

Table citée au paragraphe 3.4. de l'annexe 2.

Extrait de : « Les explosifs occasionnels »
par L. Médard.
Collection
« Industries, Productions, Environnement »
Technique et Documentation.

**PROPRIÉTÉS
DE QUELQUES EXPLOSIFS CONDENSÉS**

(Le potentiel et le volume gazeux spécifique sont relatifs à la déflagration en vase clos engendrant une pression de 1 000 bars ; le c.u.p. concerne la détonation dans le bloc de plomb.)

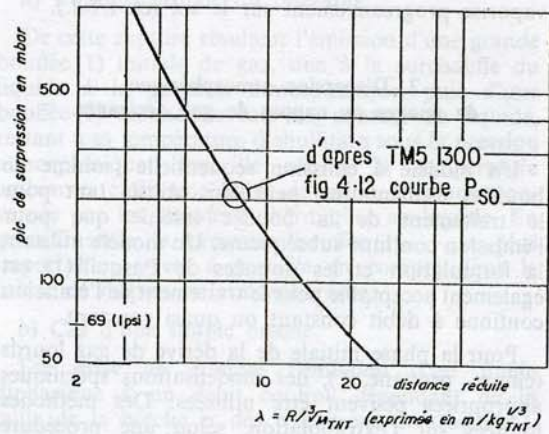
	Potentiel (kcal/kg)	Volume gazeux spécifique (dm ³ /kg)	c.u.p. *
Explosifs intentionnels			
Nitroglycérine	1 623	716	145
Acide picrique	770	880	100
Nitroguanidine	727	1 075	96
Trinitrotoluène	685	960	94
Fulminate de mercure	417	315	—
Explosifs occasionnels			
Tétranitrométhane	540	690	50
Nitrate d'ammonium	628	980	70
Nitrate d'hydrazinium	1 018	1 002	120
Perchlorate d'ammonium	473	810	68
Perchlorate d'hydrazinium	894	845	106
Nitrate de méthyle	1 650	875	158
Nitrate d'éthyle	860	1 230	122
Nitrate de propyle normal	600	1 245	—
Nitrométhane	1 130	1 100	135
Nitroéthane	570	750	—
Dinitroéthane	1 240	930	128
Nitro-urée	920	850	97
Nitrate d'urée	804	910	82
Nitrate de guanidinium	610	1 100	80
Nitrate de méthylammonium	850	1 190	100
Nitrocellulose (à 12,1 % d'azote)	867	930	108
Acide trinitrobenzoïque	630	870	83
Acide picramique	475	950	61
Dinitro-1,3 benzène	630	920	86
Dinitro-2,4 toluène	580	927	68
Dinitro-2,4 phénol	510	935	78
Dinitro-orthocrésol	500	930	59
Dinitronaphtalène	575	770	50
Cyclotriméthylène-trinitrosamine	870	1 160	125,5
Pentaméthylène-dinitrosotétramine	675	1 120	—

* Coefficient d'utilisation pratique (par convention c.u.p. = 100 pour l'acide picrique). Le c.u.p. est lié au travail spécifique d'un explosif.

Exemple : 15 g d'acide picrique et $15 \times \frac{100}{94} = 15,96$ g de T.N.T. produisent le même évaselement dans des blocs de plomb étalons.

Figure citée au paragraphe 3.1 de l'annexe 2.

Pic de surpression de champ libre en fonction de la distance réduite pour une explosion de T.N.T. au niveau du sol.



Exemple d'application :

Pic de surpression exprimé en mbar	50	100				
Distance réduite exprimée en m/(kg _{T.N.T.}) ^{1/3}	25	13,5				
Masse de T.N.T. exprimée en kg	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
Distance exprimée en m	250	549	1 160	135	291	627

RÈGLE N° 1.2.e
(12 avril 1984)

Tome 1 : Conception générale de la centrale et principes généraux applicables à l'ensemble de l'installation ;

Chapitre 2 : Principes généraux relatifs à la protection contre les agressions externes.

Identification de la règle dans le chapitre : e.

OBJET : Prise en compte du risque d'inondation d'origine externe.

