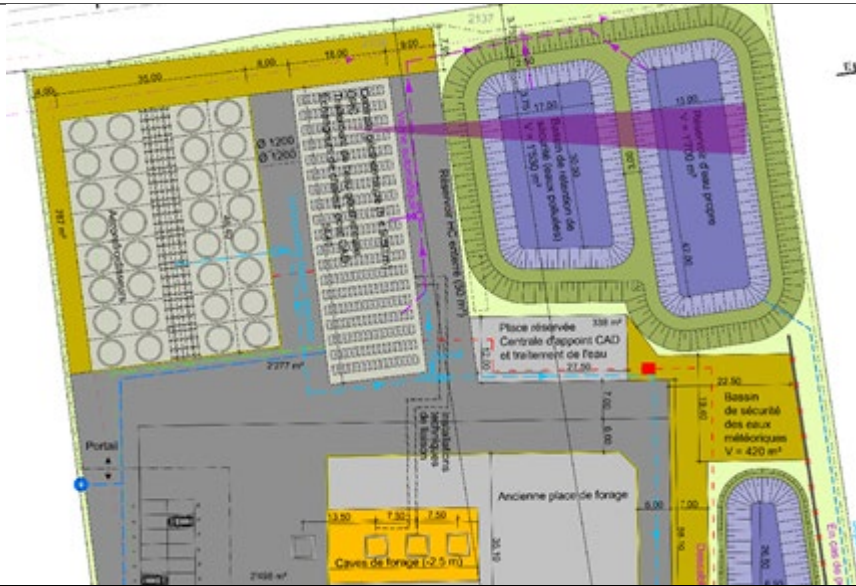




swissi

Rapport selon OPAM

Géothermie profonde Haute-Sorne



Entreprise	Geo Energie Suisse
Numéro de projet	5100371
Objet	Projet-Pilote Géothermie Haute-Sorne
Geo Energie Suisse	Monsieur Peter Meier, directeur Monsieur Olivier Zingg, représentant pour le projet
Conseiller de Swissi SA	Dr Jean-Marc Vaucher
Conseillers de SwissiPS Tüv Süd	Monsieur Pablo Lerena Monsieur Serge Forestier
ESCO Conseil Sàrl	Monsieur Régis Kottelat
Lieu et date	Neuchâtel, le 07.01.2015

2400.0001.1/20.12.11

Table des matières

1	Table des modifications du document	7
2	Abréviations et définitions	8
3	Introduction [1]	10
4	Description de l'entreprise et de son voisinage	11
4.1	Données générales [1,2]	11
4.2	Activité de l'entreprise [1]	12
4.3	Description de l'aire de l'entreprise [1,2]	13
4.4	Description du voisinage de l'entreprise [1,2]	15
4.5	Assurances [1]	17
4.6	Engagement pour la sécurité [1,2]	17
5	Matières dangereuses	18
5.1	Fluides de l'ORC	18
5.2	Autres matières dangereuses	20
5.3	Concept ATEX	20
6	Traitement des eaux	21
6.1	Eaux usées et eaux claires [2]	21
6.2	Eaux d'extinction et de rabattement [2]	21
7	Traitement des effluents gazeux [2]	22
8	Bruit, rayonnement ionisants et non ionisants	22
9	Dangers externes à l'entreprise	23
9.1	Liste des dangers [3]	23
9.2	Risque d'inondation	25
9.3	Protection des eaux	26
9.4	Risque sismique	27
10	Mesures de sécurité [2]	28
10.1	Mesures constructives	28
10.1.1	Accès au site	28
10.1.2	Construction du bâtiment	28
10.1.3	Voies de fuite	30
10.1.4	Rétention des eaux d'extinction	31
10.1.5	Réservoir d'hydrocarbure [1]	31
10.1.6	Aéroréfrigérateurs [1]	32
10.1.7	Caves de forage	32
10.2	Mesures techniques	32
10.2.1	Détection incendie et de gaz inflammables [2]	32

10.2.2	Réservoir d'hydrocarbure [1]	33
10.2.3	ORC [1]	33
10.2.4	Ventilation [2]	34
10.2.5	Protection foudre [2]	35
10.3	Mesures organisationnelles	35
10.3.1	Gestion des visiteurs	35
10.3.2	Utilisation des substances dangereuses [1]	35
10.3.3	Gestion des déchets spéciaux	36
10.3.4	Plans d'intervention	36
10.3.5	Gestion des déchets spéciaux	36
10.3.6	Autres mesures	36
11	Analyse de risque liée au fluide caloporteur [8]	37
11.1	Propriétés des substances	39
11.1.1	Propriétés physico-chimiques [12,13]	39
11.1.2	Physiologie-toxicologie [10]	40
11.1.3	Compatibilités avec les matériaux	40
11.1.4	Comportement des substances concernées dans l'environnement	40
11.1.5	Toxicité pour les organismes aquatiques	40
11.2	Approvisionnement et stockage	41
11.3	Identification des dangers	41
11.4	Identification des scénarios dans les zones 1, 2 et 3	44
11.4.1	Méthodologie de construction d'un arbre des causes [9]	48
11.4.2	Rupture catastrophique de la citerne de 50m ³	49
11.4.3	Fuite continue via rupture guillotine d'une conduite suite à la rupture catastrophique d'une pompe	53
11.4.4	Fuite continue via une rupture guillotine de la conduite de condensats	55
11.4.5	Fuite continue par un orifice de 20mm de diamètre sur la conduite menant aux pompes de condensat	57
11.4.6	Fuite continue par rupture guillotine sur la citerne de 50m ³	58
11.4.7	Fuite continue sur les échangeurs de chaleur	61
11.4.8	Méthodologie de construction d'un arbre des conséquences [7]	62
11.4.9	Rupture catastrophique de la citerne de stockage	63
11.4.10	Fuite continue via une rupture guillotine d'une conduite suite à la rupture catastrophique d'une pompe	64
11.4.11	Fuite continue par rupture guillotine sur la citerne de 50m ³	66
11.4.12	Fuite continue via une rupture guillotine de la conduite de condensats	67
11.4.13	Fuite continue par un orifice de 20mm de diamètre sur la conduite menant aux pompes de condensat	69
11.4.14	Justification de la valeur des probabilités d'événements	70
11.5	Modélisation des conséquences des scénarios d'accident	73
11.5.1	Rupture catastrophique de la citerne de 50m ³	75
11.5.2	Fuite continue via une rupture guillotine d'une conduite suite à la rupture catastrophique d'une pompe (scénarios 1 à 30)	75
11.5.3	Fuite continue par rupture guillotine sur la citerne de 50m ³ (scénario 31 à 34)	89
11.5.4	Fuite continue via une rupture guillotine de la conduite de condensats (Scénarios 35 à 61)	99

11.5.5	Fuite continue par un orifice de 20mm de diamètre sur la conduite menant aux pompes de condensat (scénarios 62 à 69)	108
11.6	Distances de sécurité	119
11.7	Courbes cumulatives	121
11.8	Conclusions de l'analyse de risques	125
11.9	Bibliographie	127
11.10	Données complémentaires	128
11.10.1	Risque sismique	128
11.10.2	Fuite suite à la rupture de la pompe – Débit de fuite – Propane	128
11.10.3	Fuite suite à la rupture de la pompe – Spray release – Propane	129
11.10.4	Fuite suite à la rupture de la pompe – Jet fire – Propane	130
11.10.5	Fuite suite à la rupture de la pompe – Inflammation – Propane	131
11.10.6	Fuite suite à la rupture de la pompe – Dispersion – Propane	132
11.10.7	Fuite suite à la rupture de la pompe – Inflammation retardée – Propane	135
11.10.8	Fuite suite à la rupture de la pompe – Débit de fuite – Isobutane	136
11.10.9	Rupture guillotine suite à la rupture de la pompe – Spray release – Isobutane	137
11.10.10	Rupture guillotine suite à la rupture de la pompe – Jet fire – Isobutane	138
11.10.11	Rupture guillotine suite à la rupture de la pompe – Déflagration dans le bâtiment – Isobutane	139
11.10.12	Rupture guillotine suite à la rupture de la pompe – Dispersion – Isobutane	140
11.10.13	Rupture guillotine suite à la rupture de la pompe – Inflammation retardée – Isobutane	144
11.10.14	Rupture guillotine suite à la rupture de la pompe – Débit de fuite – Isopentane	145
11.10.15	Rupture guillotine suite à la rupture de la pompe – Evaporation de nappe - Isopentane	146
11.10.16	Rupture guillotine suite à la rupture de la pompe – Déflagration – Isopentane	147
11.10.17	Rupture guillotine suite à la rupture de la pompe – Feu de nappe – Isopentane	148
11.10.18	Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Débit de fuite – Propane	149
11.10.19	Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Spray release – Propane	150
11.10.20	Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Jet fire – Propane	151
11.10.21	Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Dispersion – Propane	152
11.10.22	Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Inflammation – Propane	155
11.10.23	Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Débit de fuite – Isobutane	156
11.10.24	Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Spray release – Isobutane	157
11.10.25	Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Jet fire – Isobutane	158
11.10.26	Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Dispersion atm – Isobutane	159
11.10.27	Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Débit de fuite – Isopentane	162
11.10.28	Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Evaporation – Isopentane	163

11.10.29	Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Dispersion – Isopentane	165
11.10.30	Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Inflammation – Isopentane	168
11.10.31	Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Feu de nappe – Isopentane	170
11.10.32	Fuite par un orifice de 20 mm– Débit de fuite – Propane	171
11.10.33	Fuite par un orifice de 20 mm– Spray release – Propane	173
11.10.34	Fuite par un orifice de 20 mm– Jet fire – Propane	173
11.10.35	Fuite par un orifice de 20 mm– Dispersion – Propane	174
11.10.36	Fuite par un orifice de 20 mm – Inflammation – Propane	177
11.10.37	Fuite par un orifice de 20 mm – Débit de fuite – Isobutane	178
11.10.38	Fuite par un orifice de 20 mm – Spray release – Isobutane	179
11.10.39	Fuite par un orifice de 20 mm – Jet fire – Isobutane	180
11.10.40	Fuite par un orifice de 20 mm – Dispersion – Isobutane	181
11.10.41	Fuite par un orifice de 20 mm – Inflammation – Isobutane	185
11.10.42	Fuite par un orifice de 20 mm – Débit de fuite – Isopentane	186
11.10.43	Fuite par un orifice de 20 mm – Jet fire – Isopentane	186
11.10.44	Fuite par un orifice de 20 mm – Dispersion – Isopentane	186
11.10.45	Fuite par un orifice de 20 mm – Inflammation – Isopentane	186
11.10.46	Fuite par un orifice de 20 mm – Feu de nappe – Isopentane	186
11.10.47	Rupture guillotine de la canalisation de la citerne - Débit de fuite - Propane	186
11.10.48	Rupture guillotine de la canalisation de la citerne - Spray release - Propane	187
11.10.49	Rupture guillotine de la canalisation de la citerne - Jet fire - Propane	188
11.10.50	Rupture guillotine de la canalisation de la citerne - Dispersion - Propane	189
11.10.51	Rupture guillotine de la canalisation de la citerne - Inflammation - Propane	193
11.10.52	Rupture guillotine de la canalisation de la citerne - Débit de fuite – Isobutane	193
11.10.53	Rupture guillotine de la canalisation de la citerne - Spray release – Isobutane	195
11.10.54	Rupture guillotine de la canalisation de la citerne - Jet fire –Isobutane	195
11.10.55	Rupture guillotine de la canalisation de la citerne - Dispersion –Isobutane	196
11.10.56	Rupture guillotine de la canalisation de la citerne – Inflammation – Isobutane	199
11.10.57	Rupture guillotine de la canalisation de la citerne – Débit de fuite – Isobutane	200
11.10.58	Rupture guillotine de la canalisation de la citerne – Evaporation – Isopentane	201
11.10.59	Rupture guillotine de la canalisation de la citerne – Dispersion – Isopentane	202
11.10.60	Rupture guillotine de la canalisation de la citerne – Inflammation – Isopentane	206
11.10.61	Rupture guillotine de la canalisation de la citerne – Feu de nappe – Isopentane	206
12	Conclusions	209
13	Bibliographie	211

Annexe 1	Plan du site et de l'installation technique	213
Annexe 2	Plan technique du bâtiment	214
Annexe 3	Représentation des façades	215
Annexe 4	Plan des canalisations	216
Annexe 5	Schéma de l'installation ORC	217
Annexe 6	Occupation rail et route	220
Annexe 7	Affectations dans un rayon de 500 m	223
Annexe 8	Occupation du terrain d'aéromodélisme du Lémont	225
Annexe 9	Règlement du terrain d'aéromodélisme du Lémont	227
Annexe 10	Liste des matières dangereuses	229
Annexe 11	Concept ATEX	231
Annexe 12	Plan d'intervention	233
Annexe 13	Consignes de sécurité pour le personnel	235
Annexe 14	Séismicité pour le Jura	237

1 Tableau des modifications du document

Date	Auteur	Modification
07.07.2014	JM Vaucher - Swissi SA	1 ^{er} document
09.07.2014	JM Vaucher - Swissi SA	compléments de GES et ESCO
07.01.2015	S Forestier - Tüv Süd JM Vaucher - Swissi SA	compléments d'étude demande autorité

2 Abréviations et définitions

Abréviation	Définition	Remarque
AEAI	Association des Etablissements cantonaux d'Assurance Incendie	normes et directives suisses de la protection incendie
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion	vaporisation explosive d'un liquide surchauffé (gaz liquéfiés sous pression p.ex.)
CCE	Conférence des Chefs des services de la protection de l'environnement	
CFF	Chemins de Fer Fédéraux	
CFST	Commission fédérale de coordination pour la sécurité au travail	
ENV	Service de l'ENVironnement	Service cantonal jurassien
FDS	Fiche de données de sécurité	Description complète d'un produit chimique sous ses divers aspects, physique, chimique, toxicologique, environnemental, ...
IAM	Indice d'Accident Majeur	<0.3 accident 0.3-0.5 gros accident >0.5 accident majeur
LII	Limite Inférieure d'Inflammabilité	Concentration de vapeur inflammable dans l'air en dessous de laquelle l'inflammation n'est pas possible
LSI	Limite Supérieure d'Inflammabilité	Concentration de vapeur inflammable dans l'air en dessus de laquelle l'inflammation n'est plus possible
Mesures constructives	Mesures de sécurité liées à la construction	exemples : murs coupe-feu, rétention fixe, ...
Mesures organisationnelles	Mesures de sécurité	exemples : procédures, concepts, kit d'absorption, ...
Mesures techniques	Mesures de sécurité	exemples : détection incendie ou de gaz, ventilation, asservissements, rétention mobile, ...
OFEV	Office Fédéral de l'Environnement	
OFSP	Office Fédéral de la Santé Publique	
OmoD	Ordonnance sur les mouvements de déchets spéciaux	RS 814.610
OPAir	Ordonnance sur la protection de l'air	RS 814.318.142.1
OPAM	Ordonnance de protection sur les accidents majeurs	RS 814.012
ORC	Organic Rankine Cycle	cycle thermodynamique endoréversible faisant appel à un fluide caloporteur organique

ORaP	Ordonnance sur la radioprotection	RS 814.501
ORNI	Ordonnance sur la protection contre les rayonnements non ionisants	RS 814.710
OSPEX	Ordonnance sur les appareils et les systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles	RS 734.6
P	probabilité (événements/an)	
ppm	partie par million	dans ce rapport, il s'agit de d'un rapport volume/volume
QHSE	qualité, hygiène, sécurité, environnement	
RC	responsabilité civile	
RCJU	République et Canton du Jura	
SAT	Service de l'Aménagement du Territoire	service cantonal jurassien
SEI	seuil d'effets irréversibles	
SEL	seuils d'effets létaux	
Seuil OPAM	valeur quantitative à partir de laquelle une substance est soumise à l'OPAM	
SOP	Standard Operating Procedure	procédure de travail normale
SP	sapeurs-pompiers	
SPE	sapeurs-pompiers d'entreprise	
SUVA	caisse nationale d'assurance	

3 Introduction [1]

La société Geo-Energie Suisse SA, sise à Zurich, prévoit sur la commune de Haute-Sorne la construction d'une centrale géothermique pour la production d'électricité et de chaleur, à l'aide de la technique des systèmes géothermiques stimulés (« Enhanced Geothermal Systems » (EGS)). Les sept actionnaires de Geo-Energie Suisse SA se sont regroupés pour promouvoir l'exploitation du grand potentiel de la géothermie profonde et lancer cette technologie sur le marché. Le projet est conçu sous forme d'un projet pilote et de démonstration, et doit apporter la preuve de sa faisabilité technique.

Le calendrier actuel suppose l'obtention d'un permis de construire valable pour l'ensemble du projet au premier semestre 2015 (forages et installations de surface). Le premier des deux forages nécessaires à l'extraction de la chaleur est prévu en 2016 et le second forage en 2017. La construction des installations de surface est prévue en 2018. Son exploitation devrait débuter en 2020.

L'analyse de risques selon OPAM est élaborée dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement et en fonction du dépassement des seuils OPAM pour les fluides caloporteurs envisagés. Le canton du Jura au travers de l'Office de l'Environnement confirme la nécessité de la présente étude de risques.

Ce rapport concerne les installations de valorisation de la chaleur uniquement. Les risques liés aux forages géothermiques ou à la sismicité ne concernent pas directement l'Ordonnance sur les accidents majeurs ; ils sont par conséquent étudiés en détail dans des documents spécifiques faisant partie du rapport d'impact sur l'environnement.

A ce stade de la planification des installations, de nombreux détails techniques ne sont pas connus, notamment en ce qui concerne l'ORC (Organic Rankine Cycle), qui est au cœur de la transformation de la chaleur géothermale en électricité et qui pourra contenir une quantité d'hydrocarbure supérieure au seuil OPAM correspondant.

En accord avec l'Office de l'Environnement (ENV), ce rapport devra être mis à jour lorsque l'avancement du projet le permettra, mais au plus tard avant le début de l'exploitation de la centrale géothermique.

L'étude de risques est faite sous la propre responsabilité du détenteur et doit être remise à jour à chaque fois que des faits nouveaux importants sont reconnus.

4 Description de l'entreprise et de son voisinage

4.1 Données générales [1,2]

Nom de l'entreprise :	Geo-Energie Suisse AG
Siège de la société :	Reitergasse 11, 8004 Zurich / +41 (0)61 500 07 20
Bâtiment :	Projet-Pilote Géothermie Haute-Sorne
Surface au sol :	~18'000 m ²
Nombre d'employés :	maximum 5
Responsable du site :	Peter Meier, directeur
Responsable de l'environnement :	à désigner avant le début de l'exploitation
Adresse :	Route de la Raisse, 2855 Glovelier (Commune de Haute-Sorne)
Coordonnées :	47° 20' 0.078" N 7° 13' 14.167" E (47.333355,7.220602) 583'520 / 242'522 Altitude = ~493 m
Parcelles :	2136, 2137, 2138
Personnes de contact :	Jean-Marc Vaucher, chimiste, Swissi SA
(auteurs du rapport)	Jean-marc.vaucher@swissi.ch / +41 (0)79 240 69 79 Régis Kottelat, Ing. Chimiste dipl., ESCO Conseil Sàrl r.kottelat@esco-conseil.ch / +41 (0)76 822 27 41

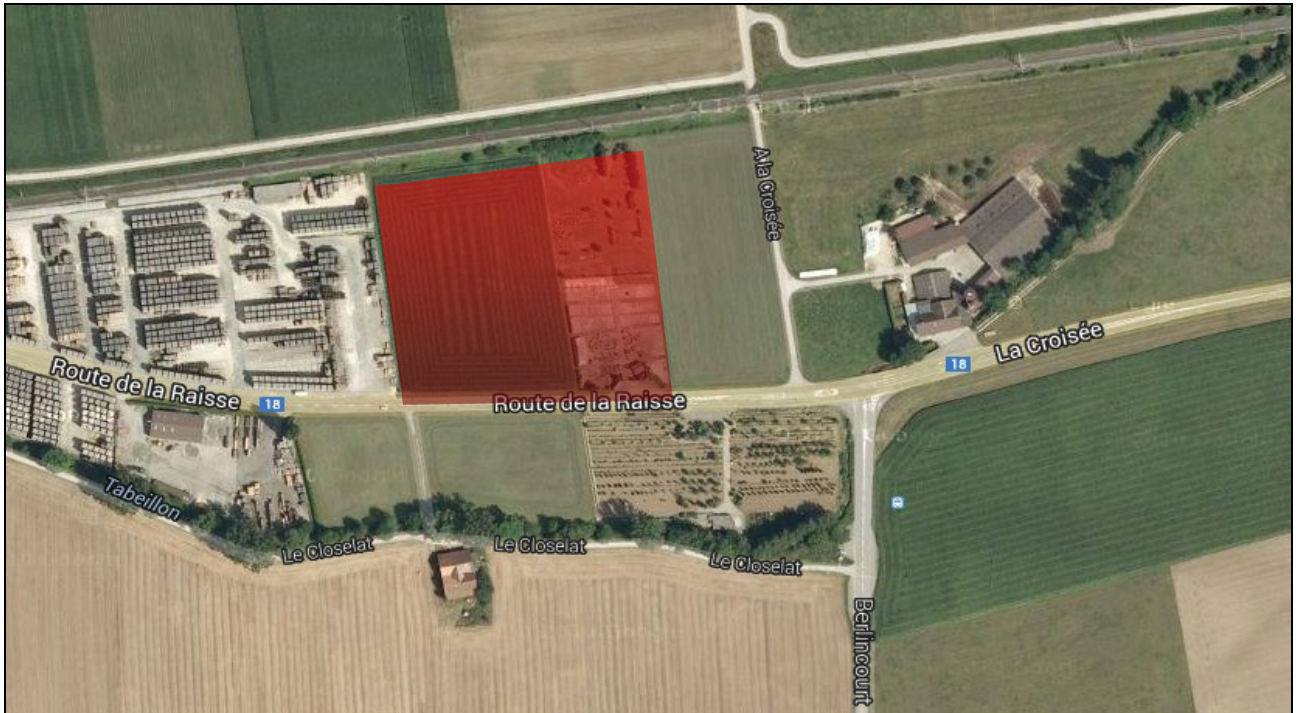


Figure 1 : plan général d'implantation du complexe géothermique (zone concernée en rouge)

4.2 Activité de l'entreprise [1]

La géothermie profonde jouit en Suisse du plus grand potentiel théorique parmi les nouvelles énergies renouvelables indigènes non-émettrices de CO₂. Geo-Energie Suisse SA est une société issue du projet de plusieurs fournisseurs d'énergie suisses qui se sont engagés à contribuer au développement de la géothermie profonde pour la production d'électricité et de chaleur en Suisse.

Geo-Energie Suisse souhaite mener à bien le premier projet de ce type en Suisse d'ici 2019. L'originalité du projet ainsi que les défis technologiques et économiques concernent principalement le forage ; cette partie ne concerne pas l'OPAM à proprement parler, car les substances chimiques qui seront utilisées lors du forage ne dépasseront pas leur seuil OPAM. Les techniques liées aux installations de conversion de la chaleur géothermique et électricité sont par contre maîtrisées et améliorées depuis plusieurs décennies maintenant. C'est ce dernier aspect qui est soumis à l'OPAM.

Le projet de la Haute-Sorne devrait fournir au maximum 5 MW électriques.

Le calendrier estimatif pour la construction de cette centrale géothermique pilote est le suivant :

- Début 2015 : obtention du permis de construire pour l'ensemble du projet (forage et installations de surface)
- 2016 : premier forage géothermique
- 2017 : en cas de succès, deuxième forage géothermique

2018 : en cas de succès, construction des installations de valorisation de la chaleur

2020 : début de l'exploitation.

4.3 Description de l'aire de l'entreprise [1,2]

Aménagements extérieurs, infrastructures

Le site sera protégé par un grillage contre les intrusions (c.f. plan du site, annexe 1).

Activités de base

Exploitation d'un doublet géothermique profond pour la production d'électricité. Transformation de la chaleur géothermique en électricité en utilisant un fluide caloporteur (propane, isobutane ou isopentane).

Répartition de locaux

Le plan technique des locaux figure en annexe 2. La façade Est au niveau des locaux techniques sera entièrement constituée de lamelles. Les façades Est et Ouest seront constituées de lamelles jusqu'à une hauteur d'environ 2.8 mètres, respectivement 8.5 mètres (c.f. annexe 3).

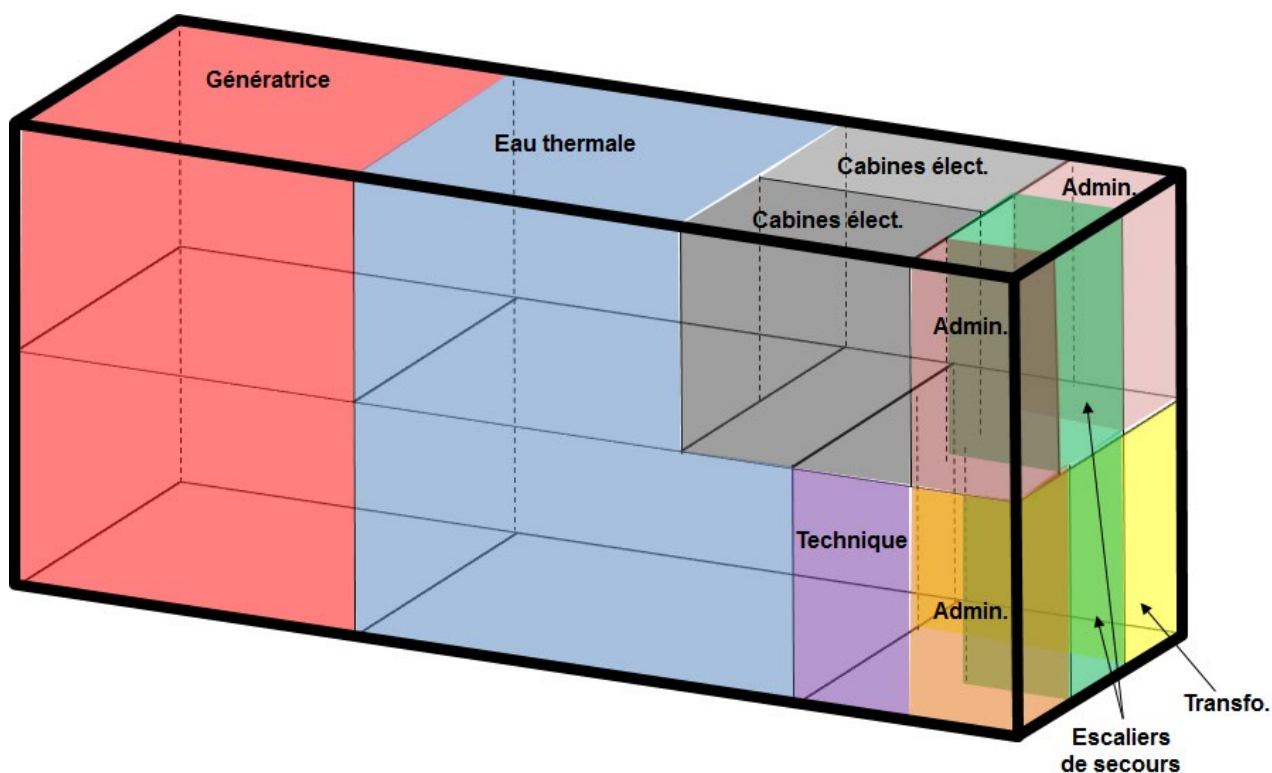


Figure 2 : bâtiment de production (nord à gauche, ouest en bas)

Stockage des substances

Un réservoir de 50 m³, d'un diamètre d'environ 2.5 m pour une longueur de 10 m, permettra le stockage temporaire du fluide caloporteur lors des opérations d'entretien de l'ORC. La quantité maximale présente dans ce réservoir sera au maximum de 28 tonnes pour l'isobutane ou le propane. Ce réservoir se trouvera à l'air libre, recouvert d'une couche de terre de 80 cm afin d'assurer une protection thermique et mécanique. La position du réservoir figure sur le plan du site en annexe 1. On considère que les périodes de maintenance représenteront 5% du temps d'exploitation des installations, et donc que le réservoir contiendra des quantités significatives d'hydrocarbures uniquement durant ce temps-là.

Des quantités d'huiles très inférieures au seuil OPAM seront présentes dans un local selon les principes de stockage applicables.

Définition des compartiments coupe-feu et des zones ATEX

Les compartiments coupe-feu suivants seront créés, conformément aux exigences de l'ECA Jura :

- Traitement de l'eau thermale
- Salle de stockage et atelier
- Local des transformateurs
- Salle pour les présentations
- Local basse tension
- Local moyenne tension.

Les fonds, parois et plafonds seront en matériaux incombustibles, EI 30 à EI 90 selon les prescriptions applicables et les recommandations de l'ECA. Les portes seront EI 30 [2].

Les zones ATEX seront définies dans le document ATEX qui sera un document complémentaires lorsque l'installation sera clairement définie.

4.4 Description du voisinage de l'entreprise [1,2]

Le site (en rouge) est bordé par :

Nord : voie CFF Delémont - Porrentruy (noir)

Est : ferme, exploitation agricole (vert)

Sud : route principale Bassecourt - Glovelier (gris)

Ouest : scierie industrielle (jaune).



Figure 3 : voisinage actuel du site

Il n'y a pas d'entreprise classée OPAM dans la zone proche du site, l'OPAM route et chemin de fer s'applique.

Lieux avec des personnes à l'intérieur

Scierie Röthlisberger – il n'y a à proximité du site que du bois stocké, les locaux de travail se situent plus loin.

Ferme (La Croisée), à l'est du site.

Les autres terrains sont principalement en zone agricole.

Voies de communication à proximité

Route cantonale Glovelier – Bassecourt bordant la parcelle au sud, avec un trafic moyen de 3150 véhicules par jour (TJM) en 2010.

Ligne de chemin de fer CFF Porrentruy – Glovelier – Delémont bordant la parcelle au nord. Les statistiques d'occupation du rail sont reportées à l'annexe 6.

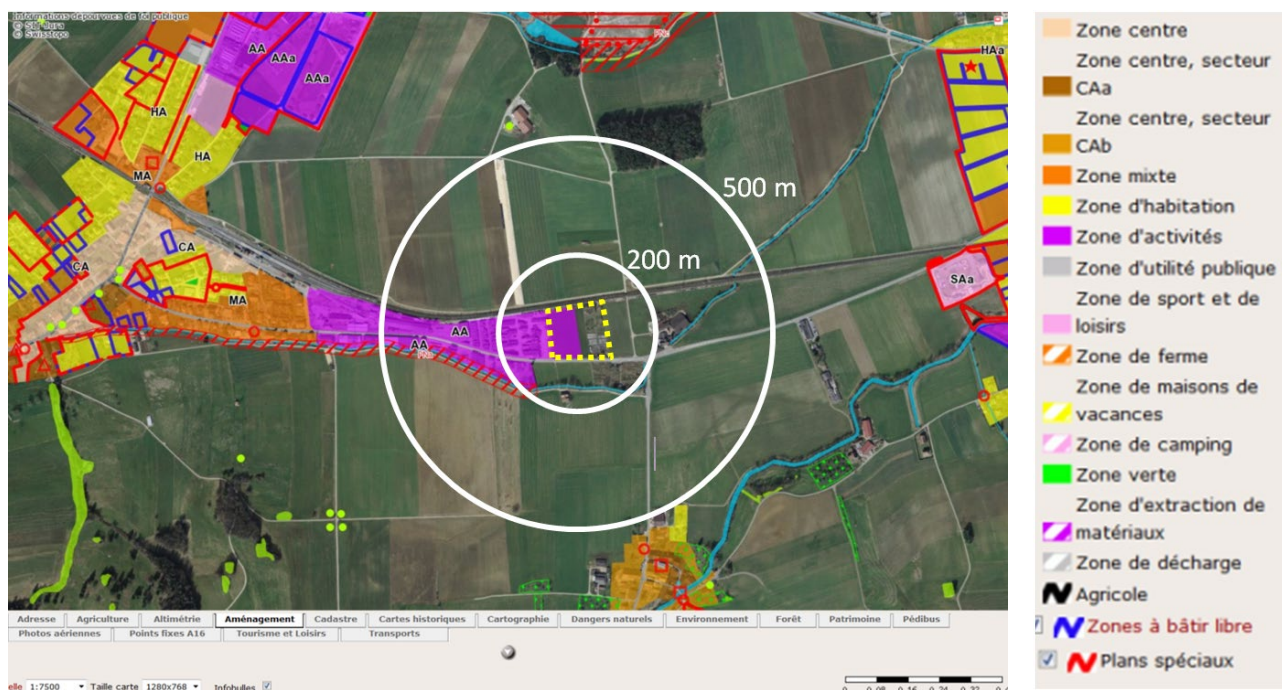


Figure 4 : rayon 200 et 500 m autour de l'entreprise (détail des affectations annexes 7-9)



Figure 5 : vue depuis l'est, de gauche à droite, route cantonale, scierie Röthlisberger, voie CFF

4.5 Assurances [1]

Au niveau de la demande de permis de construire, il est encore trop tôt pour détailler les contrats d'assurance qui seront établis pour la construction et l'exploitation des installations.

A ce niveau, Geo-Energie Suisse AG s'engage à contracter les assurances nécessaires pour couvrir les conséquences d'un éventuel accident sur les personnes et les choses. Il devra communiquer et compléter ce rapport avec le descriptif des assurances.

4.6 Engagement pour la sécurité [1,2]

Geo-Energie Suisse AG souhaite faire de ce projet pilote un exemple en matière de sécurité.

Les cahiers des charges pour les différents fournisseurs et entreprises qui participeront à la construction et à l'équipement des bâtiments incluront comme exigences le respect des normes et directives en vigueur.

Les normes, exigences et/ou directives applicables des organismes suivants seront prises en compte pour la réalisation des bâtiments et des installations de production d'énergie :

- Législation et directives suisse et cantonale, en particulier concernant :
 - la protection de la nature, des eaux, de l'air et du sol,
 - la protection des travailleurs,
 - les mesures de protection contre les explosions et la sécurité des machines (OSPEX)
- SIA (construction)
- AEAI (protection incendie)
- SUVA (2135) et CFST (protection des travailleurs)
- SN / EN (dont NF EN 378-2), ASIT (notamment pour les installations de production d'énergie)
- CCE, TRCI (entreposage des liquides, protection contre les crues, règles de la technique).

Une formation poussée et suivie des collaborateurs sera effectuée par un organisme spécialisé (à définir ultérieurement).

5 Matières dangereuses

Les matières dangereuses sont les suivantes:

- Fluide caloporteur : propane, isobutane, isopentane (seuil OPAM atteint)
- Huiles (seuil OPAM non atteint)
- Autres produits dangereux divers tels que produits d'entretien, ... (seuil OPAM non atteint)
- Déchets spéciaux (seuil OPAM non atteint).

5.1 Fluides de l'ORC

Au stade de la demande de permis de construire, le choix du fluide caloporteur n'a pas été fait de manière définitive. Les trois hydrocarbures à considérer sont [1] :




Désignation	Quantité max (kg)	Seuil quantitatif SQ (kg)	Classification EU / SGH	Remarques
Propane CAS 74-98-6	30'000 – 50'000	20'000	EU : F ⁺ , R12 SGH :  H220 – 280	<ul style="list-style-type: none"> • Synonyme : R290 • SQ imposé par rapport au critère « inflammabilité »
Isobutane CAS 75-28-5	30'000 – 50'000	20'000	EU : F ⁺ , R12 SGH :  H220 – 280	<ul style="list-style-type: none"> • Synonymes : 1-méthylpropane, R600a • SQ imposé par rapport au critère « inflammabilité »
Isopentane CAS 78-78-4	30'000 – 50'000	2'000	EU : F ⁺ , X _n , N, R12-65-66-67-51/53 SGH :  H224 – 304 – 336 – 411, EUH066	<ul style="list-style-type: none"> • Synonyme : 1-méthylbutane • SQ imposé par rapport au critère « écotoxicité »

Tableau 1 : données de base fluides caloporteurs

H220 : Gaz extrêmement inflammable

H224 : Liquide et vapeurs extrêmement inflammables

H280 : Contient un gaz sous pression ; peut exploser sous l'effet de la chaleur

H304 : Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires

H336 : Toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme

EUH066 : L'exposition répétée peut provoquer dessèchement ou gerçures de la peau

5.2 Autres matières dangereuses

Les autres matières dangereuses devront être listées dès qu'elles seront connues (annexe 10).

5.3 Concept ATEX

Le concept ATEX fait partie intégrante de l'analyse de risque et devra être placé à l'annexe 11 dès qu'il sera disponible.

6 Traitement des eaux

6.1 Eaux usées et eaux claires [2]

Les eaux sont séparées en 3 catégories présentées dans le tableau suivant.

Types d'eaux	<p>Eaux usées industrielles (EUI) En provenance de la production, Volume approximatif : < 10 m³/an (condensat) <i>Traitement</i> - évacuation comme eaux usées</p> <p>Eaux usées et eaux usées sanitaires (EU) Eau en provenance des sanitaires, éviers, ... Volume approximatif : ~ 100 m³/an <i>Traitement</i> - évacuation par réseau en STEP</p> <p>Eaux claires pluviales (EC) Eau provenant de la toiture, drainages, ruissellement, ... - évacuation par le réseau d'eaux claires, via bassin de rétention.</p>
Evacuation des eaux	<p>EUI : avec EU EU : STEP Soyhières EC : Tabeillon</p>
Rétention des eaux d'extinction	<p>Local générateur : minimum 60 m³ Local eau thermique : minimum 45 m³ Aéroréfrigérant : minimum 112 m³ Bassin des eaux météoritiques : maximum 420 m³</p>
Plan des canalisations	c.f. annexe 4

6.2 Eaux d'extinction et de rabatement [2]

Le volume prévu des eaux d'extinction est le suivant :

- 1-2 canons utilisés en protection à 1200 l/min
- 5 lances en extinction (avec ou sans émulsifiant) à 300 l/min.

Volume total par heure : 162-234 m³/h ; autonomie de la rétention (si bassin de rétention des eaux météoritiques plein à 50% - 325 m³) 120-80'.

7 Traitement des effluents gazeux [2]

L'utilisation de l'hydrocarbure en tant que fluide caloporteur se fera en circuit fermé (c.f. annexe 5). Avant la mise en route de l'installation, le fluide caloporteur sera introduit dans l'installation par une entreprise spécialisée. Le remplissage et la mise en route d'une installation de ce type est courante. Sauf en cas de fuite accidentelle, il n'y aura pas de perte ou de consommation d'hydrocarbure.

Le remplissage de l'installation devra être réalisé par une entreprise compétente dont le nom sera communiqué au minimum 30 jours avant l'opération. De plus, un document sera établi afin de décrire la procédure de remplissage et les mesures de sécurité ad hoc. Ce document sera remis en même temps que la communication de l'entreprise spécialisée.

L'élimination de l'hydrocarbure, si elle doit se faire, sera effectuée par une entreprise spécialisée conformément à l'état de la technique au moment de l'opération.

Pas d'autres effluents gazeux notables.

8 Bruit, rayonnement ionisants et non ionisants

L'installation respectera les normes en vigueur.

Aucune utilisation de rayonnements ionisants.

Aucune utilisation de rayonnements non ionisants.

9 Dangers externes à l'entreprise

9.1 Liste des dangers [3]

Dangers naturels	Probabilité	Conséquences
1. tremblement de terre	faible	importantes
2. mouvement géologique	nulle	importantes
3. avalanche	nulle	très faible
4. précipitations violentes	moyenne	faible
5. crues inondations	moyenne	faible
6. ouragans, tempête	faible	faible
7. vagues de froid	moyenne	faible
8. sécheresse, vagues de chaleur	moyenne	faible
9. pullulation d'espèces	faible	aucun
10. épizooties	faible	aucun
11. épidémies, pandémies	faible	faible

Dangers techniques	Probabilité	Conséquences
12. rupture de barrage	nulle	aucun
13. élévation de la radioactivité	faible	faible
14. accident dans des installations stationnaires OPAM	faible	pas d'installation OPAM dans un rayon tel que l'effet domino serait possible
15.1. transport de matières dangereuses par route	faible	nuage toxique, BLEVE, très proche du bâtiment, effet domino possible
15.2. transport de matières dangereuses par rail	faible	nuage toxique, BLEVE, à distance du bâtiment, effet domino possible
16. accidents d'avion	très faible	impact direct sur le bâtiment, incendie, dégâts sur les capacités de produits dangereux
17. accidents routiers de grande ampleur	faible	difficulté d'accès, saturation des services de secours
18. accidents ferroviaire	faible	difficulté d'accès, saturation des services de secours
19. accidents lacustre	néant	aucun
20. grands incendies	faible	extension de l'incendie au bâtiment
21.1. pannes réseaux électriques	moyen	perte de production, arrêt des systèmes de sécurité au-delà de la durée des batteries
21.2. pannes de réseaux de gaz	faible	aucun
21.3. pannes de systèmes d'informations	moyen	problème de communication en cas d'accident ou de crise
22. intoxication de masse	faible	faible

Dangers de sociétés	Probabilité	Conséquences
23. violences infra guerrières	faible	dangers pour les installations et la survie de l'entreprise
24. violences sociales	faible	dangers pour les installations et la survie de l'entreprise
25. grandes manifestations	faible	dangers pour les installations
26. crises d'approvisionnement énergétique	faible	faible

Parmi l'ensemble des scénarii, les suivants présentent un danger particulier :

4 -5 : ces dangers sont pris en compte

15.1 et 15.2 : en cas de BLEVE proche, les canalisations et les aéro refroidisseurs peuvent être touchés ; dans ce cas, les dégâts dus au BLEVE sont prépondérants, un BLEVE ou un UVCE subséquent ne peut être exclu.

Les dangers 15.1 et 15.2 sont relevés, mais en cas de survenance, les dégâts seront d'abord et principalement dus à ces explosions primaires. Une explosion subséquente dans l'ORC ne représente pas un accroissement notable des dégâts.

9.2 Risque d'inondation

Les dangers naturels qui touchent les parcelles de la zone prévue pour l'implantation de la centrale géothermique à Glovelier sont uniquement des dangers crues en provenance du ruisseau du Tabeillon. La carte de dangers crues « Haute Sorne B et C », établie en décembre 2011, présente la situation à Glovelier. Le site se trouve au milieu d'une zone de danger moyen, dessinée en bleu, du fait de débordements pour des crues de fréquence élevée et d'intensités qui restent faibles, c'est-à-dire avec une hauteur d'eau $h < 0.5$ m ou un produit de la vitesse par la hauteur d'eau $v \times h < 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$. Le point faible au niveau du Tabeillon se situe en amont de la scierie Röthlisberger.

Pour la phase d'exploitation, le concept de protection consiste à placer le bâtiment et les installations sensibles à la hauteur de sécurité $H_{300 \text{ ans}}$. Pour le point le plus sensible de la zone de projet, cette cote est de 494.60 m. Les eaux d'inondation en provenance de l'entreprise Röthlisberger se répartiront donc en trois couloirs entre les objets surélevés, un premier longeant la voie de chemin de fer, un autre entre le bâtiment et la plate-forme et un dernier entre la plate-forme et la route. Plus d'informations figurent dans le rapport d'impact sur l'environnement du projet.

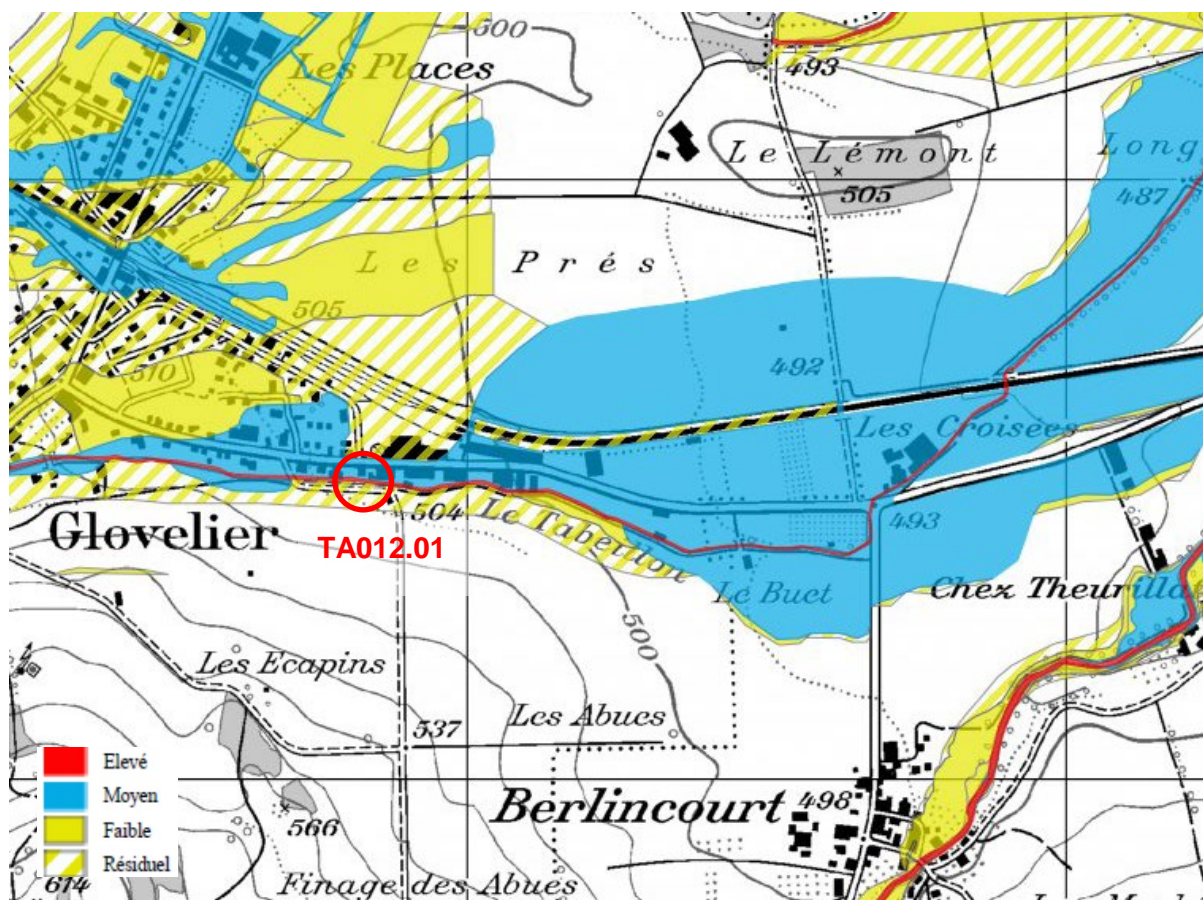


Figure 6 : carte des dangers naturels. Le point faible (TA012.01) se situe en amont de la scierie Röthlisberger et du site retenu pour le projet

9.3 Protection des eaux

Le site se situe en secteur Au (carte secteurs protection des eaux ci-après). Il n'y a par contre pas de puits communaux exploités en aval hydraulique proche du site. Le sous-sol et les eaux souterraines contiennent des concentrations non négligeables de HAP provenant des entreprises en amont hydraulique.



Figure 7 : secteurs de protection des eaux pour le site et en aval hydraulique. La zone en rouge indique les secteurs Au. Il n'y a pas de secteurs S1, S2 ou S3 en aval direct du site. Le site est entouré en blanc. Source : géoportail cantonal.

Au niveau des cours d'eau, le Tabeillon coule au sud et à l'est du site (Figure 1 et Figure 4), qui traverse toute la zone agricole en direction de Bassecourt, longe ce village à son extrémité nord puis se jette dans la Sorne, soit à environ 2.9 km en aval du site.

9.4 Risque sismique

L'étude de risque sismique menée dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement montre que le risque lié à la sismicité induite durant l'exploitation est nettement inférieur à ce qu'il était durant la stimulation, un état de circulation stationnaire étant atteint. Or, la centrale géothermique ne sera réalisée qu'en cas de stimulation réussie et n'ayant donc pas causé de dommages aux bâtiments les plus sensibles.

La réussite de la stimulation implique que la présence de failles importantes au niveau du réservoir et susceptibles d'induire des tremblements de terre causant des dommages a pu être exclue. De plus, le réseau de surveillance sismique sera maintenu en activité durant toute la durée de l'exploitation et permettra ainsi de réagir dans le cas où l'extension de la contraction thermique devait induire une augmentation de la sismicité induite sur des failles encore inconnues situées au-delà du réservoir.

Ces considérations mènent à conclure que durant l'exploitation, le risque de dommages causés par la sismicité naturelle redevient prépondérant par rapport au risque lié à la sismicité induite.

Concernant la construction parasismique, les normes SIA 261 et suivantes s'appliquent [14]. Le canton du Jura est classé en zone 1, soit de faible aléa sismique [15]. Selon la norme SIA 261, si la construction respecte cette norme, alors le risque sismique n'est pas considéré dans le cadre de l'OPAM. Le respect de cette norme est une condition contraignante à la réalisation de ce projet.

Une pratique similaire est appliquée en Allemagne. Pour référence, la prise en compte de la construction parasismique dans l'industrie chimique selon les normes allemandes DIN 4149 et DIN EN 1998-1 est décrite dans les documents référencés [17 et 18]. A titre d'exemple, une expertise parasismique selon les normes allemandes d'une installation contenant des substances dangereuses est référencée [16].

Le chapitre 11 prend en compte l'aléas sismique dans le cadre des calculs de risques.

10 Mesures de sécurité [2]

Au moment de la demande de permis de construire, les exigences de l'Office de l'Environnement et de l'ECA Jura sont claires. Le Service des arts et métiers et du travail pourra encore amener des modifications au dossier dans le cadre de la demande de permis d'exploitation. Ce chapitre pourra donc être mis à jour ultérieurement si nécessaire.

10.1 Mesures constructives

10.1.1 Accès au site

L'accès sur le site sera restreint par une clôture complète de la zone. Des mesures organisationnelles restent en suspens quant à la surveillance du site.

Les mesures organisationnelles doivent être définies avant la mise en route de l'exploitation et ce rapport complété en conséquence.

10.1.2 Construction du bâtiment

Le bâtiment sera construit selon les normes en vigueur. Notamment, les directives AEAI seront appliquées en matière de compartimentage.

Le compartimentage est réalisé en fonction des affectations des différents locaux [2].

Affectation	Référence directive AEAI	Fond	Parois	Plafond
Rez-de-chaussée				
Halle génératrice	15-03 - art. 3.2.1 15-03 - art. 3.10.1	-	EI30 (icb)	EI30 (icb)
Halle eau thermale	15-03 - art. 3.2.1 15-03 - art. 3.10.1	-	EI30 (icb)	EI30 (icb)
Locaux administratifs et sans affectation à risque élevé	15-03 - art. 3.2.1 15-03 - art. 3.10.1	-	EI30 (icb)	EI30 (icb)
Locaux transformateurs	1003-03 - ad. Art. 10.4	-	EI90 (icb)	EI90 (icb)
Local des huiles jusqu'à 2000 litres (F3-F5)	28-03 - art. 5.2	-	EI30 (icb)	EI30 (icb)
Local des huiles jusqu'à 2000 litres (F3-F5)	28-03 - art. 5.2	-	EI60 (icb)	EI60 (icb)
Cages d'escaliers de secours	16-03 - art. 3.5.1	-	EI60 (icb)	EI60 (icb)
1^{er} étage				

Locaux administratifs et sans affectation à risque élevé	15-03 - art. 3.2.1 15-03 - art. 3.10.1	EI30 (icb)	EI30 (icb)	-
Cages d'escaliers de secours	16-03 - art. 3.5.1	EI60 (icb)	EI60 (icb)	-
Locaux cabines électriques basse et moyenne tension	1003-03 - ad. Art. 10.4	EI60 (icb)	EI60 (icb)	-

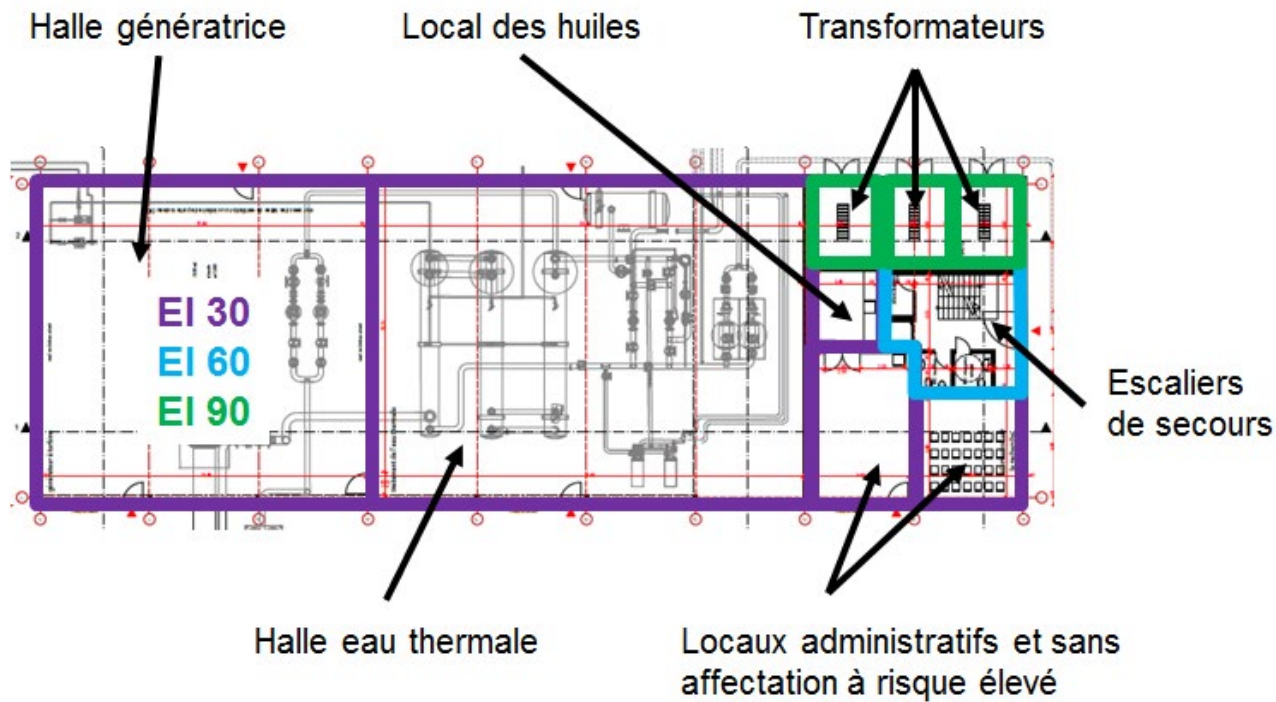


Figure 8 : compartimentage du rez-de-chaussée

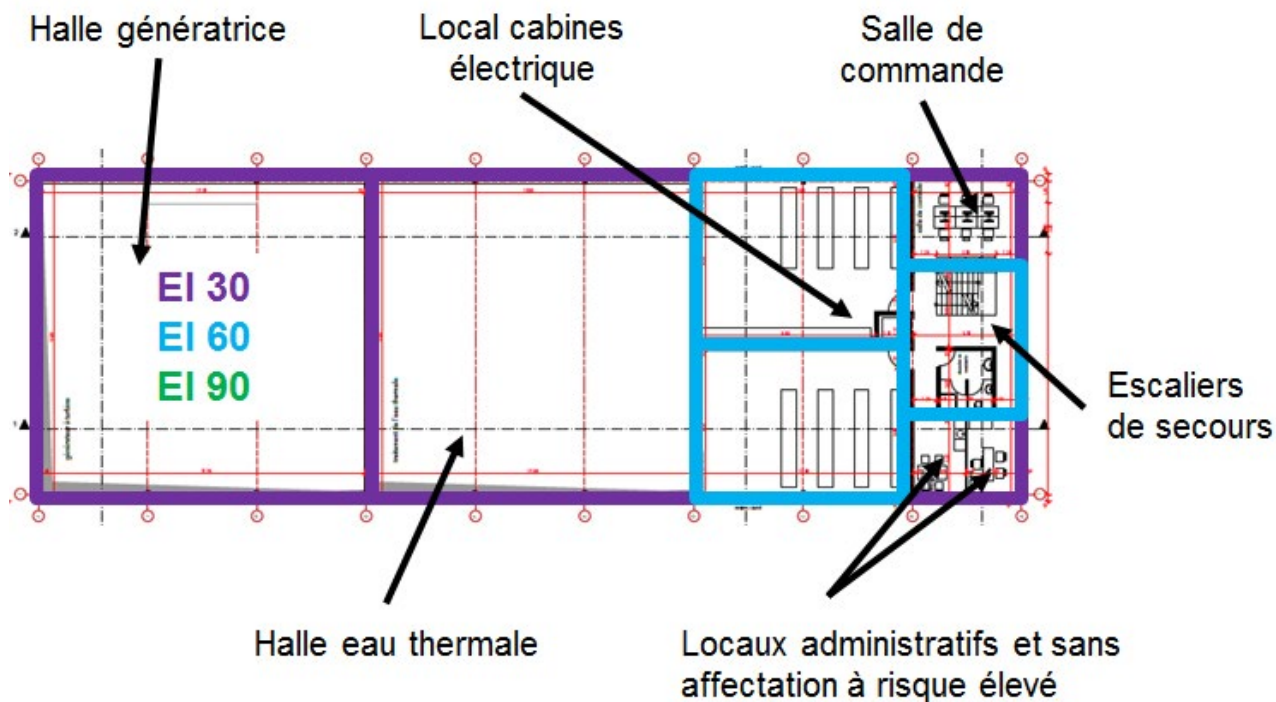


Figure 9 : compartimentage du 1^{er} étage

Le bâtiment comportera des façades aérées (annexe 3) à l'est et à l'ouest afin d'assurer une aération naturelle des locaux où se trouvera l'ORC alors que la façade donnant contre la voie CFF sera en béton armé. Ceci permettra de limiter les risques de formation d'une atmosphère explosive (prévention) et de limiter les effets de souffle si une explosion se produisait malgré tout (protection en cas d'accident) [1].

