

MAITRISE DES RISQUES LIES AUX EVENEMENTS NATURELS EXTREMES RISK MANAGEMENT ABOUT EXTREME NATURAL EVENTS

Auteurs :

Alain Gelly

Cliris
6 rue de Bitche
Courbevoie

Marie Gallois et Carole Duval
EDF R&D
1 avenue du Gnl de Gaulle
Clamart

Jean-François Lechaudel
TOTAL
Tour TOTAL
La Défense

Myriam Rabardy
Andra
1-7 rue Jean Monnet
Chatenay Malabry

Bernard Maillot
CEA
18 route du Panorama
Fontenay aux Roses

Marc Antoine
TDF
24 chemin de la Cépière
Toulouse Cedex 1

Mathieu Reimeringer
INERIS
Parc Technologique Alata BP2
Verneuil en Hallatte

Résumé

Le nombre et l'impact des événements naturels extrêmes s'amplifient d'année en année. Les systèmes complexes doivent être protégés face à leur violence. La démarche de maîtrise des risques relève d'une méthodologie commune aux différents secteurs industriels : caractérisation des événements naturels extrêmes, suivie d'une mise en place de dispositifs visant à prévenir l'impact des événements naturels extrêmes, et à gérer la crise.

Même si les textes légaux sont un cadre commun, la définition de ces dispositifs est propre à chaque secteur d'activité qui se doit de les adapter à la spécificité de son domaine et de sa propre typologie de risques. Il en résulte un manque d'homogénéité qui peut limiter l'efficacité du dispositif dans sa globalité.

Summary

The number and impact of extreme natural events year after year are amplified. Complex systems must be protected against their violence. The process of risk management is a common methodology to different industrial sectors: characterization of extreme natural events, followed by introduction of devices to prevent the impact of extreme natural events, and to manage the crisis.

Although legal texts are a common framework, the definition of these devices is specific to each industry that must adapt to the specificity of its activities and their own type of risk. This results in a lack of homogeneity which may limit the effectiveness of the device as a whole.

Objectif

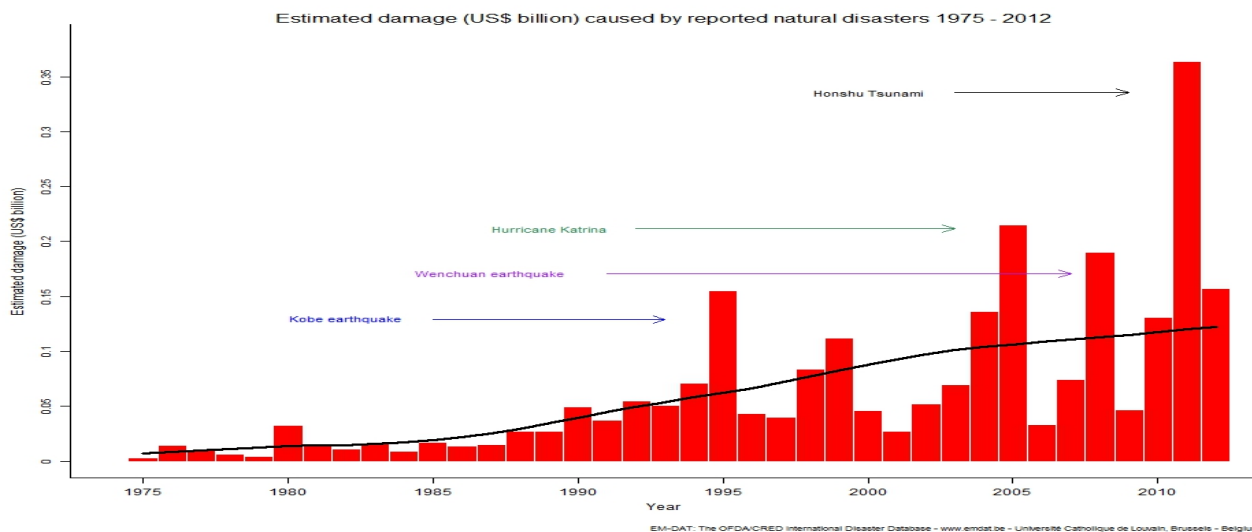
L'objectif de la présentation est de faire le point sur :

- La caractérisation des aléas à très faible probabilité, leurs conjonctions et conséquences extrêmes ;
- Les conséquences de ces événements sur la vulnérabilité et l'indisponibilité des sous-systèmes au sein des systèmes complexes.
- L'état de l'art sur les recherches en cours pour prévenir et réduire les conséquences de ces risques, ainsi que les actions à mener sur les points de faiblesse constatés

