

RAPPORT D'ÉTUDE
N° DRA-14-141532-06175A

21/11/2014

DRA 71 - Opération A.5

**Guide de mise en œuvre du principe
ALARP sur les Installations
Classées pour la Protection de
l'Environnement (ICPE)**

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

DRA71 – Opération A.5

Guide de mise en œuvre du principe ALARP sur les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)

Direction des Risques Accidentels

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Yann FLAUW, Clément LENOBLE

PREAMBULE

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 équivalents 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	Relecture	Vérification		Approbation
NOM	Yann FLAUW	Valérie DE DIANOUS	Christophe BOLVIN	Guillaume CHANTELAUVE	Sylvain CHAUMETTE
Qualité	Ingénieur Evaluation Quantitative des Risques Industriels Direction des Risques Accidentels	Ingénieur Evaluation Quantitative des Risques Industriels Responsable du programme d'appui DRA71 Direction des Risques Accidentels	Responsable de l'Unité Evaluation Quantitative des Risques Industriels 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					

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION.....	7
1.1 <i>Contexte</i>	7
1.2 <i>Etudes préalables</i>	9
1.3 <i>Objectifs</i>	9
1.4 <i>Organisation du guide</i>	10
2. CADRE D'UTILISATION DE LA METHODE.....	11
3. PRESENTATION DE LA METHODE.....	13
3.1 <i>Première étape</i>	14
3.2 <i>Deuxième étape : sélection des mesures les plus rentables</i>	17
3.3 <i>Troisième étape</i>	24
3.4 <i>Analyse des résultats</i>	26
4. CAS PRATIQUES D'UTILISATION DE LA METHODE	29
4.1 <i>Premier cas pratique</i>	29
4.2 <i>Second cas pratique</i>	33
5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	37
6. REFERENCES.....	39
7. LISTE DES ANNEXES	41

GLOSSAIRE

ACB	Analyse Coût-Bénéfice
ALARP	As Low As Reasonably Practicable : Aussi bas que raisonnablement praticable
AM	Accident Majeur
DREAL	Direction Régionale de l'Équipement, de l'Aménagement et du Logement.
EDD	Etude de Dangers
G	Gravité
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IIC	Inspection des Installations Classées
HSL	Health and Safety Laboratory (Royaume-Uni)
Mi	Mesure n°i
MMR	Mesure de Maîtrise des Risques
NEN	Netherlands Standardization Institute
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
P	Probabilité (souvent probabilité d'occurrence annuelle)
PAC	Porter à Connaissance
PPRT	Plan de Prévention des Risques Technologiques
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek (Organisme Néerlandais pour la Recherche Scientifique Appliquée)

1. INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

La première apparition du concept As Low As Reasonably Practicable (ALARP) dans la réglementation française moderne remonte à 1977, dans le décret d'application de la loi du 19/07/76 relative aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). Ce décret, aujourd'hui abrogé, stipulait, en effet, dans son article 5 que l'étude de dangers (EDD) d'une ICPE doit « *justifie[r] que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.* » Le concept ALARP n'y était certes pas mentionné explicitement, mais les termes « *économiquement acceptable* » et « *risque aussi bas que possible* » le suggéraient clairement. Qu'est-ce qui est économiquement acceptable ou pas ? Comment justifier le « *aussi bas que possible* » ? Le décret ne le précisait pas, et la réglementation actuelle n'est pas plus explicite.

Dans la réglementation française actuelle, trois principaux textes traitent de l'acceptabilité du risque pour les ICPE : l'arrêté du 10 mai 2000, la circulaire du 10 mai 2010 et l'arrêté du 29 septembre 2005¹.

L'arrêté du 10 mai 2000 précise que « *la démarche de maîtrise [...] des risques accidentels [...] consiste à réduire autant que possible la probabilité ou l'intensité des effets des phénomènes dangereux conduisant à des accidents majeurs potentiels, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation* ».

La circulaire du 10 mai 2010 fixe des critères permettant d'apprécier la justification par l'exploitant des installations que « *le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation* ». Ces critères comprennent notamment « *la capacité technique, organisationnelle et financière de l'exploitant à maintenir un niveau de maîtrise des risques correspondant aux éléments contenus dans l'étude de dangers* ».

¹Arrêté du 10/05/00 relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation / Circulaire du 10/05/10 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 / Arrêté du 29/09/05 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 classées soumises à autorisation.

Dans ces deux textes, le concept ALARP n'est une fois encore pas explicitement mentionné, mais la problématique de réduction du risque sous contraintes techniques, organisationnelles et financières est clairement exprimée. La démarche de maîtrise des risques ne s'applique cependant pas à tous les risques d'accidents majeurs. Pour les établissements Seveso, chaque cas recensé dans l'étude de dangers doit être placé sur une grille probabilité/gravité, et se voit affecté une étiquette selon sa position dans la grille. Pour les autorisations simples, cette démarche, bien que non obligatoire, est également souvent appliquée. Les échelles de probabilité et de gravité de cette grille sont définies dans l'arrêté du 29 septembre 2005, dit arrêté PCIG. Dans la grille, trois zones de risque sont distinguées :

- Les cases « NON », correspondant à un risque élevé, a priori inacceptable.
- Les cases « MMR », pour lesquelles la démarche de réduction du risque aussi bas que possible, dans des conditions économiquement acceptables, devra être effectuée.
- Les cases « vides », correspondant à une zone de risque faible, a priori acceptable en l'état.

Les cas situés dans la première zone (« NON ») sont en principe rejetés². L'exploitant doit réduire le risque, par la probabilité d'occurrence ou la gravité des conséquences, afin de déplacer la criticité dans une case « MMR » voire « vide ». Les accidents situés dans des cases vides sont considérés comme acceptables, tant que l'exploitant peut justifier qu'ils resteront dans ces cases.

Enfin, pour les accidents majeurs situés dans des cases MMR, la circulaire exige une démarche de réduction du risque ALARP, même si le terme n'est pas utilisé. Toutefois, les conditions pratiques d'application de cette démarche restent floues, comme le montrent les extraits suivants :

*« Il convient de vérifier que l'exploitant a analysé toutes les mesures de maîtrise du risque envisageables et mis en œuvre celles dont le **coût** n'est pas **disproportionné** par rapport aux **bénéfices attendus**. »*

*« La " tolérabilité " du risque résulte d'une mise en balance des avantages et des inconvénients (dont les risques) liés à une situation qui sera soumise à révision régulière afin d'identifier, **au fil du temps** et chaque fois que cela sera possible, les moyens permettant d'aboutir à une réduction du risque. »*

La circulaire affiche ainsi la volonté de mettre en œuvre le principe de réduction ALARP. Elle suggère même d'employer une analyse coût-bénéfice pour le faire. Par contre, il n'existe aucune méthode reconnue qui permettrait de démontrer que cette réduction a été correctement effectuée.

L'INERIS a proposé en 2011 au Ministère en charge de l'écologie d'étudier le sujet, avec l'objectif de proposer un outil d'aide à la décision pertinent et adapté. Ce travail s'est appuyé essentiellement sur deux éléments : l'étude de textes et de pratiques développées dans certains pays européens ainsi que les échanges avec les parties prenantes, bureaux d'études et inspecteurs de la DREAL.

² C'est en pratique le préfet concerné qui décide si la démarche de maîtrise des risques est acceptable.

1.2 ETUDES PREALABLES

En 2011, l'INERIS a réalisé une première étude intitulée « Benchmark européen relatif aux préconisations de mise en œuvre du principe ALARP » [1]. Cette étude consistait en une analyse documentaire de textes réglementaires et de guides méthodologiques dans plusieurs pays, en particulier au Royaume-Uni et aux Pays-Bas ; ces pays concentraient, en effet, la documentation la plus importante sur l'ALARP. Il ressort de cette étude qu'il existe en théorie des méthodes de démonstration de réduction ALARP d'un risque, souvent associées à des analyses coûts-bénéfices (ACB).

En 2012, l'INERIS a sollicité des rencontres avec ses homologues au Royaume-Uni et aux Pays-Bas pour recueillir des informations sur la mise en œuvre pratique du principe ALARP dans les démarches de réduction des risques. Deux journées d'échanges ont ainsi été organisées :

- au Royaume-Uni, rencontre du Health and Safety Laboratory (HSL) le 31 août 2012 ;
- aux Pays-Bas, rencontre de l'Organisation Néerlandaise pour la Recherche Scientifique Appliquée (TNO) le 5 novembre 2012 et du Netherlands Standardization Institute (NEN) le 13 novembre 2012.

Ces échanges ont permis de comprendre sous quelles conditions et de quelle façon le principe ALARP était mis en œuvre dans ces deux pays. Ils ont également donné lieu à un deuxième rapport, intitulé « Mise en œuvre du principe ALARP au Royaume-Uni et aux Pays-Bas » [2].

Ce travail a ensuite été complété, en 2013, par des rencontres avec deux bureaux d'études, Technip et Bureau Veritas, et deux DREAL (Midi-Pyrénées et Nord-Pas-de-Calais) ; rencontres qui ont permis de préciser le cadre d'utilisation de la méthode (paragraphe 2), ainsi que d'en affiner les objectifs.

1.3 OBJECTIFS

Aujourd'hui, des études technico-économiques sont parfois réalisées pour décider si une mesure doit être mise en œuvre ou non. Il reste cependant difficile d'en interpréter les résultats pour prendre une décision informée.

C'est à cette difficulté que veut répondre la méthode proposée par l'INERIS dans ce guide. Il s'agit d'un outil d'aide à la décision. Le guide s'adresse aux exploitants de sites industriels et aux inspecteurs des installations classées, auxquels il propose une démarche structurée pour justifier de la réduction d'un risque. Il permet ainsi d'orienter la décision de mettre en place une mesure de réduction du risque additionnelle ou non.

1.4 ORGANISATION DU GUIDE

Ce guide s'organise en trois grandes parties :

- Le chapitre 2 précise le cadre d'utilisation de la méthode et ses quatre étapes.
- Le chapitre 3 détaille ces étapes et explique comment analyser et utiliser ses résultats.
- Le chapitre 4 présente l'application de la méthode sur deux cas d'études fictifs.
- Le chapitre 5, enfin, explore les perspectives d'évolutions de la méthode.

2. CADRE D'UTILISATION DE LA METHODE

La méthode s'inscrit dans le cadre réglementaire des ICPE. Par souci de cohérence avec la circulaire du 10 mai 2010, la démonstration de réduction ALARP s'effectue accident majeur par accident majeur. La méthode ici présentée porte sur un unique accident majeur, et doit être répétée si l'utilisateur veut justifier une réduction ALARP sur plusieurs accidents.

Pour utiliser cette méthode, les accidents majeurs doivent être quantifiés en probabilité et gravité. Les échelles de probabilité et de gravité retenues sont les échelles de l'arrêté du 29 septembre 2005, dit arrêté PCIG : en 5 classes de E à A pour les probabilités d'occurrence annuelle des phénomènes dangereux et accidents majeurs, et en 5 catégories de modéré à désastreux pour la gravité.

La méthode proposée ici doit se comprendre comme un outil d'aide à la décision sur l'acceptabilité du risque. Elle ne donne pas de principes stricts mais fournit un argumentaire en faveur ou en défaveur de la mise en place d'une nouvelle mesure. La décision finale relève de l'industriel, de l'Inspection des Installations Classées (IIC), voire du préfet selon les cas.

Elle a été développée et calibrée pour les sites Seveso et les sites à simple autorisation « sensibles ». De même, les accidents majeurs pour lesquels la méthode a été calibrée sont les plus « critiques », c'est-à-dire ceux positionnés dans des cases E/désastreux ou plus généralement des cases MMR rang 2 de la grille MMR. La méthode que nous proposons peut cependant être utilisée, en théorie, sur n'importe quelle ICPE et sur n'importe quel accident majeur. Par contre, les résultats en seront peut-être moins pertinents (cf. chapitre 5).

Concrètement cette méthode permet de répondre aux demandes :

- des industriels souhaitant réaliser une démonstration « propre » d'une réduction ALARP ;
- des inspecteurs des installations classées souhaitant avoir un avis critique sur une étude technico-économique sur un équipement ou une démonstration de réduction ALARP sur un scénario particulier.

La méthode s'appuie sur les principes de l'analyse coût-avantage et s'articule autour des quatre étapes suivantes :

1. Etablir une liste des mesures envisageables, et en estimer le coût. Il est important de noter que ces mesures ne sont pas seulement des barrières de sécurité, mais plus généralement toute mesure contribuant à réduire le risque étudié. On peut ainsi envisager des réductions du risque à la source comme des changements de procédé ou des modifications du site.
2. Comparer entre elles les mesures issues de la première étape, pour retenir les plus « rentables ».
3. Pour chaque mesure retenue par la deuxième étape, estimer les avantages de sa mise en œuvre.
4. Pour chaque mesure retenue par la deuxième étape, faire une analyse coût-avantages.

