



DRA-18-171215-05140A

## Guide pour la prise en compte des dépôts logistiques de bouteilles de GPL dans les études de dangers

Les réflexions menées sur la proportionnalité dans les études de dangers ont conduit à la volonté de rédiger des guides visant à faciliter la rédaction ou l'instruction des études de dangers pour des secteurs d'activité jugés suffisamment génériques.

Le présent rapport s'inscrit dans ce cadre. Le secteur retenu dans ce rapport est celui des dépôts logistiques de bouteilles de gaz de pétrole liquéfié (GPL). Ces bouteilles peuvent être en acier ou en composite. Leur masse en gaz propane ou butane peut être comprise entre 0,5 et 35 kg.

Ces installations sont visées par la rubrique 4718.1 (gaz inflammables liquéfiés de catégorie 1 et 2, pour le stockage en récipients à pression transportables) de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et peuvent être classées sous le régime de l'autorisation (en quantité supérieure ou égale à 35 T), auquel cas elles font l'objet d'une étude de dangers (EDD).

L'objectif du document est de fournir des éléments pour **faciliter la rédaction et l'instruction des études de dangers de ces installations**, en présentant notamment des informations sur l'état de l'art, les phénomènes dangereux et accidents majeurs à considérer, les distances d'effets types, les probabilités types des événements, etc.

Ce document a été réalisé par l'Ineris. Ce guide s'appuie notamment sur :

- les connaissances de l'Ineris issues de la réalisation d'études de dangers et tierces expertises ;
- les divers échanges avec les industriels et le Comité français du butane et du propane (CFBP) ;
- une étude bibliographique.

***Rédacteurs :***

- Benoit Marbach (Ineris)
- Louise Sandoval (Ineris)

***Avec la contribution de :***

- Souhila Kribi (Ineris)
- Christophe Bolvin (Ineris)
- Sylvain Chaumette (Ineris)
- Emmanuel Leprette (Ineris)
- Fabien Fouillen (Ineris)

## Limites

**Le champ des installations concernées est celui des installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 4718-1-a de la nomenclature. Il s'agit des installations pour le stockage de GPL en récipients à pression transportables.**

Les autres gaz spécifiés dans cette rubrique ne sont pas concernés par ce guide.

Cette étude a vocation à être employée pour les établissements soumis à autorisation, stockant entre 35 et 50 tonnes de GPL.

Les installations type considérées sont les zones de stockage des bouteilles de GPL, les zones de chargement / déchargement de ces bouteilles et les zones de stationnement des camions.

L'emplissage des bouteilles et les réservoirs de stockage de GPL sont exclus de la présente étude.

## Utilisation

Ce guide présente des éléments facilitant la rédaction et l'instruction d'une EDD d'installations de stockage de bouteilles de gaz GPL. Ces éléments sont les suivants :

- contexte de l'étude (chapitre 1) ;
- description des installations du dépôt logistique de bouteilles de GPL (chapitre 2) ;
- identification des potentiels de dangers (chapitre 3) ;
- analyse du retour d'expérience (chapitre 4) ;
- description des scénarios d'accidents classiquement rencontrés sur les installations de stockage de bouteilles gpl (chapitre 5) ;
- caractérisation de l'intensité des phénomènes dangereux identifiés (chapitre 6) ;
- caractérisation de la probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux modélisés (chapitre 7) ;
- caractérisation de la cinétique des phénomènes dangereux (chapitre 8) ;
- étude des effets dominos potentiels (chapitre 9).

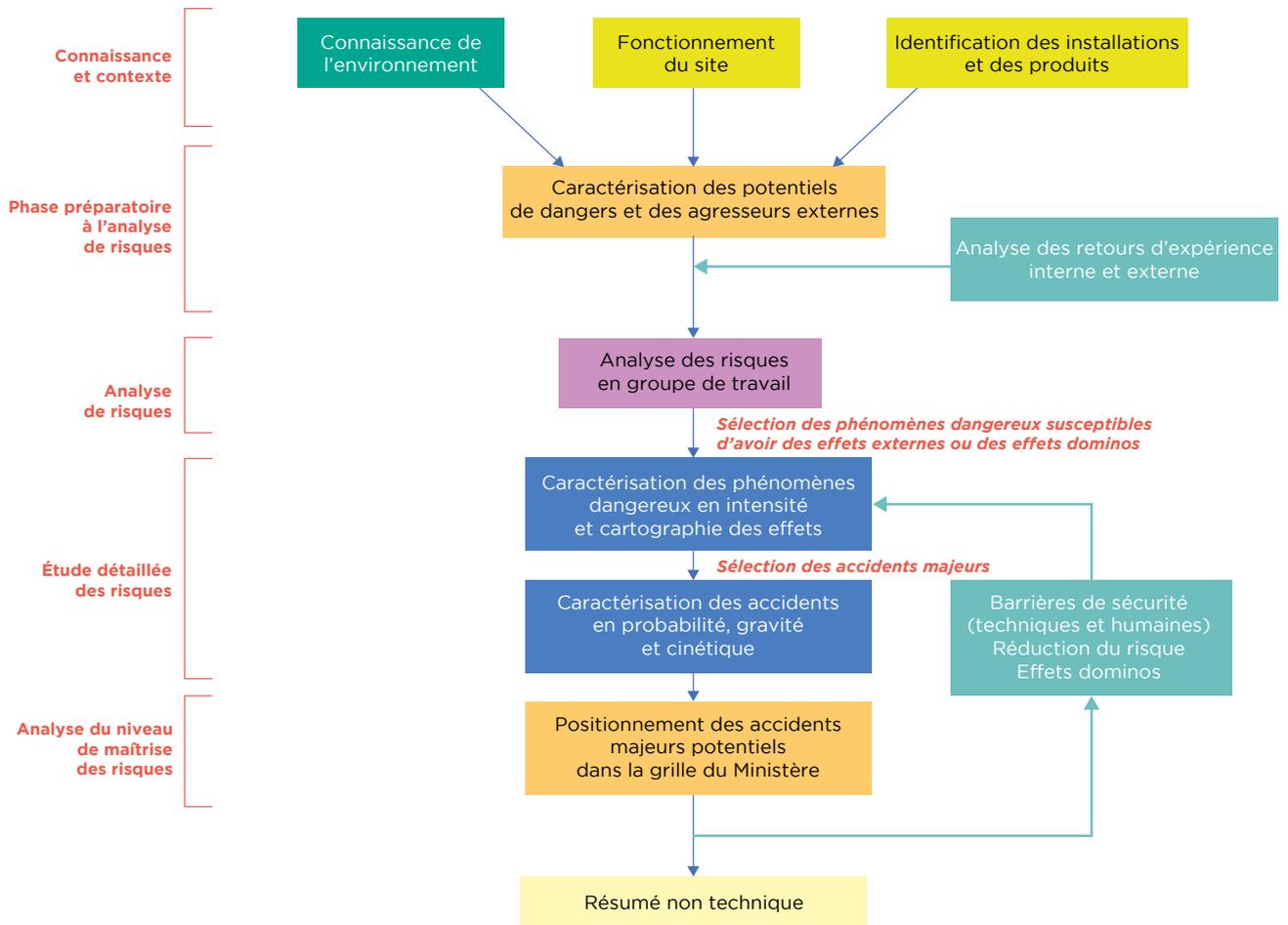
Il présente également les **annexes informatives** suivantes :

- annexe A : identification des causes d'agressions extérieures ;
- annexe B : tableaux d'analyse des risques ;
- annexe C : caractérisation de l'intensité des phénomènes dangereux retenus.

La Figure 1 situe ces éléments dans le cadre de la réalisation d'une EDD complète (voir Oméga 9<sup>1</sup> de l'Ineris). Ce logigramme est construit sur la base du contenu des EDD proposé dans la circulaire du 10 mai 2010.

1. Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs (EAT-DRA-76). Étude de dangers d'une installation classée - Ω-9. 2015

Figure 1 : Logigramme représentant l'articulation des différentes parties d'une étude de dangers



# Sommaire

<b>1.</b>	<b>CONTEXTE DE L'ÉTUDE DE DANGERS</b>	<b>9</b>
<b>2.</b>	<b>DESCRIPTION DES INSTALLATIONS DU DÉPÔT LOGISTIQUE DE BOUTEILLES GPL</b>	<b>11</b>
2.1	Typologie des bouteilles	11
2.2	Les zones de chargement et de déchargement	13
2.3	Zone de stationnement des camions	14
2.4	Les zones de stockages de bouteilles de GPL	14
2.5	Les utilités des engins de manutention	15
2.6	Mesures de sécurité et bonnes pratiques	15
<b>3.</b>	<b>IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DES POTENTIELS DE DANGERS</b>	<b>17</b>
3.1	Potentils de dangers liés aux substances et mélanges	17
3.2	Synthèse et cartographie des potentiels de dangers	19
3.3	Réduction des potentiels de dangers	19
<b>4.</b>	<b>RETOUR D'EXPÉRIENCE</b>	<b>21</b>
<b>5.</b>	<b>ANALYSE DES RISQUES ET SCÉNARIOS D'ACCIDENT</b>	<b>23</b>
5.1	Introduction	23
5.2	L'analyse préliminaire des risques intégrant les causes internes liées aux activités du site	23
5.3	Les phénomènes dangereux retenus	25
<b>6.</b>	<b>CARACTÉRISATION DE L'INTENSITÉ DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX</b>	<b>27</b>
6.1	Phénomènes dangereux à modéliser	27
6.2	Données de base générales pour les modélisations	27
6.3	Intensité des phénomènes dangereux modélisés	28
<b>7.</b>	<b>CARACTÉRISATION DES PROBABILITÉS D'OCCURRENCE</b>	<b>39</b>
7.1	Classes des probabilités d'occurrence	39
7.2	Méthode d'estimation de la probabilité	40
7.3	Estimation des probabilités d'occurrence des phénomènes dangereux identifiés	40
<b>8.</b>	<b>CARACTÉRISATION DE LA CINÉTIQUE DES ÉVÈNEMENTS</b>	<b>43</b>
<b>9.</b>	<b>EFFETS DOMINOS</b>	<b>43</b>
<b>10</b>	<b>GLOSSAIRE</b>	<b>45</b>
<b>11</b>	<b>ANNEXES</b>	<b>47</b>

## 1

# CONTEXTE DE L'ÉTUDE DE DANGERS

Les objectifs et le contenu de l'étude de dangers sont définis dans la partie du Code de l'environnement relative aux installations classées. Selon l'article L.181-25 du Code de l'environnement, l'étude de dangers expose les risques que peut présenter l'installation pour les intérêts visés à l'article L511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation.

Le présent guide est réalisé conformément à l'article D.181-15-2 du Code de l'environnement et en respectant les textes suivants :

- 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 ;

- 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 dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

# 2

## DESCRIPTION DES INSTALLATIONS DU DÉPOT LOGISTIQUE DE BOUTEILLES GPL

Ce présent chapitre a pour objectif de fournir des éléments pour caractériser l'installation afin de permettre l'identification des principaux potentiels de danger qu'elle représente, au regard notamment de la sensibilité de l'environnement.

Il est rappelé que le champ du guide est restreint aux dépôts logistiques de bouteilles de GPL dont les principales activités sont le stockage des bouteilles de GPL en casiers et le transfert des bouteilles par camion et engins de manutention. Aucune autre opération, telles que le remplissage des bouteilles ou encore le stockage en sphère ou cigare de GPL, n'est prise en compte dans cette étude.

Il est également rappelé que les exigences de l'arrêté du 21/09/17 modifiant l'arrêté du 23 août 2005 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 4718 de la nomenclature des installations classées ne sont pas applicables obligatoirement pour les installations concernées par le présent guide (installations soumises au régime de l'autorisation).

### 2.1 Typologie des bouteilles

Les bouteilles de GPL sont de différents types, leurs caractéristiques et leurs normes de conception sont répertoriées dans le tableau 1.

Il est à noter qu'à l'heure actuelle, environ 65 millions de bouteilles de GPL sont en circulation sur le territoire, dont environ 10% sont en composite. Cette proportion pourra potentiellement augmenter dans les années à venir.

Les bouteilles composites peuvent être de deux types : monocoques et bicoques. Cette dénomination est adoptée pour différencier celles fabriquées d'une seule enveloppe (« monocoques ») et celles fabriquées en deux moitiés collées (« bicoques »). Il est précisé que la fabrication de bouteilles dites « bicoques » a été arrêtée en 2012, l'ensemble des nouvelles bouteilles composites mises sur le marché sont de type « monocoque ».

Toutes les bouteilles utilisées pour le stockage du GPL sont des équipements dits « équipements sous pression » qui sont soumis à une réglementation spécifique.

La majorité des bouteilles se compose :

- d'un robinet, ou valve, protégé par un chapeau ou couronne ;
- d'un limiteur de débit en élastomère ou à bille, ou de soupape pour les bouteilles composite ou en acier tôles minces de 10 kg (et d'un fusible pour certaines bouteilles composite).

Il est à noter qu'au centre d'emplissage, les bouteilles subissent la mise en place d'une capsule et font l'objet d'un contrôle automatique de l'étanchéité du robinet ou valve.

En complément, un contrôle automatique de la fermeture du robinet et du vissage du chapeau est réalisé.

Tableau 1 : Caractéristiques des différentes bouteilles de GPL (Source : CFBP)

Substance	Butane	Butane /propane	Butane /propane	Butane /propane	Butane	Butane /propane	Butane	Butane	Propane	Propane	Propane	Butane	Butane	
<b>Volume bouteille (litres)</b>	1 à 6	12,4	12,4	12,5	12,8	20,6	23	25-27	30,6	40	71	84	20,4	21
<b>Masse de gaz (kg)</b>	0,5 à 2,95	5	6	6	5	10	10	13	13	17	30	35	10	10
<b>Norme de fabrication</b>	EN 1442 <sup>2</sup> /1439 <sup>3</sup> /14140	EN 1442 ou EN 14140 <sup>4</sup>		EN 14140	EN 1442	EN 1442	EN 1442	EN 1442	EN 1442	EN 1442	EN 1442	EN 1442	EN 12245 <sup>5</sup>	EN 14427 <sup>6</sup>
<b>Matériau bouteille</b>	acier	acier	acier	acier	acier	acier	acier	acier	acier	acier	acier	acier	composite	composite
<b>% remplissage</b>	<95	95	95	95	95	95	95	97	97	97	97	97	95	95
<b>Pression de rupture (bar)</b>	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	70 à 100	70 à 100	70 à 100	70 à 100	70 à 100	> 120	> 100
<b>Limiteur de débit</b>	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non
<b>Soupape</b>	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui
<b>Fusible thermique</b>	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui

2. Norme EN 1442 : Équipements pour GPL et leurs accessoires - Bouteilles en acier soudé transportables et rechargeables pour gaz de pétrole liquéfiés (GPL) - Conception et fabrication

3. Norme EN 1439 : Équipements pour GPL et leurs accessoires - Procédures de vérification des bouteilles transportables et rechargeables pour GPL avant, pendant et après le remplissage

4. Norme EN 14140 : Équipements pour GPL et leurs accessoires - Bouteilles en acier soudé transportables et rechargeables pour gaz de pétrole liquéfié (GPL) - Autres solutions en matière de conception et de construction

5. Norme EN 12245 : Bouteilles à gaz transportables - Bouteilles entièrement bobinées en matériaux composites

6. Norme EN 14427 : Équipements pour gaz de pétrole liquéfiés et leurs accessoires - Bouteilles en matériau composite, transportables et rechargeables, pour gaz de pétrole liquéfiés (GPL) - Conception et fabrication

## 2.2 Les zones de chargement et de déchargement

En général, il y a une seule zone commune aux opérations de chargement et de déchargement.

La manutention des casiers de bouteilles est réalisée à l'aide de chariots élévateurs. Plusieurs casiers (jusqu'à 4) peuvent être transportés simultanément.

Les opérations de chargement ou de déchargement du camion débutent lorsque le camion est stationné sur l'aire dédiée et que son moteur est arrêté.

La zone de tri, sous réserve que la quantité de bouteilles qui y est stockée temporairement soit proportionnée au strict besoin de l'activité (soit l'équivalent d'un chargement ou déchargement), n'est pas à considérer comme une zone de stockage, sous condition d'une présence permanente de personnel sur site. En l'absence de personnel, ces zones devront être vides de bouteilles, dans le cas contraire ces zones seront considérées comme des zones de stockage.

### 2.2.1. Les camions de transport de bouteilles GPL

Le transport des bouteilles depuis les centres emplisseurs ou vers les réseaux de distribution est effectué par des véhicules routiers conformes à l'ADR.

Dans la plupart des cas rencontrés, les camions provenant des centres emplisseurs sont des gros porteurs jusqu'à 44 tonnes. Ceux qui livrent les centres de distribution sont des moyens porteurs de 19 tonnes ou moins.

Les véhicules sont de type « camions plateaux ». Ils sont spécialement aménagés selon les règles définies par le Comité français du butane et du propane (CFBP), notamment au travers de la signalétique réglementaire (étiquetage transport matières dangereuses), de cales, de dispositifs de signalisation et de dispositifs de calage des palettes.

Un camion peut transporter à la fois des casiers de bouteilles métalliques et composites.

Le véhicule est équipé :

- d'un extincteur de cabine d'une capacité minimale de 2 kg de poudre, adapté aux classes d'inflammabilité A, B et C ;
- de deux extincteurs d'une capacité de 6 kg de poudre, adaptés aux classes d'inflammabilité A, B et C. Ces extincteurs, aisément accessibles, seront placés dans des caches-extincteurs fixés de part et d'autre du châssis.<sup>7</sup>

### 2.2.2. Flux entrant de camions

À l'arrivée sur site, le camion de transport de bouteilles se positionne à proximité de la zone de tri où l'ensemble des casiers est déchargé par chariot élévateur.

Deux types de flux se distinguent : le camion provenant du centre emplisseur et le camion provenant des retours client.

#### Camion provenant du centre emplisseur

Lorsqu'il provient du centre emplisseur de bouteilles, le camion est chargé uniquement de casiers de bouteilles pleines ou de casiers sans bouteilles. Ces casiers complets sont déchargés puis dirigés sur les zones de stockage appropriées.

#### Camion provenant du retour client

Lorsque le camion provient des centres de distribution (retour client), les casiers sont remplis de façon variable : différents types de bouteilles, de différentes capacités, mélange de bouteilles vides et pleines. Les casiers le nécessitant sont alors déchargés sur la zone de tri par chariot élévateur, puis un tri manuel est effectué pour réallouer les bouteilles à des casiers dédiés (un casier par référence produit) et séparer les bouteilles vides et pleines dans des casiers dédiés.

Sur cette zone de tri, jusqu'à deux casiers de bouteilles peuvent être empilés. Ces casiers peuvent temporairement rester sur cette zone jusqu'à ce qu'ils soient complets avant de les envoyer sur les zones de stockage appropriées.

7. Rapport du CFBP-2012 «Spécification technique professionnelle des véhicules de distribution de bouteilles »

Dans tous les cas ; si les casiers sont amenés à rester de façon non temporaire sur cette zone (présence de casiers de bouteilles en l'absence de personnel), cet îlot de stockage intermédiaire sera à considérer au même titre qu'un îlot de stockage.

### 2.2.3. Flux sortant de camions

Deux types de flux se distinguent : le camion retournant vers un centre emplisseur et le camion approvisionnant les centres de distribution.

#### Camion vers les centres emplisseurs

Le camion repartant vers le centre emplisseur est chargé avec des casiers de bouteilles vides, et peut occasionnellement comporter des bouteilles partiellement remplies, ou parfois pleines, ou des casiers sans bouteilles.

Les casiers de bouteilles repartant du dépôt logistique ont été, avant leur stockage sur le site, triés pour séparer les bouteilles vides métalliques et composites.

#### Camion vers les centres de distribution

Lorsque le camion repart vers un centre de distribution, une opération manuelle de remplissage des casiers à destination de ce centre est effectuée en fonction de la demande.

## 2.3 Zone de stationnement des camions

Les camions peuvent être chargés de différents casiers, contenant différents types de bouteilles. En fonction de la cargaison potentiellement présente sur le camion, les phénomènes dangereux doivent être définis de la même manière que pour les îlots de stockage.

Dans le cas où un maximum de 5 camions est présent sur les aires de stationnement, que la présence des véhicules est nécessitée par les conditions de trafic, qu'ils sont présents sur site moins de la moitié du temps et ne constituent donc pas une présence récurrente ou quasi-permanente, les aires de stationnement ne sont alors pas considérées comme un îlot de stockage.

## 2.4 Les zones de stockages de bouteilles de GPL

### 2.4.1. Les casiers

Sur le site et pour le transport, les bouteilles sont stockées dans des casiers métalliques standards conformes à l'ADR. (figure 2).

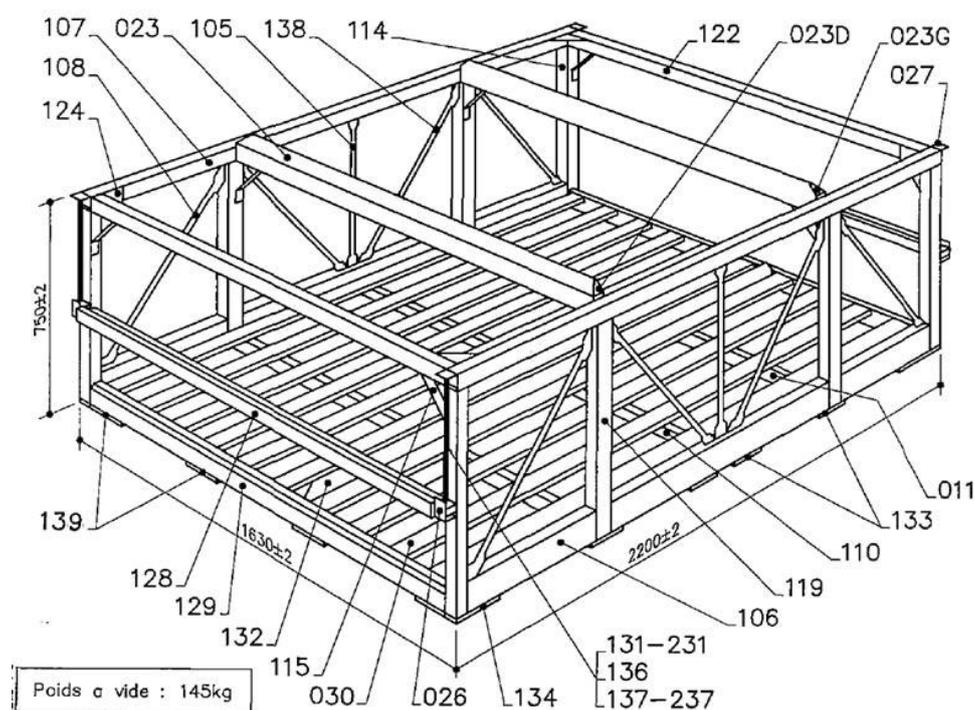
Dans la plupart des cas, les dimensions des casiers de stockage de bouteilles sont les suivantes :

- largeur : 1630 mm ;
- longueur : 2200 mm ;
- hauteur : 750 mm.

Les bouteilles sont entreposées en position debout (valves et robinets vers le haut), excepté pour les bouteilles de propane de 30 et 35 kg, stockées en position couchée (ainsi que certaines bouteilles de 17 kg, en quantité très limitée en circulation). Les casiers sont faits de sorte à éviter tous risques de mouvement de bouteilles lors de la manutention et du transport.

Ces installations de stockage sont situées à l'extérieur afin d'empêcher l'accumulation des gaz en cas de perte de confinement.

Figure 2 : Illustration d'un casier vide



### 2.4.2. Les îlots de stockage

Les bouteilles de GPL sont stockées dans des casiers disposés en îlots de stockage, de dimensions et de hauteur identifiées. Ces îlots sont chacun destinés à des types de bouteilles, métalliques ou composites. Les bouteilles pleines et vides sont généralement séparées.

Le gerbage des casiers de bouteilles communément rencontré est de 4, 6 ou 8 casiers empilés. On peut exceptionnellement rencontrer des hauteurs de 10 casiers.

La zone de stockage se compose de plusieurs îlots, séparés par un espacement : distance d'éloignement permettant de se prémunir ou de limiter la propagation d'effets d'un îlot à l'autre en cas d'accident. Selon l'étendue du site (problème d'espace), des murs coupe-feu de dimensionnement adapté peuvent également être mis en place pour ségréguer les îlots de stockage. L'espacement entre chaque îlot et la mise en place des murs coupe-feu sont définis par l'exploitant.

Il faut noter cependant que cela implique des problématiques supplémentaires pour les opérations de manutention des casiers.

## 2.5 Les utilités des engins de manutention

En règle générale, on retrouve sur le site une zone dédiée aux utilités des engins de manutention, il s'agit soit d'une zone de stockage de gazole non routier, de bouteilles de gaz ou des locaux de chargement de batteries. Ces zones sont souvent isolées du reste des installations : en dehors des flux de circulation d'engins et éloignées des zones de stockage de bouteilles.

Ces installations ne sont pas prises en compte dans ce guide. Il convient d'analyser les risques d'effets dominos de ces installations sur les stockages de bouteilles, la zone de tri ou les zones de stationnement de camion au cas par cas en fonction de l'agencement des installations et du carburant effectivement utilisé pour les engins de manutention, notamment lors de la réalisation de l'analyse de risques.