Domaine d'application : Installations nucléaires de production d'énergie électrique comportant un réacteur à eau sous pression.

1. Objet de la règle.

1.1. La pratique réglementaire française prévoit notamment que l'arrêt sûr des réacteurs d'une centrale nucléaire, le refroidissement du combustible et le confinement des produits radioactifs pourront être assurés en cas d'inondations plausibles d'origine externe affectant le site de l'installation considérée.

La présente règle a pour objet de définir, en l'état actuel des connaissances :

— une méthode acceptable pour déterminer les niveaux d'eau à prendre en compte pour la conception de l'installation vis-à-vis du risque d'inondation,

— les principes de conception de l'installation visant à garantir les objectifs ci-dessus énoncés.

1.2 Le groupe permanent chargé des réacteurs nucléaires a été consulté pour l'élaboration de la présente règle.

2. Énoncé de la règle.

Pour satisfaire aux objectifs énoncés en 1 ci-dessus, on utilise la démarche explicitée ci-après, fondée sur la définition d'une « Cote majorée de sécurité » (C.M.S.) s'appuyant partiellement sur une approche probabiliste.

Pour chaque site, une évaluation de cette « Cote majorée de sécurité » est effectuée selon les procédures définies en 2.1. Le paragraphe 2.2. définit de quelle façon cette « Cote majorée de sécurité » doit ensuite être prise en compte pour la conception de chaque installation nucléaire.

2.1. Détermination de la Cote majorée de sécurité.

Les approches sont différentes selon que le site considéré est de type fluvial (2.1.1.) en bord de mer (2.1.2.) ou en estuaire (2.1.3.).

Pour la détermination de la crue millénale ou la surcote marine millénale sont recensés et pris en compte les événements historiques survenus ayant pu avoir un effet au niveau du site considéré, susceptibles d'influer sur cette détermination (voir commentaire 3.3.4.). Sont en particulier examinées à ce titre les données disponibles sur des phénomènes naturels, tels les tsunamis.

En outre, sont prises en compte les particularités locales qui, par suite d'événements aléatoires, pourraient conduire à des situations exceptionnelles.

2.1.1. Définition de la Cote majorée de sécurité pour les sites fluviaux.

Dans un premier temps, sont estimés les débits :

a) de la crue millénale,
b) résultant de la conjonction de la plus forte crue connue, ou de la crue centennale si elle est plus importante, et de l'effacement de l'ouvrage de retenue le plus contraignant.

Par ailleurs, on détermine la relation débit-hauteur d'eau au droit du site dans un intervalle de valeurs de débits compatible avec les débits à prendre en compte.

La Cote majorée de sécurité est alors le plus haut des deux niveaux suivants :

— niveau atteint par une crue dont le débit est obtenu en majorant de 15 % le débit de la crue millénale,

— niveau atteint par la conjonction des ondes de crue et de rupture définie en b) ci-dessus.

2.1.2. Définition de la Cote majorée de sécurité pour les sites en bord de mer.

La Cote majorée de sécurité correspond à la conjonction de la marée maximale calculée (de coefficient 120) et de la surcote marine millénale.

Pour un site en bordure de la mer Méditerranée, une marge de sécurité devra être définie en accord avec l'administration.

2.1.3. Définition de la Cote majorée de sécurité pour les sites en estuaire.

La Cote majorée de sécurité est le plus haut des trois niveaux suivants :

— niveau atteint par la conjonction de la crue millénale fluviale et de la marée de coefficient 120,

— niveau atteint par la conjonction du débit défini en 2.1.1.b et de la marée de coefficient 70 (marée moyenne),

— niveau atteint par la conjonction de la surcote marine millénale et de la marée de coefficient 120.

La combinaison des événements correspondant à ce niveau est fonction de la position du site dans l'estuaire.