La méthode doit inclure une analyse coût-avantage, objet de la dernière étape. L'analyse coût-avantage permet d'améliorer les processus de décision dans le domaine de la sécurité et de l'environnement. Lorsqu'un projet est envisagé, cette approche permet d'intégrer, dans un même cadre, à la fois des coûts habituellement évalués monétairement et des avantages qui ne sont pas évalués monétairement. Notons que le terme avantage se distingue ici du terme bénéfices, ce-dernier désignant des gains évalués monétairement.

Des coûts habituellement évalués monétairement sont par exemple des achats d'équipements ou de matières premières. Des avantages qui ne sont pas évalués monétairement habituellement sont par exemple des gains dans le domaine de la sécurité des personnes, exprimés en termes de réduction de la gravité ou de la probabilité d'occurrence annuelle d'un accident.

Comme indiqué dans le paragraphe 1.1, la circulaire du 10 mai 2010 précise que les mesures envisageables doivent être analysées pour ne retenir que celles « *dont le coût n'est pas disproportionné par rapport aux bénéfices attendus [pour...] atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement* ». Contrairement à ce que cet extrait suggère, il n'est pas nécessaire de mener systématiquement une analyse coût-bénéfice pour chacune des mesures envisagées car cela serait trop complexe à mettre en œuvre. C'est pourquoi notre approche propose une analyse coût-avantage, plus simple, pour les mesures retenues à la fin de la première étape de la méthode.

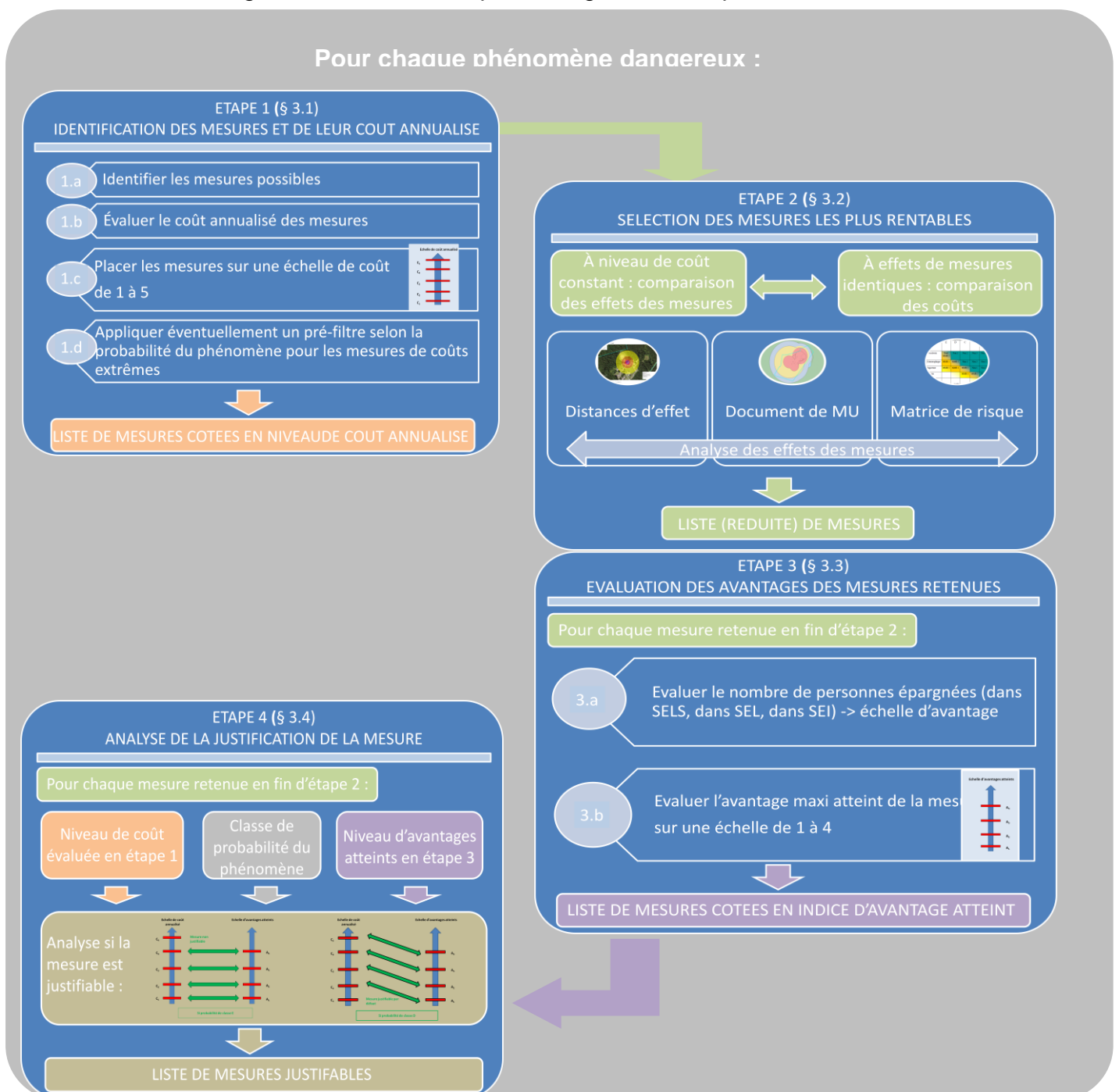
Par contre, lorsque les enjeux le justifient, il peut être envisagé de mener une analyse coût-bénéfice. Des éléments utiles à cette démarche peuvent être trouvés dans deux guides de l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE) [3] [4].

3. PRESENTATION DE LA METHODE

La méthode de mise en œuvre du principe ALARP s'articule en quatre étapes. L'utilisateur doit dans un premier temps identifier toutes les mesures envisageables pour réduire le risque étudié. Il doit également calculer le coût de ces mesures. Les mesures envisagées doivent dans un second temps être comparées entre elles pour en retenir les plus rentables. Enfin, pour chaque mesure restante à l'issue de la deuxième étape, les avantages liés à sa mise en œuvre sont comparés à son coût estimé lors de la première étape.

L'analyse des résultats de cette comparaison permet d'orienter la décision de l'utilisateur en faveur de la mise en œuvre ou non des mesures étudiées.

La démarche générale est illustrée par le diagramme ci-après :



3.1 PREMIERE ETAPE

La première étape de la méthode consiste à lister des mesures envisagées pour réduire le risque étudié, et d'attribuer à chacune de ces mesures un niveau de coût.

3.1.1 Etablissement de la liste de mesures envisagées

On classe les mesures de réduction du risque en trois catégories :

- les mesures qui rendent le scénario physiquement impossible et le remplacent par un ou plusieurs autres. Ce sont par exemple des modifications de procédé ;
- celles qui diminuent la probabilité du scénario et pas sa gravité. Ce sont par exemple des mesures de prévention ;
- celles qui diminuent la probabilité du scénario et rendent possible un second scénario de gravité plus faible. Ce sont par exemple des mesures de protection.

La liste peut être définie sur la base de guides professionnels, d'un état de l'art des mesures de sécurité ou de l'expérience des utilisateurs. Les mesures envisageables doivent être efficaces et acceptables sur le plan économique. En ce qui concerne l'acceptabilité économique, l'opérateur de l'ICPE concernée est l'acteur qui dispose des informations les plus complètes. Nous conseillons donc, pour établir cette liste, de faire intervenir à la fois les inspecteurs et les industriels.

Certaines mesures envisagées pourront ne pas être retenues dès ce stade si elles sont jugées inacceptables du point de vue économique. L'analyse de l'acceptabilité économique peut s'appuyer sur certains des éléments suivants :

- le coût de la mesure de sécurité exprimé en pourcentage du chiffre d'affaire ;
- le montant des investissements déjà réalisés dans la sécurité ;
- la structure du secteur industriel dans lequel l'opérateur évolue. Il s'agit ici d'apprécier la facilité de mise en œuvre d'une mesure de sécurité. Des exemples d'indicateurs sont :
 - la dimension typique des installations dans le secteur industriel (ainsi que leur nombre) et la dimension relative de l'installation et de l'entreprise par rapport aux autres opérateurs du secteur ;
 - la durée de vie des équipements industriels concernés.
- la structure du marché dans lequel l'opérateur intervient, qui permet d'apprécier les possibilités pour un opérateur de répercuter un surcoût, partiellement ou complètement, sur ses prix de vente ou sur ses fournisseurs. Des exemples d'indicateurs sont la dimension du marché dans lequel l'opérateur intervient, l'élasticité prix des produits distribués ou encore le type de concurrence sur le marché considéré ;
- la capacité de l'exploitant à absorber les coûts d'une mesure de sécurité tout en garantissant que l'installation reste viable à court, moyen et long terme. Cet élément peut être apprécié par exemple à l'aide d'indicateurs tels que la « liquidité », la « solvabilité » ou la « rentabilité ».

3.1.2 Estimation du coût des mesures de sécurité

Le coût de chaque mesure de sécurité listée précédemment doit être évalué. Pour réaliser une évaluation précise, il est important de ne pas oublier l'ensemble des coûts et des économies futurs associés à la mise en place de la mesure tout au long de sa durée de vie estimée. Ces coûts et économies sont ramenés à un coût annualisé, ou coût annuel moyen. Cela permet de comparer rapidement, d'une part, des mesures entre elles, et d'autre part, les mesures avec les bénéfices annuels liés à leur mise en œuvre.

Pour estimer ce coût annualisé, l'utilisateur peut utiliser diverses sources telles que des modélisations, des devis, des retours d'expériences, des avis d'expert, etc. Une approche détaillée peut s'appuyer sur l'expression des coûts annualisés d'une nouvelle mesure de sécurité suivante :

$$\text{coût annualisé} = \sum_{t=1}^n \frac{(C_t + OC_t)}{(1+r)^{t-1}} \left[\frac{r(1+r)^{n-1}}{(1+r)^n - 1} \right]$$

Où :

n = durée de vie estimée de la mesure considérée ;

t = indice variant de 1, année de mise en œuvre de la mesure, à n ;

C_t = frais d'investissement totaux de la mesure de sécurité sur l'année t ;

OC_t = coût net total d'exploitation et de maintenance de la mesure de sécurité sur l'année t ;

r = taux d'actualisation.

Pour que l'estimation soit précise, les coûts doivent être les plus détaillés possibles. Ils doivent également prendre en compte des éventuelles économies que générerait la mise en place de la mesure de sécurité, par exemple des économies d'énergie. Si l'utilisateur ne possède pas toutes les informations nécessaires, des simplifications pourront être effectuées ; les recommandations données par la méthode seront toutefois moins robustes. Si par exemple les coûts d'exploitation et de maintenance sont oubliés, le coût de la mesure sera sous-estimé. Si le taux d'actualisation n'est pas connu, il pourra être pris égal à 10% par défaut dans cette première version du guide. Ce taux par défaut sera étudié plus en détail dans la prochaine version. Des exemples d'utilisation et des éléments complémentaires sur le calcul des coûts annualisés de cette formule sont donnés en annexe 1.

L'utilisateur peut également délibérément choisir de simplifier l'estimation des coûts si les barrières qu'il considère sont de coûts très différents et qu'il sait par avance que les bénéfices de la mise en place de ces barrières seront très proches.

Lors d'une estimation des coûts, plusieurs points doivent faire l'objet d'une attention particulière :

- **l'homogénéité de l'unité d'expression des coûts** : les sources permettant d'estimer les coûts des différents éléments peuvent être multiples donc utiliser des unités de valeur monétaire variées. Dans le cadre d'une estimation des coûts, ces valeurs doivent être homogénéisées et être exprimées pour une seule année de référence et dans une seule devise. Les variations des prix et les taux de change doivent notamment être pris en compte ;

- **l'estimation de la durée de vie de la mesure considérée** : ce paramètre peut avoir un impact important sur l'estimation du coût annualisé, et il est important de l'estimer correctement. La durée de vie est variable selon les mesures envisagées (déplacement de bac, mise en place d'une cuvette de rétention, ajout d'un capteur de détection gaz, ...). La valeur retenue est plafonnée par la durée de vie de l'installation. Une durée maximale de 30 ans pourra être retenue par défaut ;
- **le taux d'actualisation** : le taux d'actualisation est lié au taux d'intérêt, qui reflète le coût du capital pour un acteur. Celui-ci diffère selon les acteurs concernés. Il peut également tenir compte des risques encourus dans le projet. L'utilisateur doit sélectionner le taux d'intérêt le plus approprié, correspondant dans la majorité des cas à son taux de financement, mais il doit justifier son choix. Il est recommandé d'utiliser des taux d'intérêt réels prenant en compte les évolutions des prix ;
- **l'intégration de la mise en place de la mesure de sécurité dans les cycles d'arrêt de maintenance de l'installation** : pour minimiser le coût d'installation de la mesure de sécurité, il serait plus judicieux de ne mettre en place ces mesures que lors des arrêts normaux de maintenance des installations.

3.1.3 Positionnement des mesures sur une échelle qualitative de coûts

Nous proposons de positionner le coût annualisé estimé au paragraphe précédent sur une échelle qualitative à 5 niveaux. Ce positionnement permettra éventuellement d'appliquer un premier filtre décisionnel sur certaines mesures de coûts extrêmes suivant la classe de probabilité du phénomène dangereux étudié.

Le positionnement permettra en 2^{ème} étape une comparaison simple des coûts annualisés des mesures avec les avantages induits par leur mise en œuvre.

