

INB

# Protection des installations nucléaires de base contre les inondations externes

**GUIDE N° 13**

Version du 08/01/2013



## Préambule

*La collection des guides de l'ASN regroupe 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, professionnels de santé).  
Ces guides peuvent également être diffusés auprès des différentes parties prenantes, telles que les Commissions locales d'information.*

- Chaque guide a 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

<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1. CONTEXTE ET REFERENCES REGLEMENTAIRES</b> .....	<b>5</b>
<b>1.2. OBJET DU GUIDE</b> .....	<b>5</b>
<b>1.3. CHAMP D'APPLICATION DU GUIDE</b> .....	<b>6</b>
<b>1.4. STATUT DU GUIDE</b> .....	<b>6</b>
<b>1.5. STRUCTURE DU GUIDE</b> .....	<b>6</b>
<b>2. SITUATIONS DE RÉFÉRENCE A PRENDRE EN COMPTE POUR LE RISQUE D'INONDATION</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1. IDENTIFICATION DES SOURCES D'EAU</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2. IDENTIFICATION DES CAUSES D'INONDATION</b> .....	<b>7</b>
<b>2.3. DEFINITION DES SITUATIONS D'INONDATION</b> .....	<b>8</b>
2.3.1 Définition.....	8
2.3.2 Généralités .....	8
2.3.3 SRI à prendre en compte pour tous les sites.....	9
2.3.4 SRI à prendre en compte pour les sites fluviaux .....	12
2.3.5 SRI à prendre en compte pour les sites en bord de mer.....	13
2.3.6 Cas particulier des sites en estuaire .....	15
<b>3. DETERMINATION DES SITUATIONS DE REFERENCE POUR LE RISQUE D'INONDATION (SRI)</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1. INTRODUCTION</b> .....	<b>16</b>
<b>3.2. PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES</b> .....	<b>16</b>
<b>3.3. PLUIES LOCALES</b> .....	<b>18</b>
3.3.1 Détermination des pluies de référence.....	18
3.3.2 Quantification des débits de ruissellement.....	18
3.3.3 Étude du comportement du réseau des eaux pluviales .....	18
3.3.4 Facteurs d'influence à surveiller .....	19
<b>3.4. CRUE SUR UN PETIT BASSIN VERSANT</b> .....	<b>19</b>
3.4.1 Généralités .....	19
3.4.2 Facteurs d'influence à surveiller .....	19
<b>3.5. DEGRADATIONS OU DYSFONCTIONNEMENTS D'OUVRAGES, DE CIRCUITS OU D'EQUIPEMENTS</b> .....	<b>20</b>
3.5.1 Généralités .....	20
3.5.2 Détermination des ruptures simples.....	20
3.5.3 Détermination des ruptures multiples.....	21
<b>3.6. INTUMESCENCE - DYSFONCTIONNEMENT D'OUVRAGES HYDRAULIQUES</b> .....	<b>22</b>
3.6.1 Identification des scénarios d'intumescence .....	22
3.6.2 Quantification de l'intumescence.....	22
3.6.3 Évolution du niveau d'eau dans un bief par stockage (ou vidange).....	22
3.6.4 Facteurs d'influence à surveiller .....	22
<b>3.7. REMONTEE DE LA NAPPE PHREATIQUE</b> .....	<b>22</b>
3.7.1 Données hydrogéologiques.....	22
3.7.2 Quantification du niveau de la nappe.....	23
3.7.3 Facteurs d'influence à surveiller .....	23

<b>3.8. CRUE SUR UN GRAND BASSIN VERSANT</b> .....	<b>23</b>
3.8.1 Traitement des données de débit .....	23
3.8.2 Extrapolation des débits aux débits extrêmes.....	24
3.8.3 Niveau d'eau de référence .....	24
3.8.4 Cas particulier des confluences.....	26
3.8.5 Facteurs d'influence à surveiller .....	26
<b>3.9. RUPTURE D'UN OUVRAGE DE RETENUE</b> .....	<b>26</b>
3.9.1 Généralités .....	26
3.9.2 Hypothèses associées à la rupture.....	26
3.9.3 Propagation de l'onde de submersion .....	27
3.9.4 Niveau de référence.....	27
3.9.5 Cas particulier des confluences.....	28
3.9.6 Facteurs d'influence à surveiller .....	28
<b>3.10. CLAPOT</b> .....	<b>28</b>
3.10.1 Caractéristiques du vent de référence.....	28
3.10.2 Génération et propagation du clapot.....	28
3.10.3 Franchissement .....	28
3.10.4 Facteurs d'influence à surveiller .....	29
<b>3.11. NIVEAU MARIN</b> .....	<b>29</b>
3.11.1 Marée théorique .....	29
3.11.2 Surcote.....	29
3.11.3 Facteurs d'influence à surveiller .....	29
<b>3.12. VAGUES OCEANIQUES</b> .....	<b>30</b>
3.12.1 Caractéristiques des vagues océaniques.....	30
3.12.2 Propagation.....	30
3.12.3 Franchissement .....	30
3.12.4 Facteurs d'influence à surveiller .....	30
<b>3.13. SEICHES</b> .....	<b>31</b>
3.13.1 Généralités .....	31
3.13.2 Facteurs d'influence à surveiller .....	31
<b>3.14. PARTICULARITES DES SITES EN ESTUAIRE</b> .....	<b>31</b>
<b>4. PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS</b> .....	<b>32</b>
<b>4.1. SPECIFICITES D'UNE INONDATION</b> .....	<b>32</b>
<b>4.2. PRINCIPES DE PROTECTION</b> .....	<b>32</b>
<b>4.3. DISPOSITIONS MATERIELLES DE PROTECTION</b> .....	<b>33</b>
4.3.1 Généralités .....	33
4.3.2 Suivi des caractéristiques du site.....	34
4.3.3 Dispositions matérielles passives .....	34
4.3.4 Autres dispositions .....	36
<b>4.4. DISPOSITIONS ORGANISATIONNELLES DE PROTECTION</b> .....	<b>36</b>
<b>4.5. ÉVALUATION DES CONSEQUENCES</b> .....	<b>37</b>
<b>GLOSSAIRE</b> .....	<b>38</b>

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



# 1. INTRODUCTION

## 1.1. Contexte et références réglementaires

- ❑ Code de l'environnement, notamment son titre IX du livre V ;
- ❑ Décret n°2007-1557 du 2 novembre 2007 modifié relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives ;
- ❑ Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base.

## 1.2. Objet du guide

La réglementation française exige la prise en compte du risque d'inondation dans la démonstration de sûreté nucléaire<sup>1</sup> des installations nucléaires de base (INB).

Le présent guide détaille des recommandations sur la prise en compte du risque d'inondation externe qui est définie, pour ce guide, comme une inondation ayant une origine extérieure aux ouvrages, aires ou bâtiments de l'INB recevant des systèmes ou des composants à protéger, quelles que soient la ou les causes (pluies, crues, tempêtes, rupture de tuyauteries...). Une inondation externe couvre donc une inondation trouvant son origine à l'extérieur du périmètre de l'INB<sup>2</sup> et certaines inondations trouvant leur origine dans le périmètre de l'INB<sup>3</sup>.

Par la suite, le terme « **inondation** » désigne l'inondation externe.

Le présent guide a pour objectifs :

- ❑ de définir les situations 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.

Le guide a pris en compte l'évolution du climat lorsque l'état des connaissances le permettait. Il convient à la conception des installations de tenir compte des évolutions prévisibles du climat, en l'état des connaissances, pour une durée représentative de leurs durées de vie envisageables et à chaque réexamen de sûreté de tenir compte de ces évolutions jusqu'au prochain réexamen.

L'utilisation de ce guide nécessite d'avoir préalablement identifié, pour l'installation considérée, les fonctions<sup>4</sup> nécessaires à la démonstration de sûreté nucléaire dont le maintien doit être assuré en cas d'inondation. Ces fonctions sont appelées « **fonctions de sûreté** » dans la suite du guide.

---

<sup>1</sup> Telle que définie à l'article 1<sup>er</sup>.3 de l'arrêté du 7 février 2012, c'est à dire « ensemble des éléments contenus ou utilisés dans le rapport préliminaire de sûreté et les rapports de sûreté mentionnés aux articles 8, 20, 37 et 43 du décret du 2 novembre 2007 susvisé et participant à la démonstration mentionnée au deuxième alinéa de l'article L. 593-7 du code de l'environnement, qui justifient que les risques d'accident, radiologiques ou non, et l'ampleur de leurs conséquences sont, compte tenu de l'état des connaissances, des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation, aussi faibles que possible dans des conditions économiques acceptables »

<sup>2</sup> L' « inondation externe » est alors une agression externe au sens de l'arrêté du 7 février 2012 (cf. article 3.6 de cet arrêté)

<sup>3</sup> L' « inondation externe » est alors une agression interne au sens de l'arrêté du 7 février 2012 (cf. article 3.5 de cet arrêté)

<sup>4</sup> L'article 3.4 de l'arrêté du 7 février 2012 identifie en particulier certaines fonctions qui doivent être assurées



### 1.3. Champ d'application du guide

Le présent guide s'applique à toutes les installations nucléaires de base définies par l'article L.593-2 du code de l'environnement. Pour les stockages de déchets radioactifs, ce guide s'applique uniquement aux installations de surface.

