

CALCULATEUR DES EFFETS DES EXPLOSIONS NUCLÉAIRES

NOTICE D'EMPLOI (EDITION 1965)

I. INTRODUCTION.

Le calcul des effets des explosions nucléaires est très complexe et réservé en fait à de rares spécialistes particulièrement entraînés. Le « Calculateur » fournit par lecture directe les résultats pour 20 puissances différentes échelonnées entre 1 kt et 500 Mt de telle sorte que l'on puisse, par une simple interpolation linéaire (règle de 3), obtenir les résultats pour toutes les puissances intermédiaires. Le but est de permettre de se faire immédiatement une idée d'ensemble des dégâts produits par une explosion quelconque. A partir de là, on peut tirer toutes les conclusions que l'on veut, aussi bien sur l'étendue et le degré de la protection à fournir à la population que sur l'organisation des secours.

L'utilisation du « Calculateur » exige tout de même un minimum de connaissance des effets des explosions. La présente note a pour objet de fournir des commentaires et des exemples pour faciliter l'entraînement des utilisateurs. L'appareil est formé d'une « gaine » percée de « fenêtres » dans lesquelles la manœuvre de la partie coulissante ou « languette » fait apparaître les résultats correspondant à chaque effet considéré. Il suffit, en manœuvrant la languette, d'amener la valeur de la puissance dans la fenêtre « Puissance de la bombe » pour obtenir dans toutes les autres fenêtres correspondant aux divers effets la distance jusqu'à laquelle ceux-ci pourront être observés. Le recto est consacré aux effets du souffle et au cratère; le verso, aux effets thermiques et à la radio-activité ainsi qu'aux effets d'une explosion dans un port sur le fond sous 20 m d'eau.

II. OBSERVATIONS GENERALES. — La précision de nos connaissances.

Les nombres inscrits sur le « Calculateur » sont le résultat de calculs numériques précis faits à partir de formules qui traduisent le mieux possible les courbes expérimentales. Or, pour les puissances inférieures à 20 Mt, aucune de ces courbes n'a une précision de 1 % et certaines n'ont même pas la précision de 10 %. Au-delà de 20 Mt, il n'y a pas de point expérimental et l'extrapolation est faite en supposant les formules toujours valables. L'incertitude est donc très grande dans cette zone.

Enfin, en ce qui concerne les explosions sous 20 m d'eau dans un port, pour les retombées radioactives : — d'une part on ne dispose pratiquement d'aucun ensemble bien coordonné d'observations au-delà de 20 à 30 km du point d'explosion et l'on a recours à des explosions sur des îlots et à des explosions en eau profonde ainsi qu'à des hypothèses théoriques, plus ou moins douteuses pour tenter d'assurer les courbes — d'autre part, pour certains phénomènes, la profondeur de l'eau dans le port intervient et l'on a supposé 20 m d'eau, alors que dans les ports cette profondeur varie de 7 m à 25 m. Il ne faut donc pas se laisser aller à croire les phénomènes connus avec la précision apparente résultant du nombre de chiffres caractéristiques inscrits.

III. EFFETS DE SOUFFLE.

1° Hauteur optimum. On trouve, d'une part, les distances correspondant aux explosions au sol et d'autre part, celles correspondant aux explosions aériennes se produisant à la hauteur optimum qui est celle pour laquelle l'effet considéré se produit à la plus grande distance possible du point zéro mesurée à la surface du sol. Le rattachement des distances à la hauteur optimum correspond au désir de savoir jusqu'à quelle distance maximum peuvent s'étendre les effets considérés en cas d'explosion aérienne. Cette notion se substitue à la hauteur type qui correspondait au choix d'une hauteur qui devait donner le rayon le plus étendu de gros dégâts dans une ville de construction type caractéristique.

2° Exemples de calcul pour une puissance intermédiaire entre les valeurs données dans le « Calculateur ». Distance maximum à laquelle les caves seront effondrées sous l'effet d'une explosion de 7 Mt et hauteur optimum correspondant à cet effet.

A) Calcul de la distance « D » : L'effondrement des caves est produit par 5 Mt à 22,2 km et pour 10 Mt à 27,9 km.

$$\text{On a : } \frac{D - 22,2}{27,9 - 22,2} = \frac{7 - 5}{10 - 5}, \text{ d'où } D = 24,4 \text{ km}$$

B) Calcul de la hauteur optimum « H » : L'effondrement des caves correspond à une surpression de crête de 0,140 kg/cm². La hauteur optimum est de 6,7 km pour 5 Mt et 8,4 km pour 10 Mt.

$$\text{On a : } \frac{H - 6,7}{8,4 - 6,7} = \frac{7 - 5}{10 - 5}, \text{ d'où } H = 7,38 \text{ km}$$

3° Exemple d'évaluation de la zone dans laquelle il ne faut plus compter sur le téléphone.