L'échelle proposée est la suivante :

Tableau 1 : Proposition d'échelle qualitative de coûts

Niveau de coût	Coût annualisé
1	Inférieur à 10 000 €
2	Entre 10 000 € et 50 000 €
3	Entre 50 000 € et 250 000 €
4	Entre 250 000 € et 1 000 000 €
5	Supérieur à 1 000 000 €

Remarque : cette échelle de coûts est une proposition qui sera amenée à évoluer dans une prochaine version de ce guide. En l'état, certains niveaux sont très étalés (comme le niveau de coût 4 qui couvre une plage de 750 000€. Nous conseillons donc à l'utilisateur d'être prudent et raisonnable lors de son utilisation de l'échelle de coûts dans le reste de la méthode. Si par exemple, une mesure coûte 300 000€ et une autre mesure coûte 900 000 €, il faudra le garder à l'esprit lors de la 2^{ème} étape de la méthode.

Dans la troisième étape, les avantages de la mise en œuvre sont évalués sur des échelles qualitatives pour permettre une comparaison rapide. Nous avons cependant choisi de ne pas convertir ces bénéfices en équivalents monétaires pour que les échelles d'objectifs soient plus visuelles. Pour cette même raison, la probabilité d'occurrence annuelle des phénomènes dangereux n'est pas incluse directement dans les échelles, bien que la réduction de la probabilité d'occurrence annuelle constitue un avantage. Elle a cependant été prise en compte pour établir la méthode dans son ensemble ; ceci est tracé en annexe 2.

Comme précisé précédemment, un pré-filtre peut être réalisé en fonction de la probabilité de l'accident sur lequel la méthode est appliquée :

- Si la probabilité de l'accident est de classe E, nous recommandons de considérer toutes les mesures de coût 5 comme disproportionnées, et de ne pas poursuivre la méthode pour ces mesures. Si toutefois l'utilisateur ne souhaite pas les exclure, elles pourront faire l'objet des étapes suivantes. Dans ce cas, elles devront être considérées comme des mesures de coût 4 lors de l'analyse des résultats (paragraphe 3.4).
- Si la probabilité de l'accident est de classe D, nous recommandons de mettre en œuvre toutes les mesures de coût 1. Si toutefois l'utilisateur ne souhaite pas les appliquer de manière systématique (par exemple s'il y a peu d'enjeux sensibles autour du site, ou que les avantages attendus sont faibles), elles pourront faire l'objet des étapes suivantes. Dans ce cas, elles devront être considérées comme des mesures de coût 2 lors de l'analyse des résultats (paragraphe 3.4).

3.2 DEUXIEME ETAPE : SELECTION DES MESURES LES PLUS RENTABLES

L'objectif de cette étape est de comparer les mesures entre elles pour réaliser un premier filtre des mesures les plus efficaces. Il ne s'agit toutefois pas ici de comparer le bénéfice de la mise en œuvre d'une mesure au coût épargné si on ne la met pas en œuvre ; ce sera l'objet de la troisième étape. Cette comparaison devra être utilisée avec prudence si les mesures ont des durées de vie estimées très différentes.

La comparaison peut prendre deux formes :

- **Les comparaisons entre mesures se font à niveau de coût donné.** On ne compare pas les bénéfices de mesures de coûts différents ; on se contente de retenir à cette étape les mesures les plus efficaces pour chaque niveau de coût, c'est-à-dire celles réduisant le plus les risques.
- **Les comparaisons de mesures se font à conséquences identiques.** On retient à cette étape les mesures les moins chères parmi celles conduisant à des conséquences identiques en termes de risques. Par exemple, si des mesures de niveaux de coût différents ont les mêmes avantages (typiquement deux mesures qui suppriment les effets hors des limites de propriété), il est possible d'éliminer la mesure la plus chère en considérant qu'elle est moins rentable que l'autre.

Les conséquences en termes de risques peuvent être évaluées en utilisant différents supports. Nous proposons 3 types de comparaisons, basées sur les distances d'effets, sur le document de maîtrise de l'urbanisation approprié au cas d'étude, et sur une grille fréquence / gravité. Ces comparaisons peuvent être utilisées indépendamment ou de manière complémentaire selon les mesures envisagées (mesures de prévention ou de protection, mesures de modification de procédé...). Les informations issues de ces comparaisons sont ensuite analysées pour procéder le cas échéant à une sélection des mesures.

Selon l'objectif de l'étude, l'utilisateur pourra utiliser une ou plusieurs de ces comparaisons.

3.2.1 Comparaison basée sur les distances d'effets

La comparaison basée sur les distances d'effets est rapide à mettre en œuvre et simple à comprendre, mais ne permet pas de prendre en compte les éventuelles réductions de probabilité d'accidents dues à la mise en œuvre de la mesure. Elle ne prend pas non plus en compte la création de scénarios additionnels. Nous recommandons cependant de l'utiliser lorsque les mesures à comparer sont toutes des mesures de protection. La comparaison devra, dans ce cas, s'effectuer sur les scénarios de gravité réduite, c'est-à-dire lorsque la barrière de protection fonctionne (cf. annexe 3).

Cette comparaison n'intègre pas la probabilité de défaillance des mesures envisagées ; de ce fait elle peut être utilisée pour comparer des mesures de même NC mais doit être utilisée avec vigilance dans le cas de mesures de NC différents et réduisant la gravité d'au moins un facteur 10.

La comparaison basée sur les distances d'effet consiste à comparer les bénéfices de plusieurs mesures sur le même support cartographique. Dans le cadre d'une étude de dangers, le zonage des effets est un outil adapté à cette comparaison ; nous recommandons donc de l'utiliser.

Pour chaque niveau de coût, on retient la mesure qui entraîne la plus grande réduction de distances d'effets. Dans certains cas, la réduction des distances d'effets n'est pas linéaire : on peut imaginer une mesure réduisant la zone des effets létaux significatifs sans réduire les autres distances d'effets, et une autre de même niveau de coût réduisant la zone des effets létaux sans réduire les deux autres. Pour ces cas, l'utilisateur pourra se baser sur les enjeux sensibles présents dans les zones d'effets pour orienter son choix de la mesure à retenir.

3.2.2 Comparaison basée sur le document de maîtrise de l'urbanisation

Si la méthode est utilisée pour des scénarios intervenant dans le cadre d'un Plan de Prévention des risques Technologiques (PPRT) ou d'un Porter à Connaissance (PAC), l'utilisateur peut choisir de réaliser cette comparaison des mesures sur la base des cartes d'urbanisme associées (zonage des aléas ou zonage PAC). La démarche est alors la même que précédemment : il s'agit de comparer, pour des mesures de même niveau de coût, les cartes résultant de la mise en œuvre de ces mesures. Comparer directement les cartes d'urbanisme permet de prendre en compte les probabilités des accidents, mais la comparaison peut être moins évidente qu'avec des zones d'effets : on peut imaginer réduire les contraintes en matière d'urbanisme sur une zone, mais les augmenter sur une autre. Ce sera par exemple le cas pour un déplacement d'équipement. Nous conseillons à l'utilisateur de raisonner dans ce cas en termes de maîtrise de l'urbanisation : quels sont les enjeux les plus sensibles ? La mise en œuvre de la mesure permet-elle de réduire les aléas auxquels ils sont exposés ?

La comparaison sur le document de maîtrise de l'urbanisation (PPRT ou PAC par exemple) est donc également très visuelle, et permet de raisonner directement en termes d'objectifs d'urbanisme. En particulier, étudier l'effet de la mise en place d'une mesure sur ce support permet d'avoir une vision plus large de la réduction du niveau de risque global du site étudié, car tous les accidents majeurs sont ici agrégés. En contrepartie, il sera plus difficile d'observer directement l'effet de la mesure sur le scénario étudié. Pour cela, nous recommandons de ne pas utiliser cette comparaison systématiquement, mais plutôt lorsque les objectifs de l'utilisateur sont orientés vers la maîtrise de l'urbanisation.

Cette comparaison permet de visualiser l'impact potentiel de tout type de mesures (prévention et protection, mesures de modification de procédé). Si la mesure permet d'écarter un phénomène du processus de maîtrise d'urbanisation, cela se traduira par une évolution des cartes.

3.2.3 Comparaison basée sur une matrice fréquence / gravité

La comparaison sur la grille fréquence / gravité est plus complexe à mettre en œuvre, mais elle est plus précise. Elle permet, de plus, de prendre en compte les modifications de probabilités d'occurrence annuelle du scénario étudié, comme pour les barrières de prévention. Enfin, elle permet de traiter de manière explicite d'éventuels nouveaux scénarios créés par les mesures envisagées, par exemple lors du fonctionnement d'une barrière de protection, ou pour les mesures de type modification de procédé.

On appelle, dans ce paragraphe, scénarios résiduels les scénarios d'accident qui résultent de la mise en œuvre des mesures identifiées dans la première étape. La comparaison consiste à positionner l'accident majeur étudié, et l'ensemble des scénarios résiduels, sur une grille probabilité/gravité. Ensuite, on compte de combien de cases chaque mesure a déplacé l'accident dans la grille, que ce soit en probabilité ou en gravité, afin de comparer les mesures entre elles.

Comme précisé au paragraphe 2, la méthode s'appuie sur les échelles de probabilité et de gravité de l'arrêté PCIG, mais elle vise plutôt les accidents de classe de probabilité D ou E, et de gravité « catastrophique » ou « désastreux ». Les accidents sur lesquels la méthode sera appliquée sont donc concentrés dans quelques cases extrêmes de la grille MMR. Pour cette raison, il semble peu judicieux d'utiliser directement ces échelles pour effectuer la comparaison : la significativité ne sera pas bonne, car les cases couvrent des plages de probabilité et de gravité trop grandes.

Nous proposons donc de diviser les 5 niveaux de gravité de l'arrêté PCIG, et de redéfinir les classes de probabilité de ce même arrêté. Les choix qui ont conduit à ces redécoupages sont tracés en annexe 3.

3.2.3.1 Evaluation des niveaux de gravité

Le principe retenu est le suivant :

- pour réduire les biais³ liés à l'utilisation de la grille, nous proposons d'utiliser un comptage de la gravité différent de celui de l'arrêté du 29 septembre 2005. La démarche proposée consiste à cumuler les personnes exposées présentes dans les 3 zones d'effets pour obtenir un nombre équivalent de personnes exposées aux effets irréversibles. Nous reprenons la logique de l'arrêté en considérant qu'une personne présente dans la SELS est équivalente à 10 personnes présentes dans la SEL, et qu'une personne présente dans la SEL est équivalente à 10 personnes présentes dans la SEI.

L'utilisateur devra faire attention à ne pas compter deux fois les personnes exposées, étant donné que nous choisissons ici de les cumuler, contrairement à l'approche retenue par l'arrêté du 29 septembre 2005. Ainsi, il est proposé de calculer pour déterminer le niveau de gravité le nombre équivalent suivant :

$$N_{\text{éq SEI}} = 100 n_{\text{SELS}} + 10 (n_{\text{SEL}} - n_{\text{SELS}}) + (n_{\text{SEI}} - n_{\text{SEL}})$$

$$\text{ou } N_{\text{éq SEI}} = 90 n_{\text{SELS}} + 9 n_{\text{SEL}} + n_{\text{SEI}}$$

Avec :

$N_{\text{éq SEI}}$ le nombre équivalent de personnes exposées aux effets irréversibles ;

n_{SELS} le nombre de personnes exposées aux effets létaux significatifs ;

n_{SEL} le nombre de personnes exposées aux effets létaux ;

n_{SEI} le nombre de personnes exposées aux effets irréversibles.

³ Des effets de seuil liés au comptage habituel de la gravité peuvent amener à éliminer des mesures à cette étape alors qu'elles permettraient d'atteindre des seuils de personnes épargnées plus élevés lors de la 3^{ème} étape.

Ces nombres de personnes exposées doivent être calculés dans les disques d'effets et non simplement dans les couronnes pour que la formule précédente soit utilisée.

- les nombres équivalents de personnes exposées dans la SEI sont ensuite répartis selon 10 niveaux comme l'illustre le tableau suivant.

Tableau 2 : Grille affinée de gravité

Niveau de gravité	Nombre équivalent de personnes dans la SEI
10	Plus de 3000 personnes exposées
9	3000 personnes exposées ou moins
8	1000 personnes exposées ou moins
7	300 personnes exposées ou moins
6	100 personnes exposées ou moins
5	30 personnes exposées ou moins
4	10 personnes exposées ou moins
3	3 personnes exposées ou moins
2	1 personne exposée ou moins
1	0,3 personne exposée ou moins

3.2.3.2 Evaluation des niveaux de fréquence

Dans le cadre de cette méthode, nous déconseillons d'utiliser directement les classes A à E de l'arrêté PCIG pour les probabilités d'occurrence annuelle des phénomènes dangereux. Nous recommandons plutôt de se baser sur les classes de fréquence couramment utilisées : on dit qu'un phénomène dangereux est de classe F_n si sa fréquence d'occurrence est dans l'intervalle $[10^{-n-1}/an; 10^{-n}/an[$. Pour plus d'informations sur les classes de fréquences, l'utilisateur peut se référer au rapport « Intégration de la probabilité dans les études de dangers : Guide pratique » [5].

