

RAPPORT D'ÉTUDE N° DRA-14-141515-03596A

13/06/2014

DRADRS81 - Opération A

Référentiel méthodologique concernant la maîtrise du risque inondation dans les installations classées



DRADRS81 - Opération A

Référentiel méthodologique concernant la maîtrise du risque inondation dans les installations classées

INERIS

<u>Liste des personnes ayant participé à la rédaction</u> : Christophe DUVAL, Agnès VALLEE, Anthony CERONI, Adrien WILLOT, Thibauld PENELON

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 1 sur 51

PRÉAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Vérific	ation	Approbation
Nom	Christophe DUVAL Agnès VALLEE	Frédéric MERLIER	Guillaume CHANTELAUVE	Sylvain CHAUMETTE
Qualité	Ingénieurs à l'Unité Démarche Intégrée d'Analyse et de Gestion des Risques Direction des Risques Accidentels	Responsable de l'Unité Démarche Intégrée d'Analyse et de Gestion des Risques Direction des Risques Accidentels	Délégué Appui à l'Administration Direction des Risques Accidentels	Responsable du Pôle Analyse et Gestion Intégrées des Risques Direction des Risques Accidentels
Visa	Avalle	Allalez	6	5

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 2 sur 51

TABLE DES MATIÈRES

1. R	ESUME	5
2. II	NTRODUCTION	7
2.1	Les inondations en France	7
2.2	L'impact des inondations sur les installations industrielles	8
2.2	.1 Des pertes économiques	8
2.2	.2 Des accidents majeurs	9
2.3	Objectif du document	.10
2.4	Structure du document	.12
2.5	Illustration par un cas concret	.13
3. II	DENTIFICATION DES SEQUENCES ACCIDENTELLES INONDATION	.15
3.1	Caractérisation des scénarios <i>Inondation</i> sur le site industriel	
3.1	.1 Aléa inondation à prendre en compte	15
	.2 Caractéristiques physiques des scénarios Inondation	
	.3 Délai de mise en sécurité en cas d'inondation	
3.1	.4 Récapitulatif	20
3.2	Construction des séquences accidentelles Inondation	.21
3.2	.1 Potentiels de dangers	21
3.2	.2 Actions de l'eau / Vulnérabilité des équipements	22
3.2	.3 Analyse des incidents / accidents survenus dans le passé	22
3.3	Identification des barrières de sécurité mises en place	.24
3.3	.1 Barrières de sécurité classiques	24
3.3	.2 Barrières de sécurité Inondation	26
3 4	Positionnement des harrières de sécurité	28

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A

4.	EVALUATION DU RISQUE D'ACCIDENT MAJEUR INONDATION	31
4	.1 Principe de détermination de la gravité	31
4	2 Principe de détermination de la probabilité d'occurrence annuelle	33
4	 .3 Approche simplifiée : sans prise en compte des barrières de sécurité . 	35
4	4 Approche détaillée : avec prise en compte des barrières de sécurité	37
4	4.4.1 Principe	37
4	4.4.2 Détermination de la performance des barrières de sécurité	40
4	.5 Principe d'élaboration d'une procédure <i>Inondation</i>	41
4	4.5.1 Périmètre de la procédure	41
4	4.5.2 Planification des actions	42
5.	CONCLUSION	45
6.	GLOSSAIRE INONDATION	47
7.	BIBLIOGRAPHIE	49
ጸ	LISTE DES ANNEXES	51

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A

1. RESUME

Les inondations sont une menace réelle et persistante en France. Parmi les différents enjeux présents sur le territoire français, les installations industrielles à risques apparaissent comme vulnérables. Au-delà des pertes économiques engendrées par les dégâts matériels et les arrêts de production, les inondations peuvent également être à l'origine d'accidents majeurs susceptibles de porter atteinte à la sécurité des riverains.

Le présent référentiel proposé par l'INERIS et relatif à la maîtrise du risque inondation dans les installations classées est destiné aux exploitants industriels désirant mettre en place une gestion efficace et argumentée du risque inondation sur leur site. Cette démarche volontaire peut être valorisée dans les études de dangers ainsi que dans les plans d'urgence.

La première partie de ce document présente une méthode d'identification des séquences accidentelles ayant pour origine une inondation. Elle permet la construction des séquences depuis l'inondation à l'accident majeur en identifiant les différentes barrières de sécurité pouvant prévenir l'accident ou en limiter les effets.

La seconde partie complète la phase d'identification présentée en première partie par une méthode d'évaluation du risque d'accident majeur, associant probabilité d'occurrence et gravité des conséquences. La démonstration de la maîtrise du risque passe par une évaluation de la performance des barrières de sécurité mises en œuvre, dans le cadre d'une procédure de mise en sécurité spécifique au risque inondation.

Enfin, des outils pratiques développés spécifiquement pour la problématique des inondations sur un site industriel sont proposés en annexe du présent document.

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 5 sur 51

2. INTRODUCTION

2.1 LES INONDATIONS EN FRANCE

La France est exposée à de nombreux aléas naturels, en particulier à l'aléa inondation. Ce phénomène concerne en effet une commune sur deux. Cette réalité a conduit l'Etat français à adopter, depuis plusieurs dizaines d'années, une démarche de prévention du risque inondation sur son territoire. Cette préoccupation s'est encore renforcée suite aux deux inondations catastrophiques survenues en 2010 :

- la submersion de la zone littorale atlantique suite à la tempête Xynthia en février 2010 ;
- les crues soudaines dans le département du Var en juin 2010.

Le bilan respectif de ces deux catastrophes fait ainsi état de plusieurs dizaines de morts et de dégâts économiques de l'ordre du milliard d'euros.



Figure 1 : Inondation à Draguignan dans le Var (source : Wikimedia Commons)

Cette préoccupation est également largement partagée en Europe et a conduit à l'établissement, en 2007, d'une Directive Européenne relative à l'évaluation et à la gestion du risque inondation. En France, la diversité du réseau hydrographique et des zones littorales, couplée à la variété des phénomènes météorologiques et plus particulièrement des régimes de précipitations, font que tous les types d'inondation sont présents sur le territoire national. Le risque de tsunami ne peut pas non plus être écarté sur les rives de la Méditerranée, dans les Antilles et à La Réunion.

En juin 2013, l'actualité française a de nouveau été marquée par des inondations importantes dans les Pyrénées, au cours desquelles trois personnes ont perdu la vie. Les dommages économiques ont dépassé la centaine de millions d'euros.

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 7 sur 51

2.2 L'IMPACT DES INONDATIONS SUR LES INSTALLATIONS INDUSTRIELLES

Les installations industrielles font partie des enjeux vulnérables présents sur les territoires exposés au risque inondation. Ainsi, le recensement effectué par l'INERIS en 2012 des sites industriels SEVESO seuil haut et seuil bas situés dans les Enveloppes Approchées d'Inondations Potentielles¹ conclut que la moitié des établissements sont théoriquement concernés par le risque inondation.

Sur un site industriel, l'inondation peut conduire à des pertes économiques, mais également à la survenue d'accidents majeurs. La prévention du risque inondation dans les installations industrielles, et notamment dans les sites SEVESO concernés, poursuit donc le double objectif de la sécurité et de la pérennité de l'activité industrielle.

2.2.1 DES PERTES ECONOMIQUES

Les conséquences de l'inondation d'un site industriel sont principalement des pertes économiques, parfois considérables à l'échelle d'un site industriel, comme le montrent les deux exemples suivants lors des inondations du Rhône en 2003 :

- dans une papeterie, le coût de l'inondation s'est chiffré à 11 millions d'euros en dommages matériels, perte de production et remise en état du site, à comparer à un chiffre d'affaires de 108 millions d'euros pour cette entreprise en 2003;
- sur un site d'entreposage et de distribution de produits finis phytosanitaires, suite à une rupture d'une digue à Avignon, les dommages matériels se sont élevés à 4 millions d'euros; seulement un quart du stock de 1300 tonnes de marchandises stockées (dont 400 tonnes au sol) a pu être sauvegardé, le reste a dû être détruit ou déclassé.



Figure 2 : Inondation de cellules de stockage dans un entrepôt de produits phytosanitaires à Arles en décembre 2003 (source : [9])

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 8 sur 51

-

¹ EIAP déterminées par les services du Ministère chargé du Développement Durable dans le cadre de la Directive Inondation

2.2.2 DES ACCIDENTS MAJEURS

L'inondation d'un site industriel à risques peut également être à l'origine d'accidents majeurs dont les conséquences dépassent les limites du site. L'action directe de l'eau sur les structures, et en particulier la sollicitation mécanique des réservoirs et des tuyauteries, peut conduire à des pertes de confinement dangereuses comme l'illustrent les deux accidents suivants :

- en 2002, sur une plateforme chimique en République Tchèque, inondée par une crue de l'Elbe, des réservoirs de chlore gazeux sont déplacés par l'eau et une fuite à la jonction avec des tuyauteries conduit à la formation d'un nuage de chlore dérivant au-delà des limites du site ;
- en 2011, dans la raffinerie de Sendai, la puissance des écoulements d'eau lors du tsunami survenu au Japon provoque la rupture d'une tuyauterie à l'origine d'un incendie de grande ampleur.





Figure 3 : Illustrations relatives à l'accident de l'usine chimique de Spolana, en République Tchèque, le 14 août 2002 (sources : cf annexe E)

Par ailleurs, les eaux d'inondation qui transitent par un site industriel sont également susceptibles de se charger en produits polluants ou dangereux et de les faire dériver comme ce fut le cas lors des trois accidents suivants :

- en 1955, aux Etats-Unis, des fûts de poudre de magnésium sont entraînés par la rivière Quinebaug en crue et explosent en pleine ville ;
- en 2002, l'incendie d'une raffinerie inondée au Maroc a pour origine des hydrocarbures flottant à la surface de l'eau et déplacés jusqu'à des points d'inflammation;
- en 2011, la quasi-totalité des bacs d'hydrocarbures du dépôt portuaire de Kesennuma au Japon sont emportés par le tsunami et les hydrocarbures qui surnagent s'enflamment dans la baie; après le retrait de la mer les zones inondées sont recouvertes d'une couche de sédiments pollués par les hydrocarbures.

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 9 sur 51



Figure 4 : Vue des bacs emportés dans la baie de Kesennuma après le passage du tsunami le 11 mars 2011 (source : [8])

Enfin, sur un site inondé, le fonctionnement est très vite dégradé par la perte des utilités et les interventions sont entravées par la présence de l'eau comme le montre l'exemple suivant :

en 2007, les exploitants d'une raffinerie inondée aux Etats-Unis ne parviennent pas à détecter et à intervenir suffisamment tôt pour éviter le débordement d'un bac d'hydrocarbures en cours de remplissage. Le trop plein déborde et provoque une pollution accidentelle majeure de la rivière et des habitations inondées à proximité.

2.3 OBJECTIF DU DOCUMENT

L'INERIS a élaboré en 2004 un guide méthodologique sur la prise en compte du risque inondation dans les installations classées.

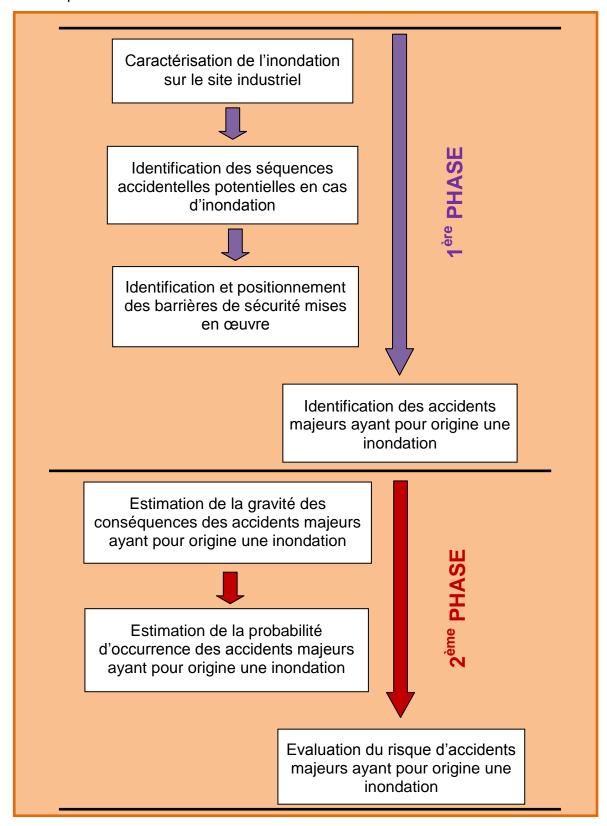
Le présent document a pour objectif de présenter les évolutions méthodologiques envisageables actuellement, sur la base d'une meilleure connaissance des accidents majeurs ayant pour origine une inondation, par rapport aux réflexions qui se tiennent au niveau européen sur ce sujet et grâce à de nouveaux développements scientifiques des équipes de l'INERIS concernant notamment le comportement des équipements industriels sous l'action de l'eau et le devenir des produits chimiques dans l'eau.

Bien que la démarche générale puisse être généralisée à toute activité industrielle, l'analyse se focalise sur les installations susceptibles de générer un accident majeur.

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 10 sur 51

La démarche générale proposée dans ce document s'appuie sur deux phases distinctes, illustrées dans l'encart ci-après :

- une première phase d'identification des séquences accidentelles ayant pour origine une inondation;
- une seconde phase d'évaluation du risque d'accidents industriels majeurs qui en résulte.



Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 11 sur 51

La démarche proposée doit être conduite en groupe de travail pluridisciplinaire composé de représentants du personnel de la production, de la maintenance, du service sécurité, des moyens généraux et de l'intervention. Cette variété de profils permet :

- de tenir compte des spécificités des installations étudiées en matière d'environnement, d'exploitation ou de stratégie de sécurité;
- de bénéficier d'une réflexion menée en commun par des personnes de sensibilité et compétences différentes pour un examen plus riche des circonstances pouvant conduire à un accident majeur en cas d'inondation;
- une meilleure appropriation des résultats par l'exploitant ce qui permet de faciliter la communication entre les différents services susceptibles d'intervenir.

Enfin, il peut également être utile d'y associer des personnes témoins d'inondations passées sur le site industriel. Dans le cas où les phénomènes à prendre en compte sont, entre autres, la rupture d'un ouvrage hydraulique de type barrage ou digue de protection, il est recommandé d'associer le gestionnaire de l'ouvrage hydraulique à la démarche.

D'un point de vue opérationnel, cette démarche peut ensuite être capitalisée dans deux documents différents :

- une analyse du risque d'accidents majeurs en cas d'inondation, qui peut éventuellement être valorisée dans l'étude de dangers;
- une procédure de mise en sécurité en cas d'inondation, qui peut éventuellement être valorisée dans le plan d'opération interne.

2.4 STRUCTURE DU DOCUMENT

Le document est structuré autour des deux chapitres suivants :

- Le chapitre 3 détaille la méthode générale d'identification des séquences accidentelles ayant pour origine une inondation sur le site industriel. Ce chapitre aborde la caractérisation de l'inondation sur le site industriel, l'identification des installations touchées et des phénomènes dangereux associés, l'identification des barrières de sécurité, parmi lesquelles les actions prévues par l'exploitant entre l'alerte et l'arrivée de l'eau sur le site.
- Le chapitre 4 détaille la méthode générale d'évaluation des risques d'accidents majeurs dus à une inondation. Dans cet objectif, le chapitre présente les principes d'élaboration de la procédure de mise en sécurité en cas d'inondation qui formalise les actions envisagées par l'exploitant industriel pendant le délai de mise en sécurité et permet de justifier leur performance pour une prise en compte effective dans la maîtrise du risque au niveau des séquences accidentelles identifiées.

Enfin, des outils développés spécifiquement pour accompagner les exploitants et les bureaux d'études désirant mettre en pratique la démarche proposée sont donnés en annexe du présent document.

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 12 sur 51

2.5 ILLUSTRATION PAR UN CAS CONCRET

La démarche décrite dans ce document a été appliquée sur un site industriel SEVESO seuil bas. Des extraits des résultats obtenus sont fournis à titre d'illustration et présentés dans des encarts bleus à ligne double – à distinguer des encarts oranges à ligne simple qui présentent des éléments méthodologiques importants – à commencer par la description générale du site développée ciaprès.

Présentation de SITINDUSTRIEL

SITINDUSTRIEL est un établissement SEVESO seuil bas, produisant des résines. Le site emploie une centaine de personnes. Il se situe à proximité immédiate d'une rivière d'importance moyenne présentant un régime d'écoulement fluvial.

Le site comprend notamment :

- des installations de production (réacteurs, mélangeurs...);
- des stockages de matières premières (en vrac dans des réservoirs de stockage aériens ou enterrés, conditionnées et entreposées dans des bâtiments de stockage);
- des stockages de produits finis (en vrac aériens et conditionnés);
- des stockages de déchets à incinérer ;
- des postes de chargement / déchargement camions et wagons ;
- des bâtiments réservés à la gestion énergétique (chaudières, incinérateur de déchets industriels pour la production de vapeur...);
- des installations pour l'alimentation en utilités (postes électriques, poste gaz, air...);
- un bassin pour les eaux pluviales et un bassin pour la récupération des eaux d'extinction incendie;
- des bâtiments divers (poste de garde, locaux administratifs, ateliers mécaniques, ateliers d'entretien, laboratoire...).

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 13 sur 51

3. <u>IDENTIFICATION</u> <u>DES SEQUENCES ACCIDENTELLES</u> <u>INONDATION</u>

Ce chapitre aborde successivement :

- la caractérisation des scénarios Inondation sur le site industriel ;
- l'identification des séquences accidentelles *Inondation* ;
- l'identification des barrières de sécurité en place ;
- le positionnement de ces barrières dans les séquences accidentelles Inondation.

3.1 CARACTERISATION DES SCENARIOS INONDATION SUR LE SITE INDUSTRIEL

Cette étape a pour objectif de préciser :

- quels sont les phénomènes à considérer et les scénarios Inondation à étudier ;
- quelles sont les caractéristiques des scénarios Inondation à cartographier sur le site industriel ;
- comment estimer le délai de mise en sécurité dont dispose l'exploitant industriel en cas d'inondation.

Il est important de noter que ce document ne précise pas les hypothèses à retenir ni les modèles à utiliser pour modéliser l'aléa inondation.

3.1.1 ALEA INONDATION A PRENDRE EN COMPTE

3.1.1.1 Types d'inondation a envisager

La Directive Européenne 2007/60/CE relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation définit l'inondation comme « la submersion temporaire par l'eau des terres qui ne sont pas submergées en temps normal ».

L'inondation d'un site industriel dépend directement :

- de son environnement naturel, à commencer par sa proximité avec des cours d'eau et avec la mer, ou lié au relief (cuvette, flanc de colline...);
- des phénomènes naturels, principalement climatiques ;
- de l'anthropisation de son environnement, notamment l'imperméabilisation des sols, la construction de barrages et d'ouvrages de protection.

Dans la démarche de caractérisation de l'aléa inondation, il est important d'envisager les cinq phénomènes suivants :

- les submersions marines, dont celles provoquées par les tsunamis ;
- les débordements de cours d'eau ;
- les remontées de nappes phréatiques ;
- le ruissellement ;
- les ruptures de barrages.

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 15 sur 51

Une description succincte et illustrée de l'ensemble de ces phénomènes est donnée en Annexe A. De manière générale, ces différents phénomènes peuvent également conduire à des surcharges sur les réseaux connectés aux eaux de surface et provoquer une inondation indirecte d'un site.

L'exclusion d'un type d'inondation pourra être effectuée, sous réserve de justification basée sur la localisation du site industriel étudié et la configuration de son environnement. Par ailleurs, la prévention du risque naturel sur le territoire national est gérée par l'Etat, et par conséquent de nombreuses données publiques sont disponibles et peuvent alimenter cette étape de caractérisation de l'inondation sur le site industriel. D'un point de vue pratique, l'annexe B présente une démarche possible pour sélectionner les phénomènes à prendre en compte et donne également une hiérarchisation des sources de données publiques pour chaque phénomène.

Il est néanmoins possible que la précision des données publiques ne soit pas suffisante pour un phénomène donné. Dans ce cas, le recours à un bureau d'études spécialisé en hydraulique permet de définir de manière plus précise l'inondation au droit du site industriel.

3.1.1.2 Scenarios *Inondation* a envisager

La Directive Européenne 2007/60/CE relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation, prévoit l'analyse de 3 scénarios *Inondation* (article 6) :

- scénario de faible probabilité ou évènements extrêmes ;
- scénario de probabilité moyenne (période de retour probable supérieure ou égale à cent ans);
- scénario de forte probabilité.

Pour les inondations naturelles, il convient donc de conserver cette approche probabiliste et d'étudier conjointement trois scénarios, tandis que pour les défaillances d'ouvrages hydrauliques, dont les plus importants font également l'objet d'une prescription réglementaire d'étude de dangers, les scénarios sont ceux déterminés par l'exploitant de ces ouvrages.

3.1.2 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES SCENARIOS INONDATION

La cartographie des différents scénarios *inondation* au niveau du site industriel doit faire apparaître :

- la hauteur d'eau sur le site industriel, caractéristique principale pour les séquences accidentelles et qui est également le paramètre physique le plus aisé à obtenir auprès des différentes sources publiques;
- la vitesse du courant, qui est un paramètre physique relativement moins important que la hauteur mais qui intervient néanmoins dans certains modes de défaillance des équipements industriels.

La cartographie nécessite une bonne connaissance de :

- la topographie du terrain où est implanté le site industriel ;
- l'implantation des bâtiments et des installations (plan de masse du site).

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 16 sur 51

Des représentations en plan et en coupe des secteurs inondés pourront être nécessaires, à différentes hauteurs d'eau suivant le scénario *Inondation* étudié.

Hauteur et vitesse de l'eau sur le site SITINDUSTRIEL

Le site SITINDUSTRIEL est soumis à des crues lentes par débordement direct du cours d'eau. La commune, sur laquelle est implanté le site, dispose d'un Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI).

Les scénarios Inondation envisagés sur le site sont les suivants :

- la crue du PPRI de période de retour 100 ans, pour laquelle la hauteur d'eau moyenne sur le site est d'environ 50 cm ;
- une crue vécue sur le site pour laquelle la hauteur d'eau atteint 20 cm sur le site et qui est assimilée à la crue décennale ;
- un phénomène extrême pour lequel la hauteur d'eau atteint 1,50 m sur le site, soit une cote supérieure aux murets des cuvettes de rétention des réservoirs de stockage aériens, et qui est assimilé à la crue millénale.

D'après les informations disponibles, la vitesse du courant dans le cours d'eau, au droit du site SITINDUSTRIEL, peut varier de 0,4 à 2 m/s sur le tronçon concerné. Dans une démarche pénalisante, la vitesse du courant sur le site a été prise égale à 2 m/s, quel que soit le scénario *Inondation* envisagé.

3.1.3 Delai de mise en securite en cas d'inondation

Les inondations de plaine ainsi que les submersions marines sont des phénomènes prévisibles pour lesquels la prévention des risques peut consister principalement à se préparer à l'arrivée de l'eau pendant le laps de temps compris entre l'alerte et l'arrivée effective de l'eau. Afin que l'action d'un exploitant industriel soit efficace pendant ce laps de temps, il est également impératif que les utilités soient disponibles. La détermination du délai de mise en sécurité doit donc s'appuyer sur une réflexion faisant intervenir :

- la capacité de prévision des phénomènes conduisant à l'inondation ;
- la capacité d'alerte de l'exploitant industriel ;
- la disponibilité des utilités, sur le site industriel et à l'extérieur.

Cette réflexion est schématisée pour les crues lentes à la Figure 5. Il est important de noter que l'étape d'estimation du délai de mise en sécurité en cas d'inondation n'a pas pour objectif de fixer les niveaux opérationnels de déclenchement des actions mais que ce délai s'inscrit dans la vérification du bon dimensionnement des actions prévues par rapport au temps effectivement disponible. La question des niveaux de déclenchement est une question opérationnelle qui doit s'envisager après avoir effectué cette vérification.

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 17 sur 51

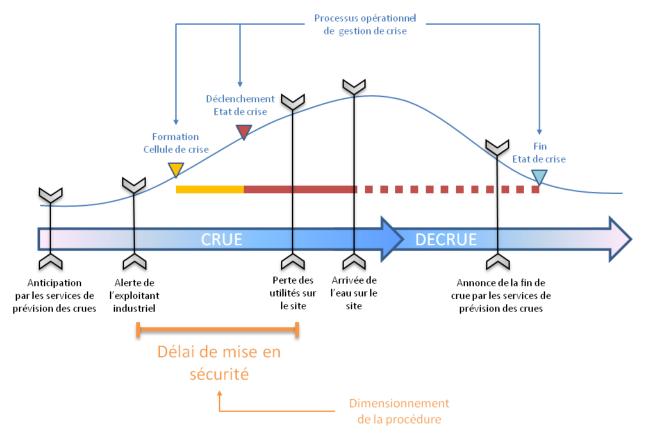


Figure 5 : Définition du délai de mise en sécurité pour un phénomène de type crue lente

3.1.3.1 CAPACITE DE PREVISION DES PHENOMENES CONDUISANT A L'INONDATION

La capacité de prévoir à l'avance la montée des eaux sur un site industriel dépend directement de la dynamique hydraulique du phénomène naturel et de la localisation du site industriel.

Il est possible, pour des phénomènes naturels tels que la crue lente d'un cours d'eau, d'avoir des prévisions quelques jours auparavant. Les phénomènes naturels pour lesquels la prévision est courte, c'est-à-dire au maximum de quelques heures, sont les tsunamis et les crues torrentielles.

Dans le cas d'une rupture de barrage, le passage de l'onde de submersion peut être considéré comme soudain à l'aval immédiat du barrage, mais un délai de quelques heures peut être pris en compte pour des enjeux éloignés dans la vallée. Ces informations sont indiquées dans les études de dangers des ouvrages hydrauliques concernés.

3.1.3.2 CAPACITE D'ALERTE DE L'EXPLOITANT INDUSTRIEL

Le délai de mise en sécurité dépend en grande partie de l'alerte sur laquelle compte l'exploitant industriel. Dans la plupart des cas, il s'agit de canaux d'informations externes vis-à-vis desquels l'exploitant est soit pro-actif (consultation d'un site internet), soit passif (réception d'un message sur un mobile). Le type d'alerte et les moyens mis en œuvre par l'exploitant industriel (existence d'une astreinte 24 h / 24 par exemple) sont essentiels pour déterminer un ordre de grandeur raisonnable du délai de mise en sécurité. Dans le cas où

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 18 sur 51

l'inondation résulte d'un dysfonctionnement ou de la rupture d'un ouvrage hydraulique, l'alerte doit être idéalement coordonnée avec le gestionnaire de l'ouvrage. Des informations supplémentaires sont indiquées dans le paragraphe 2.2 de l'annexe B.

3.1.3.3 DISPONIBILITE DES UTILITES

La disponibilité des utilités est dépendante de la stratégie des différents fournisseurs externes et de leurs contraintes lors d'une inondation.

Le retour d'expérience d'une inondation sur le site industriel lui-même ou à proximité peut apporter des informations utiles. Il est possible de se rapprocher de ses fournisseurs pour recueillir des éléments sur leur stratégie en cas d'inondation de la zone concernée. Les informations fournies permettront de statuer sur la disponibilité ou l'indisponibilité des utilités si l'inondation survient.

Il est possible également d'étudier le bon fonctionnement ou non de moyens de secours propres à l'industriel pour pallier la perte d'utilités externes (groupe électrogène en hauteur par exemple).

Exemples de questions à poser aux fournisseurs d'utilités d'un site industriel

- Disposez-vous d'un plan d'alerte en cas d'inondation ? Si oui, en quoi consiste-t-il ? Comment est-il mis en place ? Est-ce que le site industriel est ciblé comme étant une des entités à alerter ?
- Sur quels critères (hauteur d'eau, débit...) l'alimentation en électricité, gaz, eau... est-elle coupée ? Est-ce que l'industriel utilisateur est prévenu d'une éventuelle coupure ? Si oui, quel est le laps de temps entre l'appel à l'entreprise et la coupure effective ?
- Disposez-vous d'une force d'intervention pour le rétablissement de l'approvisionnement en utilités après l'inondation? Après combien de temps l'alimentation en utilités peut être rétablie?

Estimation du délai d'intervention Inondation - SITINDUSTRIEL

Les principales informations disponibles sont :

- Aléa : Crue lente et prévisible entre 24 et 72 heures à l'avance ;
- Alerte: Alerte par consultation régulière de Vigicrue par le responsable HSE du site industriel (à fréquence dépendant de la saisonnalité), avec possibilité d'une astreinte; => paramètre non déterminant
- Utilités: Lors d'inondations précédentes, la coupure des utilités avait été réalisée par l'exploitant industriel à l'arrivée de l'eau sur le site. => paramètre non déterminant

Sur la base de ces informations, le délai d'intervention a été fixé à 24 heures.

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 19 sur 51

3.1.4 RECAPITULATIF

Phénomènes à envisager pour l'étude du risque inondation sur un site industriel

- les submersions marines, dont celles provoquées par les tsunamis ;
- les débordements de cours d'eau ;
- les remontées de nappes phréatiques ;
- le ruissellement ;
- les ruptures de barrages.

Scénarios Inondation à étudier

Pour les inondations induites par des phénomènes naturels :

- scénario de forte probabilité ;
- scénario de probabilité moyenne (période de retour probable supérieure ou égale à cent ans);
- scénario de faible probabilité ou (scénarios d'évènements extrêmes).

Pour les inondations relatives aux barrages :

ondes de submersion suite à la rupture du barrage.

Caractéristiques des scénarios Inondation à déterminer

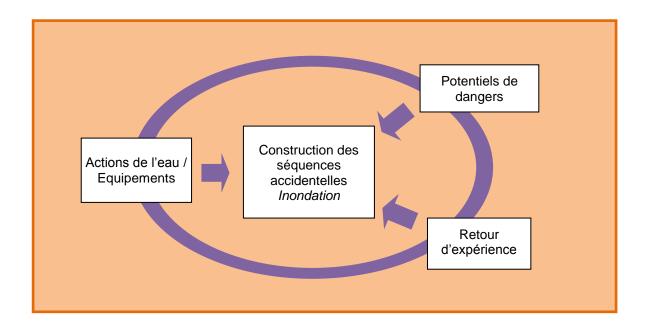
- Délai de mise en sécurité en cas d'inondation ;
- Hauteur d'eau sur le site industriel ;
- Vitesse de l'eau sur le site industriel.

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 20 sur 51

3.2 Construction des sequences accidentelles *Inondation*

L'objectif de cette étape est d'identifier les séquences accidentelles redoutées sur les installations industrielles dans chaque secteur inondé. Etant donnée la complexité des séquences accidentelles associées à l'inondation, et notamment la possibilité d'effets dominos entre plusieurs installations, la démarche conseillée est de structurer la réflexion à partir de 3 axes :

- les potentiels de dangers ;
- les actions de l'eau, en lien avec les équipements industriels ;
- les analogies avec les séquences du retour d'expérience.



Il est important de réaliser l'analyse de risques en utilisant tour à tour ces trois approches qui sont complémentaires. En effet, ces approches empruntent trois chemins de réflexion différents et l'utilisation des différents outils donnés dans ce document permet de systématiser l'analyse de risques.

