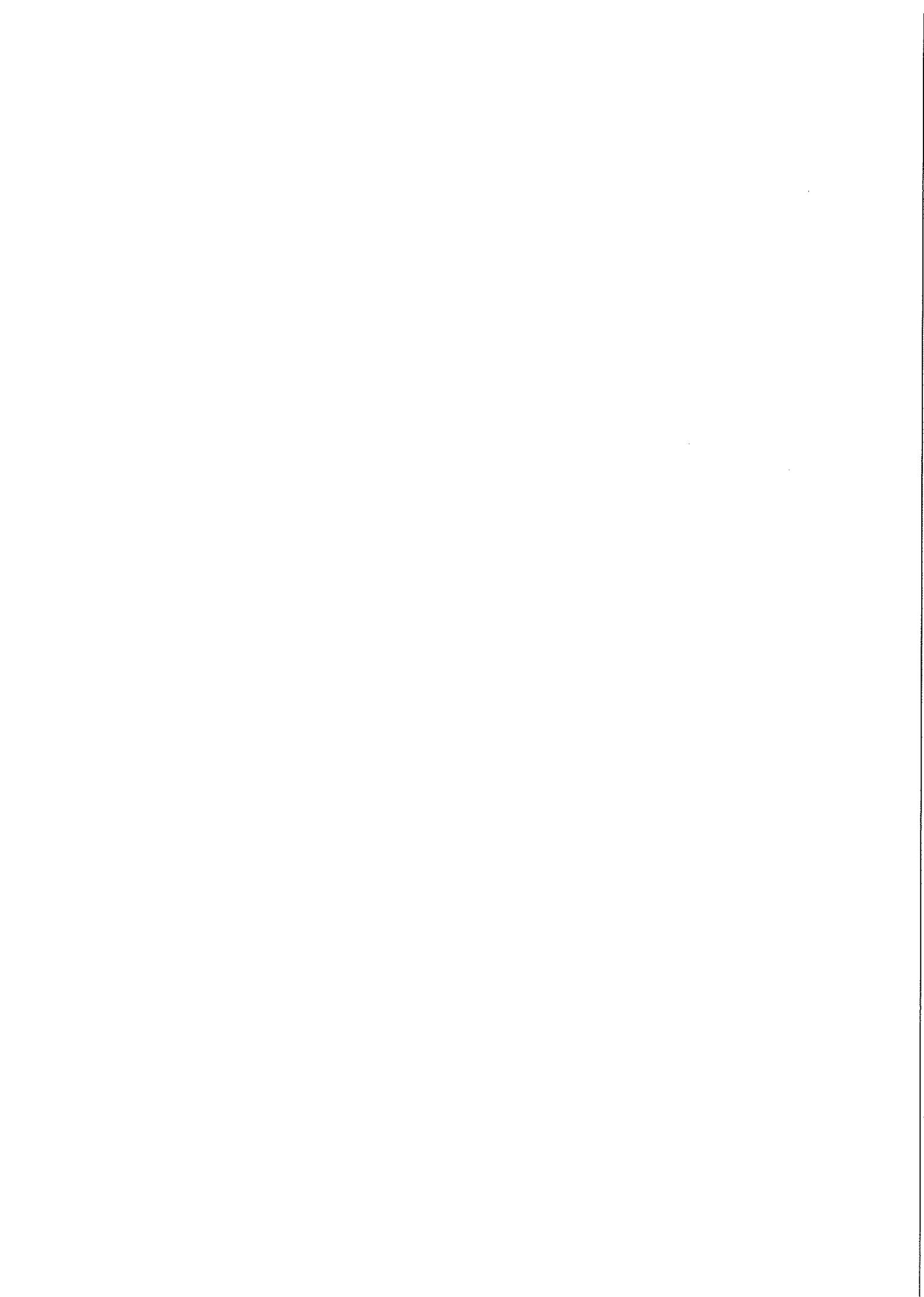
Par ailleurs, si des dispositifs de protection respiratoire sont utilisés afin de limiter l'incorporation de matières radioactives présentes dans l'air, le programme de protection respiratoire doit comporter des examens biologiques appropriés afin d'évaluer l'incorporation effective de l'activité atmosphérique.

En raison des différences de propriétés physiques et de processus métaboliques, la même exposition délivrée à plusieurs individus conduira à des doses différentes pour chaque individu. Cependant, dans le cadre de la vérification du respect des limites de dose, des approches standard ont été développées pour la détermination de l'incorporation et le calcul de la dose. Toutefois, dans des circonstances inhabituelles telles que des expositions proches ou au dessus des limites, une attention particulière peut devoir être portée aux spécificités individuelles de rétention et d'excrétion lors de la détermination de l'incorporation.

4.3.1 Disponibilité des services d'examens biologiques

Le but des mesures biologiques est de confirmer l'adéquation du contrôle radiologique et de vérifier le respect des limites de dose pour l'irradiation professionnelle.

De tels examens devraient être disponibles si le type et les quantités de matière radioactives peuvent, dans des conditions normales d'exploitation, induire des niveaux de concentration atmosphérique dans des zones habituellement occupées supérieurs à la LDCA.



4.3.2 Fréquence des examens biologiques obligatoires

La fréquence appropriée pour les examens biologiques de routine dépend des conditions potentielles d'exposition et de caractéristiques physiques et chimiques des matières radioactives susceptibles d'être incorporées.

Les éléments qui devraient être considérés sont :

- Le risque d'exposition de l'individu.
- Les caractéristiques de rétention et d'excrétion du radionucléide.
- La sensibilité de la technique de mesure.
- Le niveau d'incertitude acceptable sur l'estimation de l'incorporation et de l'équivalent de dose efficace engagée.

Les examens biologiques visant à la démonstration du respect des limites de dose devraient être effectués avec une fréquence suffisante pour permettre de quantifier des expositions potentielles et des incorporations résultantes susceptibles de dépasser collectivement, en un an, 1/10 de la LAI.

Surveillance de routine

La fréquence des examens de routine devrait être déterminée *a priori* sur la base du risque d'exposition de l'individu.

Des mesures périodiques devraient être effectuées dès lors que l'exposition cumulée à la radioactivité atmosphérique, depuis le dernier examen biologique, est supérieur à 1/50 de la LAI.

Les mesures périodiques devraient être effectuées au minimum, une fois par an. Des mesures périodiques fournissent en effet des informations additionnelles sur l'accumulation à long terme et la rétention de matières radioactives dans le corps, en particulier dans le cas d'expositions à des concentrations de matières radioactives en dessous des seuils de surveillance.

4.3.3 Niveaux de référence pour l'estimation des incorporations

L'incorporation devrait être estimée pour tout résultat positif d'examen biologique. Cependant, l'envergure de l'évaluation devrait être adaptée à l'importance potentielle de l'incorporation.



Pour des expositions individuelles associées à une estimation d'incorporation inférieure à 1/50 de la LAI, des mesures biologiques minimales sont suffisantes pour fournir une approximation raisonnable de l'incorporation.

Des examens biologiques répétés ne sont pas nécessaires, dès lors qu'une estimation raisonnable de l'incorporation peut être réalisée avec les données disponibles.

4.3.3.1 Niveau d'évaluation

Pour des incorporations très faibles, un seul examen biologique est souvent suffisant. Pour des incorporations qui représentent une contribution dosimétrique significative, d'autres données devraient être évaluées. On notera cependant qu'une mesure unique peut se révéler insuffisante à la détermination de l'incorporation pour des radionucléides difficiles à détecter tels que les émetteurs alpha.

