

# ETUDE DE DANGERS

## CHAUDIÈRE VAPEUR

*Révision 2*

(Version Janvier 2022)

**Rédaction :**

Nom	Fonction
Patrice LYSEK	Responsable Risques technologiques et naturels ArcelorMittal France

**Validation :**

Nom	Fonction
Eric VASSEUR	Chef d'établissement ArcelorMittal France site de Basse-Indre

## Table des matières

1. Périmètre de l'étude.....	4
2. Description d'une chaudière à tubes de fumées.....	4
3. Identification des potentiels de dangers.....	5
3.1. Potentiels de dangers liés aux produits.....	5
3.2. Potentiels de dangers liés aux équipements.....	5
4. Réduction des potentiels de dangers.....	6
5. Analyse du retour d'expérience.....	7
6. Analyse des risques et de scenarii d'accident.....	10
6.1. Méthodologie.....	10
6.2. Synthèse.....	10
6.3. Analyse détaillée des risques.....	11
6.4. Probabilité d'occurrence d'un scénario d'accident.....	12
6.5. Cinétique.....	13
6.6. Intensité des effets.....	13
6.7. Gravité des conséquences.....	15
6.8. Analyse détaillée des risques.....	16
6.8.1. <i>Evaluation de l'intensité des effets des phénomènes dangereux</i> .....	16
6.8.2. <i>Cotation de la probabilité d'occurrence des scenarii d'accident</i> .....	16
6.8.3. <i>Cotation des phénomènes dangereux</i> .....	19
6.8.4. <i>Cotation de la gravité des conséquences des scenarii d'accident</i> .....	20
7. Effets dominos.....	23
7.1. De la nouvelle vers les installations existantes.....	23
7.2. Des installations existantes vers la nouvelle chaudière.....	23
8. Synthèse des scenarii d'accident.....	24
8.1. Présentation des scenarii d'accident (nœuds papillons).....	24
8.2. Présentation des phénomènes dangereux.....	28
8.3. Cartographies.....	29
9. Impact sur l'urbanisme.....	37
10. Conclusion.....	38

	<p align="center"><b>ETUDE DE DANGERS</b>          SITE DE DE BASSE-INDRE  <b>CHAUDIÈRE VAPEUR</b></p>	<p align="right">Janvier 2022  <i>(Révision 2)</i></p>
---	--	--

## RÉVISIONS

Date	Commentaire
Janvier 2021	Création du document
Avril 2021	Révision 1 - <i>Prise en compte des remarques de la DREAL (cf. courrier du 17 mars 2021 référencé : N6-2021-305-LEXP.odt)</i>
Janvier 2022	Révision 2 - <i>Modification du projet</i>

## 1. Périmètre de l'étude

La chaudière actuelle du site de Basse-Indre, « chaudière STEIN » produit et fournit la vapeur d'eau pour l'ensemble des unités de production (dégraissage, recuit continu, laminoir à froid, étamage, chromage) ainsi que les halles de stockage du site.

Pour faire face aux besoins supplémentaires de vapeur, une nouvelle chaudière de puissance unitaire de 16,9 MW sera mise en service à partir d'octobre 2022.

## 2. Description d'une chaudière à tubes de fumées

Une chaudière est un système qui utilise un combustible pour apporter de l'énergie à un fluide caloporteur. Dans le cas des chaudières à vapeur, le fluide caloporteur est de l'eau.

Dans une chaudière à tubes de fumées, les gaz de combustion circulent du brûleur jusqu'à la cheminée dans un faisceau de tubes immergés dans une calandre formant le réservoir d'eau. L'ensemble constitue le corps cylindrique de la chaudière.

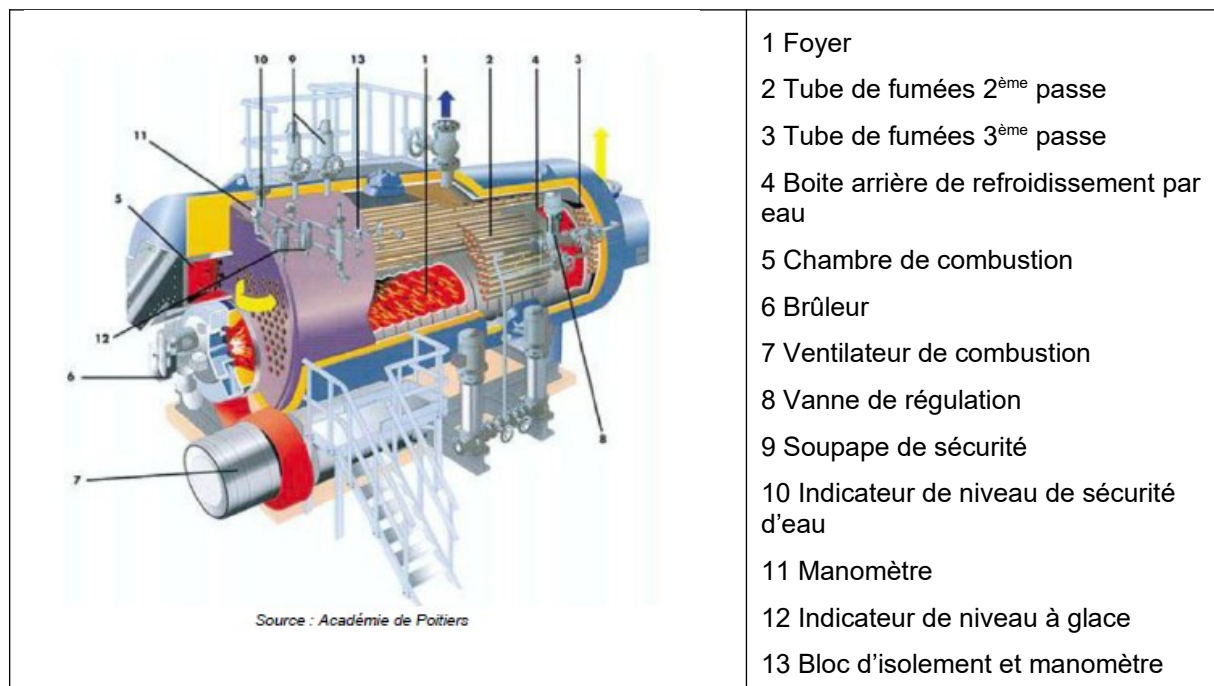


Figure 1 : Description d'une chaudière à tubes de fumée (source Académie de Poitiers)

L'alimentation en eau est effectuée à la partie inférieure de la calandre, le faisceau tubulaire étant entièrement noyé dans l'eau liquide.

Le tube foyer, qui se trouve dans le ballon même de la chaudière, sous le plan d'eau, collecte les gaz chauds en sortie de brûleur. Les gaz chauds, accumulés dans un premier caisson à l'arrière de la chaudière, sont véhiculés par un groupe de tubes immergés dans l'eau du ballon vers un second caisson à l'avant de la chaudière. Un second groupe de tubes immergés emmène les gaz vers un troisième caisson à l'arrière de la chaudière, ce troisième caisson débouche sur la cheminée pour évacuation des fumées vers l'extérieur après passage éventuel dans un économiseur qui assure le refroidissement des fumées.

Il y a donc circulation des gaz de combustion dans des tubes assurant, par conduction vers l'eau de la calandre, la vaporisation par apport de calories.

### **3. Identification des potentiels de dangers**

#### **3.1. Potentiels de dangers liés aux produits**

Le **gaz naturel** est une énergie fossile issue de la transformation naturelle, pendant des millions d'années, de matières organiques enfouies dans le sous-sol. Il est composé à 95% de méthane (CH<sub>4</sub>), à moins de 4% d'éthane et d'azote, ainsi qu'à 1% de dioxyde de carbone et de propane. Le gaz naturel est plus léger que l'air. C'est un gaz stable qui n'est ni corrosif ni toxique. Le Règlement CLP (Classifying Labelling and Packaging - Classement, étiquetage et emballage) classe notamment le méthane comme gaz extrêmement inflammable.

En cas de perte de confinement de gaz naturel, les phénomènes dangereux redoutés sont le feu torche, l'explosion d'un nuage de gaz (UVCE : Unconfined Vapour Cloud Explosion) et l'explosion de la chaufferie (VCE : Vapour Cloud Explosion).

#### **3.2. Potentiels de dangers liés aux équipements**

L'identification des dangers tient compte des différents équipements et de leurs dangers associés (présence de flamme, eau sous pression, etc.) ainsi que des différents modes de fonctionnement.

Le tableau ci-dessous présente une identification des dangers obtenue sur la base d'un travail préalable à l'analyse de risques.

Equipement	Mode de fonctionnement	Phénomène dangereux
Alimentation en gaz : - Soupapes ; - Tuyauteries	Tous les modes	Feu torche (inflammation immédiate) Explosion d'un nuage de gaz (inflammation retardée) Rejet de gaz aux soupapes (évacuation de la surpression)
Chambre de combustion (foyer)	Démarrage	Explosion de la chaudière
Capacité d'eau	Démarrage Fonctionnement normal	BLEVE, éclatement de la capacité d'eau
Distribution de la vapeur - Tuyauterie ; - Soupapes.	Fonctionnement normal	Eclatement d'une tuyauterie Rejet de vapeur aux soupapes (évacuation de la surpression)

Tableau 1 : Potentiels de dangers liés aux équipements

## 4. Réduction des potentiels de dangers

Pour réduire le risque à la source des potentiels de dangers, en particulier ceux relatifs au gaz naturel, les diamètres et longueurs des canalisations de gaz ainsi que la pression de gaz ont été optimisés.

En effet, la réduction du diamètre et de la pression permet en effet de réduire le débit en cas de fuite (le débit étant proportionnel au carré du diamètre et à la racine carrée de la pression relative) et ainsi réduire les distances d'effets en cas d'accident.