Les phénomènes dangereux issus de ces installations sont à prendre en considération uniquement en tant qu'évènement initiateur d'un phénomène dangereux pouvant impacter une installation de stockage ou les camions en stationnement.

## 2.6 Mesures de sécurité et bonnes pratiques

Les mesures de sécurité et bonnes pratiques rencontrées sur ce type d'installation sont les suivantes :

- la plupart des bouteilles en acier sont équipées d'un limiteur de débit afin de réduire le débit de fuite en cas de défaillance sur la tête de la bouteille ;

- certaines bouteilles sont équipées d'une soupape (et d'un fusible thermique pour certaines bouteilles composite) ;
- les bouteilles sont équipées de chapeaux ou couronnes afin de protéger les robinets en cas de chute ou d'impact ;
- les casiers sont conçus de telle sorte que les bouteilles soient maintenues en place lors du transport et de la manutention ;
- le maintien de distances d'éloignement ou la mise en place de murs coupe-feu entre îlots de stockage permettant ainsi d'éviter la propagation des effets d'un îlot à un autre, ainsi qu'entre îlots de stockage et zones de stationnement des véhicules chargés de casiers de bouteilles, zones de chargement/déchargement, ou de toute autre zone à risque identifiée (par exemple stockage de GNR, de batteries ou de bouteilles de gaz destinés aux engins de manutention) ;
- la prévention des sources d'inflammation avec permis de feu, interdiction de fumer, conception adaptée des installations électriques, etc. ;
- la mise en place de procédures et consignes opératoires telles que des procédures de travaux par point chaud, de contrôle des installations électriques ou encore d'inspection des véhicules de transport TMD à l'entrée du site ;
- l'utilisation de moyens de protection contre l'incendie et de moyens permettant d'alerter les services d'incendie et de secours si besoin ; l'ensemble de ces mesures font l'objet de vérifications périodiques (entretiens et tests par du personnel qualifié) ;
- les îlots de stockages sont desservis sur au moins une face par une voie engin permettant l'accès aux secours ;
- le nettoyage régulier des lieux pour éviter les amas de matières combustibles, matières dangereuses et les végétaux et qui peuvent être sources d'une agression thermique.

Tout le personnel de l'entreprise et les sous-traitants sont sensibilisés sur les risques du GPL et formés à l'utilisation des moyens de lutte contre l'incendie.

## 3

# IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DES POTENTIELS DE DANGERS

Les potentiels de dangers sont identifiés dans ce chapitre et leur identification repose sur un premier travail effectué sur les dangers liés aux produits, puis sur l'analyse des dangers liés aux installations.

## 3.1 Potentiels de dangers liés aux substances et mélanges

Les potentiels de dangers liés aux substances et mélanges sont présentés dans ce paragraphe.

### 3.1.1. Substances et mélanges présents sur le site

Les seuls produits en présence faisant l'objet de la présente étude sont des GPL (seuls ou en mélange), ainsi que les utilités destinées aux engins de manutention :

- propane ;
- butane.

**Remarque :** Compte tenu de la diversité des utilités des engins de manutention (GNR, batteries, bouteilles de GPL carburant) et des quantités associées en fonction des sites, cette partie n'est pas traitée dans la suite du document. Il conviendra de vérifier

toutefois que les îlots de stockage des bouteilles de GPL, les zones de chargement/déchargement ou les zones de stationnement des camions, se trouvent à une distance suffisamment importante des utilités destinées aux engins de manutention (GNR, batteries, bouteilles de GPL carburant) afin d'éviter toute possibilité d'effet domino.

Les produits mis en œuvre sur ce type d'installation peuvent être regroupés en fonction de leurs mentions de danger de la manière suivante :

- les gaz inflammables (propane, butane) ;
- les gaz sous pression (propane, butane).

### 3.1.2. Risques présentés par les substances

Le propane et le butane, appelés couramment GPL, sont des Gaz de Pétrole Liquéfié. Ils font partie de la chaîne organique des alcanes (saturés).

L'appellation GPL est réservée à ces deux alcanes car ils sont les seuls alcanes gazeux à pression atmosphérique et à 15°C, à se laisser liquéfier sous une faible pression (0,17 à 0,75 MPa, soit 1,7 à 7,5 bar).

Le tableau 2 est basé sur les Fiches de Données de Sécurité (FDS) habituellement rencontrées pour les produits mis en œuvre.

Tableau 2 : Caractéristiques des produits généralement présents sur un dépôt de bouteilles

Produits	Caractéristiques				Classification selon le règlement (CE) N° 1272/2008			
	État	Couleur	Odeur	Réactivité / Incompatibilité	Symbole de danger		Mention de danger	
<b>Propane</b>	Gaz liquéfié	Incolore	Caractéristique et déplaisante	Oxydants forts, Acides, Bases			Gaz inflammable - Cat. 1 Gaz sous pression	H220 H280
<b>Butane</b>	Gaz liquéfié	Incolore	Caractéristique et déplaisante	Oxydants forts, Acides, Bases			Gaz inflammable - Cat. 1 Gaz sous pression Peut induire des anomalies génétiques Peut provoquer le cancer	H220 H280 H340 H350

### 3.1.2.1. Caractéristiques principales des GPL

Les valeurs caractéristiques du propane et du butane sont données dans le tableau 3 :

Tableau 3 : Paramètres physico-chimiques du propane et du butane

Paramètre physico-chimique	Propane	Butane
Masse volumique à l'état liquide à 15°C (kg/m <sup>3</sup> )	515	585
Masse volumique à l'état gazeux à 15° C - 1 bar (kg/m <sup>3</sup> )	1,9	2,5
Densité par rapport à l'air	1,55	2,07
Température d'ébullition à 1 bar (°C)	-42	-0,5
Tension de vapeur à + 15°C bars (g)	7,3	1,8
LII dans l'air (% vol.)	2,1	1,3
LSI dans l'air (% vol.)	9,5	8,5
Température d'auto inflammation dans l'air	480	> 400

### 3.1.2.2. Phénomènes dangereux susceptibles de se produire

Le GPL est un gaz inflammable liquéfié, une perte de confinement de GPL depuis une bouteille peut conduire à l'apparition d'un feu torche en cas d'inflammation immédiate ou à une explosion en champ libre (UVCE) ou confinée (VCE) en cas d'inflammation retardée.

La fuite depuis la bouteille peut être liquide ou gazeuse, mais à condition de fuite équivalente (pression, température, section de fuite), une fuite en phase liquide produit des nuages inflammables toujours beaucoup plus grands qu'une fuite en phase gazeuse, car le débit rejeté est beaucoup plus élevé (pour les GPL dans des conditions ambiantes, 1 litre de phase liquide engendre de l'ordre de 250 litres de phase gazeuse).

Si les bouteilles métalliques de GPL sont prises dans un feu, un BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) avec des effets thermiques et de surpression peut survenir. Des projectiles sont souvent à craindre du fait que ces bouteilles soient sous pression.

La phénoménologie du BLEVE peut être définie en première approche comme une vaporisation violente à caractère explosif consécutive à la rupture d'un réservoir contenant un liquide à une température significativement supérieure à sa température normale d'ébullition à la pression atmosphérique.

Dans le cas des bouteilles composites, deux typologies de bouteilles existent sur le marché :

les bouteilles composites « monocoques » et les bouteilles composites « bicoques ». L'état des connaissances actuelles sur les conséquences générées par des bouteilles composites prises dans un feu, nous amène à différencier ces deux typologies de bouteilles composites.

En effet, pour les bouteilles composites « monocoques », le BLEVE n'est pas retenu car les effets thermiques du feu vont d'abord détériorer l'enveloppe composite ce qui va conduire à un suintement de gaz à travers la paroi fragilisée. Ce gaz va s'enflammer conduisant ainsi à un incendie généralisé des bouteilles sans produire de BLEVE. Ce comportement est confirmé par des essais dans différentes configurations de remplissage de la bouteille et d'exposition au feu.

Concernant les bouteilles composites « bicoques » distribuées sur le marché français, le BLEVE n'est également pas retenu pour les bouteilles pleines, les essais réalisés conformément à la norme EN14427 confirmant l'absence de BLEVE. Il en est de même pour les bouteilles composites « bicoques » vides. En revanche pour les bouteilles composites « bicoques » remplies à moins de 50% mais non vides, malgré la présence d'une soupape et d'un fusible thermique, des essais confidentiels dont les conditions expérimentales ne sont pas connues ont mis en évidence que le BLEVE était possible lorsqu'elles sont prises dans un feu. Cependant il apparait, au regard du retour d'expérience des fournisseurs de bouteilles GPL, que la présence de bouteilles composites « bicoques » partiellement remplies présentes sur les dépôts logistiques de bouteilles GPL suite à un retour

de clientèle est très occasionnelle. Considérant la faible fréquence de présence de ce type de bouteille partiellement remplie sur site et la probabilité d'occurrence annuelle d'un BLEVE de bouteille (voir paragraphe 7.3.2), il est proposé de ne pas retenir le BLEVE de bouteilles composites « bicoques » dans la suite du document.

### 3.1.3. Mélanges incompatibles ou dangereux

Le champ d'étude se limitant aux dépôts logistiques de bouteilles de GPL, aucune incompatibilité de produit n'est identifiée entre les produits étudiés. Cependant, si le site met en œuvre d'autres produits, une analyse de la compatibilité entre ceux-ci doit être réalisée.

### 3.1.4. Dangers liés à l'exploitation des installations

Les installations étudiées présentent uniquement une activité de stockage et de manutention de bouteilles de GPL, **aucun procédé n'est mis en œuvre**.

Le risque de ces opérations de manutention est essentiellement lié à la nature inflammable du GPL.

### 3.1.5. Dangers liés aux utilités

Dans le cas où le site emploie des utilités pouvant présenter un potentiel de dangers important, celles-ci devront être prises en compte dans l'étude.

## 3.2 Synthèse et cartographie des potentiels de dangers

En connaissance des dangers relatifs aux produits mis en œuvre sur le site, des quantités mises en œuvre, des incompatibilités éventuelles et des conditions d'exploitations particulières, les potentiels

de dangers retenus pour ce type d'installation sont mentionnés dans le Tableau 4.

## 3.3 Réduction des potentiels de dangers

Les stratégies de réduction des potentiels de dangers dépendent du contexte dans lequel s'inscrit le site étudié (installations existantes ou nouvelles, environnement avec plus ou moins d'enjeux, etc.). Les stratégies citées dans ce paragraphe n'ont pas vocation à être exhaustives, elles sont à considérer comme des exemples.

Afin de minimiser les quantités stockées, il est nécessaire de s'assurer que le stock « opérationnel » de bouteilles de GPL est dimensionné en adéquation avec les besoins commerciaux. Le cas échéant une réduction des quantités stockées pourra être mise en œuvre.

Une autre piste de limitation des effets consiste à investiguer le dimensionnement des îlots de stockage, ainsi que les distances d'espacement entre ces derniers. En effet, les distances d'effet des phénomènes dangereux générés en cas de perte de confinement des bouteilles composites de GPL sont dépendantes des dimensions des îlots de stockage, tant en longueur/largeur qu'en hauteur (excepté pour le BLEVE de bouteilles). Également une distance d'espacement adéquate entre deux îlots permettra de se prémunir d'effets dominos éventuels entre ces différentes zones de stockage.

Enfin, il est pris l'hypothèse que l'ensemble des bouteilles de GPL est en conformité avec les normes de fabrication adéquates imposant une certaine résistance aux chocs et aux chutes.

Tableau 4 : Potentiels de dangers par type de bouteilles

Installation		Potentiels de danger		
		BLEVE	Incendie	UVCE(VCE)/ Feu torche
Bouteilles métalliques	Aire de chargement/déchargement des bouteilles de GPL*	X		X
	Aire de stationnement des camions*	X		X
	Aires de stockage des bouteilles de GPL	X		X
Bouteilles composites	Aire de chargement/déchargement des bouteilles de GPL*		X	X
	Aire de stationnement des camions*		X	X
	Aires de stockage des bouteilles de GPL		X	X

\*Si considérée comme une zone non temporaire (voir §2.2 et §2.3).

## 4

## RETOUR D'EXPÉRIENCE

Ce chapitre présente une synthèse de l'accidentologie liée au stockage de bouteille GPL, en France et à l'étranger, qui alimente notamment l'analyse des risques.

L'analyse de l'accidentologie a été effectuée à partir de la base ARIA du BARPI en ciblant la recherche avec les mots clefs « bouteille(s) GPL » et « transport bouteille(s) GPL » sur une période allant jusqu'en mars 2018.

Sur les 94 accidents référencés dans la base ARIA :

- 49 accidents sont survenus chez des particuliers dont 3 fuites enflammées, 10 explosions suite à une fuite et 36 BLEVE. Les causes de ces accidents ne sont pas toujours spécifiées ;
- 26 accidents sont survenus dans des zones d'activités, des ERP, ou des sites industriels. 18 ont pour conséquence un BLEVE qui s'est produit consécutivement à un incendie, une fuite enflammée pour 3 d'entre eux et une explosion suite à un sur-remplissage et une erreur opérateur. Les 4 derniers n'ont pas eu de conséquence ;
- 18 accidents concernent le transport routier des bouteilles. 8 ont pour conséquence des BLEVE causés par des incendies liés au camion, les 10 autres sont causés par des accidents de la circulation ou des pertes de contrôle de véhicules avec pour conséquences : trois pertes de confinement (dont deux sans inflammation), les autres étant sans conséquence ;
- Enfin un accident est survenu dans un dépôt de bouteilles GPL, où un incendie d'origine criminelle a provoqué des BLEVE de bouteilles GPL.

**À noter que sur ces accidents de bouteilles de gaz recensés dans la base de données ARIA, aucun accident relatif à l'entreposage ou à la manutention de casiers de bouteilles dans un dépôt logistique n'a été identifié, hormis celui de Jonquières, d'origine criminelle.**

Trois accidents notables et récents sont survenus sur le territoire français :

- Jonquières en 2017. Un incendie a dévasté deux stockages contigus séparés par une clôture, avec, au total, environ 6 000 bouteilles, dont 2 000 à 3 000 auraient explosées. Un acte criminel – mise à feu de la cabine d'un camion se propageant à un camion adjacent contenant des bouteilles non déchargées - a engendré une réaction en chaîne et l'explosion en série des bouteilles sur les deux sites. Des projectiles sont retrouvés jusqu'à 520 m autour du site ;

- Theix en 2017. Dans une station-service, des travaux à proximité auraient généré des étincelles, conduisant à l'embrasement de la haie séparant le chantier de la station-service. Des bouteilles de gaz, stockées à un mètre de cette haie, ont été prises dans l'incendie et ont explosé : phénomène de BLEVE ;
- Charente-Maritime en 2017. Un semi-remorque de 27 tonnes transportant des bouteilles de gaz butane et propane de 13 et 23 kg a pris feu sur la nationale 10 à Chevanceaux. L'origine du feu n'est pas exactement connue. Les bouteilles de gaz ont explosé les unes après les autres, rejetant à 150 mètres de haut et dans un rayon de 300 mètres des projectiles brûlants.

Il ressort de l'accidentologie que des rejets de gaz de GPL sont possibles conduisant essentiellement à des feux torche ou à des explosions de nuage de gaz.

La cause principale identifiée de fuite enflammée ou d'explosion de bouteilles de gaz est un incendie à proximité du lieu de stockage de la bouteille. Les causes de cet incendie sont diverses : feu de broussaille, feu de pneu des camions de transport ou autre cause non déterminée.

Il a été identifié que le phénomène de BLEVE d'une bouteille est provoqué par un incendie : échauffement, montée en pression et rupture mécanique de la capacité (accident de Jonquières).

La description des accidents donnée dans la base ARIA ne permet pas toujours de faire la distinction entre les types de bouteilles (matériaux et capacité) impliquées dans ces accidents. De ce fait, l'analyse donnée dans ce paragraphe est indépendante du type de bouteille.

On peut noter que l'accidentologie ne recense pas de perte de confinement de bouteille suite à leur manutention, et notamment, avec l'utilisation de chariots élévateurs (perçement par une fourche, chute de casier, etc.). De plus, le CFBP ne mentionne pas ce type de scénario.

### Les effets de projection

Un des effets également redouté est l'effet de projection. Quelques accidents, listés ci-dessous, illustrent cet effet :

- Audinghen 2012 : explosion de 2 bouteilles de GPL équipant un engin de chantier (ARIA 42421). Les deux bouteilles de GPL de 35 kg équipant la machine explosent. Des débris sont projetés dans un rayon de 500 m ;

- Sille-le-Guillaume 2013 (ARIA 44611) : éclatement d'une bouteille de propane de 13 kg. Une bouteille de 13 kg de propane se trouvant sur un chariot de soudage éclate vers 14h30 dans un atelier d'une usine de fabrication de matériels électriques ; le gaz libéré ne s'enflamme pas. Des éclats de métal sont projetés sur 5 m ;
- Jonquières 2017 : explosion de 2 000 à 3 000 bouteilles de gaz. Les pompiers ont établi un périmètre de sécurité de 300 à 400 mètres autour de l'entrepôt ; distance jusqu'à laquelle il y a eu des projections de débris de bouteilles de gaz (Source sous-préfecture) ;
- Theix 2017 : de nombreuses projections de fragments de bouteilles ont été observées aux alentours du sinistre. Des projections ont été relevées jusqu'à environ 450 m du sinistre. (Source : analyse Ineris) ;
- Charente-Maritime en 2017 : explosion de bouteilles de gaz, rejetant à 150 mètres de haut et dans un rayon de 300 mètres des projectiles brûlants ;
- Bordes 2000 : un incendie de pneumatique se déclare sur un camion, transportant des bouteilles de gaz entraînant l'explosion de nombreuses bouteilles car le feu n'est pas maîtrisé. Aux dires des gendarmes et des pompiers, il a été estimé que :
  - 80 % des fragments étaient contenus dans la zone des 80 mètres autour du véhicule accidenté,
  - 90 % des fragments étaient contenus dans la zone des 100 mètres autour du véhicule accidenté. (source : analyse Ineris).

## 5

# ANALYSE DES RISQUES ET SCÉNARIOS D'ACCIDENT

## 5.1 Introduction

Une analyse de risques a été réalisée, elle a pour objectif principal d'identifier les scénarios d'accidents dont les effets sortent potentiellement des limites du site ainsi que les barrières de sécurité qui réduisent la probabilité d'occurrence de ces scénarios.

L'applicabilité et l'exhaustivité des scénarios présentés ci-après sont à vérifier.

Les phénomènes dangereux identifiés lors de cette étape d'analyse de risques, synthétisés au paragraphe suivant, sont ensuite caractérisés en termes d'intensité, de probabilité d'occurrence annuelle et de cinétique (éléments abordés respectivement dans les chapitres 6, 7, 8).

Il existe deux grands types de causes qui sont étudiés successivement dans la présente étude :

- les causes externes, qu'elles soient naturelles ou liées à l'activité humaine, traitées en annexe A de ce document ;
- les causes internes liées à l'exploitation des installations.

## 5.2 L'analyse préliminaire des risques intégrant les causes internes liées aux activités du site

### 5.2.1. Introduction

L'identification des scénarios d'accidents liés aux activités du site est réalisée au travers d'une analyse préliminaire des risques réalisée en groupe de travail réunissant des personnes expérimentées et spécialistes des installations, au moins pour les étapes d'identification des scénarios d'accident et des barrières de sécurité associées. Celle-ci consiste à :

- identifier de façon la plus exhaustive possible les phénomènes dangereux pouvant, a priori, conduire à des accidents majeurs induits par différents scénarios identifiés ; la méthode est basée sur un questionnaire systématique des causes et conséquences possibles des événements accidentels, ainsi que sur le retour d'expérience disponible ;
- lister les barrières de sécurité (techniques et/ou humaines) de prévention et/ou de protection mises en place par l'industriel et agissant sur le scénario d'accident identifié ; des propositions peuvent être faites concernant l'amélioration, l'ajout ou la modification de barrières de sécurité ;

- dresser une liste des phénomènes dangereux, sur la base des phénomènes pouvant avoir des distances d'effets hors du site ou conduire à des effets dominos sur les installations pour sélectionner les phénomènes dangereux qui feront l'objet d'une modélisation.

### 5.2.2. Présentation des résultats de l'APR sous forme de tableaux

L'objectif de cette partie est de guider le lecteur dans la réalisation de sa propre analyse de risque. Le présent guide propose l'utilisation de la méthode APR qui est souple d'utilisation, adaptée et plus facile à mettre en œuvre et à instruire dans le contexte des installations simples que sont les stockages de bouteilles de GPL.

Les tableaux d'analyse des risques proposés dans ce document constituent une analyse générique pour les installations de stockage de bouteilles de GPL. Lors de la réalisation de son étude de dangers, l'exploitant vérifiera son applicabilité à son site et si nécessaire le complètera et/ou l'amènera. Il réalise un découpage des installations en différents secteurs qui sont étudiés successivement, en incluant les phases transitoires d'exploitation.

Différentes phases sont considérées :

- stockage des bouteilles de GPL dans des casiers ;
- phases de chargement/déchargement par les engins de manutention.

Les tableaux d'analyse préliminaire des risques relatifs à la perte de confinement des bouteilles de GPL sont présentés en annexe B.

En synthèse, trois Événements Redoutés Centraux sont retenus :

- la perte de confinement de deux bouteilles de GPL composites ;
- la montée en pression et la perte de confinement de bouteilles GPL métalliques,
- la perte de confinement de bouteilles GPL composites.

Les nœuds papillons ci-après illustrent les causes identifiées et les conséquences redoutées.

Les phénomènes retenus au terme de l'analyse sont précisés au chapitre suivant.