Si les premiers examens biologiques indiquent une incorporation supérieure à 1/50 de la LAI, des données additionnelles, telles que des prélèvements d'air ou des examens biologiques additionnels devraient être obtenues, afin de fournir une meilleure estimation de l'incorporation.

4.3.3.2 Niveau d'investigation

Pour des incorporations isolées qui dépassent 1/10 de la LAI, une investigation minutieuse des conditions de l'exposition devrait être réalisée. En conséquence, si l'incorporation potentielle dépasse 1/10 de la LAI, des examens biologiques multiples ainsi qu'une évaluation des données de surveillance de l'air devrait être conduite.

Dans la mesure du possible, des mesures journalières devraient être effectuées jusqu'à ce que le profil de rétention et d'excrétion puisse être établi. Une telle estimation peut être réalisée avec aussi peu que trois mesures, mais les mesures peuvent devoir être, dans certains cas, prolongées sur une période de temps plus importante.

Enfin, pour des incorporations potentielles proches ou au dessus des LAI, les évaluations des résultats d'examens biologiques devraient prendre en compte toute donnée additionnelle sur les caractéristiques physiques et chimiques du composé radioactif incorporé, et sur les processus physiques et biocinétiques de l'individu exposé.



4.3.4 Types de mesures

Les caractéristiques d'incorporation, d'absorption, d'excrétion, et de décroissance radioactive devraient être considérées pour la sélection des types de mesures les plus efficaces et les plus fiables.

Par exemple, des mesures *in vivo* des poumons ou du corps entier, réalisées peu de temps après l'exposition, fournissent une estimation fiable de l'incorporation de la plupart des radionucléides émetteurs gamma.

Des mesures *in vitro* devraient être réalisées pour les radionucléides qui émettent peu ou pas de rayonnements gamma.

Cependant, les mesures *in vitro* urinaires ou fécales de la première excrétion suivant l'exposition, tout en apportant une information importante pour l'évaluation de l'importance de l'exposition, ne représentent généralement pas une situation d'équilibre et ne devraient donc pas être utilisées dans l'estimation de l'incorporation.

La publication 54 de la CIPR [11], ainsi que le rapport n°87 du NCRP [13] fournissent des recommandations acceptables pour déterminer le type des examens biologiques qui devraient être réalisés, en considérant les caractéristiques physiques et biologiques de la matière radioactive.

4.4 Prélèvements d'air sur les lieux de travail

Les recommandations de la NRC sur les prélèvements d'air effectués sur les lieux de travail sont exposées dans le guide réglementaire 8.25 (révision 1) de la NRC [6], publié en 1992.

Ce guide précise d'emblée que les prélèvements d'air effectués sur les lieux de travail sont une méthode acceptable pour atteindre certains objectifs d'étude et d'évaluation des doses requis par la réglementation exposée dans la publication 10 CFR20 de la NRC [9].

Les prélèvements d'air peuvent être utilisés pour confirmer l'efficacité du confinement de matières radioactives, mesurer les concentrations atmosphériques sur les lieux de travail, pour évaluer les incorporations des travailleurs, déterminer les besoins d'affichages



particuliers, identifier les équipements de protection et les méthodes de mesure appropriés, et pour prévenir de l'existence dans l'air de niveaux significatifs de matières radioactives. Si des examens biologiques sont réalisés pour évaluer les doses des travailleurs, les prélèvements d'air peuvent être utilisés pour déterminer l'instant de l'incorporation et identifier les travailleurs qui devraient faire l'objet d'examens biologiques.

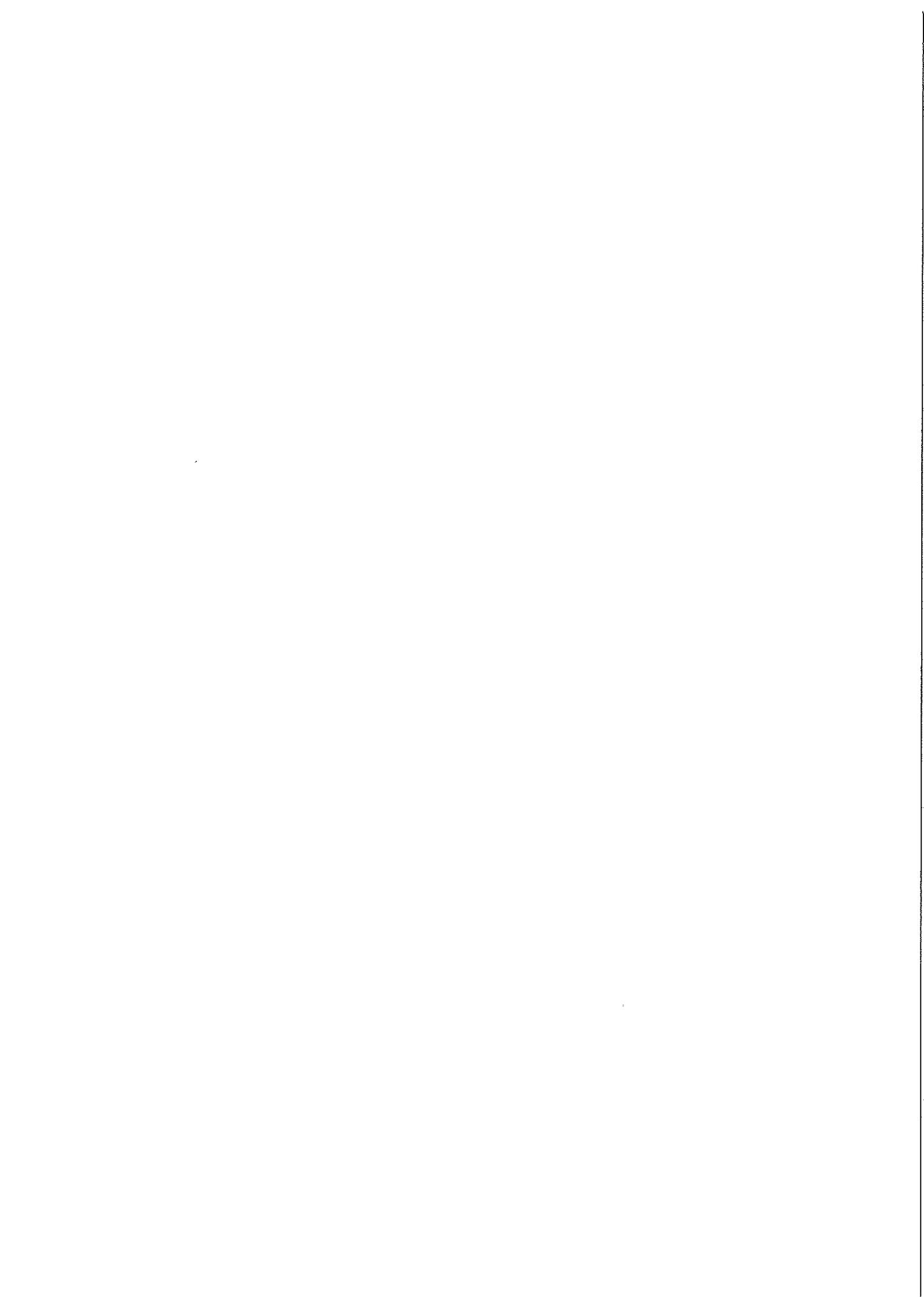
4.4.1 Evaluation de la nécessité des prélèvements d'air