De même, le nombre de brides et de raccords sur les tuyauteries ont été limités pour éviter les éventuelles fuites dues aux interventions humaines.

## 5. Analyse du retour d'expérience

Ce chapitre présente une synthèse de l'accidentologie liée aux chaudières industrielles en France, qui alimente notamment l'analyse des risques. L'étude de l'accidentologie est basée en partie sur une analyse du BARPI concernant 121 événements survenus entre juin 1972 et février 2007 sur des chaudières alimentées au gaz naturel ou dont le retour d'expérience est transposable aux installations fonctionnant au gaz. 37 accidents étrangers du même type, survenus entre février 1973 et juillet 2007, ont aussi été pris en compte dans l'étude du BARPI. La synthèse est donnée en annexe 1.

La répartition des phénomènes dangereux générés par des chaudières au gaz est illustrée dans le diagramme ci-dessous.

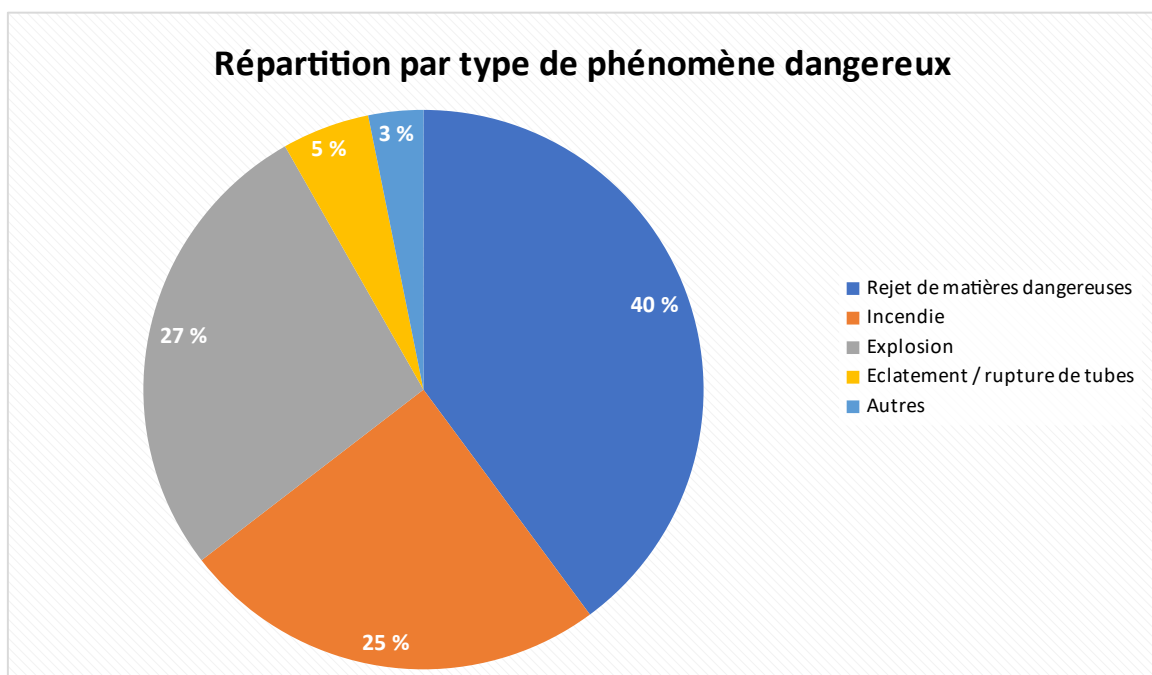


Figure 2 : Répartition des phénomènes parmi les cas impliquant des chaudières au gaz

Les phénomènes dangereux les plus représentatifs des chaudières à gaz sont l'explosion et l'incendie, qui concernent respectivement 27 et 25% des accidents étudiés.

Le rejet de matières dangereuses s'applique à 40% de ces accidents. Il peut être soit le phénomène initial, soit une conséquence de celui-ci. Le rejet de gaz est inclus dans cette catégorie.

L'éclatement et la rupture d'équipements sous pression peut également survenir, voire provoquer des atteintes aux installations à proximité.

Les scénarii accidentels impliquant les chaudières au gaz peuvent être catégorisés de la manière suivante :

- Les fuites de gaz en amont de la chaudière pouvant conduire à un incendie ou une explosion du bâtiment abritant la chaudière ;
- Les explosions dans la chambre de combustion de la chaudière ;
- Les accidents impliquant le circuit de vapeur ;
- Les autres cas.

La répartition par équipements et par phénomènes dangereux parmi l'accidentologie française est illustrée dans le diagramme ci-dessous.

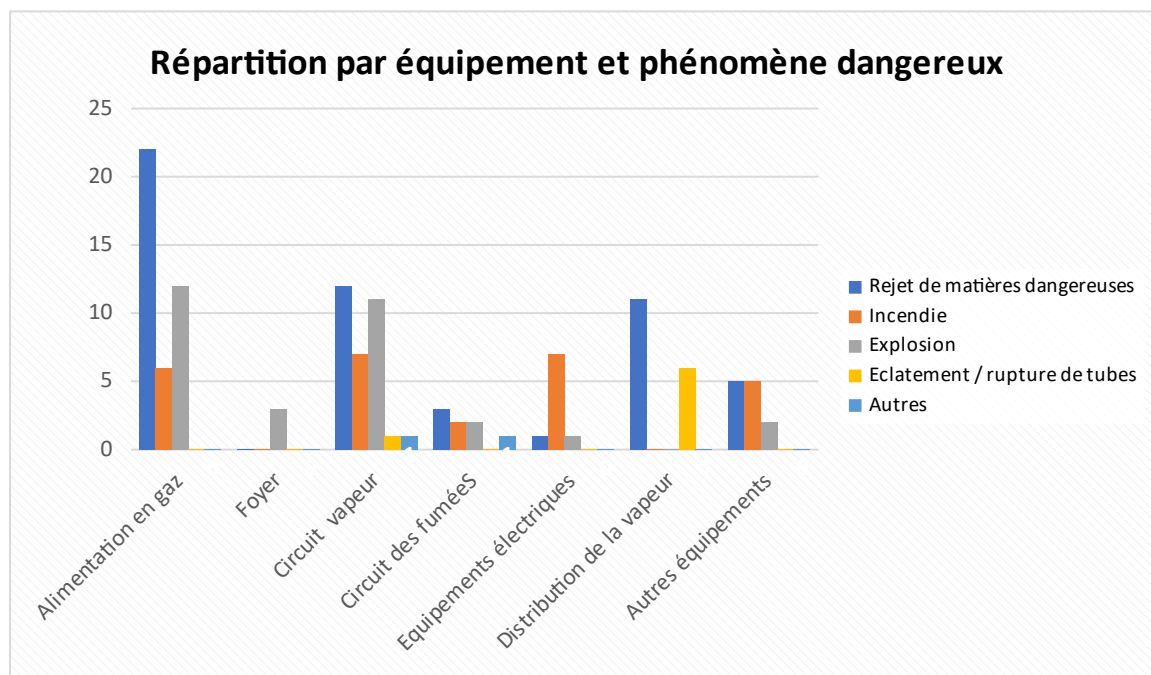


Figure 3 : Répartition par équipement et par phénomènes dangereux (France)

Les fuites de gaz sur le circuit d'alimentation de la chaudière peuvent être la conséquence d'événements accidentels tels que la rupture d'une tuyauterie ou une brèche par collision avec un chariot de manutention, par exemple. Elles peuvent faire suite à la défaillance d'équipements annexes à la tuyauterie, tels que les raccords, joints ou vannes. Autrement que par des défaillances mécaniques, le rejet du gaz à l'extérieur peut être provoqué par la mauvaise manipulation des organes de sectionnement, le plus souvent dans le cadre d'opérations de réparation ou de maintenance.



Les événements consécutifs aux fuites en amont de la chaudière ont les conséquences potentielles les plus graves.

L'apparition des conditions propices à des explosions dans la chambre de combustion est rare en phase normale d'exploitation. Celle-ci survient généralement durant les phases de mise en service ou de redémarrage de l'équipement, et peut être provoquée par :

- Le défaut de fermeture de l'alimentation en gaz, suite à la défaillance d'éléments mécaniques (électrovannes, clapets de détendeur, canalisation, etc.) pouvant mener à un décrochage de flamme ;
- Une pression trop faible du gaz aux injecteurs pouvant mener à un décrochage de flamme ;
- Un défaut de balayage avant rallumage ;
- Une erreur d'un opérateur conduisant à une prise de décision inadéquate, du fait de l'indisponibilité de l'information permettant d'établir l'existence possible ou avérée d'une atmosphère explosible à l'intérieur de la chambre de combustion (dysfonctionnement des équipements de surveillance et de mesure par exemple).

Les fortes pressions engendrées par ces événements et le caractère confiné de la chambre de combustion peuvent également conduire à des effets de surpression importants combinés à des effets missiles avec des distances pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres.

Le fluide caloporteur (eau) a été impliqué dans plusieurs cas d'explosion, d'incendie ou de ruine à l'intérieur de chaudières. Le mécanisme en jeu est généralement la vaporisation brutale du fluide surchauffé à la suite d'une perte de confinement accidentelle pouvant être causée par la présence d'eau dans le corps de chauffe.

Enfin, les tuyauteries de vapeur constituent des sources d'ignition pour les produits inflammables mis en contact.

Bien que minoritaires, d'autres scénarii d'accidents ont été observés sur des chaudières au gaz :

- Emission de fumées riches en monoxyde de carbone générée par une mauvaise combustion dans la chaudière qui peut être accentuée par le mauvais tirage d'une cheminée ;
- Explosion de la chaudière consécutive à l'accumulation de gaz dans la chambre de combustion du fait du mauvais tirage d'une cheminée ;
- Inflammation d'une gaine calorifugée par des fuites de fumées chaudes.