Une bombe de 10 Mt a éclaté au sol.

A) Il est indiqué sur la gaine, à la rubrique « P.T.T. et E.D.F. » : « Téléphone inutilisable à la limite dégâts légers ». On trouve, à la rubrique « Bâtiments » : « Dégâts légers explosion au sol » pour 10 Mt la distance : 43 km (on trouve d'ailleurs aussi, à la rubrique « Surpressions », pour 0,035 kg/cm², la mention « Dégâts légers » et distance de 43 km).

B) Il est indiqué aussi que la destruction des lignes aériennes radiales (c'est-à-dire dirigées vers le point d'explosion) a lieu dans un rayon qui, pour l'explosion au sol de 10 Mt, est de 13,8 km et la destruction des lignes transversales (c'est-à-dire où le coup de souffle prend la ligne en travers) dans un rayon de 16,4 km. Si le téléphone est interrompu plus loin, c'est donc parce que des branches d'arbres ou des éléments arrachés à des toitures auront cassé des fils : ce seront des dégâts vite réparés dès qu'on pourra envoyer une équipe.

C) Enfin, il est aussi indiqué que « les lignes souterraines en câbles enterrés ne sont avariées que jusqu'à une distance du point d'explosion égale à 3 rayons de cratère ». Si, au point d'explosion, il y avait un terrain sec normal, on trouve, à la rubrique « Cratère » un rayon pour 10 Mt de 380 m. Si aucun câble téléphonique enterré ne passe à moins de $3 \times 380 = 1.140$ m du point d'explosion, le réseau téléphonique souterrain est intact et il n'y a à se préoccuper que de ses points d'émergence et de raccordement aux lignes aériennes.

4° Cratères en zones diverses. Une bombe de 5 Mt éclate à la surface d'un sol où la nappe phréatique est très voisine de la surface, calculer les dimensions du cratère.

Pour 5 Mt, on trouve en terrain sec normal un rayon $R_c = 305$ m et une profondeur $p = 76$ m. Il est indiqué, en outre, sur la gaine « Terrain saturé d'eau », pour le rayon « $\times 1,7$ » et pour la profondeur « $\times 0,7$ ». Le rayon du cratère sera donc de $305 \text{ m} \times 1,7 = 520$ m et la profondeur $76 \times 0,7 = 53$ m. Quant à la hauteur des lèvres au-dessus du sol primitif, elle est $p/4 \times 0,7 = 13,30 \text{ m}^{(1)}$.

5° Rayon de mise hors d'usage de divers matériels. Les rayons dans lesquels divers matériels sont mis hors d'usage (mais restent réparables) ont été rattachés à deux types d'effets :

— l'effet de surpression de crête : la mise hors d'usage ne dépend pratiquement que de la valeur de la surpression de crête et non pas de la durée de la surpression. Le rayon de mise hors d'usage a été exprimé en fonction de la distance « a » à laquelle s'exerce la surpression de crête de 0,140 kg/cm² ;

— l'effet d'impulsion : la mise hors d'usage dépend du produit du temps pendant lequel la surpression est restée supérieure à une valeur donnée par la valeur moyenne de la surpression pendant ce délai. Le rayon de mise hors d'usage a alors été exprimé en fonction de la distance « b » où l'impulsion du souffle produit la destruction des lignes aériennes radiales des P.T.T.

Exemple : une bombe de 10 Mt éclate au sol, on voudrait savoir le rayon dans lequel le matériel roulant de chemin de fer est devenu inutilisable.

(1) Signalons que pour la profondeur du cratère, nous avons gardé les chiffres du Nuclear de 1957 (exposant 0,25 de la puissance) ceux du Nuclear de 1964 (exposant 0,33 de la puissance) étant manifestement faux pour les puissances au-dessus de la Mégatonne. La formule la plus proche de la réalité est une formule binôme que nous n'avons pas voulu introduire ici. La profondeur donnée par le « Effects of Nuclear Weapons » de 1964 s'obtient en prenant la moitié du rayon du cratère (les 9/19 plus précisément) comme profondeur en terrain sec normal.

Le tableau indique : 5/6 b et « b » distance lue pour lignes aériennes radiales. A la rubrique « P.T.T. et E.D.F. », on trouve comme distance de destruction des lignes aériennes radiales dans le cas d'une explosion au sol de 10 Mt : 13,8 km dont les 5/6 sont 11,5 km. Réponse : le matériel roulant de chemin de fer sera hors d'usage dans un rayon de 11,5 km ; au-delà, on pourra le remorquer jusqu'à des ateliers de réparation.