4.4.1.1 Incorporations et concentrations attendues

L'étendue du programme de surveillance de l'air peut être basée sur les niveaux attendus de l'incorporation des travailleurs et de la concentration atmosphérique, de la façon suivante :

Incorporation annuelle [LAI]	Concentration atmosphérique [LDCA]	Recommandations de prélèvement d'air
< 0,1	< 0,01	Prélèvements d'air généralement non nécessaires hormis les prélèvements confirmatifs mensuels ou trimestriels.
	> 0,01	Le prélèvement d'air peut être approprié : Prélèvements d'air intermittents ou ponctuels pour les faibles concentrations. Mesures continues si les concentrations peuvent dépasser 0,1 LDCA en moyenne sur 40 heures.
> 0,1	< 0,3	Surveillance de l'air ou examens biologiques requis par la publication 10 CFR20.
	> 0,3	La démonstration de la représentativité des échantillons d'air est appropriée si : - l'estimation des incorporations sera fondée sur les prélèvements d'air, - les concentrations peuvent dépasser 0,3 LDCA en moyenne sur 40 heures.
Toute incorporation	> 1	Les échantillons devraient être analysés avant la reprise du travail le jour suivant ou le prochain poste horaire, quand l'incorporation potentielle peut dépasser 40 LDCA-heures en une semaine (après prise en compte de la protection apportée par les équipements de protection respiratoire).
	> 5	La surveillance de l'air devrait être continue si l'incorporation potentielle peut dépasser 40 LDCA-heures en une journée (après prise en compte de la protection apportée par les équipements de protection respiratoire)

L'estimation des incorporations et des concentrations potentielles devrait être si possible fondée sur des données historiques de prélèvements d'air et d'examens biologiques. Si de telles données ne sont pas disponibles, les incorporations et concentrations potentielles devraient être estimées.



4.4.1.2 Prélèvement d'échantillons ou surveillance de l'air continue

La surveillance de l'air peut être effectuée de façon continue pendant les heures de travail ou de façon intermittente, par prélèvement d'échantillons au cours de certaines phases de travail.

Quand le prélèvement d'air continu est effectué pendant la journée de travail pour des procédés continus, un échange hebdomadaire des échantillons est généralement acceptable (à l'exception de certains radionucléides à vie très courte). Des périodes d'échantillonnage plus importantes peuvent être appropriées dans le cas où les niveaux de concentration atmosphérique et de contamination surfacique sont tous deux suffisamment bas.

Quand le prélèvement d'échantillons d'air est effectué pour des procédés continus, une fréquence d'échantillonnage hebdomadaire est généralement acceptable. Cependant, une fréquence mensuelle ou trimestrielle peut être acceptable pour des zones dans lesquelles les concentrations atmosphériques moyennes de matière radioactive ne sont pas supposées dépasser quelques pour-cent de la LDCA.

Le prélèvement d'échantillons serait également approprié dans le cas où les opérations sont conduites de façon intermittente.

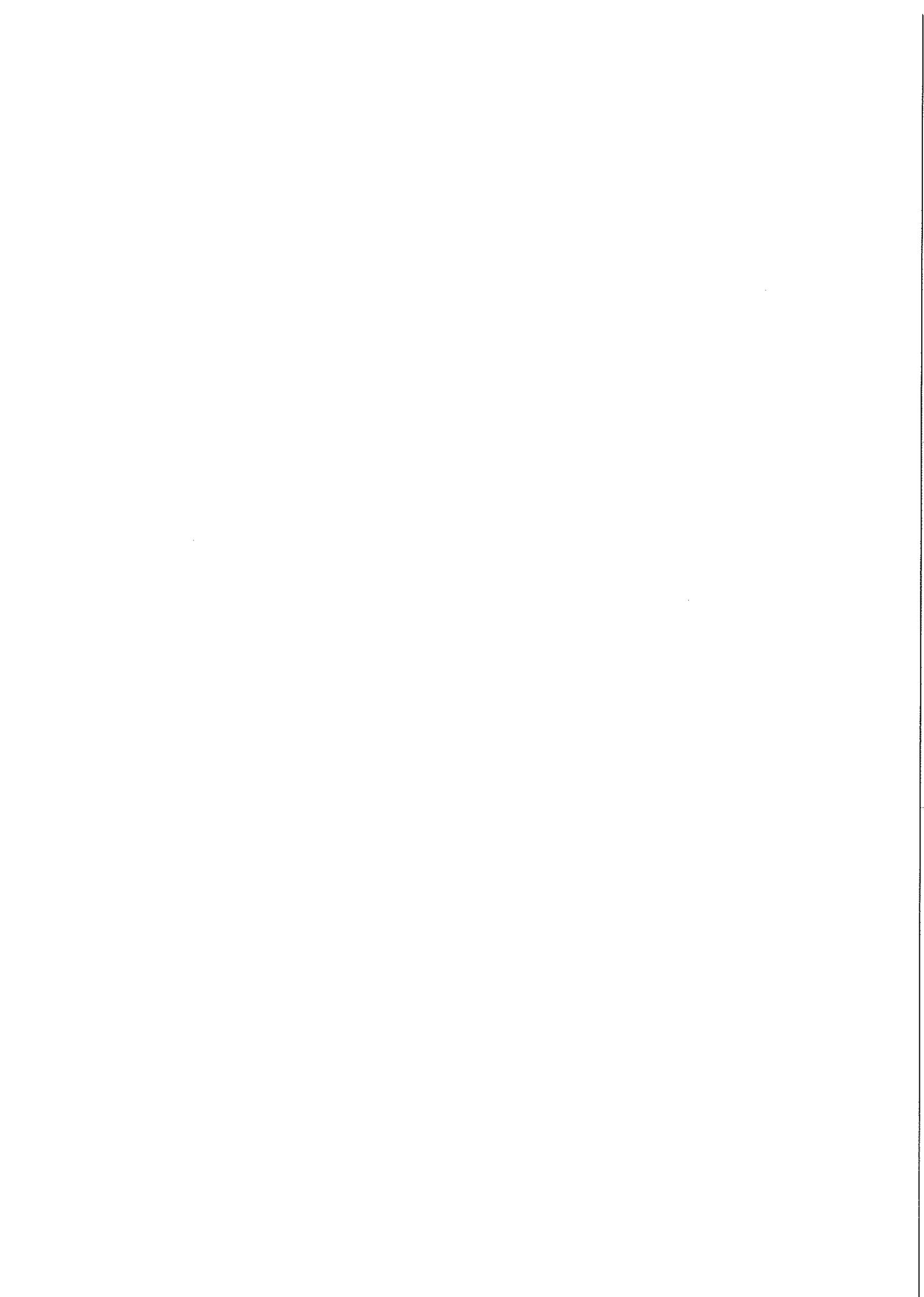
4.4.1.3 Utilisation d'équipements de protection respiratoire

Le prélèvement d'air est requis par la publication 10 CFR20 de la NRC [9] afin d'évaluer la contamination de l'air chaque fois que des équipements de protection respiratoire sont utilisés afin de limiter les incorporations. Les échantillonneurs d'air qui sont placés de façon à évaluer l'incorporation des travailleurs peuvent être utilisés à cet effet.

Si l'activité du travailleur est la source principale de contamination de l'air, l'échantillonnage devrait être réalisé au cours de l'activité et non au préalable.