Le bâtiment devra être conforme à l'état de la technique et, notamment, aucun écoulement au sol ne sera admis.

10.1.3 Voies de fuite

Le bâtiment et le site seront en tout temps évacuables de manière sûre. Les prescriptions AEAI concernant l'évacuation du bâtiment sont reportées sur les figures 10 et 11.

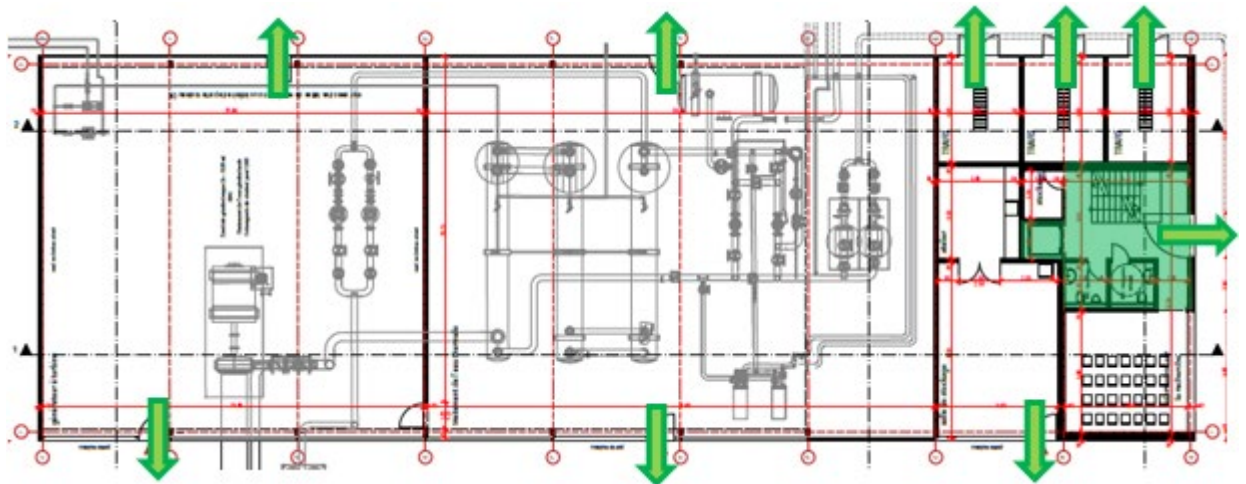


Figure 10 : plan d'évacuation du rez-de-chaussée (le sens correct des portes n'est pas représenté)

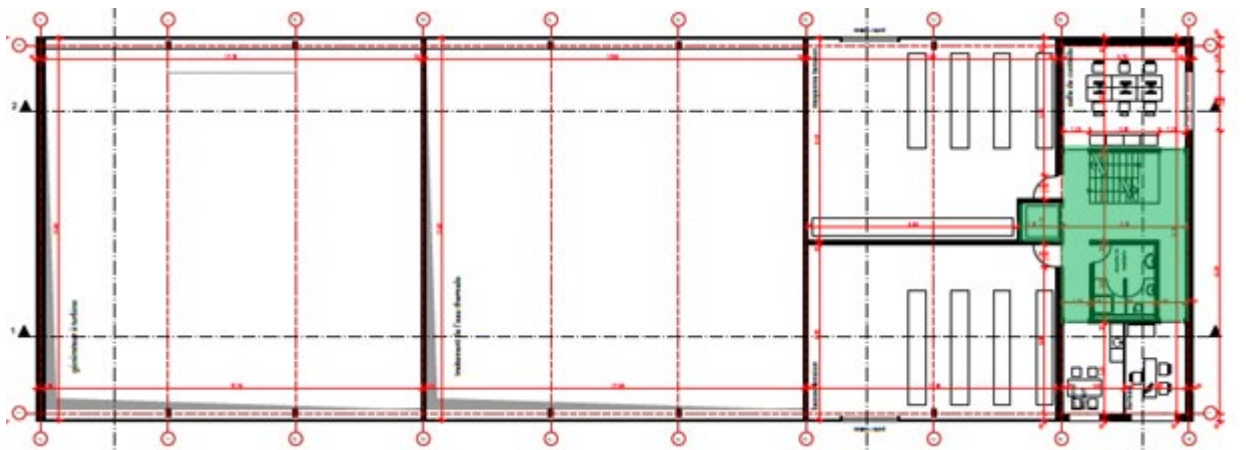


Figure 11 : plan d'évacuation du 1^{er} étage (le sens correct des portes n'est pas représenté)

Les voies de communication sur le site seront en permanence libres afin de garantir l'évacuation du site et l'accès aux services d'interventions.

10.1.4 Rétention des eaux d'extinction

Les eaux d'extinction seront retenues en priorité dans les locaux en cas d'incendie.

Le sol sera en béton. Aucun écoulement de sol ne sera admis.

Cas échéant, ils seront munis de siphons et seront, en temps normal, fermés par une vanne ; cette variante doit être approuvée par l'autorité (demande de dérogation si l'exploitation l'impose). Ces vannes ne seront ouvertes que rarement, par exemple en cas de nettoyage du sol avec des quantités importantes d'eau.

Des barrières de retenue des eaux d'extinction seront installées au niveau des portes et des portes à rouleaux. En temps normal, elles seront levées afin que la ventilation au niveau du sol se fasse naturellement. Elles pourront être abaissées de manière automatique à distance en cas d'intervention (incendie ou crue particulièrement importante).

La hauteur d'eau pouvant être retenue sera d'au minimum 30 cm, de sorte que la capacité de stockage du local sera de l'ordre de 100 m³ pour chacun des deux locaux d'exploitation (local de la turbine et traitement de l'eau thermale).

En cas de besoin, une capacité de stockage supplémentaire sera disponible grâce au bassin de rétention des eaux pluviales (420 m³). Etant donné un débit horaire total d'eaux d'extinction estimé à 162-324 m³/h (voir concept de prévention incendie [2]), le volume de rétention permet de retenir les eaux d'une intervention durant plus d'une heure (en tenant compte d'un bassin rempli à 50%).

10.1.5 Réservoir d'hydrocarbure [1]

Les exigences des directives CFST [4] et [5] et SUVA [6] ont servi de base pour la détermination des mesures de sécurité constructives à appliquer.

Le réservoir sera installé à l'extérieur, contre l'une des digues d'un bassin de stockage des eaux de forage. Il sera recouvert de 80 cm de terre au moins, qui servira de protection thermique ; on admettra par conséquent que la température du liquide dans le réservoir ne dépassera pas 30°C, et que par conséquent le réservoir devra résister à une pression minimale de 12 bar en cas d'utilisation de propane (ou 4 bar pour l'isobutane). Vu qu'il sera enterré, aucun système d'arrosage de la citerne ne sera prévu. Grâce à la protection thermique assurée par la terre recouvrant le réservoir, le risque de BLEVE en cas d'incendie du bâtiment d'exploitation est négligeable.

La directive CFST 1941 indique que la distance minimale aux autres objets avoisinants doit être d'au moins 1 m. Dans les faits, les distances seront bien plus importantes (supérieures à 9 m, c.f. annexe 1). La distance à la voie ferrée sera de plus de 15 m, conformément aux exigences de la CFST et des CFF.

Aéroréfrigérateurs [1]

La place sous les aéroréfrigérateurs sera étanche et équipée de bordures sur l'entier de son pourtour (10-15 cm), ce qui représentera en définitive une rétention de 112-160 m³. Les écoulements de la place seront équipés d'une vanne permettant la rétention des liquides au besoin ; en temps normal, cette vanne sera ouverte afin d'assurer l'écoulement des eaux pluviales. La place sera raccordée au bassin de sécurité des eaux météoriques en aval du site (annexe 1). Ce bassin de 420 m³ sera équipé en sortie d'une vanne contrôlable à distance, qui permettra de retenir les eaux d'extinction en cas d'intervention. Le volume de rétention sera donc constitué du bassin de rétention, des canalisations et de la place sous les aéroréfrigérateurs.

10.1.6 Caves de forage

Les caves de forages, qui constituent les points bas principaux du site, seront protégées par un muret d'environ 70 cm de haut. Le risque d'accumulation de gaz inflammables y est donc fortement réduit.

10.2 Mesures techniques

10.2.1 Détection incendie et de gaz inflammables [2]

Les mesures de détection sont les suivantes en fonction des affectations :

Affectation	Détection incendie	Détection gaz inflammable
Rez-de-chaussée Local génératrice	oui	oui
Rez-de-chaussée Local eau thermique	oui	oui
Rez-de-chaussée Autres locaux	oui	non
Rez-de-chaussée Cage d'escaliers de secours	oui	non
1 ^{er} étage Tous les locaux	oui	non
1 ^{er} étage Cage d'escaliers de secours	oui	non

10.2.2 Réservoir d'hydrocarbure [1]

Le réservoir répondra à l'état de la technique, en particulier au niveau :

- des soupapes de sûreté,
- du contrôle du niveau et de mesures contre le sur-remplissage,
- des dispositifs de sécurité en cas de rupture de conduites
- de la détection et de la rétention des fuites, avec un réservoir et des conduites à double-paroi et détecteur de fuite,
- de la protection contre la foudre.

Concernant la protection contre la corrosion, outre les mesures habituelles pour les réservoirs enterrés, des mesures particulières pourront être prises afin de protéger les installations enterrées contre les courants vagabonds liés à la proximité de la ligne CFF.

Au besoin, le réservoir et les conduites situées dans le sol seront arrimées afin d'éviter tout risque de soulèvement par flottation. Ce point sera précisé au moment de la planification de détail de l'installation.

10.2.3 ORC [1]

L'ORC est semblable à de nombreux systèmes de récupération, d'utilisation ou de dissipation de la chaleur. Les mesures préventives habituelles pour ce type d'installations (choix de matériaux adaptés au fluide choisi et aux conditions d'exploitation et raccords parfaitement étanches entre les éléments de l'ORC, définition des zones ATEX, utilisation d'appareils EX, ...) seront mises en place selon l'état de la technique. Les mesures de protection préventives seront définies pour répondre aux besoins en conditions normales ainsi qu'en conditions anormales.

Les mesures d'urgence habituelles pour ce type d'installations (systèmes de vannes à fermeture automatique, soupapes de sécurité, protection incendie, ...) seront mises en place selon l'état de la technique.

Les détails sont développés au chapitre 11.5.2, point 11.

10.2.4 Ventilation [2]

La ventilation des locaux revêt plusieurs aspects.

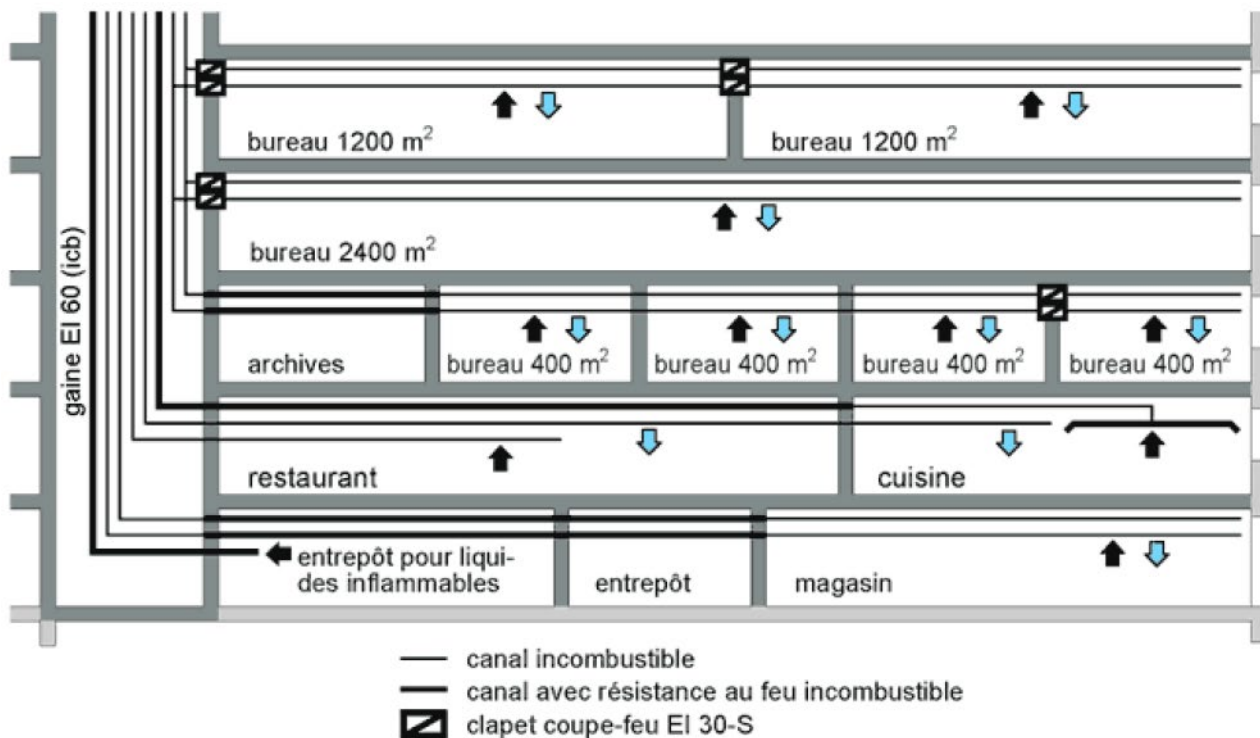


Figure 12 : schéma de principe du compartimentage des ventilations

Les halles « générateur » et « eau thermale » sont aérées naturellement par des ouvertures (lamelles) en façade et seront ventilées mécaniquement en cas de détection de gaz inflammable (ventilation de secours).

Les locaux transformateurs sont ventilés avec sortie directe sur l'extérieur.

Les autres locaux sont aérés ou ventilés selon les besoins et les canaux de ventilation conçus selon la directive AEA1 26-03 ad. au chiffre 4.8.2 précise le compartimentage à adopter.

La ventilation des halles de production est un point clef de la limitation du risque d'explosion. En effet, si l'aération est suffisante (forcée si nécessaire), une accumulation de gaz inflammable en dessus de LII sera improbable.

10.2.5 Protection foudre [2]

Le bâtiment et les installations annexes doivent être protégés contre la foudre selon les prescriptions de la directive AEAI 23-03 et selon les recommandations de l'ASE.

10.3 Mesures organisationnelles

10.3.1 Gestion des visiteurs

La restriction d'accès au site pour les visiteurs pendant les travaux de maintenance doit être réalisée. La limite du nombre de visiteurs est fixée, selon l'étude de risque pour rester dans le domaine acceptable, à 25 personnes (et ce pour un maximum de 2h par semaine).

10.3.2 Utilisation des substances dangereuses [1]

Le dépotage du fluide caloporteur, avant la mise en service de l'installation, sera fait par une entreprise spécialisée. Une étude de risque sera effectuée avec l'entreprise spécialisée plusieurs jours au moins avant l'opération afin que d'éventuelles mesures complémentaires de protection puissent être mises en place au besoin. Les directives et le mode opératoire de l'entreprise spécialisée seront suivis.

Le déchargement et la manutention des autres liquides, gaz ou déchets seront faits selon l'état de la technique. Selon l'état actuel du projet, les quantités à utiliser seront faibles ; la contenance des récipients sera aussi limitée. Au besoin, des mesures particulières pourront être mises en place de sorte afin de s'assurer que ces substances ne présenteront pas une source particulière d'accident majeur.

Le Guide pratique pour l'entreposage des matières dangereuses sera observé pour la conception et la réalisation du projet [7].

Les mesures définitives validées seront jointes à ce chapitre.

10.3.3 Gestion des déchets spéciaux

La gestion des déchets spéciaux se fait selon les règles en vigueur OMoD :

- Locaux ad hoc ;
- Rétention ;
- Pas de mélange de produits incompatibles ;
- Etiquetage conforme ;
- Reprise par des entreprises agréées.

10.3.4 Plans d'intervention

Ces plans doivent être réalisés en collaboration avec le SIS Haute-Sorne et joints à l'annexe 12 dès que disponibles.

10.3.5 Gestion des déchets spéciaux

Les consignes de sécurité à l'attention du personnel seront jointes à l'annexe 13 dès que disponibles.

10.3.6 Autres mesures

D'autres mesures seront encore mises en place en fonction de l'avancement du projet et des besoins. Notamment :

- Collaboration avec l'exploitant ;
- Collaboration avec les services d'interventions ;
- Plan d'intervention ;
- Collaboration avec les CFF ;
- Exercices de gestion d'accidents ;
- Règles pour les entreprises tierces travaillant sur le site ;
- Règles pour la gestion des visiteurs ;
- Définition des équipements de protection individuelle ;
- SOP des installations.

11 Analyse de risque liée au fluide caloporteur [8]

Comme préconisé par le Manuel I de l'ordonnance sur les accidents majeurs (Gay, 2008), la méthode d'analyse de risque choisie est celle des arbres de causes et de conséquences. Les détails de la méthode de construction des deux arbres sont présentés respectivement aux chiffres 11.4.1 et 11.4.8. Les principales sources méthodologiques employées sont les suivantes :

- Concernant la construction des arbres des causes et des conséquences ainsi que la fréquence des événements: le rapport cadre « Stockage de gaz liquéfié » [9] de Basler et Hofmann.
- Certaines informations concernant les fréquences de défaillance des équipements sont aussi basées sur: « Guidelines for quantitative risk assessment », (Uijt de Haag & Ale, 2005), « Lees Loss Prevention in the Process Industry » (Mannan, 2005) et le « Safety Report assessment guide : LPG », (HSE, n.d.).

Les modélisations numériques de perte de confinement, de dispersion et d'inflammation sont modélisées avec le logiciel Effects 8.1.6.5654 édité par le TNO.

Le Manuel I sur l'ordonnance de la prévention des accidents majeurs (Gay, 2008) indique clairement que les événements majeurs au sens de l'OPAM se résument aux accidents provoquant des conséquences sur la population, l'environnement ou toute structure hors du site de l'entreprise.

La méthode d'acceptabilité du risque est basée sur la construction de la courbe cumulative des conséquences (Figure 1). Seul l'indicateur du nombre de décès a été pris en compte car les scénarios pour lesquels le nombre de blessés est pénalisant par rapport au nombre de morts sont les scénarios de dispersion atmosphérique de produits toxiques. Les simulations réalisées dans cette étude se basent sur du propane, de l'isobutane et de l'isopentane qui ne sont pas considérés comme toxiques.

Une pollution des sols ou de l'eau est à exclure par le fluide caloporteur car le propane et l'isobutane sont des gaz à température ambiante. De ce fait, même lors d'un rejet massif, la dispersion atmosphérique sera prépondérante par rapport à l'infiltration dans le sol. De même, il ne peut pas y avoir de mélange eau d'extinction – gaz liquéfié possible. La température d'une nappe de gaz liquéfié est égale à la température d'ébullition du gaz. Si on ajoute de l'eau à température ambiante, le gaz liquéfié flashe et il ne reste que de l'eau (le résultat sera identique avec de la mousse). Selon le cas (propane/isobutane) on peut créer de la glace et bloquer du gaz à l'intérieur mais celui-ci sera libéré lors de la fonte celle-ci.

Dans le cas d'un accident impliquant de l'isopentane, le concept de protection est basé sur une capacité de rétention de la totalité de l'hydrocarbure en phase liquide dans le bâtiment de la centrale et dans le bac de rétention étanche situé sous les aérorefroidisseurs. Le réservoir de stockage du fluide sera à double paroi. Les détails constructifs seront précisés dans le projet d'exécution. Une infiltration dans les sols et dans la nappe superficielle ou une pollution importante des eaux usées est ainsi évitée par des barrières passives. Pour ce qui est des dégâts matériels, une rame de train neuve coûte environ 20 MFr pour les derniers modèles. En cas de déraillement, l'influence sur la courbe cumulative est négligeable et, par conséquent, ce paramètre n'a pas été pris en considération pour l'étude de l'indice d'accident majeur. Selon les informations transmises par les CFF, les coûts de réfection au niveau de l'infrastructure ferroviaire s'élèveraient à environ 800 CHF/m sur une distance de 200 m environ.

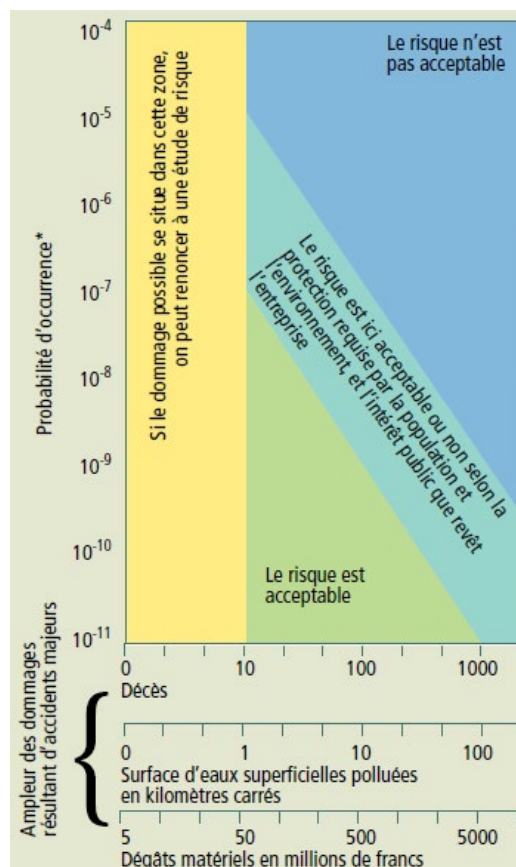


Figure 1: Indice d'Accident Majeur

11.1 Propriétés des substances

11.1.1 Propriétés physico-chimiques [12,13]

Tableau 1: Propriétés physico chimiques des substances (N.A. = non applicable, N.D. = non disponible)

	Propane	Isoisobutane	Isopentane
CAS	74-98-6	75-28-5	78-78-4
Formule chimique	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂
Masse molaire (g/mol)	44.1	58.12	72.15
Etat à 20°C et 1 bar	Gazeux	Gazeux	Liquide
T ébullition (°C)	-42	-12	28
Point d'inflammation (°C)	-104	-83	< -56
T d'autoinflammation (°C)	470	460	420
Propriétés explosives			
➤ LII (Vol%)	1.7 (31 g/m ³)	1.5 (37 g/m ³)	1.3 (38 g/m ³)
➤ LSI (Vol%)	10.8 (202 g/m ³)	9.4 (231 g/m ³)	7.6 (230 g/m ³)
Pression de vapeur (bar)	8.3 à 20°C	3.0 à 20°C	0.76 à 20°C
Enthalpie vaporisation (kJ/kg)	425		
Chaleur spécifique (J/mol/K)	74.3 (gaz à 1 atm et 25°C)		
Densité de vapeur (kg/m ³)	2.01 (0°C) 1.87 (15°C)	2.70 (0°C) 2.51 (15°C)	2.12 (mélange vapeur – air à 20°C)
Solubilité dans l'eau à 20°C (g/cm ³)	75 * 10 ⁻⁶	49 * 10 ⁻⁶	48 * 10 ⁻⁶
Densité à l'état liquide (g/cm ³)	0.58	0.59	0.62
Coefficient de partition octanol/eau (log K _{ow})	3	2.76	N.D.
pH	N.A.	N.A.	N.A.
Odeur	Douceâtre	Douceâtre	Odeur de benzine
Seuil de perception	Produit d'odeur infecte souvent ajouté	Produit d'odeur infecte souvent ajouté	N.D.

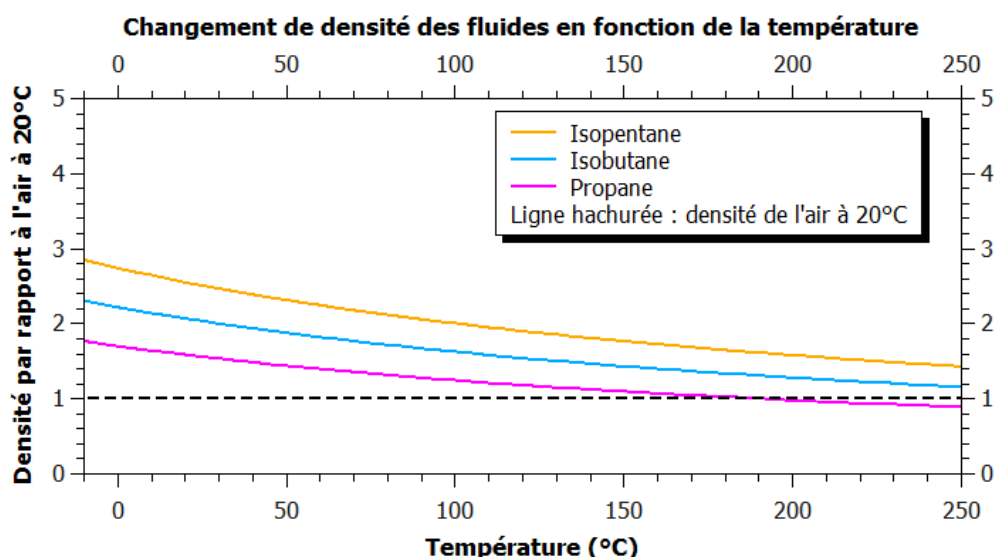


Figure 2: changement de densité des vapeurs en fonction de la température. La ligne hachurée représente la densité de l'air à 20°C fixée à 1. Le graphique montre que la densité du propane devient inférieure à celle de l'air aux alentours de 190 °C, alors que cette température est supérieure à 250°C pour les deux autres substances

11.1.2 Physiologie-toxicologie [10]

Tableau 2: VME et VLE des fluides caloporteurs

		Propane	Isoisobutane	Isopentane
VME	(ml/m ³ ou ppm)	1'000	800	600
	(mg/m ³)	1'800	1'900	1'800
VLE	(ml/m ³)	4'000	-	1'200
	(mg/m ³)	7'000	-	3'600
LC ₅₀	(ppm)	N.D.	N.D.	N.D.

11.1.3 Compatibilités avec les matériaux

Les réactions dangereuses des 3 substances considérées peuvent être résumées comme suit :

- Risques d'explosion en contact avec des substances oxydantes ;
- Formation possible de composés toxiques au contact des substances halogénées, de NO_x ou d'acétylène. Les produits formés sont le CO₂, CO et imbrulés potentiellement toxiques

A noter encore que le choix des joints en contact avec ces substances doit être adéquat (p.ex. PTFE) afin d'assurer une étanchéité durable.

11.1.4 Comportement des substances concernées dans l'environnement

Les propriétés du propane et de l'isobutane sont semblables. A l'état gazeux, à température et pression ambiante, ils sont plus denses que l'air et ont tendance à s'accumuler au niveau du sol et dans les points bas. Le risque principal lié à ces gaz est l'explosion. A l'air libre, aucune formation de composés particulièrement toxiques n'est attendue.

Le point d'ébullition de l'isopentane est de 28°C à pression atmosphérique. Sous forme liquide, l'isopentane est peu soluble et moins dense que l'eau.

11.1.5 Toxicité pour les organismes aquatiques [1]

Tableau 3: Toxicité pour les organismes aquatiques

* Valeurs calculées

	Propane	Isoisobutane	Isopentane
EC ₅₀	7 mg/l (D. magna, 48h)	~ 16 mg/l (D. magna, 48h) *	2.3 mg/l (D. magna, 48h)
LC ₅₀	24 mg/l (divers poissons)	~ 8.6 mg/l (Algues) *	12.8 mg/l (P. promelas, 96h)
Remarques	Risque faible dans l'environnement car gazeux	Risque faible dans l'environnement car gazeux	Facilement biodégradable

11.2 Approvisionnement et stockage

L'utilisation de l'hydrocarbure en tant que fluide caloporteur se fera en circuit fermé. Avant la mise en route de l'installation, le fluide caloporteur sera déposé dans une citerne de stockage dans l'installation par une entreprise spécialisée. Le remplissage et la mise en route d'une installation de ce type est courante. Sauf en cas de fuite accidentelle, il n'y aura pas de perte ou de consommation d'hydrocarbure.

11.3 Identification des dangers

Les dangers potentiels identifiés sur le site de la centrale géothermique sont dus à la quantité et à la nature du fluide caloporteur employé. Pour identifier les scénarios d'accidents majeurs, le site a été divisé en 7 zones différentes (Figure 3):

- Zone 1 : Refroidisseurs
- Zone 2 : Pompes et échangeurs de chaleur
- Zone 3 : Citerne enterrée de fluide caloporteur
- Zone 4 : Stockage eau
- Zone 5 : Forage
- Zone 6 : Stockage eau
- Zone 7 : Bureaux

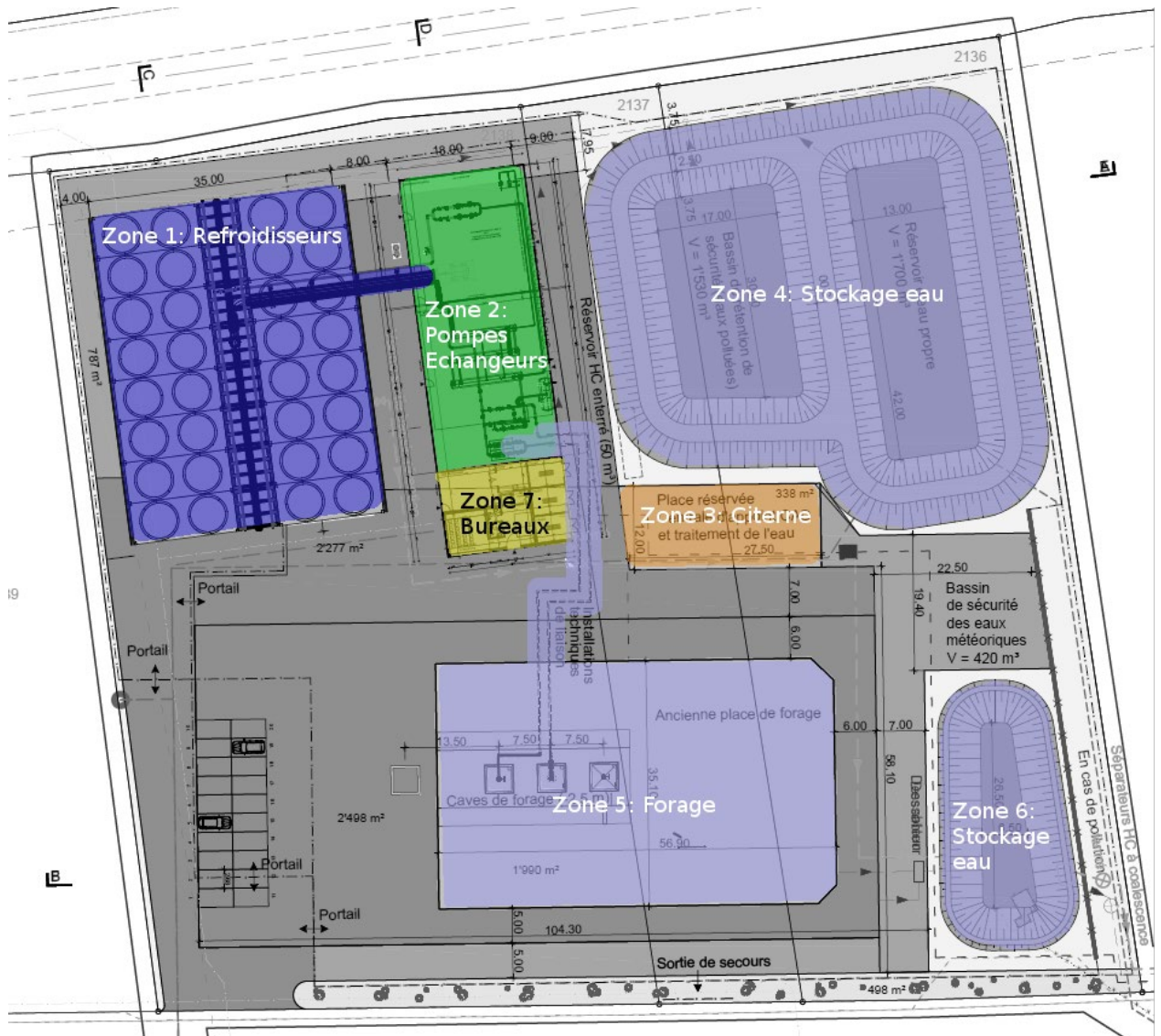


Figure 3: Cartographie des zones

Le Purple Book (Uijit de Haag & Ale, 2005) propose une méthodologie permettant d'identifier quelles zones présentent des risques d'accidents majeurs. Cette méthode se base sur l'estimation d'un index, noté A, qui est fonction de la quantité de produit dans chacune des zones, des caractéristiques du produit et de la zone étudiée.

$$A_{\text{ZONE}} = \frac{Q_p \times O_1 \times O_2 \times O_3}{G_p}$$

Avec :

Symbole	Signification	Unités
A_{zone}	Index	-
Q_p	Quantité de produit	kg
O_1	Index relatif au type d'installation	-

O_2	Index relatif au confinement de l'installation	-
O_3	Index relatif aux conditions du procédé	-
G_p	Valeur limite de la substance	kg

Indice O_1 : Type d'installation

- Installation de process : $O_1 = 1$
- Installation de stockage : $O_1 = 0.1$

Indice O_2 : Position de l'installation

- Installation extérieure : $O_2 = 1$
- Installation confinée : $O_2 = 0.1$
- Installation située dans une cuvette et température du procédé inférieure à la température d'ébullition sous une atmosphère plus 5°C : $O_2 = 0.1$
- Installation située dans une cuvette et température du procédé supérieure à la température d'ébullition sous une atmosphère plus 5°C : $O_2 = 1$

Indice O_3 : Phase de la substance dans l'équipement

- Substance gazeuse : $O_3 = 10$
- Substance liquide, pression de vapeur saturante à la température du process supérieure à 3 bar : $O_3 = 10$
- Substance liquide, pression de vapeur saturante à la température du process comprise entre 1 et 3 bar : $O_3 = 4.5 \times P_{sat} - 3.5 + \delta$
- Substance liquide, pression de vapeur saturante à la température du process inférieure à 1 bar : $O_3 = P_{sat} + \delta$

Les valeurs de δ sont fonction de la température d'ébullition (T_{eb}) de la substance considérée et sont précisées dans le tableau suivant :

	δ
$- 25^{\circ}\text{C} \leq T_{eb}$	0
$- 75^{\circ}\text{C} \leq T_{eb} < - 25^{\circ}\text{C}$	1
$- 125^{\circ}\text{C} \leq T_{eb} < - 75^{\circ}\text{C}$	2
$T_{eb} < - 125^{\circ}\text{C}$	3

Indice G_{prod} : valeur limite de la substance

- Substance inflammable : 10000 kg
- Substance explosive : $G_p = 1000 \times \frac{\Delta H_{dsc}(TNT)}{\Delta H_{dsc}(substance)}$

Le propane, l'isobutane et l'isopentane sont des produits inflammables contenus dans les zones 1, 2 et 3. L'indice G_p de ces substances est donc fixé à 10000kg.

Les différentes valeurs des indices et des index peuvent être déterminés pour chacune des zones et pour les trois fluides caloporteurs

Cas du propane :

Zone	Q_p	O_1	O_2	O_3	G_p	A_{zone}
Zone 1	15543	1	1	10	10000	15.54
Zone 2	7771	1	1	10	10000	7.77
Zone 3	23314	0.1	1	10	10000	2.33

Cas du isobutane :

Zone	Q_p	O_1	O_2	O_3	G_p	A_{zone}
Zone 1	11584	1	1	10	10000	11.58
Zone 2	5792	1	1	10	10000	5.79
Zone 3	17376	1	1	10	10000	17.38

Cas de l'isopentane :

Zone	Q_p	O_1	O_2	O_3	G_p	A_{zone}
Zone 1	19737.33	1	1	10	10000	19.74
Zone 2	9868.67	1	1	10	10000	9.87
Zone 3	29606	0.1	1	10	10000	2.96

Cette analyse permet de mettre en évidence que les trois zones doivent être étudiées pour tous les fluides caloporteurs envisagés. Les conséquences en cas d'accident se produisant dans les zones 4, 5, 6 ou 7 sont nulles dans la mesure où ces zones ne contiennent que de l'eau.

11.4 Identification des scénarios dans les zones 1, 2 et 3

Ces différentes zones ne sont pas vulnérables aux mêmes évènements et les conséquences en cas d'accident varient d'une zone à l'autre. Le tableau 4 présente les différents évènements initiaux retenus.

Tableau 4: Liste des scénarios possibles

Zone	Cause naturelle		Cause externe (chute maquette avion, déraillement train)		Impact véhicule sur site	Erreur humaine	Défaut élément mécanique
	séisme	foudre	maquette avion	déraillement train			
1			non	oui	oui		
2	oui si magnitude supérieure à 6.5	non, site équipé d'un paratonnerre	non	oui	oui	oui	oui
3			non	non	non		

Deux événements différents sont identifiés :

- Fuite continue. La fuite continue peut être liquide ou gazeuse selon le fluide caloporteur considéré et se produire vers l'extérieur de l'équipement ou bien entre l'eau thermale et le fluide caloporteur. Selon la phase libérée, les conséquences varient. Elles seront décrites dans l'arbre d'événements aux chiffres 11.4.8 à 11.4.14. Une fuite continue peut se produire sur les aérorefroidisseurs, les échangeurs de chaleur, les pompes et la citerne de stockage. Deux types de fuites continues sont définis :
 - o Rupture guillotine de la canalisation considérée
 - o Fuite par un orifice de 20 mm

- Rupture instantanée de la citerne. La rupture instantanée ne concerne que la citerne de stockage. En effet, les autres zones (aérorefroidisseurs, ...) sont trop étendues pour qu'une cause unique provoque la libération spontanée du fluide contenu.

Les petites fuites (joints ou soupapes fuyardes) ne sont pas considérées ici dans la mesure où leurs conséquences seraient moins importantes que celles induites par les deux autres événements. Les figures 4 et 5 présentent les localisations possibles des différents événements (en rouge : libération spontanée, en orange, libération continue)

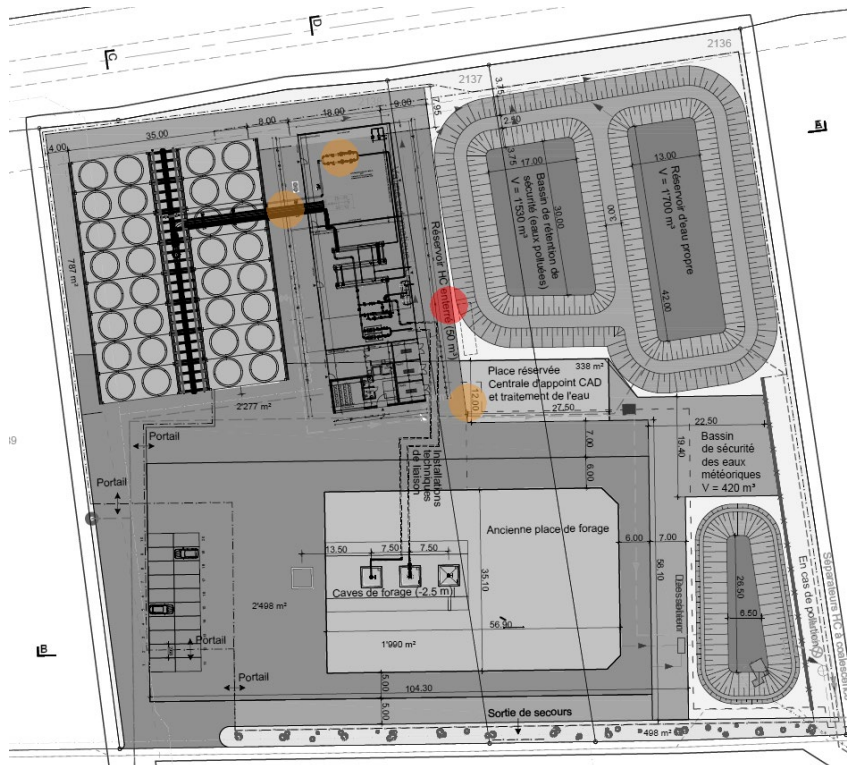


Figure 4: Position des fuites

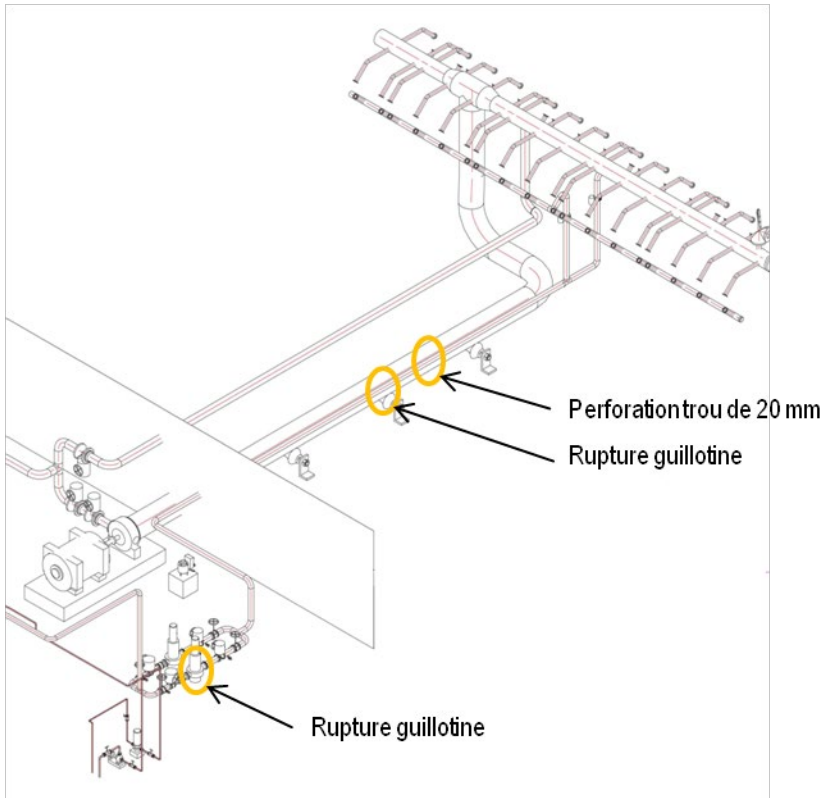


Figure 5: Détail des emplacements des fuites possibles se produisant sur les pompes ou la canalisation de condensats

Les dangers potentiels suivants ont été identifiés dans les sous-chapitres suivants.

Cinq événements indésirables ont été identifiés :

- 1) Rupture catastrophique de la citerne de 50m³
- 2) Fuite continue via une rupture guillotine d'une conduite suite à la rupture catastrophique d'une pompe
- 3) Fuite continue via une rupture guillotine de la conduite de condensats
- 4) Une fuite continue par un orifice de 20mm de diamètre sur la conduite menant aux pompes de condensat.
- 5) Une fuite continue par rupture guillotine sur la citerne de 50m³.

11.4.1 Méthodologie de construction d'un arbre des causes [9]

« L'arbre des causes est très efficace pour l'examen de la fiabilité des systèmes techniques. Dans un arbre des causes, on part d'un danger ou d'un événement indésirable (= Top Event) pour en rechercher toutes les causes. »

Les différentes causes sont associées par des liens logiques Et et/ou OU. Lorsque deux causes indépendantes sont nécessaires pour conduire à l'événement indésirable (porte ET représentée par \circ) alors la fréquence totale est le produit des fréquences des deux causes (causes 1a et 1b). Lorsque plusieurs causes indépendantes peuvent conduire à l'événement indésirable (porte OU représentée par \square), alors la fréquence finale est la somme des fréquences des causes indépendantes (Figure 6).

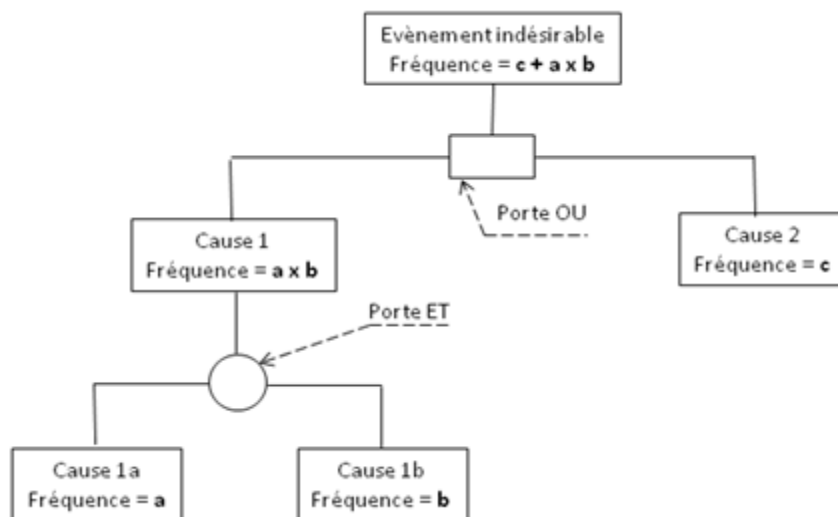


Figure 6: Principe de fonctionnement de l'arbre des causes

Exemple : dans la figure suivante, la case contient la nature de l'événement (Incendie extérieur), sa fréquence en cas par année (1×10^{-6}) et une référence (9).

Incendie extérieur	
1×10^{-6}	9

Le chiffre 9 est un renvoi vers la justification du choix de la fréquence qui est décrite sous l'arbre des causes.

11.4.2 Rupture catastrophique de la citerne de 50m³

Causes :

- Contraintes mécaniques externes
 - o Séisme
 - o Chute d'un avion
 - o Accident impliquant un véhicule lourd
 - o Sabotage
- Incendie à proximité
- Pression supérieure à la pression d'éclatement
 - o Citerne trop pleine
 - Soupapes de sécurité bloquées
 - Sur-remplissage
 - o Remplissage mauvais produit.

Conséquences :

- Formation d'une nappe de liquide
 - o Incendie
 - Flux thermiques de radiation
 - Dispersion de gaz de combustion
 - Pollution des eaux à cause des eaux d'extinction
 - o Formation d'un nuage de gaz
 - Inflammation
 - Dispersion d'un nuage de gaz
 - Explosion du nuage (Vapor Cloud Explosion, VCE)
 - o Onde de surpression
 - Dispersion du nuage sans inflammation.

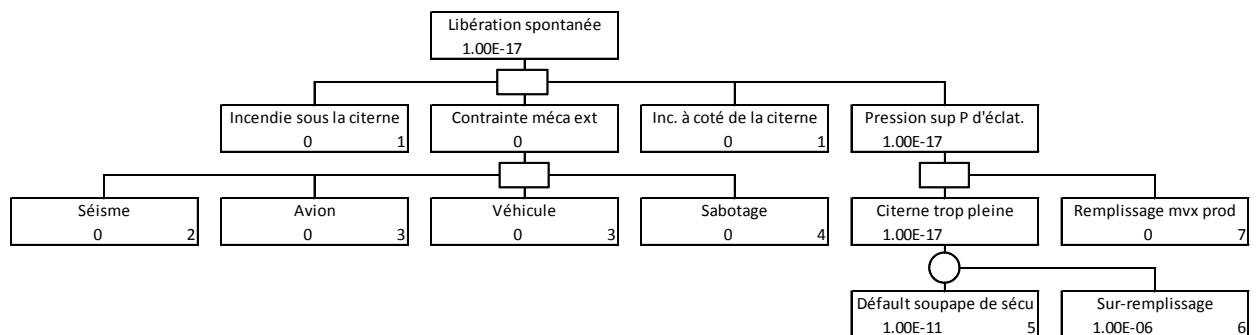


Figure 7: arbre des causes d'une rupture instantanée de la citerne de propane liquéfié

La fréquence associée à une rupture instantanée de la citerne de gaz liquéfié est de 1.6×10^{-17} cas par an. Cette fréquence est inférieure à la fréquence minimale considérée pour les études OPAM (10^{-11} cas par an). Ce scénario n'est donc pas retenu. La justification du choix des fréquences est décrite ci après :

1. Incendie sous ou à côté de la citerne de 50m³ de propane liquéfié : La citerne se situe entre les bassins de stockage d'eau et les échangeurs de chaleur. Un incendie de grande ampleur ne pourrait donc avoir lieu que dans le local des échangeurs de chaleur en cas de perte de confinement, épandage et inflammation du fluide caloporteur. Or si la citerne est pleine, cela signifie que le réseau de canalisations a été vidangé. La citerne est enterrée sous 80 cm de terre au niveau de la zone des échangeurs de chaleur. La citerne étant enterrée, elle ne sera pas impactée par un feu externe. La fréquence associée à cette cause est nulle.

2. Séisme : La probabilité d'occurrence d'un séisme doit être étudiée en tenant compte des spécificités locales. L'OPAM préconise modéliser la réponse des différentes parties du site à une accélération spectrale donnée et de déterminer les conséquences en termes de rupture de canalisation et d'effondrement de structure. Les choix finaux de matériaux et d'équipements n'étant pas réalisés, il est impossible de réaliser ces modélisations.

L'estimation de la probabilité qu'un séisme puisse provoquer une fuite sur la structure a été réalisée à partir de sources bibliographiques :

- Le rapport d'estimation du risque sismique en Suisse (Giardini, Wiemer, Fäh, & Deichmann, 2004)
- Le rapport DRA 13 opération a (Ayrault, 2001) qui recense les conséquences des séismes de Kobe (intensité 7.2), de Northridge (intensité 6.7), de Loma Pietra (intensité 7.1), d'Izmit (intensité 7.4), des Philippines (intensité 7.8), de Landers (intensité 7.4), de Roermond (intensité 5.5) et de Valle de la Esterella (intensité 7.5)
- Le guide méthodologique d'analyse de risque du HSE (HSE, n.d.)

La synthèse des conséquences d'une catastrophe naturelle sur un site industriel sont présentés dans le rapport DRA 13 – Opération a (Ayrault, 2001). Les séismes considérés ont une intensité voisine de l'intensité maximale d'un séisme pouvant se produire en Suisse (fixé à 7.5 par le service de sismologie suisse (Giardini et al., 2004)). Ce rapport indique que les canalisations aériennes « n'ont généralement pas donné lieu à des fuites directement dues au séisme ». Les dégâts résultants sont dus à des faiblesses matérielles (corrosion, matériaux fragiles). Ce rapport souligne en outre que les deux principales causes de rupture sont :

- la chute d'un objet sur la canalisation
- un déplacement imposé

Il apparaît également que les réservoirs sous pression résistent bien aux séismes dans la mesure où leurs fixations sont correctement dimensionnées à l'égard de l'intensité du séisme. De même, les appareils comme les pompes et les turbines sont peu impactées par un séisme. Il apparaît également dans ce rapport que tous les équipements dont les fondations sont réalisées à base de pieux ont résisté aux séismes auxquels ils ont été soumis.

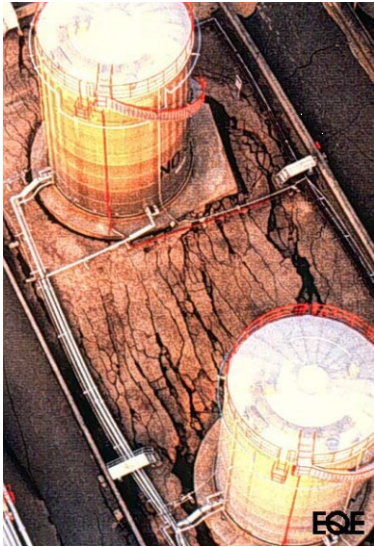


Figure 8: liquéfaction et affaissement du sol.

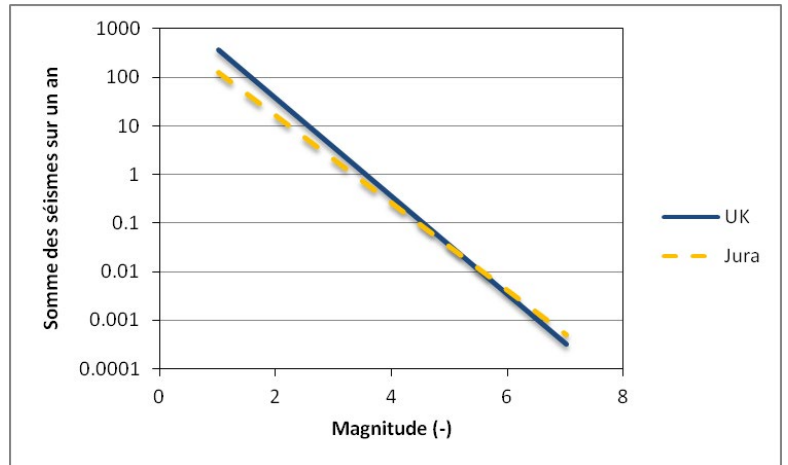


Figure 9: Somme des séismes d'intensité donnée sur une année

Aucune rupture catastrophique de réservoir n'a été recensée, les séismes ont conduits à des fuites sur les canalisations. La centrale géothermique sera principalement composée de canalisations et d'appareils sous pression. Il est possible d'anticiper que les conséquences d'un séisme ne seraient pas catastrophiques si les normes parasismiques sont respectées. La conséquence prévisible d'un séisme de cette magnitude sera donc la rupture guillotine de canalisation. Il n'est pas envisagé de rupture catastrophique de la citerne.

Les guides réalisés par l'organisme anglais HSE concernant les analyses de risques des industries utilisant des gaz liquéfiés sous pression (HSE, n.d.) proposent de considérer une fréquence comprise entre 10^{-6} et 10^{-7} pour caractériser l'apparition d'un séisme catastrophique. Dans l'article « British Earthquakes » (MUSSON, 2007), le Dr Roger Musson indique que la somme du nombre de séismes d'une magnitude donnée est définie par l'équation suivante :

Equation 1: Somme des séismes de magnitude donnée au Royaume Uni

$$P(I) = 10^{3.59-1.01I}$$

Où I est la magnitude du séisme exprimée en valeur d'échelle de Richter. Le rapport d'estimation du risque sismique en Suisse (Giardini et al., 2004) indique p45 que ce même paramètre peut être exprimé par l'équation suivante dans le canton du Jura :

$$P(I) = 10^{3-0.9 \times I}$$

La figure 9 présente les deux courbes tracées sur le même graphe. Il apparait que les ordres de grandeur sont similaires. Pour un séisme d'intensité 7, la valeur en suisse est environ deux fois supérieure à la valeur en Angleterre. Il apparait donc raisonnable de considérer des fréquences de retour similaires. Une démarche conservatrice nous a conduits à considérer la borne supérieure de l'intervalle de fréquence soit 1×10^{-6} cas par an pour la probabilité d'apparition de fuite et 0 pour la probabilité d'apparition de rupture catastrophique.

3. Chute d'avion, impact avec un véhicule lourd : La citerne est enterrée sous 80cm de terre entre la salle recevant les échangeurs de chaleur et les réserves d'eau. Cette configuration permet de protéger de façon passive des risques associés à un accident mettant en cause un camion ou tout autre véhicule terrestre. De même, les avions de tourisme et les maquettes ne pourront pas endommager la citerne. La chute d'un avion de ligne pourrait endommager la citerne et causer sa ruine. Cependant Haute Sorne n'est pas situé à proximité d'un aéroport international (l'aéroport de Bâle-Mulhouse est situé à 40 km à vol d'oiseau) ni situé sur une route aérienne (Skyguide, 2014). Le Manuel I de l'ordonnance sur les accidents majeurs (Gay, 2008) précise que les événements comme la chute d'un avion doivent être pris en compte au voisinage d'un axe d'approche ou d'envol d'un aéroport. Le site de Glovelier ne remplissant pas cette condition, la fréquence d'occurrence de la chute d'un avion est donc choisie nulle.

Un impact entre la citerne et un véhicule lourd n'est pas non plus envisageable dans la mesure où la citerne est enterrée donc protégée par des barrières passives.

