

L'arrêté ministériel du 29 septembre 2005 détermine les seuils réglementaires pour apprécier l'intensité des effets physiques des phénomènes dangereux, la gravité des accidents et les classes de probabilité de ces phénomènes et accidents.

Cet arrêté fixe toutefois des valeurs de référence uniquement pour les effets toxiques (dispersion accidentelle de gaz dans l'atmosphère), les flux thermiques (incendies) et les surpressions (explosion).

## III.1. CINÉTIQUE

L'étude de la cinétique permet de quantifier de façon plus ou moins précise le temps d'apparition d'un événement. Deux types de cinétique peuvent être déterminés :

- La cinétique pré-accidentelle, qui est la durée nécessaire pour aboutir à l'événement redouté central, c'est à dire le délai entre l'événement initiateur et la libération du potentiel de danger.
- La cinétique post-accidentelle, qui est déterminée par la dynamique du phénomène dangereux et l'exposition des cibles.

### 1. CINÉTIQUE PRE-ACCIDENTELLE

#### a) Cinétique d'un incendie et de l'explosion

Afin de déterminer la cinétique pré-accidentelle, il faut prendre en compte la cinétique de l'ensemble des événements initiateurs puisqu'elle peut être différente selon les cas.

Par exemple, entre un échauffement et une étincelle, le délai avant d'atteindre une chaleur suffisante pour le déclenchement d'un incendie ou d'une explosion pourra varier de manière importante.

Le tableau ci-après précise le délai de formation de l'événement indésirable, c'est-à-dire le point d'ignition qui sera à l'origine d'une explosion ou d'un incendie si les autres conditions de déclenchement de cet événement sont réunies :

- pour une explosion : mise en suspension de poussières combustibles, atteinte de la LIE, confinement, présence d'air,
- pour un incendie : présence d'un comburant et d'un combustible.

Evènements initiateurs	Délai avant libération du potentiel de danger	Cause
Foudre	quelques millisecondes	Atteinte de l'énergie minimale d'inflammation
Electricité statique	quelques secondes	
Travail par point chaud	quelques minutes	
Flamme nue	quelques minutes	
Etincelle électrique	quelques secondes	
Point chaud d'origine mécanique	quelques minutes	Atteinte de la température d'auto échauffement

Tableau 41 : Cinétique pré-accidentelle des événements initiateurs

L'atteinte de l'énergie d'inflammation ou de la température d'auto-échauffement est variable selon les produits en cause. Il est donc nécessaire de rappeler les différentes caractéristiques d'inflammabilité vis-à-vis desquelles dépendra la cinétique pré-accidentelle :

- La combustibilité est la capacité d'un produit à réagir avec un comburant (oxygène de l'air) avec développement de chaleur et de lumière.
- **Le point d'éclair** est la plus faible température à laquelle il faut porter un liquide pour qu'une quantité suffisante de vapeurs soient émises pour obtenir une inflammation lorsqu'on applique une source d'allumage.
- **La température d'auto-inflammation** est la température minimale à laquelle l'allumage est obtenu par chauffage en l'absence de toute source d'allumage auxiliaire.

La température d'auto-échauffement est la plus faible température d'un liquide ou d'un solide en l'absence d'air pour laquelle, dans des conditions spécifiées, des réactions avec dégagement de chaleur démarrent dans la substance ou à sa surface. Sous air, l'auto-échauffement peut conduire à l'auto-inflammation.

Avant l'incendie, la période d'induction plus ou moins longue est la durée pendant laquelle il est possible de détecter l'incendie. Il faut noter que les conditions de ventilation jouent également un rôle important dans l'évolution d'un incendie : quantité nécessaire de comburant (l'oxygène de l'air), pertes de chaleur par convection et par rayonnement.

#### b) Cinétique d'une pollution

Dans le cas d'une pollution, les événements initiateurs peuvent concerner :

- Une cause humaine (renversement, vanne de manœuvre ouverte...).
- Une rupture ou une fuite du contenant.

Dans le cas d'une cause humaine, la cinétique pré-accidentelle est de l'ordre de la seconde, puisque la libération du potentiel de danger est immédiate dès l'événement déclencheur.