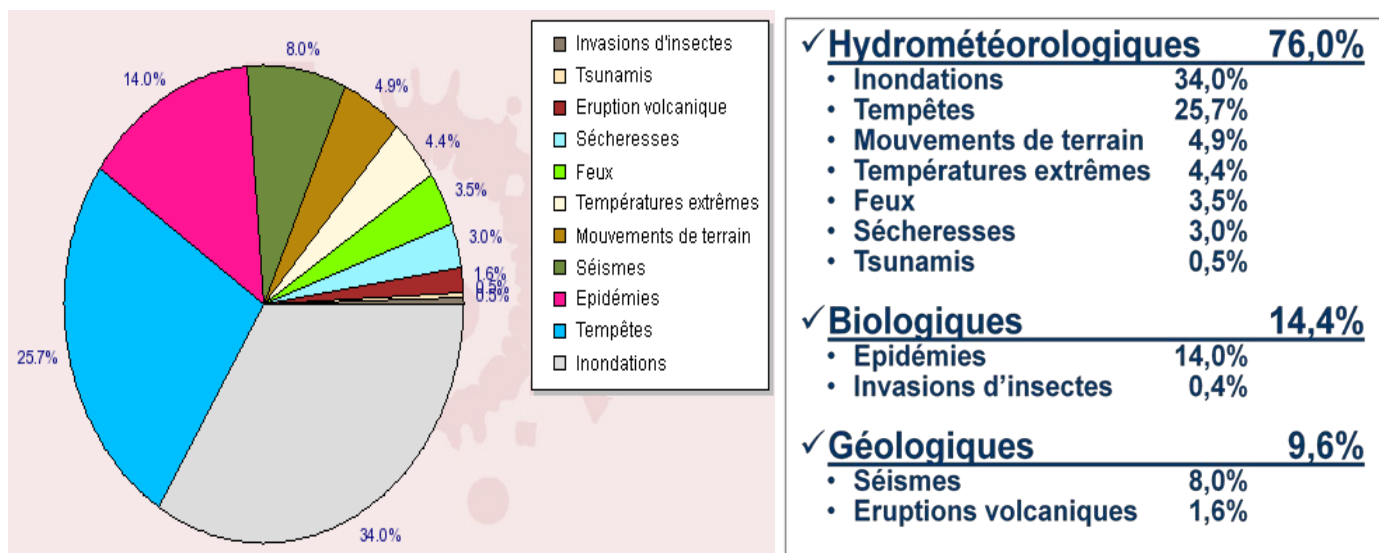
Contexte

On constate une survenance de plus en plus régulière d'événements naturels extrêmes dont les conséquences sont toujours plus importantes ces dernières années (voir ci-dessous les courbes d'évolution de EM-DAT : The OFDA/CRED International Disaster Database –www.emdat.be – Université catholique de Louvain – Brussels – Belgium). Par ailleurs, les médias fournissent toujours plus d'informations sur ces événements, leur gestion et leurs conséquences.

Dans ce contexte, la prévention de l'impact potentiel des risques liés aux événements naturels extrêmes est devenue particulièrement importante, notamment pour les systèmes complexes.



Les inondations et les tempêtes restent les catastrophes les plus fréquentes. En effet, elles représentent plus de 60% des catastrophes naturelles dans le monde de 1990 à 2007 (source EM-DAT : The OFDA/CRED International Disaster Database www.em-dat.net). A noter la part des épidémies qui est de 14%.



Type de catastrophes survenues dans le monde de 1990 à 2007
 Crédit : EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database
 www.em-dat.net

Méthode générale

Les méthodes de maîtrise des risques liées aux événements naturels extrêmes sont classiques.

Il convient en tout premier lieu d'identifier les différents types d'événements naturels extrêmes auxquels les systèmes complexes sont confrontés, leurs caractéristiques et effets physiques. La connaissance de leurs niveaux et probabilités associées est une nécessité pour définir les parades à mettre en œuvre.

Les principaux risques naturels ou conditions climatiques extrêmes auxquels les systèmes complexes peuvent être confrontés sont les suivants :

- Géologiques : séismes et éruptions volcaniques ;
- Inondations : tsunamis, autres phénomènes de houle, de crue, de surcote ;
- Météo : tempêtes, cyclones, orages, précipitations extrêmes (eau, grêle, neige), givre, températures extrêmes (grand froid ou canicule).

Il convient ensuite d'étudier les menaces qu'ils représentent. Ces menaces peuvent être différentes selon les domaines considérés, tels que, l'énergie, l'industrie pétrolière, les télécommunications, l'audio-visuel... Elles sont donc priorisées différemment.

Enfin, il convient de définir les différentes règles et méthodes employées dans chacun des domaines pour maîtriser ces risques extrêmes.

Caractérisation générale des événements naturels extrêmes

Les événements naturels extrêmes sont caractérisés par leur impact et leur fréquence.

La puissance d'un séisme se mesure par

- son intensité via l'échelle modifiée de Mercalli qui possède 12 graduations (cf table en annexe)
- et son amplitude ou magnitude via une échelle ouverte basée sur celle de Richter où chaque graduation représente un facteur 32 de l'énergie libérée, c'est-à-dire qu'un accroissement de magnitude de 1 correspond à une multiplication par 32 de l'énergie et par 10 de l'amplitude du mouvement.

Le séisme est pris en compte de manière déterministe, à partir de spectres définis par des réglementations ou recommandations des autorités, établis avec un objectif probabiliste de son occurrence compris entre 10⁻³ et 10⁻⁵ par an, selon les installations et/ou leurs localisations géographiques

Les tornades sont classées selon l'échelle de Fujita suivant la vitesse des vents et les dégâts qu'elles occasionnent (cf table en annexe).

Les cyclones, ouragans et typhons sont gradués selon l'échelle ouverte de Saffir-Simpson formulée en 1971. Elle tient compte de la vitesse des vents, des dégâts possibles, de la pression barométrique et de l'augmentation du niveau de la mer (cf table en annexe). Les cyclones de catégorie 3, 4 et 5 sont des cyclones tropicaux intenses:

En France, les informations pour les neiges et vents sont actuellement principalement tirées de la cartographie des charges de neige sur le sol en France adoptée dans l'annexe nationale de l'Eurocode 1 - partie 1-3 (norme NF EN 1991-1-3/NA).

Approches dans les différents domaines technologiques

Industrie pétrolière

Les principaux risques naturels ou conditions climatiques extrêmes auxquels les activités peuvent être confrontées sont :

- Les séismes et éruptions volcaniques ;
- Les tsunamis et autres phénomènes de houle ;
- Les tempêtes, cyclones, orages, précipitations ;
- Les grands froids.