3.2.1 POTENTIELS DE DANGERS

L'analyse des séquences accidentelles susceptibles de survenir en cas d'inondation s'appuie classiquement sur l'identification et la caractérisation des potentiels de dangers. Les quantités et les propriétés dangereuses de tous les produits présents sur le site au niveau des zones inondées (matières premières, produits intermédiaires, sous-produits, produits finis, déchets...) sont recensées et analysées.

La démarche est similaire à celle qui est menée classiquement dans le cadre de l'élaboration de l'étude de dangers des installations classées soumises à autorisation.

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 21 sur 51

Un regard est porté :

- sur les dangers liés à la mise en œuvre de réactions chimiques (exothermicité...) ainsi que les réactions secondaires susceptibles d'en découler;
- sur les équipements dont la dangerosité n'est pas liée aux produits mais principalement aux conditions de fonctionnement (haute pression, haute température...).

3.2.2 ACTIONS DE L'EAU / VULNERABILITE DES EQUIPEMENTS

L'analyse de risques menée dans le cas spécifique d'une inondation nécessite de considérer précisément la vulnérabilité des installations industrielles. En effet, l'approche sécuritaire qui consiste à considérer la défaillance de toute installation inondée conduirait dans de nombreux cas à envisager des situations dégradées peu réalistes et difficilement gérables à l'échelle du site industriel.

Les principales actions de l'eau redoutées en cas d'inondation d'un site industriel à envisager sont recensées dans l'encart en page suivante.

Deux annexes pratiques ont été élaborées pour accompagner la démarche d'analyse :

- l'annexe C comprend plusieurs outils pratiques pour déterminer le comportement mécanique de certains équipements industriels dans un écoulement, y compris la tenue à l'impact d'un objet flottant;
- l'annexe D précise le comportement attendu de certaines substances lorsqu'elles sont rejetées dans l'eau depuis un réservoir ou une tuyauterie et indique les phénomènes dangereux à prendre en considération dans l'analyse.

3.2.3 ANALYSE DES INCIDENTS / ACCIDENTS SURVENUS DANS LE PASSE

Le retour d'expérience montre que les séquences accidentelles mettant en cause l'inondation d'un site industriel, dont certaines ont conduit à un accident majeur au sens de la réglementation des installations classées, résultent souvent d'une combinaison des différentes actions de l'eau sur les équipements industriels. Il arrive que plusieurs évènements indésirables se produisent de manière simultanée en plusieurs endroits du site industriel et que les moyens d'intervention classiques soient paralysés, qu'il s'agisse des moyens internes ou des moyens externes.

Quatre exemples de séquences accidentelles réelles consécutives à une inondation et ayant engendré des effets dangereux à l'extérieur du site sont détaillés en annexe E. Ils illustrent l'enchaînement d'évènements qui se sont produits sur des sites industriels sinistrés par une inondation.

Pour plus d'informations concernant les incidents / accidents passés ayant pour origine une inondation, le lecteur pourra également consulter la base ARIA du BARPI, et les fiches de synthèse associées².

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 22 sur 51

² www.aria.developpement-durable.gouv.fr

Princ	ipales actions de l'eau à envisager
Sollicitation mécanique des structures	L'eau engendre sur les structures et les équipements des efforts hydrauliques, en lien avec la hauteur d'eau et la vitesse d'écoulement auxquelles ils sont soumis.
Erosion des sols et mise à nu des fondations	Un courant important peut éroder un sol non revêtu, jusqu'à provoquer l'affouillement des fondations d'une structure.
Transport d'objets flottants	Des objets peuvent être transportés par le courant lors d'une inondation. Des contenants (réservoirs, fûts) peuvent être déplacés à l'extérieur du site industriel. Des objets flottants (troncs d'arbre, véhicules) peuvent constituer des projectiles pouvant endommager les structures industrielles.
Mobilisation des polluants	L'inondation peut conduire à mobiliser des polluants dans l'eau transitant sur le site industriel (produits en vrac qui se mélangent avec l'eau, lessivage des sols pollués).
Réaction avec des produits incompatibles	De nombreux produits chimiques et poudres métalliques sont susceptibles de réagir violemment avec l'eau, conduisant soit à des explosions, soit à des incendies.
Vaporisation brutale au contact du métal en fusion	La vaporisation brutale de l'eau au contact du métal en fusion peut engendrer des explosions.
Choc thermique	L'immersion rapide par de l'eau à faible température peut engendrer un choc thermique sur des installations thermiques en fonctionnement ou en cours de refroidissement.
Courts-circuits	L'eau est susceptible de provoquer des courts-circuits dans les équipements électriques sous tension, entraînant un risque d'incendie.
Dysfonctionnement mécanique	La plupart des équipements mécaniques (compresseurs, moteurs à combustion, pompes, groupe électrogène) peuvent être endommagés en cas d'immersion. Leur redémarrage nécessite un démontage pour le nettoyage, séchage et graissage.
Dégradation des matériaux	L'eau est susceptible de dégrader de nombreux matériaux (papier, carton, encres, colles, certains isolants comme la laine de verre) par contact direct, par remontée capillaire voire même si le taux d'humidité augmente trop dans l'air ambiant.
Engorgement ou contournement des ouvrages de collecte des eaux usées	En cas d'inondation, les ouvrages de collecte et de traitement des eaux (usées et pluviales) sur le site industriel peuvent être engorgés voire contournés par les volumes d'eau transitant sur le site.
Atteinte aux réseaux de distribution d'utilités	Tous les réseaux d'utilités qui alimentent le site industriel (électricité, gaz, eau, réseaux téléphoniques et informatiques) peuvent être coupés volontairement ou involontairement en cas d'inondation.
Gêne de la mobilité des personnes et des véhicules	L'inondation peut entraver les déplacements et l'accès au site industriel, pour les piétons et les véhicules, notamment ceux des services de secours.

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 23 sur 51

3.3 IDENTIFICATION DES BARRIERES DE SECURITE MISES EN PLACE

Cette étape consiste à identifier les barrières de sécurité mises en place par l'exploitant pour maîtriser les différentes séquences accidentelles retenues lors de l'étape précédente. Dans la démarche d'analyse de risques propre au risque inondation, il est pertinent de distinguer :

- les barrières de sécurité déjà mises en place sur les installations industrielles pour la maîtrise des accidents majeurs n'ayant pas forcément pour origine une inondation, qualifiées dans ce document de barrières classiques;
- les barrières de sécurité spécifiques à l'inondation, c'est-à-dire les actions qui seront entreprises pendant le délai de mise en sécurité dans l'objectif de prévenir l'occurrence des évènements redoutés centraux lorsque le site sera inondé, qualifiées dans ce document de barrières inondation.

Rappelons ici que les dispositions constructives comme les ancrages ne sont pas considérées comme des barrières de sécurité mais doivent être intégrées dans la démarche d'analyse des risques au niveau de la fréquence des événements initiateurs associés ou au niveau de la vraisemblance des scénarios d'accidents.

3.3.1 BARRIERES DE SECURITE CLASSIQUES

Il n'est pas impossible de considérer que les barrières de sécurité déjà mises en place sur les installations pour prévenir les accidents majeurs peuvent également se déclencher lorsque le site est inondé pour des scénarios d'accidents similaires.

Néanmoins, il faut alors vérifier que l'inondation a bien été prise en compte dans l'analyse de la performance de la barrière. Il faut notamment vérifier, que l'inondation n'est pas susceptible de causer la défaillance de la barrière ellemême.

Dans les paragraphes suivants, une réflexion générique est menée sur cette problématique en fonction des différents types de barrières de sécurité. La typologie des barrières utilisées est celle des référentiels Oméga 10³ et Oméga 20⁴ de l'INERIS.

3.3.1.1 DISPOSITIFS DE SECURITE PASSIFS

Les dispositifs de sécurité passifs sont des éléments autonomes qui ne requièrent ni énergie externe, ni action humaine pour assurer leur fonction de sécurité, et qui de plus ne mettent en jeu aucune action mécanique. Ces dispositifs sont robustes et l'inondation ne constitue généralement pas un mode de défaillance. En revanche, la conception peut s'avérer inadaptée aux situations d'inondation. C'est notamment le cas des cuvettes de rétention qui ne peuvent plus jouer leur rôle de rétention à partir du moment où le niveau d'eau les dépasse.

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 24 sur 51

-

³ Référentiel Oméga Ω10 « Evaluation des Barrières Techniques de Sécurité », Rapport INERIS DRA-08-95403-01561B, Septembre 2008, disponible sur www.ineris.fr

⁴ Référentiel Oméga Ω20 « Démarche d'évaluation des Barrières Humaines », Rapport INERIS DRA-09-103041-06026B, Septembre 2009, disponible sur <u>www.ineris.fr</u>

3.3.1.2 DISPOSITIFS DE SECURITE ACTIFS

Les dispositifs de sécurité actifs sont des éléments autonomes qui ne requièrent ni énergie externe, ni action humaine pour assurer leur fonction de sécurité, mais qui peuvent faire intervenir une chaine cinématique simple de mise en mouvement directement par un évènement indésirable. C'est le cas d'une soupape déclenchée par la surpression.

3.3.1.3 Barrieres instrumentees de securite

Les barrières instrumentées de sécurité sont des barrières techniques complexes qui font intervenir une chaîne de traitement d'information entre un capteur et un actionneur, et nécessitent une source d'énergie. C'est le cas par exemple d'une détection de gaz avec un asservissement sur une vanne de coupure.

De manière générale, l'indépendance de ce type de barrières par rapport à l'inondation est difficile à justifier, puisque les sources d'énergie risquent d'être impactées lors de l'inondation et l'inondation peut endommager la barrière.

3.3.1.4 Barrieres a action manuelle de securite

Les barrières à action manuelle de sécurité sont des barrières mixtes à composantes techniques et humaines dans lesquelles l'opérateur est en interaction avec les éléments techniques de la barrière qu'il surveille ou sur lesquels il agit. On peut citer en exemple l'injection manuelle d'un inhibiteur de réaction suite à alarme haute de pression dans un réacteur.

De manière générale, l'indépendance de ce type de barrière par rapport à l'inondation est difficile à justifier, puisque les déplacements sur le site sont fortement entravés lors d'une inondation, ce qui limite les interventions sur les installations.

3.3.1.5 **SYNTHESE**

De manière générale, les barrières techniques de sécurité classiques telles que les dispositifs passifs et actifs précédemment décrits (paragraphes 3.3.1.1 et 3.3.1.2) pourront être retenues lors de la phase d'identification des séquences accidentelles ayant pour cause une inondation, moyennant une vérification sommaire que leur conception n'est pas remise en cause par l'inondation. Ces barrières fonctionnent de manière autonome, ne nécessitent pas d'énergie externe, ni d'action humaine pour assurer leur fonction de sécurité.

En revanche, en première approche, les barrières instrumentées de sécurité et les barrières à action manuelle de sécurité (voir paragraphes 3.3.1.3 et 3.3.1.4) ne seront a priori pas retenues pour les séquences accidentelles inondation puisque l'on ne peut pas garantir que les sources d'énergie, les moyens humains, soient disponibles en cas d'inondation ou que les équipements ne soient pas rendus inopérants par l'action de l'eau elle-même. Néanmoins, il est possible de procéder à une analyse approfondie du fonctionnement de ces systèmes afin d'étudier si l'inondation ne risque pas de dégrader leur performance et ainsi justifier de leur rôle de barrières de sécurité à retenir ou non dans le cadre des séquences accidentelles inondation. Par exemple, certaines barrières instrumentées pourront assurer leur fonction de sécurité car elles seront en position de repli sûre en cas de perte d'utilités.

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 25 sur 51

3.3.2 BARRIERES DE SECURITE INONDATION

Les barrières de sécurité spécifiques à l'inondation se distinguent des barrières techniques et humaines habituellement considérées, puisque leur déroulement anticipe très largement la survenue de l'évènement redouté central (perte de confinement par exemple) ou d'une situation dégradée sur le site industriel.

Les barrières de sécurité *Inondation* consistent principalement à mettre en place un dispositif devant agir lorsque l'eau est sur le site. Une liste non exhaustive des barrières de sécurité qui peuvent être mises en œuvre en cas d'inondation d'un site industriel est donnée ci-dessous :

- endiguement provisoire;
- obturation des ouvertures ;
- remplissage d'un réservoir ;
- déplacement d'un véhicule / d'un contenant de matière dangereuse ;
- mise en hauteur d'équipements / produits sensibles ;
- purge d'une rétention ;
- limitation des objets flottants.

La description de la barrière de sécurité *Inondation* doit contenir des informations sur les évènements redoutés centraux auxquels elle se rapporte, sur les moyens nécessaires à sa réalisation, qu'il s'agisse de moyens humains ou techniques, et une estimation du délai de mise en œuvre de cette barrière.

Il est nécessaire de vérifier que cette barrière est réellement **indépendante de l'inondation**, c'est-à-dire que l'inondation n'est pas susceptible d'entraver le déroulement des actions de mise en sécurité considérées. Dans la plupart des cas, cette indépendance est vérifiée si les barrières sont mises en œuvre pendant le délai de mise en sécurité *Inondation* (défini au paragraphe 3.1.3), c'est-à-dire avant que l'eau n'entre sur le site et en pouvant compter sur les utilités. Néanmoins, on peut imaginer des configurations particulières où la mise en œuvre de ces barrières nécessite du personnel aux compétences spécifiques, et que ce personnel ne puisse pas se rendre sur le site industriel du fait de l'inondation avant même que l'eau n'entre sur le site. D'autre part, il est nécessaire de vérifier que les dispositifs mis en place lors de ces actions sont également **indépendants par rapport aux évènements redoutés**.

Il est ensuite important de qualifier l'**efficacité** de la barrière de sécurité inondation envisagée, c'est-à-dire d'analyser si la réalisation idéale de cette barrière telle qu'elle est prévue initialement permet bien d'écarter les évènements redoutés.

Enfin, il est nécessaire de vérifier que l'adéquation du **délai de réalisation** de l'action est compatible avec le délai de mise en sécurité en cas d'inondation, et de vérifier le **temps de réponse** du dispositif mis en place par rapport à la cinétique des évènements redoutés.

Ces éléments peuvent être présentés sous forme d'un tableau par barrière de sécurité *Inondation* (voir l'exemple en page suivante), qu'il est important de compléter avec les opérateurs susceptibles de devoir la mettre en place.

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 26 sur 51

SITINDUSTRIEL – Identification des barrières de sécurité Fiche d'identification d'une barrière de sécurité Inondation

Description	Limitation des objets flottants sur le site Déplacement de 500 fûts entreposés sur les différentes aires de stockage extérieures vers un bâtiment couvert surélevé de 55 cm par rapport au terrain naturel, et cerclage des fûts entre eux
Evènements redoutés centraux auxquels l'action se rapporte	Pertes de confinement des cuves de stockages aériennes (impact d'objets flottants) Rupture des évents des cuves enterrées (impact d'objets flottants) et entrée d'eau dans les cuves enterrées
Ressources humaines (nombre et qualification) nécessaires pour mettre en œuvre cette action	3 opérateurs habilités à la conduite des chariots élévateurs 1 opérateur pour le cerclage
Ressources techniques nécessaires pour mettre en œuvre cette action	3 chariots élévateurs (disponibles) Matériel de cerclage (à disposition)
Délai nécessaire pour réaliser cette action	9 h pour le transfert des fûts 5 h pour l'opération de cerclage

	Question	Réponse
Indépendance	L'aléa de référence inondation constitue-t-il un mode de défaillance de la barrière ?	Dans le cas où l'action est terminée avant la fin du délai de mise en sécurité, la barrière peut être considérée comme étant indépendante
Efficacité	Lorsqu'elle est correctement dimensionnée / réalisée, la barrière permet-elle d'éviter la survenue des évènements redoutés centraux ?	Bâtiment couvert et suffisamment grand pour l'entreposage de tous les fûts : • hors eau pour les scenarios Inondation Fréquente et Inondation Moyenne ; • cerclage permettant de considérer les fûts statiques pour le scénario Inondation Rare.
Temps de réponse	Le temps de réponse de la barrière est-il compatible avec la cinétique de la crue ou du phénomène dangereux ?	< au délai de mise en sécurité estimée pour Sitindustriel (24h) : 9 h pour la réalisation de l'opération de transfert par les caristes ; 5 h pour l'opération de cerclage.

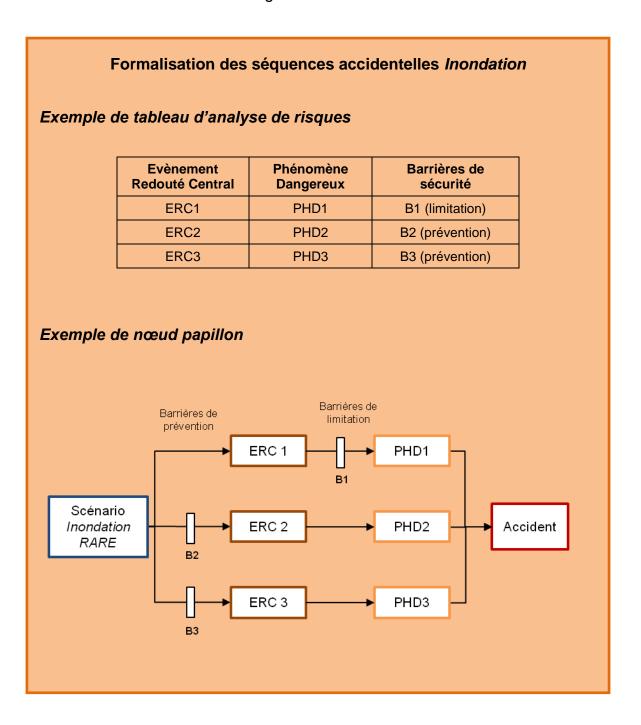
Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 27 sur 51

3.4 Positionnement des barrières de securite

Un tableau détaillant les différentes séquences accidentelles construites pour un scénario *Inondation* donné permet de formaliser de manière synthétique le résultat de l'analyse réalisée lors des trois étapes précédentes.

D'autre part, un arbre regroupant toutes les séquences accidentelles pour un scénario d'inondation donné permet d'avoir une vision globale des accidents majeurs ayant pour origine une inondation.

Le nombre d'arbres à établir est égal au nombre de scénarios *Inondation* retenus.

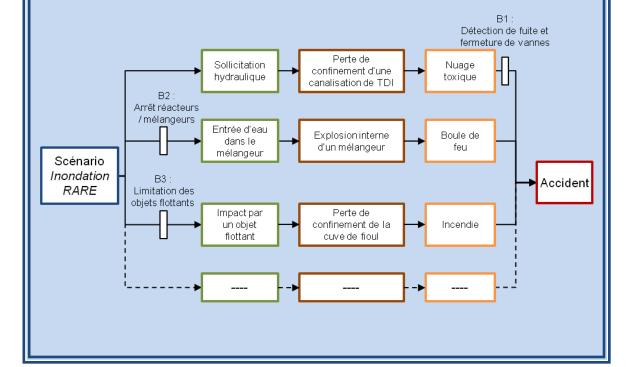


Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 28 sur 51

SITINDUSTRIEL – Construction des séquences accidentelles *Inondation Tableau pour le scénario Inondation Rare*

Evènement intermédiaire	Evènement Redouté Central	Phénomène Dangereux	Barrières de sécurité
Ei 1 Sollicitation hydraulique	ERC1 Perte de confinement d'une canalisation de diisocyanate de toluène (TDI)	PhD 1 Nuage toxique	B1 : Détection de fuite et fermeture des vannes
Ei 2 Entrée d'eau dans le mélangeur	ERC2 Explosion interne d'un mélangeur	PhD 2 Boule de feu	B2 : Arrêt des réacteurs et mélangeurs
Ei 3 Impact par un objet flottant	ERC 3 Perte de confinement de la cuve de fioul	PhD 3 Incendie / Pollution environnementale	B3 : Limitation des objets flottants sur le site

Extrait du nœud papillon pour le scénario Inondation Rare



Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 29 sur 51

A l'issue de la 1ère phase de l'étude du risque inondation décrite dans le présent chapitre, les séquences accidentelles *Inondation* sont définies. Les barrières de sécurité (classiques ou spécifiques à l'inondation) permettant d'en réduire l'occurrence et/ou d'en limiter les conséquences ont été identifiées. La 2ème phase, qui consiste en l'évaluation du risque d'accidents majeurs *Inondation*, peut alors être réalisée et fait l'objet du chapitre 4 suivant.

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 30 sur 51

4. EVALUATION DU RISQUE D'ACCIDENT MAJEUR INONDATION

La démarche d'évaluation proposée est basée sur l'évaluation conjointe de la gravité des conséquences des accidents majeurs *Inondation* et de leur probabilité d'occurrence annuelle. La finalité de la démarche proposée est d'améliorer la maîtrise du risque inondation par l'exploitant des installations concernées, dans le cadre de la prévention des accidents majeurs.

Contrairement à l'aléa sismique, pour lequel la maîtrise du risque repose sur la résistance mécanique des structures aux sollicitations exceptionnelles engendrées, la maîtrise du risque inondation est principalement basée sur des actions de sécurité prévues par l'exploitant et mises en place avant l'arrivée de l'eau sur le site. L'INERIS propose donc de réaliser l'évaluation en deux temps :

- une approche simplifiée et conservative, qui ne prend pas en compte les barrières de sécurité mises en place par l'exploitant et qui rend compte de la vulnérabilité intrinsèque des installations de par leur conception;
- une approche détaillée, qui inclut la performance des barrières de sécurité et qui rend compte des actions de mise en sécurité prévues par l'exploitant en cas de survenue d'une inondation.

Les deux approches sont illustrées ci-après après avoir explicité les principes généraux de détermination de la gravité et de la probabilité d'occurrence annuelle d'un accident majeur ayant pour origine une inondation. Ce chapitre se conclut par une présentation des principes d'élaboration d'une procédure *Inondation*.

4.1 PRINCIPE DE DETERMINATION DE LA GRAVITE

La gravité d'un accident majeur comprend les atteintes aux êtres humains mais également les atteintes à l'environnement qui peuvent ne pas être négligeables. Dans l'objectif de classer les accidents potentiels l'exploitant définit donc les échelles de gravité correspondantes à ces deux enjeux.

La suite de ce paragraphe concerne la détermination de la gravité des conséquences sur l'être humain pour laquelle l'INERIS préconise de se rapprocher des méthodes utilisées dans le cadre des études de dangers.

La gravité est alors déterminée à partir d'une étape intermédiaire d'estimation de l'intensité des différents phénomènes dangereux envisagés pour chaque scénario d'inondation identifié. Les différents niveaux d'effets (effets létaux significatifs, effets létaux, effets irréversibles, bris de vitres) sont déterminés sur la base des seuils de référence pour les hommes et pour les structures, donnés en annexe II de l'arrêté PCIG, pour les différents types d'effets (thermiques, toxiques, surpression et projection). Les outils et modèles habituellement utilisés dans le cadre des études de dangers peuvent être utilisés pour réaliser les modélisations des phénomènes dangereux, avec parfois quelques aménagements explicités dans l'annexe D.

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 31 sur 51

L'échelle de gravité préconisée est celle donnée en annexe III de l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations soumises à autorisation (dit « arrêté PCIG »). Elle est reproduite dans l'encart ci-après.

	Londie	de gravité	
Niveau de gravité des conséquences	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles pour la vie humaine
Désastreux	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1 000 personnes exposées
Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1 000 personnes exposées
Important	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
Sérieux	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
Modéré	Pas de zone de létalité l	hors de l'établissement	Présence humaine exposée à des effets irréversibles inférieure à « une personne »

Le comptage des personnes exposées est réalisé dans les zones correspondant à chaque niveau d'intensité, en se basant notamment sur les règles de la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010. Dans le cas des accidents majeurs ayant pour origine une inondation, il est néanmoins envisageable, après justification, de prendre en compte les mouvements de population, voire les atteintes à la population, engendrés par le phénomène d'inondation lui-même. Deux recommandations à ce sujet sont exposées dans l'encart ci-après.

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 32 sur 51

Recommandations	s pour le comptage des personnes exposées
Configuration	Recommandations pour le comptage
Intersections entre les zones d'effets et l'aléa inondation	Ne pas compter dans les zones non urbanisées où il y a plus d'1 mètre d'eau A l'aval immédiat d'un barrage ou d'une digue : ne pas compter les personnes même si la zone est urbanisée
Zones d'effets sans intersection avec l'aléa inondation	Vérifier que les points de ralliement prévus par la protection civile et les communes en cas d'inondation ne se situent pas dans des zones d'effets Considérer des embouteillages sur les voies de communication

4.2 PRINCIPE DE DETERMINATION DE LA PROBABILITE D'OCCURRENCE ANNUELLE

Dans l'objectif de classer les accidents potentiels, l'exploitant définit également une échelle de probabilité. L'échelle préconisée par l'INERIS est celle donnée en annexe I de l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations soumises à autorisation (dit « arrêté PCIG »). Elle est reproduite dans l'encart ci-après.

Echelle de probabilité						
Classe de probabilité Type d'appréciation	E	D	С	В	A	
qualitative ¹ (les définitions entre guillemets ne sont valables que si le nombre d'installations et le retour d'expérience sont suffisants) ²	« événement possible mais extrêmement peu probable »: n'est pas impossible au vu des connaissances actuelles, mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années installations	« événement très improbable » : s'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité.	« 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» : s'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie de l'installation.	« événement courant » : s'est produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installations, malgré d'éventuelles mesures correctives.	
semi-quantitative	Cette échelle est intermédiaire entre les échelles qualitative et quantitative, et permet de tenir compte des mesures de maîtrise des risques mises en place, conformément à l'article 4 du présent arrêté					
Quantitative (par unité et par an)	10 ⁻⁵ 10 ⁻⁴ 10 ⁻³ 10 ⁻²					

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 33 sur 51

L'encart ci-après précise les règles sur l'attribution des niveaux de probabilité des crues en fonction des périodes de retour. Une pratique analogue est recommandée pour les autres phénomènes naturels dont la période de retour est connue.

Recommandations pour l'attribution d'un niveau de probabilité d'occurrence aux scénarios de crues

Un scénario de crue correspond à un certain **débit** D auquel peut être associée une **période de retour** T exprimée en années. Cette période de retour est l'intervalle moyen de temps séparant des évènements de débits supérieurs à D lorsqu'on observe les évènements à l'échelle de plusieurs siècles. La **probabilité d'occurrence annuelle** d'une crue de débit supérieur à D est l'inverse de la période de retour.

Ex: La probabilité d'occurrence annuelle d'une crue de débit supérieur ou égal au débit centennal est 10^{-2} .

Nous préconisons d'utiliser les relations suivantes pour l'attribution des niveaux de probabilité d'occurrence des crues.

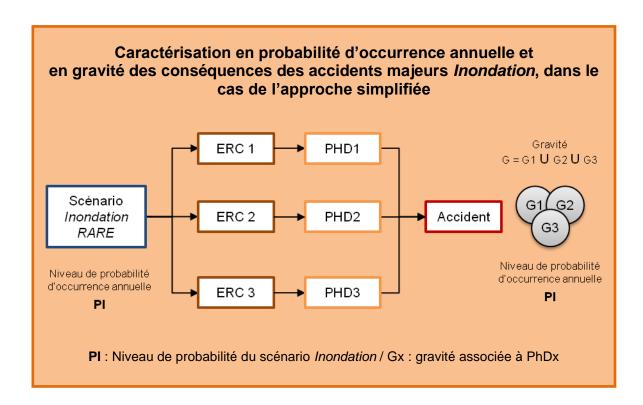
Période de retour T de la crue	Niveau de probabilité associé	
T < 100 ans	A	
100 ans ≤ T < 1 000 ans	В	
1 000 ans ≤ T < 10 000 ans	С	
10 000 ans ≤ T	D	

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 34 sur 51

4.3 APPROCHE SIMPLIFIEE: SANS PRISE EN COMPTE DES BARRIERES DE SECURITE

Dans l'approche simplifiée, chaque scénario *Inondation* conduit à l'évaluation d'un unique accident majeur *Inondation*, défini par la probabilité d'occurrence et la gravité suivantes :

- la probabilité de l'accident majeur Inondation est considérée comme étant du même niveau que la probabilité du scénario Inondation considéré;
- la gravité des conséquences est déterminée en effectuant un comptage à l'intérieur de l'emprise enveloppe des phénomènes dangereux envisagés pour chaque séquence accidentelle.



L'évaluation des risques consiste à comparer le niveau de risque par rapport à un critère d'acceptabilité, déterminé par l'exploitant industriel en rapport à sa politique interne de prévention des accidents majeurs.

Si un ou plusieurs accidents majeurs *Inondation* sont considérés comme inacceptables dans l'approche simplifiée, cela signifie que les installations sont intrinsèquement vulnérables à l'inondation. La réponse de l'exploitant peut consister en des modifications constructives, mais il peut également justifier la prise en compte de barrières de sécurité en suivant l'approche détaillée présentée au paragraphe 4.4.

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 35 sur 51

SITINDUSTRIEL – Synthèse de l'approche simplifiée

Pour les scénarios d'Inondation Fréquente et Moyenne

Seul 1 phénomène dangereux présente des effets qui sortent des limites de propriété de l'établissement. La gravité des conséquences de l'accident majeur *Inondation* est celle du seul phénomène dangereux associé. Le niveau de gravité retenu est **2**.

La probabilité d'occurrence de l'accident majeur ayant pour origine une inondation est égale à la probabilité d'occurrence du scénario *Inondation*, soit un niveau **A** pour le scénario *Inondation Fréquente*, assimilé à une crue décennale, et un niveau **B** pour le scénario *Inondation Moyenne*, assimilé à une crue centennale.

Pour le scénario d'Inondation Rare

Seuls 3 phénomènes dangereux présentent des effets qui sortent des limites de propriété de l'établissement. La gravité des conséquences de l'accident majeur *Inondation* a été déterminée en superposant sur une même carte les distances d'effets des 3 phénomènes dangereux et en effectuant un comptage dans la zone enveloppe. Le niveau de gravité retenu est **4**.

La probabilité d'occurrence de l'accident majeur *Inondation* est égale à la probabilité d'occurrence du scénario *Inondation Rare*, assimilé à une crue millénale, soit un niveau **C**.

Evaluation

Au regard du critère d'acceptabilité interne de l'exploitant, deux des trois accidents majeurs *Inondation* s'avèrent inacceptables. L'exploitant n'envisage pas de modifications constructives pour diminuer, voire supprimer le risque associé. Une étude conduite selon l'approche détaillée a donc été réalisée pour prendre en compte les barrières de sécurité mises en place.

		Probabilité d'occurrence				
Gravité des conséquences	Е	D	С	В	A	
5						
4			Inondation RARE			
3						
2				Inondation MOYENNE	Inondation FREQUENTE	
1						

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 36 sur 51

4.4 APPROCHE DETAILLEE: AVEC PRISE EN COMPTE DES BARRIERES DE SECURITE

Lorsque l'approche simplifiée ne permet pas de statuer sur l'adéquation de la conception des installations industrielles vis-à-vis d'un niveau de risque acceptable pour l'inondation, ou lorsqu'un exploitant souhaite renforcer ses pratiques, il est possible d'examiner la démarche de prévention mise en place à l'aide d'une approche détaillée qui prend en compte les barrières de sécurité, et notamment les actions prévues pendant le délai de mise en sécurité.