Pour une rupture ou une fuite du contenant, la cinétique pré-accidentelle est généralement liée au degré d'usure du contenant et peut donc être de plusieurs années. Cet événement découle d'un mauvais entretien ou de conditions de stockage dégradées qui vont entraîner une détérioration plus ou moins rapide du contenant.

## 2. CINÉTIQUE POST ACCIDENTELLE

Plusieurs délais caractérisent la cinétique post accidentelle :

- Le délai d'occurrence  $d_1$  qui a lieu dès que les conditions nécessaires à un événement sont réunies.
- Le délai de montée en puissance  $d_2$  jusqu'à un état stationnaire.
- Le délai d'atteinte des cibles  $d_3$ .
- La durée d'exposition des cibles  $d_4$ .

	Incendie	Explosion	Pollution
$d_1$ : délai d'occurrence	immédiat dès l'inflammation du produit	immédiat	immédiat
$d_2$ : délai de montée en puissance	plusieurs minutes à plusieurs heures	quelques millisecondes car l'onde de choc provoquée par une explosion est instantanée	plusieurs minutes

	Incendie	Explosion	Pollution
<b>d<sub>3</sub> : temps d'atteinte</b>	immédiat car propagation du rayonnement à la vitesse de la lumière	quelques millisecondes car les ondes de choc se transmettent à la vitesse du son dans l'atmosphère	plusieurs minutes à plusieurs jours selon la distance des cibles, les compartiments touchés (eau/sol) et la configuration du terrain
<b>d<sub>4</sub> : durée d'exposition</b>	immédiat à plusieurs heures selon les possibilités de mises à l'abri (l'estimation des conséquences est basée sur une durée inférieure ou égale à 2 minutes)	quelques millisecondes	plusieurs heures à plusieurs jours

Tableau 42 : Cinétique post-accidentelle des événements

## III.2. EVALUATION DE LA GRAVITE

Chaque accident critique est étudié et dans la mesure du possible quantifié. Les effets thermiques, rayons de surpression, distances des seuils d'effets pour les émissions atmosphériques peuvent être quantifiés par des modélisations et comparés aux seuils de référence définis dans l'arrêté du 29 septembre 2005. En parallèle, une évaluation de l'environnement humain de l'établissement est réalisée.

Ces éléments permettent de définir une gravité selon le tableau ci-dessous (gravité allant de modéré à désastreux).

Niveau de gravité des conséquences	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs (SELS)	Zone délimitée par le seuil des effets létaux (SEL)	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine (SEI)
Désastreux	Plus de 10 personnes exposées <sup>(*)</sup>	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1 000 personnes exposées
Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes	Entre 100 et 1 000 personnes exposées
Important	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes	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 hors de l'établissement		Présence humaine exposée à des effets irréversibles inférieure à « une personne »

Tableau 43 : Grille d'évaluation de la gravité d'un événement issue de l'arrêté du 29/09/05

<sup>(\*)</sup> Personne exposée : en tenant compte le cas échéant des mesures constructives visant à protéger les personnes contre certains effets et la possibilité de mise à l'abri des personnes en cas d'occurrence d'un phénomène dangereux si la cinétique de ce dernier et de la propagation de ses effets le permettent.

Pour les événements étudiés autres que ceux pour lesquels l'arrêté du 29 septembre 2005 fixe des seuils de références ou difficilement modélisables, le risque pourra être apprécié sur un mode qualitatif ou semi-quantitatif et être comparé à cette grille d'évaluation de la gravité.

Le nombre de personne exposée est calculé à partir de la fiche technique N°1 de la circulaire du 10 mai 2010<sup>1</sup> : Fiche « Eléments pour la détermination de la gravité des accidents ». Cette fiche définit les règles de comptages des personnes susceptibles d'être exposées à des effets létaux ou irréversibles.