Le présent guide peut être utilisé pour évaluer les risques d'inondations externes et les dispositions de protection associées tant pour de nouvelles installations que pour des installations déjà en exploitation. Pour ces dernières, le réexamen de sûreté (article L.593-18 du code de l'environnement) est un cadre privilégié pour une telle évaluation voire ré-évaluation. Dans le rapport mentionné à l'article L.593-19 du code de l'environnement (rapport comportant les conclusions du réexamen de sûreté), voire dès le dossier d'orientation du réexamen, il est utile que l'exploitant d'une INB précise s'il suit les recommandations du présent guide et, si ce n'est pas le cas, qu'il explique les raisons motivant ce choix (utilisation de méthodes alternatives...) et pourquoi il considère que celui-ci permet une prévention satisfaisante des risques liés aux inondations externes.

Sans attendre le réexamen de sûreté, le présent guide peut également être pris en compte dans le cadre des procédures d'autorisation auxquelles est associée la transmission d'un rapport de sûreté (mise en service, MAD/DEM, modification notable).

### 1.4. Statut du guide

Le présent guide remplace la règle fondamentale de sûreté (RFS) 1.2.e du 12 avril 1984 relative à la prise en compte du risque d'inondation d'origine externe, jugée obsolète au regard du progrès des connaissances dans ce domaine.

Ce nouveau guide résulte d'un travail de collaboration de plusieurs années associant des experts de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, d'autres organismes compétents dans les domaines de l'hydrologie, de l'hydraulique et de la météorologie et des représentants des exploitants.

Ce guide a en outre fait l'objet d'une consultation du public du 15 juin 2010 au 15 septembre 2010. La dernière version du guide tenant compte des remarques formulées au cours de la consultation a été soumise à l'avis des groupes permanents d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR) et pour les laboratoires et usines (GPU) le 24 mai 2012. Ces derniers ont donné un avis favorable en considérant que « *les évolutions apportées dans le projet de guide constituent un progrès par rapport à la RFS 1.2.e* ».

### 1.5. Structure du guide

Le guide est structuré en trois parties :

- 1) la partie II présente une démarche de définition des situations de référence à prendre en compte pour l'étude du risque d'inondation (SRI), avant de définir 11 SRI ;
- 2) la partie III est consacrée à la quantification des paramètres caractérisant les phénomènes physiques intervenant dans la définition des situations ;
- 3) la partie IV 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.



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

### 2.1. 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] ; les numéros identifiant les sources d'eau correspondent à ceux définis au paragraphe ci-dessus.

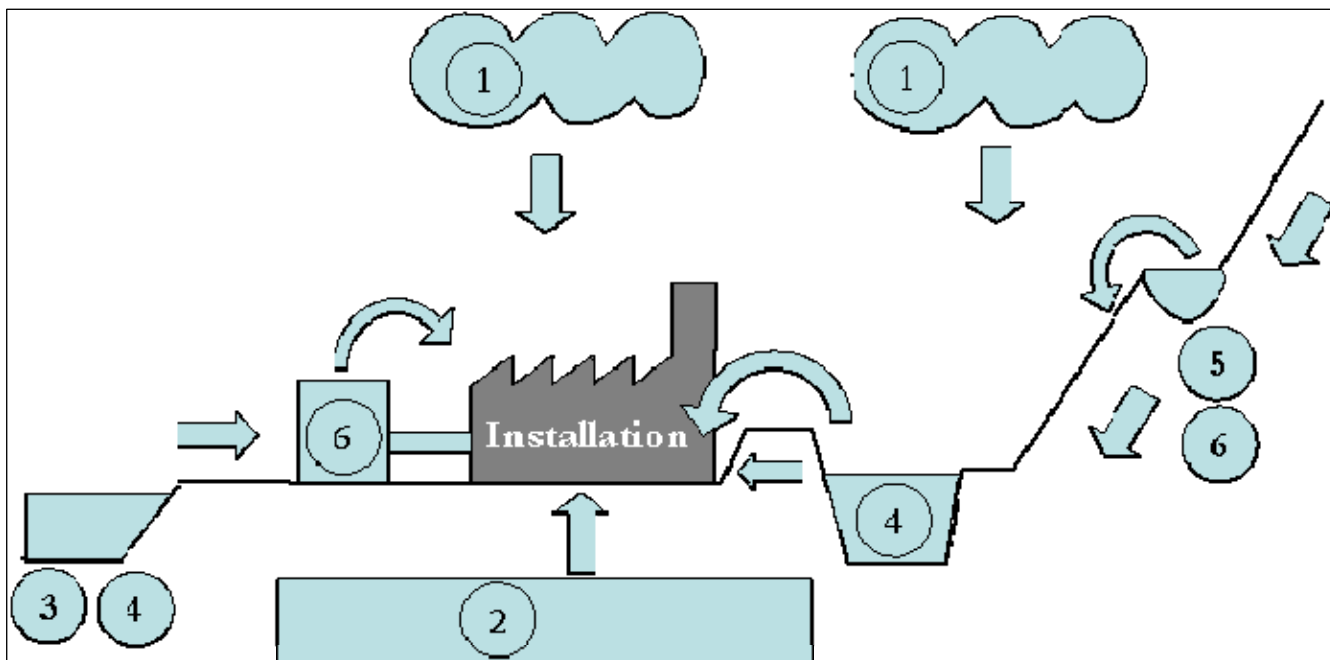


Figure [1] : sources d'eau

### 2.2. 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 généralement caractérisé par une grandeur physique définissant son intensité (volume, hauteur, débit, etc.) et le cas échéant, une probabilité ou fréquence de dépassement de cette intensité et une durée. Par exemple, la crue de débit centennal (appelée plus simplement « crue centennale ») est un événement de probabilité de dépassement égale à  $10^{-2}$ /an 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 ouvrage ou équipement de protection, etc.).

## 2.3. Définition des situations d'inondation

### 2.3.1 Définition

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 des connaissances actuelles).

### 2.3.2 Généralités

En fonction des caractéristiques du site de l'installation, la liste des SRI est établie. Le dimensionnement des installations vis-à-vis du risque d'inondation est justifié au regard de ces SRI en tenant compte des effets dynamiques éventuels.

La liste des SRI prend en compte les différentes sources d'eau pertinentes pour le site et les différents événements ou conjonctions identifiés. Cette liste et la détermination des SRI sont établies sur la base des recommandations ci-après, pour chaque type de site.

En tout état de cause, les résultats de la détermination des SRI doivent être au moins enveloppes des situations correspondant au retour d'expérience pertinent pour le site considéré.

Les recommandations formulées ci-après pour la définition et la détermination des SRI 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) et d'une démarche d'expertise sur la base de la connaissance des sites d'INB existants.

Les SRI sont exprimées soit à partir d'une exploitation statistique des données disponibles, soit de façon déterministe. Pour ce qui concerne les extrapolations statistiques, les méthodes à seuil consistant à utiliser un échantillon d'observations supérieures à une valeur choisie, telle la méthode du renouvellement\*, sont jugées acceptables.

Il convient de bien distinguer la fréquence des conséquences d'un événement de la fréquence de cet événement lui-même. En effet, il n'existe pas nécessairement de relation univoque entre cause et conséquences. Par exemple, une pluie dont l'intensité moyenne correspond à une fréquence centennale ne provoquera pas nécessairement un débit maximum centennal, ni une hauteur d'eau maximale centennale au droit du site.

Des conjonctions ont été retenues notamment lorsqu'une dépendance est avérée ou présumée entre des événements susceptibles de causer une inondation. En outre, lorsqu'un risque de concomitance a été identifié au regard de la durée et de la fréquence de l'un ou l'autre des événements, leur conjonction a été retenue.





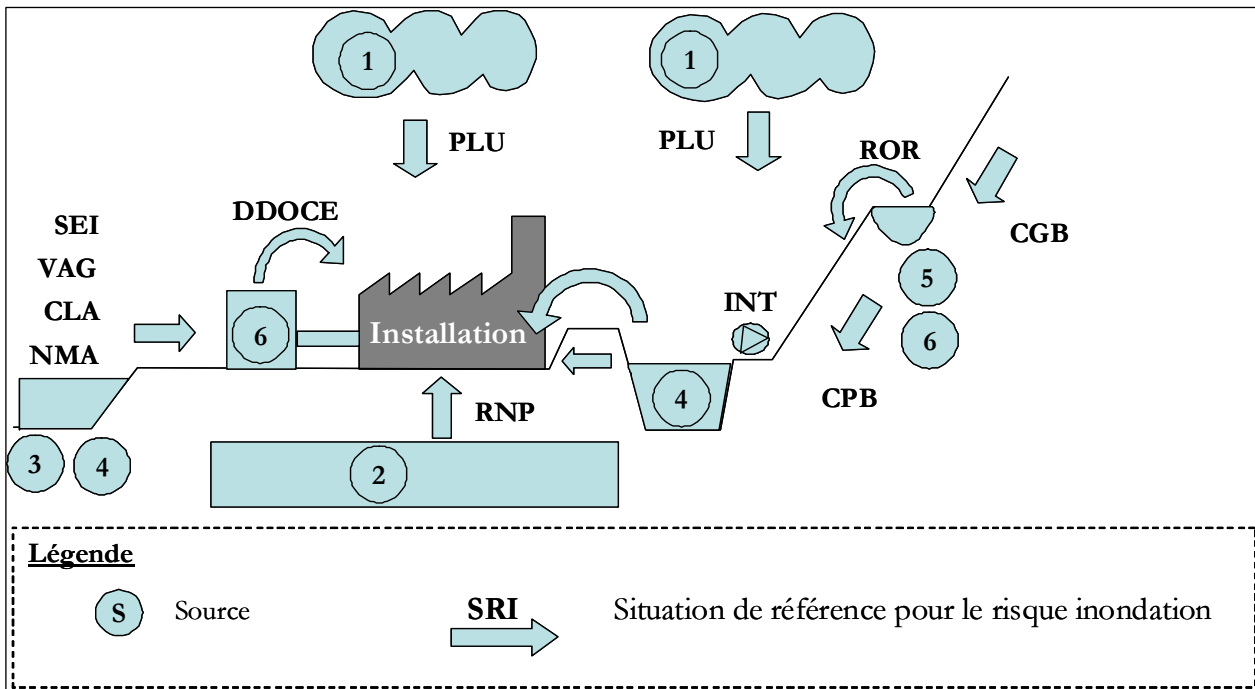


Figure [2] : Ensemble des SRI

Légende des abréviations de la figure [2] :