4.4.1.4 Analyse rapide de certains échantillons

Dans les situations où l'incorporation potentielle peut dépasser 40 LDCA-heures en une semaine (après prise en compte des facteurs de protection apportés par les équipements de protection respiratoire), les échantillons d'air devraient être analysés rapidement sur une base journalière et les résultats de l'échantillonnage devraient être disponibles avant la reprise du travail le jour suivant. Si le travail est posté, les résultats devraient être



disponibles avant la fin du poste suivant, de préférence pendant la première moitié de ce dernier.

Dans le cas d'opérations inhabituelles ou spéciales, on devrait tenter d'obtenir les résultats d'analyse dans l'heure qui suit.

4.4.1.5 Surveillance d'air continue

Dans les situations où des événements accidentels peuvent conduire à des incorporations dépassant 40 LDCA-heures en une journée, la surveillance de l'air devrait être effectuée de façon continue.

Quand les appareils de mesure en continu utilisés sont dotés d'alarmes automatiques, celles-ci devraient être réglées aussi bas que possible sans toutefois causer un nombre excessif (pas plus d'une fois par trimestre) de fausses alarmes. De plus, des sources de référence devraient être utilisées de façon hebdomadaire afin de vérifier la réponse et l'alarme de l'appareil.

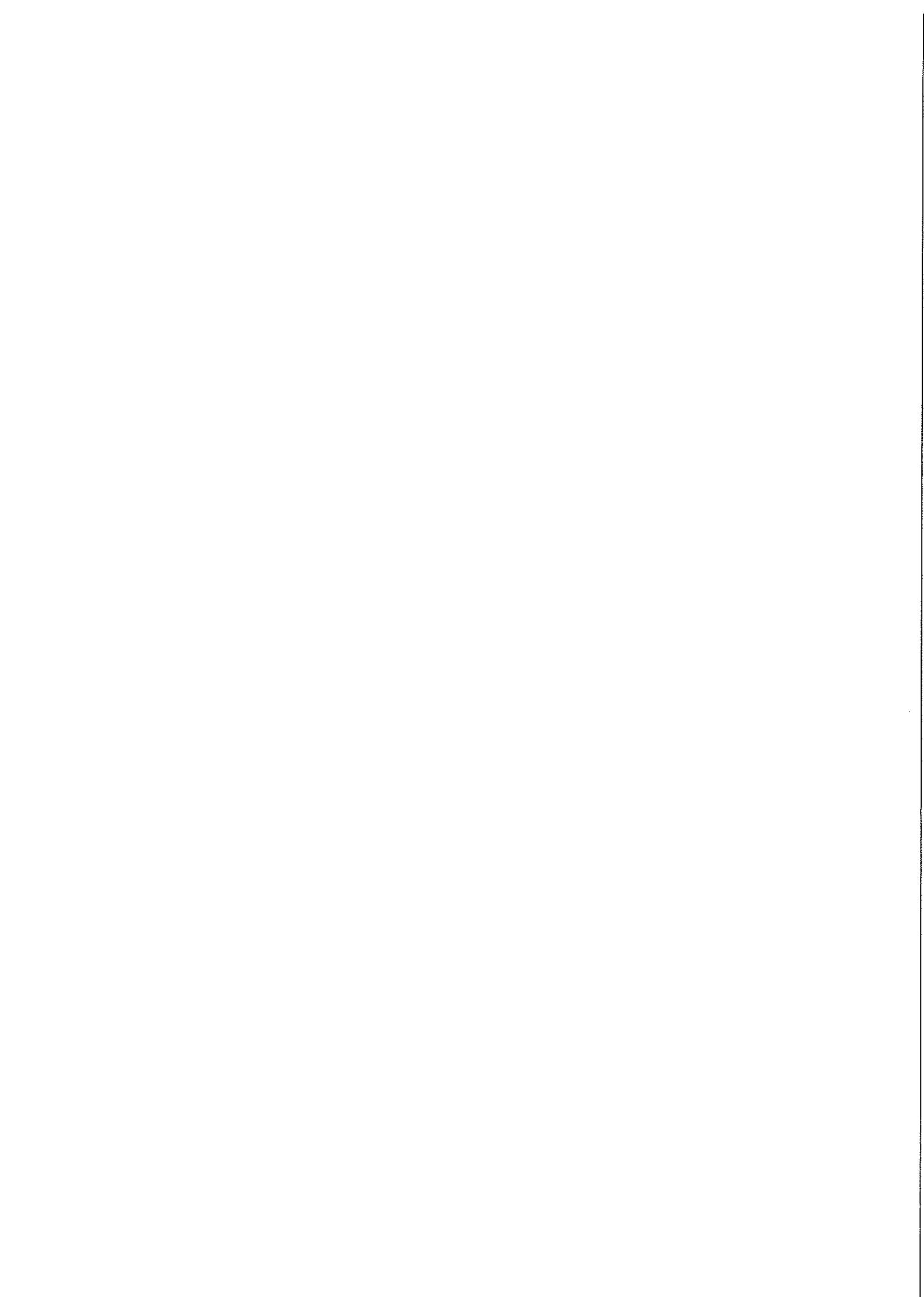
4.4.1.6 Détermination des incorporations par prélèvements d'air ou examens biologiques

Si des données suffisantes à l'estimation de l'incorporation d'un travailleur sont disponibles à la fois par prélèvements d'air et examens biologiques, et que les résultats de ces deux méthodes diffèrent de façon significative, l'estimation de l'incorporation du travailleur devrait être basée sur les données considérées comme les plus fiables par l'équipe de radioprotection.

4.4.1.7 Substituts aux prélèvements d'air

Dans le cas où l'expérience montre que les incorporations des travailleurs sont généralement basses, il peut être acceptable de substituer d'autres techniques aux prélèvements d'air.

Par exemple, dans le cas de la manipulation de tritium, d'iode, ou d'autres matières qui sont détectées facilement et de manière efficace par des méthodes d'examen biologique, il peut être approprié d'éliminer tout prélèvement d'air et de ne s'appuyer que sur les examens biologiques pour mesurer les incorporations et vérifier le confinement.



4.4.2 Emplacement des échantillonneurs d'air

Les concentrations varient habituellement de façon importante d'un endroit à l'autre, quelquefois de plusieurs ordres de grandeur pour des emplacements relativement proches. De ce fait, le choix de l'emplacement des appareils de prélèvement d'air est important car des appareils placés de manière inappropriée peuvent conduire à des résultats trompeurs.

Les recommandations suivantes ne s'appliquent qu'aux échantillonneurs fixes ou portables. Elles ne s'appliquent pas aux échantillonneurs portatifs.

4.4.2.1 Objectifs des mesures

Avant de sélectionner un emplacement de prélèvement d'air, les objectifs de mesure devraient être définis. Des exemples de tels objectifs peuvent être :

- L'estimation de l'incorporation des travailleurs.
- La vérification de l'efficacité du confinement.
- L'alarme en cas de concentrations anormalement élevées.
- La détection d'une perte éventuelle de confinement.
- La détermination de l'existence d'une zone de radioactivité atmosphérique.

4.4.2.2 Détermination des écoulements d'air

Les écoulements d'air devraient être déterminés afin de placer les échantillonneurs d'air aux endroits appropriés.