4. Sabotage : La fréquence d'un sabotage ne relève pas d'une cause accidentelle. Lees (Mannan, 2005) présente des fréquences exprimées en fraction de la fréquence d'erreur humaine. Il rapporte une fréquence de sabotage sur des installations de stockage de GPL de 2×10^{-3} cas par an et concernant uniquement des perforations de canalisation. Il est supposé que la conséquence d'un acte de sabotage est la création d'un trou de 20 mm de diamètre dans les canalisations. Cette approche est retenue et est modulée par la position de chaque élément, la possibilité de les atteindre de l'extérieur, le nombre d'enceintes de type différents à franchir pour les atteindre, le niveau d'hostilité au projet et le contexte terroriste en Suisse. Il est supposé que les actes de sabotage ne peuvent pas entraîner la ruine de l'installation visée mais seulement des fuites. Ce choix est motivé par l'ampleur des moyens à mettre en œuvre pour détruire l'installation. La fréquence choisie est de 2×10^{-4} cas par an pour les structures situées en extérieurs et donc facilement atteignables (condenseurs et canalisations).

5. Soupape de sécurité bloquée : Les citernes de GPL sont équipées de manière classique d'un bloc de 4 soupapes de sécurité. L'événement „Soupape de sécurité bloquée“ suppose qu'aucune des 4 soupapes ne s'ouvre. Selon le Purple Book (Uijit de Haag & Ale, 2005), la fréquence de non ouverture de chacune des soupapes est de 1.29×10^{-6} cas par an. La fréquence est donc de 2.77×10^{-24} pour le bloc de 4 soupapes. Cette fréquence étant inférieure à la limite inférieure considérée par l'OPAM, il est proposé de relever cette fréquence à 10^{-11} cas par an.

6. Sur remplissage et vidange par la soupape : La fréquence de sur-remplissage de la citerne sans que le chauffeur ne le remarque peut être estimée à 8×10^{-5} par an pour 12 remplissages par an (Rapport cadre « Stockage de gaz liquéfié » 1ère édition française, Basler&Hofmann, (1995)). Cette citerne n'est remplie qu'une fois tous les 4 ans. La valeur présentée dans le rapport cadre doit donc être divisée par 48. La fréquence de 1.6×10^{-6} par an est retenue.

7. Remplissage mauvais produit : Cet événement suppose que le fluide livré soit différent de celui de fonctionnement. Il s'agit d'une défaillance humaine majeure impliquant plusieurs erreurs humaines consécutives. Le Rapport cadre « Stockage de gaz liquéfié » propose une fréquence de 10^{-5} par an par remplissage. Cette valeur est retenue malgré le fait que la citerne ne soit remplie qu'une fois tous les 4 ans.

11.4.3 Fuite continue via rupture guillotine d'une conduite suite à la rupture catastrophique d'une pompe

Causes :

- Séisme
- Vanne d'isolement défectueuse
- Rupture de la conduite
 - o Incendie
 - o Défaillance catastrophique de la pompe
 - o Erreur humaine
 - o Autre
- Sabotage

Conséquences :

- Formation d'un nuage de gaz
 - o Inflammation immédiate
 - « Jet Fire »
 - Flux thermiques de radiation
 - o Inflammation retardée
 - Dispersion du nuage
 - Explosion
 - Onde de surpression.
 - Flux thermique

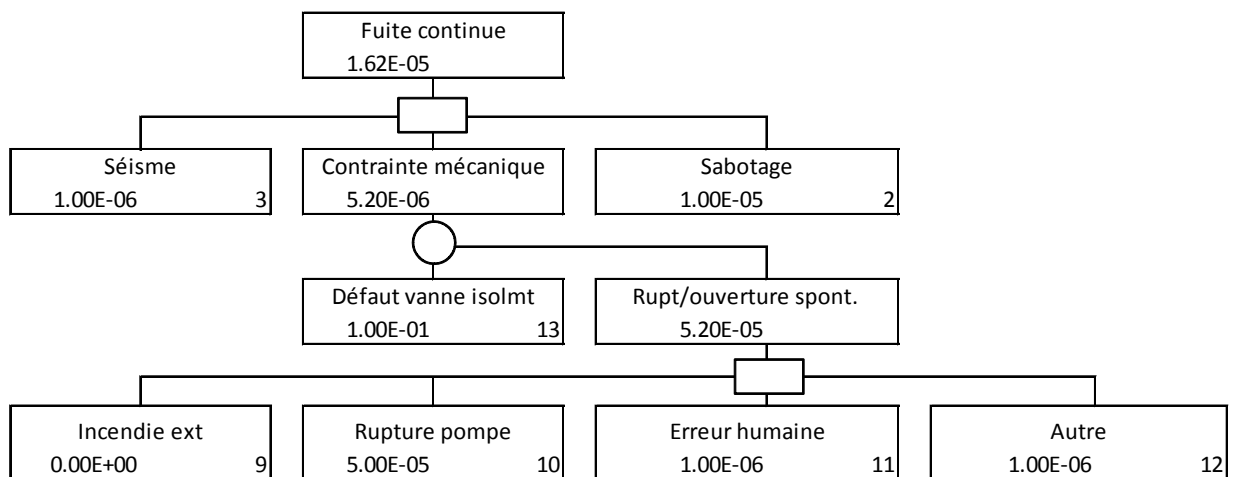


Figure 10: arbre des causes d'une fuite continue due à une rupture guillotine au niveau de la pompe

2. Séisme : La fréquence associée à une rupture guillotine provoquée par un séisme est de 10^{-6} cas par an (Voir 11.4.2).

4. Sabotage : Un sabotage résulte en la perforation d'une canalisation et la création d'un orifice de 20mm de diamètre (Voir 11.4.2).

8. Vanne d'isolement défectueuse : L'isolation de la conduite entre les condenseurs et les pompes est réalisée à l'aide de deux vannes asservies montées à chaque extrémité de cette conduite. Le Purple Book (Uijit de Haag & Ale, 2005) propose d'utiliser une fréquence de défaillance de 1×10^{-3} par sollicitation. Cependant, aucun niveau de sécurité intégré n'a aujourd'hui été prévu sur la boucle composée du capteur, de l'automate et de l'actionneur. Conformément à la norme IEC61511 la fréquence de défaillance d'un équipement sans certification SIL est fixée à 0.1.

9. Incendie extérieur : Un incendie extérieur ne peut avoir lieu qu'en cas d'épandage de substance inflammable au voisinage de l'installation considérée. Or au niveau des pompes, aucune quantité significative de gaz liquéfié sous pression ne peut être émise. La fréquence associée à cet événement est donc nulle.

10. Défaillance catastrophique d'une pompe : Selon le Purple Book, la fréquence de rupture catastrophique d'une pompe équipée d'un carter de protection est de 5×10^{-5} /an (« Guidelines for quantitative risk assessment », TNO, 2005).

11. Erreur humaine : Une erreur humaine dans le changement d'une pompe conduisant à une perte significative de fluide caloporteur ne peut être issue que d'une négligence importante. Selon les informations fournies par la société Gec-co GmbH à Augsburg (D) en charge de la planification technique de la centrale, les pompes doivent être changées tous les 10 ans.

Lors du démontage, la pompe devant être changée est isolée par deux vannes « block and bleed » (une de chaque côté de la pompe). Ces vannes sont constituées de 2 fermetures indépendantes (la première automatique, la seconde manuelle) entre lesquelles se trouve un piquage. Ce piquage permet de vidanger la section de conduite entre les vannes. Une fois cette section vidée, il permet de s'assurer que la première vanne (automatique) n'est pas fuyarde. En effet, un renifleur est installé au voisinage de cette vanne et détecte la présence de gaz. En cas de fuite de la vanne automatique, l'étanchéité du système est assurée par la vanne manuelle. Celle-ci est consignée durant la durée des travaux ce qui permet d'éviter une ouverture intempestive. Les vannes automatiques sont équipées de témoins visuels qui permettent de connaître leur position. Une erreur humaine lors du démontage d'une pompe suppose donc que

- l'opérateur se trompe dans la pompe à changer

ET

- l'opérateur ne tient pas compte des témoins des vannes automatiques (2 fois)

ET

- L'opérateur ne ferme pas les vannes d'isolement

ET

- l'opérateur ne vérifie pas les piquages

ET

- l'opérateur ne resserre pas les boulons de fixation lorsqu'une fuite apparaît au cours du démontage

ou bien

- Les vannes d'isolement automatiques ne fonctionnent pas

ET

- l'opérateur ne verrouille pas les vannes manuelles

ET

- l'opérateur ne vérifie pas les piquages

ET

- l'opérateur ne resserre pas les boulons de fixation lorsqu'une fuite apparaît au cours du démontage

Cette succession d'erreurs doit donc moduler la valeur de base de la fréquence d'une erreur humaine pour une tâche simple mais peu courante de 1×10^{-2} comme proposé par ARAMIS. La probabilité de ne pas suivre chacun des points de la procédure est généralement de 0.1 ce qui conduit à des fréquences voisines à 10^{-6} /an.

12, Autre : Rupture spontanée d'une conduite. Le rapport cadre (Rapport cadre « Stockage de gaz liquéfié » 1ere édition française, Basler&Hofmann, (1995)) conseille de choisir une fréquence de 1×10^{-6} cas par an pour la rupture d'une conduite.

11.4.4 Fuite continue via une rupture guillotine de la conduite de condensats

Causes :

- Séisme
- Rupture de la conduite
 - o Incendie
 - o Défaillance catastrophique de la pompe
 - o Erreur humaine
 - o Autre
- Sabotage

Conséquences :

- Formation d'un nuage de gaz
 - o Inflammation immédiate
 - « Jet Fire »
 - Flux thermiques de radiation

- Inflammation retardée
 - Dispersion du nuage
 - Explosion
 - Onde de surpression.
 - Flux thermique

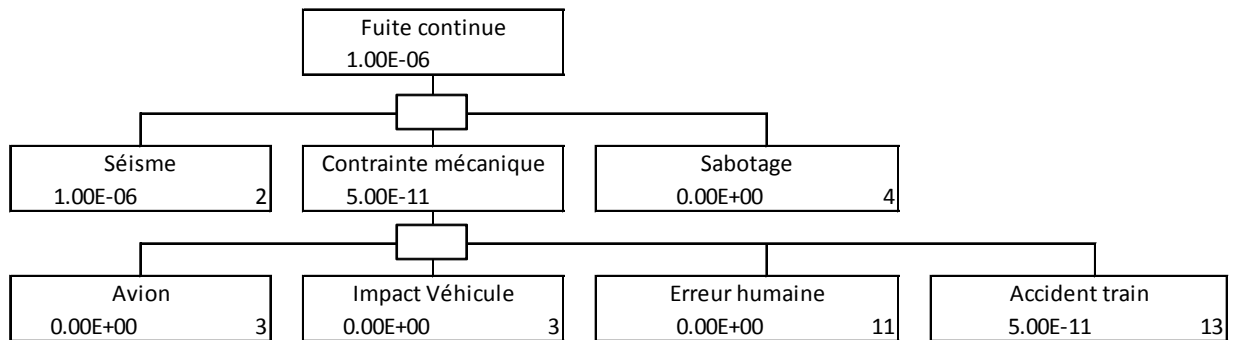


Figure 11: arbre des causes d'une fuite continue due à une rupture guillotine au niveau de la canalisation de condensats

2, Séisme : La fréquence associée à une rupture guillotine provoquée par un séisme est de 10^{-6} cas par an (Voir 11.4.2).

3, Chute d'avion, impact avec un véhicule lourd : Les conduites de condensat seront protégées par des barrières passives. La fréquence d'un impact entre les canalisations et un véhicule lourd est nulle. (Voir 11.4.2).

4, Sabotage : Un sabotage résulte en la perforation d'une canalisation et la création d'un orifice de 20mm de diamètre (Voir 11.4.2).

11, Erreur humaine : Cette conduite n'est pas soumise à de la maintenance lorsque la centrale est en fonctionnement. Il ne peut donc pas y avoir de fréquence associée à cette cause (Voir 11.4.3).

13, Accident de train : selon les données fournies par les CFF, la fréquence d'un accident de train sur une section de voie rectiligne à des vitesses faibles est estimée à 10^{-10} cas par an. Puisque le train doit tomber du côté de la centrale et impacter les aérorefroidisseurs, la fréquence retenue est de 5×10^{-11} cas par an

11.4.5 Fuite continue par un orifice de 20mm de diamètre sur la conduite menant aux pompes de condensat

Causes :

- Séisme
- Sabotage

Conséquences :

- Formation d'un nuage de gaz
 - o Inflammation immédiate
 - « Jet Fire »
 - Flux thermiques de radiation
 - o Inflammation retardée
 - Dispersion du nuage
 - Explosion
 - Onde de surpression.
 - Flux thermique

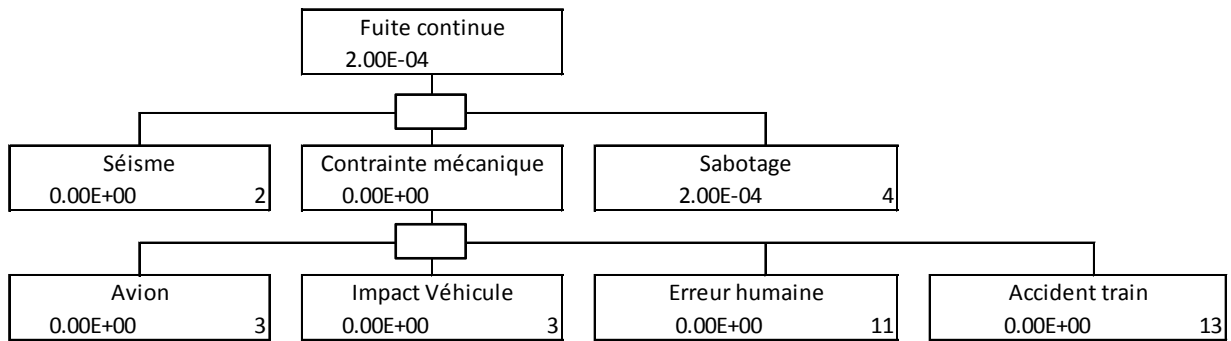


Figure 12: arbre des causes d'une fuite continue due à une fuite de 20 mm de diamètre au niveau de la canalisation de condensats

2, Séisme : La fréquence associée à une fuite de diamètre 20 mm provoquée par un séisme est nulle (Voir 11.4.2).

3, Chute d'avion, impact avec un véhicule lourd : Les conduites de condensat seront protégées par des barrières passives. La fréquence d'un impact entre les canalisations et un véhicule lourd est nulle. (Voir 11.4.2).

4, Sabotage : Un sabotage résulte en la perforation d'une canalisation et la création d'un orifice de 20mm de diamètre. La fréquence choisie est de 2×10^{-3} cas par an (Voir 11.4.2).

11, Erreur humaine : Cette conduite n'est pas soumise à de la maintenance lorsque la centrale est en fonctionnement. Il ne peut donc pas y avoir de fréquence associée à cette cause (Voir 11.4.3).

13, Accident de train : Un accident de train résulte en la rupture guillotine de la canalisation, par dans le création d'un orifice de 20 mm.

11.4.6 Fuite continue par rupture guillotine sur les canalisations de la citerne de 50m³

Causes :

- Fuite de la citerne
 - o Joints défectueux
 - o Soupape de sécurité s'ouvrant spontanément
- Libération lors du dépotage
 - o Coté citerne
 - Vanne d'isolement en panne
 - Arrachage du flexible
 - Démarrage camion flexible branché
 - Effets extérieurs
 - Rupture du flexible lors du remplissage
 - o Coté camion
 - Vanne d'isolement en panne
 - Arrachage du flexible
 - Démarrage camion flexible branché
 - Effets extérieurs
 - Vanne de fond en panne
 - o Sur-remplissage et libération par la soupape.

Conséquences :

- Formation d'un nuage de gaz
 - o Inflammation immédiate
 - « Jet Fire »
 - Flux thermiques
 - o Inflammation retardée
 - Explosion
 - Dispersion d'un nuage inflammable
 - Onde de surpression.

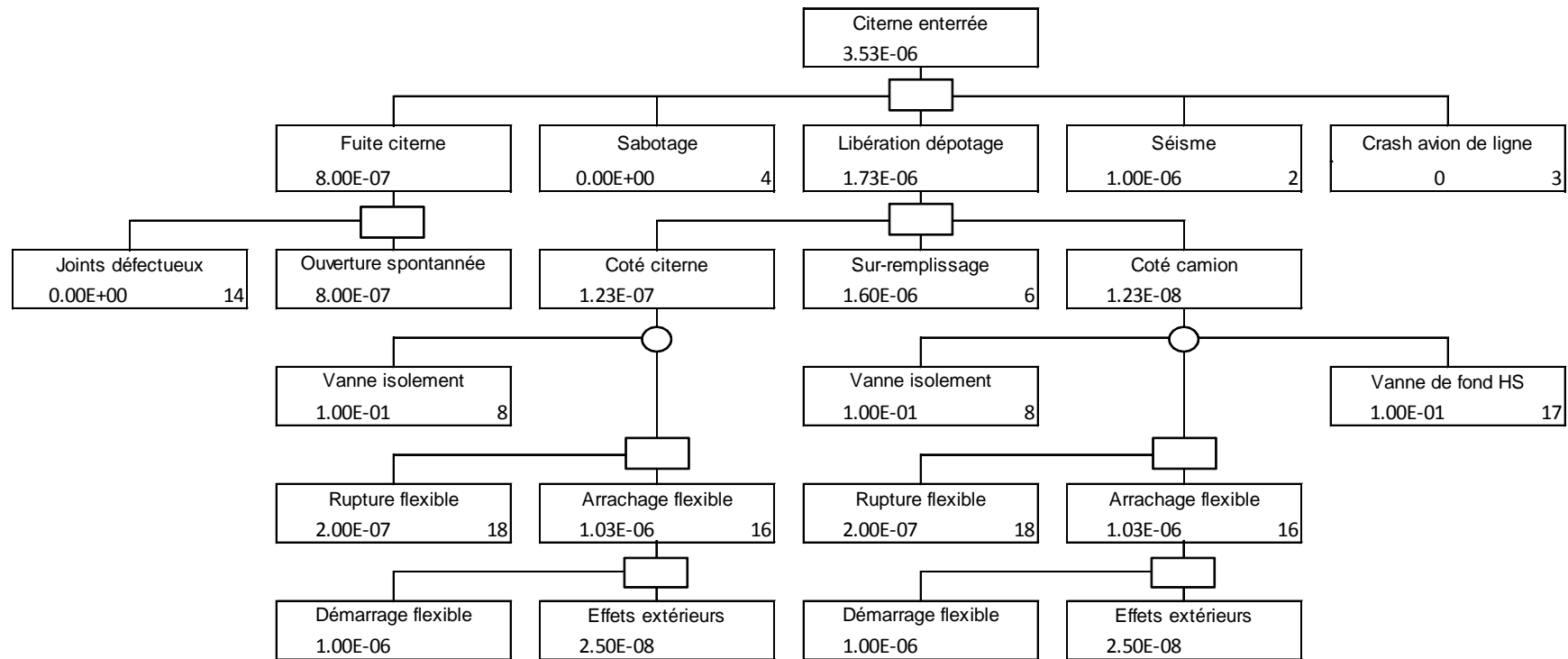


Figure 13: arbre des causes d'une fuite continue au niveau de la citerne

2, Séisme : La fréquence associée à une rupture guillotine provoquée par un séisme est de 10^{-6} cas par an (Voir 11.4.2).

3, Chute d'avion, impact avec un véhicule lourd : Les conduites de reliées à la citerne seront protégées par des barrières passives. La fréquence d'un impact entre les canalisations et un véhicule lourd est nulle. (Voir 11.4.2).

4, Sabotage : On ne considère pas qu'un acte de sabotage puisse impacter les canalisations reliées à la citerne car elles sont enterrées ou bien en intérieur.

6, Sur-remplissage : (Voir 11.4.2).

8, Vanne d'isolement : Le niveau de sécurité de cet équipement n'est pas encore défini. Une fréquence de défaillance pour un organe dont la sécurité n'est pas certifiée est appliquée La fréquence retenue est égale à 0.1.

14, Joints défectueux : Les joints défectueux ne peuvent pas donner lieu à des fuites de grandes ampleur. Une fuite au niveau des joints n'est donc pas considérée comme une source

16, Arrachage du flexible : L'arrachage du flexible peut être dû à de la négligence ou bien à une contrainte extérieure. La négligence consiste au départ du chauffeur alors que le camion est toujours relié à la citerne. Le rapport cadre (Rapport cadre « Stockage de gaz liquéfié » 1ere édition française, Basler&Hofmann, (1995)) estime cette probabilité à 5×10^{-5} par an pour 12 remplissages par an. Dans la mesure où cette citerne est remplie une fois tous les 4 ans, cette fréquence doit être divisée par 48. Elle devient égale à 1×10^{-6} . Les contraintes extérieures concernent les accidents qui pourraient survenir simultanément à un remplissage, le rapport cadre les estime à 1.2×10^{-6} cas par an. Ici aussi, dans la mesure où la citerne est remplie 1 fois tous les 4 ans, cette fréquence doit être divisée par 48, soit 2.5×10^{-8} cas par an. La fréquence finale d'un arrachage de flexible est la somme de ces deux valeurs soit 1.02×10^{-6} cas par an.

17, Vanne de fond en panne : Le niveau de sécurité de cet équipement n'est pas encore défini. Une fréquence de défaillance pour un organe dont la sécurité n'est pas certifiée est appliquée La probabilité retenue est égale à 0.1.

18, Rupture du flexible lors du remplissage : Le rapport cadre (Rapport cadre « Stockage de gaz liquéfié » 1ere édition française, Basler&Hofmann, (1995)) estime la probabilité de rupture spontanée du flexible de remplissage de la citerne à 8×10^{-7} cas par remplissage soit ici une fréquence de 2×10^{-7} cas par an.

11.4.7 Fuite continue sur les échangeurs de chaleur

Ce scénario décrit les causes possibles d'une fuite du liquide caloporteur dans le circuit d'eau thermique.

Causes :

- Sabotage
- Séisme

Conséquences :

- Pollution de l'eau géothermale

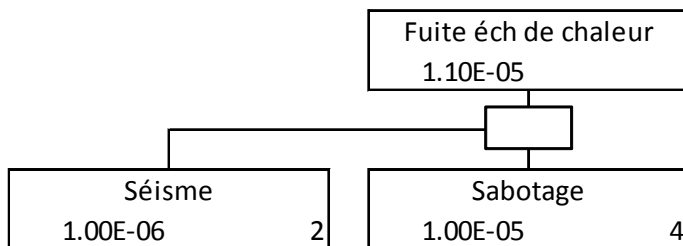


Figure 14: Arbre des causes d'une fuite dans les échangeurs de chaleur

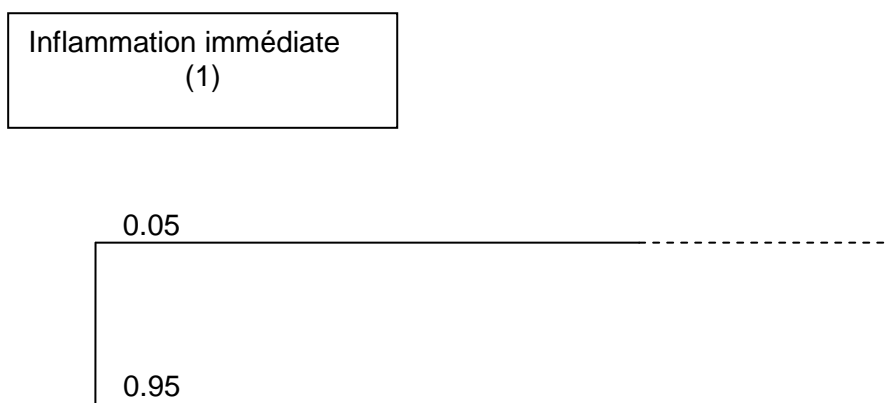
2. Séisme : La fréquence associée à une fuite de diamètre 20 mm provoquée par un séisme est nulle (Voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

4. Sabotage : Un sabotage résulte en la perforation d'une canalisation et la création d'un orifice de 20mm de diamètre. La fréquence choisie est de 2×10^{-3} cas par an (Voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

11.4.8 Méthodologie de construction d'un arbre des conséquences [7]

A partir d'un événement indésirable, on analyse la succession possible des événements postérieurs. A la différence d'un arbre des causes, il s'agit en général d'une séquence chronologique des événements. Chaque ramification de l'arbre dépend d'une réponse « oui/non ». Par convention, on considère que la branche la plus basse d'un événement porte la fréquence à laquelle celui-ci ne se produit pas. La justification des valeurs des fréquences d'occurrence de chaque événement se trouve au paragraphe 11.4.14. La référence est indiquée sur l'arbre des conséquences par le nombre entre parenthèses dans les cases des événements.

Exemple :



Probabilité d'événement positif : 0.05

Probabilité d'événement négatif : $1 - 0.05 = 0.95$

Le nombre (1) se rapporte au chiffre 11.4.14 qui présente les justifications des valeurs retenues pour la probabilité des événements.

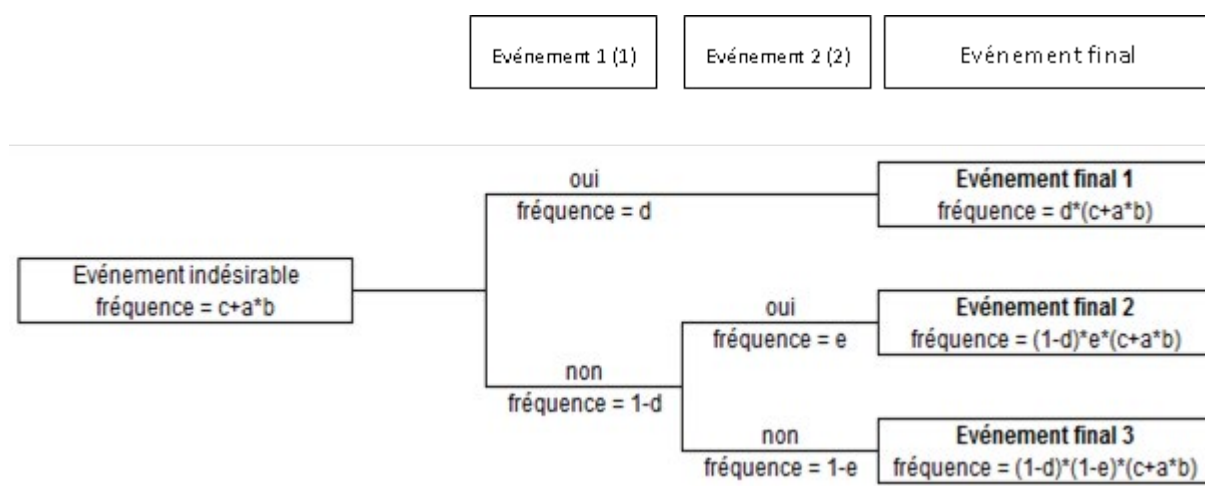


Figure 15: Exemple d'arbre de conséquences

Chaque sortie de l'arbre des événements (scénario) implique une évaluation de l'extension des dommages et de leur probabilité. La probabilité de chaque scénario s'obtient en procédant à

l'évaluation numérique des arbres des causes et des événements. On évalue les dommages à l'aide des modèles d'effets et d'explosion.

Les conséquences des scénarios sont les suivantes :

- Jet fire. Un Jet fire survient lorsqu'un rejet diphasique s'enflamme. En règle générale, la combustion est plus rapide que la vitesse du jet. Le jet est perpendiculaire à la brèche ce qui signifie qu'il est dans le prolongement de la canalisation lorsqu'il est question de rupture guillotine. La conséquence d'un jet fire est le décès des personnes se trouvant sur le trajet de la flamme au moment de l'inflammation et une exposition des personnes sur le côté du jet fire à des flux thermiques. Le phénomène s'arrête dès qu'il n'y a plus de combustible.
- Création d'un nuage de gaz : Le nuage de gaz créé par la fuite se disperse dans le local des pompes ou bien à l'extérieur. Aucun des fluides considérés pour servir de fluide caloporteur n'est toxique mais ils présentent tous des propriétés inflammables. De ce fait le risque majeur concerne la dispersion d'un nuage inflammable et une inflammation retardée. Ceci provoquerait le décès de toutes les personnes non abritées présentes dans le nuage.
- Explosion : Une source d'inflammation efficace enflamme le nuage de gaz. Les effets attendus sont :
 - o Des effets de surpression
 - o Un front de flamme

Grace aux mesures passives mises en place (construction légère), il est possible d'écarter le scénario de détonation à l'intérieur du local des pompes. Tous les scénarios d'explosion supposent une déflagration.

11.4.9 Rupture catastrophique de la citerne de stockage

Le scénario portant sur la rupture catastrophique de la citerne n'est pas décrit car la fréquence associée est trop faible pour être considérée du point de vue de l'OPAM.

11.4.10 Fuite continue via une rupture guillotinière d'une conduite suite à la rupture catastrophique d'une pompe

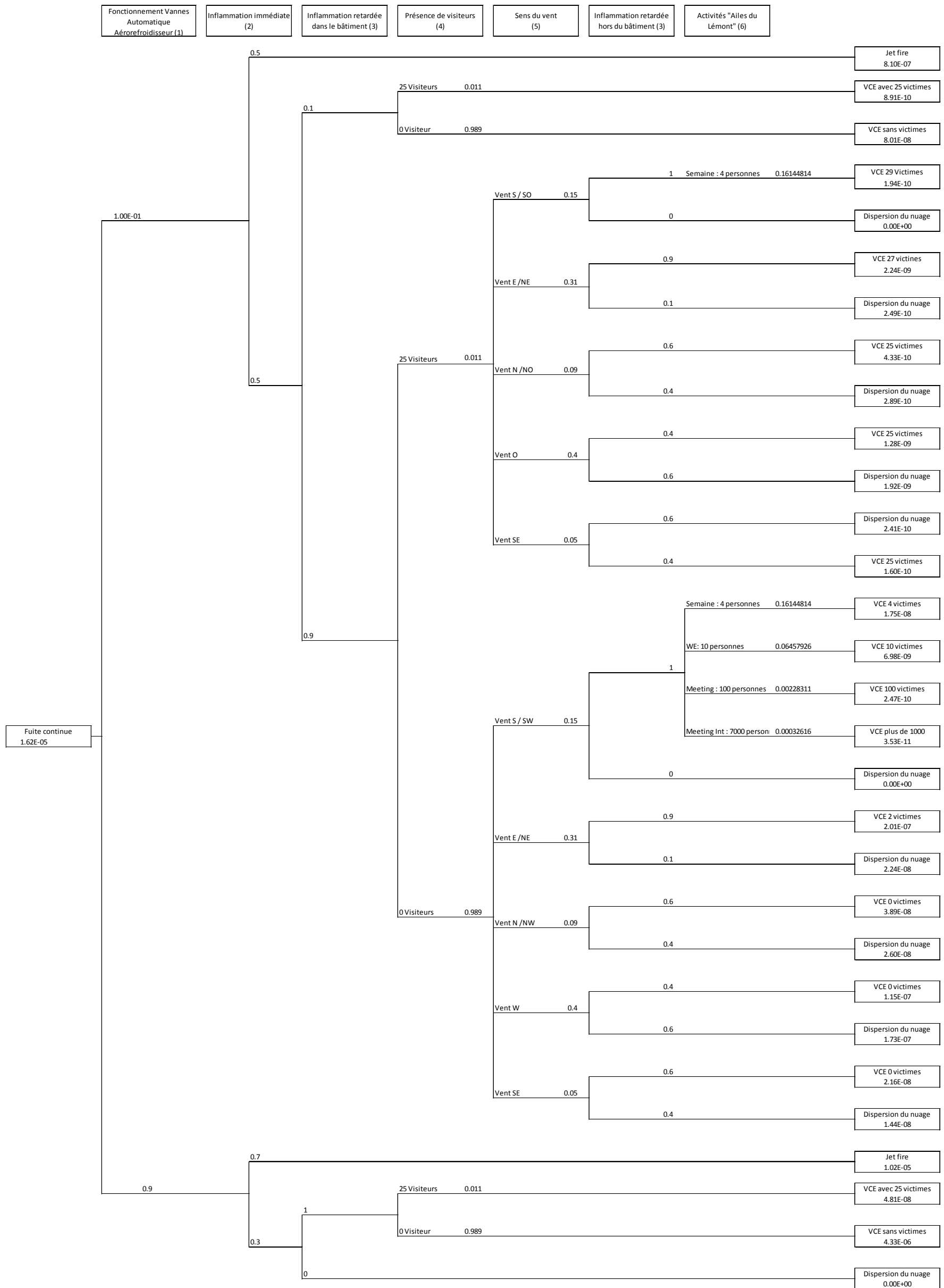


Figure 16: Arbre de conséquences d'une fuite continue au niveau des pompes (propane et isobutane)

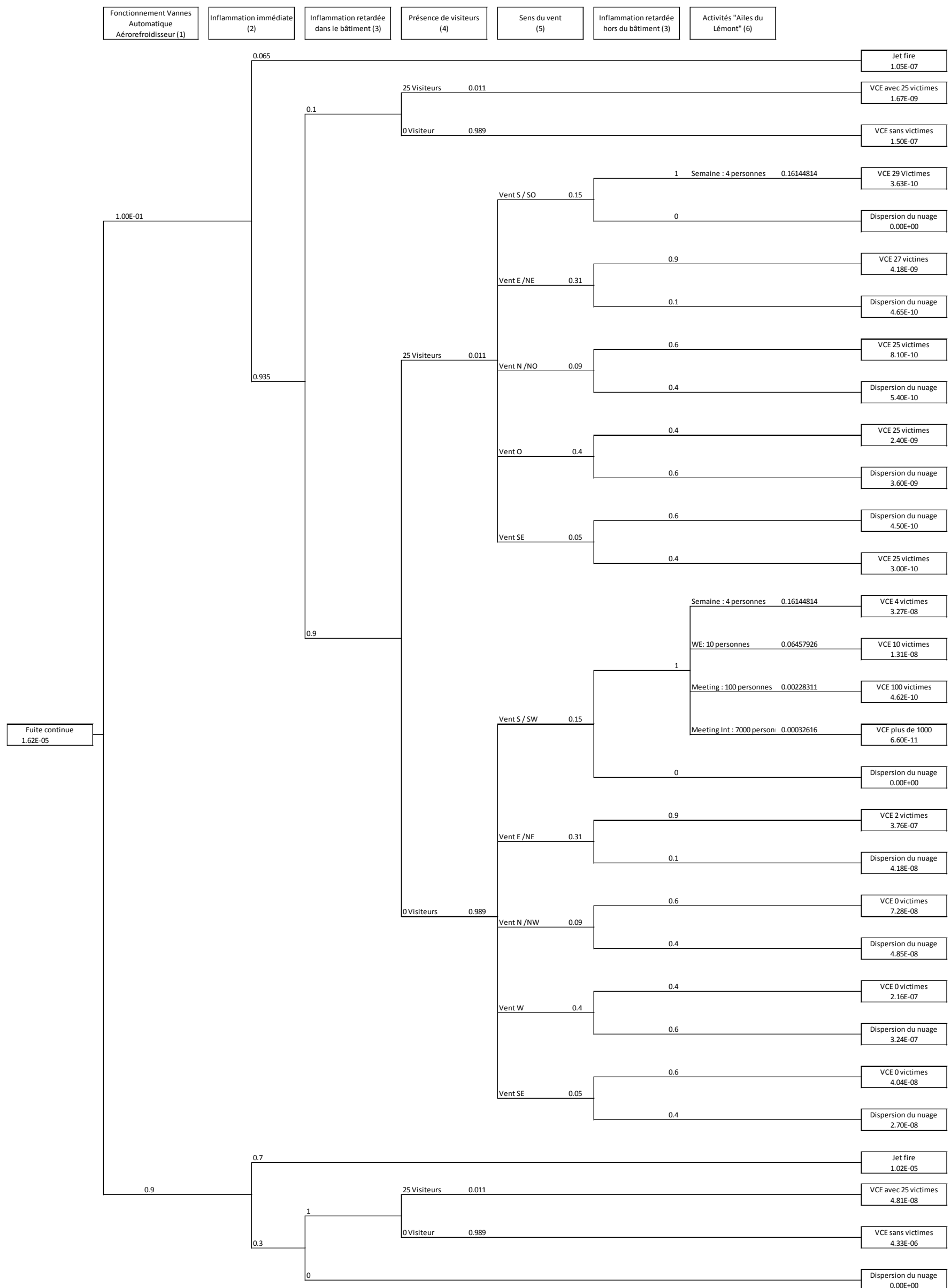


Figure 17: Arbre de conséquences d'une fuite continue au niveau des pompes (isopentane)

11.4.11 Fuite continue par rupture guillotine sur la canalisation alimentant la citerne de 50m³

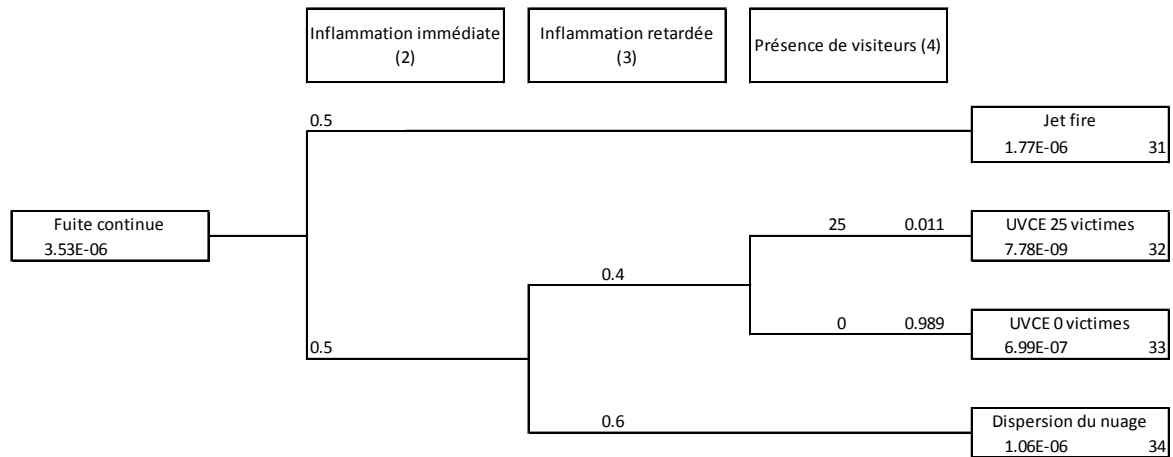


Figure 18 : Arbre des événements fuite lors du dépotage (propane et isobutane)

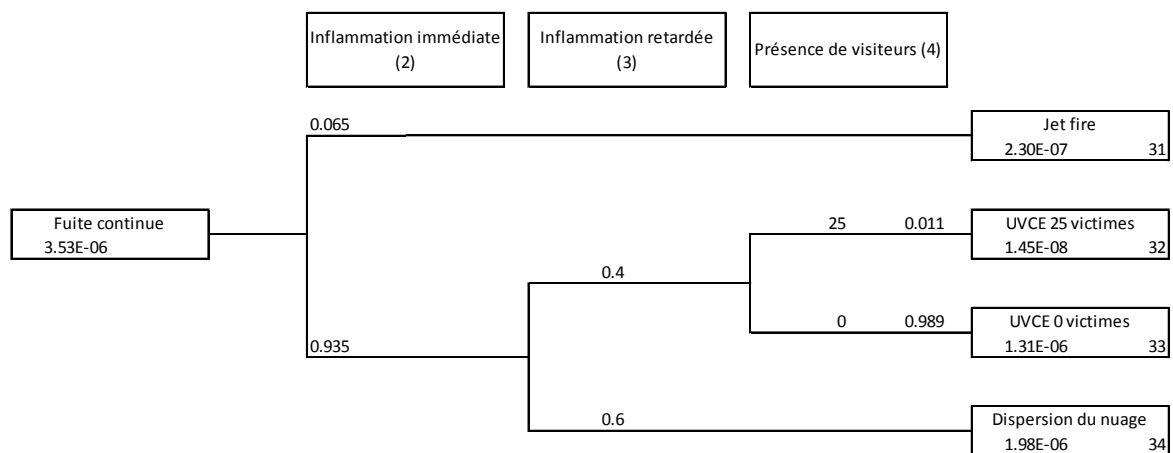


Figure 19 : Arbre des événements fuite lors du dépotage (isopentane)

11.4.12 Fuite continue via une rupture guillotine de la conduite de condensats

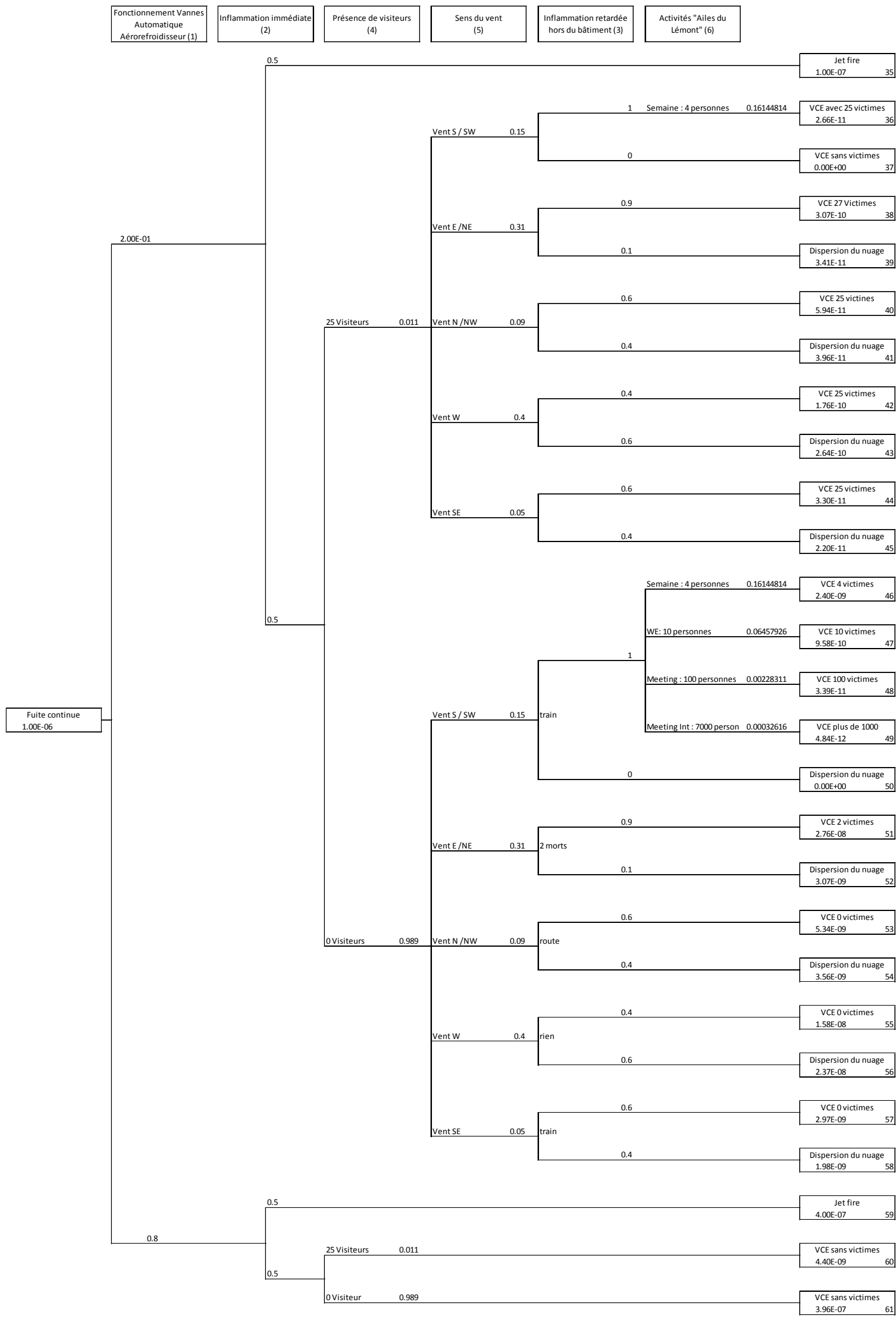


Figure 20: Arbre de conséquences d'une fuite continue au niveau de la canalisation de condensats (propane et isobutane)

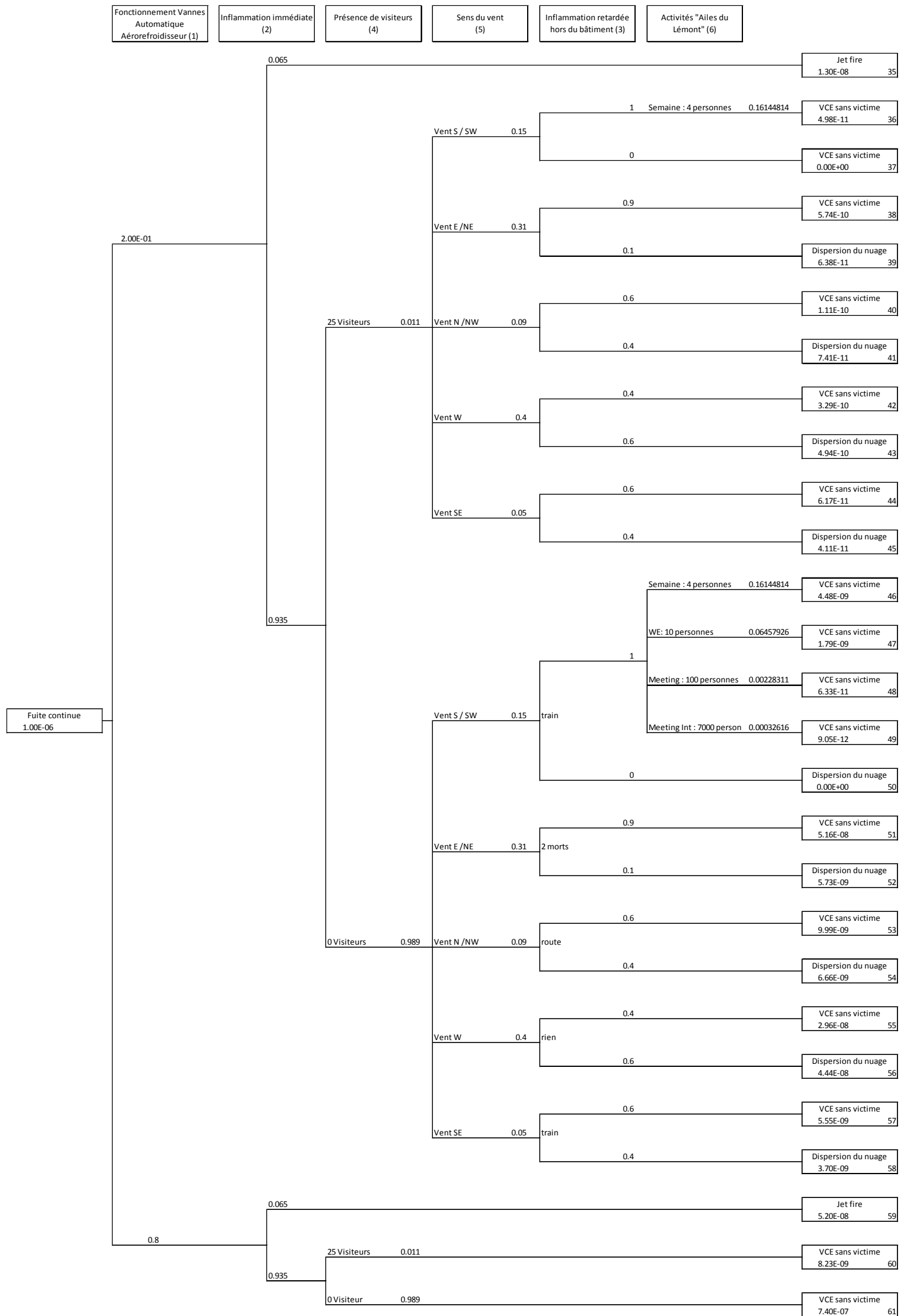


Figure 21: Arbre de conséquences d'une fuite continue au niveau de la canalisation de condensats (isopentane)

11.4.13

Fuite continue par un orifice de 20mm de diamètre sur la conduite menant aux pompes de condensat

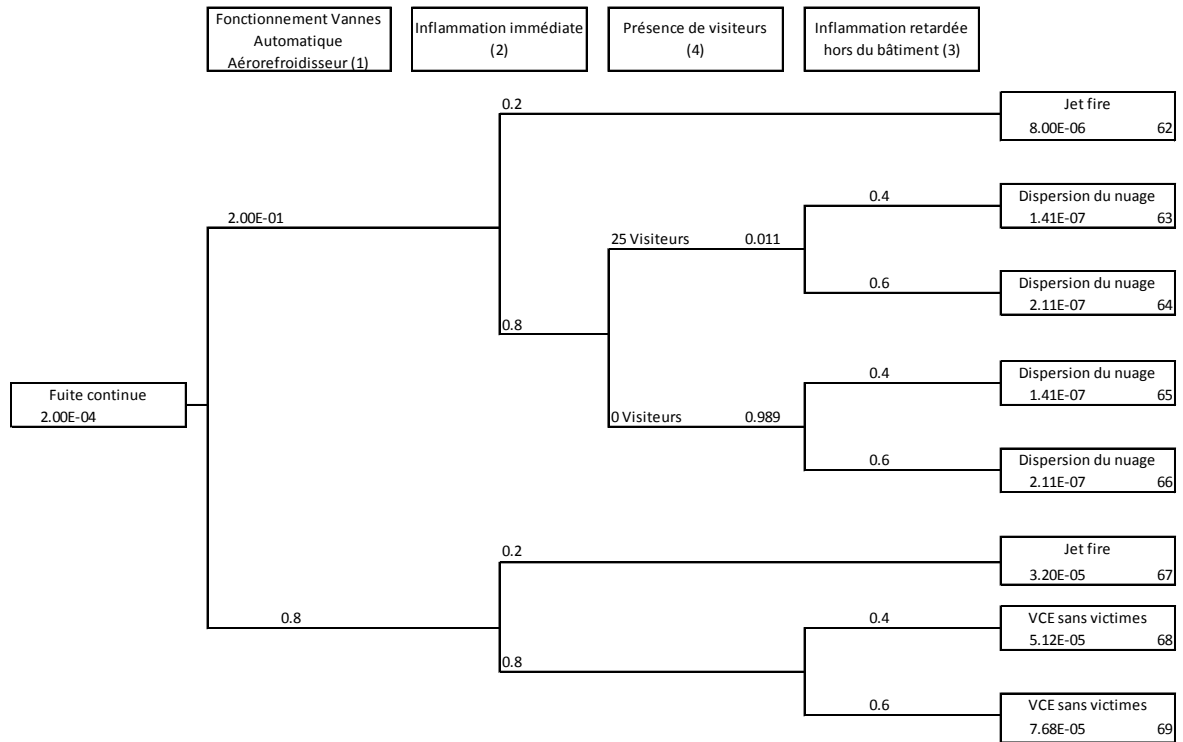


Figure 22: Arbre des conséquences d'une fuite par un orifice de 20 mm (propane et isobutane)

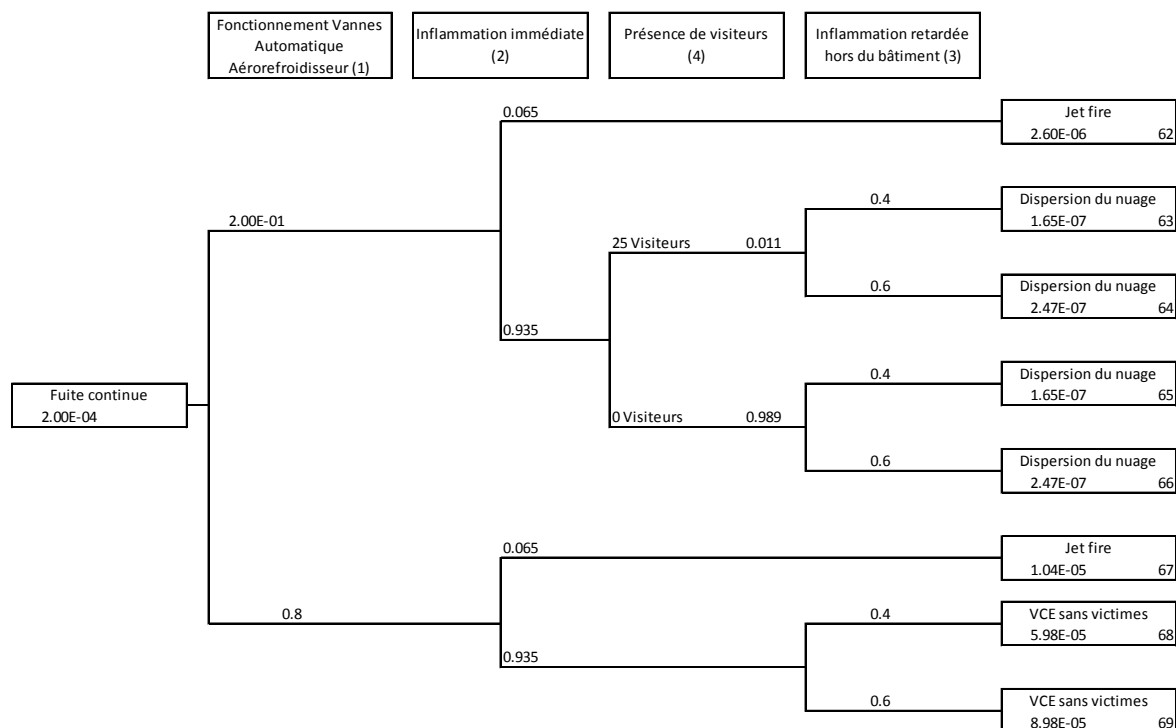


Figure 23: Arbre des conséquences d'une fuite par un orifice de 20 mm (isopentane)

11.4.14 Justification de la valeur des probabilités d'événements

1) Fonctionnement vannes automatiques aérorefroidisseurs : Suivant les derniers plans proposés par Gec-co, deux vannes automatiques asservies seront installées en sortie des aérorefroidisseurs. Ces vannes seront montées en parallèle. A l'heure actuelle, leur niveau de sécurité n'a pas été défini et il est donc supposé dans cette étude de risque que ces vannes ne possèdent pas de caractéristiques particulières. La fréquence de défaillance choisie est donc de 0.1 par vanne soit 0.2 pour un système parallèle.

2) Inflammation immédiate: Les probabilités d'inflammation immédiates dépendent du lieu de la fuite. Le projet européen ARAMIS recommande d'utiliser les valeurs préconisées par le Purple Book qui différencie les fréquences d'inflammation en fonction de la nature du fluide rejeté (liquide ou gaz), du débit et de la réactivité de la substance. La probabilité d'inflammation est prise égale à 0.5 dans le cas du propane et de l'isobutane et de 0.065 dans le cas de l'isopentane pour l'étude des scénarios de rupture guillotine. La probabilité d'inflammation est abaissée à 0.2 pour le propane et l'isobutane en cas de fuite par un orifice de 20 mm et reste à 0.065 pour l'isopentane.

3) Inflammation retardée : Les probabilités d'inflammation retardées sont extraites de la méthode ARAMIS qui différencie les probabilités en fonction de la zone dans laquelle le nuage évolue. Suivant les scénarios, le nuage pourra se situer

- sur une route
- sur une voie de chemin de fer
- au dessus d'un terrain d'aéromodélisme
- sur le site
- sur le site d'une centrale de production d'enrobés bitumineux

Position	Fréquence
sur une voie de chemin de fer	0.6
au dessus d'un terrain d'aéromodélisme	1
sur le site	0.4
sur le site d'une centrale de production d'enrobés bitumineux	0.9
dans un bâtiment complètement équipé de matériel utilisable en atmosphère explosive	0.1

4) Présence de visiteurs : 25 visiteurs peuvent se trouver 2h par semaine sur le site hors des phases de maintenance. La probabilité que des visiteurs se trouvent sur le site au moment d'une explosion est déterminée de la façon suivante :

$$P = \frac{\text{Heures passées sur site}}{\text{heures dans une année}} = \frac{2 \times 52}{8766} = 0.011$$

On suppose que la consigne d'absence des visiteurs lors d'une phase de maintenance est respectée à 99%. La fréquence de la présence de visiteurs simultanément à une période de maintenance est donc de 1.1×10^{-4} cas par an. Le site est équipé d'une alarme sonore devant être enclenchée en cas de risque d'explosion. Afin de rester dans une approche conservatrice, il est considéré que les visiteurs n'ont pas le temps d'évacuer.

5) Sens du vent : Les données météorologiques sont issues de la station de Delémont et sont écrites en annexe X+1. Les fréquences de direction du vent sont les suivantes :

Origine	Fréquence
NE - E	0.31
SE	0.05
S - SO	0.15
O	0.4
N - NO	0.09

6) Activités « Ailes du Lémont » : Le club d'aéromodélisme « les ailes du Lémont » possède le terrain situé au nord de la parcelle sur laquelle la centrale géothermique doit être bâtie. Ce club pratique des vols en extérieur 6 mois par an, d'avril à octobre. Après renseignements pris auprès de ce club, la fréquentation varie selon le jour.