IV. EFFETS THERMIQUES (verso de l'appareil).

Les distances données correspondent à un beau temps très clair. Lorsqu'il y a un peu de brume dans l'air et que la visibilité tombe à 15 km, les distances tombent aux 3/4 de celles indiquées. Par temps nuageux sans soleil, elles peuvent tomber à la moitié de celles indiquées, si la bombe éclate au-dessus des nuages. Par contre, la réverbération est intense en pareil cas et la chaleur paraît venir de tout le ciel à peu près uniformément, y compris des directions opposées à celle de la bombe.

Remarque aussi que la hauteur optimum pour les effets thermiques est très différente de la hauteur optimum pour les effets de souffle : elle est à peine supérieure au double de la hauteur limite contaminante : il faut que la montée de la boule de feu n'aspire pas trop de poussière absorbante et que le coup de souffle au sol n'en soulève pas une trop grande densité. Par temps très clair, la hauteur optimum n'est jamais une haute altitude (voir les chiffres donnés par le « Calculateur »).

V. RAYONNEMENT NUCLEAIRE INITIAL.

Il s'agit du rayonnement émis au cours de la 1^{re} minute après l'explosion, rayonnements neutroniques et rayonnements gamma très pénétrants. Pour les puissances supérieures à la mégatonne, une bonne part des rayonnements gamma est émise alors que l'onde de choc aérienne est déjà parvenue à grande distance, laissant derrière elle une vaste zone de dépression où l'atténuation exponentielle par l'air est fortement réduite du fait de la densité moindre de l'air dans cette zone. Il résulte de là une augmentation considérable de la dose gamma reçue à une distance donnée lorsque la puissance de la bombe croît de 1 Mt à 20 Mt et une extrapolation très incertaine au-delà de 25 Mt pour les distances auxquelles sont reçues les doses retenues.

VI. COURBES D'ISOINTENSITE DES RETOMBÉES RADIOACTIVES.

1° L'intensité radioactive est ce que d'autres appellent le « débit de dose » ; elle s'exprime en roëntgens reçus par heure. La confusion entre les expressions « dose » et « débit de dose » est trop facile pour qu'on n'ait pas cru devoir l'éviter en conservant les termes « dose » et « intensité » radioactives.

2° Dans une zone circulaire centrée sur le point zéro, dite **Cercle Rouge** se superposent toutes les causes de danger : le souffle, le feu, les projectiles arrachés à l'entonnoir, la radioactivité directe et induite et enfin une partie des retombées de pied du champignon. La limite du cercle rouge est prise assez arbitrairement égale à la distance du point zéro à laquelle la surpression de souffle est de 0,5 kg/cm². Il faut considérer, jusqu'à ce que des mesures réelles faites sur le terrain aient fourni la preuve du contraire dans chaque cas particulier, que l'intensité radioactive une heure après l'explosion, y dépasse 300 r/h. Le Calculateur donne le rayon du cercle rouge.

3° Chaque courbe d'isointensité est, pour les prévisions sommaires de retombées que permet le « Calculateur », formée d'un élément de cercle et d'un élément d'ellipse qui se rejoignent. Le « Calculateur » fournit les éléments de 7 courbes d'isointensité. Les autres sont mises en place par interpolation entre ces 7 courbes.

A) La droite passant par le point zéro et dirigée dans le sens du vent moyen entre le sol et le nuage radioactif, est axe de symétrie.

B) Le centre commun des cercles est décalé à partir du point zéro le long de cet axe d'une longueur « l ». Lorsque le vent moyen est de 25 km/h, la valeur de « l » est donnée par le « Calculateur ». Lorsque le vent moyen a une vitesse « V » km/h, le décalage est de lV/25.

C) Le rayon du cercle est donné par le « Calculateur » pour 7 valeurs de l'intensité une heure après l'explosion. Ces valeurs ne dépendent pas de la vitesse du vent, mais seulement du pourcentage « F » de la puissance de la bombe provenant de fission et du coefficient de contamination « k » qui dépend de la puissance de la bombe et de sa hauteur d'éclatement au-dessus du sol.

Exemple : tracer le cercle d'isointensité 100 r/h à H+1 pour une bombe de 2 Mt à 50 % de fission éclatant à 240 m au-dessus du sol, la vitesse moyenne du vent entre le sol et le niveau du nuage radioactif étant de 50 km/h.

On a F = 0,50 h = 240 m et v = 50 km/h

Pour 2 Mt, on trouve pour h = 240 m k = 0,70. Donc, kF = 0,70 × 0,50 = 0,35. Pour 2 Mt, on trouve l = 9,8 km. Donc, lV/25 = 9,8 × 50/25 = 19,6 km. Le centre du cercle est donc sur l'axe dans la direction du vent moyen à 19,6 km du point zéro.