<b>PLU</b>	Pluies locales
<b>CPB</b>	Crue sur un petit <u>bassin versant*</u>
<b>CGB</b>	Crue sur un grand bassin versant
<b>DDOCE</b>	Dégradations ou dysfonctionnements d'ouvrages, de circuits ou d'équipements
<b>INT</b>	<u>Intumescence*</u> – 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
<b>VAG</b>	Vagues
<b>SEI</b>	<u>Seiche*</u>

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

Au minimum, cinq SRI sont à prendre en compte : les pluies locales, 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.

#### 2.3.3.1. Pluies locales

Chaque pluie est caractérisée par une hauteur des précipitations cumulées pendant une durée donnée. Les pluies de référence sont définies par la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % des pluies centennales calculées à partir des données d'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 :

- ❑ pour les réseaux rejetant dans un autre réseau, un étang ou un cours d'eau dont le niveau est sensible aux pluies locales, le comportement de ces exutoires en réponse à des pluies de référence définies pour les différents bassins versants situés en amont des exutoires ou, à défaut, le débit ou le niveau d'eau centennal du milieu récepteur,
- ❑ le débit ou le niveau d'eau moyen pour les réseaux rejetant directement dans des cours d'eau pour lesquels le débit au droit du site est indépendant des conditions météorologiques du site,
- ❑ le niveau de pleine mer décennal.

Afin de tenir compte, d'une part des risques d'obstruction du réseau pluvial 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.

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 examine les points singuliers, sur et à proximité du site, auxquels peuvent se produire des embâcles\* susceptibles d'aggraver la situation et les traite dans la démonstration de sûreté (cf. 4.3.3.2).

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

La crue de référence sur un petit bassin versant est définie par un débit maximal instantané, pour une période de retour décennale.

La crue de référence sur un petit bassin versant dont la superficie est comprise entre 10 et 5 000 km<sup>2</sup> est évaluée de préférence par une méthode qui modélise le comportement asymptotique de la transformation pluie-débit moyen pour un pas de temps adapté au temps de concentration du bassin. Pour obtenir le débit maximal instantané, une méthode consiste à travailler à partir d'un échantillon de débits moyens puis à multiplier le débit issu de l'extrapolation par un coefficient de forme.

Pour les bassins versants dont la superficie est comprise entre 10 et 100 km<sup>2</sup>, il est admis que le débit associé à cette SRI soit calculé à partir des pluies centennales (borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 %) en multipliant le débit obtenu par un facteur 2.

Si besoin, la condition en aval du cours d'eau, à l'exutoire du bassin versant, est définie en tenant compte de la possibilité d'une concomitance de la crue du cours d'eau et d'un niveau pénalisant du milieu récepteur. Ainsi, dans le cas où le cours d'eau en crue se jette dans la mer, on peut retenir un niveau de pleine mer décennal. De même, dans le cas où le cours d'eau en crue se jette dans un autre cours d'eau, le débit de ce dernier peut être pris égal à son débit moyen, sauf si ce second cours d'eau peut lui-aussi être affecté par les conditions météorologiques qui ont provoqué la crue du premier.

L'exploitant examine les points singuliers auxquels peuvent se produire des embâcles susceptibles d'aggraver les effets de la crue de référence sur le site.

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.



### 2.3.3.3. *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.

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 recevant des éléments importants pour la protection (EIP)<sup>5</sup> liés à la sûreté nucléaire.

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

- ❑ 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 ouvrages d'endiguement des cours d'eau et des canaux, ainsi que les ouvrages hydrauliques associés, à l'exception des ouvrages considérés dans la SRI rupture d'un ouvrage de retenue définie au paragraphe 2.3.4.2 et des digues sèches.

La rupture ou le débordement d'ouvrages, de circuits ou d'équipements peuvent résulter par exemple :

- ❑ 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.

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

### 2.3.3.4. *Intumescence*

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 (en tenant compte des différentes dynamiques associées à l'onde principale et aux effets accompagnant cette onde principale).

L'étude des causes possibles d'intumescence doit permettre d'identifier le ou les scénarios d'intumescence susceptibles d'affecter le site. La situation de référence est retenue en considérant des conditions initiales de niveau et de débit 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 2.3.4 et 2.3.5.

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 rééquilibrage de débits permettant de corriger l'écart sont justifiées.

### 2.3.3.5. *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 qui suivent.

---

<sup>5</sup> Au sens de l'article 1<sup>er</sup>.3 de l'arrêté du 7 février 2012 susvisé

1. La combinaison d'un « niveau initial » et de l'effet de remontée dû à un « initiateur ». L'« initiateur » est l'événement, parmi ceux examinés pour la détermination des SRI (crue, niveau marin, pluies, dégradation d'ouvrage...), qui provoque 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 quelques heures à plusieurs mois).

Le « niveau initial » de la nappe phréatique 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 de 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 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 étude statistique des niveaux de la nappe phréatique

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'étude statistique porte sur les plus hauts niveaux atteints dans une longue série de niveaux piézométriques, constituée à partir d'une chronique de niveaux mesurés in situ. 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 étude statistique, le niveau de référence est calculé en retenant des hypothèses hydrogéologiques particulièrement pénalisantes.

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.

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 maximum ou volume total d'eau à évacuer.

### 2.3.4 SRI à prendre en compte pour les sites fluviaux

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

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

Un grand bassin versant présente une surface drainée généralement supérieure à 5 000 km<sup>2</sup>. Cette valeur dépend toutefois de la nature du bassin versant, de son altitude moyenne, de sa pente, de sa géologie...

La crue 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 millénaire en considérant la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 70 %, majorée de 15%.

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.

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 en crue, 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 de la crue prenne en compte cette confluence.

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

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.

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 de la SRI considèrera le cours d'eau sur lequel le site est implanté et les différentes vallées débouchant à proximité du site.

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 en crue, 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 de la SRI prenne en compte l'effet de la remontée de l'onde dans chaque affluent.

#### 2.3.4.3. Clapot

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 représentative (par exemple période moyenne ou période significative\*) et une direction de propagation dominante.

La durée de la SRI est déterminée à partir de statistiques sur les durées d'épisodes de vent forts.

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

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

**Les situations définies ci-après sont applicables pour les sites implantés sur la côte atlantique métropolitaine et ne suffisent notamment pas pour traiter des sites implantés au bord de la Méditerranée.**

#### 2.3.5.1. Niveau marin

Le niveau marin haut de référence est la somme conventionnelle :

- ❑ 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 jusqu'au prochain réexamen de sûreté.

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 probabilité de dépassement 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.

De plus, le niveau marin haut de référence prend en compte le risque de seiche dans les conditions définies au paragraphe 2.3.5.3.

#### 2.3.5.2. *Vagues (vagues océaniques et clapot)*

La détermination des conditions de vagues au droit d'un site maritime combine a priori des vagues océaniques (appelées aussi « houle »), qui ont été engendrées 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 « mer du vent », ou encore « clapot » pour le cas de vagues levées sur un domaine de faible étendue).

Les vagues de référence sont déterminées à partir des conditions de vagues 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. Dans ce cas, il est recommandé de ne pas séparer la houle et la mer du vent, et d'effectuer l'étude sur les données de hauteurs de vagues totales.

En fonction de l'exposition et de la configuration du site, il est toutefois possible de simplifier l'étude en établissant la prépondérance de la contribution des vagues océaniques ou des effets du vent local (mer de vent ou clapot selon la configuration du site) sur les hauteurs de vagues totales.

En particulier, en cas de prépondérance des effets du vent local sur les vagues océaniques du fait de la configuration du site ou des ouvrages existants, un clapot de référence est retenu. Il 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.

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

#### 2.3.5.3. *Seiche*

Le risque de survenue d'une seiche est étudié sur la base du retour d'expérience disponible, par exemple au travers de l'exploitation d'une installation existante ou de mesures du niveau d'eau en mer.

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).