4.4.1 PRINCIPE

Le principe de l'approche détaillée est de considérer une probabilité de défaillance pour chaque barrière de sécurité puis d'injecter cette probabilité de défaillance dans le calcul du risque global. Au préalable, il est donc nécessaire de déterminer la performance des barrières considérées (voir paragraphe 4.4.2), ce qui constitue l'étape clé de l'approche détaillée. Cette étape nécessite en pratique de construire une procédure de mise en sécurité *Inondation* pour les barrières spécifiques à l'inondation (voir paragraphe 4.5).

De manière pratique, la détermination des différentes configurations possibles relatives au fonctionnement et au dysfonctionnement des barrières peut être réalisée avec un arbre de dénombrement tel que présenté dans l'encart de la page suivante. Etant donné que plusieurs événements redoutés centraux sont possibles et que le fonctionnement de chaque barrière peut conduire soit à la non réalisation de l'évènement redouté correspondant, soit à la limitation des phénomènes dangereux associés, chaque branche de l'arbre est lié à une gravité spécifique. Cette formalisation en arbre de dénombrement facilite également le calcul des probabilités associées à chaque branche de l'arbre. D'un point de vue pratique, il est néanmoins préconisé de limiter le nombre de barrières étudiées afin de ne pas devoir travailler sur des arbres trop volumineux. Il est ainsi important de déterminer les barrières les plus importantes en termes de réduction globale du risque et qui sont celles rattachées à des phénomènes dangereux de forte probabilité ou dont les conséquences sont très graves.

En définitive, l'accident majeur consécutif à un scénario *Inondation* donné n'est plus caractérisé par un seul couple (Probabilité ; Gravité), mais par une série de couples (Probabilité ; Gravité), qui correspondent aux différentes branches de l'arbre, c'est-à-dire aux différentes configurations possibles d'accidents selon le fonctionnement ou non des barrières.

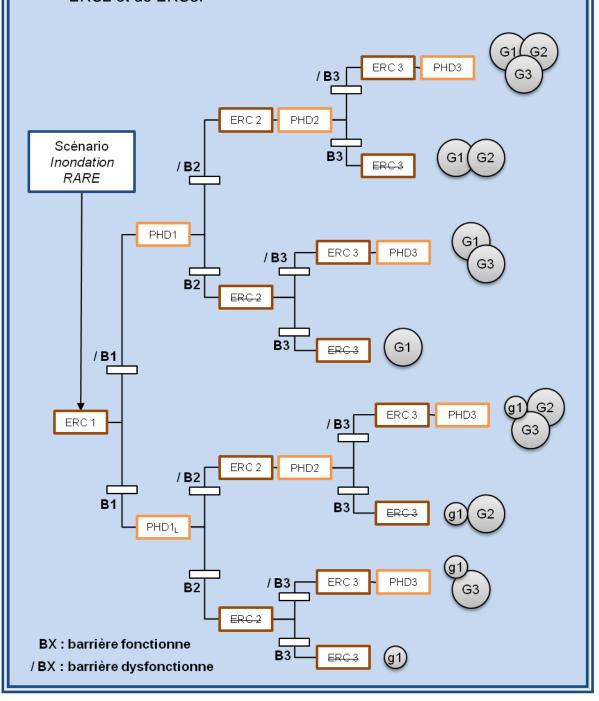
Pour qu'un accident majeur *Inondation* soit acceptable, il faut que l'ensemble des configurations possibles en cas d'inondation soit acceptable par rapport au critère d'acceptabilité fixé par l'exploitant.

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 37 sur 51

SITINDUSTRIEL - Arbre de dénombrement

Pour le scénario *Inondation Rare,* l'analyse de risques a montré qu'il était possible d'avoir 3 séquences accidentelles majeures susceptibles de survenir simultanément (ERC1 \rightarrow PhD1; ERC2 \rightarrow PhD2 et ERC3 \rightarrow PhD3) et a permis l'identification des barrières de sécurité associées :

- barrière B1 de limitation des effets de PhD1, conduisant à un phénomène limité PhD1_L associé à une gravité g1;
- barrières B2 et B3 de prévention permettant de réduire l'occurrence de ERC2 et de ERC3.



Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 38 sur 51

SITINDUSTRIEL - Résultats de l'évaluation détaillée

Au regard du critère d'acceptabilité utilisé par l'exploitant SITINDUSTRIEL, l'accident majeur relatif au scénario *Inondation Rare* était apparu inacceptable à l'issue de l'approche simplifiée.

	Probabilité d'occurrence						
Gravité des conséquences	E	E D C B A					
5							
4			Inondation RARE				
3							
2							
1							

Les 8 branches de l'arbre de dénombrement relatif au scénario *Inondation Rare*, caractérisées en gravité des conséquences et en probabilité d'occurrence sont positionnées de la façon suivante :

		Probabilité d'occurrence			
Gravité des conséquences	E	D	С	В	А
5					
4	n°1, n°2, n°3				
3	n°4, n°5	n°6			
2			n°7		
1			n°8		

Aucune des 8 branches n'est située en zone rouge, et l'évaluation détaillée révèle que les barrières de sécurité mises en place permettent de protéger correctement le site contre le risque inondation au regard du critère d'acceptabilité fixé par l'exploitant SITINDUSTRIEL.

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 39 sur 51

4.4.2 DETERMINATION DE LA PERFORMANCE DES BARRIERES DE SECURITE

Lors de l'identification des barrières, les critères d'indépendance, d'efficacité et de temps de réponse ont été analysés pour ne retenir que les dispositifs pouvant être considérés comme des barrières de sécurité (voir paragraphe 3.3).

Pour conclure sur la performance d'une barrière, il est nécessaire de compléter la démarche par une analyse du risque de défaillance au moment où cette barrière devra assurer sa fonction de sécurité. En pratique, il s'agit d'affecter à chacune des barrières de sécurité un niveau de confiance, à partir duquel pourra être estimée la probabilité de défaillance attendue de la barrière de sécurité. Le niveau de confiance (NC) est ainsi associé à une probabilité de défaillance de 10^{-NC}.

4.4.2.1 NIVEAU DE CONFIANCE DES BARRIERES TECHNIQUES DE SECURITE

Dans le cas des barrières techniques de sécurité, il s'agit d'une évaluation individuelle, qui doit être réalisée selon les principes édictés dans le référentiel Oméga 10.

4.4.2.2 NIVEAU DE CONFIANCE DES BARRIERES DE SECURITE INONDATION

Concernant les barrières de sécurité *Inondation*, le niveau de confiance dépend en grande partie de la faisabilité de l'ensemble des actions dans le temps imparti et avec les ressources nécessaires, en considérant l'ensemble des contraintes auxquelles doivent faire face les opérateurs. Au-delà d'une liste de barrières de sécurité, l'INERIS préconise donc de construire une véritable procédure de mise en sécurité en cas d'inondation qui définit les actions à réaliser pendant le délai de mise en sécurité et permet ainsi de justifier que les opérateurs ne se retrouvent pas en position de devoir faire des arbitrages pendant le laps de temps imparti.

Le tableau présenté dans l'encart ci-dessous précise les décotes proposées par l'INERIS par rapport aux barrières de sécurité *Inondation*, en partant d'un niveau de confiance initial égal à 2.

Recommandations sur la décote du l des barrières de sécurité l	
Niveau de confiance initial attribué à la barrière de sécurité <i>Inondation</i>	NC = 2
Décote de 2 si l'exploitant n'a pas élaboré de procédure de mise en sécurité en cas d'inondation dans laquelle est identifiée la barrière de sécurité	=> NC = 0
Décote de 1 si la barrière de sécurité est identifiée dans une procédure de mise en sécurité en cas d'inondation, mais que cette procédure : n'a pas été construite avec les opérateurs, et/ou ; n'a pas fait l'objet de tests.	=> NC = 1

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 40 sur 51

4.5 PRINCIPE D'ELABORATION D'UNE PROCEDURE INONDATION

La procédure de mise en sécurité en cas d'inondation est incontournable pour justifier la maîtrise des risques liés à l'inondation d'un site industriel dans le cas d'une approche détaillée. Elle peut également être mise en œuvre à l'issue d'une approche simplifiée. Cette procédure doit être élaborée avec les différents opérateurs qui interviennent et doit être testée puis révisée.

4.5.1 PERIMETRE DE LA PROCEDURE

La procédure de mise en sécurité *Inondation* organise, dans le délai imparti, les actions à mener pour prévenir l'occurrence et/ou limiter les conséquences des accidents majeurs susceptibles de se produire en cas d'inondation.

Il est également important d'intégrer à cette procédure les dispositions et actions pertinentes pour la maîtrise des évènements qui pourraient porter durement atteinte au personnel et à l'outil de travail. En effet, il est important que les opérateurs ne se retrouvent pas en position de devoir faire un arbitrage entre sécurité personnelle, enjeux économiques et enjeux de sécurité au niveau du site. La réflexion sur ces trois types d'enjeux doit donc être menée de manière conjointe.

Enfin, les actions de préparation ou de vérification des moyens d'intervention peuvent également être intégrées, en complément des actions précédentes, afin de garder une capacité minimum d'intervention en cas d'incident.

SITINDUSTRIEL – Liste des actions prises en compte pour l'élaboration de la procédure de mise en sécurité Inondation (extrait)

Actions de sécurité pour la prévention des accidents majeurs *Inondation*

(Barrières de sécurité Inondation)

Action 1: Limitation des objets flottants

=> déplacement des fûts

=> cerclage des fûts

Action 2 : Arrêt des réacteurs / mélangeurs

Actions relatives à la protection du personnel et de l'outil de travail

Action 3 : Soufflage des tuyauteries

Action 4 : Arrêt de l'incinérateur

Action 5: Protection des pompes

=> arrêt de l'électricité sur les pompes

=> démontage des pompes

Action 6 : Vidange des bassins incendie

Action 7 : Déplacement des archives au bâtiment A

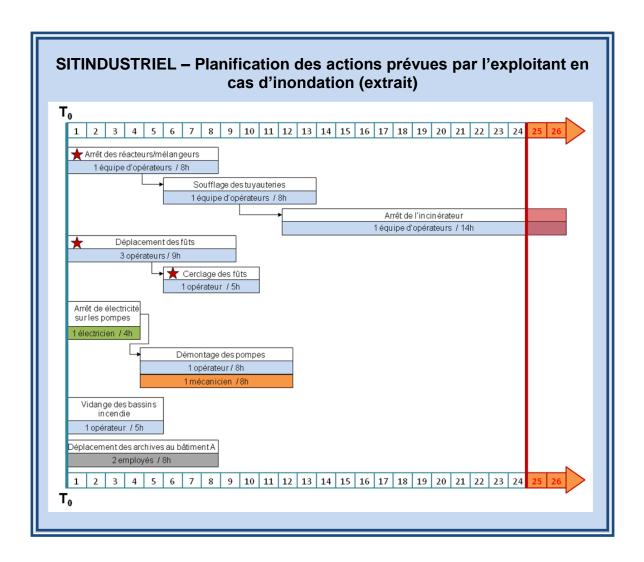
Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 41 sur 51

4.5.2 PLANIFICATION DES ACTIONS

L'objectif de la planification est de permettre à l'exploitant de vérifier s'il est possible de mettre en œuvre l'ensemble des actions prévues dans le temps qui lui est imparti.

La planification est donc réalisée en prenant en compte le délai de mise en sécurité et les contraintes en termes de ressources humaines et matérielles. Les fiches barrières réalisées (comme proposé au paragraphe 3.3) contiennent les informations importantes pour planifier les actions de sécurité pour la prévention des accidents majeurs. Une démarche similaire peut être utilisée pour les actions de sauvegarde de l'outil de travail.

La formalisation sous forme de diagramme permet une lecture simplifiée des actions, ainsi que du temps et des moyens nécessaires pour la mise en œuvre de chacune de ces barrières. Il faut être vigilant aux actions de sécurité dont la réalisation doit suivre un ordre chronologique imposé, et veiller à ce que les actions de sauvegarde de l'outil de travail ne s'avèrent pas préjudiciables à l'objectif de sécurité. A titre illustratif, le diagramme ci-après fait état de la planification globale des actions prévues par l'exploitant pour se préparer à l'inondation du site industriel. Les actions qui constituent des barrières de sécurité *Inondation* sont identifiées par une étoile rouge. Ce diagramme constitue une aide à l'élaboration de la procédure de mise en sécurité *Inondation*.



Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 42 sur 51

Dans le cas où la planification montre que les barrières de sécurité *Inondation* ne peuvent pas être mises en œuvre dans le délai de mise en sécurité défini pour un scénario *Inondation*, il est alors nécessaire de trouver des solutions pour allouer davantage de ressources humaines ou matérielles, voire d'augmenter le délai imparti, par exemple grâce à des procédures de veille spéciale ou un système d'alerte spécifique. Une autre solution peut consister à retravailler sur l'analyse des séquences accidentelles en envisageant, par exemple, de nouvelles dispositions constructives.

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 43 sur 51

5. CONCLUSION

L'objectif du présent document méthodologique était de proposer une démarche pour la prise en compte du risque inondation dans les installations classées. Le cadre général proposé pour cette problématique, qui se place à la frontière des risques naturels et technologiques, est basé sur deux phases distinctes, l'identification des scénarios d'accident majeur ayant pour origine une inondation et l'évaluation de ces risques.

Il ressort de la démarche proposée que l'identification des séquences accidentelles ayant pour origine une inondation nécessite de solliciter des compétences variées. D'un point de vue technique, ces compétences doivent couvrir les domaines de l'hydraulique fluviale ou maritime, de la résistance des structures industrielles et de la modélisation des phénomènes dangereux à partir de termes sources parfois fortement influencés par la présence d'eau sur le site. D'autre part, il est nécessaire de disposer d'une bonne connaissance du site industriel mais également des pratiques locales de gestion du risque inondation par les pouvoirs publics voire des dangers associés aux ouvrages hydrauliques environnant le site. L'implication de différents acteurs paraît incontournable pour réaliser correctement l'analyse du risque inondation et le document propose des outils pratiques pour aborder ces différentes thématiques avec efficacité. Enfin, la démarche conclut sur la nécessité d'élaborer une procédure de mise en sécurité spécifique à l'aléa inondation lorsque la stratégie d'un exploitant industriel est essentiellement basée sur des mesures organisationnelles.

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 45 sur 51

6. GLOSSAIRE INONDATION

Accident majeur Inondation

Accident majeur susceptible de se produire sur le site industriel et ayant pour origine une inondation.

Barrières de sécurité Inondation

Dispositifs et actions spécifiques à l'inondation que l'exploitant industriel met en œuvre pour maîtriser les risques liés à l'inondation sur ses installations.

Délai de mise en sécurité défini pour un scénario Inondation

Intervalle de temps entre le moment où l'exploitant industriel est alerté d'une possible inondation sur son site et l'arrivée effective de l'eau sur les installations ou la perte des utilités.

Procédure⁵ de mise en sécurité Inondation

Règle dans laquelle sont établies toutes les actions, méthodes et moyens à mettre en œuvre en cas d'alerte inondation, qu'il s'agisse d'actions visant la sécurité ou la sauvegarde de l'outil de production. La procédure peut être utilement consignée dans un document.

Scénario Inondation

Référence retenue pour caractériser l'agression qui peut affecter le site industriel. On parle de scénario d'inondation rare, moyenne ou fréquente.

• Séquence accidentelle *Inondation*

Enchaînement des évènements qui, depuis l'évènement initiateur inondation, mènent à l'accident majeur.

Manière spécifiée d'effectuer une activité ou un processus.

Les procédures peuvent ou non faire l'objet de documents.

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A

Page 47 sur 51

⁵ Définition de procédure selon la norme NF EN ISO 9000 d'Octobre 2005 :

7. **BIBLIOGRAPHIE**

- [1] Directive "inondation" 2007/60/CE du 23 octobre 2007 du Parlement européen et du Conseil relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation
- [2] Article L 512-1 du code de l'environnement
- [3] Arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations soumises à autorisation (JO du 7 octobre 2005)
- [4] Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003
- [5] Guide pour la prise en compte du risque inondation, Agnès VALLEE, DRA-34 opération f, INERIS-MEDD, Novembre 2004
- [6] Appui technique à l'élaboration de règles de prévention du risque inondation pour les installations classées : Premiers éléments de réflexion, Agnès VALLEE et Christophe DUVAL, DRADRS81, MEEDDM, Mars 2010
- [7] Impact des inondations du Sud-Est (septembre 2002) sur les activités présentant un risque technologique, Agnès VALLEE et Olivier DOLLADILLE, DRA34 opération f, INERIS-MEDD, Décembre 2003
- [8] Panorama des accidents industriels survenus lors du grand séisme et tsunami du Tohuku. BARPI.
- [9] Fiche BARPI. L'impact des inondations sur des établissements SEVESO. Séries d'événements de 1993 à 2003. Provence-Alpes-Côte d'Azur. Languedoc-Roussillon. France
- [10] Référentiel INERIS Ω10 « Evaluation des Barrières Techniques de Sécurité », Valérie DE DIANOUS et Nguyen LE, DRA-08-95403-01561B, Septembre 2008
- [11] Référentiel INERIS Ω 20 « Démarche d'évaluation des Barrières Humaines de sécurité », Elodie MICHE et Romuald PERINET, DRA-09-103041-06026B, Septembre 2009

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 49 sur 51

8. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
А	Généralités sur les inondations	9
В	Collecte des données sur l'aléa inondation	18
С	Comportement mécanique des équipements industriels dans un écoulement	16
D	Comportement des substances chimiques au contact de l'eau	21
E	Retour d'expérience de quatre accidents majeurs Inondation	16

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Page 51 sur 51

Annexe A : Généralités sur les inondations

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Annexe A

GENERALITES SUR LES INONDATIONS

Les inondations sont une préoccupation majeure en France et en Europe. La Directive européenne 2007/60/CE du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation résulte d'une prise de conscience suite à de nombreux événements survenus en Europe depuis la fin des années 1990. Cette directive est le fruit d'un travail important mené par les Etats membres et la Commission pour encourager la solidarité et viser un niveau de gestion du risque d'inondation ambitieux en Europe.

La Directive européenne 2007/60/CE définit l'inondation comme « une submersion temporaire par l'eau des terres qui ne sont pas submergées en temps normal ».

Cette définition large englobe donc de nombreux phénomènes naturels conduisant à des inondations, tels que les crues, les submersions marines, la remontée de nappes ainsi que les tsunamis. Le ruissellement pluvial est également cité, tandis que la Directive laisse la possibilité d'exclure du champ d'application les problématiques relatives aux réseaux d'égouts.

Par ailleurs, les cours d'eaux et le littoral sont largement aménagés en France et en Europe. Même si la Directive ne mentionne pas explicitement les ouvrages hydrauliques, la caractérisation réaliste des submersions marines et des crues prend nécessairement en compte ces ouvrages. Plus précisément, étant données les gammes de période de retour devant être étudiées dans le cadre de la Directive, il semble pertinent de considérer que :

- les ruptures de digues de protection contre les inondations sont intégrées implicitement dans l'étude plus générale de l'aléa inondation contre lesquelles elles protègent, sachant que l'aléa extrême introduit par la Directive dépasse les objectifs de protection classiques de ce type d'ouvrages;
- les ruptures de barrages ne sont pas intégrées implicitement dans les études des crues, puisque ceux-ci sont censés être dimensionnés pour évacuer, sans danger de rupture, des crues se rapprochant de l'aléa extrême introduit par la Directive; les ruptures de barrages sont donc en principe à considérer indépendamment des phénomènes naturels pouvant engendrer une inondation.

Cette annexe a pour objectif de présenter de manière succincte et illustrée les cinq phénomènes proposés pour l'étude globale du risque inondation sur un site industriel :

- les submersions marines ;
- les débordements de cours d'eau ;
- le ruissellement :
- la remontée de nappes phréatiques ;
- les ruptures de barrages.

1. SUBMERSION MARINE

Le niveau de la mer est constamment soumis à des variations ondulatoires. En conditions normales, on distingue généralement quatre types d'ondulations normales à la surface de la mer :

- la marée, engendrée par les variations du champ de pesanteur liées à la position du soleil et de la lune, et dont la période est principalement journalière (12 h ou 24 h);
- les phénomènes de seiches dans les bassins fermés ou quasi-fermés, qui sont des ondulations libres aux longueurs d'onde du bassin, soit une période comprise entre la minute et l'heure;
- la houle, engendrée par le vent et qui se propage avec des périodes de l'ordre de quelques secondes;
- le clapot, qui est la manifestation d'un vent local.

Le niveau de la mer peut également être affecté par des phénomènes plus rares mais plus intenses :

- l'onde de tempête, également dénommée surcote, qui est une surélévation du niveau de la mer résultant de l'action conjuguée du vent et des basses pressions lors des tempêtes;
- le tsunami, notamment suite à un séisme sous-marin, qui présente la particularité de véhiculer une quantité d'énergie sans comparaison avec les autres phénomènes car toute la hauteur d'eau est mise en mouvement.

La caractérisation de l'aléa inondation dans le cas de phénomènes maritimes et océaniques nécessite une réflexion approfondie. En particulier, les manifestations de faible probabilité d'occurrence annuelle sont des combinaisons des différents phénomènes.

Enfin, le littoral français comporte au moins 500 km de digues de protection qui modifient fortement l'aléa naturel. Les digues de protection font l'objet d'une réglementation de sécurité, modulée en fonction des classes d'ouvrages définies dans le tableau ci-dessous.

CLASSE	CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE et populations protégées
А	Ouvrage pour lequel H ≥ 1 et P ≥ 50 000
В	Ouvrage non classé en A et pour lequel H ≥ 1 et 1 000 ≤ P < 50 000
С	Ouvrage non classé en A ou B et pour lequel H ≥ 1 et 10 ≤ P < 1 000
D	Ouvrage pour lequel soit H < 1, soit P < 10

[&]quot;H" la hauteur de l'ouvrage exprimée en mètres et définie comme la plus grande hauteur mesurée verticalement entre le sommet de l'ouvrage et le terrain naturel du côté de la zone protégée à l'aplomb de ce sommet

Tableau 1 : Définition des classes de diques (article R214-113 du code de l'environnement)

[&]quot;P" la population maximale exprimée en nombre d'habitants résidant dans la zone protégée, en incluant notamment les populations saisonnières.

Tempête Xynthia - Février 2010

Dans la nuit du samedi 27 au dimanche 28 février 2010, la tempête Xynthia s'abat sur une partie du territoire français. Le passage de la tempête coïncide avec une marée haute de fort coefficient et engendre une surélévation du niveau de l'océan. En certains endroits, le niveau dépasse de 50 cm le niveau marin centennal (tel que calculé dans l'étude SHOM-CETMEF « Statistiques des niveaux marins extrêmes de pleine mer Manche et Atlantique (2008) ».

Les digues de protection sont submergées entraînant l'inondation de vastes zones habitées.

Le bilan de la tempête Xynthia est de 53 morts et les dégâts sont estimés à 1,5 milliard d'euros.

Références Internet :

http://www.assemblee-nationale.fr/13/rap-info/i2697.asp http://www.lafautesurmer.net/2010-04-08-Rapport-BRGM.pdf http://www.risques.gouv.fr/risques/risques-naturels/tempete/

Tsunami suite à un séisme en Ligurie - Février 1887

Le 23 février 1887, un séisme survenu dans la mer ligurienne entraine un tsunami dans les villes de Cannes et Antibes. L'épicentre du séisme est localisé en mer, à 20 km de la ville d'Imperia, en Italie. D'une magnitude estimée entre 6,2 et 6,5 sur l'échelle de Richter, le séisme a entraîné des vagues allant jusqu'à 2 m de haut.

Références Internet :

http://www.senat.fr/opecst/english_report_tsunami/english_report_tsunami25.html http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/33/08/93/PDF/nhess-1-195-2001.pdf

2. <u>DEBORDEMENT DE COURS D'EAU</u>

Les précipitations atmosphériques sont susceptibles de venir augmenter considérablement le débit d'un cours d'eau et provoquer son débordement dans le lit majeur. Il existe différents régimes de crue (cinétique lente et cinétique rapide) qui dépendent de la topographie du bassin versant du cours d'eau ainsi que de l'intensité des précipitations. Une pluviométrie intense dans un bassin versant au relief encaissé et présentant un temps de concentration très faible engendre des crues soudaines.

Dans les fleuves de grandes largeurs, le vent peut localement engendrer la formation de vagues (clapot).

Enfin, les rivières et fleuves comptent plus de 8000 km de digues de protection qui modifient fortement l'aléa naturel. Les digues de protection font l'objet d'une réglementation de sécurité, modulée en fonction des classes d'ouvrages définies dans le tableau ci-dessous.

CLASSE	CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE et populations protégées
А	Ouvrage pour lequel H ≥ 1 et P ≥ 50 000
В	Ouvrage non classé en A et pour lequel H ≥ 1 et 1 000 ≤ P < 50 000
С	Ouvrage non classé en A ou B et pour lequel $H \ge 1$ et $10 \le P < 1$ 000
D	Ouvrage pour lequel soit H < 1, soit P < 10

[&]quot;H" la hauteur de l'ouvrage exprimée en mètres et définie comme la plus grande hauteur mesurée verticalement entre le sommet de l'ouvrage et le terrain naturel du côté de la zone protégée à l'aplomb de ce sommet

Tableau 2 : Définition des classes de digues (article R214-113 du code de l'environnement)

[&]quot;P" la population maximale exprimée en nombre d'habitants résidant dans la zone protégée, en incluant notamment les populations saisonnières.

Crues torrentielles de Draguignan - Juin 2010

Du 15 au 16 juin 2010, des précipitations de période de retour de 50 à 100 ans s'abattent sur la région de Draguignan. Les cumuls journaliers de précipitation excèdent parfois 350 mm, soit l'équivalent de plusieurs mois de pluie.

Ces précipitations exceptionnelles entraînent des crues soudaines des rivières Nartuby et Agens auxquelles s'ajoute un phénomène de ruissellement des eaux de pluies dans la ville. Près de Draguignan, l'eau a atteint dans les zones submergées des hauteurs de plus de 2 m.

Le bilan des crues soudaines de la région de Draguignan est de 23 morts et les dégâts sont estimés à 1 milliard d'euros.

Références Internet :

http://www.ffsa.fr/sites/upload/docs/application/pdf/2011-06/bilan var au 31 mai 2011m 2011-06-15 15-29-10 49.pdf

http://portail.documentation.developpement-

durable.gouv.fr/documents/cgedd/007394-01_rapport.pdf

http://pluiesextremes.meteo.fr/2010-06-15/catastrophe-de-draguignan.html

Crue du Rhône - Décembre 2003

Entre le 1^{er} et le 5 décembre 2003, le Rhône connait une crue majeure suite à des épisodes pluvieux survenus entre le 1^{er} et le 3^{ème} jour du mois et suite à un mois de novembre pluvieux.

La crue du Rhône est particulièrement importante en partie basse. Un débit exceptionnel est enregistré à Beaucaire, avec une valeur de 11 500 m³/s pour une valeur moyenne de 1 700 m³/s, ce qui correspond à une période de retour légèrement supérieure à la crue centennale. Certaines zones sont inondées sous plus de 3 m d'eau.

Sous la pression de l'eau, certains ouvrages de protection cèdent et provoquent l'inondation de zones à forts enjeux économiques.

Le bilan de la crue du Rhône de décembre 2003 est de 7 morts et plus de 1 500 communes sinistrées.

Références Internet :

http://www.donnees.rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/include/publi/pdf/Monographie crue rhone 200312.pdf http://pluiesextremes.meteo.fr/quelques-generalites-sur-les-crues-durhone_r71.html

http://www.eaufrance.fr/spip.php?rubrique187&id_article=465

3. RUISSELLEMENT

Le ruissellement des eaux pluviales et leur concentration sont possibles dès que les capacités d'infiltration du sol superficiel sont réduites, notamment à cause de l'imperméabilisation des sols en zone urbaine ou suite à la saturation du sol naturel par des pluies antérieures.

En fonction de sa situation dans le bassin versant local, un territoire peut alors se retrouver sur le passage d'importantes circulations d'eau intermittentes, voire même stocker l'eau des précipitations s'il constitue un point bas topographique.

Le ruissellement est un phénomène généralisé, dont quasiment aucune commune n'est à l'abri. On estime qu'en seulement 20 ans, 75 % des communes françaises ont déjà subi une inondation par ruissellement au moins une fois.

On distingue communément deux types de ruissellement : urbain (ou péri-urbain) et rural (ruissellement sur des coteaux pouvant générer des coulées de boue).

Inondations de Nîmes - Octobre 1988

Les 2 et 3 octobre 1988, un orage de très grande intensité s'abat sur la ville de Nîmes. Sur les hauteurs de la ville, le maximum des précipitations est relevé au Mas de Ponge où plus de 420 mm d'eau se sont abattus en moins de 8 h, soit l'équivalent de plus de la moitié des précipitations annuelles à cet endroit.

Les précipitations tombées précédemment entre le 29 septembre et le 2 octobre ont contribué à la saturation du sol. Les eaux de pluie ne peuvent plus s'infiltrer et ruissellent en provoquant des inondations d'une ampleur historique.

On estime à 14 millions de mètres cubes la quantité d'eau ayant transitée dans la ville au moment des inondations, avec des débits de pointe de 500 m³/s au confluent des cadereaux d'Alès et Camplanier. L'eau atteint jusqu'à 3,35 mètres de hauteur dans la ville.

Le bilan des inondations de Nîmes est de 9 morts et 45 000 sinistrés. Les dégâts sont estimés à plus de 600 millions d'euros.

Références Internet :

http://www.nimes.fr/fileadmin/directions/prevention_risque/Annexe_1.pdf http://pluiesextremes.meteo.fr/1988-10-03/catastrophe-de-nimes-.html

4. REMONTEE DE LA NAPPE PHREATIQUE

La nappe phréatique, alimentée par les précipitations, connaît des variations saisonnières de niveau en fonction de la pluviométrie, des caractéristiques hydrogéologiques du sol et de la présence de végétation qui absorbe une partie de l'eau stockée.

Après plusieurs années humides, le niveau de la nappe peut s'approcher du niveau du sol et une inondation des points bas topographiques par remontée de la nappe phréatique est alors possible en cas d'évènements pluviométriques intenses qui ne peuvent pas être absorbés par la nappe.

Remontées de nappes dans la Somme - Mars-Avril 2001

Durant les mois de mars et avril 2001, des inondations de grande ampleur touchent la vallée de la Somme, suite à la remontée de la nappe de la Craie.

L'importance des précipitations des années précédentes a contribué à la hausse du niveau de la nappe de Craie et les précipitations exceptionnelles d'octobre 2000 à avril 2001, qui sont largement supérieures au cumul des précipitations annuelles moyen, saturent totalement la nappe et provoquent son débordement.

Certains quartiers d'Abbeville sont noyés sous 2 m d'eau.

Le bilan des inondations fait mention de 130 communes inondées, 2000 maisons touchées dont 400 avec des dégâts importants, et plus de 1 000 personnes évacuées.