Lorsque le prélèvement d'air dans une zone présentant une contamination de l'air est effectué afin de déterminer les incorporations de travailleurs dont la surveillance est requise par la réglementation (section 1502 de la publication 10 CFR20 de la NRC [9]), des dispositifs adéquats devraient être utilisés pour déterminer l'écoulement d'air depuis la source jusqu'à la zone respiratoire du travailleur.

La détermination des écoulements d'air devrait être répétée en cas de modification de l'installation, comme par exemple les changements d'emplacement de postes de travail ou des variations saisonnières qui peuvent modifier l'écoulement d'air, ou s'il y a une raison de suspecter un problème.



De plus, les emplacements d'au moins 10% des échantillonneurs fixes devraient être réétudiés chaque année pour confirmer que leurs emplacements sont toujours appropriés.

4.4.2.3 Sélection des emplacements d'échantillonneurs

Les échantillons d'air devraient être collectés dans les écoulements d'air en aval des sources de matière radioactive aérienne.

Quand l'objectif du prélèvement est de vérifier l'efficacité du confinement ou de fournir une alarme en cas de concentrations élevées, le point de prélèvement devrait être placé dans l'écoulement en aval et à proximité du point de rejet. Ces échantillonneurs n'ont pas à être placés à proximité de la zone respiratoire des travailleurs et les concentrations peuvent être très différentes des concentrations de la zone respiratoire. Si la pièce a plusieurs sources de contamination aérienne très espacées, plusieurs points de prélèvements peuvent être nécessaires.

Quand l'objectif du prélèvement est de déterminer l'incorporation des travailleurs, chaque poste de travail fréquemment occupé devrait être doté de son propre échantillonneur. Les échantillonneurs d'air devraient être placés aussi près que possible de la zone respiratoire des travailleurs sans toutefois interférer avec le travail ou le travailleur. De plus, l'écoulement d'air doit être pris en compte dans le positionnement de l'appareil de façon à ce que ce dernier soit placé dans l'écoulement en aval de la source et en amont ou au niveau du travailleur. Enfin, une estimation du temps passé par le travailleur à chaque poste de travail devrait être réalisée (à moins que des appareils de prélèvement d'air individuels ne soient utilisés).

4.4.3 Démonstration que les prélèvements d'air sont représentatifs de l'air inhalé

La section 20.1502 de la publication 10 CFR20 de la NRC [9] exige la surveillance des travailleurs susceptibles de recevoir une incorporation dépassant 1/10 de la LAI.

La section 20.1204 de cette même publication autorise l'utilisation de prélèvements d'air, d'examen biologiques, ou une combinaison des deux pour la détermination de l'incorporation des travailleurs.



4.4.3.1 Nécessité de démontrer que l'air échantillonné est représentatif de l'air de la zone respiratoire

Il est nécessaire de démontrer que l'air échantillonné est représentatif de l'air de la zone respiratoire si les quatre conditions suivantes sont toutes satisfaites :

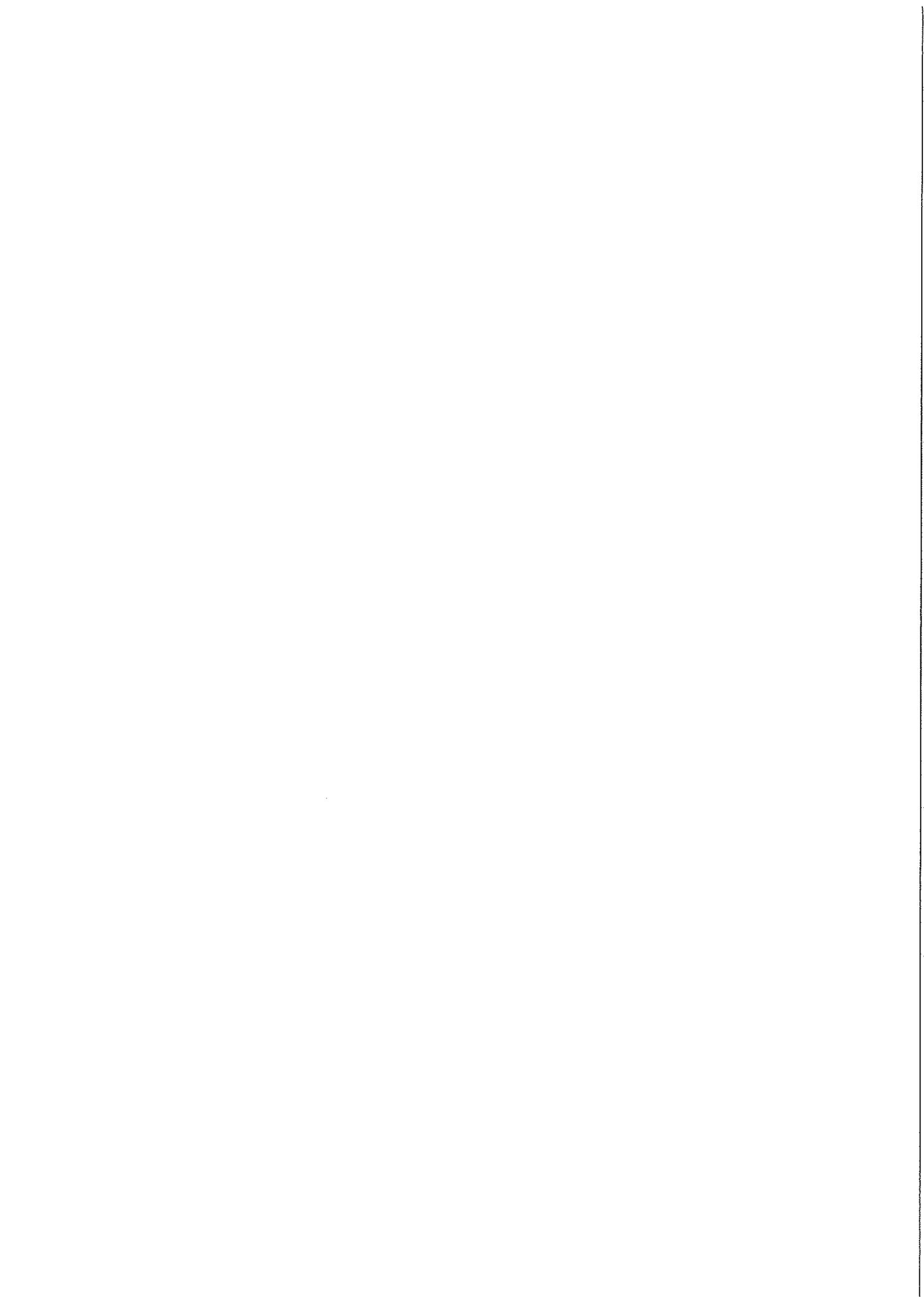
- La surveillance est exigée par la réglementation parce que l'incorporation annuelle est susceptible de dépasser 1/10 de la LAI.
- L'enregistrement de l'incorporation sera basée sur les prélèvements d'air plutôt que sur les examens biologiques.
- Les expositions ont lieu dans une zone où les concentrations atmosphériques peuvent dépasser 12 LDCA-heures en une semaine.
- Des échantillonneurs individuels ou des échantillonneurs placés à moins d'un pied de la tête des travailleurs ne sont pas utilisés. (Les résultats des échantillonneurs individuels ou des échantillonneurs placés à moins d'un pied de la tête des travailleurs peuvent être considérés comme représentatifs sans le recours à une démonstration supplémentaire).