#### 2.3.5.4. *Tsunami*

Les tsunamis sont provoqués par des sources sismiques, volcaniques ou liées à des glissements de terrain sous-marins ou sur le littoral. Un séisme ne peut être à l'origine d'un tsunami que s'il est peu profond et de magnitude suffisamment élevée. Par exemple, le seuil de déclenchement d'alerte tsunami dans le Pacifique est fixé à une magnitude de 6,5 pour un bulletin local, 7,6 pour une alerte régionale, et 7,9 pour une alerte à grande échelle. Dans le cas d'un glissement de terrain, l'expérience montre que le volume d'effondrement constitue le paramètre le plus important. Un tsunami peut se développer à une échelle locale (à quelques kilomètres de la source) pour des volumes d'effondrement de l'ordre de 100 000 m<sup>3</sup>, à une échelle régionale (quelques dizaines voir centaines de kilomètres) pour des volumes d'environ 1 km<sup>3</sup>, voire à l'échelle transocéanique pour des volumes plus importants (de l'ordre de la centaine de km<sup>3</sup>). Aucune structure géologique pouvant être à l'origine d'un tsunami majeur n'est identifiée à proximité du littoral métropolitain atlantique (correspondant plus exactement à des littoraux de l'Atlantique, la Manche et la mer du Nord).





Sur la base de la surveillance sismique et des niveaux marins au cours des 50 dernières années, aucun phénomène de surélévation du niveau marin sur la façade métropolitaine atlantique n'a été mis en relation de manière certaine avec un tsunami atlantique. De manière comparable aux études de l'aléa sismique, des analyses historiques ont été menées pour élargir la période d'observation. Il s'agit d'analyser la bibliographie pour relever les observations pouvant être liées à des tsunamis : fluctuation des niveaux d'eau sur la côte et notamment dans les ports, mises en relation, par exemple, avec un séisme. Les témoignages compilés à ce jour font état, depuis le XVIIIème siècle, d'une quinzaine d'événements attribués de façon plus ou moins incertaine à des tsunamis. Dans tous les cas, les effets ne vont pas au-delà de l'inondation de côtes en pente douce, d'embarcations légères échouées et de constructions légères près des côtes faiblement endommagées, alors que les dommages les plus importants et les niveaux marins les plus hauts ont été observés lors de tempêtes provoquant des fortes surcotes, parfois concomitantes avec des marées hautes et accompagnées de houle.

Enfin le phénomène de tsunami est indépendant des fortes marées et des tempêtes. La probabilité de conjonction d'un tsunami et de la SRI niveau marin est donc très faible. La conjonction de ces deux événements a donc été écartée.

Ainsi, compte tenu de l'exclusion des sites méditerranéens du champ d'application du paragraphe 2.3.5, le risque de tsunami est considéré couvert par les situations de niveau marin et de vagues de référence.

#### 2.3.5.5. *Autres événements*

Le risque associé aux vagues engendrées par le passage de navires est 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.

### 2.3.6 Cas particulier des sites en estuaire

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

#### 2.3.6.1. *Influence maritime*

Les SRI définies au paragraphe 2.3.5 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.

#### 2.3.6.2. *Influence fluviale*

Les SRI définies au paragraphe 2.3.4 sont déterminées, moyennant les adaptations qui suivent.

Pour la SRI « crue sur un grand bassin versant », la situation de référence est déterminée sans appliquer la majoration de 15 % prévue au paragraphe 2.3.4.1 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 moyen (marée de coefficient 70).

Pour la SRI « clapot », la situation de référence est déterminée en considérant un niveau de pleine mer moyen (marée 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.



### **3. DETERMINATION DES SITUATIONS DE REFERENCE POUR LE RISQUE D'INONDATION (SRI)**

#### **3.1. Introduction**

Sur la base des données observées pour le site considéré, les SRI sont déterminées en retenant une approche raisonnablement enveloppe. En effet, 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.

Pour chaque SRI, il convient de surveiller des « facteurs d'influence » précisés dans la suite du guide. Ils ont été définis compte tenu de l'impact important de leur variation sur la SRI. En outre, la survenue d'une situation d'inondation exceptionnelle dont les caractéristiques dépassent, à proximité du site, les valeurs centennales ou à défaut les plus fortes valeurs observées doit faire l'objet d'une analyse par l'exploitant. La survenue d'une telle situation ou une évolution significative de l'un de ces facteurs d'influence peut nécessiter de réévaluer la SRI, sans attendre le prochain réexamen de sûreté de l'installation.

La prise en compte des incertitudes est développée au paragraphe 3.2.

La quantification se fait notamment au travers des paramètres et méthodes définis pour chaque SRI dans les paragraphes 3.3 à 3.14.

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.

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

#### **3.2. Prise en compte des incertitudes**

La détermination des SRI résulte en premier lieu d'une démarche d'expertise. Elle tient compte des incertitudes identifiées en l'état actuel des connaissances. Les préconisations qui concernent la prise en compte de conjonctions, des états initiaux ou plus largement, de l'ensemble des incertitudes, visent à apporter des conservatismes.

Compte tenu de l'absence de modèles fiables de propagation des incertitudes, il convient d'examiner les incertitudes affectant chaque paramètre.

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 :

- 1) pour l'évaluation des probabilités de dépassement associées aux 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 ;
  
- 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).

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 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.

L'étude 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 détermination 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.

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).

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 de dépassement associée aux 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.

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 « appropriée ». 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.

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. Cependant, 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).

### 3.3. Pluies locales

#### 3.3.1 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. Elles sont définies sur l'ensemble des durées nécessaires à l'élaboration d'un ou plusieurs scénarios de pluies majorants pour les différentes zones du site comportant des équipements ou locaux à protéger. La formulation de Montana\* est une méthode acceptable pour déterminer l'intensité des pluies de référence.

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 en 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 représentatives autres que la station retenue ou par comparaison avec les valeurs calculées suivant une approche régionalisée\*.

#### 3.3.2 Quantification des débits de ruissellement

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

Pour ce faire, une modélisation numérique détaillée des bassins versants est recommandée. Les pluies sont modélisées par des pluies de projet\* (les formes de pluies de type Keiffer ou double-triangle sont jugées pertinentes compte tenu de l'état actuel des connaissances) et sont associées à une ou plusieurs durée(s) de pluies intenses, dans l'optique d'obtenir des scénarios de pluies majorants pour les différentes zones du site comportant des équipements ou locaux à protéger. Les valeurs des pertes par infiltration tiennent compte du comportement du sol lors d'événements pluvieux extrêmes.

Toutefois, dans certains cas simples, d'autres méthodes telle la méthode rationnelle\* peuvent être utilisées.

#### 3.3.3 Étude du comportement du réseau des eaux pluviales<sup>6</sup>

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.

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

Dans le cas où le réseau rejette dans la mer, les niveaux établis par le service compétent de l'administration<sup>7</sup> font référence pour quantifier le niveau de pleine mer décennal à l'exutoire.

De façon générale, le caractère majorant du modèle de comportement du réseau utilisé est justifié par le recours à un paramétrage du modèle majorant les débordements, ou - quand cela est possible - par un calage\* sur des mesures de débit.

<sup>6</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>7</sup> Service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM)



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.

Si l'étude de la SRI est faite 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 les zones du site comportant des équipements ou locaux à protéger, est vérifié.

A l'issue de l'aménagement du site, une vérification sur site est réalisée pour valider les hypothèses retenues dans les études (du fonctionnement du réseau et du scénario de ruissellement) pour la description des bassins versants et du réseau d'évacuation des eaux pluviales. Cette vérification peut s'appuyer sur des relevés topographiques, des plans de récolement, des essais de ruissellement et d'évacuation correspondant à des situations de pluie normale.

### 3.3.4 Facteurs d'influence à surveiller

Les facteurs d'influence à surveiller retenus sont :

- ❑ le fonctionnement du réseau d'évacuation des eaux pluviales,
- ❑ les caractéristiques des bassins versants drainés.

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

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

### 3.4.1 Généralités

Le débit maximal instantané est défini à partir d'un débit moyen issu d'une extrapolation, multiplié par un coefficient de forme. Ce coefficient de forme est la moyenne des rapports du débit maximal instantané de la crue au débit moyen associé à ce débit maximal pour une sélection de crues mesurées avec un pas de temps suffisamment fin.

La méthode s'appuie sur des simulations utilisant une modélisation hydrologique si l'on dispose des données de débit. Dans le cas contraire, l'estimation du débit à partir duquel on considère que le ruissellement est total et le coefficient de forme sont déduits d'approches régionales (Formule de Caquot, méthode Rationnelle ...).

Dans le cadre de l'utilisation de la méthode indiquée au troisième alinéa du paragraphe 2.3.3.2, pour les bassins versants inférieurs à 100 km<sup>2</sup>, les préconisations des paragraphes 3.3.1 et 3.3.2 s'appliquent. La modélisation du ruissellement tient compte du comportement du sol lors d'événements pluvieux extrêmes (en particulier, il convient de tenir compte de la saturation en eau des sols des bassins versants ruraux).

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 3.8).

### 3.4.2 Facteurs d'influence à surveiller

Les facteurs d'influence à surveiller sont les caractéristiques des bassins versants drainés.



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

#### 3.5.1 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,
- ❑ il n'existe pas de dysfonctionnement, défaillance intrinsèque ou agression susceptible d'entraîner une rupture.

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 ...

Le paramètre à évaluer pour déterminer la SRI est généralement le volume déversé du fait de la rupture. Dans le cas des circuits ou équipements traversés par un débit, le volume déversé peut être évalué sur la base de ce débit et 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 :

- ❑ 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.

#### 3.5.2 Détermination des ruptures simples

La détermination 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,
- ❑ 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.

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 3.5.1.

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

Concernant les circuits, le débit de fuite est déterminé à partir des caractéristiques du circuit et de la rupture. La rupture de la tuyauterie est considérée totale. Des hypothèses de défaillance moindres peuvent être appliquées si l'exploitant les justifie en s'appuyant sur les caractéristiques du matériel (par exemple si les déplacements possibles de la tuyauterie sont limités du fait des supportages), les exigences et le suivi en exploitation associés.