Figure 3 : Nœud-papillon pour le scénario de perte de confinement de bouteilles GPL composite lors des opérations de manutention

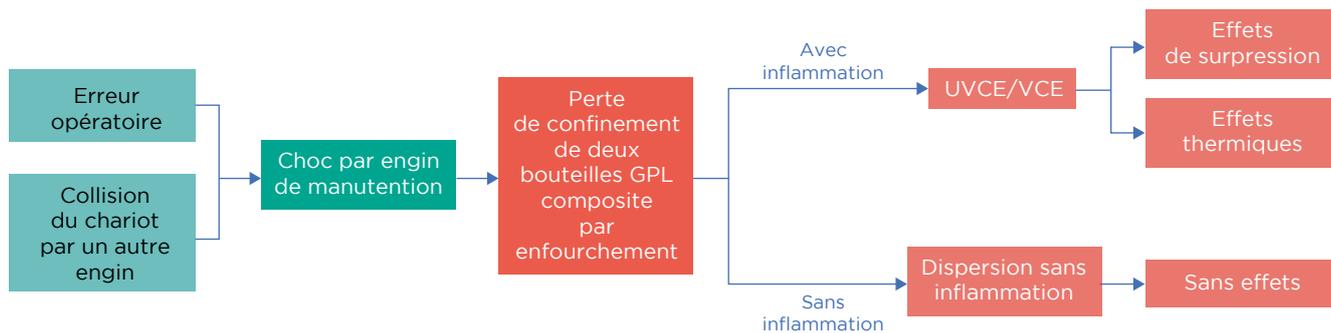


Figure 4 : Nœud-papillon pour le scénario de montée en pression et perte de confinement de bouteilles de GPL métalliques suite à agression thermique, ou de perte de confinement de bouteilles de GPL métalliques suite à agression mécanique

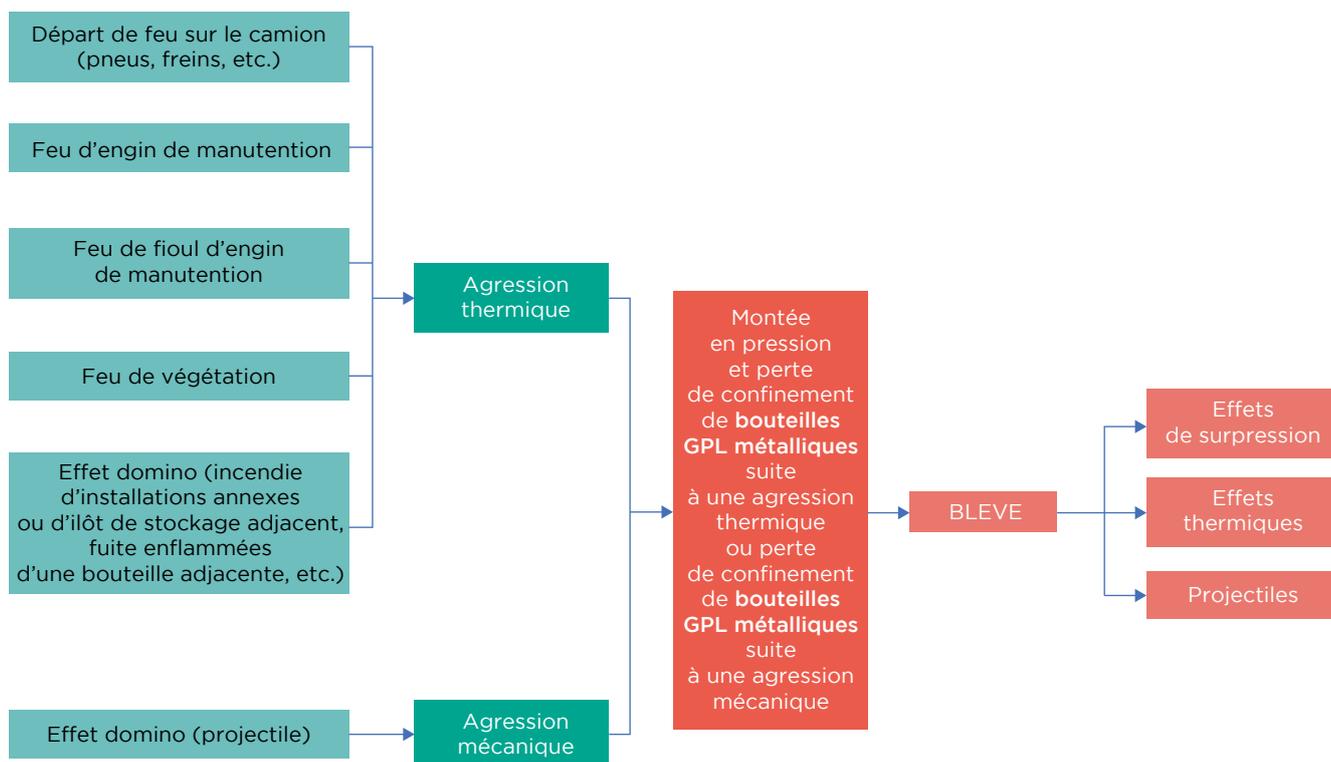
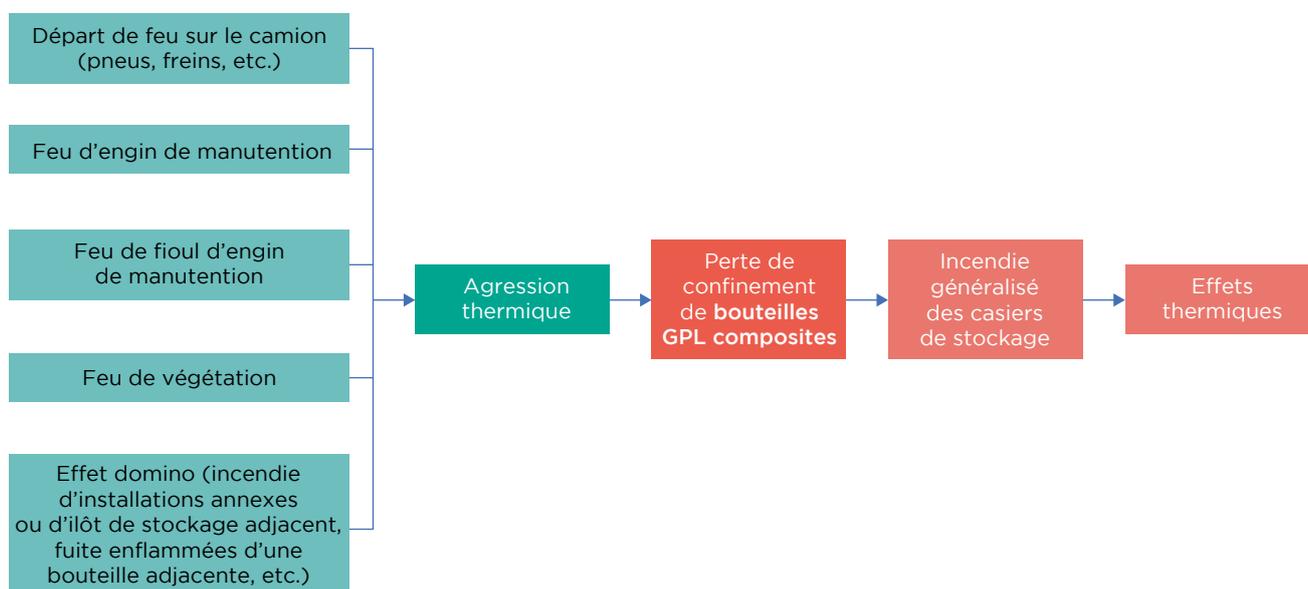


Figure 5 : Nœud-papillon pour le scénario de perte de confinement de bouteilles GPL composites



### 5.3 Les phénomènes dangereux retenus

Les phénomènes dangereux retenus au terme de l'analyse des risques sont ceux dont les effets pourraient dépasser les limites de propriété du site, à savoir :

- Pour les opérations de chargement / déchargement :
  - l'UVCE (ou VCE) suite à une perte de confinement de deux bouteilles pleines en composites percées par les fourches d'un chariot élévateur lors des opérations de manutention.

Dans le cas où l'exploitant apporte la démonstration de résistance au choc des bouteilles composites (démontre l'impossibilité de percer les bouteilles) ou l'utilisation de dispositifs spécifiques (chariot à fourches rétractables ou fourches anti-percement ou tout autre dispositif équivalent), **le scénario de percement de bouteilles composites par les fourches n'est pas retenu.**

Ce scénario a été écarté pour les bouteilles métalliques car elles ont été considérées comme pouvant résister à un tel impact.

- Pour l'aire de stockage, la zone de tri ou l'aire de stationnement camions (si des phénomènes dangereux doivent être considérés, voir paragraphe 2.3) :
  - le BLEVE suite à l'agression thermique d'un îlot de stockage de bouteilles métalliques de GPL,
  - un incendie d'un îlot de stockage suite à l'agression thermique de bouteilles composites pleines ou vides de GPL.

Des bouteilles métalliques et composites pouvant être présentes sur les camions en stationnement, en proportion variable, il sera considéré l'ensemble des scénarios, en considérant deux configurations : camion chargé uniquement de bouteilles métalliques d'une part, et uniquement de bouteilles composites d'autre part.

Note 1 : La rupture totale d'un robinet lors d'une chute de bouteille est considérée comme physiquement possible dans les cas où les hauteurs de manipulation sont supérieures aux épreuves de chute spécifiées dans les normes. Cependant elle n'a ensuite pas été retenue car les modélisations réalisées montrent que les distances des effets thermiques et de surpression d'un UVCE et celles des effets thermiques d'un feu torche seraient d'environ 5 m pour la fuite liquide de GPL (cas du renversement par exemple) et de 1 m en cas de fuite gazeuse pour les bouteilles sans limiteur de débit (et respectivement 3 m et 1 m avec présence de limiteur de débit). À noter que dans le cas où l'installation serait à moins de 5 (ou 3) mètres des limites de propriété, ces phénomènes dangereux devront être retenus dans l'étude de dangers comme accidents majeurs, excepté si un mur de séparation dimensionné aux effets des phénomènes dangereux considérés est mis en place.

Note 2 : Au vu des résultats obtenus pour la rupture totale du robinet, l'explosion ou le feu torche consécutifs à une petite fuite depuis une bouteille de GPL générée par une défaillance du robinet ou de l'usure d'un joint n'ont pas été retenus comme accident majeur.

Le feu torche suite à une telle rupture ou à une fuite sera considéré dans tous les cas comme cause d'un BLEVE de bouteilles métalliques ou d'un incendie de bouteilles composite se trouvant dans la flamme. Sa probabilité est intégrée pour le calcul de la probabilité d'occurrence de ces deux phénomènes dangereux explicité au chapitre 7.3.

Note 3 : La chute d'un casier entier lors d'une opération de manutention conduisant à la rupture de l'ensemble des robinets des bouteilles pouvant s'y trouver n'a pas été retenue. Ce scénario a été considéré comme très fortement improbable du fait de la présence du casier métallique atténuant le choc en cas de chute, le bon maintien des bouteilles dans les casiers, l'habilitation des agents de manutention, de la présence de chapeaux de protection des robinets et de l'absence de retour d'expérience sur ce type d'accident.

## 6

# CARACTÉRISATION DE L'INTENSITÉ DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX

Ce chapitre présente l'évaluation des intensités des phénomènes dangereux récapitulés au paragraphe 5.3.

Il s'articule en trois parties :

- Synthèse des phénomènes dangereux à modéliser ;
- Données générales de modélisation ;
- Intensités des phénomènes dangereux modélisés.

## 6.1 Phénomènes dangereux à modéliser

L'analyse préliminaire des risques a identifié les phénomènes dangereux pouvant potentiellement avoir des effets à l'extérieur du site ou conduire à des effets dominos (cf. chapitre 5).

Ces phénomènes sont les suivants :

- UVCE (ou VCE) / feu torche consécutifs à une perte de confinement de deux bouteilles composites impactées par les fourches d'un chariot élévateur ;
- incendie d'un îlot de bouteilles composites pleines ou vides ;
- BLEVE des bouteilles métalliques.

## 6.2 Données de base générales pour les modélisations

### 6.2.1. Seuils d'effets sur l'homme

Les effets des phénomènes dangereux sont des effets de surpression ou des effets thermiques. L'intensité de ces phénomènes dangereux est caractérisée par

des distances à des seuils réglementaires définis pour les hommes, conformément aux instructions de l'arrêté du 29 septembre 2005 récapitulées dans le tableau 5.

### 6.2.2. Conditions météorologiques

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 » indique que « les conditions (D,5) et (F,3) sont généralement retenues pour des rejets au niveau du sol ».

La première de ces conditions permet de représenter une situation courante (condition neutre et vitesse de vent de 5 m/s), la seconde permettant une évaluation des conséquences dans des conditions atmosphériques défavorables (conditions très stables et vitesse de 3 m/s) pour des rejets au niveau du sol.

### 6.2.3. Propriétés

Les propriétés physiques du propane et du butane sont présentées au Tableau 3 (chapitre 3.1.2.1).

Tableau 5 : Valeurs seuils des effets sur l'homme des phénomènes dangereux

	Seuils des effets de surpression		Seuils des effets thermiques	
	mbar	kW/m <sup>2</sup>	(kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> s	
<i>SER : Effets indirects (bris de vitre)</i>	20 <sup>(1)</sup>	-	-	
<i>SEI : Dangers significatifs ou effets irréversibles</i>	50	3	600	
<i>SEL : Dangers graves ou effets létaux</i>	140	5	1000	
<i>SELS : Dangers très graves ou effets létaux significatifs</i>	200	8	1800	

(1) Compte tenu des dispersions de modélisation pour les faibles surpressions, il peut être adopté pour la surpression de 20 mbar une distance d'effets égale à deux fois la distance d'effets obtenue pour une surpression de 50 mbar.

## 6.3 Intensité des phénomènes dangereux modélisés

Dans les paragraphes suivants, seuls les résultats indiquant les distances d'effets pour les différents scénarios étudiés sont présentés.

Plus d'informations relatives aux hypothèses de modélisations, modèle utilisé, termes sources, etc. sont données en annexe C.

### 6.3.1. Scénario de ruine de deux bouteilles

Le scénario étudié ici est relatif à la libération instantanée de l'inventaire de deux bouteilles composites consécutives à un percement par les fourches d'engins de manutention lors d'opérations de manutention.

La fuite étant préférentiellement orientée vers l'extérieur (perçement de bouteille en bordure de l'îlot de stockage par un engin de manutention), nous retiendrons deux cas :

- dispersion de deux fois 10 kg de butane hors de l'îlot de stockage et explosion en champ libre ;
- dispersion de deux fois 10 kg de butane hors de l'îlot de stockage, se dispersant dans l'îlot où la fuite se produit ou vers un îlot adjacent (ou vers la zone de stationnement de camions selon sa localisation), et explosion en milieu confiné.

La pression initiale est de 0,8 bar relatif pour une température de 15 °C. Les bouteilles sont placées à une hauteur comprise entre 0 et 7 m de hauteur. La hauteur intermédiaire de 3 m est choisie de manière pénalisante car c'est la configuration qui donne la plus grande distance à la LIE.

Les distances d'effets du flash-fire et de l'UVCE en champs libre sont données dans le tableau 6 :

Tableau 6 : Résultats des calculs de dispersion et des effets de surpression en champ libre (conditions météorologiques : F3).  
**Les distances sont à compter depuis le bord de l'îlot de stockage**

Distance à la LIE	[m]	20
Energie d'inflammation	[MJ]	910
Indice multi-énergie	[-]	4
Flash fire		
Distance au seuil SEL et SELS	[m]	20
Distance au seuil SEI	[m]	22
UVCE		
Distance au seuil 200 mbar	[m]	NA
Distance au seuil 140 mbar	[m]	NA
Distance au seuil 50 mbar	[m]	30
Distance au seuil 20 mbar	[m]	60

NA : Non Atteint

Les distances d'effets de l'UVCE en zone encombrée sont données ci-après, en tenant compte d'une dilution et de la réduction de la masse inflammable participant à l'explosion en milieu encombré (estimation de 10 kg de butane) :

Tableau 7 : Distances des effets de surpression en zone encombrée. Les distances sont à compter depuis le centre de l'îlot de stockage

Indice multi-énergie	[-]	6
Distance au seuil 200 mbar	[m]	30
Distance au seuil 140 mbar	[m]	35
Distance au seuil 50 mbar	[m]	85
Distance au seuil 20 mbar	[m]	170

Ces distances d'effet sont maximales et correspondent à une masse de gaz de 10 kg dans l'îlot (où la fuite se produit ou dans un îlot adjacent) et correspondent à un volume de casiers d'environ 200 m<sup>3</sup>. Il est possible de les réduire dans le cas d'un volume encombré plus petit.

### 6.3.2. Scénario d'un incendie généralisé d'un îlot de stockage de bouteilles composites

Le scénario étudié ici est relatif à la propagation d'un incendie à la totalité d'un îlot de stockage de bouteilles composites consécutif à une agression thermique. Deux configurations ont été étudiées, suivant que les bouteilles sont stockées vides ou pleines.

Dans l'éventualité où l'îlot de stockage de bouteilles composites contiendrait à la fois des bouteilles vides et pleines, il sera considéré en première approche que toutes les bouteilles sont pleines, de façon majorante.

Pour chacune de ces configurations, différentes surfaces au sol, et différentes hauteurs de stockage ont été prises en compte, afin de considérer la variabilité des configurations de stockage pour différents dépôts logistiques.

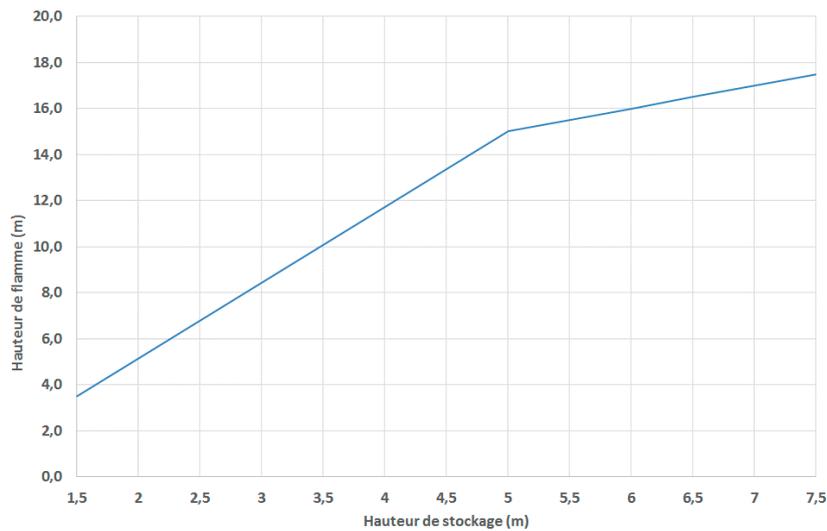
Les hauteurs considérées sont données dans le Tableau 8. À noter que les casiers de stockage des bouteilles ont une hauteur standard de 0,75 m.

Tableau 8 : Synthèse des hauteurs de stockage de bouteilles GPL considérées

Hauteur (m)	Nombre de casiers de bouteilles empilés
1,5	2
3	4
4,5	6
6	8
7,5	10

La hauteur de flamme retenue en fonction de la hauteur de stockage est celle présentée dans la Figure 6.

• Figure 6 : Hauteur de flamme retenue



Les résultats de modélisation sont donnés sous forme d'abaques pour les bouteilles vides et pleines, en fonction de la hauteur de l'îlot et pour des largeurs d'une face d'îlot allant jusqu'à 50 mètres. Cette largeur est considérée comme enveloppe

des différentes dimensions d'îlots pouvant être rencontrées sur les dépôts logistiques de bouteilles GPL.

### 6.3.2.1. Calcul des distances des effets thermiques

Les distances d'effet sont à considérer depuis le bord de l'îlot de stockage, sur la médiane du front de flamme considéré. Elles sont calculées à 1,8 m du sol.

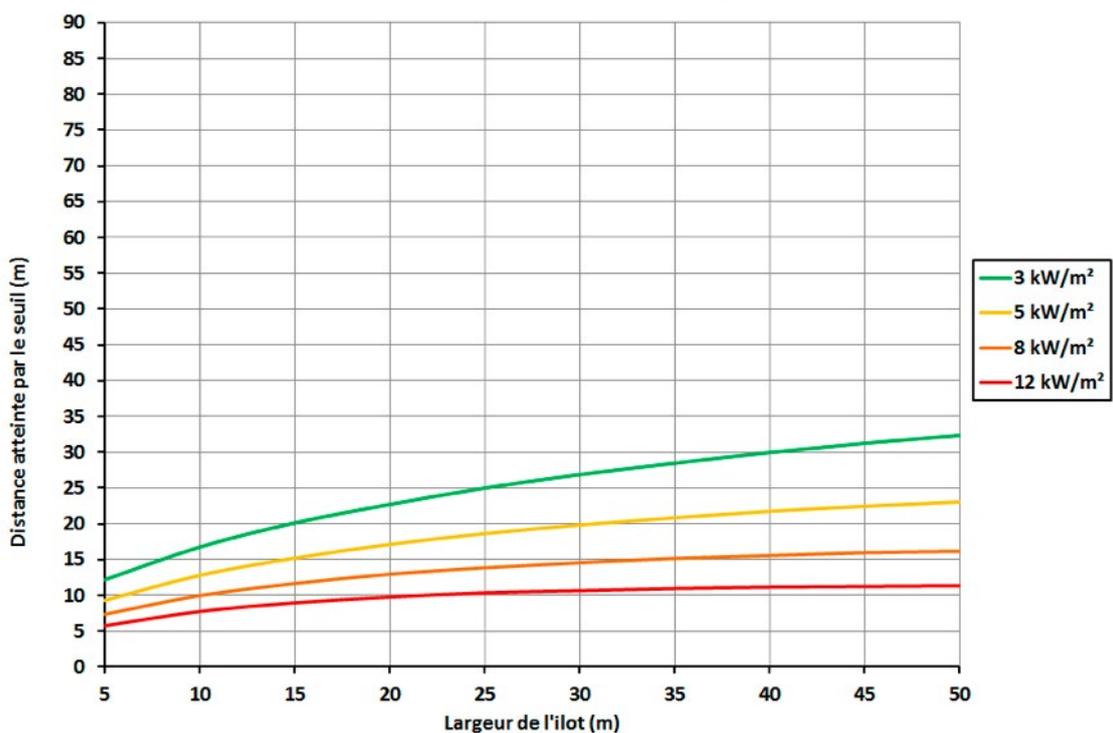
données fournies, pour la largeur et la longueur considérée, et de reporter pour chaque côté les distances d'effets associées aux dimensions de l'îlot de stockage.

Dans une approche enveloppe, pour des îlots de stockage rectangulaire, il est possible d'utiliser les

#### 6.3.2.1.1. Casiers de bouteilles composites pleines

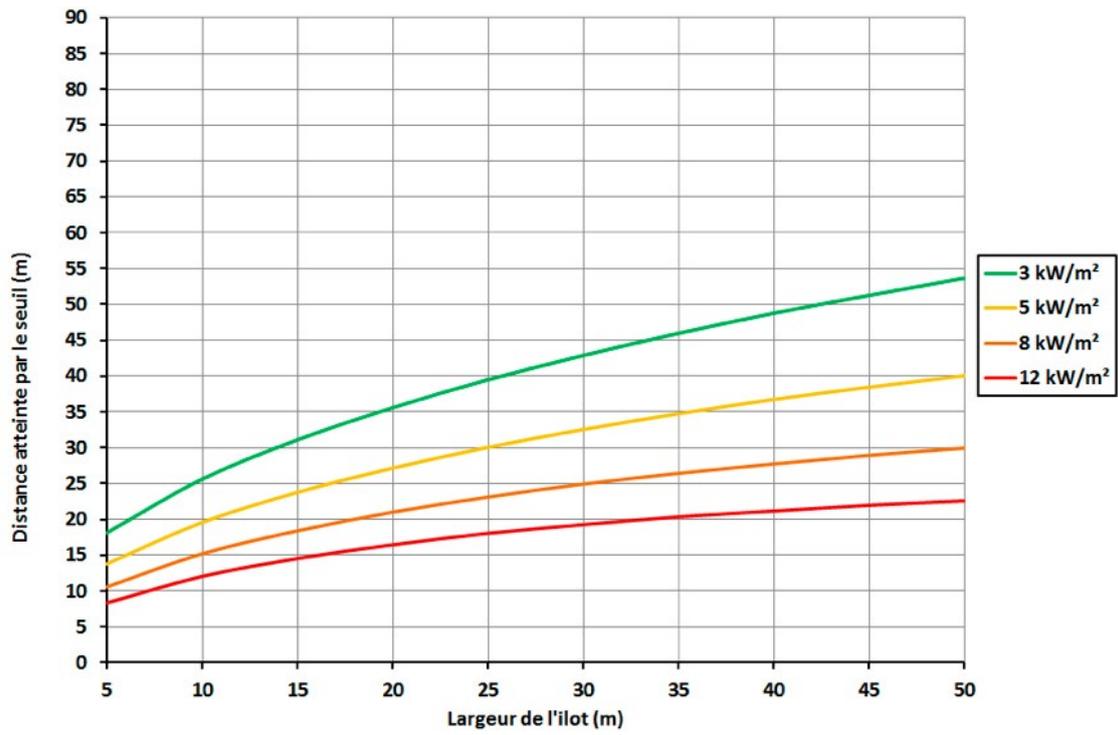
Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 1,5 m

• Figure 7 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 2 casiers (1,5 m)



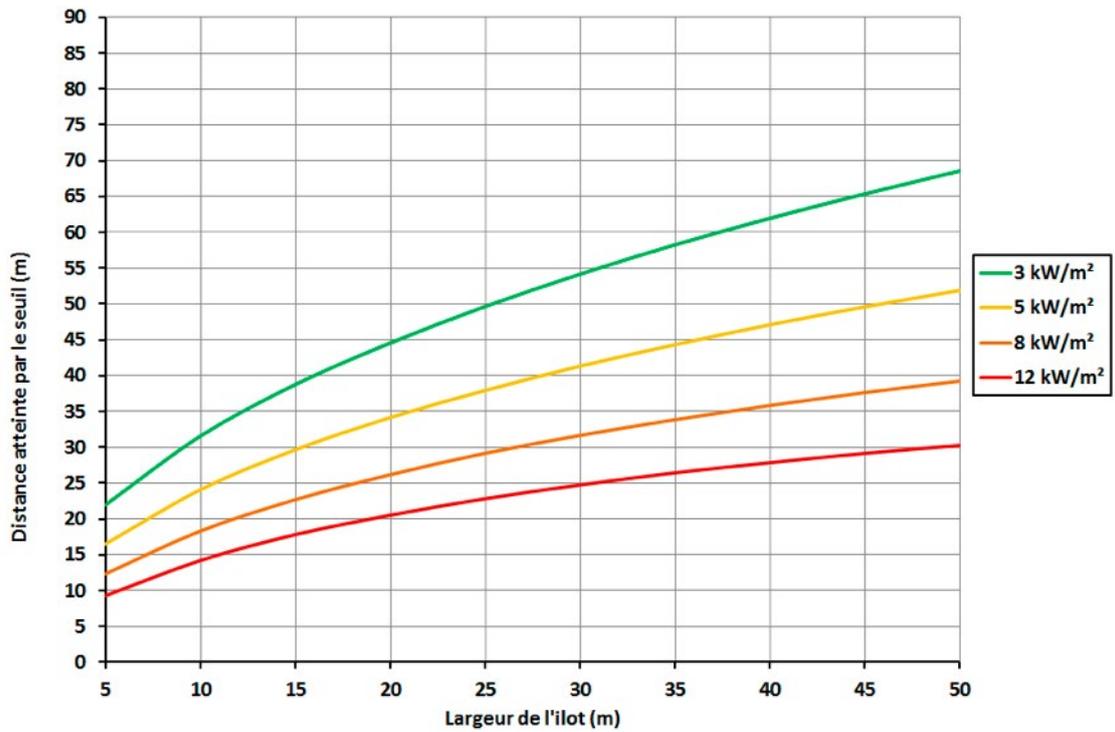
Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 3 m

• Figure 8 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 4 casiers (3 m)



