

## PREAMBULE

Cette fiche constitue une synthèse du guide pour la prise en compte des chaudières industrielles dans la rédaction d'une étude de dangers (Rapport [1], appelé guide chaufferies dans la suite de ce document). Elle pourra être utilisée comme support pour les analyses de risques et lecture critique d'études de dangers / études de sécurité relatives aux chaudières à vapeur, à tubes d'eau ou tubes de fumées, utilisant du combustible gazeux (gaz naturel) ou liquide (fioul domestique, fioul lourd ou biodiesel) et pouvant démarrer au propane.

Le guide a vocation à fournir des éléments pour faciliter la réalisation des EDD des chaufferies ou des sites comportant ces installations, ainsi que leur instruction. Notamment, des informations sur l'état de l'art, les scénarios d'accidents pouvant être générés par une chaudière et les barrières de sécurité associées, les distances d'effets types des phénomènes dangereux, les probabilités types des événements, etc. sont présentés. Différents volets de l'EDD pourront ainsi s'appuyer sur des éléments développés dans le guide.

La présente fiche fournit des éléments techniques tels qu'une description succincte des installations, une synthèse de l'analyse du retour d'expérience, une présentation des scénarios d'accidents liés à la chaudière elle-même, des résultats de modélisation et des données de fréquences de perte de confinement. La fiche ne détaille pas les scénarios d'accidents générés par les installations liées au combustible liquide et gazeux (citerne de dépotage, bacs de stockage, poste de préparation du fioul lourd, pompes et tuyauteries) ni les installations liées à l'utilisation de propane (bouteilles et tuyauteries). Ces installations sont néanmoins couvertes dans le guide chaufferies.

La fiche devra être utilisée en prenant en compte les spécificités de chaque site étudié. Son contenu ne se substitue pas à la réglementation en vigueur. Les barrières de sécurité présentées sont une compilation de bonnes pratiques et d'exigences réglementaires, et qui ne représentent pas un minimum requis.

## DESCRIPTION

### Installations liées aux chaudières industrielles

Une chaudière est un système qui utilise un combustible pour apporter de l'énergie à un fluide caloporteur et fournir ainsi un fluide avec des caractéristiques imposées par l'utilisation qui en sera faite. Dans le cas des chaudières à vapeur, le fluide caloporteur est de l'eau. Ce type de chaudière se compose de deux compartiments distincts : un dans lequel brûle le combustible (brûleur) et un autre dans lequel l'eau est chauffée.

Le guide chaufferies couvre deux types de chaudière à vapeur, dénommées d'après le fluide qui circule à l'intérieur des tubes :

- Les chaudières à tubes de fumées, parcourus intérieurement par les gaz de combustion ;
- Les chaudières à tubes d'eau, parcourus intérieurement par l'eau et l'émulsion eau-vapeur.

Le principe de fonctionnement de ces types de chaudière est illustré ci-après.

Il existe une multitude de combustibles possibles pour alimenter une chaudière, chacun présentant avantages et inconvénients en termes d'émissions et de rendement principalement. On peut citer à titre d'exemple le charbon, le fioul (lourd ou domestique), le biodiesel, le gaz naturel, la biomasse.

Dans certains cas, du propane peut être utilisé lors des phases de (re)démarrage des chaudières. Il s'agit alors du combustible d'alimentation des allumeurs des brûleurs. En général, le propane est stocké sous forme liquéfiée sous pression dans des bouteilles entreposées dans un local dédié.

