

## Projet de guide de l'ASN

# Protection des installations nucléaires de base contre les inondations externes

**Projet de GUIDE N° 13**  
SOUMIS A CONSULTATION DU PUBLIC

Version du 17/05/2010



## Préambule

*Les guides de l'ASN regroupent les documents à destination des professionnels intéressés par la réglementation en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection (exploitants, utilisateurs ou transporteurs de sources de rayonnements ionisants, public, etc.).*

*Ils ont pour objet, sous forme de recommandations :*

- d'expliciter une réglementation et les droits et obligations des personnes intéressées par la réglementation ;*
- d'expliciter des objectifs réglementaires et de décrire, le cas échéant, les pratiques que l'ASN juge satisfaisantes ;*
- de donner des éléments d'ordre pratique et des renseignements utiles sur la sûreté nucléaire et la radioprotection.*



# Sommaire

5	
10	<b>1. SITUATIONS DE RÉFÉRENCE A PRENDRE EN COMPTE POUR LE RISQUE D'INONDATION.....6</b>
	<b>1.1. IDENTIFICATION DES SOURCES D'EAU .....6</b>
	<b>1.2. IDENTIFICATION DES CAUSES D'INONDATION .....6</b>
10	<b>1.3. DEFINITION DES SITUATIONS D'INONDATION .....7</b>
	1.3.1 DEFINITION.....7
	1.3.2 GENERALITES.....7
	1.3.3 SRI A PRENDRE EN COMPTE POUR TOUS LES SITES.....8
	1.3.4 SRI A PRENDRE EN COMPTE POUR LES SITES FLUVIAUX .....11
15	1.3.5 SRI A PRENDRE EN COMPTE POUR LES SITES EN BORD DE MER .....12
	1.3.6 CAS PARTICULIER DES SITES EN ESTUAIRE .....14
	<b>2. CARACTÉRISATION DES SRI ..... 14</b>
	<b>2.1. INTRODUCTION..... 14</b>
	<b>2.2. PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES ..... 15</b>
20	<b>2.3. PLUIES ..... 16</b>
	2.3.1 DETERMINATION DES PLUIES DE REFERENCE .....16
	2.3.2 QUANTIFICATION DES DEBITS DE RUISSELLEMENT .....17
	2.3.3 ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU RESEAU DES EAUX PLUVIALES.....17
	2.3.4 PARAMETRES A SURVEILLER.....18
25	<b>2.4. CRUES SUR UN PETIT BASSIN VERSANT ..... 18</b>
	2.4.1 GENERALITES.....18
	2.4.2 PARAMETRES A SURVEILLER.....18
	<b>2.5. DEGRADATIONS ou DYSFONCTIONNEMENTS D'OUVRAGES, DE CIRCUITS ou D'EQUIPEMENTS 18</b>
	2.5.1 GENERALITES.....18
30	2.5.2 CARACTERISATION DES RUPTURES SIMPLES.....19
	2.5.3 CARACTERISATION DES RUPTURES MULTIPLES.....19
	<b>2.6. INTUMESCENCE - DYSFONCTIONNEMENT D'OUVRAGES HYDRAULIQUES .....20</b>
	2.6.1 IDENTIFICATION DES SCENARIOS D'INTUMESCENCE* .....20
	2.6.2 QUANTIFICATION DE L'INTUMESCENCE .....21
35	2.6.3 ÉVOLUTION DU NIVEAU D'EAU DANS UN BIEF PAR STOCKAGE (OU VIDANGE).....21
	<b>2.7. REMONTEE DE LA NAPPE PHREATIQUE..... 21</b>
	2.7.1 DONNEES HYDROGEOLOGIQUES.....21
	2.7.2 QUANTIFICATION DU NIVEAU DE LA NAPPE .....22
	2.7.3 PARAMETRES A SURVEILLER.....22
40	<b>2.8. CRUES NATURELLES SUR UN GRAND BASSIN VERSANT ..... 22</b>
	2.8.1 TRAITEMENT DES DONNEES DE DEBIT .....22
	2.8.2 EXTRAPOLATION DES DEBITS AUX DEBITS EXTREMES .....23
	2.8.3 NIVEAU D'EAU DE REFERENCE .....23
	2.8.4 CAS PARTICULIER DES CONFLUENCES .....25
45	2.8.5 PARAMETRES A SURVEILLER.....25
	<b>2.9. RUPTURE D'UN OUVRAGE DE RETENUE ..... 25</b>

	2.9.1	GENERALITES.....	25
	2.9.2	HYPOTHESES ASSOCIEES A LA RUPTURE.....	25
50	2.9.3	PROPAGATION DE L'ONDE DE SUBMERSION .....	26
	2.9.4	NIVEAU DE REFERENCE .....	26
	2.9.5	CAS PARTICULIER DES CONFLUENCES .....	27
	2.9.6	PARAMETRES A SURVEILLER.....	27
	<b>2.10.</b>	<b>CLAPOT .....</b>	<b>28</b>
55	2.10.1	CARACTERISTIQUES DU VENT DE REFERENCE .....	28
	2.10.2	GENERATION ET PROPAGATION DU CLAPOT .....	28
	2.10.3	FRANCHISSEMENT.....	28
	<b>2.11.</b>	<b>NIVEAU MARIN .....</b>	<b>28</b>
	2.11.1	MAREE THEORIQUE.....	29
	2.11.2	SURCOTE .....	29
60	2.11.3	PARAMETRE A SURVEILLER.....	29
	<b>2.12.</b>	<b>VAGUES OCEANIQUES .....</b>	<b>29</b>
	2.12.1	CARACTERISTIQUES DES VAGUES OCEANIQUES.....	29
	2.12.2	PROPAGATION.....	29
	2.12.3	FRANCHISSEMENT.....	30
65	2.12.4	PARAMETRES A SURVEILLER.....	30
	<b>2.13.</b>	<b>SEICHES .....</b>	<b>30</b>
	<b>2.14.</b>	<b>PARTICULARITES DES SITES EN ESTUAIRE .....</b>	<b>30</b>
	<b>3.</b>	<b>PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS .....</b>	<b>31</b>
	3.1.	SPECIFICITES D'UNE INONDATION .....	31
70	3.2.	PRINCIPES DE PROTECTION .....	31
	3.3.	DISPOSITIONS MATERIELLES DE PROTECTION.....	32
	3.3.1	GENERALITES.....	32
	3.3.2	DEFINITION ET SUIVI DES PARAMETRES CARACTERISTIQUES .....	32
	3.3.3	DISPOSITIONS MATERIELLES PASSIVES .....	33
75	3.3.4	AUTRES DISPOSITIONS.....	34
	3.4.	DISPOSITIONS ORGANISATIONNELLES DE PROTECTION.....	35
	3.5.	ÉVALUATION DES CONSEQUENCES.....	36

## Glossaire

80

*(\* Les termes figurant dans le glossaire sont soulignés et suivis d'une étoile.*



## INTRODUCTION

85

### Objet du guide

La pratique réglementaire française exige le maintien des fonctions de sûreté d'une installation nucléaire de base en cas d'inondation d'origine externe.

90

Par inondation externe, on entend une inondation ayant une origine extérieure aux ouvrages ou bâtiments contenant des équipements à protéger, quelles que soient la ou les causes (pluies, crues, tempêtes, rupture de canalisations...). Par la suite, le terme inondation désigne l'inondation externe.

Le présent guide a pour objectifs :

95

- ❑ de définir les critères à prendre en compte pour évaluer le risque d'inondation pour le site considéré ;
- ❑ de proposer une méthode acceptable pour les quantifier ;
- ❑ de lister des recommandations pour définir des moyens de protection adaptés aux spécificités du risque d'inondation, mis en œuvre par l'exploitant selon les phases de vie de l'installation ;
- ❑ de prendre en compte l'évolution climatique.

100

Sur ce dernier point, il convient à la conception des installations de tenir compte des évolutions plausibles du climat pour une durée représentative de sa durée de vie envisageable, il convient à chaque réexamen de sûreté de tenir compte des évolutions plausibles du climat pour une durée d'au moins dix ans.

105

L'utilisation de ce guide nécessite d'avoir préalablement identifié les fonctions de sûreté dont la permanence doit être garantie en cas d'inondation.

### Champ d'application du guide

110

Le présent guide s'applique aux installations nucléaires de base. Pour les stockages de déchets radioactifs, ce guide s'applique uniquement aux installations de surface.

Pour les installations existantes, les écarts éventuels au présent guide seront analysés dans le cadre des réexamens de sûreté. Cependant, l'ASN peut être amenée à prendre des prescriptions, dans des cas spécifiques remettant en cause la sûreté de l'installation.

115

### Structure du guide

Le guide est structuré en trois parties :

120

- 1) la première partie préconise une démarche permettant d'identifier les situations de référence à prendre en compte pour le risque d'inondation (SRI) ;
- 2) la deuxième partie est consacrée à la quantification des paramètres caractérisant les phénomènes physiques intervenant dans la définition des situations ;
- 3) la troisième partie identifie les spécificités du risque d'inondation ainsi que les principes directeurs des choix de conception et des moyens de protection à mettre en œuvre à l'égard du risque d'inondation.

125



# 1. SITUATIONS DE RÉFÉRENCE A PRENDRE EN COMPTE POUR LE RISQUE D'INONDATION

## 1.1. Identification des sources d'eau

La première étape de la démarche est de recenser les sources d'eau pouvant initier une inondation ou y contribuer, pour le site considéré :

- ❑ pluies (1) ;
- ❑ nappes d'eau souterraines (2) ;
- ❑ mers et océans (3) ;
- ❑ cours d'eau (fleuves, rivières et canaux) (4) ;
- ❑ réservoirs naturels (lacs, glaciers) (5) ;
- ❑ réservoirs artificiels (barrages, cuves, châteaux d'eau, tuyauteries...) (6).

Cette étape est illustrée en figure [1].

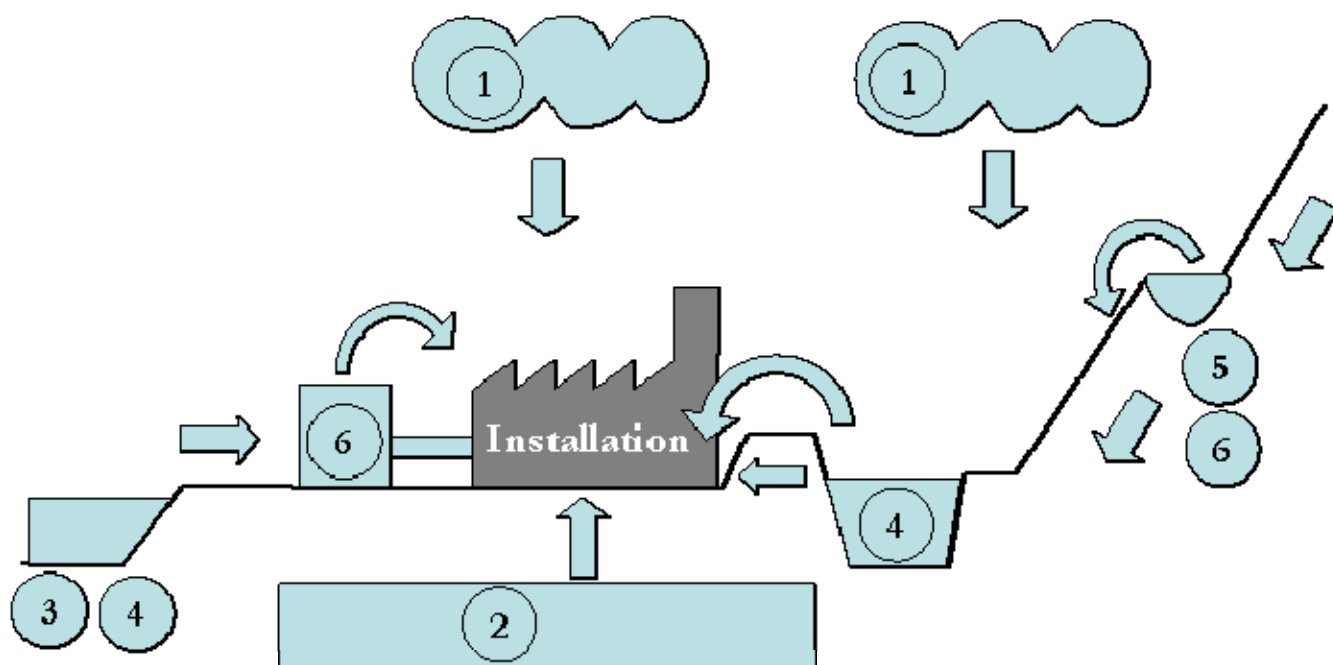


Figure [1] : sources d'eau

## 1.2. Identification des causes d'inondation

La deuxième étape de la démarche est de recenser les événements ou conjonctions d'événements qui peuvent être à l'origine d'une agression pour l'installation considérée, pour chacune des sources d'eau identifiées.

Un « événement » particulier est caractérisé notamment par une ou plusieurs grandeurs physiques définissant son intensité (volume, hauteur, débit, etc.) et, le cas échéant, une durée et une fréquence



155 d'occurrence. Par exemple, la crue centennale et la crue millennale sont des événements permettant de qualifier une crue fluviale.  
Les inondations peuvent être causées, soit par un événement unique d'intensité importante, soit par une conjonction d'événements qui peut être de tout ordre (concomitance ou succession d'événements naturels, défaillance d'un équipement de protection, etc.).