- Semaine : 5-6
- Week end : 10-20
- Week annuel : 100
- Meeting international : plus de 1000 personnes

La fréquence est calculée en considérant que le club est ouvert 11h par jour et que les événements exceptionnels durent 20h (week end annuel et meeting international)

Les fréquences de présence associées sont les suivantes

Jour	Fréquence
Semaine	1.6×10^{-1}
Week end	6.4×10^{-2}
Week end annuel	2.3×10^{-3}
Meeting international	3.2×10^{-4}

11.5 Modélisation des conséquences des scénarios d'accident

Les modélisations sont réalisées pour tous les scénarios définis précédemment et tous les fluides caloporteurs envisagés actuellement, c'est-à-dire, le propane, l'isobutane et l'isopentane.

Les étapes des modélisations sont les suivantes :

- Détermination du débit de fuite : Ce paramètre est fonction de la géométrie de la canalisation (diamètre, rugosité, forme de la brèche), de la pression du fluide dans les canalisations et des caractéristiques physico chimiques du fluide considéré.

- Détermination du flash thermodynamique : Les fuites modélisées prennent toute place dans la phase liquide des canalisations. Lorsque le propane ou l'isobutane passent de la canalisation à l'air libre, ils repassent instantanément à l'état le plus stable défini par leur température et la pression à laquelle ils sont soumis. Le flash thermodynamique correspond au passage instantané d'un gaz liquéfié sous pression d'un état liquide à un état gazeux. L'énergie requise pour effectuer ce changement d'état est puisé en grande partie dans le liquide ce qui conduit à une chute rapide de la température du rejet. Lorsque la température du rejet devient inférieure à la température d'ébullition de la substance, l'évaporation flash s'arrête. S'il reste du liquide, un aérosol composé de gouttes de liquide à la température d'ébullition de la substance se forme (phénomène de « rain-out ») Ces gouttes tombent et s'évaporent pendant leur chute. Si la proportion de liquide est suffisamment élevée ou la hauteur de brèche suffisamment faible, une nappe de liquide se forme au sol et s'évapore.

- Dispersion atmosphérique des vapeurs : En l'absence d'inflammation immédiate, le gaz libéré forme un nuage qui se déplace et se disperse. Dans le cas du propane et du isobutane, le gaz est très froid à cause du flash thermodynamique. Le modèle de dispersion choisi est un modèle de gaz lourd. dans le cas de l'isopentane, les vapeurs sont à température ambiante et de densité proche de celle de l'air. Un modèle de dispersion pour gaz neutre est employé. Le Purple Book recommande de modéliser la dispersion atmosphérique des rejets pour plusieurs couples de vitesse de vent et de classe de stabilité atmosphériques :

Tableau 5: Conditions atmosphériques de dispersion

Classe de stabilité	Vitesse de vent
B	Moyenne
D	Faible
D	Moyenne
D	Forte
E	Moyenne
F	Faible

Les gammes de vitesse sont les suivantes:

Tableau 6: Vitesses de vent

Vitesse de vent	Valeur du Purple book	Valeur dans cette étude
Faible	1 – 2 m/s	1 m/s
Moyenne	3 – 5 m/s	4 m/s
Forte	8 – 9 m/s	8 m/s

Les modélisations de dispersion sont réalisées pour 8 directions différentes de vent dans les conditions les plus défavorables du point de vue des conséquences.

- Explosion : Les modélisations d'explosion sont réalisées par la méthode multi-énergie. Cette méthode permet d'estimer les conséquences en fonction de l'environnement dans lequel se produit l'inflammation. Un index permet de définir le type d'inflammation.

Tableau 7: Choix des index multi énergie

Zone	Index	Justification
Intérieur local pompe	4	Construction légère, $P_{red} = 100$ mbar
Zone Aérorefroidisseur	4	- Nuage bas (gaz lourd) - Energie d'inflammation faible - Encombrement élevé - Pas d'effet couloir
Zone Parking - forage	2	- Nuage bas (gaz lourd) - Energie d'inflammation faible - Encombrement faible - Pas d'effet couloir
Usine enrobé bitumineux	2	- Energie d'inflammation faible - Encombrement faible entre la centrale et l'usine - Pas d'effet couloir
Champs (nord et est du site)	2	- Energie d'inflammation faible - Encombrement faible - Pas d'effet couloir

- Jet fire : Un jet fire se produit lorsqu'une fuite de gaz s'enflamme instantanément. Le jet fire est dirigé dans le sens de la dispersion de la fuite. Au voisinage de la brèche, la direction est celle de la fuite. Plus on s'éloigne de la brèche, plus le jet fire devient influencé par la direction du vent.

- Evaporation de nappe : En cas de rejet liquide d'isopentane, une nappe liquide se forme au sol et s'évapore. La dangerosité du nuage qu'elle induit est principalement fonction de la surface du bassin de rétention

11.5.1 Rupture catastrophique de la citerne de 50m³

Ce scénario n'est pas modélisé car la fréquence de l'accident est 1 million de fois inférieure à la fréquence minimale considérée par l'OPAM lors de l'étude des conséquences d'accidents majeurs (10^{-17} contre 10^{-11}).

11.5.2 Fuite continue via une rupture guillotine d'une conduite suite à la rupture catastrophique d'une pompe (scénarios 1 à 30)

11.5.2.1 *Fluide caloporteur : propane*

a. Terme source (Détail des calculs au chiffre 11.10.2)

Selon les modélisations réalisées sous le logiciel Effects, les 11.2m³ de propane liquide contenu dans les condenseurs (Document TEC E0143 140604 ORC Anlagenvolumen fourni par la société Gec-co) s'écouleraient en 2 minutes. Le débit de rejet maximal serait alors voisin de 60 kg/s. (Figure 24). Ce rejet se fait sous forme de spray. Les sprays de gaz liquéfié se composent d'une partie vapeur (flash thermodynamique) et d'une partie liquide (aérosol). Cet aérosol s'évapore lors de sa chute vers le sol. Les simulations indiquent que toutes les gouttelettes s'évaporent et qu'il n'y a pas de formation de nappe de propane liquide au sol.

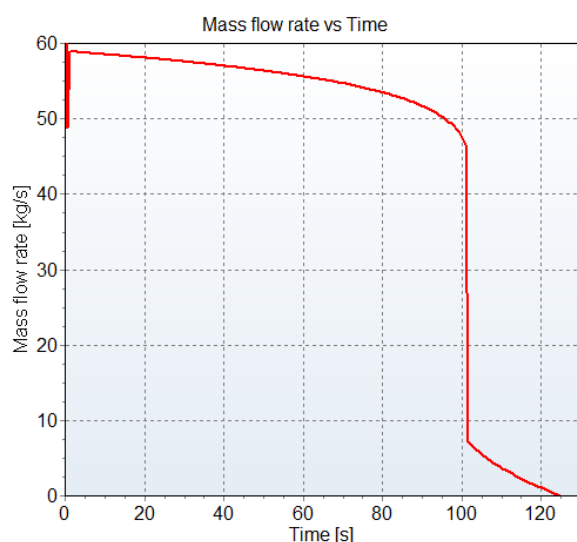
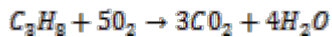


Figure 24: Débit à la brèche.

b. Détermination de la concentration stœchiométrique

Les conséquences d'une explosion sont plus violentes lorsque les réactifs sont dans des conditions stœchiométriques. La réaction de combustion est alors complète et aucun sous-produit différent du CO₂ et de l'eau ne sont créés. Dans le cadre d'une approche conservatrice, les modélisations d'explosion se basent sur l'inflammation d'un mélange stœchiométrique. La réaction de combustion du propane est présentée équation 2 :

Equation 2: Equation de combustion



Le volume du bâtiment dans lequel le gaz se disperse est d'environ 3000m³. La quantité d'oxygène dans un local de 3000m³ est de :

Equation 3: Quantité de matière d'oxygène

$$n_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_M} = \frac{0.21 \times 3000}{0.024}$$
$$n_{O_2} = 26250 \text{ mol}$$

Où V_{O₂} est le volume d'oxygène (21% du volume d'air total) et V_M est le volume molaire (24 litres par mol à 20°C sous 1bar).

Selon l'équation de combustion (équation 1), il faut cinq fois moins de propane que d'oxygène pour se trouver dans des conditions stœchiométriques. La quantité stœchiométrique de propane est donc de 5250 moles. La masse correspondante de propane est donc :

Equation 4: Masse de propane dans les conditions stœchiométriques

$$m_{C_3H_8} = n_{C_3H_8} \times M_{C_3H_8} = 5250 \times 0.044$$
$$m_{C_3H_8} = 231 \text{ kg}$$

Les simulations portent donc sur l'inflammation de 231 kg de propane gazeux confinés dans un local de 3000m³.

c. Conséquences de l'inflammation (Détail des calculs au chiffre 11.10.6

Les simulations d'explosion modélisent la déflagration du mélange idéal de 231kg de propane avec de l'air dans un hangar de 3000m³. Ce scénario est conservateur car la quantité de propane utilisée correspond à la quantité stœchiométrique du mélange air/propane.

Selon le guide technique des dépôts de liquides inflammables (Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables, Groupe de travail Dépôts de liquides inflammables (GTDLI), (2008)), la modélisation d'une explosion, dans un bâtiment léger (bardage ou équipée de trappes de surpression) peut se faire à l'aide de la méthode multi-énergie en considérant une source d'inflammation de puissance 4 à 6. Les simulations sont réalisées à l'aide d'un terme source de puissance 4 car il est prévu que ce bâtiment soit une construction légère ne pouvant pas résister à une surpression supérieure à 100mbar. Dans ces conditions, la déflagration ne génère pas d'onde de surpression capable de provoquer le déraillement d'un train et donc de victimes au niveau de la voie ferrée. De plus, les simulations (§11.8.7) indiquent que les bris de verre n'entraîneraient pas de victime non plus. Les visiteurs sur site seraient touchés s'ils se trouvent dans le local au moment de l'explosion. Le scénario de déflagration n'entraîne aucune victime hors du site.

d. Jet Fire (Détail des calculs au chiffre 11.10.5)

La figure 25 présente l'allure telle qu'elle est définie à l'heure actuelle de la canalisation reliant les aérorefroidisseurs aux pompes. Le plan montre que la canalisation prend trois directions différentes :

- Orienté Est – Ouest : à l'entrée de la canalisation dans le bâtiment et au niveau des pompes. Il s'agit de la direction la plus représentative cette conduite.
- Verticale : La canalisation descend de 5m entre son point d'entrée dans le bâtiment et les pompes
- Orientée Nord – Sud : Après la section verticale, la canalisation parcourt environ 5 m dans cette direction

Si un jet fire se déclenche dans le bâtiment, et qu'il est orienté

- vers l'est, il impactera le bardage du bâtiment et pourra atteindre la zone des bassins de rétention (Figure 25)
- vers le nord, il sera arrêté par le mur coupe feu et ne pourra pas atteindre la voie de chemin de fer. Selon les simulations réalisées, le jet fire ne dure que 2 minutes. Les murs coupe feu prévus résisteront à un feu durant 30 minutes. Ils sont donc correctement dimensionnés pour arrêter ce phénomène
- vers le sol, le jet fire ne pourra produire aucun effet à l'extérieur du bâtiment.



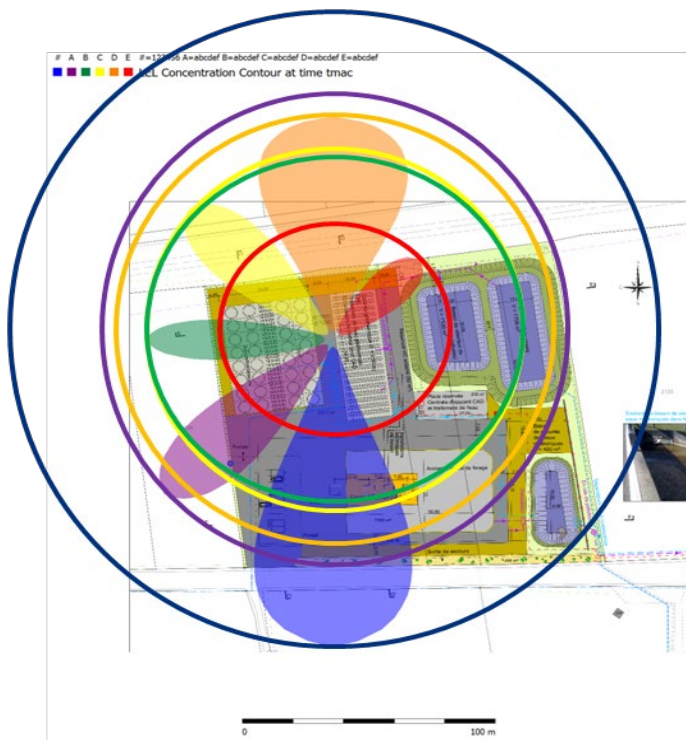
Figure 25: Empreinte du jet fire

e. Dispersion (Détail des calculs au chiffre 11.10.7)

En cas de non inflammation du nuage de gaz dans le bâtiment, celui-ci est évacué par les ventilateurs. Un nuage inflammable se forme alors à l'extérieur et se disperse. Le gaz étant froid il se comporte comme un gaz lourd. Le propane est plus dangereux du point de vue de ses propriétés inflammables que toxiques. Les modélisations réalisées ne mettent en évidence que les zones dans lesquelles la concentration est comprise entre les limites d'inflammabilité du propane (Figure 26). La figure 26 présente les empreintes de nuages correspondant aux différentes conditions météorologiques de classe de stabilité et de vitesses de vent recommandées par le Purple Book (Tableaux 5 et 6). Les conditions atmosphériques conduisant à des distances d'effet maximales sont atteintes lorsque la vitesse du vent est faible et la stabilité atmosphérique maximale. Ces conditions sont généralement atteintes la nuit. Durant la journée, les conditions sont moins stables mais l'empreinte reste importante lorsque la vitesse du vent est faible. Le tableau 8 résume les principaux résultats.

Tableau 8: Caractéristiques des nuages inflammables

Conditions	Longueur maximale du nuage (m)	Masse inflammable (kg)
B – 4	45	204
D – 1	93	797
D – 4	77	362
D – 8	70	241
E – 4	91	414
F – 1	130	856



Conditions	Couleur
F – 1	bleu
E – 4	violet
D – 8	vert
D – 4	jaune
D – 1	orange
B – 4	rouge

Figure 26: Empreinte du nuage inflammable

Les nuages sont représentés sous différentes directions de vent afin d'améliorer la lisibilité des distantes atteintes. La direction du vent n'est pas ici un facteur discriminant sur les conséquences d'une dispersion. Les différences entre les nuages sont dues aux couples de vitesses de vent et de conditions de stabilité atmosphériques. Le cercle circonscrit à chaque nuage représente la zone d'impact possible.

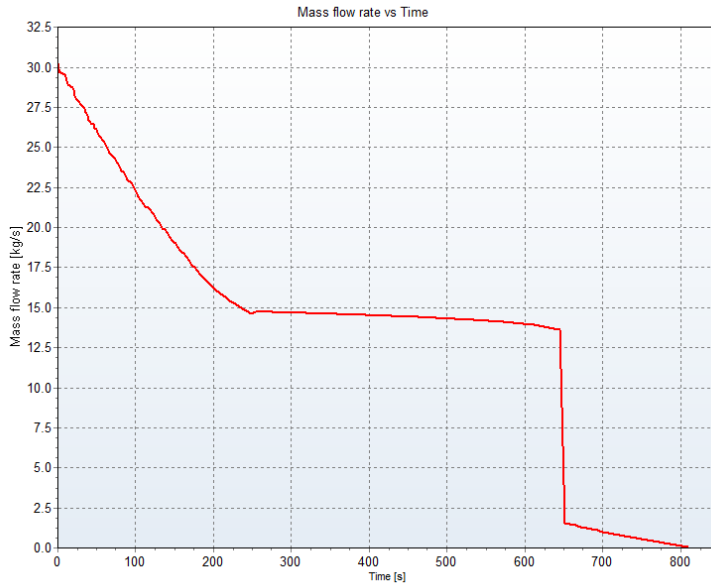
f. Inflammation retardée (Détail des calculs au chiffre 11.10.8)

L'inflammation de ce nuage provoquerait le décès de toutes les personnes se trouvant à l'intérieur il est donc raisonnable de supposer que selon la direction du vent, les visiteurs, les employés de la centrale d'enrobé bitumineux et des participants au meeting d'aéromodélisme décèderaient en cas d'inflammation. Par contre en l'absence de piétons ou de motos, l'inflammation de ce nuage ne provoquerait pas de victime sur la route. De même, en cas de présence d'un train, l'inflammation du nuage ne provoquerait pas de victimes. L'inflammation d'un nuage en champ libre ne conduit pas à des valeurs de surpression élevées. Le risque principal pour les personnes exposées reste le flux thermique émis lors de la combustion. Les simulations ont été réalisées sur la base d'une dispersion dans des conditions défavorables (vitesse de vent 1m/s et classe de stabilité F). Les index multi énergie ont été choisis en fonction de la zone atteinte par le nuage est sont rappelés dans le tableau 7. Selon les résultats des simulations le seuil de surpression de létalité n'est pas atteint.

11.5.2.2 Fluide caloporteur : isobutane

a. Terme source (Détail des calculs au chiffre 11.10.9)

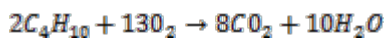
Les simulations ont pour but de modéliser le rejet de tout l'isobutane dans la halle des pompes suite à une rupture catastrophique de la pompe et la défaillance des vannes d'isolement. Les résultats montrent que le rejet est principalement liquide / diphasique durant 650 secondes et passe en rejet gazeux jusqu'à 800 secondes.



b. Inflammation (Détail des calculs au chiffre 11.10.12)

Les conséquences d'une explosion sont plus violentes lorsque les réactifs sont dans des conditions stœchiométriques. La réaction de combustion est alors complète et aucun sous-produit différent du CO₂ et de l'eau ne sont créés. Dans le cadre d'une approche conservatrice, les modélisations d'explosion se basent sur l'inflammation d'un mélange stœchiométrique. La réaction de combustion du propane est présentée équation 2 :

Equation 5: Equation de combustion



Le volume du bâtiment dans lequel le gaz se disperse est d'environ 3000m³. La quantité d'oxygène dans un local de 3000m³ est de :

Equation 6: Quantité de matière d'oxygène

$$n_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_M} = \frac{0.21 \times 3000}{0.024}$$
$$n_{O_2} = 26250 \text{ mol}$$

Où V_{O_2} est le volume d'oxygène (21% du volume d'air total) et V_M est le volume molaire (24 litres par mol à 20°C sous 1bar).

Selon l'équation de combustion (équation 6), il faut 6.5 fois moins de isobutane que d'oxygène pour se trouver dans des conditions stœchiométriques. La quantité stœchiométrique de propane est donc de 4038 moles. La masse correspondante de propane est donc :

Equation 7: Masse de isobutane dans les conditions stœchiométriques

$$m_{C_3H_8} = n_{C_4H_{10}} \times M_{C_4H_{10}} = 4038 \times 0.05812$$

$$m_{C_3H_8} = 234 \text{ kg}$$

Les simulations portent donc sur l'inflammation de 234 kg de l'isobutane gazeux confinés dans un local de 3000m³. L'inflammation de ce nuage provoque une surpression dans le bâtiment. Celui-ci est prévu pour ne pas résister à une surpression de plus de 100mbar. La figure 27 présente la zone dans laquelle cette surpression est atteinte. La zone ne sort que de quelques mètres au nord du site et n'atteint pas la voie de chemin de fer.



Figure 27: Empreinte de la zone dans laquelle la surpression atteint 100mbar

c. Jet Fire (Détail des calculs au chiffre Erreur ! Source du renvoi introuvable.)

La figure 28 présente l'allure telle qu'elle est définie à l'heure actuelle de la canalisation reliant les aérorefroidisseurs aux pompes. Le plan montre que la canalisation prend trois directions différentes :

- Orienté Est – Ouest : à l'entrée de la canalisation dans le bâtiment et au niveau des pompes. Il s'agit de la direction la plus représentative cette conduite.
- Verticale : La canalisation descend de 5m entre son point d'entrée dans le bâtiment et les pompes
- Orientée Nord – Sud : Après la section verticale, la canalisation parcourt environ 5 m dans cette direction

Si un jet fire se déclenche dans le bâtiment, et qu'il est orienté

- vers l'est, il impactera le bardage du bâtiment et pourra atteindre la zone des bassins de rétention (Figure 25)
- vers le nord, il sera arrêté par le mur coupe feu et ne pourra pas atteindre la voie de chemin de fer. Selon les simulations réalisées, le jet fire ne dure que 2 minutes. Les murs coupe feu prévus résisteront à un feu durant 30 minutes. Ils sont donc correctement dimensionnés pour arrêter ce phénomène
- vers le sol, le jet fire ne pourra produire aucun effet à l'extérieur du bâtiment.

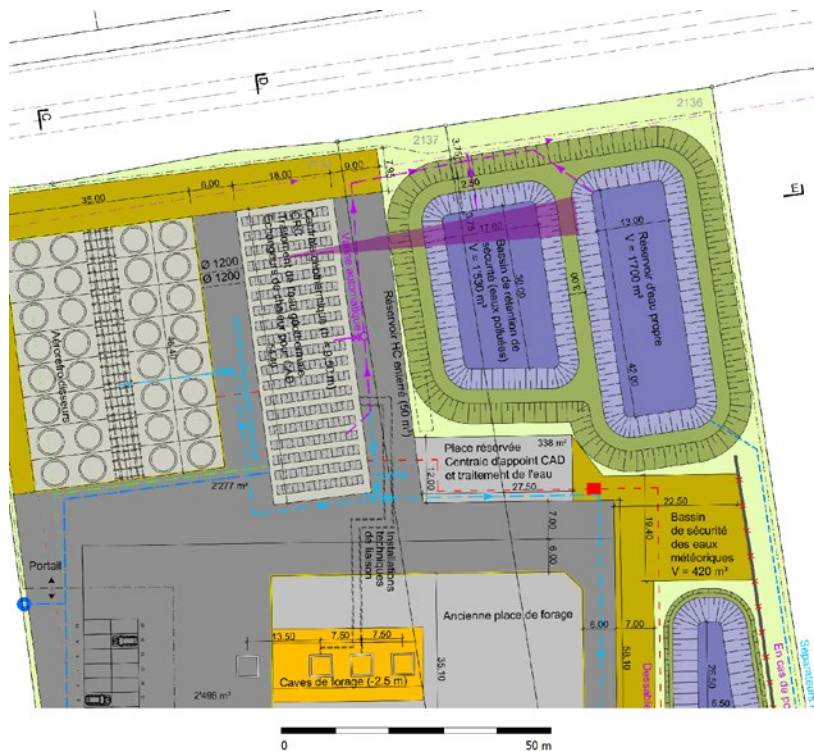


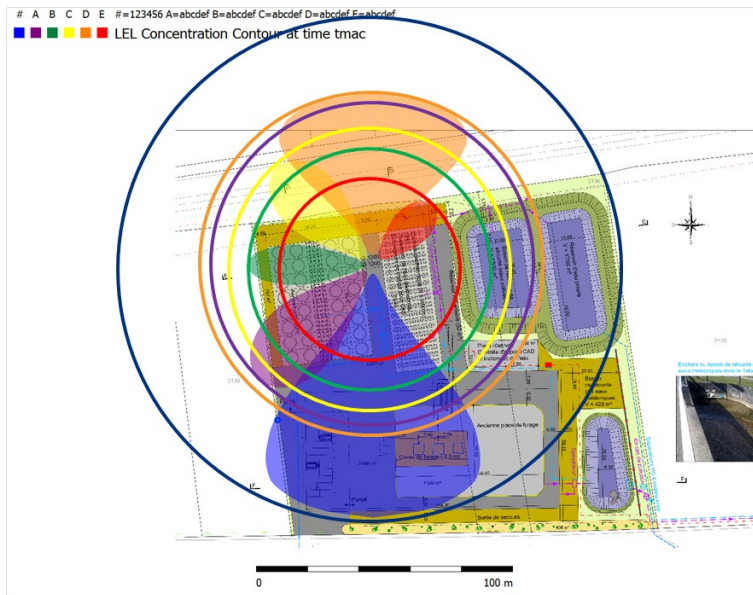
Figure 28: Empreinte du jet fire

d. Dispersion (Détail des calculs au chiffre 11.10.13)

En cas de non inflammation du nuage de gaz dans le bâtiment, celui-ci est évacué par les ventilateurs. Un nuage inflammable se forme alors à l'extérieur et se disperse. Le gaz étant froid, il se comporte comme un gaz lourd. L'isobutane est plus dangereux du point de vue de ses propriétés inflammables que toxiques. Les modélisations réalisées ne mettent en évidence que les zones dans lesquelles la concentration est comprise entre les limites d'inflammabilité de l'isobutane (Figure 29). La figure 29 présente les empreintes de nuages correspondant aux différentes conditions météorologiques recommandées par le Purple Book (Tableaux 5 et 6). Les conditions atmosphériques conduisant à des distances d'effet maximales sont atteintes lorsque la vitesse du vent est faible et la stabilité atmosphérique maximale. Ces conditions sont généralement atteintes la nuit. Durant la journée, les conditions sont moins stables mais l'empreinte reste importante lorsque la vitesse du vent est faible. Le tableau 9 résume les principaux résultats.

Tableau 9: Caractéristiques des nuages inflammables

Conditions	Longueur maximale du nuage (m)	Masse inflammable (kg)
B – 4	29	111
D – 1	63	605
D – 4	50	209
D – 8	45	132
E – 4	60	250
F – 1	95	739



Conditions	Couleur
F – 1	bleu
E – 4	violet
D – 8	vert
D – 4	jaune
D – 1	orange
B – 4	rouge

Figure 29 : Empreinte du nuage inflammable

L'inflammation de ce nuage provoquerait le décès de toutes les personnes se trouvant à l'intérieur il est donc raisonnable de supposer que selon la direction du vent, les visiteurs, les employés de la centrale d'enrobé bitumineux et des participants au meeting d'aéromodélisme décèderaient en cas d'inflammation. Par contre en l'absence de piétons ou de motos, l'inflammation de ce nuage ne provoquerait pas de victime sur la route. De même, en cas de présence d'un train, l'inflammation du nuage ne provoquerait pas de victimes.

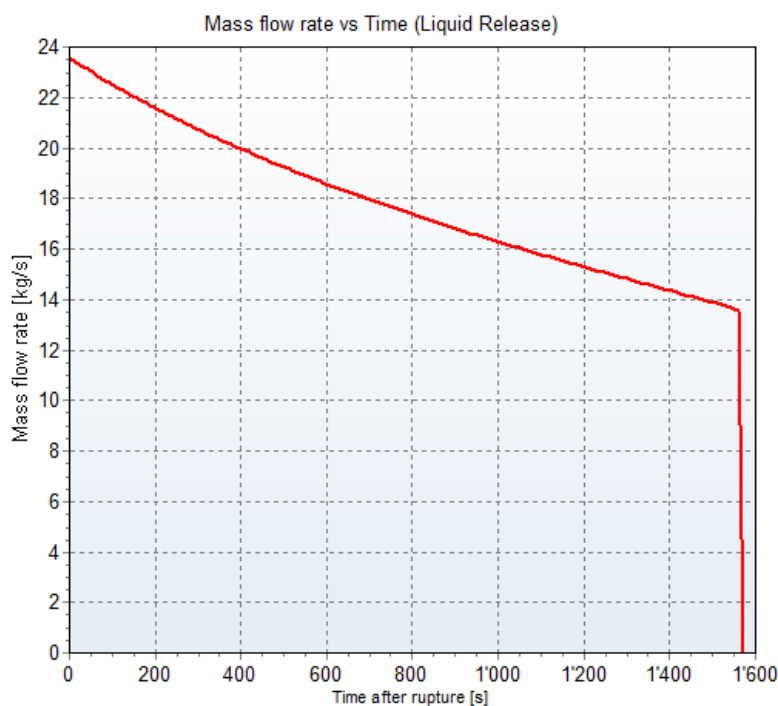
e. Inflammation retardée (Détail des calculs au chiffre 11.10.14)

L'inflammation d'un nuage en champ libre ne conduit pas à des valeurs de surpression élevées. Le risque principal pour les personnes exposées reste le flux thermique émis lors de la combustion. Les simulations ont été réalisées sur la base d'une dispersion dans des conditions défavorables (vitesse de vent 1m/s et classe de stabilité F). Les index multi énergie ont été choisis en fonction de la zone atteinte par le nuage est sont rappelés dans le tableau 7. Selon les résultats des simulations les simulations n'atteignent pas le seuil de létalité de surpression.

11.5.2.3 Fluide caloporteur : isopentane

a. Terme source (Détail des calculs au chiffre 11.10.15)

Les simulations ont pour but de modéliser le rejet de tout l'isopentane dans la halle des pompes suite à une rupture catastrophique de la pompe et la défaillance des vannes d'isolement. A la différence du propane et du isobutane, l'isopentane restera liquide, formera une nappe et s'évaporerà. La durée du rejet est également plus longue car la pression dans le réseau est plus faible.



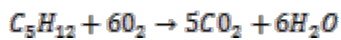
b. Evaporation (Détail des calculs au chiffre 11.10.16)

La nappe au sol s'évapore. A l'heure actuelle, la dimension des cuvettes de rétention sur site n'a pas été déterminée. Une surface arbitraire de 500m² est considérée. Dans ces conditions, l'épaisseur de la nappe sera d'environ 20 cm. Les modèles d'évaporation nécessitent une vitesse de vent. Le bâtiment étant aéré par des claustras, une vitesse de vent de 0.5 m/s est considérée. Le débit d'évaporation est estimé à 1.3 kg/s

c. Inflammation retardée dans le bâtiment (Détail des calculs au chiffre 11.10.17)

Les conséquences d'une explosion sont plus violentes lorsque les réactifs sont dans des conditions stœchiométriques. La réaction de combustion est alors complète et aucun sous-produit différent du CO₂ et de l'eau ne sont créés. Dans le cadre d'une approche conservatrice, les modélisations d'explosion se basent sur l'inflammation d'un mélange stœchiométrique. La réaction de combustion du propane est présentée équation 8 :

Equation 8: Equation de combustion



Le volume du bâtiment dans lequel le gaz se disperse est d'environ 3000m³. La quantité d'oxygène dans un local de 3000m³ est de :

Equation 9: Quantité de matière d'oxygène

$$n_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_M} = \frac{0.21 \times 3000}{0.024}$$
$$n_{O_2} = 26250 \text{ mol}$$

Où V_{O₂} est le volume d'oxygène (21% du volume d'air total) et V_M est le volume molaire (24 litres par mol à 20°C sous 1bar).

Selon l'équation de combustion (équation 6), il faut 6 fois moins d'isopentane que d'oxygène pour se trouver dans des conditions stœchiométriques. La quantité stœchiométrique d'isopentane est donc de 4375 moles. La masse correspondante de propane est donc :

Equation 10: Masse d'isobutane dans les conditions stœchiométriques

$$m_{C_3H_8} = n_{C_4H_{10}} \times M_{C_4H_{10}} = 4375 \times 0.07215$$
$$m_{C_3H_8} = 315 \text{ kg}$$

Les simulations portent donc sur l'inflammation de 315 kg d'isopentane gazeux confinés dans un local de 3000m³. L'inflammation de ce nuage provoque une surpression dans le bâtiment. Celui-ci est prévu pour ne pas résister à une surpression de plus de 100mbar. La figure 30 présente la zone dans laquelle cette surpression est atteinte. La zone ne sort que de quelques mètres au nord du site et n'atteint pas la voie de chemin de fer.

#=123456

Overpressure plot

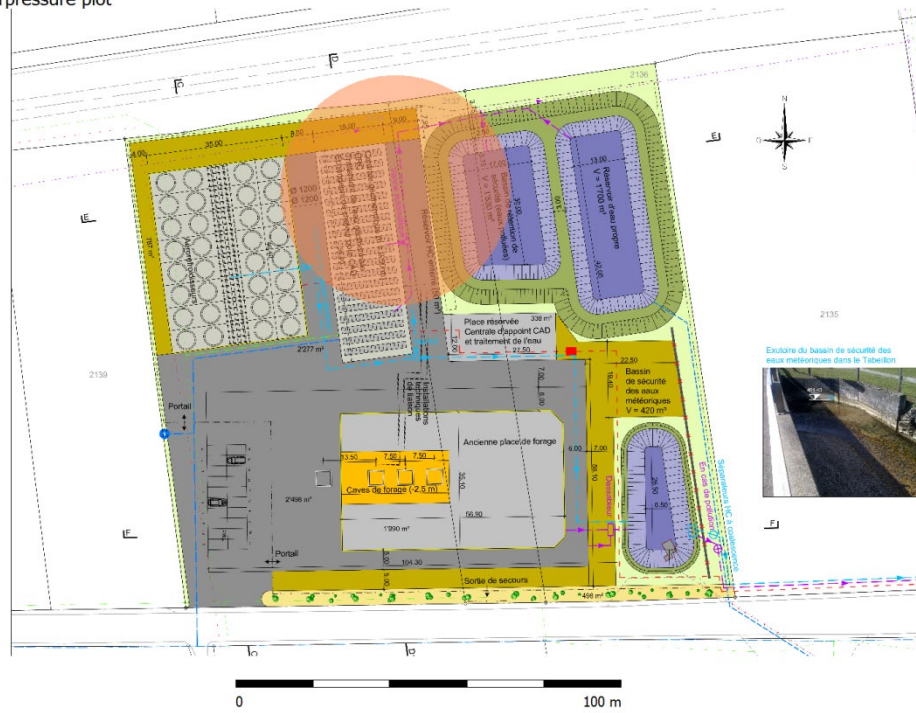


Figure 30: Empreinte de la zone dans laquelle la surpression atteint 100mbar

d. Feu de nappe (Détail des calculs au chiffre 11.10.18)

En cas d'inflammation différée, un incendie se déclare sur la nappe de liquide. Les seuils de létalité (100%) restent confinés au bâtiment. Les simulations indiquent que le feu de nappe dure pendant moins de 10 minutes

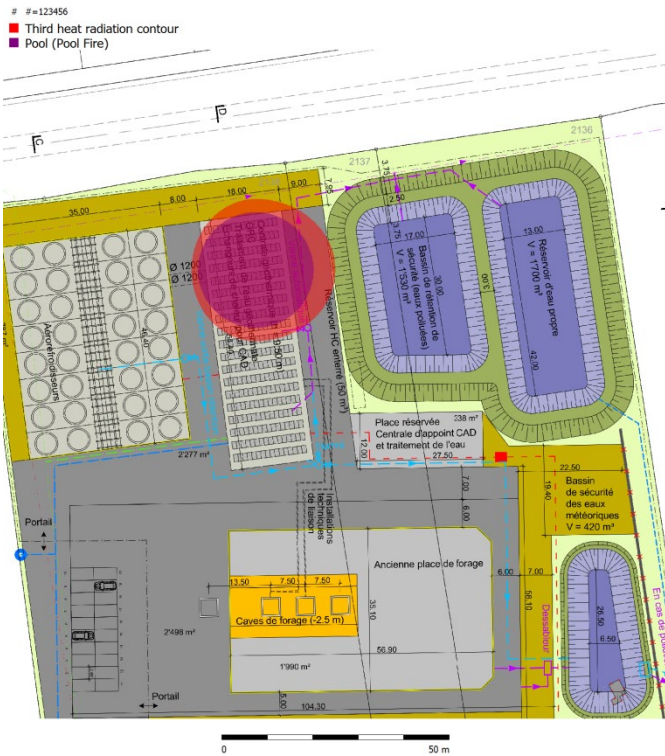


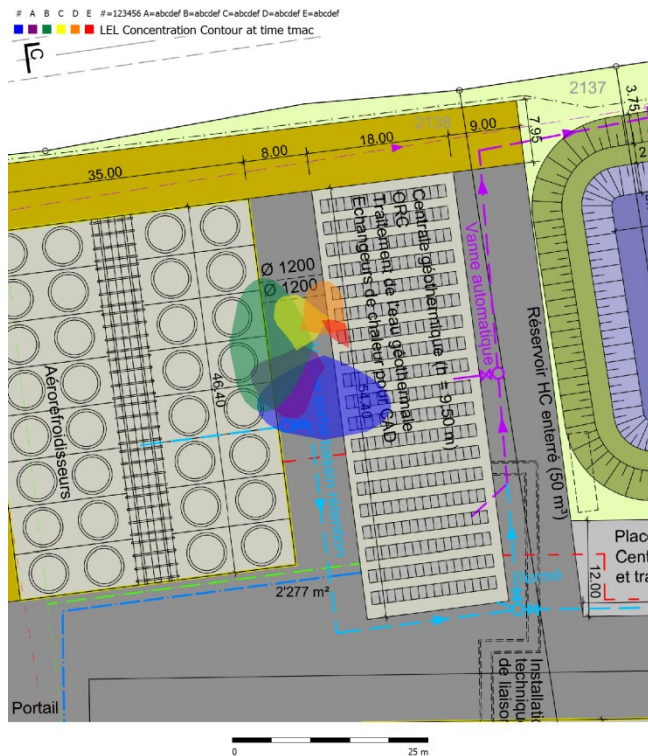
Figure 31: Zone d'impact d'un feu de nappe

e. Dispersion (Détail des calculs au chiffre 11.10.16)

En cas de non inflammation du nuage de gaz dans le bâtiment, celui-ci est évacué par les ventilateurs. Un nuage inflammable se forme alors à l'extérieur et se disperse. Les vapeurs seront mélangées avec l'air et se comporteront comme un gaz neutre. L'isopentane est plus dangereux du point de vue de ses propriétés inflammables que toxiques. Les modélisations réalisées ne mettent en évidence que les zones dans lesquelles la concentration est comprise entre les limites d'inflammabilité de l'isopentane (Figure 32). La figure 32 présente les empreintes de nuages correspondant aux différentes conditions météorologiques recommandées par le Purple Book (Tableaux 5 et 6). Les conditions atmosphériques conduisant à des distances d'effet maximales sont atteintes lorsque la vitesse du vent est faible et la stabilité atmosphérique maximale. Ces conditions sont généralement atteintes la nuit. Durant la journée, les conditions sont moins stables. Le tableau 10 résume les principaux résultats.

Tableau 10: Caractéristiques des nuages inflammables

Conditions	Longueur maximale du nuage (m)	Masse inflammable (kg)
B - 4	3	<1
D - 1	7	2.5
D - 4	7	2.5
D - 8	10	11.5
E - 4	9	5
F - 1	10	11.5



Conditions	Couleur
F - 1	bleu
E - 4	violet
D - 8	vert
D - 4	jaune
D - 1	orange
B - 4	rouge

Figure 32 : Empreinte du nuage inflammable

f. Inflammation retardée hors du bâtiment

L'inflammation de ce nuage provoquerait le décès de toutes les personnes se trouvant à l'intérieur de celui-ci. Cependant, étant donné les faibles dimensions du nuage, il est raisonnable de supposer que ce scénario ne provoquera pas de décès même en cas de présence de visiteurs sur site.

L'inflammation d'un nuage en champ libre ne conduit pas à des valeurs de surpression élevées. Le risque principal pour les personnes exposées reste le flux thermique émis lors de la combustion. Les simulations ont été réalisées sur la base d'une dispersion dans des conditions défavorables (vitesse de vent 1m/s et classe de stabilité F). Les index multi énergie ont été choisis en fonction de la zone atteinte par le nuage est sont rappelés dans le tableau 7. Selon les résultats des simulations les simulations n'atteignent pas le seuil de létalité de 70 .

g. Conséquences sur l'environnement

Il est prévu de réaliser des cuvettes de rétention étanches. Cette barrière passive protège le sol d'une infiltration de l'isopentane.

11.5.3 Fuite continue par rupture guillotine sur la canalisation de la citerne de 50m³ (scénario 31 à 34)

La citerne de 50m³ se vide complètement à l'air libre. Dans la mesure où cette citerne n'est employée que lors des phases de maintenance, il est possible de considérer que celle-ci est pleine 5% du temps. De plus, les pertes du système sont compensées une fois tous les 4 ans. Ces valeurs modifient en conséquence les fréquences d'apparition des causes de la fuite.

11.5.3.1 Fluide caloporteur : propane

a. Terme source (Détail des calculs au chiffre 11.10.48)

Selon les résultats des modélisations, la citerne de 50m³ de propane se viderait en un peu moins de 2 heures avec un débit maximal de 32.5 kg/s.

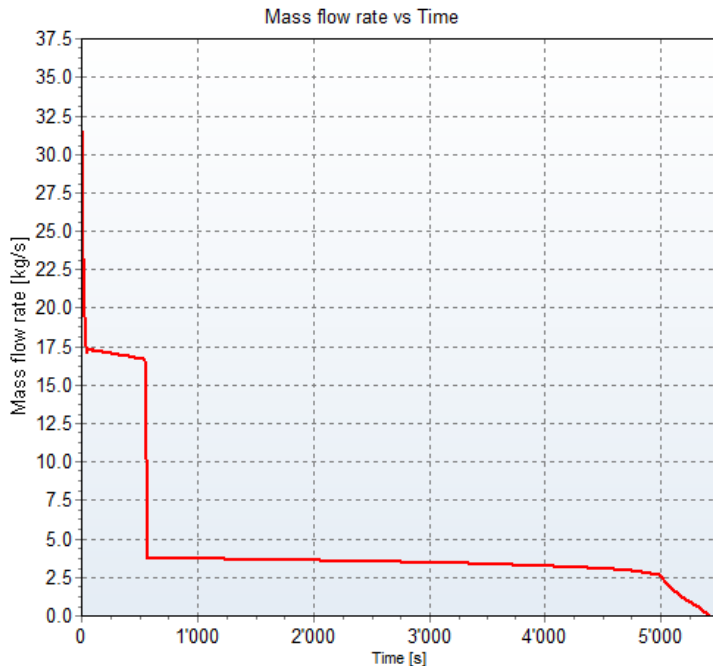


Figure 33: Terme source

a. Spray (Détail des calculs au chiffre 11.10.49)

Après le flash thermodynamique la fraction de rain aout atteint 60% mais les gouttes s'évaporent avant de toucher le sol. Le produit est totalement volatilisé.

b. Jet Fire (Détail des calculs au chiffre 11.10.50)

Le jet fire suit la direction de la conduite. Il est donc orienté initialement vers le nord ou le sud. La figure présente l'allure théorique du jet fire et la zone potentiellement impactée en cas de vent.

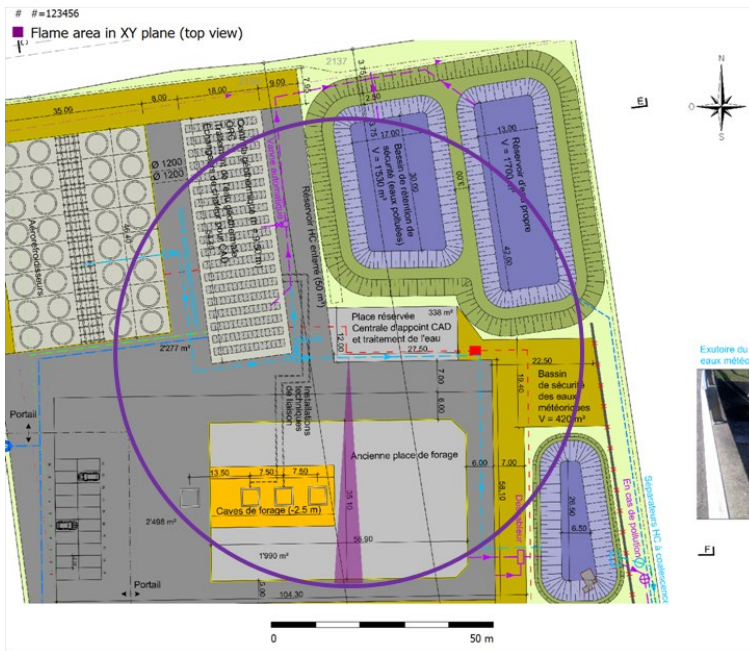


Figure 34: Zone d'impact du Jet fire

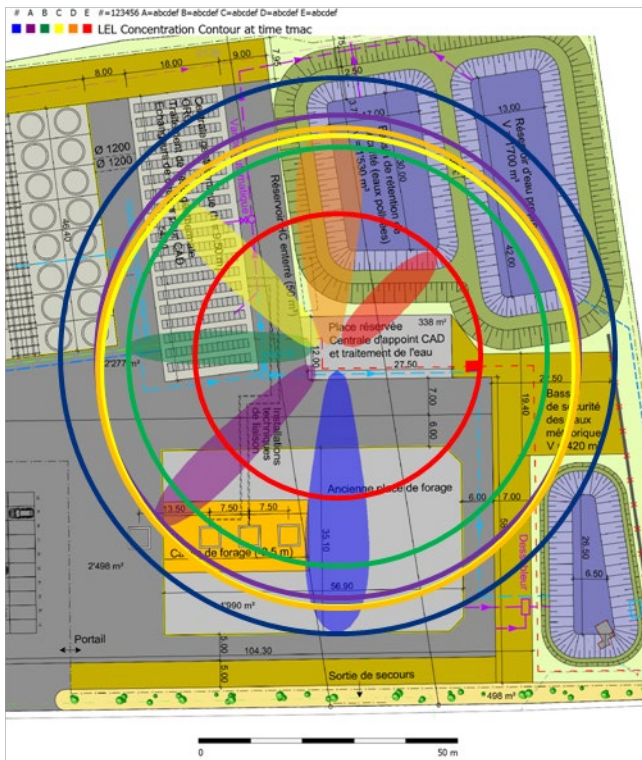
L'orientation des canalisations permettant le remplissage de la citerne n'est pas définie. De ce fait là, le cercle mauve sur la figure précédente représente la limite des zones pouvant être impactées.

c. Dispersion (Détail des calculs au chiffre 11.10.51)

Le propane étant froid après le flash thermodynamique, il se comporte comme un gaz lourd. La figure présente les zones impactées pour les différents couples de classe de stabilité et de vitesse de vent préconisé par le Purple Book. Le propane est plus dangereux du point de vue de ses propriétés inflammables que toxiques. Les modélisations réalisées ne mettent en évidence que les zones dans lesquelles la concentration est comprise entre les limites d'inflammabilité du propane (Figure 47). La figure 47 présente les empreintes de nuages correspondant aux différentes conditions météorologiques recommandées par le Purple Book (Tableaux 5 et 6). Les conditions atmosphériques conduisant à des distances d'effet maximales sont atteintes lorsque la vitesse du vent est faible et la stabilité atmosphérique maximale. Ces conditions sont généralement atteintes la nuit. Le tableau résume les principaux résultats.

Tableau 11: Caractéristiques des nuages inflammables

Conditions	Longueur maximale du nuage (m)	Masse inflammable (kg)
B – 4	24	33
D – 1	125	71
D – 4	100	48
D – 8	89	36
E – 4	118	50
F – 1	185	70



Conditions	Couleur
F - 1	bleu
E - 4	violet
D - 8	vert
D - 4	jaune
D - 1	orange
B - 4	rouge

Figure 35: Allure du nuage inflammable

d. Inflammation retardée (Détail des calculs au chiffre 11.10.52)

Les simulations L'inflammation du nuage de gaz provoque le décès de toutes les personnes non abritées dans un bâtiment ou un véhicule se trouvant dans la boule de feu formée. Etant donné que l'inflammation se produit en terrain dégagé, les phénomènes thermiques sont prépondérants par rapport à l'onde de surpression. En effet, les simulations montrent que le seuil de 70 mbar (10% de létalité) n'est franchi que dans les zones les plus encombrées (Figure 36), c'est-à-dire pour lesquelles l'indice multi énergie est de 4 au lieu de 2.

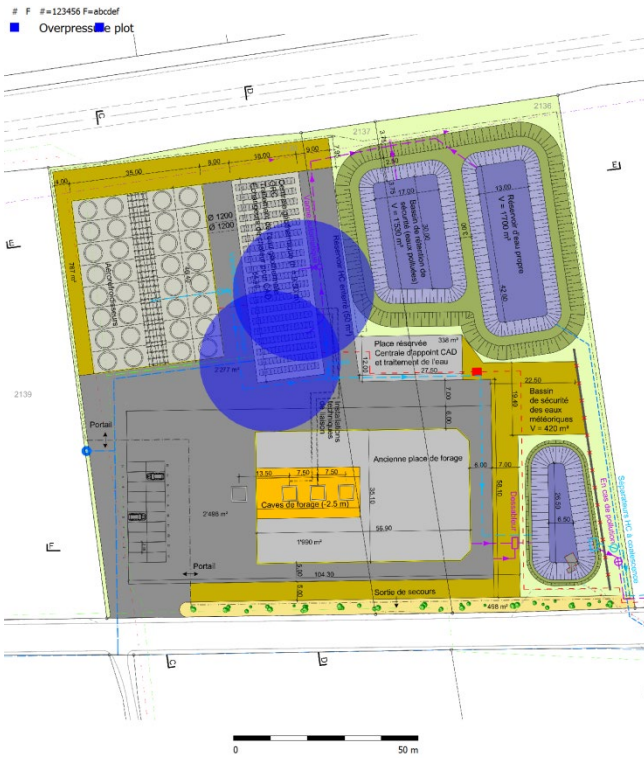


Figure 36: Empreinte de la zone dans laquelle la surpression est supérieure à 70 mbar

11.5.3.2 Fluide caloporteur : isobutane

a. Débit de fuite (Détail des calculs au chiffre 11.10.53)

Selon les résultats des modélisations, la citerne de 50m³ d'isobutane se viderait en un peu plus de 5 heures avec un débit maximal de 25 kg/s.

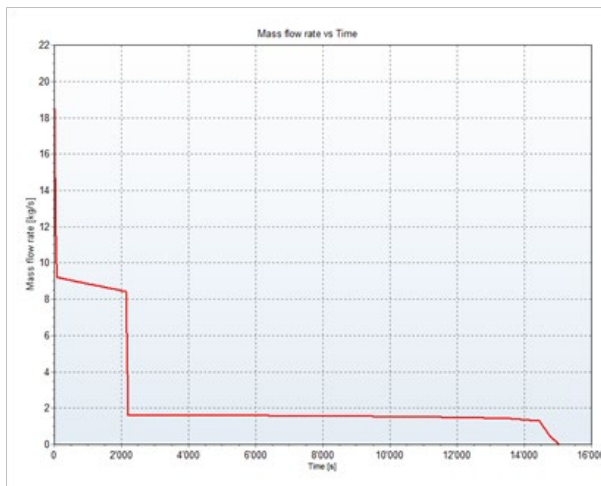


Figure 37: Terme source

b. Spray (Détail des calculs au chiffre 11.10.54)

Les simulations indiquent que l'aérosol se vaporise et qu'aucune flaque d'isobutane liquide ne se forme au sol.

c. Jet fire (Détail des calculs au chiffre 11.10.55)

Le jet fire suit la direction de la conduite. Il est donc orienté initialement vers le nord ou le sud. La figure présente l'allure théorique du jet fire et la zone potentiellement impactée en cas de vent.

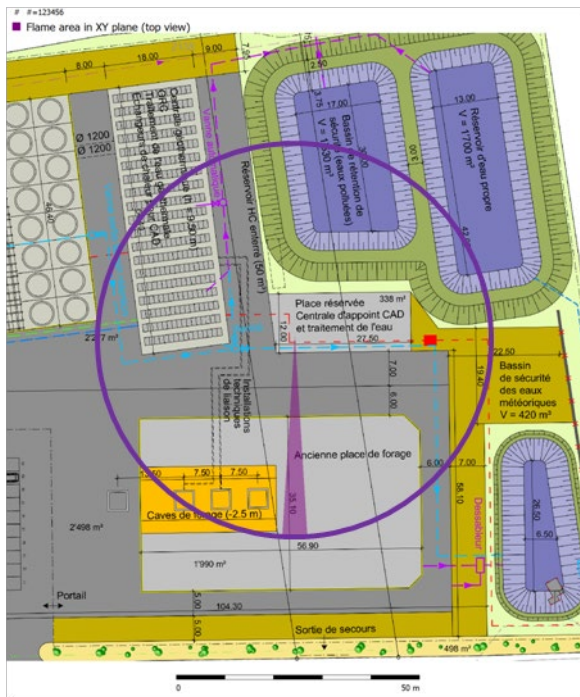


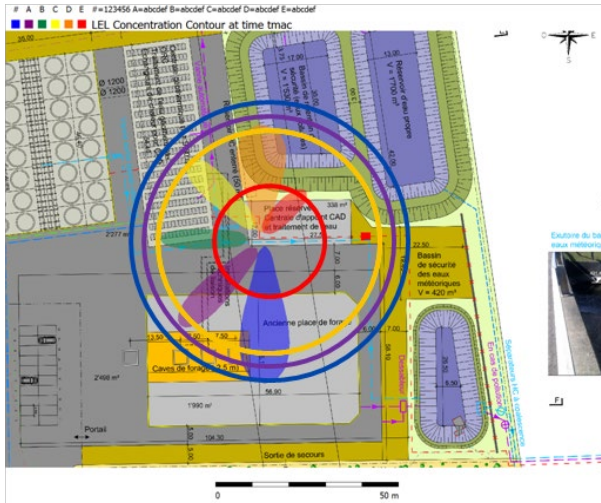
Figure 38: Zone d'impact du Jet fire

d. Dispersion (Détail des calculs au chiffre 11.10.56)

Le propane étant froid après le flash thermodynamique, il se comporte comme un gaz lourd. La figure présente les zones impactées pour les différents couples de classe de stabilité et de vitesse de vent préconisé par le Purple Book. Le propane est plus dangereux du point de vue de ses propriétés inflammables que toxiques. Les modélisations réalisées ne mettent en évidence que les zones dans lesquelles la concentration est comprise entre les limites d'inflammabilité du propane. La figure 47 présente les empreintes de nuages correspondant aux différentes conditions météorologiques recommandées par le Purple Book (Tableaux 5 et 6). Les conditions atmosphériques conduisant à des distances d'effet maximales sont atteintes lorsque la vitesse du vent est faible et la stabilité atmosphérique maximale. Ces conditions sont généralement atteintes la nuit. Durant la journée, les conditions sont moins stables mais l'empreinte reste importante lorsque la vitesse du vent est faible. Le tableau résume les principaux résultats.

Tableau 12: Caractéristiques des nuages inflammables

Conditions	Longueur maximale du nuage (m)	Masse inflammable (kg)
B – 4	16	74
D – 1	29	269
D – 4	26	151
D – 8	23	105
E – 4	29	183
F – 1	37	347



Conditions	Couleur
F – 1	bleu
E – 4	violet
D – 8	vert
D – 4	jaune
D – 1	orange
B – 4	rouge

Figure 39: Empreinte du nuage inflammable

e. Inflammation retardée (Détail des calculs au chiffre 11.10.57)

L'inflammation du nuage de gaz provoque le décès de toutes les personnes non abritées dans un bâtiment ou un véhicule se trouvant dans la boule de feu formée. Etant donné que l'inflammation se produit en terrain dégagé, les phénomènes thermiques sont prépondérants par rapport à l'onde de surpression. En effet, les simulations montrent que le seuil de 70 mbar (10% de létalité) n'est franchi que dans les zones les plus encombrées (Figure 40), c'est-à-dire pour lesquelles l'indice multi énergie est de 4 au lieu de 2.



Figure 40: Zones dans lesquelles une surpression de 70 mbar est atteinte

11.5.3.2 Fluide caloporteur : isopentane

a. Débit de fuite (Détail des calculs au chiffre 11.10.58)

Selon les résultats des modélisations, la citerne de 50m³ de propane se viderait en un peu plus de 4h avec un débit approchant les 17 kg/s.

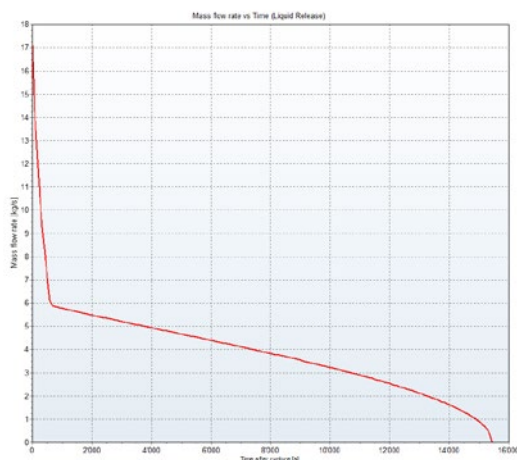


Figure 41: Terme source

b. Evaporation (Détail des calculs au chiffre 11.10.59)

La nappe au sol s'évapore. A l'heure actuelle, la dimension des cuvettes de rétention sur site n'a pas été déterminée. Une surface arbitraire de 500m² est considérée. Dans ces conditions, l'épaisseur de la nappe sera d'environ 20 cm. Les modèles d'évaporation servent de paramètre d'entrée aux modèles de dispersion. Les débits d'évaporation sont donc définis sous les mêmes vitesses de vent que celles employées lors des simulations de dispersion. Le tableau présente les valeurs obtenues.