Dans le cas d'un circuit « ouvert » sur une source d'eau de volume « infini » telle qu'un cours d'eau, 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.



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

### 3.5.3 Détermination des ruptures multiples

Il convient de vérifier que les différentes agressions<sup>8</sup> prises en compte dans la démonstration de sûreté (comme par exemple un séisme, des vents forts, une explosion, un incendie...) ne sont pas susceptibles d'entraîner une inondation causée par des ruptures multiples d'ouvrages, de circuits ou d'équipements situés sur le site ou à sa proximité. A défaut, il convient d'évaluer les conséquences cumulées des défaillances de ces ouvrages, circuits et équipements. Est également considéré le cas des circuits ou des équipements susceptibles d'être agressés par des équipements ou des structures rendus instables par l'agression considérée. Lors de la détermination des ruptures multiples d'ouvrages, circuits ou équipements, le retour d'expérience est systématiquement pris en compte.

Par exemple pour le séisme, les ouvrages, circuits et équipements à retenir, en fonction de leur localisation, sont :

- ❑ les capacités non dimensionnées pour résister au séisme,
- ❑ les tuyauteries non dimensionnées pour résister au séisme,
- ❑ les singularités (compensateurs) sur les tuyauteries non dimensionnées pour résister au séisme,
- ❑ les structures ou équipements pouvant être agressées par des équipements non dimensionnés pour résister au séisme,
- ❑ les ouvrages d'endiguement des canaux et des cours d'eau non dimensionnés pour résister au séisme.

Pour le séisme, les hypothèses à considérer sont les suivantes :

- ❑ pour les bâches : la vidange complète simultanée de toutes les bâches non dimensionnées pour résister à un séisme situées sur la plate-forme est considérée. Une rétention pourra être valorisée uniquement si les performances associées sont assurées en cas de séisme. Toutes les bâches sont supposées remplies à leur niveau de remplissage maximal autorisé en exploitation.
- ❑ pour les 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 niveau fréquemment observé.
- ❑ pour les tuyauteries : la rupture de la tuyauterie non dimensionnée pour résister à un séisme et présentant un caractère majorant (cf. 3.5.1) est retenue. La rupture de la tuyauterie est considérée totale. Des hypothèses de défaillance moindres peuvent être appliquées si l'exploitant les justifie en s'appuyant sur les caractéristiques du matériel (par exemple si les déplacements possibles de la tuyauterie sont limités du fait des supportages), les exigences et le suivi en exploitation associés.
- ❑ pour les 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. Des hypothèses de défaillance moindres peuvent être appliquées si l'exploitant les justifie en s'appuyant sur les caractéristiques du matériel (par exemple si les déplacements possibles de la tuyauterie sont limités du fait des supportages), les exigences et le suivi en exploitation associés.

---

<sup>8</sup> Agressions d'origines extérieures aux ouvrages ou bâtiments contenant des équipements à protéger,



### 3.6. Intumescence - dysfonctionnement d'ouvrages hydrauliques

#### 3.6.1 Identification des scénarios d'intumescence

L'étude des causes possibles d'intumescences 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.

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.

#### 3.6.2 Quantification de l'intumescence

Pour des canaux de géométrie simple, l'emploi de la formule<sup>9</sup>  $h=cV/g$  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.

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

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 et de garantir leur caractère opérationnel.

#### 3.6.4 Facteurs d'influence à surveiller

Les facteurs d'influence à surveiller sont les équipements et les ouvrages susceptibles de causer une intumescence (modification ou construction d'un nouvel ouvrage).

### 3.7. Remontée de la nappe phréatique

#### 3.7.1 Données hydrogéologiques

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.

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, en parallèle, l'évolution des niveaux d'eau correspondants.

---

<sup>9</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)





Une étude 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 paragraphe 2.3.3.5, 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 paragraphe 2.3.3.5, de l'indépendance des événements étudiés pour l'étude statistique des niveaux mesurés ou simulés en cas de forte remontée.

Cette étude est effectuée en retenant les niveaux piézométriques 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.

### 3.7.2 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.

Un modèle est généralement calé 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 couches géologiques situées au-dessus de l'aquifère\* et susceptibles d'être atteintes lors d'une remontée extrême de la nappe.

Dans l'application de la méthode 2 définie au paragraphe 2.3.3.5, 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'augmentation de la perméabilité et de la porosité souvent observée dans les couches géologiques rocheuses proches de la surface, 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.

### 3.7.3 Facteurs d'influence à surveiller

Les facteurs d'influence à surveiller sont l'hydrogéologie du site et les conditions en amont et en aval

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

### 3.8.1 Traitement des données de débit

Le débit de référence est quantifié à l'aide d'une exploitation statistique des débits de crue mesurés 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\*.

L'exploitation des données de débit est précédée de l'examen de la qualité de ces données, variable selon les stations de mesures. Cet examen requiert 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. Il peut



s'appuyer sur la méthode des résidus cumulés\* entre stations proches, ou sur le contrôle de la cohérence des volumes des crues mesurées avec les valeurs obtenues dans d'autres stations.

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 :

- ❑ si la proportion entre la surface du bassin versant en amont de l'ouvrage hydraulique considéré et la surface du bassin versant en amont 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 ;
- ❑ 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.

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 recomposition de l'intervalle de confiance doivent être présentées.

### 3.8.2 Extrapolation des débits aux débits extrêmes

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

Pour obtenir un débit de référence maximal instantané, une méthode consiste à travailler à partir d'un échantillon de débits journaliers puis à 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 période de retour élevée.

La cohérence du débit de référence ainsi évalué est examinée au regard d'autres études concernant le secteur du site (études antérieures ou études effectuées par d'autres organismes), en justifiant les écarts éventuels.

### 3.8.3 Niveau d'eau de référence

#### 3.8.3.1. *Généralités*

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 :

- ❑ 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).

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 de la SRI en majorant successivement chaque paramètre influent affecté par une incertitude, 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 (cf. 3.2).

### 3.8.3.2. Modélisation du champ d'inondation

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 :

- ❑ 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 en dynamique, occupation des sols...),
- ❑ les caractéristiques géométriques des ouvrages (ponts, digues, usines, barrages...),
- ❑ les lois hydrauliques des ouvrages par lesquelles transitent des écoulements, en vue de les modéliser.

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.

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.

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, les valeurs du, ou des, paramètre(s) du modèle qui ne peuvent pas être ajustés, tel 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.

Lorsque l'étude de la SRI 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 précises 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.

Lorsque l'étude de la SRI 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 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.

La cohérence des niveaux de référence ainsi évalués est examinée au regard d'autres études concernant le secteur du site (études antérieures ou études effectuées par d'autres organismes), en justifiant les écarts éventuels.



### 3.8.4 Cas particulier des confluences

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 paragraphe 2.3.4.1. 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.

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 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.

### 3.8.5 Facteurs d'influence à surveiller

Les facteurs d'influence à surveiller sont :

- ❑ la morphologie et l'occupation des sols dans le lit du cours d'eau,
- ❑ les ouvrages tels que les ponts ou les digues (état d'entretien, modification ou création d'un nouvel ouvrage),
- ❑ les règles de gestion des crues.

## 3.9. Rupture d'un ouvrage de retenue

### 3.9.1 Généralités

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.

La méthode d'évaluation de la SRI peut reposer sur un calcul en deux étapes : le calcul de la propagation de l'onde de submersion du barrage jusqu'en amont du site et le calcul des niveaux d'eau autour du site au moyen d'un modèle local.

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.

### 3.9.2 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.

Au moment de la rupture, la retenue est 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. La fonction de la retenue dont on envisage la rupture peut imposer de retenir un niveau d'eau initial plus important dans cette retenue. Ainsi, la rupture d'un ouvrage écrêteur de crue doit être examinée en postulant que l'eau est au niveau de surverse de cet ouvrage.

Pour les ouvrages en béton ou en maçonnerie, la rupture est assimilée à un effacement instantané. Pour les ouvrages en remblais, la rupture est progressive (renard\* ou le cas échéant surverse).



Dans le cas d'une rupture par renard, l'étude de la SRI 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 forfaitairement cette origine au moment où le débit atteint  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  en ordre de grandeur,

### 3.9.3 Propagation de l'onde de submersion

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

- ❑ 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 s'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 décennale.

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.

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 en aval du site n'est pas susceptible de créer, en 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.
- la simulation numérique est adaptée à la nature de l'écoulement simulé (propagation du front d'onde, régime d'écoulement torrentiel...). Le modèle de propagation est adapté aux débits atteints.

### 3.9.4 Niveau de référence

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 et ses abords (modèle local) et majoré de 15%. Le débit initial dans le modèle local est 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 plus important.

Les études de modélisation du champ d'inondation autour du site sont conduites selon les préconisations du paragraphe 3.8.3.2, en prenant en compte les recommandations spécifiques suivantes :

- ❑ le niveau de référence et les niveaux associés à l'onde de submersion sont définis en retenant une valeur majorante pour le(s) paramètre(s) identifié(s) comme paramètre(s) influent(s). Cette majoration vise à couvrir les incertitudes du calcul. 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 de la SRI en majorant successivement chaque paramètre influent affecté par une incertitude, 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 (cf. 3.2) ;
- ❑ les délais d'arrivée de l'onde aux points d'intérêt et les délais d'obtention des cotes maximales sont minorés de 13 %.