160

### 1.3. Définition des situations d'inondation

#### 1.3.1 Définition

165 Une « **situation de référence pour le risque d'inondation** » (SRI) est définie à partir d'un événement ou d'une conjonction d'événements dont les caractéristiques sont éventuellement majorées (conjonction pénalisante ou majoration permettant de compenser les limites de connaissances actuelles).

170 Ces conjonctions peuvent être considérées de manière purement conventionnelle (sans lien a priori entre les événements) ou refléter des dépendances physiques (lien de cause à effet entre les événements ou cause commune aux événements).

#### 1.3.2 Généralités

175 En fonction des caractéristiques du site, la liste des SRI est établie. Le dimensionnement des installations vis-à-vis du risque d'inondation est justifié au regard de ces SRI.

180 La liste prend en compte les différentes sources d'eau pertinentes pour le site et les différents événements ou conjonctions identifiés. Elle est établie sur la base des recommandations ci-après pour chaque type de site. Ces recommandations résultent d'une analyse générique du risque d'inondation pour différents types de site, en fonction des éléments de connaissance actuels en la matière (données accessibles et méthodes de caractérisation des événements). Cette liste de SRI est éventuellement complétée pour un site donné par d'autres situations, en fonction des spécificités du site.

Les SRI doivent être enveloppes du retour d'expérience pertinent pour le site considéré.

185 Des conjonctions sont à retenir lorsqu'une dépendance est avérée ou présumée entre des événements susceptibles de générer une inondation. Lorsqu'un risque de concomitance est identifié au regard de la durée de l'un ou l'autre des événements, leur conjonction doit être retenue.

190 Les SRI définies ci-après résultent d'une démarche d'expertise. Elles sont exprimées soit à partir d'une exploitation statistique des données disponibles, soit de façon déterministe.

195 Il convient de bien distinguer la probabilité de survenue des conséquences d'un événement de celle associée à son occurrence. En effet, il n'existe pas nécessairement de relation univoque entre cause et conséquences. Par exemple, des pluies de fréquence d'occurrence égale à  $10^{-2}$ /an ne provoqueront pas nécessairement un débit de fréquence égale à  $10^{-2}$ /an, ni une hauteur d'eau au droit du site de fréquence égale à  $10^{-2}$ /an.

La liste des SRI est illustrée par la figure [2].



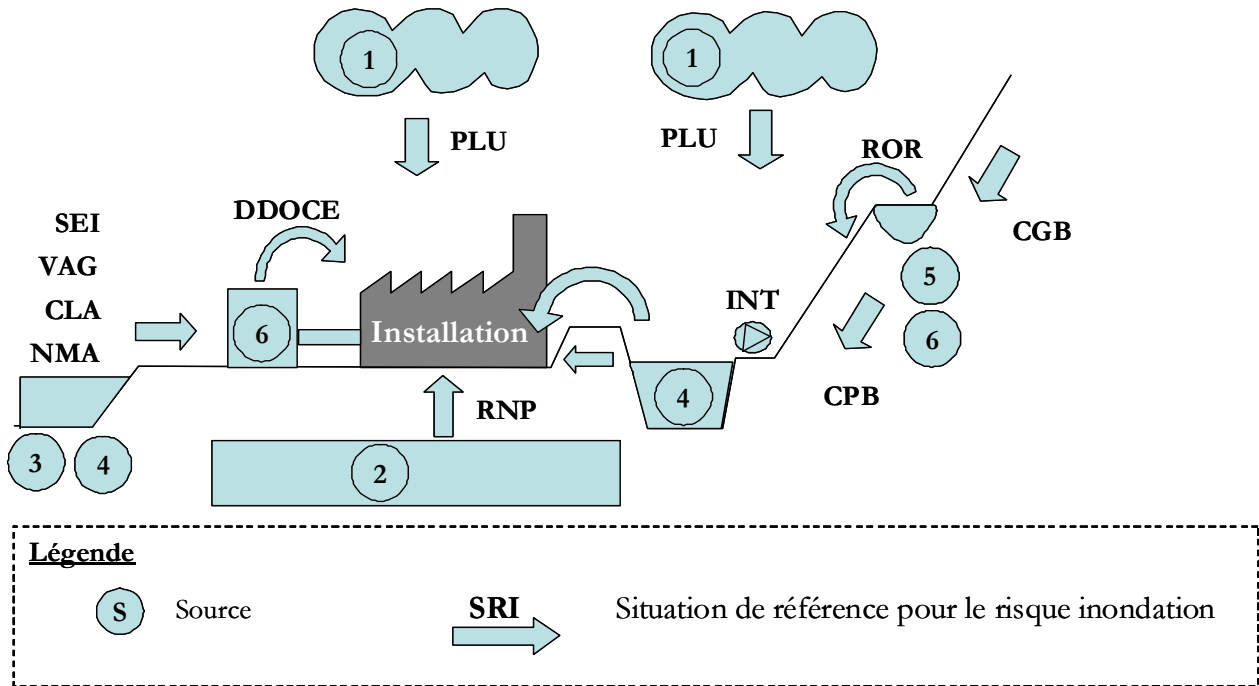


Figure [2] : Ensemble des SRI

205 Dans la figure ci-avant, les abréviations suivantes ont été adoptées :

205	<b>PLU</b>	Pluies
	<b>CPB</b>	Crue sur un petit bassin versant
	<b>CGB</b>	Crue sur un grand bassin versant
	<b>DDOCE</b>	Dégradations ou dysfonctionnements d'ouvrages, de circuits ou d'équipements
210	<b>INT</b>	Intumescence – Dysfonctionnement d'ouvrages hydrauliques
	<b>RNP</b>	Remontée de la nappe phréatique
	<b>ROR</b>	Rupture d'un ouvrage de retenue
	<b>CLA</b>	Clapot
	<b>NMA</b>	Niveau marin
215	<b>VAG</b>	Vagues
	<b>SEI</b>	<u>Seiche</u> *

### 1.3.3 SRI à prendre en compte pour tous les sites

220 A minima, cinq SRI sont à prendre en compte : les pluies, la crue sur un petit bassin versant, la dégradation ou la rupture d'ouvrages ou d'équipements, l'intumescence et la remontée de la nappe phréatique.

#### 1.3.3.1.1. Pluies

225 Les pluies de référence sont définies par la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % des pluies centennales calculées à une station météorologique représentative des conditions du site. Lorsque le dimensionnement des réseaux pluviaux nécessite la définition d'un niveau aval à leur exutoire, celui-ci est défini en considérant :

- 230
- ❑ pour les réseaux rejetant dans un autre réseau, un étang ou une rivière issue d'un petit bassin versant (dont le niveau est sensible aux pluies locales), que l'ensemble du bassin versant situé en amont de cet exutoire est soumis aux pluies de référence déterminées pour le réseau d'eaux pluviales du site,
  - ❑ le débit ou le niveau d'eau moyen pour les réseaux rejetant directement dans des fleuves pour lesquels le débit au droit du site est indépendant des conditions météorologiques du site,
- 235
- ❑ le niveau de pleine mer décennal.

240 Afin de tenir compte, d'une part des risques d'obstruction du réseau lors d'événements extrêmes, d'autre part d'événements plus rares que ceux définis par les pluies de référence, l'installation doit pouvoir faire face à un scénario de ruissellement de surface en considérant indisponibles les accès au réseau local d'évacuation des eaux pluviales de l'installation. Ce scénario de ruissellement de surface de référence est défini par la pluie centennale (valeur de la borne supérieure à 95%) de durée 1 heure.

245 Des études complémentaires sont réalisées, en suivant une approche du même type, pour les bassins versants situés en amont de l'installation. Concernant les apports d'eau provenant des bassins versants ruraux de taille inférieure ou égale à 10 km<sup>2</sup>, l'exploitant vérifie l'existence d'une marge significative des dispositifs de protection pour le cas où surviendraient des ruissellements plus importants que ceux définis par la pluie de référence. L'exploitant identifie les points singuliers auxquels peuvent se produire des embâcles\* susceptibles d'aggraver la situation, et les traite dans la démonstration de sûreté (par exemple, en présentant des dispositions d'entretien adaptées ou en prévoyant des actions de secours).

250

#### 1.3.3.1.2. *Crue sur un petit bassin versant*

La crue de référence sur un petit bassin versant dont la taille est comprise entre 10 et 100 km<sup>2</sup> est évaluée par l'une des démarches suivantes :

- 255
- ❑ l'application d'une méthode du type Gradex, pour une période de retour décennale,
  - ❑ l'application d'une méthode de calcul du débit à partir des pluies centennales (borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95%), avec des hypothèses de ruissellement pessimistes, et en multipliant le débit obtenu par un facteur 2.

260 Le choix de la démarche retenue est justifié, notamment sur la base des données disponibles pour le bassin versant considéré.

Si besoin, la condition aval du cours d'eau à l'exutoire du bassin versant est définie par :

- 265
- ❑ le même événement pour un exutoire dans le milieu naturel soumis en même temps à la pluie (plan ou cours d'eau),
  - ❑ le débit ou le niveau d'eau moyen pour les réseaux rejetant directement dans des fleuves pour lesquels le débit au droit du site est indépendant des conditions météorologiques du site,
  - ❑ le niveau de pleine mer décennal.

270 L'exploitant identifie les points singuliers auxquels peuvent se produire des embâcles susceptibles d'aggraver la crue de référence.

La crue de référence et les justifications à apporter pour les petits bassins versants de taille supérieure à 100 km<sup>2</sup> doivent être examinées au cas par cas.



275

#### 1.3.3.1.3. *Dégradations ou dysfonctionnements d'ouvrages, de circuits ou d'équipements*

Il s'agit de déterminer les conséquences de possibles dysfonctionnements ou dégradations d'ouvrages, de circuits ou d'équipements qui pourraient conduire au déversement d'une quantité significative d'eau sur le site.

280

Une analyse exhaustive de ces ouvrages, circuits et équipements est réalisée. On considère ceux qui se trouvent à proximité du site et sur le site, à l'extérieur des bâtiments abritant des équipements importants pour la sûreté.

Les différents types d'ouvrages, de circuits et d'équipements à considérer sont notamment :

285

- ❑ les bassins, les réservoirs, les cuves, les bâches,
- ❑ les circuits, les tuyauteries, les ouvrages d'appoint ou de rejet, les ouvrages de retenue d'eau,
- ❑ les digues de canaux.
- ❑ La rupture ou le débordement d'ouvrages, de circuits ou d'équipements peuvent résulter par exemple :

290

- ❑ de dysfonctionnements de ces ouvrages, circuits ou équipements,
- ❑ de défaillances intrinsèques telles qu'une dégradation hydraulique pour des ouvrages en remblai ou une rupture due au vieillissement,
- ❑ d'agressions externes susceptibles d'affecter le site (séisme, explosion, incendie, chute d'avion, etc.),
- ❑ d'agressions spécifiques liées à une situation géographique particulière de l'ouvrage, du circuit ou de l'équipement.

295

Les ruptures à considérer sont des ruptures simples ou des ruptures multiples dues à un mode commun.

#### 1.3.3.1.4. *Intumescence*

300

L'intumescence de référence est une onde résultant d'une variation rapide du débit dans un ouvrage hydraulique à ciel ouvert, implanté sur le site ou en amont ou en aval de celui-ci. Elle est caractérisée par son intensité (débit maximal de déversement, hauteur d'eau maximale correspondante sur le site, volume déversé) et sa durée (dynamique rapide pour les ondes secondaires, plus lente pour les ondes principales ou les phénomènes de stockage).

305

L'étude de l'intumescence envisage plusieurs scénarios, en identifiant les causes possibles d'intumescences susceptibles d'affecter le site et en considérant des conditions initiales de niveaux et de débits conduisant à l'intumescence la plus pénalisante. Dans la détermination du niveau initial, il n'est pas considéré de situation plus rare que les SRI de crue ou de niveau marin définies aux paragraphes I.3.4 et I.3.5.

310

Les dysfonctionnements d'ouvrages hydrauliques peuvent conduire par ailleurs à un écart entre les débits entrant dans un bief\* et les débits en sortant et provoquer une augmentation du niveau d'eau au droit du site. Dans le cadre de l'étude de cette situation, les modalités de reprise de débits permettant de corriger l'écart sont justifiées.

315

#### 1.3.3.1.5. *Remontée de la nappe phréatique*

Le niveau de référence de la nappe phréatique est déterminé sur la base d'une étude hydrogéologique du site, en fonction des données accessibles, par l'une des deux méthodes suivantes.



1. La combinaison d'un « niveau initial » et de l'effet de remontée dû à un « initiateur ».

320 L'initiateur est l'événement, parmi ceux examinés pour la détermination des SRI (crue, niveau marin, pluies, dégradation d'ouvrage...) qui provoquent les plus fortes remontées de la nappe phréatique. La durée de l'initiateur est choisie de manière à maximaliser la remontée de la nappe, notamment dans le cas des crues sur des grands bassins versants (pour tenir compte de l'effet d'une crue de volume équivalent et plus étalée dans le temps) et dans le cas des pluies (les durées à considérer pouvant aller de  
325 quelques heures à plusieurs mois).

Le « niveau initial » de la nappe à la date d'occurrence des fortes remontées forfaitise les contributions de tous les phénomènes considérés comme secondaires. Le niveau initial est défini comme le niveau maximum, en l'absence d'effet l'initiateur considéré, observé sur une période d'au moins 10 ans. Ce niveau peut être remplacé par le niveau de période de retour décennale. Si les données disponibles ne  
330 permettent pas cette approche, la valeur retenue devra être justifiée par avis d'experts en tenant compte de la durée d'observation disponible.