Tableau 13: Débits d'évaporation

Vitesse de vent	Débit d'évaporation
1	1.3 kg/s
4	1.89 kg/s
7	2 kg/s

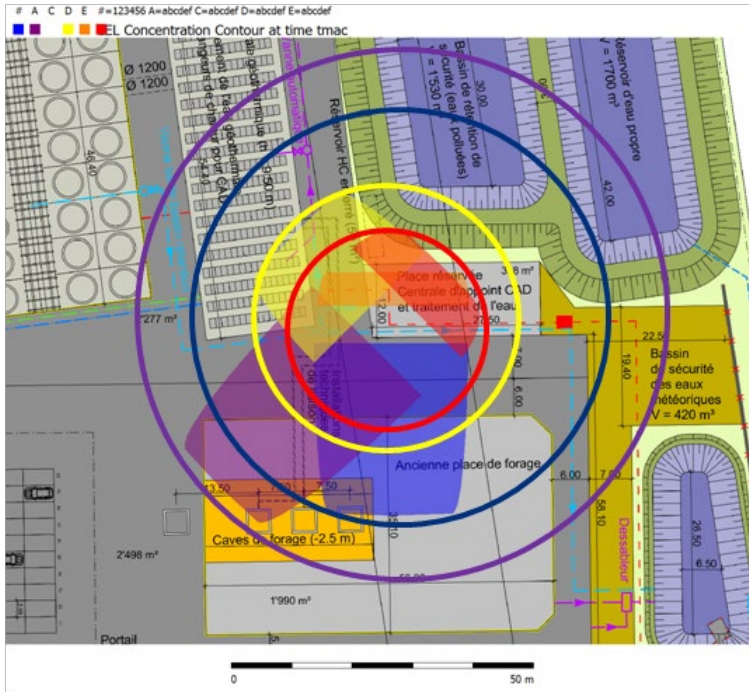
c. Dispersion (Détail des calculs au chiffre 11.10.60)

Un nuage inflammable se forme par évaporation de la nappe et se disperse. Les vapeurs seront mélangées avec l'air et se comporteront comme un gaz neutre. L'isopentane est plus dangereux du point de vue de ses propriétés inflammables que toxiques. Les modélisations réalisées ne mettent en évidence que les zones dans lesquelles la concentration est comprise entre les limites d'inflammabilité de l'isopentane. La figure présente les empreintes de nuages correspondant aux différentes conditions météorologiques recommandées par le Purple Book (Tableaux 5 et 6). Les conditions atmosphériques conduisant à des distances d'effet maximales sont atteintes lorsque la vitesse du vent est faible et la stabilité atmosphérique maximale. Ces conditions sont généralement atteintes la nuit. Durant la journée, les conditions sont moins stables mais l'empreinte reste importante lorsque la vitesse du vent est faible. Le tableau résume les principaux résultats.

Tableau 14: Caractéristiques des nuages inflammables

Conditions	Longueur maximale du nuage (m)	Masse inflammable (kg)
B - 4	8	12
D - 1	5	4.5
D - 4	17	30
D - 8	0	0
E - 4	34	60
F - 1	28	30

L'allure du nuage inflammable diffère des cas présentant le propane et le butane car le nuage provient d'une large flaque de liquide.



Conditions	Couleur
F - 1	bleu
E - 4	violet
D - 8	vert
D - 4	jaune
D - 1	orange
B - 4	rouge

Figure 42: Allure du nuage inflammable

d. Inflammation retardée (Détail des calculs au chiffre 11.10.61)

L'inflammation d'un nuage en champ libre ne conduit pas à des valeurs de surpression élevées. Le risque principal pour les personnes exposées reste le flux thermique émis lors de la combustion. Les simulations ont été réalisées sur la base d'une dispersion dans des conditions défavorables (vitesse de vent 1m/s et classe de stabilité F). Les index multi énergie ont été choisis en fonction de la zone atteinte par le nuage est sont rappelés dans le tableau 7. En effet, les simulations montrent que le seuil de 70 mbar (10% de létalité) n'est franchi que dans les zones les plus encombrées (Figure 43), c'est-à-dire pour lesquelles l'indice multi énergie est de 4 au lieu de 2.

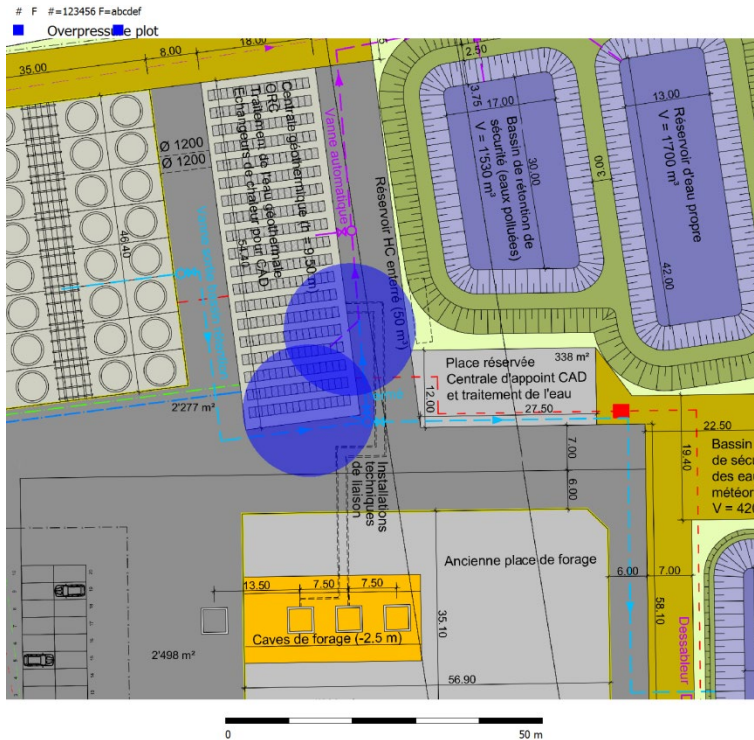


Figure 43: Zones dans lesquelles une surpression de 70 mbar est atteinte – Isopentane

e. Feu de nappe (Détail des calculs au chiffre 11.10.62)

En cas d'inflammation différée, un incendie se déclare sur la nappe de liquide. Les seuils de létalité (1%) restent sur le site et ne provoquent pas de victimes parmi les personnes exposées du fait de la cinétique du phénomène qui permet aux personnes éventuellement présentes de se mettre à l'abri. Les simulations indiquent que le feu de nappe dure pendant moins de 20 minutes. La distance entre le centre de la nappe et le point le plus éloigné de la zone dans laquelle la mortalité est supérieure à 1% (en rouge sur la figure 44) est de 46 m. Ce résultat est majorant dans la mesure où il suppose que toute la citerne se vide avant que l'inflammation ne se produise.

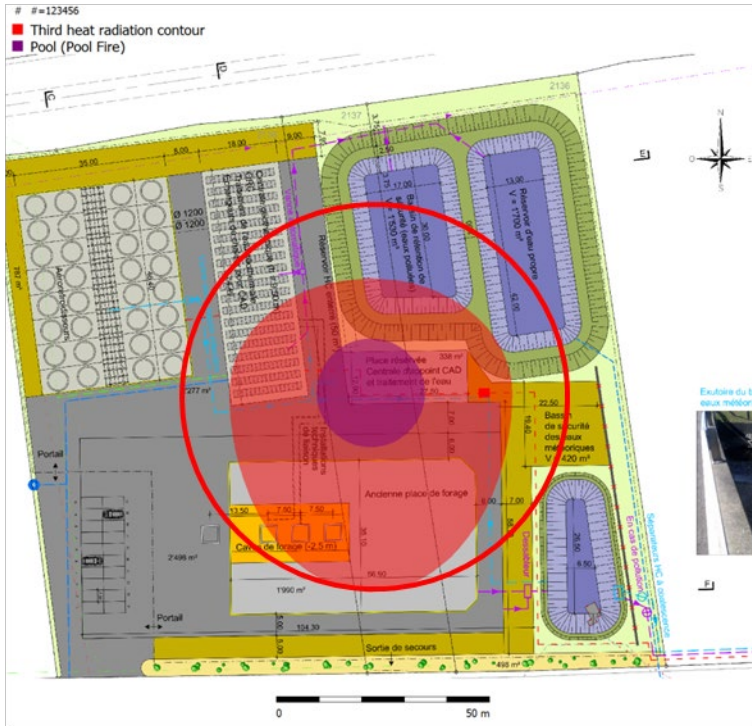


Figure 44: Feu de nappe suite à la vidange de la citerne

11.5.4 Fuite continue via une rupture guillotine de la conduite de condensats (Scénarios 35 à 61)

11.5.4.1 Fluide caloporteur : propane

a. Terme source (Détail des calculs au chiffre 11.10.19)

Les simulations modélisent la vidange complète de l'installation. Les résultats indiquent que l'installation se vide en moins de 10 minutes (Figure 45).

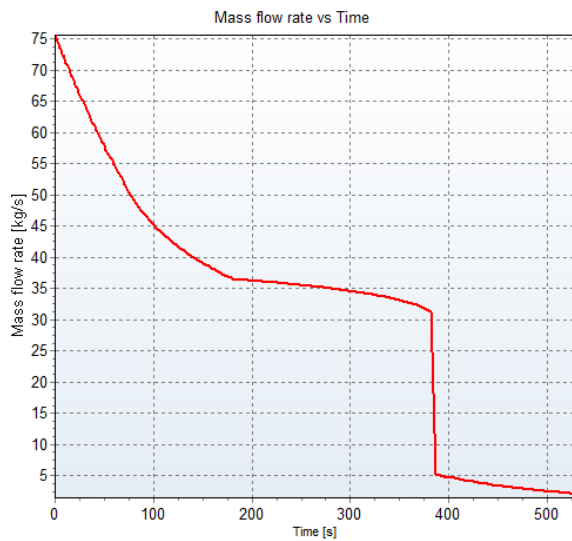


Figure 45: Terme source Rupture guillotine canalisation de condensat - Propane

b. Spray (Détail des calculs au chiffre 11.10.20)

Après le flash thermodynamique la fraction de rain aout atteint 56% mais les gouttes s'évaporent avant de toucher le sol. Le produit est totalement volatilisé.

c. Jet Fire (Détail des calculs au chiffre 11.10.21)

Le jet fire suit la direction de la conduite. Il est donc orienté vers l'est. La figure 46 présente l'allure théorique du jet fire. Le jet étant situé à 8m de haut, il ne rencontre aucun équipement et ne conduit à aucun effet domino. Les modèles de calcul ne prennent pas en compte la présence du bâtiment des pompes ce qui explique que le jet le traverse sans subir d'influence. En réalité, le jet sera fortement perturbé par le système de claustras du bâtiment.

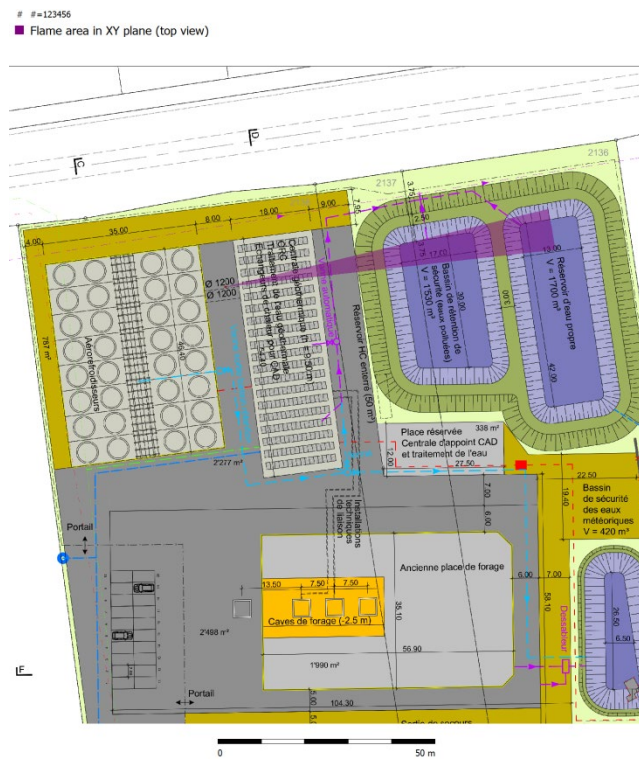


Figure 46: Allure théorique du jet fire résultant d'une rupture guillotine de la canalisation de condensat

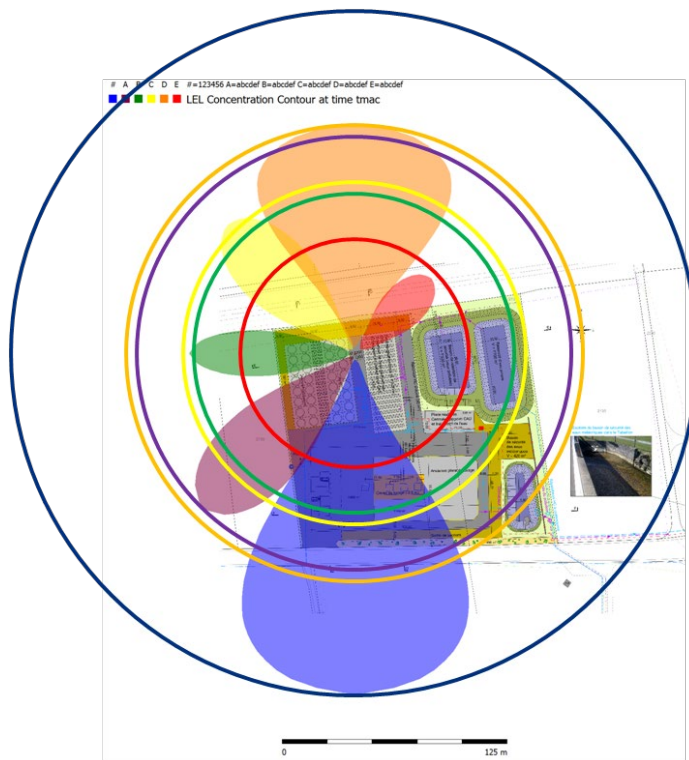
d. Dispersion (Détail des calculs au chiffre 11.10.22)

Le propane étant froid après le flash thermodynamique, il se comporte comme un gaz lourd. La figure 47 présente les zones impactées pour les différents couples de classe de stabilité et de vitesse de vent préconisé par le Purple Book. Le propane est plus dangereux du point de vue de ses propriétés inflammables que toxiques. Les modélisations réalisées ne mettent en évidence que les zones dans lesquelles la concentration est comprise entre les limites d'inflammabilité du propane (Figure 47). La figure 47 présente les empreintes de nuages correspondant aux différentes conditions météorologiques recommandées par le Purple Book (Tableaux 5 et 6). Les conditions atmosphériques conduisant à des

distances d'effet maximales sont atteintes lorsque la vitesse du vent est faible et la stabilité atmosphérique maximale. Ces conditions sont généralement atteintes la nuit. Durant la journée, les conditions sont moins stables mais l'empreinte reste importante lorsque la vitesse du vent est faible. Le tableau 15 résume les principaux résultats.

Tableau 15: Caractéristiques des nuages inflammables

Conditions	Longueur maximale du nuage (m)	Masse inflammable (kg)
B – 4	24	410
D – 1	125	2130
D – 4	100	790
D – 8	89	500
E – 4	118	944
F – 1	185	2546



Conditions	Couleur
F – 1	bleu
E – 4	violet
D – 8	vert
D – 4	jaune
D – 1	orange
B – 4	rouge

Figure 47: Allure du nuage inflammable après une rupture guillotine de la canalisation de condensats – Propane

e. Inflammation retardée (Détail des calculs au chiffre 11.10.16)

L'inflammation du nuage de gaz provoque le décès de toutes les personnes non abritées dans un bâtiment ou un véhicule se trouvant dans la boule de feu formée. Etant donné que l'inflammation se produit en terrain dégagé, les phénomènes thermiques sont prépondérants par rapport à l'onde de surpression. En effet, les simulations montrent que le seuil de 70 mbar (10% de létalité) n'est franchi que dans les zones les plus encombrées (Figure 48), c'est-à-dire pour lesquelles l'indice multi énergie est de 4 au lieu de 2.

A E #=123456 A=abcdef E=abcdef
■ ■ Overpressure plot

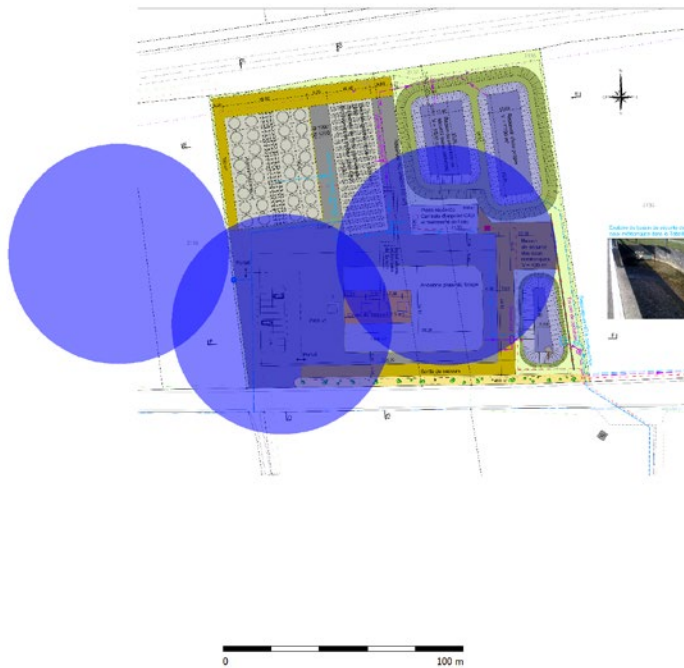


Figure 48: Zones dans lesquelles une surpression de 70 mbar est atteinte

1.4.1.1. Fluide caloporteur : Isobutane

a. *Terme source (Détail des calculs au chiffre 11.10.24)*

Les simulations modélisent la vidange complète de l'installation. Les résultats indiquent que l'installation se vide en moins de 7 minutes (Figure 49).

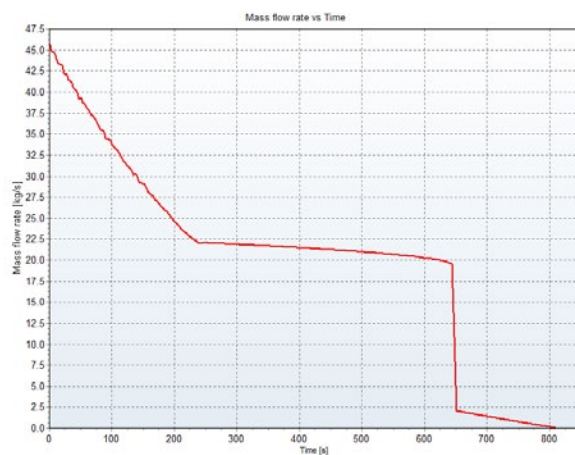


Figure 49: Terme source Rupture guillotine canalisation de condensat – Isobutane

b. *Spray (Détail des calculs au chiffre 11.10.25)*

Après le flash thermodynamique la fraction de rain aout atteint 56% mais les gouttes s'évaporent avant de toucher le sol. Le produit est totalement volatilisé.

c. Jet Fire (Détail des calculs au chiffre 11.10.26)

Le jet fire suit la direction de la conduite. Il est donc orienté vers l'est. La figure 50 présente l'allure théorique du jet fire. Le jet étant situé à 8m de haut, il ne rencontre aucun équipement et ne conduit à aucun effet domino. Les modèles de calcul ne prennent pas en compte la présence du bâtiment des pompes ce qui explique que le jet le traverse sans subir d'influence. En réalité, le jet sera fortement perturbé par le système de claustras du bâtiment.

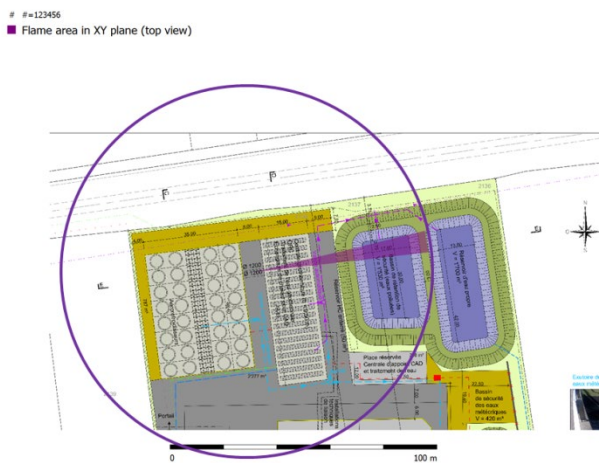


Figure 50: Empreinte du jet fire

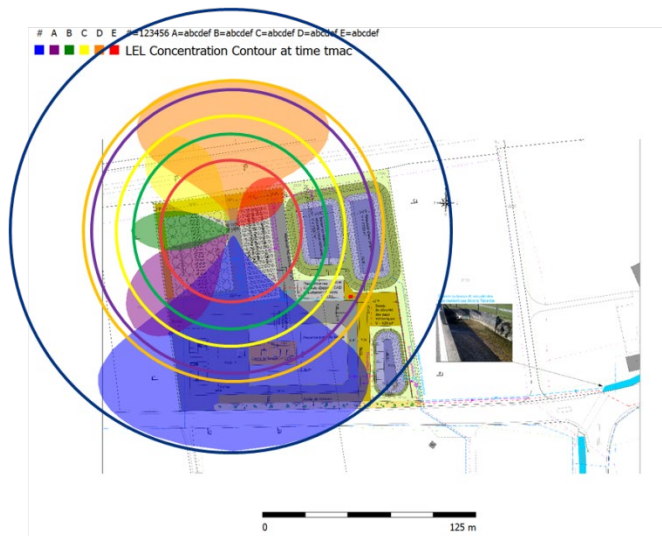
d. Dispersion (Détail des calculs au chiffre 11.10.27)

L'isobutane étant froid après le flash thermodynamique, il se comporte comme un gaz lourd. L'isobutane est plus dangereux du point de vue de ses propriétés inflammables que toxiques. Les modélisations réalisées ne mettent en évidence que les zones dans lesquelles la concentration est comprise entre les limites d'inflammabilité du propane (Figure 51). La figure 51 présente les empreintes de nuages correspondant aux différentes conditions météorologiques recommandées par le Purple Book (Tableaux 5 et 6). Les conditions atmosphériques conduisant à des distances d'effées maximales sont atteintes lorsque la vitesse du vent est faible et la stabilité atmosphérique maximale. Ces conditions sont généralement atteintes la nuit. Durant la journée, les conditions sont moins stables mais l'empreinte reste importante lorsque la vitesse du vent est faible. Le tableau 8 résume les principaux résultats.

Tableau 16: Caractéristiques des nuages inflammables

Conditions	Longueur maximale du nuage (m)	Masse inflammable (kg)
B - 4	36	228
D - 1	82	1459
D - 4	63	457
D - 8	57	273

E - 4	77	563
F - 1	125	2059



Conditions	Couleur
F - 1	bleu
E - 4	violet
D - 8	vert
D - 4	jaune
D - 1	orange
B - 4	rouge

Figure 51: Allure du nuage inflammable après une rupture guillotine de la canalisation de condensats – Isobutane

e. Inflammation retardée (Détail des calculs au chiffre 11.10.28)

L'inflammation du nuage de gaz provoque le décès de toutes les personnes non abritées dans un bâtiment ou un véhicule se trouvant dans la boule de feu formée. Etant donné que l'inflammation se produit en terrain dégagé, les phénomènes thermiques sont prépondérants par rapport à l'onde de surpression. En effet, les simulations montrent que le seuil de 70 mbar (10% de létalité) n'est franchi que dans les zones les plus encombrées (Figure 52), c'est-à-dire pour lesquelles l'indice multi énergie est de 4 au lieu de 2.

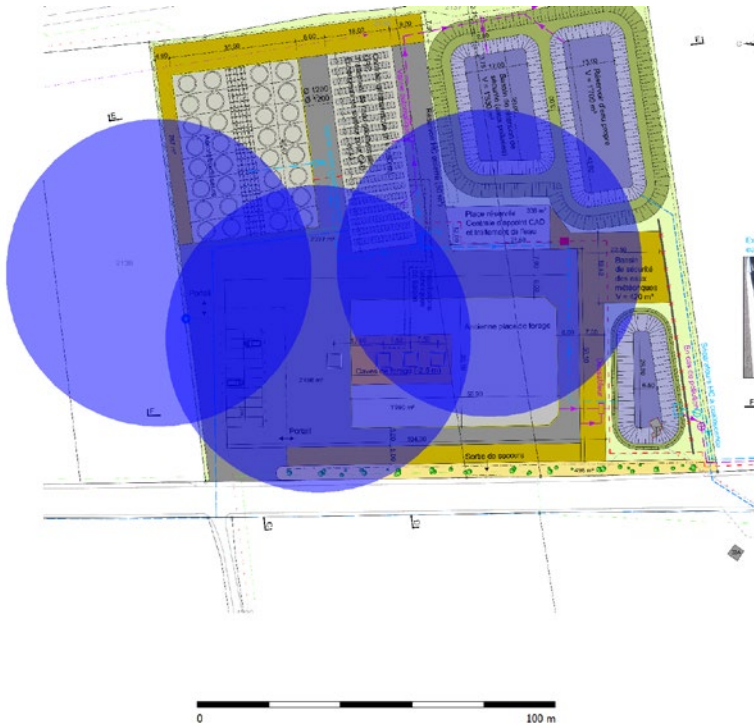


Figure 52: Zones dans lesquelles une surpression de 70 mbar est atteinte – Isobutane

11.5.4.2 Fluide caloporteur : isopentane

a. Terme source (Détail des calculs au chiffre 11.10.28)

Les simulations ont pour but de modéliser le rejet de tout l'isopentane dans à l'extérieur suite à une rupture catastrophique de la canalisation et à la défaillance des vannes d'isolement. A la différence du propane et du isobutane, l'isopentane restera liquide, formera une nappe et s'évaporerà. Les simulations indiquent que l'installation se vide en moins de 30 minutes (Figure 53).

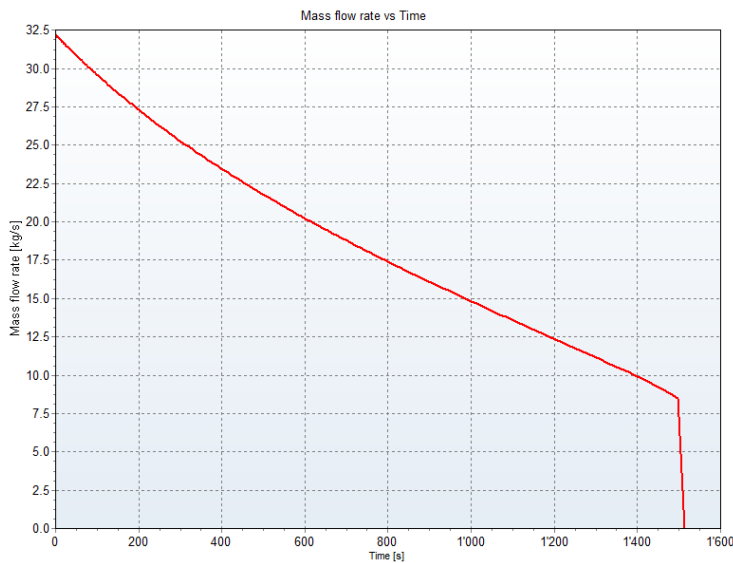


Figure 53: Terme source

b. Evaporation (Détail des calculs au chiffre 11.10.29)

La nappe au sol s'évapore. A l'heure actuelle, la dimension des cuvettes de rétention sur site n'a pas été déterminée. Une surface arbitraire de 500m² est considérée. Dans ces conditions, l'épaisseur de la nappe sera d'environ 20 cm. Les modèles d'évaporation servent de paramètre d'entrée aux modèles de dispersion. Les débits d'évaporation sont donc définis sous les mêmes vitesses de vent que celles employées lors des simulations de dispersion. Le tableau 17 présente les valeurs obtenues.

Tableau 17: Débits d'évaporation

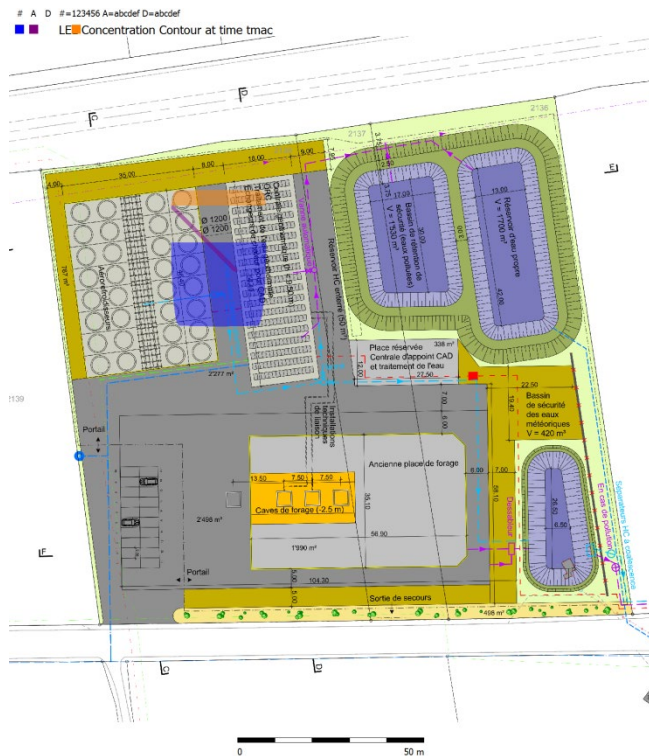
Vitesse de vent	Débit d'évaporation
1	1.8 kg/s
4	3.7 kg/s
7	4.7 kg/s

c. Dispersion (Détail des calculs au chiffre 11.10.30)

Un nuage inflammable se forme par évaporation de la nappe et se disperse. Les vapeurs seront mélangées avec l'air et se comporteront comme un gaz neutre. L'isopentane est plus dangereux du point de vue de ses propriétés inflammables que toxiques. Les modélisations réalisées ne mettent en évidence que les zones dans lesquelles la concentration est comprise entre les limites d'inflammabilité de l'isopentane (Figure 32). La figure 32 présente les empreintes de nuages correspondant aux différentes conditions météorologiques recommandées par le Purple Book (Tableaux 5 et 6). Les conditions atmosphériques conduisant à des distances d'effet maximales sont atteintes lorsque la vitesse du vent est faible et la stabilité atmosphérique maximale. Ces conditions sont généralement atteintes la nuit. Le tableau 18 résume les principaux résultats.

Tableau 18: Caractéristiques des nuages inflammables

Conditions	Longueur maximale du nuage (m)	Masse inflammable (kg)
B - 4	0	0
D - 1	5.5	5
D - 4	0	0
D - 8	0	0
E - 4	<1m	<1
F - 1	28	30



Conditions	Couleur
F - 1	bleu
E - 4	violet
D - 8	vert
D - 4	jaune
D - 1	orange
B - 4	rouge

Figure 54: Empreinte du nuage inflammable

d. Inflammation (Détail des calculs au chiffre 11.10.31)

L'inflammation d'un nuage en champ libre ne conduit pas à des valeurs de surpression élevées. Le risque principal pour les personnes exposées reste le flux thermique émis lors de la combustion. Les simulations ont été réalisées sur la base d'une dispersion dans des conditions défavorables (vitesse de vent 1m/s et classe de stabilité F). Les index multi énergie ont été choisis en fonction de la zone atteinte par le nuage est sont rappelés dans le tableau 7. Selon les résultats des simulations les simulations n'atteignent pas le seuil de létalité.

e. Feu de nappe (Détail des calculs au chiffre 11.10.32)

En cas d'inflammation différée, un incendie se déclare sur la nappe de liquide. Les seuils de létalité (1%) peuvent sortir hors du site et provoquer des victimes parmi les personnes exposées. Les simulations ont été réalisées sur une durée d'exposition de 20 secondes et sans tenir compte de l'effet de protection offert par les vêtements. Les simulations indiquent que le feu de nappe dure pendant moins de 20 minutes. La distance entre le centre de la nappe et le point le plus éloigné de la zone dans laquelle la mortalité est supérieure à 1% (en rouge sur la figure 55) est de 56 m.

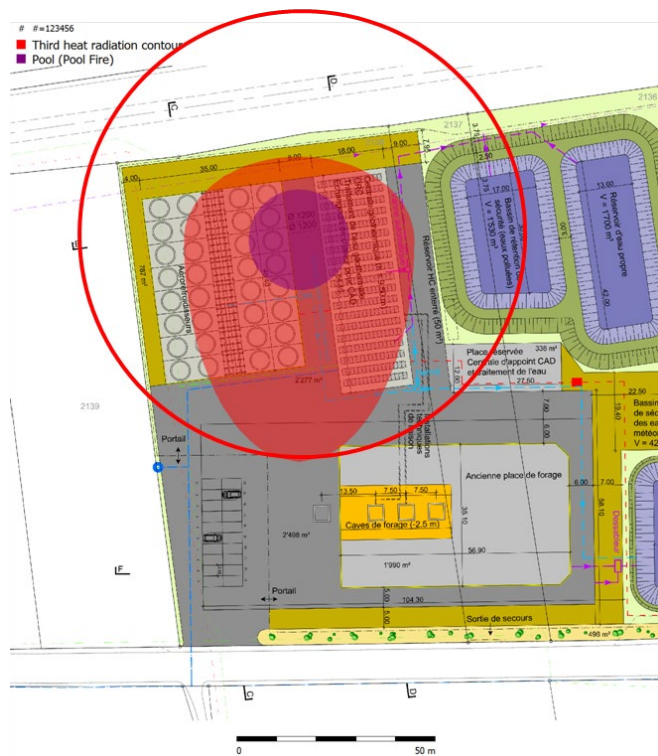


Figure 55: Impact du flux thermique radiatif. Zone 1% de létalité

11.5.5 Fuite continue par un orifice de 20mm de diamètre sur la conduite menant aux pompes de condensat (scénarios 62 à 69)

11.5.5.1 Fluide caloporteur : propane

a. Débit de fuite (Détail des calculs au chiffre 11.10.33)

Les simulations modélisent la vidange complète de l'installation par une fuite de 20 mm de diamètre sur la canalisation de condensats. Les résultats indiquent que l'installation se vide en moins d'une heure (Figure 56).

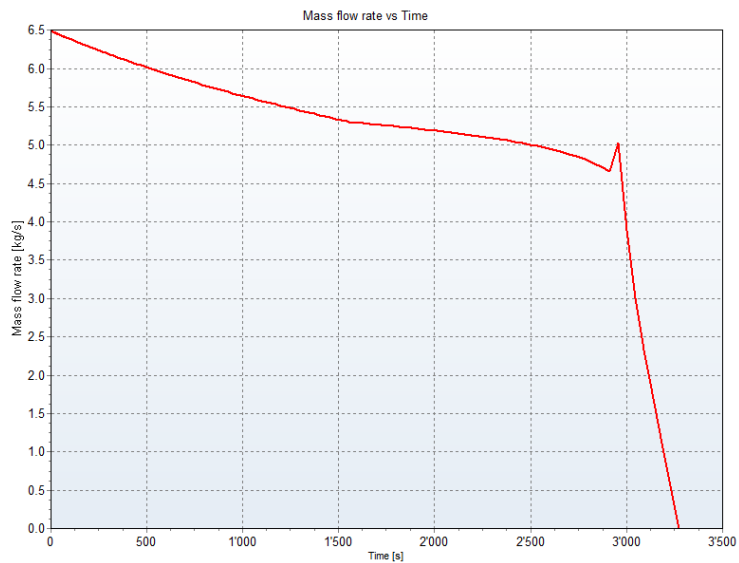


Figure 56: Terme source

b. Spray (Détail des calculs au chiffre 11.10.34)

Les simulations indiquent que le rain out formé après la brèche s'évapore totalement avant de toucher le sol. Il n'y a donc pas de formation de nappe de propane liquide.

c. Jet fire (Détail des calculs au chiffre 11.10.35)

Si une inflammation immédiate se produit un jet fire est créé. Sa direction sera perpendiculaire à la canalisation. La figure 57 présente l'allure théorique du jet fire la zone de danger est une boule dont le centre est la brèche et le diamètre la longueur du jet (328 m). Les simulations indiquent qu'il atteint la voie ferrée. Cependant, il ne créera pas de victime dans la mesure où les personnes sont protégées dans le train et que le jet fire ne sera pas en mesure de le faire dérailler.

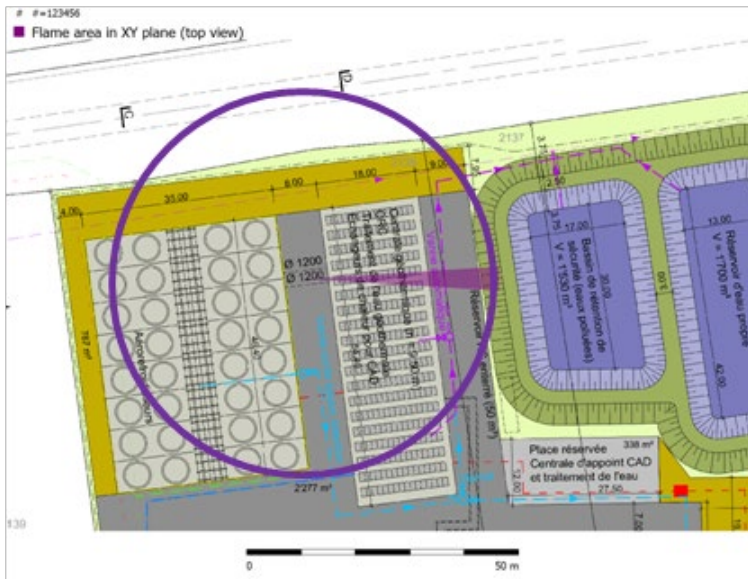


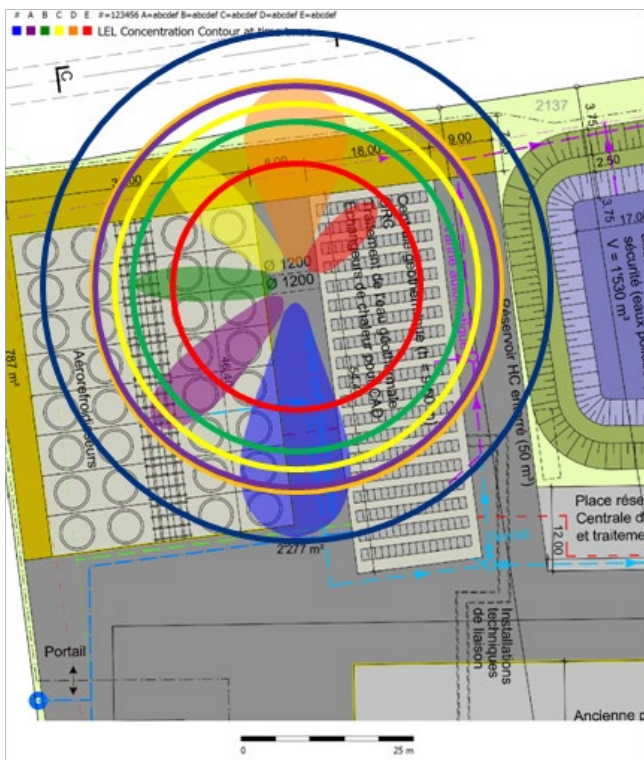
Figure 57: Empreinte du jet fire

d. Dispersion (Détail des calculs au chiffre 11.10.36)

Le propane étant froid après le flash thermodynamique, il se comporte comme un gaz lourd. La figure présente les zones impactées pour les différents couples de classe de stabilité et de vitesse de vent préconisé par le Purple Book. Le propane est plus dangereux du point de vue de ses propriétés inflammables que toxiques. Les modélisations réalisées ne mettent en évidence que les zones dans lesquelles la concentration est comprise entre les limites d'inflammabilité du propane (Figure 58). La figure 47 présente les empreintes de nuages correspondant aux différentes conditions météorologiques recommandées par le Purple Book (Tableaux 5 et 6). Les conditions atmosphériques conduisant à des distances d'effet maximales sont atteintes lorsque la vitesse du vent est faible et la stabilité atmosphérique maximale. Ces conditions sont généralement atteintes la nuit. Le tableau 19 résume les principaux résultats.

Tableau 19: Caractéristiques des nuages inflammables

Conditions	Longueur maximale du nuage (m)	Masse inflammable (kg)
B – 4	13	10
D – 1	26	36
D – 4	22	18.5
D – 8	20	12
E – 4	26	21
F – 1	34	40



Conditions	Couleur
F - 1	bleu
E - 4	violet
D - 8	vert
D - 4	jaune
D - 1	orange
B - 4	rouge

Figure 58 : Allure du nuage inflammable après fuite via un orifice de 20mm sur la canalisation de condensats – Propane

e. Inflammation retardée (Détail des calculs au chiffre 11.10.37)

L'inflammation du nuage de gaz provoque le décès de toutes les personnes non abritées dans un bâtiment ou un véhicule se trouvant dans la boule de feu formée. Etant donné que l'inflammation se produit en terrain dégagé, les phénomènes thermiques sont prépondérants par rapport à l'onde de surpression. Les simulations (Figure 59) montrent que le seuil de 70 mbar (10% de létalité) est franchi quelle que soit la direction du vent. Ceci est dû au fait que la zone est encombrée.

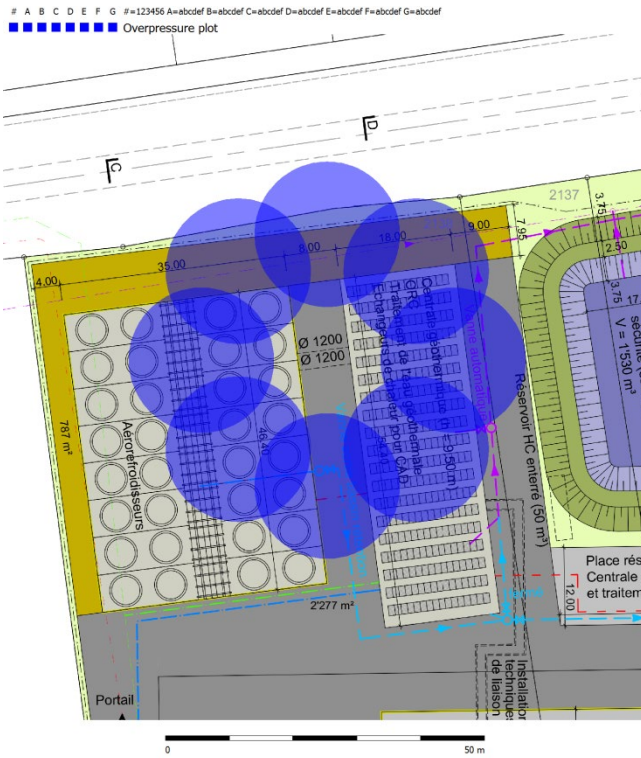


Figure 59: Zone dans lesquelles une surpression de 70 mbar est atteinte

11.5.5.2 *Fluide caloporteur : isobutane*

a. Débit de fuite (Détail des calculs au chiffre 11.10.38)

Les simulations modélisent la vidange complète de l'installation. Les résultats indiquent que l'installation se vide en un peu plus d'une heure et demie (Figure 60).

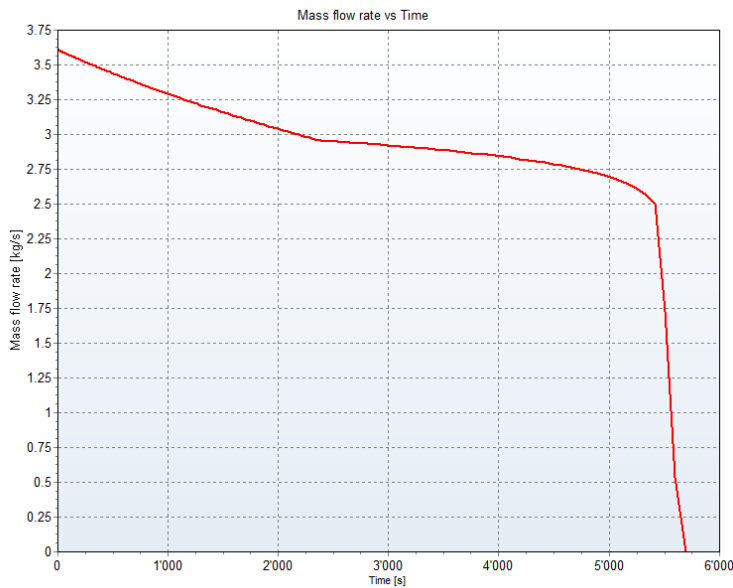


Figure 60: Terme source

b. Spray (Détail des calculs au chiffre 11.10.39)

Les simulations indiquent que l'aérosol se vaporise et qu'aucune flaque d'isobutane liquide ne se forme au sol.

c. Jet fire (Détail des calculs au chiffre 11.10.40)

Si une inflammation immédiate se produit un jet fire est créé. Sa direction sera perpendiculaire à la canalisation. La figure 61 présente l'allure théorique du jet fire la zone de danger est une boule dont le centre est la brèche et le diamètre la longueur du jet (28 m). Les simulations indiquent qu'il atteint la voie ferrée. Cependant, il ne créera pas de victime dans la mesure où les personnes sont protégées dans le train et que le jet fire ne sera pas en mesure de le faire dérailler.

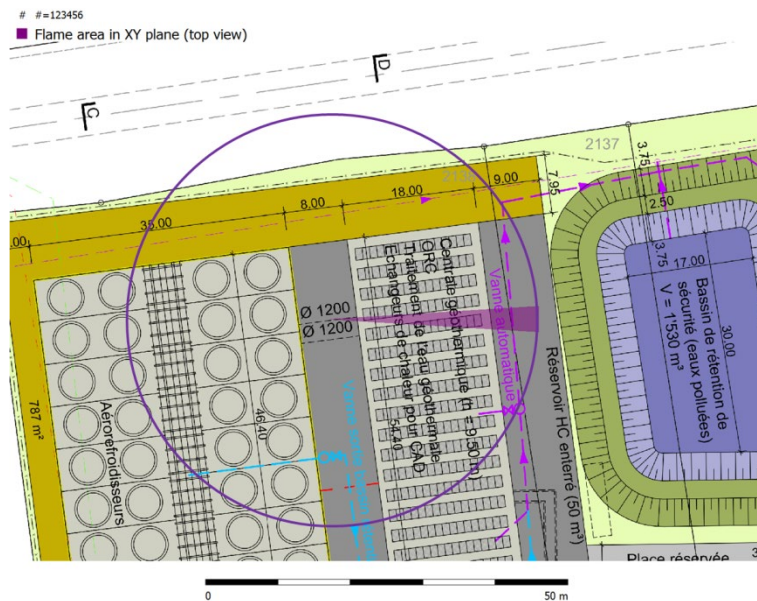


Figure 61: Empreinte du jet fire

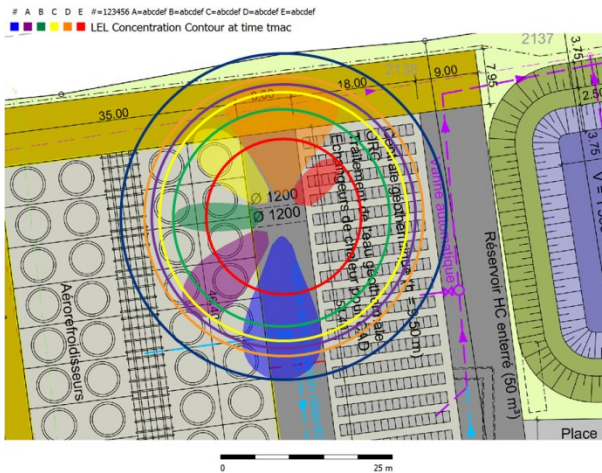
d. Dispersion (Détail des calculs au chiffre 11.10.41)

L'isobutane étant froid après le flash thermodynamique, il se comporte comme un gaz lourd. L'isobutane est plus dangereux du point de vue de ses propriétés inflammables que toxiques. Les modélisations réalisées ne mettent en évidence que les zones dans lesquelles la concentration est comprise entre les limites d'inflammabilité du propane (Figure 51). La figure 51 présente les empreintes de nuages correspondant aux différentes conditions météorologiques recommandées par le Purple Book (Tableaux 5 et 6). Les conditions atmosphériques conduisant à des distances d'effet maximales sont atteintes lorsque la vitesse du vent est faible et la stabilité atmosphérique maximale. Le tableau 20 résume les principaux résultats.

Tableau 20: Caractéristiques des nuages inflammables

Conditions	Longueur maximale du nuage (m)	Masse inflammable (kg)
B - 4	8	5
D - 1	16	22
D - 4	14	9

D - 8	12	6
E - 4	16	11
F - 1	20	16



Conditions	Couleur
F - 1	bleu
E - 4	violet
D - 8	vert
D - 4	jaune
D - 1	orange
B - 4	rouge

Figure 62: Allure du nuage inflammable suite à une fuite via un orifice de 20mm sur la canalisation de condensats – Isobutane

e. Inflammation (Détail des calculs au chiffre 11.10.42)

L'inflammation du nuage de gaz provoque le décès de toutes les personnes non abritées dans un bâtiment ou un véhicule se trouvant dans la boule de feu formée. Etant donné que l'inflammation se produit en terrain dégagé, les phénomènes thermiques sont prépondérants par rapport à l'onde de surpression. Les simulations (Figure 63) montrent que le seuil de 70 mbar (10% de létalité) est franchi quelle que soit la direction du vent. Ceci est dû au fait que la zone est encombrée.

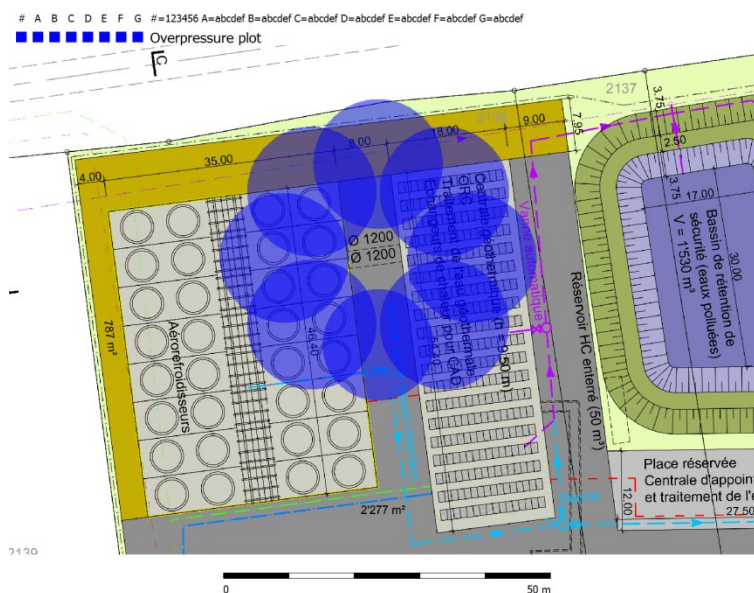


Figure 63: Zones dans lesquelles une surpression de 70 mbar est atteinte – Isobutane

11.5.5.3 Fluide caloporteur : isopentane

a. Débit de fuite (Détail des calculs au chiffre 11.10.43)

Les simulations ont pour but de modéliser le rejet de tout l'isopentane dans à l'extérieur un orifice de 20mm dans la canalisation de condensats et à la défaillance des vannes d'isolement. A la différence du propane et du isobutane, l'isopentane restera liquide, formera une nappe et s'évaporerà. Les simulations indiquent que l'installation se vide en plus de 5 heures (Figure 64).

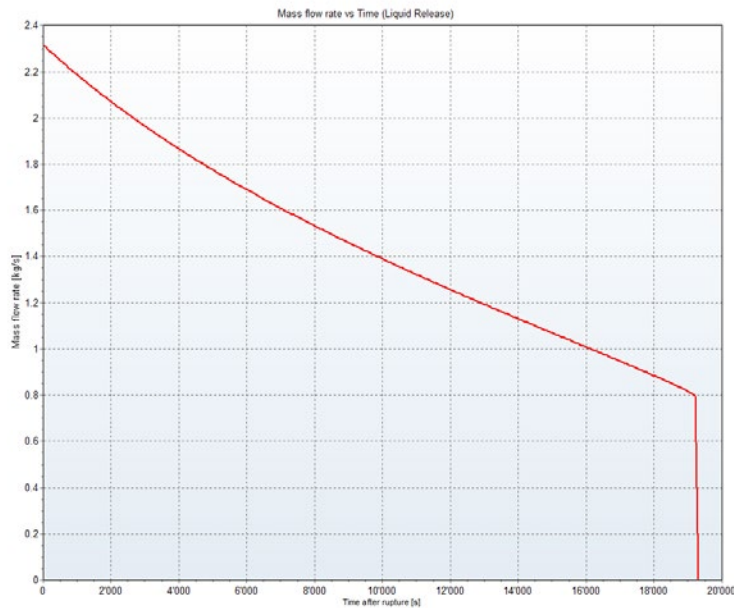


Figure 64: Terme source

b. Evaporation (Détail des calculs au chiffre 11.10.44)

La nappe au sol s'évapore. A l'heure actuelle, la dimension des cuvettes de rétention sur site n'a pas été déterminée. Une surface arbitraire de 500m² est considérée. Dans ces conditions, l'épaisseur de la nappe sera d'environ 20 cm. Les modèles d'évaporation servent de paramètre d'entrée aux modèles de dispersion. Les débits d'évaporation sont donc définis sous les mêmes vitesses de vent que celles employées lors des simulations de dispersion. Le tableau 21 présente les valeurs obtenues.

Tableau 21: Débits d'évaporation

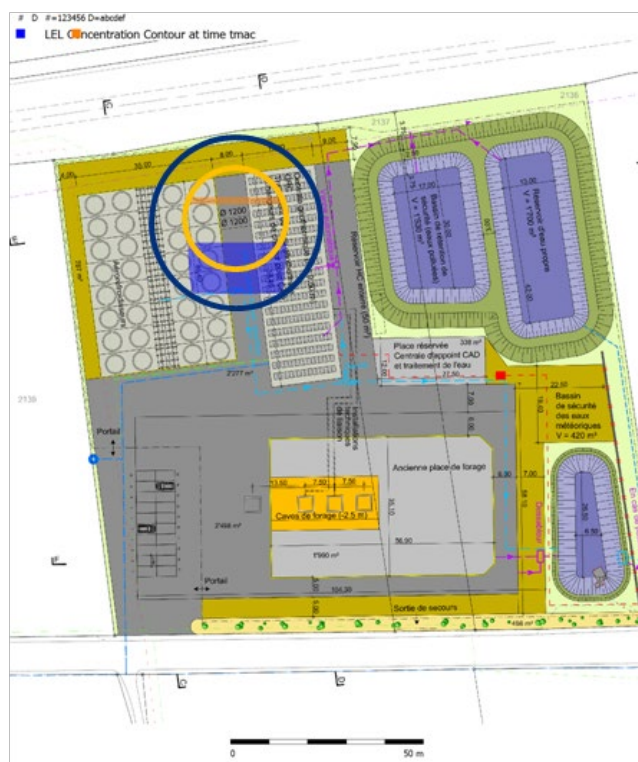
Vitesse de vent	Débit d'évaporation
1	1.3 kg/s
4	1.89 kg/s
7	2 kg/s

c. Dispersion (Détail des calculs au chiffre 11.10.45)

Un nuage inflammable se forme par évaporation de la nappe et se disperse. Les vapeurs seront mélangées avec l'air et se comporteront comme un gaz neutre. L'isopentane est plus dangereux du point de vue de ses propriétés inflammables que toxiques. Les modélisations réalisées ne mettent en évidence que les zones dans lesquelles la concentration est comprise entre les limites d'inflammabilité de l'isopentane (Figure 65). La figure 65 présente les empreintes de nuages correspondant aux différentes conditions météorologiques recommandées par le Purple Book (Tableaux 5 et 6). Les conditions atmosphériques conduisant à des distances d'effet maximales sont atteintes lorsque la vitesse du vent est faible et la stabilité atmosphérique maximale. Ces conditions sont généralement atteintes la nuit. Le tableau 22 résume les principaux résultats.

Tableau 22: Caractéristiques des nuages inflammables

Conditions	Longueur maximale du nuage (m)	Masse inflammable (kg)
B – 4	0	0
D – 1	1.59	0.5
D – 4	0	0
D – 8	0	0
E – 4	0	<1
F – 1	13	8



Conditions	Couleur
F – 1	bleu
E – 4	violet
D – 8	vert
D – 4	jaune
D – 1	orange
B – 4	rouge

Figure 65: Allure du nuage inflammable suite à une fuite via un orifice de 20mm sur la canalisation de condensats – Isopentane

d. Inflammation retardée (Détail des calculs au chiffre 11.10.46)

L'inflammation d'un nuage en champ libre ne conduit pas à des valeurs de surpression élevées. Le risque principal pour les personnes exposées reste le flux thermique émis lors de la combustion. Les simulations ont été réalisées sur la base d'une dispersion dans des conditions défavorables (vitesse de vent 1m/s et

classe de stabilité F). Les index multi énergie ont été choisis en fonction de la zone atteinte par le nuage est sont rappelés dans le tableau 7. Les simulations (Figure 66) montrent que le seuil de 70 mbar (10% de létalité) est franchi quelle que soit la direction du vent. Ceci est dû au fait que la zone est encombrée.