Références Internet :

http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=remont%C3%A9e+nappe+de+la+somme +2001&source=web&cd=1&ved=0CGkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.brgm.fr %2FRapport%3Fcode%3DRP-50885-FR&ei=22yyT4qsF-

eG0AWzq4G2CQ&usg=AFQjCNFlfQtPghut-a8UTG3cpBvF54qBHQ

http://pluiesextremes.meteo.fr/2001-03-01/inondations-catastrophiques-dans-la-somme.html

http://www.senat.fr/rap/r01-034-1/r01-034-111.html

http://www.encyclopedie.picardie.fr/index.php/La_grande_inondation_de_2001

5. RUPTURES DE BARRAGES

Les barrages sont des ouvrages construits pour stocker les eaux météoriques. Les barrages sont utilisés à des fins diverses :

- production hydroélectrique ;
- approvisionnement en eau potable ou pour l'irrigation ;
- laminage des crues et soutien d'étiage ;
- attrait touristique.

La rupture d'un barrage entraîne la libération plus ou moins soudaine du volume stocké sous la forme d'une onde de submersion, dont les effets en termes d'inondation peuvent être considérables jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres pour les barrages les plus imposants. Dans une moindre mesure, la défaillance d'un organe hydraulique d'un barrage peut également contribuer à une montée des eaux importantes dans le cours d'eau situé à l'aval du barrage.

En France, les barrages sont des ouvrages qui font l'objet d'une réglementation de sécurité, modulée en fonction des classes d'ouvrages définies dans le tableau ci-dessous.

Classe de l'ouvrage	Caractéristiques géométriques
Α	H ≥ 20
В	Ouvrage non classé en A et pour lequel $H^2 \times \sqrt{V} \ge 200$ et $H \ge 10$
С	Ouvrage non classé en A ou B et pour lequel $H^2 \times \sqrt{V} \ge 20$ et $H \ge 5$
D	Ouvrage non classé en A, B ou C et pour lequel H ≥ 2

[&]quot;H" la hauteur de l'ouvrage exprimée en mètres et définie comme la plus grande hauteur mesurée verticalement entre le sommet de l'ouvrage et le terrain naturel à l'aplomb de ce sommet

Tableau 3 : Définition des classes de barrages (article R214-112 du code de l'environnement)

On compte environ 300 barrages de classe A, 300 de classe B et 500 de classe C. Quant aux barrages de classe D, il en existe plusieurs dizaines de milliers répartis sur l'ensemble du territoire français.

[&]quot;V" le volume retenu exprimé en millions de mètres cubes et défini comme le volume qui est retenu par le barrage à la cote de retenue normale. Dans le cas des digues de canaux, le volume considéré est celui du bief entre deux écluses ou deux ouvrages vannés.

Rupture du barrage de Malpasset - Décembre 1959

Le 2 décembre 1959, le barrage de Malpasset, d'une hauteur de 60 m, se rompt lors de sa mise en eau. Une lame d'eau de 50 millions de mètres cubes s'engouffre dans la vallée du Reyran, formant une vague de 40 m de haut qui déferle à la vitesse de 70 km/h. La ville de Fréjus est submergée en quelques minutes. Vingt minutes plus tard, la vague d'eau est suivie par une vague de boue qui recouvre les quartiers du Reyran, du Pavadou, de la Gare et des Arènes sur une épaisseur de 50 cm.

La rupture du barrage voûte est imputée à la mauvaise qualité du rocher de fondation sur lequel il s'appuyait.

Le bilan humain de la rupture du barrage de Malpasset s'élève à 423 morts et 7 000 sinistrés. On compte 155 immeubles entièrement détruits, 1 000 hectares de terres agricoles ravagés et deux milliards de francs de dégâts.

Références Internet :

http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/Rupture-d-un-barrage-a-Malpasset-83-le-02-decembre-1959--4650.html

http://www.risquesmajeurs.fr/il-y-50-ans-la-rupture-du-barrage-de-malpasset-plus-grande-catastrophe-civile-de-lhistoire-de-france

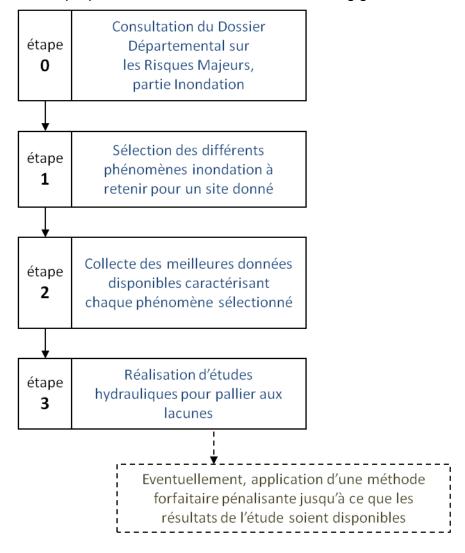
Annexe B : Collecte des données sur l'aléa inondation

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Annexe B

COLLECTE DES DONNEES SUR L'ALEA INONDATION

L'objectif de cette annexe est de préciser la démarche à entreprendre pour collecter les données nécessaires à la réalisation de l'étude du risque inondation sur une installation industrielle. La démarche générale proposée pour parvenir à cet objectif est détaillée au niveau du logigramme ci-dessous.

Dans un premier temps, il nous semble pertinent de prendre connaissance du panorama général de l'aléa inondation qui est réalisé dans le Dossier Départemental sur les Risques Majeurs¹, afin d'aborder la démarche de collecte de données avec un niveau de connaissance minimal sur les phénomènes d'inondation les plus marquants sur le territoire départemental. Les étapes 1 et 2 de la démarche proposée sont détaillées à la suite du logigramme.



¹ Le DDRM est disponible sur les sites des préfectures

(<u>http://www.interieur.gouv.fr/Le-ministere/Prefectures</u> + sélection du département pour accéder au site spécifique)

Réf. : INERIS-DRA-14-141515-03596A Annexe B Page 1 sur 18

1. ETAPE 1: SELECTION DES DIFFERENTS PHENOMENES INONDATION A RETENIR POUR UN SITE DONNE

La démarche proposée consiste à procéder par exclusion à partir de la liste des 5 phénomènes considérés comme pouvant engendrer une inondation² :

- les submersions marines ;
- les débordements de cours d'eau ;
- le ruissellement ;
- la remontée de nappes phréatiques ;
- la rupture de barrages.

La logique d'exclusion consiste en pratique à positionner l'emprise du site industriel par rapport à des cartographies conservatives du phénomène considéré. Les documents de référence qui ont été retenus sont :

- les Enveloppes Approchées des Inondations Potentielles réalisées dans le cadre de la Directive Inondation pour les phénomènes de débordement de cours d'eau, de submersion marine et de ruissellement (ce dernier phénomène étant compris dans l'emprise des débordement des cours d'eau définie dans les EAIP); nous avons considéré que ces phénomènes pouvaient être exclus en dehors des EAIP;
- les cartes de sensibilité aux inondations de nappes réalisées par le BRGM; ces cartes ont été réalisées à l'échelle départementale et communale selon une méthodologie nationale qui différencie 6 niveaux de sensibilité (nappe sub-affleurante, sensibilité très forte, forte, moyenne, faible ou très faible); dans un premier temps, nous avons considéré que le phénomène pouvait être exclu pour le niveau de sensibilité très faible.

Concernant les défaillances de barrage, aucune cartographie conservative n'est actuellement disponible. La source de données la plus pertinente est à ce jour la base GASPAR de la DGPR qui sert de support au site Internet *Ma commune face aux risques*, renseignant notamment sur le risque de *rupture de barrage*. Cette base, mise à jour directement par les services instructeurs départementaux, prend probablement en compte l'ensemble des barrages soumis à PPI, mais également tout ou partie des barrages soumis à études de dangers (classes A et B). En revanche, il n'est pas acquis que les barrages de classe C et D soient pris en compte dans cette base, or les exclusions réglementaires actuelles sur les ruptures de barrages ne portent pas sur ces classes d'ouvrages. Par conséquent ce phénomène est retenu par défaut à ce stade de l'analyse.

Le tableau présenté ci-dessous récapitule la démarche à suivre pour exclure chacun des phénomènes et précise le chemin d'accès aux données nécessaires pour dérouler cette démarche.

_

²voir la description de ces phénomènes dans l'annexe A

Phénomène	Filtre d'exclusion	Principe d'exclusion	
Submersion marine	EAIP Submersion marine	Exclusion si l'emprise du site est hors des EAIP	
Débordement de cours d'eau / ruissellement	EAIP Débordement de cours d'eau	Exclusion si l'emprise du site est hors des EAIP	
Remontée de nappe phréatique	Cartes de sensibilité au phénomène de remontées de nappe du BRGM ³	Exclusion si l'emprise du site est en zone de sensibilité très faible	
Rupture de barrage	Pas de filtre existant au niveau national	/	

³ Disponibles sur le portail Géorisques (<u>http://www.georisques.gouv.fr/</u>).

Réf. : INERIS-DRA-14-141515-03596A Annexe B Page 3 sur 18

2. ETAPE 2: COLLECTE DES MEILLEURES DONNEES DISPONIBLES CARACTERISANT CHAQUE PHENOMENE

Pour chaque phénomène susceptible de provoquer une inondation, l'objectif est de récupérer les meilleures données publiques disponibles concernant :

- la hauteur d'eau et la vitesse d'écoulement qui sont les deux caractéristiques physiques les plus importantes pour l'analyse des risques;
- les canaux d'alerte et de vigilance existants, dans l'objectif d'évaluer l'intervalle de temps disponible pour déployer les actions de sécurité spécifiques à l'inondation avant l'arrivée de l'eau sur un site industriel.

Ces données devraient idéalement être récupérées pour les trois niveaux d'aléa naturels préconisés par la Directive Inondation, soit les aléas fréquent, moyen (à minima un évènement centennal) et extrême.

En première partie de ce chapitre, une hiérarchisation des cartes de référence disponibles est proposée pour chaque phénomène. Il est important de garder à l'esprit que la hiérarchisation proposée se veut applicable dans la majeure partie des cas. Elle se base donc sur des documents de référence issus de démarches nationales. En ce sens, il peut y avoir localement d'autres cartographies, potentiellement de meilleure qualité, réalisées dans le cadre de projets spécifiques.

En deuxième partie de ce chapitre, les canaux d'alerte ou de vigilance à privilégier pour chaque type d'inondation sont explicités. En effet, les services de l'Etat effectuent une veille permanente sur les risques naturels et en particulier sur les phénomènes pouvant conduire à une inondation. Des dispositifs sont mis en place afin de diffuser publiquement des messages d'alerte, ou de mettre à disposition des informations de vigilance qui, bien qu'en accès libre, sous-entendent une démarche proactive de recherche de la part des personnes qui souhaitent en prendre connaissance. La valorisation de ces informations peut permettre d'évaluer et le cas échéant de garantir un délai d'intervention suffisant entre la détection du danger d'inondation et son arrivée effective, afin d'assurer la mise en sécurité du site industriel.

Les liens Internet indiqués dans les paragraphes ci-après sont des liens valides à la date précisée en en-tête de la présente annexe. Il est possible que les adresses ou le contenu des sites référencés évoluent.

2.1 CARTES DE REFERENCE

2.1.1 SUBMERSIONS MARINES (HORS TSUNAMIS)

Le tableau ci-dessous propose une hiérarchisation de trois cartes de référence, dans le cas où un site est exposé à une submersion marine. Les différents documents de référence sont présentés plus en détail à la suite du tableau.

Hiérarchie	Carte de référence	Est-ce qu'une telle carte existe sur le territoire concerné ?	Où trouver la carte de référence ?
1	Carte des TRI	Adresse Internet : http://www.georisques.gouv.fr/cartes-interactives#/ Thème : Inondation Couche : Territoires à Risques importants d'Inondation – TRI	Consulter le site Internet de la DREAL de bassin
2	Carte des PPRL	Consulter Cartélie depuis le site Internet GéoLittoral Visualisation des cartes de vulnérabilité aux risques littoraux Adresse Internet : http://cartelie.application.developpement-durable.gouv.fr/cartelie/voir.do?carte=vulnerabilite_littoral_metropole&service=CEREMA Thème : Atlas de zones inondables et plan de prévention liés à la mer Couche : Nombre de PPRL approuvés	Consulter la mairie, la DDTM
3	Carte des hauteurs d'eau dans les zones basses	Consulter Cartélie depuis le site Internet GéoLittoral Visualisation des cartes de vulnérabilité aux risques littoraux Adresse Internet : http://cartelie.application.developpement- durable.gouv.fr/cartelie/voir.do?carte=vulnerabilite litt oral_metropole&service=CEREMA Thème : Zones basses Couche : Zones basses	Télécharger les cartes sur le site du CEREMA : http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/vulnerabilite-du-territoire-a406.html Cartographies / Zones basses / Cartes hauteur eau

Dans le cas où le site industriel est protégé par une digue de protection contre les submersions de classe A, B ou C, il est important de collecter les informations contenues dans l'étude de dangers sur l'onde de submersion en cas de rupture de digue. Les ondes de submersion sont reliées à l'un des évènements naturels définis comme de probabilité faible, moyenne ou rare, mais les scénarios de rupture peuvent avoir une probabilité différente de celle des aléas naturels. Une requête auprès de la DREAL permet de savoir si une zone est protégée par une digue et d'accéder à l'étude de dangers de la digue correspondante.

Les Territoires à Risque Important d'Inondation (TRI)

Dans le cadre de la Directive Européenne Inondation, un ensemble de territoires dans lesquels il existe un risque d'inondation important ayant des conséquences de portée nationale a été sélectionné dans chaque bassin hydrographique, sur la base des résultats de l'évaluation des enveloppes approchées d'inondation potentielles et des enjeux présents sur le territoire.

Ces TRI ont fait l'objet d'une cartographie informative concernant les aléas faible, moyen et extrême définis dans la Directive Inondation.

Les Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRL)

Les PPR sont des documents réalisés par les services de l'Etat qui cartographient un aléa de référence sur un territoire considéré et précisent les règles d'urbanisme et de construction associées dans les zones cartographiées. Ils contiennent une carte informative des phénomènes naturels et une carte d'aléas.

Dans le cas des risques littoraux, l'aléa submersion marine est l'un des aléas pris en compte, en complément des aléas recul du trait de côte et migration dunaire qui ne relèvent pas de la thématique Inondation.

L'aléa de référence pour la submersion marine est l'événement météo-marin centennal ou un évènement historique si celui-ci est supérieur. Au moins trois scénarios correspondant à cet aléa de référence sont étudiés :

- le scénario de référence, qui comprend des hypothèses sur la tenue ou la ruine des ouvrages de protection;
- le scénario à 100 ans, qui intègre les effets du changement climatique ;
- le scénario considérant une ruine généralisée des ouvrages de protection.

Les scénarios sont caractérisés au moins par le niveau d'eau et la hauteur significative des vagues.

Les niveaux d'aléa sont ensuite déterminés sur la base de la hauteur d'eau sur le territoire et de la dynamique de submersion (évaluée à partir de la vitesse de l'écoulement et de la vitesse de montée des eaux, selon :

- quatre classes de hauteur définies grâce à des seuils de hauteur placés tous les 50 cm jusqu'à 1,5 m;
- trois classes de vitesse d'écoulement définies grâce à deux seuils à 0,25 m/s et 0,75 m/s;

la vitesse de montée des eaux comme un facteur aggravant à prendre en compte dans l'évaluation pour des hauteurs supérieures à 50 cm.

Référence : Guide méthodologique : Plan de prévention des risques littoraux. Décembre 2013 MEDDE/SRNH/DGPR

Les cartes des hauteurs d'eau dans les zones basses

Ces cartes sont issues de l'étude nationale sur la "Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux" qui constitue une synthèse des risques littoraux. Les zones basses sont des zones topographiques situées sous un niveau marin de référence, qui en métropole, est le niveau centennal.

Les cartes des hauteurs d'eau dans les zones basses sous le niveau marin de référence sont obtenues par différence entre la cote du niveau marin de référence et la topographie, par classe de 1 m.

Référence : Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux Auteur : C. Perherin, A. Roche (CETMEF), F. Pons, I. Roux, C. Trmal, R. Bouzige (CETE Méditerranée), G. Desire, C. Boura, D. Dreux, E. Devaux (CETE de l'Ouest). Date de publication : 11/2012

L'Etude De Dangers des digues de protection contre les submersions marines

Conformément au Décret n°2007-1735, les gestionnaires des digues de classe⁴ A, B et C sont tenus de réaliser une étude de dangers de leur ouvrage. Cette étude de dangers a pour objet de caractériser les risques intrinsèques à l'ouvrage qui sont susceptibles de se manifester à l'occasion des submersions contre lesquelles cet ouvrage protège.

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. Une cartographie de l'onde dans les casiers de la zone inondée doit être fournie. Elle fait apparaître le niveau d'eau maximal sur le territoire protégé, voire la vitesse maximale du courant. Les modélisations permettent également de connaître l'évolution temporelle du remplissage des casiers hydrauliques qui constituent la zone protégée.

⁴ Se référer à l'annexe A pour la classification des digues

2.1.2 DEBORDEMENT DE COURS D'EAU

Le tableau ci-dessous propose une hiérarchisation de trois cartes de référence, dans le cas où un site est exposé à un débordement de cours d'eau. Les différents documents de référence sont présentés plus en détail à la suite du tableau.

Hiérarchie	Carte de référence	Est-ce qu'une telle carte existe sur le territoire concerné ?	Où trouver la carte de référence ?
1	Carte des TRI	Consulter le site Internet Géorisques Adresse Internet : http://www.georisques.gouv.fr/cartes-interactives#/	Consulter le site Internet de la DREAL de bassin
		Thème : Inondation Couche : Territoires à Risques importants d'Inondation – TRI	
2	Carte des PPRI	Adresse Internet : http://www.georisques.gouv.fr/ma_maison_mes_risques Action : Renseigner l'adresse du site industriel Cliquer sur « Description des risques »	Consulter la mairie, la DDT(M)
3	Carte des AZI	Adresse Internet : http://cartorisque.prim.net/index.html Action : Cliquer sur le département du site industriel Couche : Aléa Inondation – Couche de synthèse	Consulter la DREAL

Dans le cas où le site industriel est protégé par une digue de protection contre les débordements de cours d'eau de classe A, B ou C, il est important de collecter les informations contenues dans l'étude de dangers sur l'onde de submersion en cas de rupture de digue. Les ondes de submersion sont reliées à l'un des évènements naturels définis comme de probabilité faible, moyenne ou rare, mais les scénarios de rupture peuvent avoir une probabilité différente de celle des aléas naturels. Une requête auprès de la DREAL permet de savoir si une zone est protégée par une digue et d'accéder à l'étude de dangers de la digue correspondante.

Les Territoires à Risque Important d'Inondation (TRI)

Dans le cadre de la Directive Européenne Inondation, un ensemble de territoires dans lesquels il existe un risque d'inondation important ayant des conséquences de portée nationale a été sélectionné dans chaque bassin hydrographique, sur la base des résultats de l'évaluation des enveloppes approchées d'inondation potentielles et des enjeux présents sur le territoire.

Ces TRI ont fait l'objet d'une cartographie informative concernant les aléas faible, moyen et extrême définis dans la Directive Inondation.

Les Plans de Prévention des Risques Inondation (PPRI)

Les PPR sont des documents réalisés par les services de l'Etat qui cartographient un aléa de référence sur un territoire considéré et précisent les règles d'urbanisme et de construction associées dans les zones cartographiées. Ils contiennent une carte informative des phénomènes naturels et une carte d'aléas. Les plans de prévention des risques inondation doivent prendre en compte tous les types d'inondations sur un territoire, néanmoins la méthodologie diffère selon les phénomènes.

Pour les débordements de cours d'eau, hors laves torrentielles, l'aléa de référence est la crue centennale ou les plus hautes eaux connues si celles-ci sont supérieures.

Les scénarios de crues sont caractérisés par un hydrogramme, c'est-à-dire une variation temporelle du débit en un point donné du cours d'eau. Le niveau d'eau et la vitesse peuvent ensuite être déduits de cet hydrogramme.

Les niveaux d'aléa sont ensuite déterminés sur la base de la hauteur d'eau, éventuellement associée à la vitesse de l'écoulement, selon :

- trois classes de hauteur définies grâce à deux seuils à 0,50 m et 1 m;
- trois classes de vitesse d'écoulement définies grâce à deux seuils à 0,25 m/s et 0,50 m/s, même s'il est préconisé de raisonner qualitativement en cas d'imprécision des données.

Référence : Guide méthodologique : Plan de prévention des risques. Risques d'inondation. 1999 MATE et METL.

Atlas des Zones Inondables (AZI)

Les atlas des zones inondables, définis par la circulaire du 24 janvier 1994 et réalisés au niveau régional par les DREAL, doivent identifier et délimiter les couloirs d'écoulement des eaux. Les AZI ont principalement été cartographiés pour les inondations par débordement de cours d'eau.

La méthode recommandée pour réaliser la cartographie est la méthode hydromorphogéologique. Cette méthode qualitative, est basée sur le fonctionnement des cours d'eau, la topographie et ne tient pas compte des activités ou des ouvrages anthropiques. Les AZI peuvent également tenir compte des plus hautes eaux connues (PHEC). La pose des repères de crues est une obligation pour le maire d'une commune concernée.

L'Etude De Dangers des digues de protection contre les débordements

Conformément au Décret n°2007-1735, les gestionnaires des digues de classe⁵ A, B et C sont tenus de réaliser une étude de dangers de leur ouvrage. Cette étude de dangers a pour objet de caractériser les risques intrinsèques à l'ouvrage susceptibles de se manifester à l'occasion des crues contre lesquelles les digues protègent.

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. Une cartographie de l'onde dans les casiers de la zone inondée doit être fournie. Elle fait apparaître le niveau d'eau maximal sur le territoire protégé voire la vitesse maximale du courant. Les modélisations permettent également de connaître l'évolution temporelle du remplissage des casiers.

⁵ Se référer à l'annexe A pour la classification des diques

2.1.3 REMONTEE DE NAPPE PHREATIQUE

Le principal document de référence est le plan de prévention des risques inondation, qui peut dans certains cas contenir des informations sur les inondations par remontée de nappe.

Les PPR inondations de nappe

Les PPR sont des documents réalisés par les services de l'Etat qui cartographient un aléa de référence sur un territoire considéré et précisent les règles d'urbanisme et de construction associées dans les zones cartographiées. Ils contiennent une carte informative des phénomènes naturels et une carte d'aléas. Les plans de prévention des risques inondation doivent prendre en compte tous les types d'inondations sur un territoire, néanmoins la méthodologie diffère selon les phénomènes.

Le phénomène d'inondation par remontée de nappe ne bénéficie pas d'une méthodologie nationale. Ce phénomène peut parfois être intégré à certains PPR sur des territoires ayant déjà connus de telles inondations et la caractérisation se base donc essentiellement sur une approche historique. Etant données les caractéristiques physiques associées à ce phénomène (vitesse nulle et hauteur faible), celui-ci peut se retrouver partiellement masqué par les phénomènes classiques de débordement, voire de ruissellement. L'inondation par remontée de nappe peut donc s'avérer plus critique principalement à cause de la durée de submersion. Certains PPR peuvent ainsi moduler leur niveau d'aléa en prenant en compte ce critère avec un seuil typique de l'ordre d'une dizaine de semaines.

2.1.4 RUISSELLEMENT

En pratique, le principal document de référence est le plan de prévention des risques inondation, qui peut localement contenir des informations sur les phénomènes de ruissellement. En effet, même si certains TRI identifiés dans le cadre de la Directive Européenne envisagent ce phénomène, il n'a pas été en pratique cartographié dans les documents disponibles actuellement.

Les PPR ruissellement

Les PPR sont des documents réalisés par les services de l'Etat qui cartographient un aléa de référence sur un territoire considéré et précisent les règles d'urbanisme et de construction associées dans les zones cartographiées. Ils contiennent une carte informative des phénomènes naturels et une carte d'aléas. Les plans de prévention des risques inondation doivent prendre en compte tous les types d'inondations sur un territoire, néanmoins la méthodologie diffère selon les phénomènes.

Le phénomène de ruissellement bénéficie d'une méthodologie spécifique de traitement dans les PPR. L'aléa de référence, hors laves torrentielles, est la plus haute crue connue pour laquelle on dispose d'un maximum d'informations.

Les scénarios de crues peuvent être caractérisés par un débit maximal à partir de l'intensité des précipitations, de la surface du bassin versant, du temps de concentration et de facteurs de ruissellement. Le niveau d'eau peut ensuite être déduit de ce débit, puis la vitesse peut être estimée en fonction du niveau d'eau et de la pente.

Les niveaux d'aléa sont ensuite déterminés sur la base de la hauteur d'eau, et de la vitesse de l'écoulement, selon :

- trois classes de hauteur définies grâce à deux seuils à 0,50 m et 1 m;
- quatre classes de vitesse d'écoulement définies grâce à trois seuils à 0,20 m/s, 0,50 m/s et 1 m/s.

Référence : Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR) : Les risques d'inondation. Le ruissellement péri-urbain. Auteurs : Gaber, J. - Ministère de l'Ecologie, de l'énergie, du développement durable (MEDD) - Monfort, M. - [et al.]

Les Territoires à Risque Important d'Inondation (TRI)

Dans le cadre de la Directive Européenne Inondation, un ensemble de territoires dans lesquels il existe un risque d'inondation important ayant des conséquences de portée nationale a été sélectionné dans chaque bassin hydrographique, sur la base des résultats de l'évaluation des enveloppes approchées d'inondation potentielles et des enjeux présents sur le territoire.

Ces TRI ont fait l'objet d'une cartographie informative concernant les aléas faible, moyen et extrême définis dans la Directive Inondation.

Certains TRI ont été retenus notamment vis-à-vis du phénomène de ruissellement, comme dans le cas emblématique de Nîmes. Néanmoins, la prise en compte du ruissellement n'est pas effective dans les cartographies issues du premier cycle de caractérisation des aléas.

2.1.5 RUPTURE D'UN BARRAGE

Le tableau ci-dessous propose une hiérarchisation de deux cartes de référence pour les sites exposés à un risque de rupture de barrage. Les cartes des PPI, plus anciennes, ont en fait été largement reprises voire améliorées dans les EDD plus récentes. Les différents documents de référence sont présentés plus en détail à la suite du tableau.

Hiérarchie	Carte de référence	Est-ce qu'une telle carte existe sur le territoire concerné ?	Où trouver la carte de référence ?
1	Cartes des EDD barrages	Disponible si relatif à un barrage de classe A ou B	Consulter la DREAL
2	Cartes des PPI	Disponible si relatif à un barrage soumis à PPI	Consulter la DREAL

L'Etude De Dangers Barrages

Conformément au Décret n°2007-1735, les gestionnaires des barrages de classe⁶ A et B sont tenus de réaliser une étude de dangers de leur ouvrage. Cette étude de dangers a pour objet de caractériser les risques intrinsèques à l'ouvrage ainsi que ceux susceptibles de se manifester à l'occasion de phénomènes exceptionnels tels que les crues ou les séismes et d'identifier les parades et moyens de prévention et de protection permettant de maîtriser les risques.

A titre d'exemples, les évènements redoutés considérés peuvent être une rupture partielle ou totale, un déversement ou un dysfonctionnement d'un des organes hydrauliques. 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. Une cartographie de propagation de l'onde est fournie pour l'accident correspondant à la rupture de l'ouvrage et, si nécessaire, pour d'autres accidents présentant un niveau de risque comparable. La cartographie de l'onde de submersion fait apparaître le niveau d'eau et la vitesse du courant sur les différents profils en travers de la vallée, à partir d'hypothèses sur la propagation de l'hydrogramme de rupture.

⁶ Se référer à l'annexe A pour la classification des barrages

Le PPI barrages

Les barrages de plus de 20 m de hauteur et dont la retenue excède 15 millions de m³ sont couverts par un plan particulier d'intervention élaboré par le Préfet à partir d'une analyse des risques et d'un calcul d'onde de submersion réalisés par l'exploitant et validés par le Comité Technique Permanent des Barrages et des Ouvrages Hydrauliques (CTPBOH).

L'onde de submersion est décomposée en trois zones à l'aval du barrage :

- une zone de proximité immédiate (ZPI) pour laquelle des moyens spécifiques d'alerte de type sirène doivent être implantés car le temps d'arrivée ne permet pas d'envisager une évacuation ordonnée;
- une zone d'inondation spécifique (ZIS), située en aval de la précédente jusqu'au point où l'élévation du niveau des eaux est du même ordre de grandeur que lors des plus fortes crues connues;
- une zone d'inondation, située en aval de la précédente et où l'inondation est comparable à une inondation naturelle.

2.2 CANAUX D'ALERTE ET DE VIGILANCE

Le délai dont dispose un exploitant industriel pour déployer sur son site les actions de mise en sécurité spécifiques à l'inondation avant l'arrivée de celle-ci est une information essentielle pour le bon dimensionnement de la procédure associée.

Pour les phénomènes soudains, imprévisibles, qui représentent un danger grave et imminent sur une zone délimitée, le délai de mise en sécurité peut être considéré comme nul. En effet, l'alerte qui est alors diffusée par l'intermédiaire du Système d'Alerte et d'Information des Populations (SAIP) a pour objectif de prévenir la population de l'imminence d'un danger et est censé déclencher chez les personnes un comportement réflexe de sauvegarde et de mise à l'abri.

Pour les phénomènes prévisibles, l'existence d'un délai de mise en sécurité repose sur la capacité de l'organisation à détecter de manière précoce un danger qui la menace. Les informations de vigilance mises à disposition par les services de l'Etat peuvent être exploitées à cette fin. Toutefois, pour être efficace, cette exploitation doit être formalisée au travers d'une procédure spécifique de veille, déterminant les phénomènes surveillés, les informations collectées, et les responsables de leur récupération.

Pour être efficace, la procédure de veille doit également prendre en compte le contexte local du site au moment de l'arrivée du phénomène, notamment lorsque les informations relayées sont peu précises et concernent des zones géographiques étendues. En effet, les critères de déclenchement de la mise en sécurité d'un site industriel sont nécessairement fixés par l'exploitant au regard de ses enjeux industriels et la décision peut rarement se baser sur des informations trop incertaines ou trop globales. Ainsi, des dispositifs de mesure au niveau local ou des études hydrauliques locales peuvent améliorer grandement l'efficacité de la procédure de veille, dans le sens où l'information produite est alors une information personnalisée pour le site industriel concerné.

Le tableau ci-dessous précise les canaux d'alerte et de vigilance pertinents pour chaque phénomène d'inondation considéré, ainsi que les éléments qui peuvent permettre de personnaliser la procédure de veille pour un site industriel donné.