2.2. Protection de l'installation.

2.2.1. La protection de l'installation vis-à-vis des inondations d'origine externe est obtenue par un calage des plates-formes supportant les bâtiments abritant les matériels et équipements associés importants pour la sûreté à une cote au moins égale à la Cote majorée de sécurité. Ces plates-formes devront en outre être conçues de telle sorte que, tant que le niveau de crue ne dépasse pas cette cote, l'eau ne puisse parvenir aux locaux abritant les matériels participant au maintien de l'installation dans un état sûr, ni compromettre le fonctionnement des réseaux d'alimentation en énergie, pour les états de repli envisagés, sans qu'il soit nécessaire à cet effet d'obturer des voies d'accès par des moyens complémentaires.

2.2.2. Dans le cas des sites fluviaux où la Cote majorée de sécurité correspond à une crue naturelle, outre l'obturation de la totalité des voies d'accès de l'eau situées au-dessous du niveau de calage des plates-formes, des dispositions doivent être prises de manière à faciliter la mise en œuvre dans le cadre des plans d'urgence internes de parades vis-à-vis de crues plus importantes qui dépasseraient la Cote majorée de sécurité. Ces parades et dispositions sont soumises à l'approbation de l'administration à l'occasion du rapport préliminaire de sûreté.

2.2.3. Par ailleurs, les éventuels effets dynamiques dus à la montée des eaux au droit du site considéré, tels l'érosion des talus, ainsi que leurs conséquences sur la turbidité de l'eau, et donc sur la disponibilité de la source froide, doivent être examinés, et faire en tant que de besoin l'objet de procédures appropriées.

2.2.4. Un système d'alerte sera prévu en tant que de besoin pour permettre la mise à l'état sûr des réacteurs nucléaires dans des délais compatibles avec la montée des eaux.

3. Commentaires.

3.1. Estimation de la crue (ou de la surcote marine) millénale.

L'estimation du débit de crue ou de la surcote marine, dont la probabilité annuelle de dépassement est de 10^{-3} , est effectuée par une analyse hydrologique s'appuyant sur la méthode dite « du renouvellement » décrite en annexe à la présente règle.

Des méthodes différentes peuvent toutefois être utilisées dans certains cas avec l'accord ou sur la demande de l'administration.

3.2. Relation entre les hauteurs d'eau et les débits (sites fluviaux ou en estuaire).

La relation entre les hauteurs et les débits est déterminée compte tenu des relevés historiques et de la topographie des lits du cours d'eau. Si nécessaire, un modèle réduit physique ou un modèle mathématique étalonné sur les crues observées permet la connaissance de l'écoulement et du niveau des eaux autour du site aménagé.

3.3. Principe de la prise en compte des incertitudes sur l'évaluation du niveau des eaux.

3.3.1. L'approche fondée sur la conjonction de la plus forte crue connue, ou de la crue centennale si elle est plus importante, et de l'effet de l'effacement de l'ouvrage de retenue en amont le plus contraignant, est jugée suffisamment conservatoire pour ne pas faire l'objet d'une quelconque évaluation des incertitudes.

Par contre, l'évaluation des débits de crue et surcotes marines d'occurrence millénale tient compte d'incertitudes.

3.3.2. Les incertitudes affectant les estimations des probabilités d'occurrence des événements rares peuvent être regroupées en cinq types :

- a) incertitudes sur les données ou mesures initiales,
- b) incertitudes liées au choix du modèle statistique,
- c) incertitudes liées à la taille de l'échantillon statistique disponible,
- d) incertitudes liées à la représentativité de cet échantillon,
- e) incertitudes liées au modèle hydraulique liant les hauteurs d'eau aux débits.

3.3.3. Les incertitudes de types *a*, *b* et *e* sont difficilement quantifiables statistiquement car elles résultent du choix d'hypothèses et de méthodes de calcul, ou d'interprétation de certaines données.

En conséquence, il est admis que le jugement de l'expert permet de faire ce choix au mieux, sans qu'il soit nécessaire de majorer l'estimation d'une fourchette d'incertitudes supplémentaires. « Au mieux » signifie que le choix de l'expert est motivé, soit par le consensus scientifique existant dans le domaine considéré, soit éventuellement par des études de sensibilité concernant certaines hypothèses et qui en justifient le conservatisme.

3.3.4. Les deux autres sources d'incertitudes proviennent de la taille et de la représentativité de l'échantillon statistique (types *c* et *d*).