Pour exemple, on précisera ci-après la détermination du nombre de personnes potentiellement exposées en fonction de différents types d'occupation des sols :

Type de zone	Nombre de personnes exposées
Habitat en zone rurale	20 personnes / ha
Habitat en zone semi-rurale	40-50 personnes / ha
Habitat en zone urbaine	400-600 personnes / ha
Champs, prairies, forêts, friches...	1 personne / 100 ha
Voie routière non saturée	0,4 personnes / km / 100 véhicules-jour
Voie ferrée	0,4 personnes / km / train de voyageurs
Chemins de randonnées, de promenade	2 personnes / km / 100 promeneurs-jour

Tableau 44 : Règles de calculs du nombre de personnes exposées selon l'occupation des sols

### III.3. EVALUATION DE LA PROBABILITE

#### 1. CLASSES DE PROBABILITES

Le tableau ci-après met en relation les ordres de grandeur ainsi que les appréciations quantitatives des probabilités qui vont être calculées. Ce tableau découle de l'arrêté du 29/09/2005.

<sup>1</sup> Circulaire récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de la 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.

Classe de probabilité	E	D	C	B	A
Qualitative	<p>Evénement possible mais extrêmement peu probable</p> <p><i>L'évènement n'est pas impossible de part les connaissances actuelles, mais ne s'est pas rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années et d'installation</i></p>	<p>Evénement très improbable</p> <p><i>L'évènement s'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais il n'a pas fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité</i></p>	<p>Evénement improbable</p> <p>Un événement similaire a déjà été 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</p>	<p>Evénement probable</p> <p><i>L'évènement s'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie de l'installation</i></p>	<p>Evénement courant</p> <p><i>L'évènement s'est produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installation, malgré d'éventuelles mesures correctives</i></p>
Semi-quantitative	Echelle intermédiaire permettant de tenir compte des mesures de maîtrise des risques				
Quantitative	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	

Tableau 45 : Tableau de cotation et d'appréciation des classes de probabilité - Arrêté du 29/09/05

L'objectif de ce tableau est de positionner chaque évènement dans une classe de probabilité allant de A à E, sur la base de l'évaluation quantitative ou qualitative de la probabilité.

## 2. REALISATION DES ARBRES DE DEFAILLANCE

Une méthode de représentation des scénarii d'évènements dangereux par un système d'arborescence peut être utilisée. Ce type de représentation présente l'avantage d'une lecture simple et immédiate qui permet de faire ressortir les différentes causes pouvant être à l'origine d'un évènement majeur et leurs interrelations.

Cette représentation s'articule autour d'un évènement redouté central, avec :

- D'un côté de l'arbre de défaillances le regroupement des évènements initiateurs (arbre des causes). Les liens entre ces évènements sont figurés par des portes « ET » ou « OU ». La porte « ET » signifie que l'ensemble des conditions amont doivent être présentes, tandis que la porte « OU » signifie que l'un des évènements amont suffit pour l'apparition de l'évènement indésirable.
- De l'autre côté de l'arbre des défaillances sont précisés les éventuels évènements redoutés secondaires et les phénomènes dangereux qu'ils peuvent entraîner ainsi que leurs conséquences (arbre des conséquences).

Ce type de représentation permet également de démontrer la bonne maîtrise des risques, avec la possibilité de superposer à ce logigramme les différentes barrières de sécurité préventive et de protection mises en œuvre.

Ces arbres de défaillances permettent ainsi la détermination des probabilités d'occurrence via une méthode d'« approche par barrière ».

### 3. DETERMINATION DE LA PROBABILITE

#### a) Généralités

L'approche par barrière consiste tout d'abord à vérifier, sur la base de certains critères, si la barrière de sécurité peut être retenue pour le scénario étudié. Il est ensuite attribué un niveau de confiance aux barrières de sécurité retenues.

La combinaison de la fréquence d'occurrence de l'événement initiateur et des niveaux de confiance des barrières de sécurité participant à la maîtrise d'un même scénario, permet d'estimer une classe de probabilité d'occurrence du scénario.

Cette démarche découle de travaux menés par l'INERIS dans le cadre de programmes de recherche financés par le Ministère chargé de l'environnement, à savoir le DRA 39 « Évaluation des barrières de sécurité de prévention et de protection utilisées pour réduire les risques d'accidents majeurs », le DRA-34 « Analyse des risques et prévention des accidents majeurs », ainsi que de diverses études réalisées par la Direction des Risques Accidentels.