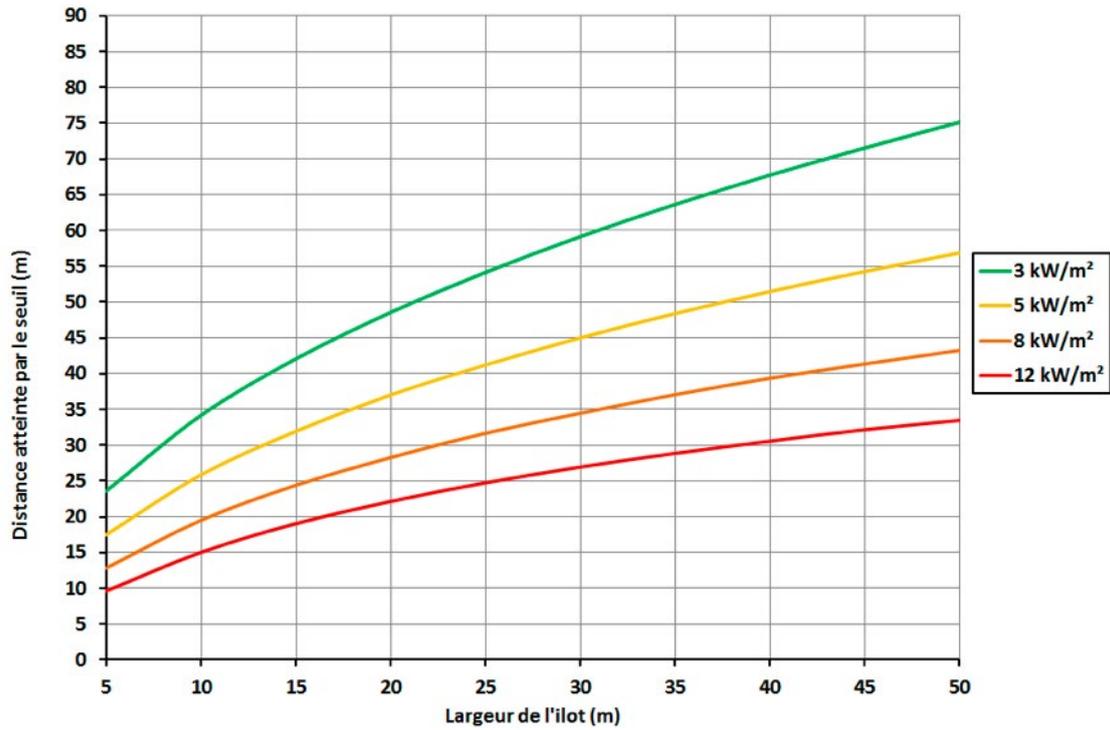
Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 4,5 m

• Figure 9 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 6 casiers (4,5 m)



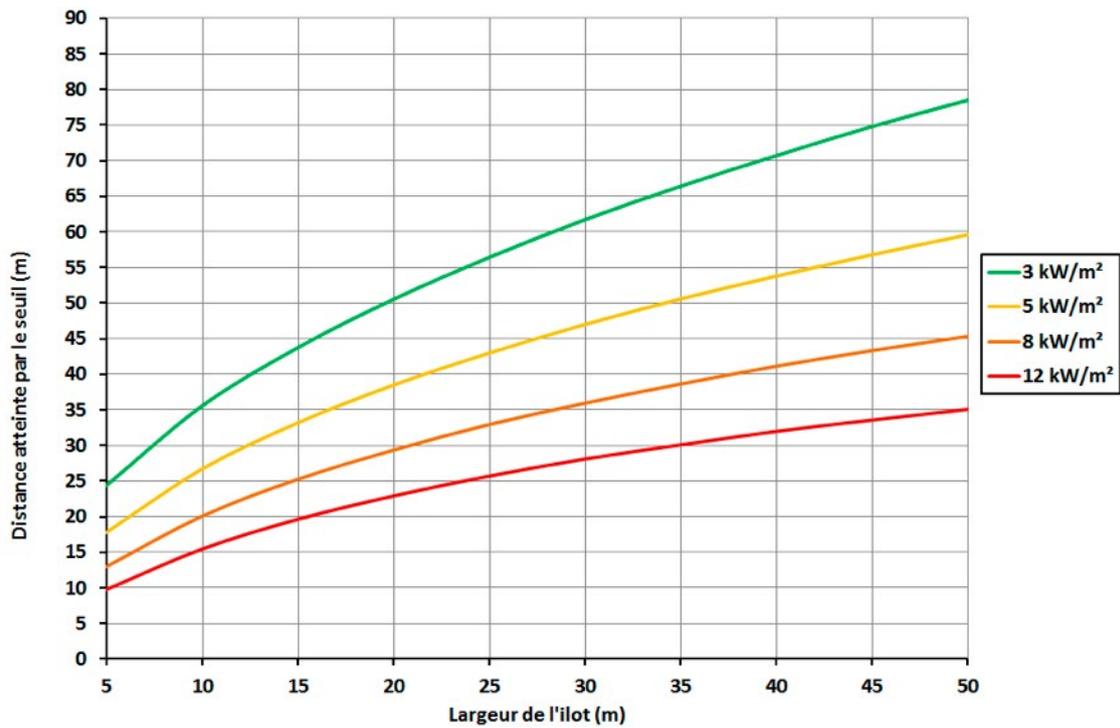
Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 6 m

• Figure 10 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 8 casiers (6 m)



Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 7,5 m

• Figure 11 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 10 casiers (7,5 m)



Pour les îlots de stockage de casiers de **bouteilles composites pleines** :

- la hauteur de stockage influence les distances d'effets d'un facteur 2 entre 2 casiers gerbés et 6 casiers gerbés ;
- la largeur de l'îlot, pour une hauteur donnée, entraîne des variations des distances d'effet d'un facteur 2 environ entre un îlot de 10 m et 40 m de large.

Quelques distances d'effet illustratives (SEI/SEL/SELS indiqués en mètres) pour quelques dimensions d'îlots supposés représentatives pour la majorité des cas (largeur et hauteurs usuelles) sont indiquées dans le tableau 9.

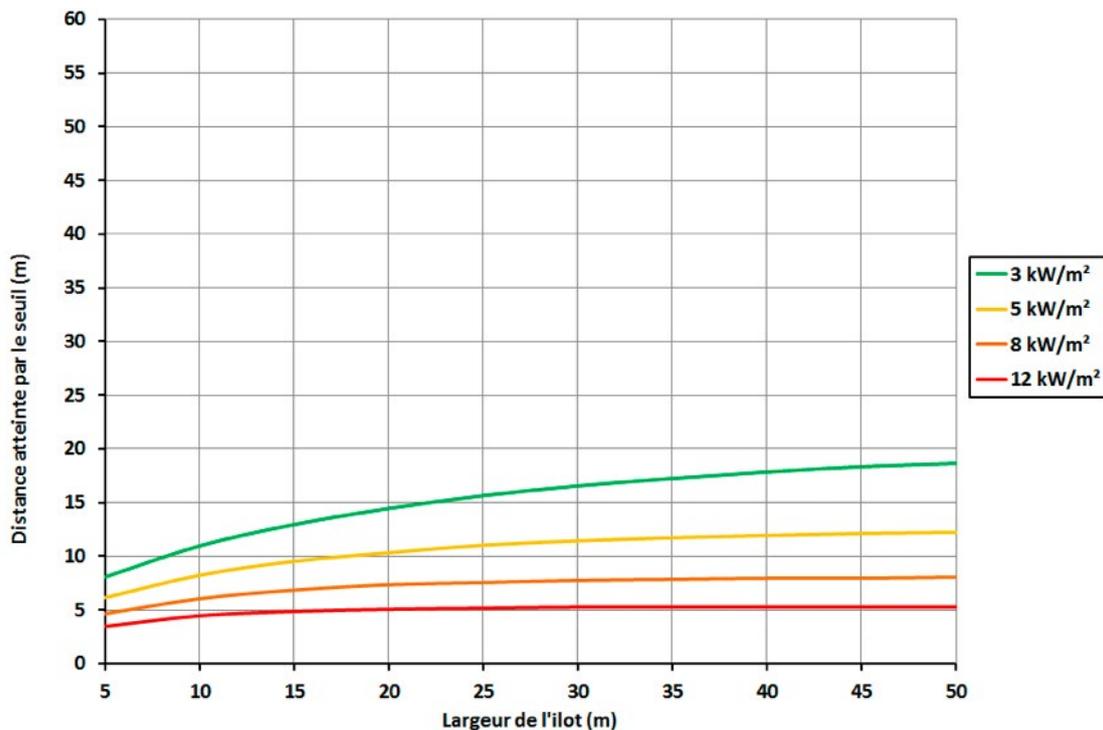
Tableau 9 : Exemples de distances d'effets thermiques aux seuils SEI/SEL/SELS de l'incendie d'un îlot de stockage de bouteilles composites pleines

Hauteur	Largeur (m)		
	10	20	40
1,5 mètre - 2 casiers	17/13/10	23/17/13	30/22/16
3 mètres - 4 casiers	26/20/15	36/27/21	49/37/28
4,5 mètres - 6 casiers	32/24/18	45/34/26	62/47/36
6 mètres - 8 casiers	34/26/20	49/37/28	68/52/39

### 6.3.2.1.2. Casiers de bouteilles composites vides

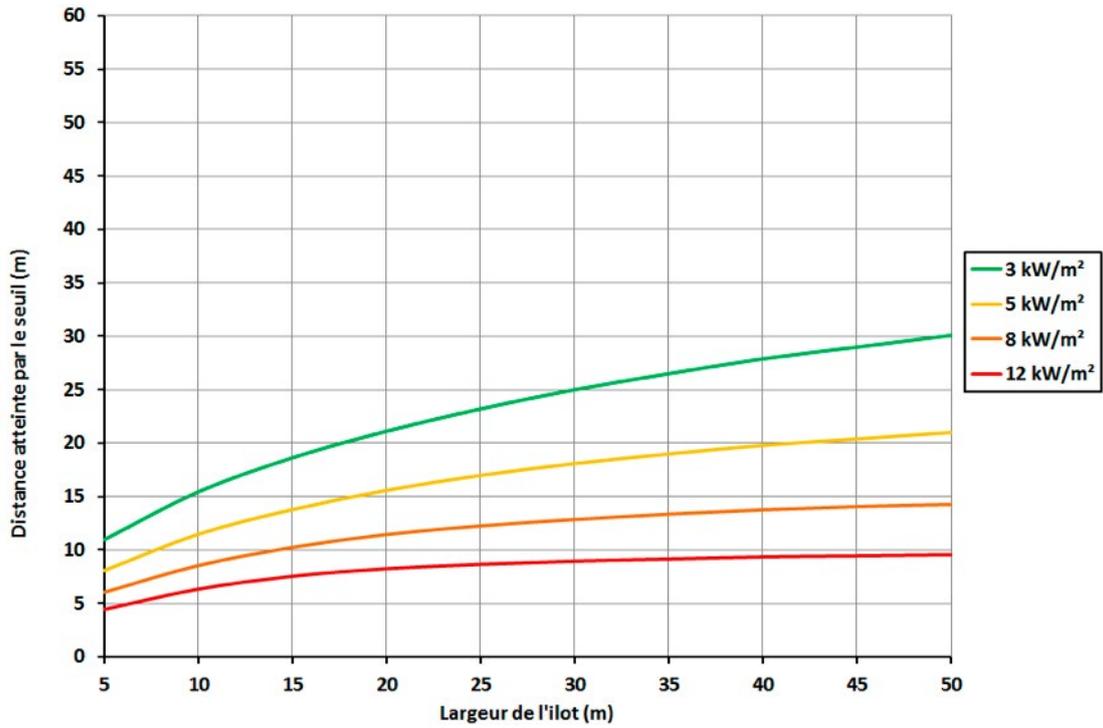
Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 1,5 m

- Figure 12 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 2 casiers (1,5 m)



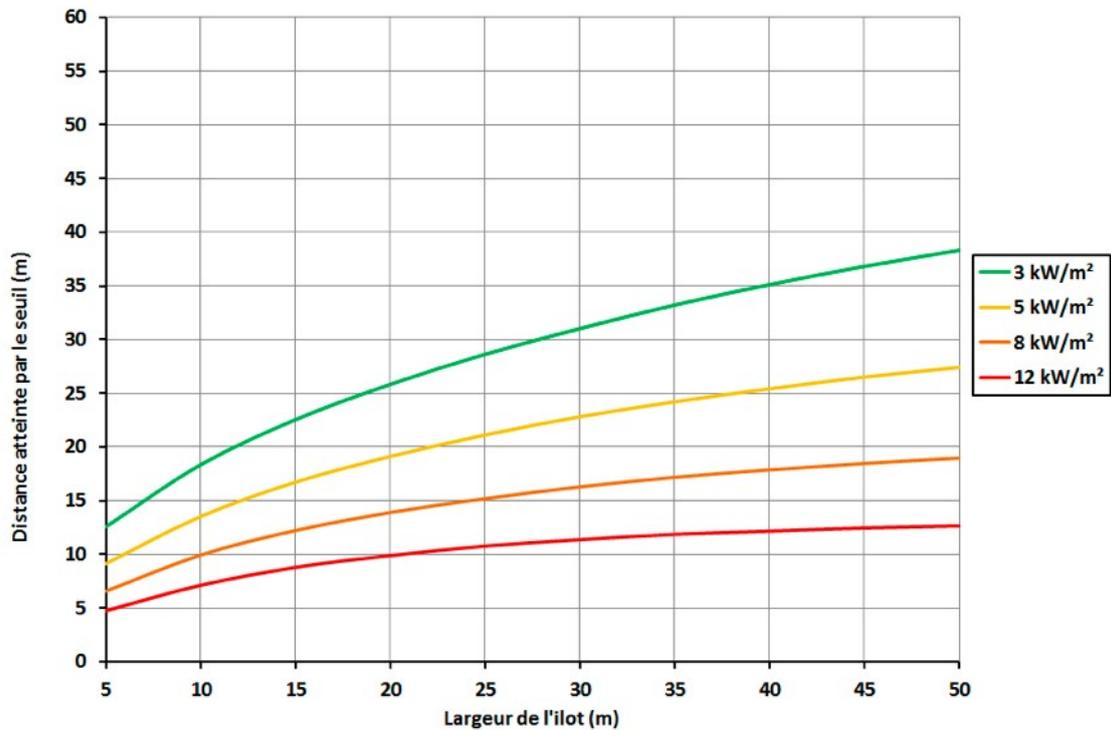
Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 3 m

• Figure 13 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 4 casiers (3 m)



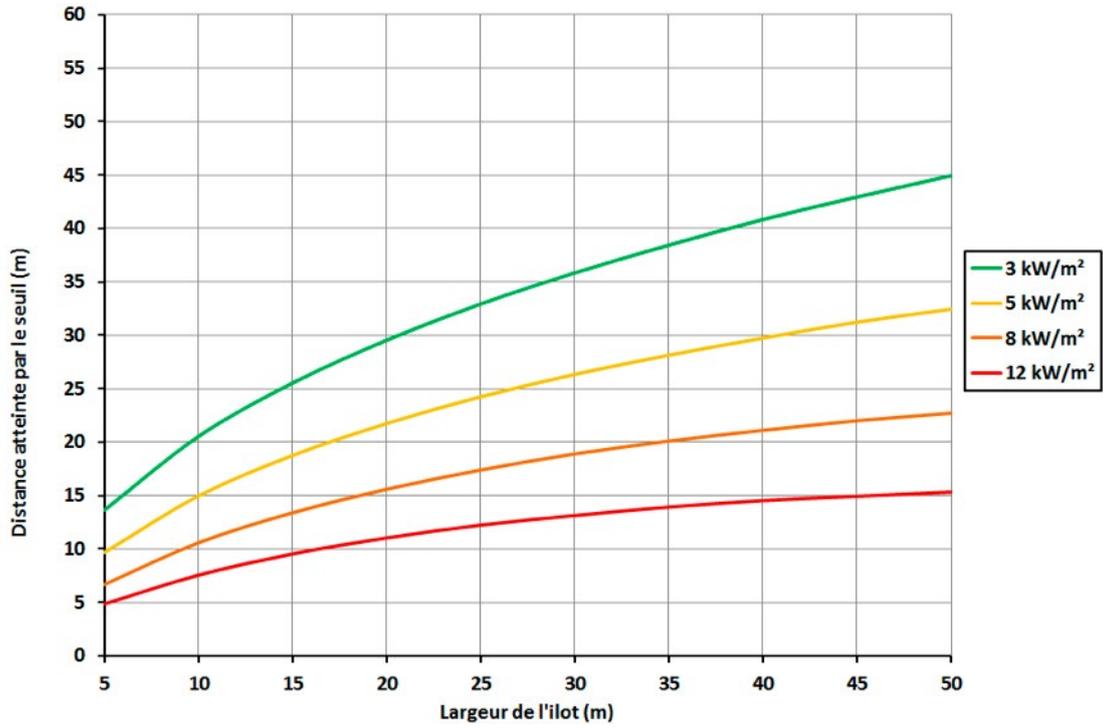
Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 4,5 m

• Figure 14 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 6 casiers (4,5 m)



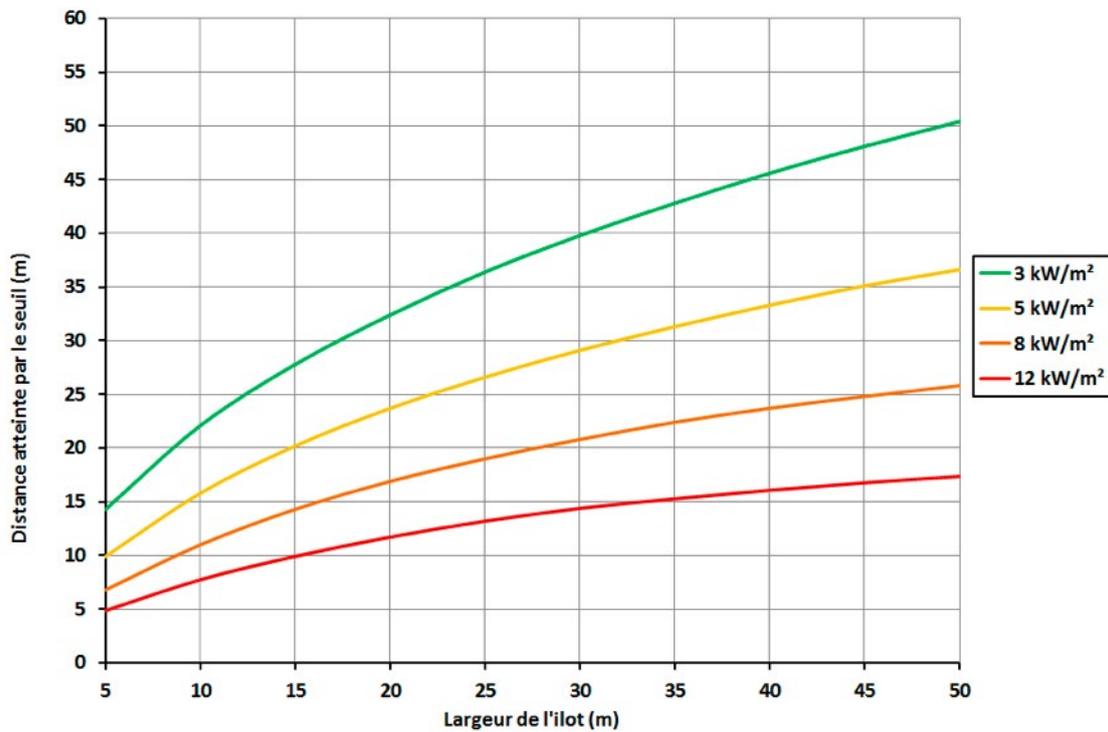
Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 6 m

• Figure 15 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 8 casiers (6 m)



Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 7,5 m

• Figure 16 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 10 casiers (7,5 m)



Pour les îlots de stockage de casiers de **bouteilles composites vides** :

- les distances d'effets pour une hauteur de 2 casiers sont multipliées par 1,5 à 2,5 pour une hauteur de 8 casiers ;
- pour une hauteur de stockage donnée, les distances d'effets sont multipliées par environ un facteur 2 entre un îlot de 10 m et 40 m de large.

Quelques distances d'effet illustratives (SEI/SEL/SELS indiqués) pour quelques dimensions d'îlots supposées représentatives pour la majorité des cas (largeur et hauteurs usuelles) sont indiquées dans le tableau 10.

Tableau 10 : Exemples de distances d'effets thermiques aux seuils SEI/SEL/SELS de l'incendie d'un îlot de stockage de bouteilles composites vides

Hauteur	Largeur (m)		
	10	20	40
1,5 mètre - 2 casiers	11 / 8 / 6	14 / 10 / 7	18 / 12 / 8
3 mètres - 4 casiers	15 / 12 / 9	21 / 16 / 11	28 / 20 / 14
4,5 mètres - 6 casiers	18 / 14 / 10	26 / 19 / 14	35 / 25 / 18
6 mètres - 8 casiers	21 / 15 / 11	30 / 22 / 16	41 / 30 / 21

Le comparatif des distances d'effets entre les **îlots de bouteilles composites pleines et vides** indique que pour une hauteur de gerbage et pour une largeur d'îlot données, les distances d'effets pour les casiers de bouteilles pleines sont multipliées par 1.5 à 2 par rapport à celles des bouteilles vides

### 6.3.3. Scénario de BLEVE de bouteilles métalliques

Le scénario étudié ici est un BLEVE successif de bouteilles métalliques, consécutif à une agression thermique.

Dans le cas d'une bouteille prise dans un incendie conduisant à un BLEVE, la modélisation n'est réalisée que pour une seule bouteille. Toutefois, toutes les bouteilles du casier peuvent « blever » les unes après les autres tant que l'agression thermique n'a pas été stoppée. Les modélisations sont réalisées en distinguant le BLEVE sur des bouteilles vides et sur les bouteilles pleines.

Des modélisations de BLEVE de bouteilles vides avec des taux de remplissage de 0 et 10% ont été réalisées. Elles montrent des écarts minimes pour les distances d'effets de surpression, un taux de remplissage de

0% fournissant les distances d'effets majorantes. Ce sont ces dernières qui sont affichées dans la suite du document pour les bouteilles vides.

Les distances d'effets de surpression des bouteilles pleines sont supérieures à celles des bouteilles vides.

#### 6.3.3.1. Résultats des modélisations de BLEVE de bouteilles métalliques

Dans le cas où plusieurs types de bouteilles, pleines ou vides, seraient présentes dans un même îlot de stockage, la plus pénalisante en termes d'effets thermiques ou de surpression devra être considérée.

##### 6.3.3.1.1. Bouteilles de Butane

###### 6.3.3.1.1.1. Effets thermiques

La boule de feu est de très courte durée compte tenu des volumes réduits des bouteilles. Les seuils de dose thermique ne sont donc pas atteints au-delà du rayon de la boule de feu. Les distances affichées dans le Tableau 11 correspondent donc au rayon estimé de la boule de feu du BLEVE.

Tableau 11 : Distances d'effets thermiques du BLEVE de bouteilles de butane métalliques pleines

Distance (m)	Type de bouteille métallique de butane				
	13 kg	10 kg	6 kg	2,95 kg	0,5 kg
SEI	7	7	5	4	2
SEL	7	7	5	4	2
SELS	7	7	5	4	2

### 6.3.3.1.2. Effets de surpression

Figure 17 : Distances d'effets de surpression du BLEVE de bouteilles de butane métalliques pleines

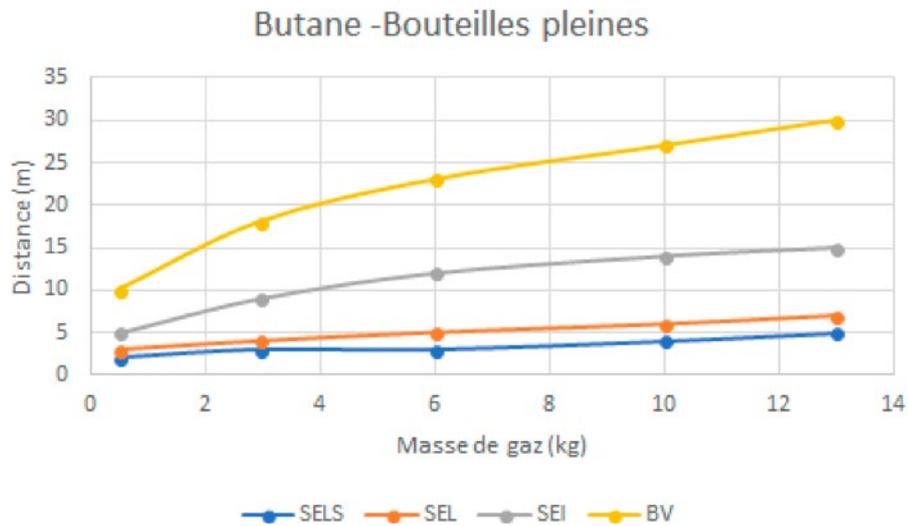
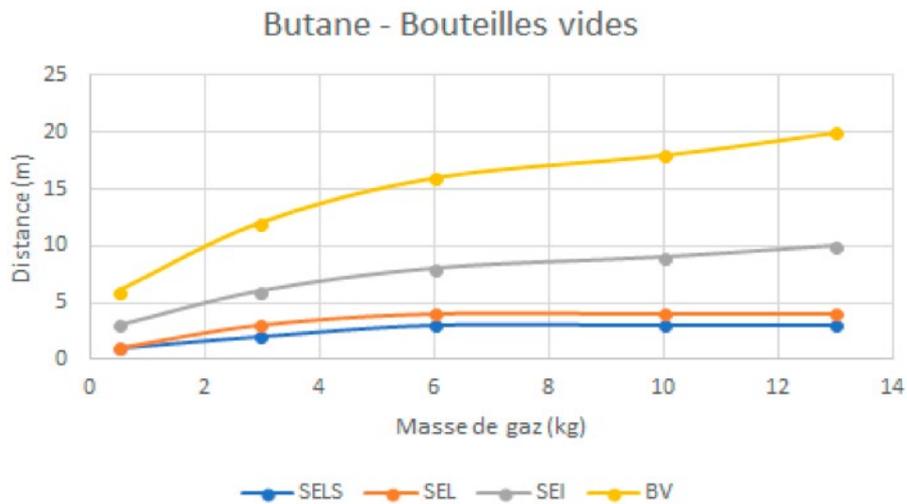


Figure 18 : Distances d'effets de surpression du BLEVE de bouteilles de butane métalliques vides



### 6.3.3.1.2. Bouteilles de Propane

#### 6.3.3.1.2.1. Effets thermiques

La boule de feu est de très courte durée compte tenu des volumes réduits des bouteilles. Les seuils de dose thermique ne sont donc pas atteints au-delà du rayon de la boule de feu. Les distances affichées dans le Tableau 12 correspondent donc au rayon estimé de la boule de feu du BLEVE.