Les règles ou principes pris en compte pour définir et mettre en œuvre les protections nécessaires sont :

- L'ISO 19901-2 et IPIRP 2A pour les séismes et éruptions volcaniques + études particulières de site ;
- L'ISO 19901-1 et API RP2A & 2SK pour les tsunamis et autres phénomènes de houle + études particulières de site ;
- L'ISO 19901-1 et API RP2A & 2SK pour les tempêtes, cyclones, orages, précipitations + études particulières de site ;
- Des études particulières de site pour les grands froids.

La façon de répondre à ces enjeux s'articule autour des deux points suivants :

- Une gestion de crise performante. Cela passe par la nécessité de savoir de manière instantanée combien de personnes (expatriés, locaux, missionnaires) se trouvent dans les établissements (le POB), et de pouvoir compter sur un réseau de délégués pays mobilisables à tout moment. De même, la succession de cyclones aux US a rendu obligatoire l'établissement à froid de plan de repli et de continuité d'activités (les PCA), mis en œuvre régulièrement ;
- La nécessaire réévaluation des standards techniques de design ou d'opération, en fonction des risques identifiés, réévaluation qui peut également être à l'initiative d'une administration nationale (séisme en France, vague centennale et plus en Norvège...).

De façon générale, ce sujet est le point de rencontre de deux complexités :

- celle relative aux risques naturels ;
- celle relative aux risques technologiques.

La première difficulté est de caractériser l'aléa naturel, en termes de probabilité et d'intensité, en un lieu donné. Des données peuvent exister, selon les pays. En particulier, pour les deux premiers risques mentionnés ci-dessus, en l'absence de données, un travail peut donc consister à caractériser l'aléa, avec comme challenge - notamment - d'extrapoler à partir de données mesurées, collectées sur une période d'observation. Des équipes internes et des sociétés spécialisées sont mobilisées sur cette première partie ;

La seconde difficulté est d'évaluer la résistance de nos opérations ou de nos installations en fonction de scénarios physiques d'agression identifiés dans des modes de fonctionnement très dégradés et dans un environnement lui-même totalement désorganisé. Le sujet est a priori plus classique,

In fine, cela se traduit par des décisions de design ou de renforcement en fonction de l'estimation du risque. Hors éléments réglementaires propres au pays concerné, les standards sont à minima ceux de l'industrie pétrolière tels que définis par l'API (American Petroleum Institute) ou l'OGP (International Association of Oil and Gas Producers). Ils tiennent compte de l'ensemble du retour d'expérience de l'industrie pétrolière.

Celui-ci est d'autant plus pertinent qu'il prend en compte de nombreux sites à travers le monde et - chaque année - il existe plusieurs exemples de sites sollicités par ces événements extrêmes.

Bien évidemment, chaque société peut compléter ces standards de son propre retour d'expérience.

Production d'électricité

Les agressions d'origine naturelle prise en compte dans la démonstration de sûreté du parc de centrales nucléaires d'EDF existant sont :

- Les séismes ;
- Les inondations ;
- Les précipitations ;
- La foudre ;
- L'arrivée massive de colmatants
- La neige et le vent ;
- Les grands froids et les grands chauds ;
- Les bas niveaux d'eau et la sécheresse.

Les règles ou principes pris en compte pour définir et mettre en œuvre les protections nécessaires sont :

- La RFS 2001- 01 et le Séisme Majoré de Sécurité qui correspond au Séisme Maximum Vraisemblable Historique (SMVH) majoré de 1 point sur l'échelle MSK pour les séismes ;
- La RFS 1.2.e et le guide inondation ASN pour les inondations ; Sont prises en compte les crues millénales majorées de 15%, les houles centennales, ainsi que les conjonctions de plusieurs événements ;
- Les « Pluies de Forte Intensité » (PFI) et les « Pluies Régulières et Continues » (PRC) centennales selon l'approche méthodologique décrite dans l'instruction ministérielle (N°77-284 du 22/06/77) précisée dans les Techniques de l'ingénieur "Assainissement des agglomérations C 4200, pour les précipitations ;
- L'arrêté du 15 janvier 2008 relatif à la protection de certaines installations classées et la norme NF EN 62305-2 qui lui est associée pour la foudre ;
- L'arrivée massive de colmatants
- La Règle « Neige et Vents » NV 65 pour la neige et les grands vents, ainsi que la prise en compte des risques de projection de planches, tôles et véhicules selon la règle « Neige et vents »
- Un « référentiel interne grands chauds » a été mis en place pour les grands chauds ; Il prend en compte les Températures exceptionnelles (TE), les Températures de Longue Durée (TLD), ainsi que les situations de cumul avec la perte de ressources d'énergie externes
- La température minimale quotidienne centennale (- 26° à – 33°C) et la température moyenne centennale sur une journée (-20° à – 28°C) sont considérées pour les grands froids ; Les situations de cumul avec la perte de la ressource d'énergie externe est également prise en compte
- Les « Plus Basses Eaux de Sûreté » (PBES) millénales minorées pour la sécheresse.

Leur risque a été pris en compte dès la conception, ou bien elles ont fait l'objet d'une vérification postérieure à la conception, suite au Retour d'Expérience (cas des grands Chauds par exemple).

Des niveaux d'aléas pris en compte dépendent des agresseurs, par exemple la vérification des dispositions de protection des tranches vis-à-vis du risque de crue est réalisée, en cas d'une crue millénales majorée de 15%. Les combinaisons d'aléas sont aussi prises en compte (houle centennale conjuguée avec un niveau marin égal à une marée astronomique + une surcote millénales).