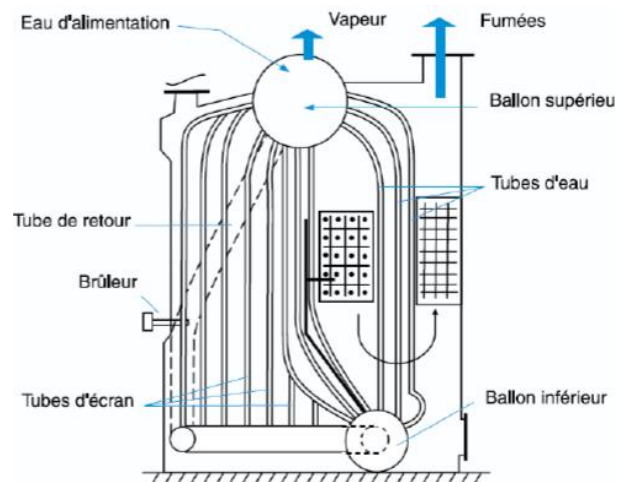
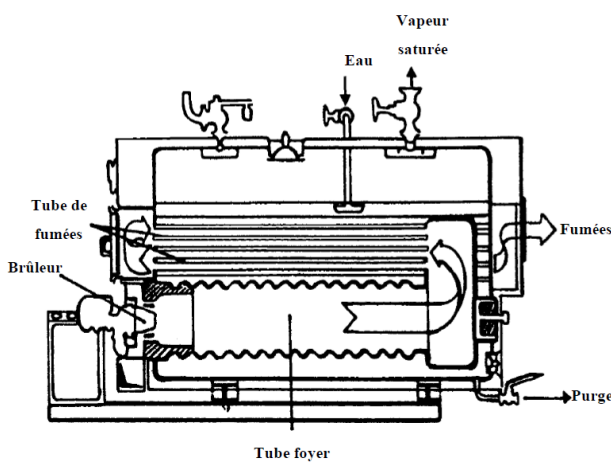
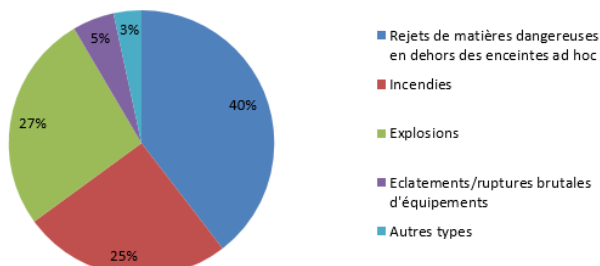


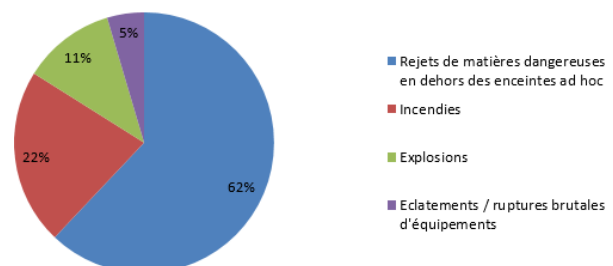
Schéma de principe d'une chaudière à tubes de fumées (à gauche) et d'une chaudière à tubes d'eau (à droite) –  
Source : Académie de Poitiers

**Analyse du retour d'expérience**



Répartition des phénomènes parmi les cas impliquant des chaudières gaz

Source : BARPI (175 événements, entre 1972 et 2014)



Répartition des phénomènes parmi les cas impliquant des chaudières fioul

Source : BARPI (87 événements, entre 1972 et 2014)

**Phénomènes dangereux associés**

Les phénomènes dangereux pouvant être générés lors de l'exploitation de chaudières à vapeur, à tubes d'eau ou tubes de fumées, utilisant du combustible gazeux (gaz naturel) ou liquide (fioul domestique, fioul lourd ou biodiesel) sont listés ci-après. Les phénomènes dangereux liés au combustible liquide et gazeux et à l'utilisation de propane sont également présentés, même s'ils ne sont pas étudiés plus en détails dans le cadre de cette fiche.

**Combustible liquide**
**Dépotage**

- Feu de nappe
- Pressurisation lente citerne
- Explosion du ciel gazeux citerne
- Pollution

**Stockage**

- Feu de cuvette
- Pressurisation lente de bac
- Explosion du ciel gazeux du bac
- Feu de bac
- Boilover (classique ou couche mince)
- Pollution

**Transfert**

- Feu de nappe
- Pollution

**Transfert de combustible gazeux**

- Feu torche
- (U)VCE / Flash fire

**Stockage de propane**

- Feu torche
- (U)VCE / Flash fire
- BLEVE de bouteille

**Chaudières à tubes d'eau ou à tubes de fumées**
**Brûleur / chambre de combustion**

- Explosion de la chambre de combustion

**Capacité d'eau**

- BLEVE de la capacité d'eau
- Eclatement de la calandre

**Surchauffeur (pour tubes d'eau)**

- Eclatement du surchauffeur

**NŒUDS PAPILLON**

Les nœuds papillon présentés ci-après peuvent servir de support pour les analyses de risques relatives aux chaudières industrielles présentes sur des installations classées soumises à autorisation. Ils détaillent les événements redoutés suivants :

- Accumulation de gaz ou de vapeurs inflammables dans la chambre de combustion avant redémarrage, conduisant à une explosion de la chambre de combustion ;
- Surpression dans la capacité d'eau, conduisant à un BLEVE de la capacité d'eau ;
- Arrivée d'eau sur les tubes de fumée surchauffés et vaporisation brutale d'eau, conduisant à un éclatement de la calandre ;
- Surpression dans le surchauffeur, conduisant à un éclatement du surchauffeur.