## 6. Analyse des risques et de scenarii d'accident

L'objectif de l'évaluation préliminaire des risques est de recenser et de hiérarchiser, de façon la plus exhaustive possible, les événements redoutés ou situations de dangers et les phénomènes dangereux associés susceptibles de se produire et pouvant potentiellement porter atteinte au personnel, aux populations et à l'environnement.

### 6.1. Méthodologie

L'analyse des risques technologiques, sous la responsabilité de l'exploitant, est réalisée par un groupe de travail pluridisciplinaire regroupant du personnel d'exploitation, de procédé, de maintenance et pilotée par le responsable Risques technologiques du site.

Cette analyse permet d'identifier toutes les causes susceptibles d'être directement ou indirectement (effets dominos) à l'origine d'un accident.

L'analyse des risques est réalisée pour toutes les sections de l'installation étudiée et pour toutes les phases de fonctionnement (fonction normale, phases d'arrêt et de démarrage, maintenance, aires de stockage de produits dangereux...).

A partir, des schémas détaillés des installations, du retour d'expérience, l'analyse permet de déterminer tous les événements redoutés, tous les événements à l'origine de l'événement redouté ainsi que les phénomènes dangereux associés.

L'analyse permet également d'identifier les mesures de sécurité de prévention ou de protection (détection, limitation des effets...) mises en œuvre.

La méthodologie employée pour l'évaluation préliminaire des risques est l'Analyse préliminaire des risques (APR).

### 6.2. Synthèse

Les situations de dangers identifiées lors de l'évaluation préliminaire des risques (cf. annexe 2) sont :

- La perte de confinement d'une tuyauterie de gaz naturel alimentant la chaudière ;
- L'accumulation de gaz ou de vapeurs inflammables (fumées) dans la chambre de combustion avant le démarrage de la chaudière ;
- L'éclatement de la capacité d'eau.

### 6.3. Analyse détaillée des risques

L'objectif de l'analyse détaillée des risques est d'effectuer une cotation en probabilité d'occurrence, cinétique, intensité des effets et gravité des conséquences des scénarii d'accident.

Le but est faire la démonstration de la maîtrise des risques liée à l'exploitation de l'installation.

La méthodologie mise en place dans cette étude de dangers est basée sur la méthode du « nœud papillon ».

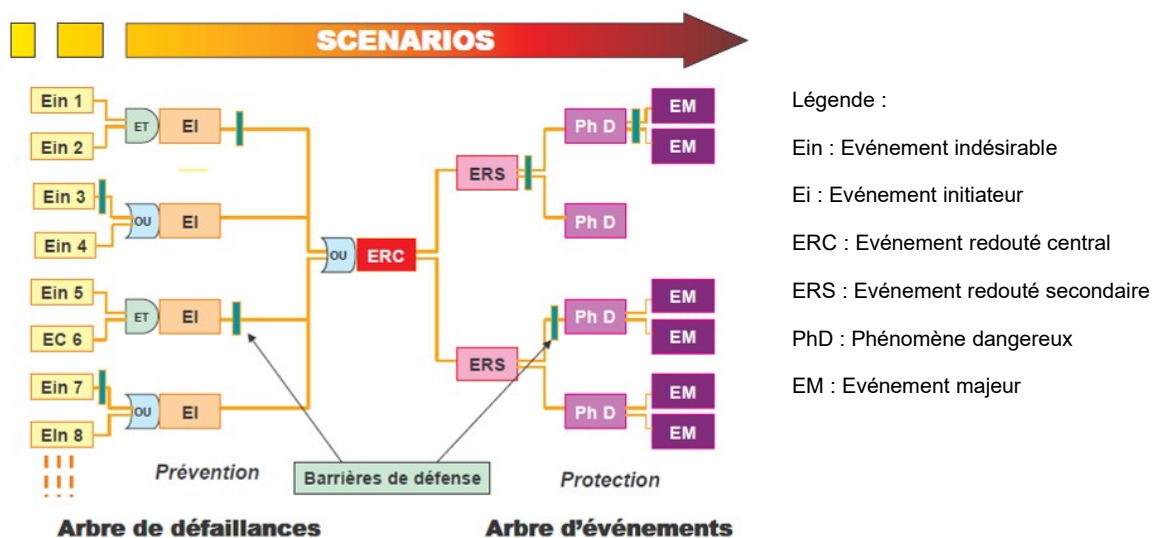


Figure 4 : Présentation des nœuds papillons

Le point central du nœud papillon est l'événement redouté central (ERC) qui désigne généralement la situation de dangers. La partie gauche s'apparente à un arbre de défaillances s'attachant à identifier les causes ou événements initiateurs (EI) de la situation de dangers. La partie droite s'attache à identifier les conséquences ou phénomènes dangereux (PhD) de la situation de dangers comme le ferait un arbre d'événements.

Sur le schéma, les barrières de sécurité sont représentées sous la forme de barres verticales pour symboliser le fait qu'elles s'opposent au développement d'un scénario d'accident.

De fait dans cette représentation, chaque chemin conduisant d'une défaillance (événement indésirable ou courant) jusqu'à l'apparition de dommages au niveau des éléments vulnérables (personnel, population, environnement) désigne un scénario d'accident particulier pour une même situation de dangers (événement redouté central).

#### 6.4. Probabilité d'occurrence d'un scénario d'accident

La probabilité d'occurrence d'un scénario d'accident est assimilée à celle du phénomène dangereux associé.

L'évaluation de la probabilité d'occurrence d'un phénomène dangereux utilise des éléments quantifiés en tenant compte de la spécificité de l'installation considérée. Elle s'appuie sur la fréquence des événements initiateurs spécifiques ou génériques et sur les niveaux de confiance des mesures de maîtrise du risque agissant en prévention ou en limitation des effets du phénomène dangereux.

Ces éléments sont confrontés au retour d'expérience relatif aux incidents et accidents survenus sur l'installation considérée ou des installations comparables.

La cotation de la probabilité d'occurrence d'un scénario d'accident est réalisée conformément à l'échelle définie dans l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation.

Le tableau ci-dessous reprend l'échelle de cotation de la probabilité d'occurrence.

	E	D	C	B	A
Qualitative (les définitions entre les guillemets sont valables si le nombre d'installation et le retour d'expérience sont insuffisants)	Événement possible mais extrêmement peu probable  « n'est pas impossible au vu des connaissances actuelles, mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années d'installation... »	Événement très improbable  « s'est déjà produit dans le secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité »	Événement improbable  « un événement similaire dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité »	Événement probable  « s'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie de l'installation »	Événement courant  « s'est produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installation malgré d'éventuelles mesures correctives »
Semi-quantitative	Cette échelle est intermédiaire entre les échelles qualitative et quantitative, et permet de tenir compte des mesures de maîtrise des risques mise en place				
Quantitative (par unité et par an)	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	

Tableau 2 : Echelle de cotation de la probabilité d'occurrence

## 6.5. Cinétique

La cinétique d'un accident est caractérisée par une phase pré-accidentelle et une phase post-accidentelle définies comme suit :

- Phase pré-accidentelle : phase antérieure à la libération du potentiel de danger ;
- Phase post-accidentelle : phase postérieure à la libération du potentiel de danger. Cette phase est déterminée par la dynamique du phénomène dangereux et l'exposition des personnes physiques.

La cinétique de déroulement d'un accident est qualifiée de lente, si elle permet de mettre en place le plan particulier d'intervention (PPI) pour protéger les personnes exposées à l'extérieur du site avant qu'elles ne soient atteintes par les effets du phénomène dangereux.

## 6.6. Intensité des effets

L'intensité des effets des phénomènes dangereux est définie par rapport à des valeurs de référence exprimées sous forme de seuils d'effets toxiques, d'effets de surpression, d'effets liés à l'impact d'un projectile et d'effets thermiques, pour les hommes et les structures.

Les valeurs seuils de référence retenues sont celles de l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation, dit arrêté « PICG ».

### Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets toxiques

Les valeurs de référence pour les installations classées sont les suivantes :

		Seuil des effets toxiques sur l'homme par inhalation	
		Types d'effets constatés	Concentration d'exposition
Exposition de 1 à 60 minutes	Létaux		SELS (CL5%) SEL (CL1%)
	Irréversibles		SEI
	Réversibles		SER

Tableau 3 : Valeurs de référence de seuils de toxicité aiguë (SELS : seuil des effets létaux significatif ; SEL : seuil des effets létaux ; SEI : seuil des effets irréversibles ; SER : seuils des effets réversibles ; CL : concentration létale)

Pour les installations classées figurant sur la liste prévue au IV de l'article L. 515-8 du code de l'environnement, la délimitation des différentes « zones de dangers pour la vie humaine » mentionnées à l'article L. 515-16 du code de l'environnement correspond aux seuils d'effets de référence suivants :

- Les seuils des effets irréversibles (SEI) délimitent la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine » ;
- Les seuils des effets létaux (SEL) correspondant à une CL 1 % délimitent la « zone des dangers graves pour la vie humaine » ;
- Les seuils des effets létaux significatifs (SELS) correspondant à une CL 5 % délimitent la « zone des dangers très graves pour la vie humaine ».

### Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets de surpression

Les valeurs de référence pour les installations classées sont les suivantes :

	Seuil	Commentaire
<b>Effet sur l'homme</b>	20 mbar	Seuils des effets délimitant la zone des effets indirects par bris de vitre sur l'homme
	50 mbar	Seuils des effets irréversibles délimitant la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine »
	140 mbar	Seuil des effets létaux délimitant la « zone des dangers graves pour la vie humaine »
	200 mbar	Seuil des effets létaux significatifs délimitant la « zone des dangers très graves pour la vie humaine »
<b>Effets sur les structures</b>	20 mbar	Seuil des destructions significatives de vitres
	50 mbar	Seuil des dégâts légers sur les structures
	140 mbar	Seuil des dégâts graves sur les structures
	200 mbar	Seuil des effets domino
	300 mbar	Seuil des dégâts très graves sur les structures

*Tableau 4 : Valeurs de référence de seuils des effets de surpression sur l'homme et les structures*

### Valeurs relatives aux seuils d'effets liés à l'impact d'un projectile ou effets de projection

Compte tenu des connaissances limitées en matière de détermination et de modélisation des effets de projection, l'évaluation des effets de projection d'un phénomène dangereux nécessite une analyse au cas par cas.

 <b>ArcelorMittal</b>	<b>ETUDE DE DANGERS</b> SITE DE DE BASSE-INDRE <b>CHAUDIÈRE VAPEUR</b>	Janvier 2022 <i>(Révision 2)</i>
---	--	-------------------------------------

Pour la délimitation des zones d'effets sur l'homme ou sur les structures des installations classées, il n'existe pas à l'heure actuelle de valeur de référence.

### Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets thermiques

Les valeurs de référence pour les installations classées sont les suivantes :

	Seuil	Commentaire
<b>Effet sur l'homme</b>	3 kW/m <sup>2</sup> 600 [kW/m <sup>2</sup> ] <sup>4/3</sup> .s	Seuils des effets irréversibles délimitant la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine »
	5 kW/m <sup>2</sup> 1 000 [kW/m <sup>2</sup> ] <sup>4/3</sup> .s	Seuil des effets létaux délimitant la « zone des dangers graves pour la vie humaine »
	8 kW/m <sup>2</sup> 1 800 [kW/m <sup>2</sup> ] <sup>4/3</sup> .s	Seuil des effets létaux significatifs délimitant la « zone des dangers très graves pour la vie humaine »
<b>Effets sur les structures</b>	5 kW/m <sup>2</sup>	Seuil des destructions significatives de vitres
	8 kW/m <sup>2</sup>	Seuil des effets domino et correspondant au seuil de dégâts graves sur les structures
	16 kW/m <sup>2</sup>	Seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton
	20 kW/m <sup>2</sup>	Seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton
	200 kW/m <sup>2</sup>	Seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes

Tableau 5 : Valeurs de référence de seuils des effets thermiques sur l'homme et les structures

### 6.7. Gravité des conséquences

La gravité des conséquences potentielles prévisibles d'un accident sur les personnes physiques à l'extérieur du site, résulte de la combinaison entre l'intensité du phénomène dangereux et de la vulnérabilité des personnes potentiellement exposées à ces effets.

La cotation de gravité des conséquences humaines d'un accident, à l'extérieur des installations d'un scénario d'accident est réalisée conformément à l'échelle définie dans l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation.

 <b>ArcelorMittal</b>	<b>ETUDE DE DANGERS</b> SITE DE DE BASSE-INDRE <b>CHAUDIÈRE VAPEUR</b>	Janvier 2022 <i>(Révision 2)</i>
---	--	-------------------------------------

Le tableau ci-dessous reprend l'échelle de cotation de la gravité des conséquences.

Niveau de gravité	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles
<b>Désastreux</b>	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées
<b>Catastrophique</b>	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées
<b>Important</b>	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
<b>Sérieux</b>	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
<b>Modéré</b>	Pas de zone létale à l'extérieur du site		Présence humaine inférieure à 1 personne

Tableau 6 : Echelle de cotation de la gravité des conséquences

## 6.8. Analyse détaillée des risques

### 6.8.1. Evaluation de l'intensité des effets des phénomènes dangereux

Les résultats de l'intensité des effets des phénomènes dangereux sont issus du guide pour la prise en compte des chaudières industrielles dans la rédaction d'une étude de dangers (Rapport d'étude n° DRA-14-141532-12702 version du 19 décembre 2016).

Concernant la tuyauterie de gaz naturel, étant donné qu'il s'agit d'un prolongement de la canalisation existante, les résultats seront donc tirés de l'étude de dangers existante du site.

### 6.8.2. Cotation de la probabilité d'occurrence des scénarii d'accident

La méthode pour évaluer la fréquence d'occurrence des événements initiateurs d'une situation de dangers est l'approche semi-quantitative. Cette méthode est bien adaptée aux causes, dans la mesure où les fréquences se rapportent à des événements représentatifs de la vie d'une installation qui sont donc identifiables et estimables en fréquence.

Le tableau ci-dessous synthétise les différentes probabilités pour les événements initiateurs identifiés dans l'analyse préliminaire des risques



Événement initiateur	Classe de fréquence par an	Justification
<p>Perte de confinement « réduite » d'une tuyauterie due à la corrosion, l'érosion ou la fatigue :</p> <p>DN100 et pression 4 bar</p> <p>DN65 et pression 300 mbar</p>	<p style="text-align: center;"><math>1.10^{-4}</math> F4</p> <p style="text-align: center;"><math>0,25.10^{-4}</math> F4</p>	<p>Selon le Purple Book, la probabilité d'avoir une fuite (50 mm maxi) sur une tuyauterie est en fonction du diamètre :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diamètre inférieur à 75 mm : <math>5.10^{-6}</math>/m/an ;</li> <li>- Diamètre de 75 à 150 mm : <math>2.10^{-6}</math>/m/an ;</li> <li>- Diamètre supérieur à 150 mm : <math>5.10^{-7}</math>/m/an.</li> </ul> <p>Le diamètre de la tuyauterie principale est de 100 mm pour une longueur de 50 m, ce qui représente <math>1.10^{-4}</math> événement/an, soit une classe de fréquence de F4.</p> <p>Le diamètre de la tuyauterie alimentant la chaudière est de 65 mm pour une longueur de 5 m, ce qui représente <math>0,25.10^{-4}</math> événement/an, soit une classe de fréquence de F4.</p>
<p>Montée en pression dans le réseau de gaz liée à une défaillance de régulation ou d'une erreur humaine.</p>	<p><math>10^{-2}</math> à <math>10^{-1}</math> F1</p>	<p>Selon l'INERIS, la défaillance d'une boucle de régulation est de <math>10^{-2}</math> à <math>10^{-1}</math> événement/an, soit une classe de fréquence F1.</p> <p>La surpression sera évacuée par les soupapes de sécurité prévues à cet effet.</p>
<p>Mauvaise régulation du débit d'air, du débit de gaz ou des fumées</p>	<p><math>10^{-2}</math> à <math>10^{-1}</math> F1</p>	<p>Selon l'INERIS, la défaillance d'une boucle de régulation est de <math>10^{-2}</math> à <math>10^{-1}</math> événement/an, soit une classe de fréquence F1.</p>
<p>Incendie de grande ampleur</p>	<p><math>10^{-3}</math> à <math>10^{-2}</math> F2</p>	<p>Selon l'INERIS, la fréquence d'avoir un incendie est de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>10^{-2}</math>/an à <math>10^{-1}</math>/an pour un incendie de faible ampleur ;</li> <li>- <math>10^{-3}</math>/an à <math>10^{-2}</math>/an pour un incendie de grande ampleur.</li> </ul> <p>Seul un incendie de grande ampleur peut engendrer un BLEVE de la calandre, une classe de fréquence de F2 sera retenue.</p>
<p>Choc sur une canalisation aérienne.</p>	<p><math>10^{-4}</math> à <math>10^{-3}</math> F3</p>	<p>Le choc sur une canalisation peut être assimilé à l'intervention d'un tiers (impact par véhicule, etc.).</p> <p>Selon l'INERIS, l'intervention d'un tiers est de <math>10^{-4}</math> à <math>10^{-3}</math> événement/an, soit une classe de fréquence F3.</p>

*Tableau 7 : Cotation des événements initiateurs*

	<p align="center"><b>ETUDE DE DANGERS</b>          SITE DE DE BASSE-INDRE  <b>CHAUDIÈRE VAPEUR</b></p>	<p align="center">Janvier 2022  <i>(Révision 2)</i></p>
---	--	---

Effets dominos	Classe de fréquence par an	Justification
Explosion de la chambre de combustion de la chaudière « STEIN »	F1	Données issues de l'étude de dangers du site réalisée en 2013 par la société ANTEA-GROUP
Eclatement pneumatique de la chaudière « STEIN »	F1	Données issues de l'étude de dangers du site réalisée en 2013 par la société ANTEA-GROUP

*Tableau 8 : Cotation des effets dominos*

### 6.8.3. Cotation des phénomènes dangereux

Pour estimer les fréquences d'occurrence des phénomènes dangereux (inflammation, explosion d'un nuage de gaz, fuite toxique) à partir des fréquences d'occurrence des événements redoutés centraux, des probabilités intermédiaires sont prises en compte.

#### Probabilité d'inflammation immédiate d'un nuage de gaz

La probabilité d'inflammation immédiate d'un gaz est conditionnée par différents paramètres :

- Les caractéristiques du produit : un gaz très réactif a une probabilité d'inflammation plus élevée qu'un gaz peu réactif ;
- La nature du rejet : un rejet instantané lié à une rupture catastrophique a une probabilité d'inflammation plus élevée qu'un rejet continu ;
- La présence de sources d'inflammation : la présence de sources d'inflammation est liée à la taille du rejet et à sa possibilité d'atteindre des zones où des sources d'inflammation sont possibles.