EDF R&D a mis au point en 2011 un document méthodologique qui fait la synthèse des pratiques des différents métiers du groupe (hydraulique maritime, météorologie, hydrologie...) pour la caractérisation des événements extrêmes. Des travaux en cours pour lever les verrous scientifiques et techniques qui subsistent dans les méthodologies essentiellement liés à la taille trop courte des échantillons observés.

Du point de vue des parades, le concept de défense en profondeur est appliqué, basé sur des niveaux de défense pour :

- Prévenir : qualité de conception, de réalisation et d'exploitation
- Protéger : surveillance et maintien dans le domaine autorisé
- Limiter les accidents avec mise en œuvre de dispositifs de sécurité : définir des scénarios d'accidents, mettre en place de moyens pour les détecter, leur faire face et en limiter les conséquences

Ces parades sont de natures techniques mais peuvent aussi être humaines et/ou organisationnelles.

Installations Nucléaires du CEA

Le CEA, comme les autres exploitants nucléaires, met en œuvre sur l'ensemble de ses installations, une démarche de sûreté intégrant à la fois, au niveau de la conception, du dimensionnement et de l'exploitation, la mise en œuvre de barrières successives et la mise en application du concept de défense en profondeur basé sur des niveaux de défense destinés à :

- prévenir : qualité de conception, de réalisation et d'exploitation,
- protéger : surveillance et maintien dans le domaine autorisé,
- limiter les accidents avec mise en œuvre de dispositifs de sécurité.

L'exploitant nucléaire postule des accidents et met en place les moyens de les détecter, d'y faire face et d'en limiter les conséquences. Il établit notamment un plan d'urgence interne prévoyant des dispositions permettant de gérer les situations de crise afin de limiter les conséquences des accidents étudiés.

En outre, suite à l'accident survenu à la centrale de Fukushima Daichi, à la demande du Premier Ministre, ont été menées des évaluations complémentaires de sûreté des installations selon un cahier des charges établi par l'Autorité de Sûreté Nucléaire. Elles consistent en une analyse des marges de sûreté des installations, au-delà des marges déjà prises lors du dimensionnement.

L'approche déterministe consiste :

- à identifier les situations redoutées susceptibles de conduire à un risque d'effet « falaise »¹,
- à identifier les équipements essentiels qui permettent de prévenir ces situations
- et à évaluer la robustesse et les marges disponibles sur ces équipements (séisme, inondation).

¹Effet falaise = forte discontinuité dans le comportement de l'INB conduisant à une brusque dégradation des séquences accidentelles, notamment en termes de quantités de produits radioactifs ou dangereux mobilisées.

Ces évaluations conduisent, le cas échéant à définir des noyaux durs, constitués des équipements, systèmes et composants robustes aux agressions au-delà du dimensionnement des installations, strictement nécessaires pour faire face à ces situations redoutées.

Centres de stockage de déchets radioactifs

La démarche de sûreté menée par l'Andra suit un processus itératif où les analyses de risques constituent les outils assurant un traitement des données relatives à la sûreté en lien avec la configuration de l'installation et de son environnement. Elles visent à restituer les informations indispensables à une prise de décision concernant l'acceptabilité des choix de conception et d'exploitation vis-à-vis des exigences fonctionnelles définies pour l'installation et des objectifs de sûreté fixés.

Les principaux risques externes naturels auxquels sont confrontés les centres de stockage, sont :

- Le séisme,
- L'inondation extrême (notamment pluies et remontée de phréatique extrêmes),
- Les conditions climatiques extrêmes (températures, neige et vents, ...).

Dès la phase de choix du site d'implantation, les risques naturels sont évalués afin de retenir un site présentant des caractéristiques favorables, c'est-à-dire où les risques sont suffisamment faibles pour ne pas affecter la sûreté des installations de stockage des déchets radioactifs (sismicité naturelle faible, hors des zones inondables...).

Ces installations sont dimensionnées et protégées des situations accidentelles liées aux aléas naturels. Certains d'entre eux peuvent être imposés par les Règles Fondamentales de Sûreté (RFS) ou des guides (c'est le cas du séisme ou de l'inondation externe). A titre d'exemple, les règles imposent de dimensionner certaines installations pour résister à des séismes cinq fois plus puissants que tous les séismes envisageables sur le site.

De plus, pour l'exploitation des centres de stockage de déchets radioactifs, comme pour les autres installations nucléaires de base, le concept de défense en profondeur est un principe de sûreté qui est mis en œuvre dès la conception, conformément à l'arrêté du 7/02/2012 fixant les règles générales relatives aux INB, afin de garantir un niveau de sûreté et de sécurité conforme aux objectifs fixés. Il consiste à interposer entre la source de danger (ex : colis de déchets radioactifs) et le public, les travailleurs ou l'environnement un nombre suffisant de dispositions techniques et organisationnelles éliminant ou limitant jusqu'à un niveau acceptable les nuisances possibles liées à cette source (ex : filtration à très haute efficacité sur la ventilation).

Transmission et diffusion audiovisuelles

Les risques naturels les plus impactant sont :

- Le vent pour la tenue des pylônes et des antennes, la chute des arbres sur lignes électriques et empêchant les accès ;
- La neige, le givre qui vient couper les liaisons FH et abattre les arbres sur les lignes d'énergie, empêcher les accès aux sites ;
- L'incendie notamment pour les structures haubanées ;
- Les orages et la foudre pour l'impact direct sur les installations ou indirect par l'alimentation en énergie des sites.