**Notes :**

- Pour rappel, les scénarios d'accidents générés par les installations liées au combustible liquide et gazeux (citerne de dépotage, bacs de stockage, poste de préparation du fioul lourd, pompes et tuyauteries) et par les installations liées à l'utilisation de propane (bouteilles et tuyauteries) ne sont pas présentés dans le cadre de cette fiche. Ils sont traités dans le guide chaufferies ;
- Le feu de nappe dans la chaufferie suite à une perte de confinement sur la tuyauterie de transfert du combustible liquide peut ne pas être retenu dans le cadre de l'étude de dangers si la chaufferie est par exemple équipée de murs coupe feu 2 heures et que l'exploitant s'engage sur la possibilité d'éteindre le feu dans ce délai (à voir au cas par cas selon la nature du feu, les moyens et l'efficacité des services d'incendie et de secours) ;
- L'explosion de la chaufferie suite à une perte de confinement sur la tuyauterie de transfert du combustible gazeux a été étudiée dans le guide chaufferies. Différentes tailles de fuite et matériaux constitutifs du local (béton ou bardage) ont été pris en compte, et l'influence des surfaces éventables a été mise en avant.

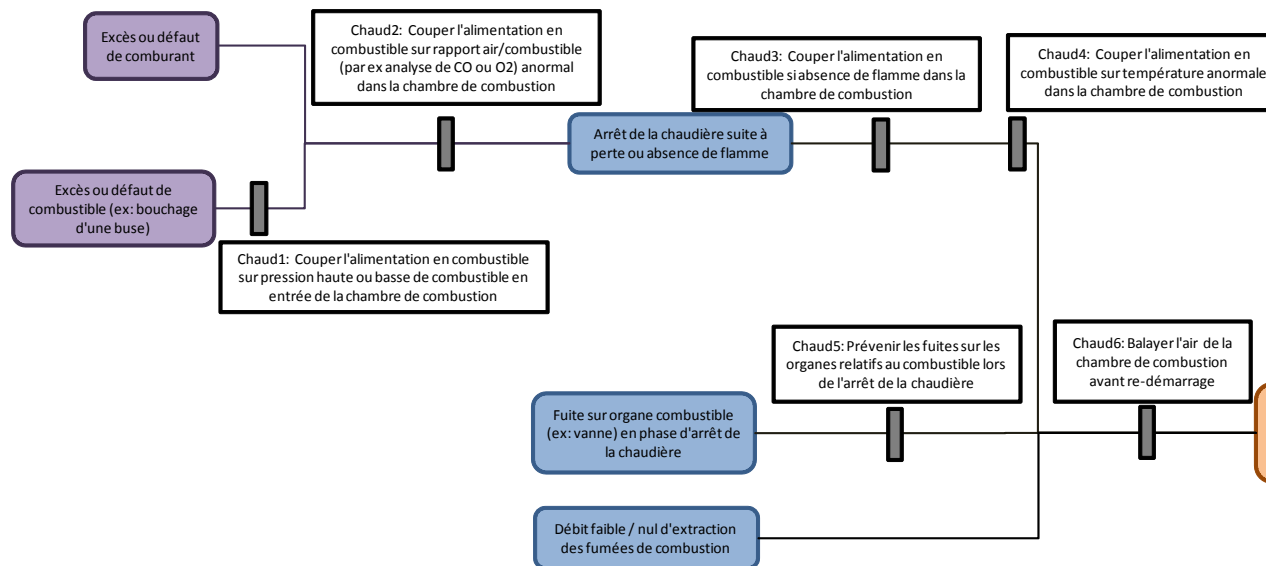
L'identification des barrières de sécurité pouvant intervenir en prévention ou en protection des scénarios d'accidents liés à la chaudière, mais également générés par les installations liées au combustible liquide et gazeux et liées à l'utilisation de propane, s'est appuyée sur des référentiels réglementaires, normatifs ou de bonnes pratiques. Les textes principaux encadrant ces équipements sont les arrêtés de la rubrique 2910-A de la nomenclature des ICPE relative aux installations de combustion, traitant le risque d'incendie et d'explosion dans la chaufferie engendrant des effets majeurs pour l'environnement industriel :

- L'arrêté du 26 août 2013 modifiant l'arrêté du 25 juillet 1997 relatif aux prescriptions générales applicables aux ICPE soumises à déclaration sous la rubrique n° 2910 (Combustion) ;
- L'arrêté du 26 août 2013 relatif aux installations de combustion d'une puissance supérieure ou égale à 20 MW soumises à autorisation au titre de la rubrique 2910 et de la rubrique 2931.

