

# Une méthode d'estimation de la probabilité des accidents majeurs de barrages : la méthode du noeud papillon

Christophe Bolvin, Thibault Balouin, Agnès Vallee, Yann Flauw

► **To cite this version:**

Christophe Bolvin, Thibault Balouin, Agnès Vallee, Yann Flauw. Une méthode d'estimation de la probabilité des accidents majeurs de barrages : la méthode du noeud papillon. Colloque technique CFBR / AFEID "Pratique des études de dangers des barrages", Nov 2011, Lyon, France. pp.33-40. ineris-00973632

**HAL Id: ineris-00973632**

**<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00973632>**

Submitted on 4 Apr 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# UNE METHODE D'ESTIMATION DE LA PROBABILITE DES ACCIDENTS MAJEURS DE BARRAGES : LA METHODE DU NŒUD PAPILLON

## *A methodology to estimate probability of dams major accident: a bow tie approach*

Christophe, Bolvin

Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), Direction des Risques Accidentels,  
B.P.2, Parc ALATA, 60550 Verneuil-en-Halatte (France)  
christophe.bolvin@ineris.fr

Thibault, Balouin, Agnès, Vallée, Yann, Flauw

Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), Direction des Risques Accidentels,  
B.P.2, Parc ALATA, 60550 Verneuil-en-Halatte (France)  
thibault.balouin@ineris.fr, agnes.vallee@ineris.fr, yann.flauw@ineris.fr

### MOTS CLÉS

Barrière, Fréquence, Nœud Papillon, Probabilité.

### ABSTRACT

*Article R.214.115 from the French Code de l'environnement – introduced by the 11<sup>th</sup> dec. 2007 Decree n°2007-1735 – plans safety reports for some hydraulic installations (class A and B dams, class A, B and C dikes). The risk control/level safety of the operator is demonstrated by the safety report. This safety report uses a cross analysis based on severity of consequences and probability of identified major accidents. INERIS assesses the probability of major accident through a methodology based on the analysis of scenarios using bow tie diagrams and frequencies/probabilities expressed as range values. The bow tie diagram describes major accident scenarios from root events to accidents. In this methodology, the risk assessor has to identify prevention and protection safety measures and analyses their performances through the study of some criteria. The bow tie approach deploys a step by step method. This method helps demonstrating the decrease in risk level by implementing new safety measures or upgrading existing once. This approach implies the assessment of root events and probability of failure on demand of safety measure as range frequencies/probabilities. As such, the bow tie diagram approach takes into account root events, prevention and protection safety measures to assess the accident frequencies. However the challenge in assessing unlikely events is not solved using this approach as some specific root events have very low occurrence frequencies.*

### RÉSUMÉ

*L'article R.214.115 du Code de l'environnement introduit par le Décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 prévoit la réalisation d'une étude de dangers pour certains ouvrages hydrauliques (barrages de classes A et B ; digues de classes A, B et C). Cette étude a pour objectif la démonstration de la maîtrise des risques par l'exploitant au travers d'une analyse croisée de la gravité des conséquences des effets et de la probabilité d'occurrence annuelle des accidents majeurs identifiés. Afin de réaliser l'estimation en probabilité des accidents, l'INERIS utilise une méthode semi-quantitative qui consiste à analyser les scénarios d'accident en utilisant l'outil nœud papillon. Cet outil décrit les séquences d'événements depuis un évènement initiateur jusqu'à un accident. Les barrières de sécurité intervenant en prévention et en protection sont déterminées, et leurs critères de performance analysés. L'outil nœud papillon permet de mettre en œuvre une approche itérative en vue de démontrer la réduction des risques par l'ajout ou l'amélioration des mesures de sécurité par exemple. Il permet d'estimer la probabilité finale de l'accident majeur en se basant sur la fréquence d'événements initiateurs diminuée par les probabilités de défaillances associées aux barrières de sécurité. Si cette démarche est démonstrative et structurée, elle se confronte toutefois à des difficultés d'identifier une fréquence pour certains événements initiateurs dits « rares ».*