Pour répondre à ces événements naturels, TDF met en place :

- Des redondances structurelles telles que maillage des liaisons, mise en place de groupes électrogènes, doubles adductions d'énergie pour les sites critiques, Le niveau de ces redondances s'appuie sur le niveau de fiabilité nécessaire pour les services et les contraintes ou risques particuliers du site (niveau kéraunique, zone et exposition au vent et à la neige, difficulté d'accès, qualité et type du réseau d'énergie...);
- De l'isolation vis-à-vis de l'extérieur en fonction de «météorage» qui permet de détecter un risque d'orage et de démarrer le groupe électrogène en préventif et ainsi de s'isoler du réseau électrique ;
- Du design adapté à l'importance du site dans le réseau de TDF et au risque généré vis-à-vis des tiers (Calculs aux Eurocodes et choix de la classe de fiabilité de l'ouvrage) ;
- Une organisation d'urgence, avec un NOC (Network Operation Center) capable de mobiliser si nécessaire des équipes réparties sur tout le territoire, par l'intermédiaire d'une responsabilité d'astreinte ;
- Priorisation des services avec délestage des consommations non prioritaires ;
- Des systèmes de télégestion et remontée d'alarme durci : autonomie en énergie accrue, redondance des alimentations...

L'articulation de ces différents éléments se fait par l'intermédiaire de Politiques Techniques fixant les objectifs de résultats en termes de fiabilité (services et énergie) et/ou de niveau de risque global pour les pylônes.

L'application de ces politiques se fait en évaluant site à site les contraintes particulières et le niveau de service attendu.

Ce niveau de service est directement lié aux services clients portés par le site et leurs objectifs particuliers (Contraintes défense...) et à l'importance du site dans le réseau (Maillage ...).

Les contraintes particulières sont :

- La qualité et type de fourniture en énergie
- La densité de foudroiement
- La facilité d'accès au site
- Le relief et la zone de vent pour la calcul des ouvrages

Elles sont évaluées :

- Soit avec les codes de calcul, cartes ou toute règle de l'art ;
- Soit grâce à des études spécifiques visant l'optimisation des « règles de l'art standards » menées par TDF avec des partenaires (comportement dynamique des pylônes haubanés de plus de 200m, essais en soufflerie d'antennes sur structures ...);
- Soit grâce à l'historique propre capitalisé par TDF sur le site concerné (Nombre de démarrage de groupe annuel, qualité de la fourniture d'énergie suivie par « Qualimètre », mesure in situ des vitesses de vent ...).

Ce Calibrage du risque et des moyens de durcissement des installations au niveau national est de plus remis en perspective au niveau international par la participation d'universitaires, Bureaux d'étude, Maitres d'œuvre et Maitres d'ouvrage du domaine « Broadcast » et « Radiocom » travaillant sur les pylônes. (Ex: IASS (International Association of Shell Structure group 4: Tower and Mast))

Niveaux de force des événements naturels externes pris en compte par les secteurs industriels

Les niveaux à partir desquels les événements naturels sont traités comme extrêmes et leur niveau de traitement dépendent des domaines d'activité. La mise en œuvre du même document de référence dans des secteurs différents peut même conduire à des différences pour les valeurs limites de conception des ouvrages.

Les tableaux en annexe 2 fournissent une synthèse des documents de référence, méthodes et valeurs prises en compte.

A titre d'illustration :

Pour les séismes, la démarche probabiliste utilisée dans le secteur du stockage de déchets radioactifs adapte les règles en vigueur à la durée de vie très longue des déchets (jusqu'à 10 000 ans de temps de retour des phénomènes considérés). La démarche probabiliste est aussi utilisée dans le secteur de la production d'électricité pour des fréquences d'occurrence des phénomènes considérés allant de 10^{-1} à 10^{-6} / an.

Le secteur de l'industrie pétrolière prend également en compte de tels temps de retour pour ses ouvrages offshore pour un fonctionnement dégradé. Dans le domaine de la production d'électricité, la crue « millénale majorée de 15% » est utilisée pour le dimensionnement (D'avis d'expert cela correspondrait à la récurrence des aléas avec une fréquence de l'ordre de 10^{-4} / an). Dans les évaluations complémentaires de sûreté (post-Fukushima) une majoration supplémentaire de 30% a été portée à la crue « millénale majorée de 15% » (D'avis d'expert cela correspondrait à la récurrence des aléas avec une probabilité de l'ordre de 10^{-5} / an). Les concepts « d'effet falaise » qui correspond à une forte discontinuité dans le comportement des Installations Nucléaires de Base suite à un accident et de « noyau dur » qui permet de limiter les conséquences d'un accident très grave ont vu le jour suite au retour d'expérience de l'accident survenu à la centrale de Fukushima Daichi.

Chaque secteur mène également des études spécifiques aux sites particuliers selon des méthodes propres, tout en utilisant le retour d'expérience du secteur.

Enfin, les approches sont, selon les cas et les secteurs, soit déterministes soit statistiques.

Une analyse approfondie des différentes approches selon les secteurs fait l'objet d'un projet de recherche en cours de lancement par l'Institut de Maîtrise des Risques.

Conclusion

L'analyse menée montre une relative hétérogénéité selon les domaines concernés :

- Normes et règles de référence
- Approche pour la prise en compte des risques : déterministe ou probabiliste
- Niveau de disponibilité à garantir
- Dispositifs mis en place

Cette hétérogénéité rend difficile des prises de décision cohérentes, ce qui peut rendre peu efficaces certaines dispositions prises.