Phénomène	Canaux d'alerte publics	Canaux de vigilance publics	Eléments complémentaires permettant de personnaliser sa procédure de veille
Submersion marine (hors tsunami)	Gestionnaire de digue de protection contre les submersions	Vigilance météo	- Etude locale spécifique
Débordement de cours d'eau	Gestionnaire de digue de protection contre les débordements de cours d'eau	VigiCrue Banque HYDRO	 Etude de correspondance hydraulique entre une station hydrométrique et le site Station hydrométrique propre au site
Ruissellement	Sans objet	Vigilance météo	- Etude hydraulique de la capacité des réseaux d'évacuation en amont du site et identification des goulots d'étranglement pouvant constituer un signal de déclenchement
Remontée de nappe phréatique	Sans objet	Vigilance météo	- Etude hydraulique de réactivité de la nappe phréatique aux précipitations, et détermination d'un niveau de profondeur critique de la nappe à mesurer dans un piézomètre propre au site ou dans les sous-sols
Rupture de barrage	SAIP	Sans objet	Sans objet
Tsunami	SAIP	Sans objet	Sans objet

Le Système d'Alerte et d'Information des Populations (SAIP)

Sur le territoire national, le Système d'Alerte et d'Information des Populations (SAIP) consiste en un ensemble de dispositifs permettant d'alerter la population :

- cornes de brumes : le signal national d'alerte se compose d'un son modulé, montant et descendant, de trois séquences d'une minute et quarante et une secondes, séparées par un silence de cinq secondes. Dans les zones en aval de barrages, un signal différent peut être transmis par ce même canal : un son de corne de brume sur une durée maximale de 2 minutes composée d'une émission sonore de 2 secondes entrecoupée d'un intervalle de silence de 3 secondes. Si la commune est menacée par ce type d'événement, des informations sont disponibles en mairie;
- transmission de SMS aux téléphones mobiles situés dans une zone géographique délimitée;
- utilisation des panneaux routiers à affichage variable.

La vigilance météorologique de Météo France

La Vigilance météorologique est conçue pour informer la population et les pouvoirs publics en cas de phénomènes météorologiques dangereux en métropole. Elle est également destinée aux services de la sécurité civile et aux autorités sanitaires qui peuvent ainsi alerter et mobiliser respectivement les équipes d'intervention et les professionnels et structures de santé.

La Vigilance météorologique de Météo France (http://vigilance.meteofrance.com) se présente sous la forme d'une carte de la France métropolitaine actualisée au moins deux fois par jour à 6h et 16h. Cependant, si un changement notable intervient, la carte peut être réactualisée à tout moment.

Cette carte reflète un niveau de mise en garde pour les prochaines 24 heures en attribuant à chaque département un « niveau de vigilance » en fonction de sa situation météorologique, matérialisé par un code couleur.

Une vigilance absolue s'impose, des phénomènes dangereux d'intensité exceptionnelle sont prévus ; tenez-vous régulièrement au courant de l'évolution de la situation et respectez impérativement les consignes de sécurité émises par les pouvoirs publics.
Soyez très vigilants, des phénomènes dangereux sont prévus ; tenezvous au courant de l'évolution de la situation et suivez les conseils de sécurité émis par les pouvoirs publics.
Soyez attentifs, si vous pratiquez des activités sensibles au risque météorologique ou exposées aux crues, des phénomènes habituels dans la région mais occasionnellement et localement dangereux (ex. mistral, orage d'été, montée des eaux) sont en effet prévus ; tenez-vous au courant de l'évolution météorologique.
Pas de vigilance particulière

Ces niveaux de vigilance sont accompagnés de l'attribution d'un ou plusieurs des pictogrammes⁷ suivants.

Vent violent		Vagues- submersion	K
Orages	x	Grand froid	
Pluie-inondation	$\langle z \rangle$	Canicule	ı
Inondation	**	Avalanche	B
Neige-verglas	% %		

Réf. : INERIS-DRA-14-141515-03596A Annexe B Page 17 sur 18

⁷ Attention toutefois, si un pictogramme n'apparaît pas, cela ne signifie pas que le phénomène en question est absent, mais qu'il n'a pas été jugé comme étant le plus significatif sur le territoire du département concerné.

Lorsqu'un département est en vigilance orange ou rouge, un bulletin d'information relatif à l'événement annoncé est publié par Météo France et consultable sur le même site. Ces bulletins précisent l'évolution du phénomène, sa trajectoire, son intensité et sa fin, ainsi que les conséquences possibles de ce phénomène et les conseils de comportement définis par les pouvoirs publics.

VIGICRUE

La vigilance crue (http://www.vigicrues.gouv.fr) est en lien avec la vigilance météorologique et fonctionne sur le même principe. Elle informe de l'existence d'une menace dans les 24h au niveau des cours d'eau surveillés par l'Etat, dans le cadre de sa mission réglementaire de surveillance, de prévision et de transmission de l'information sur les crues.

Chaque cours d'eau inclus dans le dispositif vigicrue apparaît sur la carte de la France et est caractérisé par un niveau de vigilance. Ce niveau de vigilance est accompagné de bulletins d'informations qui précisent la chronologie et l'évolution des crues, et renseignent sur les conséquences possibles et les comportements à adopter.

Les cours d'eau sont découpés en tronçons auxquels peuvent être affectées les couleurs verte, jaune, orange ou rouge en fonction du niveau de danger. Il est également possible d'accéder à des données quantitatives en cliquant sur une station hydrologique afin de visualiser le graphique ou le tableau contenant les dernières hauteurs d'eau ou les derniers débits mesurés à cette station. Les informations sont disponibles en permanence, et la carte est actualisée deux fois par jour à 10h et à 16h. En période de crues, les bulletins peuvent être réactualisés plus fréquemment.

La banque HYDRO

La banque HYDRO (<u>www.hydro.eaufrance.fr</u>), donne accès à un certain nombre de données en provenance de 2400 stations de mesure actuellement en service implantées sur les cours d'eau français et détenues par divers organismes publics ou privés. HYDRO fournit à tout moment les valeurs d'écoulement les plus exactes possibles compte tenu des informations que les gestionnaires des stations lui communiquent.

Annexe C : Comportement mécanique des équipements industriels dans un écoulement

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Annexe C

COMPORTEMENT MECANIQUE DES EQUIPEMENTS INDUSTRIELS DANS UN ECOULEMENT

Cette annexe présente plusieurs outils d'analyse développés par l'INERIS pour évaluer la vulnérabilité des équipements industriels au cours d'une inondation. Les équipements considérés sont :

- les réservoirs atmosphériques de type bac ;
- les réservoirs sous pression de type sphères et cigares ;
- les tuyauteries.

Pour chacun de ces équipements, la démarche d'évaluation est développée dans un paragraphe spécifique et comporte trois étapes :

- sélection d'un type d'équipements parmi un panel proposé ;
- utilisation des abaques de tenue dans un écoulement ;
- utilisation des abaques de résistance à l'impact d'un objet flottant.

En introduction de chaque paragraphe, les modes de défaillance de l'équipement considéré qui ont été pris en compte sont explicités. Les modes de défaillance qui n'ont pas été pris en compte dans la version actuelle de cette annexe mais qui seront intégrés dans les prochaines versions sont également évoqués. C'est notamment le cas de l'affouillement.

Il est important de souligner que l'ensemble des hypothèses et des modèles qui ont permis d'établir les outils présentés fait actuellement l'objet d'une évaluation par un organisme tiers et les modifications apportées seront progressivement implémentées dans cette annexe.

Enfin, à titre informatif, les formules les plus courantes utiles pour l'analyse du comportement des équipements dans un écoulement sont listées dans le dernier paragraphe de cette annexe. On y retrouve notamment des formules permettant d'estimer l'affouillement au niveau d'un obstacle dans un écoulement.

Réf. : INERIS-DRA-14-141515-03596A Annexe C Page 1 sur 16

1. RESERVOIRS ATMOSHERIQUES

1.1 MODES DE DEFAILLANCE CONSIDERES

Les différents modes de rupture considérés dans cette annexe pour un réservoir atmosphérique en cas d'inondation sont les suivants :

- voilement circonférentiel de la robe du réservoir en raison de la pression hydraulique latérale;
- soulèvement du réservoir en raison de la poussée d'Archimède ;
- renversement du réservoir en raison de la combinaison entre la poussée d'Archimède et de la pression hydraulique latérale;
- glissement du réservoir ;
- rupture de la robe du réservoir suite à l'impact d'objets flottants.

Dans cette version, l'affouillement n'a pas été pris en compte au niveau des abaques présentés ci-après.

1.2 SELECTION D'UN TYPE DE RESERVOIR ATMOSPHERIQUE

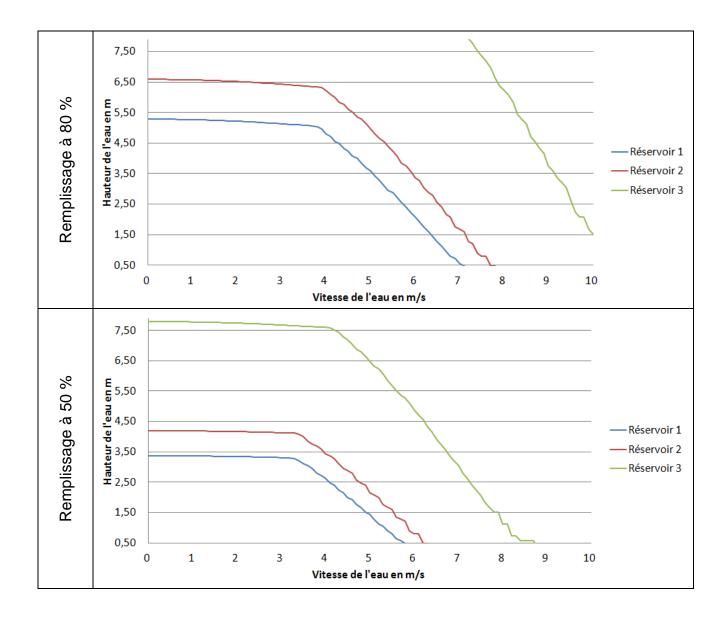
La première étape consiste à identifier le réservoir type correspondant au réservoir réel qui est étudié. Dans le cas où aucun réservoir type ne semble pouvoir être pris comme référence, les abaques ne peuvent pas être utilisés et un calcul spécifique est alors nécessaire.

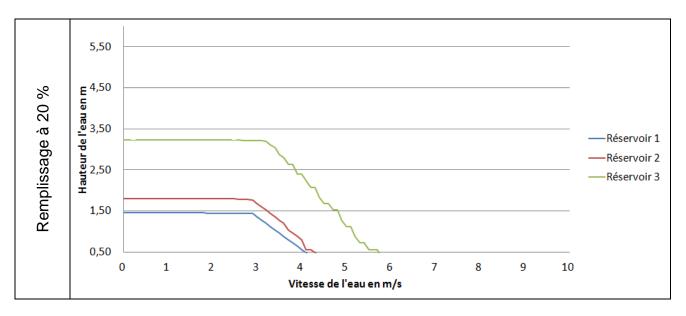
Données réservoir	RESERVOIR 1	RESERVOIR 2	RESERVOIR 3
Hauteur du réservoir (m)	8	10	19
Rayon interne (m)	5,75	7	10
Volume (m ³)	830	1540	5970
Epaisseur maximale de virole (m)	0,008	0,01	0,0015
Epaisseur minimale de virole (m)	0,005	0,005	0,007
Epaisseur du fond (mm)	5	5	10
Module de Young (MPa)	210 000	210 000	210 000
Nombre de viroles	10	10	10
Masse volumique fluide (Kg/m³)	800	800	800

1.3 ABAQUES DE TENUE DES RESERVOIRS ATMOSPHERIQUES DANS UN ECOULEMENT

Les abaques présentés dans ce paragraphe indiquent les combinaisons hauteur d'eau-vitesse d'écoulement au-delà desquelles la tenue du réservoir n'est plus garantie vis-vis des phénomènes de voilement de robe, de soulèvement, de glissement et de renversement.

Le taux de remplissage du réservoir est un paramètre prépondérant du comportement. Par conséquent trois abaques différents ont été construits pour trois taux de remplissage différents : 20%, 50% et 80 %.





1.4 ABAQUES DE RESISTANCE DES BACS ATMOSPHERIQUES A L'IMPACT D'UN OBJET FLOTTANT

Le tableau présenté ci-après indique la vitesse d'écoulement (en m/s) au-delà de laquelle l'intégrité du réservoir n'est plus garantie en cas d'impact avec l'un des trois objets impactants suivants :

- fût plein de 200 litres ;
- véhicule automobile de 1,5 tonne ;
- conteneur maritime standard.

Type de réservoir	Réservoir N°1	Réservoir N°2	Réservoir N°3
Fût plein de 200 Litres	21	21	33
Véhicule Automobile	9	9	14
Conteneur maritime	6	6	9

2. RESERVOIRS SOUS PRESSION

2.1 Modes de defaillance consideres

Les équipements sous pression tels que les sphères GPL ou les réservoirs cylindriques horizontaux sont globalement peu vulnérables aux effets d'une inondation. Les forts niveaux de pression pris en compte pour leur dimensionnement leur confèrent une épaisseur importante, ce qui est propice à prévenir une éventuelle perte de confinement en cas de sollicitation externe (vent, inondation, tremblement de terre...).

Les modes de rupture considérés dans cette annexe pour les équipements sous pression en cas d'inondation au sein d'un site industriel sont les suivants :

- soulèvement ou renversement de la sphère par rupture des fixations (effet de la poussée d'Archimède et de la pression hydrodynamique);
- rupture du réservoir par impact d'un objet flottant ;
- rupture des pieds du réservoir par impact d'un objet flottant ;

Par ailleurs, l'effet de flexion généré par le soulèvement de la partie non fixée sur le berceau du réservoir n'est pas pris en compte actuellement mais le sera dans la prochaine version de cette annexe, de même que la tenue en flexion des pieds.

Enfin, il est fait l'hypothèse que ces réservoirs sont posés à même le sol. La prochaine version intégrera le fait que les berceaux puissent être en béton ou métalliques fixés sur des pieds en béton.

Dans cette version, l'affouillement n'a pas non plus été pris en compte au niveau des abaques présentés ci-après.

Les sphères sont traitées aux paragraphes 2.2, 2.3 et 2.4.

Les cylindres horizontaux sont traités aux paragraphes 2.5, 2.6 et 2.7.

2.2 SELECTION D'UN TYPE DE RESERVOIR SOUS PRESSION DE TYPE SPHERE

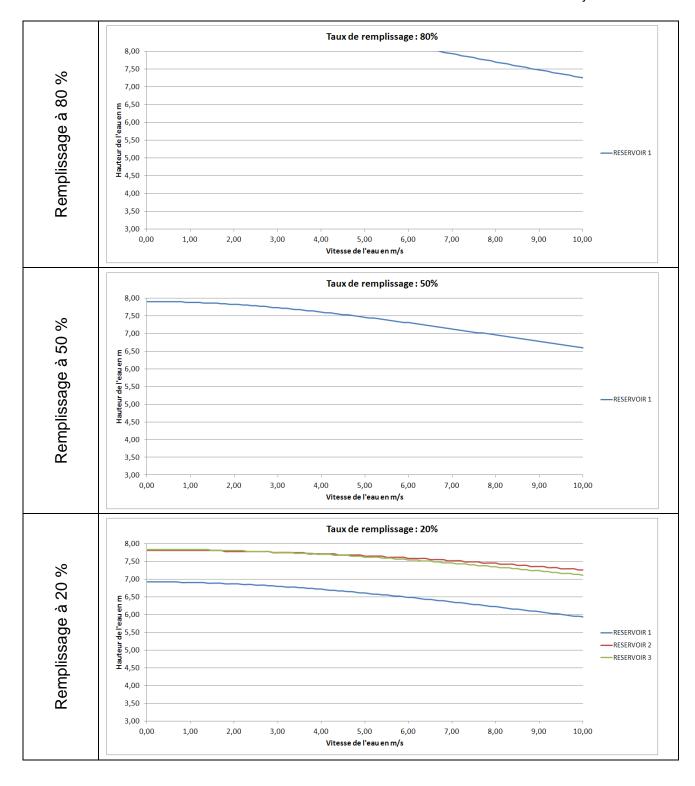
La première étape consiste à identifier la sphère type correspondant à la sphère réelle qui est étudiée. Dans le cas où aucune sphère type ne semble pouvoir être pris comme référence, les abaques ne peuvent pas être utilisés et un calcul spécifique est alors nécessaire.

SPHERES				
Données sphère	Sphère 1	Sphère 2	Sphère 3	
Volume (m³)	400	2000	1200	
Diamètre (m)	9,16	16	13,70	
Epaisseur (m)	0,02	0,036	0,030	
Masse à vide (Kg)	41 470	227 700	220 000	
Module de Young (MPa)	210 000	210 000	210 000	
Nombre de pieds	6	6	6	
Type de pieds	Tube F430 mm	Tube F700 mm	Tube F610 mm	
Epaisseur pieds (m)	0,01	0,02	0,015	
Hauteur pieds (m)	6	9,5	8,55	
Nombre de fixations par pieds	5	5	5	
Distance entre le fond du réservoir et le sol (m)	1,70	1,70	1,70	

2.3 ABAQUES DE TENUE D'UNE SPHERE DANS UN ECOULEMENT

Les abaques présentés dans ce paragraphe indiquent les combinaisons hauteur d'eau-vitesse d'écoulement au-delà de laquelle la tenue du réservoir n'est plus garantie vis-vis des phénomènes de soulèvement ou de renversement.

Le taux de remplissage du réservoir est un paramètre prépondérant du comportement, par conséquent trois abaques différents ont été construits pour trois taux de remplissage différents : 20%, 50% et 80 %.



2.4 ABAQUES DE RESISTANCE DES SPHERES A L'IMPACT D'UN OBJET FLOTTANT

Les tableaux présentés ci-après indiquent la vitesse d'écoulement (en m/s) audelà de laquelle l'intégrité de la sphère et la tenue des pieds n'est plus garantie en cas d'impact avec l'un des trois objets impactants suivants :

- fût plein de 200 litres;
- véhicule automobile de 1,5 tonne ;
- conteneur maritime standard.

Tenue de l'enveloppe					
Type de réservoir	Sphère 1	Sphère 2	Sphère 3		
Fût plein de 200 Litres	34	79	58		
Véhicule Automobile	15	35	26		
Conteneur maritime	10	23	17		

Tenue des pieds					
Type de réservoir Sphère 1 Sphère 2 Sphère 3					
Caractéristiques des Pieds	L : 6,0 m Ø : 43 cm ep : 1,0 cm	L : 9,5 m Ø : 70 cm ep : 2,0 cm	L : 8,5 m Ø : 61 cm ep : 1,5 cm		
Fût plein de 200 Litres	15	30	24		
Véhicule Automobile	6	13	11		
Conteneur maritime	4	8	7		

2.5 SELECTION D'UN TYPE DE RESERVOIR CYLINDRIQUE HORIZONTAL SOUS PRESSION

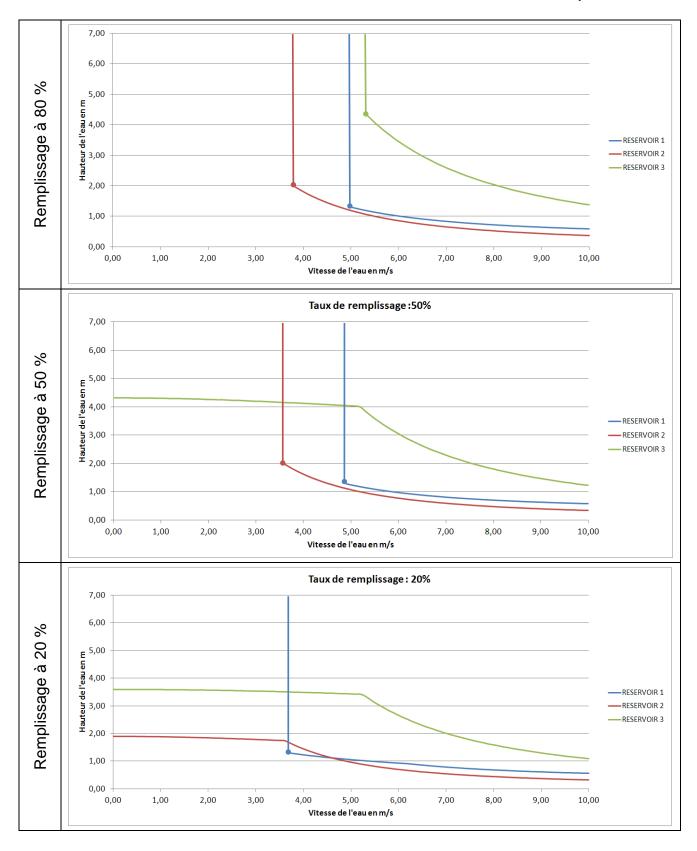
La première étape consiste à identifier le réservoir cylindrique type correspondant au réservoir réel qui est étudié. Dans le cas où aucun réservoir cylindrique ne semble pouvoir être pris comme référence, les abaques ne peuvent pas être utilisés et un calcul spécifique est alors nécessaire.

RESERVOIRS CYLINDRIQUES HORIZONTAUX								
Données réservoir Réservoir 1 Réservoir 2 Réservoir 3								
Volume (m³)	5,3	35,6	470					
Longueur (m)	4,4	12,0	32,3					
Diamètre (m)	1,3	2	4,4					
Epaisseur (m)	0,006	0,0093	0,020					
Masse à vide (Kg)	840	5510	160000					
Module de Young (MPa)	210 000	210 000	210 000					
Nombre de berceaux	2	2	2					
Nombre de berceaux solidaire du sol et de la capacité	1	1	1					
Epaisseur des berceaux (m)	0,15	0,2	0,4					
Largeur des berceaux (m)	0,97	1,5	3,8					
Nombre de fixations par pieds ancrés	4	4	4					
Distance entre le fond du réservoir et le sol (m)	0,34	0,1	0,2					

2.6 ABAQUES DE TENUE D'UN RESERVOIR HORIZONTAL SOUS PRESSION DANS UN ECOULEMENT

Les abaques présentés dans ce paragraphe indiquent les combinaisons hauteur d'eau-vitesse d'écoulement au-delà desquelles la tenue du réservoir n'est plus garantie vis-vis des phénomènes de soulèvement ou de renversement.

Le taux de remplissage du réservoir est un paramètre prépondérant du comportement, par conséquent trois abaques différents ont été construits pour trois taux de remplissage différents : 20%, 50% et 80 %.



2.7 ABAQUES DE RESISTANCE DES RESERVOIRS HORIZONTAUX A L'IMPACT D'UN OBJET FLOTTANT

Les tableaux présentés ci-après indiquent la vitesse d'écoulement (en m/s) audelà de laquelle l'intégrité des réservoirs horizontaux sous pression n'est plus garantie en cas d'impact avec l'un des trois objets impactants suivants :

- fût plein de 200 litres;
- véhicule automobile de 1,5 tonne ;
- conteneur maritime standard.

Type de réservoir	Réservoir N°1	Réservoir N°2	Réservoir N°3
Fût plein de 200 Litres	16	26	55
Véhicule Automobile	7	12	24
Conteneur maritime	4	8	16

3. TUYAUTERIES

3.1 MODES DE DEFAILLANCE

Les tuyauteries situées sur les sites industriels sont des éléments particulièrement sensibles en cas de montée des eaux.

Les modes de rupture à craindre sont les suivants :

- rupture de la tuyauterie en flexion en raison de la force hydrodynamique ;
- soulèvement de la tuyauterie en raison de la poussée d'Archimède ;
- rupture de la tuyauterie par impact d'un objet flottant.

Les résultats ci-dessous sont consacrés exclusivement à l'étude de la résistance mécanique de la robe des tuyauteries. Le retour d'expérience indique que les organes (vannes, robinets, etc) ou éléments de liaisons entre tronçons de tuyauteries (brides, coude, etc) constituent des zones de concentrations de contraintes importantes. En outre, la rupture peut dans certains cas être la conséquence indirecte de l'affaissement des structures de soutien (racks, berçeaux, etc) ou du déplacement des réservoirs reliés. Ainsi, la tenue mécanique de ces éléments sera intégrée dans la prochaine version de cette annexe.

3.2 SELECTION D'UNE TUYAUTERIE

La première étape consiste à identifier le type de tuyauterie en fonction du diamètre et de la pression nominale. Dans le cas où les caractéristiques exactes ne se retrouvent pas dans le tableau, il est possible de procéder par encadrement.

Type de		Diamètre Nominal de la tuyauterie (mm)				
tuyaı	uterie	40	150	300	500	
de ement i)	0	A1	A2	А3	A4	
Pression de dimensionnement (en bars)	20	B1	B2	В3	B4	
Pre dimen	40	C1	C2	C3	C4	

3.3 ABAQUES DE TENUE D'UNE TUYAUTERIE DANS UN ECOULEMENT

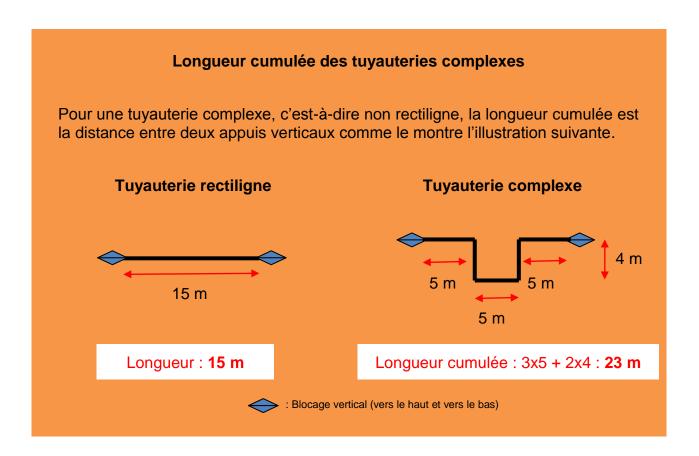
Le tableau présenté à la fin de ce paragraphe indique les longueurs maximales de tronçons à considérer pour une tuyauterie rectiligne par rapport à une configuration de tuyauterie identifiée dans le paragraphe 3.2. Il s'agit des longueurs admissibles au-delà desquelles la tenue de la tuyauterie n'est plus garantie vis-vis des phénomènes de soulèvement ou de flexion.

Concernant le soulèvement :

- le tableau donne la longueur admissible pour une tuyauterie rectiligne; si la tuyauterie est complexe, cette valeur doit être divisée par 1,5 et s'applique à la longueur cumulée de la tuyauterie;
- la masse volumique du fluide transporté est un paramètre prépondérant du comportement et les résultats sont donc fonction de ce paramètre.

Concernant la flexion :

- le tableau donne la longueur admissible pour une tuyauterie rectiligne; si la tuyauterie est complexe, cette valeur doit être divisée par 1,5 et s'applique à la longueur cumulée de la tuyauterie;
- la vitesse de l'écoulement est un paramètre prépondérant du comportement et les résultats sont donc fonction de ce paramètre.



			Flexion					
	Masse Volu		Vitesse d'écoulement m/s					
Type	Gaz	650	800	1	3	6	10	20
A1	>200	>200	>200	18	5	2	<1	<1
A2	51	>200	>200	41	13	6	3	1
А3	35	182	>200	59	19	9	5	2
A4	32	71	>200	77	25	12	6	2
B1	>200	>200	>200	19	5	2	1	<1
B2	109	>200	>200	46	14	6	3	1
В3	52	>200	>200	74	24	11	6	2
B4	51	>200	>200	108	35	17	9	4
C1	>200	>200	>200	19	5	2	1	<1
C2	>200	>200	>200	50	16	7	4	1
C3	83	>200	>200	86	28	13	7	3
C4	77	>200	>200	131	43	21	12	5

3.4 ABAQUES DE RESISTANCE DES TUYAUTERIES A L'IMPACT D'UN OBJET FLOTTANT

Le tableau présenté ci-après indique la vitesse d'écoulement (en m/s) au-delà de laquelle l'intégrité des tuyauteries n'est plus garantie en cas d'impact avec l'un des trois objets impactants suivants :

- fût plein de 200 litres;
- véhicule automobile de 1,5 tonne ;
- conteneur maritime standard.

Le tableau indique également la valeur en Newton de l'effort latéral auquel doivent résister les supports des tuyauteries.

	Impact contre la tuyauterie							
Туре	Fût de 200 Véhicule Conteneur automobile maritime		Réaction (N)					
A1	5	2	1	600				
A2	10	4	3	11500				
A3	14	6	4	47800				
A4	19	8	5	134500				
B1	5	2	1	700				
B2	11	5	3	14600				
В3	18	8	5	74200				
B4	26	12	8	260400				
C1	5	2	1	700				
C2	12	5	4	17500				
C3	21	9	6	99300				
C4	31	14	9	379700				

4. FORMULAIRE

Ce paragraphe liste à titre informatif quelques formules classiques utiles pour l'analyse du comportement des équipements dans un écoulement.

Intitulé	Formule	Paramètres
Pression hydrostatique	$P_s = \rho g (h - z)$	h : hauteur d'eau (en m) z : hauteur du point considéré par rapport au fond (en m) ρ : masse volumique de l'eau (en kg/m³) g : accélération de la pesanteur (9,81 m.s⁻²)
Poussée d'Archimède	$P_a = \rho g \text{ Vol}$	Vol : volume de la structure immergée (en m³) ρ : masse volumique de l'eau (en kg/m³) g : accélération de la pesanteur (9,81 m.s⁻²)
Pression hydrodynamique	$P_d = C_D \rho V^2 \frac{z}{h}$	h : hauteur d'eau (en m) z : hauteur du point considéré par rapport au fond (en m) ρ : masse volumique de l'eau (en kg/m³) C _D : coefficient hydrodynamique dépendant de la forme de l'obstacle V : vitesse de l'écoulement (en m/s)
Effort hydrodynamique	$F = \frac{1}{2} A C_D \rho V^2$	A : aire de la surface faisant face à l'écoulement (en m²) z : hauteur du point considéré par rapport au fond (en m) ρ : masse volumique de l'eau (en kg/m³) C _D : coefficient hydrodynamique dépendant de la forme de l'obstacle. V : vitesse de l'écoulement (en m/s)

Tableau 1 : Formules classiques de pression et forces d'un fluide sur un solide immergé

Intitulé	Formule	Paramètres
Choc dur (Eurocode ENV 1991-1-7)	$F = \beta V_0 \sqrt{kM_f}$	M _f : masse de l'objet impactant (en kg) V _o : vitesse de l'objet impactant (en m/s) k: rigidité équivalente de l'objet impactant (en N/m) β: coefficient de majoration dynamique
Choc mou (Eurocode ENV 1991-1-7)	$\frac{1}{2}M_{f}V_{0}^{2} = F_{0}y_{0}$	M_f : masse de l'objet impactant (en kg) V_o : vitesse de l'objet impactant (en m/s) F_o : résistance plastique de la structure y_o : capacité de déformation de la structure

Tableau 2 : Formules classiques de chocs

Intitulé	Formule	Paramètres
Critère de Laursen	Mise en mouvement d'un sol pulvérulent $rac{v^3}{\sqrt{h}} \geq 237 \; d_{50}$	v : vitesse du courant (m/s) h : hauteur de l'écoulement (m) d ₅₀ : diamètre médian pour une granulométrie étalée (en m)
Nombre de Froude	Grandeur caractérisant un écoulement $Fr = rac{v}{\sqrt{gh}}$	v : vitesse du courant (m/s) h : hauteur de l'écoulement (m) g : accélération de la pesanteur (9,81 m.s ⁻²)
Equation CSU (Colorado State University Formulation réduite conservative	Affouillement au pied d'un obstacle cylindrique $A = 2.2 \ D^{0.65} \ h^{0.35} \ Fr^{0.43}$	h : hauteur de l'écoulement (m) Fr : Nombre de Froude D : Diamètre de l'obstacle
Equation HIRE (USACE) Formulation réduite conservative	Affouillement au pied d'une paroi $A = 7,27 \ h \ Fr^{0,33}$	h : hauteur de l'écoulement (m) Fr : Nombre de Froude

Tableau 3 : Formules empiriques relatives au phénomène d'affouillement

Annexe D : Comportement des substances chimiques au contact de l'eau

Réf.: INERIS- DRA-14-141515-03596A Annexe D

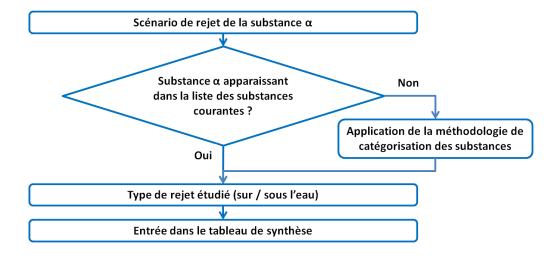
COMPORTEMENT DES SUBSTANCES CHIMIQUES AU CONTACT DE L'EAU

Dans cette annexe, l'INERIS propose un outil d'aide à l'analyse du comportement des substances et mélanges chimiques dans l'eau. L'objectif est d'anticiper l'évolution des substances rejetées dans un environnement aquatique et les phénomènes dangereux associés, entendus en tant que **phénomènes dangereux pour l'homme**. Cet outil comporte également des recommandations génériques relatives à la modélisation des phénomènes de fuite considérés. Enfin, bien que la pollution du milieu soit une problématique majeure dans le cas des inondations, elle n'est pas traitée dans cette première version qui se concentre sur effets aigus pour l'être humain.