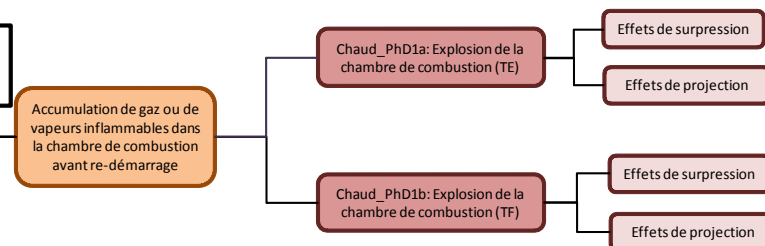
Il est à noter que les barrières de sécurité présentées ici ne sont pas exhaustives et ne doivent pas être considérées comme des exigences. Ce sont des propositions en vue de faciliter l'analyse de risques. Leurs performances sont à évaluer en fonction du contexte dans lequel elles sont utilisées. La pertinence des barrières de sécurité et des événements initiateurs est à vérifier pour chaque site.

**Chambre de combustion et capacité d'eau de la chaudière**

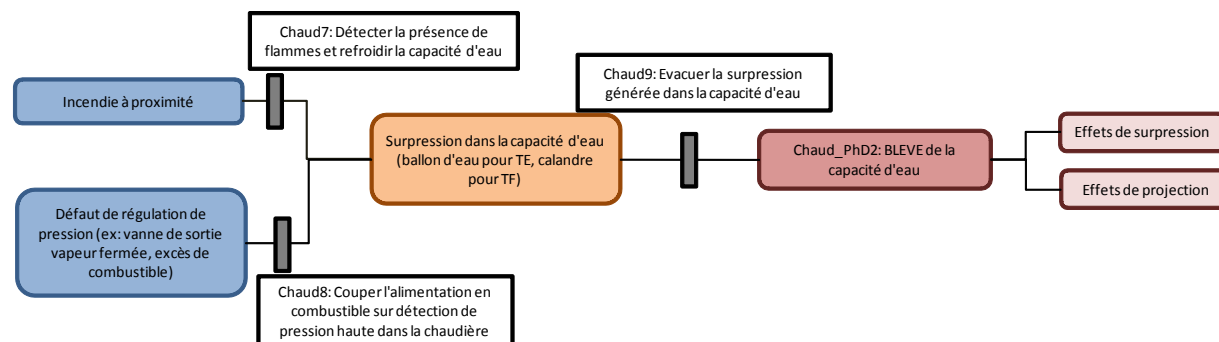
**NP1**



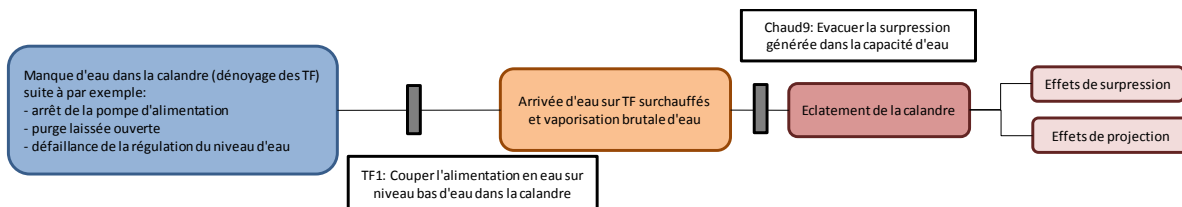
Nom	Exemples d'éléments de la barrière
Chaud1	Asservissement de l'alimentation en combustible sur la pression de combustible en entrée de la chambre de combustion
Chaud2	Asservissement de l'alimentation en combustible sur le rapport air / combustible dans la chambre de combustion
Chaud3	Asservissement de l'alimentation en combustible sur la présence de la flamme dans la chambre de combustion
Chaud4	Asservissement de l'alimentation en combustible sur la température dans la chambre de combustion
Chaud5	Actions de contrôle d'étanchéité, purge, etc identifiées dans la procédure de mise en service / d'arrêt de la chaudière
Chaud6	Action de balayage intégrée dans la séquence de ré-allumage de la chaudière
Chaud7	Déluge dans la chaufferie suite à détection incendie ou détection humaine
Chaud8	Asservissement de l'alimentation en combustible sur détection de pression haute dans la chaudière
Chaud9	Soupape de sécurité de la chaudière