Tableau 12 : Distances d'effets thermiques du BLEVE de bouteilles de propane métalliques pleines

Distance (m)	Type de bouteille de propane				
	35 kg	30 kg	17 kg	13 kg	5/6 kg
SEI	12	11	8	8	6
SEL	12	11	8	8	6
SELS	12	11	8	8	6

## 6.3.3.1.2. Effets de surpression

Figure 19 : Distances d'effets de surpression du BLEVE de bouteilles de propane métalliques pleines

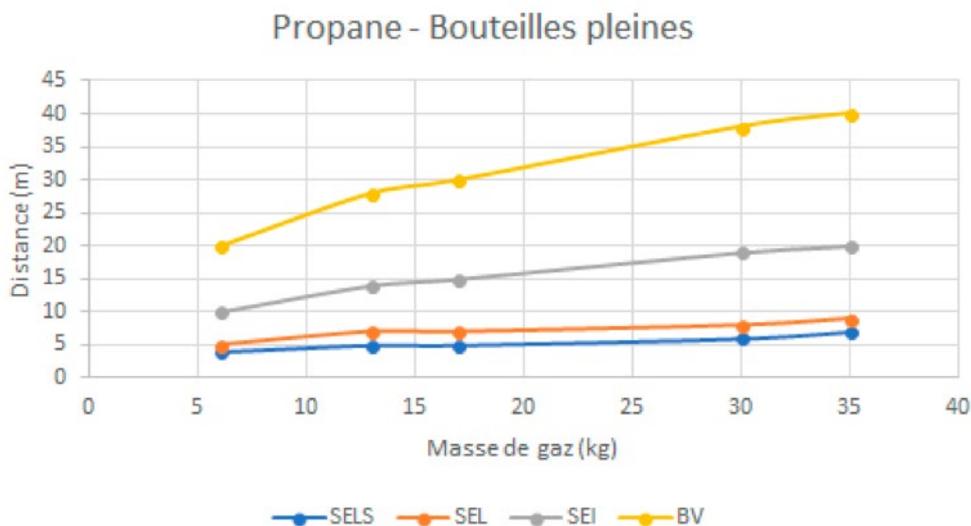
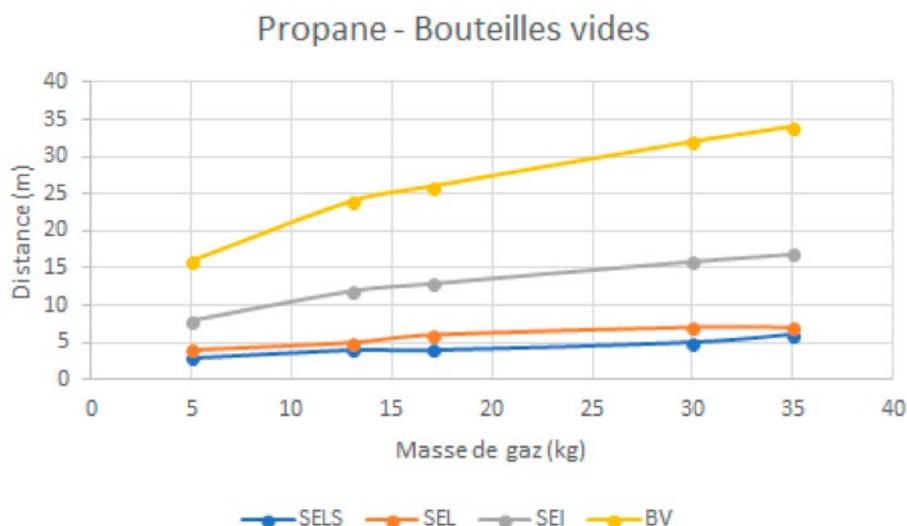


Figure 20 : Distances d'effets de surpression du BLEVE de bouteilles de propane métalliques vides



## 6.3.3.1.3. Effets de projection

En plus des effets de surpression et des effets thermiques consécutifs à la formation d'une boule de feu, le BLEVE d'une bouteille de GPL peut conduire à la projection de fragments à des distances parfois très importantes.

Le mode de rupture du réservoir a une importance primordiale dans l'émission de fragments. Il explique en partie le nombre de fragments produits et leur trajectoire. Le nombre, la taille et la forme des fragments est donc assez variable et imprévisible, mais il est généralement limité à 3 ou 4 au maximum.

Les modélisations réalisées par l'Ineris, notamment dans le cadre des études de sécurité des essais

réalisés sur des bouteilles de 13 kg de butane donnent des distances de projection de 500 m quel que soit le taux de remplissage de la bouteille.

Ces distances concordent avec les distances observées dans l'accidentologie récentes notamment l'accident de Jonquières où a été observée la présence de débris de bouteilles à une distance de 300 à 400 m du lieu de l'accident, et celui de Theix où des débris ont été retrouvés à 450 m.

Les effets de projection sont à traiter conformément au paragraphe 1.2.2. de la circulaire du 10 mai 2010 relatif au traitement spécifique des effets de projection.

## 7

# CARACTÉRISATION DES PROBABILITÉS D'OCCURRENCE

Ce chapitre explicite la méthode utilisée pour évaluer la probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux et des accidents majeurs.

## 7.1 Classes des probabilités d'occurrence

Dans le cadre d'une EDD, les phénomènes dangereux et accidents sont classés en classe de probabilité conformément à l'annexe 1 (relative aux échelles de probabilité) de l'arrêté PICG du 29 septembre 2005. Ces classes sont présentées dans le tableau 13.

Tableau 13 : Tableau de l'annexe 1 de l'arrêté du 29 septembre 2005

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

## 7.2 Méthode d'estimation de la probabilité

### 7.2.1. Probabilités issues des bases de données publiques

Dans le cadre de ce guide, des données concernant certains événements redoutés centraux et phénomènes dangereux sont présentées dans le Tableau 14. Elles proviennent d'une base de données adaptée. L'exploitant est laissé libre de les utiliser ou de valoriser du retour d'expérience et/ou des éléments spécifiques à son ou ses installations.

Dans les bases de données investiguées, aucun élément n'est ressorti pour la détermination de la probabilité d'occurrence de :

- percement bouteille composite suite à un choc par engin de manutention ;
- feu de camion (pneus, freins, etc...) ;
- feu d'engin de manutention ;
- agression thermique par feu de végétation,
- incendie d'un îlot.

### 7.2.2. Démarche adoptée dans ce guide

La démarche adoptée pour la détermination des probabilités d'occurrence des phénomènes dangereux identifiés précédemment a été dictée par les informations disponibles dans les bases de données.

De ce fait, en l'absence de données spécifiques relatives à un UVCE/VCE consécutif à un percement de bouteilles composites par les fourches d'un chariot élévateur, la détermination de la probabilité d'occurrence de ce phénomène dangereux a été réalisée qualitativement (voir chapitre 7.3.1).

Concernant les estimations de probabilité de BLEVE de bouteilles métalliques et d'incendie d'un îlot de stockage de bouteilles composites, elles ont été réalisées en exploitant les données issues de base de données mentionnées au Tableau 14 (voir chapitre 7.3.2 et 7.3.3).

## 7.3 Estimation des probabilités d'occurrence des phénomènes dangereux identifiés

### 7.3.1. Estimation de la probabilité d'un UVCE/VCE consécutif à un percement de bouteilles composites par les fourches de chariot élévateur

Tout d'abord, il est important de préciser que ce scénario accidentel n'a pas été observé à ce jour, au vu du REX disponible (base ARIA, retour d'expérience du CFBP). A ce titre la probabilité d'occurrence de ce scénario accidentel sera intuitivement relativement faible.

Également, les pratiques de manutention de casiers de bouteilles composites sur les dépôts logistiques vont dans le sens d'une minimisation de la probabilité d'occurrence de ce scénario.

En effet, comme illustré dans la Figure 21, les casiers des bouteilles composites sont équipés de dispositifs permettant de réduire le risque de percussion des bouteilles par la présence de fourreaux. Ce dispositif limite intrinsèquement la vitesse pour viser les guides et nécessite la prise du casier avec un écartement des fourches permettant de se trouver entre deux bouteilles composites.



Source : CFBP

Tableau 14 : Données recensées pour l'estimation des probabilités d'occurrence

ERC/PhD	Probabilité d'occurrence annuelle	Source
Fuite de bouteille de GPL	$1,1 \cdot 10^{-6}$ /bouteille	Handboek Faalfrequenties 2009
BLEVE de bouteilles GPL	$9 \cdot 10^{-7}$ /bouteille	Handboek Faalfrequenties 2009

Dans le cas où l'exploitant apporte la démonstration de résistance au choc des bouteilles composites (démontre l'impossibilité de percer les bouteilles) ou l'utilisation de dispositifs spécifiques (chariot à fourches rétractables ou fourches anti-percement ou tout autre dispositif équivalent), **le scénario de percement de bouteilles composites par les fourches n'est pas retenu.**

Une évaluation de la probabilité d'occurrence en se basant sur le retour d'expérience serait pénalisante au vu de la faible période d'observation de la manipulation de bouteilles composites.

En l'absence d'autres données, l'Ineris propose de retenir, pour l'UVCE/VCE consécutif à un percement de bouteille par les fourches d'un chariot élévateur, une classe de probabilité de E.

### 7.3.2. Estimation de la probabilité de BLEVE de bouteilles métalliques

La probabilité d'occurrence annuelle du BLEVE de bouteille GPL issue des bases de données est de  $9 \cdot 10^{-7}$ /bouteille. Considérant que l'agression thermique et les effets dominos par projectiles sont les seules causes d'agression retenues à l'origine d'un BLEVE de bouteille (la corrosion, le sur-remplissage, la chute de bouteilles, etc...ne sont pas retenues), cette valeur générique est retenue par îlot et non par bouteille. Cependant cette valeur pourra être considérée pour la détermination de la probabilité d'occurrence, sous réserve de la démonstration de bonnes pratiques organisationnelles et techniques relatives à la maîtrise des agressions thermiques (cf. chapitre 2.5). Ces dernières concernent par exemple la maîtrise des sources d'inflammation, l'éloignement des matières combustibles, l'entretien et l'éloignement des espaces verts internes et adjacents au site, etc.

L'Ineris propose donc de retenir pour ce scénario, en l'absence d'autres données, une classe de probabilité de E.

### 7.3.3. Estimation de la probabilité d'incendie d'un îlot de stockage de bouteilles composites

L'incendie des bouteilles composites est la conséquence d'une agression thermique, au même titre que le BLEVE de bouteilles métalliques. A ce titre, la valeur générique pour le BLEVE des bouteilles de GPL ( $9 \cdot 10^{-7}$ /bouteille) est également retenue par îlot pour l'estimation de la probabilité d'occurrence annuelle de l'incendie suite à une agression thermique des bouteilles composites.

Cette valeur pourra donc être considérée pour la détermination de la probabilité d'occurrence, sous réserve de la démonstration de bonnes pratiques organisationnelles et techniques relatives à la maîtrise des agressions thermiques (cf. chapitre 2.5). Ces dernières concernent par exemple la maîtrise des sources d'inflammation, l'éloignement des matières combustibles, l'entretien des espaces verts internes et adjacents au site, etc...

L'Ineris propose donc de retenir pour ce scénario, en l'absence d'autres données, une classe de probabilité de E.

### 7.3.4. Méthodes d'évaluation des barrières de sécurité

Dans le cas où des barrières de sécurité seraient mises en place ou prévues en amont (dans ce cas ne pourront être considérées que les barrières que l'on ne trouve pas habituellement sur ce type de site) et/ou en aval de l'ERC, pour être prises en compte dans la réduction des risques, elles devront être évaluées en suivant les méthodologies décrites dans les deux référentiels disponibles sur le site internet de l'Ineris :

- Oméga 10<sup>8</sup> pour les barrières techniques de sécurité ;
- Oméga 20<sup>9</sup> pour les barrières humaines de sécurité ; pour les barrières humaines de sécurité la fiche n°7 de la circulaire du 10 mai 2010 fournit également une méthodologie d'évaluation.

8. Rapport DRA-08-95403-01561B « Évaluation des performances des Barrières Techniques de Sécurité (DCE DRA-73) - Évaluation des Barrières Techniques de Sécurité - Ω 10 » du 01/09/2008 ;

9. Rapport DRA-09-103041-06026B « Démarche d'évaluation des Barrières Humaines de Sécurité - Ω 20 - Programme 181 - DRA 77 : Maîtrise des risques accidentels par les dispositions technologiques et organisationnelles » du 21/09/2009

## 8

## CARACTÉRISATION DE LA CINÉTIQUE DES ÉVÈNEMENTS

L'ensemble des phénomènes dangereux et accidents majeurs retenus dans les études de dangers de ce type d'installation sont à cinétique rapide.

Il est à noter que l'adéquation de la cinétique de mise en œuvre des barrières de sécurité et de la

cinétique des phénomènes dangereux conduisant aux accidents majeurs potentiels doit être prise en compte.

## 9

## EFFETS DOMINOS

Dans le cadre de l'étude de dangers, les phénomènes dangereux issus de l'installation de stockage de bouteilles de GPL doivent être pris en considération en tant que potentiels événements initiateurs d'un phénomène dangereux pouvant avoir lieu sur le site.

L'exploitant doit ainsi déterminer si des effets de phénomènes dangereux générés par l'installation de stockage de bouteilles GPL (effets thermiques, de surpression, projectiles, etc.) peuvent atteindre d'autres installations potentiellement dangereuses à l'extérieur des limites de propriété.

Il appartient à l'exploitant, suite à son analyse des effets dominos potentiels, de considérer les probabilités d'occurrence des phénomènes dangereux à l'origine de l'effet domino dans la probabilité d'occurrence de l'accident majeur généré.

Plus de précisions sur la prise en compte des effets dominos dans les études de dangers sont données dans la circulaire du 10 mai 2010.

## 10

## GLOSSAIRE

**ADR** : Accord pour le transport des marchandises dangereuses par la route

**APR** : Analyse Préliminaire de Risques

**BARPI** : Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels

**CFBP** : Comité Français du Butane et du Propane

**EDD** : Étude De Dangers

**ERC** : Évènement Redouté Central

**GNR** : Gasoil Non Routier

**GPL** : Gaz de Pétrole Liquéfié

**ICPE** : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

**Ineris** : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

**PhD** : Phénomène Dangereux

**PPRT** : Plan de Prévention des Risques Technologiques

**SEI** : Seuil des Effets Irréversibles

**SEL** : Seuil des Effets Létaux

**SELS** : Seuil des Effets Létaux Significatifs

**TMD** : Transport de Marchandises Dangereuses

## 11

## LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
A	Les causes externes pouvant être considérées dans une étude de dangers	3
B	Tableaux d'analyse préliminaire des risques relatifs au stockage et à la manutention des bouteilles de GPL	4
C	Caractérisation de l'intensité des phénomènes dangereux retenus	14

# ANNEXE A : LES CAUSES EXTERNES POUVANT ÊTRE CONSIDÉRÉES DANS L'ÉTUDE DE DANGERS

## Les causes externes considérées

Les causes externes au site pouvant être considérées comme événement initiateur dans un potentiel accident sont présentées ci-dessous.

### 1.1 Les causes exclues de l'étude de dangers

Plusieurs événements initiateurs peuvent être exclus de l'analyse préliminaire des risques, soit parce que ces exclusions sont prévues dans la circulaire du 10 mai 2010 relative à la méthodologie applicable aux études de dangers dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003, soit parce que les conséquences de cet événement seront largement supérieures aux conséquences de l'accident qu'il entraînerait sur l'installation de stockage de bouteilles de GPL.

Les événements initiateurs (ou agressions externes) suivants sont exclus de l'analyse des risques :

- chute de météorite ;
- séisme d'amplitude supérieure aux séismes maximums de référence éventuellement corrigés de facteurs, tels que définis par la réglementation applicable aux installations classées considérées ;
- crues d'amplitude supérieure à la crue de référence, selon les règles en vigueur ;
- événements climatiques d'intensité supérieure aux événements historiquement connus ou prévisibles pouvant affecter l'installation, selon les règles en vigueur ;
- chute d'avion hors des zones de proximité d'aéroport ou aérodrome (rayon de 2 km des aéroports et aérodromes) ;
- rupture de barrage de classe A ou B au sens de l'article R.214-112 du Code de l'environnement ou d'une digue de classe A, B ou C au sens de l'article R. 214-113 du même code ;
- actes de malveillance.

### 1.2 Les causes génériques d'origine naturelle

Les causes d'agressions d'origine naturelle, en dehors de celles explicitement exclues et mentionnées ci-dessus, doivent être étudiées dans l'étude de dangers. Pour les risques naturels tels que le séisme, l'inondation, la foudre, la neige et le vent, comme défini par la circulaire du 10 mai 2010 et hormis le fait que l'étude de dangers remise par l'exploitant devra

justifier de façon précise que la réglementation idoine est respectée, l'analyse de risques prendra en compte cet événement initiateur. Elle prendra également en considération la ou les mesures de maîtrise des risques en correspondance avec la réglementation associée, aux côtés d'autres éventuelles mesures de maîtrise des risques mises en place à l'initiative de l'industriel.

En revanche, la probabilité d'occurrence de l'événement initiateur ne sera pas évaluée et il ne sera pas tenu compte de cet événement initiateur dans la probabilité du phénomène dangereux, de l'aléa ou de l'accident correspondant.

Les événements « foudre » et « séisme » sont encadrés par des arrêtés ministériels spécifiques aux installations classées. Pour les événements « neige et vent », il s'agit de respecter des normes associées. Pour l'événement « inondation », il n'existe pas d'arrêté ministériel spécifique IC, ni de norme à respecter, il faut justifier du bon dimensionnement des installations vis-à-vis du PPRI en vigueur. Pour finir, il n'y a pas de consigne spécifique pour les autres risques naturels.

#### 1.2.1 Séisme

L'exploitant devra s'assurer de l'application de la réglementation séisme pour le risque normal selon l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de constructions parasismiques applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal ».

Remarque : dans le cas où l'installation est SEVESO seuil bas ou seuil haut, l'exploitant devra s'assurer de l'application de l'arrêté du 15 février 2018 modifiant la section II de l'arrêté du 4 octobre 2010 relatif à la prévention des risques accidentels au sein des installations classées pour la protection de l'environnement. A ce titre un casier de bouteilles de GPL peut être considéré comme un équipement.

L'exploitant devra réaliser l'étude séisme en fonction de la zone de sismicité et de la classe de sol retenues pour le site.

Ceci étant dit, hormis les bureaux du personnel ou locaux administratifs, aucun bâtiment n'est utilisé pour les activités de stockage des bouteilles de GPL.

En tout état de cause, il peut être envisagé une chute de casiers de stockage en cas de séisme. Cependant, nous retiendrons la même approche qu'en cas de chute de casier lors des opérations de manutention.

La chute d'un casier entier en cas de séisme conduisant à la rupture de l'ensemble des robinets des bouteilles pouvant s'y trouver n'a pas été retenue. Ce scénario a

été considéré comme très fortement improbable du fait de la présence du casier métallique atténuant le choc en cas de chute, le bon maintien des bouteilles dans les casiers, de la présence de chapeaux de protection des robinets et de l'absence de retour d'expérience sur ce type d'accident.

### 1.2.2 Inondation

L'exploitant doit mener une analyse qualitative pour déterminer les équipements pouvant être touchés et les conséquences éventuelles. L'industriel devra présenter les mesures en place et s'interroger sur les moyens d'alerte en cas de crue, les moyens de protections possibles : surélévation, barrages temporaires, mise en sécurité des installations... On veillera à vérifier que la cinétique de mise en œuvre des mesures est compatible avec celle du phénomène de crue : rapidité de la crue, temps pour alerter les exploitants, etc.

Deux situations sont possibles :

- soit le site est en dehors des zones potentiellement inondables, alors l'inondation n'est pas retenue comme source d'agression externe dans l'étude de dangers (attention néanmoins aux causes indirectes par perte d'utilités : électricité, eau, gaz, etc.) ;
- soit le site est situé dans les zones potentiellement inondables, alors l'inondation doit être traitée dans l'EDD.

Pour information, la circulaire du 10 mai 2010 précise qu'il faut prévoir un « dimensionnement des installations pour leur protection contre la crue de référence telle par exemple que définie à ce jour dans le guide plan de prévention des risques inondations (PPRi du MEDDE). Une attention particulière sera portée aux effets indirects : renversement de cuves, perte d'alimentation électrique, effet de percussion par des objets dérivants. ».

Pour plus d'information concernant la prise en compte du risque inondation dans l'étude, l'Ineris a rédigé en 2014 un référentiel méthodologique concernant la maîtrise du risque inondation dans les installations classées (référence : DRA-14-141515-03596A).

Concernant les dépôts logistiques de bouteilles GPL situés dans des zones potentiellement inondables, les mesures à envisager, en fonction de la cinétique de crue, peuvent être le déplacement des casiers de bouteilles ou leur empilement.

Il est important de rappeler que ces bouteilles GPL ont, par conception, une certaine résistance aux chocs. En cas d'entraînement de bouteilles lors d'une crue ou de percussion de bouteilles par des objets dérivant, seule une rupture du robinet est envisagée. Si d'autres situations devaient être identifiées (dérive de casiers par exemple), l'exploitant les intégrera dans son analyse.

### 1.2.3 Foudre

Les installations doivent répondre aux prescriptions de la section III de l'arrêté du 4 octobre 2010.

Une analyse du risque foudre, déterminant les risques de surtensions, de décharges électriques et d'inflammation liés à la foudre et le niveau de protection requis pour les différentes installations, doit être réalisée.

Si nécessaire, une étude technique doit être réalisée en fonction des résultats de l'analyse du risque foudre. Elle définit les mesures de prévention et les dispositifs de protection, le lieu de leur implantation ainsi que les modalités de leur vérification et de leur maintenance.

### 1.2.4 Neige et vent

L'exploitant précise les références de l'étude permettant de justifier le respect des réglementations en vigueur tenant compte de la cause « neige et vents ». Il est nécessaire de s'assurer que les équipements sont conçus conformément aux normes NF EN 1991-1-3 et NF EN 1991-1-4 (Eurocode 1 - Parties 3 et 4). Puis, il faut déterminer les conditions minimales à respecter d'après la norme et le zonage établi.

Cependant ces réglementations s'appliquent aux bureaux du personnel ou locaux administratifs, les casiers de bouteilles ne sont pas concernés.

## 1.3 Autres causes d'origine naturelle

D'autres causes peuvent être recherchées en fonction du contexte local. Il peut s'agir de mouvement de terrain, de volcans, d'avalanches, de feux de forêt, etc. Une étude au cas par cas est alors à mener en fonction du risque évalué.

Le feu de végétation autour du dépôt de bouteilles peut également être une cause de BLEVE, cette cause est alors à prendre en compte comme potentiel événement initiateur.

## 1.4 Causes liées à l'activité humaine

### 1.4.1 Chute d'avion

La circulaire du 10 mai 2010 précise que la chute d'avion n'est pas retenue « hors des zones de proximité des aéroports ou aérodrome, c'est-à-dire à plus de 2000 m de tout point des pistes de décollage et d'atterrissage ». Selon la position du dépôt, la chute d'avion sera ou non retenue. L'étude de dangers conclut donc sur la prise en compte de la chute d'avion comme cause d'agression externe.

Si l'installation se situe à moins de 2000 m d'un aérodrome, la chute d'avion doit être évaluée en probabilité d'occurrence. La chute d'avion sera prise en compte pour coter la probabilité des pertes de confinement des bouteilles de GPL stockées. La probabilité est évaluée en tenant compte du trafic de l'aérodrome, des probabilités génériques de chute d'avion (avion commercial, avion militaire, aviation générale), de la surface de l'installation, de la position de l'installation par rapport à la piste de décollage et d'atterrissage (pondération de la probabilité si

l'installation n'est pas située dans l'axe des pistes).

Pour des sites à proximité des aéroports ou aérodromes, en lien avec la circulaire du 10 mai 2010, on pourra exclure de la maîtrise de l'urbanisation « la chute d'aéronefs de plus de 5,7 tonnes lorsque le nombre de mouvements est inférieur à 1250 / an. »

#### 1.4.2 Effets dominos – effets depuis les installations voisines

L'étude de dangers évalue au cas par cas si des effets dominos peuvent atteindre les équipements et installations environnantes : chaufferie gaz à proximité, entreposage de matériaux combustibles, installations de transfert, canalisations de gaz à proximité, ou autres installations classées situées dans l'environnement du site, etc. Les installations voisines doivent être analysées en vue d'identifier des causes d'agressions potentielles.