A l'époque où est effectuée l'évaluation, et après collecte de l'information disponible assez approfondie pour en assurer l'exhaustivité, il est nécessaire que tout l'échantillon statistique disponible soit utilisé pour définir le modèle d'extrapolation des courbes de probabilité et établir cette extrapolation. Outre les données systématiques des stations d'observations régulières, doivent être prises en compte les données historiques du passé, éventuellement rapportées avant les observations systématiques.

Compte tenu du fait que l'ensemble de ces données ne constitue qu'une information limitée et ne concerne généralement qu'une période de temps relativement courte (incertitude de type *c*), il est nécessaire d'évaluer l'intervalle de confiance entourant la valeur moyenne calculée.

Afin de se protéger contre cette incertitude liée à l'échantillonnage, l'exploitant devra retenir non la valeur moyenne, mais la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 70 %.

3.3.5. L'évaluation d'incertitudes (type *d*) liées à la représentativité de l'échantillon statistique disponible à l'époque du calcul est un problème très complexe. Ces incertitudes concernent le fait que l'échantillon disponible et le modèle probabiliste calé sur ces données peuvent présenter des caractéristiques différentes de celles qui pourraient apparaître au cours de la durée de vie de l'ouvrage (non indépendance des événements annuels successifs, succession de périodes à haut risque et à bas risque, etc...).

Dans la mesure où pour effectuer les extrapolations, est traité l'échantillon statistique disponible le plus exhaustif possible à l'époque du calcul, on peut considérer que la prise en compte des incertitudes de représentativité est assurée à la fois par un choix convenable du modèle (incertitudes du type *b*) et par le calcul de l'intervalle de confiance à 70 % (incertitudes de type *c*).

3.4. Marge de sécurité.

3.4.1. Les incertitudes précédentes font qu'en l'état actuel des connaissances, il paraît illusoire d'accorder une signification aux calculs de débits de crue ou de surcotes marines de probabilité annuelle inférieure à 10^{-3} en ordre de grandeur.

Dans le cas des sites fluviaux, afin d'assurer une certaine homogénéité entre les probabilités des différents risques dus aux agressions externes et pris en compte pour le dimensionnement des installations nucléaires, une marge de sécurité est forfaitairement fixée comme étant la hauteur d'eau correspondant à un sur-débit égal à 15 % du débit de crue millénale estimé.

3.4.2. Pendant la phase de construction ou d'exploitation de l'installation, des modifications dans les conditions locales ou des progrès dans les méthodes ou les connaissances historiques peuvent rendre nécessaire une réévaluation du débit ou du niveau de la crue millénale, ou de la surcote marine millénale. Dans ce cas, l'administration se réserve de demander toutes évaluations complémentaires utiles des marges de sécurité disponibles, et si nécessaire, de demander la mise en place de certaines dispositions complémentaires.

4. Rétroactivité.

Pour les installations non visées par le quatrième alinéa de l'introduction de la présente règle, les conditions de rétroactivité sont les suivantes :

- la Cote majorée de sécurité sera déterminée selon les procédures décrites en 2.1.
- en ce qui concerne le paragraphe 2.2.1., pour les installations dont les plates-formes ne seraient pas conformes aux exigences de ce paragraphe, les voies d'accès possibles de l'eau situées au-dessous du niveau de calage des plates-formes seront obturées, et des dispositions complémentaires pro-

posées afin d'assurer un niveau de protection correspondant à celui nécessité par la Cote majorée de sécurité.

• des dispositions seront prises pour répondre aux exigences des paragraphes 2.2.2. à 2.2.4.

L'examen de ces dispositions complémentaires sera effectué pour chaque site concerné, et leur efficacité devra pouvoir être garantie, compte tenu des éventuelles interventions humaines nécessaires pour leur mise en œuvre, des contraintes d'exploitation et de la durée plausible des inondations.

ANNEXE

La méthode du renouvellement.