Il ne semble notamment pas y avoir de réponse universelle aux questions suivantes :

- Quel est le niveau de protection actuel vis-à-vis de ces agressions, comparativement à celui obtenu pour les événements internes ?
- Comment évaluer les fréquences et les conséquences des scénarios résultant de l'occurrence d'aléas naturels externes ? Comment se situent-elles par rapport aux scénarios d'événements internes ?
- Quels seraient les gains procurés par les renforcements contre des agressions naturelles externes de niveaux supérieurs à ceux du dimensionnement ?

Au-delà des analyses menées dans le cadre du Groupe de Travail et de Réflexion « Risques liés aux événements naturels externes », les pistes de recherche que l'on entrevoit visent :

- A étudier les méthodes de traitement du risque associées aux événements internes et aux agressions naturelles externes dans le cadre d'une étude multi-partenaires au sein de l'IMdR en cours de lancement
- A étudier les cumuls, notamment pour les Installations Nucléaires de Base.

Remerciements

En tant qu'animateur du Groupe de Travail et de Réflexion « Risques liés aux événements naturels externes », je tiens à remercier l'ensemble des participants dont la qualité des contributions a permis la préparation de ce document.

Références

- Arrêté du 24 janvier 2011 fixant les règles fixant les règles parasismiques applicables aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) (Cadre réglementaire)
- Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux Installations Nucléaires de Base (INB) (Cadre réglementaire)
- AFNOR, Norme ISO 19901-2 pour les séismes et éruptions volcaniques (Cadre normatif) ;
- AFNOR, Norme ISO 19901-1 pour les tsunamis et autres phénomènes de houle, pour les tempêtes, cyclones, orages et précipitations (Cadre normatif) ;
- AFNOR, Norme NF EN 62305 relative à la protection contre la foudre (Cadre normatif)
- ASN, 2001, RFS n° 2001-01 du 31 mai 2001 relative aux installations nucléaires de base – Détermination du risque sismique pour la sûreté des installations nucléaires de base de surface (Cadre réglementaire)
- ASN, 2013, Guide ASN n° 13 du 8 janvier 2013 relatif à la protection des installations nucléaires de base contre les inondations externes (Cadre réglementaire)
- CEI, Norme CEI 61000 intitulée Compatibilité électromagnétique (CEM) (Cadre normatif)
- CSTB, 2009, Document Technique Unifié P06-002 : Règles NV 65 définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions et annexes (Cadre normatif)
- EUROCODES (Cadre normatif)

Annexe 1 : Gradation d'évènements naturels

Tornades : Echelle de Fujita

Echelle	Vents maximums	Conséquences principales
F0 - dégâts faibles	moins de 118 km/h	antennes tordues, petites branches d'arbre cassées, caravanes déplacées
F1 - dégâts modérés	118 à 180 km/h	aspire l'eau, caravanes renversées, arbres arrachés
F2 -dégâts importants	181 à 253 km/h	toitures soulevées, structures légères brisées
F3 - dégâts très importants	254 à 332 km/h	murs renversés, projectiles de grandes dimensions
F4 - dégâts considérables	333 à 419 km/h	arbres emportés, constructions solides rasées, objets de 100 kg aspirés en altitude
F5 - dégâts exceptionnels	420 à 512 km/h	fortes structures envolées, gros projectiles : le bétail, les véhicules sont aspirés et transportés à plusieurs km de distance, les habitations sont pulvérisées

Tempêtes, cyclones, ouragan, typhons : Echelle ouverte de Saffir-Simpson formulée en 1971

Classe ou catégorie	Pression moyenne	Vents	marée de tempête	Description
1 (minimal)	> ou = à 980 hPa	118 à 153 km/h	1,0 - 1,7 m	Dommages primaires aux arbres et aux maisons mal construites. Pas de dégâts aux autres structures. Routes côtières basses inondées. Dégâts mineurs sur les jetées et les petites embarcations qui ont cassé leurs amarres.
2 (modéré)	979 à 965 hPa	154 à 177 km/h	1,8 - 2,6 m	Dégâts considérables à végétation, petits arbres déracinés. Dommages aux toitures, aux fenêtres et aux portes. Pas de dégâts majeurs aux bâtiments. Routes côtières et basses submergées 2 à 4 h avant cyclone. Dégâts considérables aux jetées. Ports de plaisance submergés. Bateaux de plaisance exposés cassent leurs amarres. L'évacuation des résidences sur le rivage et des régions basses est nécessaire.
3 (étendu)	964 à 945 hPa	178 à 209 km/h	2,7 - 3,8 m	Grands arbres déracinés. Faibles infrastructures soufflées. Quelques dégâts sur les structures des petits bâtiments. Inondations sérieuses sur la côte. Grandes structures côtières endommagées par vagues et débris flottants. Routes intérieures coupées par la montée des eaux 3 à 5 heures avant cyclone. Terrains situés à 5 pieds au-dessus du niveau de la mer inondés à plus de 8 miles de la côte. Evacuation des résidences basses à quelque distance du rivage nécessaire.
4 (extrême)	944 à 920 hPa	210 à 249 km/h	3,9 - 5,6 m	Toute végétation jetée bas. Dommages sévères aux toits, portes et fenêtre. Beaucoup de toits emportés. Terres situées à 10 pieds au-dessus du niveau de la mer et ce jusqu'à 6 miles à l'intérieur inondées. Dégâts majeurs sur structures battues par les flots. Routes sont inondées 3 à 5 heures avant cyclone. Évacuation massive et obligatoire de toutes les résidences à 3 km du rivage.
5 (catastrophe)	< 919 hPa	> 249 km/h	> 5,7 m	Dégâts massifs, tout est détruit.