# 1. LA PROBABILITE : UN CRITERE REGLEMENTAIRE RENTRANT DANS LE PROCESSUS GENERAL D'ANALYSE DES RISQUES

## 1.1 Contexte réglementaire

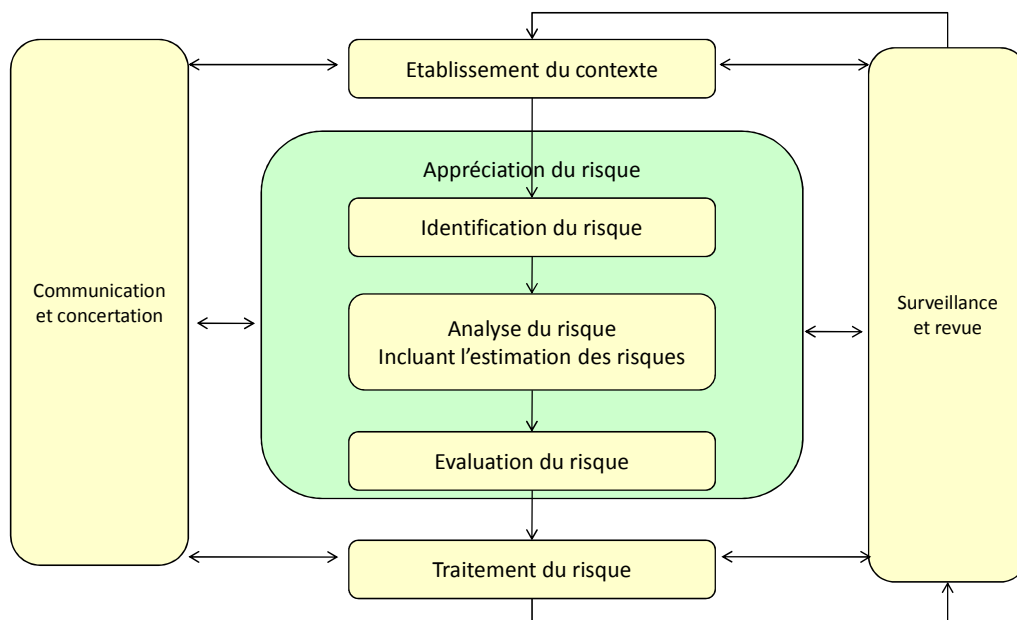
La prise en compte de la probabilité dans le cadre des études de dangers est exigée par l'article R. 214-116 du Code de l'environnement : « *L'étude de dangers [...] explicite les niveaux des risques pris en compte, détaille les mesures aptes à les réduire et en précise les niveaux résiduels une fois mises en œuvre les mesures précitées. [...] Elle prend également en compte des événements de gravité moindre mais de probabilité plus importante tels les accidents et incidents liés à l'exploitation courante de l'aménagement.* »

L'arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu, revient dans son chapitre 8 sur l'identification et caractérisation des risques en termes de probabilité d'occurrence, d'intensité et de cinétique des effets, et de gravité des conséquences.

« *L'étude de dangers s'appuie sur une analyse de risques permettant d'identifier les causes, les combinaisons d'événements et les scénarios susceptibles d'être, directement ou par effet domino, à l'origine d'un accident important. Chaque accident potentiel est caractérisé par sa probabilité d'occurrence, l'intensité et la cinétique de ses effets et la gravité des conséquences pour la zone touchée. En synthèse, les différents scénarios d'accident sont positionnés les uns par rapport aux autres en fonction de leur probabilité d'occurrence et de la gravité des conséquences, évaluée en termes de victimes humaines potentielles et de dégâts aux biens, en mettant en évidence les scénarios les plus critiques* ».

Si les textes requièrent la prise en compte de la probabilité dans les études de dangers, ils rappellent que celle-ci ne peut intervenir qu'à l'issue d'une analyse de risque exhaustive.

Le processus d'élaboration d'une étude de dangers suit donc le phasage classique d'analyse de risques décrit dans la norme ISO 31000 « management du risque », à savoir une phase d'identification du risque (processus de recherche), une phase d'analyse de risques et une phase d'évaluation (processus de comparaison des niveaux de risques aux critères). Ces trois étapes sont décrites dans la figure ci-dessous :



**Figure 1** : Processus de management du risque issu de la norme ISO 31000, Management du risque, principes et lignes directrices

L'estimation de la probabilité intervient donc à l'issue d'un travail d'identification des scénarios d'accidents, des phénomènes redoutés et des mesures de sécurité (ou barrières de sécurité).