La probabilité d'un événement initiateur est issue de l'expérience et elle inclut des barrières de sécurité et leur efficacité. On considère notamment :

- La résistance des matériels mis en jeu.
- Les procédures internes de sécurité mises en œuvre.
- Les procédures de sécurité qui permettent d'éviter l'événement initiateur (source d'ignition par exemple).

Cependant, la probabilité des événements initiateurs reste très souvent aléatoire, en l'absence de données bibliographiques suffisantes à l'heure actuelle.

En conséquence, dans la présente étude, la démarche suivante a été retenue :

- 1) Prise en compte de la probabilité de l'événement initiateur lorsque celle-ci existe et s'avère fiable.
- 2) Prise en compte des barrières organisationnelles et techniques (ainsi que des caractéristiques intrinsèques) mises en place au regard des événements courants pour déterminer la probabilité de l'événement initiateur, chaque événement courant ayant par défaut une probabilité initiale de classe A (événement courant).
- 3) Comparaison, lorsque cela s'avère possible, de la probabilité de l'événement initiateur avec la probabilité du même événement initiateur déterminé pour une autre branche d'activité.

#### b) Définitions

Afin de faciliter la compréhension de la démarche d'évaluation de la probabilité d'un événement dangereux, on précisera ci-après quelques définitions sur les termes employés :

- Barrière technique de sécurité (BTS) : barrière qui permet d'assurer une fonction de sécurité. Elle est constituée d'un dispositif de sécurité ou d'un système instrumenté de sécurité qui s'oppose à l'enchaînement d'événements susceptibles d'aboutir à un accident.
- Dispositif de sécurité : c'est en général un élément unitaire, autonome, ayant pour objectif de remplir une fonction de sécurité, dans sa globalité. On distingue :
  - o Le dispositif passif, qui ne met en jeu aucun système mécanique.
  - o Le dispositif actif, qui met en jeu un dispositif mécanique (ressort, levier...).
- Efficacité : l'efficacité d'une BTS est évaluée au regard de son aptitude à remplir la fonction de sécurité pour laquelle elle a été choisie, dans son contexte d'utilisation et pendant une durée donnée de fonctionnement. Cette aptitude s'exprime en pourcentage d'accomplissement de la fonction définie, en considérant un fonctionnement normal (non dégradé). Ce pourcentage peut varier pendant la durée de sollicitation de la barrière technique de sécurité.

- Système instrumenté de sécurité (SIS) : combinaison de capteurs, d'unité de traitement et d'actionneurs (équipements de sécurité) ayant pour objectif de remplir une fonction ou sous fonction de sécurité.
- Equipement de sécurité : élément d'un SIS qui remplit une sous-fonction de sécurité.
- Fonction de sécurité : fonction ayant pour but la prévention et la protection d'événements redoutés. Les fonctions de sécurité identifiées peuvent être assurées à partir de barrières techniques de sécurité, de barrières organisationnelles (activités humaines), ou plus généralement par la combinaison des deux.  
Une même fonction de sécurité peut être réalisée par différentes barrières de sécurité.  
Une fonction de sécurité peut se décomposer en sous-fonctions de sécurité liées.
- Niveau de confiance (NC) : c'est une adaptation par l'INERIS des exigences des normes NF-EN 61508 et CEI 61511, notamment quant aux architectures des systèmes pour tous les équipements de sécurité, quelle que soit leur technologie.
- Principe de concept éprouvé : un équipement simple est de conception éprouvée soit, lorsqu'il a subi des tests de « qualification » par l'utilisateur ou d'autres organismes, soit lorsqu'il est utilisé depuis plusieurs années sur des sites industriels et que le retour d'expérience sur son application est positif. Pour cela, on peut s'appuyer sur :
  - Le retour d'expérience de l'utilisateur (exploitant, service maintenance, inspection...), voire du fournisseur.
  - L'accidentologie (retour d'expérience des accidents et incidents).
  - Les standards indiqués par des syndicats professionnels.
- Redondance : existence, dans une entité, de plus d'un moyen pour accomplir une fonction requise.
- Temps de réponse : il correspond à l'intervalle de temps entre le moment où une barrière de sécurité, dans un contexte d'utilisation, est sollicitée et le moment où la fonction de sécurité assurée par cette barrière de sécurité est réalisée dans son intégralité. Il s'exprime en secondes.