Pour les installations fixes, les probabilités d'inflammation d'un gaz sont données dans le tableau suivant :

	Probabilité d'inflammation immédiate	
	Gaz peu réactif	Gaz réactif
Rejet continu : inférieur à 10 kg/s Rejet instantané : inférieur à 1 000 kg	0,02	0,2
Rejet continu : entre 10 kg/s et 100 kg/s Rejet instantané : entre 1 000 kg et 10 000 kg	0,04	0,5
Rejet continu : supérieur à 100 kg/s Rejet instantané : supérieur à 10 000 kg	0,09	0,7

Tableau 9 : Probabilités d'inflammation d'un gaz pour une installation fixe

Selon le TNO (Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek – Organisation néerlandaise pour la recherche scientifique appliquée), le gaz naturel (composé de méthane) est un gaz peu réactif.



**ETUDE DE DANGERS**  
SITE DE DE BASSE-INDRE  
**CHAUDIÈRE VAPEUR**

Janvier 2022  
*(Révision 2)*

	<b>ETUDE DE DANGERS</b> SITE DE DE BASSE-INDRE <b>CHAUDIÈRE VAPEUR</b>	Janvier 2022 <i>(Révision 2)</i>
---	--	-------------------------------------

### Probabilité d'inflammation différée d'un nuage de gaz voire l'explosion

La probabilité d'inflammation différée d'un gaz dépend :

- De la taille du nuage et de la probabilité d'atteinte d'une source d'inflammation ;
- Des conditions météorologiques ;
- De la direction du vent.
- De l'encombrement de la zone.

Selon le TNO, pour les sites industriels tels qu'ArcelorMittal (industrie lourde), la probabilité d'inflammation différée (délai d'ignition d'une minute) est de 0,7.

Les probabilités d'inflammation immédiate ou différée du gaz naturel sont données dans le tableau suivant :

Type de gaz	Inflammation immédiate	Non-Inflammation immédiate	Inflammation différée
Gaz naturel (GN)	$p=0,09$ $NC_{int}=1$	$p=(1-0,09)=0,91$ $NC_{int}=0$	$p=0,7$ $NC_{int}=0$

Tableau 10 : Probabilités d'inflammation du gaz naturel

#### 6.8.4. Cotation de la gravité des conséquences des scénarii d'accident

L'évaluation de la gravité des conséquences d'un scénario d'accident est faite suivant les méthodes décrites par la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003. L'objectif de cette fiche est de fournir des règles de comptage des personnes se trouvant exposées à des effets (létaux ou irréversibles).

Phénomène dangereux	Type d'effet	Seuil	Gravité	
<b>Alimentation principale en gaz naturel (prolongation de la canalisation existante)</b>				
1	Feu torche suite à la rupture guillotine de la tuyauterie aérienne de gaz naturel	Thermique	SELS	Aucun d'effet à l'extérieur du site
			SEL	Aucun d'effet à l'extérieur du site

Phénomène dangereux		Type d'effet	Seuil	Gravité
	<i>(DN100 – 4 bars)</i>		SEI	Aucun d'effet à l'extérieur du site
			Aucune gravité	
2	<i>Explosion d'un nuage de gaz suite à la rupture guillotine de la canalisation de gaz naturel (DN100 – 4 bars)</i>	Thermique	SELS	Aucun d'effet à l'extérieur du site
			SEL	Aucun d'effet à l'extérieur du site
			SEI	Aucun d'effet à l'extérieur du site
				Aucune gravité
3	<i>(DN100 – 4 bars)</i>	Surpression	SELS	Pas d'effet
			SEL	Pas d'effet
			SEI	Aucun effet à l'extérieur
				→ Effets indirects par bris de vitres
<b>Nouvelle chaudière</b>				
<b>Alimentation en gaz naturel</b>				
4	<i>Feu torche suite à la rupture guillotine de la tuyauterie aérienne de gaz naturel (DN65 – 300 mbar)</i>	Thermique	SELS	Aucun d'effet à l'extérieur du site
			SEL	Aucun d'effet à l'extérieur du site
			SEI	Aucun d'effet à l'extérieur du site
				Aucune gravité
5	<i>Explosion d'un nuage de gaz suite à la rupture guillotine de la canalisation de gaz naturel (DN65 – 300 mbar)</i>	Thermique	SELS	Aucun d'effet à l'extérieur du site
			SEL	Aucun d'effet à l'extérieur du site
			SEI	Aucun d'effet à l'extérieur du site
				Aucune gravité
6	<i>(DN65 – 300 mbar)</i>	Surpression	SELS	Pas d'effet
			SEL	Pas d'effet
			SEI	Aucun effet à l'extérieur
				Aucune gravité

Phénomène dangereux		Type d'effet	Seuil	Gravité
7	<i>Explosion de la chambre de combustion (17 m<sup>3</sup>)</i>	Surpression	SELS	Aucun d'effet à l'extérieur du site
			SEL	Aucun d'effet à l'extérieur du site
			SEI	Aucun d'effet à l'extérieur du site
			→ Effets indirects par bris de vitres	
8	<i>BLEVE de la capacité d'eau (calandre de 27 m<sup>3</sup> et pression de timbre de 15 bars)</i>	Surpression	SELS	Aucun d'effet à l'extérieur du site
			SEL	Aucun d'effet à l'extérieur du site
			SEI	Aucun d'effet à l'extérieur du site
			→ Effets indirects par bris de vitres	

Tableau 11: Gravité des conséquences

## 7. Effets dominos

### 7.1. De la nouvelle vers les installations existantes

En cas de rupture de la canalisation principale de gaz naturel, seuls les effets thermiques d'un feu torche pourrait potentiellement impacter les installations à proximité : la chaudière « STEIN » et les bâches d'eau alimentaire et de saumure (communes aux chaudières).

- Toutes les chaudières sont alimentées par le même réseau de gaz naturel. En conséquence, en fonction de l'emplacement de la brèche, les chaudières seraient plus ou moins impactées soit par manque de gaz, soit détruites par effets thermiques.
- Quant à la bâche alimentaire et à la bâche de saumure, le rayonnement thermique (au même titre qu'un incendie à proximité) générerait l'éclatement des bâches (BLEVE) avec des effets missiles.

L'explosion de la chaudière impacterait par effet de surpression, la chaudière « STEIN » et les bâches d'eau alimentaire et de saumure (communes aux chaudières) avec pour conséquence leur destruction.

La canalisation principale de gaz naturel serait également impactée et en conséquence générerait un feu torche.

Dans tous les cas, les effets générés ne seraient pas supérieurs à ceux déjà identifiés.

### 7.2. Des installations existantes vers la nouvelle chaudière

Sur la base de l'étude de dangers du site de 2003 réalisée par ANTEA-GROUP, seul la chaudière « STEIN » pourrait générer des effets dominos. Il s'agit de :

- L'explosion de la chambre de combustion ;
- L'éclatement pneumatique de la chaudière.

Les conséquences, serait la destruction de la nouvelle chaudière et la rupture de canalisation principale de gaz naturel qui générerait un feu torche.

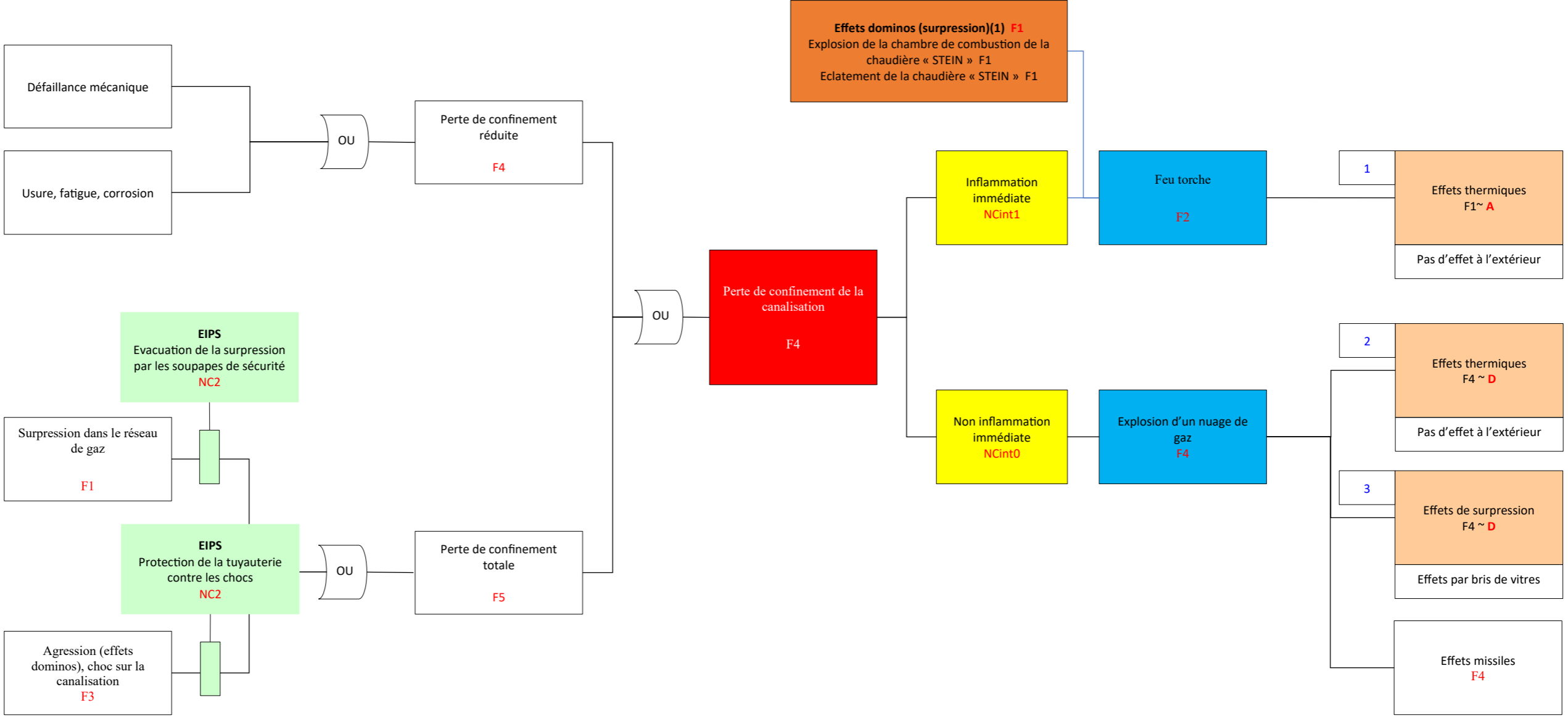
Dans tous les cas, les effets générés ne seraient pas supérieurs.