Si nécessaire, des mesures de protection seront mises en œuvre.

#### 1.4.3 Travaux

Les travaux et interventions sur l'installation font l'objet de procédures spécifiques. Des plans de prévention et des permis spécifiques sont mis en œuvre incluant, le cas échéant, des permis de feu, des consignations / déconsignations, etc.

#### 1.4.4 TMD extérieurs du site

La circulaire du 10 mai 2010 précise, pour des établissements Seveso, qu'une analyse qualitative doit permettre d'évaluer le risque : flux de véhicules, distances de la voie de circulation par rapport à l'installation, ordre de grandeur de l'intensité de l'agression, etc. Toutefois, aucune évaluation quantitative n'est menée et la cause « TMD extérieur au site » n'est finalement pas prise en compte dans les évaluations de risque, que ce soit pour l'acceptabilité du risque, la maîtrise de l'urbanisation et le PPI. L'étude de dangers se limite à une description qualitative des TMD à l'extérieur du site.

#### 1.5 TMD intérieurs du site

Les effets possibles sur l'installation de stockage liés au TMD dans le site sont à prendre en compte pour les engins mobiles aux postes de chargement/déchargement ou sur des zones de stationnement. La possibilité de choc sur les installations en cas d'accident est à étudier.

# **ANNEXE B : TABLEAUX D'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES RELATIFS AU STOCKAGE ET À LA MANUTENTION DES BOUTEILLES DE GPL**

**ZONE : Stockage extérieur des bouteilles de GPL (localisations considérées : îlots de stockage, zone de tri, en attente sur le camion plateau et aires de stationnement des camions)**

Évènement redouté central	Causes	Évènements initiateurs des causes	Mesures de prévention
Perte de confinement GPL	Défaillance matérielle	Usure joint	Respect de la réglementation ESP Contrôles et inspections conformes à la réglementation ESP
		Défaut métallurgique	
		Vieillessement (corrosion, etc...)	Respect des normes de conception/ fabrication (EN1442, EN14140, EN1439, EN12245)
		Robinet fuyard	Réglementation ESP Contrôles et inspections conformes à la réglementation ESP
		Robinet mal fermé (au centre emplisseur)	
		Soupape défaillante	
Montée en pression & perte de confinement	Agression thermique	Feu d'engin de manutention	Procédure de contrôle des engins de manutention
	Agression thermique	Feu de fioul d'engin de manutention	Procédure de contrôle des engins de manutention
	Agression thermique	Feu de végétation	Absence de végétation / entretien adéquat à proximité des bouteilles
	Agression thermique	Travaux par points chauds	Permis feu
	Agression thermique	Incendie des installations annexes (Ilot de stockage adjacent, installation à proximité, etc...)	
	Agression thermique	Départ de feu sur le camion (pneu, freins, etc...)	Procédure(s), Surveillance opérateur
Montée en pression & perte de confinement	Sur-remplissage		
Perte de confinement	Agression mécanique	Projectile provenant de l'extérieur du site	

Phénomènes dangereux	Mesures de protection	Observations/ recommandations
UVCE/VCE (effets thermiques et de surpression) Feu torche	Limiteur de débit (pour certaines bouteilles) : fuite limitée	
UVCE/VCE (effets thermiques et de surpression) Feu torche Non retenu (voir paragraphe 1.2.1 « Évènements initiateurs spécifiques » de la circulaire du 10 mai 2010)		Le paragraphe 1.2.1 « Évènements initiateurs spécifiques » de la circulaire du 10 mai 2010, applicable aux récipients sous pression transportables, stipule que l'évènement initiateur de défaut ne sera pas évalué et il n'en sera pas tenu compte dans la probabilité du phénomène dangereux (et donc de l'accident en découlant) sous réserve notamment que l'exploitant a mis en place les moyens pour : - s'assurer que l'enceinte fonctionne dans la gamme de paramètres pour lequel il a été conçu (température, pression, produit, ...) - contrôler que les spécificités de l'enceinte permettant la fonction de confinement et les organes de sécurité, sont correctement maintenues dans le temps.
UVCE/VCE (effets thermiques et de surpression) Feu torche  Non retenu	Limiteur de débit (pour certaines bouteilles) : fuite limitée	Aucune manipulation sur les bouteilles n'a lieu sur site (excepté chargement/déchargement par engins de manutentions). Fuite d'une seule bouteille considérée au vu : D'une part des contrôles effectués en sortie de centre emplisseur limitant la probabilité d'avoir une fuite de robinet/défaillance soupape D'autre part du fait que la bouteille fuyarde en sortie de centre emplisseur sera vidée dans sa quasi-totalité à son arrivée au dépôt.
BLEVE pour bouteilles métalliques Flux thermique pour les bouteilles composites		Les bouteilles de composites « monocoques » peuvent conduire à une perte de confinement de leur structure par le feu. Dans ce cas, le GPL va s'enflammer instantanément pouvant conduire à un incendie généralisé de l'ensemble du casier voire des îlots pris dans le feu.
BLEVE pour bouteilles métalliques Flux thermique pour les bouteilles composites		A considérer en fonction des engins utilisés
BLEVE pour bouteilles métalliques Flux thermique pour les bouteilles composites		A considérer en fonction de la configuration des installations
Non retenu	Extincteur à proximité	Les travaux ne se font généralement pas sur le casier rempli de bouteilles et les travaux par point chaud peuvent être une source d'inflammation en cas de perte de confinement sur les bouteilles (cause traitée ci-dessus)
BLEVE pour bouteilles métalliques Flux thermique pour les bouteilles composites		A considérer en fonction de la configuration des installations
BLEVE pour bouteilles métalliques Flux thermique pour les bouteilles composites	Extincteurs	
Non retenu		Aucune activité de remplissage n'est effectuée dans les dépôts logistiques de bouteilles GPL, cette cause n'est donc pas retenue.
BLEVE pour bouteilles métalliques		A considérer en fonction de la configuration des installations

**ZONE : Zone de chargement/déchargement des bouteilles & opération de manutention entre le camion et la zone de stockage (dans les deux sens)**

Évènement redouté central	Causes	Évènements initiateurs des causes	Mesures de prévention
Perte de confinement GPL	Erreur opératoire ou collision du chariot par un autre engin	Choc d'un engin de manutention sur des bouteilles GPL Perçement par les fourches	Casiers-Palettes équipés de fourreaux afin d'éviter tout contact des fourches avec les bouteilles composites Respect des normes de conception/fabrication (EN1442, EN14140, EN1439, EN12245), Test de choc (à fournir par l'exploitant si disponible)
Perte de confinement GPL	Erreur opératoire	Chute d'une ou plusieurs bouteilles GPL lors d'un chargement/déchargement	Respect des normes de conception/fabrication (EN1442, EN14140, EN1439, EN12245), NF EN ISO 10297 version 2014 et NF EN ISO 11117 version 2008 sur les robinets de bouteilles Test de chute (à fournir par l'exploitant si disponible)
Perte de confinement GPL	Erreur opératoire	Chute du rack de bouteilles GPL lors d'un chargement/déchargement	Respect des normes de conception/fabrication (EN1442, EN14140, EN1439, EN12245), NF EN ISO 10297 version 2014 et NF EN ISO 11117 version 2008 sur les robinets de bouteilles Test de chute (à fournir par l'exploitant si disponible)
Perte de confinement GPL	Erreur opératoire	Chute de casier suite à collision du camion en stationnement par autre camion / conduite inadaptée / déplacement du camion depuis sa zone de stationnement après arrêt	Cales sur camion en stationnement Vitesse limitée sur le site Procédure(s) Test de chute

Phénomènes dangereux	Mesures de protection	Observations/ recommandations
UVCE/VCE (effets thermiques et de surpression)		<p>Ce scénario est <b>retenu pour les bouteilles composites uniquement</b>, les bouteilles métalliques sont considérées suffisamment résistantes.</p> <p>L'inflammation immédiate n'est pas retenue compte-tenu du fait que, même si l'énergie générée par un frottement métal/composite est susceptible de générer une énergie supérieure à l'énergie minimale d'inflammation du GPL, la concentration en GPL à cet endroit est supérieure à la limite supérieure d'inflammabilité. On redoutera en conséquence une inflammation retardée par un point chaud, une défaillance électrique, etc...</p> <p>Deux bouteilles simultanées considérées lors de l'enfourchement par le chariot élévateur.</p> <p>Dans le cas où l'exploitant apporte <u>la démonstration de résistance au choc des bouteilles composites</u> (démontre l'impossibilité de percer les bouteilles) ou <u>l'utilisation dispositifs spécifiques</u> (chariot à fourches rétractables, ou fourches anti percement) ou tout autre dispositif équivalent, <b>le scénario de percement de bouteilles composites par les fourches n'est pas retenu.</b></p>
UVCE/Feu torche	<p>Bouteille équipée d'un chapeau ou de couronne de protection au niveau du robinet (pour les bouteilles pleines provenant du centre emplisseur)</p> <p>Limiteur de débit (pour certaines bouteilles) : fuite limitée</p>	<p>Le risque principal est que la tête de la bouteille se casse (robinet).</p> <p>En partant du fait que les bouteilles sont bien protégées par le chapeau ou la couronne et qu'en cas de chute seule une bouteille est impactée, le scénario n'a pas été retenu car les distances d'effets associés sont très faibles (cf. § 5.3 du rapport)</p>
UVCE/Feu torche	<p>Bouteille équipée d'un chapeau ou de couronne de protection au niveau du robinet (pour les bouteilles pleines provenant du centre emplisseur)</p> <p>Limiteur de débit (pour certaines bouteilles) : fuite limitée</p>	<p>Le risque principal est que la tête de la bouteille se casse (robinet).</p> <p>En partant du fait que les bouteilles sont bien protégées par le chapeau ou la couronne et qu'en cas de chute seule une bouteille est impactée, le scénario n'a pas été retenu car les distances d'effets associés sont très faibles (cf. § 5.3 du rapport)</p>
UVCE/Feu torche	<p>Bouteille équipée d'un chapeau ou de couronne de protection au niveau du robinet (pour les bouteilles pleines provenant du centre emplisseur)</p> <p>Limiteur de débit (pour certaines bouteilles) : fuite limitée</p>	<p>Le risque principal est que la tête de la bouteille se casse (robinet).</p> <p>En partant du fait que les bouteilles sont bien protégées par le chapeau ou la couronne et qu'en cas de chute seule une bouteille est impactée, le scénario n'a pas été retenu car les distances d'effets associés sont très faibles (cf. § 5.3 du rapport)</p>

# ANNEXE C : DONNÉES RELATIVES AUX MODÉLISATIONS DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX

## 1. Scénario de ruine de deux bouteilles

Le scénario étudié ici est relatif à la libération instantanée de l'inventaire de deux bouteilles composites consécutives à un percement par les fourches d'engins de manutention lors d'opérations de manutention.

La fuite étant préférentiellement orientée vers l'extérieur (perçement de bouteille en bordure de l'îlot de stockage par un engin de manutention), nous retiendrons deux cas :

- Dispersion de deux fois 10 kg de butane hors de l'îlot de stockage et explosion en champ libre ;
- Dispersion de deux fois 10 kg de butane hors de l'îlot de stockage, se dispersant dans l'îlot où la fuite se produit ou vers un îlot adjacent (ou vers la zone de stationnement de camions selon sa localisation), et explosion en milieu confiné.

La pression initiale est de 0,8 bar relatif pour une température de 15 °C. Les bouteilles sont placées à une hauteur comprise entre 0 et 7 m de hauteur. La hauteur intermédiaire de 3 m est choisie de manière pénalisante car c'est la configuration qui donne la plus grande distance à la LIE.

### 1.1 Hypothèses de modélisation

#### 1.1.1 Hypothèses générales pour la dispersion

Les principales hypothèses qui ont été retenues par l'Ineris pour les calculs sont les suivantes :

- La dispersion du nuage se fait dans l'air atmosphérique frais (concentration nulle dans l'environnement du produit dont la dispersion est étudiée) ;
- Le nuage est homogène. Cette condition n'est jamais strictement remplie dans une installation ou un site encombré, compte tenu des effets aérodynamiques autour des obstacles (recirculations...) ;
- Le terrain est considéré comme plat, de rugosité uniforme. Le paramètre de rugosité choisi correspond à une zone industrielle ;
- La source d'émission est fixe dans l'espace ;
- Les calculs ont été réalisés selon deux conditions météorologiques D5 et F3. La condition D5 correspond à des conditions de stabilité neutre,

conditions fréquemment rencontrées au cours d'une journée ; la condition F3 correspond à des conditions stables, plutôt rencontrées la nuit.

La dispersion du nuage en champ libre est modélisée à l'aide du logiciel Phast 6.54. À partir des conditions de stockage, le terme source est évalué (débit, vitesse, etc.). Ensuite le calcul de dispersion permet d'obtenir les caractéristiques du nuage (distance à la LIE, hauteur du nuage, évolution de la concentration en fonction de la distance à la brèche...).

À partir de ces données, il est possible, grâce à des corrélations empiriques, de déterminer l'indice multi-énergie en fonction de l'intensité turbulente, de la concentration du mélange combustible-air, et des caractéristiques de combustion du mélange inflammable (vitesse laminaire de flamme, taux d'expansion, etc.).

#### 1.1.2 Hypothèses de calcul des effets de surpression et thermiques des UVCE

Des vitesses de flamme très élevées (de l'ordre de 100 m/s) peuvent être obtenues dans le nuage. Elles sont principalement dues à :

- La haute réactivité du gaz inflammable ;
- Le niveau de turbulence dans le nuage inflammable. En effet, les effets de surpression sont directement liés à la taille caractéristique des tourbillons dans le nuage ;
- Les zones d'encombrement rencontrées par la flamme lors de son parcours.

L'Ineris a suivi la méthodologie suivante qui comporte deux étapes :

#### Étape 1 : Analyse du type de rejet :

Deux types de rejet sont considérés dans cette méthodologie :

- Le rejet se développe en champ libre lorsque la distance entre la brèche et les obstacles est plus grande que la distance à la LIE (Limite Inférieure d'Inflammabilité). Les effets de sol sont à prendre en compte dans le calcul de la dispersion, c'est-à-dire l'influence de la présence du sol dans les mécanismes de mélange du nuage. Si le rejet n'est pas influencé par le sol (dans le cas où la hauteur du rejet est suffisante) le jet libre sera considéré.

- Le rejet se disperse dans l'îlot où la fuite se produit ou vers un îlot adjacent (ou vers la zone de stationnement de camions selon sa localisation).

**Étape 2 :** Calcul des distances d'effets de surpression

Les ruptures de bouteilles suite à enfourchement ont été modélisées comme des ruines instantanées.

En champ libre, un calcul PHAST a été menée pour déterminer la masse inflammable maximale, intervenant au bout de 2s et correspondant à 20kg de masse inflammable.

En champ encombré, Il est supposé forfaitairement que la dispersion du gaz revenant vers l'îlot ou vers un îlot adjacent entraine une dilution de la moitié de la masse de butane. Une quantité de 10 kg de butane participant à l'explosion en milieu confiné est retenue.

**1.2 Résultats**

L'Ineris a calculé les distances d'effet de surpression et thermiques générées par l'inflammation d'un nuage inflammable en s'appuyant sur la méthode présentée précédemment.

Pour les effets de surpression, il est tenu compte dans le calcul de la vitesse de flamme (et donc dans le choix de l'indice multi-énergie) :

- du niveau de turbulence (très élevé près de la brèche jusqu'à quasi-nul au bout du nuage),
- des divers obstacles et encombrements présents dans chaque zone qui seraient susceptibles d'accélérer la flamme,
- des concentrations de gaz inflammable dans l'air.
- Les distances d'effets thermiques causées par

l'inflammation du nuage (flash-fire) sont également présentées.

**Toutes les distances sont à compter le bord de l'îlot de stockage pour l'UVCE en champ libre et depuis le centre de l'îlot pour le VCE en zone encombrée.**

**1.2.1 Calcul du terme source**

Le terme source est calculé en considérant que la totalité du contenu des deux bouteilles est libéré instantanément (Tableau 1).

Tableau 1 : Contributions au terme source

	Butane
Vitesse finale (m/s)	44
Fraction liquide (-)	0.91
Diamètre des gouttelettes (µm)	327
Temps de rejet (s)	Instantanée

À partir du terme source, les distances d'effets thermiques et de surpression sont calculées dans les paragraphes suivants.

**1.3 Résultats de dispersion**

Le nuage inflammable est présenté sur les figures 1 et 2, 2 secondes après la ruine, où il a une forme sphérique de 5 m de diamètre et après 11 s où le nuage inflammable est très plat (inférieur à 1 m de hauteur) et très étendu (environ 20 m) car le butane est un gaz plus lourd que l'air.

Figure 1 : Dispersion du nuage inflammable de butane, 2 secondes après la ruine

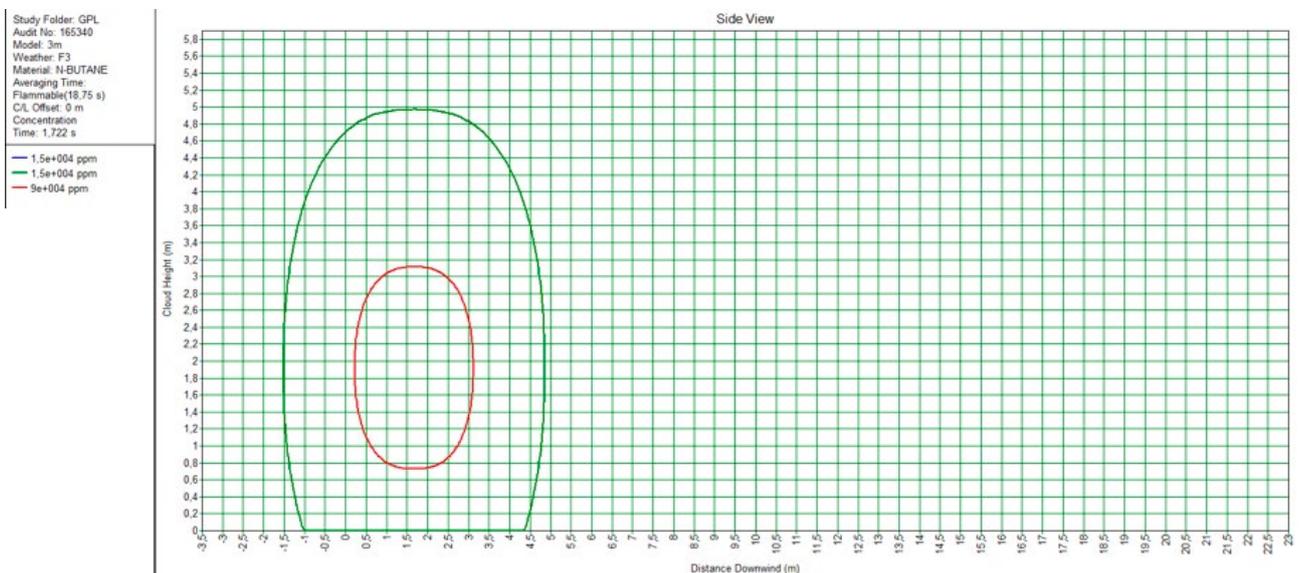
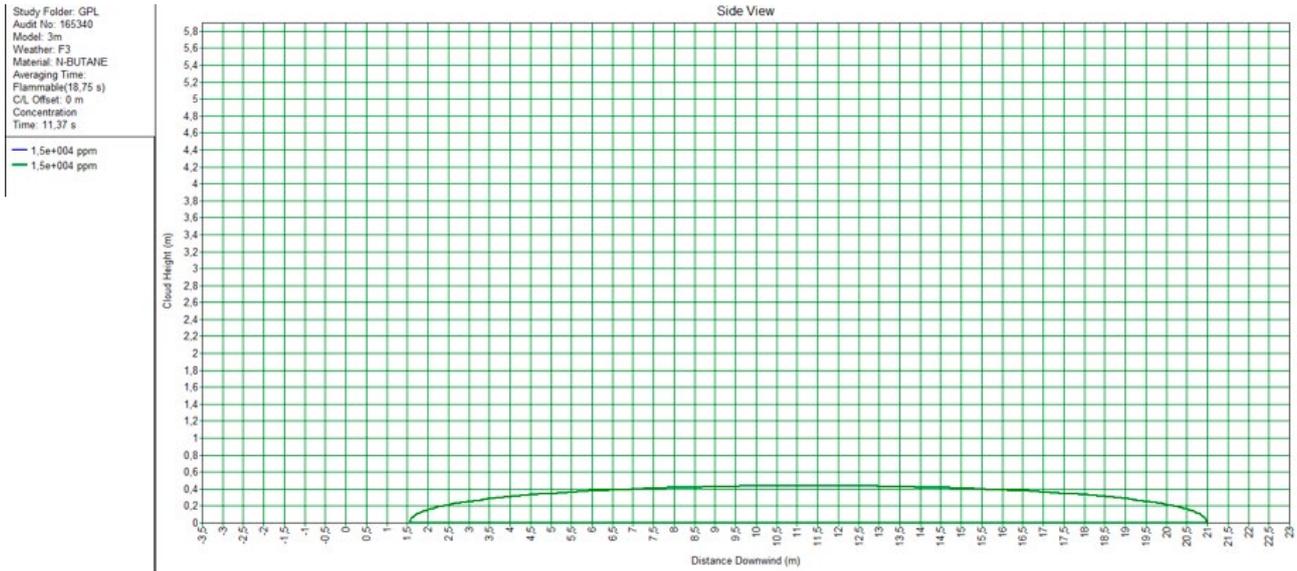


Figure 2 : Dispersion du nuage inflammable de butane, 11 secondes après la ruine



### 1.3.1 Calcul des distances d'effets dues à l'UVCE aux seuils réglementaires

Les distances des effets de surpression les plus pénalisantes sont obtenues en considérant l'inflammation deux secondes après le début de la fuite, lorsque la masse inflammable est maximale. L'indice multi-énergie considéré en champ libre est de 4.

Les distances des effets thermiques dues à l'explosion du nuage (Flash-fire) les plus pénalisantes correspondent à une inflammation après 11 secondes.

Les caractéristiques du nuage ainsi que les distances d'effets de surpression et thermiques (flash-fire) dus à l'explosion sont présentées dans le tableau 2 pour le rejet en champ libre. **Les distances sont à considérées à partir du point de rejet (depuis le bord de l'îlot de stockage).**

Tableau 2 : Résultats des calculs de dispersion et des effets de surpression en champ libre (conditions météorologiques : F3).

**Les distances sont à compter depuis le point de rejet (depuis le bord de l'îlot de stockage)**

Distance à la LIE	[m]	20
Energie d'inflammation	[MJ]	910
Indice multi-énergie	[-]	4
<i>Flash fire</i>		
Distance au seuil SEL et SELS	[m]	20
Distance au seuil SEI	[m]	22
<i>UVCE</i>		
Distance au seuil 200 mbar	[m]	NA
Distance au seuil 140 mbar	[m]	NA
Distance au seuil 50 mbar	[m]	30
Distance au seuil 20 mbar	[m]	60

NA : Non Atteint

### 1.3.2 Calcul des distances d'effets dues à l'explosion du nuage dans un îlot de stockage de bouteilles

Tableau 3 : Distances des effets de surpression en zone encombrée. **Les distances sont à compter depuis le centre de l'îlot de stockage**

Indice multi-énergie	[-]	6
Distance au seuil 200 mbar	[m]	30
Distance au seuil 140 mbar	[m]	35
Distance au seuil 50 mbar	[m]	85
Distance au seuil 20 mbar	[m]	170

Ces distances d'effet sont maximales et correspondent à une masse de gaz de 10kg dans l'îlot (où la fuite se produit ou dans un îlot adjacent) et correspondent à un volume de casiers d'environ 200 m<sup>3</sup>. Il est possible de les réduire dans le cas d'un volume encombré plus petit.

## 2. Scénario d'un incendie généralisé d'un îlot de stockage de bouteilles composites

### 2.1 Scénarios étudiés

Le scénario étudié ici est relatif à la propagation d'un incendie à la totalité d'un îlot de stockage de bouteilles composites. Deux configurations ont été étudiées, suivant que les bouteilles sont stockées vides ou pleines. Dans l'éventualité où l'îlot de stockage de bouteilles composites contiendrait à la fois des bouteilles vides et pleines, il sera considéré en première approche que toutes les bouteilles sont pleines, de façon majorante.

Pour chacune de ces configurations, différentes surfaces au sol, et différentes hauteurs de stockage ont été prises en compte, afin de considérer la variabilité des configurations de stockage pour différents dépôts logistiques.

Les hauteurs considérées sont données dans le Tableau 4. À noter que les casiers de stockage des bouteilles ont une hauteur standard de 0,75 m.