### c) Détermination du niveau de confiance (NC)

Le niveau de confiance des barrières de sécurité est déterminé selon la méthode définie par l'INERIS. Le niveau de confiance ne se substitue pas aux normes NF-EN 61508 et CEI 61511 relatives à la sécurité fonctionnelle. La démarche proposée est une méthode d'évaluation qualitative « simple » en vue d'évaluer la performance des barrières techniques et humaines de sécurité.

Les niveaux de confiance des barrières de sécurité sont basés sur :

- La fiche N°7 de la circulaire du 10 mai 2010.
- Le guide OMEGA 10 de l'INERIS portant sur l'évaluation des barrières techniques de sécurité.
- Le guide OMEGA 20 de l'INERIS portant sur l'évaluation des barrières humaines de sécurité.

### Cas des barrières techniques de sécurité

Avant de déterminer ce niveau de confiance pour les barrières techniques de sécurité (BTS), il est important de vérifier que cette BTS est de concept éprouvé, qu'elle est indépendante du procédé et qu'elle est indépendante d'une autre BTS. Le niveau de confiance est ensuite déterminé par :

- Une proportion de défaillance en sécurité (ou Safety Failure Fraction – SFF) qui est généralement inférieure à 60% mais qui selon les cas (bon retour d'expérience, essais, niveau SIL selon la norme NF-EN 61511...) peut augmenter vers des niveaux (SFF) de l'ordre de 99%.
- Une tolérance aux anomalies matérielles qui est l'équivalent d'une redondance.

On obtient alors un niveau de confiance défini selon les grilles données dans le rapport Oméga 10 de l'INERIS pour les systèmes techniques dits « simples » (vannes, relais, interrupteurs...) ou « complexes » (système capable de traiter une information).

Proportion de défaillances en sécurité	Tolérances aux anomalies matérielles (selon le nombre d'équipements de sécurité)		
	0	1	2
<60%	NC1	NC2	NC3
60 – 90 %	NC2	NC3	NC4
90 – 99 %	NC3	NC4	NC4
> 99 %	NC3	NC4	NC4

Tableau 46 : Niveaux de confiance pour des systèmes techniques simples de sécurité (Extrait et adapté de la norme CEI-EN 61508 /Tab.1 de l'Omega 10)

Proportion de défaillances en sécurité	Tolérances aux anomalies matérielles (selon le nombre d'équipements de sécurité)		
	0	1	2
<60%	NC0	NC1	NC2
60 – 90 %	NC1	NC2	NC3
90 – 99 %	NC2	NC3	NC4
> 99 %	NC3	NC4	NC4

Tableau 47 : Niveaux de confiance pour des systèmes techniques complexes de sécurité (Extrait et adapté de la norme CEI-EN 61508 / Tab.2 de l'Omega 10)

### Cas des dispositifs passifs de sécurité

Pour déterminer le niveau de confiance d'un dispositif passif de sécurité (cuvette de rétention, mur coupe-feu...) il faut déterminer sa probabilité moyenne de défaillance (ou taux de défaillance à la sollicitation/PFD). Une fois celle-ci estimée, le tableau suivant qui est inspiré de la norme NF EN 61508 permet de faire le lien avec le niveau de confiance.

Probabilité moyenne de défaillance	Sens d'évolution de la probabilité de défaillance	Niveau de confiance
$10^{-5} \leq \text{PFD} < 10^{-4}$	↓	NC4
$10^{-4} \leq \text{PFD} < 10^{-3}$		NC3
$10^{-3} \leq \text{PFD} < 10^{-2}$		NC2
$10^{-2} \leq \text{PFD} < 10^{-1}$		NC1

Tableau 48 : Evaluation d'un niveau de confiance en fonction de sa probabilité moyenne de défaillance (Tab.5 de l'Omega 10)

L'exploitation des bases de données montre que le NC pour les murs coupe-feu et les cuvettes de rétention serait de 2.