En ce qui concerne son rayon, 100 r/h se trouve compris entre 100 kF = 100 × 0,35 = 35 r/h (pour lesquels le « Calculateur » donne R = 9,8, soit 10 km) et 300 kF = 300 × 0,35 = 105 r/h (pour lesquels le « Calculateur » donne R = 7,9 km). L'interpolation par règle de 3 nous donne :

$$\frac{10 - R}{10 - 7,9} = \frac{100 - 35}{105 - 35}, \text{ d'où } R = 8,05, \text{ soit } 8 \text{ km}$$

D) Le grand axe de l'ellipse est donné pour un vent moyen de 25 km/h par le « Calculateur » pour 7 valeurs de l'intensité une heure après l'explosion. Ces valeurs dépendent alors du produit kF mentionné ci-dessus. Mais si la vitesse moyenne du vent est « V » différente de 25 km/h, il y a une double correction à faire : d'abord, la valeur « A » donnée par le « Calculateur » correspond à une intensité radioactive proportionnelle non seulement à kF, mais aussi à l'inverse du vent, donc à kF 25/V ; ensuite, la longueur du grand axe de l'ellipse n'est plus « A » mais « AV/25 ». Remarquons encore que l'extrémité du grand axe de l'ellipse du côté d'où vient le vent coïncide avec le point du cercle situé sur l'axe du même côté.

Exemple : trouver le grand axe de l'ellipse d'isointensité 100 r/h à H + 1 pour la même explosion que dans l'exemple donné pour le cercle. On a : kF = 0,35 et kF × 25/V = 0,35 × 25/50 = 0,175.

L'intensité radioactive de 100 r/h à H + 1 est cette fois comprise entre : 300 kF × 25/V = 52,5 r/h (pour lesquels le « Calculateur » donne A = 160 km) et 1000 kF × 25/V = 175 r/h (pour lesquels le « Calculateur » donne A = 95 km).

$$\text{L'interpolation par règle de 3 donne } \frac{160 - A}{160 - 95} = \frac{100 - 52,5}{175 - 52,5}$$

d'où A = 134,8, soit 135 km. Et le grand axe de l'ellipse est : AV/25 = 135 × 50/25 = 270 km,

E) Le petit axe de l'ellipse est donné par le « Calculateur » pour 7 valeurs de l'intensité une heure après l'explosion, mais ces valeurs dépendent du produit kF × 25/V.

Exemple : trouver le petit axe de l'ellipse d'isointensité 100 r/h à H+1 pour la même explosion que dans l'exemple donné pour le cercle. On a : kF × 25/V = 0,175 comme ci-dessus.

L'intensité radioactive de 100 r/h à H + 1 est comprise entre 300 kF × 25/V = 52,5 r/h (pour lesquels le « Calculateur » donne a = 25 km) et 1.000 kF × 25/V = 175 r/h (pour lesquels le « Calculateur » donne a = 18 km).

$$\text{L'interpolation linéaire donne } \frac{25 - a}{25 - 18} = \frac{100 - 52,5}{175 - 52,5}, \text{ D'où } a = 22,3 \text{ km.}$$

Le petit axe de l'ellipse est 22 km.

VII. VARIATION DE L'INTENSITE EN FONCTION DU TEMPS.

La « Règle des intensités » du « Calculateur » permet, à partir d'une mesure d'intensité faite un certain temps après l'explosion, mais après la fin de chute des poussières radioactives, en un lieu donné, de déterminer l'intensité radioactive qu'il y a eu ou qu'il y aura en ce lieu à un autre instant quelconque après l'explosion, toujours à condition que cet instant soit postérieur à la fin de la chute des poussières radioactives.

Pour obtenir ce résultat, il suffit d'amener en coïncidence le temps écoulé après l'explosion lu sur la règle avec l'intensité mesurée à ce moment lue sur la graduation des intensités de la gaine. On trouve, en face de chaque délai écoulé depuis l'explosion lu sur la graduation de la règle, l'intensité radioactive à cet instant lue sur la graduation des intensités de la gaine. (Les dimensions réduites du « Calculateur » ont obligé à couper les échelles en deux tronçons, l'un en haut, l'autre en bas, mais ces deux tronçons sont disposés de telle sorte que lorsque la correspondance est établie en haut, entre gaine et règle, elle soit automatiquement assurée en bas et réciproquement.)

La correspondance des graduations en intensité et temps écoulé depuis l'explosion exprime la formule $i_{H+1} = i_{H+1} t^{-1,2}$. Un exemple de calcul est donné sur la gaine.