2. Une analyse statistique des niveaux de la nappe phréatique

335 Le niveau de référence peut être défini comme le niveau associé à une période de retour centennale, en retenant la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 %. L'analyse statistique porte sur les plus hauts niveaux atteints dans une longue série de niveaux piézométriques, constituée à partir d'une chronique de niveaux observés directement. Cette chronique peut être étendue grâce à une simulation permettant de reconstituer la série mesurée et de la prolonger à partir d'autres données disponibles sur une période plus longue. Compte tenu de la période de retour relativement courte accessible par cette  
340 analyse statistique, le niveau de référence est calculé en retenant des hypothèses pénalisantes. De plus, le risque d'effet falaise pour un événement plus rare est traité (cf §III.2).

Le choix de la méthode et les différents éléments de calcul sont justifiés par une étude de l'hydrogéologie du site en s'appuyant sur des mesures piézométriques.

345

Cette démarche s'applique en tant que de besoin au calcul des conséquences associées à l'atteinte d'une cote altimétrique donnée : pression induite, débit de pointe ou volume total d'eau à évacuer.

#### 350 1.3.4 SRI à prendre en compte pour les sites fluviaux

Trois SRI supplémentaires sont à prendre en compte : crue naturelle sur un grand bassin versant, rupture d'un ouvrage de retenue et clapot.

##### *1.3.4.1.1. Crue sur un grand bassin versant*

355 La crue naturelle sur un grand bassin versant est caractérisée par un débit de référence, un niveau d'eau de référence et le champ d'inondation associé.

Le débit de référence correspond au débit maximal instantané associé à la crue millennale en considérant la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 70 %, majorée de 15%.



360 Le niveau de référence est le niveau maximal sur l'emprise du site résultant du débit de référence. Dans certaines configurations de site particulières, un niveau d'eau plus élevé peut être atteint pour un débit plus faible que le débit de référence ; dans ce cas, le niveau de référence est celui associé à ce débit moindre.

365 Dans le cas d'un cours d'eau aménagé, il est nécessaire de tenir compte du fonctionnement et du comportement des aménagements dans les conditions de crue considérées (règles de gestion des crues, passage en charge des ouvrages, dégradation des ouvrages...).

La proximité entre le site étudié et une confluence de cours d'eau peut nécessiter que l'étude prenne en compte cette confluence.

#### 1.3.4.1.2. Rupture d'un ouvrage de retenue

370 La rupture de l'ouvrage de retenue en travers du cours d'eau conduisant aux conditions les plus contraignantes pour le site est postulée. Le niveau de référence associé à la rupture de cet ouvrage est le niveau maximal sur l'emprise du site résultant de la propagation de l'onde de submersion. L'étude considèrera le cours d'eau sur lequel le site est implanté et les différentes vallées débouchant à proximité du site.

375 Dans certaines configurations de site particulières, un niveau d'eau plus élevé peut être atteint pour un débit plus faible que le débit de référence ; le niveau de référence est celui associé à ce débit moindre.

Dans le cas d'un cours d'eau aménagé, il est nécessaire de tenir compte du fonctionnement et du comportement des aménagements dans les conditions de crue considérées (règles de gestion des crues, passage en charge des ouvrages, dégradation des ouvrages...).

380 La proximité entre le site étudié et une confluence de cours d'eau peut nécessiter que l'étude prenne en compte l'effet de la remontée de l'onde dans chaque affluent.

#### 1.3.4.1.3. Clapot

385 Le clapot de référence est le champ de vagues résultant d'un vent centennal (borne supérieure de l'intervalle de confiance à 70 %) propagé sur une crue millennale (borne supérieure de l'intervalle de confiance à 70 %).

Il est caractérisé par une hauteur significative\*, une période significative\*, une direction de propagation dominante et une durée, déterminée à partir de statistiques sur les durées d'épisodes de vent forts.

390

### 1.3.5 SRI à prendre en compte pour les sites en bord de mer

Trois SRI supplémentaires sont à prendre en compte : niveau marin, vagues, seiche.

395 Les situations définies ci-après ne concernent pas les sites implantés au bord de la Méditerranée, pour lesquels une méthode adaptée devra être proposée par l'exploitant.



#### 1.3.5.1.1. Niveau marin

Le niveau marin haut de référence est la somme conventionnelle :

- 400  du niveau maximal de la marée théorique\*,
- de la surcote\* millennale (borne supérieure de l'intervalle de confiance à 70 %), majorée pour tenir compte des incertitudes sur l'évaluation des surcotes rares résultant des horsains\*,
- de l'évolution du niveau marin moyen extrapolée au moins jusqu'au prochain réexamen de sûreté pour les installations existantes et sur la durée de vie envisageable pour les nouvelles installations.

405

De façon alternative aux deux premiers points, les niveaux de la marée et les surcotes pourront faire l'objet d'une étude statistique visant à déterminer la fréquence d'apparition du niveau d'eau cumulant les deux phénomènes (méthode dite des probabilités jointes), en considérant une période de retour décennale. Cette approche doit utiliser un modèle d'extrapolation statistique satisfaisant pour les horsains\* et intégrer une estimation de l'incertitude d'échantillonnage qui sera couverte par le niveau marin de référence.

410

#### 1.3.5.1.2. Vagues (vagues océaniques et clapot)

415 La détermination des conditions de vagues au droit d'un site maritime combine a priori des vagues océaniques (appelées aussi « houle »), qui ont été générées par le vent à une grande distance du site et se sont propagées hors de la zone de génération, et les vagues levées par le vent local (appelées aussi « clapot »). Il est possible, en fonction de l'exposition et de la configuration du site, de simplifier l'étude en établissant la prépondérance d'une des deux sources par rapport à l'autre.

420 Les vagues océaniques de référence sont déterminées à partir des conditions de vagues océaniques de hauteur significative\* centennale (borne supérieure de l'intervalle de confiance à 70%) déterminées au large du site et propagées sur le niveau marin de référence.

En cas de prépondérance du clapot sur les vagues océaniques, le clapot de référence retenu est défini par le clapot résultant d'un vent centennal (borne supérieure de l'intervalle de confiance à 70 %) propagé sur le niveau marin de référence.

425 La durée de cette SRI est déterminée à partir des variations du niveau marin dues à la marée.

#### 1.3.5.1.3. Seiche

Le risque de survenue d'une seiche est étudié sur la base du retour d'expérience disponible ou de mesures du niveau d'eau en mer.

430 Si un risque de survenue d'une seiche est identifié dans les aménagements côtiers (bassin portuaire, chenaux de prise ou de rejet d'eau), le phénomène est pris en compte pour le calcul du niveau marin de référence. En première approche, le niveau marin de référence peut être surélevé d'une hauteur correspondant à l'estimation de la hauteur de la seiche annuelle (estimation statistique ou empirique selon les données disponibles).



#### 1.3.5.1.4. *Autres événements*

Compte tenu de l'exclusion des sites méditerranéens du champ d'application du paragraphe 1.3.5, le risque de tsunami est a priori couvert par les situations de niveau marin et de vagues de référence.

440 Le risque associé aux vagues générées par le passage de navires est a priori couvert par les conditions de vagues, compte tenu de l'amplitude limitée de ces vagues et de la limitation de la navigation en cas de tempête.

### 1.3.6 Cas particulier des sites en estuaire

Les sites en estuaire sont soumis à une influence maritime et une à influence fluviale.

#### 1.3.6.1.1. *Influence maritime*

450 Les SRI définies au paragraphe 1.3.5 sont déterminées, en considérant à l'entrée de l'estuaire les conditions maritimes définies pour les sites en bord de mer (niveau marin de référence et vagues de référence), associées à un vent local centennal (borne supérieure de l'intervalle de confiance à 70 %) et à un débit moyen du fleuve. La durée des SRI est déterminée à partir des variations du niveau marin dues à la marée.

#### 1.3.6.1.2. *Influence fluviale*

Les SRI définies au paragraphe 1.3.4 sont déterminées, moyennant les adaptations suivantes.

455 Pour la SRI « crue naturelle sur un grand bassin versant », la situation de référence est déterminée sans appliquer la majoration de 15 % prévue au paragraphe 1.3.4.1 et en considérant un niveau maximal de la marée théorique\*.

Pour la SRI « rupture d'un ouvrage de retenue », la situation de référence est déterminée en considérant un niveau de pleine mer de coefficient 70.

460 Pour la SRI « clapot », la situation de référence est déterminée en considérant un niveau de pleine mer de coefficient 70.

Le phénomène de mascaret qui peut apparaître dans les estuaires est couvert par les niveaux hauts de référence. De plus, les conditions d'apparition du phénomène justifient de ne pas le cumuler avec des niveaux marins élevés.

## 2. CARACTÉRISATION DES SRI

### 2.1. Introduction

470 Sur la base des données observées pour le site considéré, les SRI sont quantifiées en retenant une approche raisonnablement enveloppe (conditions initiales défavorables...). En particulier, pour tenir compte de la limitation de la quantité et de la fiabilité des données disponibles, des incertitudes inhérentes à l'état des connaissances (modélisation...) et des évolutions ultérieures du climat ou de l'environnement, l'approche doit inclure des hypothèses pénalisantes et des majorations.



La prise en compte des incertitudes est développée au paragraphe II.2.  
475 La quantification se fait notamment au travers des paramètres et méthodes définis pour chaque SRI dans les paragraphes II.3 à II.14.

Pour chaque SRI, il peut être nécessaire d'étudier plusieurs scénarios pour déterminer les valeurs enveloppes à utiliser pour dimensionner les dispositions de protection de l'installation.

480 Toutes les cotes sont présentées dans l'étude selon le même référentiel de nivellement géographique, dont le choix est clairement précisé.

## 2.2. Prise en compte des incertitudes

485 Compte tenu de l'absence de modèles fiables de propagation des incertitudes, il convient d'examiner les incertitudes affectant chaque paramètre. Les intervalles de confiance permettent une prise en compte quantifiée d'une partie de ces incertitudes, celle associée à l'échantillonnage.

490 Ce guide propose, dans les paragraphes spécifiques à chaque SRI, une méthode de prise en compte de certaines incertitudes. En l'absence d'indication, les incertitudes sont à traiter selon les principes développés ci-après.

Les incertitudes peuvent être regroupées en différents types :

- 495 1) pour l'évaluation des probabilités d'occurrence des événements rares :
- a) les incertitudes sur les données d'entrée de l'étude statistique ;
  - b) les incertitudes liées au choix du modèle statistique ;
  - c) les incertitudes liées à la taille de l'échantillon statistique disponible ;
  - d) les incertitudes liées à la représentativité de cet échantillon ;
- 500 2) pour l'évaluation des grandeurs hydrauliques relatives aux événements rares utilisées pour le dimensionnement des installations :
- e) les incertitudes liées aux manques de connaissance (parfois appelées incertitudes épistémiques) ;
  - f) les incertitudes liées à la variabilité des états initiaux possibles (parfois appelées incertitudes aléatoires).

505 Les incertitudes des types a, b, e et f sont difficilement quantifiables statistiquement car elles résultent du choix des hypothèses et des méthodes de calcul, ou de l'interprétation de certaines données. En conséquence, il est admis que les jugements d'experts permettent de faire ces choix au mieux, sans qu'il soit nécessaire de majorer l'estimation faite, pour couvrir ces incertitudes. « Au mieux » signifie que le  
510 choix des experts est motivé, soit par le consensus scientifique existant dans le domaine considéré, soit par des études de sensibilité concernant certaines hypothèses justifiant le caractère majorant du résultat.

515 L'analyse de la sensibilité du résultat aux hypothèses peut être menée par exemple en identifiant des paramètres influents, puis en retenant des valeurs majorantes pour ces paramètres influents. Le nombre d'études de sensibilité peut être limité en identifiant le paramètre le plus influent et en majorant sa valeur pour la caractérisation des SRI de façon à couvrir les incertitudes sur un ensemble de paramètres. Cette démarche est particulièrement pertinente pour ce qui concerne la propagation hydraulique d'une crue.

520 Concernant les incertitudes de type a, la critique des données par un expert est indispensable pour s'assurer de leur fiabilité. L'expert s'assure également de la représentativité des données pour le site.



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

525

Après une collecte des informations disponibles assez approfondie pour en assurer l'exhaustivité, il est nécessaire que tout l'échantillon statistique disponible soit utilisé pour déterminer la loi de probabilité d'occurrence des événements rares. Outre les données enregistrées régulièrement aux stations d'observations, doivent être prises en compte les données historiques éventuellement rapportées avant les données des stations d'observations.

530

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 (incertitudes de type c), il est nécessaire d'évaluer l'intervalle de confiance de la valeur moyenne calculée. Afin de couvrir les incertitudes liées à l'échantillonnage, la valeur extrapolée retenue est la borne supérieure de l'intervalle de confiance préconisée pour chaque SRI. En pratique, l'intervalle de confiance à 70 % présente généralement une amplitude considérée comme "raisonnable". Pour certaines SRI, le fait de retenir un intervalle de confiance plus pénalisant (95 % par exemple) constitue un moyen de couvrir des incertitudes de type b.