Le niveau de confiance pourra être maintenu ou décoté en fonction des procédures et des moyens (maintenance, inspection...) mis en œuvre par l'industriel pour maintenir dans le temps le niveau de confiance du dispositif.

Note : en l'absence d'études spécifiques ou d'un retour d'expérience suffisant permettant d'apprécier la probabilité de défaillance d'un système, le niveau de confiance retenu par défaut sera NC1.

### Cas des barrières humaines organisationnelles

Pour les barrières organisationnelles et selon la fiche N°7 de la circulaire du 10 mai 2010, le niveau de confiance initial à retenir est déterminé selon les critères suivants :



- NC2, dans le cas d'une mesure de pré-dérive réalisée par une personne dédiée spécifiquement à cette action (spécialiste).
- NC1, dans le cas d'une mesure de pré-dérive réalisée par l'opérateur chargé du process.
- NC1, dans le cas de mesures de rattrapage de dérive (intervention sur un incident).

Dans un second temps, conformément aux recommandations de l'INERIS, ce niveau de confiance pourra être maintenu ou décoté, en fonction :

- De la simplicité de détection de l'évènement anormal.
- De la simplicité du diagnostic, quant aux choix de l'opération à mener pour empêcher le scénario redouté de se produire.
- De la simplicité de l'action de sécurité à conduire pour éviter ou en réduire les effets.
- De la pression temporelle à laquelle sont soumis les intervenants, si le temps d'intervention doit être bref ou si la cinétique des événements menant à l'accident est rapide.

### Formations et consignes

Les formations et consignes de sécurité sont des éléments qui participent à la fiabilité et au maintien du niveau de confiance d'autres barrières de sécurité. De ce fait, aucun niveau de confiance ne leur est appliqué de manière spécifique et elles ne sont pas prises en compte dans la détermination de la probabilité.

#### d) Détermination de la probabilité

Pour rappel, il existe 5 classes de probabilités définies dans l'arrêté du 29/09/2005. Elles sont indiquées ci-dessous.

Classe	E	D	C	B	A
Probabilité	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	

Le passage d'une classe à une autre sous-entend une réduction de probabilité d'un facteur 10.

La probabilité d'occurrence est déterminée à partir des arbres des causes et des conséquences. Pour chaque branche de l'arbre, on part de la probabilité définie pour l'évènement initiateur (classe A prise par défaut, en l'absence de données bibliographiques précises) que l'on décote en fonction des niveaux de confiance des différentes barrières de sécurité mises en œuvre pour en réduire l'occurrence :

- En présence d'une barrière NC1 : décote d'une classe (B donnera C).
- En présence d'une barrière NC2 : décote de deux classes (B donnera D).
- En présence d'une barrière NC1 et d'une barrière NC2 : décote de trois classes (A donnera D),...

Lors de passage de portes « ET » ou « OU », les règles de détermination de probabilités suivantes sont appliquées :


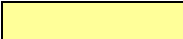

- Portes « ET » : une multiplication des deux classes de probabilité est réalisée. Par exemple : classe B ( $10^{-2}$ ) x classe C ( $10^{-3}$ ) = classe E ( $10^{-5}$ ).
- Portes « OU » : la probabilité de classe la plus élevée est retenue. Par exemple une probabilité de classe A ou une probabilité de classe B découleront sur la prise en compte d'une probabilité de classe A.

### III.4. DETERMINATION DE LA CRITICITE

Une évaluation de la gravité et de la probabilité sera réalisée pour chaque phénomène dangereux étudié, selon les grilles définies dans l'arrêté du 29/09/2005. Ces deux paramètres forment un couple « gravité – probabilité » qui est alors placé dans le tableau ci-après, en vue de hiérarchiser le risque et définir la criticité du phénomène dangereux.