VIII. DOSES REÇUES EN UN DELAI DONNE.

1° La « Règle des doses » du « Calculateur » a été établie pour déterminer :

— la dose pendant un délai donné de séjour en zone contaminée,

— le délai de séjour possible en zone contaminée sans dépasser une dose donnée.

Accessoirement, elle permet d'autres opérations telles que le calcul de la dose reçue dans un local où l'on s'est réfugié, connaissant soit le coefficient de protection de ce local, soit, ce qui revient au même, l'intensité radioactive reçue dans ce local à un instant donné.

2° La « Règle des doses » comporte :

- deux graduations (t) et (q) sur la gaine de l'appareil,
- une graduation unique sur la règlette qui, pour la commodité des calculs, est appelée (a) lorsqu'on la lit en face de la graduation (t) (i) lorsqu'on la lit en face de la graduation (q).

Les 3 échelles sont des échelles logarithmiques d'équation :

$$\begin{aligned} x &= m \log t \text{ pour (t)} \\ x &= m \log a \text{ pour les graduations (a) et (i)} \\ x &= m \log \frac{1}{1 - \left(\frac{1}{1+q}\right)^{0,2}} \text{ pour la graduation (q).} \end{aligned}$$

Les graduations (t) et (a) constituent une règle à calcul ordinaire et peuvent être utilisées comme telle pour tout usage.

Si l'on donne à « q » la valeur du quotient du délai de séjour par le temps « t₁ » écoulé depuis l'explosion au moment du début du séjour $q = d/t_1$, et si l'on donne en outre à « i » la valeur « i₁ » de l'intensité à l'instant H + t₁, on obtient a = D, valeur de la dose reçue entre les instants t₁ et t₂ après l'explosion.

3° Exemple de calcul de la dose reçue en un délai donné. Entrée en zone contaminée 7 h après l'explosion (t = 7 h). Durée du séjour en zone contaminée 4 h (d = 4 h). Intensité mesurée à l'entrée en zone contaminée i = 10 r/h. On demande la dose reçue pendant la durée du séjour.

Solution :

a) Calculer « q ». Pour cela, amener d = 4 h lu sur la graduation (a) de la règlette en face de t = 7 h sur la graduation (t) de la gaine : en face de l'index (q) de la gaine, on lit sur la règlette q = 0,57.

b) Calculer D la dose cherchée. Pour cela, amener i = 10 r/h lu sur la graduation (i) de la règlette en face de la valeur q = 0,57 lue sur la graduation (q) de la gaine : en face de t = 7 h lu sur la graduation (t) de la gaine, on lit D = 30 rem sur la graduation (a) de la règlette.

Réponse : 30 rem.

4° Exemple de calcul du délai de séjour pour ne pas dépasser une dose fixée. Entrée en zone contaminée 7 h après l'explosion (t = 7 h). Intensité mesurée à l'entrée en zone contaminée i = 10 r/h. Dose à ne pas dépasser D = 25 rem. On demande le délai maximum de séjour.

Solution :

a) Calculer « q ». Pour cela, amener D = 25 rem lu sur la graduation (a) de la règlette en face de t = 7 h lu sur la graduation (t) de la gaine ; en face de l'intensité i = 10 r/h lue sur la graduation (i) de la règlette, on lit q = 0,44 sur la graduation (q) de la gaine.

b) Calculer « d » le délai de séjour cherché. Pour cela, amener la valeur q = 0,44 lue sur la graduation (a) de la règlette en face de l'index (q) de la gaine : en face de t = 7 h lu sur la graduation (t) de la gaine, on lit d = 3,1 heure, soit 3 h 6 mn sur la graduation (a) de la règlette. **Réponse :** 3 heures 6 minutes.

5° Remarques sur des cas particuliers.

a) Si le repère (q) de la gaine se trouve en face d'une partie non graduée de la règlette, on fera la lecture en face du repère 1000 a on divisera par 1.000 pour obtenir « q ».

Exemple : d = 3 h et t = 18 h. Calculer q = d/t

On amène d = 3 lu sur (a) en face de t = 18 lu sur (t). Le repère (q) est en face d'une partie non graduée de la règlette. En face du repère 1000 a, on lit 166 sur (a). **Réponse :** q = 166/1.000 = 0,166.

b) Lorsque la valeur du rapport q = d/t se trouve inférieure à 0,005, on se trouve dans des conditions telles que la décroissance de l'intensité pendant le délai de séjour « d » est négligeable. Dans ces conditions, la dose D = i × d, ce que l'on calcule avec la règle à calcul constituée par les graduations (t) et (a) de la règle des doses.

Exemple : deux semaines après l'explosion (t = 336 h), les occupants d'un abri sortent pendant 20 mn (d = 1/3 h). Il règne encore 15 r/h à l'extérieur dans cette zone (i = 15 r/h). On demande la dose reçue.