535

540

L'évaluation des incertitudes (type d) liées à la représentativité de l'échantillon statistique disponible à l'époque du calcul est un problème très complexe. Ces incertitudes proviennent du fait que l'échantillon disponible et le modèle statistique calé sur les données de cet échantillon peuvent présenter des caractéristiques différentes de celles qui pourraient apparaître au cours de la durée de la vie de l'ouvrage (dépendance des événements annuels successifs, succession de périodes à haut risque et à bas risque, etc.). En particulier, les incertitudes de type d englobent les incertitudes dues à l'hypothèse de stationnarité des données, qui constitue une hypothèse forte pour les aléas influencés par les changements climatiques ou anthropiques ; pour certaines SRI, des techniques de correction de ces changements peuvent être mises en œuvre. Dans la mesure où l'échantillon statistique retenu à l'époque du calcul est le plus exhaustif possible, on peut considérer que la prise en compte des incertitudes liées à la représentativité de l'échantillon est assurée à la fois par un choix convenable du modèle d'extrapolation utilisé (incertitudes de type b) et par le calcul de l'intervalle de confiance associé (incertitudes de type c).

545

550

555

## 2.3. Pluies

### 2.3.1 Détermination des pluies de référence

Les pluies de référence sont quantifiées à partir d'une étude statistique des données de pluie mesurées à une station météorologique représentative des conditions du site. La formulation de Montana est une méthode acceptable pour déterminer l'intensité des pluies de référence.

560

Les biais dus à l'utilisation de données de pluies « non centrées » sont corrigés. Pour les valeurs des pluies sur 6 minutes « non centrées », la correction donnée par le coefficient de Weiss (1,14) est acceptable compte tenu de l'état actuel des connaissances.

La validité des valeurs de pluies centennales de référence sera justifiée notamment par l'examen des valeurs mesurées dans des stations autres que la station retenue ou par comparaison avec les valeurs calculées suivant une approche régionalisée.

565



### 2.3.2 Quantification des débits de ruissellement

Les débits de ruissellement sont quantifiés par une méthode de transformation pluie-débit.

- 570 Pour ce faire, une modélisation numérique détaillée des bassins versants est recommandée. Les formes de pluie de projet de type Kieffer ou double-triangle, associées à une ou plusieurs durée(s) de pluies intenses sont privilégiées dans l'optique d'obtenir des scénarios de pluies majorants pour les différentes zones à enjeu du site. Les valeurs des pertes par infiltration tiennent compte du comportement du sol lors d'évènements pluvieux extrêmes.
- 575 Toutefois, dans certains cas simples, d'autres méthodes telle la méthode rationnelle peuvent être utilisées.

### 2.3.3 Étude du comportement du réseau des eaux pluviales<sup>1</sup>

- 580 L'intégration du modèle du réseau des eaux pluviales de l'installation dans un modèle global du réseau des eaux pluviales du site est à privilégier pour traiter les interactions entre les différentes parties du réseau du site.

Les coefficients de frottement retenus pour le réseau doivent être représentatifs de l'état des conduites en termes d'usure et d'entretien (les valeurs sont justifiées en tenant compte des programmes d'entretien du réseau ; à défaut, des valeurs majorantes en termes de débordements sont retenues).

- 585 Les débits permanents rejetés en fonctionnement dans le réseau des eaux pluviales et significatifs en regard de la capacité du réseau sont pris en compte dans la détermination du débit à évacuer par le réseau.

Les niveaux établis par le service compétent de l'administration<sup>2</sup> font référence pour quantifier le niveau de pleine mer décennal à l'exutoire dans le cas où le réseau rejette dans la mer.

- 590 De façon générale, le conservatisme du modèle de comportement du réseau utilisé est justifié par un calage réalisé sur des mesures de débit ou à défaut par le recours à un paramétrage du modèle majorant les débordements.

Les avaloirs installés dans des zones basses à proximité d'un accès sont identifiés et le risque de passage en charge et de débordement est systématiquement examiné.

- 595 Si les études sont faites en régime permanent (formule de Caquot, méthode rationnelle), le comportement des tronçons du réseau des eaux pluviales dont la sous-capacité pourrait provoquer des débordements dans des zones à enjeux est vérifié.

- 600 A l'issue de l'aménagement du site, une vérification sur site est réalisée pour valider les hypothèses retenues dans les études pour la description des bassins versants et du réseau d'évacuation des eaux pluviales. Cette vérification concerne le bon fonctionnement du réseau des eaux pluviales et le ruissellement en considérant indisponibles les accès au réseau local d'évacuation des eaux pluviales de l'installation.

---

<sup>1</sup> Le terme de réseau des eaux pluviales est employé dans un sens général. En pratique, il peut y avoir plusieurs réseaux distincts associés à une installation.

<sup>2</sup> Service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM)



### 2.3.4 Paramètres à surveiller

605 Les paramètres à surveiller retenus sont :

- ❑ une évolution significative du fonctionnement du réseau d'évacuation des eaux pluviales,
- ❑ une évolution significative des caractéristiques des bassins versants drainés.

Les données de pluie mesurées sur le site sont conservées dans une base de données exploitable.

610

## 2.4. Crues sur un petit bassin versant

### 2.4.1 Généralités

615 La quantification des débits de crue utilise généralement une méthode de transformation pluie-débit : les préconisations des paragraphes II.3.1 et II.3.2 s'appliquent notamment pour l'utilisation de la deuxième méthode indiquée au point I.3.3.2.

La modélisation du ruissellement tient compte du comportement du sol lors d'évènements pluvieux extrêmes (en particulier, il convient de tenir compte de la saturation en eau des sols des bassins versants ruraux).

620 Si la détermination du niveau d'eau à partir du débit de référence nécessite d'utiliser un modèle local de propagation des crues, les préconisations relatives à la propagation des crues sur de grands bassins versants s'appliquent (cf. paragraphe II.8).

### 2.4.2 Paramètres à surveiller

625 Le paramètre à surveiller est l'évolution éventuelle des caractéristiques des bassins versants drainés.

## 2.5. Dégradations ou dysfonctionnements d'ouvrages, de circuits ou d'équipements

630 2.5.1 Généralités

Pour chacun des ouvrages, circuits et équipements, une rupture conventionnelle est postulée, sauf si :

- ❑ une rupture peut être exclue du fait des exigences de conception et du suivi en exploitation de l'ouvrage, du circuit ou de l'équipement concerné,
- ❑ les initiateurs plausibles ne peuvent pas entraîner une rupture.

635 Dans le cas où la rupture est exclue, les possibilités de dégradation ou de dysfonctionnement sont néanmoins étudiées : débordements d'ouvrages ou d'équipements, augmentation de la percolation dans les digues ...

640 Le paramètre à déterminer pour caractériser la SRI est généralement le volume déversé du fait de la rupture. Dans le cas des circuits ou équipements traversés par un débit, ce volume est évalué sur la base du délai nécessaire pour isoler la fuite.



Pour évaluer l'effet du volume déversé, il est généralement nécessaire de déterminer la hauteur d'eau qui peut en résulter. Les volumes susceptibles de pénétrer dans les locaux à protéger sont quantifiés sur la base de cette hauteur d'eau.

Le caractère majorant des ruptures considérées est évalué en fonction :

- 645
- ❑ des volumes mis en jeu,
  - ❑ de la localisation des ruptures par rapport aux équipements importants pour la sûreté de l'installation,
  - ❑ des possibilités de détection et d'isolement des fuites.

## 650 2.5.2 Caractérisation des ruptures simples

La caractérisation de la rupture conventionnelle se fait en plusieurs étapes :

- ❑ l'identification des ouvrages, circuits et équipements dont les ruptures présentent un caractère majorant,
  - ❑ la définition de la rupture conventionnelle retenue,
- 655
- ❑ la détermination du volume déversé.

Lors de l'identification des ouvrages, circuits ou équipements les plus pénalisants et de la définition de la rupture conventionnelle, le retour d'expérience est systématiquement pris en compte.

660 En fonction des caractéristiques des ouvrages, circuits ou équipements, la localisation de la rupture est celle pouvant conduire aux conséquences potentielles les plus importantes selon les trois critères du paragraphe II.5.1.

La durée de la fuite dépend du type de rupture ainsi que du délai nécessaire pour détecter et isoler la fuite.

665 Le débit de fuite est déterminé à partir des caractéristiques du circuit et de la rupture. La section de fuite est prise égale à la pleine section de la canalisation ( $\pi R^2$ ) sauf justification particulière s'appuyant sur les exigences relatives aux circuits et à leur suivi en exploitation.

Dans le cas d'un circuit « ouvert » sur une source d'eau de volume « infini » telle qu'un fleuve, une rivière, un canal ou la mer, et non pourvue d'organes permettant d'isoler une éventuelle fuite, le niveau amont à considérer est un niveau fréquemment observé.

670 Le volume déversé est la somme du volume contenu dans le circuit pouvant se déverser gravitairement et, le cas échéant, du volume déversé pendant la durée d'alimentation du circuit concerné avant son isolement.

Pour les ruptures de d'ouvrages de type bassins ou capacités, ces derniers sont supposés au niveau de remplissage maximal autorisé en exploitation.

## 675 2.5.3 Caractérisation des ruptures multiples

Les ruptures multiples résultent d'un mode commun de défaillance par exemple lors d'un séisme. En conséquence, les ruptures multiples induites par un séisme seront étudiées et le caractère enveloppe de ces études par rapport à celles des autres initiateurs plausibles (notamment incendies et explosions) sera vérifié.

680 Les conséquences de défaillances multiples de structures ou d'équipements non dimensionnés pour résister à un séisme, situés sur le site ou à proximité, sont évaluées. La rupture de structures ou



d'équipements agressés par des équipements non dimensionnés pour résister à un séisme est également considérée.

Les structures et équipements à retenir sont :

- 685  les capacités non dimensionnées pour résister à un séisme ;
- les tuyauteries non dimensionnées pour résister à un séisme situées sur la plate-forme ;
- les singularités (compensateurs) sur les tuyauteries non dimensionnées pour résister à un séisme ;
- 690  les structures ou équipements pouvant être agressés par des équipements non dimensionnés pour résister à un séisme.

Les cumuls des ruptures de structures ou d'équipements suivants sont retenus :

- 695  bâches : la vidange complète simultanée de toutes les bâches non dimensionnées pour résister à un séisme situées sur la plate-forme est considérée. Toutes les bâches sont supposées remplies à leur niveau de remplissage maximal autorisé en exploitation.
- bassins : la vidange des volumes des bassins situés au dessus du niveau de la plate-forme est considérée. Les bassins sont supposés remplis à leur niveau maximum prévu en exploitation à l'exception des bassins d'orage supposés remplis à un fréquemment observé.
- 700  tuyauteries : la rupture de la tuyauterie non dimensionnée pour résister à un séisme et présentant un caractère majorant (cf. II.5.1) est retenue. La section de fuite est prise égale à la pleine section de la canalisation ( $\pi R^2$ ). Cependant, sur la base d'une évaluation du matériel et des exigences associées, du fluide, des inspections en service..., des hypothèses de défaillance moindres peuvent être appliquées au cas par cas.
- 705  singularités : les ruptures simultanées de tous les compensateurs situés sur les tuyauteries non dimensionnées au séisme sont considérées. Une rupture totale du compensateur est retenue et le débit de fuite correspondant est calculé pour une aire de brèche égale à la pleine section de la tuyauterie. Cependant, sur la base d'une évaluation du matériel (par exemple si les déplacements possibles de la tuyauterie sont limités du fait des supportages) et des exigences associées, du fluide, des inspections en service..., des hypothèses de défaillance moindre peuvent être
- 710 appliquées au cas par cas.

## 2.6. Intumescence - dysfonctionnement d'ouvrages hydrauliques

### 2.6.1 Identification des scénarios d'intumescence\*

715 L'analyse porte sur les ouvrages internes au site (stations de pompage, ouvrages de rejets...) et sur les ouvrages externes (autres stations de pompage, usines hydroélectriques...), y compris ceux relevant d'autres exploitants d'ouvrages hydrauliques. Dans ce deuxième cas, il convient de ne pas écarter sans une analyse les ouvrages éloignés du site.

720 Le niveau maximal atteint du fait de l'intumescence est étroitement lié aux niveaux d'eau et aux débits initiaux. Il convient de rechercher le cas majorant, en tenant compte notamment des consignes d'exploitation des ouvrages.



## 2.6.2 Quantification de l'intumescence

725 Pour des canaux de géométrie simple, l'emploi de la formule  $h=cV/g^3$  est suffisant pour quantifier l'intumescence. Pour des cas plus complexes, il peut être nécessaire d'utiliser des modèles mathématiques (1D ou 2D), voire de recourir à un modèle physique (maquette expérimentale). Il peut être nécessaire de prendre en compte des phénomènes tels que les ondes de Favre\* ou les effets de bord accompagnant l'onde principale, le cas échéant au moyen de modèles tridimensionnels.

## 2.6.3 Évolution du niveau d'eau dans un bief par stockage (ou vidange)

730 Lorsque les dispositifs de reprise des débits sont passifs (seuils déversants...), la vérification de leur bon dimensionnement pour la situation la plus critique est suffisante. Lorsque le débit est repris par des ouvrages actifs tels que des vannes, il convient de justifier que les organes à manœuvrer ont une fiabilité suffisante.