## 1.2 L'échelle de probabilité des accidents majeurs

La probabilité annuelle doit être estimée pour chaque accident majeur. La circulaire « étude de dangers barrages » donne l'exemple de trois méthodes présentées dans le tableau 1 ci-dessous :

Echelle de probabilité	E	D	C	B	A
Qualitative (si le REX est suffisant)	« événement possible mais non rencontré au niveau mondial » : n'est pas impossible au vu des connaissances actuelles	« événement très improbable » : s'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité de ce scénario	« événement improbable » : un événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité	« événement probable sur site » : s'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations	« événement courant » : se produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie des installations, malgré d'éventuelles mesures correctives
Semi-quantitative	Cette échelle est intermédiaire entre les échelles qualitative et quantitative, et permet de tenir compte de la cotation des mesures de maîtrise des risques mises en place.				
Quantitative (par unité et par an)	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	

Tableau 1 : Echelle de probabilité réglementaire

L'objectif est de pouvoir estimer la probabilité d'occurrence de chaque accident majeur potentiel conformément à l'échelle en 5 classes (A à E). Pour mémoire, une probabilité est une valeur sans dimension qui varie entre 0 et 1. Conformément au cadre réglementaire, la fenêtre d'observation considérée est l'année. Il est nécessaire de préciser ce que l'on recherche, typiquement la *probabilité d'occurrence annuelle* de A, c'est-à-dire la probabilité que A se produise *au moins une fois* dans l'année.

Au travers de cette explication, on ressent bien que la notion de fréquence est beaucoup plus intuitive et facilement manipulable que celle de probabilité. Pour ces raisons, nous préconisons d'utiliser les fréquences lors des calculs de propagation, et de ne convertir en probabilité qu'à la fin de l'estimation. Cette approche permet d'éviter de nombreuses erreurs.

Les méthodes peuvent être classées en trois catégories. Dans la première catégorie, l'évaluation qualitative qui passe par l'utilisation de qualificatifs du type : « *n'est pas impossible au vu des connaissances actuelles mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années installations* ». Le recours à cette méthode nécessite un bon retour d'expérience. Dans la deuxième catégorie, la probabilité est exprimée par classe. Enfin, dans la dernière catégorie, la fréquence de l'évènement est exprimée en nombre d'occurrences par an.

Le choix de la méthode dépend, dans le cadre des barrages, comme d'ailleurs dans le monde des installations classées, du nombre et de la qualité des données disponibles.

## 2. PRESENTATION DE L'APPROCHE RETENUE PAR L'INERIS POUR LA DETERMINATION DE LA PROBABILITE DE L'ACCIDENT MAJEUR

### 2.1 Le nœud papillon

L'approche retenue par l'INERIS pour estimer la probabilité des accidents majeurs de barrages est l'approche semi-quantitative. Ce choix résulte des travaux que l'INERIS mène depuis une dizaine d'années dans le cadre de programmes européens (notamment le programme ARAMIS [5] terminé en 2004), de programmes d'appui au Ministère de l'Ecologie et d'interventions auprès d'exploitants d'installations classées.

Cette approche propose l'utilisation d'un modèle de représentation des risques, à savoir le nœud papillon. Celui-ci est utilisé d'abord comme outil graphique de représentation des séquences accidentelles puis comme support à l'estimation de la probabilité. Il rassemble un arbre des défaillances et un arbre des événements autour d'un même événement redouté central (ERC). Par consensus, les ERC sont des situations dangereuses. Par exemple, on trouvera la rupture du barrage, mais également la rupture de vanne, la rupture d'un bouchon de galerie ...

Le nœud papillon permet d'avoir une vision globale des scénarios d'accident en mettant en exergue leurs causes, les liens logiques existant entre elles et les barrières de sécurité. La modélisation graphique des séquences accidentelles proposée par cet outil en fait un support adapté pour l'étape d'estimation probabiliste. Le schéma de la figure 2 illustre les principales notions techniques.