Tableau 4 : Synthèse des hauteurs de stockage de bouteilles GPL considérées

Hauteur (m)	Nombre de casiers de bouteilles empilés
1,5	2
3	4
4,5	6
6	8
7,5	10

Les résultats de modélisation sont donnés sous forme d'abaques pour les bouteilles vides et pleines, en fonction de la hauteur de l'îlot et pour des largeurs d'îlots allant jusqu'à 50 mètres. Cette largeur est considérée comme enveloppe des différentes dimensions d'îlots pouvant être rencontrées sur les dépôts logistiques de bouteilles GPL.

## 2.2 Méthodologie de calcul

### 2.2.1 Description du phénomène étudié

Les feux ont fait l'objet d'études approfondies et ont donné lieu à un grand nombre de publications. Plusieurs synthèses des modèles existants ont été faites dans la littérature. Il convient de mentionner notamment : Mudan, Lees et Hall.

L'analyse des paramètres fondamentaux qui ont une influence sur le flux thermique reçu par une cible a permis de dégager des méthodes d'estimation des effets, simples et conservatoires. Les résultats que l'on obtient constituent une bonne approche de l'ordre de grandeur du phénomène.

La méthode proposée pour quantifier le flux thermique reçu par une cible soumise aux radiations repose sur le fait que le flux reçu dépend de la position de la cible par rapport au volume occupé par les flammes.

Le fait de considérer uniquement les effets associés au rayonnement de la flamme se justifie dès lors que la cible est éloignée du foyer de l'incendie. Le rayonnement thermique est en effet le mode de transfert de la chaleur privilégié à partir d'une certaine distance du foyer. En revanche, il est à noter que les résultats donnés en termes d'effets thermiques radiatifs sont généralement peu pertinents dans l'environnement immédiat de la flamme, pour lequel les effets liés au mode de transfert convectif ne peuvent être négligés. Il convient donc de retenir qu'au voisinage des flammes, il n'est plus légitime de raisonner uniquement en flux rayonné. C'est pourquoi le modèle employé ne sera plus valable pour une distance inférieure à la dizaine de mètres.

### 2.2.2 Calcul du flux thermique reçu par une cible

La méthode adoptée pour déterminer le flux reçu par un observateur permet d'évaluer les flux thermiques rayonnés dans l'environnement d'un feu de nappe ; elle permet également de modéliser des incendies de stockages de produits solides, en adaptant certains paramètres. L'objectif de cette méthode est de déterminer les lieux où un flux radiatif donné (en kW/m<sup>2</sup>) est atteint.

Ce calcul est effectué au moyen d'un logiciel, FNAP, qui a été développé par l'Ineris. **La méthodologie et l'outil employés sont disponibles sur un rapport téléchargeable sur le site de l'Ineris ([www.ineris.fr](http://www.ineris.fr)).**

Ce logiciel permet de déterminer la densité de flux thermique reçue par une cible plane et de surface élémentaire, exposée au rayonnement thermique d'un feu de type nappe, et située à une distance donnée du feu.

### 2.2.3 Hypothèses retenues

Chaque stockage considéré sera supposé être le siège d'un incendie affectant la totalité de sa surface au sol, correspondant ainsi à la base des flammes. Un coefficient d'atténuation atmosphérique a été appliqué, en considérant une humidité relative de l'air de 70% en moyenne. Les propriétés de combustion retenues pour chaque configuration sont décrites dans les sous-chapitres suivants.

#### 2.2.3.1. Cas des bouteilles vides

Pour les bouteilles vides, l'émittance retenue est celle généralement utilisée par l'Ineris pour caractériser les incendies de matière plastique, à savoir 40 kW/m<sup>2</sup>. La hauteur de flamme utilisée est celle retenue pour les matières solides lors d'incendies d'entrepôt logistique, à savoir 2,5 fois la hauteur de stockage.

#### 2.2.3.2. Cas des bouteilles pleines

L'émittance de la flamme générée par un feu torche est déterminée par l'équation suivante :

$$SEP = D_{\text{comb}} \cdot X_r \cdot \Delta H_c / S_f$$

Avec :

- SEP l'émittance de la flamme (W/m<sup>2</sup>) ;
- $D_{\text{comb}}$  le débit massique de combustible (kg/s) ;
- $X_r$  la fraction radiative ;
- $\Delta H_c$  la chaleur de combustion du produit considéré (J/kg) ;
- $S_f$  la surface de la flamme (m<sup>2</sup>).

Dans le cas du Butane, l'Ineris retient les propriétés intrinsèques suivantes :

- $X_r = 0,3$  (Omega 8) ;
- $\Delta H_c = 45$  MJ/kg (Omega 2).

Afin de déterminer la valeur des autres paramètres l'Ineris s'est appuyé sur les données d'essai fournies par le CFBP. Les éléments fournis mettent en évidence qu'une bouteille composite soumise à un incendie conduit à un phénomène de type feu torche, une fois la dégradation thermique de l'enveloppe l'ayant rendu poreuse. Les caractéristiques géométriques du jet enflammé observé sont détaillées sur la Figure 3. Les flammes sont inscrites dans un cylindre de 75 cm de diamètre et de 2 m de longueur. Vu la forme de la flamme plutôt en ogive, les bases du cylindre sont exclues et la surface de flamme rayonnante est estimée à 4,7 m<sup>2</sup>.

Les essais réalisés ont par ailleurs mis en évidence que le contenu de la bouteille, soit 10 kg, se vidange entièrement en près de 5 mn. Le débit massique de combustible est donc pris égal à 0,033 kg/s.

Au final, l'émittance de flamme calculée est de :

$$SEP = 95 \text{ kW/m}^2$$

Concernant la hauteur de flamme, les essais présentés par le CFBP ont mis en évidence que dans le cas d'une bouteille isolée, la flamme générée par la fuite de l'enveloppe d'une bouteille composite prise dans un incendie est de l'ordre de 2 m. Cette sur-hauteur sera retenue dans le cas d'un stockage de bouteilles sur un niveau unique (1,5 m). Pour les stockages en empilement dont la hauteur est supérieure à 5 m, la hauteur de flamme utilisée est celle retenue pour les incendies d'entrepôt logistique stockant des générateurs d'aérosols, à savoir la hauteur de stockage majorée de 10 m. Une relation de linéarité est retenue pour les stockages de hauteur intermédiaire. Au final, la hauteur de flamme retenue en fonction de la hauteur de stockage est celle présentée sur la Figure 4.

Figure 3 : Essai incendie sur bouteille de GPL (Source CFBP)

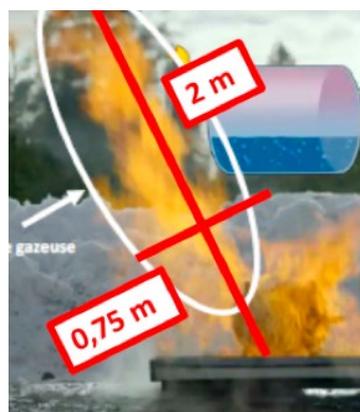
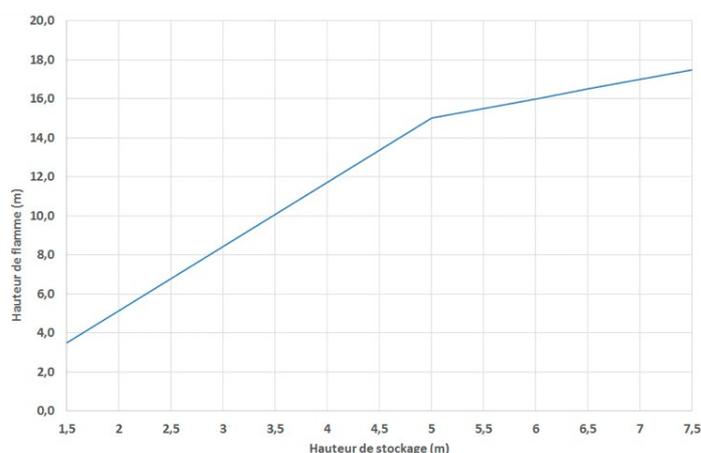


Figure 4 : Hauteur de flamme retenue



### 2.3 Résultats

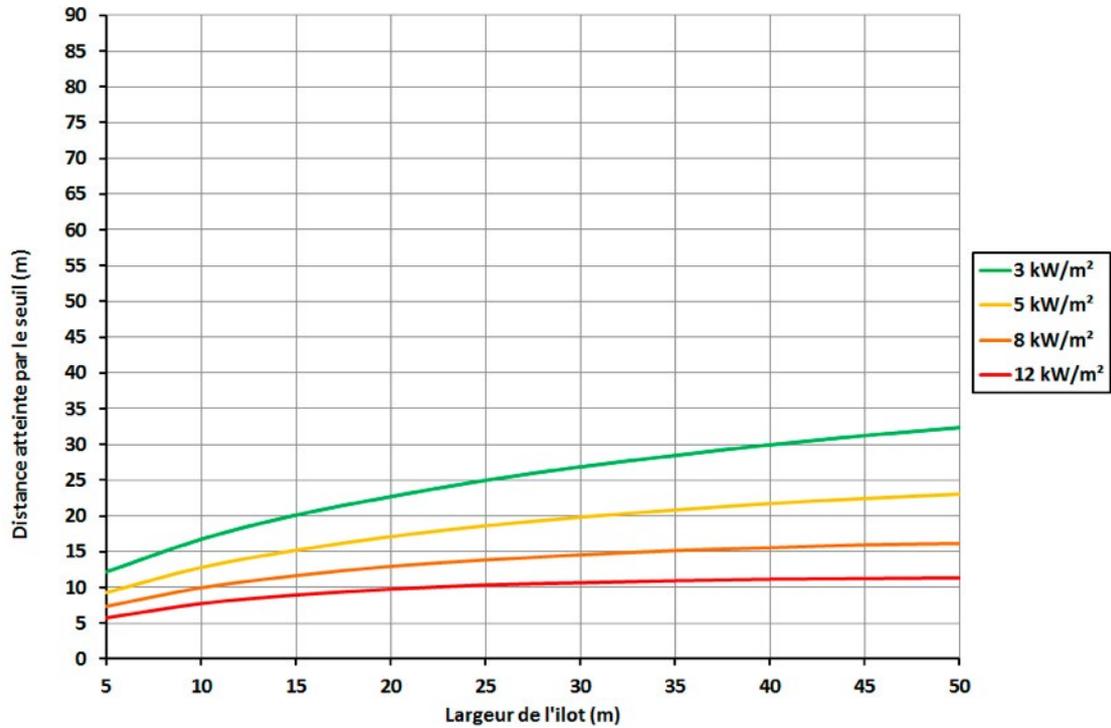
Les distances d'effet sont à considérer depuis le bord du stockage, sur la médiane du front de flamme considéré. Elles sont calculées à 1,8 m du sol.

Dans une approche enveloppe, pour des îlots de stockage rectangulaire, il est possible d'utiliser les données fournies, pour la largeur et la longueur considérées, et de reporter pour chaque côté les distances d'effets associées aux dimensions de l'îlot de stockage.

### 2.3.1 Casiers de bouteilles composites pleines

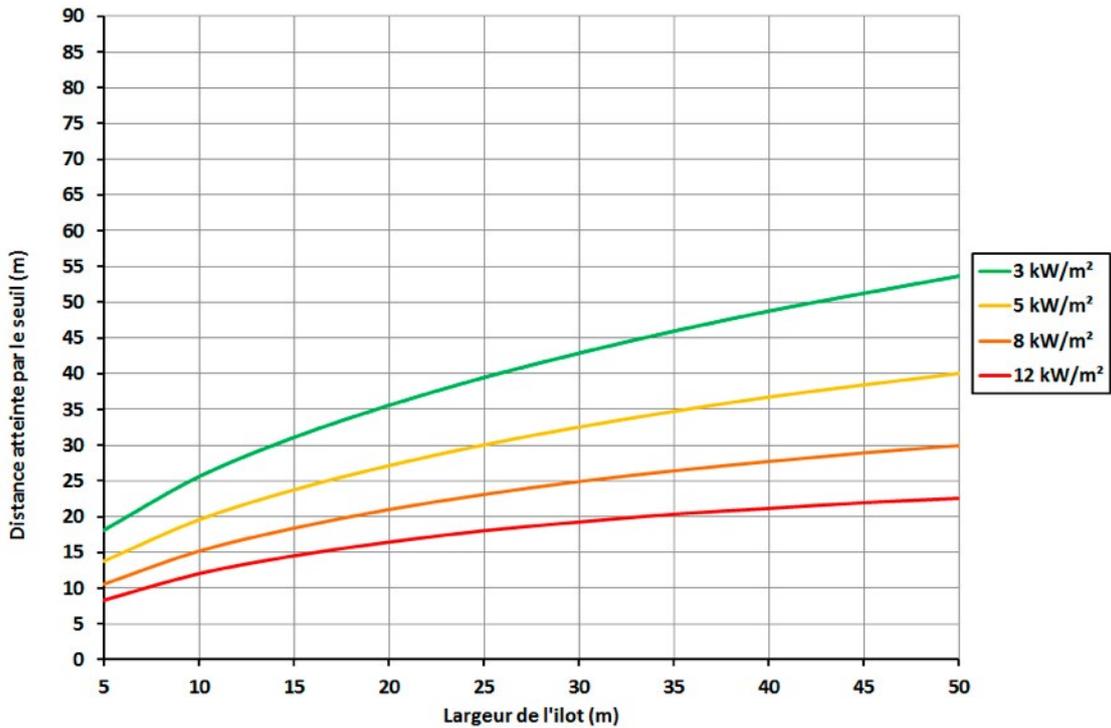
Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 1,5 m

• Figure 5 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 2 casiers (1,5 m)



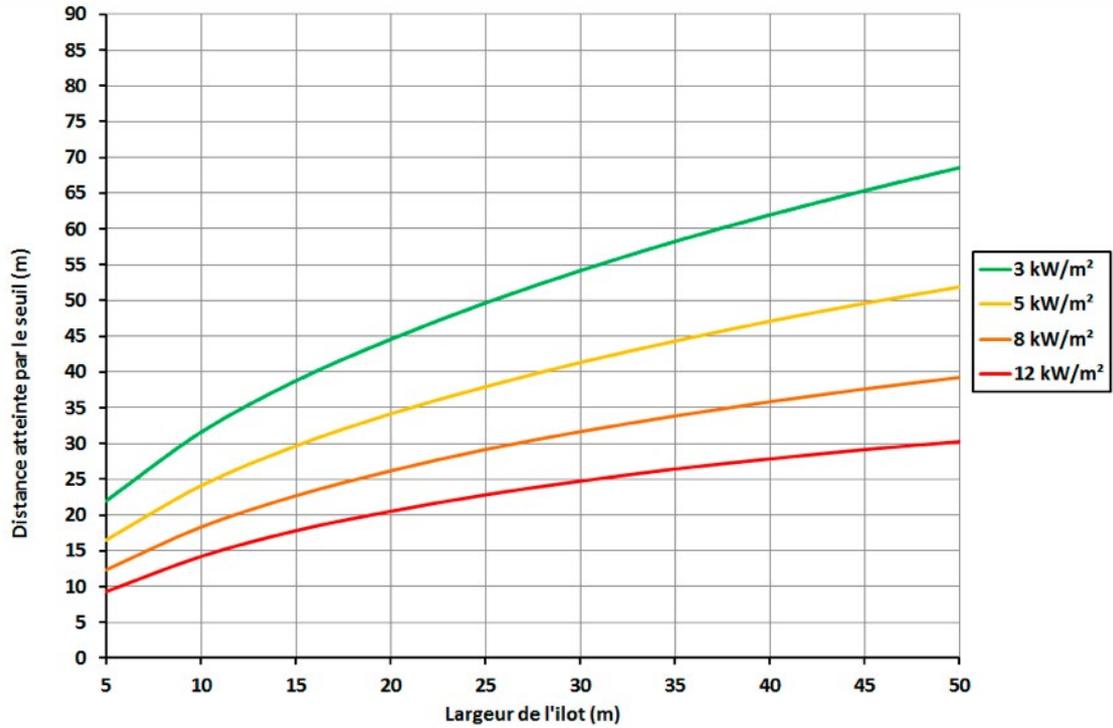
Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 3 m

• Figure 6 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 4 casiers (3 m)



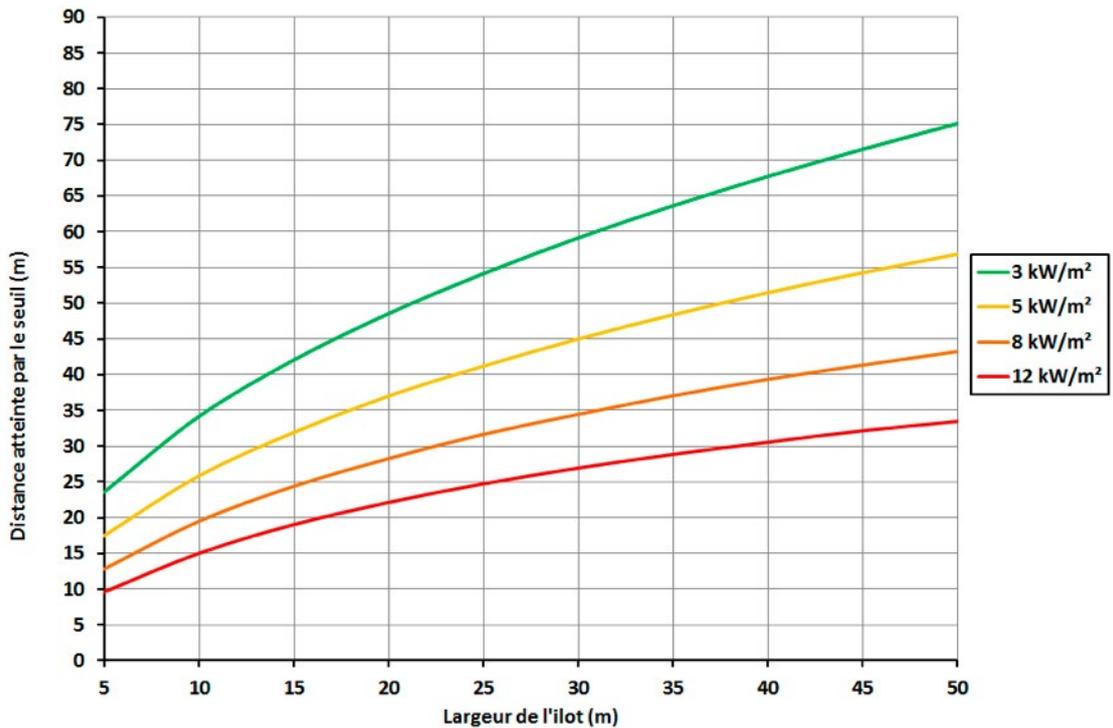
Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 4,5 m

• Figure 7 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 6 casiers (4,5 m)



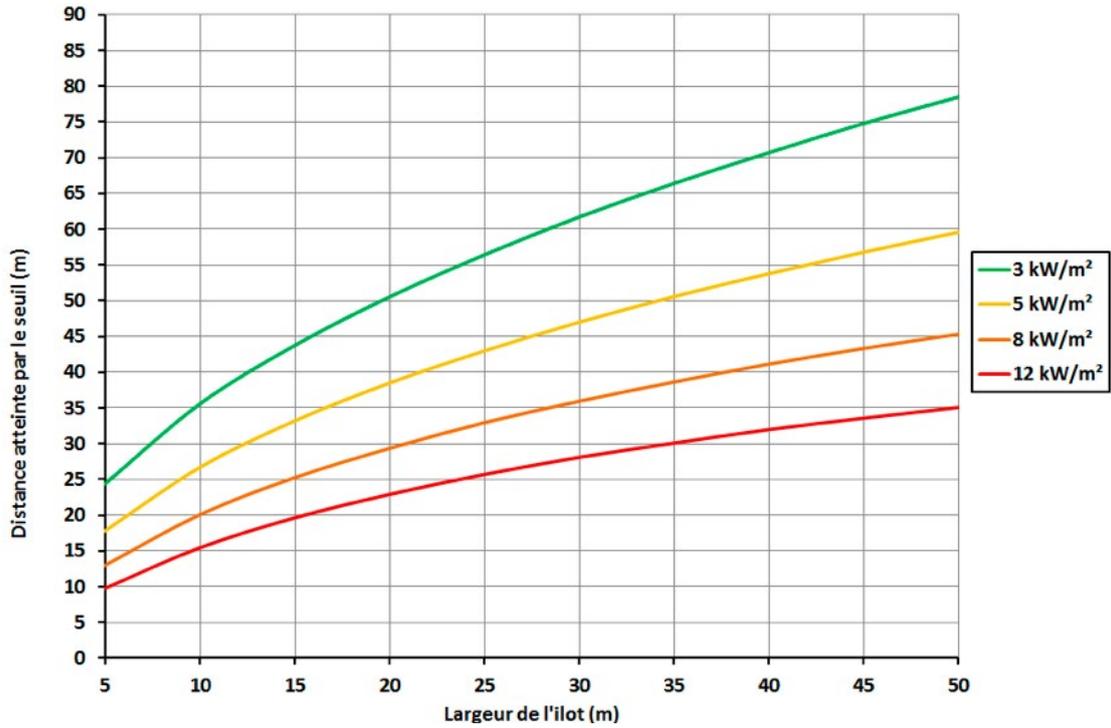
Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 6 m

• Figure 8 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 8 casiers (6 m)



Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 7,5 m

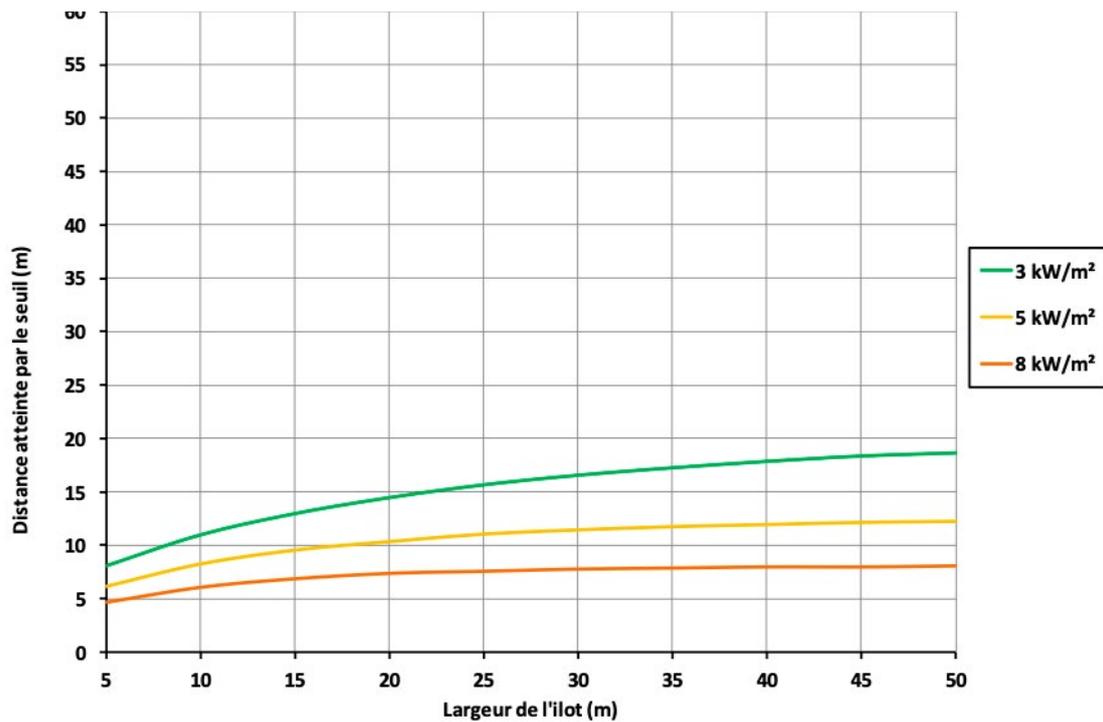
• Figure 9 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 10 casiers (7,5 m)



### 2.3.2 Casiers de bouteilles composites vides

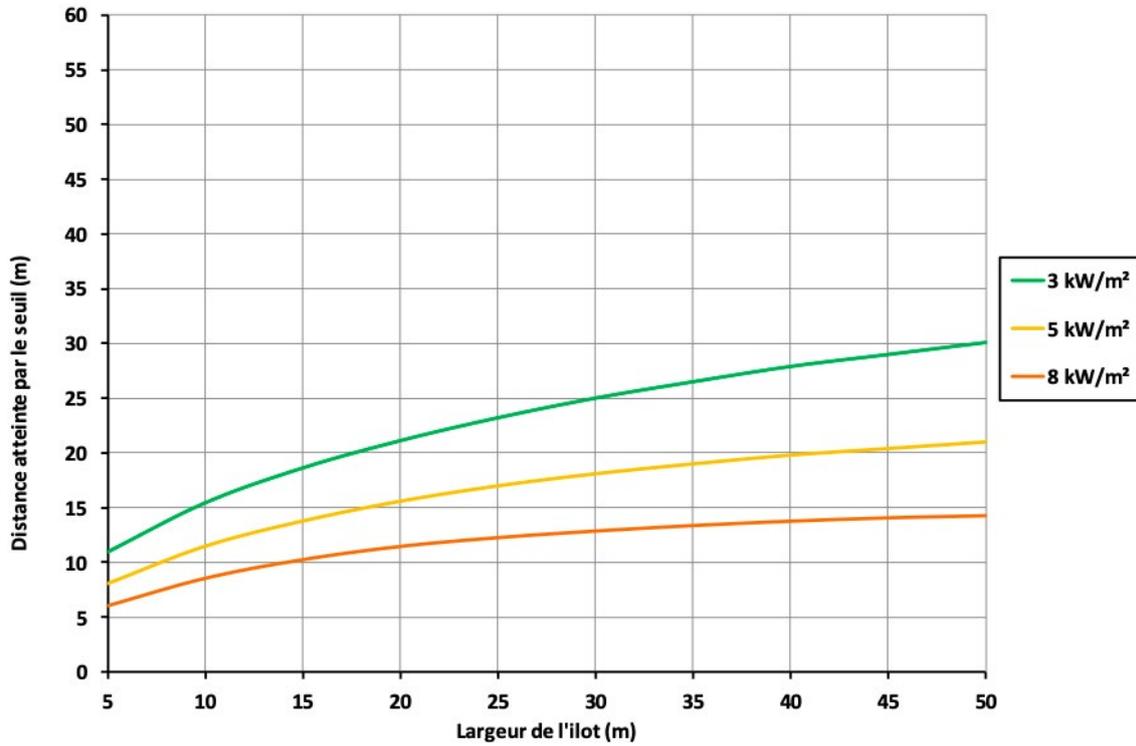
Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 1,5 m