Par cohérence avec la grille affinée de gravité présentée dans le Tableau 2, nous proposons de diviser chaque classe de fréquence en deux, une classe « plus » correspondant à la moitié supérieure de l'intervalle, et une classe « moins » correspondant à sa moitié inférieure :

Tableau 3 : Grille affinée de fréquences

Classe de fréquence	Intervalle associé	Interprétation qualitative
$F0 +$	$[3,16.10^{-1}/an; 1/an[$	Entre 1 fois tous les 3 ans et 1 fois par an
$F0 -$	$[10^{-1}/an; 3,16.10^{-1}/an[$	Entre fois tous les 10 ans et une fois tous les 3 ans
$F1 +$	$[3,16.10^{-2}/an; 10^{-1}/an[$	Entre fois tous les 30 ans et une fois tous les 10 ans
$F1 -$	$[10^{-2}/an; 3,16.10^{-2}/an[$	Entre fois tous les 100 ans et une fois tous les 30 ans
...
$Fn +$	$[3,16.10^{-n-1}/an; 10^{-n}/an[$	-
$Fn -$	$[10^{-n-1}/an; 3,16.10^{-n-1}/an[$	-

Remarque : Il est en théorie possible d'avoir des classes de fréquences négatives, par exemple $F(-1)$, qui correspondent à des événements se produisant plus d'une fois par an. Nous avons cependant choisi de ne pas les représenter dans le tableau précédent car des fréquences aussi élevées sont peu probables pour des phénomènes dangereux.

3.2.3.3 Analyse du gain sur la matrice affinée

L'accident majeur étudié et tous les scénarios résiduels doivent être évalués selon les échelles affinées du Tableau 2 et du

Tableau 3. L'utilisateur doit ensuite placer les scénarios, avant et après mise en œuvre de la mesure, dans une grille fréquence gravité basée sur ces deux échelles. Il doit ensuite compter, pour chaque mesure, le nombre de cases dont l'accident a été déplacé suite à la mise en place de la mesure. Il faut noter que les colonnes de la grille ne sont pas fixes car l'échelle de fréquence est illimitée. C'est à l'utilisateur d'adapter les classes de fréquences des colonnes à son cas d'étude.

En notant AM l'accident majeur étudié, et Mi le scénario résiduel issu de la mise en œuvre de la mesure i, voici ci-après un exemple de matrice fréquence/gravité et de positionnement :

Tableau 4 : Exemple de matrice fréquence/gravité affinée et de positionnement

	F6 -	F6 +	F5 -	F5 +	F4 -	F4 +	F3 -	F3 +
10		M1	← 3 cases		AM			
9					↓ 5 cases			
8								
7				M3		← 4 cases		
6								
5						M2		
4								
3								
2								
1								

Sur cet exemple, la mesure 1 a déplacé l'accident de 3 cases, en réduisant uniquement sa fréquence d'occurrence. La mesure 2 a déplacé l'accident de 5 cases, en réduisant uniquement sa gravité. La mesure 3 a déplacé l'accident de 4 cases, 3 sur l'échelle de gravité et 1 sur l'échelle de fréquence.

On propose alors de retenir alors, pour chaque niveau de coût, la mesure qui a permis de déplacer l'accident du plus grand nombre de cases. Sur l'exemple du Tableau 4, si les trois mesures sont de même niveau de coût, la mesure 2 est alors celle qui a la meilleure réduction du risque. Elle est donc retenue pour la troisième étape.

Remarques :

- Dans le cas d'une mesure ayant plus d'un accident résiduel, comme une mesure de protection, l'utilisateur doit placer tous les accidents résiduels et calculer chaque distance. La distance associée à la mesure correspond à la distance la plus faible de toutes. Le lecteur peut se référer à l'annexe 3 pour plus de détails.
- Si plusieurs mesures de même niveau de coût atteignent la plus grande distance, l'utilisateur peut choisir soit de retenir celle qui lui paraît la plus pertinente, soit de toutes les garder pour l'étape suivante.
- La mesure peut améliorer les conditions d'acceptabilité, en permettant par exemple d'exclure un accident de la règle de cumul MMR rang 2 pour un établissement Seveso.

3.3 TROISIEME ETAPE : EVALUATION DES AVANTAGES DES MESURES RETENUES

Pour chaque mesure retenue à la fin de la deuxième étape, nous proposons d'évaluer les avantages de sa mise en œuvre sur des échelles à 4 paliers. Rappelons ici que nous parlons d'avantages et non de bénéfices car les enjeux épargnés par la mise en œuvre des mesures ne sont pas monétarisés (cf. paragraphe 2).

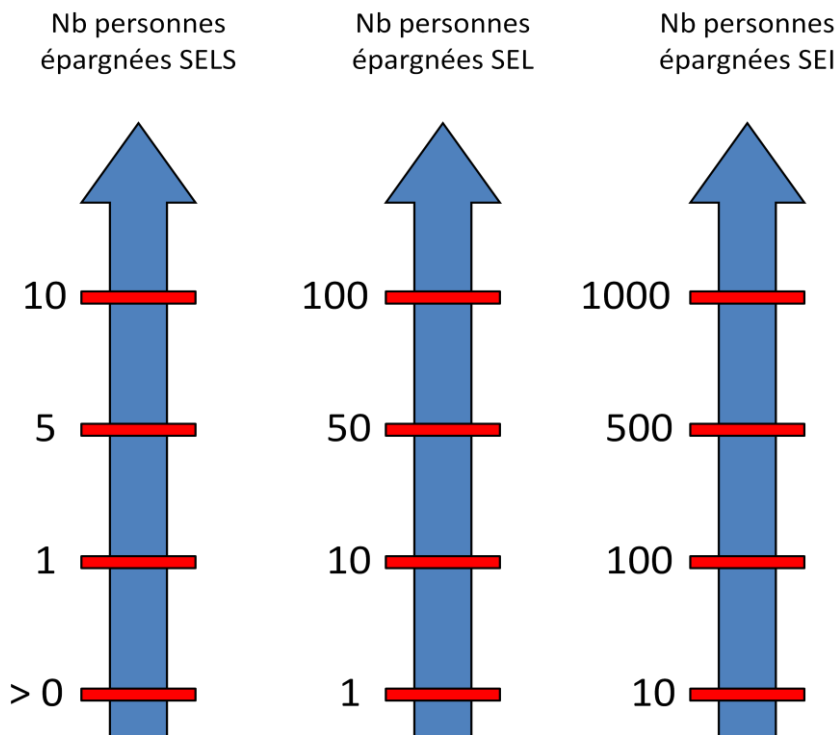
Dans le cas d'une mesure créant plusieurs scénarios résiduels, typiquement une mesure de protection, nous avons pris le parti d'estimer uniquement les avantages du scénario résiduel ayant la plus faible gravité (cf. justification en annexe 2).

Dans le cas d'une mesure de prévention, nous proposons de considérer que le scénario résiduel (de fréquence diminuée mais de même gravité) est équivalent à un scénario de même fréquence et de gravité réduite du même facteur (par exemple, pour une mesure de protection de NC1, la gravité serait divisée par 10). Le bénéfice est donc évalué par le delta de gravité (par exemple bénéfice égal à 9/10 de la gravité initiale)

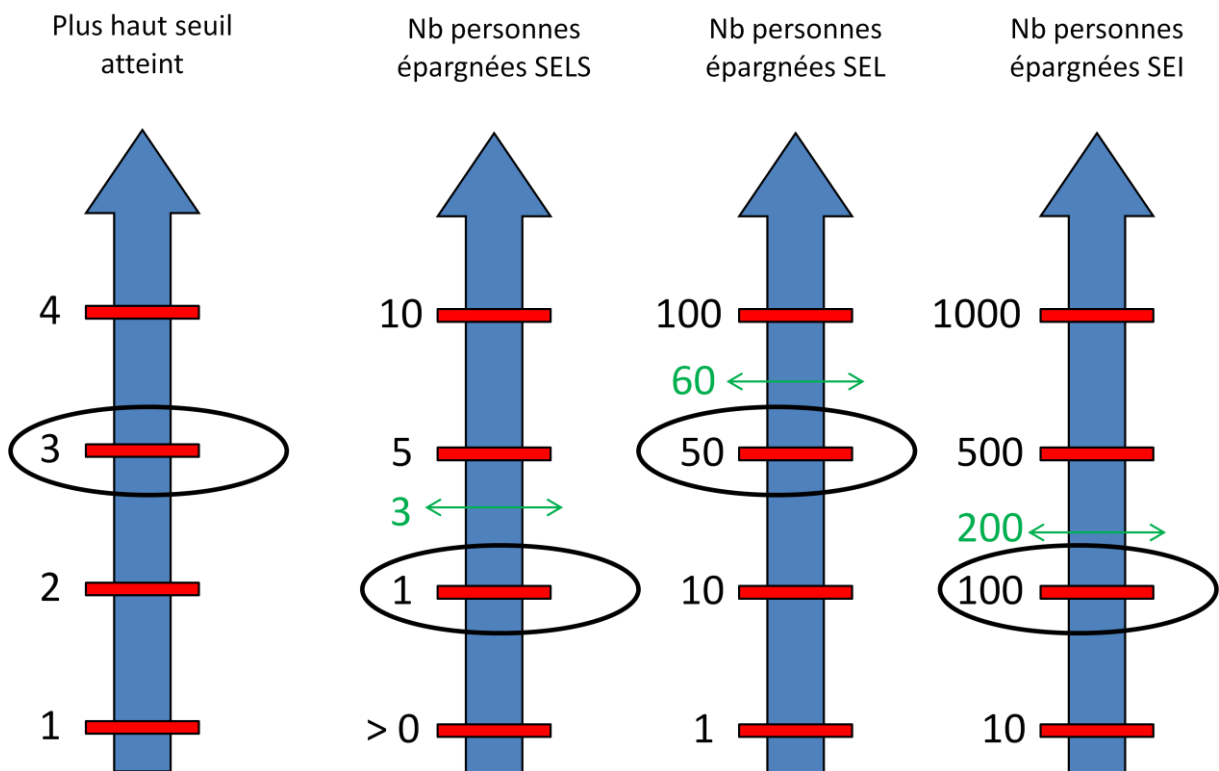
Nous proposons à ce stade trois échelles d'avantages. Elles concernent les **enjeux humains** : le nombre de personnes exposées épargnées pour chacun des trois niveaux d'intensité. **Il s'agit de la différence entre le nombre de personnes présentes dans chaque zone d'intensité avant et après mise en œuvre de la mesure.**

Les avantages liés à la mise en œuvre d'une mesure sont représentés sur des échelles pour faciliter la compréhension des utilisateurs de la méthode ainsi que l'analyse des résultats de cette étape, détaillée au paragraphe 3.4. Les seuils de ces échelles ont été calibrés sur quelques cas réels que nous avons étudiés (cf. annexe 6).

Les échelles que nous proposons sont les suivantes :



A l'issue de cette étape, on retient pour chaque mesure le plus haut seuil atteint sur au moins l'une des échelles d'avantages. Si par exemple une mesure épargne 3 personnes dans la zone des effets létaux significatifs, 60 personnes dans la zone des effets létaux et 200 personnes dans la zone des effets irréversibles, le plus haut seuil atteint est le 3^e palier, sur 4 possibles :



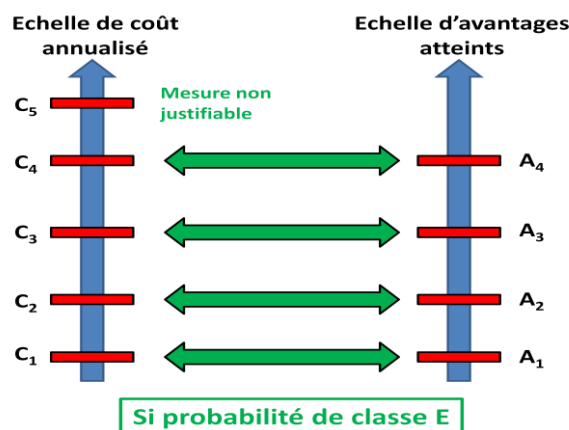
3.4 ANALYSE DES RESULTATS

Pour chaque mesure, le seuil maximal d'avantages atteint déterminé dans la troisième étape, doit à ce stade être comparé au niveau de coût de cette mesure.

La règle proposée dépend de la classe de probabilité du phénomène initial étudié :

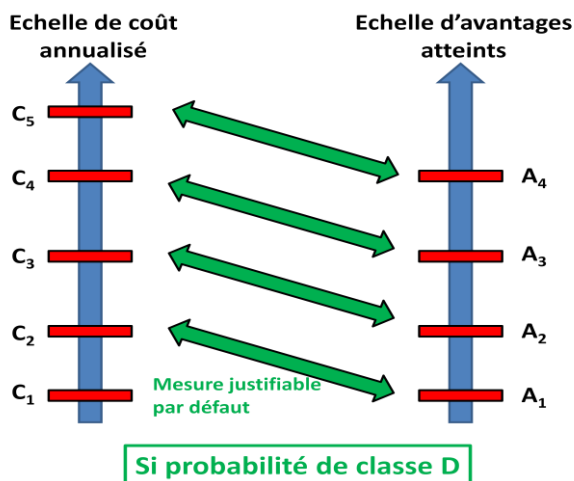
- Si l'accident majeur sur lequel la méthode est appliquée est de classe E, **nous recommandons de mettre en œuvre la mesure dès que le seuil maximal d'avantages atteint est supérieur ou égal au niveau de coût de la mesure.** Si ce seuil est strictement inférieur au niveau de coût, on recommande de ne pas mettre en œuvre la mesure.