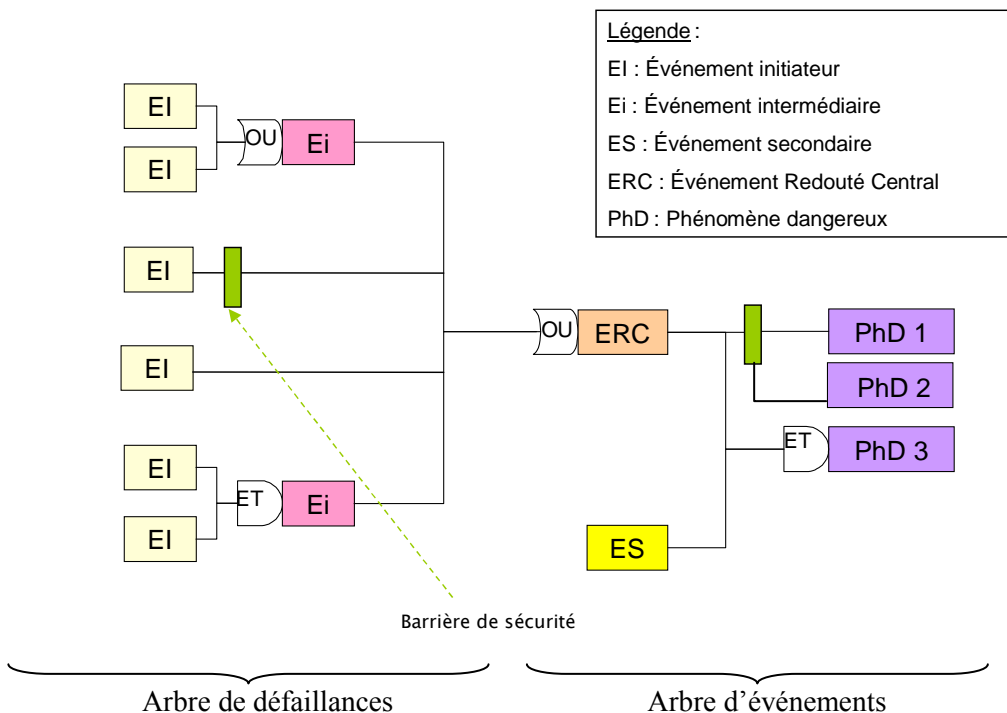


Figure 2 : Nœud papillon

Les événements initiateurs peuvent être des agressions externes ou des défaillances du système étudié. Par exemple, le vieillissement des matériaux, le choc d'embâcles, la défaillance humaine lors d'une manœuvre, la non ouverture de clapets ou encore le séisme, la foudre, l'avalanche ...

Les événements intermédiaires sont des familles d'événements initiateurs. Plusieurs exemples peuvent être donnés :

- les « agresseurs externes », regroupant le séisme, les embâcles, etc. ;
- la « défaillance des évacuateurs de crues », regroupant l'impossibilité d'accéder au barrage et aux organes de manœuvre, la fermeture intempestive des clapets, etc.

Les mesures de sécurité identifiées en amont et en aval de l'ERC peuvent être à la fois des barrières humaines ou des barrières techniques.

Du point de vue pratique, les nœuds papillon mobilisent des méthodes spécifiques des arbres de défaillances et d'événements, et sont réalisés en groupe de travail. Ils permettent de visualiser :

- les scénarios susceptibles de conduire à des accidents majeurs ;
- les mesures de maîtrise des risques ;
- en conséquence directe des deux points précédents, les chemins critiques ne présentant pas suffisamment de mesures de maîtrise du risque.

## 2.2 L'estimation de la probabilité à partir des nœuds papillon

L'étude de dangers doit permettre l'évaluation de la fréquence d'occurrence des phénomènes dangereux (PhD) et/ou des accidents majeurs (AM). Leurs fréquences sont évaluées à partir de la fréquence de l'événement redouté central (ERC) et des événements pouvant survenir entre l'ERC et le PhD et/ou l'AM.

L'évaluation de l'ERC peut être réalisée de deux manières. Premièrement, la fréquence de l'ERC peut être issue de l'évaluation des fréquences des événements initiateurs et de la probabilité de défaillance des barrières de sécurité en prévention de l'ERC. Deuxièmement, la fréquence de l'ERC peut être déterminée directement en utilisant une source de données quantifiée. Le plus souvent, on est amené à travailler à partir des événements initiateurs, compte tenu de données statistiques insuffisantes.