**8. Synthèse des scenarii d'accident**

**8.1. Présentation des scenarii d'accident (nœuds papillons)**

Perte de confinement de la tuyauterie de gaz naturel (DN100 et 4 bars)

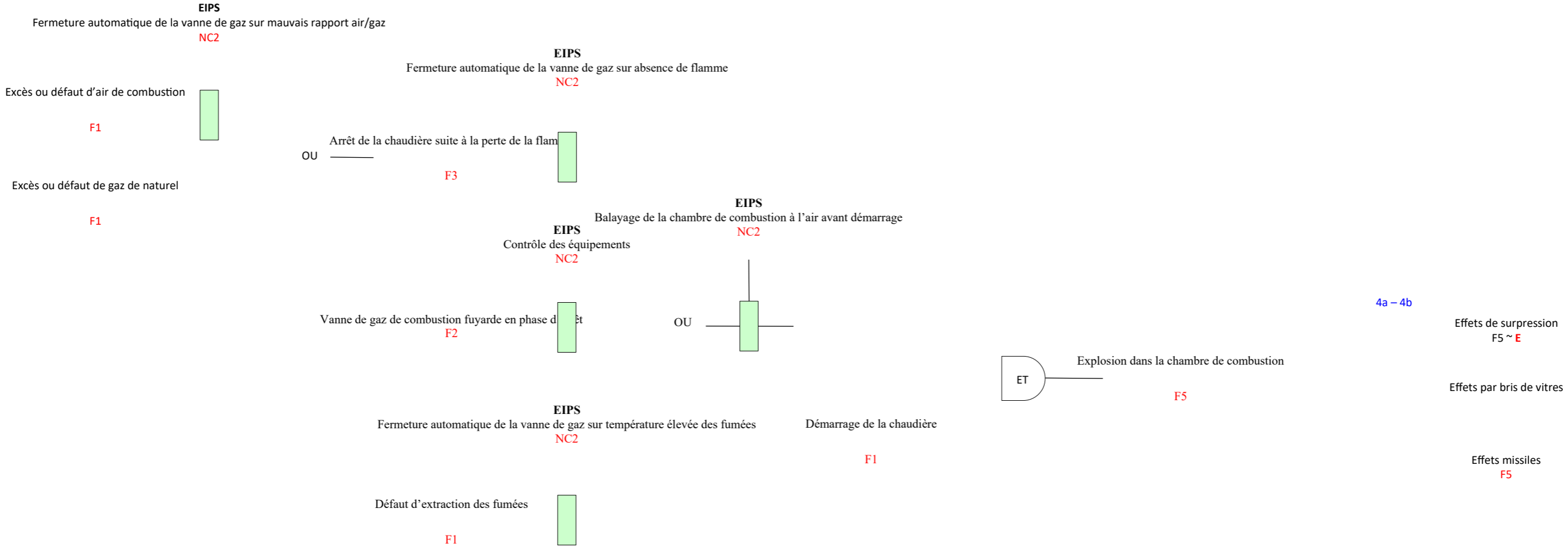


Les résultats de la probabilité d'occurrence des effets dominos sont issus :

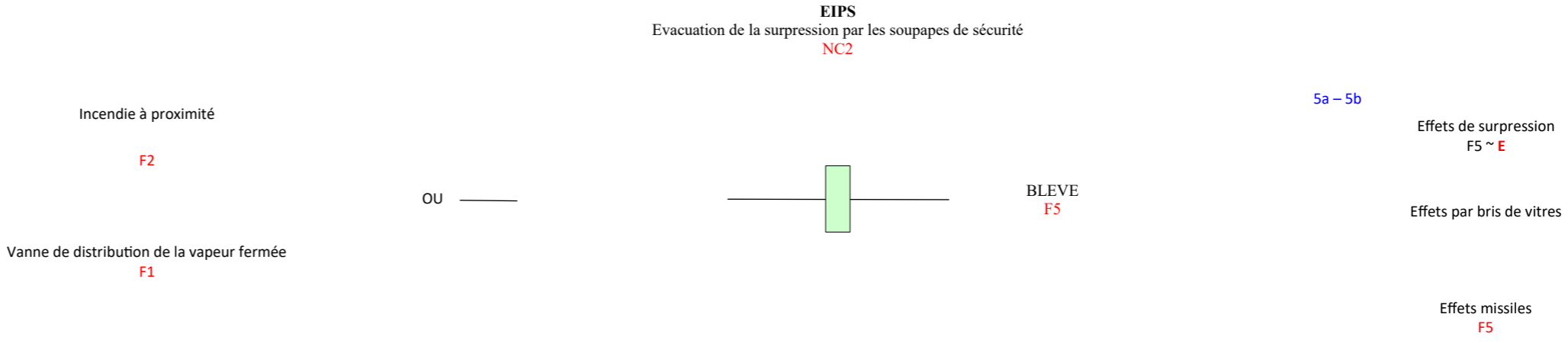
(1) De l'étude de dangers du site pour l'alimentation principale en gaz naturel des chaudières (en date de 2013).  
**Perte de confinement de la tuyauterie de gaz naturel (DN65 et 300 mbar)**



**Explosion de la chambre de combustion (volume de 17 m<sup>3</sup>)**



**Explosion de la capacité d'eau (calandre de 27 m<sup>3</sup> et pression de timbre de 15 bars)**



## 8.2. Présentation des phénomènes dangereux

N° PhD	Phénomène dangereux	Probabilité	Type d'effets	Distance des effets très graves pour la vie humaine (m)	Distance des effets graves pour la vie humaine (m)	Distance des effets irréversibles pour la vie humaine (m)	Distance des effets indirects par bris de vitre (m)	Cinétique
<b>Alimentation principale en gaz naturel (prolongation de la canalisation existante)</b>								
1 <sup>(1)</sup>	Feu torche suite à la rupture guillotine de la tuyauterie aérienne de gaz naturel (DN100 – 4 bars)	A	Thermique	19 m	20 m	22 m		Rapide
2 <sup>(1)</sup>	Explosion d'un nuage de gaz suite à la rupture guillotine de la canalisation de gaz naturel (DN100 – 4 bars)	D	Thermique	10m	10 m	11 m		Rapide
3 <sup>(1)</sup>		D	Surpression	Non atteint	Non atteint	26 m	54 m	Rapide
<b>Nouvelle chaudière</b>								
4 <sup>(2)</sup>	Feu torche suite à la rupture guillotine de la tuyauterie aérienne de gaz naturel (DN65 – 300 mbar)	E	Thermique	12 m	13 m	14 m		Rapide
5 <sup>(2)</sup>	Explosion d'un nuage de gaz suite à la rupture guillotine de la canalisation de gaz naturel (DN65 – 300 mbar)	D	Thermique	7 m	7 m	8 m		Rapide
6 <sup>(2)</sup>		D	Surpression	Non atteint	Non atteint	8 m	16 m	Rapide
7 <sup>(2)</sup>	Explosion de la chambre de combustion (Volume de 17 m <sup>3</sup> )	E	Surpression	12 m	16 m	38 m	76 m	Rapide
8 <sup>(2)</sup>	BLEVE de la capacité d'eau (Calandre de 27 m <sup>3</sup> et pression de timbre de 15 bars)	E	Surpression	15 m	19 m	40 m	80 m	Rapide

Les résultats de l'intensité des effets sont issus :