### 3.9.5 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 3.9.3 en fonction de la localisation de chacune des branches en zone amont ou aval.

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.

### 3.9.6 Facteurs d'influence à surveiller

Les facteurs d'influence à surveiller sont :

- ❑ les facteurs d'influence à surveiller mentionnés au paragraphe 3.8.5,
- ❑ l'implantation d'une nouvelle retenue,
- ❑ les conditions d'exploitation d'une retenue en amont du site, dès lors que ces modifications peuvent conduire à des conséquences plus importantes que celles de la rupture postulée dans l'étude de la SRI.

## 3.10. Clapot

### 3.10.1 Caractéristiques du vent de référence

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).

### 3.10.2 Génération et propagation du clapot

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.

Dans le cas du calcul du clapot par une méthode empirique, au moins deux formules reconnues sont 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 est retenu.

Le clapot est considéré établi pendant la durée de la SRI.

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

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 est défini par le clapot dont les caractéristiques sont à la limite du déferlement.

### 3.10.3 Franchissement

Lorsque la SRI provoque le franchissement d'ouvrages de protection, il convient d'évaluer les volumes d'eau franchissant ces 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...).



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 lorsque ce dernier est estimé par une formule empirique qui ne tient pas compte de l'effet du vent).

#### 3.10.4 Facteurs d'influence à surveiller

Le facteur d'influence à surveiller est la création ou modification d'ouvrage(s) susceptible(s) de modifier de manière notable les fetchs définissant la SRI.

### 3.11. Niveau marin

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

#### 3.11.1 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 pour tenir compte de l'évolution de la marée théorique maximale entre le site d'étude et la station de mesure régionale.

#### 3.11.2 Surcote

Les surcotes extrêmes sont déterminées à partir de données sur les surcotes de pleine mer, à l'aide d'une étude statistique à l'échelle locale ou régionale.

La série d'observations retenue pour cette étude 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 est 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'étude statistique.

Le calcul des surcotes millénales par les lois d'ajustement classiques à une échelle locale ne permet pas actuellement de rendre compte de façon satisfaisante d'événements exceptionnels (horsains) observés à plusieurs stations de mesure. Une majoration complémentaire, de 1 m, du niveau marin de référence est alors appliquée pour en tenir compte.

L'utilisation d'une autre approche pour le calcul de la surcote millénaire, par exemple fondée sur une analyse régionale, est possible sous réserve de montrer le caractère adapté du modèle d'extrapolation statistique utilisé et sa justesse pour les horsains observés en différentes stations de mesure. Dans ce cas, il n'y a pas lieu d'appliquer une majoration complémentaire.

#### 3.11.3 Facteurs d'influence à surveiller

Le facteur d'influence à surveiller est la réalisation de grands travaux portuaires à proximité du site.



## 3.12. Vagues océaniques

### 3.12.1 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.

### 3.12.2 Propagation

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.

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.

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.

### 3.12.3 Franchissement

Lorsque la SRI provoque le franchissement d'ouvrages de protection, il convient d'évaluer les volumes d'eau franchissant ces 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 lorsque ce dernier est estimé par une formule empirique qui ne tient pas compte de l'effet du vent).

### 3.12.4 Facteurs d'influence à surveiller

Les facteurs d'influence 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.



### 3.13. Seiches

#### 3.13.1 Généralités

La hauteur de seiche annuelle est déterminée par une estimation empirique ou statistique, selon les données disponibles. Elle s'appuie sur un retour d'expérience ou des mesures effectués sur une période d'au moins une année.

Les mesures en mer 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 sera étudiée.

#### 3.13.2 Facteurs d'influence à surveiller

Les facteurs d'influence à surveiller sont :

- ❑ la réalisation de grands travaux portuaires à proximité du site,
- ❑ la création ou modification d'ouvrages côtiers du site.

### 3.14. Particularités des sites en estuaire

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 paragraphe 3.8.3.2.

Les effets météorologiques sur l'ensemble du domaine de calcul, ainsi que les effets liés à la propagation de la surcote dans l'estuaire, 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 3.10.1. Ce scénario est maintenu pendant une durée tenant compte de la dynamique de la marée et une direction dont le caractère majorant est vérifié.

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.





## 4. PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS

Les recommandations ci-dessous sont de deux types :

- ❑ certaines portent sur l'organisation de l'exploitant et sur les dispositions d'exploitation qui mériteraient d'être mises en œuvre pour anticiper et gérer les risques liés aux inondations externes ;
- ❑ certaines portent sur la conception de l'installation. Ces recommandations ont été élaborées dans l'optique de la conception d'une nouvelle installation. Pour une installation existante dont la conception ne tiendrait pas compte de ces recommandations, il conviendra de déterminer si, le cas échéant après mise en œuvre de certaines améliorations, un niveau suffisant de protection des intérêts mentionnés à l'article L.593-1 du code de l'environnement peut être obtenu.

### 4.1. Spécificités d'une inondation

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

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...).

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'embâcles ou de corps flottants. Ceci peut affecter la disponibilité de certains équipements.

Une inondation peut de plus être accompagnée d'autres phénomènes (foudre, vent...).

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

### 4.2. Principes de protection

Pour chaque SRI considérée, des dispositions de protection sont à mettre en place en vue d'assurer le maintien des fonctions de sûreté qui pourraient être affectées.

Les dispositions matérielles et organisationnelles de protection :

- ❑ des sites,
- ❑ des bâtiments contenant des EIP liés à la sûreté nucléaire dans la situation considérée,
- ❑ des locaux contenant ces EIP au sein de ces bâtiments,
- ❑ 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 autant que nécessaire.





Les spécificités des inondations, notamment celles évoquées au paragraphe 4.1, sont prises en compte dans la définition et le dimensionnement de ces dispositions. Le niveau de protection est adapté aux risques présentés par l'installation. Selon les phénomènes à l'origine de l'inondation et la nature des protections, un événement d'une intensité supérieure à celle de la SRI peut conduire à un effet falaise. On est en présence d'un **effet falaise** lorsque, partant de la SRI, une légère aggravation de la situation d'inondation (par exemple : un niveau d'eau qui dépasse une digue de protection) conduit à une dégradation significative des fonctions de sûreté. Pour chaque SRI, il convient de rechercher et d'analyser les éventuels effets falaise.

Pour ce qui concerne les fonctions de sûreté dont le maintien doit être assuré en cas d'inondation, le dimensionnement de l'installation est effectué sur la base des SRI définies. En outre, la conception des protections et leur dimensionnement tiennent compte :

- des objectifs de protection des intérêts mentionnés à l'article L.593-1 du code de l'environnement pour ce qui concerne la sûreté nucléaire de l'installation,
- des résultats de l'analyse des effets falaise,
- des évolutions prévisibles du climat sur la durée de vie envisageable de l'installation considérée<sup>10</sup>.

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

### 4.3. Dispositions matérielles de protection

#### 4.3.1 Généralités

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

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

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 EIP liés à la sûreté nucléaire. 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 installés de manière à pouvoir remplir les fonctions de sûreté en faisant l'hypothèse d'une présence d'eau sur le sol.

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

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.

Les dispositions matérielles qui sont nécessaires pour maîtriser les conséquences des SRI font l'objet d'exigences définies, au sens de l'article 1<sup>er</sup>.3 de l'arrêté du 7 février 2012 susvisé, adaptées afin de garantir leur fiabilité et leur efficacité dans les conditions où elles pourront être sollicitées. Il en est de même pour les dispositions matérielles dont le fonctionnement ou les performances sont pris en compte dans la détermination des SRI.

L'évolution de l'environnement de l'installation, notamment l'évolution climatique, peut amener l'exploitant à réévaluer les caractéristiques des situations d'inondation à considérer tout au long de la vie

---

<sup>10</sup> Au jour de la rédaction du guide, ce dernier point concerne les SRI qui dépendent du niveau marin.



de son installation. Pour cette raison, il convient de privilégier des dispositions matérielles présentant des facilités d'adaptation ultérieure.

#### 4.3.2 Suivi des caractéristiques du site

L'exploitant présente dans les rapports de sûreté de l'installation, mentionnés aux articles 8, 20, 37 et 43 du décret du 2 novembre 2007 susvisé, 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 pouvant résulter par exemple de modifications de l'environnement du site ou des évolutions climatiques, notamment pour les « facteurs d'influence à surveiller » mentionnés au chapitre 3.

Lorsqu'un événement susceptible de causer une inondation survient pendant la vie de l'installation, l'exploitant prend toutes les dispositions pour collecter et analyser les informations pertinentes pour le site et relatives à cet événement (hydrogramme, zones inondées, cotes observées, embâcles...). Ces informations sont utilisées pour avoir une meilleure connaissance du site et améliorer les études à venir, en contribuant par exemple à préciser le calage d'un modèle.

#### 4.3.3 Dispositions matérielles passives

##### 4.3.3.1. *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, l'exploitant examine le comportement de ces ouvrages dans le cadre du dépôt de la demande d'autorisation de création de l'INB et lors des réexamens de sûreté.

L'exploitant justifie ce comportement et son maintien, y 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, si besoin est, sur des conventions passées avec leurs exploitants.

Pour ce qui concerne les dispositions de protection internes au site, l'exploitant porte une attention particulière aux possibilités de bipses (passages aménagés dans les digues...).

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

Le calage de la plate-forme de l'installation à une cote supérieure à la cote d'eau maximale évaluée sur l'emprise de l'installation compte tenu de l'ensemble des SRI pertinentes 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.