Les fréquences sont déterminées à partir de règles d'agrégation (porte logique OU et ET) usuellement utilisées en amont de l'ERC. Les règles mathématiques, présentées dans le document [2], à appliquer sont le plus souvent peu complexes. Ainsi :

- Pour une porte OU :

$$f_{A \text{ ou } B} = f_A + f_B$$

- Pour une porte ET, on doit prendre en compte les durées moyennes de A et B. En effet, on cherche à quantifier l'occurrence simultanée de A et B, et il est très intuitif qu'ils se produisent simultanément beaucoup plus souvent si chacun dure 3 mois que s'ils ne durent qu'une seconde. On note ces durées  $D_A$  et  $D_B$ . On a alors :

$$f_{A \text{ et } B} = f_A \times f_B \times (D_A + D_B).$$

- Pour un événement secondaire de probabilité conditionnelle d'occurrence  $p$ , ou une barrière de sécurité de probabilité de défaillance à la sollicitation  $p$ ,

$$f = f_{ET} \times p.$$

## 3. LA COLLECTE DES DONNEES D'ENTREE ET LEUR MISE EN ŒUVRE

### 3.1 Introduction

La quantification des probabilités proposée pour la méthode du nœud papillon peut être réalisée en deux étapes :

- la collecte des données d'entrée,
- l'estimation de la probabilité du phénomène dangereux par attribution d'une classe de probabilité.

On se place dans le cadre où les données nécessaires et disponibles sont :

- les fréquences annuelles des événements initiateurs (exprimées sous forme de valeurs ou de classes),
- les probabilités de défaillance à la sollicitation des mesures de maîtrise des risques retenues pour l'évaluation probabiliste (exprimées sous forme de valeurs ou de niveaux de confiance (classes de probabilité)).

### 3.2 La fréquence annuelle d'événements initiateurs

Les événements initiateurs regroupent les causes d'accidents d'origines interne (par exemple la sensibilité intrinsèque du clapet) et externe (par exemple, le choc d'embâcles). Conformément aux exigences de la réglementation, les données utilisées pour mener l'évaluation de la probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux et leur adéquation avec la spécificité de l'installation considérée doivent être justifiées. Le retour d'expérience de l'installation ou d'installations similaires doit être étudié. L'INERIS utilise une échelle de fréquence annuelle spécifique aux événements initiateurs :

...	$10^6$	$10^5$	$10^4$	$10^3$	$10^2$	$10^1$	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	...
	5	4	3	2	1	0		-1	-2	

**Tableau 2 :** Exemple d'échelle de cotation en fréquence annuelle

où la classe de fréquence n correspond aux fréquences comprises entre  $10^{-(n-1)}$  an<sup>-1</sup> et  $10^{-n}$  an<sup>-1</sup>. L'échelle de fréquence n'est ni limitée vers la gauche, ni limitée vers la droite.

Certains événements initiateurs externes ou internes sont traités de façon déterministe dans le domaine des installations classées. Il s'agit, dans ce cas, de démontrer que l'installation qui peut être impactée par l'événement initiateur est conforme à une règle ou un arrêté ministériel. Alors aucune estimation de la probabilité n'est requise pour le scénario engendré par l'événement initiateur.

L'estimation des classes de fréquence des événements initiateurs se base ainsi sur :

- des bases de données génériques ou spécifiques,
- l'expertise des personnes présentes dans le groupe de travail et leur retour d'expérience,
- des modèles probabilistes ou statistiques des sollicitations.

Le groupe de travail se verra notamment questionné sur trois aspects relatifs aux défaillances technologiques :

- Tout ce qui est relatif au contexte de l'événement initiateur étudié (conditions d'opération, design des divers équipements impliqués, etc.)
- Combien de fois l'événement étudié est survenu sur le site considéré ? Y a-t-il des barrières qui ont été mises en place pour réduire sa fréquence d'occurrence ?
- Combien de fois chacune des barrières a été sollicitée ?

Ces questions permettront d'orienter le choix d'une base de données appropriée, et d'appliquer éventuellement un facteur correctif aux données utilisées.

### 3.3 La probabilité de défaillances à la sollicitation des barrières de sécurité

Les barrières de sécurité interviennent en prévention de l'ERC ou en limitation des effets des accidents. Les barrières intervenant dans la maîtrise du risque sont de trois types : les barrières techniques de sécurité, les barrières humaines de sécurité et une combinaison des barrières techniques et humaines.