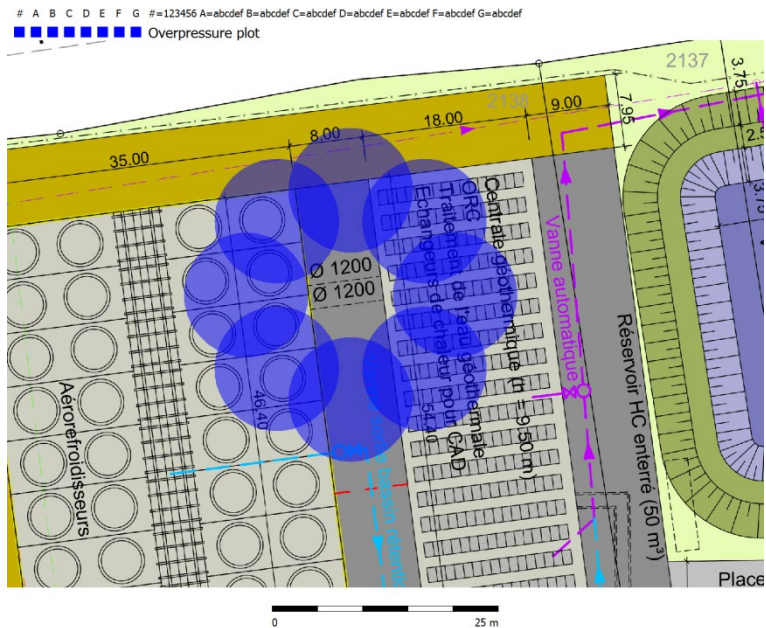


Figure 66: Zones dans lesquelles une surpression de 70 mbar est atteinte – Isopentane

e. Feu de nappe (Détail des calculs au chiffre 11.10.47)

En cas d'inflammation différée, un incendie se déclare sur la nappe de liquide. Les seuils de létalité (1%) peuvent sortir hors du site et provoquer des victimes parmi les personnes exposées. Les simulations ont été réalisées sur une durée d'exposition de 20 secondes et sans tenir compte de l'effet de protection offert par les vêtements. Les simulations indiquent que le feu de nappe dure pendant moins de 20 minutes. La distance entre le centre de la nappe et le point le plus éloigné de la zone dans laquelle la mortalité est supérieure à 1% (en rouge sur la figure 55) est de 55 m. Ce résultat est majorant dans la mesure où il suppose que toute l'installation se vide avant que l'inflammation ne se produise.

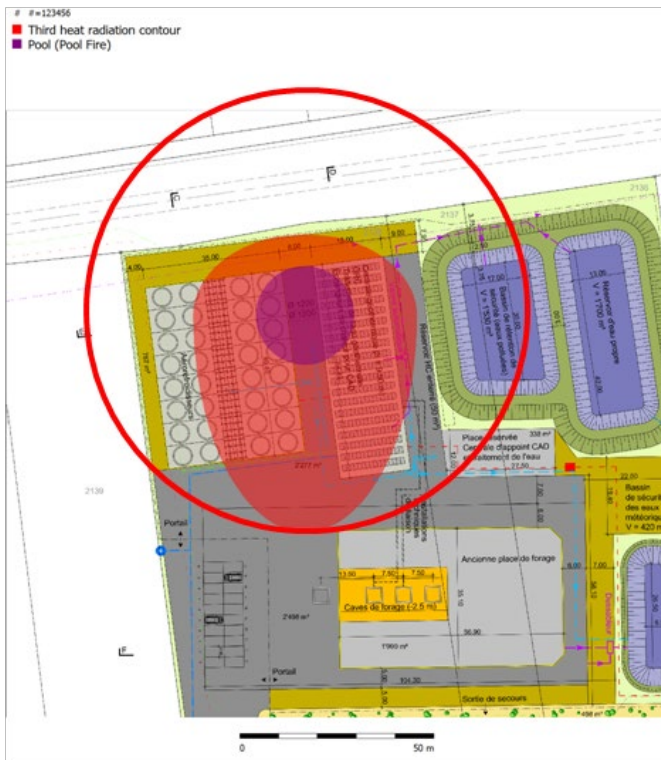


Figure 67: Impact du flux thermique radiatif. Zone 1% de létalité

11.6 Distances de sécurité

Les empreintes des accidents majeurs sont estimées dans le cas du propane (Figure 69) et de l'isobutane (Figure 70) par la distance maximale que peut atteindre le plus long nuage inflammable si une fuite se produit en des endroits critiques en fonction des scénarios étudiés. Dans tous les cas, les distances de sécurité sont basées sur la dispersion d'un nuage inflammable sous une faible vitesse de vent (1m/s) et une stabilité atmosphérique élevée (F). Les positions des fuites choisies sont représentées sur la figure 68.

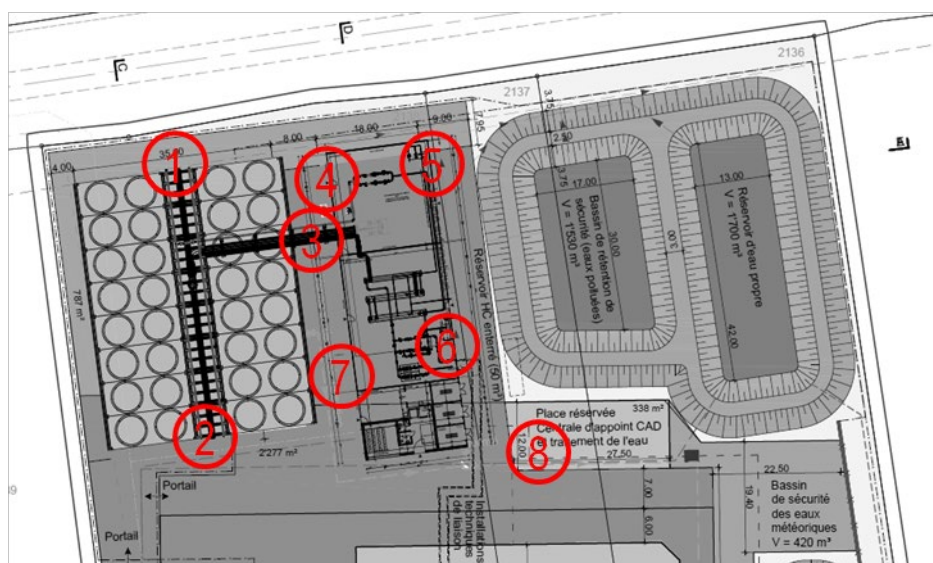


Figure 68: Position des fuites servant à établir la zone d'impact

Trois sources (1 à 3) sont situées sur les condenseurs. Le scénario utilisé pour caractériser la distance d'impact suite à un accident sur ces emplacements est la rupture guillotine de la canalisation de condensats. Les sources 4 à 7 sont basées sur le scénario de rupture guillotine d'une canalisation dans le bâtiment. Les distances de sécurité à partir de la source 8 sont estimées à partir de la rupture guillotine de la canalisation reliée à la citerne.

La zone ainsi créée représente une zone de danger mortel du point de vue des flux thermiques radiatifs. Les zones définies par des valeurs de surpression significatives pour la vie humaine ne sortent pas du périmètre déjà défini et ne sont pas représentées. Il en va de même pour les jet fire.



Figure 69: Zone pouvant être recouverte par un nuage de gaz inflammable (Propane)

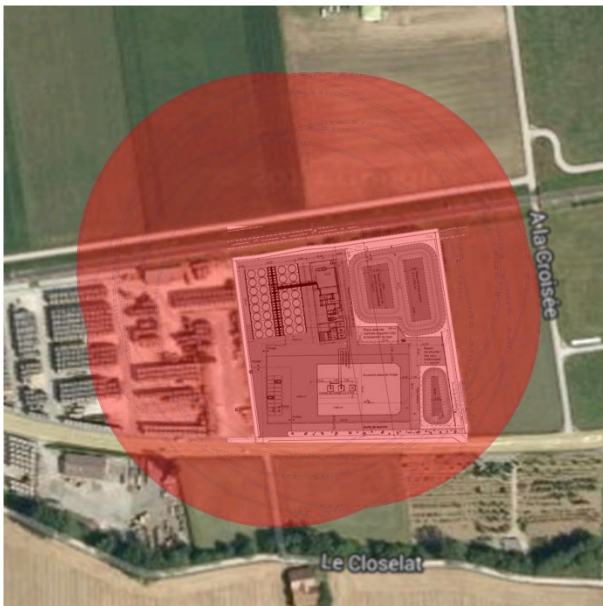


Figure 70: Zone pouvant être recouverte par un nuage de gaz inflammable (Isobutane)

Dans le cas de l'isopentane (Figure 71), les zones représentées correspondent aux flux thermiques significatifs pour la vie humaine (en orange sur la figure) et la zone due à la vidange de la citerne et à l'évaporation de la nappe en résultant (en rouge sur la figure). Les zones dans lesquelles des surpressions significatives pour la vie humaine sont atteintes, sont incluses dans les zones déjà représentées et ne sont pas reportées.

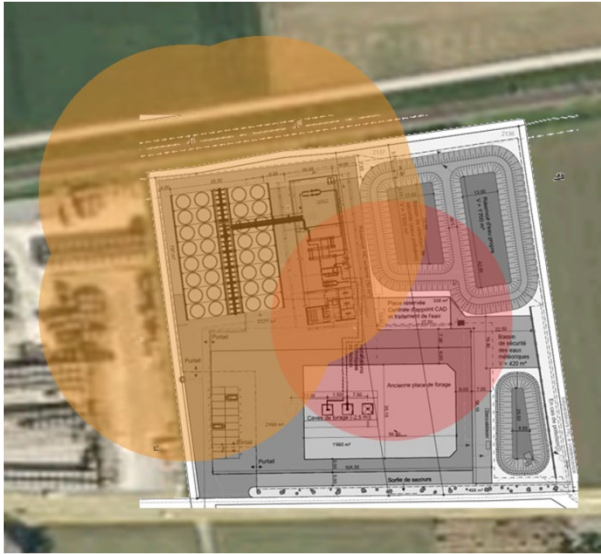


Figure 71: Zone pouvant être recouverte par un nuage de gaz inflammable en cas d'emploi d'isopentane.

11.7 Courbes cumulatives

Le tableau présente les données nécessaires à la construction de la courbe cumulative pour chaque fluide. Ce tableau comprend le numéro du scénario considéré, le nombre de victimes estimées et l'indice d'accident majeur du point de vue des décès pour tous les scénarios en supposant que le fluide caloporteur est du propane ou de l'isobutane.

Tableau 23: Résumé des résultats (Propane – Isobutane)

Scénario	Victimes	IAM	Fréquence	Cumul
17	1000	0.9	3.5273E-11	3.5273E-11
49	1000	0.9	4.83879E-12	4.01118E-11
16	100	0.6	2.46911E-10	2.87023E-10
48	100	0.6	3.38716E-11	3.20895E-10
4	29	0.4387194	1.94198E-10	5.15093E-10
6	27	0.42940913	2.2373E-09	2.75239E-09
38	27	0.42940913	3.06915E-10	3.05931E-09
2	25	0.419382	8.91E-10	3.95031E-09
8	25	0.419382	4.33026E-10	4.38333E-09
10	25	0.419382	1.28304E-09	5.66637E-09
13	25	0.419382	1.6038E-10	5.82675E-09
32	25	0.419382	7.77645E-09	1.36032E-08
36	25	0.419382	2.66403E-11	1.36298E-08
40	25	0.419382	5.9403E-11	1.36892E-08
42	25	0.419382	1.76009E-10	1.38653E-08
44	25	0.419382	3.30017E-11	1.38983E-08

Scénario	Victimes	IAM	Fréquence	Cumul
15	10	0.3	6.98406E-09	2.08823E-08
47	10	0.3	9.58081E-10	2.18404E-08
14	4	0.180618	1.74602E-08	3.93006E-08
46	4	0.180618	2.3952E-09	4.16958E-08
19	2	0.090309	2.01154E-07	2.42849E-07
51	2	0.090309	2.75945E-08	2.70444E-07
1	0	0	0.00000081	1.08044E-06
3	0	0	8.0109E-08	1.16055E-06
5	0	0	0	1.16055E-06
7	0	0	2.48589E-10	1.1608E-06
9	0	0	2.88684E-10	1.16109E-06
11	0	0	1.92456E-09	1.16301E-06
12	0	0	2.4057E-10	1.16326E-06
18	0	0	0	1.16326E-06
20	0	0	2.23504E-08	1.18561E-06
21	0	0	3.8933E-08	1.22454E-06
22	0	0	2.59553E-08	1.25049E-06
23	0	0	1.15357E-07	1.36585E-06
24	0	0	1.73035E-07	1.53889E-06
25	0	0	2.16294E-08	1.56052E-06
26	0	0	1.44196E-08	1.57494E-06
27	0	0	0.00000729	8.86494E-06
28	0	0	8.019E-08	8.94513E-06
29	0	0	7.20981E-06	1.61549E-05
30	0	0	0	1.61549E-05
31	0	0	1.76738E-06	1.79223E-05
33	0	0	6.99174E-07	1.86215E-05
34	0	0	1.06043E-06	1.96819E-05
35	0	0	1.00005E-07	1.97819E-05
37	0	0	0	1.97819E-05
39	0	0	3.41017E-11	1.97819E-05
41	0	0	3.9602E-11	1.9782E-05
43	0	0	2.64013E-10	1.97823E-05
45	0	0	2.20011E-11	1.97823E-05
50	0	0	0	1.97823E-05
52	0	0	3.06605E-09	1.97853E-05
53	0	0	5.34087E-09	1.97907E-05
54	0	0	3.56058E-09	1.97942E-05
55	0	0	1.58248E-08	1.98101E-05
56	0	0	2.37372E-08	1.98338E-05
57	0	0	2.96715E-09	1.98368E-05
58	0	0	1.9781E-09	1.98387E-05
59	0	0	4.50023E-07	2.02888E-05
60	0	0	4.95025E-09	2.02937E-05

Scénario	Victimes	IAM	Fréquence	Cumul
61	0	0	4.45072E-07	2.07388E-05
62	0	0	0.000012	3.27388E-05
63	0	0	2.112E-07	3.295E-05
64	0	0	3.168E-07	3.32668E-05
65	0	0	2.112E-07	3.3478E-05
66	0	0	3.168E-07	3.37948E-05
67	0	0	0.000048	8.17948E-05
68	0	0	0.0000768	0.000158595
69	0	0	0.0001152	0.000273795

Aucun des scénarios mettant en jeu de l'isopentane ne provoque des victimes. L'IAM lié au nombre de morts est donc nul. Ceci est dû au fait que les zones potentiellement touchées suite à un accident majeur mettant en jeu ce produit sont de faibles dimensions (pas de victime hors du site), soit que la cinétique du phénomène permet la fuite des visiteurs du site pouvant être dans une zone de danger (feu de nappe).

L'IAM des dégâts sur l'environnement doit être étudié en cas d'emploi de l'isopentane. Cependant, à l'heure actuelle, il n'est pas possible de connaître la pression de l'eau thermale dans le circuit géothermique. Sans cette donnée, il n'est pas possible de quantifier le débit de fuite de l'isopentane vers l'eau géothermale et donc d'estimer l'impact provoqué en cas de fuite. Il est prévu d'installer un capteur de détection en sortie des échangeurs sur le circuit d'eau géothermale de chaleur pour détecter la présence de fluide caloporteur. Il convient de remarquer également que les causes principales possibles de fuite dans les échangeurs de chaleur proviennent soit d'un acte de sabotage, soit d'un séisme. Les conséquences de ce phénomène ne peuvent pas être étudiées à ce stade d'avancement du projet.

Les courbes cumulatives obtenues du propane et du butane sont présentées sur la figure 72. Ces courbes sont superposées puisque les conséquences des scénarios sont similaires pour ces deux fluides caloporteurs. Les scénarios modélisés avec de l'isopentane sont tous situés sur l'axe des ordonnées et de ce fait possèdent tous un IAM lié au nombre de décès nul.

La figure 72 met en évidence que la courbe cumulative est partiellement dans le domaine intermédiaire (scénario 17 et 49). Ceci est dû au meeting international organisé par le club d'aéromodélisme « les Ailes du Lémont ». De plus la présence de visiteurs sur site explique la proximité de la courbe cumulative avec le domaine intermédiaire.

Le degré d'avancement du projet ne permet pas de définir précisément les conséquences sur l'environnement d'une fuite de fluide caloporteur dans le cas de l'isopentane. Cependant, il est prévu d'installer une capacité de rétention permettant de contenir tout le volume du fluide caloporteur. De plus, il est prévu d'installer des capteurs permettant de détecter une fuite de fluide caloporteur dans le circuit d'eau thermale.

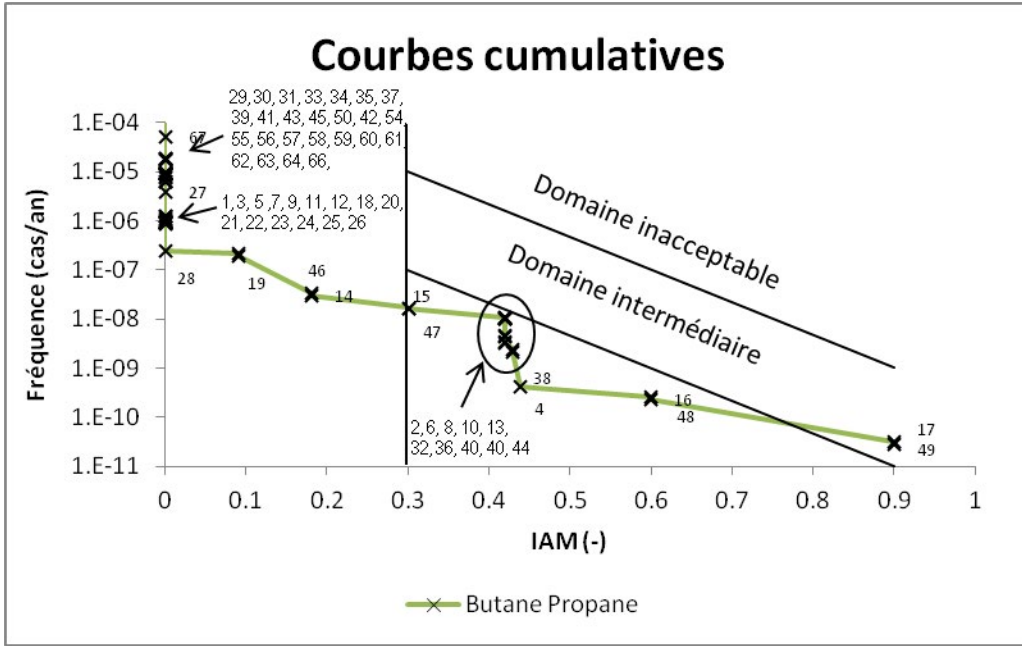


Figure 72: Courbe cumulative

11.8 Conclusions de l'analyse de risques

Le projet de Geo-Energie Suisse est situé au voisinage d'une route cantonale, d'une voie ferrée et d'un terrain accueillant occasionnellement plusieurs milliers de personnes à l'occasion de meetings d'aéromodélisme. Une étude de risques est nécessaire pour connaître dans quelles mesures ces deux axes de transport et les terrains voisins seraient impactés par un accident majeur.

L'étude de risque propose 5 scénarios différents incluant celui de rupture catastrophique de la citerne de stockage, des fuites par rupture guillotine à différentes positions et des fuites continues par un orifice de 20 mm de diamètre :

- Une rupture catastrophique de la citerne de stockage
- Une fuite continue par rupture guillotine au niveau des pompes
- Une fuite par rupture guillotine au niveau de la canalisation de condensats
- Une fuite par un orifice de 20 mm de diamètre sur la canalisation de condensats
- Une fuite par rupture guillotine sur la canalisation de dépotage de la citerne de stockage.

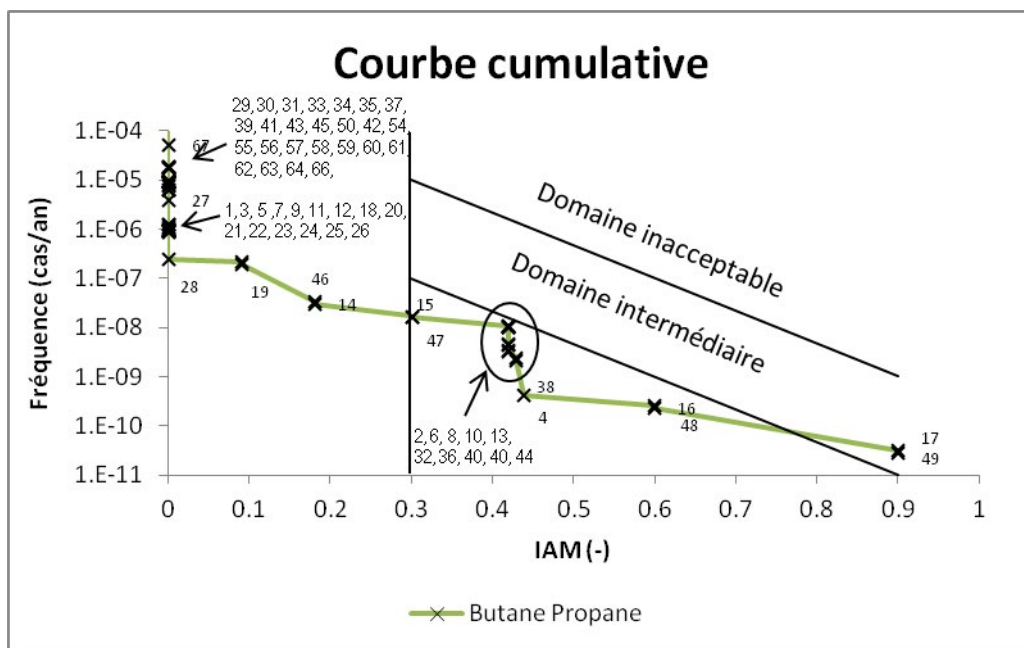
L'étude des conséquences de chacun des scénarios est réalisée sur la base de l'avancement actuel du projet. Les mesures de sécurité passives considérées sont les suivantes :

- Hangar de construction légère ne résistant pas à une surpression de plus de 100 mbar
- Cuvette de rétention étanche

Les mesures de sécurité actives considérées dans cette étude de risque sont les suivantes :

- Vanne block and bleed de part et d'autre de chacune des pompes
- Vanne asservie sur les canalisations reliées à la canalisation de condensat
- Vanne asservie sur la canalisation d'arrivée de fluide caloporteur avant les échangeurs de chaleur de la boucle géothermale
- Détecteur de fuite sur les échangeurs de chaleur

Dans les cas du propane et de l'isobutane, les résultats sont représentés par la courbe cumulative propre à chaque fluide et par une représentation graphique des zones pouvant être soumises à des flux thermiques ou des surpressions élevés.



L'intersection de la courbe cumulative avec le domaine intermédiaire est due au meeting international des « Ailes du Lémont » (scénarios 17 et 49). La proximité entre la courbe cumulative et la limite du domaine intermédiaire est due à la présence de visiteurs sur site.

Les scénarios basés sur l'emploi d'isopentane ne provoquent pas de décès hors du site. Les conséquences environnementales d'une fuite de ce produit n'ont pas pu être étudiées avec précision dans la mesure où les caractéristiques finales de l'installation ne sont pas connues.

11.9 Bibliographie

- Ayrault, N. (2001). *Risques Naturels et Environnement Industriel (DRA-013) - Rapport intermédiaire - Opération a : synthèse sur les risques dus aux séismes inondations, mouvements de terrain et tempêtes - accidentologie.*
- Basler & Hofmann (1995). *Rapport-cadre "Stockage de gaz liquéfié" pour le rapport succinct et l'étude de risque en vue de la prévention des accidents*
- Gay, B. (2008). *Manuel I de l'ordonnance sur les accidents majeurs (OPAM).*
- Giardini, D., Wiemer, S., Fäh, D., & Deichmann, N. (2004). *Seismic Hazard Assessment of Switzerland, 2004.* Zurich.
- HSE. (n.d.). *Safety report assessment guide : LPG.*
- Mannan, S. (2005). *Lees Loss Prevention in the Process Industries.* (S. Mannan, Ed.) *Federal Register* (Vol. 1, p. 3680). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-397189-0.00014-8
- MUSSON, R. M. W. (2007). British earthquakes. *Proceedings of the Geologists' Association*, 118, 305–337.
- Skyguide. (2014). *VFR - Guide.*
- Uijt de Haag, P. A. ., & Ale, B. J. . (2005). *Guideline for quantitative risk assessment.* (C. for the prevention of Disasters, Ed.) (2nd ed.). The Hague.

11.10 Données complémentaires

11.10.1 Risque sismique

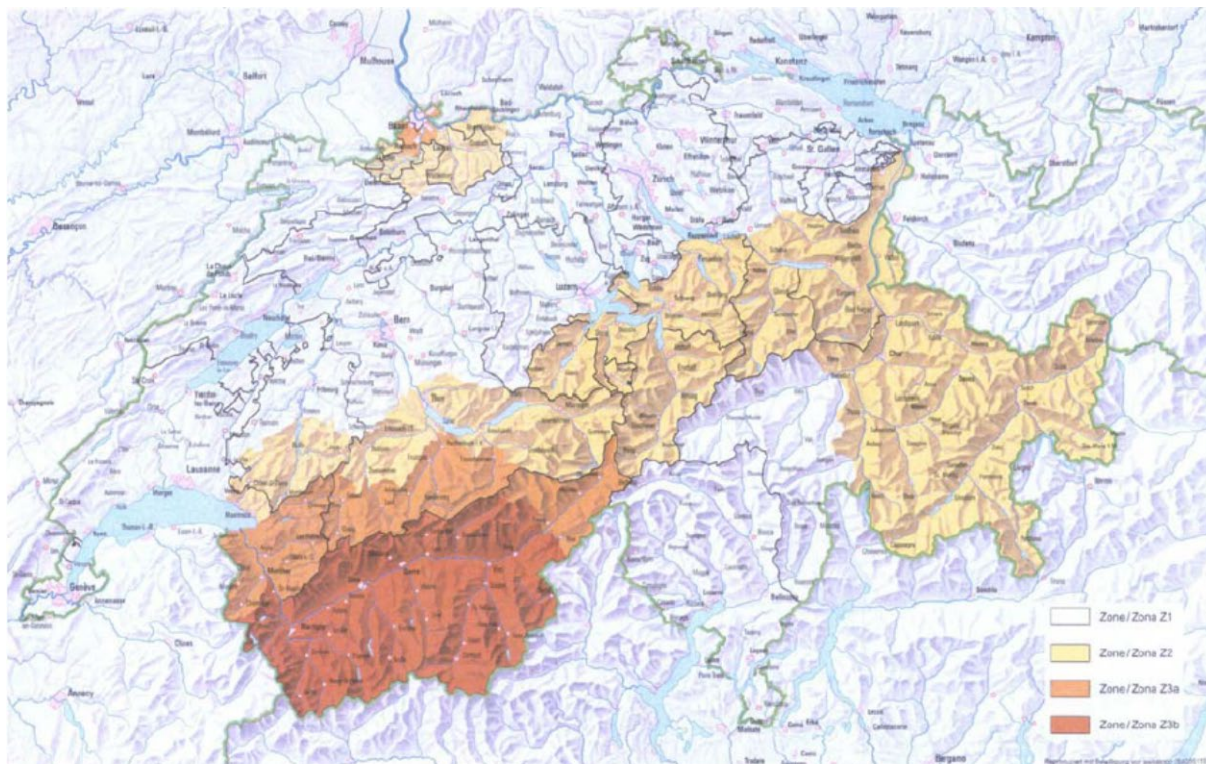


Figure 33 : carte des zones sismiques en Suisse. Le canton du Jura est classé Zone 1 [14]

L'étude sismique produite par l'ETHZ en 2014 a été prise en compte pour l'analyse de risques. Elle est jointe en annexe 14.

11.10.2 Fuite suite à la rupture de la pompe – Débit de fuite – Propane

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: 5.06 (19.11.2014)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of release	Release from vessel through (a hole in) pipe
Pipeline length (m)	60
Pipeline diameter (mm)	93
Pipeline roughness (mm)	0.045
Hole diameter (mm)	93
Hole rounding	Sharp edges

<i>Discharge coefficient (-)</i>	0.62
Height difference between pipe entrance and exit (m)	8.235
Height leak above tank bottom (m)	0
Initial temperature in vessel (°C)	20
Vessel volume (m3)	52
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	47
Filling degree (%)	38
Expansion type	Adiabatic
<i>n value</i>	
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	12
Type of calculation	Calculate until device is empty
<i>Time t after start release (s)</i>	

Results

Initial mass in vessel (kg)	10613
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	12
Time needed to empty vessel (s)	612.89
<i>Mass flow rate at end outflow (kg/s)</i>	0
Total mass released (kg)	10491
<i>Pressure in vessel at end outflow (bar)</i>	1.0151
<i>Temperature in vessel at end outflow (°C)</i>	-43.082
<i>Vapour Mass fraction at end outflow (%)</i>	100
<i>Liquid mass in vessel at end outflow (kg)</i>	0
<i>Vapour mass in vessel at end outflow (kg)</i>	121.76
<i>Height of liquid at end outflow (m)</i>	0
<i>Filling degree at end outflow (%)</i>	0
<i>Exit pressure at end outflow (bar)</i>	1.0151
<i>Exit temperature at end outflow (°C)</i>	-43.082
Maximum mass flow rate (kg/s)	51.287
Representative release rate (kg/s)	45.375
Representative outflow duration (s)	231
Representative temperature (°C)	19.817
Representative pressure at exit (bar)	8.3262
Representative vapour mass fraction (%)	0.061158

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.3 Fuite suite à la rupture de la pompe – Spray release – Propane

Model: Liquefied Gas Spray Release

version: 5.05 (19.11.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E, Page: 2.105 / 2.112, Section: 2.5.3.7 [Finite duration spray releases] / 2.5.3.8 [Instantaneous release of pressurised liquefied vapours]

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Mass flow rate of the source (kg/s)	45.375
Exit temperature (°C)	19.817
Exit pressure (bar)	8.3262
Exit vapour mass fraction (%)	0.061158
Hole diameter (mm)	93
Height leak above ground level (m)	1
Ambient temperature (°C)	9
Ambient relative humidity (%)	83

Results

AFTER FLASHING AND RAINOUT: liquid mass fraction (%)	57.333
Nett mass flow to air (jet) (kg/s)	45.375
Temperature jet/cloud (°C)	-42.25
Diameter jet/cloud (m)	0.29146
Nett mass flow rained out (kg/s)	0
Temperature of the pool (°C)	-42.25
Density of the airborne mass (kg/m ³)	5.4355

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.4 Fuite suite à la rupture de la pompe – Jet fire – Propane

Model: Two-phase Jet fire
version: 4.08 (03.12.2014)
Reference: No reference available

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Mass flow rate of the source (kg/s)	45.375
Distance from release (Xd) (m)	50
Exposure duration to heat radiation (s)	20
Take protective effects of clothing into account	No
X-coordinate of release (m)	0
Y-coordinate of release (m)	0
Predefined wind direction	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	0

Results

Length of the flame (m)	67.126
Width of the flame (m)	8.3908
Heat radiation at Xd (kW/m ²)	19.729
Fraction of mortality at X (%)	51.854

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.5 Fuite suite à la rupture de la pompe – Inflammation – Propane

Model: Explosion (Multi Energy model)

version: 5.03 (03.12.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E 3rd Edition - Chapter 5: Vapour cloud explosions

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Ambient pressure (bar)	1.0151
Total mass in explosive range (kg)	854.76
Fraction of flammable cloud confined (%)	100
Curve number	2 (Very weak deflagration)
Distance from release (Xd) (m)	150
Offset between release point and cloud centre (m)	67.778
Threshold overpressure (mbar)	70
X-coordinate of release (m)	-12.27536
Y-coordinate of release (m)	-8.781065
Predefined wind direction	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	0

Results

Confined mass in explosive range (kg)	854.76
Total combustion energy (MJ)	39330
Peak overpressure at Xd (mbar)	6.9951
Peak dynamic pressure at Xd (mbar)	1.0151
Pressure impulse at Xd (Pa*s)	228.81
Positive phase duration at Xd (ms)	654.19
Dist. from centre mass of cloud at threshold overpressure (m)	-1E100
Blast-wave shape at Xd	Pressure wave
Damage (general description) at Xd	No damage or very minor damage
Damage to brick houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to typical American-style houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to structures (empirical) at Xd	No damage or very minor damage

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.6 Fuite suite à la rupture de la pompe – Dispersion – Propane

Model: Dense Gas Dispersion: Explosive mass

version: 5.13 (03.12.2014)

Reference: Yellow Book 3rd edition 1997 chapter 4; Ermak, D.L. User manual for SLAB Lawrence Livermore National Laboratory, June 1990

compared to: Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

compared to: Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

compared to: Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

compared to: Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

compared to: Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

Parameters

Inputs	Dispersion N 1F (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))
Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Type of release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release
<i>Total mass released (kg)</i>						
Mass flow rate of the source (kg/s)	45.375	45.375	45.375	45.375	45.375	45.375
Duration of the release (s)	285	287	287	287	287	287
Initial liquid mass fraction (%)	57.333	57.333	57.333	57.333	57.333	57.333
<i>Fixed pool surface (m2)</i>						
Diameter of expanded jet	0.29146	0.29146	0.29146	0.29146	0.29146	0.29146

(m)						
Temperature after release (°C)	-42.25	-42.25	-42.25	-42.25	-42.25	-42.25
X-coordinate of release (m)	-12.27536	-9.884049	-9.884049	-9.884049	-9.884049	-9.884049
Y-coordinate of release (m)	-8.781065	-13.74226	-13.74226	-13.74226	-13.74226	-13.74226
Z-coordinate (height) of release (m)	1	1	1	1	1	1
Ambient temperature (°C)	9	9	9	9	9	9
Meteorological data	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	F (Very Stable)	E (Stable)	D (Neutral)	D (Neutral)	D (Neutral)	B (Unstable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	1	4	7	4	1	4
<i>Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)</i>						
Predefined wind direction	User defined	N	N	N	N	N
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	0	0	0	0	0	0
Ambient relative humidity (%)	83	83	83	83	83	83
Roughness length description	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).
Time t after start release (s)	1500	1800	1800	1800	1800	1800
Concentration averaging time (s)	20	20	20	20	20	20
Resolution of the time consuming graphs	Low	Low	Low	Low	Low	Low
Results	Dispersion N 1F (linked to Liquefied Gas Spray	Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray	Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray	Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray	Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas	Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray

	Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))
Explosive mass at time t (kg)	0	0	0	0	0	0
Height to LEL at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Length of cloud (between LEL) at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Width of cloud (between LEL) at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Offset between release location and LEL at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Maximum explosive mass (kg)	856.15	414.16	241.64	362.29	797.1	204.38
...at time tmem (s)	75	250	250	250	150	275
Start time where 95% of maximum of explosive mass is reached (s)	49.895	23.761	23.75	23.75	46.297	23.75
Time where explosive mass starts decreasing below 95% of max (s)	285	287	287	287	287	287
Length of cloud (between LEL) at time tmem (m)	128.88	91.136	70.589	77.141	93.418	45.15
Width of cloud (between LEL) at time tmem (m)	62.24	29.212	17.172	25.987	58.689	16.578
Offset between	2.9117	3.065	3.1117	3.1172	3.1125	3.1445

release location and LEL at time tmem (m)						
Maximum area of explosive cloud (m2)	5131.5	1829	881.23	1385.4	3433.2	538.9
...at time tmac (s)	285	287	287	287	287	287
Explosive mass at time tmac (kg)	854.76	414.16	241.64	362.29	797.1	204.38
Length of cloud (between LEL) at time tmac (m)	129.73	91.136	70.589	77.141	93.418	45.15
Width of cloud (between LEL) at time tmac (m)	62.24	29.212	17.172	25.987	58.689	16.578
Offset between release location and LEL at time tmac (m)	2.9117	3.065	3.1117	3.1172	3.1125	3.1445
Offset between release centre and cloud centre at time tmac (m)	67.778	48.633	38.406	41.688	49.822	25.72
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0.0385	0.0081	0	0	0	-0.0385

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.7 Fuite suite à la rupture de la pompe – Inflammation retardée – Propane

Model: Explosion (Multi Energy model)

version: 5.03 (03.12.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E 3rd Edition - Chapter 5: Vapour cloud explosions

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)
----------------------	----------------

Ambient pressure (bar)	1.0151
Total mass in explosive range (kg)	854.76
Fraction of flammable cloud confined (%)	100
Curve number	2 (Very weak deflagration)
Distance from release (Xd) (m)	150
Offset between release point and cloud centre (m)	67.778
Threshold overpressure (mbar)	70
X-coordinate of release (m)	-12.27536
Y-coordinate of release (m)	-8.781065
Predefined wind direction	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	0

Results

Confined mass in explosive range (kg)	854.76
Total combustion energy (MJ)	39330
Peak overpressure at Xd (mbar)	6.9951
Peak dynamic pressure at Xd (mbar)	1.0151
Pressure impulse at Xd (Pa*s)	228.81
Positive phase duration at Xd (ms)	654.19
Dist. from centre mass of cloud at threshold overpressure (m)	-1E100
Blast-wave shape at Xd	Pressure wave
Damage (general description) at Xd	No damage or very minor damage
Damage to brick houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to typical American-style houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to structures (empirical) at Xd	No damage or very minor damage

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.8 Fuite suite à la rupture de la pompe – Débit de fuite – Isobutane

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: 5.06 (15.12.2014)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters

Inputs

Chemical name (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of release	Release from vessel through (a hole in) pipe
Pipeline length (m)	60
Pipeline diameter (mm)	93
Pipeline roughness (mm)	0.045
Hole diameter (mm)	93
Hole rounding	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	<i>0.62</i>

Height difference between pipe entrance and exit (m)	8.235
Height leak above tank bottom (m)	0
Initial temperature in vessel (°C)	20
Vessel volume (m3)	52
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	47
Filling degree (%)	38
Expansion type	Adiabatic
<i>n value</i>	
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	4
Type of calculation	Calculate until device is empty
<i>Time t after start release (s)</i>	

Results

Initial mass in vessel (kg)	11368
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	4
Time needed to empty vessel (s)	809.24
<i>Massflowrate at end outflow (kg/s)</i>	0
Total mass released (kg)	11223
<i>Pressure in vessel at end outflow (bar)</i>	1.0151
<i>Temperature in vessel at end outflow (°C)</i>	-8.8502
<i>VapourMass fraction at end outflow (%)</i>	100
<i>Liquid mass in vessel at end outflow (kg)</i>	0
<i>Vapour mass in vessel at end outflow (kg)</i>	145.55
<i>Height of liquid at end outflow (m)</i>	0
<i>Fillingdegree at end outflow (%)</i>	0
<i>Exit pressure at end outflow (bar)</i>	1.0151
<i>Exit temperature at end outflow (°C)</i>	-8.8502
Maximum mass flow rate (kg/s)	30.167
Representative release rate (kg/s)	26.735
Representative outflow duration (s)	420
Representative temperature (°C)	19.995
Representative pressure at exit (bar)	3.0464
Representative vapour mass fraction (%)	0.0015954

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	
Chemical source date	

11.10.9 Rupture guillotine suite à la rupture de la pompe – Spray release – Isobutane

Model: Liquefied Gas Spray Release

version: 5.05 (15.12.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E, Page: 2.105 / 2.112, Section: 2.5.3.7 [Finite duration spray releases] / 2.5.3.8 [Instantaneous release of pressurised liquefied vapours]

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	ISOBUTANE (DIPPR)
Mass flow rate of the source (kg/s)	26.735
Exit temperature (°C)	19.995
Exit pressure (bar)	3.0464
Exit vapour mass fraction (%)	0.0015954
Hole diameter (mm)	93
Height leak above ground level (m)	1
Ambient temperature (°C)	9
Ambient relative humidity (%)	83

Results

AFTER FLASHING AND RAINOUT: liquid mass fraction (%)	66.704
Nett mass flow to air (jet) (kg/s)	26.735
Temperature jet/cloud (°C)	-11.72
Diameter jet/cloud (m)	0.26236
Nett mass flow rained out (kg/s)	0
Temperature of the pool (°C)	-11.72
Density of the airborne mass (kg/m ³)	8.0782

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	
Chemical source date	

Effects report created by MCHBSLD10354\fores-se at 15.12.2014 16:04:43

11.10.10 Rupture guillotine suite à la rupture de la pompe – Jet fire – Isobutane

Model: Two-phase Jet fire

version: 4.08 (15.12.2014)

Reference: No reference available

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	ISOBUTANE (DIPPR)
Mass flow rate of the source (kg/s)	26.735
Distance from release (Xd) (m)	50
Exposure duration to heat radiation (s)	20
Take protective effects of clothing into account	No
X-coordinate of release (m)	0
Y-coordinate of release (m)	0
Predefined wind direction	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	0

Results

Length of the flame (m)	56.275
Width of the flame (m)	7.0343
Heat radiation at Xd (kW/m ²)	19.729

Fraction of mortality at X (%)	51.854
--------------------------------	--------

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	
Chemical source date	

11.10.11 Rupture guillotine suite à la rupture de la pompe – Déflagration dans le bâtiment – Isobutane

Model: Explosion (Multi Energy model)

version: 5.03 (15.12.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E 3rd Edition - Chapter 5: Vapour cloud explosions

Parameters

Inputs

Chemical name (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)
Ambient pressure (bar)	1
Total mass in explosive range (kg)	234
Fraction of flammable cloud confined (%)	100
Curve number	4 (Weak deflagration)
Distance from release (Xd) (m)	1000
Offset between release point and cloud centre (m)	10
Threshold overpressure (mbar)	100
X-coordinate of release (m)	9.284638
Y-coordinate of release (m)	9.630428
Predefined wind direction	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270

Results

Confined mass in explosive range (kg)	234
Total combustion energy (MJ)	10661
Peak overpressure at Xd (mbar)	3.172
Peak dynamic pressure at Xd (mbar)	1
Pressure impulse at Xd (Pa*s)	28.356
Positive phase duration at Xd (ms)	178.79
Dist. from center mass of cloud at threshold overpressure (m)	27.042
Blast-wave shape at Xd	Shock Wave
Damage (general description) at Xd	No damage or very minor damage
Damage to brick houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to typical American-style houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to structures (empirical) at Xd	No damage or very minor damage

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.12 Rupture guillotine suite à la rupture de la pompe – Dispersion – Isobutane

Model: Dense Gas Dispersion: Explosive mass

version: 5.13 (15.12.2014)

Reference: Yellow Book 3rd edition 1997 chapter 4; Ermak, D.L. User manual for SLAB Lawrence Livermore National Laboratory, June 1990

compared to: Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Pompe butane))

compared to: Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Pompe butane))

compared to: Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Pompe butane))

compared to: Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Pompe butane))

compared to: Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Pompe butane))

Parameters

Inputs	Dispersion N 1F (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Pompe butane))	Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Pompe butane))	Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Pompe butane))	Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Pompe butane))	Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Pompe butane))	Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Pompe butane))
Chemical name (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)
Type of release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release
<i>Total mass released (kg)</i>						
Mass flow rate of the source (kg/s)	26.735	26.735	26.735	26.735	26.735	26.735
Duration of the release (s)	285	287	287	287	287	287
Initial liquid mass fraction (%)	66.704	66.704	66.704	66.704	66.704	66.704
<i>Fixed pool</i>						

<i>surface (m2)</i>						
Diameter of expanded jet (m)	0.26236	0.26236	0.26236	0.26236	0.26236	0.26236
Temperature after release (°C)	-11.72	-11.72	-11.72	-11.72	-11.72	-11.72
X-coordinate of release (m)	0	0	0	0	0	0
Y-coordinate of release (m)	0	0	0	0	0	0
Z-coordinate (height) of release (m)	1	1	1	1	1	1
Ambient temperature (°C)	9	9	9	9	9	9
Meteorological data	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	F (Very Stable)	E (Stable)	D (Neutral)	D (Neutral)	D (Neutral)	B (Unstable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	1	4	7	4	1	4
<i>Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)</i>						
Predefined wind direction	User defined	NE	E	SE	S	SW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	0	45	90	135	180	225
Ambient relative humidity (%)	83	83	83	83	83	83
Roughness length description	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).
Time t after start release (s)	1500	1800	1800	1800	1800	1800
Concentration averaging time (s)	20	20	20	20	20	20
Resolution of the time consuming graphs	Low	Low	Low	Low	Low	Low

Results	Dispersion N 1F (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Pompe butane))	Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Pompe butane))	Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Pompe butane))	Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Pompe butane))	Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Pompe butane))	Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Pompe butane))
Explosive mass at time t (kg)	0	0	0	0	0	0
Height to LEL at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Length of cloud (between LEL) at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Width of cloud (between LEL) at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Offset between release location and LEL at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Maximum explosive mass (kg)	739.55	250.99	132.61	209.85	605.92	111.79
...at time tmem (s)	225	25	275	225	250	250
Start time where 95% of maximum of explosive mass is reached (s)	72.131	23.75	23.75	23.75	48.553	23.75
Time where explosive mass starts decreasing below 95% of max (s)	285	287	287	287	287	287

Length of cloud (between LEL) at time tmem (m)	95.115	59.539	45.857	50.548	63.296	29.536
Width of cloud (between LEL) at time tmem (m)	83.265	29.004	15.529	24.776	72.886	14.963
Offset between release location and LEL at time tmem (m)	3.2627	3.4271	3.3729	3.4673	3.5046	3.4224
Maximum area of explosive cloud (m2) ...at time tmac (s)	4909.1	1175.4	509.19	851.9	2748.1	312.21
Explosive mass at time tmac (kg)	285	287	287	287	287	287
Length of cloud (between LEL) at time tmac (m)	739.55	250.32	132.61	209.85	605.92	111.79
Width of cloud (between LEL) at time tmac (m)	95.115	60.164	45.857	50.548	63.296	29.536
Offset between release location and LEL at time tmac (m)	83.265	29.004	15.529	24.776	72.886	14.963
Offset between release centre and cloud centre at time tmac (m)	3.2627	3.4271	3.3729	3.4673	3.5046	3.4224
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	50.82	33.509	26.301	28.741	35.153	18.19
	0.0385	0.0081	0	0	0	-0.0385

Other information

Main program

Effects 8.1.8.6673

Chemical database

DIPPR database

Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.13 Rupture guillotine suite à la rupture de la pompe – Inflammation retardée – Isobutane

Model: Explosion (Multi Energy model)

version: 5.03 (15.12.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E 3rd Edition - Chapter 5: Vapour cloud explosions

Parameters

Inputs

Chemical name (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)
Ambient pressure (bar)	1.0151
Total mass in explosive range (kg)	739.55
Fraction of flammable cloud confined (%)	100
Curve number	2 (Very weak deflagration)
Distance from release (Xd) (m)	150
Offset between release point and cloud centre (m)	50.82
Threshold overpressure (mbar)	70
X-coordinate of release (m)	0
Y-coordinate of release (m)	0
Predefined wind direction	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	0

Results

Confined mass in explosive range (kg)	739.55
Total combustion energy (MJ)	33695
Peak overpressure at Xd (mbar)	6.6419
Peak dynamic pressure at Xd (mbar)	1.0151
Pressure impulse at Xd (Pa*s)	206.34
Positive phase duration at Xd (ms)	621.32
Dist. from center mass of cloud at threshold overpressure (m)	-1E100
Blast-wave shape at Xd	Pressure wave
Damage (general description) at Xd	No damage or very minor damage
Damage to brick houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to typical American-style houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to structures (empirical) at Xd	No damage or very minor damage

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

Effects report created by MCHBSLD10354\fores-se at 15.12.2014 16:07:33

11.10.14 Rupture guillotine suite à la rupture de la pompe – Débit de fuite – Isopentane

Model: Liquid release

version: 5.08 (03.12.2014)

Reference: Yellow Book, CPR-14E, 3rd edition 1997, Paragraph 2.5.4
Yellow Book, CPR-14E, 3rd edition 1997, Paragraph 2.5.4

Parameters

Inputs

Chemical name (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of release	Release from vessel through (a hole in) pipe
Pipeline length (m)	60
Pipeline diameter (mm)	93
Pipeline roughness (mm)	0.45
Hole diameter (mm)	93
Hole rounding	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0.62
Vessel type	Horizontal cylinder
Vessel volume (m3)	105
Length cylinder (m)	5
Filling degree (%)	43
Overpressure above liquid (assuming closed system) (bar)	2
Height leak above tank bottom (m)	0
Initial temperature in vessel (°C)	20
Type of calculation	Calculate until device is empty
<i>Time t after start release (s)</i>	

Results

Initial mass in vessel (kg)	28058
<i>Mass flow rate at time t (kg/s)</i>	
Total mass released (kg)	28058
Time needed to empty vessel (s)	1572.9
<i>Filling degree at time t (%)</i>	
<i>Height of liquid at time t (m)</i>	
Maximum mass flow rate (kg/s)	23.579
Representative release rate (kg/s)	22.317
Representative outflow duration (s)	1257
Representative pressure (bar)	2.803

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.15 Rupture guillotine suite à la rupture de la pompe – Evaporation de nappe - Isopentane

Model: Pool evaporation

version: 5.16 (03.12.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E 2rd Edition - Chapter 5: Evaporation

Parameters

Inputs

Chemical name (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Evaporation from land or water	Land
Type of release	Continuous
Mass flow rate of the source (kg/s)	22.317
Duration of the release (s)	1257
<i>Total mass released (kg)</i>	<i>28058</i>
<i>Height pool at t=0</i>	
<i>Value pool height at t=0 (m)</i>	
Type of pool growth on Land	Spreading in bunds
<i>Type of pool growth on Water</i>	
Temperature of the pool (°C)	20
Maximum pool surface area (m2)	500
Temperature of the subsoil (°C)	9
<i>Temperature of the water (°C)</i>	
<i>Max temperature difference between pool and water (K)</i>	
Wind speed at 10 m height (m/s)	0.5
Ambient temperature (°C)	9
Ambient relative humidity (%)	83
Solar radiation flux	User defined
Solar heat radiation flux (W/m2)	0
<i>Cloud cover (%)</i>	
<i>Date: day number</i>	
<i>Date: month number</i>	
<i>Date: year number</i>	
<i>Latitude of the location (deg)</i>	
Type of subsoil	Isolation concrete
Subsoil roughness description	flat sandy soil, concrete, tiles, plant-yard
Maximum evaluation time for evaporation (s)	6000

Results

Heat flux from solar radiation (kW/m2)	0
Time pool spreading ends (s)	73.5
Time until pool has totally evaporated (s)	
Purple book representative evaporation rate (kg/s)	1.2917
Purple book representative evaporation duration (s)	4151
Representative temperature (°C)	10.629
Representative pool diameter (m)	25.231
Density after mixing with air (kg/m3)	1.5387
Total evaporated mass (kg)	5362
... duration evaporation time (s)	5999.5
Corresponding representative pool surface area (m2)	500

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.16 Rupture guillotine suite à la rupture de la pompe – Déflagration – Isopentane

Model: Explosion (Multi Energy model)

version: 5.03 (03.12.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E 3rd Edition - Chapter 5: Vapour cloud explosions

Parameters

Inputs

Chemical name (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)
Ambient pressure (bar)	1
Total mass in explosive range (kg)	315
Fraction of flammable cloud confined (%)	100
Curve number	4 (Weak deflagration)
Distance from release (Xd) (m)	1000
Offset between release point and cloud centre (m)	10
Threshold overpressure (mbar)	100
X-coordinate of release (m)	9.284638
Y-coordinate of release (m)	9.630428
Predefined wind direction	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270

Results

Confined mass in explosive range (kg)	315
Total combustion energy (MJ)	14144
Peak overpressure at Xd (mbar)	3.472
Peak dynamic pressure at Xd (mbar)	1
Pressure impulse at Xd (Pa*s)	34.104
Positive phase duration at Xd (ms)	196.46
Dist. from centre mass of cloud at threshold overpressure (m)	29.713
Blast-wave shape at Xd	Shock Wave
Damage (general description) at Xd	No damage or very minor damage
Damage to brick houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to typical American-style houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to structures (empirical) at Xd	No damage or very minor damage

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.17 Rupture guillotine suite à la rupture de la pompe – Feu de nappe – Isopentane

Model: Pool fire

version: 5.11 (03.12.2014)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Paragraph 6.5.4

Parameters

Inputs

Chemical name (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)
Pool size determination	Confined
Total mass released (kg)	28058
Mass flow rate of the source (kg/s)	1.2917
Duration of the release (s)	4151
Pool surface poolfire (m ²)	500
Height of the observer position above ground level (m)	1.8
Height of the confined pool above ground level (m)	0
Hole diameter (mm)	
Discharge coefficient (-)	
Initial height of the liquid above release point (m)	
Cross-sectional area of the tank (m ²)	
Pool thickness (mm)	
Temperature of the pool (°C)	20
Pool burning rate	Calculate/Default
Value of pool burning rate (kg/m ² *s)	
Fraction combustion heat radiated (%)	35
Soot Fraction	Calculate/Default
Value of soot fraction (-)	0.8
Wind speed at 10 m height (m/s)	0.5
Ambient temperature (°C)	9
Ambient relative humidity (%)	83
Amount of CO ₂ in atmosphere (%)	0.03
Distance from the centre of the pool (m)	100
Exposure duration to heat radiation (s)	20
Take protective effects of clothing into account	No
X-coordinate of release (m)	10.92011
Y-coordinate of release (m)	9.006533
Predefined wind direction	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270
Calculate all contours for	Physical effects
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m ²)	9
Heat radiation level for second contour plot (kW/m ²)	13.5
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m ²)	40
Percentage of mortality for contour calculations (%)	

Results

Max Diameter of the Pool Fire (m)	25.231
Heat radiation at X (kW/m ²)	1.7556
Heat radiation first contour at (m)	44.524
Heat radiation second contour at (m)	34.567
Heat radiation third contour at (m)	17.442
Combustion rate (kg/s)	57.935
Duration of the pool fire (s)	484.31

Heat emission from fire surface (kW/m2)	61.299
Flame tilt (deg)	17.605
View factor (%)	4.2035
Atmospheric transmissivity (%)	68.137
Flame temperature (°C)	748.01
Height of the Flame (m)	44.405
Calculated pool surface area (m2)	500
Weight ratio of HCL/chemical (%)	0
Weight ratio of NO2/chemical (%)	0
Weight ratio of SO2/chemical (%)	0
Weight ratio of CO2/chemical (%)	305.09
Weight ratio of H2O/chemical (%)	149.89

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.18 Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Débit de fuite – Propane

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: 5.06 (27.11.2014)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of release	Release from vessel through (a hole in) pipe
Pipeline length (m)	20
Pipeline diameter (mm)	93
Pipeline roughness (mm)	0.045
Hole diameter (mm)	93
Hole rounding	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0.62
Height difference between pipe entrance and exit (m)	8.25
Height leak above tank bottom (m)	0
Initial temperature in vessel (°C)	20
Vessel volume (m3)	80
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	5
Filling degree (%)	40
Expansion type	Adiabatic
<i>n value</i>	
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	12
Type of calculation	Calculate until device is empty
<i>Time t after start release (s)</i>	

Results

Initial mass in vessel (kg)	17096
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	12
Time needed to empty vessel (s)	694.26
Mass flow rate at end outflow (kg/s)	0
Total mass released (kg)	16909
Pressure in vessel at end outflow (bar)	1.0151
Temperature in vessel at end outflow (°C)	-43.195
Vapour Mass fraction at end outflow (%)	100
Liquid mass in vessel at end outflow (kg)	0
Vapour mass in vessel at end outflow (kg)	187.29
Height of liquid at end outflow (m)	0
Filling degree at end outflow (%)	0
Exit pressure at end outflow (bar)	1.0151
Exit temperature at end outflow (°C)	-43.195
Maximum mass flow rate (kg/s)	75.67
Representative release rate (kg/s)	66.212
Representative outflow duration (s)	255
Representative temperature (°C)	19.876
Representative pressure at exit (bar)	8.3309
Representative vapour mass fraction (%)	0.041618

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.19 Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Spray release – Propane

Model: Liquefied Gas Spray Release

version: 5.05 (27.11.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E, Page: 2.105 / 2.112, Section: 2.5.3.7 [Finite duration spray releases] / 2.5.3.8 [Instantaneous release of pressurised liquefied vapours]

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Mass flow rate of the source (kg/s)	66.212
Exit temperature (°C)	19.876
Exit pressure (bar)	8.3309
Exit vapour mass fraction (%)	0.041618
Hole diameter (mm)	93
Height leak above ground level (m)	1
Ambient temperature (°C)	9
Ambient relative humidity (%)	83