Il convient de privilégier les réseaux gravitaires pour tenir compte de la possibilité d'une perte des alimentations électriques externes du site. L'exploitant traite les points singuliers du réseau présentant un risque d'embâcles, au moyen de dispositions d'entretien adaptées ou en prévoyant des actions de secours.

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.

Les bassins d'orage ne sont pas nécessairement dimensionnés sur cette base pour autant que leur comportement en cas de pluies de référence ne remette pas en cause le maintien des fonctions de sûreté.



#### 4.3.3.3. *Ouvrages hydrauliques*

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

Les bassins et les 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 contribuer 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.

Lorsque des galeries souterraines contiennent des EIP liés à la sûreté nucléaire, elles sont conçues de telle sorte que les EIP qu'elles abritent ne soient pas atteints par les eaux ou, à défaut, puissent assurer leur rôle en présence d'eau conformément au II de l'article 2.5.1 de l'arrêté du 7 février 2012 susvisé.

#### 4.3.3.4. *Rehaussement des seuils*

Afin de limiter les entrées d'eau dans les locaux contenant des EIP liés à la sûreté nucléaire, une bonne pratique consiste à disposer des 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.

#### 4.3.3.5. *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.

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.

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.

#### 4.3.3.6. *Protection volumétrique*

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

Le volume de protection 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.

En complément, 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 EIP liés à la sûreté nucléaire. Les dispositifs d'obturation 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.



#### 4.3.4 Autres dispositions

##### 4.3.4.1. *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.

Le système d'alerte mis en place par l'exploitant permet une anticipation suffisante pour mettre en œuvre l'ensemble des mesures de protection nécessaires, 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.

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

##### 4.3.4.2. *Surveillance des installations*

Au titre de la détection des écarts prévue par l'article 2.6.1 de l'arrêté du 7 février 2012 susvisé ou de la veille prévue à l'article 3.10 de cet arrêté, 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.

##### 4.3.4.3. *Fonctions supports*

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

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

##### 4.3.4.4. *Moyens mobiles*

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.

##### 4.3.4.5. *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.

##### 4.3.4.6. *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.

#### **4.4. Dispositions organisationnelles de protection**

Conformément au II de l'article 2.5.1 de l'arrêté du 7 février 2012 susvisé, 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.

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, vérification périodique de leur disponibilité, consignes d'alerte, formation...) permettant la bonne exécution de ces actions dans les délais prévus. L'exploitant formalise ces dispositions d'organisation dans les règles générales d'exploitation (RGE) ou dans le plan d'urgence interne (PUI).

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...

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 et des moyens matériels requis et la permanence des communications nécessaires à la gestion de crise. Il vérifie que les conditions de circulation sur le site, dans la situation considérée, permettent la mise en œuvre de ces modes opératoires.

#### **4.5. Évaluation des conséquences**

L'exploitant justifie le bien-fondé et l'efficacité à l'égard de la sûreté nucléaire des dispositions de protection qu'il retient, notamment au titre de l'article 3.7 de l'arrêté du 7 février 2012 susvisé, sur la base d'une évaluation des conséquences des situations envisagées.

Dans ce cadre, l'exploitant tient compte notamment des phénomènes suivants :

- ❑ lessivage éventuel des aires, locaux ou matériels contaminés par des substances radioactives ou chimiques,
- ❑ apparition éventuelle de nouvelles voies de transfert de produits radioactifs ou chimiques dues à l'inondation.

Pour les risques non radiologiques, les scénarios (substances et hypothèses retenues) considérés pour cette évaluation sont adaptés aux enjeux.



## GLOSSAIRE

*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 de l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire référencé IRSN/DSR n°149 portant sur la méthode REX-Blayais élaborée par EDF, ainsi que sur la base de dictionnaires de français et d'ouvrages de référence (Dictionnaire Français d'Hydrologie, Encyclopédie de l'Hydrologie Urbaine et de l'Assainissement, etc.).*

### **Approche régionalisée**

L'approche régionalisée est fondée sur l'utilisation des données issues de différents sites appartenant à une même « région hydrologique » (ensemble de sites présentant une certaine homogénéité hydro-météorologique). Cette approche permet l'utilisation d'une information plus abondante que celle provenant d'une chronique d'observations issue d'une seule station de mesure.

### **Aquifère**

Un aquifère est un 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. C'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.

### **Artésianisme**

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

### **Bassin versant**

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

### **Bief**

Un bief est un tronçon d'un chenal découvert entre deux sections transversales.

### **Calage**

Le calage d'un modèle hydraulique numérique (cf. ci-après) a pour objectif d'assigner aux paramètres d'ajustement, principalement aux forces de frottement du terrain (coefficient de Strickler), les valeurs qui permettent de reproduire au mieux les écoulements naturels observés, pour un ensemble d'événements hydrologiques représentatifs des différents régimes de fonctionnement hydraulique du cours d'eau étudié. Il est à noter que l'étape de calage permet d'ajuster le modèle pour des crues de l'ordre de grandeur des crues observées et donc significativement inférieures aux crues envisagées dans ce guide.

### **Casier**

Pour simuler les écoulements d'un cours d'eau en crue à partir d'une modélisation hydraulique numérique (cf. ci-après) à une dimension (1D), il peut être nécessaire de compléter le modèle par des casiers afin de représenter l'inondation des zones inondables au-delà du lit mineur. Les casiers sont reliés au lit mineur et entre eux par des liaisons hydrauliques qui représentent des déversoirs, des siphons, des surverses ou des brèches dans des digues... Les vitesses d'écoulement dans les casiers sont nulles par hypothèse.





### **Coefficient de Strickler**

Le coefficient de Strickler est un coefficient de frottement, exprimé en  $m^{1/3}/s$ , qui caractérise la rugosité d'un terrain ou d'un ouvrage hydraulique. Il traduit la plus ou moins grande résistance opposée au passage de l'eau et constitue un paramètre déterminant du calcul de la vitesse des écoulements. Il est usuellement employé dans les modèles numériques d'évaluation de niveaux d'eau. Il est généralement utilisé comme paramètre de calage des modèles, dans les zones où une inondation a été observée et quantifiée.

### **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 l'année considérée.

### **Données de pluies « centrées » et « non centrées »**

Les données pluviométriques journalières qui correspondent à des cumuls relevés à heures fixes sont des données dites « non centrées ». Une autre possibilité, envisageable uniquement avec un enregistrement à pas de temps fin, consiste à faire glisser l'origine du pas de temps jusqu'à trouver le plus fort cumul. On parle alors de données « centrées », ce qui donne parfois lieu à des interprétations erronées, le pic instantané du phénomène ne tombant pas nécessairement au milieu du pas de temps. On peut également parler de données à pas de temps glissant. Pour les pluies de durée égale à 24 heures, on vérifie expérimentalement que les pluies maximales centrées sont, en moyenne, 1,14 fois plus fortes que les non-centrées. Le coefficient moyen de 1,14 est appelé coefficient de Weiss.

### **Embâcle et débâcle**

Ces phénomènes consistent en la formation (embâcle) et la disparition plus ou moins rapide (débâcle) de barrages temporaires constitués par l'accumulation de débris flottants ou de glace. Ces obstructions, qui se forment au droit de singularités locales (pont, passage busé, grilles...), entraînent une élévation du niveau d'eau en amont (lors de l'embâcle) ou en aval (lors de la débâcle).

### **Fetch**

Un fetch est la 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 (*H<sub>s</sub>*)**

Dans un champ de vagues, les hauteurs de vagues (entre creux et crêtes) sont variables. La hauteur significative est la moyenne des hauteurs de vagues dont les hauteurs appartiennent au tiers supérieur de la population des hauteurs de vagues.

### **Horsain**

En Normandie, un horsain est quelqu'un d'étranger à la région. Par extension, dans le domaine des statistiques, un horsain désigne une observation dont la valeur s'écarte significativement de celles des autres observations d'un même échantillon de données.

### **Intumescence**

L'intumescence est une onde de déformation de la surface libre de l'eau dans un canal, induite par une variation brutale de la vitesse (du débit) de l'écoulement. Ce phénomène est analogue aux « coups de bélier » pour les écoulements dans des conduites. 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. L'intumescence peut s'observer lors d'un arrêt ou d'un 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'eau d'une centrale nucléaire en circuit ouvert.



### Laisse de crue

Une laisse de crue est une trace laissée par une crue sur un ouvrage ou d'autres supports, indiquant le plus haut niveau atteint.

### Marée théorique

La marée théorique correspond à 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 du niveau de la mer. 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 marée radiationnelle est de 8,5 cm à Calais.

L'onde 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 la marée théorique rapportée au niveau moyen à tout instant au point considéré.

### Mascaret

Un mascaret est un ensemble de vagues qui peuvent apparaître à l'embouchure d'un fleuve, dans des conditions particulières : marée basse de fort coefficient, fleuve à gros débit et très faible niveau d'eau. La marée montante, freinée par le débit fluvial, constitue une série d'ondes positives (surélévations) qui remontent l'estuaire avec une vitesse de quelques km/h à quelques dizaines de km/h.

### Méthode des résidus cumulés

La méthode des résidus cumulés consiste à établir la droite de régression entre deux séries de données, puis à calculer les écarts (résidus) entre cette droite de régression et les valeurs observées. Elle permet de contrôler la qualité de la corrélation entre ces séries. Le graphique figurant la courbe de cumul des écarts en fonction des numéros d'ordre, montre une répartition aléatoire des résidus si les séries sont bien corrélées. Si la corrélation entre les séries est faible, la courbe présente des déviations non aléatoires autour de la valeur nulle.