735

## 2.7. Remontée de la nappe phréatique

### 2.7.1 Données hydrogéologiques

740 La connaissance de l'hydrogéologie locale doit s'appuyer sur l'acquisition de données descriptives relatives au site et à son voisinage (géologie, niveaux de la nappe, données hydrodynamiques...). Les données recueillies auprès des organismes publics doivent être complétées par des résultats de mesures in situ. En particulier, des mesures piézométriques doivent être réalisées sur une durée continue qui ne sera en aucun cas inférieure à 1 an et sera de préférence supérieure à 3 ans, avec un pas de temps suffisamment fin pour appréhender l'amplitude et la vitesse des fluctuations de la nappe. Par leur nombre et leur implantation, les piézomètres doivent permettre de caractériser le fonctionnement local de la nappe en couvrant une zone suffisamment étendue, généralement au-delà des limites du site.

745

Si les conditions aux limites du système hydrogéologique sont en lien avec un plan d'eau (mer, lac...) ou un cours d'eau, il est recommandé de suivre l'évolution des niveaux d'eau correspondant en parallèle.

750 Une analyse des fluctuations du niveau de la nappe doit être réalisée en vue d'identifier les spécificités du comportement de la nappe et de définir les temps caractéristiques de remontée et de baisse du niveau d'eau. Elle doit permettre :

- ❑ de bien distinguer, dans le cadre de l'application de la méthode 1 décrite au point I.3.3.5, la contribution relative à l'initiateur de celle induite par le niveau initial considéré,
- ❑ de s'assurer, dans le cadre de l'application de la méthode 2 décrite au point I.3.3.5, l'indépendance des événements étudiés pour l'analyse statistique des niveaux mesurés ou simulés en cas de forte remontée.

755

Cette étude est effectuée en retenant les résultats des piézomètres représentatifs des fluctuations de la nappe et présentant les plus fortes fluctuations ou les niveaux les plus hauts, afin de définir le comportement de la nappe de manière enveloppe.

760

---

<sup>3</sup> Avec h, hauteur de l'intumescence (m) ; c, vitesse de propagation de l'onde d'intumescence (m/s) ; V, vitesse moyenne de l'écoulement avant la coupure de débit (m/s)



## 2.7.2 Quantification du niveau de la nappe

L'utilisation d'outils de modélisation est recommandée. Cependant, dans certains cas, les conditions hydrogéologiques peuvent permettre de déterminer une borne supérieure de remontée du niveau de la nappe de manière simple et majorante, sans qu'il soit nécessaire de recourir à une modélisation.

765 Les modèles sont généralement calés sur des niveaux hauts observés, qui ne sont pas obligatoirement représentatifs des niveaux susceptibles d'être atteints lors d'une situation extrême. Le modèle est alors utilisé au-delà de son domaine de calage et il y a lieu de justifier le caractère majorant des hypothèses relatives à la représentation des formations usuellement situées au-dessus de l'aquifère\*, mais susceptibles d'être atteintes lors d'une remontée extrême de la nappe.

770 Dans l'application de la méthode 2 définie au point I.3.3.5, il convient de prendre en compte une pénalisation importante en négligeant certains facteurs limitant significativement la remontée de la nappe ; ces facteurs sont par exemple, l'imperméabilité de la surface des terrains, qui limite l'infiltration, ou la présence d'éléments de drainage de la nappe ou l'artésianisme\* de la nappe, qui constituent des exutoires pour les eaux souterraines.

775

## 2.7.3 Paramètres à surveiller

Les paramètres à surveiller sont :

- ❑ la modification significative de l'hydrogéologie du site et des conditions amont et aval,
- ❑ le dépassement d'un niveau de nappe historique.

780

## 2.8. Crues naturelles sur un grand bassin versant

### 2.8.1 Traitement des données de débit

785 Le débit de référence est quantifié à l'aide d'une exploitation statistique des données de crue mesurées à la station hydrologique représentative des conditions du site.

La méthode du renouvellement est une méthode acceptable pour réaliser l'extrapolation statistique. La représentativité du point principal de mesure pour le site peut être justifiée par la comparaison de la taille du bassin versant au droit de la station et du site : au-delà de quelques pour-cent d'écart, il convient de corriger la série de données, par exemple au moyen de la formule de Myer\*.

790 La critique des données de débit nécessite la collecte d'informations telles que le pas de temps de l'échantillonnage, l'organisme gestionnaire de la station, les courbes de tarage, les éventuels déplacements du point de mesure, la technique de mesure utilisée, le régime hydrologique. Cette critique peut s'appuyer sur la méthode des résidus cumulés entre stations proches, ou le contrôle de la cohérence des volumes des crues mesurées avec les valeurs obtenues dans d'autres stations.

795 Si les données de qualité au point d'intérêt sont insuffisantes, la reconstitution de données à partir de données d'autres stations est acceptable, mais doit être justifiée. Il convient notamment d'être attentif à la qualité de la loi de reconstitution utilisée.

Lorsque le régime des crues est modifié de manière significative par des ouvrages hydrauliques tels que des retenues, il peut être nécessaire de corriger les débits mesurés ainsi influencés :

800 ❑ si la proportion entre la surface du bassin versant influencé et la surface du bassin au droit du site, est inférieure ou égale à 10% et si les retenues susceptibles de stocker des volumes importants sont situées dans la partie supérieure du bassin versant, il n'y a pas lieu de procéder à



une correction ;

- 805  dans le cas contraire, il convient de s'interroger sur la manière de répartir les volumes stockés ou déstockés durant les crues ; cela revient à tenir compte du temps de propagation de ces volumes s'ils n'avaient pas été retenus ou relâchés.

810 Lorsque l'échantillon des débits présente une hétérogénéité significative, il peut être partagé en sous parties sous réserve de justifications. En particulier, les modalités de recombinaison de l'intervalle de confiance doivent être présentées.

## 2.8.2 Extrapolation des débits aux débits extrêmes

815 Le choix de la loi d'extrapolation retenue par ajustement sur l'échantillon des débits est justifié, notamment en présentant une comparaison avec l'ajustement d'une loi exponentielle ainsi qu'un contrôle visuel et un test sur l'adéquation de l'ajustement de la loi retenue avec la distribution empirique.

820 Pour obtenir un débit de référence maximal instantané, une méthode consiste à travailler à partir d'un échantillon de débits journaliers puis de multiplier le débit issu de l'extrapolation par un coefficient de forme. Le coefficient de forme est la moyenne des rapports du débit maximal instantané de la crue au débit moyen journalier associé à ce débit maximal pour une sélection de crues mesurées avec un pas de temps suffisamment fin. Cette sélection de crues contient les plus fortes crues observées ainsi que les crues dont la forme de l'hydrogramme est transposable à des crues de durée de retour élevée.

825 La cohérence du débit de référence ainsi évalué avec d'autres études concernant le secteur du site (études antérieures ou études effectuées par d'autres organismes) est examinée.

## 2.8.3 Niveau d'eau de référence

### 2.8.3.1.1 Généralités

830 Le niveau d'eau de référence constitue un repère facilement utilisable pour caractériser un site. Il est déduit de l'étude du champ d'inondation autour du site correspondant à une crue dont le débit maximal est égal au débit retenu (le débit de référence ou un débit moindre s'il conduit à un niveau supérieur).

Le niveau de référence est calculé :

- 835  en régime permanent, à moins d'apporter la justification de la pertinence d'un calcul en régime transitoire,
- en retenant une valeur majorante pour le(s) paramètre(s) identifié(s) comme paramètre(s) influent(s).

840 Un paramètre influent est un paramètre dont les variations ont une incidence significative sur les résultats du calcul. Il est acceptable de mener l'étude en majorant successivement chaque paramètre influent, dans la mesure où cette approche permet de couvrir les incertitudes d'un ensemble de paramètres. Cette approche limite le nombre d'études de sensibilité relatives aux paramètres couverts.



### 2.8.3.1.2. Modélisation du champ d'inondation

845 La définition du champ d'inondation peut dépendre du comportement de digues susceptibles d'être érodées lors de la crue. Dans ce cas, le comportement retenu pour ces ouvrages (rupture ou tenue) est justifié sur la base de son caractère majorant ou par une étude spécifique tenant compte notamment des temps de montée des eaux et des vitesses de l'eau associés aux débits extrêmes. De même, au cas par cas, le risque de formation d'embâcles\* associés à une accumulation de débris ou résultant du gel et, le cas échéant, leur impact sur les niveaux d'eau au droit du site, sont analysés.

850 La définition du champ d'inondation s'appuie de préférence sur une modélisation numérique du site.

Les données nécessaires à l'élaboration de ce modèle sont notamment :

- 855  des informations topographiques – une attention particulière doit être portée aux éléments hydrauliques importants (ouvrages, digues ...) - et des informations bathymétriques récentes,
- des informations hydrauliques (laises de crues\*, enregistrements aux stations de mesure, éventuellement dynamiques, occupation des sols...),
- les caractéristiques géométriques des ouvrages (ponts, digues...) et les lois de fonctionnement hydraulique de ces ouvrages (usines, barrages...).

860 Le modèle doit couvrir une emprise incluant en latéral le champ d'expansion de la crue extrême en son entier, sauf à justifier le caractère majorant des limites retenues pour l'évaluation des risques. L'étendue longitudinale du modèle doit être suffisante pour que les incertitudes sur les conditions aux limites en amont et en aval aient un impact négligeable sur les niveaux d'eau au droit du site.

865 Le maillage doit être raffiné dans les zones d'intérêt hydraulique (digues, ouvrages, singularités telles que ponts, seuils, barrages, usines, déversoirs ...). Les singularités peuvent être intégrées au modèle de manière géométrique ou sous forme de lois hydrauliques, justifiées et adaptées à la plage des débits extrêmes.

870 Le calage du modèle s'appuie sur les données disponibles relatives à des crues importantes, avec une attention particulière portée aux pertes de charge singulières (ponts, rétrécissements ...) : lorsque l'étude s'appuie sur une relation hauteur – débit précédemment établie, la validité de cette loi de tarage à la date de l'étude doit être vérifiée. Lorsqu'un calage ne peut pas être réalisé en raison du manque de données, en particulier dans le lit majeur, des valeurs du paramètre d'ajustement, tel que le coefficient de Strickler\*, peuvent être déterminées par expertise. La validation du modèle en régime transitoire est nécessaire lorsque des calculs sont réalisés pour des régimes transitoires. L'hypothèse sur la répartition initiale des écoulements modélisés entre les différentes parties du lit (mineur et majeur) doit être confirmée par les résultats obtenus.

875 Lorsque l'étude utilise un modèle numérique à une dimension, elle doit, le cas échéant, définir des casiers\* de façon cohérente avec le terrain d'un point de vue physique. Les liaisons hydrauliques associées au système de casiers doivent être suffisamment raffinées pour représenter notamment les phénomènes de surverse et de contournement des digues, et adaptées à la gamme des débits simulés. Les niveaux calculés dans l'extrados des méandres doivent être corrigés en tant que de besoin.

880 Lorsque l'étude utilise un modèle numérique à deux dimensions, un zonage du coefficient de frottement reflétant l'occupation des sols est défini en s'appuyant sur des éléments observés sur le terrain, pour les zones qui ne peuvent pas faire l'objet d'un calage.

La cohérence des niveaux de référence ainsi évalués avec d'autres études concernant le secteur du site (études antérieures ou études effectuées par d'autres organismes) est examinée.

885



## 2.8.4 Cas particulier des confluences

890 Lorsqu'une confluence est à prendre en compte pour l'évaluation du champ d'inondation au voisinage du site, les débits retenus sont déterminés pour chacune des trois branches (deux en amont et une en aval). Pour la branche en aval, le débit Q aval retenu correspond à celui de la crue millennale majorée, telle que définie au point 1.3.4.1. Pour les branches en amont, est retenue la répartition des débits la plus défavorable, sans dépasser dans chaque branche le débit de la crue millennale majorée et en respectant l'égalité de la somme de ces deux débits au débit Q aval.

895 Le calcul des niveaux d'eau au voisinage du site s'appuie préférentiellement sur une modélisation bidimensionnelle lorsque la crue extrême conduit à un débordement significatif dans la zone de confluence. Dans certains cas, la différence entre les scénarios de répartition des débits est telle qu'il est possible de déterminer a priori le scénario le plus majorant ; dans le cas contraire, différentes configurations sont étudiées, et celle qui conduit aux plus hauts niveaux d'eau au voisinage du site est retenue.

## 900 2.8.5 Paramètres à surveiller

Les paramètres à surveiller sont :

- ❑ les évolutions du lit susceptibles de modifier à court terme et de manière notable la cote atteinte par une crue extrême (évolutions morphologiques et occupation des sols),
- ❑ les modifications ou créations d'ouvrage (ponts, digues...),
- 905 ❑ la survenue d'une crue significative (de l'ordre de grandeur d'une crue centennale ou historique).

## 2.9. Rupture d'un ouvrage de retenue

### 2.9.1 Généralités

910 L'étude des scénarios de rupture concerne les ouvrages de retenue en travers des cours d'eau. Dans quelques cas, des lacs ou des retenues en dehors des cours d'eau peuvent présenter un volume et une localisation justifiant que les ouvrages associés soient traités selon les préconisations du présent paragraphe.

Le choix de l'ouvrage le plus contraignant sera justifié par un avis d'expert, éclairé en tant que de besoin par des calculs de propagation de l'onde de submersion pour plusieurs ouvrages.

915 L'étude de l'onde de submersion a pour but de déterminer les caractéristiques de l'écoulement aux abords du site en fonction du temps (délai d'arrivée de l'onde, vitesse et débit d'écoulement, durée de la submersion) et de quantifier la SRI (champ d'inondation et niveau de référence).