Gravité sur les personnes exposées au risque	Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
Désastreux	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur
Catastrophique	MMR	MMR	Majeur	Majeur	Majeur
Important	MMR	MMR	MMR	Majeur	Majeur
Sérieux			MMR	MMR	Majeur
Modéré					MMR

Tableau 49 : Grille de criticité des évènements (couple Gravite – Probabilité)

-  Evènement pouvant occasionner un accident majeur nécessitant de modifier certaines dispositions d'exploitation
  -  Evènement nécessitant des mesures de maîtrise des risques (MMR) complémentaires spécifiques.
  -  Evènement jugé acceptable ayant une faible probabilité et une gravité modérée au regard des dispositions déjà prises.
- Des mesures compensatoires doivent être proposées et une réévaluation de leur gravité ou de leur probabilité réalisée pour pouvoir tendre vers une criticité jugée acceptable

# CHAPITRE D.

## ANALYSE DES RISQUES



# I. IDENTIFICATION DES DANGERS PRESENTS SUR SITE

## I.1. RISQUES LIES AUX PRODUITS PRESENTS SUR LE SITE

Les seuls produits susceptibles de présenter un risque au niveau des chaudières sont les combustibles en l'occurrence le gaz naturel et le biogaz.

### 1. LE GAZ NATUREL

Le gaz naturel est constitué essentiellement de méthane entre 86 et 98 % environ, de l'éthane entre 2 et 9 % ainsi que d'autres éléments à l'état de traces.

Le méthane (CH<sub>4</sub>) est un hydrocarbure gazeux dans les conditions normales (15°C, 1 bar). Il n'est pas corrosif et peut être utilisé en présence de tout métal courant. Sa masse volumique est d'environ 0,78 kg/m<sup>3</sup>, il est donc plus léger que l'air et a ainsi tendance à s'accumuler dans les points hauts (sous plafonds). Son domaine d'inflammabilité est compris entre 5 et 15 % en mélange avec l'air.

Le méthane est incolore et inodore à l'état naturel, il est actuellement odorisé à l'aide d'un additif. Il présente un risque d'anoxie dans les atmosphères confinées.

Compte tenu des propriétés du méthane, le gaz naturel est un gaz combustible qui peut entraîner une explosion et/ou un incendie. Cependant, il est nécessaire d'avoir une source de chaleur pour provoquer son inflammation. Son pouvoir calorifique est de 10,7 à 12,8 kWh/m<sup>3</sup>.

La combustion complète du gaz naturel produit du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et de l'eau. Sa combustion incomplète entraîne la formation supplémentaire de monoxyde de carbone (CO), de l'hydrogène gazeux (H<sub>2</sub>) et du carbone. Il est incompatible avec les oxydants et les halogènes.

### 2. LE BIOGAZ

La composition chimique du biogaz varie en fonction des substances introduites dans les installations de fermentation anaérobie. Cependant, les composés principaux sont le méthane (CH<sub>4</sub>) et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), leur proportion variant selon la nature du produit organique et des conditions opératoires.

Des ordres de grandeur des principaux constituants du biogaz issus des activités de fermentation anaérobie des boues de station d'épuration sont donnés dans le rapport de l'INERIS n°DRC-09-104115-15569A du 15/12/2009 portant sur les risques sanitaires liés à l'injection de biogaz issu de boues de STEP dans un réseau de gaz naturel.

Constituants	Teneur (%)
CH <sub>4</sub>	56 à 72 %
CO <sub>2</sub>	24 à 38 %
O <sub>2</sub>	0,2 à 1,4%
N <sub>2</sub>	0,7 à 5,4%
H <sub>2</sub>	< 1
H <sub>2</sub> O	4,6 à 11%

Constituants	Teneur (%)
H <sub>2</sub> S	< 1

Tableau 50 : Teneurs des principaux constituants du biogaz issu des boues de STep

D'autres substances sont formées dans le biogaz à l'état de traces.

Dans le cas de la station d'épuration du Légué, la composition moyenne du biogaz est 58,2% de méthane et 41,5% de CO<sub>2</sub>. Le détail de la concentration des principaux constituants du biogaz de la station mesuré en sortie du gazomètre est présenté dans le tableau suivant (rapport d'analyse S3d – janvier 2011).