Séismes : Echelle modifiée de Mercalli (Séisme)

Description	Magnitude	Effets	Fréquence
Micro	Moins de 2,0	Micro tremblement de terre, non ressenti.	8 000 par jour
Très mineur	2,0 à 2,9	Généralement non ressenti mais détecté/enregistré.	1 000 par jour
Mineur	3,0 à 3,9	Souvent ressenti mais causant rarement des dommages.	49 000 par an
Léger	4,0 à 4,9	Secousses notables d'objets à l'intérieur des maisons, bruits d'entrechoquement. Dommages importants peu communs.	6 200 par an
Modéré	5,0 à 5,9	Peut causer des dommages majeurs à des édifices mal conçus dans des zones restreintes. Cause de légers dommages aux édifices bien construits.	800 par an
Fort	6,0 à 6,9	Peut être destructeur dans des zones allant jusqu'à 180 kilomètres à la ronde si elles sont peuplées.	120 par an
Majeur	7,0 à 7,9	Peut provoquer des dommages sévères dans des zones plus vastes.	18 par an
Important	8,0 à 8,9	Peut causer des dommages sérieux dans des zones à des centaines de kilomètres à la ronde.	1 par an
Exceptionnel	9,0 et plus	Dévaste des zones de plusieurs milliers de kilomètres à la ronde.	1 tous les 20 ans

Annexe 2 : Tableaux comparatifs entre secteurs industriels des niveaux de force des évènements naturels extrêmes

	Industrie pétrolière	Production électricité	Installations Nucléaires du CEA	Gestion des déchets radioactifs	Diffusion audiovisuelle
Séismes	<ul style="list-style-type: none"> API RP 2A ISO_19901-2 En France, arrêté du 24 janvier 2011 +Eruptions Volcaniques : cf Islande en 04/10 et 05/11 	<ul style="list-style-type: none"> RFS 2001-01 : Détermination du risque sismique pour la sûreté des INB de surface du 31 mai 2001, Séisme Majoré de Sécurité (SMS) : Séisme Maximal Historique Vraisemblable (SMHV) majoré de un point sur l'échelle MSK +Démarche probabiliste (fréquences de 10-1 à 10-6 /an) 	<ul style="list-style-type: none"> RFS 2001-01 : Détermination du risque sismique pour la sûreté des INB de surface du 31 mai 2001, Séisme Majoré de Sécurité (SMS) : Séisme Maximal Historique Vraisemblable (SMHV) majorée de un point sur l'échelle MSK Paléoséisme 	<ul style="list-style-type: none"> RFS 2001-01 : Détermination du risque sismique pour la sûreté des INB de surface du 31 mai 2001 Séisme Majoré de Sécurité (SMS) : Séisme Maximal Historique Vraisemblable (SMHV) majoré de un point sur l'échelle MSK +Démarche probabiliste (séisme de période de retour minimale de 10000 ans) 	
Inondations • Tsunami • Nappe phréatique	<ul style="list-style-type: none"> Etudes site dédiées (cf Sumatra fin 2004 et Japon en mars 2011) Tohoku, Banda-Aceh 	<ul style="list-style-type: none"> Guide ASN n°13 relatif à la protection des INB contre les inondations Crue millénaire majorée, surcôte millénaire, houle centennale, pluies... conjonctions 	<ul style="list-style-type: none"> RFS I.2.e et guide ASN n°13 relatif à la protection des INB contre les inondations Crue millénaire, pluies extrêmes, rupture de barrage 	<ul style="list-style-type: none"> Guide ASN n°13 relatif à la protection des INB contre les inondations REX 	<ul style="list-style-type: none"> SO, sauf Tour Eiffel (crue Seine)
Grands vents • Tornades • Cyclones • Ouragans • Typhons • Projectiles générés	<ul style="list-style-type: none"> ISO 19901-1 & API RP 2A & 2SK +Etudes de site dédiées (cf Katrina et Rita en 2005, Ike en 2008) 	<ul style="list-style-type: none"> Règle NV 65 (DTU P06-002) <ul style="list-style-type: none"> Z1 : 136,1 km/h Z2 : 149,1 km/h Z3 : 166,6 km/h Z4 : 182,5 km/h EUROCODES Référentiel des exigences de sûreté de protection contre les projectiles générés par les vents extrêmes (PGVE) <ul style="list-style-type: none"> Projectile lourd trainé sur le sol (Type automobile) Projectile léger que l'on considère à toutes les altitudes et dans toutes les directions (Type planche bois de 50 kg et tôle de bardage de 60 kg) 	<ul style="list-style-type: none"> Règle NV 65 (DTU P06-002) : <ul style="list-style-type: none"> Z1 : 136,1 km/h Z2 : 149,1 km/h Z3 : 166,6 km/h selon les sites 	<ul style="list-style-type: none"> Règle NV 65 (DTU P06-002) REX 	<ul style="list-style-type: none"> Règle NV 65 (DTU P06-002) <ul style="list-style-type: none"> Z1 : 136,1 km/h Z2 : 149,1 km/h Z3 : 166,6 km/h Z4 : 182,5 km/h EUROCODES A noter vents tempêtes 1999 et 2010 < valeurs calcul
Grêle	<ul style="list-style-type: none"> Non 	<ul style="list-style-type: none"> Non, sauf cas particulier 	<ul style="list-style-type: none"> Aléa pris en compte par des dispositions de conception 	<ul style="list-style-type: none"> Non 	