4.4.3.2 Démonstration de la représentativité de l'air échantillonné

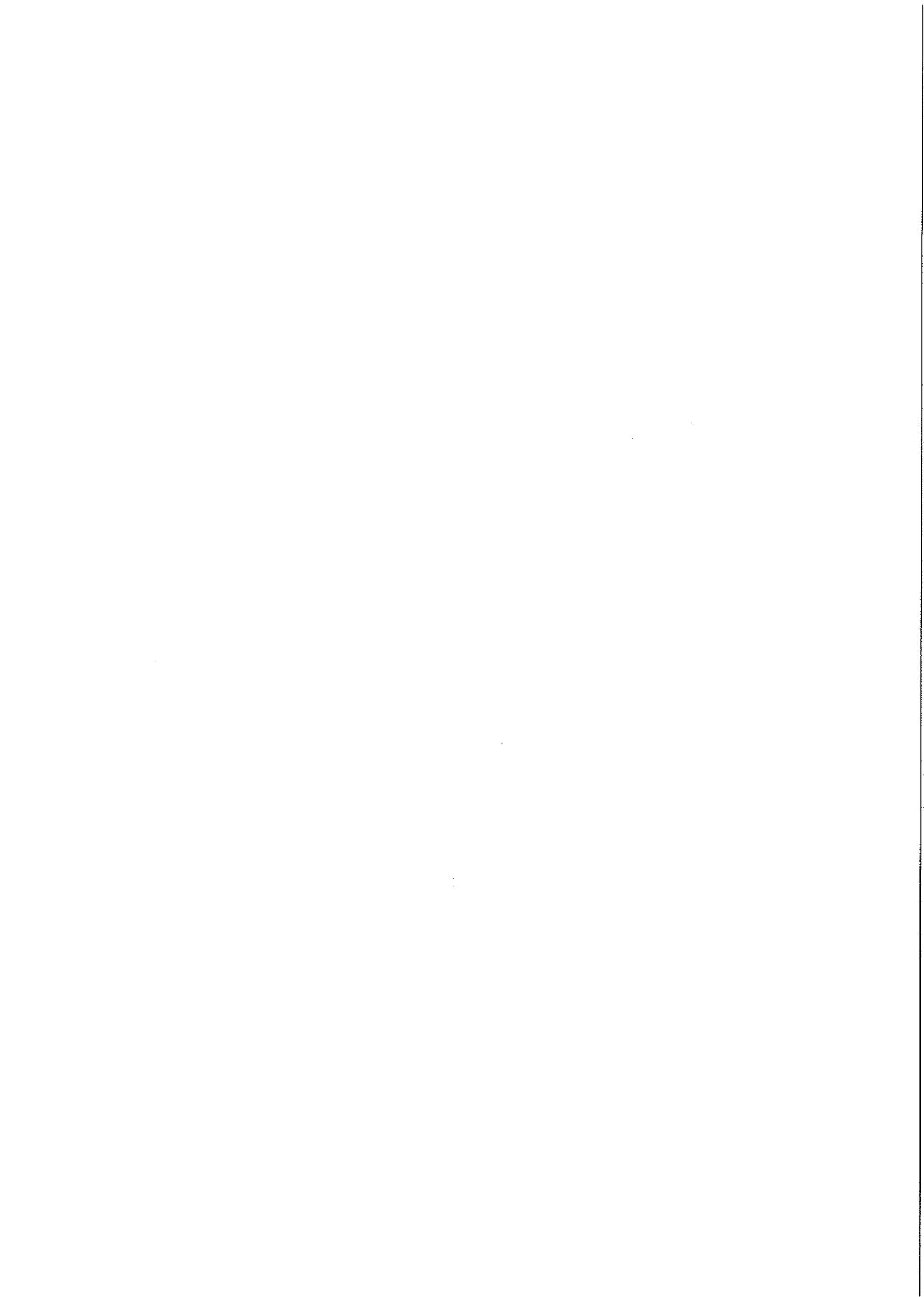
Quatre méthodes peuvent être utilisées pour démontrer la représentativité des résultats des échantillonneurs qui ne sont pas situés à moins d'un pied de la tête des travailleurs :

- Comparaison avec les résultats d'échantillonneurs individuels.
- Comparaison avec les résultats d'examens biologiques.
- Comparaison utilisant des mesures multiples à proximité de la zone respiratoire.
- Comparaison avec des mesures quantitatives d'écoulements d'air.

Les cas d'application de chaque méthode et les critères permettant de considérer la représentativité des résultats d'échantillonnage sont présentés ci-après :



Méthode	Description
<p>Comparaison avec des échantillonneurs individuels</p>	<p>Travailleurs dont les incorporations annuelles doivent être surveillées car pouvant dépasser 1/10 de LAI et dont l'enregistrement de doses est fondée en priorité sur le prélèvement d'air.</p> <p>Comparaison des incorporations mesurées par prélèvement d'air avec celles mesurées par échantillonneur individuel pour une durée d'au moins une semaine d'opérations continues ou pour plusieurs opérations dans le cas d'opérations répétitives de courte durée.</p> <p>Le ratio des incorporations calculées par prélèvement d'air divisées par les incorporations calculées par échantillonnage individuel devrait dépasser 0,7 en moyenne pour tous les travailleurs inclus dans la comparaison. Le ratio pour chaque travailleur individuel devrait dépasser 0,5. (Les valeurs de 0,7 et 0,5 ont été choisies afin que la précision des incorporations basées sur le prélèvement d'air soit compatible avec la précision attendue des dosimètres d'irradiation externe).</p>
<p>Comparaison avec des résultats d'examens biologiques</p>	<p>Travailleurs dont les incorporations annuelles doivent être surveillées car pouvant dépasser 1/10 de LAI et dont l'enregistrement de doses est fondé en priorité sur le prélèvement d'air</p> <p>Comparaison de la somme des incorporations déterminées par prélèvements d'air avec la somme des incorporations calculées à partir des examens biologiques.</p> <p>Le ratio de la somme des incorporations déterminées par prélèvement d'air divisées par la somme des incorporations calculées à partir des examens biologique devrait dépasser 0,7 en moyenne pour tous les travailleurs inclus dans la comparaison. Le ratio pour chaque travailleur individuel devrait dépasser 0,5.</p>