Note : les mesures de coût 5 qui n'ont pas été considérées par défaut comme disproportionnées devront être considérées de coût 4 à cette étape (cf. paragraphe 3.1.3).



- Si l'accident majeur sur lequel la méthode est appliquée est de classe D, **on recommande de mettre en œuvre la mesure dès que le seuil maximal atteint est supérieur au niveau de coût de la mesure moins un** : à avantages égaux, on peut recommander des mesures d'un niveau de coût plus élevé si l'accident majeur est de classe D. Les mesures recommandées de la sorte sont dites justifiables.

Note : les mesures de coût 1 qui n'ont pas été considérées par défaut comme justifiables devront être considérées de coût 2 à cette étape (cf. paragraphe 3.1.3).



Différents éléments qualitatifs peuvent cependant être pris en compte pour orienter la décision de l'utilisateur vers un choix différent de celui préconisé *a priori* par la méthode :

- Les avantages estimés sur les échelles au paragraphe 3.3 ne sont pas agrégés. On retient uniquement le seuil maximum atteint sur l'une des échelles d'avantages. Si ce seuil est atteint sur plusieurs échelles en même temps, et que la méthode considère en première approche la mesure comme non justifiable, l'utilisateur peut choisir de la retenir quand même.
- Lorsque des changements significatifs du procédé de production, la reconfiguration de l'installation ou des équipements lourds sont étudiés, les investissements en capital peuvent être significatifs. Une reconfiguration précoce et une révision des procédés peuvent être chères pour un exploitant, en particulier lorsqu'il s'agit d'équipements ayant une durée de vie longue. Programmer la mise en place de nouvelles mesures de sécurité pour qu'elles coïncident avec les cycles existants de remplacement et d'investissement peut s'avérer un moyen efficace de mettre en œuvre la mesure de sécurité de manière rentable. Si une mesure est estimée non justifiable par la méthode, l'utilisateur peut donc envisager de la mettre tout de même en œuvre dans le cadre du plan de modernisation de l'installation.
- Si une mesure est estimée non justifiable mais qu'elle réduit la probabilité ou la gravité d'autres accidents majeurs que celui étudié, on pourrait la rendre justifiable en valorisant l'action sur ces autres accidents. Cela peut être fait de manière qualitative par le jugement de l'utilisateur, ou de manière quantitative en cumulant les avantages de la mesure sur les différents scénarios qu'elle impacte.

La méthode reste un outil d'aide à la décision et ses résultats sont à mettre en perspective avec le contexte local. De plus, elle n'est pas nécessairement exclusive dans ses recommandations : plusieurs mesures peuvent s'avérer justifiables à l'issue de la troisième étape. Dans ce cas, l'utilisateur pourra privilégier la mesure qui lui paraît la mieux adaptée au cas d'étude.

4. CAS PRATIQUES D'UTILISATION DE LA METHODE

Les deux cas pratiques présentés ici sont fictifs. Les mesures proposées, leurs coûts, les gravités et les recommandations sont donnés à titre purement illustratif.

4.1 PREMIER CAS PRATIQUE

4.1.1 Présentation du cas

Lors de la mise à jour de son étude de dangers, l'exploitant d'un dépôt de liquides inflammables obtient un accident majeur, l'UVCE suite à la perte de confinement d'un bac d'essence située en bordure de site, dans une case E/désastreux de la grille MMR. Afin de s'assurer qu'il ne peut plus raisonnablement réduire le risque de cet accident, il décide d'appliquer la méthode proposée dans ce guide.

Les caractéristiques de l'accident étudié sont :

Seuil	Distance	Nombre de personnes exposées
SELS	50 m	25
SEL	70 m	25
SEI	150 m	30

4.1.2 Première étape : liste des mesures

L'exploitant envisage 3 mesures pour réduire le risque d'UVCE :

1. réduire la surface de la cuvette de rétention ; cette mesure permet de réduire la gravité ;
2. mettre en place une double paroi sur le bac ; cette mesure supprime l'accident étudié et le remplace par 2 autres : l'UVCE en hauteur (double paroi remplie de liquide) et l'UVCE du volume contenu dans la double paroi ; ces deux accidents ont la même fréquence que l'initial, et des gravités moindres ;
3. démanteler le bac et le reconstruire plus loin des limites de propriété ; cette mesure supprime l'accident étudié et le remplace par un autre, de mêmes distances d'effets mais d'origine différente.

Ayant déjà réalisé un calcul du coût de la mesure 3 sur un autre de ses sites, l'exploitant sait qu'elle est de niveau de coût 5. Il ne sait en revanche pas combien lui coûterait la mise en œuvre de l'une des deux premières mesures, et doit réaliser un calcul détaillé.

Estimation du coût de la mesure M1 – réduction de la surface de la cuvette de rétention :

Les différentes composantes du coût annuel total sont estimées par l'industriel :

- frais d'investissement totaux de la mesure de sécurité = 500 000 € à l'année 1 ;
- durée de vie estimée de la mesure de sécurité = 30 ans ;
- taux d'actualisation retenu : 10% ;
- coût net total d'exploitation et de maintenance de la mesure de sécurité : 0€

Le coût annualisé (ici C_a) est donc donné par :

$$C_a = \frac{500\,000}{(1+0,1)^0} \times \frac{0,1 \times (1+0,1)^{29}}{(1+0,1)^{30} - 1}$$
$$C_a = 58\,700 \text{ €}$$

La mesure M1 est donc de niveau de coût 3 : son coût annuel total est compris entre 50 000 € et 250 000 €.

Estimation du coût de la mesure M2 – mise en place d'une double paroi sur le bac :

Les composantes de coût annuel total sont estimées par l'industriel comme suit :

- frais d'investissement totaux de la mesure de sécurité = 2 500 000 € à l'année 1 ;
- durée de vie estimée de la mesure de sécurité = 30 ans ;
- taux d'actualisation retenu : 10% ;
- coût net total d'exploitation et de maintenance de la mesure de sécurité : 0,5% de l'investissement par an.

Le coût annualisé (ici C_a) est donné par :

$$C_a = \left[\frac{2\,500\,000}{(1+0,1)^0} + \sum_{t=2}^{30} \frac{0,005 \times 2\,500\,000}{(1+0,1)^{t-1}} \right] \times \frac{0,1 \times (1+0,1)^{29}}{(1+0,1)^{30} - 1}$$
$$C_a = 307\,252 \text{ €}$$

La mesure M2 est donc de niveau de coût 4 : son coût annuel total est compris entre 250 000 € et 1 000 000 €.

Estimation du coût de la mesure M3 – déplacement du bac :

La mesure M3 a un niveau de coût 5 : son coût annualisé est supérieur à 1M€.

La liste des mesures envisagées et leurs caractéristiques se résument au tableau suivant :

Mesure	Niveau de coût	Commentaire
M1 : Réduction de la surface de la cuvette	3	Fréquence de l'UVCE inchangée, gravité réduite.
M2 : Double paroi	4	2 accidents, mêmes fréquences, les effets ne sortent plus du site
M3 : Déplacement du bac	5	Même fréquence et même distances d'effets, mais l'origine de l'accident est déplacée : les effets sont désormais contenus à l'intérieur des limites de propriété

La mesure M3 est de coût 5. La méthode recommande donc de ne pas la retenir car l'UVCE est de classe E. L'industriel la considère donc comme trop coûteuse et n'applique les deux étapes suivantes que sur les 2 premières mesures.

Remarque : la mesure M3 pourrait être retenue si le filtre précédent n'était pas appliqué. Dans ce cas, cette étape l'éliminerait tout de même. En effet, les mesures M2 et M3 ont les mêmes avantages car elles éliminent toutes deux les effets hors des limites de propriété. En revanche, la mesure M3 est plus coûteuse que la mesure M2 et la comparaison des niveaux de coûts à avantages équivalents permet donc de l'éliminer.

4.1.3 Deuxième étape : sélection des mesures les plus rentables

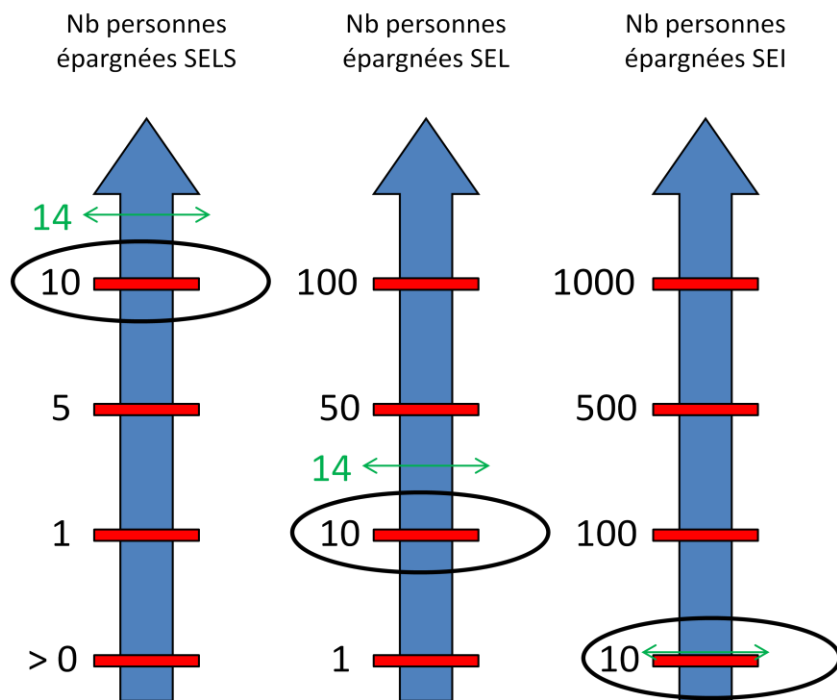
Les 2 mesures étant de coûts différents et d'avantages différents, cette étape n'a pas lieu d'être ici, et nous pouvons passer directement à l'étape 3.

4.1.4 Troisième étape : évaluation des avantages

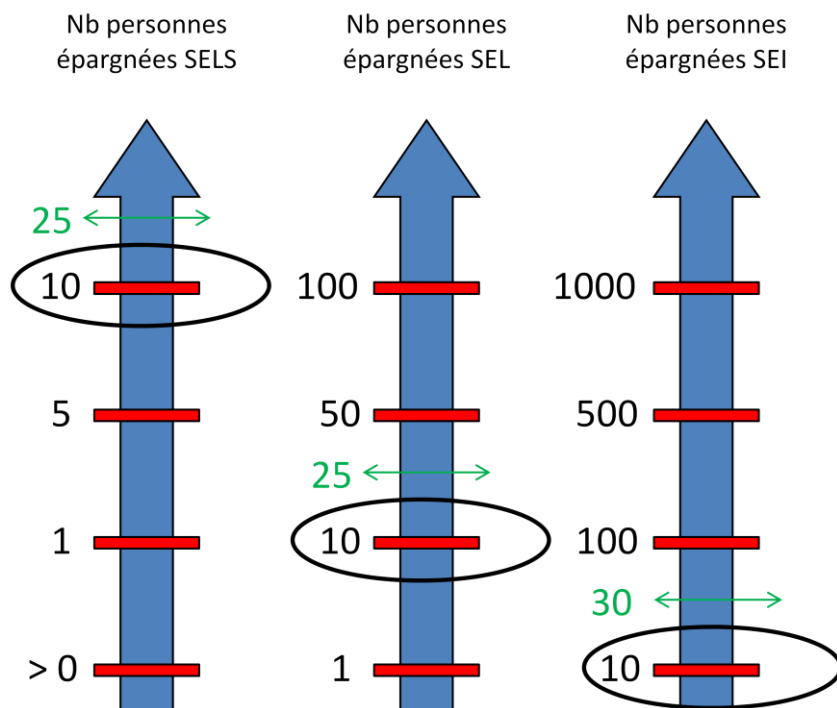
La mesure M1 ne change pas la fréquence d'occurrence de l'UCVE. Le nombre de personnes épargnées par cette mesure est calculé dans le tableau suivant :

Zone d'effet	Nombre de personnes exposées sans M1	Nombre de personne exposées avec M1	Nombre de personnes épargnées par M1
SELS	25	11	14
SEL	25	11	14
SEI	30	20	10

La mesure M1 permet donc d'atteindre le seuil maximal sur les échelles d'avantages :



La mesure M2 limite les effets à l'intérieur du site, il permet donc d'épargner toutes les personnes qui étaient présentes dans les zones d'effets. La mesure permet donc d'atteindre le seuil maximal sur les échelles d'avantages :



4.1.5 Quatrième étape : analyse des résultats

L'UVCE est de classe E, et les mesures M1 et M2 permettent d'atteindre le 4^{ème} palier des échelles d'avantages. Comme elles sont de niveaux de coût respectifs 3 et 4, la méthode les considère toutes les deux justifiables. L'exploitant a ici le choix de mettre en œuvre la mesure qui lui semble la plus adaptée, la méthode seule ne lui permettant pas d'arbitrer en faveur d'une plus que de l'autre.