La méthode du renouvellement regroupe un ensemble de techniques d'estimation de probabilités de crues (*) dont on trouvera un exposé complet orienté vers les applications dans le rapport E.D.F.-L.N.H.-HE/43/81.45 de J. Miquel « Guide d'estimation des probabilités de crue ».

Contrairement aux méthodes statistiques traditionnelles qui n'utilisent qu'une information limitée aux seules observations de débits instantanés maximaux de chaque année, la philosophie de ces techniques est l'utilisation complète de toutes les données hydrométriques déterminantes pour l'extrapolation nécessaire des courbes de probabilités. Afin de sélectionner des données réellement informatives, on fixe un seuil de débit q_0 et on prend en compte toutes les crues dont le débit maximal instantané q_i dépasse ce seuil.

A partir de ces données on analyse séparément :

- la distribution probabiliste du nombre K des crues supérieures au seuil par année (ou par saison) ;
- la répartition probabiliste de toutes les crues q_i sélectionnées supérieures au seuil q_0 .

Le résultat à retenir de cette analyse est essentiellement le suivant :

Si $T(q)$ est la durée de retour associée à un débit maximal annuel q , c'est-à-dire l'inverse de la probabilité annuelle de dépassement de q par le débit maximal de chaque année, alors :

$$T(q) = \frac{1}{[E(K)1 - G_{Q_0}(q)]} \quad \text{où :}$$

— $E(K)$ est l'espérance mathématique du nombre K .

— $G_{Q_0}(q)$ est la fonction de répartition des débits de crues Q_i sélectionnées :

$$G_{Q_0}(q) = \text{Prob. } [Q_i < q/Q_0 > q_0]$$

(*) Dans le cas des inondations marines, la variable « débit de crue » est remplacée par la variable « surcote marine ».

Généralement les fonctions G ajustées aux données disponibles se rattachent à la loi dite de Weibull :

$$G_{q_0}(q) = 1 - e^{-\rho(q-q_0)^p}$$

dont on estime les paramètres ρ et p sur les données Q_i . Des tests mathématiques et surtout graphiques permettent de vérifier la bonne adéquation du modèle probabiliste ainsi créé aux données Q_i .

On obtient alors la relation réciproque q (T) liant chaque débit maximal annuel q à une durée de retour T .

Le résultat est tributaire d'un certain nombre d'hypothèses, notamment celle d'indépendance des crues sélectionnées que l'on peut assurer en choisissant convenablement le seuil après différents essais pour vérifier la stabilité des estimations au niveau des débits de durées de retour élevées.

Dans le cadre de la méthode du renouvellement, les techniques d'estimation et de vérification du modèle statistique présenté ci-dessus ne sauraient être dissociées de techniques permettant :

— l'analyse des diverses incertitudes et notamment la quantification des erreurs d'échantillonnage sous forme d'intervalles de confiance ; en particulier on associe à chaque débit, de durée de retour fixée T , les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 70 % ;

— l'introduction d'informations complémentaires qui, telles les crues historiques événements extrêmes du passé — dans la mesure où elles sont connues avec une précision acceptable —, permettent un choix et une estimation moins arbitraires des distributions statistiques et réduisent les erreurs d'échantillonnage et surtout d'adéquation dans la zone des fortes durées de retour T ;

— l'analyse et la prise en compte de l'aspect physique des phénomènes de crues, notamment de leur genèse hydrologique (types de précipitations, conditions d'écoulement variables selon les parties du bassin, les affluents, etc...), en particulier lorsque des hétérogénéités apparaissent.

En conclusion à cette présentation rapide, il importe toutefois de souligner que, malgré l'utilisation exhaustive des informations les plus déterminantes, la méthode du renouvellement, comme toutes les autres méthodes statistiques, laisse des incertitudes résiduelles de diverses natures, d'autant plus notables que l'extrapolation est poussée loin vers les très fortes durées de retour. Avec les informations actuellement utilisées dans cette méthode et compte tenu des données disponibles en France, il semble difficile sinon impossible d'estimer les débits de crues dont la probabilité annuelle de dépassement descend en dessous de 10^{-3} /an, c'est-à-dire dont la durée de retour est supérieure à 1 000 ans (crue millénaire).