Le champ d'inondation et le niveau de référence sont de préférence déterminés au moyen d'une modélisation numérique des environs du site.

920

### 2.9.2 Hypothèses associées à la rupture

La rupture de l'ouvrage conduisant à la création de l'onde de submersion est postulée ; on considère qu'elle conduit à la vidange totale de la retenue.

925 Au moment de la rupture, la retenue supposée remplie jusqu'à la cote maximale correspondant à la crue de dimensionnement de l'ouvrage, dénommée cote des plus hautes eaux (PHE), ou de retenue normale



(RN) pour les retenues pour lesquelles la réglementation applicable aux ouvrages de retenue ne définit pas un niveau PHE.

Pour les ouvrages en béton ou en maçonnerie, la rupture est assimilée à un effacement instantané.

930 Pour les ouvrages en remblais, la rupture est progressive (renard\* ou surverse\*) ; le scénario de rupture majorant est retenu et la cinétique correspondante est déterminée en s'appuyant sur des modèles réalistes justifiés.

935 Dans le cas d'une rupture par renard, l'étude précise le moment initial servant de référence pour l'onde de submersion ; ce moment est celui où la fuite initiatrice est détectable ; il est acceptable de fixer cette origine au moment où le débit atteint  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  en ordre de grandeur.

### 2.9.3 Propagation de l'onde de submersion

L'étude de propagation de l'onde de submersion distingue deux zones :

- 940  la zone "amont", pour laquelle le niveau atteint par l'onde propagée sur fond sec dépasse celui correspondant à la plus forte crue connue, ou de la crue centennale si il est plus important ;
- la zone "aval", qui se termine lorsque le niveau atteint par l'onde est inférieur à celui correspondant à la crue de fréquence décennale, ou à l'écoulement endigué.

945 La limite entre ces deux zones est appelée point de transition. En général, dans la zone "amont", l'onde de submersion est propagée sur un fond sec ; dans la zone "aval", l'onde est propagée sur le débit moyen interannuel\* du cours d'eau. Cependant la fonction de la retenue (par exemple ouvrage écrêteur de crue) peut imposer de retenir un débit initial différent.

950 Pour l'ensemble du parcours de l'onde, les hypothèses suivantes sont retenues : les ouvrages de retenue traversés par l'onde sont supposés remplis au niveau PHE, ou RN pour les retenues pour lesquelles la réglementation ne définit pas un niveau PHE ; ils rompent à l'arrivée du pic de l'onde au droit de l'ouvrage, sauf à démontrer qu'ils résistent et se comportent comme des déversoirs. Toutefois, il faut vérifier qu'une résistance, même partielle, d'un ouvrage à l'aval du site n'est pas susceptible de créer, à l'amont de celui-ci, une surélévation supplémentaire de la ligne d'eau. Dans certains cas dûment justifiés, il est acceptable de retenir la possibilité d'un abaissement préventif de certaines retenues en aval ; ceci nécessite en particulier que les délais disponibles sont bien inférieurs, en toutes circonstances, au délai d'arrivée de l'onde.

### 2.9.4 Niveau de référence

960 Le champ d'inondation est calculé au droit du site à partir de l'hydrogramme de l'onde de submersion, obtenu à l'issue de la propagation jusqu'au point d'entrée du modèle numérique utilisé pour représenter le site. Le débit initial dans le modèle numérique est défini en cohérence avec la zone ("amont" ou "aval") dans laquelle se trouve le site.

965 Les études de modélisation du champ d'inondation sont conduites selon les préconisations du point II.8.3.2, en prenant en compte les recommandations spécifiques suivantes :

- le niveau de référence et les niveaux associés à l'onde de submersion comprennent une majoration déterminée comme indiqué ci-après, qui vise à couvrir les incertitudes du calcul.
  - pour la zone "amont", les hauteurs de référence sont calculées en majorant de 15% la surélévation de la ligne d'eau avec un minimum de majoration de un mètre pour les valeurs de surélévation supérieures ou égales à un mètre ; les valeurs de surélévations



970

- inférieures à un mètre sont doublées ;
- pour la zone "aval", les niveaux de référence sont calculés en majorant de 15 % le débit maximal de l'hydrogramme de l'onde de submersion ;
- les délais d'arrivée de l'onde et d'obtention des cotes maximales sont minorés de 13 %.

975

Le graphique ci-dessous illustre le mode de majoration des cotes, pour la zone "amont" :

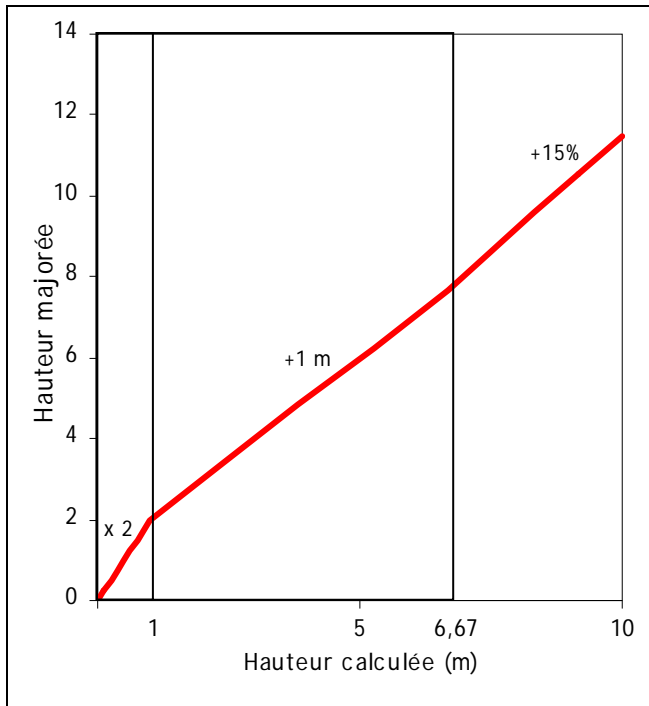


Figure [3] : Majoration de la hauteur (propagation sur un fond sec)

980

### 2.9.5 Cas particulier des confluences

Lors de l'évaluation de la propagation de l'onde de submersion, il est acceptable de considérer, pour chaque branche de la confluence, les conditions de débit définies au paragraphe II.9.3 en fonction de la localisation de chacune des branches en amont ou en aval du point de transition.

985

Il peut être nécessaire de considérer l'impact de la remontée de l'onde dans chaque affluent au niveau d'une confluence lors de la détermination du champ d'inondation pour le site : le calcul des niveaux d'eau au voisinage du site s'appuie alors préférentiellement sur une modélisation bidimensionnelle lorsque la SRI conduit à un débordement significatif dans la zone de confluence.

990

### 2.9.6 Paramètres à surveiller

Les paramètres à surveiller sont :

- les paramètres à surveiller mentionnés au le paragraphe II.8.5,
- l'implantation d'une nouvelle retenue,



- 995      □ les modifications des conditions d'exploitation d'une retenue en amont du site, dès lors que ces modifications peuvent conduire à des conséquences plus majorantes que celles de la rupture postulée dans l'étude initiale.

1000                      **2.10. Clapot**

                            2.10.1 Caractéristiques du vent de référence

1005      La vitesse du vent retenue pour déterminer la SRI correspond à une vitesse moyenne sur 10 minutes, à 10 m de hauteur. Elle est calculée par étude statistique des événements de vent extrêmes, toutes directions confondues, et n'est pas associée à une direction privilégiée. Des valeurs majorantes sont retenues pour les paramètres locaux qui peuvent influencer l'écoulement du vent au niveau du site (topographie, rugosité du site).

                            2.10.2 Génération et propagation du clapot

1010      Les zones où un clapot peut se former sont déterminées à partir de la géométrie du plan d'eau autour du site, en retenant l'ensemble des zones présentant une longueur (fetch\*) suffisamment importante pour permettre l'apparition d'un clapot significatif. Il est supposé que le vent moyen d'intensité centennale provoque un clapot sur chaque fetch.

1015      Dans le cas du calcul du clapot par une méthode empirique, au moins deux formules reconnues seront utilisées, en vérifiant qu'elles sont mises en œuvre dans leurs domaines de validité et qu'elles donnent des résultats cohérents. Si tel n'est pas le cas, le résultat majorant sera retenu.

L'action du courant sur la propagation du clapot est examinée. Si le courant est de nature à amplifier le clapot, ses effets seront pris en compte.

1020      Dans le cas où la cambrure des vagues est telle que les conditions de déferlement de celles-ci sont atteintes ou dépassées, le clapot de référence sera défini par le clapot dont les caractéristiques sont à la limite du déferlement.

                            2.10.3 Franchissement

1025      Il peut être nécessaire d'évaluer les volumes d'eau franchissant certaines protections. Une évaluation des franchissements est réalisée pour chaque fetch, en tenant compte de la direction du vent. Le choix des formules ou méthodes retenues pour le calcul d'un franchissement est justifié (domaine de validité, caractère majorant du résultat...).

1030      La méthode utilisée pour tenir compte de l'influence du vent sur les débits de franchissement est également justifiée (par exemple, application d'un coefficient de majoration à un débit de franchissement estimé par une formule empirique ne tenant pas compte de l'effet du vent).

**2.11. Niveau marin**

Le niveau marin de référence est indiqué à la fois par rapport au niveau zéro hydrographique et dans le système altimétrique légal du site.

1035 2.11.1 Marée théorique

Si le niveau de la marée théorique n'est pas évalué à partir des résultats obtenus dans une station de mesure au droit du site, il est admis d'utiliser la valeur de la marée théorique calculée pour une station de mesure régionale : une correction est alors éventuellement nécessaire.

1040 2.11.2 Surcote

Les surcotes extrêmes sont déterminées à partir de données sur les surcotes de pleine mer, à l'aide d'une analyse statistique.

1045 La série d'observations retenue pour cette analyse est sélectionnée en tenant compte de la durée (la plus longue possible), de la fiabilité des valeurs (notamment pour les surcotes les plus fortes) et de la représentativité pour le site. L'existence éventuelle d'un biais lié à l'évolution du niveau marin dans la série de surcotes sera examinée. Le choix d'appliquer ou non une correction lors de l'élaboration de l'échantillon de surcotes observées est alors justifié.

Les valeurs des surcotes historiques sont inventoriées et prises en compte dans l'analyse statistique.

1050 Le calcul des surcotes millénales par les lois d'ajustement classiques ne permet pas actuellement de rendre compte de façon satisfaisante d'évènements exceptionnels (horsains) observés à plusieurs stations de mesure. Une majoration complémentaire, de 1 m, du niveau marin de référence est appliquée pour en tenir compte ; cette majoration peut être adaptée sous réserve de montrer la justesse du modèle d'extrapolation statistique pour les horsains observés en différentes stations de mesure.

1055 2.11.3 Paramètre à surveiller

Le paramètre à surveiller est la réalisation de grands travaux portuaires à proximité du site.

## 2.12. Vagues océaniques

1060 2.12.1 Caractéristiques des vagues océaniques

Les vagues océaniques de référence « au large » sont définies pour une distance suffisante de la côte, hors de toute influence des effets des processus physiques intervenant à faible profondeur d'eau lors de la propagation des vagues près des côtes, en particulier le déferlement.

1065 2.12.2 Propagation

1070 La propagation des vagues du large jusqu'au site est déterminée par une modélisation, en incluant en tant que de besoin la pénétration des vagues dans les bassins portuaires ou les chenaux de prise ou de rejet d'eau, ainsi que les interactions des vagues avec les ouvrages côtiers. La simulation de la propagation des vagues est effectuée pour des conditions stationnaires et en considérant des conditions aux limites constantes majorantes.

L'adéquation des modèles de propagation utilisés est justifiée (soit par un modèle numérique traitant les phénomènes physiques dominants intervenant dans la propagation des vagues en zone côtière, et en présence d'ouvrages côtiers ou portuaires, soit éventuellement par un modèle physique).



1075 On retient une ou plusieurs directions des vagues au large majorantes pour la détermination des risques de franchissement des différentes protections du site (digues de protection extérieures, ouvrages intérieurs des chenaux, etc.). La recherche de ces directions pénalisantes peut être limitée à quelques secteurs angulaires sous réserve de justifier la pertinence des secteurs retenus.

1080 Dans le cas où la cambrure des vagues est telle que les conditions de déferlement de celles-ci sont atteintes ou dépassées, les vagues océaniques de référence seront définies par les vagues dont les caractéristiques sont à la limite du déferlement.

### 2.12.3 Franchissement

1085 Il peut être nécessaire d'évaluer des volumes d'eau franchissant certaines protections. Le choix des formules ou méthodes retenues pour les calculs des débits de franchissement des ouvrages par les vagues est alors justifié (domaine de validité, caractère pénalisant du résultat...).

La méthode utilisée pour tenir compte de l'influence du vent sur les débits de franchissements est également justifiée (par exemple, application d'un coefficient de majoration à un débit de franchissement estimé par une formule empirique ne tenant pas compte de l'effet du vent).

### 1090 2.12.4 Paramètres à surveiller

Les paramètres à surveiller sont :

- ❑ la réalisation de grands travaux portuaires à proximité du site,
- ❑ l'affouillement en pied des digues dû à l'action de l'eau, spécialement en début de vie de l'ouvrage.