La mesure M1 permet en effet de réduire le nombre de personnes exposées dans le SELS et la SEL de plus de moitié. En revanche, la mise en œuvre de cette mesure ne permet pas de diminuer la gravité du phénomène dangereux associé : il reste en désastreux en raison du nombre résiduels de personnes dans le SELS (supérieur à 10).

La mesure M2 permet de supprimer complètement l'accident de la grille MMR mais coûte sensiblement plus cher. Ici, pour des raisons d'image, l'exploitant peut choisir de mettre en œuvre la deuxième mesure, la mise en place d'une double paroi.

4.2 SECOND CAS PRATIQUE

4.2.1 Présentation du cas

Un inspecteur des installations classées étudie l'étude de dangers d'un site Seveso seuil bas. Ce site comporte notamment un poste de dépotage d'ammoniac, qui génère le scénario ayant les plus grandes distances d'effets, la rupture d'un bras de dépotage par exemple. Ce scénario est de classe D, avec les distances d'effets et nombre de personnes exposées suivantes :

Seuil	Distance	Nombre de personnes exposées
SELS	200 m	0
SEL	250 m	0
SEI	1350 m	10

L'inspecteur souhaite avoir un avis critique sur le choix de la mesure retenue par l'industriel, et applique donc la méthode proposée dans ce guide.

4.2.2 Première étape : liste des mesures

En utilisant son expérience sur un site très similaire, l'industriel propose quatre mesures permettant de réduire le risque lié au poste de dépotage :

1. la mise en place d'un orifice limiteur de débit ; cette mesure réduit les distances d'effets sans réduire la fréquence de l'accident ; cependant les effets en cas de rupture du bras sont faibles du fait qu'il ne réduit pas le débit côté citerne ;

2. le semi-confinement du poste de dépotage avec mise en place d'un rideau d'eau ; cette mesure conduit à deux scénarios résiduels, un de fréquence réduite et de même gravité si la mesure ne fonctionne pas, et un de même fréquence et de gravité plus faible si la mesure fonctionne ;
3. le confinement total du poste avec colonne de lavage ; cette mesure conduit, comme la deuxième, à deux scénarios résiduels ;
4. le confinement total du poste avec extraction vers une cheminée ; cette mesure conduit également à deux scénarios résiduels.

L'inspecteur a demandé à l'industriel de réaliser l'estimation du coût de mise en œuvre de ces mesures. En utilisant des calculs similaires à ceux du premier cas pratique, un niveau de coût a été attribué à chaque mesure. En parallèle, les scénarios résiduels de chaque mesure ont été modélisés. Les résultats sont représentés dans la table suivante :

Mesure	Niveau de coût	Classe de POA	Distance SELS (m)	Distance SEL (m)	Distance SEI (m)
M1	1	D	-	50	600
M2	3	D	-	180	450
		E	200	250	1350
M3	4	D	-	-	-
		E	200	250	1350
M4	4	D	-	-	100
		E	200	250	1350

L'accident majeur étudié est de classe de probabilité D.

La mesure M1, l'orifice limiteur de débit, étant de coût 1, l'inspecteur choisit conformément à la méthode de la retenir comme justifiable d'office sans avoir besoin des deux étapes suivantes.

4.2.3 Deuxième étape : sélection des mesures les plus rentables

Seules les mesures M3 et M4 font l'objet de cette étape, car ce sont les seules à partager le même niveau de coût. Une comparaison qualitative est ici suffisante, car les mesures M3 et M4 sont des mesures de protection. Une comparaison des scénarios résiduels en cas de fonctionnement des mesures est donc à réaliser.

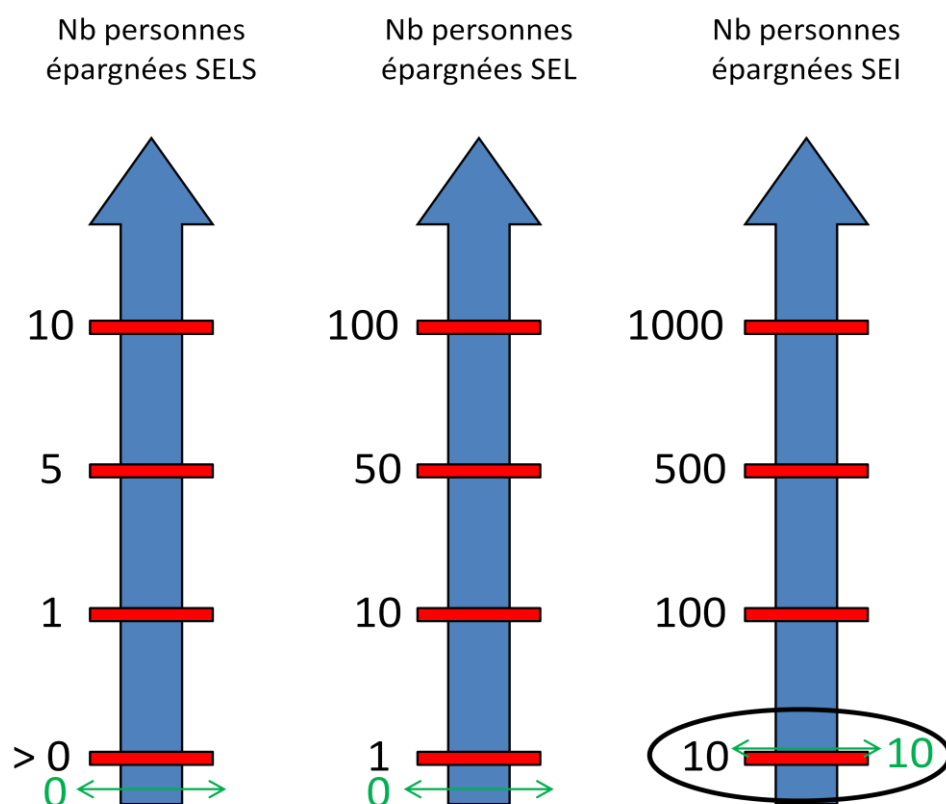
Ici, la mesure M3 supprime les effets hors des limites du site, alors que la mesure M4 ne réduit la SEI qu'à 100 m. Cette dernière pourrait donc écartée car jugée inefficace par rapport à la troisième. Cependant, il pourrait ici être intéressant de revenir aux coûts annualisés de ces deux mesures. En particulier, si la mesure M4 est beaucoup moins chère que la mesure M3 (tout en restant dans la fourchette de coût 4), l'utilisateur pourra choisir de la retenir si peu d'enjeux sont présents dans un rayon de 100 m autour du site étudié. Ici, nous choisissons pour l'exemple de retenir la mesure M3.

Il reste donc deux mesures à l'issue de cette étape, les mesures M2 et M3.

4.2.4 Troisième étape : évaluation des avantages

Dans cette étape, l'inspecteur évalue conformément à la méthode les avantages des mesures M2 et M3 en se basant uniquement sur leur scénario résiduel de plus faible gravité : celui qui réduit la SEL à 180 m pour la mesure M2, et celui dont la SEL ne sort pas des limites de propriété pour la mesure M3.

Les deux mesures permettent d'exclure les 10 personnes présentes dans la SEI des zones d'effets. Les avantages des deux mesures sont donc les mêmes sur les 3 échelles d'enjeux humains, on dépasse le premier palier mais on n'atteint pas le deuxième :



4.2.5 Quatrième étape : analyse des résultats

Le seuil maximal atteint par les mesures M2 et M3 est le premier palier. La méthode recommande de ne mettre en œuvre ces mesures que si elles sont de niveau de coût inférieur ou égal à 2, car l'accident majeur étudié est de classe D. Ici, les mesures sont de coûts 3 et 4. L'inspecteur choisit donc de ne pas les imposer à l'exploitant. Seule la première mesure envisagée, l'orifice limiteur de débit, est finalement mise en œuvre.

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La méthode proposée dans ce guide est un outil d'aide à la décision pour la mise en œuvre d'une mesure additionnelle de réduction du risque. Elle s'articule en quatre étapes. La première étape consiste à dresser une liste des mesures envisageables et à leur attribuer un niveau de coût, entre 1 et 5. La deuxième étape compare les mesures entre elles pour retenir les plus rentables. La troisième étape estime les avantages liés à la mise en œuvre de chaque mesure issue de la 2^{ème} étape. La quatrième étape indique, pour chaque mesure, s'il est économiquement envisageable de la mettre en œuvre ou non, en comparant les avantages de sa mise en œuvre estimés lors de la troisième étape au niveau de coût estimé lors de la première étape.

Il est important de noter que les seuils proposés dans ce guide, pour les coûts dans la première étape, et pour les avantages dans la troisième étape, ont été proposés sur la base de seulement quelques exemples d'études technico-économiques réalisées dans le passé. Ces seuils pourraient donc être amenés à évoluer suite à la mise en application de la méthode sur des cas réels actuels, afin de mieux répondre aux besoins des utilisateurs. Des cas tests seront menés en 2015.

Il n'en demeure pas moins que cette méthode présente les avantages significatifs suivants :

- Elle est facilement adaptable aux divers besoins des utilisateurs. C'est en effet un outil d'aide à la décision qui permet de prendre en compte plusieurs paramètres qualitatifs comme le contexte économique, le plan de modernisation ou encore l'impact sur plusieurs scénarios. De plus, elle s'adapte au cadre des études de dangers aussi bien qu'à celui des PPRT.
- Elle est très rapide à appliquer une fois que le coût des mesures a été estimé, comme le montrent les exemples. L'étape d'estimation des coûts est de toute façon obligatoire à toute étude technico-économique.
- Dans la troisième étape de la méthode, de nouvelles échelles pourront être ajoutées par la suite, en fonction des enjeux jugés importants. On peut ainsi imaginer une échelle sur les zones constructibles libérées (dans le cadre d'un PPRT ou d'un PAC), une échelle sur les conséquences environnementales, ou encore une échelle sur les dommages sur le bâti. La seule difficulté sera de calibrer ces nouvelles échelles sur des cas d'études. L'application même de la méthode n'en sera pas modifiée.

Pour respecter les objectifs de simplicité de mise en œuvre de la méthode, nous avons adopté certains partis pris qu'il faut garder à l'esprit lors de son application:

- Les coûts des mesures sont ramenés à 5 indices traduisant des plages de coûts possibles. La méthode considère que deux mesures de même niveau de coût ont en fait le même coût annualisé, ce qui est faux en pratique. Dans un même niveau de coût, il est possible de trouver une mesure deux fois plus coûteuse qu'une autre. Pourtant, si la mesure la plus chère réduit à peine plus la gravité que la moins chère, elle sera jugée plus efficace. Si de tels effets de seuils apparaissent de manière évidente, l'utilisateur pourra s'en servir pour modifier sa décision lors de l'analyse des résultats. Cette remarque s'applique plus généralement à tous les intervalles utilisés dans la méthode : les plages de gravité et de fréquences de la comparaison quantitative de la deuxième étape, ainsi que les échelles d'avantages définies dans la troisième étape.
- La probabilité d'occurrence annuelle des phénomènes dangereux n'est pas intégrée à l'estimation des avantages. Ce choix a été effectué pour améliorer la lisibilité des échelles d'avantages, afin d'y placer directement des nombres de personnes épargnées, plutôt que des espérances annuelles peu compréhensibles. Ce choix peut cependant créer des biais dans certains cas, comme l'annexe 2 le souligne. Nous acceptons cette limite de la méthode car nous considérons que le gain d'efficacité et de simplicité est plus grand que la perte d'information associée.

Enfin, il est intéressant de souligner que la méthode de ce guide ne recommande pas nécessairement qu'une seule mesure. Le premier cas pratique présenté au paragraphe 4.1 montre, par exemple, que deux mesures peuvent être recommandées. L'utilisateur est alors contraint de prendre une décision basée sur son propre jugement. Nous ne voyons cependant pas cet élément comme une limite ; en effet, quelle que soit la méthode d'estimation des coûts et des avantages/bénéfices d'une mesure, on peut toujours imaginer une mesure de faible coût et réduisant un peu le risque, et une autre mesure plus chère réduisant beaucoup le risque sans qu'il soit possible d'arbitrer en faveur d'une mesure ou de l'autre. Il est donc impossible de s'affranchir de cet aspect de la méthode.