Solution : amener le nombre « 1 » de la graduation (a) de la règlette en face du nombre « 15 » lu sur la graduation (t) de la gaine. Lire en face du nombre « 0,333 » de la graduation (a) de la règlette, le produit « 5 ». **Réponse :** 5 rem.

6° Exemple de calcul de l'intensité limite d'entrée dans une zone où l'on veut séjourner un certain délai sans dépasser une dose donnée.

Délai de séjour : d = 6 h nécessaire pour effectuer un déblaiement envisagé. Dose limite fixée : D = 25 rem. L'équipe de sauveteurs arrivera dans la zone contaminée 7 h après l'explosion t = 7 h. On demande l'intensité limite à ne pas dépasser.

Solution :

a) Calculer q = d/t. Pour cela, amener d = 6 h lu sur (a) en face de t = 7 h lu sur (t). En face du repère (q), on lit 0,86.

b) Calculer « i » l'intensité limite cherchée. Pour cela, amener D = 25 rem lu sur (a) en face de t = 7 h lu sur (t). En face de q = 0,86 lu sur (q), on trouve i = 6,1 sur (i).

Réponse : ne pas dépasser la ligne où l'on trouvera 6 r/h.

7° Exemple de calcul de la dose reçue pendant la chute des poussières radioactives.

A la base du calcul se trouve la remarque que l'intensité radioactive croît presque proportionnellement au temps pendant la durée des retombées et que l'on obtient une bonne approximation de la dose reçue en majorant de 10 % le produit de la durée des retombées par la moitié de l'intensité atteinte en fin de retombée (ce qui est la valeur moyenne de l'intensité pendant la retombée). Exemple : début de retombée : 3 h après l'explosion : t₀ = 3 h. Durée de la retombée : 4 h. Donc, d = 4 h et t_r = 3 h + 4 h = 7 h après l'explosion. L'intensité de 10 r/h est mesurée 10 h après l'explosion. On demande la dose reçue pendant les retombées.

Solution :

a) Avec la règle des intensités, on calcule l'intensité en fin des retombées, c'est-à-dire 7 h après l'explosion. On trouve i_r = 25 r/h.

b) On calcule le produit i_r × d/2 = 25 × 4/2 = 50 rem soit de tête, soit en utilisant les graduations (a) et (t) comme formant une règle à calcul.

c) On majore de 10 % et on trouve la dose cherchée 50 + 5 = 55 rem.

Réponse : 55 rem.

8° Calcul de la dose reçue dans un local où l'on s'est réfugié.

Début des retombées : 2 h après l'explosion. Fin des retombées : 5 h après l'explosion. Coefficient de protection de la cave où l'on s'est réfugié K = 25. Intensité mesurée dans la cave 10 h après l'explosion i = 4 r/h. On désire savoir la dose que l'on aura reçue au bout de 15 jours dans cette cave.

A la base du calcul se trouve la remarque que l'intensité radioactive à l'extérieur est « K » fois l'intensité radioactive dans le local où l'on s'est réfugié, par définition même du coefficient de protection.

Solution :

a) L'intensité à l'extérieur est K × i = 25 × 4 = 100 r/h. Pour des chiffres plus compliqués, utiliser les graduations (a) et (t) de la règle des doses comme constituant une règle de calcul ordinaire (voir des exemples plus haut) ;

b) Calculer l'intensité en fin de retombées : on a, 10 h après l'explosion, une intensité de 100 r/h. L'instant de fin de retombées est t_r = 5 h. Avec la règle des intensités, on trouve i_r = 230 r/h ;

c) Calculer la dose reçue à l'extérieur pendant les retombées. On emploie la méthode du paragraphe précédent et l'on trouve :

$$D_1 = \frac{(5h - 2h) \times 230}{2} \times 1,10 = 379, \text{ soit } 380 \text{ rem ;}$$

d) Calculer la dose reçue à l'extérieur entre la fin des retombées et 15 jours après l'explosion. On emploie la règle des doses suivant la méthode indiquée dans l'exemple de calcul des doses pendant un délai de séjour donné en zone contaminée.

Les données sont : entrée en zone contaminée : l'instant de fin des retombées t = 5 h. Durée de séjour en zone contaminée d = 360 h (15 jours) - 5 h = 355 h. Intensité mesurée à l'entrée en zone contaminée i_r = 230 r/h. On trouve D₂ = 3.300 rem ;

e) On obtient la dose cherchée en divisant la dose totale reçue à l'extérieur par le coefficient de protection du local où l'on se trouve. $D_1 + D_2 = 380 + 3.300 = 3.680$ et $D = 3.680/K = 3.680/25 = 147$ rem. (Pour des chiffres plus compliqués, utiliser la règle à calcul formée par les graduations **a** et **t** de la règle des doses.