Parmi la famille des barrières techniques, on peut classer en deux catégories les dispositifs de sécurité et les systèmes instrumentés de sécurité (SIS). Parmi les dispositifs pour les ouvrages hydrauliques, on pourra trouver : des déversoirs à seuil libre, des dispositifs fusibles, tous deux passifs, des vannes à flotteurs. Parmi les SIS, on peut citer les évacuateurs de crues asservis à des détections de niveau. Les évacuateurs de crues fonctionnant en manuel sur une détection sont considérés comme une combinaison de barrières techniques et humaines.

Il existe peu de retours d'expérience, issus d'un ouvrage hydraulique, qui soient formalisés et comportent un nombre de données suffisantes sur une barrière pour pouvoir en déduire des probabilités de défaillance. D'autre part, les sources de données existantes (OREDA, EIREDA,...) apparaissent souvent comme des moyennes de données de fiabilité de dispositifs utilisés dans des contextes différents (plateformes off shore, installations classées ...). Les conditions d'utilisation sont imprécises et les valeurs sont de ce fait difficilement utilisables dans une étude de dangers spécifique de barrage. Leur utilisation supposerait également une bonne connaissance des termes de la fiabilité (distinction entre taux de défaillances sûres et non sûres, temps de référence correspondant à la fréquence des maintenances).

Pour pallier ces faiblesses, l'INERIS a développé une méthode d'évaluation semi-quantitative des barrières techniques et humaines. L'avantage de cette méthode, décrite dans les rapports INERIS Oméga 10 [4] et Oméga 20 [3] (les rapports Oméga formalisent l'expertise de l'INERIS sur un sujet donné), est de permettre une évaluation complète des performances des barrières de sécurité réellement en place sur l'ouvrage étudié. Dans un premier temps, une évaluation de chaque composant de la barrière de sécurité est réalisée dans son contexte d'utilisation.

Les deux premières questions consistent à renseigner la fonction de sécurité remplie par la barrière et à s'interroger sur la question de l'indépendance de la barrière par rapport notamment à l'événement initiateur. Les performances de la barrière ne doivent pas être dégradées par l'occurrence de l'événement initiateur. Ensuite, les performances des barrières sont évaluées au travers de trois critères : efficacité, temps de réponse et niveau de confiance.

Comme spécifié dans l'oméga 10 [4], l'efficacité d'une barrière de sécurité est « l'aptitude de la barrière à remplir la fonction de sécurité pour laquelle elle a été choisie, dans son contexte d'utilisation et pendant une durée donnée de fonctionnement ». Dans l'étude de dangers, l'efficacité d'un détecteur de niveau sera abordée en posant des questions sur ses seuils de détection, son positionnement et les résistances aux contraintes spécifiques par exemple les agressions externes. Lors de l'examen d'un évacuateur de crues, les questions de dimensionnement seront examinées.

Le temps de réponse est défini dans les rapports Omégas 10 et 20 comme « l'intervalle de temps entre le moment où une barrière de sécurité [...] est sollicitée et le moment où la fonction de sécurité assurée par cette barrière de sécurité est réalisée dans son ensemble ». La comparaison de cet intervalle de temps avec la cinétique du phénomène à maîtriser est indispensable. Dans le cadre des mesures de sécurité (qui comprennent une intervention humaine), le délai de diagnostic ainsi que les traitements de l'information et de déplacement du personnel seront comptabilisés dans le temps global de réponse de la barrière.

Le niveau de confiance (NC) permet de déterminer un facteur de réduction de risques. Une agrégation des composants est ensuite réalisée pour qualifier la barrière de sécurité, tout en vérifiant que d'éventuels modes communs de défaillance ne viennent pas dégrader le NC global.

Le niveau de confiance est lié au facteur de réduction du risque et intervient alors dans l'évaluation des fréquences d'occurrence des ERC (pour les barrières de prévention) et dans l'évaluation des fréquences d'occurrence des PhD à partir des fréquences de l'ERC (barrières de protection). Les barrières de prévention réduisent la probabilité d'occurrence d'avoir un événement redouté central : dans une approche semi-quantifiée, si l'événement initiateur a une fréquence de  $10^{-1}$  et que le niveau de confiance de la barrière est NC, correspondant de manière conservatrice à un facteur de réduction de risques de  $10^{NC}$ , la fréquence d'occurrence de l'ERC est alors de l'ordre de  $10^{-(1+NC)}$ . Les barrières de protection réduisent de même la probabilité d'avoir le phénomène dangereux avec les conséquences maximales (en absence de barrières).