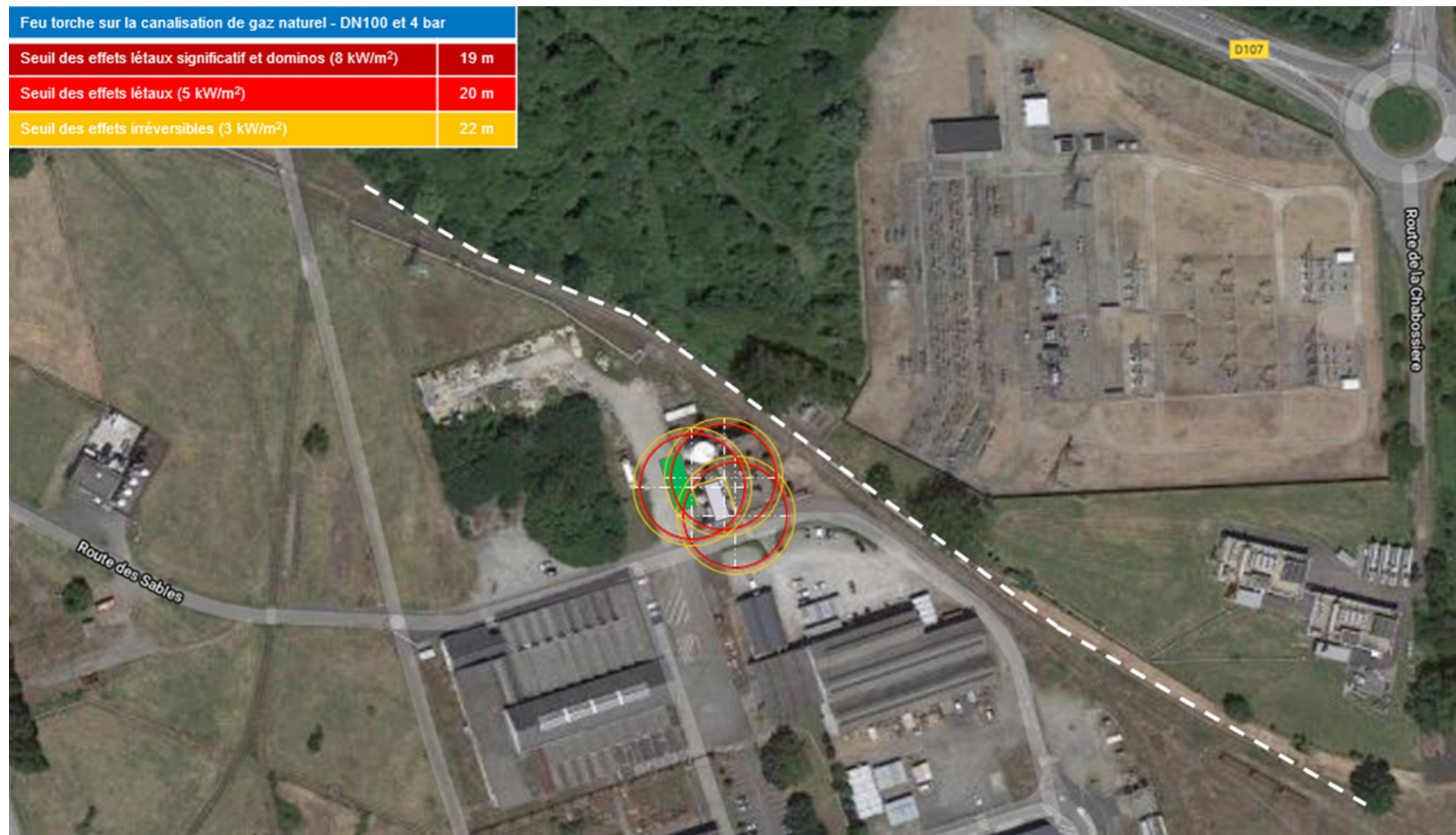
(2) De l'étude de dangers du site pour l'alimentation principale en gaz naturel des chaudières (en date de 2013).

(3) Du guide pour la prise en compte des chaudières industrielles dans la rédaction d'une étude de dangers (Rapport d'étude n° DRA-14-141532-12702 version du 19 décembre 2016).

### 8.3. Cartographies

Perte de confinement de l'alimentation en gaz naturel (prolongation de l'alimentation principale) – DN100 et 4 bars

Feu torche



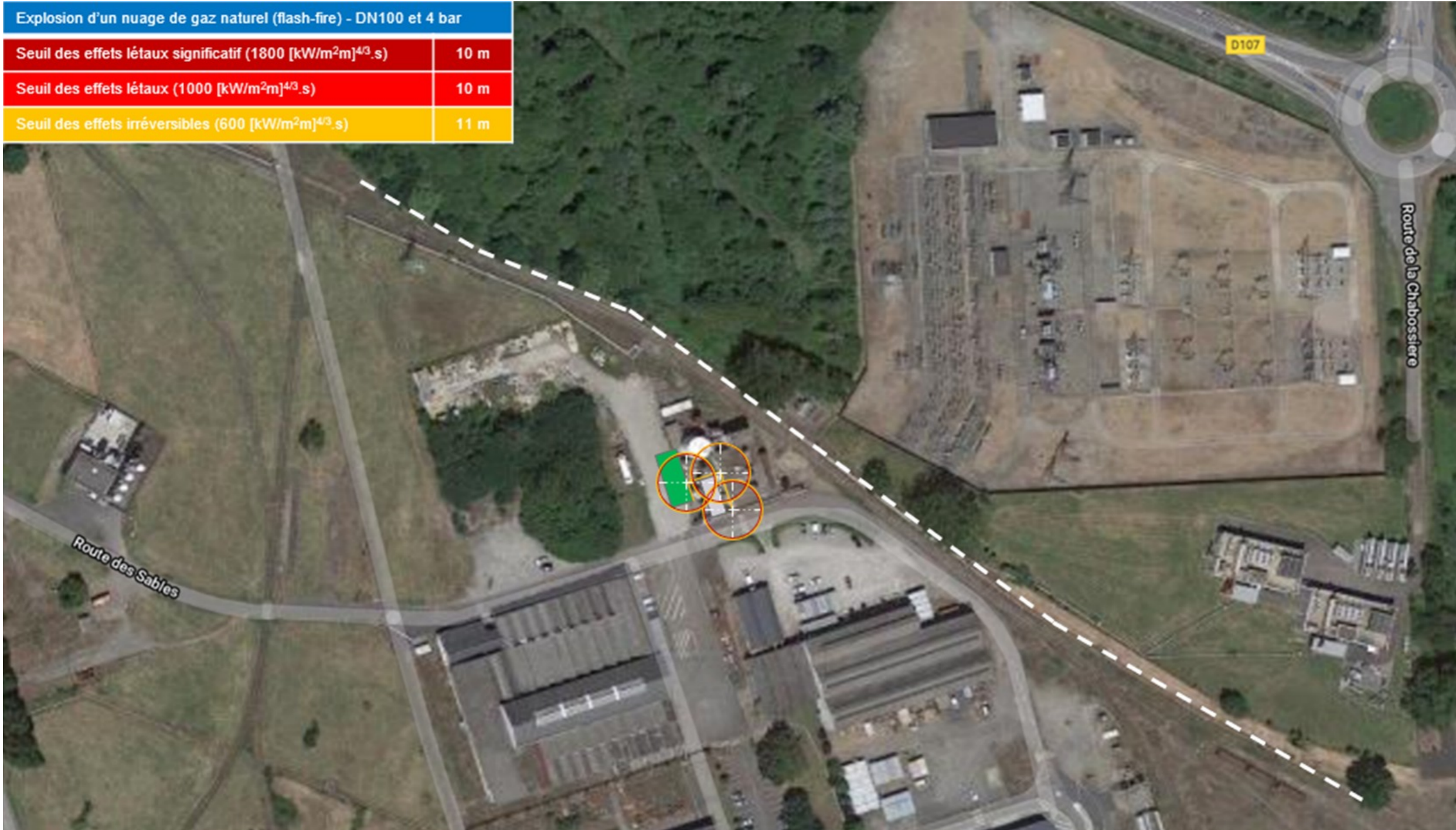


**ETUDE DE DANGERS**  
SITE DE DE BASSE-INDRE  
**CHAUDIÈRE VAPEUR**

Janvier 2022  
*(Révision 2)*

Explosion d'un nuage de gaz (flash-fire)

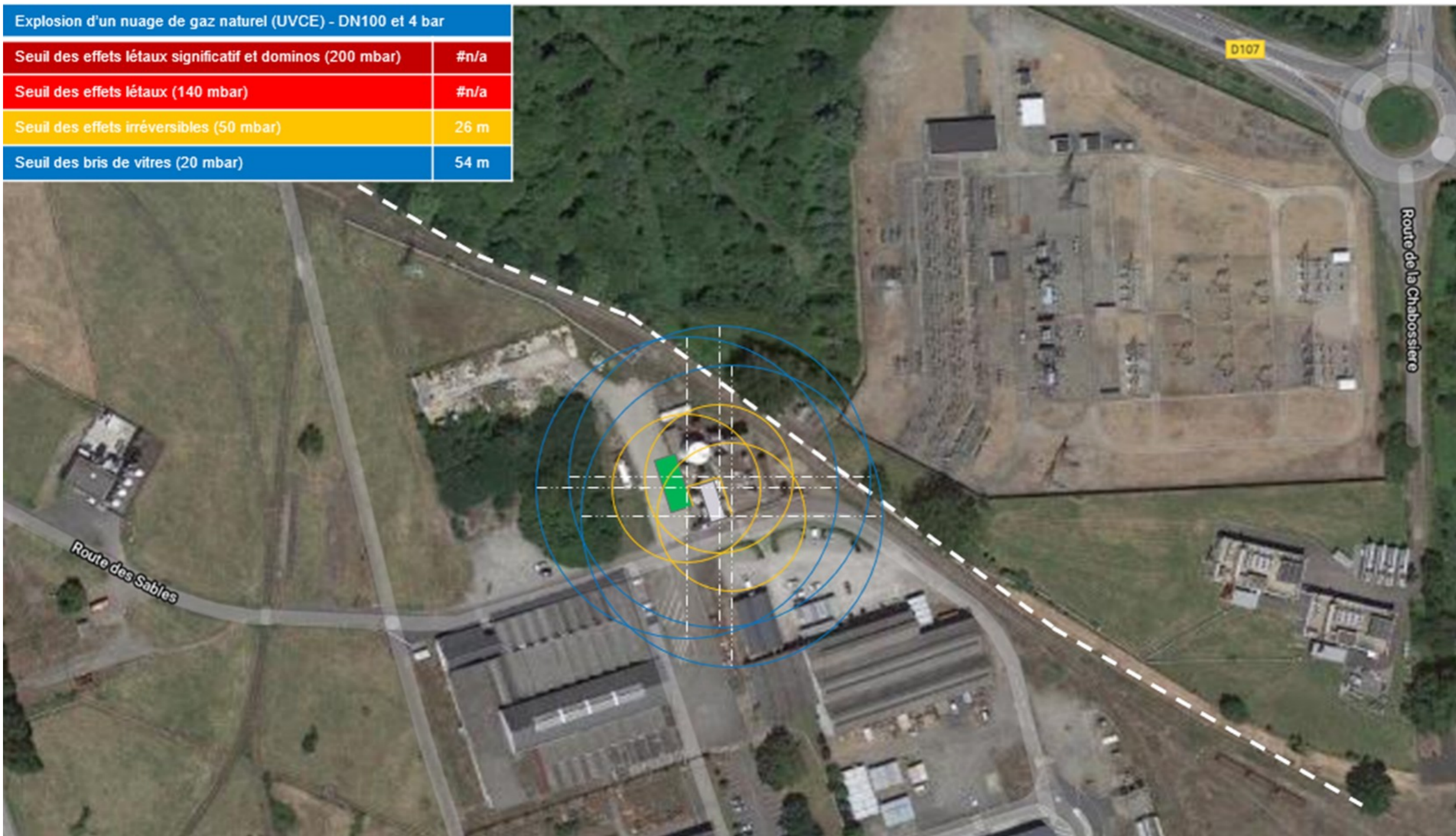
Explosion d'un nuage de gaz naturel (flash-fire) - DN100 et 4 bar	
Seuil des effets létaux significatif (1800 [kW/m <sup>2</sup> m] <sup>4/3</sup> .s)	10 m
Seuil des effets létaux (1000 [kW/m <sup>2</sup> m] <sup>4/3</sup> .s)	10 m
Seuil des effets irréversibles (600 [kW/m <sup>2</sup> m] <sup>4/3</sup> .s)	11 m