6. REFERENCES

- [1] Flauw Y. (2011) - DRA-11-117405-11487A « Benchmark européen relatif aux préconisations de mise en œuvre du principe ALARP », INERIS
- [2] Marcon T., Flauw Y. (2013) - DRA-13-124781-02941A « Mise en œuvre du principe ALARP au Royaume-Uni et aux Pays-Bas », INERIS
- [3] OECD - « Technical guidance document on the use of socio-economic analysis in chemical risk management decision making », OECD Environmental, Health and Safety Publication, Series on Risk Management No.14, 2002.
- [4] OECD - « Cost-Benefit and the environment, recent development », 2006
- [5] « Guide pour l'intégration de la probabilité dans les études de dangers – Version 1 », INERIS, 2008

7. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation précise	N°pages
1	<i>Estimation du coût annualisé</i>	2
2	<i>Prise en compte de la probabilité dans la méthode</i>	2
3	<i>Précisions sur la deuxième étape : sélection des mesures les plus rentables</i>	1
4	<i>Comptage de la gravité</i>	3
5	<i>Calcul de la surface constructible dégagée</i>	2
6	<i>Choix des seuils des échelles de coûts et d'avantages</i>	2

Annexe 1 :
Estimation du coût annualisé

Généralités

Dans le cadre de cette démarche l'évaluation des coûts de la mesure de sécurité doit être annualisée. Elle peut s'appuyer sur l'expression suivante :

$$\text{coût annualisé} = \sum_{t=1}^n \frac{(C_t + OC_t)}{(1+r)^{t-1}} \left[\frac{r(1+r)^{n-1}}{(1+r)^n - 1} \right]$$

Où :

n = durée de vie estimée de la mesure considérée ;

t = indice variant de 1, année de mise en œuvre de la mesure, à n ;

C_t = frais d'investissement totaux de la mesure de sécurité sur l'année t ;

OC_t = coût net total d'exploitation et de maintenance de la mesure de sécurité sur l'année t ;

r = taux d'actualisation.

Concernant les frais d'investissement, trois types de frais sont distingués : les dépenses d'installation, les dépenses pour les équipements de sécurité et une provision pour l'investissement.

Dans les dépenses d'installation, on inclut notamment :

- la définition, conception et planification du projet ;
- l'achat du terrain si nécessaire ;
- la préparation générale du site (en termes de terrain) ;
- la construction et les travaux de génie civil, y compris les fondations/supports, l'édification, l'électricité, la plomberie, l'isolation et la peinture ;
- les dépenses d'ingénierie, de construction et les dépenses d'installation (utilisation de matériel, transport des matériaux, etc.) ;
- les coûts de sélection des fournisseurs ;
- les contrôles de performances ;
- les frais de lancement ;
- les coûts liés aux fonds de roulement ;
- les coûts de cessation d'activité (déclassement) qui doivent inclure la valeur résiduelle de l'équipement, c'est-à-dire la vente de l'équipement ou des matériaux le composant.

Dans les dépenses pour les équipements de sécurité, on compte :

- les coûts des équipements ;
- les équipements auxiliaires comme les utilités ;
- l'instrumentation ;
- le transport de matériel ;
- les dépenses liées aux modifications de l'installation (adaptations).

Enfin, dans les estimations des dépenses d'investissement, une certaine somme d'argent ou « provision pour investissement » est parfois incluse pour couvrir les dépenses que l'on ne peut pas estimer précisément.

Pour les coûts d'exploitation et de maintenance de la mesure, les éléments à prendre en compte sont :

- le surcoût des consommations énergétiques : électricité, produits pétroliers, gaz, charbon et tout autre combustible ;
- les matériaux et coûts des services : pièces de rechange, utilités autres qu'énergétiques (eau, produits chimiques dont catalyseurs, etc.) ;
- les services environnementaux : traitement et élimination des déchets et eaux usées ;
- les coûts de main d'œuvre : personnel d'exploitation, d'encadrement et de maintenance, formation sur le nouvel équipement ;
- les coûts fixes d'exploitation/maintenance (frais généraux) : provisions, assurances, administration.

La mise en œuvre d'une nouvelle technique peut de plus conduire à des changements du processus de production qui peuvent à leur tour conduire à des augmentations de coûts : par exemple, une baisse de l'efficacité du système ou une qualité inférieure du produit. On appelle ces surcoûts les coûts subséquents. Ils ne doivent pas être oubliés dans le calcul. Il est également nécessaire d'intégrer les éventuelles taxes et subventions liées à la mise en œuvre de la mesure.

Annexe 2 :
Prise en compte de la probabilité dans la méthode

Pourquoi la fréquence de l'accident majeur étudié n'est pas intégrée dans les échelles d'avantages ?

Dans l'étape d'analyse des résultats, l'utilisateur compare un coût annuel à un avantage annuel. Pour convertir cet avantage annuel en bénéfice annuel, il faudrait en particulier multiplier par la fréquence d'occurrence de l'accident. Ne pas le faire revient à supposer que tous les accidents ont la même fréquence.

On accepte cette restriction pour les accidents de classe E ; cela revient à supposer que tous les accidents de classe E sont de même fréquence. Pour les accidents de classe D (voire de fréquence plus élevée, mais notons que la méthode n'a pas été calibrée pour des accidents de fréquence supérieure à D), on décale les échelles d'un cran pour compenser la fréquence 10 fois plus élevée, comme expliqué au paragraphe 3.4.

Cependant, les différents échelons des échelles d'avantages sont en général séparés d'un facteur inférieur à 10. Considérons deux accidents majeurs ayant les mêmes conséquences, un de classe de probabilité E et un de classe D, dix fois plus fréquent. A titre illustratif, pour qu'une mesure de coût 3 soit recommandée pour l'accident de classe E, le nombre de personne épargnée SEL doit être supérieur à 50. Pour l'accident de classe D, 10 suffisent, soit 5 fois moins alors que l'accident est 10 fois plus probable. Ce décalage est accepté pour deux raisons évoquées dans le paragraphe suivant.

Pourquoi les échelles de coût et d'avantages ne sont pas linéaires ?

D'un palier au suivant de l'échelle de coûts, on a un facteur 4 ou 5. Pour les avantages, un facteur 2, 5 et 10. Comme on a choisi de décaler l'échelle de coût d'un cran entre les classes E et D, on peut s'interroger sur les raisons de cette non linéarité, plus précisément pourquoi il n'existe pas un facteur 10 entre chaque échelon de chaque échelle.

Premièrement, les échelles seraient trop étirées et toutes les mesures / tous les avantages concentrés autour d'un ou deux seuils. Deuxièmement, le coût marginal d'une personne exposée augmente, c'est-à-dire que plus on épargne de personnes, plus on est prêt à payer cher pour en épargner une de plus. Cela peut s'expliquer par des biais d'images et des biais de comportement rendant très inacceptables des accidents faisant beaucoup de victimes.

Pourquoi on change artificiellement la gravité dans le cas d'une mesure de prévention ?

Lors de l'analyse des résultats, il est important de comparer le coût de la mesure à la diminution de criticité de l'accident. Hors la criticité est le produit de la probabilité et de la gravité de l'accident. Donc si on divise la probabilité par 100, c'est conceptuellement équivalent à diviser la gravité par 100 à probabilité constante.

Pourquoi seul le scénario de gravité réduite est retenu pour l'estimation des avantages en 3^e étape ?

On note P et G les probabilités et gravité de l'accident étudié. Suite à la mise en œuvre de la mesure, il se décompose en deux accidents résiduels, un de probabilité réduite P' et de gravité G, et un de gravité réduite G' et de probabilité (P-P').

On raisonne avec les criticités. Pour chaque mesure, on compare son coût au gain de criticité, soit $P \times G - [P' \times G + (P - P') \times G'] = (P - P') \times (G - G')$. Comme P' est égal à P multiplié la PFD de la mesure, $P - P' \sim P$. On est donc ramené à comparer le coût de la mesure avec $P \times (G - G')$.

Comme expliqué dans le premier paragraphe de cette annexe, la probabilité est masquée dans les échelles d'avantages, on en revient donc à comparer le coût de la mesure à $G - G'$, c'est-à-dire exactement le nombre de personnes épargnées par le scénario de gravité la plus faible (cas où la mesure fonctionne).

Annexe 3 :
Précisions sur la deuxième étape : sélection des mesures les plus rentables

Pourquoi la comparaison qualitative est souvent suffisante si on n'a que des mesures de protection ?

On considère un accident majeur de probabilité P et de gravité G. On souhaite comparer l'effet de 2 mesures de protection M1 et M2 de même niveau de coût. On note P1, G1, P2 et G2 les composantes des scénarios résiduels.

La somme des criticités des deux scénarios résiduels s'exprime par, pour chaque barrière :

$$\text{Criticité M1} = P1 \times G + (P - P1) \times G1$$

$$\text{Criticité M2} = P2 \times G + (P - P2) \times G2$$

Nous nous intéressons au signe de la différence des criticités pour savoir quelle mesure est la plus efficace.

$$\text{Criticité M1} - \text{Criticité M2} = P1 \times (G - G1) - P2 \times (G - G2) + P \times (G1 - G2).$$

Si les mesures sont de même niveau de confiance, $P1 = P2$ et la différence des criticités est du signe de $G1 - G2$, et la comparaison qualitative est dans ce cas suffisante.

Si les mesures ne sont pas de même niveau de confiance, nous avons 2 cas possibles. Si $G1$ est différent de $G2$ et que l'une des deux gravités est supérieure à $G/10$, les 2 premiers termes sont négligeables devant le 3^{ème} car $P1$ et $P2$ sont petits devant P (ils sont inférieurs à $P/10$). Seul le signe de $G1 - G2$ est dans ce cas important, donc la comparaison qualitative suffit. Si par contre $G1 = G2$ ou que $G1$ et $G2$ sont tous deux inférieurs à $G/10$, alors la meilleure des deux mesures est celle qui fait le plus baisser la probabilité. La comparaison qualitative est dans ce cas aussi suffisante (même si elle doit être légèrement adaptée pour raisonner avec les probabilités au lieu des gravités).

Pourquoi découper les classes de gravité et de fréquence en 2 ?

Pour la gravité, les plages de l'arrêté PCIG sont trop larges. Pour la fréquence, le redécoupage est nécessaire pour qu'un déplacement d'une case en fréquence ait le même effet sur la criticité qu'un déplacement d'une case en gravité. Cela permet de donner un sens au nombre de cases dont on s'est déplacé.

Pourquoi retient-on le minimum des distances si on a plusieurs scénarios résiduels ?

La distance correspond en fait au logarithme de la criticité (à un facteur 2 près) : si on bouge de n cases vers la gauche ou le bas, on multiplie la criticité par $10^{-n/2}$.

Si on a plusieurs scénarios résiduels avec 2 distances $d1$ et $d2$, en fait la criticité est multipliée par $10^{-d1/2} + 10^{-d2/2}$ ce qui est à peu près égal à $10^{-\min(d1, d2)/2}$.

Annexe 4 :
Calcul de la gravité

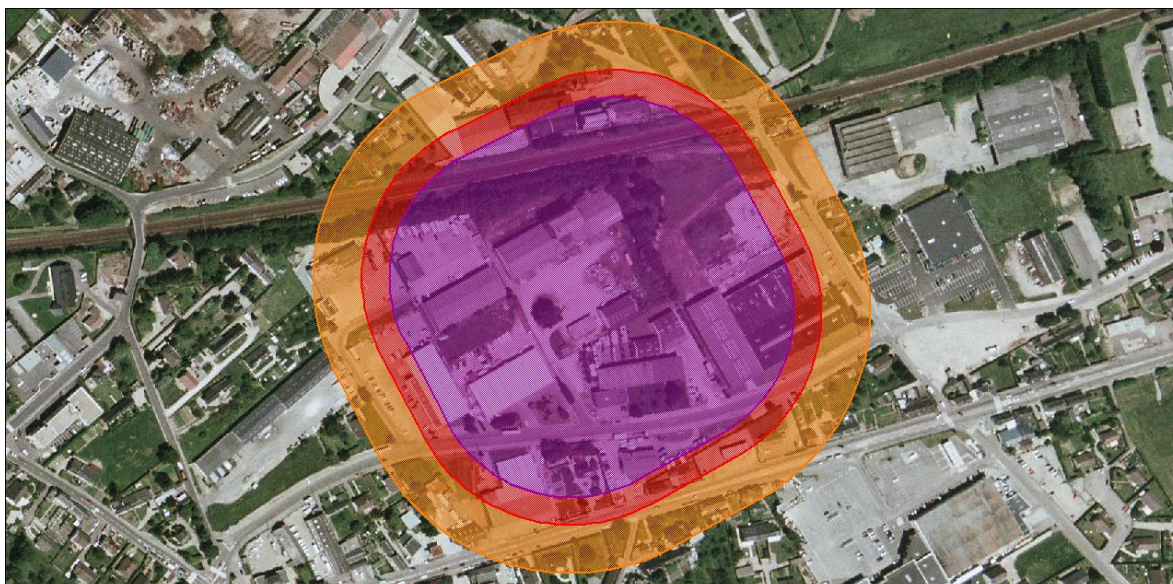
Rappel des règles de comptage de la gravité :

L'arrêté du 29 septembre 2005 prescrit la détermination du nombre de personnes potentiellement exposées aux effets de chaque phénomène dangereux retenu dans l'étude de dangers. Ce nombre est ensuite converti en un niveau de gravité, du plus au moins grave : désastreux, catastrophique, important, sérieux et modéré, comme détaillé dans le tableau suivant :

Niveau de gravité	SELS	SEL	SEI
Désastreux	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées
Catastrophique	10 personnes exposées ou moins	100 personnes exposées ou moins	1000 personnes exposées ou moins
Important	1 personne exposée ou moins	10 personnes exposées ou moins	100 personnes exposées ou moins
Sérieux	Aucune personne exposée	1 personne exposée ou moins	10 personnes exposées ou moins
Modéré	Les effets ne sortent pas des limites de l'établissement		1 personne exposée ou moins

Le niveau de gravité final est alors le maximum des trois.