Cette démarche d'analyse est structurée autour de trois éléments principaux :

- 1. Un *tableau de synthèse*, expliqué au paragraphe suivant, et qui représente l'élément central de cette annexe. Il comprend en entrée les caractéristiques des substances et apporte une aide à la définition des phénomènes dangereux envisageables dans un contexte d'inondation. Il formule également des conseils pratiques de modélisation et liste les paramètres à prendre en compte. Ce tableau n'a pas pour ambition d'être exhaustif mais de fournir des pistes de réflexions suffisantes pour envisager et traiter un large spectre d'événements.
- 2. Une *liste de substances courantes*, qui ont fait l'objet d'une catégorisation et pour lesquelles il est possible de se référer directement au tableau de synthèse.
- 3. Une *méthode de catégorisation des substances*, permettant de catégoriser celles qui n'apparaîtraient pas dans la liste précédente, sur la base d'informations aisément accessibles, afin de se référer au tableau de synthèse.

D'un point de vue pratique, l'INERIS propose la démarche suivante :



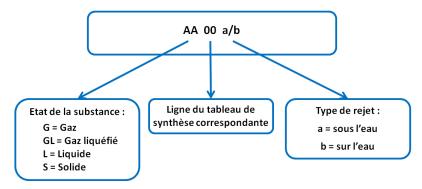
Réf. : INERIS-DRA-14-141515-03596A Annexe D Page 1 sur 21

1. FORME DU TABLEAU DE SYNTHESE

Le tableau de synthèse de cette annexe attribue à des catégories de substances, définies en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques, des conseils d'identification et de modélisation des phénomènes dangereux associés. Il prend la forme suivante :

	Catégorisation de la substance			Ph. dar	ngereux	Conseils de modélisation		sation	
ld	Etat physique	Classification SEBC	Danger(s) intrinsèque(s) de la substance	Production d'un gaz toxique ou inflammable au contact de l'eau	Type de rejet (sur / sous l'eau)	Phénomène(s) dangereux redouté(s)	Terme source (modélisation classique)	Modification du terme source ?	Spécificité(s) de modélisation ?

La cellule « ld » représente la catégorie de la substance considérée. Chaque « ld » correspond à une ligne du tableau, et se présente sous un format identique.



A titre d'exemple :

- « L04a » indique que le produit en question
 - est un liquide, dans les conditions ambiantes de température et de pression ;
 - o qui se trouve à la ligne numéro 04 du tableau ;
 - o et qui est rejeté sous l'eau.

Précisions utiles :

- Lorsqu'une case du tableau est renseignée par un « / », cela ne signifie pas que celle-ci est sans objet, mais que cette information n'est pas fondamentale pour l'analyse (un « / » peut ainsi englober plusieurs informations).
- Le « type de rejet » envisage uniquement les cas de rejet sur l'eau ou dans l'eau. Un autre cas où, par exemple, de l'eau pénètrerait dans un équipement pour conduire à un dommage, n'est pas traité dans la présente version.
- Le paramètre « Vitesse du rejet à l'atmosphère » désigne, dans le cas des rejets sous l'eau, la vitesse d'émission à la surface de l'eau, et dans le cas des rejets sur l'eau, la vitesse d'émission à l'orifice de fuite.

Le tableau est présenté en partie 4 de ce document. La partie 5 contient quant à elle des informations techniques supplémentaires et détaille des notions citées dans le tableau de synthèse (contre-pression, dispersion, etc.)

Réf. : INERIS-DRA-14-141515-03596A Annexe D Page 2 sur 21

2. <u>LISTE DES SUBSTANCES COURANTES</u>

Afin de faciliter la mise en œuvre de cette annexe, le tableau ci-dessous regroupe une liste de substances ayant déjà fait l'objet d'une catégorisation. A chacune d'entre elles a ainsi été attribué un « ld » permettant de se reporter directement au tableau de synthèse de la partie 4.

Ces produits ont été privilégiés pour plusieurs raisons :

- ils font partie des produits les plus utilisés ;
- ils font partie des produits les plus dangereux selon la nomenclature des installations classées (classement A ou AS);
- ils font l'objet de fiches spécifiques (« Guides d'intervention chimique ») éditées par le CEDRE (Centre de documentation, de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux) ;
- ils font l'objet de nombreux articles dans la littérature scientifique.

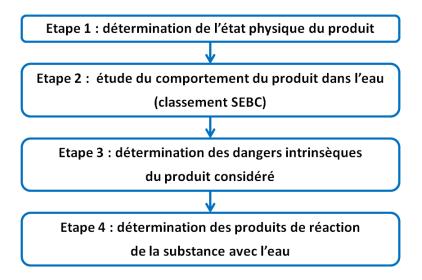
Produits	Classement SEBC	ld	Produit toxique ou inflammable de réaction avec l'eau (le cas échéant)
Acétate de butyle	FED	L02	/
Acétate de vinyle	ED	L02	1
Acétone	DE	L02	1
Acétylène	G	G02	1
Acide chlorosulfonique	D	L05	EUH014 Réagit violemment au contact de l'eau (chlorure d'hydrogène).
Acrylate de butyle	FD	L04	/
Acrylate d'éthyle	ED	L02	1
Acrylonitrile	DE	L01 + L02	1
Adiponitrile	FD	L03	1
Ammoniac	GD	G03	1
Ammoniac liquéfié	/	GL03	1
Azote liquide	/	GL02	/
Benzène	E	L02	/
Butane	G	G02	/
Carbure de calcium	/	S02	H260 Dégage au contact de l'eau des gaz inflammables qui peuvent s'enflammer spontanément (acétylène)
Chlore	GD	G03	/
Chlore liquéfié	/	GL03	1
Chlorure d'hydrogène	GD	G03	1
Cyclohexane	E	L02	1

Réf. : INERIS-DRA-14-141515-03596A Annexe D Page 3 sur 21

Produits	Classement SEBC	ld	Produit toxique ou inflammable de réaction avec l'eau (le cas échéant)
Diméthylamine	ED	L02	/
Dioxyde d'azote	GD	G03	1
Dioxyde de soufre	GD	G03	1
Dipentène	F	L04	1
Essence sans plomb	FE	L02	1
Ethylamine	GD	G04	1
Ethylène	G	G02	1
Ethylène liquéfié	/	GL02	1
Formaldéhyde	GD	G03	/
GNL	/	GL02	/
GPL	/	GL04	/
Hélium liquide	/	GL02	1
Hexane	Е	L02	/
Huiles végétales	Fp	L04	1
Hydrogène liquide	/	GL02	/
Isobutanol	FED	L02	/
Isocyanate de méthyle	DE	L01 + L02	1
Méthacrylate de méthyle	ED	L02	/
Méthane	G	G02	/
Méthanol	DE	L01 + L02	1
Méthyléthylcétone	ED	L02	/
Monoxyde d'azote	G	G01	/
n-butanol	FD	L04	1
Oxygène liquide		GL02	1
Phosgène	/	GL03	1
Propane	G	G02	1
Sodium	/	S02	EUH014 Réagit violemment au contact de l'eau H260 Dégage au contact de l'eau des gaz inflammables qui peuvent s'enflammer spontanément (hydrogène)
Styrène	FE	L02	1
Sulfure d'hydrogène	/	GL03	/
Toluène	FE	L02	1
Xylène	FE	L02	/

3. AUTRES SUBSTANCES: METHODE DE CATEGORISATION

Cette partie présente une méthode simple et basée sur des informations facilement accessibles¹, afin de procéder à la catégorisation de tout type de substance et de permettre la mise en œuvre du tableau de synthèse. Cette méthode suit les étapes suivantes :



3.1 ETAPE 1: ETAT PHYSIQUE DANS LES CONDITIONS DE STOCKAGE OU D'UTILISATION

On distingue : - les gaz ;

- les gaz liquéfiés (sous pression ou à basse température) ;

- les liquides ;

- les solides.

3.2 ETAPE 2: ATTRIBUTION D'UNE CLASSE « SEBC »

La classification SEBC (Standard European Behaviour Code) est issue de l'accord de Bonn relatif à la lutte contre la pollution. Celle-ci concerne le comportement des produits en cas de déversement accidentel en milieu aquatique, et la manière dont ils vont évoluer dans les premières heures au contact de l'eau.

Cette classification, définie en premier lieu pour les déversements accidentels en mer, peut être étendue aux déversements accidentels survenant lors d'une inondation puisque les conditions de classification reposent sur les hypothèses suivantes :

Réf. : INERIS-DRA-14-141515-03596A Annexe D Page 5 sur 21

_

¹Notamment à travers l'analyse des Fiche de Données de Sécurité (FDS) des substances rencontrées.

- produit pur ;
- petite quantité;
- 20°C;
- pression atmosphérique ;
- eau douce.

Le code SEBC permet donc de déterminer le comportement théorique d'un produit en fonction de ses propriétés physico-chimiques puis de le classer dans un des cinq groupes principaux. La plupart du temps, un produit n'a pas un seul mais plusieurs comportements du fait de sa nature et/ou des processus environnementaux. D'où la définition de sept sous-groupes supplémentaires pour affiner le classement, ce qui conduit à douze types de comportement².

(Groupe principal		Sous-groupe
G	Gazeux	GD	Gazeux / Soluble
Е	Evaporant	ED	Evaporant / Soluble
		FE	Flottant / Evaporant
F	Flottant	FD	Flottant / Soluble
		FED	Flottant / Evaporant / Soluble
D	Soluble	DE	Soluble / Evaporant
S	Coulant	SD	Coulant / Soluble

Tableau 1 – Les douze types de comportement d'après le système SEBC [1]

La classification SEBC des produits peut être récupérée au niveau de la fiche de données de sécurité. Toutefois si cette information n'est pas disponible, la classe SEBC peut être déterminée en connaissant la phase, la solubilité, la densité et la pression de vapeur d'un produit. Les « seuils³ » fournis ci-dessous ainsi que le logigramme suivant détaillent la méthodologie à suivre.

_

² Dernièrement, une autre catégorie est apparue : celle des produits considérés comme étant des flottants persistants (Fp), c'est-à-dire l'ensemble des substances chimiques dont la viscosité est supérieure ou égale à 10 cSt (1 centistoke = 1 mm²/s).

³ Notez que les « seuils » de solubilité ou de pression de vapeur sont ici fournis en tant que critères, mais ne sont pas à retenir comme des limites strictes du point de vue de la physique.

Critères physiques à prendre en compte pour la détermination du classement SEBC :

1. Solubilité du produit :

- o si la solubilité est inférieure à 10 g.kg⁻¹ pour les liquides et 100 g.kg⁻¹ pour les solides, le produit est insoluble ;
- o si la solubilité est supérieure à 50 g.kg⁻¹ pour les liquides et 1 000 g.kg⁻¹ pour les solides, le procédé de dissolution est prédominant.

2. Densité du produit (pour les liquides et solides) :

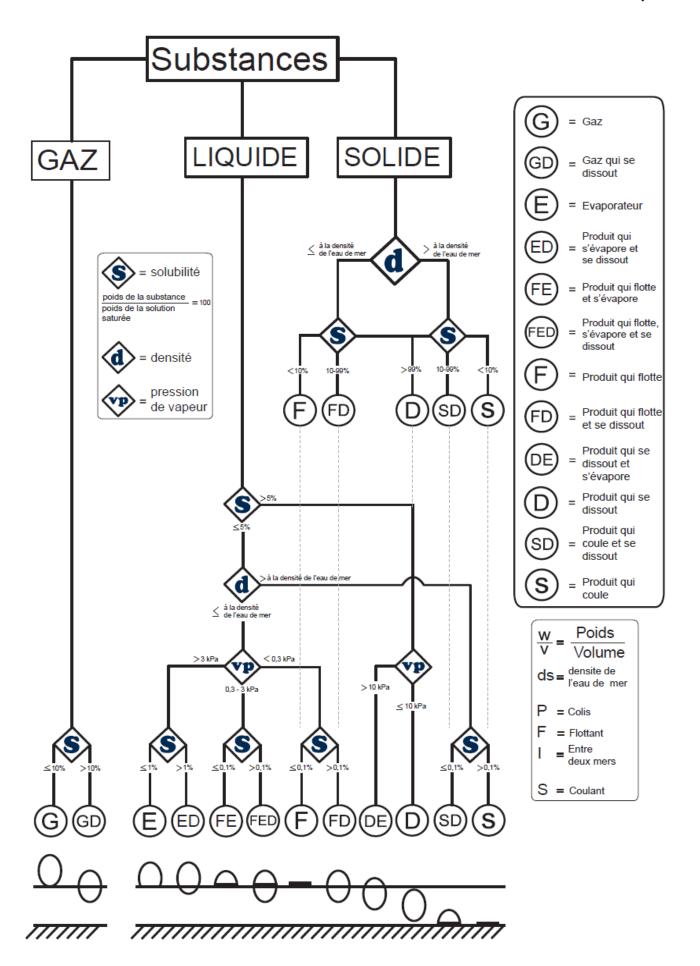
- o si la densité du produit est supérieure à celle de l'eau, le produit migre dans le flux d'eau ou sédimente sur le fond ;
- o si la densité du produit est inférieure à celle de l'eau, le produit flotte.

3. Pression de vapeur (uniquement pour les liquides) :

- o si la pression de vapeur est inférieure à 0,3 kPa, un produit flottant n'a pas tendance à s'évaporer ;
- o si la pression de vapeur est supérieure à 3 kPa, le produit s'évapore rapidement ;
- o si la pression de vapeur est supérieure à 10 kPa, le produit s'évapore très rapidement, et un produit dissous peut s'évaporer.

Logigramme de classement [2] (Cf. page suivante) :

Réf. : INERIS-DRA-14-141515-03596A Annexe D Page 7 sur 21



3.3 ETAPE 3 : DANGER(S) INTRINSEQUE(S) DU PRODUIT

Il est nécessaire d'identifier les dangers intrinsèques du produit étudié. Seront pris en compte les produits toxiques, inflammables, ou combinant ces deux propriétés⁴. Ils sont repérés par l'attribution des mentions de danger suivantes⁵:

- Toxiques aigus par inhalation :
 - H330 Mortel par inhalation
 - H331 Toxique par inhalation
- Matières inflammables, à l'exception des matières solides :
 - H220 Gaz extrêmement inflammable.
 - H221 Gaz inflammable.
 - H222 Aérosol extrêmement inflammable.
 - H223 Aérosol inflammable.
 - H224 Liquide et vapeurs extrêmement inflammables.
 - H225 Liquide et vapeurs très inflammables.
 - H226 Liquide et vapeurs inflammables.

3.4 ETAPE 4: SUBSTANCES SUSCEPTIBLES DE FORMER DES PRODUITS DANGEREUX AU CONTACT DE L'EAU

Au contact de l'eau, certaines substances peuvent réagir violemment et éventuellement former des produits de réaction toxiques ou inflammables. Cette considération peut conduire à l'identification de nouveaux scénarios d'accidents majeurs spécifiques au contexte d'inondation. Il est également envisageable que ce mécanisme modifie les paramètres du *terme source*⁶ (Cf. tableau de synthèse, partie modélisation).

Dans le cadre de cette étude, sont pris en compte les produits porteurs des mentions de danger suivantes :

- Substances formant des produits de réaction inflammables :
 - H260 Dégage au contact de l'eau des gaz inflammables qui peuvent s'enflammer spontanément;
 - H261 Dégage au contact de l'eau des gaz inflammables.

⁴ Les produits susceptibles de polluer l'environnement représentent une problématique indissociable du phénomène d'inondation. Bien que cette première version du guide inondation se concentre sur les conséquences des phénomènes dangereux sur l'homme, les conséquences environnementales ne doivent pas être écartées du cadre de l'étude.

Règlement CE n°1272/2008 du Parlement européen relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances chimiques et des mélanges.

⁶ Caractéristiques du rejet.

- o Substances formant des produits de réaction toxiques :
 - EUH 029 Au contact de l'eau, dégage des gaz toxiques.
- o Substances réagissant violemment avec l'eau :
 - EUH 014 Réagit violemment au contact de l'eau.

Concernant les substances capables de former des matières inflammables au contact de l'eau, le règlement européen CLP (Classification, Labelling and Packaging) fournit une information plus précise par la classification de ces produits en trois catégories, au sein de la classe de danger intitulée "Substances et mélanges qui, au contact de l'eau, dégagent des gaz inflammables".

Catégorie	Critères
1	Toute substance ou tout mélange qui réagit vivement avec l'eau à la température ambiante en dégageant un gaz généralement susceptible de s'enflammer spontanément, ou qui réagit assez vivement avec l'eau à la température ambiante en dégageant un gaz inflammable en quantité égale ou supérieure à 10 litres par kilogramme de substance et par minute.
2	Toute substance ou tout mélange qui réagit assez vivement avec l'eau à la température ambiante en dégageant un gaz inflammable en quantité égale ou supérieure à 20 litres par kilogramme de substance par heure, et qui ne remplit pas les critères de classification dans la catégorie 1.
3	Toute substance ou tout mélange qui réagit lentement avec l'eau à la température ambiante en dégageant un gaz inflammable en quantité égale ou supérieure à 1 litre par kilogramme de substance par heure, et qui ne remplit pas les critères de classification dans les catégories 1 et 2.

TABLEAU DE SYNTHESE

Gaz

Etat Clas. Danger(s) toxique ou de la inflammable au Type contact de l'eau contact de l'eau	Danger(s) Production d'un gaz toxique ou de la inflammable au substance contact de l'eau	Production d'un gaz toxique ou inflammable au contact de l'eau		Туре	Type de rejet	Phénomène(s) dangereux redouté(s)	Terme source (modélisation classique)	Modification des termes sources ?	Spécificité(s) de modélisation ?
Gaz G Toxique Pas de réaction Rejet sous Formation d'un nuag	Toxique Pas de réaction Rejet sous l'eau	Rejet sous l'eau	Rejet sous l'eau		Formation d'un nuaç toxique dans l'air	90	Débit massique à l'orifice Quantité rejetée Phase (100 % gaz) Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Rugosité	Diminue à cause de la contre-pression (faible variation) Diminue à cause de la contre-pression (faible variation) Inchangée Emission verticale vers le haut Diminue fortement (selon épaisseur d'eau traversée)	
Gaz G Toxique Pas de réaction Rejet sur l'eau toxique dans l'air	Toxique Pas de réaction Rejet sur l'eau	Pas de réaction Rejet sur l'eau	Rejet sur l'eau		Formation d'un nuag toxique dans l'air	a e	Débit massique à l'orifice Quantité rejetée Phase (100 % gaz) Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Rugosité	Inchangé Inchangée Inchangée Inchangée Inchangée	
Gaz G inflammable Pas de réaction Rejet sous Formation d'un nuage l'air	inflammable Pas de réaction Rejet sous l'eau	Rejet sous l'eau	Rejet sous l'eau		Formation d'un nua inflammable dans I	ge 'air	Débit massique à l'orifice Quantité rejetée Phase (100 % gaz) Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Rugosité	Diminue à cause de la contre-pression (faible variation) Diminue à cause de la contre-pression (faible variation) Inchangée Emission verticale vers le haut Diminue fortement (selon épaisseur d'eau traversée)	
Gaz G inflammable Pas de réaction Rejet sur l'eau inflammable dans l'air	inflammable Pas de réaction Rejet sur l'eau	Pas de réaction Rejet sur l'eau	Pas de réaction Rejet sur l'eau		Formation d'un nua inflammable dans I	ge 'air	Débit massique à l'orifice Quantité rejetée Phase (100 % gaz) Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Rugosité	Inchangé Inchangée Inchangée Inchangée Inchangée	
Gaz GD Toxique Pas de réaction Rejet sous Formation possible d'un l'eau nuage toxique dans l'air	Toxique Pas de réaction Rejet sous l'eau	Rejet sous l'eau	Rejet sous l'eau		Formation possible d nuage toxique dans I	l'un l'air	Débit massique à l'orifice Quantité rejetée Phase (100 % gaz) Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Rugosité	Diminue à cause de contre-pression (faible variation) Diminue à cause de contre-pression (faible variation) Inchangée Emission verticale vers le haut Diminue fortement (selon épaisseur d'eau traversée)	Dissolution ? (Taux, exothermicité, effets ?)
Gaz GD Toxique Pas de réaction Rejet sur l'eau toxique dans l'air	Toxique Pas de réaction Rejet sur l'eau toxique dans l'air	Pas de réaction Rejet sur l'eau toxique dans l'air	Rejet sur l'eau toxique dans l'air	Formation d'un nuag toxique dans l'air	Formation d'un nuage toxique dans l'air		Débit massique à l'orifice Quantité rejetée Phase (100 % gaz) Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Rugosité	Inchangé Inchangée Inchangée Inchangée Diminue	
Gaz GD Inflammable Pas de réaction Rejet sous nuage inflammable dans l'eau l'air	Inflammable Pas de réaction Rejet sous l'eau	Rejet sous l'eau	Rejet sous l'eau		Formation possible of nuage inflammable of l'air	l'un lans	Débit massique à l'orifice Quantité rejetée Phase (100 % gaz) Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Rugosité	Diminue à cause de la contre-pression (faible variation) Diminue à cause de la contre-pression (faible variation) Inchangée Emission verticale vers le haut Diminue fortement (selon épaisseur d'eau traversée)	Dissolution ? (Taux, exothermicité, effets ?)
Gaz GD Inflammable Pas de réaction Rejet sur l'eau inflammable dans l'air	Inflammable Pas de réaction Rejet sur l'eau	Pas de réaction Rejet sur l'eau	Pas de réaction Rejet sur l'eau		Formation d'un nuag inflammable dans l'a	მ .≒	Débit massique à l'orifice Quantité rejetée Phase (100 % gaz) Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Rugosité	Inchangé Inchangée Inchangée Inchangée Inchangée	

115-03596A

Annexe D

Page 11 sur 21

Gaz liquéfiés

<u>p</u>	Etat physique	Danger(s) de la substance	Production d'un gaz toxique ou inflammat de au contact de	Type de rejet	Phénomène(s) dangereux redouté(s)	Terme source (modélisation classique)	Modification des termes sources ?	Spécificité(s) de modélisation ?
			l'eau					
GL01a	Gaz liquéfié par réfrigération	Toxique	Changement de phase	Rejet sous l'eau	Réchauffement du gaz liquéfié / de ses vapeurs dans l'eau Nappe en ébullition à la surface de l'eau ⇒ Formation d'un nuage toxique dans l'air	Débit massique à l'orifice Quantité rejetée Phase / densité Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Taille de la nappe Epaisseur de la nappe Taux d'évaporation surfacique Rugosité	Diminue à cause de la contre-pression (Formation possible d'un bouchon de glace si orifice de petite taille) Diminue à cause de la contre-pression (faible variation) Augmente (taux de vapeurs) / Diminue (densité vapeurs) Emission verticale vers le haut Diminue Diminue Diminue Augmente	Caractérisation d'une éventuelle nappe liquide à la surface (fonction du taux de vaporisation)
GL01b	Gaz liquéfié par réfrigération	Toxique	Changement de phase	Rejet sur l'eau	Emission partielle directe de vapeurs toxiques à l'atmosphère Nappe en ébullition à la surface de l'eau ⇒ Formation d'un nuage toxique dans l'air	Débit massique à l'orffice Quantité rejetée Phase (diphasique) Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Taille de la nappe Epaisseur de la nappe Taux d'évaporation surfacique	Inchangé Inchangée Inchangée Inchangée Inchangée Inconue a priori (variable, en fonction de l'importance compartée des deux paramètres « épaisseur de la nappe » et « taux d'évaporation surfacique ») Diminue Augmente	Caractérisation de la nappe liquide à la surface (fonction du taux de vaporisation)
GL02a	Gaz liquéfié par réfrigération	inflammable	Changement de phase	Rejet sous l'eau	Réchauffement du gaz liquéfié / de ses vapeurs dans l'eau Nappe en ébullition à la surface de l'eau ⇒ Formation d'un nuage inflammable dans l'air Feu de nappe	Débit massique à l'orffice Quantité rejetée Phase / densité Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Taille de la nappe Epaisseur de la nappe Taux d'évaporation surfacique Taux de combustion surfacique Rugosité	Diminue à cause de la contre-pression (Formation possible d'un bouchon de glace si orifice de petite taille) Diminue à cause de la contre-pression (faible variation) Augmente (taux de vapeurs) / Diminue (densité vapeurs) Diminue Diminue Diminue Augmente Augmente Augmente	Caractérisation d'une éventuelle nappe liquide à la surface (fonction du taux de vaporisation)
GL02b	Gaz liquéfié par réfrigération	inflammable	Changement de phase	Rejet sur l'eau	Emission partielle directe de vapeurs à l'atmosphère Nappe en ébullition à la surface de l'eau ⇒ Formation d'un nuage inflammable dans l'air Inflammation immédiate : feu de nappe Inflammation retardée : feu/explosion du nuage, feu de nappe	Débit massique à l'orffice Quantité rejetée Phase (diphasique) Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Taille de la nappe Epaisseur de la nappe Taux d'évaporation surfacique Taux de combustion surfacique Rugosité	Inchangé Inchangée Inchangée Inchangée Inconue a priori Diminue Augmente Augmente	Caractérisation de la nappe liquide à la surface (fonction du taux de vaporisation)

Page 12 sur 21

Spécificité(s) de modélisation ?	ession (faible variation) ession (faible variation) minue (densité vapeurs)		ession (faible variation) sssion (faible variation) minue (densité vapeurs)	
Modification des termes sources ?	Diminue à cause de la contre-pression (faible variation) Diminue à cause de la contre-pression (faible variation) Augmente (taux de vapeurs) / Diminue (densité vapeurs) Emission verticale vers le haut Diminue	Inchangé Inchangée Inchangée Inchangée Inchangée Incomue a priori Diminue Augmente Augmente	Diminue à cause de la contre-pression (faible variation) Diminue à cause de la contre-pression (faible variation) Augmente (taux de vapeurs) / Diminue (densité vapeurs) Emission verticale vers le haut Diminue	Inchangé Inchangée Inchangée Inchangée Inchangée Inchange Inchange Inchange
Terme source (modélisation classique)	Débit massique à l'orifice Quantité rejetée Phase / densité Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Rugosité	Débit massique à l'orifice Quantité rejetée Phase (diphasique) Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Taille de la nappe Taille de la nappe Taux d'évaporation surfacique Taux d'evaporation surfacique Rugosité	Débit massique à l'orifice Quantité rejetée Phase / densité Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Rugosité	Débit massique à l'orifice Quantité rejetée Phase (diphasique) Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Taille de la nappe Epaisseur de la nappe Taux d'évaporation surfacique
Phénomène(s) dangereux redouté(s)	Emission de vapeurs ⇒ Formation d'un nuage toxique dans l'air	Formation d'un nuage toxique directement dans l'air	Emission de vapeurs ⇒ Formation d'un nuage inflammable dans l'air	Formation d'un nuage inflammable directement dans l'air
Type de rejet	Rejet sous l'eau	Rejet sur l'eau	Rejet sous l'eau	Rejet sur ľeau
Production d'un gaz toxique ou inflammable au contact de l'eau	Changement de phase	Changement de phase	Changement de phase	Changement de phase
Danger(s) de la substance	Toxique	Toxique	inflammable	inflammable
Etat physique	Gaz liquéfié sous pression	Gaz liquéfié sous pression	Gaz liquéfié sous pression	Gaz liquéfié sous pression
<u> </u>	GL03a	GL03b	GL04a	GL04b

⁷ Les éléments en italiques sont applicables dans l'hypothèse d'une formation d'une nappe par phénomène de rainout. *Réf. : INERIS-DRA-14-141515-03596A*

Liquides

Spécificité(s) de modélisation ?	Polymérisation ? (Taux, effets ?) Dissolution ? (Taux, exothermicité, effets ?) Caractérisation de la nappe liquide à la surface - Taux d'évaporation sur l'eau	Polymérisation ? (Taux, effets ?) Dissolution ? (Taux, exothermicité, effets ?) Caractérisation de la nappe liquide à la surface - Taux d'évaporation sur l'eau	Polymérisation ? (Taux, effets ?) Dissolution ? (Taux, exothermicité, effets ?) Caractérisation de la nappe liquide à la surface - Taux d'évaporation sur l'eau Taux de combustion sur l'eau	Polymérisation ? (Taux, effets ?) Dissolution ? (Taux, exothermicité, effets ?) Caractérisation de la nappe liquide à la surface - Taux d'évaporation sur l'eau Taux de combustion sur l'eau
Modification des termes sources ? Sp	Diminue à cause de la contre-pression Diminue à cause de la contre-pression Verticale vers le haut Diminue Dépend du taux d'évaporation, rugosité Diminue Taux d'évaporation sur l'eau Suminue	Inchangé Inchangée Inchangée Inchangée Dépend du taux d'évaporation, rugosité Diminue Taux d'évaporation sur l'eau	Diminue à cause de la contre-pression Diminue à cause de la contre-pression Verticale vers le haut Diminue Dépend du taux d'évaporation, rugosité Taux d'évaporation sur l'eau Dépend du taux de combustion, rugosité Taux de combustion sur l'eau Taux de combustion sur l'eau	Inchangé Inchangée Inchangée Inchangée Dishangée Dépend du taux d'évaporation, rugosité Taux d'évaporation sur l'eau Dépend du taux de combustion, rugosité Taux de combustion sur l'eau Taux de combustion sur l'eau
Terme source (modélisation classique)	Débit massique à l'orifice Quantité rejetée Quantité rejetée Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Taille de la nappe Epaisseur de la nappe Taux d'évaporation surfacique Rugosité	Débit massique à l'orifice Quantité rejetée à l'atmosphère Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Taille de la nappe Epaisseur de la nappe Taux d'évaporation surfacique Rugosité	Débit massique à l'orifice Quantité rejetée à l'atmosphère Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Taille de la nappe Epaisseur de la nappe Taux d'évaporation surfacique Taille de la nappe en combustion Taille de la nappe en combustion Taix de combustion surfacique	Débit massique à l'orifice Quantité rejetée à l'atmosphère Direction du rejet à l'atmosphère Vitesse du rejet à l'atmosphère Taille de la nappe Epaisseur de la nappe Taux d'évaporation surfacique Taux de combustion Taux de combustion Rugosité
Phénomène(s) dangereux redouté(s)	Nappe évaporante à la surface de l'eau ⇒ Formation d'un nuage toxique dans l'air	Nappe évaporante à la surface de l'eau ⇒ Formation d'un nuage toxique dans l'air	Nappe évaporante à la surface de l'eau ⇒ Formation d'un nuage inflammable dans l'air Feu de nappe si inflammation immédiate et/ou feu/explosion de nuage si inflammation retardée	Nappe évaporante à la surface de l'eau ⇒ Formation d'un nuage inflammable dans l'air Feu de nappe si inflammation immédiate et/ou feu/explosion de nuage si inflammation retardée
Type de rejet	Rejet sous l'eau	Rejet sur l'eau	Rejet sous l'eau	Rejet sur l'eau
Production d'un gaz toxique ou inflammable au contact de l'eau	Pas de réaction	Pas de réaction	Pas de réaction	Pas de réaction
Danger(s) de la substance	Toxique	Toxique	Inflammable	inflammable
Clas. SEBC	E ED DE FE FED	E ED DE FE FED	E ED OE FE FED	ED ED DE PE RED
Etat physiq ue	Liquide	L01b Liquide	Liquide	Liquide
PI	L01a	L01b	L02a	Г02р