Réponse : au bout de 15 jours, on aura reçu dans la cave où l'on s'est réfugié une dose de 147 rem : les occupants seront assez sérieusement malades, mais guériront tous — sauf complications.

IX. COEFFICIENT DE PROTECTION FOURNI PAR DIVERSES COUCHES DE PROTECTION.

Il est souvent demandé dans le dégrossissage initial d'une étude quelle est la protection que fournirait une couche de terre, une dalle de béton armé, un blindage de telle ou telle épaisseur. Les chiffres fournis dans le tableau du « Calculateur » correspondent à des dalles ou des murs d'une épaisseur courante (3 m $\times$ 4 m environ) et non pas à une traversée en « pinceau étroit ». Ils comprennent donc l'effet de la diffusion dans ces plaques.

X. EXPLOSIONS DANS UN PORT.

Il a été instamment demandé de fournir des renseignements sur les effets d'explosions nucléaires dans l'eau d'un port ou d'une rade.

On dispose d'un très petit nombre de résultats expérimentaux, d'où une grande incertitude sur la plupart des effets. C'est le motif pour lequel on trouvera, dans cette rubrique, des chiffres parfois bien hasardeux. En outre, un certain nombre des effets chiffrés dans le « Calculateur » dépendent de la profondeur de l'eau et celle-ci varie d'un port à un autre entre 6 m et 25 m. On a admis, puisqu'il ne s'agissait que de donner des points de repère, que la bombe explosait sur le fond sous une profondeur d'eau de 20 m.

1° Effets thermiques. La colonne d'eau soulevée par l'explosion constitue une gaine à l'intérieur de laquelle glisse la boule de feu. Cette gaine d'eau émulsionnée par de l'air et, dans le cas de très grosses explosions, vaporisée avec un assez gros retard, absorbe le rayonnement thermique de la bombe et n'en laisse pratiquement rien passer. Cependant, si l'explosion a lieu assez près du rivage pour que la colonne d'eau ne puisse atteindre son plein développement de ce côté, l'écran interposé devant la boule de feu par la colonne d'eau n'a plus l'épaisseur voulue pour absorber la totalité du rayonnement thermique. On a proposé une règle empirique simple pour en tenir compte.

Exemple : une bombe de 200 kt explose à 300 m du rivage. On demande jusqu'à quelle distance du rivage on peut voir apparaître des incendies isolés. Solution : le rayon de la colonne d'eau est de 640 m, valeur supérieure à la distance de 300 m entre l'explosion et le rivage ; par contre, à 560 m de part et d'autre du point du rivage le plus proche de l'explosion, la colonne d'eau ne touche pas le rivage ; ceci délimite le secteur où des effets thermiques sont à craindre.

Sur la perpendiculaire au rivage menée par le point d'explosion, la distance est de 300 m ce qui, multiplié par 20, donne 6.000 m. D'autre part, en site terrestre, la distance des incendies isolés est de 7.700 m. On en déduit que les incendies isolés sont à craindre sur une distance de $7.700 - 6.000 = 1.700$ m perpendiculairement au rivage et, comme celui-ci est distant de 300 m de l'explosion, les incendies isolés sont à craindre dans une lunule qui aura une profondeur maximum de $1.700 - 300 = 1.400$ m dans la direction de la perpendiculaire au rivage menée par le point d'explosion et une profondeur nulle à 560 m de part et d'autre de cette perpendiculaire.

2° Cratère. Les chiffres donnés par le « Calculateur » correspondent au fond de sable et gravier et de calcaire trouvé normalement dans les rades et les ports français. Dans les zones granitiques (Brest, par exemple), il faudrait multiplier le rayon par 0,7, la profondeur par 0,5, la hauteur des lèvres par 0,4. Dans les ports d'estuaires, où les fonds d'argile limoneuse sont les plus fréquents, le rayon est à peu près valable, mais la profondeur devrait être doublée. Les fonds de vase ou d'argile très fine recomblent le cratère au reflux de la mer et effacent presque les lèvres : compter, dans ce cas, moins de la moitié comme profondeur et le quart comme hauteur des lèvres par rapport à ce qu'indique l'appareil.

3° Digue et quais détruits. Contrairement à ce qui se passerait dans le cas d'un lac artificiel retenu par un barrage, ce n'est pas l'onde de choc liquide transmise par l'eau qui est la plus dangereuse pour les digues et

les quais. C'est le mouvement du sol, l'onde solide. On a très peu de renseignements ; il semble qu'à 2 rayons de cratère, à part quelques cassures par des plans verticaux radiaux, les digues et les quais restent utilisables — jusqu'à la plus prochaine grosse tempête tout au moins.