1095

## 2.13. Seiches

1100 Lorsque la détermination du risque de seiche est menée à partir de mesures du niveau d'eau en mer, la durée des mesures doit couvrir au moins une période d'une année. Ces mesures ont pour but de déterminer si des phénomènes d'oscillations à basses fréquences sont susceptibles de provoquer des seiches côtières. Le cas échéant, ces oscillations seront quantifiées, notamment en termes de fréquences concentrant le plus d'énergie et leur propagation dans les aménagements hydrauliques seront étudiées pour retenir une hauteur majorante.

## 2.14. Particularités des sites en estuaire

1105 Une modélisation numérique hydrodynamique globale de l'estuaire est réalisée pour estimer les niveaux hauts.

Les effets de débordement et d'expansion des eaux dans les zones adjacentes à l'estuaire sont déterminés en cas d'influence significative de ces effets sur les champs d'inondation autour du site. La détermination du champ d'inondation suit alors les préconisations présentées au point II.8.3.2.

1110 Les effets météorologiques sur l'ensemble du domaine de calcul sont pris en compte dans la simulation, en considérant un scénario de vent centennal (borne supérieure de l'intervalle de confiance à 70 %) défini suivant les préconisations présentées au paragraphe II.10.1. Ce scénario est maintenu pendant une durée tenant compte de la dynamique de la marée et une direction dont le caractère majorant est vérifié.



1115 Le débit fluvial est représenté en régime permanent ou en régime transitoire. Dans ce second cas, l'hydrogramme doit être tel que le débit fluvial maximal est atteint au moment où l'influence de la marée haute au droit du site est maximale.

### 3. PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS

#### 1120 3.1. Spécificités d'une inondation

Une inondation peut affecter plusieurs voire toutes les installations d'un site. Elle peut donc affecter simultanément plusieurs lignes de défense.

1125 Une inondation peut aussi affecter l'environnement du site : suivant l'étendue et la durée des phénomènes qui la provoquent, une inondation peut notamment conduire à l'isolement du site et à une perte de disponibilité de fonctions supports (alimentations électriques externes, télécommunications, moyens de secours externes, dispositifs de rejets...).

1130 L'action de l'eau peut être statique ou dynamique ou combiner les deux types d'effets. Les effets dynamiques peuvent par exemple consister en des effets d'érosion des talus, berges ou digues, une modification de la turbidité de l'eau, des effets d'embâcle ou de corps flottants. Ceci peut affecter la disponibilité de certains équipements.

Une inondation peut de plus être accompagnée d'autres effets, directs ou indirects (foudre, vent...).

Dans certains cas toutefois, selon les phénomènes qui la provoquent, une inondation peut être anticipée, grâce à la mise en œuvre de dispositions d'alerte, et la configuration du site peut être adaptée préventivement.

1135

#### 3.2. Principes de protection

1140 Pour chaque SRI considérée, des dispositions de protection sont mises en place en vue d'assurer la permanence des fonctions de sûreté qui pourraient être affectées. Les spécificités des inondations sont prises en compte dans la définition et le dimensionnement de ces dispositions. Le niveau de protection est proportionné aux enjeux de sûreté. Selon les phénomènes à l'origine de l'inondation et la nature des protections, un événement d'une intensité supérieure à celle retenue pour le dimensionnement des protections peut conduire à un effet falaise (par exemple : submersion d'une digue), qu'il convient d'identifier.

1145

**Le dimensionnement de l'installation est effectué sur la base des SRI définies en ajoutant éventuellement des majorations en fonction des objectifs de sûreté de l'installation et de l'existence d'effets falaise envisageables.**

1150 Les dispositions matérielles et organisationnelles de protection :

- des sites,
- des bâtiments contenant des systèmes ou des composants participant au maintien des fonctions de sûreté dans la situation considérée,
- des locaux contenant ces systèmes ou composants au sein de ces bâtiments,
- 1155 □ des systèmes ou composants eux-mêmes au sein de ces locaux,

permettent d'assurer plusieurs lignes de défense.

L'indépendance de ces lignes de défense est recherchée.



1160 La démarche de protection mise en œuvre tient notamment compte des possibilités d'agressions induites (chocs mécaniques, incendie...) par la situation considérée.

### 3.3. Dispositions matérielles de protection

#### 3.3.1 Généralités

1165 Les ouvrages concourant à la protection recherchée sont conçus, exploités et maintenus afin d'obtenir les performances indiquées dans la démonstration de sûreté.

L'agencement général du site et celui de l'installation tiennent compte du risque d'inondation.

1170 L'installation est préférentiellement conçue et exploitée de telle sorte que les SRI retenues n'entraînent pas d'entrée d'eau dans les locaux contenant des systèmes ou composants participant à une fonction de sûreté. En outre, une dégradation éventuelle, du fait des SRI, de la qualité de l'eau utilisée par l'installation ne doit pas mettre en cause le maintien des fonctions de sûreté de l'installation. Dans le cas particulier des équipements à ciel ouvert (aire d'entreposage...), ces équipements sont conçus et  
1175 installés de manière à pouvoir remplir les fonctions qui leur sont attribuées dans les SRI, en faisant systématiquement l'hypothèse d'une présence d'eau.

La présence de quelques centimètres d'eau sur le site ne doit conduire ni à inonder les locaux contenant des matériels participant à une fonction de sûreté ni à mettre en cause la capacité de gestion des  
1180 situations d'inondation par l'exploitant.

L'aménagement du site permet de réaliser les actions nécessaires au maintien de la sûreté des installations et à la gestion de la situation en cas d'inondation (accès aux installations, circulation sur le site...).

1185 Il convient de privilégier les dispositions ne nécessitant ni intervention humaine, ni apport d'énergie. Le choix et le dimensionnement des dispositions nécessitant une intervention humaine ou un apport d'énergie tiennent compte des possibilités d'anticipation des événements redoutés et de leur cinétique.

1190 Les dispositions matérielles impliquées dans la caractérisation des SRI ou nécessaires pour en maîtriser les conséquences font l'objet d'exigences adaptées afin de garantir leur fiabilité et leur efficacité dans les conditions où elles pourront être sollicitées.

1195 L'évolution climatique peut amener l'exploitant à réévaluer les caractéristiques des situations d'inondation à considérer tout au long de la vie de son installation. Pour cette raison, il convient de privilégier des dispositions matérielles présentant des facilités d'adaptation ultérieure.

#### 3.3.2 Définition et suivi des paramètres caractéristiques

1200 L'exploitant présente sa stratégie d'acquisition des données qualitatives et quantitatives lui permettant de déterminer les caractéristiques importantes du site concernant le risque d'inondation.

L'acquisition de données est poursuivie durant l'exploitation de l'installation pour pouvoir conforter les caractéristiques des différentes situations retenues (données, modélisation) et observer les évolutions



1205 pouvant résulter par exemple de modifications de l'environnement du site ou des évolutions climatiques, notamment pour les « paramètres à surveiller » mentionnés au chapitre II.  
Lorsqu'un événement significatif survient pendant la vie de l'installation, l'exploitant doit s'assurer que la collecte des informations pertinentes pour le site et relatives à cet événement (hydrogramme, zones inondées, cotes observées, embâcles...) est effectuée. Ces informations sont utilisées pour avoir une  
1210 meilleure connaissance du site et améliorer les études à venir, en contribuant par exemple à préciser le calage d'un modèle.

### 3.3.3 Dispositions matérielles passives

#### 1215 3.3.3.1.1. *Ouvrages de protection du site*

La protection du site contre les inondations peut reposer sur des ouvrages de protection externes au site (digues, réseaux d'évacuation, barrages dont l'exploitation peut être modifiée en cas de crue...). Dans ce cas de figure, le comportement de ces ouvrages est examiné lors de l'analyse de sûreté. L'exploitant justifie ce comportement et son maintien tout au long de la durée de vie de l'installation, y  
1220 compris lorsqu'il n'est pas l'exploitant de ces ouvrages. Cette justification s'appuie sur les exigences réglementaires que doivent respecter ces ouvrages, ou, le cas échéant, sur des conventions passées avec leurs exploitants.

#### 3.3.3.1.2. *Plate-forme et réseaux d'eaux pluviales*

1225 Le calage de la plate-forme de l'installation à une cote supérieure à la cote d'eau maximale évaluée pour le site compte tenu de l'ensemble des SRI constitue une disposition robuste à privilégier. L'aménagement du site et en particulier de la plate-forme (pentes, dispositifs de rétention, dispositifs d'évacuation des eaux pluviales, aménagement de la voirie...) permet d'éviter l'écoulement d'eaux vers les locaux à protéger.

1230 Il convient de privilégier les réseaux gravitaires pour tenir compte de la possibilité d'une perte des alimentations électriques externes du site. L'aménagement de ces réseaux prend en compte le risque d'obstruction locale de ceux-ci.

Le réseau des eaux pluviales est dimensionné sur la base des pluies de référence. Les zones de rétention en surface utilisables pour réduire les débits à évacuer, doivent être clairement définies et justifiées.

1235

#### 3.3.3.1.3. *Ouvrages hydrauliques*

Autant que possible, les réservoirs, bassins et canalisations externes sont implantés et conçus de façon à limiter les conséquences de leur rupture accidentelle ou de leur débordement.

1240 Les bassins et chenaux sont conçus de façon à limiter les oscillations dynamiques éventuelles et éviter une amplification spécifique des ondes hydrauliques dans la gamme des fréquences correspondantes (seiche, intumescence...).

Les galeries souterraines pouvant concourir au risque d'inondation sont déterminées : elles sont conçues de façon à limiter les possibilités de transfert d'eau vers des équipements ou locaux à protéger.

1245 Lorsque des galeries souterraines contiennent des composants ou des systèmes qui participent au maintien des fonctions de sûreté, elles sont conçues de telle sorte que ces composants et systèmes qu'elles abritent ne soient pas atteints par les eaux ou, à défaut, puissent assurer leur rôle en présence d'eau.



1250

#### 3.3.3.1.4. *Rehaussement des seuils*

Afin de limiter les entrées d'eau dans les locaux contenant des systèmes ou composants participant à une fonction de sûreté, une bonne pratique consiste à disposer ses seuils aux accès aux bâtiments. Les risques d'inondation liés à l'action des vents dominants sur les ruissellements sont examinés. Les tassements anticipés sont pris en compte et font l'objet de vérifications périodiques sur le terrain.

1255

#### 3.3.3.1.5. *Évacuation des eaux pluviales ruisselant des toitures*

L'agencement global des dispositifs d'évacuation des eaux pluviales ruisselant des toitures tient compte des risques d'introduction d'eau dans les bâtiments en cas de débordement de ces dispositifs, notamment par la localisation des descentes d'eau et des trop-pleins.

1260

Les dispositifs d'évacuation des eaux sont préférentiellement externes aux bâtiments. Ils sont conçus de façon à limiter leur risque d'obstruction. Il convient de privilégier les évacuations à ciel ouvert, là où cela est possible.

1265

Le risque d'accumulation d'eaux sur les toitures est examiné, l'évacuation rapide des eaux collectées est privilégiée. La capacité des toitures à faire face à des pluies de référence d'une durée de 6 minutes est vérifiée. En cas d'insuffisance d'évacuation des eaux, l'accumulation d'eau sur les toitures sera examinée pour une durée de pluie majorante.

#### 3.3.3.1.6. *Protection volumétrique\**

1270

Une attention particulière est portée à toutes les ouvertures (trémies, tuyauteries, espaces entre bâtiments...) susceptibles de permettre des entrées d'eau à l'intérieur des bâtiments.

Les voies d'accès d'eau situées au-dessous du niveau de calage de la plate-forme sont obturées autant que nécessaire pour que, en situation d'inondation, l'eau ne puisse pas parvenir aux locaux abritant des systèmes ou composants participant au maintien des fonctions de sûreté. Les dispositifs d'obturation

1275

sont conçus en tenant compte des poussées hydrauliques associées à la présence éventuelle d'eau à l'extérieur de la protection volumétrique. Les dispositions passives sont privilégiées, pour qu'il ne soit pas nécessaire d'intervenir pour obturer ces voies d'accès d'eau (fermeture de vannes...) en cas d'inondation du site.

1280

L'exploitant porte une attention particulière au traitement des risques de bipasse des structures participant à la protection volumétrique et plus globalement à la protection du site (tuyauteries d'exhaure, passages aménagés dans les digues...).

1285

### 3.3.4 Autres dispositions

#### 3.3.4.1.1. *Systèmes d'alerte*

Lorsque la protection des installations à l'égard d'une SRI repose sur des dispositions nécessitant une intervention humaine, anticipée ou non par rapport à l'inondation proprement dite, l'exploitant met en place un système d'alerte adapté.

1290

L'exploitant justifie que le système d'alerte qu'il a mis en place permet de réaliser une anticipation suffisante cohérente avec le dimensionnement des dispositions de protection, y compris si ce système s'appuie sur des moyens extérieurs au site.

Cette justification peut s'appuyer sur les exigences réglementaires que doivent respecter les organismes de surveillance compétents et, le cas échéant, sur des conventions passées avec ces organismes.



1295 Les moyens de surveillance associés au système d'alerte peuvent être également utilisés pour le suivi de la situation.

#### 3.3.4.1.2. Surveillance des installations

1300 L'exploitant met en place des moyens de surveillance des installations et des locaux qui permettent de détecter toute présence anormale d'eau et de surveiller l'évolution de la situation d'inondation. Ces moyens sont proportionnés aux enjeux de sûreté des installations et des locaux concernés.