Annexe D

Page 14 sur 21

Version du 13 juin 2014

:	:	:	:						Version da 10 Julii 2014
Etat Clas. Danger(s) gaz toxique ou physiq SEBC substance contact de l'eau	Danger(s) Production d'un de la gaz toxique ou Type de la inflammable au rejet contact de l'eau	Production d'un gaz toxique ou Type de inflammable au rejet contact de l'eau	Type de rejet		Phénomène(s) dangereuv redouté(s)	,	Terme source (modélisation classique)	Modification des termes sources ?	Spécificité(s) de modélisation ?
Liquide FD Toxique Pas de réaction sous l'eau liquide toxique	Toxique Pas de réaction sous l'eau	Rejet sous l'eau	Rejet sous l'eau	eau	Formation d'une nappe de liquide toxique		Débit massique à l'orflice Quantité rejetée Phasse / densité vapeurs Taille de nappe Epaisseur de nappe Rugosité	Diminue à cause de la contre-pression Diminue à cause de la contre-pression + dissolution Inchangée Augmente Diminue	Polymérisation ? (Taux, effets ?) Dissolution ? (Taux, exothermicité, effets ?)
Liquide FD Toxique Pas de réaction l'eau liquide toxique	Toxique Pas de réaction l'eau	Rejet sur l'eau	Rejet sur l'eau	sur	Formation d'une nappe de liquide toxique		Débit massique à l'orifice Quantité rejeté e Phase / densité vapeurs Taille de nappe Epaisseur de nappe Rugosité	Inchangé Inchangée Inchangée Augmente Diminue	Polymérisation ? (Taux, effets ?) Dissolution ? (Taux, exothermicité, effets ?)
Formation d'une nappe inflammable à la surface de inflammable à la surface de sous l'eau Fp ⇒ Feu de nappe	Inflammable Pas de réaction sous l'eau	Pas de réaction sous l'eau	Pas de réaction sous l'eau		Formation d'une nappe inflammable à la surface de l'eau ⇒ Feu de nappe		Débit massique à l'orifice Quantité rejetée Taille de nappe Epaisseur de nappe Taille de la nappe en combustion Taux de combustion surfacique Rugosité	Diminue à cause de la contre-pression Diminue à cause de la contre-pression Augmente Diminue Taux de combustion, rugosité Diminue	Polymérisation ? (Taux, effets ?) Dissolution ? (Taux, exothermicité, effets ?) Taux de combustion sur l'eau
Liquide FD Inflammable Pas de réaction Rejet sur Peau Formation d'une nappe C C C C C C C C C	Formation d'une nappe inflammable à la surface de l'eau l'eau ⇒ Feu de nappe	Formation d'une nappe inflammable à la surface de l'eau l'eau ⇒ Feu de nappe	Formation d'une nappe inflammable à la surface de l'eau l'eau ⇒ Feu de nappe	Formation d'une nappe inflammable à la surface de l'eau ⇒ Feu de nappe			Débit massique à l'orifice Quantité rejetée Taille de nappe Epaisseur de nappe Taille de la nappe en combustion Taux de combustion surfacique Rugosité	Inchangé Inchangée Augmente Diminue Taby de combustion, rugosité Taby de combustion sur l'eau	Polymérisation ? (Taux, effets ?) Dissolution ? (Taux, exothermicité, effets ?) Taux de combustion sur l'eau
Liquide SD / Production d'un Rejet Formation d'un nuage toxique sous l'eau dans l'air P	Production d'un Rejet Formation d'un nuage toxique gaz toxique sous l'eau dans l'air	Rejet Formation d'un nuage toxique sous l'eau dans l'air	Rejet Formation d'un nuage toxique sous l'eau dans l'air	Formation d'un nuage toxique dans l'air	_	L s	'our les produits totalement coulants e ur les liquides et gaz produits par réac	Pour les produits totalement coulants et/ou solubles, les modélisations porteront uniquement sur les liquides et gaz produits par réaction de la substance avec l'eau.	Polymérisation ? (Taux, effets ?) Dissolution ? (Taux, exothermicité, effets ?) Taux d'émission Si liquide toxique : taux d'évaporation
Liquide D / Production d'un Rejet sur Formation d'un nuage toxique l'eau dans l'air	Production d'un Rejet sur Formation d'un nuage toxique gaz toxique l'eau dans l'air	Rejet sur Formation d'un nuage toxique l'eau dans l'air	Rejet sur Formation d'un nuage toxique l'eau dans l'air	Formation d'un nuage toxique dans l'air	•		l convient toutefois de considérer l'effe ejetée pour estimer la quantité du proc	ll convient toutefois de considérer l'effet de la contre-pression sur la quantité de substance rejetée pour estimer la quantité du produit de réaction avec l'eau qui sera formé.	Polymérisation ? (Taux, effets ?) Dissolution ? (Taux, exothermicité, effets ?) Taux d'émission Si liquide toxique : taux d'évaporation
Réf. : INERIS-DRA-14-141515-03596A	S-DRA-14-141515-03596A	-14-141515-03596A	.5-03596A				Annexe D		Page 15 sur 21

Annexe D

Annexe D

Page 16 sur 21

Solides

ć uc	t un aérosol		
Spécificité(s) de modélisation ?	Dissolution ? (Taux, exothermicité, effets ?) Cas particulier : solide formant un aérosol	toxique par inhalation	Cas particulier : migration de solide flottant enflammé.
Modélisation classique	Sans objet pour les solides, les	modélisations porteront	uniquement sur les inquides et gaz produits par réaction de la substance avec l'eau.
Phénomène(s) dangereux redouté(s)	Formation d'un nuage toxique dans l'air		Formation d'un nuage toxique dans l'air
Type de rejet	/	/	
Production d'un gaz toxique ou inflammable au contact de l'eau	Production d'un gaz toxique au contact de l'eau		Production d'un gaz inflammable au contact de l'eau
Danger(s) de la substance	Sans objet		Sans objet
Clas. SEBC	Toutes classes SEBC		Toutes classes
Etat physique	Solide		Solide
프	S01		S02

5. INFORMATIONS UTILES A LA MODELISATION

Ce paragraphe explique brièvement quelques notions apparaissant dans le tableau de synthèse, et utiles à des fins de modélisation.

5.1 DISPERSION ATMOSPHERIQUE D'UN PANACHE

Lors d'un rejet accidentel, le produit contenu dans le réservoir peut se vider dans l'eau, entraînant éventuellement la formation d'une nappe liquide ou d'un nuage dans l'air.

On parlera:

- d'« évaporation » si la pression de vapeur saturante du produit est inférieure à la pression ambiante (le taux d'émission à l'atmosphère est alors piloté essentiellement par transfert de masse),
- de « vaporisation » ou d'« ébullition » si la pression de vapeur saturante du produit est supérieure à la pression ambiante (le taux d'émission à l'atmosphère est alors piloté essentiellement par transfert thermique).

La rugosité de la surface peut jouer un rôle significatif sur la dispersion atmosphérique par accroissement des frottements

- d'une part entre l'écoulement atmosphérique et la surface
- d'autre part entre le nuage de gaz et la surface, de manière d'autant plus marquée que le gaz est dense.

L'ordre de grandeur de la longueur de rugosité z_0 d'une surface d'eau est nettement plus faible que l'ordre de grandeur de la longueur de rugosité sur la terre ferme. Brutsaert [2] évalue que la longueur de rugosité varie typiquement de 0,1 mm à 0,6 mm sur une surface d'eau (contre plusieurs centimètres à plusieurs dizaines de centimètres sur la terre). Le Tableau 2 donne des ordres de grandeurs indicatifs de longueur de rugosité de surface en fonction du type de surface.

Type de surface	z ₀ [m]
Glace	10^{-5}
Neige	10^{-3}
Mer calme	10^{-3}
Desert	10^{-3}
Herbes	5.10^{-2}
Taillis	0.1
Forêt	1
Ville (banlieue)	2
Ville (centre)	5 à 10

Tableau 2 – Longueurs de rugosité pour plusieurs types de surface[3]

D'autres phénomènes physico-chimiques sont également à envisager.

Ceux-ci se produisent directement après la formation de la brèche à l'origine du rejet de produit dans l'eau. Parmi ces phénomènes, deux sont présentés ci-après :

- la contre-pression,
- la solvatation.

5.2 LE PHENOMENE DE « CONTRE-PRESSION »

Le phénomène de « contre-pression » correspond à l'action des forces de pression externes s'exerçant à la brèche, dues à la hauteur d'eau au-dessus de la brèche.

Selon que la pression externe est respectivement plus forte ou plus faible que la pression interne, le phénomène de contre-pression peut conduire, respectivement, à une entrée d'eau dans le réservoir ou à une fuite de produit dans l'eau, mais à un débit plus faible que si le produit fuyait à l'air libre.

Les principaux paramètres à prendre en compte sont

- la pression p_{produit} du produit (en Pa) s'il est stocké sous pression (typiquement la pression de vapeur du produit à la température de stockage)
- la pression hydrostatique du produit $\rho_{produit}$ g $h_{produit}$ (en Pa)
 - où $\rho_{produit}$ est la masse volumique liquide du produit (en kg/m³)
 - g l'accélération de la pesanteur (g = 9,81 m/s²)
 - h_{eau} la hauteur d'eau au-dessus de la brèche (en m)
- la « contre-pression » hydrostatique de l'eau $p_{eau} = \rho_{eau} g h_{eau}$ (en Pa)
 - où ρ_{eau} est la masse volumique de l'eau (en kg/m³)
 - h_{eau} la hauteur d'eau au-dessus de la brèche (en m)

Exemple : stockage cryogénique de GNL ($\rho_{GNL} < \rho_{eau}$) et inondation à cinétique lente (inondation de plaine ou remontée de nappes phréatiques)

L'équilibre des pressions interne et externe s'écrit (pas de fuite ni d'entrée d'eau) :

$$\rho_{GNI} + \rho_{GNI} g Z_{GNI} = \rho_{eau} g Z_{eau}$$

Or p_{GNL} est nul (stockage à pression ambiante), pour maintenir l'équilibre, il faut donc :

$$\rho_{GNL} g z_{GNL} = \rho_{eau} g z_{eau}$$

Soit encore

$$Z_{GNL} = Z_{eau}$$

Autrement dit, tant que z_{GNL} > z_{eau} alors il y a une fuite de GNL du réservoir vers l'extérieur (eau), qui cessera dès lors que les pressions seront équilibrées.

Réf. : INERIS-DRA-14-141515-03596A Annexe D Page 19 sur 21

A l'inverse, si z_{GNL} < z_{eau} alors il y a aura une entrée d'eau dans le réservoir.

Pitblado et al. [6] et Woodward [7] ont étudié le cas de brèches sur des cuves de navires méthanier sous la ligne de flottaison.

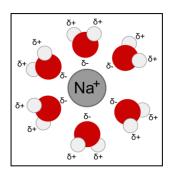
5.3 LE PHENOMENE DE « SOLVATATION »

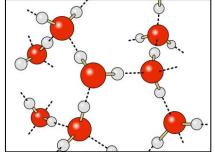
Ce phénomène physico-chimique est observé lors de la dissolution d'un composé chimique dans un solvant (typiquement l'eau), d'où son nom.

Lors de l'introduction d'une espèce chimique initialement à l'état solide (cristal ou amorphe), liquide ou gazeux dans l'eau, les atomes, ions ou molécules de l'espèce chimique se dispersent dans la solution et interagissent avec les molécules d'eau.

La solvatation est de différente nature suivant le soluté puisqu'elle recouvre des phénomènes aussi différents que

- des interactions ion-dipôle (ion sodium Na⁺ / eau)
- des liaisons hydrogène (alcool / eau)
- des liaisons de van der Waals (méthane / eau)





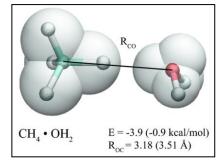


Figure 1 – Interaction ion sodium (Na⁺)-eau ; liaisons hydrogène ; liaison de van der Waals entre une molécule de méthane (CH₄) et une molécule d'eau (H₂O)

Quand le soluté est en phase condensée (liquide ou solide), la solvatation entre dans le bilan énergétique qui met en jeu la séparation des molécules ou des ions dans le soluté avant sa dispersion dans l'eau. Ainsi, le soluté ne se dissout que si les interactions soluté-eau compensent la perte des interactions soluté-soluté et eau-eau du fait de la dissolution

- soit par réaction chimique,
- soit en affaiblissant suffisamment les liaisons (l'eau divise les forces électrostatiques par environ 80).

Ainsi, suivant le type de liaison, la réaction de dissolution sera

- **exothermique** si $\Delta H < 0$ (production de chaleur)
- **endothermique** si ΔH > 0 (absorption de chaleur)

5.4 BIBLIOGRAPHIE

- [1] 5.5 **S. Le Floch, M. Fuhrer, P. Slangen et L. Aprin**, «Environmental Parameter Effects on the Fate of a Chemical Slick», *Air Quality Monitoring and Modeling*, pp. 59-78, 2012.
- [2] **M. Fuhrer**, «Transport maritime de produits chimiques liquides et flottants : étude expérimentale du rejet accidentel sous-marin suite à un naufrage», Thèse, 2012.
- [3] 5.6 **Accord de Bonn**, «Chapitre 26 : Substances dangereuses» Bonn, 2006.
- [4] 5.7 **W. Brutsaert**, «Evaporation into the atmosphere: Theory, history, and applications», *Environmental Fluid Mechanics*, 1982.
- [5] **A. Wroblewski**, «Modélisation et pollution atmosphériques Cours 2 : Modélisation de la dispersion des polluants atmosphériques», Département Chimie et Environnement, École des Mines de Douai, 2012.
- [6] R. M. Pitblado, J. Baik, G. J. Hughes, C. Ferro et S. J. Shaw, «Consequences of LNG Marine Incidents», *Process Safety Progress (Vol.24, No.2)*, pp. 108-114, Juin 2005.
- [7] 5.8 **J. L. Woodward**, «Modeling Underwater Penetration of LNG Carrier», *Process Safety Progress (Vol.27, No.4)*, pp. 336-344, Décembre 2008.

Réf.: INERIS-DRA-14-141515-03596A Annexe D Page 21 sur 21

Annexe E : Retour d'expérience de quatre accidents majeurs Inondation

Réf. : INERIS- DRA-14-141515-03596A Annexe E

HONDATION RISQUES INDUSTRIELS





Incendie d'une usine de poudre de magnésium

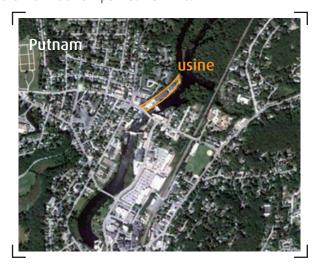
Putnam - Connecticut Etats-Unis

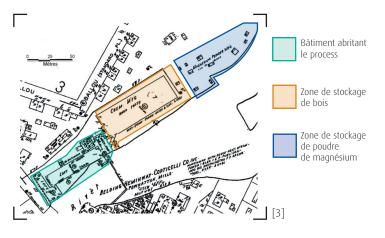
En bref...

Le 19 août 1955, suite à des précipitations diluviennes apportées par deux ouragans à seulement cinq jours d'intervalle, la rivière Quinebaug en crue inonde l'usine Metals Selling Corporation située à l'entrée de la ville de Putnam qui compte un peu moins de 10 000 habitants. L'usine fabrique de la poudre de magnésium et emploie une quarantaine de personnes.

L'eau présente sur le site entraîne un départ de feu dans le bâtiment principal abritant la production et les pompiers ne peuvent agir sur l'incendie puisque celui-ci est complètement ceinturé par l'inondation. Le bâtiment principal est totalement détruit par les flammes.

Dans le même temps, la rivière en crue entraîne les fûts de poudre de magnésium stockés à l'air libre qui explosent en pleine ville. Des projections propagent l'incendie à d'autres bâtiments à l'extérieur du site industriel.







La rivière Quinebaug

La rivière Quinebaug prend sa source dans le Massachussetts et s'écoule à travers une série de lacs et de réservoirs puis après environ 120 km finit par rejoindre la rivière Shetucket pour former la rivière Thames, à proximité de la ville de Norwish [11]. La surface du bassin versant de la rivière Quinebaug est de l'ordre de 2,200 km².

Le débit de la rivière Quinebaug est faible à moyen à Putnam. En août, elle enregistre ainsi un débit moyen de 6 m³/s (moyenne sur 70 ans, 1930-2010) [12].

L'usine de magnésium de Putnam était située en bordure de la rivière Quinebaug, au niveau d'un barrage au fil de l'eau. Le lit de la rivière se rétrécit à son passage dans la ville.

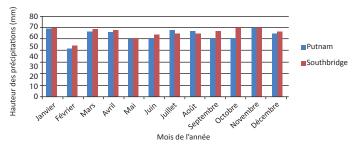


La rivière Quinebaug ainsi que la plupart de ses affluents étaient équipés de barrages initialement construits pour la production d'énergie.

Régime des précipitations sur le bassin hydrographique

Les précipitations dans la ville de Putnam sont relativement élevées et homogènes tout au long de l'année. En amont de Putnam, dans la ville de Southbridge (27 km) également située à proximité de la rivière Quinebaug, les variations annuelles des précipitations sont similaires à celles de Putnam.

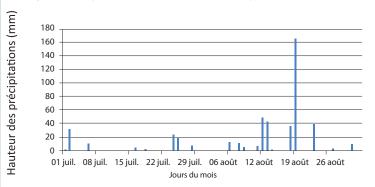
Précipitations moyennes des villes de Putnam et Southbridge



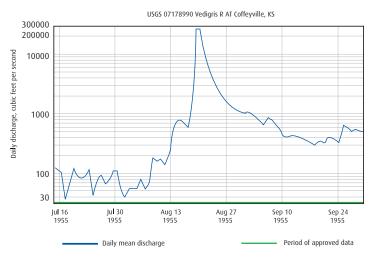
Crue du 19 août 1955

La crue de la rivière Quinebaug survient suite au passage des ouragans Connie (12 août) de catégorie 3 et Diane (17 août) de catégorie 1 [15]. Les précipitations liées à l'ouragan Connie, qui atteignent 48 mm à Putnam saturent les sols et surchargent le réseau hydrographique. Les précipitations liées à l'ouragan Diane, qui atteignent 165 mm à Putnam provoquent ensuite le débordement de la rivière Quinebaug [16]. Tous ces barrages ont été détruits par les inondations engendrées par l'ouragan Diane en Août 1955, ainsi que de nombreux autres barrages situés sur les affluents de la rivière. [11]

Précipitations journalières à Putnam en Juillet et Août 1955



Lors des inondations du 19 Août 1955, le débit de la rivière s'est élevé à **745** m³/s [12] et le niveau de la rivière est monté à plus de **8 m** au-dessus de son niveau normal. Le site industriel, situé dans le lit majeur de la rivière, est complètement submergé [17] [18] sur plusieurs mètres de hauteur.



Séquence accidentelle

Le 19 août 1955, la rivière Quinebaug en crue **inonde** l'usine de magnésium Metal Selling Corporation de Putnam.

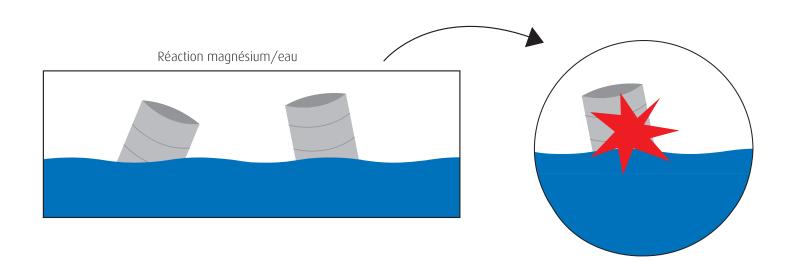
Un **incendie** se déclare au niveau du bâtiment de production, et provoque sa destruction totale, toute intervention étant rendue impossible par la crue en cours [19]. Le bâtiment de stockage est également atteint, et des fûts de **poudre de magnésium** sont transportés jusque dans les rues de la ville.

De violentes explosions sont observées. Les projectiles incandescents provoquent l'inflammation d'habitations en périphérie du site [20]. De plus, des témoignages rapportent de multiples et puissantes explosions [21] et décrivent des «geysers» blancs de métal chaud atteignant des hauteurs de 75 m [22]. Initialement rapportés aux fûts transportés par l'inondation, on peut également faire l'hypothèse que ces explosions soient issues du bâtiment de production lui-même.

Certaines sources [1] indiquent que les eaux de crue auraient atteint les fours de production, provoquant un choc thermique qui aurait conduit à la perte d'intégrité de ces derniers et à la mise en contact du métal en fusion avec l'eau, produisant des projections chaudes à l'origine de l'incendie. Une autre hypothèse serait que la mise en contact de l'eau avec de la poudre de magnesium en vrac aurait généré du dihydrogène selon la réaction suivante :

$$Mg + 2H_2O = Mg(OH)_2 + H_2$$

Le dihydrogène aurait alors pu s'enflammer au contact des surfaces encore chaudes présentes dans le bâtiment.





- [1] Industry hit by northeast floods. Chem. Eng. News, 1955, 33 (36), pp 3661–3663. September 05, 1955.
- [2] Putnam Population Overview, AmericanTowns.com, disponible sur:
 http://www.americantowns.com/
 (consulté le 29/03/2012)
- [3] Sanborn map collection, Putnam Connecticut August 1920.
 Document transmis par Nancy Lieffort, Government
 Information & Reference Services, Connecticut State Library.
- [4] The Connecticut Department of Labor's Special Weekly Labor News Report September 2, 1955. Renseignements transmis par Nancy Lieffort, Government Information & Reference Services, Connecticut State Library.
- [5] Magnésium, Wikipédia l'encyclopédie libre, disponible sur : http://fr.wikipedia.org/wiki/Magn%C3%A9sium (consulté le 22/03/2012)
- [6] Fragmentation Applications aux substances industrielles, Référence J3053, Pierre BLAZY, Jacques YVON, El-Aïd JDID, 10 juin 2007, disponible sur : http://www.techniques-ingenieur.fr/ (consulté le 18/04/2012)
- [7] Métallurgie des poudres, Encyclopedia Universalis, disponible sur :

 http://www.universalis.fr/encyclopedie/
 (consulté le 18/04/2012)
- [8] Préparation métallographique des pièces en métal pulvérulent, Elisabeth Weidmann, Birgitte Nielsen, Struers A/S,Copenhague, Danemark, Judy Arner, Struers Inc., Westlake, OH, Etats-Unis, Compagnie Struers, p.2, Février 2008.
- [9] Atomiseur et procédé d'atomisation de métal en fusion, Brevet d'invention FR2374988, Dain Richard James, 21/07/1978, disponible sur : http://www.patfr.com/197807/FR2374988.html (consulté le 02/04/2012)
- [10] Magnesium Barrels Float, Explode In City, Toledo blade newspaper, August 1955 20th, p. 2, disponible sur: http://news.google.com/
 (consulté le 02/04/2012)
- [11] French & quinebaug river watersheds, 2004-2008 water quality assessment report, Ian BOWLES (secretary, Commonwealth of Massachusetts, Executive office of energy and environmental affairs), Laurie BURT (commissioner, Massachusetts department of environmental protection), Glenn HAS (assistant commissioner, Bureau of resource protection), Glenn HAS (director, Division of watershed management), Novembre 2009.
- [12] US Geological Survey, Station QUINEBAUG RIVER AT PUTNAM, CT, disponible sur : http://waterdata.usgs.gov/ (débit moyen le la rivière pour le mois d'Août, consulté le 02/04/2012)

http://waterdata.usgs.gov/ (débit de la rivière le 19 août 1955, consulté le 02/04/2012)

- [13] Connecticut weather, Putnam District weather, Normal precipitations, IDcide Local Information Data Server, disponible sur :

 http://www.idcide.com/weather/ct/putnam-district.htm (consulté le 18/04/2012)
- [14] Massachusetts Weather, Southbridge Weather, Normal precipitations, IDcide Local Information Data Server, disponible sur :

 http://www.idcide.com/weather/ma/southbridge.htm (consulté le 18/04/2012)
- [15] Major Hurricane Diane , Weather underground, disponible sur : http://www.wunderground.com/hurricane/at19553.asp (consulté le 02/04/2012)

Major Hurricane Connie , Weather underground, disponible sur :

http://www.wunderground.com/hurricane/at19552.asp (consulté le 02/04/2012)

Hurricane Connie-and-Diane 1955, Hurricane History .org, disponble sur:

http://hurricanehistory.org/ (consulté le 02/04/2012)

- [16] Précipitations des mois de juillet et août 1955, Climatic Data Online, National Climatic Data Center, PUTNAM Station Id:GHCND:USC00066645, disponible sur: http://www1.ncdc.noaa.gov/pub/orders/20002.pdf (p 277-278, consulté le 02/04/2012)
- [17] Historical crests, QUinebaug River, Advances Hydrologic Prediction Service, National Weather Service, avril 2012, disponible sur:

 http://water.weather.gov/
 (consulté le 18/04/2012)
- [18] Peak Streamflow for Connecticut, QUINEBAUG RIVER AT PUTNAM, CT, US geological Survey, disponible sur : http://nwis.waterdata.usgs.gov/(consulté le 18/04/2012)
- [19] Magnesium Plant Fire During 1955 Quinebaug River Flood in Putnam Connecticut (video), extraits de la video «And The Next Morning, There Was Sand Everywhere», disponible sur: http://www.youtube.com/watch?v=f31SiUe2efw (consulté le 02/04/2012)
- [20] Magnesium Plant In Connecticut, Newspaper St petersburg times, August 20th 1955, disponible sur:
 http://news.google.com/
 (consulté le 02/04/2012)
- [21] Victims recall devastation of 1955 flood that left Putnam in ruins, NorwishBulletin.com, Alison Shea, 19 Août 2010, disponible sur:

 http://www.norwichbulletin.com/
- [22] Hurricanes Connie and Diane, Book Natural Disasters, New Edition, Lee Allyn Davis, p. 282, 2008, disponible sur: http://books.google.fr/

HONDATION RISQUES INDUSTRIELS





Rejet accidentel de chlore dans un complexe chimique

Neratovice République Tchèque

[1]

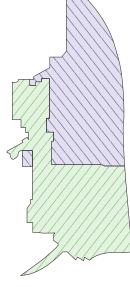
En bref...

Dans la nuit du 13 au 14 août 2002, suite à des précipitations diluviennes, le fleuve Elbe en crue atteint le site chimique Spolana qui longe sa rive gauche sur plus d'un kilomètre. Le complexe industriel produit principalement du chlorure de polyvinyle (PVC), du caprolactame, de l'hydroxyde de sodium, de l'acide sulfurique, de l'oléum et des engrais chimiques à base de sulfate d'aluminium. Il accueille 2500 personnes sur 160 ha et jouxte Neratovice, une ville de 15000 habitants. Au pic de crue, le niveau de l'Elbe dépasse d'1,3 m le niveau correspondant à la crue centennale du fleuve à cet endroit.

Bien que l'alerte ait été relayée environ 30h auparavant, ce délai ne laisse pas le temps nécessaire à la protection du site.

Dans la matinée du 14 août, l'usine de production d'énergie interne est mise hors service par la montée des eaux puis le réseau de distribution haute tension tombe. L'eau continue à monter et inonde totalement le site, à certains endroits sous 3 m d'eau. Le 15 août, une alerte chimique est lancée pour un nuage de chlore s'échappant de cuves situées dans des entrepôts inondés.





Parc chimique

D'une superficie de **79,4 ha**, il comprend sa propre **chaîne de production** de produits chimiques ainsi que des territoires prévus pour le développement futur de l'usine.

Zone commerciale

D'une superficie de **73,5 ha**, elle comprend des zones adaptées pour **l'implantation** d'entreprises extérieures, soit présentant une activité de production chimique similaire à celle de Spolana, soit étant directement liées à la production de l'usine elle-même. Une grande surface est également prévue à des fins de **stockage** [4].

Aléa naturel

Le fleuve Elbe

L'Elbe prend sa source sur le versant Sud des Monts des géants, en République Tchèque. D'une longueur totale de 1100 km, il est le quatorzième fleuve d'Europe.

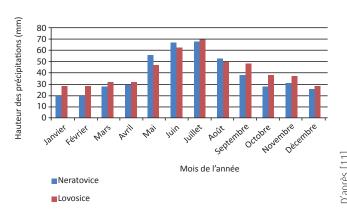


Le bassin versant de la rivière couvre une surface d'environ 148 000 km². Le fleuve a un débit moyen compris entre 100 et 800 m³/s. A proximité de l'usine Spolana (Neratovice), le débit est de l'ordre de 150 m³/s [7].

Régime des précipitations sur le bassin hydrographique

Les mois de Juin et Juillet sont les mois les plus pluvieux à Neratovice, avec des moyennes respectives de 67 et 68 mm de pluie. En amont de Neratovice, la ville de Lovosice (55 km) est située à proximité de l'Elbe et montre des précipitations annuelles similaires à celles mesurées à Neratovice.

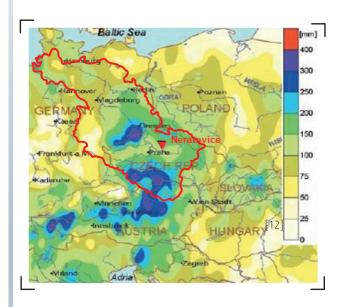
Précipitations moyennes à Neratovice et à Lovisice



Crue d' août 2002

Durant les événements de 2002, entre les 11 et le 13 août, les régions de Neratovice et de Lovosice enregistrent des précipitations comprises entre 100 et 200 mm. Les précipitations cumulées sur les deux premières semaines d'août atteignent jusqu'à 400 mm sur la région.