**NP2**

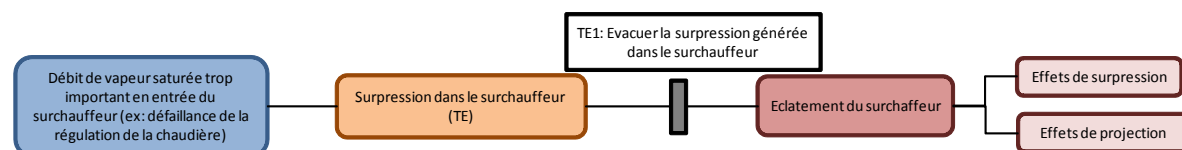


### Chaudière à tubes de fumées – NP3



Nom	Exemples d'éléments de la barrière
TF1	Asservissement de l'alimentation en eau sur détection de niveau bas d'eau dans la chaudière
Chaud9	Soupape de sécurité de la chaudière

### Chaudière à tubes d'eau avec surchauffeur – NP4



Nom	Exemples d'éléments de la barrière
TE1	Soupape de sécurité du surchauffeur

### Remarques

#### NP1 :

- L'indépendance des barrières 1, 2, 3 et 4 est à assurer pour les valoriser sur le même scénario d'accident (s'assurer notamment que les éléments de traitement de l'information et d'action sont bien indépendants, par exemple que les vannes de coupure de l'alimentation en combustible soient distinctes).
- Dans certains cas, la chaudière est équipée de plusieurs brûleurs et la perte de flamme sur un des brûleurs n'empêchera pas le gaz d'être brûlé par les autres brûleurs. L'existence de modes communs de défaillance des brûleurs devra néanmoins être étudiée en phase d'analyse de risques.

#### NP3 :

- Une vaporisation brutale d'eau suite à une remise en eau sur des tubes de fumées surchauffés peut générer un éclatement de la calandre (pressurisation rapide). Un ordre de grandeur des distances des effets de surpression associés peut être obtenu en exploitant les abaques du BLEVE de la capacité d'eau (voir partie suivante).
- Une vaporisation d'eau peut avoir lieu suite à une fuite sur un tube de fumées. Les effets redoutés sont une déformation de la calandre voire un arrachement du brûleur, mais ils restent limités.
- Un retour de combustible liquide dans le circuit de vapeur servant à réchauffer les bacs de combustible liquide peut mener à une cokéfaction sur les tubes de fumées et une surchauffe de ces derniers. Un affaissement des faisceaux de tubes peut alors avoir lieu mais les effets restent limités.

- Un surremplissage en eau dans la chaudière peut avoir lieu suite à une défaillance des jaugeurs de niveau (à cause par exemple d'un retour de polluants depuis la bêche alimentaire suite à un mauvais traitement d'eau). Les effets redoutés restent limités (par exemple déformation de la calandre).

NP4 :

- Un débit de vapeur saturée trop important en entrée du surchauffeur peut générer une surpression dans le surchauffeur, menant à l'éclatement de celui-ci. Un ordre de grandeur des distances des effets de surpression associés peut être obtenu en exploitant les abaques du BLEVE de la capacité d'eau (voir partie suivante).
- Une vaporisation brutale d'une faible quantité d'eau dans la chambre de combustion de la chaudière peut avoir lieu suite à une fuite sur un tube d'eau. Les effets redoutés sont une déformation de la paroi de la chambre voire un arrachement du brûleur, mais ils restent limités.

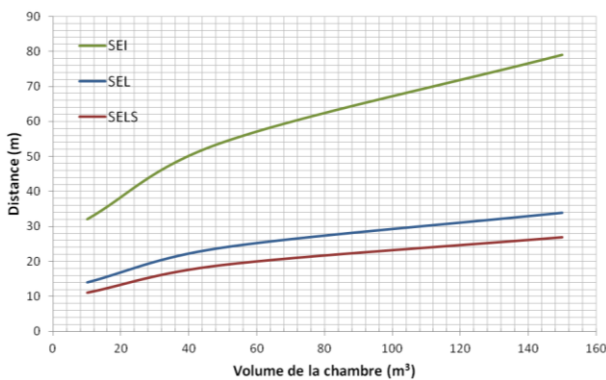
**INTENSITES DES PHENOMENES DANGEREUX**

Le guide chaufferies détaille les principes d'évaluation des intensités des phénomènes dangereux retenus en précisant les principales hypothèses de modélisation. Les distances d'effets sont présentées en annexe du guide, sous forme d'abaques, dont un exemple est donné ci-dessous.