Results

AFTER FLASHING AND RAINOUT: liquid mass fraction (%)	56.558
--	--------

Nett mass flow to air (jet) (kg/s)	66.212
Temperature jet/cloud (°C)	-42.25
Diameter jet/cloud (m)	0.40615
Nett mass flow rained out (kg/s)	0
Temperature of the pool (°C)	-42.25
Density of the airborne mass (kg/m3)	5.3394

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.20 Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Jet fire – Propane

Model: Two-phase Jet fire

version: 4.08 (02.12.2014)

Reference: No reference available

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Mass flow rate of the source (kg/s)	66.212
Distance from release (Xd) (m)	50
Exposure duration to heat radiation (s)	20
Take protective effects of clothing into account	No
X-coordinate of release (m)	-15.38659
Y-coordinate of release (m)	17.07198
Predefined wind direction	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	260
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	0

Results

Length of the flame (m)	76.137
Width of the flame (m)	9.5172
Heat radiation at Xd (kW/m2)	19.729
Fraction of mortality at X (%)	51.854

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.21 Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Dispersion – Propane

Model: Dense Gas Dispersion: Explosive mass

version: 5.13 (27.11.2014)

Reference: Yellow Book 3rd edition 1997 chapter 4; Ermak, D.L. User manual for SLAB Lawrence Livermore National Laboratory, June 1990

compared to: Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

compared to: Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

compared to: Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

compared to: Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

compared to: Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

Parameters

	Dispersion N 1F (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))
Inputs						
Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Type of release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release
<i>Total mass released (kg)</i>						
Mass flow rate of the source (kg/s)	66.212	66.212	66.212	66.212	66.212	66.212
Duration of the release (s)	285	287	287	287	287	287
Initial liquid mass fraction (%)	56.558	56.558	56.558	56.558	56.558	56.558
<i>Fixed pool surface (m2)</i>						
Diameter of expanded jet	0.40615	0.40615	0.40615	0.40615	0.40615	0.40615

(m)						
Temperature after release (°C)	-42.25	-42.25	-42.25	-42.25	-42.25	-42.25
X-coordinate of release (m)	-17.03735	-16.4871	-17.03735	-16.4871	-17.58761	-16.4871
Y-coordinate of release (m)	17.07198	17.62223	17.62223	17.62223	17.62223	17.62223
Z-coordinate (height) of release (m)	1	1	1	1	1	1
Ambient temperature (°C)	9	9	9	9	9	9
Meteorological data	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	F (Very Stable)	E (Stable)	D (Neutral)	D (Neutral)	D (Neutral)	B (Unstable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	1	4	7	4	1	4
<i>Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)</i>						
Predefined wind direction	User defined	NE	E	SE	S	SW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	0	45	90	135	180	225
Ambient relative humidity (%)	83	83	83	83	83	83
Roughness length description	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).
Time t after start release (s)	1800	1800	1800	1800	1800	1800
Concentration averaging time (s)	20	20	20	20	20	20
Resolution of the time consuming graphs	Low	Low	Low	Low	Low	Low

Results	Dispersion N 1F (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to	Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to	Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to	Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to	Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to	Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to
---------	--	--	--	--	---	--

	Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))
Explosive mass at time t (kg)	0	0	0	0	0	0
Height to LEL at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Length of cloud (between LEL) at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Width of cloud (between LEL) at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Offset between release location and LEL at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Maximum explosive mass (kg)	2546.4	944.21	500.52	790.2	2129.6	410.43
...at time tmem (s)	150	250	250	275	100	225
Start time where 95% of maximum of explosive mass is reached (s)	98.354	34.173	23.75	24.023	72.048	23.75
Time where explosive mass starts decreasing below 95% of max (s)	285	287	287	287	287	287
Length of cloud (between LEL) at time tmem (m)	185.11	117.62	88.969	97.546	123.74	55.66
Width of cloud (between LEL) at time tmem (m)	125.74	46.687	25.317	39.971	107.44	23.841
Offset between release location and LEL at time tmem (m)	2.9024	3.0537	3.085	3.0967	3.1034	3.1361
Maximum area of explosive cloud (m2)	14553	3703.9	1591.5	2657.2	8186.4	922.77
...at time tmac	285	287	287	287	287	287

(s)						
Explosive mass at time t _{mac} (kg)	2544.2	944.21	500.52	790.2	2127	410.43
Length of cloud (between LEL) at time t _{mac} (m)	185.96	117.62	88.969	97.546	124.51	55.66
Width of cloud (between LEL) at time t _{mac} (m)	125.74	46.687	25.317	39.971	107.44	23.841
Offset between release location and LEL at time t _{mac} (m)	2.9024	3.0537	3.085	3.0967	3.1034	3.1361
Offset between release centre and cloud centre at time t _{mac} (m)	95.884	61.862	47.57	51.87	65.36	30.966
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0.0385	0.0081	0	0	0	-0.0385

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.22 Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Inflammation – Propane

Model: Explosion (Multi Energy model)

version: 5.03 (27.11.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E 3rd Edition - Chapter 5: Vapour cloud explosions

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Ambient pressure (bar)	1.0151
Total mass in explosive range (kg)	2544.2
Fraction of flammable cloud confined (%)	8
Curve number	4 (Weak deflagration)
Distance from release (X _d) (m)	150
Offset between release point and cloud centre (m)	95.884
Threshold overpressure (mbar)	70
X-coordinate of release (m)	-17.03735
Y-coordinate of release (m)	17.07198
Predefined wind direction	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	0

Results

Confined mass in explosive range (kg)	203.54
Total combustion energy (MJ)	9365.5
Peak overpressure at Xd (mbar)	20.935
Peak dynamic pressure at Xd (mbar)	1.0151
Pressure impulse at Xd (Pa*s)	178.35
Positive phase duration at Xd (ms)	170.38
Dist. from centre mass of cloud at threshold overpressure (m)	45.659
Blast-wave shape at Xd	Pressure wave
Damage (general description) at Xd	No damage or very minor damage
Damage to brick houses at Xd	Damage to roofs, ceilings, minor crack formation in plastering, more than 1% damage to glass panels (1 - 1.5 kPa)
Damage to typical American-style houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to structures (empirical) at Xd	No damage or very minor damage

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.23 Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Débit de fuite – – Isobutane

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)
version: 5.06 (15.12.2014)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters

Inputs	
Chemical name (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of release	Release from vessel through (a hole in) pipe
Pipeline length (m)	20
Pipeline diameter (mm)	93
Pipeline roughness (mm)	0.045
Hole diameter (mm)	93
Hole rounding	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0.62
Height difference between pipe entrance and exit (m)	8.25
Height leak above tank bottom (m)	0
Initial temperature in vessel (°C)	20
Vessel volume (m3)	77

Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	5
Filling degree (%)	38
Expansion type	Adiabatic
<i>n value</i>	
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	4
Type of calculation	Calculate until device is empty
<i>Time t after start release (s)</i>	

Results

Initial mass in vessel (kg)	16834
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	4
Time needed to empty vessel (s)	808.91
<i>Massflowrate at end outflow (kg/s)</i>	0
Total mass released (kg)	16618
<i>Pressure in vessel at end outflow (bar)</i>	1.0151
<i>Temperature in vessel at end outflow (°C)</i>	-8.9387
<i>VapourMass fraction at end outflow (%)</i>	100
<i>Liquid mass in vessel at end outflow (kg)</i>	0
<i>Vapour mass in vessel at end outflow (kg)</i>	215.91
<i>Height of liquid at end outflow (m)</i>	0
<i>Fillingdegree at end outflow (%)</i>	0
<i>Exit pressure at end outflow (bar)</i>	1.0151
<i>Exit temperature at end outflow (°C)</i>	-8.9387
Maximum mass flow rate (kg/s)	45.701
Representative release rate (kg/s)	40.434
Representative outflow duration (s)	411
Representative temperature (°C)	20
Representative pressure at exit (bar)	3.0471
Representative vapour mass fraction (%)	0

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.24 Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Spray release – Isobutane

Model: Liquefied Gas Spray Release

version: 5.05 (15.12.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E, Page: 2.105 / 2.112, Section: 2.5.3.7 [Finite duration spray releases] / 2.5.3.8 [Instantaneous release of pressurised liquefied vapours]

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	ISOBUTANE (DIPPR)
Mass flow rate of the source (kg/s)	40.434

Exit temperature (°C)	20
Exit pressure (bar)	3.0471
Exit vapour mass fraction (%)	0
Hole diameter (mm)	93
Height leak above ground level (m)	1
Ambient temperature (°C)	9
Ambient relative humidity (%)	83

Results

AFTER FLASHING AND RAINOUT: liquid mass fraction (%)	66.496
Nett mass flow to air (jet) (kg/s)	40.434
Temperature jet/cloud (°C)	-11.72
Diameter jet/cloud (m)	0.37053
Nett mass flow rained out (kg/s)	0
Temperature of the pool (°C)	-11.72
Density of the airborne mass (kg/m ³)	8.0287

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.25 Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Jet fire – Isobutane

Model: Two-phase Jet fire

version: 4.08 (15.12.2014)

Reference: No reference available

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	ISOBUTANE (DIPPR)
Mass flow rate of the source (kg/s)	40.434
Distance from release (Xd) (m)	50
Exposure duration to heat radiation (s)	20
Take protective effects of clothing into account	No
X-coordinate of release (m)	0.5757931
Y-coordinate of release (m)	0.7941877
Predefined wind direction	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	260
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	0

Results

Length of the flame (m)	64.596
Width of the flame (m)	8.0744
Heat radiation at Xd (kW/m ²)	19.729
Fraction of mortality at X (%)	51.854

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
--------------	--------------------

Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.26 Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Dispersion atm – Isobutane

Model: Dense Gas Dispersion: Explosive mass

version: 5.13 (15.12.2014)

Reference: Yellow Book 3rd edition 1997 chapter 4; Ermak, D.L. User manual for SLAB Lawrence Livermore National Laboratory, June 1990

compared to: Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))

compared to: Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))

compared to: Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))

compared to: Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))

compared to: Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))

Parameters

	Dispersion N 1F (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))
Inputs						
Chemical name (YAWS)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)
Type of release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release
<i>Total mass released (kg)</i>						
Mass flow rate of the source (kg/s)	40.434	40.434	40.434	40.434	40.434	40.434
Duration of the release (s)	303	287	287	287	287	287
Initial liquid mass fraction (%)	66.496	66.496	66.496	66.496	66.496	66.496
<i>Fixed pool surface (m2)</i>						
Diameter of expanded jet (m)	0.37053	0.37053	0.37053	0.37053	0.37053	0.37053

Temperature after release (°C)	-11.72	-11.72	-11.72	-11.72	-11.72	-11.72
X-coordinate of release (m)	-0.325914	-1.071803	0.9871654	-0.1177436	-0.5545758	-0.8768782
Y-coordinate of release (m)	0.1428804	-0.04769746	-0.5549613	2.760968	1.055026	-0.1742598
Z-coordinate (height) of release (m)	1	1	1	1	1	1
Ambient temperature (°C)	9	9	9	9	9	9
Meteorological data	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	F (Very Stable)	E (Stable)	D (Neutral)	D (Neutral)	D (Neutral)	B (Unstable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	1	4	7	4	1	4
<i>Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)</i>						
Predefined wind direction	N	NE	E	SE	S	SW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	0	45	90	135	180	225
Ambient relative humidity (%)	83	83	83	83	83	83
Roughness length description	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).
Time t after start release (s)	3600	1800	1800	1800	1800	1800
Concentration averaging time (s)	20	20	20	20	20	20
Resolution of the time consuming graphs	Low	Low	Low	Low	Low	Low
Results	Dispersion N 1F (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1) (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1) (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1) (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1) (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1) (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1) (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))
Explosive mass	0	0	0	0	0	0

at time t (kg)						
Height to LEL at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Length of cloud (between LEL) at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Width of cloud (between LEL) at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Offset between release location and LEL at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Maximum explosive mass (kg)	2059.2	563.45	273.56	457.3	1459.3	228.51
...at time tmem (s)	275	275	275	100	100	75
Start time where 95% of maximum of explosive mass is reached (s)	112.6	24.792	23.75	23.75	72.49	23.75
Time where explosive mass starts decreasing below 95% of max (s)	303	287	287	287	287	287
Length of cloud (between LEL) at time tmem (m)	125.24	77.02	57.635	63.682	82.16	36.315
Width of cloud (between LEL) at time tmem (m)	157.64	44.824	22.687	37.526	112.2	21.553
Offset between release location and LEL at time tmem (m)	3.4843	3.6135	3.4555	3.6318	3.7267	3.5101
Maximum area of explosive cloud (m2)	11872	2319.9	916.47	1615.1	5829.4	540.53
...at time tmac (s)	303	287	287	287	287	287
Explosive mass at time tmac (kg)	2059.2	563.45	273.56	457.3	1458.7	228.51
Length of cloud (between LEL) at time tmac (m)	125.24	77.02	57.635	63.682	82.558	36.315
Width of cloud (between LEL) at time tmac (m)	157.64	44.824	22.687	37.526	112.2	21.553

Offset between release location and LEL at time t _{mac} (m)	3.4843	3.6135	3.4555	3.6318	3.7267	3.5101
Offset between release centre and cloud centre at time t _{mac} (m)	66.107	42.124	32.273	35.473	45.006	21.668
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0.0385	0.0081	0	0	0	-0.0385

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.27 Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Débit de fuite – Isopentane

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: 5.06 (27.11.2014)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters

Inputs

Chemical name (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of release	Release from vessel through (a hole in) pipe
Pipeline length (m)	20
Pipeline diameter (mm)	93
Pipeline roughness (mm)	0.045
Hole diameter (mm)	93
Hole rounding	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0.62
Height difference between pipe entrance and exit (m)	8.25
Height leak above tank bottom (m)	0
Initial temperature in vessel (°C)	20
Vessel volume (m ³)	105.48
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	5
Filling degree (%)	43
Expansion type	Adiabatic
<i>n value</i>	
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	2
Type of calculation	Calculate until device is empty
<i>Time t after start release (s)</i>	

Results

Initial mass in vessel (kg)	28581
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	2
Time needed to empty vessel (s)	1514.6
Mass flow rate at end outflow (kg/s)	0
Total mass released (kg)	28236
Pressure in vessel at end outflow (bar)	1.0151
Temperature in vessel at end outflow (°C)	12.123
Vapour Mass fraction at end outflow (%)	100
Liquid mass in vessel at end outflow (kg)	0
Vapour mass in vessel at end outflow (kg)	344.41
Height of liquid at end outflow (m)	0
Filling degree at end outflow (%)	0
Exit pressure at end outflow (bar)	1.0151
Exit temperature at end outflow (°C)	12.123
Maximum mass flow rate (kg/s)	32.204
Representative release rate (kg/s)	29.756
Representative outflow duration (s)	949
Representative temperature (°C)	20
Representative pressure at exit (bar)	1.4167
Representative vapour mass fraction (%)	0

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.28 Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Evaporation – Isopentane

Model: Pool evaporation

version: 5.16 (27.11.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E 2rd Edition - Chapter 5: Evaporation

compared to: 4 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1)

compared to: 7 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1)

Parameters

Inputs	1 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1)	4 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1)	7 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1)
Chemical name (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)	First 20% average (flammable)	First 20% average (flammable)
Evaporation from land or water	Land	Land	Land
Type of release	Continuous	Continuous	Continuous
Mass flow rate of the	29.756	29.756	29.756

source (kg/s)			
Duration of the release (s)	949	949	949
Total mass released (kg)	28236	28236	28236
Height pool at t=0			
Value pool height at t=0 (m)			
Type of pool growth on Land	Spreading in bunds	Spreading in bunds	Spreading in bunds
Type of pool growth on Water			
Temperature of the pool (°C)	9	9	9
Maximum pool surface area (m2)	500	500	500
Temperature of the subsoil (°C)	9	9	9
Temperature of the water (°C)			
Max temperature difference between pool and water (K)			
Wind speed at 10 m height (m/s)	1	4	7
Ambient temperature (°C)	9	9	9
Ambient relative humidity (%)	83	83	83
Solar radiation flux	User defined	User defined	User defined
Solar heat radiation flux (W/m2)	700	700	700
Cloud cover (%)			
Date: day number			
Date: month number			
Date: year number			
Latitude of the location (deg)			
Type of subsoil	Isolation concrete	Isolation concrete	Isolation concrete
Subsoil roughness description	flat sandy soil, concrete, tiles, plant-yard	flat sandy soil, concrete, tiles, plant-yard	flat sandy soil, concrete, tiles, plant-yard
Maximum evaluation time for evaporation (s)	6000	6000	6000
Results	1 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1)	4 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1)	7 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1)
Heat flux from solar radiation (kW/m2)	0.7	0.7	0.7
Time pool spreading	56	59	61.5

ends (s)			
Time until pool has totally evaporated (s)			
Purple book representative evaporation rate (kg/s)	1.8004	3.6871	4.6956
Purple book representative evaporation duration (s)	4769.2	3577.4	3360.3
Representative temperature (°C)	4.9785	-4.2644	-8.9024
Representative pool diameter (m)	25.231	25.231	25.231
Density after mixing with air (kg/m3)	1.4694	1.3777	1.3484
Total evaporated mass (kg)	8586.8	13190	15778
... duration evaporation time (s)	5999.5	5999.5	5999.5
Corresponding representative pool surface area (m2)	500	500	500

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.29 Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Dispersion – Isopentane

Model: Neutral Gas Dispersion: Explosive mass
version: 5.14 (03.12.2014)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

compared to: Disp N 4E (linked to Pool evaporation - 4 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1))

compared to: Disp N 7D (linked to Pool evaporation - 7 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1))

compared to: Disp N 4D (linked to Pool evaporation - 4 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1))

compared to: Disp N 1D (linked to Pool evaporation - 1 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1))

compared to: Disp N 4B (linked to Pool evaporation - 4 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1))

Parameters

Inputs	Disp N 1F	Disp N 4E	Disp N 7D	Disp N 4D	Disp N 1D	Disp N 4B
--------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

	(linked to Pool evaporation - 1 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1))	(linked to Pool evaporation - 4 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1))	(linked to Pool evaporation - 7 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1))	(linked to Pool evaporation - 4 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1))	(linked to Pool evaporation - 1 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1))	(linked to Pool evaporation - 4 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1))
Chemical name (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)
Type of release	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	28236	28236	28236	28236	28236	28236
Mass flow rate of the source (kg/s)	1.8004	3.6871	4.6956	3.6871	1.8004	3.6871
Duration of the release (s)	4769.2	3577.4	3360.3	3577.4	4769.2	3577.4
X-coordinate of release (m)	-15.44426	-15.44426	-15.44426	-15.44426	-15.44426	-15.44426
Y-coordinate of release (m)	16.72677	16.72677	16.72677	16.72677	16.72677	16.72677
Z-coordinate (height) of release (m)	0	0	0	0	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	10	10	10	10	10	10
Length source in crosswind (y) direction (m)	25.231	25.231	25.231	25.231	25.231	25.231
Length source in vertical (z) direction (m)	0	0	0	0	0	0
Ambient temperature (°C)	9	9	9	9	9	9
Meteorological data	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	F (Very Stable)	E (Stable)	D (Neutral)	D (Neutral)	D (Neutral)	B (Unstable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	1	4	7	4	1	4
Latitude of the location (deg)	47.33	47.33	47.33	47.33	47.33	47.33
Inverse Monin-Obukhov length (1/L)						

(1/m)							
Mixing height (m)							
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)							
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)							
Roughness length description	Cultivated land	Cultivated land	Cultivated land	Cultivated land	Cultivated land	Cultivated land	Cultivated land
Predefined wind direction	N	NE	E	SE	S	SW	
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	0	45	90	135	180	225	
Time t after start release (s)							
Concentration averaging time (s)	60	60	60	60	60	60	60
Integration tolerance (%)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Resolution of the time consuming graphs							
Results	Disp N 1F (linked to Pool evaporation - 1 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1))	Disp N 4E (linked to Pool evaporation - 4 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1))	Disp N 7D (linked to Pool evaporation - 7 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1))	Disp N 4D (linked to Pool evaporation - 4 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1))	Disp N 1D (linked to Pool evaporation - 1 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1))	Disp N 4B (linked to Pool evaporation - 4 ms (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Isop scénario 1))	
	Total explosive mass (kg)	20.767	0.22623	0	0	2.6999	0
Height to LEL (m)	0.9	0.4	0	0	0.8	0	0
Length of cloud (between LEL)	22.4	1.04	0	0	4	0	0

(m)						
Width of cloud (between LEL)	25.315	24.859	0	0	25.152	0
(m)						
Offset between release location and LEL (m)	5.01	5.01	0	0	5.01	0
Maximum area of explosive cloud (m ²)	532.65	24.831	0	0	95.166	0
Explosive mass at time t _{mac} (kg)	20.767	0.22623	0	0	2.6999	0
Inverse Monin- Obukhov length (1/L) used (1/m)	0.057774	0.01291	0	0	0	-0.049044
Mixing height used (m)	50	214.49	500	500	218.74	1500
Stand. dev. of turbulent velocity in vert. direction used (m/s)	0.12348	0.75399	1.5529	0.88739	0.22185	2.2675
Stand. dev. of turbulent velocity in horiz. direction used (m/s)	0.084488	0.51589	1.0671	0.6098	0.15245	0.7702

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.30 Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Inflammation – Isopentane

Model: Explosion (Multi Energy model)

version: 5.03 (27.11.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E 3rd Edition - Chapter 5: Vapour cloud explosions

Parameters

Inputs

Chemical name (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)
Ambient pressure (bar)	1.0151
Total mass in explosive range (kg)	20.767

Fraction of flammable cloud confined (%)	8
Curve number	4 (Weak deflagration)
Distance from release (Xd) (m)	150
Offset between release point and cloud centre (m)	16.21
Threshold overpressure (mbar)	70
X-coordinate of release (m)	-15.44426
Y-coordinate of release (m)	16.72677
Predefined wind direction	N
<i>Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)</i>	0

Results

Confined mass in explosive range (kg)	1.6614
Total combustion energy (MJ)	74.598
Peak overpressure at Xd (mbar)	4.0886
Peak dynamic pressure at Xd (mbar)	1.0151
Pressure impulse at Xd (Pa*s)	6.9561
Positive phase duration at Xd (ms)	34.026
Dist. from centre mass of cloud at threshold overpressure (m)	9.1185
Blast-wave shape at Xd	Shock Wave
Damage (general description) at Xd	No damage or very minor damage
Damage to brick houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to typical American-style houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to structures (empirical) at Xd	No damage or very minor damage

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

Parameters

Inputs

Chemical name (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)
Ambient pressure (bar)	1.0151
Total mass in explosive range (kg)	20.767
Fraction of flammable cloud confined (%)	8
Curve number	4 (Weak deflagration)
Distance from release (Xd) (m)	150
Offset between release point and cloud centre (m)	16.21
Threshold overpressure (mbar)	70
X-coordinate of release (m)	-15.44426
Y-coordinate of release (m)	16.72677
Predefined wind direction	N
<i>Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)</i>	0

Results

Confined mass in explosive range (kg)	1.6614
Total combustion energy (MJ)	74.598
Peak overpressure at Xd (mbar)	4.0886
Peak dynamic pressure at Xd (mbar)	1.0151
Pressure impulse at Xd (Pa*s)	6.9561
Positive phase duration at Xd (ms)	34.026

Dist. from centre mass of cloud at threshold overpressure (m)	9.1185
Blast-wave shape at Xd	Shock Wave
Damage (general description) at Xd	No damage or very minor damage
Damage to brick houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to typical American-style houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to structures (empirical) at Xd	No damage or very minor damage

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.31 Rupture guillotine de la canalisation de condensat – Feu de nappe – Isopentane

Model: Pool fire

version: 5.11 (03.12.2014)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Paragraph 6.5.4

Parameters

Inputs

Chemical name (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)
Pool size determination	Confined
Total mass released (kg)	28236
Mass flow rate of the source (kg/s)	3.6871
Duration of the release (s)	3577.4
Pool surface poolfire (m ²)	500
Height of the observer position above ground level (m)	2
Height of the confined pool above ground level (m)	0
Hole diameter (mm)	
Discharge coefficient (-)	
Initial height of the liquid above release point (m)	
Cross-sectional area of the tank (m ²)	
Pool thickness (mm)	
Temperature of the pool (°C)	9
Pool burning rate	Calculate/Default
Value of pool burning rate (kg/m ² *s)	
Fraction combustion heat radiated (%)	35
Soot Fraction	Calculate/Default
Value of soot fraction (-)	
Wind speed at 10 m height (m/s)	4
Ambient temperature (°C)	9
Ambient relative humidity (%)	83
Amount of CO ₂ in atmosphere (%)	0.03
Distance from the centre of the pool (m)	1000
Exposure duration to heat radiation (s)	20
Take protective effects of clothing into account	No
X-coordinate of release (m)	-17.21401
Y-coordinate of release (m)	11.8794

Predefined wind direction	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	0
Calculate all contours for	Physical effects
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	5
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	9.3
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	9.9
<i>Percentage of mortality for contour calculations (%)</i>	

Results

Max Diameter of the Pool Fire (m)	25.231
Heat radiation at X (kW/m2)	0.007271
Heat radiation first contour at (m)	70.957
Heat radiation second contour at (m)	56.974
Heat radiation third contour at (m)	55.749
Combustion rate (kg/s)	57.935
Duration of the pool fire (s)	487.38
Heat emission from fire surface (kW/m2)	64.235
Flame tilt (deg)	48.396
View factor (%)	0.02329
Atmospheric transmissivity (%)	48.601
Flame temperature (°C)	759.95
Height of the Flame (m)	41.317
Calculated pool surface area (m2)	500
Weight ratio of HCL/chemical (%)	0
Weight ratio of NO2/chemical (%)	0
Weight ratio of SO2/chemical (%)	0
Weight ratio of CO2/chemical (%)	305.09
Weight ratio of H2O/chemical (%)	149.89

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.32 Fuite par un orifice de 20 mm– Débit de fuite – Propane

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: 5.06 (27.11.2014)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of release	Release from vessel through (a hole in) pipe
Pipeline length (m)	20
Pipeline diameter (mm)	93
Pipeline roughness (mm)	0.045
Hole diameter (mm)	20

Hole rounding	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0.62
Height difference between pipe entrance and exit (m)	8.25
Height leak above tank bottom (m)	0
Initial temperature in vessel (°C)	20
Vessel volume (m ³)	80
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	5
Filling degree (%)	40
Expansion type	Adiabatic
<i>n value</i>	
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	12
Type of calculation	Calculate until device is empty
<i>Time t after start release (s)</i>	

Results

Initial mass in vessel (kg)	17096
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	12
Time needed to empty vessel (s)	3323.2
<i>Mass flow rate at end outflow (kg/s)</i>	0
Total mass released (kg)	16908
<i>Pressure in vessel at end outflow (bar)</i>	1.0151
<i>Temperature in vessel at end outflow (°C)</i>	-44.574
<i>Vapour Mass fraction at end outflow (%)</i>	100
<i>Liquid mass in vessel at end outflow (kg)</i>	0
<i>Vapour mass in vessel at end outflow (kg)</i>	188.42
<i>Height of liquid at end outflow (m)</i>	0
<i>Filling degree at end outflow (%)</i>	0
<i>Exit pressure at end outflow (bar)</i>	1.0151
<i>Exit temperature at end outflow (°C)</i>	-44.574
Maximum mass flow rate (kg/s)	6.4842
Representative release rate (kg/s)	6.3183
Representative outflow duration (s)	1800
Representative temperature (°C)	20
Representative pressure at exit (bar)	11.503
Representative vapour mass fraction (%)	0

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.33 Fuite par un orifice de 20 mm– Spray release – Propane

Model: Liquefied Gas Spray Release

version: 5.05 (27.11.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E, Page: 2.105 / 2.112, Section: 2.5.3.7 [Finite duration spray releases] / 2.5.3.8 [Instantaneous release of pressurised liquefied vapours]

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Mass flow rate of the source (kg/s)	6.3183
Exit temperature (°C)	20
Exit pressure (bar)	11.503
Exit vapour mass fraction (%)	0
Hole diameter (mm)	20
Height leak above ground level (m)	1
Ambient temperature (°C)	9
Ambient relative humidity (%)	83

Results

AFTER FLASHING AND RAINOUT: liquid mass fraction (%)	56.301
Nett mass flow to air (jet) (kg/s)	6.3183
Temperature jet/cloud (°C)	-42.25
Diameter jet/cloud (m)	0.12818
Nett mass flow rained out (kg/s)	0
Temperature of the pool (°C)	-42.25
Density of the airborne mass (kg/m3)	5.3082

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.34 Fuite par un orifice de 20 mm– Jet fire – Propane

Model: Two-phase Jet fire

version: 4.08 (03.12.2014)

Reference: No reference available

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Mass flow rate of the source (kg/s)	6.3183
Distance from release (Xd) (m)	50
Exposure duration to heat radiation (s)	20
Take protective effects of clothing into account	No
X-coordinate of release (m)	0
Y-coordinate of release (m)	0

Predefined wind direction	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	0

Results

Length of the flame (m)	34.793
Width of the flame (m)	4.3491
Heat radiation at Xd (kW/m2)	5.6169
Fraction of mortality at X (%)	0

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.35 Fuite par un orifice de 20 mm– Dispersion – Propane

Model: Dense Gas Dispersion: Explosive mass

version: 5.13 (27.11.2014)

Reference: Yellow Book 3rd edition 1997 chapter 4; Ermak, D.L. User manual for SLAB Lawrence Livermore National Laboratory, June 1990

compared to: Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

compared to: Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

compared to: Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

compared to: Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

compared to: Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

Parameters

	Dispersion N 1F	Dispersion N 4E	Dispersion N 7D	Dispersion N 4D	Dispersion N 1D	Dispersion N 4B
Inputs	(linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	(linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	(linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	(linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	(linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))
Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Type of release	Horizontal Jet	Horizontal Jet	Horizontal Jet	Horizontal Jet	Horizontal Jet	Horizontal Jet

	release	release	release	release	release	release
<i>Total mass released (kg)</i>						
Mass flow rate of the source (kg/s)	6.3183	6.3183	6.3183	6.3183	6.3183	6.3183
Duration of the release (s)	285	287	287	287	287	287
Initial liquid mass fraction (%)	56.301	56.301	56.301	56.301	56.301	56.301
<i>Fixed pool surface (m²)</i>						
Diameter of expanded jet (m)	0.12818	0.12818	0.12818	0.12818	0.12818	0.12818
Temperature after release (°C)	-42.25	-42.25	-42.25	-42.25	-42.25	-42.25
X-coordinate of release (m)	-17.03735	-16.4871	-17.03735	-16.4871	-17.58761	-16.4871
Y-coordinate of release (m)	17.07198	17.62223	17.62223	17.62223	17.62223	17.62223
Z-coordinate (height) of release (m)	1	1	1	1	1	1
Ambient temperature (°C)	9	9	9	9	9	9
Meteorological data	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	F (Very Stable)	E (Stable)	D (Neutral)	D (Neutral)	D (Neutral)	B (Unstable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	1	4	7	4	1	4
<i>Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)</i>						
Predefined wind direction	User defined	N	N	N	N	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	0	0	0	0	0	270
Ambient relative humidity (%)	83	83	83	83	83	83
Roughness length description	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).
Time t after start release (s)	1800	1800	1800	1800	1800	1800

Concentration averaging time (s)	20	20	20	20	20	20
Resolution of the time consuming graphs	Low	Low	Low	Low	Low	Low
Results	Dispersion N 1F (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))
Explosive mass at time t (kg)	0	0	0	0	0	0
Height to LEL at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Length of cloud (between LEL) at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Width of cloud (between LEL) at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Offset between release location and LEL at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Maximum explosive mass (kg)	39.024	21.292	12.4	18.5	35.783	10.634
...at time tmem (s)	275	250	225	275	200	275
Start time where 95% of maximum of explosive mass is reached (s)	23.75	23.75	23.75	23.75	23.75	23.75
Time where explosive mass starts decreasing below 95% of max (s)	285	287	287	287	287	287
Length of cloud	34.146	26.209	20.634	22.732	26.121	13.616

(between LEL) at time tmem (m)						
Width of cloud (between LEL) at time tmem (m)	15.922	8.2464	5.0169	7.3245	14.867	5.2458
Offset between release location and LEL at time tmem (m)	2.6272	2.7603	2.7827	2.798	2.7925	2.793
Maximum area of explosive cloud (m2)	363.17	160.93	84.112	126.51	259.83	57.021
...at time tmac (s)	285	287	287	287	287	287
Explosive mass at time tmac (kg)	39.024	21.292	12.4	18.5	35.783	10.634
Length of cloud (between LEL) at time tmac (m)	34.146	26.209	20.634	22.732	26.121	13.616
Width of cloud (between LEL) at time tmac (m)	15.922	8.2464	5.0169	7.3245	14.867	5.2458
Offset between release location and LEL at time tmac (m)	2.6272	2.7603	2.7827	2.798	2.7925	2.793
Offset between release centre and cloud centre at time tmac (m)	19.7	15.865	13.1	14.164	15.853	9.6012
Inverse Monin- Obukhov length (1/L) used (1/m)	0.0385	0.0081	0	0	0	-0.0385

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.36 Fuite par un orifice de 20 mm – Inflammation – Propane

Model: Explosion (Multi Energy model)

version: 5.03 (27.11.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E 3rd Edition - Chapter 5: Vapour cloud explosions

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Ambient pressure (bar)	1.0151
Total mass in explosive range (kg)	39.024
Fraction of flammable cloud confined (%)	8
Curve number	4 (Weak deflagration)
Distance from release (Xd) (m)	150
Offset between release point and cloud centre (m)	19.7
Threshold overpressure (mbar)	70
X-coordinate of release (m)	-17.03735
Y-coordinate of release (m)	17.07198
Predefined wind direction	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	0

Results

Confined mass in explosive range (kg)	3.1219
Total combustion energy (MJ)	143.65
Peak overpressure at Xd (mbar)	5.0668
Peak dynamic pressure at Xd (mbar)	1.0151
Pressure impulse at Xd (Pa*s)	10.724
Positive phase duration at Xd (ms)	42.333
Dist. from centre mass of cloud at threshold overpressure (m)	11.344
Blast-wave shape at Xd	Shock Wave
Damage (general description) at Xd	No damage or very minor damage
Damage to brick houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to typical American-style houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to structures (empirical) at Xd	No damage or very minor damage

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.37 Fuite par un orifice de 20 mm – Débit de fuite – Isobutane

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: 5.06 (15.12.2014)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters

Inputs

Chemical name (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of release	Release from vessel through (a hole in) pipe
Pipeline length (m)	20
Pipeline diameter (mm)	93
Pipeline roughness (mm)	0.045
Hole diameter (mm)	20
Hole rounding	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	<i>0.62</i>

Height difference between pipe entrance and exit (m)	8.25
Height leak above tank bottom (m)	0
Initial temperature in vessel (°C)	20
Vessel volume (m3)	77
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	5
Filling degree (%)	38
Expansion type	Adiabatic
<i>n value</i>	
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	4
Type of calculation	Calculate until device is empty
<i>Time t after start release (s)</i>	

Results

Initial mass in vessel (kg)	16834
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	4
Time needed to empty vessel (s)	5692.5
<i>Massflowrate at end outflow (kg/s)</i>	0
Total mass released (kg)	16615
<i>Pressure in vessel at end outflow (bar)</i>	1.0151
<i>Temperature in vessel at end outflow (°C)</i>	-12.506
<i>VapourMass fraction at end outflow (%)</i>	100
<i>Liquid mass in vessel at end outflow (kg)</i>	0
<i>Vapour mass in vessel at end outflow (kg)</i>	218.7
<i>Height of liquid at end outflow (m)</i>	0
<i>Fillingdegree at end outflow (%)</i>	0
<i>Exit pressure at end outflow (bar)</i>	1.0151
<i>Exit temperature at end outflow (°C)</i>	-12.506
Maximum mass flow rate (kg/s)	3.6068
Representative release rate (kg/s)	3.5484
Representative outflow duration (s)	1800
Representative temperature (°C)	20
Representative pressure at exit (bar)	3.9903
Representative vapour mass fraction (%)	0

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.38 Fuite par un orifice de 20 mm – Spray release – Isobutane

Model: Liquefied Gas Spray Release

version: 5.05 (15.12.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E, Page: 2.105 / 2.112, Section: 2.5.3.7 [Finite duration spray releases] / 2.5.3.8 [Instantaneous release of pressurised liquefied vapours]

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	ISOBUTANE (DIPPR)
Mass flow rate of the source (kg/s)	3.5484
Exit temperature (°C)	20
Exit pressure (bar)	3.9903
Exit vapour mass fraction (%)	0
Hole diameter (mm)	20
Height leak above ground level (m)	1
Ambient temperature (°C)	9
Ambient relative humidity (%)	83

Results

AFTER FLASHING AND RAINOUT: liquid mass fraction (%)	66.478
Nett mass flow to air (jet) (kg/s)	3.5484
Temperature jet/cloud (°C)	-11.72
Diameter jet/cloud (m)	0.10767
Nett mass flow rained out (kg/s)	0
Temperature of the pool (°C)	-11.72
Density of the airborne mass (kg/m ³)	8.0244

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.39 Fuite par un orifice de 20 mm – Jet fire – Isobutane

Model: Two-phase Jet fire
version: 4.08 (15.12.2014)
Reference: No reference available

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	ISOBUTANE (DIPPR)
Mass flow rate of the source (kg/s)	3.5484
Distance from release (Xd) (m)	50
Exposure duration to heat radiation (s)	20
Take protective effects of clothing into account	No
X-coordinate of release (m)	-0.3926544
Y-coordinate of release (m)	1.762635
Predefined wind direction	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	0

Results

Length of the flame (m)	28.705
Width of the flame (m)	3.5882
Heat radiation at Xd (kW/m ²)	3.1983
Fraction of mortality at X (%)	0

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.40 Fuite par un orifice de 20 mm – Dispersion – Isobutane

Model: Dense Gas Dispersion: Explosive mass

version: 5.13 (15.12.2014)

Reference: Yellow Book 3rd edition 1997 chapter 4; Ermak, D.L. User manual for SLAB Lawrence Livermore National Laboratory, June 1990

compared to: Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))

compared to: Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))

compared to: Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))

compared to: Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))

compared to: Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))

Parameters

	Dispersion N 1F (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))
Inputs						
Chemical name (YAWS)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)
Type of release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release
Total mass released (kg)						
Mass flow rate of the source (kg/s)	3.5484	3.5484	3.5484	3.5484	3.5484	3.5484

Duration of the release (s)	303	287	287	287	287	287
Initial liquid mass fraction (%)	66.478	66.478	66.478	66.478	66.478	66.478
<i>Fixed pool surface (m2)</i>						
Diameter of expanded jet (m)	0.090492	0.10767	0.10767	0.10767	0.10767	0.10767
Temperature after release (°C)	-11.72	-11.72	-11.72	-11.72	-11.72	-11.72
X-coordinate of release (m)	0	0	0	0	0	0
Y-coordinate of release (m)	0	0	0	0	0	0
Z-coordinate (height) of release (m)	1	1	1	1	1	1
Ambient temperature (°C)	9	9	9	9	9	9
Meteorological data	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	F (Very Stable)	E (Stable)	D (Neutral)	D (Neutral)	D (Neutral)	B (Unstable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	1	4	7	4	1	4
<i>Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)</i>						
Predefined wind direction	N	NE	E	SE	S	SW
<i>Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)</i>	0	45	90	135	180	225
Ambient relative humidity (%)	83	83	83	83	83	83
Roughness length description	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).
Time t after start release (s)	1800	1800	1800	1800	1800	1800
Concentration	20	20	20	20	20	20

averaging time (s)						
Resolution of the time consuming graphs	Low	Low	Low	Low	Low	Low
Results	Dispersion N 1F (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))	Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Butane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane scénario 1))
Explosive mass at time t (kg)	0	0	0	0	0	0
Height to LEL at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Length of cloud (between LEL) at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Width of cloud (between LEL) at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Offset between release location and LEL at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Maximum explosive mass (kg)	16.262	11.286	6.0659	9.5881	22.886	5.2311
...at time tmem (s)	125	100	100	50	25	175
Start time where 95% of maximum of explosive mass is reached (s)	23.75	23.75	23.75	23.75	23.75	23.75

Time where explosive mass starts decreasing below 95% of max (s)	303	287	287	287	287	287
Length of cloud (between LEL) at time tmem (m)	20.938	16.406	12.943	14.345	16.865	8.7159
Width of cloud (between LEL) at time tmem (m)	11.385	7.5423	4.1614	6.5047	16.323	4.2946
Offset between release location and LEL at time tmem (m)	2.7516	3.0177	2.8682	3.0175	3.0798	2.8374
Maximum area of explosive cloud (m2) ...at time tmac (s)	160.99	89.315	43.097	68.663	174.84	29.459
Explosive mass at time tmac (kg)	303	287	287	287	287	287
Length of cloud (between LEL) at time tmac (m)	16.262	11.286	6.0659	9.5881	22.883	5.2311
Width of cloud (between LEL) at time tmac (m)	20.938	16.406	12.943	14.345	16.997	8.7159
Offset between release location and LEL at time tmac (m)	11.385	7.5423	4.1614	6.5047	16.323	4.2946
Offset between release centre and cloud centre at time tmac (m)	2.7516	3.0177	2.8682	3.0175	3.0798	2.8374
Inverse Monin-Obukhov	13.221	11.221	9.3399	10.19	11.578	7.1953
	0.0385	0.0081	0	0	0	-0.0385

length (1/L)
used (1/m)

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.41 Fuite par un orifice de 20 mm – Inflammation – Isobutane

Model: Explosion (Multi Energy model)

version: 5.03 (15.12.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E 3rd Edition - Chapter 5: Vapour cloud explosions

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	ISOBUTANE (DIPPR)
Ambient pressure (bar)	1.0151
Total mass in explosive range (kg)	16.262
Fraction of flammable cloud confined (%)	8
Curve number	4 (Weak deflagration)
Distance from release (Xd) (m)	150
Offset between release point and cloud centre (m)	13.221
Threshold overpressure (mbar)	70
X-coordinate of release (m)	0
Y-coordinate of release (m)	0
Predefined wind direction	N
<i>Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)</i>	0

Results

Confined mass in explosive range (kg)	1.3009
Total combustion energy (MJ)	59.273
Peak overpressure at Xd (mbar)	3.8028
Peak dynamic pressure at Xd (mbar)	1.0151
Pressure impulse at Xd (Pa*s)	5.9924
Positive phase duration at Xd (ms)	31.516
Dist. from center mass of cloud at threshold overpressure (m)	8.4456
Blast-wave shape at Xd	Shock Wave
Damage (general description) at Xd	No damage or very minor damage
Damage to brick houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to typical American-style houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to structures (empirical) at Xd	No damage or very minor damage

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.42 Fuite par un orifice de 20 mm – Débit de fuite – Isopentane

11.10.43 Fuite par un orifice de 20 mm – Jet fire – Isopentane

11.10.44 Fuite par un orifice de 20 mm – Dispersion – Isopentane

11.10.45 Fuite par un orifice de 20 mm – Inflammation – Isopentane

11.10.46 Fuite par un orifice de 20 mm – Feu de nappe – Isopentane

11.10.47 Rupture guillotine de la canalisation de la citerne - Débit de fuite - Propane

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: 5.06 (24.11.2014)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of release	Release from vessel through (a hole in) pipe
Pipeline length (m)	10
Pipeline diameter (mm)	65
Pipeline roughness (mm)	0.045
Hole diameter (mm)	65
Hole rounding	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0.62
Height difference between pipe entrance and exit (m)	0
Height leak above tank bottom (m)	2
Initial temperature in vessel (°C)	20
Vessel volume (m3)	55
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	5
Filling degree (%)	90
Expansion type	Adiabatic
<i>n value</i>	
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	12
Type of calculation	Calculate until device is empty
<i>Time t after start release (s)</i>	

Results	
Initial mass in vessel (kg)	24953
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	12
Time needed to empty vessel (s)	5411.1
Mass flow rate at end outflow (kg/s)	0
Total mass released (kg)	24824
Pressure in vessel at end outflow (bar)	1.0151
Temperature in vessel at end outflow (°C)	-44.07
Vapour Mass fraction at end outflow (%)	100
Liquid mass in vessel at end outflow (kg)	0
Vapour mass in vessel at end outflow (kg)	129.26
Height of liquid at end outflow (m)	0
Filling degree at end outflow (%)	0
Exit pressure at end outflow (bar)	1.0151
Exit temperature at end outflow (°C)	-44.07
Maximum mass flow rate (kg/s)	36.305
Representative release rate (kg/s)	19.172
Representative outflow duration (s)	1295
Representative temperature (°C)	10.088
Representative pressure at exit (bar)	6.3769
Representative vapour mass fraction (%)	3.0688

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.48 Rupture guillotine de la canalisation de la citerne - Spray release - Propane

Model: Liquefied Gas Spray Release

version: 5.05 (24.11.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E, Page: 2.105 / 2.112, Section: 2.5.3.7 [Finite duration spray releases] / 2.5.3.8 [Instantaneous release of pressurised liquefied vapours]

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Mass flow rate of the source (kg/s)	19.172
Exit temperature (°C)	10.088
Exit pressure (bar)	6.3769
Exit vapour mass fraction (%)	3.0688
Hole diameter (mm)	65
Height leak above ground level (m)	1
Ambient temperature (°C)	9
Ambient relative humidity (%)	83

Results

AFTER FLASHING AND RAINOUT: liquid mass fraction (%)	61.831
--	--------

Nett mass flow to air (jet) (kg/s)	19.172
Temperature jet/cloud (°C)	-42.25
Diameter jet/cloud (m)	0.13154
Nett mass flow rained out (kg/s)	0
Temperature of the pool (°C)	-42.25
Density of the airborne mass (kg/m3)	6.0693

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.49 Rupture guillotine de la canalisation de la citerne - Jet fire - Propane

Model: Two-phase Jet fire

version: 4.08 (03.12.2014)

Reference: No reference available

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Mass flow rate of the source (kg/s)	19.172
Distance from release (Xd) (m)	50
Exposure duration to heat radiation (s)	20
Take protective effects of clothing into account	No
X-coordinate of release (m)	0
Y-coordinate of release (m)	0
Predefined wind direction	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	0

Results

Length of the flame (m)	50.37
Width of the flame (m)	6.2963
Heat radiation at Xd (kW/m2)	19.729
Fraction of mortality at X (%)	51.854

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.50 Rupture guillotine de la canalisation de la citerne - Dispersion - Propane

Model: Dense Gas Dispersion: Explosive mass

version: 5.13 (24.11.2014)

Reference: Yellow Book 3rd edition 1997 chapter 4; Ermak, D.L. User manual for SLAB Lawrence Livermore National Laboratory, June 1990

compared to: Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

compared to: Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

compared to: Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

compared to: Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

compared to: Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))

Parameters

	Dispersion N 1F (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))
Inputs						
Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Type of release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release
<i>Total mass released (kg)</i>						
Mass flow rate of the source (kg/s)	19.172	19.172	19.172	19.172	19.172	19.172
Duration of the release (s)	285	287	287	287	287	287
Initial liquid mass fraction (%)	61.831	61.831	61.831	61.831	61.831	61.831
<i>Fixed pool</i>						

surface (m ²)						
Diameter of expanded jet (m)	0.13154	0.13154	0.13154	0.13154	0.13154	0.13154
Temperature after release (°C)	-42.25	-42.25	-42.25	-42.25	-42.25	-42.25
X-coordinate of release (m)	23.68146	23.13121	22.0307	24.23172	23.68146	0
Y-coordinate of release (m)	-21.44582	-20.34531	-20.89556	-21.99607	-20.89556	0
Z-coordinate (height) of release (m)	1	1	1	1	1	1
Ambient temperature (°C)	9	9	9	9	9	9
Meteorological data	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	F (Very Stable)	E (Stable)	D (Neutral)	D (Neutral)	D (Neutral)	B (Unstable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	1	4	7	4	1	4
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)						
Predefined wind direction	User defined	N	N	N	N	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	0	0	0	0	0	270
Ambient relative humidity (%)	83	83	83	83	83	83
Roughness length description	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).
Time t after start release (s)	1800	1800	1800	1800	1800	1800
Concentration averaging time (s)	20	20	20	20	20	20
Resolution of the time consuming graphs	Low	Low	Low	Low	Low	Low

Results Dispersion N Dispersion N Dispersion N Dispersion N Dispersion N Dispersion N

	1F (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))	4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Propane scénario 1))
Explosive mass at time t (kg)	0	0	0	0	0	0
Height to LEL at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Length of cloud (between LEL) at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Width of cloud (between LEL) at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Offset between release location and LEL at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Maximum explosive mass (kg)	69.406	50.503	35.929	47.657	71.578	32.8
...at time tmem (s)	275	200	250	175	150	225
Start time where 95% of maximum of explosive mass is reached (s)	23.75	23.75	23.75	23.75	23.75	23.75
Time where explosive mass starts decreasing below 95% of max (s)	285	287	287	287	287	287
Length of cloud (between LEL) at time tmem (m)	50.863	43.047	35.89	38.565	41.632	24.838
Width of cloud (between LEL)	12.28	8.7191	6.468	8.3252	12.639	7.0201

at time tmem (m)						
Offset between release location and LEL at time tmem (m)	2.7123	2.8575	2.9162	2.9133	2.9053	2.9639
Maximum area of explosive cloud (m2)	454.2	292.87	191.65	253.63	383.88	141
...at time tmac (s)	285	287	287	287	287	287
Explosive mass at time tmac (kg)	69.406	50.503	35.929	47.657	71.578	32.8
Length of cloud (between LEL) at time tmac (m)	50.863	43.047	35.89	38.565	41.632	24.838
Width of cloud (between LEL) at time tmac (m)	12.28	8.7191	6.468	8.3252	12.639	7.0201
Offset between release location and LEL at time tmac (m)	2.7123	2.8575	2.9162	2.9133	2.9053	2.9639
Offset between release centre and cloud centre at time tmac (m)	28.144	24.381	20.861	22.196	23.721	15.383
Inverse Monin- Obukhov length (1/L) used (1/m)	0.0385	0.0081	0	0	0	-0.0385

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22.07.1999

11.10.51 Rupture guillotine de la canalisation de la citerne - Inflammation - Propane

Model: Explosion (Multi Energy model)

version: 5.03 (03.12.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E 3rd Edition - Chapter 5: Vapour cloud explosions

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Ambient pressure (bar)	1.0151
Total mass in explosive range (kg)	69.406
Fraction of flammable cloud confined (%)	8
Curve number	2 (Very weak deflagration)
Distance from release (Xd) (m)	150
Offset between release point and cloud centre (m)	28.144
Threshold overpressure (mbar)	70
X-coordinate of release (m)	23.68146
Y-coordinate of release (m)	-21.44582
Predefined wind direction	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	0

Results

Confined mass in explosive range (kg)	5.5525
Total combustion energy (MJ)	255.49
Peak overpressure at Xd (mbar)	1.2618
Peak dynamic pressure at Xd (mbar)	1.0151
Pressure impulse at Xd (Pa*s)	7.7011
Positive phase duration at Xd (ms)	122.06
Dist. from centre mass of cloud at threshold overpressure (m)	-1E100
Blast-wave shape at Xd	Pressure wave
Damage (general description) at Xd	No damage or very minor damage
Damage to brick houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to typical American-style houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to structures (empirical) at Xd	No damage or very minor damage

11.10.52 Rupture guillotine de la canalisation de la citerne - Débit de fuite –Isobutane

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: 5.06 (15.12.2014)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters

Inputs

Chemical name (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of release	Release from vessel through (a hole in) pipe
Pipeline length (m)	10
Pipeline diameter (mm)	65

Pipeline roughness (mm)	0.045
Hole diameter (mm)	65
Hole rounding	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0.62
Height difference between pipe entrance and exit (m)	0
Height leak above tank bottom (m)	2
Initial temperature in vessel (°C)	20
Vessel volume (m3)	77
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	5
Filling degree (%)	90
Expansion type	Adiabatic
<i>n value</i>	
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	4
Type of calculation	Calculate until device is empty
<i>Time t after start release (s)</i>	

Results

Initial mass in vessel (kg)	38743
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	4
Time needed to empty vessel (s)	15039
<i>Massflowrate at end outflow (kg/s)</i>	0
Total mass released (kg)	38520
<i>Pressure in vessel at end outflow (bar)</i>	1.0151
<i>Temperature in vessel at end outflow (°C)</i>	-16.435
<i>VapourMass fraction at end outflow (%)</i>	100
<i>Liquid mass in vessel at end outflow (kg)</i>	0
<i>Vapour mass in vessel at end outflow (kg)</i>	222.59
<i>Height of liquid at end outflow (m)</i>	0
<i>Fillingdegree at end outflow (%)</i>	0
<i>Exit pressure at end outflow (bar)</i>	1.0151
<i>Exit temperature at end outflow (°C)</i>	-16.435
Maximum mass flow rate (kg/s)	20.48
Representative release rate (kg/s)	10.415
Representative outflow duration (s)	1800
Representative temperature (°C)	16.385
Representative pressure at exit (bar)	2.7123
Representative vapour mass fraction (%)	1.1011

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.53 Rupture guillotine de la canalisation de la citerne - Spray release –Isobutane

Model: Liquefied Gas Spray Release

version: 5.05 (15.12.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E, Page: 2.105 / 2.112, Section: 2.5.3.7 [Finite duration spray releases] / 2.5.3.8 [Instantaneous release of pressurised liquefied vapours]

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	ISOBUTANE (DIPPR)
Mass flow rate of the source (kg/s)	10.415
Exit temperature (°C)	16.385
Exit pressure (bar)	2.7123
Exit vapour mass fraction (%)	1.1011
Hole diameter (mm)	65
Height leak above ground level (m)	1
Ambient temperature (°C)	9
Ambient relative humidity (%)	83

Results

AFTER FLASHING AND RAINOUT: liquid mass fraction (%)	69.781
Nett mass flow to air (jet) (kg/s)	10.415
Temperature jet/cloud (°C)	-11.72
Diameter jet/cloud (m)	0.11408
Nett mass flow rained out (kg/s)	0
Temperature of the pool (°C)	-11.72
Density of the airborne mass (kg/m ³)	8.8885

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.54 Rupture guillotine de la canalisation de la citerne - Jet fire –Isobutane

Model: Two-phase Jet fire

version: 4.08 (15.12.2014)

Reference: No reference available

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	ISOBUTANE (DIPPR)
Mass flow rate of the source (kg/s)	10.415
Distance from release (Xd) (m)	50
Exposure duration to heat radiation (s)	20
Take protective effects of clothing into account	No
X-coordinate of release (m)	40.4092
Y-coordinate of release (m)	-38.27641
Predefined wind direction	User defined

Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	0

Results

Length of the flame (m)	41.1
Width of the flame (m)	5.1375
Heat radiation at Xd (kW/m ²)	9.6067
Fraction of mortality at X (%)	0.7978

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.55 Rupture guillotine de la canalisation de la citerne - Dispersion –Isobutane

Model: Dense Gas Dispersion: Explosive mass

version: 5.13 (15.12.2014)

Reference: Yellow Book 3rd edition 1997 chapter 4; Ermak, D.L. User manual for SLAB Lawrence Livermore National Laboratory, June 1990

compared to: Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))

compared to: Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))

compared to: Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))

compared to: Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))

compared to: Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))

Parameters

	Dispersion N 1F (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))	Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))	Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))	Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))	Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))	Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))
Inputs	1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))	1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))	1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))	1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))	1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))	1 (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))
Chemical name (YAWS)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)	ISOBUTANE (DIPPR)
Type of release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release
<i>Total mass released (kg)</i>						
Mass flow rate of the source (kg/s)	10.415	10.415	10.415	10.415	10.415	10.415
Duration of the	285	287	287	287	287	287

release (s)						
Initial liquid mass fraction (%)	69.781	69.781	69.781	69.781	69.781	69.781
<i>Fixed pool surface (m2)</i>						
Diameter of expanded jet (m)	0.11408	0.11408	0.11408	0.11408	0.11408	0.11408
Temperature after release (°C)	-11.72	-11.72	-11.72	-11.72	-11.72	-11.72
X-coordinate of release (m)	40.69728	40.69728	39.03416	40.2815	39.86572	38.2026
Y-coordinate of release (m)	-38.8677	-40.11504	-39.69926	-38.8677	-40.9466	-40.11504
Z-coordinate (height) of release (m)	1	1	1	1	1	1
Ambient temperature (°C)	9	9	9	9	9	9
Meteorological data	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	F (Very Stable)	E (Stable)	D (Neutral)	D (Neutral)	D (Neutral)	B (Unstable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	1	4	7	4	1	4
<i>Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)</i>						
Predefined wind direction	User defined	NE	E	SE	S	SW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	0	45	90	135	180	225
Ambient relative humidity (%)	83	83	83	83	83	83
Roughness length description	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).
Time t after start release (s)	1800	1800	1800	1800	1800	1800
Concentration averaging time (s)	20	20	20	20	20	20
Resolution of the time consuming graphs	Low	Low	Low	Low	Low	Low