	Industrie pétrolière	Production électricité	Installations Nucléaires du CEA	Gestion des déchets radioactifs	Diffusion audiovisuelle
Grands froids Frasil Givre	<ul style="list-style-type: none"> ISO 19901-1 Etudes site dédiées Frasil : Non 	<ul style="list-style-type: none"> T° < - 15°C sur + 7jr T° dite « courte durée » centennale sur 24h considérée sur 7 jr (~ -20°C à -28°C) T° mini instantanée centennale sur 24h (~ -26°C à -33°C) 	<ul style="list-style-type: none"> Etudes sites dédiés 	<ul style="list-style-type: none"> T° < - 15°C sur + 7jr T° dite « courte durée » centennale sur 24h considérée sur 7 jr T° mini instantanée centennale sur 24h T° < - 15 sur + 7 jr 	<ul style="list-style-type: none"> DTU P06-002 Givre 6cm
Neige	<ul style="list-style-type: none"> Eurocodes en Europe Etudes site dédiées 	<ul style="list-style-type: none"> Règle NV65 (DTU P06-002) 	<ul style="list-style-type: none"> Eurocode 1 Règles N84 et NV65 (DTU P06-002) (45 à 135 daN/m² selon les sites) 	<ul style="list-style-type: none"> Règle NV 65 (DTU P06-002) 	<ul style="list-style-type: none"> Règle NV 65 (DTU P06-002) : 35 à 190 DaN/m²
Grandes chaleurs	<ul style="list-style-type: none"> Etudes site dédiées 	<ul style="list-style-type: none"> T° Exceptionnelle (TE) : borne supérieure de l'intervalle de confiance à 70% de la température maximale instantanée ayant une durée de retour de 30 ans T° Longue Durée (TLD) : espérance de dépassement inférieure à 7 jours calendaires par an (2% de 365 jours) 	<ul style="list-style-type: none"> Etudes sites dédiés 	<ul style="list-style-type: none"> +35°C sur +7 jr, T° sur 24h centennale sur 7 jr T° max instantanée centennale sur 24h 	<ul style="list-style-type: none"> Règle NV65 (DTU P06-002) : Max +40°C, calcul pour 99,9%
Sécheresse	<ul style="list-style-type: none"> Non 	<ul style="list-style-type: none"> Plus Basses Eaux de Sûreté, millénal minorée 	<ul style="list-style-type: none"> Non 	<ul style="list-style-type: none"> Non 	<ul style="list-style-type: none"> Non
Foudre	<ul style="list-style-type: none"> IEC 62305 	<ul style="list-style-type: none"> Arrêté 15/01/08 et norme NF EN 62305-2 	<ul style="list-style-type: none"> Arrêté du 15/01/08 Arrêté foudre du 01/10/2007 Norme NF EN 62305-2 	<ul style="list-style-type: none"> Norme NF EN 62305 	<ul style="list-style-type: none">
IEM	<ul style="list-style-type: none"> Oui (interne) 	<ul style="list-style-type: none"> Non (sauf foudre) 	<ul style="list-style-type: none"> 	<ul style="list-style-type: none"> Norme CEI 61000 	<ul style="list-style-type: none">

	Industrie pétrolière	Production électricité	Installations Nucléaires du CEA	Gestion des déchets radioactifs
Mouvements de terrain	<ul style="list-style-type: none"> Etudes site dédiées 	<ul style="list-style-type: none"> Etudes site dédiés 	<ul style="list-style-type: none"> Etudes de sites dédiées 	<ul style="list-style-type: none"> Etudes site dédiées
Feux de forêts	<ul style="list-style-type: none"> Etudes site dédiées (zone isolement) 	<ul style="list-style-type: none"> Non 	<ul style="list-style-type: none"> Le cas échéant, dispositions de protection dédiées (périmètre de protection des INB) 	<ul style="list-style-type: none"> Oui
Colmatage par arrivée massive de corps marins	<ul style="list-style-type: none"> Non 	<ul style="list-style-type: none"> Systèmes d'alerte 	<ul style="list-style-type: none"> Non concerné 	<ul style="list-style-type: none"> Non concerné
Pluies extrêmes	<ul style="list-style-type: none"> Oui 	<ul style="list-style-type: none"> Guide ASN n°13 relatif à la protection des INB Pluie brève de forte intensité : Pluie centennale Pluie régulière et continue : Pluie centennale 	<ul style="list-style-type: none"> Pluie brève de forte intensité : pluie centennale Pluie régulière et continue : pluie centennale 	<ul style="list-style-type: none"> Guide ASN n°13 relatif à la protection des INB
Température de la mer	<ul style="list-style-type: none"> Etudes site dédiées 	<ul style="list-style-type: none"> Oui 	<ul style="list-style-type: none"> Non concerné 	<ul style="list-style-type: none"> Non concerné
Iceberg	<ul style="list-style-type: none"> Etudes site dédiées 	<ul style="list-style-type: none"> Non concerné 	<ul style="list-style-type: none"> Non concerné 	<ul style="list-style-type: none"> Non concerné
Houle	<ul style="list-style-type: none"> SO 19901-1 & API RP 2A & 2SK Etudes site dédiées 	<ul style="list-style-type: none"> Guide ASN n°13 relatif à la protection des INB 	<ul style="list-style-type: none"> Non concerné 	<ul style="list-style-type: none"> Non concerné
Vagues scélérates et solitons	<ul style="list-style-type: none"> SO 19901-1 & API RP 2A & 2SK Etudes site dédiées 	<ul style="list-style-type: none"> Guide ASN n°13 relatif à la protection des INB 	<ul style="list-style-type: none"> Non concerné 	<ul style="list-style-type: none"> Non concerné