Niveaux de précipitation enregistrés durant les événements d'août 2002



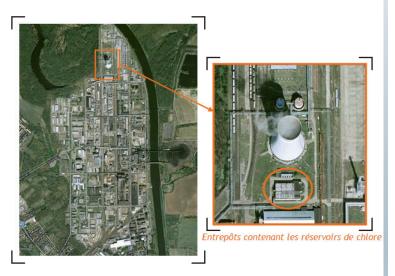
Délimitation du bassin versant de l'Elbe

Le 12 août 2002 à 19h, le premier niveau d'alerte est donné indiquant un risque d'inondation sur le site et incitant à rester vigilant. A 10h le lendemain, la Basin Elbe Agency prévient l'usine Spolana par fax de la possibilité d'une crue centennale. Moins de 7h plus tard, le seuil de l'alerte passe au niveau 2 [13]. L'eau pénètre sur le site dans la nuit du 14 Août. Une heure plus tard, vers 3h, l'alerte atteint le troisième seuil « danger d'inondation » [13]. Les niveaux d'alerte sont franchis successivement à des intervalles de quelques heures, alors que cela nécessite généralement plusieurs jours. Bien que préparée au risque d'inondation, et malgré un système d'alerte opérationnel, l'usine Spolana n'a pas pu se protéger contre cette inondation exceptionnelle, d'une hauteur supérieure de 1,3 m à celle de la crue centennale [13].

Séquence accidentelle

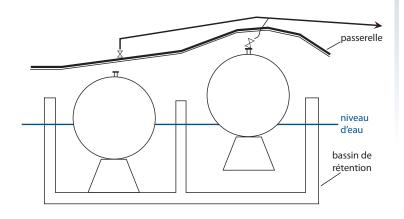
Le 14 Août à 7h30, l'installation de production d'énergie de l'usine est endommagée par la montée des eaux, et quelques heures plus tard, le réseau de distribution haute tension tombe [13].

Le lendemain, en milieu de journée, l'alerte est donnée concernant un rejet de chlore enregistré sur le site. Deux entrepôts, contenant des cuves de stockage de chlore de 80 m³ sont inondés. Parmi les 5 cuves présentes dans chacun des entrepôts, une seule est pleine, les autres étant remplies soit à hauteur de 20%, soit avec du chlore sous forme gazeuse [13].

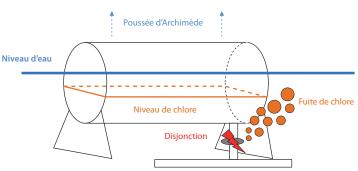


Lorsque la hauteur d'eau dans l'entrepôt devient suffisamment importante, les cuves vides et peu remplies sont soulevées sous l'effet de la poussée d'Archimède, et sont déplacées de leur position initiale [13]. Deux scénarios différents permettent d'expliquer la fuite de chlore enregistrée sur le site.

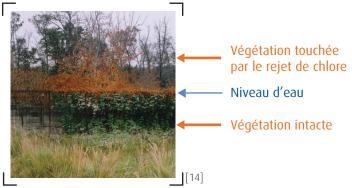
Lorsque les cuves vides sont déplacées par la montée des eaux, celles-ci entraînent le soulèvement et la déformation de la passerelle située au dessus des cuves. Sous l'effet de son déplacement, celle-ci arrache les vannes de fermetures de la cuve pleine, engendrant une fuite de chlore dans l'air [13].



Le second scénario permet de justifier une fuite de chlore dans l'eau. Lorsque les cuves vides sont déplacées de leurs positions initiales sous l'action de la poussée d'Archimède, la jonction entre la cuve et son support au sol se rompt, entraînant une fuite de chlore dans l'eau. Le schéma ci-dessous illustre le principe du phénomène [14].



Les quantités de chlore relâchées dans l'air et dans l'eau sont estimées à 80 t [14] [15], dont la majeure partie dans l'eau. La quantité de chlore émise dans l'air ne serait que de quelques centaines de kilogrammes [14] [16]. Des photos de la végétation prises sur le site après l'inondation témoignent du rejet de chlore dans l'air.



D'après ces mêmes photos, on observe que la hauteur d'eau a atteint environ 3 m sur le site de l'usine. On peut penser qu'à ce stade, l'accès au site ou la circulation sur le site était impossible.



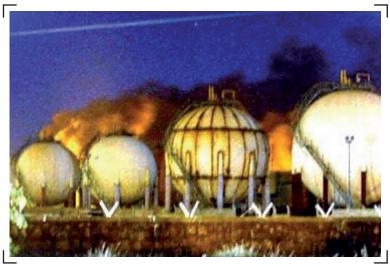
Sources

[1]

[1]	Photogallery - Spolana Neratovice during the floods 29.8.2002, Arnika.org, disponible sur : http://english.arnika.org/photogallery/(consulté le 19/04/2012)	[11]	Average precipitation, Lovosice Weather, Czech Republic, World Weather Online, disponible sur: http://www.worldweatheronline.com/(consulté le 20/04/2012)
[2]	Neratovice, Wikipedia, the Free Encyclopedia, disponible sur : http://en.wikipedia.org/wiki/Neratovice (consulté le 20/04/2012)	[12]	Precipitation amounts (mm/mon) measured during the Elbe flooding event in August 2002, Source: Klimastatusbericht 2002 of the German Weather Service (DWD), disponible sur:
[3]	Neratovice, République Tchèque, Google maps, disponible sur: http://maps.google.com (consulté le 18/04/2012)		http://www.imk-tro.kit.edu/english/14_2609.php (consulté le 19/04/2012)
[4]	Site internet de l'entreprise Spolana, disponible sur : http://www.spolana.cz/ (consulté le 19/04/2012)	[13]	Flood at SPOLANA a.s. in August 2002, Petr Hudec and Oldrich Luks, SPPOLANA a.s., Neratovice, Csech Republic, Institution of Chemical Engineers 2004.
[5]	Elbe (fleuve), Wikipédia, l'encyclopédie libre, disponible sur : http://fr.wikipedia.org/wiki/Elbe_%28fleuve%29 (consulté le 20/04/2012)	[14]	Hazard Management in the Czech Republic – measures related to Art 11 (3) (l) WFD, Pavel Danihelka, Laboratory of Risk Research and Management, VSB – Technical University of Ostrava, Czech Republic.
[6]	Elbe River : location, Encyclopaedia Britannica Kids, disponible sur : http://kids.britannica.com/ (consulté le 19/04/2012)	[15]	Article de presse « Czech chemical plant admits chlorine leak higher than previously reported », ReliefWeb report, 10 Septembre 2002, disponible sur :
[7]	Futures for the flood risk system of the Elbe River, Composition, Analysis And Evaluation, Report Number T14-09-04, FLOODsite, Février 2009.		http://reliefweb.int/node/109133 (consulté le 18/04/2012)
[8]	Rapport Watersheds of Europe E09 Elbe, Water Resources eAtlas, disponible sur : http://earthtrends.wri.org/(consulté le 20/04/2012)	[16]	Article de presse « Prague plant leaks killer chlorine », CNN world, 26 Août 2002, disponible sur: http://articles.cnn.com/(consulté le 19/04/2012)
[9]	Report on Preliminary Study of the Elbe River Floods, Infrastructure Development Institute, IFNet Preparatory Unit, "Water in Rivers", 12 Septembre 2002.	[17]	Photo Neratovice Spolana1, disponible sur : http://archiv.radio.cz/povodne2002/povodne12.html (consulté le 18/04/2012)

HONDATION RISQUES INDUSTRIELS





Incendie et explosion dans une raffinerie

Mohammedia Maroc

[12

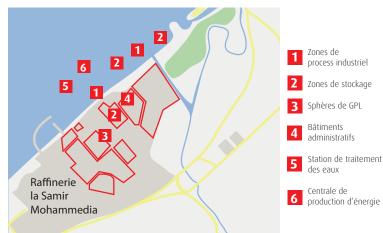
En bref...

En novembre 2002, des pluies torrentielles alimentent pendant plusieurs jours l'oued El Maleh dont l'embouchure est située entre les quartiers urbains de Mohammedia, ville portuaire de 370 000 habitants, et la raffinerie SAMIR située également sur le front de mer et employant plus de 1300 personnes. La raffinerie produit notamment du propane, du butane, de l'essence, du gasoil et du kérosène. Le 25 novembre le site industriel est complètement inondé et la production est progessivement interrompue.

En début de soirée, des départs de feu se déclarent et entrainent la déformation et l'éclatement de certains bacs d'hydrocarbures, avec des projections sur plusieurs dizaines de mètres. L'incendie est difficile à maîtriser car le niveau d'eau bloque l'accès au site et complique l'intervention des équipes de secours alors que les équipements de lutte contre l'incendie de la raffinerie sont également inondés et que la centrale de production d'énergie est hors d'usage. Il faudra plus de 20h d'intervention et des moyens humains et matériels importants pour maîtriser le feu.

Le bilan de l'accident est lourd : **2 morts** sont à déplorer, ainsi que **plusieurs blessés** [6]. Les dégâts matériels entraîneront la suspension de toute activité sur le site pendant plusieurs mois [14].





Aléa naturel

L'Oued El Maleh

L'Oued el Maleh prend sa source à 760 m d'altitude, sur le versant sud-est du massif du Khatouat. Les oueds sont des cours d'eau intermittents, c'est-à-dire à régime hydrologique très irrégulier, le plus souvent à sec, mais qui peuvent connaître des crues spectaculaires, à la suite d'épisodes pluvieux importants. Après 160 km de parcours, l'oued el Maleh se jette dans l'océan Atlantique à proximité immédiate de la raffinerie [5].

L'embouchure de l'oued el Maleh forme une zone humide d'une surface de 1200 ha entre la raffinerie et le centre urbain de Mohammedia [6]. Il s'agit d'un marécage littoral, réduit à une petite steppe salée inondée par intermittence, et parcourue par un canal artificiel qui a remplacé le cours de la rivière [8]. Cette zone humide alimente la nappe phréatique [7].

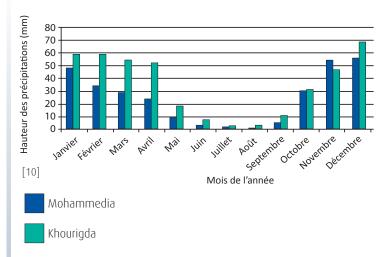


En 2002, le principal aménagement hydraulique sur l'oued el Maleh est un barrage situé à une trentaine de kilomètres de l'embouchure. Ce barrage a été construit en 1930, initialement pour alimenter la ville de Casablanca en eau potable. Il sert ensuite à l'irrigation de la région, ainsi qu'à assurer la protection de la ville de Mohammedia contre les inondations. Cependant, l'ouvrage ayant plus de 80 ans, il a subi un phénomène d'envasement ayant réduit sa capacité de rétention de 60% à 5 millions de m³ en 2002 [8].

Régime des précipitations sur le bassin hydrographique de l'Oued

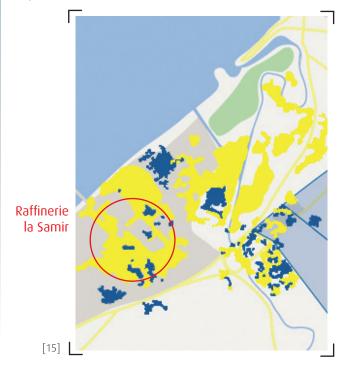
Mohammedia enregistre ses précipitations les plus importantes entre les mois de novembre et avril, avec des moyennes mensuelles très élevées pour les mois de Novembre et Décembre [10]. Au niveau de la ville de Khourigba, situé à 20 km de la source de l'Oued el Maleh, les précipitations moyennes sont plus importantes qu'à Mohammedia.

Précipitations (mm) moyennes mensuelles Mohammedia et de Khourigba - Maroc



Crue du 25 novembre 2002

Les 14 et 15 Novembre, de fortes pluies touchent la région de Mohammedia et saturent le barrage. L'épisode pluvieux suivant, les 24 et 25 novembre, entraîne logiquement le débordement du barrage, qui à son tour entraîne la crue de l'oued el Maleh dont le débit de pointe atteint alors 460 m³/s [11] [12] [13]. Durant le mois de Novembre 2002, ce sont au total 240 mm de pluies qui s'abattent sur la ville, soit 6 fois la moyenne mensuelle. Le débordement de l'oued à son embouchure provoque l'inondation de la raffinerie.



Zones inondées le 27 novembre 2002

Zones encore inondées le 08 décembre

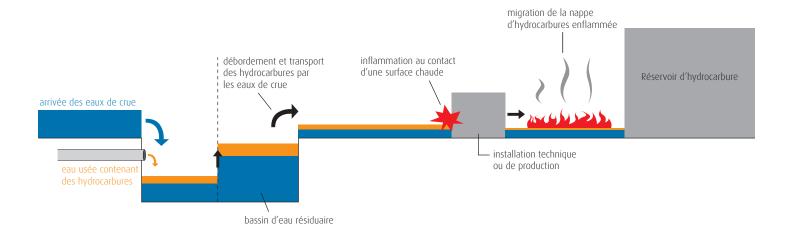
Ville de Mohammédia

Séquence accidentelle

Le 25 novembre 2002, l'eau pénètre sur le site de la raffinerie de Mohammedia par l'Est. A partir de 12 h et jusqu'à 18 h, la production de la raffinerie est **progressivement interrompue** à la suite de la montée des eaux. Le niveau de l'eau aurait atteint 1,5 m par endroit à l'intérieur de la raffinerie [5].

A partir de 20 h, les inondations entraînent de nombreux départs de feu, principalement dans le secteur est de la raffinerie. Un feu de plus grande envergure se déclare dans le secteur ouest, vers 21h. Quelques bacs situés près de la station de traitement des eaux, pris dans l'incendie, éclatent ou se déforment. C'est le cas notamment de 2 bacs de slop : le toit du premier bac est projeté à 110 m, le toit et la robe du second sont projetés à une trentaine de mètres. Le bac 80G801 contenant du fioul subit une **forte déformation**, probablement due à l'onde de choc émise par l'explosion d'un bac voisin. 3 autres bacs contenant du furfurol sont également touchés : l'un des 3 bacs éclate avec projection du toit à une cinquantaine de mètres. Un incendie se déclare sur une citerne de H₂SO₄ de 20 m³ [13]. La centrale de production d'énergie est lourdement touchée, rendant hors d'usage tous les équipements, y compris ceux de sécurité et de protection. Le bâtiment qui l'abrite est très endommagé mais ne s'effondre pas [5] [14]. La montée importante du niveau d'eau bloque l'accès au site et complique l'intervention des équipes de secours. Celle-ci est d'autant plus compliquée que les équipements de lutte contre l'incendie de la raffinerie sont inondés [14]. Il faudra plus de 20h d'intervention et des moyens humains et matériels importants pour maîtriser le feu [17].

L'origine du sinistre est due à l'inflammation des hydrocarbures résiduels (dans les décanteurs) qui surnageaient à la surface des eaux de crue [5]. La raffinerie possède en effet des bassins d'eaux résiduaires, qui collectent les eaux en provenance des différentes installations du site avant leur envoi à la station d'épuration. Lors de l'inondation de 2002, les eaux de crue se sont mélangées à ces eaux résiduaires (constituées d'un mélange d'eau et des résidus d'hydrocarbures issus du raffinage), vraisemblablement à partir du réseau d'égout [16]. Les hydrocarbures étant plus légers que l'eau, ceux-ci ont surnagé et se sont répandus sur l'ensemble du site. Les hydrocarbures se sont alors enflammés au contact des surfaces d'installations restées chaudes malgré l'arrêt du process [17]. On peut également supposer que le noyage des équipements électriques a entraîné des courts-circuits pouvant éventuellement être à l'origine des départs d'incendie. Dans le cas de l'incendie de la centrale, l'ignition s'est faite par le groupe diesel incendie [14]. La migration des hydrocarbures enflammés combinée à la paralysie des accès et des moyens d'intervention a conduit au développement incontrôlé de l'incendie.



Sources

- [1] Population de Mohammedia, Almohammedia.com, Portail de la ville de Mohammedia, disponible sur : http://www.almohammedia.com/ville/(consulté le 03/04/2012)
- [2] Google Maps, disponible sur: http://maps.google.com (consulté le 4/04/2012)
- [3] Rapport de stage La Samir, p.2-3 et 9
- [4] Profil de La Samir, Site internet de la raffinerie, Samir.ma, disponible sur : http://www.samir.ma/ (consulté le 04/04/2012)
- [5] Article « Oued Mellah », Wikipédia, l'encyclopédie libre, disponible sur : http://fr.wikipedia.org/wiki/ (consulté le 10/04/2012)
- [6] Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar (FDR),
 Catégories approuvées dans la Recommandation 4.7
 modifiée par la Résolution VIII.13 de la Conférence des
 Parties contractantes, R'himou EL HAMOUMI, GREPOM,
 Faculté des Sciences Ben Msik, Soumaya HAMMADA,
 GREPOM, Faculté des Sciences et Techniques, Oumnia HIMMI,
 Institut Scientifique, Mohamed FEKHAOUI, Institut Scientifique,
 04 juin 2003.
- [7] Caractérisation hydrochimique d'un site Ramsar : le complexe zones humides de Mohammedia (Maroc), Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie, 2010, n°32 (2), 133-145, Amal SERGHINI1, Mohammed FEKHAOUI1, Abdellah EL ABIDI2 Souad EL BLIDI1 & Rachid BEN AKKAME, 22 Novembre 2010.
- [8] « Un projet de barrage pour protéger Mohammedia », article de presse de l'économiste n° 1407, Ali JAFRY, 02 Décembre 2002, disponible sur : http://www.leconomiste.com/(consulté le 05/04/2012)
- [9] Ramsar Overview map, Zones humides de l'Oued El Maleh, Wetlands International, disponible sur : http://www.wetlands.org/ (consulté le 18/04/1989)

- [10] Météo Mohammedia, Prévision Météo du Maroc, site internet maroc-meteo.net, disponible sur : http://www.maroc-meteo.net/mohammedia.php (consulté le 6/04/2012)
- [11] « Impact des inondations du Sud-Est (septembre 2002) sur les activités présentant un risque technologique », Rapport INERIS, Agnès VALLEE, Olivier DOLLADILLE, p. 42, Décembre 2003.
- [12] Les inondations de novembre 2002 à la ville de Mohammedia (Maroc)- bilan et perspectives, Présentation pour le XIII Congrès Mondial de l'Eau du 1 au 4 septembre 2008 à Montpellier, France, Abdelmalik SALOUI, Université Hassan II, Mohammedia, Maroc, Septembre 2008.
- [13] « Le blues du barrage Oued el Maleh », article de presse de La Gazette du Maroc n°292, S. L ET E.M.A, 02 Décembre 2002, disponible sur : http://www.lagazettedumaroc.com/ (consulté le 05/04/2012)
- [14] Rapport National sur la prévention des Désastres, Synthèse Conférence de Kobe-Hogo, Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement, Direction de la Surveillance et de la Prévention des Risques, p.27. Janvier 2005.
- [15] Cartographie des zones inondés en Novembre 2002, Centre Royal de Télédétection Spatial, disponible sur : http://www.crts.gov.ma/ (consulté le 04/04/2012)
- [16] « Leçon d'un Désastre Mise au point avec la Samir », article de presse du Maroc Hebdo International N°538, Seddik MOUAFFAK, du 20 au 26 Décembre 2002, p.13, disponible sur : http://www.maroc-hebdo.press.ma/ (consulté le 05/04/2012)
- [17] Accident de Mohammedia du 25 Novembre 2002, Maroc, Base de données ARIA, accident n° 23637, disponible sur : http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/ (consulté le 05/04/2012)

HONDATION RISQUES INDUSTRIELS





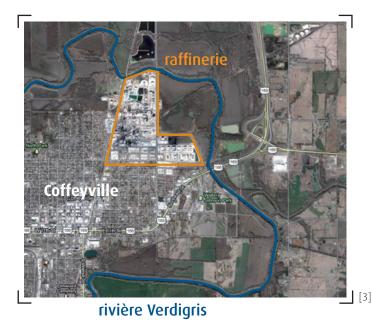
Rejet accidentel d'hydrocarbures dans une raffinerie

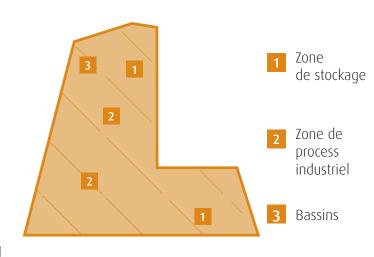
Coffeyville - Kansas Etats-Unis

En bref...

En 2007, après un mois de juin particulièrement pluvieux, ponctué, le 30 juin, par un épisode de précipitations intenses, la rivière Verdigris en crue menace la raffinerie Coffeyville Resources Refining & Marketing placée dans un de ses méandres. Le site regroupe des procédés de crackage catalytique et de cokéfaction et produit principalement de l'essence, du diesel et du propane. La raffinerie emploie 600 personnes et jouxte Coffeyville qui compte 10 000 habitants.

L'exploitant de la raffinerie déclenche la procédure d'arrêt normal des installations en début de soirée, mais l'eau commence à pénétrer sur le site peu avant minuit, avant la fin des opérations. Un réservoir est toujours en cours de remplissage à partir d'une unité de stockage extérieure distante de 4 km. L'inondation complique significativement l'arrêt du transfert et, les voies de communication ayant été coupées par la rivière en crue, l'exploitant sera contraint d'utiliser un hélicoptère pour rejoindre ce stockage et fermer manuellement une vanne de coupure qui s'y trouve. L'arrêt effectif du transfert intervient tardivement et le réservoir déborde pendant une durée estimée à environ 1 h, relâchant environ 300 m³ de pétrole qui viennent polluer les habitations voisines inondées.





Aléa naturel

La rivière Verdigris

La rivière Verdigris prend sa source dans le comté de Greenwood au Kansas. Elle s'écoule vers l'État de l'Oklahoma pour se jetter dans la rivière Arkansas à la hauteur de la ville de Muskogee. La rivière s'étend sur une longeur de 451 km. [7]



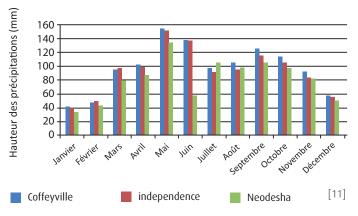
Au niveau de la ville de Coffeyville, la rivière Verdigris forme une boucle, qui entoure une partie de la ville. Le site de la raffinerie est situé dans cette zone.

La rivière enregistre un débit moyen de 173 m³/s durant le mois de juin et de 147 m³/s durant le mois de Juillet (moyenne sur 10 ans, 2002-2011) [8]. Le bassin versant de la rivière couvre une surface d'environ 11 500 km² [9].

Régime des précipitations sur le bassin hydrographique

A Coffeyville, mai et juin sont les mois les plus pluvieux de l'année avec des moyennes respectives de 152 et 139 mm de pluie [11]. En amont de Coffeyville, les villes d'Indepedence (29 km) et de Neodesha (51 km), situées également à proximité de la rivière Verdigris, montrent des précipitations globalement similaires à celles de Coffeyville.

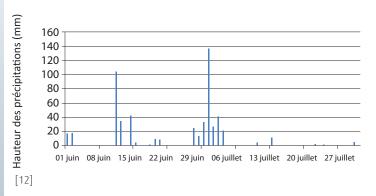
Précipitations moyennes à Coffeyville



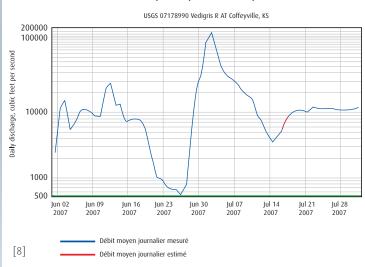
Crue du 30 juin 2007

Lors des inondations de 2007, plusieurs épisodes pluvieux intenses se produisent durant le mois de juin. Le premier survient entre le 11 et le 15, déversant 180 mm de pluie. Le second débute le 27 juin, et provoque le débordement de la rivière dont le débit dépassera 4500 m³/s [9][13]. Durant la seule journée du 30 juin, on enregistre 136 mm de précipitation, soit l'équivalent d'un mois de pluie à cette même période.

Précipitations journalières dans la ville de Coffeyville



Débit de la rivière à Coffeyville pendant l'épisode de crue



La hauteur d'eau sur le site de la raffinerie dépasse les 3 m, soit 1,2 m au dessus des digues qui le protègent [14].



Bâtiments inondés (environ 800)

Séquence accidentelle

Le 30 juin 2007 à 19h50, la direction de la raffinerie décide d'engager la **procédure d'arrêt**, qui à la lecture des documents est probablement la procédure d'arrêt normale du site et non une procédure d'arrêt spécifique à l'inondation. L'eau commence à pénétrer sur le site de la raffinerie un peu avant minuit, soit seulement **3h30 après** le lancement de la procédure et perturbe les actions de mise en sécurité en cours [14].

En particulier, la procédure d'arrêt prévoit qu'au cas où des réservoirs seraient en cours de remplissage, celui-ci doit être poursuivi jusqu'à atteindre le niveau de remplissage attendu. C'est le cas du réservoir 8010 d'une capacité de 80 000 barils (12 720 m³ environ) qui est en cours de remplissage lors de l'arrivée de l'eau sur le site.



Ce réservoir est alimenté par une canalisation de 4 km depuis une entité extérieure dénommée « East tank farm » et gérée à distance par une entreprise extérieure située à environ 70 km de Coffeyville. L'alimentation est **gravitaire** et peut être assistée par des pompes [14].



Les directions des deux entreprises ont échangé sur la possibilité de surcharger les réservoirs en hydrocarbures par rapport au niveau normal d'exploitation afin de **réduire leur vulnérabilité** à la poussée d'Archimède et cette option a été retenue par la direction de la raffinerie. L'échange n'a pas abordé la question de l'arrêt de l'alimentation en hydrocarbures et par défaut c'est donc la procédure arrêt normal qui prime : la coupure de l'alimentation doit être réalisée par une vanne située dans la raffinerie [14].

Au moment de fermer la vanne (probablement aux alentours de 00h45), la hauteur d'eau est déjà **trop importante** sur le site et empêche l'accès à la vanne située au niveau du sol. Le réservoir continue alors de se remplir, sans danger immédiat de débordement [14].

Une seconde vanne, située en amont de la canalisation sur le site de l'entité « East tank farm », peut permettre de couper l'alimentation. La demande par la raffinerie de fermer cette vanne est transmise le 1er juillet à 7h, mais la fermeture à distance s'avère impossible car le centre de contrôle de Bartlesville a perdu son alimentation électrique depuis 4h30 et aucun employé n'est présent physiquement sur l'entité East tank farm[14].

L'inondation ayant coupé les routes d'accès entre la raffinerie et l'entité « East tank farm », la direction de la raffinerie prend la décision d'utiliser un hélicoptère pour s'y rendre, la traversée par bateau étant jugée trop dangereuse. La vanne est fermée vers 11h30 le 1er juillet.

Le débordement du réservoir a probablement duré environ 1h, entre 10h30 et 11h30, même si aucune certitude ne peut être émise quant à l'heure du début de débordement. Au total, on estime que 1 900 barils de pétrole ont été emportés par les eaux, soit environ 300 m³ [14].



Débordement du réservoir 8010

Outre le débordement du réservoir 8010, l'inondation de la raffinerie a également causé le **déplacement du réservoir 8005** qui, sous l'action de l'eau, a été emporté, entrainant un rejet de gazole dans les eaux de crue estimé à 23 m³ [14].

Les conséquences de cet accident sur l'environnement sont les pollutions générées par le rejet d'hydrocarbures. Les sols sont pollués et le pétrole menace d'atteindre les lacs et rivières des alentours [13] [15] [16]. Les habitants subissent également les dégâts engendrés par cette fuite de pétrole. Un tiers de la ville est touché par le pétrole surnageant les eaux, les réseaux d'eau potables sont interrompus durant quelques jours. Des habitations sont endommagées [16].



Les conséquences économiques de ces inondations sont élevées pour la raffinerie, avec un arrêt de production de 7 semaines et un coût total estimé à 41,5 millions de dollars [4].

Sources

[9]

Basin Advisory Committees, Kansas Water Office, 2011,

[1]

Article de presse "Coffeyville Kansas refinery underwater",

	reuteur.com, disponible sur le site : http://www.reuters.com/article/ (consulté le 12/04/2012)		disponible sur: http://www.kwo.org/ (consulté le 16/04/2012)
[2]	Population in 2010, Coffeyville Kansas, disponible sur : http://www.coffeyville.com/index.aspx?nid=294 (consulté le 12/04/2012)	[10]	Verdigris river, Wikipédia l'encyclopédie libre, disponible sur : http://en.wikipedia.org/ (consulté le 16/04/2012)
[3]	Coffeyville, Kansas, Etats-Unis, Google maps, disponible sur : http://maps.google.com/maps?hl=en&tab=wl (consulté le 17/04/2012)	[11]	Kansas weather, Coffeyville weather, Normal precipitations, IDcide - Local Information Data Server, disponible sur : http://www.idcide.com/weather/ks/coffeyville.htm (consulté le 13/04/2012)
[4]	2008 Annual Report, Stepping up to challenges — seizing opportunities, CVR Energy, disponible sur : http://phx.corporate-ir.net/(consulté le 12/04/2012)	[12]	Précipitations à Coffeyville en juin et juillet 2007, Climatic Data Online, National Climatic Data Center, Station COFFEYVILLE WATERWOR GHCND:USC00141673, p.4-5, disponible sur :
[5]	Coffeyville Resources Refining & Marketing, LLC, cvrenergy.com, disponible sur : http://www.cvrenergy.com/RefiningAndOperations/		http://www1.ncdc.noaa.gov/pub/orders/21484.pdf (consulté le 11/04/2012)
	(consulté le 16/04/2012)	[13]	Présentation "Coffeyville Refinery Resources and Marketing Oil Spill", Katy Miley, EPA Region 7, On-Scene Coordinator.
[6]	100 years of Refining, 2000 to 2006, cvrenergy.com, disponible sur : http://www.cvrenergy.com/ (consulté le 13/04/2012)	[14]	Coffeyville resources refining & marketing, llc, plaintiff, v.liberty surplus insurance corporation, illinois union insurance company, national union fire insurance company of pittsburgh, pa., and westchester fire insurance company,
[7]	Verdigris, Wikipédia l'encyclopédie libre, disponible sur: http://fr.wikipedia.org/wiki/		Lexisnexis, avril 2010, p.9-13.
	(consulté le 16/04/2012)	[15]	Article de presse « Kansas Oil Spill: Coffeyville a Potential Wasteland", Jane Mundy, LawyersandSettlements.com, 6
[8]	US Geological Survey, Station VERDIGRIS R AT COFFEYVILLE, KS. Débits mensuels moyens, disponible sur: http://waterdata.usgs (consulté le 12/04/2012)		Août 2007, disponible sur: http://www.lawyersandsettlements.com/ (consulté le 12/04/2012)
	Débit moyen entre le 1/06/2012 et le 31/07/2007, disponible sur : http://waterdata.usgs.gov/ (consulté le 13/04/2012)	[16]	City Data for Coffeyville, Kansas, CountryHomesOfKansas, LandsofAmerica.com, disponible sur: http://www.countryhomesofkansas.com/ (consulté le 13/04/2012)
	([17]	Photos of Coffeyville during the flood of 2007, Civil Air Patrol (CAP), disponible sur: http://www.ksview.org/info/news.shtml (consulté le 12/04/2012)





maîtriser le risque | pour un développement durable |

Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc Technologique Alata BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél.: +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax: +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail: ineris@ineris.fr - **Internet**: http://www.ineris.fr