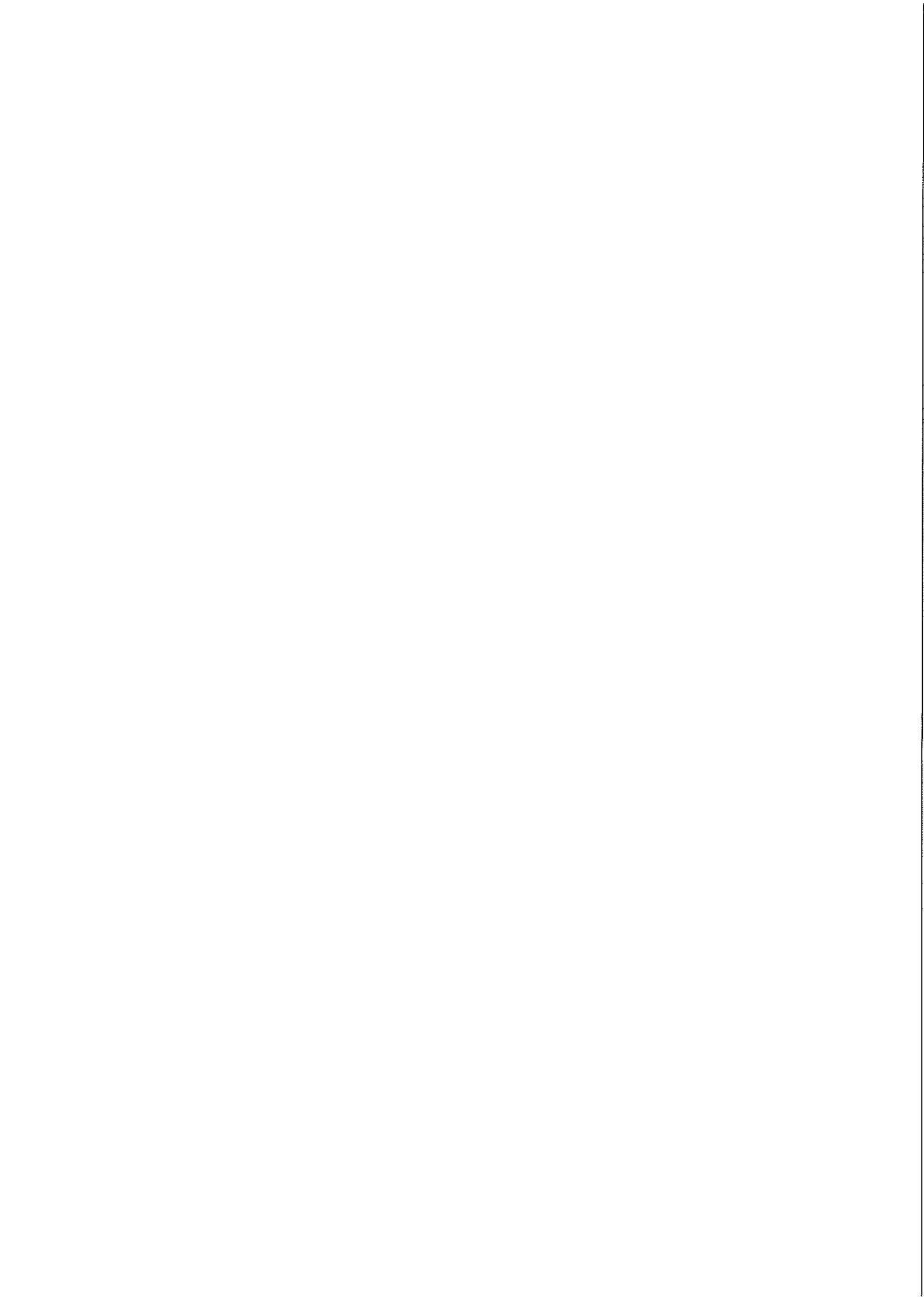


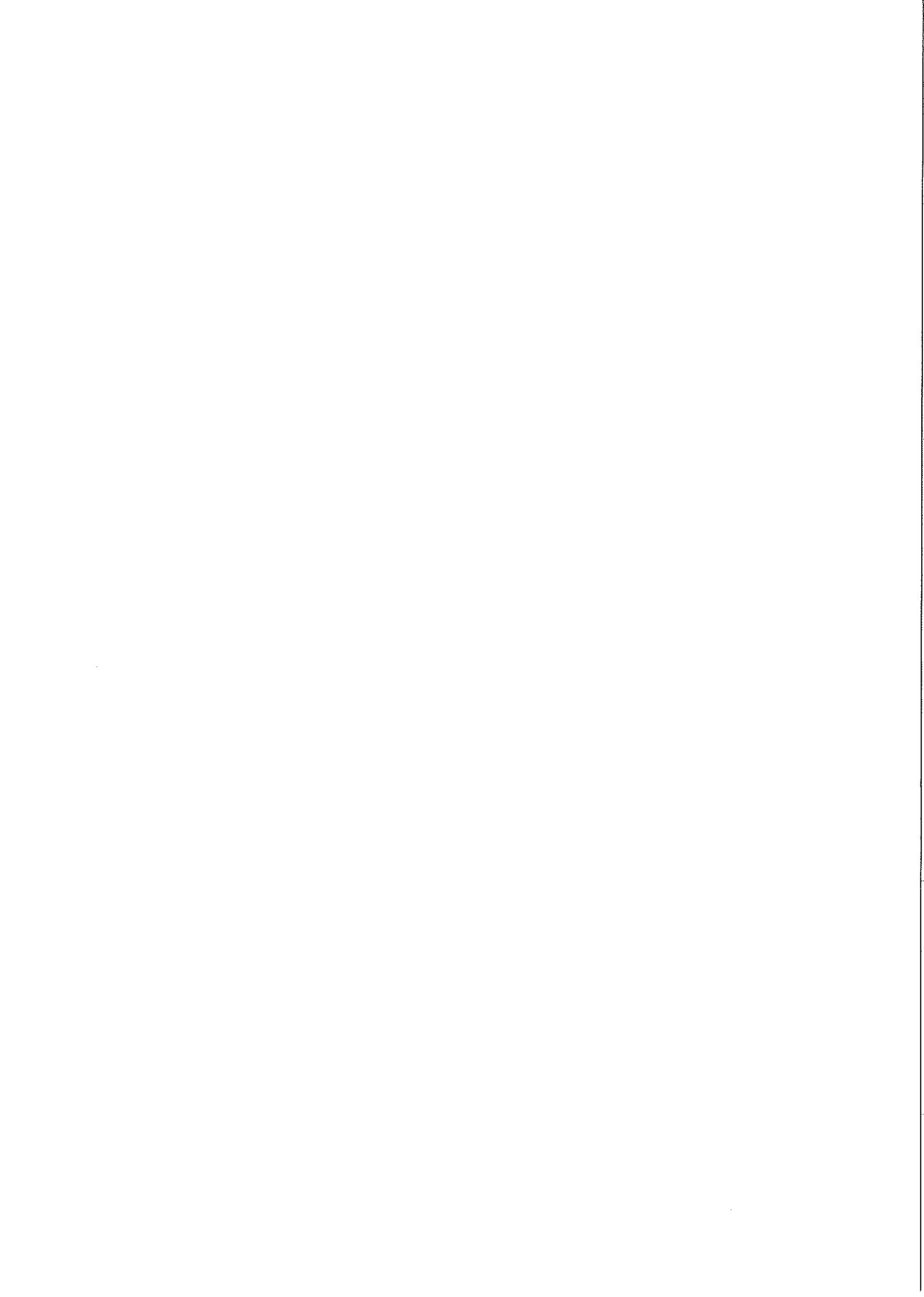
Méthode	Description
Comparaison avec des échantillonneurs multiples	<p>Postes de travail pour lesquels la concentration atmosphérique est susceptible d'excéder 0,3 LDCA et qui sont généralement occupés par des travailleurs dont les incorporations doivent être surveillées et dont les enregistrements de dose sont fondés sur le prélèvement d'air.</p> <p>Utilisation de plusieurs échantillonneurs pour effectuer des mesures à au moins quatre emplacements entourant la tête du travailleur.</p> <p>La concentration déterminée par l'échantillonneur fixe divisée par la concentration moyenne des échantillonneurs multiples doit dépasser 0,7 pour le poste de travail.</p>
Comparaison avec des mesures quantitatives d'écoulement d'air	<p>Postes de travail pour lesquels la concentration atmosphérique est susceptible d'excéder 0,3 LDCA et qui sont généralement occupés par des travailleurs dont les incorporations doivent être surveillées et dont les enregistrements de dose sont fondés sur le prélèvement d'air.</p> <p>Emission d'un traceur à proximité du point de rejet de la contamination atmosphérique. Mesure de sa concentration avec l'échantillonneur fixe et avec un autre échantillonneur placé à proximité de la tête du travailleur.</p> <p>La concentration déterminée par l'échantillonneur fixe divisée par la concentration de l'échantillonneur placé à proximité de la tête du travailleur doit dépasser 0,7.</p>