• Figure 10 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 2 casiers (1,5 m)



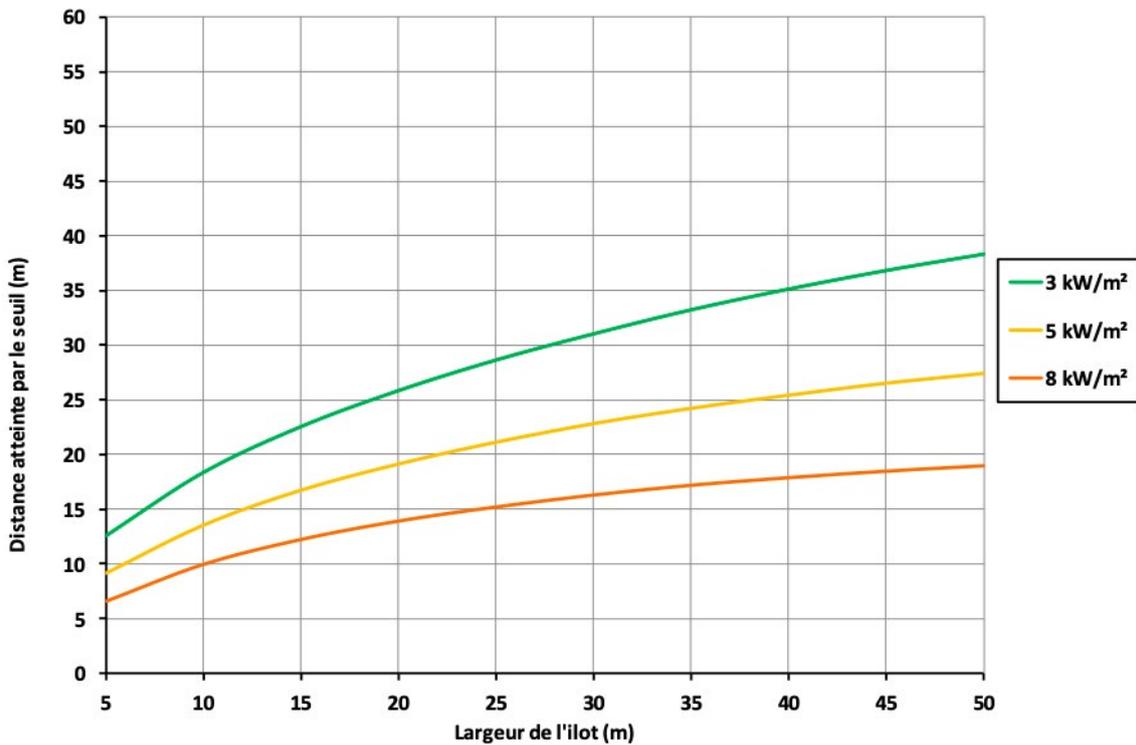
Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 3 m

• Figure 11 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 4 casiers (3 m)



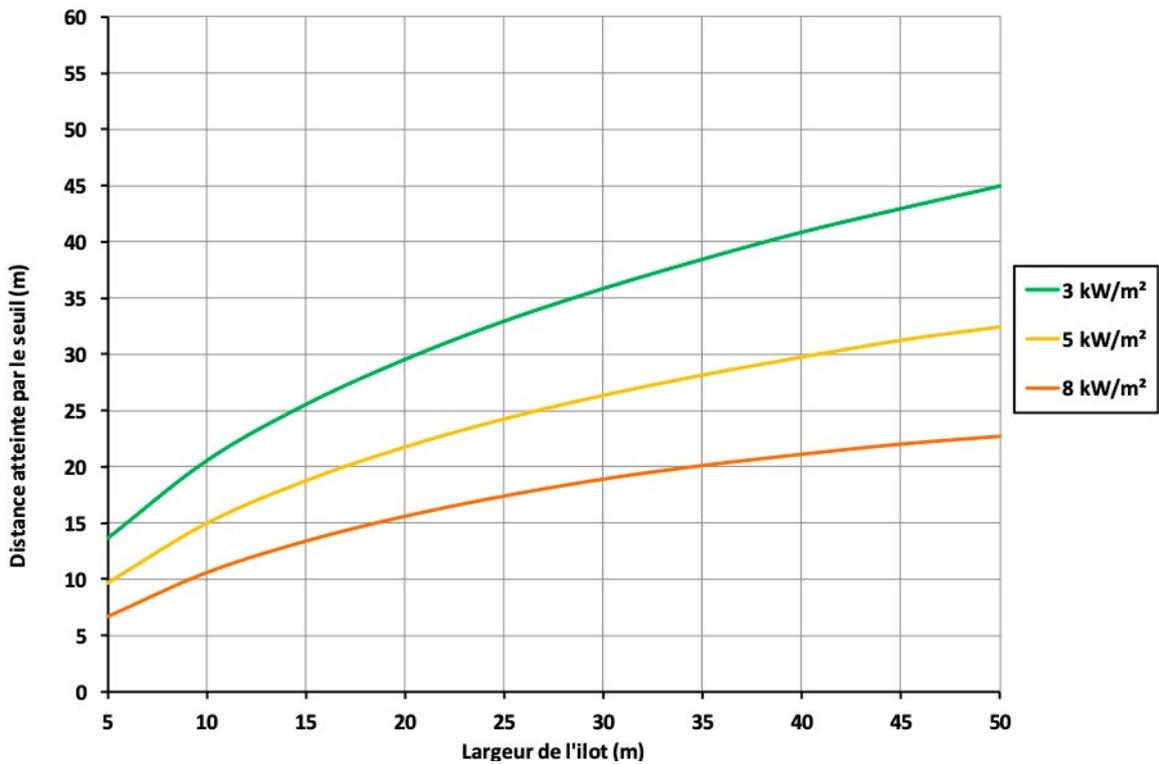
Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 4,5 m

• Figure 12 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 6 casiers (4,5 m)



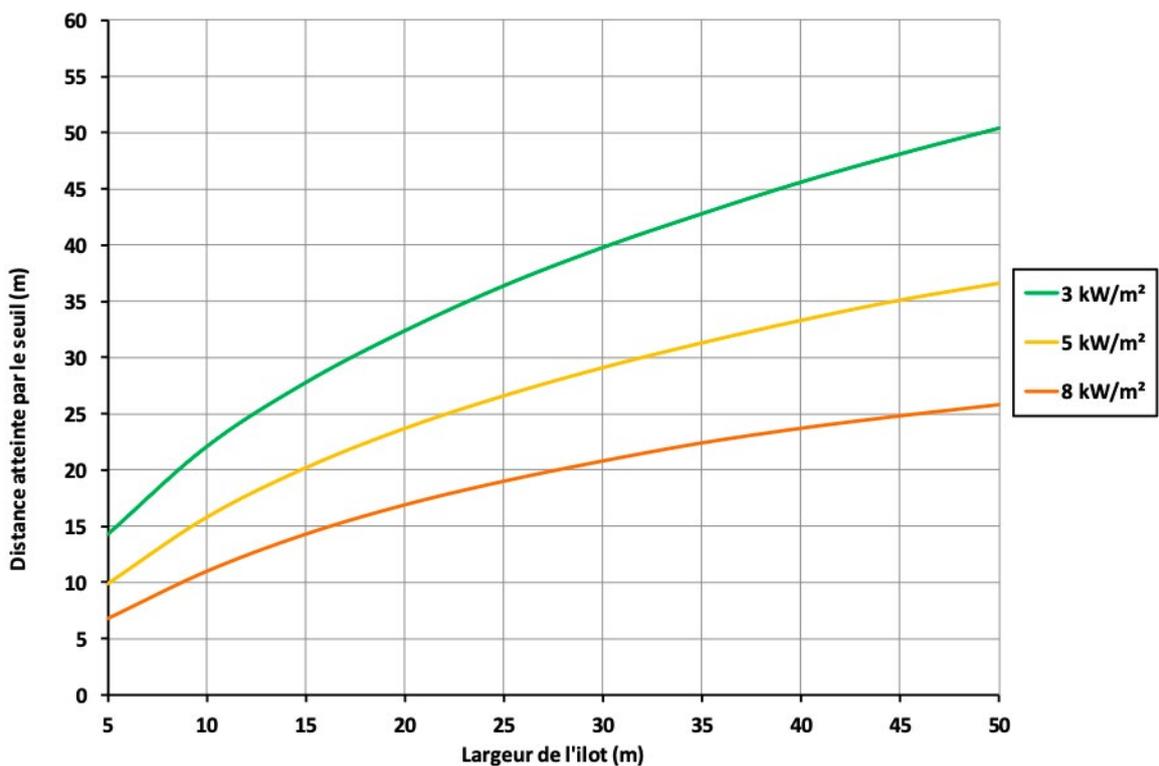
Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 6 m

• Figure 13 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 8 casiers (6 m)



Distances des effets thermiques pour une hauteur de casier de 7,5 m

• Figure 14 : Distances d'effets pour une hauteur de stockage de 10 casiers (7,5 m)



### 3. Scénario de BLEVE de bouteilles métalliques

Le scénario étudié ici est un BLEVE successif de bouteilles métalliques, consécutif à une agression thermique.

Dans le cas d'une bouteille prise dans un incendie conduisant à un BLEVE, la modélisation n'est réalisée que pour une seule bouteille. Toutefois, toutes les bouteilles du casier peuvent « blever » les unes après les autres tant que l'agression thermique n'a pas été stoppée. Les modélisations sont réalisées en distinguant le BLEVE sur des bouteilles vides et sur les bouteilles pleines.

#### 3.1 Modélisation des effets thermiques

L'outil employé pour modéliser les effets thermiques d'un BLEVE repose sur le modèle de Shield, développé au Thornton Research Centre (TRC), et validé pour des GPL (propane, butane ou propylène). Le modèle est décrit dans le référentiel Omega-5 (2017)<sup>1</sup>

La boule de feu est de très courte durée compte tenu des volumes réduits des bouteilles. Les seuils de dose thermique ne sont donc pas atteints au-delà du rayon de la boule de feu. Les distances affichées correspondent donc au rayon estimé de la boule de feu du BLEVE.

#### 3.2 Modélisation des effets de surpression

Lors d'un BLEVE, les effets de pression peuvent être la conséquence de trois phénomènes :

- la détente du ciel gazeux du réservoir ;
- la vaporisation brutale du liquide ;
- la combustion rapide dans la boule de feu (lorsque le produit est inflammable).

Il est considéré que les effets de pression dus à la détente du ciel gazeux sont représentatifs des effets de pression dus au BLEVE, ainsi qu'indiqué dans la Circulaire du 10 mai 2010.

En conséquence, l'outil employé calcule les effets de pression selon les méthodes présentées dans le référentiel Omega-15 (2015)<sup>2</sup> relatif à la phénoménologie et modélisation des effets d'éclatements de capacités, afin de déterminer les distances de sécurité en champ proche (théorie des tubes à choc) et en champ lointain (courbes de décroissance *Multi-energy*) associées à ces effets de pression.

Néanmoins, pour le butane et le propane commerciaux, les points critiques sont très semblables : entre 100 et 140°C pour la température et environ 40 bars pour la surpression. Cela signifie que dans les conditions de la rupture d'une bouteille, le butane et le propane sont supercritiques. Au-delà du point critique, la distinction entre la phase gazeuse et la phase liquide disparaît. Le fluide est assimilable à un gaz très dense comportant donc une très grande énergie pneumatique. Il en résulte que la pression de choc et le champ proche (correspondant à la zone de détente du fluide) augmentent avec le taux de remplissage de la bouteille. En revanche, l'énergie de Brode est inchangée, si bien que les distances aux seuils de pression réglementaires sont indépendantes du taux de remplissage.

#### 3.3 Hypothèse de calcul

Les données du CFBP (volumes, taux de remplissage) sont utilisées comme hypothèses. Elles sont reprises dans les tableaux 5 et 6. Le taux de remplissage est fourni à 50°C. Il correspond, à 20°C, à un taux de remplissage d'environ 90%.

Tableau 5 : Caractéristiques des bouteilles de GPL métalliques de butane

	Type de bouteille métallique de butane				
Masse de gaz (kg)	13	10	6	2,95	0,5
Volume réservoir (m <sup>3</sup> )	0,027	0,0206	0,0125	0,006	0,001
Taux remplissage	0,97	0,95	0,95	0,95	0,95

Tableau 6 : Caractéristiques des bouteilles de GPL métalliques de propane

	Type de bouteille métallique de propane				
Masse de gaz (kg)	35	30	17	13	6
Volume réservoir (m <sup>3</sup> )	0,084	0,071	0,04	0,0306	0,0128
Taux remplissage	0,97	0,97	97	0,97	0,95

Concernant la pression de rupture considérée, l'Ineris a réalisé, dans un contexte autre que celui de ce guide, des essais sur des bouteilles métalliques de butane prises dans un feu. La pression d'éclatement

d'une bouteille pleine retenue est donc calée sur ces essais, prise égale à 70 bars. Pour les bouteilles vides, nous retiendrons 30 bars.

1. Le BLEVE : phénoménologie et modélisation des effets thermiques, rapport DRA-17-164793-09921A, Ineris, 2017. Disponible sur [www.primarisk.ineris.fr](http://www.primarisk.ineris.fr)

2. Les éclatements de capacités, phénoménologie et modélisation des effets - Q15, rapport DRA-12-125630-04945B, Ineris 2013. Disponible sur [www.primarisk.ineris.fr](http://www.primarisk.ineris.fr)

### 3.4 Résultats des modélisations de BLEVE de bouteilles métalliques

Dans le cas où plusieurs types de bouteilles, pleines ou vides, seraient présentes dans un même îlot de stockage, la plus pénalisante en termes d'effets thermiques ou de surpression devra être considérée.

#### 3.4.1 Bouteilles de butane

##### 3.4.1.1. Effets thermiques

La boule de feu est de très courte durée compte tenu des volumes réduits des bouteilles. Les seuils de dose thermique ne sont donc pas atteints au-delà du rayon de la boule de feu. Les distances affichées dans le Tableau 7 correspondent donc au rayon estimé de la boule de feu du BLEVE.

Tableau 7 : Distances d'effets thermiques du BLEVE de bouteilles de butane métalliques pleines

Distance (m)	Type de bouteille métallique de butane				
	13 kg	10 kg	6 kg	2,95 kg	0,5 kg
SEI	7	7	5	4	2
SEL	7	7	5	4	2
SELS	7	7	5	4	2

##### 3.4.1.2. Effets de surpression

Figure 15 : Distances d'effets de surpression du BLEVE de bouteilles de butane métalliques pleines

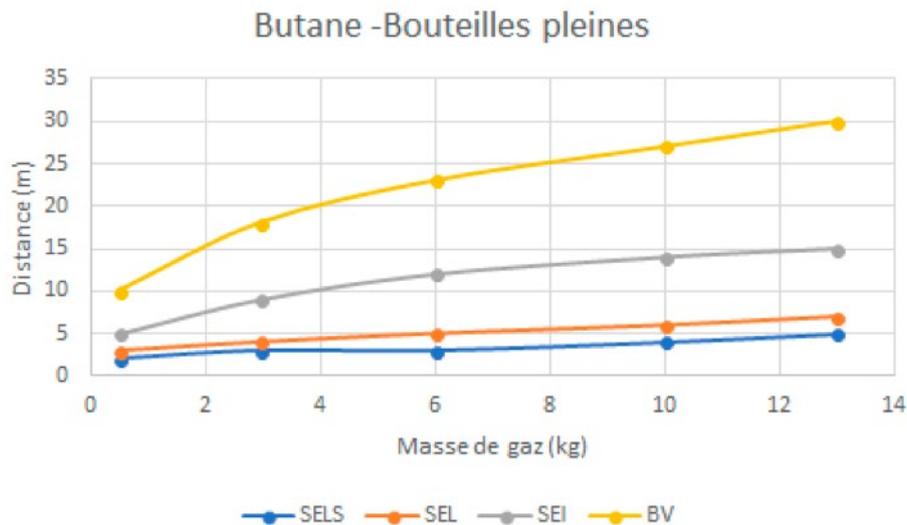
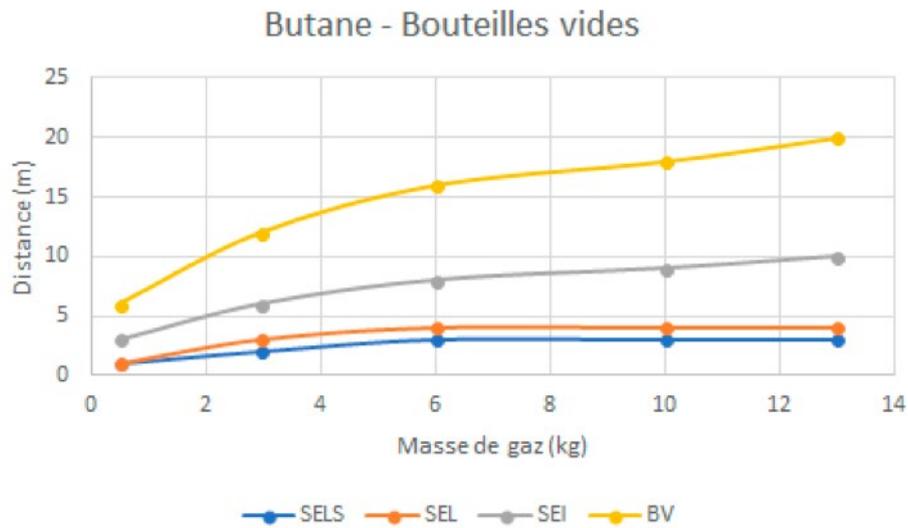


Figure 16 : Distances d'effets de surpression du BLEVE de bouteilles de butane métalliques vides



### 3.4.2 Bouteilles de propane

#### 3.4.2.1. Effets thermiques

La boule de feu est de très courte durée compte tenu des volumes réduits des bouteilles. Les seuils de dose thermique ne sont donc pas atteints au-delà du rayon de la boule de feu. Les distances affichées dans le Tableau 8 correspondent donc au rayon estimé de la boule de feu du BLEVE.

Tableau 8 : Distances d'effets thermiques du BLEVE de bouteilles de propane métalliques pleines

Distance (m)	Type de bouteille de propane				
	35 kg	30 kg	17 kg	13 kg	5/6 kg
SEI	12	11	8	8	6
SEL	12	11	8	8	6
SELS	12	11	8	8	6

### 3.4.2.2. Effets de surpression

Figure 17 : Distances d'effets de surpression du BLEVE de bouteilles de propane métalliques pleines

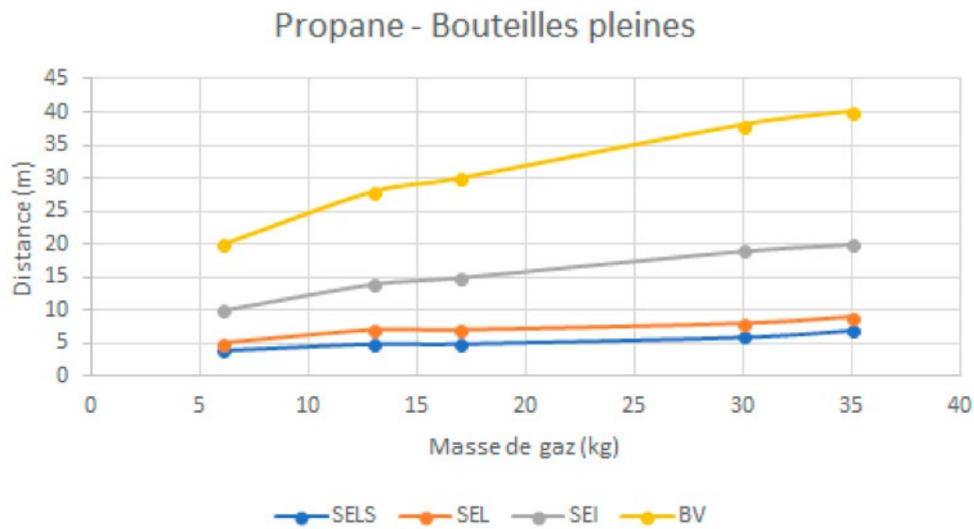
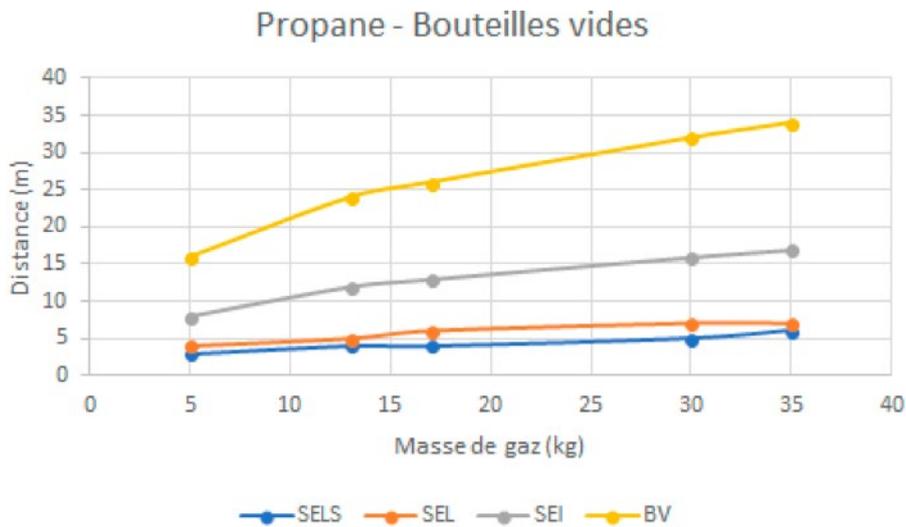


Figure 18 : Distances d'effets de surpression du BLEVE de bouteilles de propane métalliques vides



### 3.4.2.3. Effets de projection

En plus des effets de surpression et des effets thermiques consécutifs à la formation d'une boule de feu, le BLEVE d'une bouteille de GPL peut conduire à la projection de fragments à des distances parfois très importantes.

Le mode de rupture du réservoir a une importance primordiale dans l'émission de fragments. Il explique en partie le nombre de fragments produits et leur trajectoire. Le nombre, la taille et la forme des fragments est donc assez variable et imprévisible, mais il est généralement limité à 3 ou 4 au maximum.

Les modélisations réalisées par l'Ineris, notamment dans le cadre des études de sécurité des essais

réalisés sur des bouteilles de 13 kg de butane donnent des distances de projection de 500 m quel que soit le taux de remplissage de la bouteille.

Ces distances concordent avec les distances observées dans l'accidentologie récentes notamment l'accident de Jonquières où a été observée la présence de débris de bouteilles à une distance de 300 à 400 m du lieu de l'accident, et celui de Theix où des débris ont été retrouvés à 450 m.

Les effets de projection sont à traiter conformément au paragraphe 1.2.2. de la circulaire du 10 mai 2010 relatif au traitement spécifique des effets de projection.

Les réflexions menées sur la proportionnalité dans les études de dangers ont conduit à la volonté de rédiger des guides visant à faciliter la rédaction ou l'instruction des études de dangers pour des secteurs d'activité jugés suffisamment génériques.

Le présent guide s'inscrit dans ce cadre. Le secteur retenu dans ce rapport est celui des dépôts logistiques de bouteilles de gaz de pétrole liquéfié (GPL). Ces bouteilles peuvent être en acier ou en composite. Leur masse en gaz propane ou butane peut être comprise entre 0,5 et 35 kg.

Le champ des installations concernées est celui des installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 4718-1-a de la nomenclature. Il s'agit des installations pour le stockage de GPL en récipients à pression transportables.

Les installations type considérées sont les zones de stockage des bouteilles de GPL, les zones de chargement / déchargement de ces bouteilles et les zones de stationnement des camions.

L'objectif du document est de fournir des éléments pour faciliter la rédaction et l'instruction des études de dangers de ces installations, en présentant notamment des informations sur l'état de l'art, les phénomènes dangereux et accidents majeurs à considérer, les distances d'effets types, les probabilités types des événements, etc.

Ce guide a été réalisé dans le cadre des missions d'appui de l'Ineris pour le ministère de la Transition écologique et solidaire.

---