Explosion d'un nuage de gaz (UVCE)

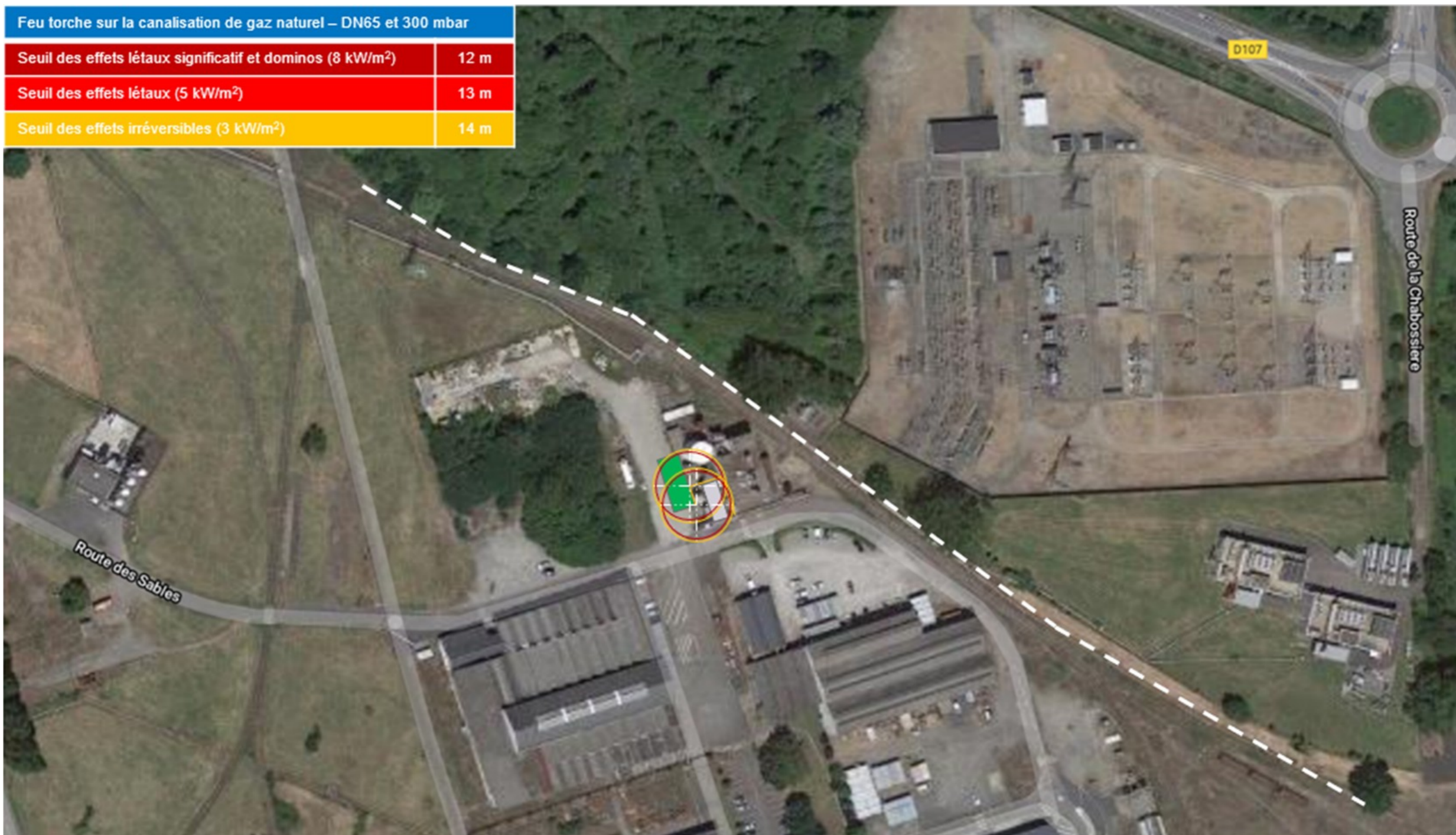
Explosion d'un nuage de gaz naturel (UVCE) - DN100 et 4 bar	
Seuil des effets létaux significatif et dominos (200 mbar)	#n/a
Seuil des effets létaux (140 mbar)	#n/a
Seuil des effets irréversibles (50 mbar)	26 m
Seuil des bris de vitres (20 mbar)	54 m



Perte de confinement de l'alimentation en gaz naturel – DN65 et 300 mbar

Feu torche

Feu torche sur la canalisation de gaz naturel – DN65 et 300 mbar	
Seuil des effets létaux significatif et dominos (8 kW/m <sup>2</sup> )	12 m
Seuil des effets létaux (5 kW/m <sup>2</sup> )	13 m
Seuil des effets irréversibles (3 kW/m <sup>2</sup> )	14 m



Explosion d'un nuage de gaz (flash-fire)

Explosion d'un nuage de gaz naturel (flash-fire) - DN65 et 300 mbar	
Seuil des effets létaux significatif (1800 [kW/m <sup>2</sup> m] <sup>4/3</sup> .s)	7 m
Seuil des effets létaux (1000 [kW/m <sup>2</sup> m] <sup>4/3</sup> .s)	7 m
Seuil des effets irréversibles (600 [kW/m <sup>2</sup> m] <sup>4/3</sup> .s)	8 m



Explosion d'un nuage de gaz (UVCE)

Explosion d'un nuage de gaz naturel (UVCE) - DN65 et 300 mbar	
Seuil des effets létaux significatif et dominos (200 mbar)	#n/a
Seuil des effets létaux (140 mbar)	#n/a
Seuil des effets irréversibles (50 mbar)	8 m
Seuil des bris de vitres (20 mbar)	16 m



Explosion de la chambre de combustion (volume de 17 m<sup>3</sup>)

Explosion de la chambre de combustion (Volume de 17 m <sup>3</sup> )	
Seuil des effets létaux significatif et dominos (200 mbar)	12 m
Seuil des effets létaux (140 mbar)	16 m
Seuil des effets irréversibles (50 mbar)	38 m
Seuil des bris de vitres (20 mbar)	76 m



BLEVE d'une capacité d'eau (Calandre de 17 m<sup>3</sup>)

BLEVE de la capacité d'eau (Calandre de 27 m <sup>3</sup> et P <sub>limbre</sub> 15 bar)	
Seuil des effets létaux significatif et dominos (200 mbar)	#n/a
Seuil des effets létaux (140 mbar)	#n/a
Seuil des effets irréversibles (50 mbar)	26 m
Seuil des bris de vitres (20 mbar)	54 m



## 9. Impact sur l'urbanisme

L'urbanisme à proximité du site est régi selon le règlement du Plan local d'urbanisme métropolitain (PLUm) de Nantes approuvé le 5 avril 2019 et mis à jour le 7 septembre 2020. Il définit les règles du droit à construire sur chacune des parcelles de la métropole nantaise.

La nouvelle chaudière sera implantée sur le terrain d'ArcelorMittal France site de Basse-Indre sur la commune de Couëron dans une zone d'urbanisme « UEi » dédiée à l'accueil d'activités économiques de production, de fabrication ou de logistique pour favoriser le maintien et le développement du tissu économique.

En cas d'accident, les effets pourraient potentiellement impacter l'extérieur du site au niveau de la commune d'Indre dans une zone d'urbanisme « Ns ». Il s'agit d'une zone correspondant à des espaces naturels remarquables.

Dans cette zone spécialisée, les constructions à usage d'habitation sont interdites. Seuls des aménagements tels que des cheminements piétons, des observatoires ornithologiques... sont autorisés.

## 10. Conclusion

L'étude de dangers est le résultat d'un travail collectif avec une forte implication des exploitants en vue d'identifier et de caractériser les accidents susceptibles de se produire au sein de l'établissement.

A l'issue de l'étude de dangers, 3 phénomènes dangereux pouvant potentiellement impacter l'extérieur du site par bris de vitres ont été identifiés, mais sans réelle conséquence étant donné qu'aucune habitation ou installation industrielle ne se trouvent à proximité.

Enfin, pour garantir la sécurité industrielle du site, une surveillance en continu est assurée par les équipes en poste 24h/24 et des exercices de situation d'urgence sont réalisés régulièrement.

Afin de garantir la bonne maîtrise du risque technologique, les équipements et les modes opératoires permettant soit de réduire la probabilité d'occurrence, soit de limiter la gravité des conséquences, font l'objet d'une attention toute particulière. En effet, ces équipements se doivent d'être fiables, disponibles et maintenus dans le temps.