#### 3.3.4.1.3. Fonctions de support

1305 Les risques liés à une perte d'une fonction de support due à une inondation (noyage d'équipements) ou aux phénomènes pouvant accompagner l'inondation (risques liés à la turbidité de l'eau, à la foudre (pluies), au grand vent...) doivent être étudiés dès la conception. Cet examen tient compte de la durée envisageable de perte d'une fonction de support ainsi que de la fiabilité des équipements participant au maintien des fonctions de sûreté dans cette situation.

1310 Il peut en résulter des dispositions spécifiques concernant par exemple l'aménagement des postes d'alimentation électrique proches du site.

#### 3.3.4.1.4. Moyens mobiles

1315 Si le maintien des fonctions de sûreté lors d'une SRI nécessite l'utilisation de moyens mobiles (alimentations électriques, moyens de pompage...), l'exploitant justifie qu'ils peuvent être mis en œuvre dans des délais suffisamment courts compte-tenu de la SRI considérée. L'aménagement et l'organisation du site permettent d'acheminer et de mettre en œuvre ces équipements dans la SRI considérée.

#### 1320 3.3.4.1.5. Moyens communs

Si le maintien des fonctions de sûreté lors d'une SRI nécessite l'utilisation de moyens communs à plusieurs installations, l'exploitant justifie la capacité de ces moyens à assurer les fonctions de sûreté lors de la SRI considérée.

#### 1325 3.3.4.1.6. Niveau de la nappe

Si une intervention sur le niveau de la nappe est nécessaire pour un site donné, l'exploitant privilégie le drainage gravitaire par rapport au rabattement de la nappe par pompage.

### 1330 3.4. Dispositions organisationnelles de protection

L'exploitant définit et met en œuvre une politique de surveillance et de maintenance de l'ensemble des dispositions de protection matérielles passives et actives et justifie, compte tenu de cette politique, le maintien du caractère opérationnel des dispositions de protection. Ceci concerne notamment les réseaux de collecte et d'évacuation des eaux pluviales, où des dépôts peuvent se produire dans des délais courts.

1335 Lorsque les dispositions de protection sont des actions, celles-ci sont formalisées dans des modes opératoires. L'exploitant met en place les dispositions d'organisation (approvisionnement des moyens,



- contrôle de disponibilité, consignes d'alerte, formation...) permettant la bonne exécution de ces actions dans les délais prévus. L'exploitant formalise ces dispositions d'organisation dans des procédures.
- 1340 Concernant la mise en œuvre du système d'alerte et le suivi de la situation, l'exploitant définit les grandeurs qu'il surveille et les valeurs repères associées.  
L'exploitant met en place une organisation permettant la limitation des conséquences de la situation : surveillance de l'installation, organisation de crise...
- 1345 L'exploitant analyse le risque d'isolement du site et met en place le cas échéant une organisation permettant de mettre en œuvre les modes opératoires précités, de garantir la présence des personnels requis et la permanence des communications.

### 3.5. Évaluation des conséquences

- 1350 L'exploitant justifie le bien-fondé et l'efficacité des dispositions de protection qu'il met en œuvre, notamment sur la base d'une évaluation des conséquences sur l'homme et sur l'environnement des situations envisagées. Cette évaluation porte sur les conséquences résultant de la présence de son installation et de son exploitation.
- Dans ce cadre, l'exploitant tient compte notamment des phénomènes suivants :
- 1355
- lessivage éventuel des aires, locaux ou matériels contaminés par des substances radioactives ou chimiques,
  - apparition de nouvelles voies de transfert de produits radioactifs ou chimiques dues à l'inondation,
  - extension des zones inondées.



Les termes de ce glossaire sont définis à partir des contributions rédigées par le groupe de travail en charge de la proposition du guide inondation, du rapport DSR n°149 portant sur la méthodologie REX-Blayais élaborée par EDF, ainsi que sur la base d'ouvrages référents tels que le Dictionnaire Français d'Hydrologie (Comité National Français des Sciences Hydrologiques, Commission de terminologie).

1365

**Aquifère**

Corps (couche, massif) de roches perméables à l'eau, à substrat et parfois à couverture de roches moins perméables, comportant une zone saturée et conduisant suffisamment l'eau pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables. L'aquifère est l'ensemble du milieu solide (contenant) et de l'eau contenue. En fonction de son taux de remplissage un aquifère peut comporter une zone non saturée.

1370

**Artésianisme**

Conditions hydrodynamiques permettant le jaillissement de l'eau par les puits ou forages exploitant une nappe souterraine captive dont le niveau piézométrique est au-dessus du sol.

1375

**Bassin versant**

Région délimitée, drainée par un cours d'eau et ses tributaires, dont elle constitue l'aire d'alimentation. Tout bassin versant se définit géométriquement, par rapport à un lieu donné d'un cours d'eau (embouchure ou un point quelconque) par un contour (ligne de partage des eaux) et par une superficie.

**Bief**

1380

Tronçon d'un chenal découvert entre deux sections transversales.

**Casier**

Voir Modélisation hydraulique

**Coefficient de Strickler**

1385

Le modèle numérique est caractérisé, notamment, par des valeurs reflétant la rugosité du terrain modélisé. Cette rugosité, est quantifiée usuellement par le coefficient de frottement de Strickler ( $m^{1/3}/s$ ). Les valeurs du coefficient de Strickler sont ajustées par calage dans les zones où une inondation a été observée et quantifiée. Ce paramètre est alors davantage un paramètre de calage du modèle qu'une représentation fine du terrain modélisé. Pour les autres zones elles sont choisies par jugement d'expert.

1390

**Débit moyen interannuel (d'un cours d'eau)**

Le débit (moyen) interannuel est la moyenne arithmétique des débits (moyens) annuels calculée sur une période de temps au moins égale à 30 années consécutives. Le débit (moyen) annuel est la moyenne arithmétique de tous les débits de la période considérée. Le débit annuel devra être obligatoirement celui de l'année considérée.

1395

**Embâcle et débâcle**

Sur les fleuves et rivières, ces phénomènes consistent en la formation (embâcle) et la rupture plus ou moins rapide (débâcle) de barrages temporaires constitués par l'accumulation de débris flottant ou de glace. Ces obstructions qui se forment au droit de singularités locales du lit du cours d'eau, entraînent une élévation de la ligne d'eau à l'amont (embâcle) ou à l'aval (débâcle).

1400

**Fetch**

Longueur d'une étendue d'eau (mer, estuaire, lac, cours d'eau le cas échéant en crue ...) sur laquelle le vent peut agir et former des vagues.

**Hauteur significative des vagues (Hs)**

1405 Dans un champ de vagues, les hauteurs de vagues (entre creux et crêtes) sont variables. En sélectionnant le tiers supérieur de la « population » des hauteurs de vagues, Hs est la valeur moyenne de cette sélection.

### **Horsain**

1410 En Normandie, nom donné à toute personne étrangère au pays. Par extension, le terme désigne une donnée qui se distingue par sa valeur significativement différente de celles des autres données de l'échantillon concerné.

### **Intumescence**

1415 Onde de déformation de la surface libre induite par une variation brutale de la vitesse (du débit) de l'écoulement. Phénomène analogue aux « coups de bélier » pour les écoulements en conduite. On parle d'intumescence « positive » lors d'une réduction brutale de la vitesse, et inversement d'une intumescence « négative » lors d'une augmentation brutale de la vitesse. Peut s'observer lors d'un arrêt/démarrage brutal des groupes d'une usine hydro-électrique au fil de l'eau, ou de pompes du circuit d'eau brute dans un canal de prise d'une centrale nucléaire en circuit ouvert

### **Laisse de crue**

1420 Traces laissées par une crue sur un ouvrage ou d'autres supports, indiquant le plus haut niveau atteint.

### **Marée théorique**

1425 La marée théorique est la partie prédictible des variations du niveau de la mer. Sa composante principale est la marée astronomique, due à l'action gravitationnelle de la Lune et du Soleil, mais elle inclut également la marée radiationnelle, qui est la partie prédictible des variations d'origine atmosphérique. La marée radiationnelle est liée à l'action thermique du rayonnement solaire sur l'atmosphère et l'océan. Elle est faible devant la marée astronomique, mais pas négligeable. A titre d'exemple, l'amplitude de la composante annuelle de la marée radiationnelle est de 8,5 cm à Calais.

1430 Le niveau de marée théorique en un point donné peut se décomposer en une somme d'ondes. La connaissance des constantes harmoniques caractéristiques de ces ondes permet de prédire la hauteur de marée théorique rapportée au niveau moyen à tout instant au point considéré.

### **Modélisation hydraulique**

La modélisation hydraulique permet d'évaluer les niveaux atteints par une crue d'un débit extrême donné. Plusieurs types de modélisation peuvent être mis en œuvre.

1435 Modélisation physique : l'environnement du site est représenté à échelle réduite. Il est rarement choisi de modéliser de grandes emprises (ordre de grandeur 1 km).

Modélisation numérique : les écoulements sont modélisés grâce à des codes numériques d'hydraulique à surface libre qui résolvent notamment les équations de Navier-Stokes, régissant la mécanique des fluides, ou des dérivées de ces équations. Les codes 1D et 2D résolvent ainsi généralement les équations dites de St-Venant.

1440  modélisation numérique 1D : type de modélisation adapté pour les écoulements canalisés (existence d'une direction d'écoulement privilégiée) et pour les simulations de grande emprise (linéaires supérieurs à 50 ou 100 km).

1445 En présence de remblais (digues) importants dans le lit majeur, la modélisation 1D peut être complétée par l'adjonction de **casiers**. Les casiers peuvent représenter l'inondation progressive des zones inondables isolées du lit actif de la rivière. Les casiers sont reliés au lit mineur et entre eux par des liaisons hydrauliques (surverse ou brèche sur digues, déversoirs, siphons...). Les vitesses sont par hypothèse nulles dans les casiers. Ils peuvent également représenter le remplissage de volumes de stockage ainsi soustraits à la crue, ou dont la restitution à l'écoulement principal est retardée par la dynamique d'inondation du lit majeur.



1450 □ modélisation numérique 2D : type de modélisation adapté aux cours d'eau dits « naturels » (peu ou pas d'aménagements) et pour les écoulements complexes (confluence, défluence). La modélisation 2D est en particulier adaptée pour les champs d'expansion importants d'une crue (plaine d'inondation sans direction d'écoulement privilégiée). En outre, la modélisation 2D permet le calcul des champs de vitesse dans les zones inondées.

#### 1455 **Myer (formule de Myer)**

Formule mettant en relation des débits caractéristiques et des surfaces de bassin versant.

#### **Ondes de Favre**

1460 Lorsqu'une onde positive remonte un courant, le front d'onde a tendance à se raidir. Au-delà d'un certain raidissement, on constate l'apparition d'une série d'ondulations qui se superposent à l'onde principale. Ces ondulations sont connues sous le nom de « ondes de Favre » ou « ondes secondaires ».

#### **Période significative (Ts)**

Dans un champ de vagues, les hauteurs et les périodes des vagues sont variables. La période significative est la moyenne des périodes des vagues dont les hauteurs appartiennent au tiers supérieur de la population des hauteurs de vagues (parfois notée simplement  $T_{1/3}$ ).

#### 1465 **Protection volumétrique**

Volume de protection rendu étanche par obturation des ouvertures situées sur les parois extérieures de ce volume, afin d'éviter des entrées d'eau dans les locaux abritant des composants ou des systèmes concourants aux fonctions de sûreté. Il va du niveau le plus bas des infrastructures jusqu'à un niveau haut défini en fonction des SRI du site et des objectifs de sûreté de l'installation.

#### 1470 **Renard**

Développement progressif d'une fuite à travers un barrage ou une digue, par élargissement d'un conduit traversant. Une fois le conduit formé, son diamètre s'agrandit à vitesse exponentielle et, très souvent en moins de deux heures aboutit à l'effondrement de son toit et provoque une brèche.

#### **Seiche**

1475 Onde stationnaire qui peut se manifester dans des plans d'eau fermés ou semi-fermés tels qu'un port, un bassin, un lac ou une baie. Dans un bassin maritime semi-fermé, les seiches sont dues à la pénétration d'ondes longues provenant du large. Leur période est généralement comprise entre deux et quelques dizaines de minutes. Si la période de la seiche coïncide avec la période de résonance du bassin, elle peut être amplifiée par résonance à l'intérieur du bassin. Ce balancement peut se poursuivre pendant quelques minutes, quelques heures voire plusieurs jours même lorsque le phénomène initiateur a disparu.

#### 1480 **Surcote et décote**

La surcote ou décote instantanée est définie comme la différence positive ou négative, à un instant  $t$ , entre le niveau marin effectivement observé et le niveau de marée prédite (marée théorique). Les surcotes et décotes sont essentiellement induites par la météorologie : les variations de pression atmosphérique accompagnant le passage d'une perturbation météorologique (dépression ou anticyclone) et l'action du vent à la surface de la mer, qui génère une force de traînée, contribuent ainsi à élever ou abaisser la surface libre de la mer.

#### **Surverse**

1490 La surverse est le débordement du niveau du fleuve au-dessus de la digue. En général, elle engendre une érosion externe et conduit rapidement les ouvrages en remblai à la rupture par brèche. Ce mécanisme de rupture est de loin le mécanisme de rupture des levées le plus cité, à l'occasion par exemple des très fortes crues qui ont affecté la Loire depuis deux siècles. Le Rhône a récemment connu plus de brèches par renard que par surverse (de 1993 à 2003).





6, place du Colonel Bourgoïn

75572 Paris cedex 12

Téléphone 01 40 19 86 00

Télécopie 01 40 19 86 69