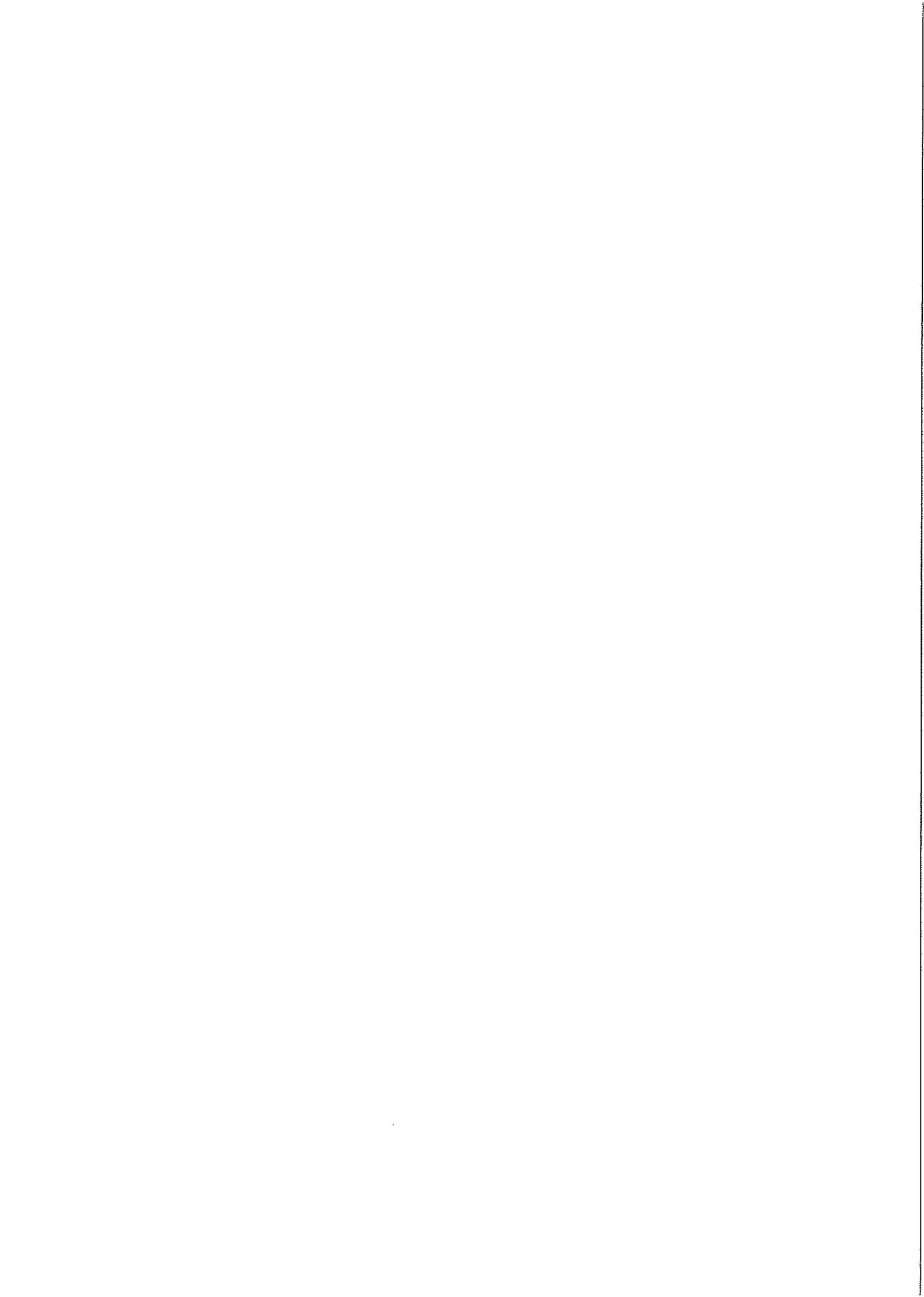
4.4.3.3 Actions correctrices en cas de non représentativité des résultats d'échantillonnage

Si la méthode utilisée pour démontrer la représentativité ne montre pas que les échantillons sont représentatifs, la situation devrait être analysée et la cause du problème identifiée puis corrigée.

Pour corriger le problème, il peut être approprié de déplacer certains échantillonneurs afin de les rendre plus représentatifs, d'appliquer des facteurs de correction aux résultats d'échantillonnage, de passer aux échantillonneurs individuels, ou d'utiliser des examens biologiques afin de déterminer les incorporations.







REFERENCES

- [1] **Ordonnance sur la radioprotection du 22 juin 1994 (ORaP)**, Conseil Fédéral de Suisse, RO 1994.
- [2] **Loi sur la radioprotection du 22 mars 1991 (LRaP)**, Assemblée Fédérale de la Confédération Suisse, RO 1994.
- [3] **Proposition de réglementation pour la dosimétrie individuelle en cas d'incorporation**, Commission fédérale de la protection contre les radiations, Séance de la CFR du 14 juin 1994, Groupe d'experts pour la dosimétrie individuelle, 1994.
- [4] WERNLI C. et al., **Concept for internal dosimetry and approval of internal dosimetry services in Switzerland, Intakes of radionuclides : Detection, assessment and limitation of occupational exposure**, 13-17 September 1993, Bath, England, 1993.
- [5] NRC 8.9, **Acceptable concepts, models, equations, and assumptions for a bioassay program**, Regulatory guide 8.9, revision 1, U.S Nuclear Regulatory Commission, 1993.
- [6] NRC 8.25, **Air sampling in the workplace**, Regulatory guide 8.25, revision 1, U.S Nuclear Regulatory Commission, 1992.
- [7] NRC 8.7, **Instructions for recording and reporting occupational radiation exposure data**, Regulatory guide 8.7, revision 1, U.S Nuclear Regulatory Commission, 1992.
- [8] NRC 8.34, **Monitoring criteria and methods to calculate occupational radiation doses**, Regulatory guide 8.34, U.S Nuclear Regulatory Commission, 1992.
- [9] NRC 10CFR20, **Standards for Protection Against Radiation**, Nuclear Regulatory Commission, 1991.
- [10] CIPR 61, **Annual limits on intake of radionuclides by workers based on the 1990 Recommendations**, Publication 61, Pergamon Press, Oxford, 1990. (*Replaced by ICRP Publication 68*).
- [11] CIPR 54, **Individual Monitoring for Intakes of Radionuclides by Workers: Design and Interpretation Publication 54**, Pergamon Press, Oxford, 1988.
- [12] EPA 11, **Limiting Values of Radionuclide Intake And Air Concentration and Dose Conversion Factors For Inhalation, Submersion And Ingestion**, Federal Guidance Report N° 11, EPA, Washington, 1988.
- [13] NCRP 87, **Use of Bioassay Procedures for Assessment of Internal Radionuclide Deposition**, NCRP Report No 87, 1987.
- [14] CIPR 30, **Limits for Intakes of Radionuclides by Workers**, Publication 30 Part 1, Pergamon Press, Oxford, 1979.