Results	Dispersion N 1F (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to	Dispersion N 4E (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to	Dispersion N 7D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to	Dispersion N 4D (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to	Dispersion N 1D copy (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1	Dispersion N 4B (linked to Liquefied Gas Spray Release - Propane scénario 1 (linked to
---------	---	---	---	---	---	---

	Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))	Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))	Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))	Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))	Liquefied Gas (linked to Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))	Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model) - Butane citerne))
Explosive mass at time t (kg)	0	0	0	0	0	0
Height to LEL at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Length of cloud (between LEL) at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Width of cloud (between LEL) at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Offset between release location and LEL at time t (m)	0	0	0	0	0	0
Maximum explosive mass (kg)	53.432	32.363	20.358	29.338	51.587	17.858
...at time tmem (s)	100	275	275	275	250	100
Start time where 95% of maximum of explosive mass is reached (s)	23.75	23.75	23.75	23.75	23.75	23.75
Time where explosive mass starts decreasing below 95% of max (s)	285	287	287	287	287	287
Length of cloud (between LEL) at time tmem (m)	39.188	30.691	24.652	26.959	30.42	16.645
Width of cloud (between LEL) at time tmem (m)	15.304	8.9713	5.7628	8.2222	15.144	6.0345
Offset between release location and LEL at time tmem (m)	2.8706	3.022	3.059	3.0771	3.0718	3.0918
Maximum area of explosive cloud (m2)	407.45	204.41	114.65	167.08	311.71	79.784
...at time tmac (s)	285	287	287	287	287	287
Explosive mass at time tmac (kg)	53.432	32.363	20.358	29.338	51.587	17.858
Length of cloud	39.188	30.691	24.652	26.959	30.42	16.645

(between LEL) at time tmac (m)						
Width of cloud (between LEL) at time tmac (m)	15.304	8.9713	5.7628	8.2222	15.144	6.0345
Offset between release location and LEL at time tmac (m)	2.8706	3.022	3.059	3.0771	3.0718	3.0918
Offset between release centre and cloud centre at time tmac (m)	22.465	18.368	15.385	16.557	18.282	11.415
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0.0385	0.0081	0	0	0	-0.0385

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.56 Rupture guillotine de la canalisation de la citerne – Inflammation – Isobutane

Model: Explosion (Multi Energy model)

version: 5.03 (15.12.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E 3rd Edition - Chapter 5: Vapour cloud explosions

Parameters

Inputs

Chemical name (YAWS)	ISOBUTANE (DIPPR)
Ambient pressure (bar)	1.0151
Total mass in explosive range (kg)	53.432
Fraction of flammable cloud confined (%)	8
Curve number	2 (Very weak deflagration)
Distance from release (Xd) (m)	150
Offset between release point and cloud centre (m)	22.465
Threshold overpressure (mbar)	70
X-coordinate of release (m)	40.69728
Y-coordinate of release (m)	-38.8677
Predefined wind direction	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	0

Results

Confined mass in explosive range (kg)	4.2745
Total combustion energy (MJ)	194.75
Peak overpressure at Xd (mbar)	1.1424
Peak dynamic pressure at Xd (mbar)	1.0151
Pressure impulse at Xd (Pa*s)	6.3689
Positive phase duration at Xd (ms)	111.5
Dist. from center mass of cloud at threshold overpressure (m)	-1E100
Blast-wave shape at Xd	Pressure wave
Damage (general description) at Xd	No damage or very minor damage
Damage to brick houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to typical American-style houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to structures (empirical) at Xd	No damage or very minor damage

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.57 Rupture guillotine de la canalisation de la citerne – Débit de fuite – Isobutane

Model: Liquid release

version: 5.08 (03.12.2014)

Reference: Yellow Book, CPR-14E, 3rd edition 1997, Paragraph 2.5.4 Yellow Book, CPR-14E, 3rd edition 1997, Paragraph 2.5.4

Parameters

Inputs

Chemical name (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of release	Release from vessel through (a hole in) pipe
Pipeline length (m)	10
Pipeline diameter (mm)	65
Pipeline roughness (mm)	0.045
Hole diameter (mm)	65
Hole rounding	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0.62
Vessel type	Horizontal cylinder
Vessel volume (m ³)	110
Length cylinder (m)	15
Filling degree (%)	90
Overpressure above liquid (assuming closed system) (bar)	1
Height leak above tank bottom (m)	0
Initial temperature in vessel (°C)	20
Type of calculation	Calculate until device is empty
<i>Time t after start release (s)</i>	

Results

Initial mass in vessel (kg)	61523
<i>Mass flow rate at time t (kg/s)</i>	
Total mass released (kg)	61523
Time needed to empty vessel (s)	15435
<i>Filling degree at time t (%)</i>	
<i>Height of liquid at time t (m)</i>	
Maximum mass flow rate (kg/s)	17.108
Representative release rate (kg/s)	14.241
Representative outflow duration (s)	1800
Representative pressure (bar)	1.665

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010

11.10.58 Rupture guillotine de la canalisation de la citerne – Evaporation – Isopentane

Model: Pool evaporation

version: 5.16 (03.12.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E 2rd Edition - Chapter 5: Evaporation

compared to: 4 ms (linked to Liquid release - Session 120)

compared to: 7 ms (linked to Liquid release - Session 120)

Parameters

Inputs	1 ms (linked to Liquid release - Session 120)	4 ms (linked to Liquid release - Session 120)	7 ms (linked to Liquid release - Session 120)
Chemical name (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)	First 20% average (flammable)	First 20% average (flammable)
Evaporation from land or water	Land	Land	Land
Type of release	Continuous	Continuous	Continuous
Mass flow rate of the source (kg/s)	14.241	14.241	14.241
Duration of the release (s)	1800	1800	1800
<i>Total mass released (kg)</i>	<i>61523</i>	<i>61523</i>	<i>61523</i>
<i>Height pool at t=0</i>			
<i>Value pool height at t=0 (m)</i>			
Type of pool growth on Land	Spreading in bunds	Spreading in bunds	Spreading in bunds
<i>Type of pool growth on Water</i>			
Temperature of the pool (°C)	20	20	20
Maximum pool surface area (m ²)	500	500	500
Temperature of the subsoil (°C)	9	9	9
<i>Temperature of the water (°C)</i>			
<i>Max temperature difference between pool and water (K)</i>			
Wind speed at 10 m height (m/s)	1	4	7
Ambient temperature (°C)	9	9	9
Ambient relative humidity (%)	83	83	83
Solar radiation flux	User defined	User defined	User defined
Solar heat radiation flux (W/m ²)	700	700	700
<i>Cloud cover (%)</i>			
<i>Date: day number</i>			

<i>Date: month number</i>			
<i>Date: year number</i>			
<i>Latitude of the location (deg)</i>			
Type of subsoil	Isolation concrete flat sandy soil, concrete, tiles, plant-yard	Isolation concrete flat sandy soil, concrete, tiles, plant-yard	Isolation concrete flat sandy soil, concrete, tiles, plant-yard
Subsoil roughness description			
Maximum evaluation time for evaporation (s)	6000	6000	6000
Results	1 ms (linked to Liquid release - Session 120)	4 ms (linked to Liquid release - Session 120)	7 ms (linked to Liquid release - Session 120)
Heat flux from solar radiation (kW/m2)	0.7	0.7	0.7
Time pool spreading ends (s)	122	138.5	147.5
Time until pool has totally evaporated (s)			
Purple book representative evaporation rate (kg/s)	2.0328	3.4914	4.2113
Purple book representative evaporation duration (s)	4732.3	4003.3	3909.8
Representative temperature (°C)	8.232	-5.5829	-11.411
Representative pool diameter (m)	25.231	25.231	25.231
Density after mixing with air (kg/m3)	1.4887	1.3726	1.3406
Total evaporated mass (kg)	9619.7	13977	16465
... duration evaporation time (s)	5999.5	5999.5	5999.5
Corresponding representative pool surface area (m2)	500	500	500

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.59 Rupture guillotine de la canalisation de la citerne – Dispersion – Isopentane

Model: Neutral Gas Dispersion: Explosive mass

version: 5.14 (03.12.2014)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

compared to: Disp N 4E (linked to Pool evaporation - 4 ms (linked to Liquid release - Session 120))

compared to: Disp N 7D (linked to Pool evaporation - 7 ms (linked to Liquid release - Session 120))

compared to: Disp N 4D (linked to Pool evaporation - 4 ms (linked to Liquid release - Session 120))

compared to: Disp N 1D (linked to Pool evaporation - 1 ms (linked to Liquid release - Session 120))
 compared to: Disp N 4B (linked to Pool evaporation - 4 ms (linked to Liquid release - Session 120))

Parameters

	Disp N 1F (linked to Pool evaporation - 1 ms (linked to Liquid release - Session 120))	Disp N 4E (linked to Pool evaporation - 4 ms (linked to Liquid release - Session 120))	Disp N 7D (linked to Pool evaporation - 7 ms (linked to Liquid release - Session 120))	Disp N 4D (linked to Pool evaporation - 4 ms (linked to Liquid release - Session 120))	Disp N 1D (linked to Pool evaporation - 1 ms (linked to Liquid release - Session 120))	Disp N 4B (linked to Pool evaporation - 4 ms (linked to Liquid release - Session 120))
Inputs						
Chemical name (DIPPR)	ISOPENTAN E (DIPPR)	ISOPENTAN E (DIPPR)	ISOPENTAN E (DIPPR)	ISOPENTAN E (DIPPR)	ISOPENTAN E (DIPPR)	ISOPENTAN E (DIPPR)
Type of release	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	61523	61523	61523	61523	61523	61523
Mass flow rate of the source (kg/s)	2.0328	3.4914	4.2113	3.4914	2.0328	3.4914
Duration of the release (s)	4732.3	4003.3	3909.8	4003.3	4732.3	4003.3
X-coordinate of release (m)	-15.44426	-15.44426	-15.44426	-15.44426	-15.44426	-15.44426
Y-coordinate of release (m)	16.72677	16.72677	16.72677	16.72677	16.72677	16.72677
Z-coordinate (height) of release (m)	0	0	0	0	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	10	10	10	10	10	10
Length source in crosswind (y) direction (m)	25.231	25.231	25.231	25.231	25.231	25.231
Length source in vertical (z) direction (m)	0	0	0	0	0	0
Ambient temperature (°C)	9	9	9	9	9	9
Meteorological data	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	F (Very Stable)	E (Stable)	D (Neutral)	D (Neutral)	D (Neutral)	B (Unstable)
Wind speed	1	4	7	4	1	4

at 10 m height (m/s)						
Latitude of the location (deg)	47.33	47.33	47.33	47.33	47.33	47.33
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)						
Mixing height (m)						
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)						
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)						
Roughness length description	Cultivated land	Cultivated land	Cultivated land	Cultivated land	Cultivated land	Cultivated land
Predefined wind direction	N	NE	E	SE	S	SW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	0	45	90	135	180	225
Time t after start release (s)						
Concentration averaging time (s)	60	60	60	60	60	60
Integration tolerance (%)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Resolution of the time consuming graphs						
Results	Disp N 1F (linked to Pool evaporation - 1 ms (linked to Liquid	Disp N 4E (linked to Pool evaporation - 4 ms (linked to Liquid	Disp N 7D (linked to Pool evaporation - 7 ms (linked to Liquid	Disp N 4D (linked to Pool evaporation - 4 ms (linked to Liquid	Disp N 1D (linked to Pool evaporation - 1 ms (linked to Liquid	Disp N 4B (linked to Pool evaporation - 4 ms (linked to Liquid

	release - Session 120))	release - Session 120))	release - Session 120))	release - Session 120))	release - Session 120))	release - Session 120))
Total explosive mass (kg)	30.521	0.11977	0	0	4.6409	0
Height to LEL (m)	1	0.3	0	0	0.9	0
Length of cloud (between LEL) (m)	28.4	0.69	0	0	5.54	0
Width of cloud (between LEL) (m)	25.349	24.715	0	0	25.2	0
Offset between release location and LEL (m)	5.01	5.01	0	0	5.01	0
Maximum area of explosive cloud (m ²)	671.56	16.402	0	0	131.58	0
Explosive mass at time tmac (kg)	30.521	0.11977	0	0	4.6409	0
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0.057774	0.01291	0	0	0	-0.049044
Mixing height used (m)	50	214.49	500	500	218.74	1500
Stand. dev. of turbulent velocity in vert. direction used (m/s)	0.12348	0.75399	1.5529	0.88739	0.22185	2.2675
Stand. dev. of turbulent velocity in horiz. direction used (m/s)	0.084488	0.51589	1.0671	0.6098	0.15245	0.7702

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.60 Rupture guillotine de la canalisation de la citerne – Inflammation – Isopentane

Model: Explosion (Multi Energy model)

version: 5.03 (03.12.2014)

Reference: Yellow Book CPR14E 3rd Edition - Chapter 5: Vapour cloud explosions

Parameters

Inputs

Chemical name (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)
Ambient pressure (bar)	1.0151
Total mass in explosive range (kg)	30.521
Fraction of flammable cloud confined (%)	8
Curve number	4 (Weak deflagration)
Distance from release (Xd) (m)	150
Offset between release point and cloud centre (m)	19.21
Threshold overpressure (mbar)	70
X-coordinate of release (m)	-15.44426
Y-coordinate of release (m)	16.72677
Predefined wind direction	N
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	0

Results

Confined mass in explosive range (kg)	2.4417
Total combustion energy (MJ)	109.63
Peak overpressure at Xd (mbar)	4.6228
Peak dynamic pressure at Xd (mbar)	1.0151
Pressure impulse at Xd (Pa*s)	8.9419
Positive phase duration at Xd (ms)	38.686
Dist. from centre mass of cloud at threshold overpressure (m)	10.367
Blast-wave shape at Xd	Shock Wave
Damage (general description) at Xd	No damage or very minor damage
Damage to brick houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to typical American-style houses at Xd	No damage or very minor damage
Damage to structures (empirical) at Xd	No damage or very minor damage

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

11.10.61 Rupture guillotine de la canalisation de la citerne – Feu de nappe – Isopentane

Model: Pool fire

version: 5.11 (03.12.2014)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Paragraph 6.5.4

Parameters

Inputs

Chemical name (DIPPR)	ISOPENTANE (DIPPR)
Pool size determination	Confined

Total mass released (kg)	61523
Mass flow rate of the source (kg/s)	3.4914
Duration of the release (s)	4003.3
Pool surface poolfire (m2)	500
Height of the observer position above ground level (m)	2
Height of the confined pool above ground level (m)	0
Hole diameter (mm)	
Discharge coefficient (-)	
Initial height of the liquid above release point (m)	
Cross-sectional area of the tank (m2)	
Pool thickness (mm)	
Temperature of the pool (°C)	20
Pool burning rate	Calculate/Default
Value of pool burning rate (kg/m2*s)	
Fraction combustion heat radiated (%)	35
Soot Fraction	Calculate/Default
Value of soot fraction (-)	
Wind speed at 10 m height (m/s)	4
Ambient temperature (°C)	9
Ambient relative humidity (%)	83
Amount of CO2 in atmosphere (%)	0.03
Distance from the centre of the pool (m)	1000
Exposure duration to heat radiation (s)	20
Take protective effects of clothing into account	No
X-coordinate of release (m)	-17.21401
Y-coordinate of release (m)	11.8794
Predefined wind direction	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	0
Calculate all contours for	Physical effects
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	5
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	9.3
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	9.9
Percentage of mortality for contour calculations (%)	

Results

Max Diameter of the Pool Fire (m)	25.231
Heat radiation at X (kW/m2)	0.007271
Heat radiation first contour at (m)	70.957
Heat radiation second contour at (m)	56.974
Heat radiation third contour at (m)	55.749
Combustion rate (kg/s)	57.935
Duration of the pool fire (s)	1061.9
Heat emission from fire surface (kW/m2)	64.235
Flame tilt (deg)	48.396
View factor (%)	0.02329
Atmospheric transmissivity (%)	48.601
Flame temperature (°C)	759.95
Height of the Flame (m)	41.317
Calculated pool surface area (m2)	500
Weight ratio of HCL/chemical (%)	0
Weight ratio of NO2/chemical (%)	0
Weight ratio of SO2/chemical (%)	0

Weight ratio of CO2/chemical (%)	305.09
Weight ratio of H2O/chemical (%)	149.89

Other information

Main program	Effects 8.1.8.6673
Chemical database	DIPPR database
Chemical source	DIPPR Jan2010
Chemical source date	14.09.2010

12 Conclusions

Ce document et ses annexes permettent de voir les mesures constructives, techniques et organisationnelles prises pour la sécurité des personnes et du bâtiment. L'ensemble des mesures prises, en accord avec les normes et directives en vigueur, assurent les objectifs fixés.

Les clapets de surpression dans le toit du bâtiment représentent un élément de sécurité essentiel pour prévenir les détonations et, par conséquent, contribuent à diminuer drastiquement les conséquences sur l'extérieur.

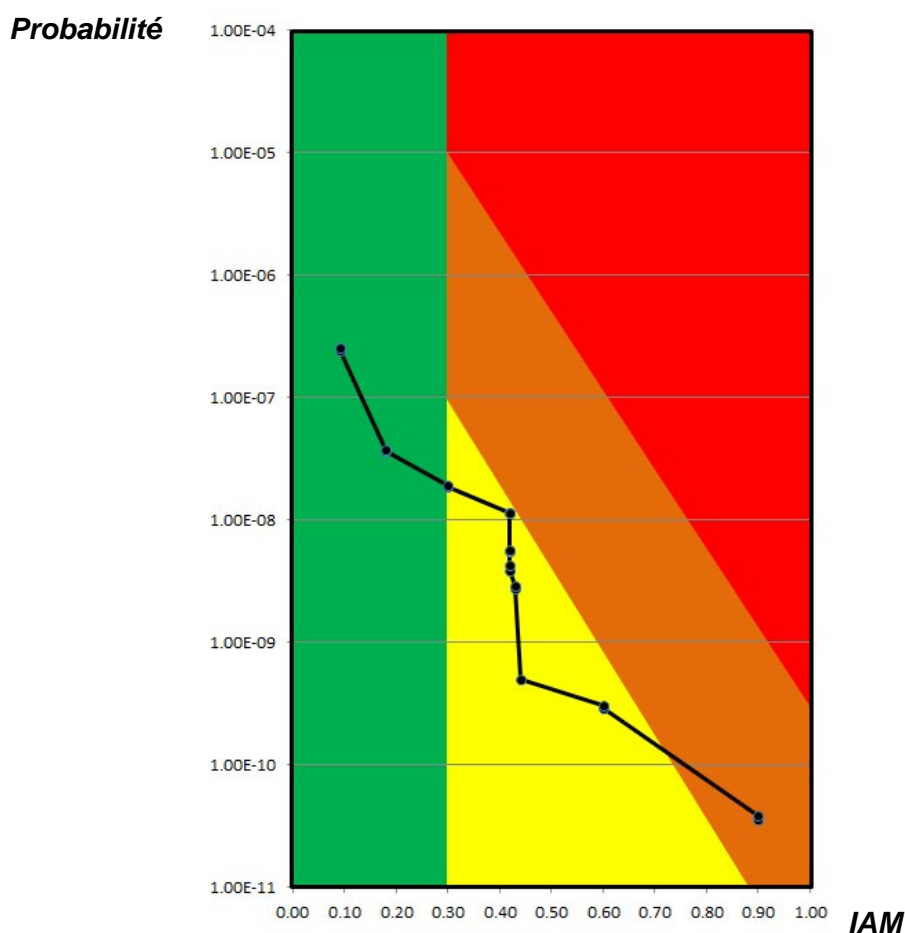
Le nombre de visiteur est acceptable jusqu'à 25 personnes à raison de 2h par semaine.

De plus, aucune opération de maintenance sur le circuit de l'ORC ne sera admise pendant les périodes de visite, ni pendant les périodes de meeting.

Dans les mesures importantes, il faut relever notamment la suppression de la détonation par la mise en place de clapets (ou tous autres systèmes équivalents) permettant de dissiper la surpression d'explosion et de garantir de ne pas dépasser la limite des 170 mbar.

Des mesures importantes de rétention sont prévues.

En résumé, voici encore une fois la courbe cumulative :



Malgré une brève incursion en zone orange et sur la base de l'analyse de risque produite, de l'état de la technique, des mesures constructives, techniques et organisationnelles qui seront mises en place, des propriétés physico-chimiques des substances considérées ainsi que des caractéristiques du site, il est possible d'admettre que le projet de centrale géothermique prévu par Geo-Energie Suisse présente un risque acceptable d'accident majeur.

Les documents existants suivants complètent le rapport :

- rapport succinct d'ESCO Conseil
- concept incendie de Swissi SA

Les documents suivants seront des compléments nécessaires à ce rapport :

- Concept ATEX
- SOP des installations
- Plan d'intervention
- Consignes de sécurité

* * *

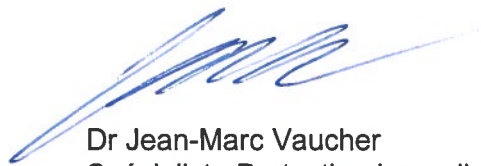
Nous restons à votre entière disposition pour vous fournir les compléments d'information qui vous seraient nécessaires. Vous pouvez également nous contacter pour des problèmes dans les domaines de la sécurité au travail, de l'environnement, de l'intrusion, de l'explosion et de la formation.

Nous vous remercions de votre collaboration et vous souhaitons une activité pleine de succès et sans incendies.

Swissi SA



Valentin Cavicchiolo
Membre de la Direction

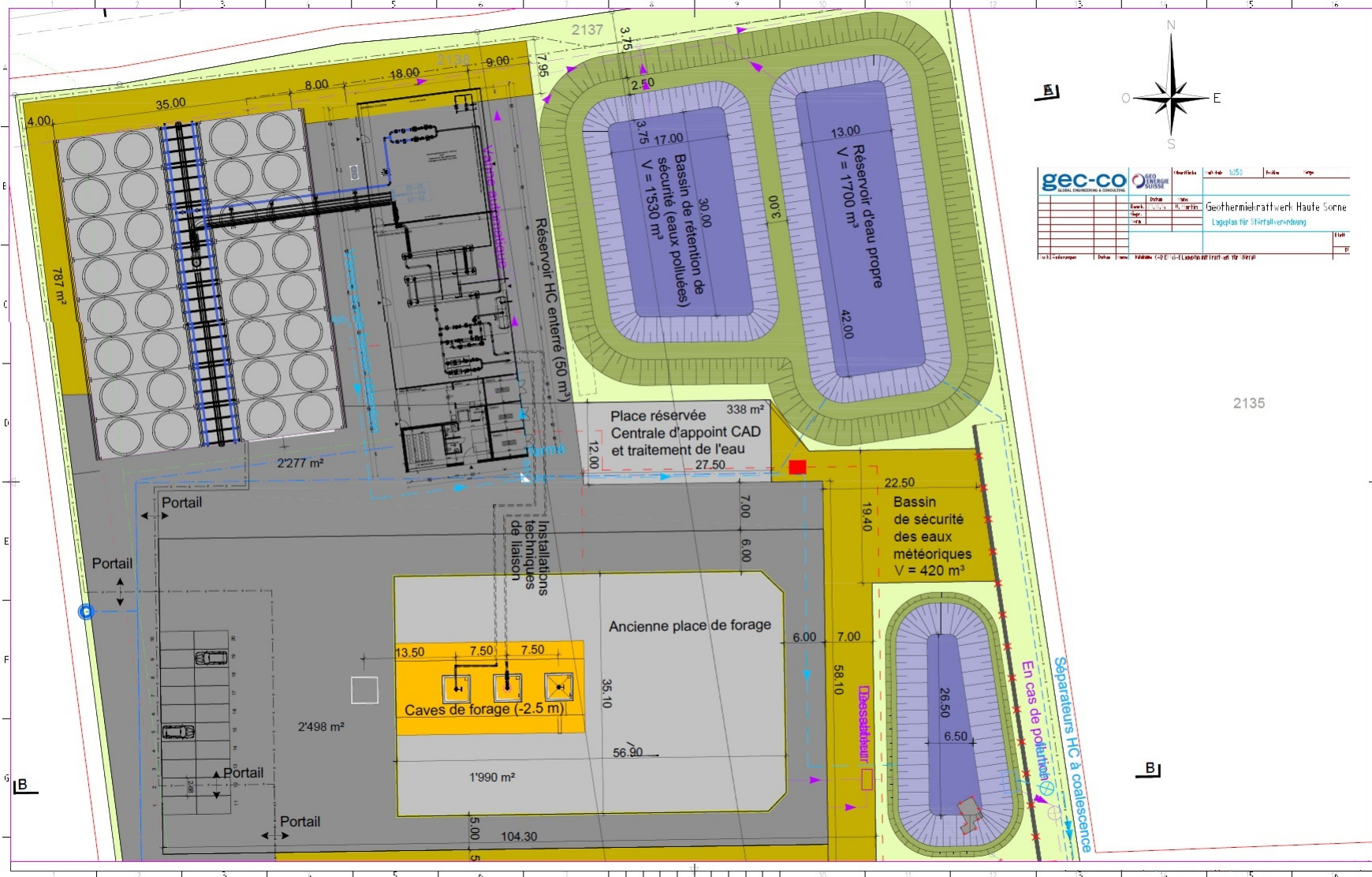


Dr Jean-Marc Vaucher
Spécialiste Protection Incendie

13 Bibliographie

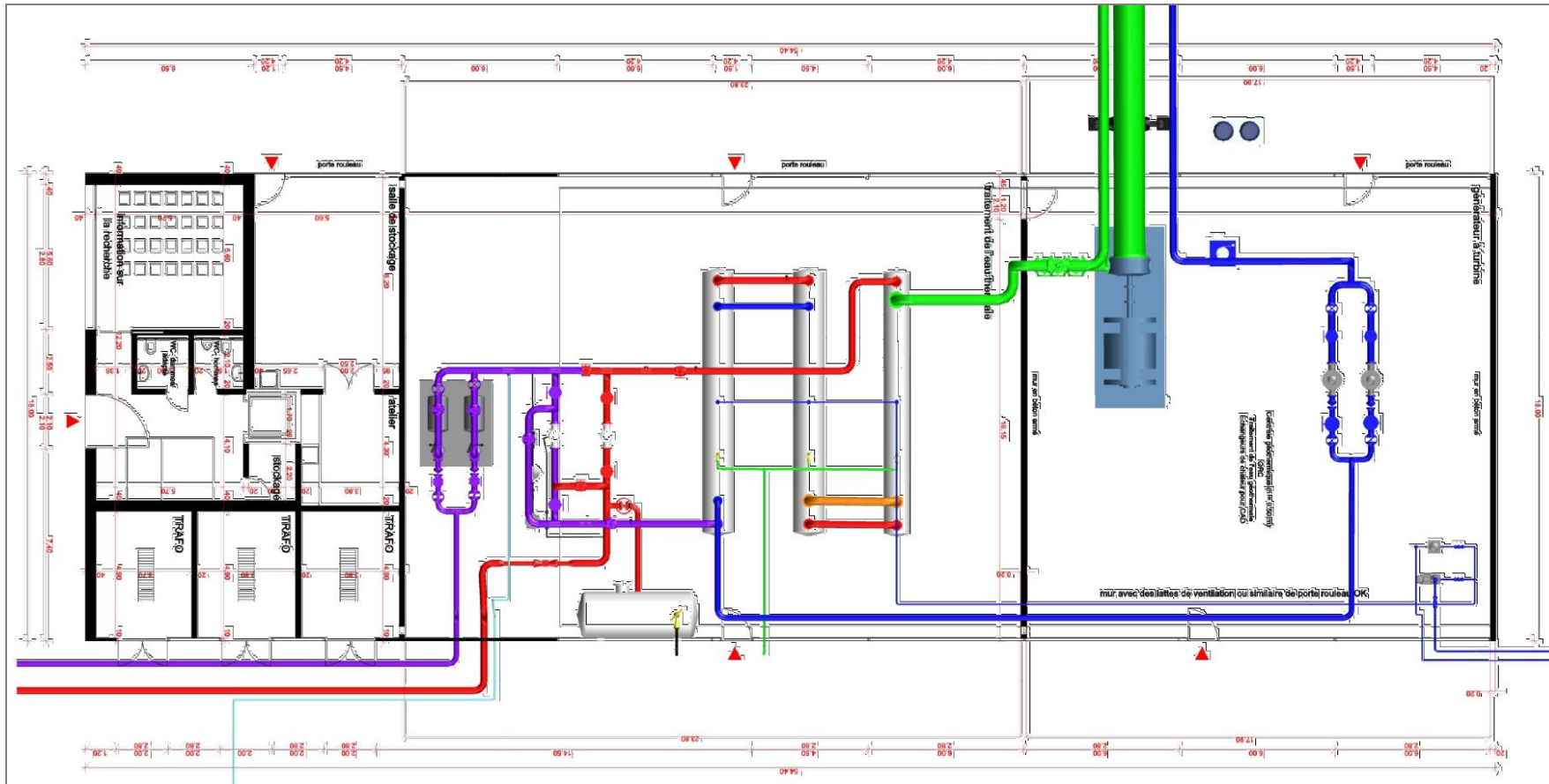
- [1] ESCO Conseil Sàrl, rapport succinct, Régis Kottelat, 2014, Yverdon-les-Bains (CH).
- [2] Swissi SA, rapport protection incendie, Jean-Marc Vaucher, 2014, Neuchâtel (CH).
- [3] OFS / OFFP, Dangers naturels et accidents majeurs, Bern (CH).
- [4] Directive CFST 1941, Gaz liquéfiés 1^{ère} partie, 2005, Lucerne (CH).
- [5] Directive CFST 1942, Gaz liquéfiés 2^{ème} partie, 1997, Lucerne (CH).
- [6] Directive SUVA 2153, Prévention des explosions, principes, prescriptions minimales, zones, 2004, Lucerne (CH).
- [7] Guide pratique d'entreposage des matières dangereuses, Institut de sécurité et al., 2011, Frauenfeld (CH).
- [8] Swissi PS - Tüv Süd., analyse de risques, Pablo Lerena et Serge Forestier, 2014, Bâle (CH).
- [9] Rapport cadre « Stockage de gaz liquéfié », 1^{ère} édition française, Basler & Hofmann, 1995, Zürich (CH).
- [10] Valeurs limites d'exposition aux postes de travail 2014. VME/VLE, VBT valeurs admissibles pour agents physiques, SUVA 1903.f, 2014, Lucerne (CH).
- [11] Service d'enquête suisse sur les accidents SESA, Rapport annuel 2012, Bern (CH).
- [12] Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, GESTIS-Stoffdatenbank (D).
- [13] Air Liquide, fiches de données de sécurité (F).
- [14] Schweizerischer Ingenieur- und ArchitektenVerein, Norm sia 261, Einwirkungwenauf Tragwerke, Ausgabe 2003, Zürich (CH).
- [15] http://www.seismo.ethz.ch/prod/haz_map/index_EN
- [16] Ch. Engel, Gutachtliche Stellungnahme zur Erdbebensicherheit einer Rohrfernleitungsanlage zum Befördern wassergefährdender Stoffe, RWTüV, 2006, Essen (D).
- [17] DIBt, Berechnungsempfehlungen für zylindrische Behälter und Silos Berücksichtigung des Lastfalls Erdbeben, 40–B3, 2012, Berlin (D).
- [18] RWTHAachen, Erläuterungen zum Leitfaden der Lastfall Erdbeben im Anlagebau, 2012, Aachen (D).
- [19] OFEV, Substances problématiques - Solutions alternatives, 2007, Bern (CH).

Annexe 1 : plan du site et de l'installation technique



				N° de plan: 10/50		Date:	
Proj.		Dess.		Vérif.		Appr.	
Date:		Date:		Date:		Date:	
Titre:		Description:		Client:		Scale:	
2137		Géothermie Haute-Sonne		Géothermie Haute-Sonne		Géothermie Haute-Sonne	
2135		Localisation:		Localisation:		Localisation:	
2135		Localisation:		Localisation:		Localisation:	
2135		Localisation:		Localisation:		Localisation:	
2135		Localisation:		Localisation:		Localisation:	

Annexe 2 : plan technique du bâtiment



Rez-de-chaussée du bâtiment technique, avec les différents flux représentés selon l'échelle de couleur ci-contre.

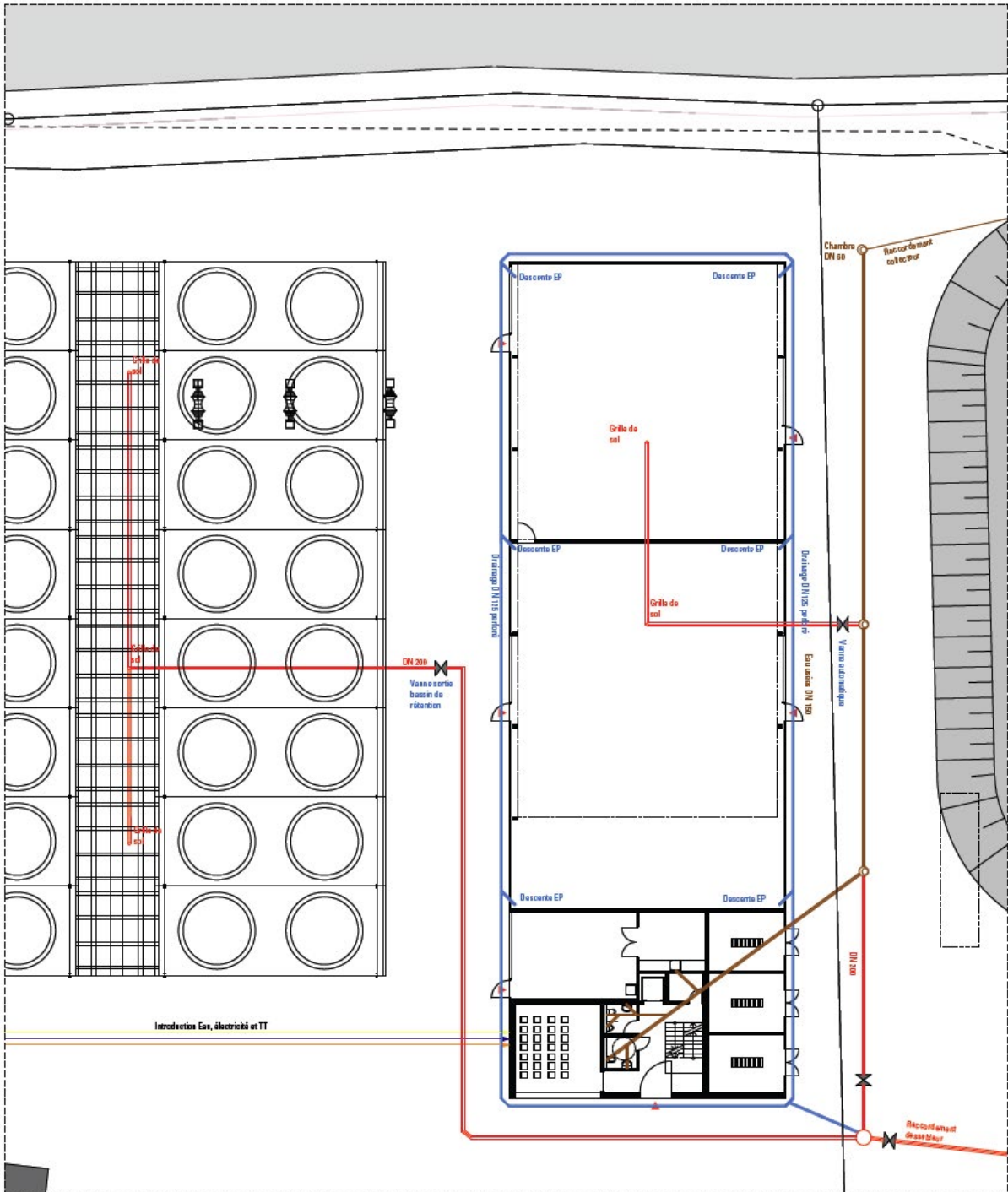
La turbine se trouve dans le local à droite sur le schéma

Medien:	
Blau:	Arbeitsmittel flüssig
Orange:	Arbeitsmittel flüssig/dampfförmig (2-Phasen)
Grün:	Arbeitsmittel dampfförmig
Rot:	Thermalwasser ein (heiß)
Lila:	Thermalwasser aus (kalt)
Grau:	Fernwärme
Schwarz:	Abwasser
Türkis:	Speisewasser (kalt)
Braun:	Stickstoff

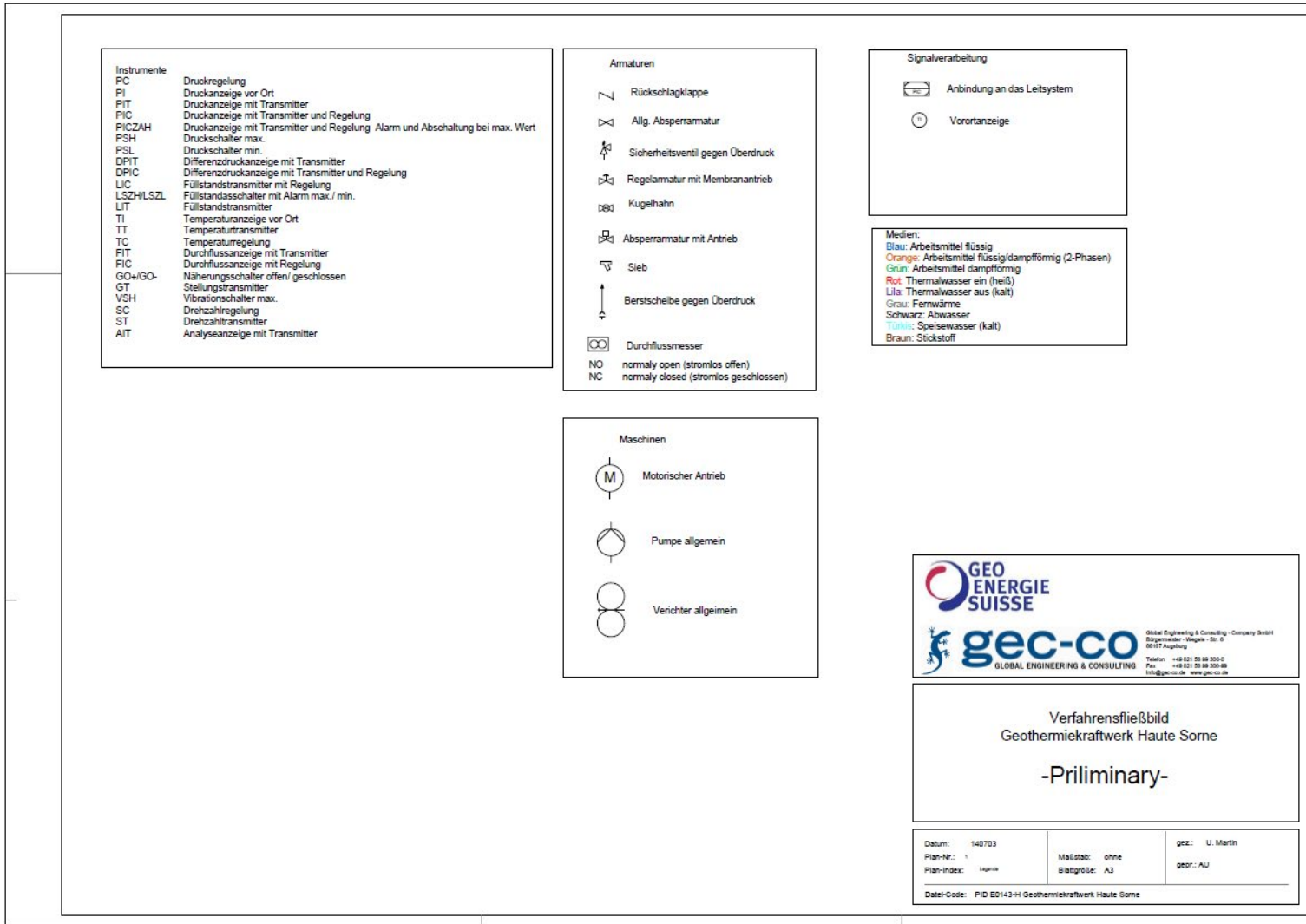
Annexe 3 : représentation des façades



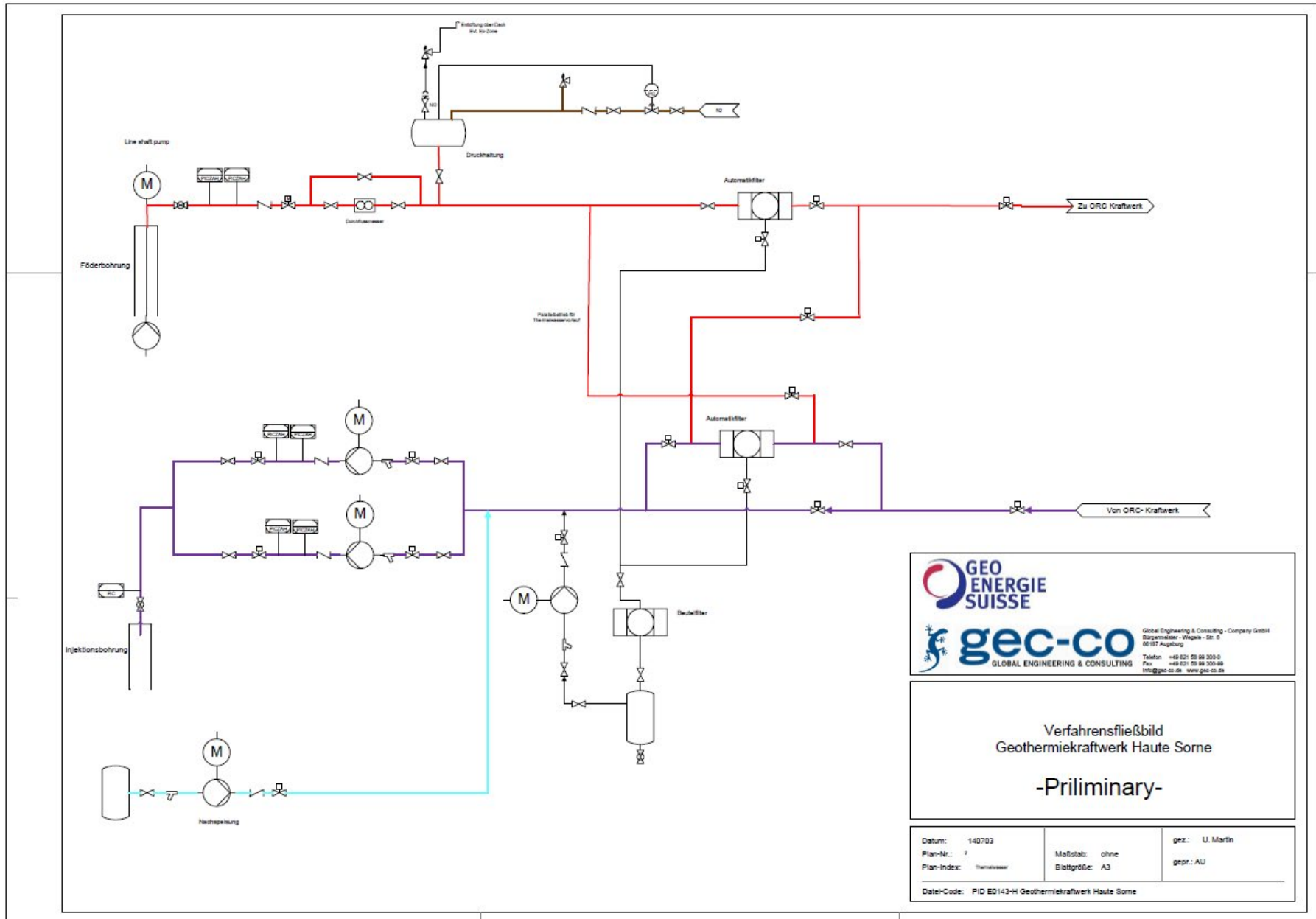
Annexe 4 : plan des canalisations



Annexe 5 : Schéma de l'installation ORC



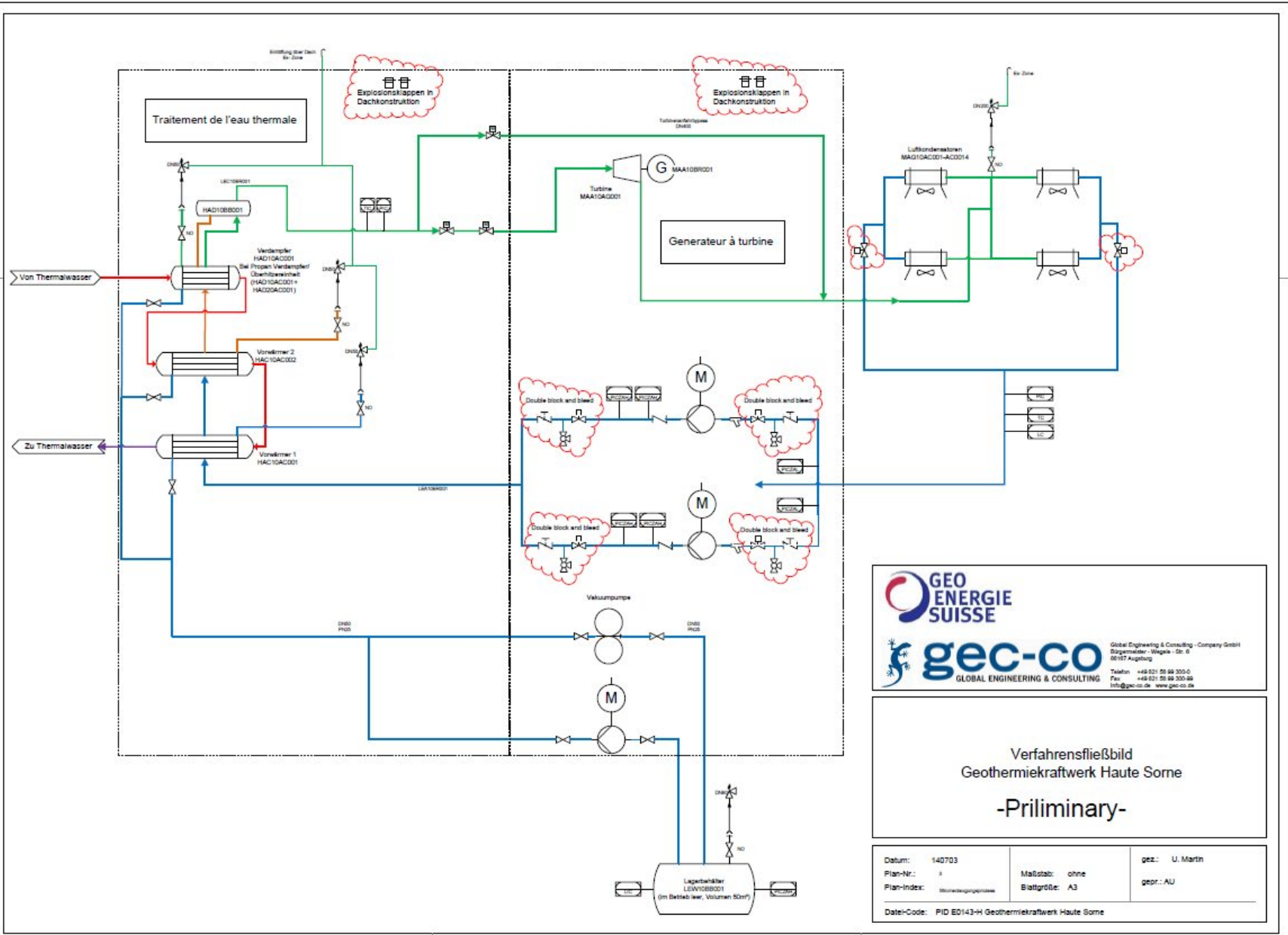
2400.0001.f/20.12.11



GEO ENERGIE SUISSE
gec-co GLOBAL ENGINEERING & CONSULTING
 Global Engineering & Consulting - Company GmbH
 Bürgerstr. 104a - 80197 Augsburg
 Telefon: +49 (0) 89 99 300-0
 Fax: +49 (0) 89 99 300-99
 info@gec-co.de www.gec-co.de

Verfahrensfließbild
 Geothermiekraftwerk Haute Sorne
-Priliminary-

Datum: 140703	Maßstab: ohne	gez.: U. Martin
Plan-Nr.: 7	Blattgröße: A3	gepr.: AU
Datei-Code: PID E0143-H Geothermiekraftwerk Haute Sorne		



GEO ENERGIE SUISSE
gec-co GLOBAL ENGINEERING & CONSULTING
 Global Engineering & Consulting - Company GmbH
 Spiezstrasse - Weipa - Str. 6
 86197 Augsburg
 Telefon: +49 821 55 99 300-0
 Fax: +49 821 55 99 330-99
 info@gec-co.de www.gec-co.de

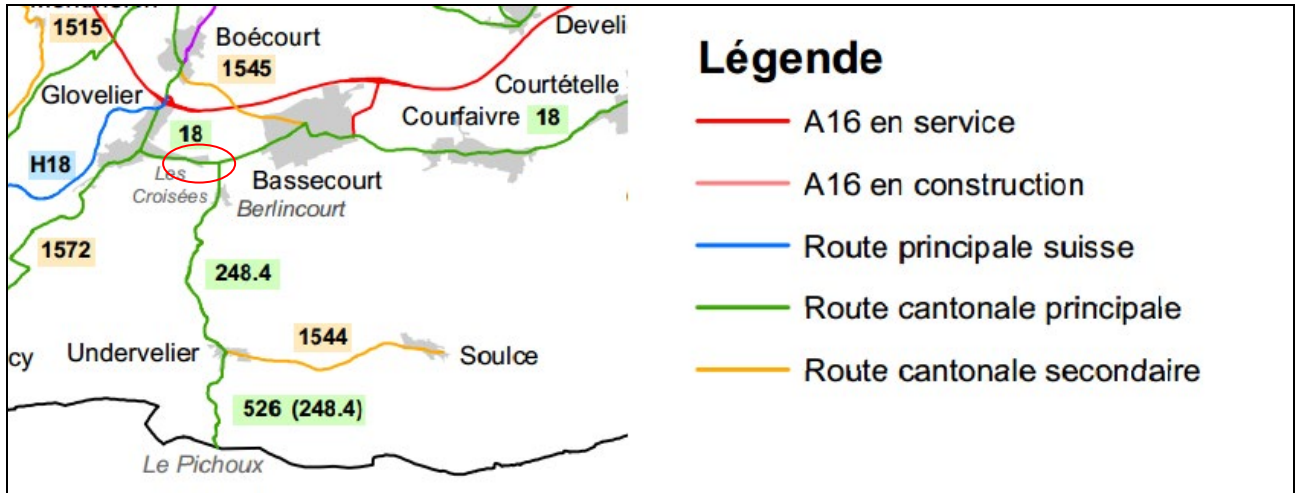
Verfahrensfließbild
 Geothermiekraftwerk Haute Some
-Preliminary-

Datum: 140703	Mallstab: ohne	gez.: U. Martin
Plan-Nr.: 3	Blattgröße: A3	gepr.: AU
Datei-Code: PID ED143-H Geothermiekraftwerk Haute Some		

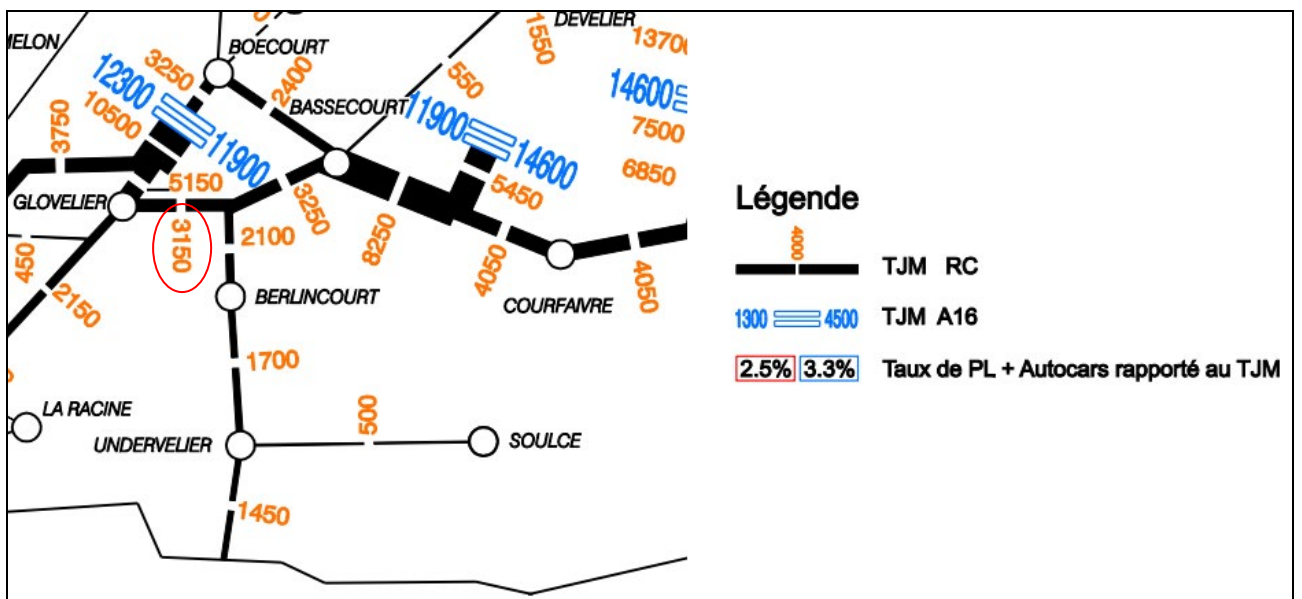
Annexe 6 : occupation rail et route

Présence sur la route

Configuration routière :



L'occupation des routes dans la zone incriminée est donnée par les comptages effectués par les autorités jurassiennes :



La zone concernée est donnée à un taux journalier moyen (TJM) de 3150 véhicules. Le taux moyen de véhicules lourds (camions + autocars) est de 2.5% (ratio camions cars 20 :1).

Taux journalier moyen développé :

Véhicule	TJM	Occupation	Vitesse moy.	Temps zone	Probabilité
Voiture	2819	1.5 p./vhc	13.5 m/s	15.1''	0.493
Camion	315	1.5 p./vhc	13.5 m/s	15.7''	0.057
Car	16	50 p./vhc	13.5 m/s	15.7''	0.003
Total	3150				

La longueur considérée pour la zone dangereuse est de 100 m depuis l'axe de l'épicentre. Les voitures sont considérées comme ponctuelles et les véhicules lourds à 12 m de longueur.

Présence sur le rail

Selon les documents de Stadler, des CFF et contact avec régulation des CFF, l'occupation du rail peut être considérée comme suit :

Horaire	Occupation moy.	Voyageurs	Nb. de trains	Temps	Probabilité
Lundi-vendredi	25 %	90	6x5	20.4''	
	50 %	180	62x5	20.4''	
	75 %	270	2x5	20.4''	
	100 %	360	2x5	20.4''	
Samedi	25 %	90	16	20.4''	
	50 %	180	52	20.4''	
	75 %	270	4	20.4''	
	100 %	360	0	20.4''	
Dimanche	25 %	90	4	20.4''	
	50 %	180	70	20.4''	
	75 %	270	0	20.4''	
	100 %	360	0	20.4''	
Semaine	25 %	90	50	1020''	1.69E-03
	50 %	180	432	8812.8''	1.46E-02
	75 %	270	14	285.6''	4.72E-04
	100 %	360	10	204''	3.37E-04

Vitesse moyenne constatée à 500 m de la gare (soit l'entrée de la zone) 50 km/h soit 13.9 m/s. La longueur moyenne d'un train type Flirt ou Domino est de 75 m.

Annexe 7 : affectations dans un rayon de 500 m





Futur projet d'installation de fabrication d'enrobé.

Annexe 8 : occupation du terrain d'aéromodélisme du Lémont

- 70 membres
- Horaires de vol : 0800-1200 1300-2000 / +1200-1300 possible en week-end
- Nombre de personne sur le terrain :
 - Semaine 5-6
 - Week-end 10-20
 - Meeting annuel Jet : 100
 - Meeting tous les 7 ans : 5000-6000 personnes
- Poids des maquettes : 30 kg, vol à vue
- Poids exceptionnels des maquettes lors des meetings : 100 kg, vol à vue
- Interdiction de survol de la ligne CFF, donc des zones au-delà
- 1 incident où une maquette a terminé sa course sur les voies CFF en plus de 20 ans

Annexe 9 : règlement du terrain d'aéromodélisme du Lémont

7 pages A4 couleurs

Annexe 10 : liste des matières dangereuses

Liste de ... pages A4

Annexe 11 : concept ATEX

... pages A4 couleur

Annexe 12 : plans d'intervention

... pages A4 couleur

Annexe 13 : consignes de sécurité pour le personnel

... pages A4 couleur

Annexe 14 : séismicité pour le Jura

24 pages A4 couleur