**Explosion de la chambre de combustion (cas des tubes d'eau)**

Hypothèse : la pression maximale est atteinte lors de l'explosion (soit 7.1 bar pour le méthane)

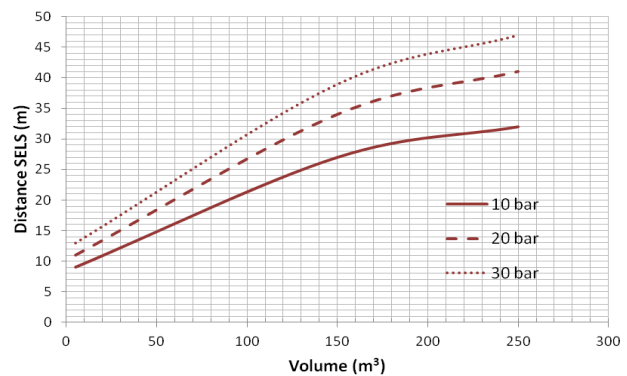
Outil utilisé : PROJEX



*Explosion de chambre de combustion (tubes d'eau) - Distances aux seuils d'effets de surpression*

**BLEVE de la capacité d'eau**

Outil utilisé : PROJEX



*Evolution de la distance au SELS en fonction du volume pour 3 pressions de rupture : 10, 20 et 30 bar relatifs*

**DONNEES DE FREQUENCES DE PERTES DE CONFINEMENT**

Le guide chaufferies explicite la méthode utilisée pour évaluer la probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux étudiés et fournit en annexe des données de fréquences d'occurrence d'événements redoutés (fuite ou perte de confinement) liés à différents types d'équipements (échangeurs tubulaires, tuyauteries, etc). Un cas d'étude illustrant la manière dont ces données peuvent être utilisées pour quantifier la probabilité d'occurrence d'un phénomène dangereux est présenté dans le guide. La démarche de quantification dans son ensemble est traitée dans le rapport Oméga Probabilités de l'INERIS « Agrégation semi-quantitative des probabilités dans les études de dangers des installations classées » daté du 20/10/2015.

Les données de fréquences présentées en annexe du guide chaufferies, dont certaines sont données à titre d'exemple ci-dessous sont tirées de bases de données génériques dont le choix est à justifier<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Le choix de la base de données la plus pertinente sera à réaliser. Le rapport INERIS n°DRA-12-124789-07543A « Panorama des sources de données utilisées dans le domaine des analyses quantitatives des risques » du 20/12/2012 peut être un support à cette démarche.



Equipements	BEVI [3] (Pays-Bas)	FRED [4] (Angleterre)	HANDBOOK [5] (Belgique flamande)
<b>Capacités sous pression</b>	Brèche $\phi$ 10 mm : $10^{-5}$ / an <i>(Inclut fuites sur piquages et 1<sup>ères</sup> brides)</i>	Brèche $\phi$ 13 mm : $10^{-6}$ / an	-
<b>Echangeurs tubulaires</b>	Brèche $\phi$ éq 10% DN tube : $10^{-2}$ / an	-	Rupture de l'échangeur : $1,3 \cdot 10^{-5}$ / an
<b>Tuyauteries</b>	Brèche $\phi$ éq 10% DN : $5 \cdot 10^{-6}$ / m / an <i>(pour tuyauteries aériennes de DN &lt; 75 mm)</i>	Brèche $\phi$ 25 mm : $10^{-6}$ / m / an <i>(pour tuyauteries de <math>50 \leq DN \leq 149</math> mm)</i>	Brèche $\phi$ éq 5-20% DN : $5 \cdot 10^{-8}$ / an <i>(fréquence à multiplier par L/D)</i>

## REFERENCES

- [1] DEMEESTERE, M., Guide pour la prise en compte des chaudières industrielles dans la rédaction d'une étude de dangers – DRA-14-141532-12702A. INERIS : 2016
- [2] Oméga Probabilités, Agrégation semi-quantitative des probabilités dans les études de dangers des installations classées. INERIS, 20/10/2015

Bases de données de probabilité:

- [3] Reference manual BEVI risk assessment - Janvier 2009
- [4] FRED - Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments - Juin 2012
- [5] Handboek Faalfrequenties ; Appendix to Handbook failure frequencies – 2009