Le niveau de confiance est déterminé au terme d'un questionnaire sur les différentes barrières, tel que précisé dans les rapports Oméga 10 et 20. Le niveau de confiance attendu d'un système instrumenté de sécurité (SIS) est défini par extrapolation des SIL (Safety Integrity Level) présents dans les normes de sûreté de fonctionnement NF EN 61508 et NF EN 61511. L'INERIS a étendu ces principes aux dispositifs actifs. Pour les barrières passives et les barrières humaines, un NC maximal a été déterminé à partir d'études bibliographiques, à défaut d'études spécifiques. Dans tous les cas, le NC prévisible est ensuite pondéré en fonction d'un certain nombre de critères.



La démarche proposée dans les rapports Omégas 10 et 20 permet avant tout de fournir une méthode relativement simple pour évaluer la performance des barrières de sécurité, applicable en groupes de travail, notamment lors de la réalisation des analyses de risques. Elle permet de se poser les bonnes questions et d'identifier des améliorations techniques ou organisationnelles.

### **3.4 Avantages et limites de cette approche**

La méthode du nœud papillon présente l'avantage d'apporter un modèle pour la maîtrise des risques : sur tel ou tel scénario, des mesures de sécurité sont-elles présentes, sont-elles suffisantes ? L'intégralité des causes possibles des différents PhD et ERC susceptibles de se produire est listée, puis quantifiée. Par cette quantification, on gagne ainsi une excellente visibilité sur les importances relatives des différentes sources de risque, ce qui permet notamment de savoir où le réduire pour que l'impact soit maximal.

L'une des limites de cette approche réside dans la quantification des événements initiateurs. Le problème d'estimation de la fréquence d'occurrence d'un ERC est en fait repoussé et redécoupé au niveau de différents EI. Cependant, il est, en pratique, plus simple d'estimer les fréquences des EI, car ils sont en général plus courants que les ERC, et donc les bases de données relatives à ces événements sont plus fournies et fiables. Toutefois, certains EI posent problème, typiquement ceux très peu fréquents et sur lesquels les données n'existent pas toujours, comme les séismes.

## **4. CONCLUSIONS**

L'article R.214.115 du Code de l'environnement introduit par le Décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 prévoit la réalisation d'une étude de dangers pour certains ouvrages hydrauliques (barrages de classes A et B, digues de classes A, B et C). Cette étude a pour objectif la démonstration de la maîtrise des risques par l'exploitant au travers d'une analyse croisée de la gravité des conséquences et de la probabilité d'occurrence annuelle des accidents majeurs identifiés. La méthode semi-quantitative du nœud papillon permet d'analyser les scénarios d'accident et d'estimer leur probabilité. Cet outil décrit les séquences d'événements depuis un événement initiateur jusqu'à un accident. Les barrières de sécurité intervenant en prévention et en protection sont déterminées, et leurs critères de performance analysés. L'outil nœud papillon permet de mettre en œuvre une approche itérative en vue de démontrer la réduction des risques par l'ajout de nouvelles mesures de sécurité ou l'amélioration des mesures de sécurité existantes par exemple. Il permet d'estimer la probabilité finale de l'accident majeur en se basant sur la fréquence d'événements initiateurs diminuée par les probabilités de défaillances associées aux barrières de sécurité. Si cette démarche est démonstrative et structurée, elle se confronte toutefois à des difficultés d'identifier une fréquence pour certains événements initiateurs dits « rares ».

## **RÉFÉRENCES ET CITATIONS**

- [1] De Dianous et al. (2007). La prise en compte de la probabilité dans les études de dangers. *Préventique sécurité*, N°95, 32-37.
- [2] INERIS (2008). Estimation des aspects probabilistes. Guide pour l'intégration de la probabilité dans les études de dangers. Site internet [www.ineris.fr](http://www.ineris.fr).
- [3] INERIS (2009). Evaluation Démarche d'évaluation des Barrières Humaines. Oméga 20. Site internet [www.ineris.fr](http://www.ineris.fr).
- [4] INERIS (2008). Evaluation des performances des Barrières Techniques de Sécurité. Oméga 10. Site internet [www.ineris.fr](http://www.ineris.fr).
- [5] INERIS (2004). ARAMIS, Développement d'une méthode intégrée d'analyse des risques pour la prévention des accidents majeurs. Site internet [www.ineris.fr](http://www.ineris.fr).