Considérons le phénomène dangereux suivant :



La zone SELS est le disque violet, la zone SEL le disque rouge (union de la couronne rouge et du disque violet), et la zone SEI le disque orange (union de la couronne orange, de la couronne rouge et du disque violet).

La réglementation présente le tableau précédent sans préciser s'il faut compter dans les disques ou les couronnes. Cependant, ces zones sont nommées à partir de **seuils** (seuil des effets létaux significatifs, létaux et irréversibles) et non pas d'**intervalles**.

Dans une logique de maîtrise des risques adaptée à l'environnement, nous considérons qu'il est plus pertinent de réaliser le comptage de la gravité dans les **disques** que dans les couronnes pour la SEL et la SEI. En bref, pour estimer la gravité associée à un niveau d'intensité il faut compter les personnes « au moins exposées » à ce niveau d'intensité : une personne à l'intérieur de la SELS est a fortiori exposée à des effets létaux et irréversibles, et devra être comptabilisée comme telle.

Pourquoi préconise-t-on de compter dans les disques et pas dans les couronnes ?

Considérons la répartition suivante :

- aucune personne dans la zone SELS ;
- 11 personnes dans la couronne rouge ;
- aucune personne dans la couronne orange.

Si l'on choisit de compter dans les couronnes, les 3 gravités sont respectivement « sérieux », « catastrophique » et « modéré », soit une gravité globale « catastrophique ».

Imaginons maintenant le déplacement d'une personne de la couronne rouge vers le disque violet. D'un point de vue du risque individuel et sociétal, cette situation est pire que la précédente : on a augmenté le risque auquel une personne est exposée sans changer le niveau de risque des autres personnes.

Le comptage de la gravité dans les couronnes donne cette fois-ci :

- 1 personne dans la SELS donc gravité « important » ;
- 10 personnes dans la couronne rouge donc gravité « important » ;
- aucune personne dans la couronne orange donc gravité « modéré ».

Et la gravité globale est cette fois-ci « important ». Le niveau de gravité du phénomène dangereux se trouve alors réduit alors que la situation est pire.

Le comptage de la gravité dans les disques donne quant à lui :

Dans le premier cas :

- aucune personne dans la zone SELS ;
- $11+0=11$ personnes dans la zone SEL ;
- $0+11+0=11$ personnes dans la zone SEI.

Soit une gravité « catastrophique ».

Dans le second cas :

- 1 personne dans la zone SELS ;
- $10+1=11$ personnes dans la zone SEL ;
- $0+10+1=11$ personnes dans la zone SEI.

Soit une gravité également « catastrophique » (en raison de la zone SEL).
Le niveau de gravité du phénomène dangereux, même s'il n'est pas augmenté du fait des effets de seuil, ne se trouve pas réduit comme dans le cas du comptage dans les couronnes.

Annexe 5 :
Calcul de la surface constructible dégagée

Qu'est-ce que la surface constructible ?

Dans le cas d'un porter à connaissance, les règles en matière de maîtrise de l'urbanisation se résument par le tableau suivant :

	Classe de probabilité A, B, C ou D	Classe de probabilité E
SELS	Interdiction de toute nouvelle construction à l'exception d'installations industrielles directement en lien avec l'activité à l'origine des risques	Interdiction de toute nouvelle construction sauf installations industrielles directement en lien avec l'activité d'origine du site, d'aménagements et d'extensions d'installations existantes ou de nouvelles installations classées soumises à autorisation compatibles avec cet environnement (notamment au regard des effets dominos et de la gestion des situations d'urgence)
SEL	Interdiction de toute nouvelle construction sauf installations industrielles directement en lien avec l'activité d'origine du site, d'aménagements et d'extensions d'installations existantes ou de nouvelles installations classées soumises à autorisation compatibles avec cet environnement (notamment au regard des effets dominos et de la gestion des situations d'urgence). La construction d'infrastructures de transport peut être autorisée uniquement pour les fonctions de desserte de la zone industrielle.	L'aménagement ou l'extension de constructions existantes sont possibles. De nouvelles constructions sont possibles sous réserve de ne pas augmenter la population exposée à ces effets létaux. Les changements de destination doivent être réglementés dans le même cadre.
SEI	L'aménagement ou l'extension de constructions existantes sont possibles. De nouvelles constructions sont possibles sous réserve de ne pas augmenter la population exposée à ces effets irréversibles. Les changements de destination doivent être réglementés dans le même cadre.	Autorisation de nouvelles constructions sous réserve de dispositions imposant à la construction d'être adaptée à l'effet de surpression lorsqu'un tel effet est généré.
BV	Autorisation de nouvelles constructions sous réserve de dispositions imposant à la construction d'être adaptée à l'effet de surpression lorsqu'un tel effet est généré.	Autorisation de nouvelles constructions sous réserve de dispositions imposant à la construction d'être adaptée à l'effet de surpression lorsqu'un tel effet est généré.

Il a donc été choisi de considérer que dans le cas d'un PAC, la surface constructible libérée est la somme des surfaces SELS et SEL libérées pour les scénarios de classe A à D et de la surface SELS des scénarios de classe E. Cela correspond aux cases grisées du tableau ci-dessus.

Dans le cas d'un PPRT, la surface constructible libérée a été prise égale à la surface sur laquelle des mesures foncières, délaissement ou expropriation, ne sont plus nécessaires. Cette surface est donc égale à la réduction des zones F, F+, TF et TF+ du zonage des aléas.

Point de vigilance pour le PPRT

Les aléas donnent les règles de MU *a minima*. Le zonage des aléas donne un pré-règlement qui peut être durci par les services de l'Etat. La règle précédente donne ainsi la surface constructible théorique libérée. Il est en pratique impossible de la calculer exactement, vu qu'elle dépend de décisions prises en réunions publiques par les CSS.

Annexe 6 :
Choix des seuils des échelles de coûts et d'avantages

Comment les niveaux de coûts ont-ils été attribués ?

Nous n'avons que très peu d'exemples avec des coûts annualisés déjà calculés, et lorsqu'ils l'étaient, ils n'étaient pas associés à des diminutions de criticité d'un accident majeur. Nous sommes donc partis des coûts à l'année 0 (frais d'investissement) que l'on connaissait, et nous avons attribué une durée de vie estimée de la mesure de 10 ans. Avec un taux d'actualisation de 10%, on en a déduit les intervalles de coûts.

L'idée était de faire correspondre approximativement les niveaux de coût avec les mesures suivantes :

- niveau 1 : vanne, soupape, ...
- niveau 5 : mise sous talus, déplacements (destructions et reconstructions) de plusieurs bacs, etc.
- niveau 4 : cabanage d'un poste de dépotage
- niveaux 2 et 3 : pris linéairement entre les 2

Comment les échelles d'avantages ont-elles été calées ?

Pour l'instant, le calage a été effectué sur la base des études technico-économiques réalisées dans le cadre du PPRT de La Rochelle et sur un site d'Arkema en Midi-Pyrénées.

Comparaison avec des coûts de la vie humaine « risque courant »

Il existe des valeurs de coût de la vie humaine pour les risques de la vie courante. Ces coûts sont estimés par les assureurs sur la base de consentements à payer et leur servent à fixer les primes d'assurances. Il existe de très nombreuses sources publiques sur internet estimant ces coûts de la vie humaine en France, toutes donnant des valeurs différentes mais du même ordre de grandeur : entre 1 et 3 millions d'euros.

Pour les risques accidentels, ce coût estimé n'est pas très pertinent : il sera a priori trop faible car on redoute plus de mourir passivement d'un risque technologique subi que d'un accident de la vie courante. Nous proposons donc pour réaliser la comparaison de retenir la valeur supérieure de ce coût de la vie humaine : 3 millions d'euros.

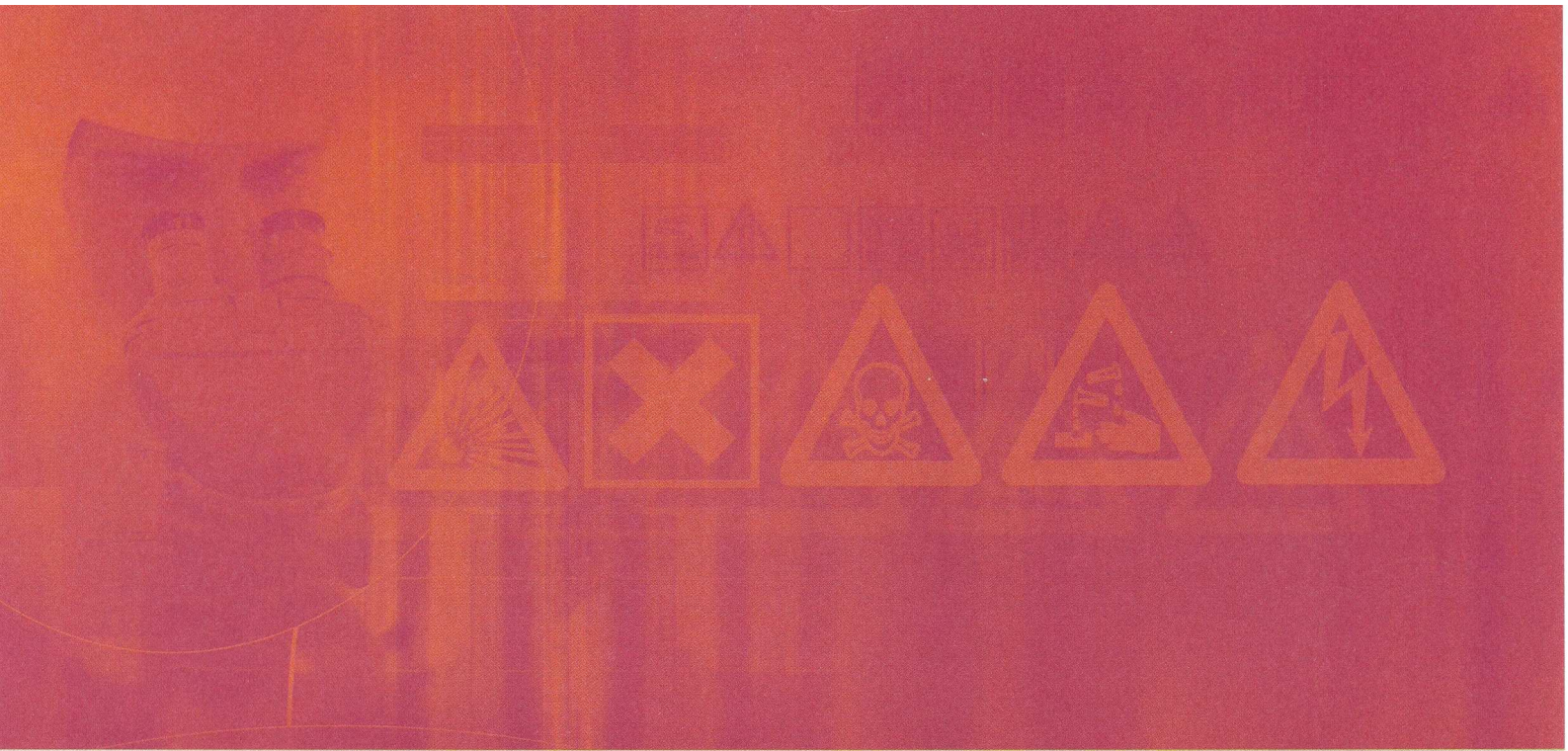
Cependant, il est possible, à partir de ces coûts de la vie humaine, de convertir l'échelle de coût proposée pour les mesures en une échelle d'enjeux humains de valeur monétaire équivalente.

Pour cela, il faut prendre une hypothèse par défaut sur la probabilité d'occurrence d'un phénomène dangereux de classe E. On peut par exemple choisir la borne supérieure de l'intervalle, soit une probabilité d'occurrence annuelle de 10^{-5} . Nous devons également prendre des hypothèses sur les probabilités moyennes de décès à l'intérieur des zones d'effets, par exemple 50% dans la SEL et 5% dans la SELS.

Par exemple, une mesure de coût annualisé 10000€ équivaut à $\frac{10000}{3000000} = 0,0033$ vie épargnée. Pour un accident de classe E et avec les hypothèses précédentes, cela revient donc à $\frac{0,0033}{10^{-5} \times 50\%} \sim 667$ personnes épargnées de la SEL.

La méthode présentée dans ce guide préconise cependant de mettre en œuvre une telle mesure dès qu'au moins une personne est épargnée de la SEL, soit un facteur 667 d'écart entre les deux. De manière plus générale, si l'on généralise cette conversion, on obtient une différence d'un facteur 300 à 700.

Cela confirme que l'utilisation des valeurs de la vie humaine « risque courant » ne sont pas du tout adaptées au cas du risque industriel accidentel.



*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>