N° analyse	Position analyseur	CH4 en %	CO2 en %	O2 en %	H2S en ppm
1	Aval surpresseur	58,2	41,5	0,2	0
2	Aval surpresseur	58,3	41,5	0,1	0
3	Aval surpresseur	58,2	41,5	Pas noté	0
Moyenne	Aval surpresseur	58,2	41,5	0,2	0

 Tableau 51 : **Composition du biogaz de la station d'épuration du Légué – S3d, janvier 2011**

Au regard de la présence de méthane, le biogaz est donc un composé inflammable présentant des risques d'explosion.

#### ➤ Limites d'explosivité

Le pouvoir calorifique du biogaz dépend de la teneur en méthane, gaz inflammable. Le PCI (pouvoir calorifique inférieur) du méthane est de 9,97 kWh/Nm<sup>3</sup> soit 35 891 kJ/Nm<sup>3</sup> (pour un gaz comportant 100% de méthane).

Les limites d'explosivité d'un biogaz sont données dans le tableau ci-après pour différentes compositions de celui-ci (source : Rapport INERIS DRA-07-88414-10586B « Etude des risques liés à l'exploitation des méthaniseurs agricoles » - janvier 2008).

CH <sub>4</sub> – CO <sub>2</sub> (% v / % v)	LIE (% v / % v CH <sub>4</sub> )	LSE (% v / % v CH <sub>4</sub> )
100 – 0	5	15
60 - 40	5,1	12,4
55 - 45	5,1	11,9
50 - 50	5,3	11,4

 Tableau 52 : **Caractéristiques d'explosivité du biogaz**

La présence du CO<sub>2</sub> tend à réduire la réactivité du méthane. De même, la vapeur d'eau agit comme un gaz inerte. La teneur en vapeur d'eau est relativement importante à l'intérieur d'un digesteur ou d'un post-digesteur, ce qui réduit les risques d'explosivité.

➤ Violence d'explosion

Les paramètres caractérisant la violence d'une explosion sont la pression maximale d'explosion (Pmax) et la vitesse maximale de montée en pression (Kg). Ces deux paramètres sont définis expérimentalement.

Des essais réalisés avec des mélanges CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>/air saturé en humidité ont été effectués par l'INERIS. Les résultats sont donnés ci-dessous pour une composition de biogaz en CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> de 50 % - 50 %.

Température (°C)	Pmax (bar)	Kg (bar.m.s <sup>-1</sup> )
30	5,7	14
40	5,4	14
50	4,3	8
55	3,2	4
60	2,8	3
70	0,7	0,5

Tableau 53 : **Caractéristiques d'explosion du biogaz**

Au-delà de 70°C, la vapeur d'eau contenue dans le biogaz est suffisante pour l'inerté.

On constate ainsi que, dans les mêmes conditions, la violence d'explosion du biogaz est inférieure à celle du méthane seul, pour lequel les valeurs sont : Pmax = 8 bars, Kg = 45 bar.m.s<sup>-1</sup>.

➤ Toxicité

Le biogaz va donc contenir du CH<sub>4</sub>, du CO<sub>2</sub> et éventuellement du H<sub>2</sub>S avant désulfuration. C'est un gaz asphyxiant étant donné l'absence d'oxygène dans sa composition.

Toutefois, il est important de souligner que la teneur en H<sub>2</sub>S du biogaz généré sur le site de la station d'épuration du Légué est nulle (voir analyses S3d, janvier 2011). Aussi, l'ensemble des effets toxiques associés à l'hydrogène sulfuré est donc écarté.

### 3. INCOMPATIBILITE DES PRODUITS

Il n'y a pas d'incompatibilité entre le gaz naturel et le biogaz.

## I.2. LES PROCEDES DE FABRICATION

### 1. DANGERS LIES AUX EQUIPEMENTS ET AU PROCESS

#### 1.1. Stockage et distribution des fluides

Le risque lié aux installations de stockage (gazomètre) et canalisations de distribution est une rupture suite à un choc ou une fissure pour des raisons de corrosions ou détériorations.

Ces dysfonctionnements peuvent engendrer une fuite, de biogaz ou de gaz naturel dans le cas de la station d'épuration du Légué.