### Méthode du renouvellement

La méthode du renouvellement est une méthode statistique d'extrapolation à des valeurs extrêmes. Elle repose sur l'utilisation d'un échantillon d'observations supérieures à un seuil, et la combinaison de deux lois pour ajuster les observations : ajustement du nombre annuel de dépassements et ajustement des observations supérieures au seuil. Cette méthode présente notamment un intérêt dans le traitement des séries courtes dont les échantillons sont étoffés par la sélection de valeurs supérieures à un seuil.

### Méthode rationnelle

La méthode rationnelle est une approche simplifiée permettant le calcul du débit maximum à l'exutoire d'un bassin versant soumis à des précipitations données. Elle suppose, d'une part la constance et la répartition uniforme des pluies sur le bassin versant, d'autre part l'homogénéité spatiale de la nature des surfaces réceptrices, autorisant la définition d'un coefficient de ruissellement pour le bassin versant.

Parmi les différentes formulations existantes, celle liée au concept du temps de concentration du site s'écrit :  $Qp = C \cdot i(Tc) \cdot A$

avec  $Qp$ , débit maximum à l'exutoire du bassin versant ( $m^3/s$ ),

$C$ , coefficient de ruissellement (s.u.),

$i(Tc)$ , intensité moyenne de la pluie de durée  $Tc$  (m/s),

$Tc$ , temps de concentration du bassin versant,

$A$ , superficie du bassin versant ( $m^2$ ).

D'autres formules empiriques, telles que la formule de Caquot, permettent de calculer le débit maximum à l'exutoire d'un bassin versant en fonction de la pente et de la superficie de ce bassin versant, du coefficient de ruissellement et de fonctions des coefficients de Montana  $a$  et  $b$ .





## Modélisation (hydraulique) numérique

Une modélisation hydraulique numérique permet de simuler des écoulements sur un terrain ou dans un ouvrage donnés grâce à des codes numériques d'hydraulique qui résolvent notamment les équations de Navier-Stokes régissant la mécanique des fluides, ou des dérivées de ces équations. Pour les écoulements à surface libre, les codes à une dimension (1D – écoulements suivant un axe) et à deux dimensions (2D – écoulements dans un plan) résolvent ainsi généralement les équations dites de Barré de Saint-Venant. Il est alors possible d'en extraire par exemple des niveaux d'eau maximum atteints.

## Montana (formulation de Montana)

La formulation de Montana relie l'intensité moyenne  $i$ , la durée  $t$  et la fréquence de dépassement  $F$  d'un événement pluvieux de durée  $t$ , en fonction de deux paramètres  $a$  et  $b$  dépendant de la fréquence de dépassement  $F$  considérée.

$$i(t, F) = a(F) \cdot t^{b(F)}$$

Ce modèle doit être utilisé avec précaution car un couple particulier de paramètres  $a$  et  $b$  ne permet pas un ajustement correct sur une plage de durées de pluies trop étendue.

## Myer (formule de Myer)

La formule de Myer met en relation des débits caractéristiques (débits moyens, débits décennaux...) et des surfaces de bassin versant.

## Ondes de Favre

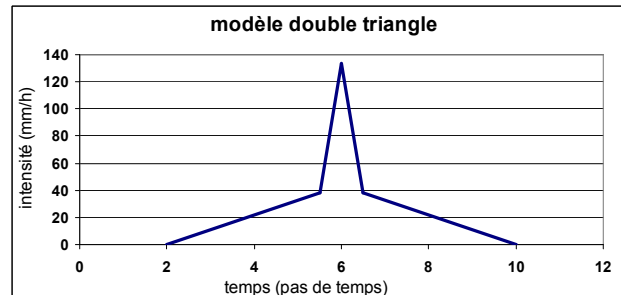
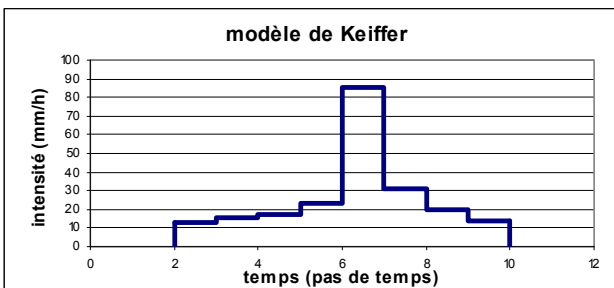
Lorsqu'une onde positive (surélévation) remonte un courant, le front d'onde a tendance à se raidir. Au-delà d'un certain raidissement, on constate l'apparition d'une série d'ondulations qui se superposent à l'onde principale. Ces ondulations sont connues sous le nom de « ondes de Favre » ou « ondes secondaires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

## Période significative ( $T_s$ )

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  $T_{1/3}$ ).

## Pluie de projet (type Keiffer ou double triangle)

Une pluie de projet est un événement pluvieux fictif, statistiquement « représentatif » des observations dont il est issu. La construction d'une pluie de projet consiste à proposer une répartition dans le temps d'un cumul de pluies. Les pluies de projet sont des objets multidimensionnels auxquels il n'est pas pertinent d'attribuer une période de retour. La littérature propose de nombreux types de pluie de projet, parmi lesquels les pluies dites double-triangle (pluies de forme doublement triangulaire constituées d'une période de pluie intense relativement courte située à l'intérieur d'une séquence de pluies longues) et les pluies de type Keiffer (pluies définies de telle sorte que les intensités moyennes des pluies sur différentes durées aient la même période de retour). Les deux figures ci-après présentent deux exemples de pluies de projet de type Keiffer et double triangle.



## **Protection volumétrique**

Une protection volumétrique est un volume de protection rendu étanche par obturation des ouvertures situées dans les parois extérieures de ce volume, afin d'éviter des entrées d'eau dans les locaux abritant des EIP liés à la sûreté nucléaire.

## **Renard**

Un renard est le 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 une vitesse croissant exponentiellement et, très souvent, aboutit en moins de deux heures à l'effondrement de son toit en provoquant une brèche.

## **Seiche**

Une seiche est une 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.

## **SRI**

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 des connaissances actuelles).

## **Stationnarité**

La stationnarité est une hypothèse consistant à considérer que les propriétés de la loi statistique qui régit le phénomène étudié sont invariantes au cours du temps. Cette hypothèse exclut toute variation cyclique de grande période et toute évolution systématique du phénomène au cours du temps. L'hypothèse de stationnarité peut être validée, par exemple, par un test de répartition uniforme de survenue des événements au cours du temps.

## **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 prédit (marée théorique). Les surcotes et décotes sont essentiellement induites par la météorologie (variations de la pression atmosphérique accompagnant le passage d'une perturbation météorologique (dépression ou anticyclone) et action du vent à la surface de la mer engendrant une force de traînée).

## **Surverse**

La surverse est le débordement d'une masse d'eau au-dessus d'un obstacle. Dans le cas d'une surverse d'un cours d'eau au-dessus d'une digue, elle engendre une érosion externe et conduit rapidement à une brèche dans un ouvrage en remblai. Ce mécanisme de rupture est de loin le mécanisme de rupture des levées le plus cité, par exemple pour les très fortes crues qui ont affecté la Loire depuis deux siècles. Dans les années récentes (de 1993 à 2003), le Rhône a connu plus de brèches par renard que par surverse.

## **Vent moyen**

Par convention, en météorologie, le vent moyen est la vitesse du vent, moyennée sur 10 minutes, mesurée à une altitude de 10 mètres.



## LA COLLECTION DES GUIDES DE L'ASN

- N°1 Stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde
- N°2 Transport des matières radioactives en zone aéroportuaire
- N°3 Recommandations pour la rédaction des rapports annuels d'information du public relatifs aux installations nucléaires de base
- N°4 Auto-évaluation des risques encourus par les patients en radiothérapie externe
- N°5 Management de la sécurité et de la qualité des soins de radiothérapie
- N°6 Mise à l'arrêt définitif, démantèlement et déclasséement des installations nucléaires de base en France
- N°7 Demandes d'approbation d'expédition et d'agrément des modèles de colis ou de matières radioactives à usage civil transportés sur la voie publique
- N°8 Evaluation de la conformité des Equipements sous pression nucléaires
- N°10 Implication locale des CLI dans les 3ème visites décennales des réacteurs de 900 MWe
- N°11 Déclaration et codification des critères relatifs aux événements significatifs dans le domaine de la radioprotection (hors INB et transports de matières radioactives)
- N°12 Déclaration et codification des critères relatifs aux événements significatifs impliquant la sûreté, la radioprotection ou l'environnement applicable aux INB et au transport de matières radioactives
- N°13 Protection des Installations nucléaires de base contre les inondations externes
- N°14 Méthodologies d'assainissement complet acceptables dans les installations nucléaires de base en France
- N°15 Politique de Management de la sûreté dans les INB
- N°16 Evénement significatif de radioprotection patient en radiothérapie : déclaration et classement sur l'échelle ASN-SFRO
- N°18 Elimination des effluents et des déchets contaminés par des radionucléides produits dans les installations autorisées au titre du Code de la santé publique



15-21 rue Louis-Lejeune  
92120 Montrouge

Téléphone 01 46 16 40 16  
Télécopie 01 46 16 41 47