4° Navires détruits. Renseignements valables.

5° Rayon du cercle rouge. Le cercle rouge ne se rapporte plus ici qu'aux effets de souffle. Pour les petites puissances, il y a tout de même quelques gros blocs arrachés au fond et un peu radioactivés qui retombent dans cette zone.

6° Rayon de la colonne d'eau. Dans le cas des puissances dépassant 10 Mt, il est très douteux, par fond de 20 m, que la gerbe d'eau soit normale d'aspect, elle risque d'être vaporisée presque dès son apparition. D'autre part, si la gerbe d'eau mord sur le rivage, elle risque de ce côté-là de prendre l'aspect d'un raz-de-marée au lieu de monter verticalement.

7° Hauteur des vagues. On rappelle d'abord que lorsqu'un marin parle d'une vague de 8 m ou de « 8 m de creux », il s'agit d'une vague dont la hauteur de crête à creux est de 8 m. Par conséquent, c'est une vague dont la hauteur « h » de crête au-dessus du niveau de mer au repos est de 4 m. Dans le « Calculateur », elle est portée comme vague de hauteur 4 m.

La hauteur des vagues est proportionnelle à la profondeur de l'eau au point d'explosion. Sur le « Calculateur », les chiffres donnés correspondent à 20 m de fond. Pour la même bombe éclatant sur un fond de 10 m à la même distance de l'explosion, la hauteur de la vague serait moitié.

Ne pas oublier non plus qu'une vague qui déferle augmente sa hauteur de 30 %. Une vague de 3 m au-dessus du niveau de l'eau au repos monte donc à 4 m environ avant de déferler et la lame d'eau qui court ensuite sur une plage et la remonte, atteint pratiquement le même niveau que le déferlement.

8° Gros dégâts aux constructions à terre. En raison de l'atténuation du souffle et de l'augmentation de la secousse sismique dans le cas d'une explosion dans l'eau, la distance limite des gros dégâts aux constructions légères en béton armé (H.L.M., etc.) se trouve fixée par la secousse sismique et non pas par le souffle pour les puissances de bombe inférieure à 30 - 40 kt.

9° Courbes d'isointensité des retombées. Les chiffres fournis par le « Calculateur » sont donnés sous toutes réserves au-delà de 25 ou 30 km.

Les phénomènes sont extrêmement différents de ceux qui se produisent dans les explosions terrestres : la très forte contamination proche de l'explosion est en effet fournie par le « nuage de base » qui résulte de la retombée et du rebondissement à la surface de la mer, de l'émulsion d'eau de la partie haute de la gerbe d'eau provoquée par l'explosion. Le phénomène est facile à observer, même dans les explosions à explosif chimique, mais, dans le cas des explosions nucléaires, l'émulsion d'eau contient une partie des produits de fission de la bombe et se trouve de ce fait très contaminante. En outre, le rayonnement thermique de la bombe chauffe le « nuage de base » qui décolle peu à peu de la surface pour s'élever dans le ciel et se confondre avec les retombées du nuage normal : son parcours contaminant est donc assez vite terminé.

D'autre part, en ce qui concerne le nuage radioactif normal, la boule de feu qui lui a donné naissance a été beaucoup plus fortement refroidie par l'eau entraînée au cours de son ascension que dans le cas d'une explosion terrestre de même puissance. Il se stabilise moins haut et son diamètre est moindre. Il a abandonné une part de ses produits de fission à la mer, mais il lui a emprunté un très grand nombre d'atomes d'eau et de sel hygroscopique qui donnent en haute altitude des poussières enrobées de glace beaucoup plus grosses, donc tombant d'abord plus vite. Mais, plus bas, la glace se sublime et les poussières ainsi desséchées se résolvent en une multitude de particules beaucoup plus fines et moins denses que dans le cas de la retombée d'une explosion terrestre. Ces particules sont donc entraînées beaucoup plus loin par le même vent pendant cette période. Puis, dans leur chute, elles retrouvent vers 1.500 m d'altitude assez d'humidité dans l'air pour que leur hygroscopicité due au NaCl les fasse de nouveau grossir et tomber de plus en plus vite.

Il résulte de tout cela des temps de chute totaux plus grands, donc un allongement de la traînée radioactive des retombées d'autant plus accusé que le diamètre initial du nuage radioactif origine était plus petit.

10° Rayonnement nucléaire instantané. Ici encore, l'absorption du rayonnement nucléaire initial par la colonne d'eau est considérable et à partir de 4 à 5 Mt, il ne passe plus rien à travers les parois de la gerbe, qu'elle soit encore formée d'une émulsion liquide ou d'un mélange de vapeur d'eau et d'air.